

道路施工技术与管理研究

版权页

标题页

道路施工技术与管理研究

_____主编

专著简介

随着新时期城市化进程的加快，为了全面提高道路建设水平，应全面开展道路施工技术与管理研究工作。道路在保障交通方面发挥了重要的作用。但是，由于道路施工复杂的特点，施工工程量较大，难度相对较高，对施工的技术要求也相对较高。只有重视优化完善道路施工建设工作，才能够确保为人们营造一种安全的出行环境，提升出行的便利性。

基于此，本书《道路施工技术与管理研究》主要围绕道路施工技术与管理工作进行分析，以期进一步提高道路施工质量，能够给读者和同行带来启发。

作者简介

王天强，单位：郑州路桥建设投资集团有限公司。第一学历：河南省交通学校，学历：中专，专业：公路与桥梁；。最高学历：长安大学，学历：本科，专业：道路桥梁与渡河工程。

多年从事道路与工程施工项目，具有丰富的技术与实践经验。

目录

第一章 道路施工导论	8
第一节 道路分类与分级	8
第二节 道路施工技术发展	9
第三节 道路工程建设	14
第二章 路基施工技术	16
第一节 施工准备	16
第二节 路基填筑	19
第三节 路堑开挖	25
第四节 路基排水	31
第五节 特殊路基施工	35
第三章 路面施工技术	39
第一节 施工准备	39
第二节 路面垫层施工	50
第三节 路面基层施工	51
第四节 沥青类路面面层施工	56
第五节 水泥混凝土路面施工	62
第四章 道路附属工程施工技术	67
第一节 路缘石施工	67
第二节 人行道施工	69
第三节 其他附属工程施工	76
第五章 桥梁施工技术	86
第一节 桥梁基础施工	86
第二节 桥梁墩台施工	96
第三节 桥梁上部结构施工	103
第四节 其他桥梁施工	121
第六章 道路工程施工管理	135
第一节 道路工程养护管理	135
第二节 道路工程施工质量管理	148
第三节 道路工程施工安全管理	153
第四节 道路工程项目合同管理	156
第五节 道路工程项目成本管理	161
参考文献	170

前言

道路是交通运输的关键纽带，能够显著提升城市的整体运作效率，促进城市稳定发展。为此，相关管理人员和施工人员要提升自身的工作能力，贯彻现代化的工作理念，采用各种新型的施工技术来确保道路施工有序开展。当前，中国市政工程建设取得了巨大的发展，但仍然需要认真对待道路建设中出现的问题，并利用现有的科学技术找到科学完善的解决办法。针对各类通病进行深入细致的研究，从而提出切实可行的解决对策，这样才能确保道路施工质量得到更显著的提升，为整体道路工程取得更大的效益奠定基础。

本书是根据多年的实践经验编著而成的，包括六方面的内容，分别是：道路施工导论、路基施工技术、路面施工技术、道路附属工程施工技术、桥梁施工技术、道路工程施工管理。

本书在编著的过程中，参考了大量的文献资料，不能一一列出，在此向参考文献的作者表示崇高的敬意。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

著者 20xx 年 x 月

第一章 道路施工导论

第一节 道路分类与分级

一、道路的分类

道路按照使用特点分为公路、城市道路、专用道路等。

(一) 公路

公路是指连接城市、乡村，主要供汽车行驶的具有一定技术条件和设施的道路。按照其重要性和使用性可分为国道、省道、县道和乡道。

1. 国道是在国家干线网中，具有全国性的政治、经济、国防意义，并经确定为国家级干线公路。

2. 省道是在省公路网中，具有全省性的政治、经济、国防意义，并经确定为省级干线的公路。

3. 县道是具有全县性的政治、经济意义，并经确定为县级的公路。

4. 乡道是指修建在乡村、农场，主要供行人及各种农业运输工具通行的道路。

(二) 城市道路

城市道路是指在城市范围内，供车辆及行人通行的具有一定技术条件和设施的道路。

(三) 专用道路

专用道路是由工矿、农林等部门投资修建，主要供该部门使用的道路，如厂矿道路、林区道路等。

1. 厂矿道路是指主要为工厂、矿山运输车辆通行的道路。通常分为厂内道路和厂外道路及露天矿山道路。厂外道路为厂矿企业与国家公路、城市道路、车站、港口相衔接的道路或厂矿企业分散的车间、居住区之间连接的道路。

2. 林区道路是指修建在林区，主要供各种林业运输工具通行的道路。由于林区地形及运输木材的特征，其技术要求应当按照专门制定的林区道路工程技术标准执行。

各类道路的位置、交通性质及功能均不相同，所以，设计时的依据、标准及具体要求也不相同。因此，必须按照相应的技术规范（标准）进行设计与施工。

二、公路的分级与技术标准

(一) 公路分级

为了适应不同地区经济发展的需要，充分满足路网规划和建设功能的要求，公路必须分等级规划和建设。中国交通部 2014 年颁布的《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）（以下简称《标准》），根据功能和适应交通量将公路分为五个技术等级。各个等级又根据地形规定了不同的计算速度及相应的工程技术标准。

1. 高速公路

高速公路为专供汽车分方向、分车道行驶，全部控制出入的多车道公路。高速公路的年平均日设计交通量宜在 15000 辆小客车以上。

2. 一级公路

一级公路为供汽车分方向、分车道行驶，可根据需要控制出入的多车道公路。一级公路的年平均日设计交通量宜在 15000 辆小客车以上。

3. 二级公路

二级公路为供汽车行驶的双车道公路。二级公路的年平均日设计交通量宜为 5000～15000 辆小客车。

4. 三级公路

三级公路为供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道公路。三级公路的年平均日设计交

通量宜为 2000~6000 辆小客车。

5. 四级公路

四级公路为供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道或单车道公路。双车道四级公路的年平均日设计交通量宜在 2000 辆小客车以下。单车道四级公路的年平均日设计交通量宜在 400 辆小客车以下。

公路技术等级选用应根据路网规划、公路功能，并结合交通量论证确定；主要干线公路应选用高速公路；次要干线公路应选用二级及二级以上公路；主要集散公路宜选用一、二级公路；次要集散公路宜选用二、三级公路；支线公路宜选用三、四级公路。

（二）公路技术标准

公路技术标准是指在一定的自然环境条件下，能够保持车辆正常行驶所采用的技术指标体系。具体是指在设计和施工时对公路路线和构造物的几何形状、结构组成及技术性能上的要求，将这些要求用指标和条文的形式确定下来即形成公路工程的技术标准。它反映了中国公路建设的技术方针，是公路设计和施工的基本依据和准则，是法定的技术要求，必须遵守。各级公路的技术标准是由其技术指标体现的。八车道及以上公路在内侧车道（内侧第 1、2 车道）仅限小客车通行时，其车道宽度可以采用 3.5m；以通行中小型客运车辆为主且设计速度为 80km/h 及以上的公路，经论证车道宽度可采用 3.5m；设置慢车道的二级公路，慢车道宽度应当采用 3.5m。表 0-1 中一般值是指正常情况下采用的值；在设爬坡车道、变速车道及超车道路段，受地形、地物等条件限制路段以及多车道公路特大桥，可论证采用最小值。高速公路和一级公路应当在右侧硬路肩宽度内设右侧路缘带，其宽度为 0.5m。八车道及以上高速公路宜设置左侧硬路肩，其宽度不应小于 2.5m，左侧硬路肩宽度包含左侧路缘带宽度。

三、城市道路分级

中国《城市道路工程设计规范》（CJJ 37-2012）（以下简称《规范》）规定：城市道路应按照道路在道路网中的地位、交通功能以及对沿线的服务功能等，分为快速路、主干路、次干路和支路四级。快速路、主干路设计年限应当为 20 年；次干路应当为 15 年；支路宜为 10~15 年。

（1）快速路。快速路应中央分隔、全部控制出入、控制出入口间距及形式，应实现交通连续通行，单向设置不应少于两条车道，并应设有配套的交通安全与管理设施。快速路两侧不应设置吸引大量车流、人流的公共建筑物的出入口。

（2）主干路。主干路应连接城市各主要分区，应以交通功能为主。主干路两侧不宜设置吸引大量车流、人流的公共建筑物的出入口。

（3）次干路。次干路应与主干路结合组成干路网，应以集散交通的功能为主，兼有服务功能。

（4）支路。支路宜与次干路和居住区、工业区、交通设施等内部道路相连接，应解决局部地区交通，以服务功能为主。

第二节 道路施工技术发展

一、中国道路桥梁工程施工技术发展回顾

随着科学技术的进步，施工机具、设备和建筑材料的发展，现代道路桥梁工程施工技术在原有施工技术的基础上不断改进、提高而逐步发展和丰富。了解施工技术的发展进程对掌握施工规律，不断总结、改进和创造新的施工技术是十分有益的。

中国的道路桥梁工程施工技术有着悠久的历史。据史料考证，早在 3000 年前的周文王时期，就有在渭河上架设浮桥和建造粗石桥的文字记载。公元前 2000 年，中国已修建有可供牛、马车行驶的道路。在西周时期，道路建设已初具规模。在道路规划方面，《周礼》

中有以下记载：“匠人营国·····国中九经九纬，经涂九轨·····环涂七轨，野涂五轨。”在道路管理方面，《周语》中有以下记载：“司空视途”，“列树以表道，立鄙食以守路”，“雨毕而除道，水涸而成梁”。在道路质量方面，《诗经》中有以下记载：“周道如砥，其直如矢。”秦始皇统一六国后，大修驰道，颁布车同轨法令，使得道路建设有了较大的发展。

隋唐时期是中国古代道路桥梁发展建设的鼎盛时期，初步建成了以城市为中心的四通八达的道路网，在道路桥梁的结构形式、施工方法等方面有了很多创新。该时期的桥梁施工充分表现了中国古代工匠的智慧和力量，是桥梁建造史上的宝贵财富。1000 多年前所建的赵州桥就是其中的杰作。该桥采用纵向并列砌筑，将大拱圈纵分为 28 圈，每圈由 43 块拱石组成，每块拱石重 1t 左右，用石灰浆砌筑。为了提高拱圈的强度和整体性，在拱石表面凿有斜纹，在拱石的纵向间安放一对腰铁（铁箍），在主拱跨中拱背上设置有 5 根铁拉杆，并在拱顶石砌筑时采用刹尖方法使拱石挤压紧密。从赵州桥的施工技术中，我们不难看出古代工匠十分熟悉拱桥的受力特性，其施工技术完全符合现代科学技术的结论，这是赵州桥能完好保存至今的重要原因。

宋代至清代，道路桥梁建设水平有了新的提高。清代道路已分为三级：官马大路、大路、小路。

官马大路长度已达 2000km 以上。宋朝之后桥梁数量大增，桥梁跨越能力和造型有了新的飞跃。

福建泉州的洛阳桥又名万安桥，是濒临海湾的大石桥，始建于宋皇祐五年（1053 年）。该桥全长 834m，有 46 个桥墩，气势极为壮观。在当时尚无现代施工设备的情况下，在海湾上建造大桥的深水基础是非常困难的。在波涛汹涌的海口，古代工匠首次开创了现代称为筏形基础的桥基。这种基础施工时，沿桥中线满抛大石块，在稳固的石基上建造桥墩，创造了抛石技术，并巧妙地用牡蛎将筏形基础加固成整体。抛石技术在建造厦厦铁路海堤工程中也得到了应用。万安桥的石梁共 300 余根，每根长 20m，重 20~30t，这么重的石梁在当时采用“激浪以涨舟，悬机以弦牵”的方法架设，据分析是利用潮汐的涨落控制船只的高低位置，使石梁浮运、起落，并以“悬机”牵引就位。古代工匠仅用人工、简单工具，借助自然力建造大桥，这是现代浮运架设的原始雏形。

从推翻清政府到新中国成立前是中国近代道路桥梁的发展时期，但发展缓慢，且屡遭破坏。30 多年时间中所修建的道路总里程不过十几万千米，桥梁建设也停滞不前。新中国成立前，长江上没有一座桥梁。施工技术及手段也很落后，主要是人工挑抬，石碾压实，虽引进了一些施工机械，但由于机械配件和燃料供应困难而很少使用。到新中国成立初期，全国仅有推土机 200 余台，挖掘机不足 10 台，压路机不足 100 台，汽车 100 余辆。

新中国成立以后，随着中国道路桥梁建设事业的蓬勃发展，其施工技术水平有了较快的提高。在道路建设方面，相继修建了康藏公路、海南岛公路、成都至阿坝公路等 10 余条重点公路。这些公路自然条件复杂，工程艰巨，工期要求短，在施工中探索，创造了土石方大爆破施工、泥结碎石路面施工及泥结碎石路面加铺级配磨耗层施工、渣油表处路面、软土等特殊地基的处理等一系列道路施工技术，使中国的道路施工技术水平有了整体的提高。1957 年 9 月，第一座公路铁路两用桥——武汉长江大桥建成，结束了长江上没有桥梁的历史。1968 年 12 月，中国自主设计和施工的南京长江大桥建成通车。南京长江大桥的基础在施工水位以下 70 余米深，水文地质极为复杂。施工时从实际出发，采用了四种不同的基础形式和不同的施工方法。特别是在急流中，在流速和流向不断变化的情况下，克服了定位中的摇摆问题。在钢梁的设计和施工中，采用了国产的 16Mn 低合金钢，纵梁的连接第一次采用了高强螺栓代替铆钉；在公路桥面上首次采用了陶粒轻质混凝土等当时先进的技术和工艺。同时在桥梁施工中，通过试验研究设计制造了一系列关键性的施工机具设备

和施工工艺,如管柱下沉、钻孔洗壁、循环压浆、悬拼调整、高强螺栓安装等,保证了工程按质量要求完成。南京长江大桥已被列为世界上最宏伟的结构之一,它的建成标志着中国桥梁工程施工技术已达到了一个新的水平。

20 世纪 80 年代以来,中国道路桥梁建设有了一个质的飞跃。1988 年,中国结束了没有高速公路的历史。至 2010 年底,中国的公路总里程已达 398.4 万千米,高速公路 7.4 万千米,双双跃居世界第二位。桥梁建设方面,引入了预应力技术和悬臂施工技术,T 形刚构桥、连续梁桥、斜拉桥和悬索桥等结构如雨后春笋般地在全国各地出现。如苏通长江大桥工程规模浩大,其主跨跨径达到 1088m,截至 2013 年是世界第二大跨径的斜拉桥;2009 年 12 月建成通车的舟山西堠门大桥是连接舟山本岛与宁波的舟山连岛工程,主桥为两跨连续钢箱梁悬索桥,主跨 1650m,位居悬索桥世界第二、中国第一,其中钢箱梁全长在悬索桥中居世界第一;重庆跨长江的朝天门大桥 2009 年 4 月正式通车,主跨长 552m,为目前世界跨径最大的钢拱桥。在桥梁施工技术上,中国不但大力发展了悬臂施工技术,而且根据桥梁施工的要求发展了其他施工方法,如转体法、顶推法、逐孔施工法、横移及浮运法等。

二、道路施工技术的发展趋势

(一) 绿色道路施工

1. 道路施工技术的发展要从实地勘测开始、综合分析各项影响因素

道路施工技术的发展离不开道路工程的实地勘测,也离不开各种制约因素的影响。也就是说,施工技术的依托是道路工程。只有在工程的规划和设计中,相应的技术水平和应对方式才能得到切实的应用并得到实践的检验。也只有这样做,道路施工技术才能够确保质量参数的可行性控制标准。

在道路工程设计的实地勘测过程中,各项参与要素变动性非常大,而且相互之间的联系也不是几组数据就能说明的。因此,道路施工技术要着重关注边际性变动因素的参与。比如说,公路桥梁的设计就要考虑到环境因素的渗透性影响、地质性影响、环保性影响和气候性影响等多种要素。在传统的道路施工技术中,这些因素都是忽略不计的。但随着公路建设水平的不断提高,各种影响性因素对道路施工技术的影响就要进行过程的精细化、进度的量化处理。所以在道路工程的实地勘测过程中,我们要建立完善的信息变动表以求应用技术的实效性价值展现。

2. 道路施工技术的发展要在规划设计图中进行施工资源的最优化选择

在实际工作中,道路施工技术体现的重点和难点是规划设计图。通过工程规划图的要求和施工技术要求,并结合现场的实际工作条件特点,我们可以一目了然地应对新技术的发展和应用。因为施工技术新思路的难点在规划设计中要做完整的展现,哪些细节要改变、哪些要省略、哪些要着重关注,因此我们对道路的施工技术将有一个系统性的安排和执行。

对于施工工程规划设计图的深入研究,是道路施工市场化发展的要求,也是优化配置各种外因性资源的必然选择。通过对道路施工外围影响因素的分析,可以建立一套适应具体工作环境的标准。比如说在地震多发区域,道路施工的抗震性要素就会得到大幅度的加强,而其他因素则不会发生太大的变化。当然,在某些区域道路施工技术的很多条件性因素也可能集中产生,这样我们就要进行综合的考虑,做到外部施工资源的最佳化效益配置。

3. 道路施工技术的发展要关注外部影响性硬件和软件设备的影响

任何一项新科学、新技术的发展都离不开关联的硬件设备和软件设备的影响,道路施工技术的发展也是如此。众所周知,道路施工要考虑其空间、时间的运输量和区间的承载执行能力。假使我们依然采用传统的应用设备,那么道路工程肯定不会达到具体的设计要求。因此,我们要采用符合道路工程设计要求的外围机械设备,并使得软件设备得到应有

的提高。随着信息技术的发展,我们可以通过信息平台的操作来实现施工软件设备的更新或升级。

对于道路施工技术的发展来说,新的技术执行模式或者目标思维要通过内外因素的共同影响来发展。当前,软件设备环境的作用甚至远远大于硬件设备环境的作用。软件设备环境的发展,一方面是各种先进的信息处理技术的应用,一方面是不同应用技术的对比分析。通过技术数据模型的分类,我们可以选择最适合工程路段技术参数要求的施工方案。

从经济学的角度来说,这是符合市场的需求和发展的。

4. 道路施工技术的发展要从质量管理上进行实用技术的升级换代

随着“知本经济”时代的到来,道路施工技术越来越表现为“知本管理”。也就是说,这些系统的技术数据或者选用方式更倾向于产品化的发展。在施工技术市场的需求中,我们除了提供产品外,还要提供质量和服务。其中质量管理是符合多方性条件需求的,是值得进行二次升级和投入的。无论是施工设计部门的技术要素管理,还是现场资源的有效配置,只有做到质量和服务的双向性满足,才能够真正促进道路施工使用技术的升级换代,才能够达到国家性、区域性和产业性的满足。

在市场经济的发展进程中,道路施工技术的发展还取决于市场化操作的广度和深度。因此,道路施工企业要深挖内因从管理上入手。然后,根据施工技术的阶段性特征和安排进一步形成以质量管理为核心的技术应用和升级换代。这是一个复杂的学习吸收过程,需要各种参与要素的积极配合。

5. 道路施工技术的跨越式发展模式是最优目标方式选择

在具体的道路施工技术应用中,中国应积极发展高强度、高渗透性、高抗震性和高实用性的道路技术。最终的目的是促进道路施工技术的升级换代,提高施工道路的质量安全、效益安全和生命财产安全。也就是说,当前中国应当采取跨越式的道路技术发展模式,做到施工技术理论性的成熟。

在以经济建设为中心构建和谐理念的影响下,中国的道路发展要走一条以科技创新为龙头,坚持跨越式发展的模式。除此之外,中国还要积极借鉴、引进国外的先进道路施工技术,以适应国内市场需求。这二者之间不是完全对立的,而是相辅相成共同促进发展的。因此,从某种程度上讲道路施工技术的跨越式发展模式是最优秀的目标选择,是适应社会选择要求和国家选择要求的。

(二) 生态环保

道路施工涉及物料运输、设备运转、土石方、铺路、修整等多项内容,因此其带来的环境问题较多,主要表现为生态景观遭到破坏、大气污染、噪声污染和固体废弃物污染。

1. 生态景观遭到破坏

路基开挖对沿线植被及动物栖息地将造成永久性的破坏,有时候在某些施工路段会对动物的水源、栖息地等造成侵占或毁坏,也往往对成片的植被造成断层,对其生长季繁殖构成威胁甚至一些不可逆的损害。

此外,施工过程中取土场和弃土场、清理现场、便道建设及路基修筑必须占用土地,可能沿线的人文和自然景观有影响。山区丘陵地带容易在施工进程中出现水土流失,导致附近和水体沉积物的淤积,有时严重情况下还可能导致地基下陷、滑坡、河道淤塞等阻碍行洪。

然而平原水网地带筑路存在取土挖毁耕地和需要进行土地恢复利用的问题,还有农田被路基永久占用等问题。

2. 引起的水土流失的情况

在道路路基的施工阶段,需要开挖基础的构造物,这是由于对路基需要进行土方填筑,而开挖基础的构造物是这项工作中的基础工作,需要在基础的周围堆积松散的土方,而由

于某些防护措施在施工的过程中做得不够好,一旦雨水冲刷,就可能导致边坡水毁的状况,形成水土流失,被挖出的土方也随雨水冲散,最终,甚至在一定程度上会对工期造成影响。

3. 在施工的过程中可能会对自然人文景观造成一定程度的影响

土石方工程是道路施工过程中的一个重头施工项目,在道路建设过程中需要对施工中的障碍山体等进行清理,这也是为了能够使得道路的建设尽量平直,并且这些挖起的土石还可以作为铺设附近路基的筑路材料,但往往这种填挖的工作达不到理想中的平衡。山体被大量的开凿,这些活动也会对山体的表层造成严重破坏,而且相应的山体植被的生长也遭到了破坏,甚至对人文自然景观造成破坏。

由于技术水平不足而带来的环境污染问题是难以避免的,再先进的技术也难以保证道路施工的零污染。然而管理层面的问题是可以避免和改善的,道路施工中的环境保护质量主要依赖有效的管理措施。企业文化是施工管理中一项重要的内容,塑造绿色的施工文化能够从根本上解决因施工管理而造成的环境问题,全面提升道路施工中的环境保护水平,所以说将企业文化植于施工过程中来塑造一个和谐的施工环境非常必要,以确保道路施工中环境破坏问题达到最小化。

4. 基于企业文化的环保措施

(1) 将绿色施工植入企业文化

企业文化包括规章制度、道德准则、行为规范、价值理念等多个方面,每个方面又涉及了多方面的内容,把绿色施工植入企业文化体系中就是要在企业发展理念、企业价值观等多方面注入绿色环保的概念。环境保护是企业的社会责任,是企业文化中的重要组成部分,将绿色施工植入到企业文化当中是道路建设企业的职责所在。同时,这也是改善道路施工中环境保护问题的重要基础,是从行为层面上做好环境保护的动力源泉。因此,塑造绿色企业文化不仅仅是一句语言的描述或者一条宣传标语,而应将其作为企业文化体系中的重要方面加以贯彻执行,牢固绿色施工理念的根基。

(2) 提升环境保护的重视程度

道路的施工阶段作为整体工程的重中之重,一是要建造各种排水的系统并完成路基的铺设和修建,二是要把拆迁和征地的相关工作调节好。在施工阶段工程质量的好坏,不仅是一个施工单位施工水平的反映,还能表现出其管理水平以及其对环境保护的重视程度,所以施工单位需要将其保护环境意识提升到一个较高的层次。更为重要的是,施工单位在施工的过程中需要牢记道路的施工标准以及环境保护的相关知识,将环境保护与施工的相关体系有机联系起来,做到统筹规划、分析其中的利弊关系,从而做出最佳的施工方案。

(3) 对施工人员进行企业文化教育

将绿色施工理念植入企业文化是道路施工中提升环境保护水平的重要途径,并利用企业文化理念指导施工人员行为,提升施工管理水平和施工人员素质。教育是促进企业文化内化为员工行为的最直接和最有效的方式,对施工人员的企业文化教育可以采取讲座、报告、演出、体验等一系列活动进行,并在活动中贯穿着绿色施工的概念和行动,使施工人员从心里认识到在施工中做好环境保护是一名施工人员的光荣使命和神圣职责。这样一方面可以改善施工管理的质量,另一方面可以提高道路施工的质量,从非技术层面达到控制粉尘、降低噪声、减少固体废弃物等控制环境遭到破坏的目的。

(4) 对施工现场需要加强监督管理工作

加强监督管理工作可使得施工的程序按照预先设计的执行。可以从这几个方面来加强监督:在土石方施工前,要对合同段内及相邻合同段进行科学分析,精心调配,充分利用路堑弃方,使弃土数量控制在最小,从而少占用临时用地;在选择临时用地时,要选择荒地、洼地,并对废土场边坡进行浆砌防护,种植草皮,变废为宝。除此之外,对于边通车边施工的路段,更要合理地安排进场筑路材料的数量及在路段上堆放的地点,要合理

堆放, 尽量避免因某些材料堆放不当而对过往车辆的通行造成影响。在沥青面层的施工中, 拌和站与油灶最好要远离村镇设置, 以防止沥青混合料的烟雾进入空气造成污染。在沥青路面施工时要将人员和机械组织管理好, 以免造成沥青污染。施工段落完工后要保持路面清洁, 及时组织人员将路面清扫, 严禁在已完工的沥青层面上拌和砂浆, 以免造成路面污染。

5. 加强三大阶段的监理力度

(1) 设计阶段——方案、数据需要符合规范

环保总体方案要在设计阶段就拟订, 要在勘察资料的基础上, 综合考虑各路段社会环境、生态环境、自然环境的特点, 使环保方案既可靠又经济。设计说明应对环境保护工程作尽量详细的说明, 标明敏感点; 周边山区公路越岭方案应充分比较展线与隧道方案对环保的优劣; 桥两端高填方路基的边坡砌石防护工程宜设在洪水位标高线以上, 在做水文计算时应充分考虑最大暴雨时期水系畅通的过水面设计余量; 二级公路及高等级公路路面的边坡宜采用集中排水方式, 应重视公路施工扰动土壤地段的水土保持工程设计; 涵洞宜作硬化涵底设计, 路基、路堑防护工程应充分考虑安全因素。处理好山体的开挖面。在上边坡应设碎落平台, 以防落石危及行车行人的安全。对于石质弃渣场, 应在工程完工后在其表面覆盖一定厚度的土层。除此之外, 公路绿化是国土绿化的重要组成部分, 在设计阶段就要做好规划, 这样不仅可以使行车环境得到有效的改善, 还可以起到优化环境、美化路容的作用。

(2) 施工阶段——严格控制图表的数据, 确保质量

在施工组织设计中要确保环保工程施工质量。工艺设计应包含质量控制标准和环保工作。可以跟踪监控站预防噪声、空气污染, 夜间施工防弃渣、噪声污染, 还要确保深挖高填地段边坡防护工程的施工质量; 设置专(兼)职的环保工作人员, 对水环境、临时用地防护区防水土流失、弃渣场防护区、取土场防护区、主体工程防护区动态检查监控, 特别是做好雨季水土流失的防治措施。环保工程施工质量监理与自检质量控制, 需要制定图表, 并时刻做好记录与签认, 与主体工程等同, 最后由监理检验人员签证、计量支付。

(3) 验收阶段的检验——图表和规范吻合

验收阶段的检验要求按规定向具备权限的环保主管机构申请验收, 并编制环保工程施工情况和总结报告, 竣工验收及公路交工验收同时进行, 这样也可以减少工作环节。收集图表和数据并组织环保工程检验人员参与现场检验, 图表和数据必须与规范相吻合才算验收合格, 应按规定将环保工程验收后的图表资料移交存档。

第三节 道路工程建设

一、道路工程建设特征及功能

(一) 城市道路工程建设特征

城市道路工程建设需要根据城市总体规划、中长期专项规划和年度建设计划来安排, 只有做好规划、勘察、设计、施工和验收等环节, 才能完成这项建设任务。由此可见, 道路建设的每个环节都体现了系统科学的思想, 如将道路建筑看作一个整体, 相关部门作为要素, 各要素之间便形成了相互协作的关系。

(二) 城市道路的功能

一是交通设施功能。交通设施功能是指在城市活动产生的交通需求中, 对应道路交通需求的交通功能。交通设施功能又可分为长距离输送功能和沿路进出集散功能。

二是公用空间功能。城市道路(包括广场、停车场)作为城市环境必不可少的公用空间, 除了采光、日照、通风及景观作用以外, 还为电力、通信、自来水、热力、燃气、排水等地下管线提供布设空间。

三是防灾救灾功能。道路的防灾救灾功能包括避难场地作用、防火带作用、消防和救援通道作用等。

四是形成城市平面结构功能。通常干线道路形成城市骨架，支路则形成街区、邻里街坊，城市的发展以干道为骨架，然后以骨架为中心向四周延伸。

二、城市道路的基本属性

（一）公共产品属性

我们生活在城市之中，除具有私人需求以外，还具有普遍意义上的社会性公共需求，即我们的个人生活、活动必须依赖一定的社会公共环境，如城市环境、国家国防、社会治安等等，这些产品也是私人生活中必不可少的，但我们不能通过市场行为直接购买到，仅能获得它们提供的服务，而不能得到它们的产权，市场在这里失灵。它们的生产必须依赖一定的组织，通常由政府来生产这些产品，这些产品就是公共物品。

美国经济学家保罗·萨缪尔森认为：“公共物品是指那种不论个人是否愿意购买，都能使整个社会每一个成员获益的物品。”我们认为，公共物品就是指私人不愿意或无法生产而由政府提供的产品和服务。它有两个显著的特征：第一，共同消费性，即非竞争性。一件公共物品，供某人消费时，其他人也可以消费等量的同类物品，而不需要增加生产公共物品的成本，即公共物品提供者不需再生产这件产品供其他人消费。如甲、乙两人有同样的出行方向，可同时在同一条道路上行走，享受由政府提供的道路通行服务，政府不必为其中一人另修建一条道路。第二，非排他性。即难以排除或无法排除其他人从公共物品中获取益处。同一件公共物品，不仅可供占有者使用，而且无法排除占有者以外的其他人使用。例如，一个人欣赏、享用公共绿地的景色，这个人无法排除另一人也来公共绿地欣赏景色。道路产品具有非排他性，但受特定的路面宽度限制，某车在使用道路的特定路段时，就排斥其他车辆同时占有这一路段，否则会产生拥堵现象。因此，道路产品的非排他性是不充分的。同时，其又具有非竞争性。

表现为：一是在道路上行驶的车辆，它的通行速度并不是由某人的出价决定的，一旦发生拥堵，无论出价高低，它都会被堵塞在那里；二是当道路未达到设计的车流量时，增加一定量的车，其行驶的道路边际成本为零，但若达到或超过设计能力，变得非常拥堵时，需要成倍投入资金以拓宽道路，它无法以单辆汽车来计算成本。这一特性决定了道路建设活动及道路本身不是纯公共产品，它具有非竞争性，是一种非排他性不充分的准公共产品。

显然，道路作为准公共产品其本质特征就是社会公益属性。主要表现在：一是服务功能的基础性，二是服务对象的公共性，三是服务效益的社会性。

（二）商品属性

商品是为交换而生产的劳动产品，它具有使用价值和价值两个因素或两种属性。使用价值是商品的自然属性，价值是商品的社会属性。

道路作为国家经济发展的基础设施，它的使用价值是显而易见的。随着市场经济的发展，道路在促进商品流通，加快自然资源的开发和利用，促进道路沿线经济的发展，满足社会公共运输需要，提高整个社会经济效益等方面发挥着越来越大的作用。道路作为人类通过劳动所形成的有特定用途、具有一定物质形态的劳动产品，其中凝结着大量社会必要劳动，这些社会必要劳动构成道路的使用价值，而且随着道路等级的提高，其使用价值会愈来愈大。这说明道路工程具有商品的属性。

第二章 路基施工技术

第一节 施工准备

路基施工的准备工作是工程顺利实施的基础和保证,直接影响工程进度、质量和承包人的经济效益,必须认真对待。路基施工准备工作的主要内容有熟悉设计文件、现场踏勘、编制施工大纲与施工组织、物资准备、测量控制、试验、施工场地的准备及试验路段施工等。

一、熟悉设计文件

设计文件是组织工程施工的主要依据。熟悉、审核施工图纸是领会设计意图、明确工程内容、分析工程特点的重要环节。在有关施工人员熟悉图纸、充分准备的基础上,由建设单位负责人召集设计、施工、监理科研人员参加图纸会审会议。设计人员向承包人作图纸交底,讲清设计意图和对施工的主要要求。施工人员应对图纸和有关问题提出质询,最终由设计单位吸取图纸会审中提出的合理化建议,按程序进行变更设计或作补充设计。

二、现场踏勘

路基工程施工前,需要对现场进行勘察,确保实际情况与设计图纸保持一致,一旦发现问题,要及时调整。现场踏勘的内容主要包含以下几点。

第一,对施工有影响需要拆迁的各种建筑物、构筑物、公用事业杆线、管道和附属设施以及树木、农作物、坟墓等。

第二,因施工影响沿线建筑物、构筑物、公用事业杆线、管道安全,需加固保护的结构、数量和确切位置。

第三,沿线需重点保护的历史文物、古迹、测量标志及军事设施等。

第四,了解沿线填方、挖方的地段和数量以及可供借土或弃土的地点。

第五,摸清沿线可利用的排水沟渠和下水道,及以往暴雨后的积水情况,以便考虑施工期间的排水措施。

第六,了解现场附近供水、供电、通信设施、运输路线、场地及其他设施的情况。

第七,对外露的检查井、消防栓、人防通气孔等应在图上标明,以备核对,避免埋没或堵塞。

第八,了解沿线各单位因施工受到的影响情况及车辆交通影响,以便提出安排方案。

三、编制施工大纲与施工组织

编制施工大纲是指在道路工程施工之前,需要结合设计图纸与现场踏勘的实际情况,编制施工大纲,确定施工顺序、施工方法、施工进度以及工、料计划等。

设计施工组织设计是指导施工现场全过程、规划性、全局性的技术、经济和组织的综合性文件,是施工准备工作的重要组成部分。通过施工组织设计,能为施工企业编制施工计划,为实施施工准备工作计划提供依据,保证拟建工程施工的顺利进行。

四、编制施工图预算和施工预算

在设计交底和图纸会审的基础上,施工组织设计已被批准,预算部门即可着手编制单位工程施工图预算和施工预算,以确定人工、材料和机械费用支出;确定人工数量、材料消耗数量及机械台班使用量等。

施工图预算是由施工单位主持,在拟建工程开工前的施工准备工作期间所编制的确定建筑安装工程造价的经济文件,是施工企业签订工程承包合同,工程结算,银行拨、贷款,进行企业经济核算的依据。

施工预算是根据施工图预算、施工图样、施工组织设计和施工定额等文件,综合企业和工程实际情况所编制的。在工程确定承包关系以后进行,是施工单位内部经济核算和班

组承包的依据。

五、物资准备工作物资准备工作

是指施工中必需的劳动手段和施工对象的准备。它是根据各种物资需要量计划, 分别落实货源、组织运输和安排储备, 以保证连续施工的需要。物资准备是各种材料与机具设备购置、采集、调配、运输和储存, 临时便道及工程房屋的修建, 供水、供电、必需生活设施等的安装及建设等工作。

在道路施工前, 各种生产、生活必需的临时设施, 如各种仓库、搅拌站、预制构件厂(站、场)、各种生产作业棚、办公用房、宿舍、食堂、文化设施等均应按施工组织需要的数量、标准、面积、位置等在施工前修建完毕。

修建完成各种生产、生活必需的临时设施后, 应及时根据施工组织设计确定的材料、半成品、预制构件的数量、品种、规格以及施工机具设备, 编制好物资供应计划, 按计划订货和组织进货, 按照施工平面图要求在指定地点堆存或入库; 对沙子、碎石、钢材等材料应提前做各种试验, 确定其是否满足设计要求; 对各种标号混凝土提前做好配比; 对施工将用的施工机械和机具需用量进行计划, 按计划进场安装、检修和试运转。

施工队应提早调整, 健全和充实施工组织机构, 进行特殊工种、稀缺工种的技术培训, 提前预招临时工和合同工, 落实专业施工队伍和外包施工队伍。同时, 根据地理位置、气候条件, 冬、雨期施工也应做些适当准备。

六、测量控制

路基施工前要先做好施工测量工作, 包括导线复测、水准点复测与加密、中线放样、横断面检查与补测、增设水准点等。施工测量是整个公路工程施工的基础, 是确保线路、高程、尺寸、形状正确的手段, 必须认真做好这项工作。

(一) 导线复测

当原测中线的主要控制桩由导线来控制时, 施工单位必须根据设计资料认真做好导线复测工作, 根据地面上的控制桩做好检查复测工作。

导线复测要求精度较高, 应采用现代先进的测量仪器(如红外线测距仪等)进行测量, 测量精度应符合有关规程的规定。在进行正式测量前, 应对使用的仪器进行认真检验、校正, 以确保其测量精度。

当原有导线点不能满足施工要求时, 应适当加密, 保证在公路施工全过程中相邻导线点间能互相通视。

导线起、讫点应与设计单位的测定结果进行比较, 测量精度应满足设计要求。当设计未具体规定时, 应满足国家标准中导线测量技术要求的内容。

复测导线时, 必须确保其和相邻施工段的导线闭合。

对妨碍施工的导线点, 在施工前应当加以固定, 固定方法可采用交点法或其他固定方法。设置的护桩应牢固可靠, 桩位应便于架设测量仪器, 并设在施工范围以外。其他控制点也可以参照此法进行固定。

(二) 水准点复测与加密

水准点精度应符合技术标准的规定; 沿路线每 500m 应设一个水准点。在结构物附近、高填深挖路段、工程量集中及地形复杂路段, 要增设水准点。临时水准点必须符合相应等级的精度要求, 并与相邻水准点闭合; 当水准点有可能受到施工影响时, 应进行处理。

(三) 中线放样

路基开工前, 要进行全段中线放样并固定路线主要控制桩, 高速公路、一级公路宜采用坐标法进行测量放样; 中线放样时, 要注意路线中线与结构物中心、相邻施工段的中线闭合, 发现问题要及时查明原因, 并进行处理; 设计图纸和实际放样不符时, 必须查明原因后进行处理。

（四）横断面图核对

横断面图是否准确，关系到施工放样、工程量计算、施工标准、场地布置和工程结算等。在路基正式施工前，应详细检查、核对设计单位提供的横断面图，如果发现问题，应进行复测，并及时报告监理工程师和业主。如果设计单位未提供横断面图，应按照规定全部进行补测。

（五）路基工程放样

在路基工程正式施工前，应根据恢复的路线中桩、设计图表、施工机械、施工工艺和有关规定，确定路基用地界桩、路堤坡脚桩、路堑顶桩、边沟、取土坑、护坡道、弃土堆等的具体位置。在距路中心一定安全距离处，还要设立控制桩，其间距一般不宜大于 50m。在桩上应注明桩号、相对路中心的填挖高，通常用“+”表示填方，用“-”表示挖方。

在放完边桩后，应进行边坡的放样。对于深挖高填地段，每挖、填 5m 应复测一次中线桩，测定其标高及宽度，以控制边坡角的大小。

对于施工工期较长的公路工程，在路基工程施工期间，应至少每半年复测一次水准点。

在季节冻融地区施工的路基，在冻融后也应对水准点进行复测。

采用机械施工时，应在边桩处设立明显的填挖标志。高速公路和一级公路在施工过程中，宜在不大于 200m 的路段内，距中心桩一定距离处埋设能够控制标高的控制桩，从而进行准确的施工控制。如果在施工中桩被碰倒或丢失，应当及时按规定将其补上，以免影响工程的正常施工。

取土坑放样时，应在坑的边缘设立明显标志，注明土场供应里程桩号及挖掘深度；对于排水用的取土坑，当挖至距设计坑底 0.2m~0.3m 时，应按照设计修整坑底纵坡。

边沟、截水沟和排水沟放样时，宜先做成样板架检查，也可每隔 10m~20m 在沟内外边缘钉上木桩并注明里程及挖深。

在整个路基工程施工中，应注意保护设置的所有标志，特别注意保护一些原始控制点。

七、试验

路基施工前，按照有关规定和要求，建立工地实验室；要对路基基底土进行相关试验，每千米至少取 2 个点。土质改变时，视具体情况增加取样点数；要及时对来源不同、性质不同的拟作为路基填料的材料进行复查和取样试验，试验项目包括天然含水量、液限、塑限、标准击实试验、CBR 试验等，必要时进行颗粒分析、比重、有机质含量、易溶盐含量、冻胀和膨胀量等试验；如使用特殊材料作为填料，应按相关标准做相应试验，必要时还应进行环境影响评估，经批准后方可使用。

八、施工场地的准备

（一）搭建临时设施

现场生活和生产用地临时设施，在布置安装时，要遵照当地有关规定进行规划布置，如房屋的间距、标准是否符合卫生和防火要求，污水和垃圾的排放是否符合环境的要求等。因此，临时建筑平面图及主要房屋结构图都应报请城市规划、市政、消防、交通、环境保护等有关部门审查批准。

各种生产、生活用的临时设施，包括各种仓库、混凝土搅拌站、预制构件场、机修站、各种生产作业棚、办公用房、宿舍、食堂、文化生活设施等，均应按批准的施工组织设计规定的数量、标准、面积、位置等要求组织修建。大、中型公路工程可分批分期修建。

（二）临时交通便道

在工地布设临时交通便道时应遵循下列原则。

临时交通道路以最短距离通往主体工程施工场所，并连接主干道路，使内外交通便利；充分利用原有道路，对不满足使用要求的原有道路，应在充分利用的基础上对其进行改建，

节约投资和施工准备时间；在本工程的施工与现有的道路、桥涵发生冲突和干扰之处，承包人都要在本工程施工之前完成改道施工或修建临时道路；利用现有的乡村道路作为临时道路，应将该乡村道路进行修整、加宽、加固及设置必要的交通标志，并经监理工程师验收合格后方可通行；工程施工期间，应配备人员对临时道路进行养护，以保证临时道路的正常通行；尽量避开洼地和河流，不建或少建临时桥梁。

（三）清理场地

清理场地也是路基工程施工前的一项重要准备工作。如场地清理不符合要求，不仅不能保证公路工程的质量，而且会严重影响整个工程的施工进度。清理场地主要包括以下工作。

在进行路基工程施工之前，需要根据设计说明书上的具体要求进行公路用地放样工作，由业主进行土地征用工作及手续的办理。作为施工单位，需要根据实际施工过程中的用地需要，向相关部门提出增加临时用地计划，并且对增加的部分进行测量，将测量的数据汇总，形成平面图，上交给相关部门，以便拆迁及临时用地手续等工作的进行。

在路基施工用地的范围内，如果有房屋、道路以及各种通信及电力设施等构筑物，施工之前需要向有关部门进行协商，以便进行拆迁或改造。如果在施工地点附近存在较为危险的建筑物，那么为了保障施工安全和施工质量，需要将存在危险的建筑物加固。若在施工范围内存在文物古迹，应与相关部门进行协商，尽可能保护文物古迹。

在路基工程施工之前，需要将施工范围内的树木进行清理。可以将树木移植到路基工程的施工范围之外，如果需要砍伐树木，那么被砍伐的树木也要转移到路基用地的范围外，并进行妥善处理，避免火灾等安全事故的发生。

对于二级或者二级以上的公路和填方高度在 1m 以内的公路路堤，需要把路基基地范围内的所有树根挖除，把坑穴填平，并使用专用机械将其夯实；对于二级以下或者填方高度大于 1m 的公路路堤，可以不必将树根全部挖除，但需要注意的是，树根绝对不能露出地面。

此外，取土坑范围内的树根也需要全部清除。

路幅范围内以及取土坑表面的植被、草皮以及腐殖土全部清理干净，同时，清理填方和借方地段的地面。具体清理的深度需要以实际种植土的厚度来确定，清理出的种植土要集中处理，避免影响施工或者出现安全隐患。填方路段在将表面清理干净后，需要进行整平、压实等工序，待其符合标准时才能够进行填方工作。

九、试验路段施工

一般情况下，路基开工前要进行试验路段施工；路段长度不宜少于 100m（在试验段起终点增加 10m~20m 的富余工作面）；试验路段应选择在地质条件、断面形式等工程特点具有代表性的地段；调查后，编写试验路段的开工报告并报批（附拟定的施工组织设计方案、施工工艺等）。

路堤试验路段施工。

路堤试验路段施工包括以下内容：第一，填料试验、检测报告等。第二，压实工艺主要参数：机械组合；压实机械规格、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度；最佳含水量及碾压时含水量允许偏差等。第三，过程质量控制方法、指标。第四，质量评价指标、标准。第五，优化后的施工组织方案及工艺。第六，原始记录、过程记录。第七，对施工设计图的修改建议等。

根据试验路段施工所得到的成果，进行具体的编制试验路段的总结报告报批（附路基施工组织设计方案、施工工艺等）。

试验路段总报告审批后再进行全线路基单位工程的开工报告报批，接着编制路基分部工程、分项工程的开工报告报批。路基施工前先做好必要的临时施工便道和社会交通便道工作，保证社会交通车辆及施工车辆顺畅通行。

第二节 路基填筑

一、一般规定

(一) 路堤与路床

1. 路堤

高于原地面的填方路基。路堤在结构上分为上路堤和下路堤，上路堤是指路床以下 0.7m 厚度范围的填方部分，下路堤是指上路堤以下的填方部分。

2. 路床

路面结构层以下 0.8m 或 1.2m 范围内的路基部分，分为上路床及下路床两层。上路床厚度为 0.3m；轻、中及重交通公路下路床厚度为 0.5m，特重、极重交通公路下路床厚度为 0.9m。

(二) 路基填料

1. 宜选用级配好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料。

2. 含草皮、生活垃圾、树根、腐殖质的土严禁作为填料。

3. 泥炭土、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土，不得直接用于填筑路基；确需使用时，应采取技术措施进行处理，经检验满足要求后方可使用。

4. 粉质土不宜直接用于填筑二级及二级以上公路的路床，不得直接用于填筑冰冻地区的路床及浸水部分的路堤。

5. 路基填料最小承载比和最大粒径应符合相关规定。

(三) 零填路基施工

1. 路床范围原状土符合要求的，可直接进行成形施工。

2. 路床范围为过湿土时应进行换填处理，设计有规定时按设计厚度换填，设计未规定时按以下要求换填：高速公路、一级公路换填厚度宜为 0.8~1.2m，若过湿土的总厚度小于 1.5m，则宜全部换填；二级公路的换填厚度宜为 0.5~0.8m。

3. 高速公路、一级公路路床范围为崩解性岩石或强风化软岩时，应进行换填处理。设计有规定时按设计厚度换填，设计未规定时换填厚度宜为 0.3~0.5m。

二、路基填筑方法

路基填筑的方法有水平分层填筑法、纵向分层填筑法、竖向填筑法和混合填筑法等。在施工中，能够用水平分层填筑法的尽量采用水平分层填筑法。

(一) 水平分层填筑法

水平分层填筑法：填筑时，按照横断面全宽分成水平层次，逐层向上填筑。

如原地面不平，应由最低处分层填起。水平分层填筑法施工操作方便、安全，压实质量易于保证。

(二) 纵向分层填筑法

纵向分层填筑法：依路线纵坡方向分层，逐层向上填筑；适用于地面纵坡大于 12%、用推土机从路堑取料、填筑距离较短的路堤；缺点是不易碾压密实。

(三) 竖向填筑法

在深谷、陡坡、断岩、泥沼等地段机械无法进场的路堤，无法自下而上分层填筑，可采用竖向填筑法。竖向填筑是指从路堤的一端或两端按横断面全部高度，逐步推进填筑。

竖向填筑因填土过厚不易压实，施工时，需采取下列措施：选用振动或夯击式压实机械，选用沉陷量较小及颗粒均匀的砂石材料，允许自然沉降一段时间，待其稳定后，再修建路面。

(四) 混合填筑法

混合填筑法：在深谷、陡坡地段填筑路堤，路堤下层用竖向填筑，而上层用水平分层填筑。该方法适用于因地形限制或填筑堤身较高，不宜采用水平分层填筑或竖向填筑法进

行填筑的情况。

三、路堤施工

(一) 施工取土

1. 路基填方取土应根据设计要求, 结合路基排水和当地土地规划、环境保护要求进行, 不得任意挖取。

2. 施工取土应不占或少占良田, 尽量利用荒坡、荒地, 取土深度应结合地下水等因素考虑, 利于复耕。原地面耕植土应先集中存放, 以利再用。

3. 自行选定取土方案时, 应符合下列技术要求:

(1) 地面横向坡度陡于 1: 10 时, 取土坑应设在路堤上侧。

(2) 桥头两侧不宜设置取土坑。

(3) 取土坑与路基之间的距离, 应满足路基边坡稳定的要求。取土坑与路基坡脚之间的护坡道应平整密实, 表面设 1%~2% 向外倾斜的横坡。

(二) 施工机械选择

施工机械选择应考虑工程特点、土石种类及数量、地形、填挖高度、运距、气候条件、工期等因素, 经济合理地确定。填方压实应配备专用碾压机具。

(三) 填土路堤

1. 路堤填筑

(1) 性质不同的填料, 应水平分层、分段填筑, 分层压实。同一层路基的全宽应采用同一种填料, 不得混合填筑。每种填料的填筑层压实后的连续厚度宜不小于 500mm。路基上部宜采用水稳性好或冻胀敏感性小的填料。在有地下水的路段或浸水路堤, 应填筑水稳性好的填料。

(2) 在透水性差的压实层上填筑透水性好的填料前, 应在其表面设 2%~4% 的双向横坡, 并采取相应的防水措施。不得在透水性好的填料所填筑的路堤边坡上覆盖透水性差的填料。

(3) 每种填料的松铺厚度应通过试验确定。

(4) 每一填筑层压实后的宽度不得小于设计宽度。

(5) 路堤填筑时, 应从最低处起分层填筑, 逐层压实。

(6) 填方分几个作业段施工时, 接头部位如不能交替填筑, 则先填路段, 应按 1: 1~1: 2 坡度分层留台阶; 如能交替填筑, 则应分层相互交替搭接, 搭接长度应不小于 2m。

2. 土质路基压实度

土质路基压实度应符合行业标准

3. 施工过程质量控制

(1) 施工过程中, 每一压实层均应进行压实度检测, 检测频率为每 1000m² 不少于 2 点。

压实度检测可采用灌砂法、环刀法等, 检测应符合国家要求的有关规定。

(2) 施工过程中, 每填筑 2m 宜检测路中线和宽度。

4. 土质路基顶面施工质量

路基填筑至设计高程并整修完成后, 其施工质量应符合行业标准规定。

(四) 填石路堤

填石路堤: 用粒径大于 40mm 且含量超过总质量 70% 的石料填筑的路堤。

1. 填料

(1) 硬质岩石、中硬岩石可用于路堤和路床填筑; 软质岩石可用于路堤填筑, 不得用于路床填筑; 膨胀岩石、易溶性岩石和盐化岩石不得用于路基填筑。

(2) 路基的浸水部位, 应采用稳定性好、不易膨胀崩解的石料填筑。

(3) 路堤填料粒径应不大于 500mm, 且不宜超过层厚的 $2/3$ 。路床底面以下 400mm 范围内, 填料最大粒径不得大于 150mm, 其中小于 5mm 的细料含量应不小于 30%。

2. 填筑

(1) 填石路堤应分层填筑压实。在陡峻山坡地段施工特别困难时, 三级及三级以下砂石路面公路的下路堤可采用倾填方式填筑。

(2) 岩性相差大的填料应分层或分段填筑, 软质石料与硬质石料不得混合使用。

(3) 填石路堤顶面与细粒土填土层之间应填筑过渡层或铺设无纺土工布隔离层。

(4) 压实机械宜选用自重不小于 18t 的振动压路机。

(5) 填石路堤采用强夯、冲击压路机进行补压时, 应避免对附近构造物造成影响。

(6) 中硬、硬质石料填筑路堤时, 应进行边坡码砌。码砌防护的石料强度、尺寸应满足设计要求。边坡码砌与路基填筑应基本同步进行。

(7) 采用易风化岩石或软质岩石石料填筑时, 应按设计要求采取边坡封闭和底部设置排水垫层、顶部设置防渗层等措施。

3. 质量控制

(1) 施工过程中, 每一压实层应采用试验路段确定的工艺流程、工艺参数控制, 压实质量可采用沉降差指标进行检测。

(2) 施工过程中, 每填筑 3m 高宜检测路基中线和宽度。

(3) 填石路堤填筑至设计高程并整修完成后, 其施工质量应符合行业标准的规定。

(4) 填石路堤成型后的外观质量标准: 路堤表面应无明显孔洞; 大粒径石料应不松动; 边坡码砌紧贴、密实无松动, 砌块间承接面向内倾斜, 坡面平顺; 路基边线与边坡不应出现单向累计长度超过 50m 的弯折; 上边坡不得有危石。

(五) 土石路堤

土石路堤: 用石料含量占总质量 30%~70% 的土石混合材料填筑的路堤。

1. 填料

(1) 膨胀岩石、易溶性岩石等不宜直接用于路基填筑, 崩解性岩石和盐化岩石等不得用于路基填筑。

(2) 天然土石混合填料中, 中硬、硬质石料的最大粒径不得大于压实层厚的 $2/3$; 石料为强风化石料或软质石料时, 其 CBR 值应符合表 3.1 的规定, 石料最大粒径不得大于压实层厚。

2. 填筑

(1) 压实机械宜选用自重不小于 18t 的振动压路机。

(2) 应分层填筑压实, 不得倾填。

(3) 应使大粒径石料均匀分散在填料中, 石料间孔隙应填充小粒径石料和土。

(4) 土石混合料来自不同料场, 其岩性或土石比例相差大时, 宜分层或分段填筑。

(5) 填料由土石混合材料变化为其他填料时, 土石混合材料最后一层的压实厚度应小于 300mm。该层填料最大粒径宜小于 150mm, 压实后表面应无孔洞。

(6) 中硬、硬质石料填筑土石路堤时, 宜进行边坡码砌。码砌与路堤填筑宜同步进行, 软质石料土石路堤的边坡按土质路堤边坡处理。

(7) 采用强夯、冲击压路机进行补压时, 应避免对附近构造物造成影响。

3. 质量控制

(1) 中硬、硬质岩石的土石路堤填筑施工过程中, 每一压实层应采用试验路段确定的工艺流程、工艺参数, 压实质量可采用沉降差指标进行检测。

(2) 软质石料的土石路堤填筑质量标准应符合土质路基压实度标准。

(3) 施工过程中, 每填筑 3m 高宜检测路线中线和宽度。

(4) 路基成形后质量应符合表 3.3 的规定。

(5) 外观质量标准: 路基表面无明显孔洞; 大粒径填石应不松动; 中硬、硬质石料土石路基边坡码砌紧贴、密实无松动, 砌块间承接面应向内倾斜, 坡面平顺。

(六) 高路堤与陡坡路堤

路基填土最大边坡高度大于 20m 的路堤视为高路堤, 地面斜坡陡于 1: 2.5 的路堤视为陡坡路堤。

①高路堤段应优先安排施工, 宜预留 1 个雨季或 6 个月以上的沉降期。

②高路堤填料宜采用强度高、水稳性好的材料。路堤浸水部分应采用水稳性和透水性好的材料。

③高路堤施工中, 应按设计要求预留高度与宽度, 并进行动态监控。

④高路堤宜每填筑 2m 冲击补压一次, 或每填筑 4~6m 强夯补压一次。

⑤高路堤填筑过程中, 应进行沉降和稳定性观测。

⑥在不良地质路段的高路堤与陡坡路堤填筑, 应控制填筑速率, 并进行地表水平位移监测, 必要时进行地下土体分层水平位移监测。

(七) 桥台背、涵背与墙背填筑

桥台、涵洞及挡土墙等结构物背部的回填作业面小, 压实困难。该处路基是在结构物完成后再填筑, 加之是路基与结构物的刚柔结合部, 易产生跳车等病害。

1. 填料选择

填料宜采用透水性材料、轻质材料等, 崩解性岩石、膨胀土不得用于桥台背、涵背与墙背填筑。

2. 桥台背、墙背填筑

(1) 二级及二级以上公路应按设计做好过渡段, 过渡段路堤压实度应不小于 96%; 二级以下公路的路堤与回填的联结部, 应预留台阶。

(2) 台背和锥坡的回填宜同步进行。

(3) 台背与墙背 1.0m 范围内回填宜采用小型夯实机具压实。

(4) 分层压实厚度宜不大于 150mm, 填料粒径宜小于 100mm, 压实度应不小于 96%。

(5) 部位狭窄时, 可采用低强度等级混凝土、浆砌片石等材料回填。

(6) 回填部分的路床宜与路堤路床同步填筑。

(7) 台背与墙背回填应在结构物砂浆或混凝土强度达到设计强度的 75% 以上时进行。

3. 涵背回填

(1) 涵洞完成后, 当涵洞砌体砂浆或混凝土强度达到设计强度的 75% 时, 方可进行涵洞洞身两侧的回填。

(2) 涵洞两侧回填填料粒径宜小于 50mm, 压实度应不小于 96%, 涵洞两侧应对称分层回填压实。

(3) 涵洞两侧紧靠涵台部分的回填土不得采用大型机械施工, 宜采用人工配合小型机械的方法夯填密实。

(4) 两侧及顶面填土时, 应采取措施防止压实过程对涵洞产生不利后果。

(八) 半填半挖路基、路堤与路堑过渡段

1. 基底处理

(1) 应从填方坡脚起向上设置向内侧倾斜的台阶, 台阶宽度不小于 2m; 在挖方一侧, 台阶应与每个行车道宽度一致、位置重合。

(2) 对于石质山坡, 应清除原地面松散风化层, 按设计开凿台阶。

(3) 应清除孤石、石笋。

(4) 对于纵向填挖结合段, 应合理设置台阶。

(5) 对于有地下水或地面水汇流的路段，应采用合理措施导排水流。

2. 施工

- (1) 路基应从最低标高处的台阶开始分层填筑，分层压实。
- (2) 填筑时，应严格处理横向、纵向、原地面等结合界面，确保路基的整体性。
- (3) 路基填筑过程中，应及时清理设计边坡外的松土、弃土。
- (4) 高度小于 800mm 的路堤、零填及挖方路床的加固换填宜选用水稳性较好的材料。

四、路基填筑施工工艺流程

(一) 路基填筑施工的工艺流程

路基填筑施工的工艺流程如图 2-1 所示。

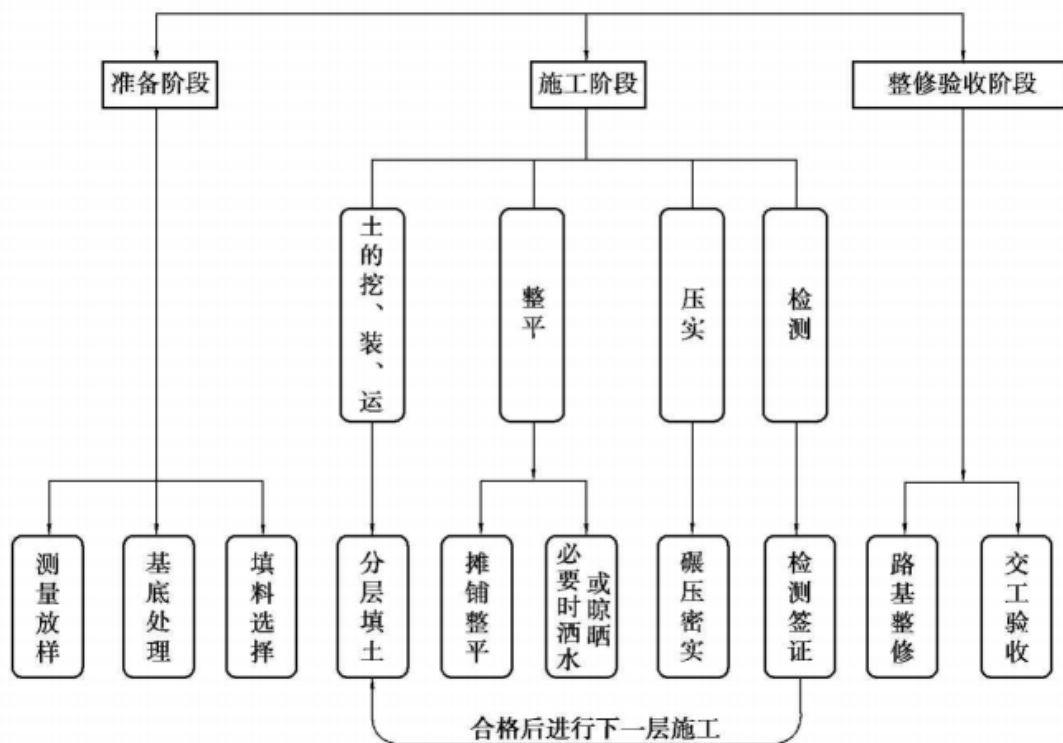


图 2-1 路基填筑施工的工艺流程图

(二) 路基填筑施工的主要工序

路基填筑施工的主要工序有填料选择，基底处理，土的挖、装、运，摊铺整平、碾压和检测。

1. 填料选择

填筑路堤的材料（以下简称“填料”）以采用强度高，水稳定性好，压缩变形小，便于施工压实以及运距短的土、石为宜。选择填料时，一方面要考虑料源和经济性，另一方面要顾及填料的性质是否合适。

为了节约投资和少占耕地良田，一般应利用附近路堑或附属工程的弃方作为填料。

2. 基底处理

路堤基底处理是保证路堤稳定与坚固极为重要的措施。路堤填筑前进行基底处理，能使填土与原来的表土紧密结合，能使初期填土作业顺利进行；能使地基保持稳定，增加承载能力；能防止因草皮、树根腐烂而引起路堤沉降。

3. 土的挖、装、运

根据运距和填料特点选择适宜的机械设备，当采用挖掘机（或装载机）配合运输车辆将填料装运至填筑地点时，为了保证层厚符合设计和规范要求，填料摊铺均匀，碾压后表

面平整且利于排水,可用石灰线划分方格网指导装卸车卸料。

4. 摊铺整平

可先用推土机初平,再用平地机精平,在精平后检测其松铺厚度是否与试验段确定的松铺厚度吻合,确认一致后开始碾压作业。

5. 碾压

碾压是路基填筑的一个关键工序,路基是否碾压密实是决定路基工程施工质量的一个重要因素。

(1) 路基压实的目的及原理

路基填土经过开挖、运输、摊铺等过程后,已变得十分松散。压实的目的是通过碾压做功,使土粒重新组合,彼此挤紧,孔隙缩小,形成密实整体,从而增加强度,提高稳定性。大量的试验和工程实践已经证明:土基压实后,路基的塑性变形、渗透系数、毛细水作用及隔温性能等均有明显改善。

路基土体压实按压实机械作用种类不同分为静压、冲击作用、振动作用。其中,静压是依靠机械自重对土体进行密实的方法;冲击作用是将一定质量的物体提升一定高度,然后自由下落,产生冲击,对土体进行冲击压实;振动作用是振动压路机利用其自身的重力和振动作用,形成持续不断的冲击波,使土粒运动,以达到密实土体的目的。

(2) 影响压实效果的因素

对于细粒土的路基,影响压实效果的因素有内因和外因两个方面。内因指土质和湿度,外因指压实功能(如机械性能、压实时间与速度、土层厚度)及压实时外界自然和人为的其他因素等。

(3) 压实机具的选择

土基压实机具的类型较多,大致上分为碾压式、夯击式和振动式三大类。碾压式包括光面碾(普通的两轮和三轮压路机)、羊足碾和轮胎碾等。夯击式除了人工使用的石夯外,机动设备中有夯锤、夯板、风动夯及蛙式夯机等。振动式有振动器、振动压路机等。此外,运土工具中的汽车、土方机械等,也可用于路基压实。

不同压实机具,适用于不同土质及不同土层厚度等条件。正常条件下,对于砂性土的压实效果,振动式较好,夯击式次之,碾压式较差。对于黏性土,则宜选用碾压式或夯击式,振动式较差甚至无效。

压实机具对土施加的外力应有所控制,以防压实功能太大,压实过度,不仅失效、浪费甚至有害。一般认为,压实时的单位压力不应超过土的强度极限。不同土的强度极限,还与压实机具的质量、相互接触的面积、施荷速度及作用时间(遍数)等有关。

(4) 碾压

土基压实时,按试验路段选定的机具类型、土层厚度、行程遍数及最佳效果的碾压速度进行碾压。压实操作时,宜先轻后重、先慢后快,在整个全宽的填土上压实,宜纵向分行进行,直线段由两边向中间,曲线段宜由曲线的内侧向外侧(当曲线半径超过 200m 时,可以按直线段方式进行)。两行之间的接头一般应重叠 $1/4 \sim 1/3$ 轮迹,对于三轮压路机则应重叠后轮的 $1/2$,确保压实均匀,不漏压。对于压不到的边角,应辅以人力或小型机具夯实。纵向分段压好以后,进行第二段压实时,其在纵向接头处的碾压范围宜重叠 $1 \sim 2$ m,以确保接头处平顺过渡。压实全过程中,土的含水率应在最佳含水率的 $\pm 2\%$ 以内。如含水率过大,应翻晒;如含水率过小,则应适当洒水。

填石路堤在压实前,应先用大型推土机摊铺整平。个别不平处,应用人工配合,用细石屑找平。采用的压路机宜选 18t 以上的振动压路机,碾压时要求均匀压实,不得漏压。

土石混填路堤的压实要根据混合料中巨粒土含量的多少来确定。当巨粒土含量较少时,应按填土路堤的压实方法进行压实;当巨粒土含量较大时,应按填石路堤的压实方法压实。

6. 检测

压实质量以压实度控制。碾压完毕后，应按规定的方法和频率进行压实度检测，检测合格后方可进入下一道工序。

第三节 路堑开挖

一、土质路堑开挖

（一）土质路堑施工工艺流程

土质路堑施工工艺流程如图 2-2 所示。

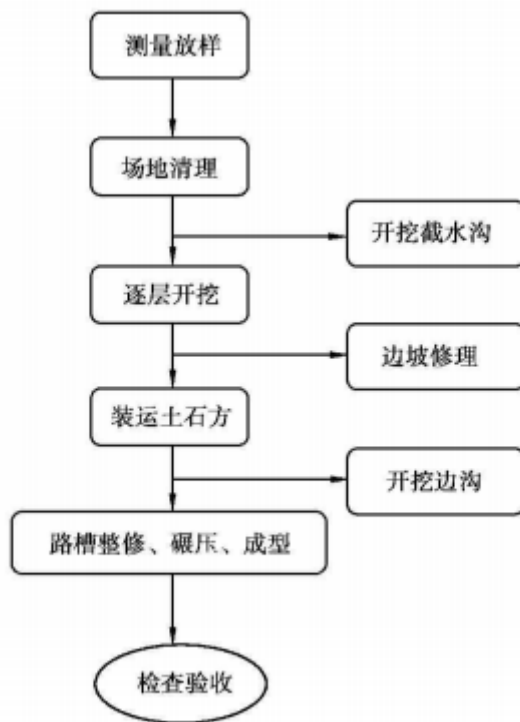


图 2-2 土质路堑施工工艺流程

（二）土质路堑开挖方法

土质路堑开挖应根据地面坡度、开挖断面、纵向长度及出土方向等因素，结合土方调配，选用安全、经济的开挖方案。目前常用的开挖方法可分为横向挖掘法、纵向挖掘法及混合式挖掘法 3 种。

1. 横向挖掘法

土质路堑横向挖掘具体方法有：

（1）单层横向全宽挖掘法：从开挖路堑的一端或两端按断面全宽一次性挖到设计标高，逐渐向纵深挖掘，挖出的土方一般都是向两侧运送。该方法适用于挖掘浅且短的路堑。

（2）多层横向全宽挖掘法：从开挖路堑的一端或两端按断面分层挖到设计标高。该方法适用于挖掘深且短的路堑。

2. 纵向挖掘法

土质路堑纵向挖掘多采用机械作业，具体方法有：

（1）分层纵挖法：沿路堑全宽，以深度不大的纵向分层进行挖掘。该方法适用于较长的路堑开挖。

（2）通道纵挖法：先沿路堑纵向挖掘一通道，然后将通道向两侧拓宽以扩大工作面，并利用该通道作为运土路线及场内排水的出路。该层通道拓宽至路堑边坡后，再挖下一层通道，如此向纵深开挖至路基标高。该法适用于较长、较深、两端地面纵坡较小的路堑开

挖。

(3) 分段纵挖法: 沿路堑纵向选择一个或几个适宜处, 将较薄一侧堑壁横向挖穿, 使路堑分成两段或数段, 各段再纵向开挖。该方法适用于过长、弃土运距过远、一侧堑壁较薄的傍山路堑开挖。

3. 混合式挖掘法

多层横向全宽挖掘法和通道纵挖法混合使用, 先沿路线纵向挖通道, 然后沿横向坡面挖掘, 以增加开挖面。该方法适用于路线纵向长度和挖深都很大的路堑开挖。

(三) 一般规定

①拟用作路基填料的土方, 应分类开挖、分类使用。非适用材料应按设计要求或作为弃方处理。

②土方开挖应自上而下逐级进行, 不得乱挖超挖, 严禁掏底开挖。

③开挖过程中, 应采取措施保证边坡稳定。开挖至边坡线前, 应预留一定宽度。预留的宽度应保证刷坡过程中设计边坡线外的土层不受到扰动。

④开挖至零填、路堑路床部分后, 应及时进行路床施工。如不能及时进行, 宜在设计路床顶高程以上预留至少 300mm 厚的保护层。

⑤应采取临时排水措施, 施工作业面不得积水。

⑥土方开挖遇到地下水时, 应采取排导措施, 将水引入路基排水系统, 不得随意堵塞泉眼。路床土含水率高或为含水层时, 应采取设置渗沟、换填、改良土质等处理措施。路床填料应具有好的透水性和水稳性。

(四) 机械开挖作业方式

1. 推土机开挖土质路堑

推土机开挖土方作业由切土、运土、卸土、倒退(或折返)、空回等过程组成一个循环。影响作业效率的主要因素是切土和运土两个环节, 因此必须以最短的时间和距离切满土, 并尽可能减少土在推运过程中散失。推土机开挖土质路堑作业方法有下坡推土法、槽形推土法、并列推土法、波浪式推土法等。

2. 挖掘机开挖土质路堑

公路工程施工中, 以单斗挖掘机最为常见, 而路堑土方开挖中又以正铲挖掘机使用最多。正铲挖掘机挖装作业灵活, 回转速度快, 工作效率高, 特别适用于与运输车辆配合开挖土方路堑。正铲工作面高度一般不应小于 1.5m, 否则将降低生产效率, 过高则易塌方损伤机具。其作业方法有侧向开挖和正向开挖。

二、石质路堑开挖

(一) 石质路堑开挖方法

1. 钻爆开挖

钻爆开挖是当前广泛采用的开挖施工方法, 有薄层开挖、分层开挖(梯段开挖)、全断面一次开挖和特高梯段开挖等方式。

2. 直接用机械开挖

使用带有松土器的重型推土机破碎岩石, 一次破碎深度为 0.6~1.0m。该方法适用于施工场地开阔、大方量的软岩石方工程。其优点是没有钻爆工序作业, 不需要风、水、电辅助设施, 简化了场地布置, 加快了施工进度, 提高了生产能力。其缺点是不适于破碎坚硬岩石。对于较坚硬的石方工程, 可用炮机进行破碎。

3. 静态破碎法

将膨胀剂放入炮孔内, 利用产生的膨胀力缓慢地作用于孔壁, 经过数小时至 24 小时达到 300~500MPa 的压力, 使介质裂开。该方法适用于在设备附近、高压线以及开挖与浇筑过渡段等特定条件下的开挖。其优点是安全可靠, 没有爆破产生的公害; 缺点是破碎效

率低，开裂时间长。

（二）石质路堑开挖规定

1. 石方开挖应根据岩石的类别、风化程度、岩层产状、岩体断裂构造、施工环境等因素确定开挖方案。

2. 应逐级开挖，逐级按设计要求进行防护。施工过程中，每挖深 3~5m 应进行边坡边线和坡率复测。

3. 爆破作业应符合国家“爆破安全规程”的有关规定。爆破施工要严格控制飞石距离，采取切实可行的措施，确保人员和建筑物的安全。爆破施工组织设计应按相关规定报批。

4. 严禁采用洞室爆破，靠近边坡部位的硬质岩应采用光面爆破或预裂爆破。

5. 爆破法开挖石方，应先查明空中缆线、地下管线的位置、开挖边界线外可能受爆破影响的建筑物结构类型、居民居住情况等，对不能满足安全距离的石方宜采用化学静态爆破或机械开挖。

6. 爆破开挖石方宜按以下程序进行：爆破影响调查与评估→爆破施工组织设计→培训考核、技术交底→主管部门批准→清理爆破区施工现场的危石等→炮眼钻孔作业→爆破器材检查测试→炮孔检查合格→装炸药及安装引爆器材→布设安全警戒岗→堵塞炮孔→撤离施爆警戒区和飞石、震动影响区的人、畜等→爆破作业信号发布及作业→清除盲炮→解除警戒→测定、检查爆破效果（包括飞石、地震波及对施爆区内构造物的损伤、损失等）。

7. 炮眼按其深度不同，采用手风钻或潜孔钻钻孔。炮眼布置在整体爆破时，采用“梅花形”或“方格形”，预裂爆破时采用“一字形”。

8. 装药前要布置好警戒，选择好通行道路，认真检查炮孔、洞室，吹净残渣，排除积水，做好爆破器材的防水保护工作。雨期或有地下水时，可考虑采用乳化防水炸药。

9. 顺利起爆并清除边坡危石后，用推土机清出道路，用推土机、铲运机纵向出土填方。运距较远时，用挖掘机装载土，自卸汽车运输。

10. 盲炮处理：因各种原因未能按设计起爆，造成药包拒爆的装药或部分装药称为盲炮。

盲炮不但浪费炸药和材料，影响施工进度，而且严重地影响安全生产。因此，必须采取一切有效的措施防止产生盲炮。检查人员发现盲炮或怀疑盲炮，应向爆破负责人报告后组织进一步检查和处理，发现其他不安全因素应及时排查处理。在上述情况下，不应发出解除警戒信号。

11. 边坡整修及检验：

（1）挖方边坡应从开挖面往下逐级进行整修，同时清除危石及松动石块。

（2）石质边坡不宜超挖。

（3）石质边坡质量要求：边坡上无松石、危石。

12. 石质路床清理及验收：

（1）欠挖部分应予凿除。超挖部分应采用强度高的砂砾、碎石进行找平处理，不得采用细粒土找平。

（2）路床底面有地下水时，可设置渗沟进行排导，渗沟应用硬质碎石回填。

（3）路床的边沟应与路床同步施工。

13. 深挖路堑：

（1）应根据地形特征设置边坡观测点，施工过程中应对深挖路堑的稳定性进行监测。

（2）施工过程中，应核查地质情况，如与设计不符，应及时反馈处理。

（3）每挖深 3~5m 应复测一次边坡。

（三）盲炮处理

1. 一般规定

（1）一旦出现盲炮，应停止盲炮附近的所有其他工作。处理盲炮前，应由爆破领导人

定出警戒范围,并在该区域边界设置警戒。处理盲炮时无关人员不许进入警戒区。

(2) 应派有经验的爆破员处理盲炮,硐室爆破的盲炮处理应由爆破工程技术人员提出方案并经单位主要负责人批准。

(3) 电力起爆网路发生盲炮时,应立即切断电源,及时将盲炮电路短路。

(4) 导爆索和导爆管起爆网路发生盲炮时,应首先检查导爆索和导爆管是否有破损或断裂,发现有破损或断裂的应修复后重新起爆。

(5) 严禁强行拉出或掏出炮孔中的起爆药包。

(6) 盲炮处理后,应再次仔细检查爆堆,将残余的爆破器材收集起来统一销毁;在不能确认爆堆无残留的爆破器材之前,应采取预防措施。

(7) 盲炮处理后应由处理者填写登记卡片或提交报告,说明产生盲炮的原因、处理的方法、效果和预防措施。

2. 浅孔爆破的盲炮处理

(1) 经检查确认起爆网路完好时,可重新起爆。

(2) 可钻平行孔装药爆破,平行孔距盲炮孔不应小于 0.3m。

(3) 可用木、竹或其他不产生火花材料制成的工具,轻轻地将炮孔内堵塞物掏出,用药包诱爆。

(4) 可在安全地点外用远距离操纵的风水喷管吹出盲炮堵塞物及炸药,但应采取措施回收雷管。

(5) 处理非抗水类炸药的盲炮,可将堵塞物掏出,再向孔内注水,使其失效,但应回收雷管。

(6) 盲炮应在当班处理,当班不能处理或未处理完毕,应将盲炮情况(盲炮数目、炮孔方向、装药数量、起爆药包位置、处理方法和处理意见)在现场交接清楚,由下一班继续处理。

3. 深孔爆破的盲炮处理

(1) 爆破网路未被破坏,且最小抵抗线无变化者,可重新连接起爆;最小抵抗线有变化者,应验算安全距离,并加大警戒范围后,再连接起爆。

(2) 可在距盲炮孔口不少于 10 倍炮孔直径处另打平行孔装药起爆。爆破参数由爆破工程技术人员确定并经爆破领导人批准。

(3) 所用炸药为非抗水炸药,且孔壁完好时,可取出部分堵塞物向孔内灌水使之失效,然后做进一步处理,但应回收雷管。

(四) 路基爆破施工

1. 爆破器材

(1) 炸药

①炸药的性质。炸药是一种化学性质不稳定的物质,在外力的作用下(如冲击、摩擦等),易发生爆炸。爆速高达每秒几千米,爆温高达 1500~4500℃,压力超过 10 万个大气压,因此,具有非常大的破坏力。炸药的性质用以下指标描述:

a. 炸药的威力:一般用爆力和猛度来衡量。爆力是指炸药破坏一定量介质的能力;猛度是指炸药爆炸时,将一定量岩石粉碎成细块的能力。

b. 炸药的敏感度:指炸药在外能作用下发生爆炸的难易程度,包括爆燃点、撞击敏感度、摩擦敏感度和起爆敏感度。

c. 炸药的安定性:指炸药在长期存储时,保持其原有物理化学性质不变的能力。

②炸药的分类。爆破工程中常将炸药分为如下两类:

a. 起爆炸药:一种爆炸速度极高的烈性炸药,爆速可达 2000~8000m/s,用以制造雷管。

b. 主要炸药：用以对岩石或其他介质进行爆炸的炸药。它的敏感性较低，要在起爆炸药强力的冲击下才能爆炸。它可分为两种：一是缓性炸药，爆速为 $1000\sim 3500\text{m/s}$ ，如硝酸铵炸药、铵油炸药；二是粉碎性炸药，爆速为 $3500\sim 7000\text{m/s}$ ，如 TNT、胶质炸药等。

(2) 起爆器材

雷管是常用的起爆材料，按照引爆方式分为电雷管和火雷管两种。电雷管又分为即发、延期及毫秒雷管。雷管外壳有纸、铜、铁等。

雷管由雷管壳、正副装药、加强帽 3 部分组成。火雷管与电雷管的不同之处是，在管壳开口的一端，火雷管留出 15mm 左右的空隙端，以备导火索插入之用；而电雷管则有一个电力引火装置，并以防潮涂料密封端口。延期和毫秒电雷管的特殊点是在引火装置和正装药之间加了一段缓燃剂。在保管、运输、储存过程中，严禁将雷管和炸药放在一起。

2. 爆破方法

爆破方法应根据石方的集中程度、地形、地质条件及路线横断面形状等具体情况确定。

用药量 1t 以上为大炮， 1t 以下为中小炮。公路路基石方开挖严禁采用洞室爆破，洞室爆破主要包括药壶炮和猫洞炮。

(1) 钢钎炮

钢钎炮通常指炮眼直径和深度分别小于 70mm 和 5m 的爆破方法。钢钎炮比较灵活，适用于地形艰险及爆破量较小地段（如开挖石质水沟，开挖便道、基坑等），在综合爆破中是一种改造地形、为其他炮型服务的不可缺少的辅助炮型。由于钢钎炮炮眼浅，用药少，每次爆破的方数不多，且全靠人工清除，所以不利于爆破能量的利用且工效较低。

(2) 深孔爆破

深孔爆破是孔径大于 75mm 、深度在 5m 以上、采用延长药包的一种爆破方法。深孔爆破炮孔需用大型的潜孔凿岩机或穿孔机钻孔，如用挖运机械清方可以实现石方施工全面机械化，劳动生产率高，一次爆破的放量多，施工进度快，爆破时比较安全，是大量石方（万方以上）快速施工的发展方向之一。

(3) 光面爆破

在开挖限界的周边，适当排列一定间隔的炮孔，在有侧向临空面的情况下，用控制抵抗线和药量的方法进行爆破，使之形成一个光滑平整的边坡。

(4) 预裂爆破

在开挖限界处按适当间隔排列炮孔，在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下，用控制药量的方法，预先炸出一条裂缝，使拟爆体与山体分开，作为隔震减震带，起保护开挖限界以外山体或建筑物和减弱地震对其破坏的作用。

(5) 定向爆破

定向爆破是利用爆能将大量土石方按照指定的方向，搬移到一定的位置并堆积成路堤的一种爆破施工方法。

(6) 微差爆破

两相邻药包或前后排药包以若干毫秒的时间间隔（一般为 $15\sim 75\text{ms}$ ）依次起炮，称为微差爆破，亦称毫秒爆破。

微差爆破能有效地控制爆破冲击波、震动、噪音和飞石；操作简单、安全、迅速；可近火爆破而不造成伤害；破碎程度好，可提高爆破效率和技术经济效益。但该网路设计较为复杂，需特殊的毫秒延期雷管及导爆材料。微差爆破适用于开挖岩石地基、挖掘沟渠、拆除建筑物和基础等。

(7) 药壶炮

药壶炮是指在深 $2.5\sim 3.0\text{m}$ 以上的炮眼底部用小量炸药经一次或多次烘膛，使眼底成葫芦形，将炸药集中装入药壶中进行爆破。

药壶炮主要用于露天爆破,其使用条件是:岩石应在 XI 级以下,不含水分,阶梯高度 H 小于 10~20m,自然地面坡度在 70° 左右。如果自然地面坡度较缓,一般先用钢钎炮切脚,炸出台阶后再使用。经验证明,药壶炮最好用于 VII~IX 级岩石,中心挖深 4~6m,阶梯高度在 7m 以下。药壶炮装药量可根据药壶体积而定,一般为 10~60kg,最多可超过 100kg。每次可炸岩石数十方至数百方,是小炮中最省工、省药的一种方法。

3. 影响爆破的主要因素

为了爆破某一岩体,在其中或表面放置的一定数量的炸药,称为药包。药包在介质中爆炸时,介质被抛掷和松动的体积或破碎的程度称为爆破效果。影响爆破效果的因素主要有以下几种:

(1) 炸药的威力:一般在坚石中,宜用粉碎力大的炸药,如 TNT、胶质炸药等,爆破后岩石破碎程度较大,但破坏范围一般较小;在次坚石、软石、裂缝大而多的岩石,以及松动爆破中,宜用爆力大而粉碎力较小的炸药,如硝酸铵类炸药;开采料石,则宜用爆力和猛度都较小的炸药,如黑火药。

(2) 炸药用量:在其他条件相同时,炸药用量过少,达不到预期的爆破效果。炸药用量过多,不仅造成不必要的浪费,而且会炸掉不该炸的部分,并使爆破震动增大,震动范围加宽,裂缝增多,甚至造成边坡坍塌等。

(3) 地形条件:爆破工程中,地形的陡坦程度及临空面数量对爆破效果影响也很大。地形越陡,临空面数目越多,爆破效果越好;反之,爆破效果越差。

(4) 地质条件:指岩石性质和岩层构造。岩石性质包括岩石的密度、韧性和整体性等,是确定岩石单位耗药量和能否采用大爆破的主要依据;岩石构造主要指岩石的层理产状等。

(5) 其他因素:装药的密实度、堵塞炮眼和导洞的质量、爆破技术的熟练与正确程度等对爆破效果均有影响。

(五) 弃方

①施工前,应对设计提供的弃土方案进行现场核对,如有问题应及时反馈处理。

②弃土宜集中堆放,并与周边环境相协调。

③严禁在贴近桥梁墩台、涵洞口处弃土。

④不得向水库、湖泊、岩溶漏斗及暗河口处弃土。

⑤弃土宜分层填筑,分层压实,弃土场的边坡不得陡于 1:1.5,顶面宜设置不小于 2% 的排水坡。

⑥弃土作为路基反压护道时,宜与路基同步填筑。

⑦在地面横坡陡于 1:5 的路段,路堑顶部高侧不得设置弃土场。

⑧弃土场应及时施作防护和排水工程,坡脚应按设计要求进行加固。

第四节 路基排水

一、一般规定

施工前,应对排水设计进行现场核对,如有问题应及时反馈处理,全线的沟渠、桥涵等应形成完整的排水系统。临时排水设施宜与永久排水设施相结合,排水方案应因地制宜、经济实用。施工前,宜先完成临时排水设施。施工期间,应经常维护临时排水设施,保证水流畅通。

路堤段落设计有涵洞时,宜安排涵洞先行施工。地表水、地下水的临时和永久排水设施应及时完成。

路堤填筑期间,作业面应设 2%~4% 的排水横坡,表面不得积水,应采取临时排水措施防止水流冲刷边坡。路堑施工时应及时排除地表水。

边沟、排水沟、截水沟等地表排水设施迎水侧不得高出地表,应从下游向上游开挖。

截水沟通过地面坑凹处时,应将凹处填平夯实。

二、地表排水

路基地表排水可采用边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽、渡槽、拦水带、蒸发池等设施。其作用是将可能停滞在路基范围内的地面水迅速排除,防止路基范围内的地面水流入路基内。

(一) 边沟

1. 设置

挖方地段和填土高度小于边沟深度的填方地段均应设置边沟。路堤靠山一侧的坡脚应设置不渗水的边沟。

为了防止边沟漫溢或冲刷,在平原区和重丘山岭区,边沟应分段设置出水口。多雨地区梯形边沟每段长度不宜超过 300m,三角形边沟不宜超过 200m。

2. 施工要求

边沟应从下游向上游开挖,边沟沟底纵坡应衔接平顺。平曲线处边沟施工时,沟底纵坡应与曲线前后沟底纵坡平顺衔接,不允许曲线内侧有积水或外溢现象发生。曲线外侧边沟应适当加深,其增加值等于超高值。

边沟的加固:当土质地段沟底纵坡大于 3%时,应采取加固措施;采用干砌片石对边沟进行铺砌时,应选用有平整面的片石,各砌缝要用小石子嵌紧;采用浆砌片石铺砌时,砌缝砂浆应饱满,沟身不漏水;若沟底采用抹面时,抹面应平整压光。

(二) 截水沟

1. 设置

截水沟的边缘离路堑坡顶的距离视土质而定,以不影响边坡稳定为原则。若为一般土质至少应距离 5m,对黄土地区不应小于 10m,并应进行防渗加固。截水沟挖出的土,可在路堑与截水沟之间修成土台并夯实,台顶应筑成 2%倾向截水沟的横坡。

山坡上的路堤截水沟距离路堤坡脚至少 2.0m,并用挖截水沟的土填在路堤与截水沟之间,修筑向沟倾斜坡度为 2%的护坡道或土台,使路堤内侧地面水流入截水沟排出。

2. 施工要求

截水沟应先行施工,与其他排水设施应衔接平顺,纵坡宜不小于 0.3%。截水沟长度超过 500m 时应选择适当的地点设出水口,将水引至山坡侧的自然沟中或桥涵进水口。截水沟必须有牢靠的出水口,必要时须设置排水沟、跌水或急流槽。截水沟的出水口必须与其他排水设施平顺衔接。

截水沟应按设计要求进行防渗及加固处理。地质不良地段、土质松软路段、透水性大或岩石裂隙多地段,截水沟沟底、沟壁、出水口都应进行防渗及加固处理,防止水流渗漏和冲刷。截水沟在使用过程中应经常检查和清理,防止堵塞。

(三) 排水沟

排水沟线形应平顺,转弯处宜为弧线形,其半径不宜小于 10m。排水沟长度根据实际需要而定,通常不宜超过 500m。

排水沟沿路线布设时,距路基坡脚不宜小于 3~4m。排水沟的出水口,应设置跌水或急流槽,将水流引出路基或引入排水系统。

(四) 跌水

跌水的台阶高度可根据地形、地质等条件决定,多级台阶的各级高度可以不同,其高度与长度之比应与原地面坡度相协调。无消力池的跌水,其台阶高度应小于 600mm;有消力池的基底应采取防渗措施。

(五) 急流槽

1. 急流槽基础应嵌入稳固的基面内,底面应按设计要求砌筑抗滑平台或凸榫。对超挖、

局部坑洞,应采用相同材料与急流槽同时施工。

2. 急流槽的纵坡不宜超过 1:1.5,同时应与天然地面坡度相配合。当急流槽较长时,槽底可用几个纵坡,一般是上段较陡,向下逐渐放缓。浆砌片石砌体应砂浆饱满,砌缝应不大于 40mm,槽底表面应粗糙。急流槽应分节砌筑,分节长度宜为 5~10m,接头处应采用防水材料填缝。混凝土预制块急流槽,分节长度宜为 2.5~5.0m,接头应采用榫接。

3. 急流槽进水口的喇叭形水簸箕应与排水设施衔接平顺,汇集路面水流的水簸箕底口不得高于接口的路肩表面,路缘石开口及流水进入路堤边坡急流槽的过渡段应连接圆顺。急流槽在使用过程中应注意检查和清理,保证水流畅通。

(六) 渡槽

当农田水利灌溉沟渠水流需要上跨路基或横穿通过,沟渠底高程与路基设计高程相差较大,能够同时满足行车净高和结构物高度的要求时,可以采用渡槽排(过)水。可设简易桥梁,架设水槽或管道,从路基上部跨越,以沟通路基两侧的水流。渡槽主要用砌石、混凝土及钢筋混凝土等材料建成。渡槽除了应满足沟渠排水通过流量的要求,还应满足自身结构强度和稳定性的要求。

渡槽由进出水口、槽身和下部支承结构 3 部分组成。为降低工程造价,槽身过水横断面一般比两端的沟渠横断面要小,槽中水流速度相应有所提高,因此进出口段应注意防止冲刷和渗漏,进出水口处设置过渡段,过渡段的平面收缩角为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。如果槽身与沟渠的横断面相同,沟槽可直接衔接而不设过渡段。与槽身连接的土质沟渠,应予以防护加固,其加固长度至少是沟渠水深的 4 倍。

(七) 拦水带

为避免高路堤边坡被路面水冲毁,可在路肩上设置拦水带,将水流拦截至挖方边沟或在适当地点设急流槽排离路基。与高路堤急流槽连接处应设喇叭口。设置拦水带路段的路肩宜适当加固,以免水流集中后造成冲刷。

(八) 蒸发池

1. 蒸发池与路基之间的距离应满足路基稳定要求,底面与侧面应采取防渗措施。用取土坑作蒸发池时,与路基坡脚间的距离不应小于 5~10m。面积较大的蒸发池至路堤坡脚的距离不得小于 20m,坑内水面应低于路基边缘至少 0.6m。

2. 不得因设置蒸发池而使附近地基泥沼化或对周围生态环境产生不利影响。

3. 蒸发池池底宜做成两侧边缘向中部倾斜 0.5% 的横坡,入口处应与排水沟平顺连接。

4. 在蒸发池应远离村镇等人口密集区,四周应采用隔离栅进行围护,高度应不低于 1.8m,并设置警示牌。

三、地下排水

路基地下水排水设施有暗沟(管)、渗沟、渗井等。其作用是将路基范围内的地下水位降低或拦截地下水并将其排除至路基范围以外。

(一) 暗沟(管)

1. 暗沟(管)作用

暗沟(管)的主要作用是把路基工作区范围内和以下较浅的集中泉眼或渗沟所拦截、汇集的水流,排到路基范围之外去。高速公路、一级公路中央分隔带有雨水浸入时,通过雨水口将水流引入地下暗沟,然后排到路基范围之外。

2. 暗沟(管)施工

(1) 沟底应埋入不透水层内,沟壁最低一排渗水孔应高出沟底至少 200mm 以上。进口应采取截水措施。

(2) 暗沟、暗管设在路基侧面时,宜沿路线方向布置;设在低洼地带或天然沟谷时,宜沿沟谷走向布置。沟底纵坡应大于 0.5%,出水口处应加大纵坡,并高出地表排水沟常

水位 200mm 以上。

(3) 寒冷地区的暗沟应按照设计要求做好防冻保温处理,出水口坡度宜不小于 5%。

(4) 暗沟采用混凝土或浆砌片石砌筑时,在沟壁与含水层接触面以上高度,应设置一排或多排向沟中倾斜的渗水孔,沟壁外侧应填筑粗粒透水性材料或土工合成材料形成反滤层。沿沟槽底每隔 10~15m 或在软硬岩层分界处应设置沉降缝和伸缩缝。

(5) 暗沟顶面应设置混凝土盖板或石料盖板,板顶上填土厚度应不小于 500mm。

(6) 暗管宜使用钢筋混凝土圆管、PVC 管、钢波纹管等材料,在管壁与含水层接触面应设置渗水孔,沟壁外侧应填筑粗粒透水性材料或设置土工合成材料形成反滤层。

(7) 暗沟、暗管及检查井应采用透水性材料分层回填,层厚宜不大于 150mm,材料粒径宜不大于 50mm。

(二) 渗沟

1. 设置

为降低地下水位或拦截地下水,可在地面以下设置渗沟。常用渗沟有填石渗沟、管式渗沟和洞式渗沟 3 种形式,3 种渗沟均应设置排水层、反滤层和封闭层。

2. 施工要求

(1) 一般要求

① 渗沟基底埋入不透水层内应不小于 0.5m,沟壁的一侧应设反滤层汇集水流,另一侧用黏土夯实或浆砌片石拦截水流。如渗沟沟底不能埋入不透水层时,两侧沟壁均应设置反滤层。

② 渗沟顶部应设置封闭层,封闭层宜采用浆砌片石或干砌片石水泥砂浆沟缝。寒冷地区应设保温层,并加大出水口附近纵坡。保温层可采用炉渣、砂砾、碎石或草皮等。

③ 渗沟宜从下游向上游开挖,开挖作业面应根据土质选用合理的支撑形式,并应边挖边支撑,渗水材料应及时回填。

(2) 填石渗沟

填石渗沟一般用于流量不大、渗沟不长的路段,是目前公路上常用的一种渗沟,施工要求如下:

① 石料应采用水稳性好的石料,应洁净、坚硬、不易风化,其饱水抗压强度应不小于 30MPa,粒径应为 100~300mm。砂宜采用中砂,含泥量应小于 2%,严禁用粉砂、细砂。

② 渗水材料的顶面(指封闭层以下)不得低于原地下水位。当用于排除层间水时,渗沟底部应埋置在最下面的不透水层。在冰冻地区,渗沟埋置深度不得小于当地最小冻结深度。

③ 填石渗沟纵坡不宜小于 1%。出水口底面标高应高出渗沟外最高水位 200mm。

④ 填石渗沟通常为矩形或梯形,在渗沟的底部和中间用较大碎石或卵石(粒径 3~5cm)填筑,在碎石或卵石的两侧和上部,按一定比例分层(层厚约 15cm)。填较细颗粒的粒料(中砂、粗砂、砾石),做成反滤层;顶部做封闭层,用双层反铺草皮或其他材料(如土工合成的防渗材料)铺成,并在其上夯填厚度不小于 0.5m 的黏土防水层。

(3) 管式渗沟

① 管式渗沟适用于地下水引水较长、流量较大的地区。管式渗沟宜间隔一定距离设置疏通井和横向泄水管,分段排除地下水。

② 管式渗沟的泄水管可用陶瓷、混凝土、石棉、水泥或塑料等材料制成。管壁应设渗水孔,渗水孔应在管壁上交错布置,间距不宜大于 200mm。渗沟顶标高应高于地下水位。管节宜用承插式柔性接头连接。

(4) 洞式渗沟

① 洞式渗沟适用于地下水流量较大的地段。洞壁宜采用浆砌片石砌筑,洞顶应用盖板

覆盖。盖板之间应留有空隙,使地下水流入洞内。洞式渗沟填料顶面宜高于地下水位。

②洞式渗沟顶部应设置封闭层,厚度应不小于 500mm。

(5) 反滤层

①在渗沟的迎水面设置粒料反滤层时,粒料反滤层应用颗粒大小均匀的碎、砾石,分层填筑。

②土工布反滤层采用缝合法施工时,土工布的搭接宽度应大于 100mm。铺设时应紧贴保护层,但不宜拉得过紧。土工布破损后应及时修补,修补面积应大于破坏面积的 4~5 倍。

③坑壁土质为黏性土或粉细砂土,采用无砂混凝土板作反滤层时,在无砂混凝土板外侧应加设 100~150mm 厚的中粗砂或渗水土工织物反滤层。

(三) 渗井

1. 设置

当路基附近的地面水或浅层地下水无法排除,影响路基稳定时,可设置渗井,将地面水或地下水经渗井通过下透水层中的钻孔流入下层透水层中排除。

2. 施工要求

(1) 渗井开挖应根据土质选用合理的支撑形式,应边开挖边支撑,并采取照明、通风、排水措施。

(2) 填充料应在开挖完成后及时回填。不同区域的填充料应采用单一粒径分层填筑,小于 2mm 的颗粒含量不得大于 5%。透水层范围宜填碎石或卵石,不透水范围宜填粗砂或砾石。井壁与填充料之间应设反滤层,填充料与反滤层应分层同步施工。

(3) 渗井顶部四周应采用黏土填筑围护,井顶应加盖封闭,严防渗井淤塞。

第五节 特殊路基施工

特殊路基指在软土、黄土,膨胀土、盐渍土、多年冻土与季节性冻土及多雨潮湿等地区的土体上修筑的路基。因这些土体的性质与一般路基土体有较大区别,在施工时应单独对待。

一、软土路基施工技术

所谓软土,从广义上讲,就是指强度低,压缩性高的软弱土层,在软土地基上修筑路基,若不加处理,将会发生路基失稳或过量沉陷,导致道路破坏或不能正常使用。习惯上常把淤泥、淤泥质土,软黏性土称为软土。软土的特性主要表现为天然含水率高、孔隙比大,含水量在 34%~72%之间,孔隙比在 1.0~1.9 之间,饱和度一般大于 95%,液限一般为 35%~60%,塑性指数为 13~30。

软土路基由于强度较低,一般不能直接在上面修筑路基,需要经过特殊处理加固后方可修筑。其加固后,可按一般方法进行路基施工,软土路基加固的关键是排水和固结。

(一) 换填法施工

换填法。即将地基软弱层全部或部分挖出,换填以强度较高、透水性好、性能稳定、无侵蚀性的材料,并压实,以提高地基承载力,减小沉降量。换填的材料有碎(砾)石、沙、灰土、素土或煤渣等。换填方法有挖填、抛石、爆破等。

1. 开挖换填法

将需要处理的软弱层挖出,采用适当换填材料回填并压实。此法适用于软弱土层埋藏较浅,挖换深度不超过 3m 的情况。

2. 抛石挤淤法

一般采用块径不小于 30cm 的片石,沿路中线向前抛填,再渐次向两侧扩展,或者从软弱层底面由高向低依次抛填,从而将基底的淤泥或泥炭等软弱土挤出。此法适用于排水困难的洼地,软弱土层较薄易于流动,表层无硬壳的情况。

3. 爆破排淤法

在软弱土层中实施爆破作业,利用爆破冲击力将软弱土层中淤泥或泥炭排走,再用良好的填料置换回填。此法换填深度大,功效高,但注意应避免爆破对周围环境的不良影响。

含水量小、回淤较慢的软土或泥沼,应先爆后填,即爆即填;含水量大而回淤较快的软土或泥沼,可先填后爆,填料随爆下沉,以免回淤。

(二) 排水固结法施工

1. 排水固结法概述

排水固结法是在软土地基中设置竖向排水体,然后对软土地基预先施加一个外部荷载,使得软土土体中的孔隙水逐渐被排出加固区外而固结,从而使土的含水量降低,孔隙比减小,抗剪强度提高,以达到提高地基承载力和减少工后沉降的目的。

排水固结法通常由排水系统和加压系统两部分组成。

加压系统是对软土地基施加一个临时起固结作用的荷载,促使土中的孔隙水在压差的作用下向外渗流,从而达到固结的目的。

按加压方式的不同,排水固结法可分为堆载预压法、真空预压法、真空堆载联合预压法、电渗降水法、降低地下水位法等。

排水系统主要是为了改变软土地基原有排水边界条件,增加孔隙水排出的通道,缩短排水路径。

该系统由竖向排水体和水平向排水体组成,竖向排水体能是普通沙井、袋装沙井、塑料排水带;水平向排水体能是沙垫层、软式透水管或盲沟,两者共同组成立体的排水管网。

2. 施工方法

(1) 沙井法

用锤击、震动、射水等方式成孔,在孔内灌沙形成沙井。沙井表面铺设 0.5m~1.0m 厚的沙垫层或砂沟。排水固结速度与堆载量大小、加载速度、沙井直径、间距、深度等因素有关。

实践证明,预压加载量大致与设计荷载接近,预压至 80% 的固结度。就路基而言,加载工作往往可以直接用填土取代。填土速度根据施工工期、地基强度增长情况分级填筑,以每昼夜地面沉降量不超过 1.5cm、坡脚侧向位移不超过 0.5cm 来控制。

沙井直径多为 30cm~40cm,间距 2m~4m,平面上呈梅花形或正方形布置,尤以梅花形布置效果为佳;其深度以穿越路基可能的滑动面为宜。沙井用沙为中粗砂,含泥量不宜大于 3%。为了缩短沙井排水距离,往往预先在直径约 7cm 的圆筒状编织袋里装满沙,然后放入成孔中。此法称袋装沙井法,该法能保证沙井的密实性和连续性,成孔时对土层扰动少,具有施工机具简单、成本低等优点。袋装沙井间距一般为 1m~1.4m,其他与普通沙井相同。

(2) 排水板法

用纸板、纤维、塑料或绳子代替沙井的沙做成排水井。其原理和方法完全与沙井排水法相同。目前,基本上以带沟槽的塑料芯板作为排水板,因此,又称塑料板法。

(3) 盲沟排水法

在路堤填方前深挖纵向、横向沟,回填碎石,排出地下水,以达到路基固结的目的。此外,排水固结法还包括降水预压和真空顶压等新技术。

(三) 其他特殊地基处理方法

1. 砂桩挤密法

砂桩挤密法指用振动、冲击或水冲等方式在软弱地基成孔后,再将砂挤压入已成的孔中,形成大直径的沙所构成的密实桩体。

2. 碎石挤密桩法

碎石挤密桩加固软弱地基，主要是利用夯锤的垂直夯击填入孔中的碎石，夯击能量通过碎石向孔底及四周传递，将孔底及桩周围的土挤密，并有一些碎石挤入碎石桩四周的软土中。在形成碎石桩的同时，桩周也形成一个与碎石胶结的挤密带，提高原地基的承载力，碎石桩与桩间地基土形成复合地基，共同承担上部荷载。

3. CFG 柱法

水泥粉煤灰碎石桩简称 CFG 桩，是在碎石桩基础上加进一些石屑、粉煤灰和少量水泥，加水拌和制成的一种具有一定黏结强度的桩，和桩间土、褥垫层一起形成复合地基。CFG 桩法也是近年来新开发的一种地基处理技术。

4. 树根桩法

树根桩是一种用压浆方法成桩的微型桩。树根桩是指桩径在 70mm~250mm，长径比大于 30，采用螺旋钻成孔、加强配筋和压力注浆工艺成桩的钢筋混凝土就地灌注桩。

5. 夯实扩底柱与混凝土薄壁管桩法

夯实扩底灌注桩（简称夯实扩底桩），通过击入沉管全部现浇混凝土，利用重锤夯击桩端新灌混凝土，在最大限度扩大桩头的同时，对桩端地基强制夯实挤密。通过桩端截面的增大和对地基土的挤密，显著提高桩头地基承载能力，进而提高桩端竖向承载力。然后现浇混凝土桩身，形成桩侧摩阻力。

二、湿陷性黄土地区路基施工

（一）湿陷性黄土路基病害

在自重湿陷性黄土地区，由于降雨或灌溉在路侧形成积水的持续下渗，湿陷性黄土层发生湿陷，在地表面形成平面为椭圆形湿陷坑。一般的陷坑直径为 15cm~30cm，中心坑深为 30cm~60cm。最大的湿陷坑直径可达 500cm~600cm，中心湿陷坑深度可达 90cm~100cm。在湿陷坑范围内的路基、路面、桥涵、挡土墙随之发生沉陷、变形、开裂和破坏。

形成湿陷坑要具备两个条件：一是黄土层具有自重湿陷性且具有一定厚度；二是浸水要有一定的范围和足够的时间。

一般情况下，浸水坑或积水洼地的边长或直径应大于 10m，才会形成湿陷或湿陷坑。在浸水直径足够大的情况下，浸水一到数天即开始发生湿陷，一般经过两周以后，浸透整个湿陷性土层并形成最终的湿陷坑。

（二）湿陷性黄土路基施工

1. 湿陷性黄土填筑路堤

路床填料不得使用老黄土。路堤填料不得含有粒径大于 100mm 的块料；在填筑横跨沟壑的路基土方时，应做好纵横向界面的处理；黄土路堤边坡应拍实，并应及时予以防护，防止路表水冲刷；浸水路堤不得用黄土填筑。

2. 湿陷性黄土路堑施工

路堑施工前，应做好堑顶地表排水导流工程；路堑施工期间，开挖作业面应保持干燥；路堑路床土质符合设计规定时，则应将其挖除，另行取土，分层摊铺、碾压至规定的压实度，挖除厚度根据道路等级对路床的要求而定，高速公路、一级公路宜挖除 50cm，其他公路可挖除 20cm；路堑施工中，如边坡地质产生变形，应采取措施进行边坡的防护加固。

三、膨胀土地区路基施工

（一）膨胀土的工程特性

膨胀土在受潮后体积会扩大，也就是人们所说的膨胀；而在失水后体积会变小，产生收缩开裂的现象。膨胀土中的主要矿物成分以强亲水性矿物蒙脱石和伊利石为主。一般情况下，膨胀土多以硬塑或坚硬状态存在于自然界中，表面存在裂隙，并且裂隙会随着气候的变化扩大或者缩小。膨胀土在二级或者二级以上的阶地、山前丘陵和盆地边缘，地形坡度平缓，无明显自然陡坎的位置较多，主要特征有胀缩性、裂隙性和超固结性。膨胀土地

区的路基更易发生剥落、冲蚀、泥流、溜坍、塌滑、滑坡、沉陷、纵裂、坍肩等病害。

（二）膨胀土路基施工

1. 路堤填筑

强膨胀土稳定性差，不应作为路堤填料；中等膨胀土宜经过加工后作为填料，用于二级及二级以上公路路堤填料时，改性处理后胀缩总率应不大于 0.7%；弱膨胀土可根据当地气候、水文情况及道路等级加以应用。

对于直接使用中、弱膨胀土填筑路堤时，应及时对边坡及顶部进行防护，高度不足 1m 的路堤，应按设计要求采取换填或改性处理等措施。表层为过湿土，应按设计要求采取换填或进行固化处理等措施。填土高度小于路面和路床的总厚度，基底为膨胀土时，宜挖除地表 0.30m~0.60m 的膨胀土，并将路床换填为非膨胀土或掺灰处理。若为强膨胀土，挖除深度应达到大气影响深度。

2. 路堑开挖

挖方边坡不要一次挖到设计线，沿边坡预留厚度 30cm~50cm，待路堑挖完时，再削去边坡预留部分，并立即浆砌护坡封闭。膨胀土地区的路堑，高速公路、一级公路的路床应超挖 30cm~50cm，并立即用粒料或非膨胀土分层回填或用改性土回填，按规定压实，其他各级公路可用膨胀土掺石灰处治。

3. 路基填筑

膨胀土路基填筑松铺厚度不得大于 300mm；土块粒径应小于 37.5mm。路基完成后，当年不能铺筑路面时，应按设计要求做封层，其厚度应不小于 200mm，横坡不小于 2%。

四、盐渍土地区路基施工

（一）盐渍土路基的主要病害

易溶盐在土中的移动（垂直移动、水平移动、灌区的移动），造成盐渍土路基的一些主要病害，通常有溶蚀、盐胀、冻胀、翻浆等。

1. 溶蚀

主要是氯盐渍土，其次是硫酸盐渍土，受水对土中盐分溶解，可形成雨沟、洞穴，甚至湿陷、塌陷等路基病害。

2. 盐胀

路基边坡和路肩表层在昼夜温度变化所引起的盐胀反复作用下，变得疏松、多孔，易遭风蚀，并伴随沉陷。

3. 冻胀

氯盐渍土，当含盐量在一定范围内，由于冰点下降，水分积聚流动时间加长，可加重冻胀。但含盐量更多时，由于冰点降低很多，路基将不冻结或减少冻结，从而不产生冻胀或只产生轻冻胀。硫酸盐渍土具有和氯盐渍土类似的作用，但冰点降低不如氯盐多，因此影响不如氯盐显著。

4. 翻浆

氯盐渍土，当含盐量在一定范围时，不仅可以加剧冻胀，也可以加重翻浆。这是因为氯盐渍土不仅聚冰多，而且液塑限低，蒸发缓慢。

当含盐量更多时，也因不冻结或冻结而不翻浆或减轻翻浆；硫酸盐渍土，在降低冰点方面，其作用和氯盐渍土类似。因此，可以加重翻浆，但不如氯盐渍土显著。

春融时，结晶硫酸盐脱水可引起加重翻浆的作用；铝盐渍土，由于透水性差，可减轻冻胀和翻浆。

（二）盐渍土路基施工

1. 路基基底的处理

盐渍土地区路堤基底，必须先行处理。

一般含盐量大的土层多分布于地表，所以必须严格清除表层植被、盐壳、腐殖土等；在具有湿陷性地段，必须挖除表层湿土后进行换填，换填厚度不应小于 30cm。换填沙砾石，分层碾压密实，然后分层填筑沙砾料，碾压达到规定压实度。

本工程对路基基底（包括护坡道内）范围内表层的盐霜、盐壳、高含量盐土、腐殖质土等和植被及其根系严格清除，清除表土深度不小于 30cm；清除后的基底做成双向 1.5% 左右的外倾横坡并按规定回填，严格压实。

2. 路基毛细水隔断层的设置

设置毛细隔断层时，在路基边缘以下 0.4m~0.6m 处（或路基底部）的整个路基宽度上设置。隔断层的材料可用卵石、碎石或其他粒径约 5mm~50mm 的沙砾，厚度采用 0.15m~0.3m，并在上、下面各铺设一层 5cm~10cm 厚粗砂或石屑作为反滤层，以防止隔断层失效。

3. 路基高度

根据有关地区的经验，碱土地段路基填土高度可比非盐渍土地段适当降低；在过干地区深度饱和的地下盐水地段，路基填土高度可比低矿化度或淡水的地下水情况适当降低。

第三章 路面施工技术

第一节 施工准备

一、路面的基本要求

(一) 具有足够的强度和刚度

路面结构应具有足够的强度,以抵抗车轮荷载引起的各个部位的各种压力,如压应力、拉应力、剪应力等,保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。

路基路面整体结构或各个结构层应具有足够的刚度,使得在车轮荷载下不发生过量的变形,保证不发生车辙、沉陷或波浪等各种病害。

这里的强度,应该包括修建路面的原材料(如砂石、水泥)等以及复合材料,如水泥混凝土、沥青混凝土和路面结构的强度。

(二) 具有足够的稳定性

路面结构是暴露在大自然之中的构造物,它直接受到高温、低温、水、太阳、空气和风的作用、影响,使其力学性能和技术品质发生变化。这里所说的足够稳定性应包括以下内容与要求:

①具有足够的高温稳定性。夏季高温条件下,沥青路面的材料或结构如没有足够的抗高温的能力,则会发生泛油、面层发软,甚至产生车辙、波浪和推挤,结构使用功能将下降;水泥路面则可能拱起、开裂。

②具有足够的低温稳定性。冬季低温时,沥青路面的材料或结构如没有足够的抗低温的能力,则会因收缩或变脆而开裂。

③具有足够的水温稳定性。在雨季,由于雨水多,如果路面材料和结构没有足够的抗水能力,则其强度就会下降,甚至出现剥离、松散等破坏,砂石路面将会大量出现坑洞、主集料外露、松散等破坏;在冬春季节,水温因素的综合作用下,路面将会出现冻胀翻浆,造成严重后果。

④具有足够的大气稳定性。太阳的照射、空气中氧气的氧化作用等都会对路面结构和材料产生作用。如果路面材料和结构没有足够的抵抗大气作用的能力,则沥青材料会出现老化而失去原有技术品质,导致沥青路面开裂、剥落,甚至大面积松散破坏。

(三) 具有足够的平整度

不平整的路面表面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用和冲击作用,造成行车颠簸,影响行车速度、行车安全和舒适性,会加剧路面和汽车机件的损坏与轮胎磨损并增大汽油的消耗。因此,要求路面具有与公路等级相应的平整度。

(四) 具有足够的抗滑性能

如果路面没有足够的抗滑性能,将带来一系列的问题,甚至引起翻车和人员伤亡事故。

没有足够的抗滑能力,在雨天高速行驶,或紧急制动或突然起动,或爬坡、转弯时,车轮容易产生空转或打滑。现代交通工具速度不断提高,对路面的抗滑能力提出了更高的要求。道路表面应具有足够的抗滑能力,以保证在最不利情况下,车辆能高速安全行驶,而且在外界因素作用下,其抗滑能力不致很快降低。

道路表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料组成路面表层来实现,也可以采用一些工艺措施来实现,如水泥混凝土路面表面的拉毛或刻槽等。此外,路表面的积雪、浮冰、污染等也会降低路面的抗滑性能,必须及时予以清除。

(五) 具有足够的抗渗透性

对于透水的路面,水分容易渗入路面结构和土基,这些滞留于路面表层和路面结构内部的水分,在大量高速行驶荷载反复作用下,自由水产生很大的动水压力不断冲刷路面,

路面会产生剥落、坑槽、唧泥和网裂等水损坏现象。在降水量大的潮湿多雨地区、交通量大、载重车辆多的高等级道路沥青路面，水损坏现象更为严重。

为避免路面水损坏，应尽量采用水稳定性好的路面结构层，并设置路面结构内部排水系统或密实有效的防水层。

（六）具有低噪声、低扬尘性并减少对环境的负面影响

噪声与扬尘会对环境造成污染，影响正常的行车秩序，对行车密度大的高等级道路，这是必须予以足够重视的问题。行车噪声一方面因路面平整度而引起，以及因路面面层材料的刚度大而产生；另一方面与不良的线形设计导致车辆频繁的加速、减速和转向有关。

车辆驶经路面表面时，轮胎胎面花纹与不规则路面表面间的相互撞击，会产生轮胎与路表面滚动接触噪声。这种噪声是交通噪声的一部分，也是环境噪声污染的一个来源。随着交通的增长，降低交通噪声对周围居民工作、生活和心理健康的不利影响，已成为各方面日益关注的问题。在路面表面，影响轮胎与路表面滚动噪声产生的主要因素为表面构造及其声阻抗（或声吸收），因而，可通过改善路面的表面构造以及采用多孔隙路面（以提高其声吸收性能）等措施来降低波动噪声的级位。

扬尘主要发生于砂石路面，因车轮后面产生真空吸力将面层细集料吸出而引起。但高等级道路，如不及时清扫路面浮土和灰尘，也会同样导致严重的扬尘。因此，对于行车噪声和扬尘，应从道路工程的设计、施工、养护和管理等方面统筹考虑，才能保证路面具有尽可能低的扬尘性和尽可能小的噪声。

修建路面需耗费大量的建筑材料（石料、水泥、沥青等），而养护和修复路面往往还需废弃大量的旧路面材料（沥青混合料、水泥混凝土等）。这一方面消耗大量能源，另一方面又会对自然环境产生破坏和污染，因而，合理选择、开采和使用路面材料，开发再生技术以充分利用废旧路面材料，是路面工程应予关注和考虑的重要问题。

二、路面结构组成及类型

路面是用各种坚硬材料或混合料分层修筑在路基顶面供车辆行驶的层状结构物，直接经受车辆荷载与自然因素综合作用。路面的性能应能满足车辆安全、迅速、舒适的行驶要求。路面通常由路面体、路肩、路缘石、中央分隔带、路面排水等组成。路面体在横向又分为行车道、人行道及路缘带。路面按结构层次可分为面层、基层和垫层等主要层次。

（一）路面结构层及其功能

1. 面层

面层是直接承受行车荷载作用、大气降水和温度变化影响的铺面结构层次，并为车辆提供行驶表面，直接影响行车的舒适性、安全性和经济性，给周围环境带来不同程度的负面影响。路面的使用品质及车辆的行驶质量主要取决于面层。因此，面层应具有足够的结构强度和稳定性、良好的表面特性。面层可由一层或多层组成，其上层可为磨耗层，其下层可为承重层、联结层或整平层。

2. 基层

基层起支承面层的作用，主要承受由面层传下来的行车荷载垂直力的作用，并把它扩散到垫层和土基，故基层应具有足够的强度和刚度。基层受气候因素的影响虽不如面层强烈，但由于仍可能受到地下水和路表水的渗入，其结构还应有足够的水稳性。基层顶面也应平整，具有与面层相同的横坡，以保证面层厚度均匀。基层厚度大时，可分设两层，其上层仍称为基层，下层称为底基层，并选用不同强度或质量要求的材料。

3. 垫层

在路基土质较差、水温状况不良时，或者在路面结构厚度小于最小防冻厚度要求时，应在路基与基层（底基层）之间加设垫层，起排水、隔水、防冻胀和扩散应力等作用。垫层可采用颗粒材料（如砂砾、煤渣等）或无机结合料稳定粗粒土等铺筑。垫层应比基层

(底基层) 每侧至少宽出 25cm, 或与路基同宽。

(二) 路面面层类型

面层因要直接抵御自然因素及行车荷载的不利影响并要满足公路的使用要求, 对材料的要求比其他结构层更高。面层不仅应具有足够的强度和刚度, 而且应具有足够的稳定性, 包括高温稳定性、低温抗裂性、水稳性和大气稳定性, 以及足够的抗滑性能和足够的平整度等基本性能。面层是否具备以上基本性能, 不仅取决于面层所用的材料, 也与施工工艺及施工质量密不可分。路面材料按其性状可分为: 沥青混合料类材料 (包括沥青混凝土、沥青碎石、沥青贯入式、沥青表面处治等)、水泥混凝土类材料 (包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、钢纤维混凝土、预应力混凝土、碾压混凝土等) 以及散粒料类材料等。

1. 按面层所用材料不同

按面层所用材料的不同, 可将路面分为沥青路面、水泥混凝土路面、粒料路面、块料路面等。

(1) 沥青路面

沥青路面是由沥青混合料面层和基层 (间或有垫层) 所组成的路面结构。其中, 沥青混合料是由沥青与适当比例的集料和填料 (矿粉) 经拌制而成的混合料总称。

沥青路面具有以下优点:

- ①较好的力学强度, 能承受车辆等施加到路面上的各种荷载。
- ②良好的弹性和塑性变形能力, 能承受相当的应变而不易破坏。
- ③路面整体性较好, 平整、无接缝。
- ④与汽车轮胎的附着力较好, 可保证行车安全。
- ⑤有较好的减振性, 可使汽车快速行驶、平稳且低噪声。
- ⑥施工期短, 维修工作比较简单。
- ⑦不扬尘, 且容易清扫和冲洗。

另外, 沥青路面可再生利用, 因而应用广泛, 成为中国高等级公路的重要路面形式。但沥青路面也主要存在易疲劳及高温稳定性差、低温缩裂性等缺点, 这些还有待改进, 改进沥青路面工程特性的研究工作也在不断探索中。需要指出的是, 虽然沥青路面因使用沥青而使混合料的强度和稳定性都有显著提高, 但其抗弯强度较低, 因此对路面的基础要求较高, 其应具有足够的强度及稳定性。路面的稳定性在很大程度上取决于土基和基层的特性, 尤其在低温或高温环境下以及湿度较大的路段。

(2) 水泥混凝土路面

水泥混凝土路面是由水泥混凝土面层和其他材料基层所组成的路面结构, 也称刚性路面, 是一种得到广泛使用的路面类别。与其他路面材料相比, 水泥混凝土路面具有以下优点:

①强度高、刚性大。水泥混凝土路面面板具有很高的力学强度, 在车辆荷载的作用下产生的变形微小, 板内所产生的最大应力低于水泥混凝土的极限应力, 所以车辆荷载理论上对混凝土面板的伤害很少; 另一方面, 由于板的刚性大, 汽车荷载产生的应力传到基层上时强度已经变得很小, 路基内部所受到的单位应力则更小。水泥路面对基层和路基的要求比沥青路面低很多。

②稳定性好。水泥是水硬性材料, 在与集料加水后化合, 凝结成刚性很大的整体性材料, 具有非常好的力学稳定性、水稳性及热稳性。其能通行包括履带式车辆在内的各种运输工具, 且不易出现沥青路面的老化现象, 不利自然环境因素对其力学性能的影响相对较弱。

③耐久性好。由于路面材料的强度高、整体性和稳定性良好, 因此经久耐用。理论上

使用年限很长,一般为 20~40 年。

此外,水泥混凝土路面理论上对路面基础的要求较沥青路面宽松;路面能见度良好,有利于夜间行车以及养护费用较少等。

水泥混凝土路面也存在一些明显的缺点:

①水泥和水的用量大。这对水泥供应紧张和缺水地区的施工会带来一定的困难。

②行车舒适性差。路面有接缝,容易跳车且处理不当容易导致路面破坏;路面刚度大加剧了行车的振动,行车噪声大等影响行车的舒适性。

③施工期长、交通开放晚。由于水泥混凝土强度增长慢,混凝土路面完工后,客观上需要对其进行较长时间养护,因而交通开放较晚。

④路面修复困难。路面破坏后,其裂缝或破坏区域都比较大,修补范围也较大,工作面开凿不易。修补后也存在混凝土养护时间长等问题。

经过长时间的工程实践,人们对面层材料的认识不断加深,水泥混凝土路面尽管具有独特的优点,但其同样明显的缺点影响了它的使用范围,有逐渐淡出高等级公路建设的趋势。

(3) 粒料路面

粒料路面是指用碎石、砾石、砂砾、矿渣、碎砖等颗粒材料,以土或灰土为结合料铺筑的路面。可按碎石嵌挤原理或最佳级配原理进行修筑。碎石、砾石材料的强度较高,可用于修筑中级路面的面层或高级、次高级路面的基层;碎砖等强度较低的材料,只能用于修筑路面的垫层或交通量小的中级和低级路面的基层和面层。

(4) 块料路面

块料路面是指用块状石料、水泥混凝土块、缸砖等块料经人工铺砌而成的路面。块料下须设置整平层,块料路面结构简单,能承受较大荷载,造价低廉,便于修复,且可做成不同色彩,因此,在公园、广场、停车场、堆场、人行道及街区道路得到较广泛应用。

通常,路面面层类型的选用和公路等级存在着如下相关关系:

①沥青混凝土:适于高速公路、一级公路、二级公路、三级公路及四级公路。

②水泥混凝土:适于高速公路、一级公路、二级公路、三级公路及四级公路。

③沥青贯入式、沥青碎石、沥青表面处治:适于三级公路及四级公路。

④砂石路面:适于四级公路。

2. 按力学性质和设计方法不同

路面类型一般都按面层所用的材料划分,但是在工程设计中,主要从路面结构在行车荷载作用下的力学特性和设计方法出发,将路面划分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面 3 类。

(1) 柔性路面

柔性路面的结构刚度较小,抗弯拉强度较低,在车辆荷载作用下有较大的弯沉变形。路基路面结构主要靠抗压强度和抗剪强度承受车辆荷载的作用。柔性路面主要包括用有机结合料或一定塑性细粒土稳定各种集料基层、沥青贯入碎石基层、热拌沥青碎石基层或乳化沥青碎石混合料、不加任何结合料的各种集料基层和泥灰结碎石等柔性基层和各类沥青面层。

(2) 刚性路面

刚性路面主要指用水泥混凝土作面层或基层的路面结构。水泥混凝土强度高,与其他筑路材料比较,其抗弯拉强度高,且有较高的弹性模量,故呈现出较大的刚性,因而具有较强的应力扩散能力。在车辆荷载作用下,水泥混凝土结构层处于板体工作状态,变形极小,传递给基础上的单位压力比柔性路面小很多。

(3) 半刚性路面

用无机结合料稳定集料或稳定土类，且有一定厚度的基层结构称为半刚性基层（也称整体性基层）。它前期具有柔性路面的力学性质，后期强度和刚度均有较大的发展。其最终的强度和刚度仍较刚性路面低。由于这种材料的刚性处于柔性路面和刚性路面之间，因此把这种基层和铺筑其上的沥青面层称为半刚性路面。

三、路面施工准备工作的内容

路面施工准备工作是做好路面工程施工的前提条件。路面施工准备工作是施工组织管理人员在具备了施工管理基础知识，熟悉路面工程设计图纸、招投标文件和施工技术的情况下，综合运用施工技术、施工管理组织学知识，依据工程项目所在地区的自然条件、工程情况，以及劳动力、原材料、主要机械与设备等供应情况和路面施工质量要求等，编制路面实施性施工组织设计（或施工方案），做好路面施工前的一切准备工作。

路面施工准备工作的主要内容包括组织准备、技术准备、施工现场准备、物资准备等。

（一）组织准备

路面工程开工前的组织准备工作的主要内容是建立路面施工组织机构、建立路面施工班组、编制路面施工管理规划、确定路面施工目标。

1. 建立施工组织机构

施工组织机构是指为完成施工任务而成立的负责现场施工与管理工作的项目经理部（项目部），包括职能部门及生产、环保、安全、质量等基层操作体系。

施工企业取得施工任务后，首先应组建工程项目部，确定项目领导班子。项目部在项目经理领导下开展工作。为了充分发挥项目部在项目管理中的主导作用，应贯彻“少而精”的原则合理设置机构，做到规章制度完备、岗位职责具体、目标任务明确、各项措施到位、运行功能齐全。

结合工程项目的规模、复杂程度和专业特点，根据项目管理组织机构设置原则，选用适当的组织机构形式，组建目的明确、精干高效、技术配备精良、设备先进齐全、生产快速高效的施工组织管理机构，建立项目分工责任制，完善工程质量分级管理体系，明确各自的责任、权限和义务等。

项目部应在遵守企业规章制度的前提下，根据项目管理需要，制订施工过程中必要的组织与技术管理规章制度。

2. 确定路面施工班组

施工班组是直接参与施工的基层生产组织，应选择经验丰富、责任心强、工作认真负责、可靠的施工班组。一般根据需要由班组人员分工兼任记工、领料、保管、质量检查、安全检查等工作。班组的人数及工作性质，应根据工程需要及管理需要确定。

施工班组的建立有两种形式：一种是按工艺专业化原则建立，如木工班、钢筋班、混凝土班等；另一种是按施工专业化原则建立，如路面基层班、路面面层班等。

施工班组的合理组织和劳动力合理安排，是保证施工连续性、紧凑性、协调性和经济性的前提。

3. 编制路面施工管理规划

路面施工管理规划是对项目施工管理的组织、内容、方法、步骤、重点工作进行预测和决策，是具体安排的纲领性文件。

路面施工管理规划的主要内容有：

①进行工程项目分解，形成施工对象分解体系，以便确定阶段性控制目标，从局部到整体地进行施工活动和进行施工管理。

②建立路面施工管理工作体系，绘制路面施工管理工作体系图和路面施工管理工作信息流程图。

③编制施工管理规划，确定管理要点，形成文件，有利于执行。

4. 确定路面施工目标

路面施工目标有阶段性目标和最终目标。路面施工目标也可分为质量目标、安全目标、工期目标、成本目标等。在劳动组织准备阶段确定路面施工目标,是为了保证工程项目在施工阶段进行全过程控制。

根据确定的路面施工目标,结合路面工程施工进度计划、劳动力的调配情况,合理地组织安排施工环节和施工过程,严格劳动纪律,严把工程质量关,实施奖惩制度,最大限度地创造最佳效益。

(二) 技术准备

路面施工前的技术准备工作包括设计文件熟悉和核对、补充资料调查、实施性施工组织设计和施工预算编制、路面施工测量放样、原材料试验与混合料配合比设计、路面施工技术交底等。对于高速公路和一级公路或采用新技术、新工艺及新材料的其他等级公路的路面施工,除做好上述准备工作外,还应在路面大规模施工前铺筑试验路段,为路面正式施工提供技术依据。

1. 设计文件熟悉和核对

设计文件是工程施工最重要的依据之一,施工前要组织技术人员领会设计文件的意图,熟悉设计文件中的各项技术指标,认真分析技术经济的合理性和施工的可行性。对设计文件中有疑问、错误或设计不妥之处,应及时与建设单位(业主)、设计单位和监理工程师联系,共同进行调查分析,选择合理的解决方案。

对路面工程设计文件和路面设计图纸进行现场核对的主要内容是:

- ①各项路面施工计划的布置和安排是否符合路面施工技术规范的要求。
- ②路面工程设计图纸、技术资料是否齐全,有无错误和相互矛盾之处。
- ③路面工程设计文件所依据的水文、气象、地质、岩土等资料是否准确、可靠、齐全。
- ④整个工程设计内容和技术条件,弄清设计规模、各分项工程的结构特点和形式。
- ⑤设计文件中路面结构是否合理,质量要求和集料级配范围是否合理。
- ⑥核对路线中线、主要控制点、转角点、水准点、三角点、基线等是否准确无误。
- ⑦路面施工方法、料场分布、运输工具、道路条件等是否符合工程现场实际情况。

现场核对时,如发现设计有错误或不合理之处,应提出修改意见报上级主管部门审批,待核准批复后进行现场测量及设计单位修改设计、补充图纸等工作。

2. 补充资料调查

进行现场补充资料的调查,是为优化和修改设计、编制实施性施工组织计划、因地制宜地布置施工场地等收集资料。调查的内容主要有:

- ①工程所在地地形、地质、水文、气候等自然条件;
- ②路面自采加工材料料场分布情况、储量、供应量与运距等情况;
- ③路面地方性生产材料供应情况;
- ④施工期间可供利用的房屋数量;
- ⑤当地劳动力资源、工业生产加工能力、运输条件和运输工具,施工场地的水源、水质、电源、通信,生活物质供应状况,以及当地民俗风情、生活习惯等。

3. 实施性施工组织设计和施工预算编制

编制路面实施性施工组织设计和施工预算,是路面施工前非常重要的技术准备工作。

施工单位应根据设计文件中的施工组织计划和建设单位在承包合同中的具体要求,结合工程项目路面的特点、施工具体条件、路面工程量、施工难易程度以及路面施工设备、人员、材料供应情况和路面工期要求,编制具体、切实可行的实施性施工组织设计,并报监理工程师和业主批准。

4. 路面施工测量放样

路面开工前应做好施工测量放样工作,内容包括导线、中线、水准点复测,检查与补测纵横断面,校对和增加水准点,分别放样各结构层宽度、厚度、高程等。

5. 原材料试验和混合料配合比设计

对于拟选择的自采加工材料料场、地方性生产材料供应料场和外购材料,按照有关规定选取代表性的试样,进行原材料各项技术性能指标试验,在此基础上进行路面混合料配合比设计试验,确定混合料的施工配合比。原材料试验和混合料配合比设计结束后,应及时向监理工程师提交报告,经监理工程师审核批准后方可采购和使用。

6. 路面施工技术交底

技术交底即把设计对施工的要求、施工方案及措施转达给施工人员,这是落实技术责任制的前提。进行技术交底的目的是保证严格按照路面施工图、实施性施工组织设计、施工操作规程、安全生产规程、工程施工及验收规范和其他相关技术规范进行施工。

采用新技术、新结构、新材料、新工艺等的路面工程,应先由路面总工程师向施工队技术员交底,施工队向作业班组技术员交底,然后作业班组技术员向具体操作人员进行交底。一般路面工程由施工队的单位工程技术负责人向班组长和工人交底。

路面施工技术交底内容包括:

①路面设计图纸交底,即主要是设计图纸上必须特别注意的问题,如尺寸、轴线、高程、预留孔和预埋件的位置、规格和数量等。

②原材料交底,即使用材料的品种、规格和质量要求等。

③路面施工工艺交底,即采用的施工方法、操作工艺和其他工种的配合等。

④路面施工规范、技术标准交底,即采用的施工规范、质量评定标准和有关要求。

⑤技术措施交底,即保证质量、安全生产、降低成本、文明施工和工程产品保护等技术措施要求。

⑥样板交底。凡采用新技术、新工艺、新材料的工程和技术复杂的工程,应在正式施工前,做出样板或实际样品,经有关多方核查研究同意后,方可正式施工。

⑦路面设计变更情况交底。

(三) 施工现场准备

1. 临时设施

在路面工程正式开工前,充分建造好相应的临时设施,如工棚、仓库、供水、供电、通信设施等。

(1) 加工场地

加工场(站、厂)的建筑面积,通常参照有关资料或根据施工单位的经验确定,也可按有关公式计算。

大型沥青混凝土或水泥混凝土搅拌设备的场地面积,根据设备说明书的要求确定。必要时应对拌合场的场地和进出场道路、堆料场地等进行“硬化”处理。在细集料的堆放场地应搭设防雨棚,防止细集料受到污染。

上述建筑场地的结构形式应根据当地条件和使用期限而定。使用年限短的采用简易结构,如油毡或草屋面的竹木结构;使用年限较长的则可采用瓦屋面的砖木结构或活动房屋等。

(2) 临时仓库

工地临时仓库分为转运仓库、中心仓库和现场仓库等。临时仓库组织是确定材料储备量和仓库面积、选择仓库位置和进行仓库设计等。

建筑材料的储备量既要保证工程连续施工的需要,也要避免材料积压而增大仓库面积。

供应不易保证、运输条件差、受季节影响大的材料可增大储存量。常用材料的储备量宜通过运输组织确定。

对不经常使用和储备期长的材料,可按年度需用量的某一百分比储备。

一般的仓库面积可按有关公式计算,特殊材料(如爆炸品、易燃或易腐蚀品)的仓库面积,按有关安全要求确定。

仓库除满足总面积要求外,还要正确确定仓库的平面尺寸,即仓库的长度和宽度。仓库的长度应满足装卸要求,宽度要考虑材料的存放方式、使用方便和仓库的结构形式。

(3) 行政、生活用临时房屋

此类临时房屋的建筑面积取决于工地的人数,包括施工人员和家属人数。

编制施工组织设计时,应尽量利用工地附近的现有建筑物,或提前修建能利用的永久房屋,如道班房、加油站等,不足部分修建临时建筑。

临时建筑应按节约、适用、装拆方便的原则设计,其结构形式按当地气候、材料来源和工期长短确定,通常有帐篷、活动房屋和就地取材的简易工棚等。

(4) 临时供水、供电、供热

工地临时供水、供电、供热应解决确定用量、选择供应来源、设计管线网络等问题。如供应来源由工地自行解决,还需要确定相应的设备。

确定用量时,应考虑施工生产、生活和特殊用途(如消防、抗洪)的需用量。选择供应来源时,首先考虑当地已有的水源、电源。若当地没有或供应量不足时,才需自行设计解决。

在沿线河流上取水时,要取样化验,检查水质是否符合工程或生活上使用的要求。路线附近可利用的水源要与就近掘井取水作经济比较确定。在有自来水设施的地区施工,饮用水使用自来水,工程及其他用水如无合适天然水源可利用时,也可使用自来水,但要与供水单位订立供水协议。

施工和生活用电最好利用当地电源,要了解供电单位能否满足工地用电的要求,并与供电单位订立供电及安装输电线路和设施的协议。当供电单位经常定期停电、供电量满足不了施工需要或根本就没有可利用的电源时,应自备电源。

2. 路基检查

不论是路堤、路堑还是原有路面,铺筑路面结构层之前,必须进行检查验收,其压实度、弯沉值、高程、平整度等技术指标达到规定的要求后,才可进行路面施工。如发现路基土过干、表层松散,则应适当洒水、碾压;如路基土过湿,发生“弹簧”现象,应采取挖开晾晒、换土、掺石灰或水泥等措施进行处理。

3. 施工现场交通管制

为了确保路面施工安全有序,对施工现场范围内的公路两端和必经的交叉路口、部分设施设备等设置施工标志,进行施工现场交通管制。应对附近人群进行施工安全宣传。

(四) 物资准备

路面施工要消耗大量的人力、材料和机具,正式开工前应进行所需材料的购买、采集、加工、调运和储备等工作,同时要检修或购置及安装一些路面施工机械、机具,做好施工人员的生活、后勤保障准备工作。材料和施工机械、机具的准备工作是路面施工组织计划的重要组成部分。

1. 材料准备

当地采购或开采加工的材料(如砂、石等),必须对其产地、品质、数量、运输和价格做详细的调查分析。需要临时开采加工的材料,要了解可否发包给当地生产供应部门,并与自行组织生产作经济比较。特别要注意在设计文件提供的材料产地以外,能否找到材料品质符合要求、运距更近的产地。

自采材料和外运材料,经检验和选择,按需要的规格和数量运到现场,堆放位置应根据实施性施工组织计划进行合理安排。

路面工程材料运输,可利用当地已有的运输力量,必须了解当地可利用的运输工具的类型、数量、运输能力和运价。如果当地运输力量不能满足要求或经比较不经济时,可自行组织运输。

2. 施工机械、机具准备

应按照施工合同规定,配备足够的施工机械、设备及器具,并保证均处于良好的技术状态及满足施工的需要,并应有相匹配的维修措施。

根据路面实施性施工组织计划,一次或分批配齐足够的施工机械和相关工具。

有些不常使用的机械设备可以采用租赁方式,施工单位只要向租赁者按合同规定定期交付一定的租赁费便可取得设备的使用权,从而可以减少或根本就不需要购买那些不常使用的设备。在租赁设备调查中,首先要了解出租设备的型号、功能、数量等能否满足施工要求,同时还要将租赁与自购进行经济比较,以便择优选。如选择租赁设备,要签订租赁合同。机械设备的放置,应考虑施工要求。

3. 安全防护准备

应严格执行国家规范的规定要求,加强安全生产管理,落实安全生产责任,提高作业人员的安全意识,准备好各种安全防护设施和劳动防护用品,正确使用安全防护用品。

项目部办公区、员工生活区、施工现场、拌和场地等,应先确定危险源,并制订相应的防范措施及应急预案。项目部所有员工和施工人员(包括合同工、农民工)及在建工程均应选择合适的保险种类进行投保。

安全防护措施应是施工组织设计的重要组成部分,同时,这些措施必须有效、可靠并落实。

四、路面施工测量放样

路面施工测量放样是在路基施工完成后,放出各结构层施工的中线和边线,并把每层施工的松铺挂线(或摊铺机导引绳挂线)高度和压实厚度相应的挂线高程位置放样出来。

路面施工前,应根据路线导线点或控制点恢复中线,钉设中心桩和边线桩。一般直线段桩距为 20~25m,曲线段为 10~15m,并在两侧路肩边缘外 0.3~0.5m 处设置指示桩。此外,还应测量原有路基顶面的断面高程,在两侧的指示桩上标记路面基层(底基层)的顶面高程位置线。

路面施工中要充分考虑到路面层次的特点,做到“层层放样、层层抄平”,即每施工一层都要进行放线和高程测量,从底基层、基层直至面层。

五、路面混合料拌和厂(场、站)设置

(一) 沥青混合料拌和厂(场、站)设置

沥青混合料拌和厂(场、站)设置的基本要求如下:

①沥青混合料拌和厂(场、站)必须符合国家环境保护、消防、安全等有关规定。沥青混合料拌和厂(场、站)应选在远离居民区、村庄并处于主风向下方向的位置。

②拌和厂(场、站)与工地施工现场距离应确保沥青混合料的温度下降不超过混合料的最低摊铺温度要求,且不致因颠簸造成混合料的离析,影响混合料的质量。厂址离工地越近越好,最远不宜超过 40km,有条件时应选在有 7m 宽路面的交通干线公路附近。

③拌和厂(场、站)宜设在摊铺路段的中间位置。拌和厂内部布置应满足原材料储运、沥青及集料、矿粉加热与输送、供电等使用要求,并尽量紧凑,减少占地。

④砂石料场应建在交通运输方便、排水通畅的位置,其底部宜做硬化处理。各种集料应分隔储存,并设标识牌,严禁混杂。粗、细集料场宜设防雨、防污顶棚。

⑤拌和厂(场、站)应保证充足的电力供应。电力总容量应满足全部施工用电设备、夜间施工照明及生活用电的需要。供电设施必须安全可靠,并有相应的安全预控措施。

⑥应确保摊铺机械、运输车辆及发电机等动力设备的燃料供应。离加油站较远的工地

宜设置油料储备库,但必须符合相关安全规定要求。

⑦原材料与混合料运输车辆不应相互干扰。厂内应具有完备的排水设施,厂内道路应做硬化处理,严禁泥土污染集料。

⑧对于沥青混凝土搅拌设备,应根据工程量和工期选择其生产能力和移动方式。高速公路及一、二级公路沥青混凝土面层的施工,应选用拌和能力较大的搅拌设备,以使其单位产品所消耗的人工、燃料和易损配件等费用较低,故应选用生产量在 100t/h 以上的沥青混凝土搅拌设备。

⑨场地形状宜为矩形,场内各项设施(包括拌和设备、办公区、生活区等)的布置应协调。设备的主体应布置在中央位置,办公楼、宿舍、实验室等房舍应位于工厂进口处,并沿路边建造,砂石料堆场或储仓的设置应便于向搅拌设备供料,又便于车辆从外面运进和卸下砂石料。砂石料的储量以不少于 3~5d 工作需要为宜,矿料仓、沥青库和燃料罐等设施的布置也应以便于向主设备供送所需材料为准。配电间或发电机房应安置在较偏僻而又安全的地方,称量矿料及成品料的地方应设置于车辆的出口处。

(二) 水泥混凝土搅拌厂(场、站)设置

水泥混凝土搅拌厂(场、站)设置的基本要求如下:

①水泥混凝土搅拌厂(场、站)宜设置在摊铺路段的中间位置。搅拌厂内部布置应满足原材料储运、混凝土运输、供水、供电、钢筋加工等使用要求,并尽量紧凑,减少占地。

②搅拌厂(场、站)应保障搅拌、清洗、养生用水的供应,并保证水质。供水量不足时,搅拌厂(场、站)应设置与日搅拌量相适应的蓄水池。

③搅拌厂(场、站)应保证充足的电力供应。电力总容量应满足全部施工用电设备、夜间施工照明及生活用电的需要。供电设施必须安全可靠,并有相应的安全预控措施。

④应确保摊铺机械、运输车辆及发电机等动力设备的燃料供应。离加油站较远的工地宜设置油料储备库,但必须符合相关安全规定要求。

⑤水泥、粉煤灰储存和供应要求如下:

a. 每台搅拌楼应至少配备两个水泥罐仓,如掺粉煤灰还应至少配备 1 个粉煤灰罐仓。

当水泥的日用量很大,需要两家以上的水泥厂供应水泥时,不同厂家的水泥应清仓再灌,并分罐存放。严禁粉煤灰与水泥混罐。

b. 应确保施工期间的水泥和粉煤灰供应。供应不足或运距较远时,应储备和使用包装水泥或袋装粉煤灰,并准备水泥仓库、拆包及输送入罐设备。水泥仓库应覆盖或设置顶篷防雨,并应设置在地势较高处,严禁水泥、粉煤灰受潮或浸水。

⑥砂石料储备要求如下:

a. 施工前,宜储备正常施工 10~15d 的砂石料。

b. 砂石料场应建在排水通畅的位置,其底部应做硬化处理。不同规格的砂石料之间应有隔离设施,并设标识牌,严禁混杂。

c. 在低温天、雨天、大风天及日照强烈的条件下,应在砂石料堆上部架设顶篷或覆盖,覆盖砂石料数量不宜少于正常施工一周的用量。

⑦原材料与混凝土运输车辆不应相互干扰。搅拌楼下宜采用厚度不小于 200mm 的混凝土铺装层,并应设置污水排放管沟、积水坑或清洗搅拌楼的废水处理回收设备。

六、铺筑试验路段

高速公路和一级公路、特殊地区公路或采用新技术、新工艺、新材料、新设备的路面工程,在正式施工前,应采用不同的施工方案和施工方法铺筑试验路段并进行相关试验分析,从中选出最佳施工方案和施工方法,以指导大面积路面施工。所铺筑的试验路段应具有代表性,施工所用原材料、机械和工艺过程要与以后全面施工时相同。通过试验路段铺筑可确定路面各结构层适宜的松铺厚度、最佳机械配置、相应的碾压遍数和施工组织方法

等。

（一）沥青路面试验路段铺筑

高速公路和一级公路的沥青路面，在施工前应铺筑试验段，其他等级公路在缺乏施工经验或初次使用重大设备时，也应铺筑试验段。当同一施工单位在材料、机械设备及施工方法与其他工程完全相同时，也可利用其他工程的结果，不再铺筑新的试验路段。试验路段的长度应根据试验目的确定，通常宜为 100~200m，并宜选在正线上铺筑。

热拌热铺沥青混合料路面试验段铺筑分试拌及试铺两个阶段，应包括下列试验内容：

- ①检验各种施工机械的类型、数量及组合方式是否匹配。
- ②通过试拌确定拌和机的操作工艺，考察计算机打印装置的可信度。
- ③验证沥青混合料生产配合比设计，提出生产用的标准配合比和最佳沥青用量。
- ④通过试铺确定透层油或黏层油的喷洒方式和效果。
- ⑤确定沥青混合料的摊铺、压实工艺及松铺系数等。

⑥建立用钻孔取芯法与无破损法（如核子密度仪法）检测路面密度的对比关系。核子密度仪无破损检测在碾压成型后热态测定，取 13 个测点的平均值为 1 组数据，一个试验段的不得少于 3 组。钻孔取芯法在第 2 天或第 3 天以后测定，钻孔数不少于 12 个。

⑦确定沥青混合料的标准密度和压实度的标准检测方法。

⑧检测试验段的渗水系数。

试验段铺筑应由有关各方共同参加，及时商定有关事项，明确试验结论。铺筑结束后，施工单位应就各项试验内容提出完整的试验路施工、检测报告，取得业主或监理的批复。

（二）水泥混凝土路面试验路段铺筑

①二级及二级以上公路水泥混凝土面层施工前，应制订试验路段的施工方案和质量检测计划，并应铺筑试验路段。其他等级公路施工前宜铺筑试验路段。试验路段长度不应短于 100m，高速公路、一级公路宜在主线路面以外进行试铺。

②试验路段铺筑应达到下列目的：

- a. 确定拌和楼的拌和参数、实际生产能力和配料精度。
- b. 检验混凝土的施工性能、技术参数和实测强度。
- c. 检验铺筑机械、工艺参数及与拌和能力匹配情况。
- d. 检验施工组织方式、质量控制水平和人员配备。

③拌和楼应通过动、静态标定检验合格后方可试拌。试拌应确定下列内容：

- a. 每座拌和楼的生产能力、施工配合比的配料精度，以及全部拌和楼（机）的总产量。
- b. 计算机拌和程序及粗细集料含水率的反馈控制系统满足要求。
- c. 合理投料顺序和时间、纯拌和与总拌和时间。
- d. 拌合物坍落度、VC 值、含气量等工艺参数。
- e. 检验混凝土试件弯拉强度是否满足要求。

④用于试验段的拌和楼（机）试拌合格后，方可进行试验路段铺筑。

⑤试验路段铺筑时，应确定下列内容：

a. 主要铺筑设备的工艺性能、质量指标和生产能力满足要求；辅助设备的配备合理、适用；模板架设固定方式或基准线设置方式能够保证高程和厚度控制要求。

b. 实测试验路段的松铺系数、摊铺速度、振捣时间与频率、滚压遍数、碾压遍数、压实度、拉杆与传力杆置入精度、抗滑构造深度、摩擦系数、接缝顺直度等。

c. 验证施工各工艺环节操作要领，确定各关键岗位的作业指导书。

d. 检验施工组织形式和人员编制。

e. 通信联络、生产调度指挥及应急管理系统满足施工组织要求。

⑥试验路段铺筑后，应按国家标准的面层质量检验项目、技术要求和检查方法进行全

面质量评定, 并应符合下列规定:

- a. 应提交试验路段的检查结果总结报告, 报告中应包括试铺路段所采用的工艺参数、检验结果、存在的问题及改进措施, 对正式施工时拟采用的施工参数提出明确的指导书。
- b. 水泥混凝土路面试验路段应经过建设单位组织的对各项施工质量指标的复检和验收, 合格并经批准后, 方可进行正式铺筑施工。
- c. 符合国家标准规定各项质量技术要求的施工工艺、流程和参数应固化为标准化的施工工艺模式, 并贯穿施工全过程。
- d. 试验路段质量检验评定不合格, 或未能达到预期目标时, 应重新铺筑试验路段。

第二节 路面垫层施工

一、路面垫层的作用和类型

(一) 垫层的作用

垫层是基层或底基层与路基之间的结构层次, 主要起扩散荷载应力和改善路基水温状况的作用。

垫层往往是为蓄水、排水、隔热、防冻等设置的, 所以通常设在路基处于潮湿或过湿以及有翻浆的地段。在地下水位较高的地区铺设的能起隔水作用的垫层称为隔离层, 在冰冻较深地区铺设的能起防冻作用的垫层称为防冻层。此外, 垫层还能扩散由基层传下来的应力, 以减小土基的应力和变形, 而且它也能阻止路基土挤入基层中, 从而保证基层的结构性能。

(二) 垫层的结构类型

垫层根据选用的材料不同, 可分为透水性垫层和稳定性垫层两大类。

透水性垫层是由松散的颗粒材料(如砂、砾石、碎石、炉渣、片石等)构成。其对材料的要求不高, 但水稳性、隔热性和吸水性一定要好。

稳定性垫层由整体性材料(如石灰土或石灰煤渣土等)构成。并不是所有的公路都设计有垫层, 有些公路有垫层, 有些公路没有垫层, 设计单位根据公路所在地段的地质、地形、水文情况、气候条件等因素综合分析后确定是否设置垫层。

用石灰稳定细粒土得到的强度符合要求的混合料, 称为石灰土。用石灰、煤渣和土得到的强度符合要求的混合料, 称为石灰煤渣土。

细粒土: 颗粒的最大粒径小于 9.5mm, 且其中粒径小于 2.36mm 的颗粒含量不少于 90% (如塑性指数不同的各种黏性土、粉性土、砂性土、砂和石屑等)。

路面工程中, 常用的垫层有石灰土或石灰煤渣土、砂垫层、砂石垫层、碎石垫层、手摆片石垫层等形式。

(三) 垫层使用特点

1. 石灰土或石灰煤渣土

这类垫层成型后, 强度高, 有良好的水稳性和冻稳性。石灰煤渣土具有较强的保温性能, 可以减少翻浆和冻胀的危害。

2. 砂垫层、砂石垫层

这类垫层有较大的空隙, 能切断毛细水的上升, 冻融时又能蓄水、排水, 可减少路面的冻胀和沉陷。

3. 手摆片石垫层

这类垫层有较大的空隙, 能切断毛细水的上升, 可减少路面的冻胀和沉陷, 改善路基水温状况。

二、垫层施工要点

各类垫层的施工应符合设计和相关规范的要求。

（一）石灰土垫层的施工

石灰土垫层的技术要求、施工方法和质量管理应符合国家标准。

（二）砂垫层、砂石垫层的施工

①检验砂石料的质量，有无杂质，粒径是否符合要求，含水率是否在控制的范围内，级配是否符合要求。

②路基上的杂物、浮土清理干净，路基检查验收合格后，方能进行垫层施工。一般先修筑试验路段，制订标准施工方法后，严格按照试验段所确定的参数进行大面积施工。

③铺筑砂石应分层摊铺，松铺厚度应通过试验段确定，一般每层为 150~200mm。每层摊铺后，随之整平。

④砂石垫层施工时，应适当控制含水率，应在碾压前根据其干湿程度和气候条件，适当洒水以保持砂石的最佳含水率，一般为 8%~12%。

⑤每层的碾压遍数等参数应通过试验段确定。采用压路机往复碾压应不少于 4 遍，轮距搭接不小于 50cm，边缘和转角应用人工或蛙式打夯机补夯密实。

⑥砂石垫层分段施工时接搓处应做成斜坡，每层接搓处的水平距离应错开 0.5~1.0m，并应充分压实。

⑦施工时应分层找平，碾压密实。下层合格后，方可进行上层施工。

（三）手摆片石施工

1. 施工工艺流程

施工工艺流程为：施工准备→石料装运→人工手摆→嵌缝整平→碾压→片石垫层成型。

2. 施工要点

①下承层检查：下承层应平整、坚实。路基检查验收合格后，方能进行手摆片石施工。

②测量放样：在验收合格的路基上恢复中线和左右侧边桩线，并测得各桩点的高程，根据设计手摆片石垫层的厚度，挂线施工。

③石料装运至施工现场后，人工手摆片石，先摆大一点的片石，原则上大面朝下放平，尖端朝上，底部靠紧，不得倾斜及相互架空，片石之间的间隙用小的片石嵌紧，片石垫层表面有明显空洞、空隙的地方用碎石、石渣、石屑人工嵌缝，保证表面平整，无明显空洞、空隙。人工摆完后用压路机碾压。

④碾压时严格控制片石垫层的压实遍数，压实遍数通过试验段确定。按先慢后快、先轻后重、先稳后振、先低后高、轮迹重叠 1/2，前后相邻两区段的纵向接头处重叠 1.0~1.5m，直线由边到中，曲线由内侧到外侧，纵向进退式进行。碾压后实测顶面高程、平整度。手摆片石垫层的厚度、宽度、平整度等指标应符合设计要求。

第三节 路面基层施工

在路面结构中，直接位于路面面层之下的主要承重层称为基层。铺筑在基层下的次要承重层称为底基层。基层承受由面层传递的行车荷载的垂直应力作用，抵御自然因素的影响，是构成路面整体结构的主要组成部分。基层根据组成材料和使用性能的不同，可分为有结合料稳定类（有机结合料类 and 无机结合料类）和无结合料粒料类。

一、路面基层概述

（一）路面基层的分类

1. 有结合料的稳定类

有机结合料稳定类：包括热拌沥青碎石或乳化沥青碎石混合料、沥青贯入碎石等。

无机结合料稳定类主要包括以下几种。

水泥稳定类：包括水泥稳定沙砾、沙砾土、碎石土、未筛分碎石、石屑、土等，以及经加工性能稳定的钢渣、矿渣等。

石灰稳定类：包括石灰稳定土（石灰土）、天然沙砾土、天然碎石土，以及用石灰土稳定级配沙砾、级配碎石和矿渣等。

综合稳定类：石灰粉煤灰类包括石灰粉煤灰、二灰土、二灰砂、二灰碎石、二灰矿渣等；石灰粉煤灰包括水泥粉煤灰沙砾、碎石及砂等；石灰煤矿渣包括石灰煤渣、石灰煤渣土、石灰煤渣碎石、石灰煤渣沙砾等。

2. 无结合料的粒料类

嵌锁型：包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。

级配型：包括级配碎石、级配砾石、符合级配的天然沙砾、部分经轧制掺配而成的级配砾石、碎石等。

（三）路面基层的作用

沥青类路面通过厚度较薄的柔性面层分布传递荷载于基层，常须铺筑较厚的基层作为承重层；有时当基厚度较大时，还可视受载情况和当地材料供应情况等，分两层铺筑。

直接位于沥青面层（可以是一层、二层或三层）下用高质量材料铺筑的上层为主要承重层，称作基层；位于主要承重层下用质量较差一些的材料铺筑的下层为次要承重层，称作底基层。

水泥混凝土路面通过厚度较厚的刚性路面板（面层）极大地扩散荷载，故分布于基层的荷载很小，水泥混凝土路面板本身就起到了承重作用。但是水泥混凝土是脆性材料，变形能力较小，抗弯拉强度仅有抗压强度的 $1/6$ 或 $1/7$ 左右。

因此，要求混凝土板下的基层起连续、均匀支承的弹性地基作用，使混凝土板获得可靠支撑，不脱空，从而充分发挥水泥混凝土板的承重作用。通常水泥混凝土路面基层厚度比沥青类路面基层要小得多，一般不设底基层。

二、半刚性基层施工

（一）半刚性材料的概念和特点

半刚性路面基层是指在路面基层材料中掺入一定比例的石灰、水泥、粉煤灰或其他工业废渣等结合料，加水拌和形成的混合料，经摊铺压实及养护后形成的路面基层，与传统的全柔性路面基层（级配碎石、级配砾石、填隙碎石等）相比，半刚性路面基层具有较高的强度、刚度及良好的板体性、水稳性和一定的抗冻性，大大提高了路面的承载能力，因而被称为半刚性材料。

20 世纪中叶以来，半刚性路面基层被广泛用作路面基层，特别是理化、力学性能优越的水泥稳定粒料与石灰、粉煤灰稳定粒料（通常称为二灰稳定粒料），被广泛用作高等级道路路面的基层与底基层。因其强度大、承载能力高，对适应较薄的沥青面层，适当减薄沥青面层厚度，具有很大的现实意义与经济意义。半刚性基层材料以其强度高、原材料来源广、修建成本低等优势，成为中国公路建设中的主导路面基层类型。

但是半刚性基层材料组成设计指标、材料结构单一，致使所设计的基层抗裂、抗冲刷能力不足，降低了其应用效果。

（二）半刚性基层施工工艺

1. 路拌法施工（以石灰稳定土为例）

（1）准备下承层

当石灰稳定土用作基层时，要准备底基层；当石灰稳定土用作底基层时，要准备土基。对土基必须用 $12\text{t} \sim 15\text{t}$ 三轮压路机或等效的碾压机械进行碾压检验。

在碾压过程中如发现土过干、表层松散，应适当洒水；如土过湿，发生“弹簧”现象，应采用挖开晾晒换土、掺石灰或水泥等措施进行处理；在槽式断面的路段，两侧路肩上每

隔一定距离（如 5cm~10cm）应交错开挖泄水沟（或做盲沟）。

（2）施工放样

在底基层、老路面或土基上恢复中线；直线段每 15m~20m 设一桩，平曲线段每 10m~15m 设一桩，并在两侧路肩边缘外设指示桩；进行水平测量；在两侧指示桩上用明显标记标出水泥稳定土层边缘的设计高。

（3）备料

根据灰土层的宽度、厚度及最大干密度，计算出需要干燥土的数量；再根据土的含水量和所用运料车辆的吨位，计算每车料的堆放距离和每平方米灰土需要的石灰用量，确定石灰摆放的纵横间距。

按照松铺厚度将土摊铺均匀一致，有利于机械化施工；铺土后，先用推土机大致推平，然后用平地机整平，清余补缺，保证厚度一致，表面平整。

（4）洒水闷料

如果已经整平的土含水量过低，那么需要在土层上洒水闷料；需要注意的是，洒水要均匀，杜绝出现局部水分过多的现象，严禁洒水车在洒水段内停留和调头。

（5）摆放和摊铺石灰

按计算所得的每车石灰的纵横间距，用石灰在土层上做标记，同时划出摊铺石灰的边线；用刮板将石灰均匀摊开，石灰摊铺完后，表面应没有空白位置。测量石灰的松铺厚度，根据石灰的含水量和松密度，校核石灰用量是否合适。

（6）拌和与洒水

对于二级及二级以上公路，使用生石灰粉时，宜先用平地机或多铧犁将石灰翻到土层中间，但不能翻到底部；对于三、四级公路的石灰稳定细粒土和中粒土，在没有专用拌和机械的情况下，可用农用旋转耕作机与多铧犁或平地机相配合拌和四遍；为石灰稳定级配碎石或沙砾时，应先将石灰和需添加的黏性土拌和均匀，然后均匀地摊铺在级配碎石或沙砾层上，再一起进行拌和；用石灰稳定塑性指数大的黏土时，应采用两次拌和。第一次加 70%~100% 预定剂量的石灰进行拌和，闷放 1 天到 2 天，此后补足需用的石灰，再进行第二次拌和。

（7）整形与碾压

混合料拌和均匀后应立即用平地机初平。

一般在直线段，由两侧向路中心刮平；在曲线段，由内侧向外侧刮平。然后，用轮胎压路机、轮胎拖拉机或平地机快速碾压。不平整的地方，用齿耙把表面 5cm 耙松，必要时，用新拌的混合料找平，再进行碾压。每次整平碾压，均需按要求调整坡度和路拱。为避免出现薄层贴补，在总厚度满足要求的情况下，摊铺时宜宁高勿低，整平时宜宁刮勿补。

整平后当混合料处于最佳含水量不超过 1%~2% 的范围时，进行碾压。如表面水分不足，应适当洒水。在人工摊铺和整平的情况下，应先用拖拉机、6t~8t 两轮压路机或轮胎轧路机碾压 1~2 遍，再用重型轮胎压路机、振动压路机或 12t 以上的三轮压路机进行碾压。碾压结束之前，用平地机终平一次，使高程、路拱和超高符合设计要求，局部低洼之处不得找补，以免出现薄层贴补现象。

（8）接缝和调头处的处理

两个工作段之间，需要采用对接的形式进行搭接。在上一部分拌和之后，留下 5m~8m 的距离不进行碾压工作。当进行下一路段的施工时，再与上一段没有碾压的部分共同进行拌和。需要注意的是，在实际的施工过程中，由于工作需要，拌和机械常常需要调头，但是已压成的石灰稳定土层上不允许拌和机械调头。其他拌和机械的调头位置需要采取必要的保护措施，例如，在上面覆盖 10cm 左右厚的沙或者沙砾等，使得石灰稳定土层的表面不被机械破坏。

在石灰稳定土层阶段的施工过程中, 需要避免纵向接缝的出现, 如果必须分两幅施工, 纵缝与纵缝之间不能够出现斜接的情况。

2. 厂拌法施工 (以水泥稳定土为例)

(1) 准备工作

向驻施工现场监理单位报送“基层开工报告单”, 经同意后方可进行基层施工; 土基、垫层、底层及其中埋设的各种沟、管等隐蔽构造物, 必须经过自检合格, 报请驻场监理单位检验, 签字认可后, 方可铺筑其上面的基层; 各种材料进场前, 应检查其规格和品质, 不符合技术要求的不得进场; 材料进场时, 应检查其数量, 并按施工平面图堆放, 而且还应按规定项目对其抽样检查, 其抽样检查结果, 报驻场监理单位; 水泥稳定土基层施工前应铺筑试验段。

(2) 施工放样

恢复中心线, 每 10m 设标桩, 桩上划出基层设计高和基层松铺的厚度。

松铺厚度 = 压实厚度 × 松铺系数

中心线两侧按照路面设计图设计标桩, 在标桩上划出基层设计高和基层松铺厚度, 这样做的目的是使基层的高度、厚度和平整度达到标准。

(3) 拌和与摊铺

拌和时应按混合料配合比要求准确配料, 使集料级配、结合料剂量等符合设计, 并根据原材料实际含水量及时调整向拌和机内的加水量。水泥稳定土混合料的含水量可比最佳含水量大 1~2 个百分点, 这样可获得较好的压实效果。

拌和好的水泥稳定类混合料应尽快运到施工现场摊铺并碾压成型, 以免因时间过长而使混合料强度损失过大。运输混合料的距离较长时, 应用篷布等覆盖混合料以免水分损失过大。

对于二级及二级以上公路, 应采用专用稳定土拌和机进行拌和, 并设专人跟随拌和机, 随时检查拌和深度并配合拌和机操作员调整拌和深度。拌和深度应达稳定层底并宜侵入下承层 5mm~10mm, 以利于上下层黏结, 严禁在拌和层底部留有素土夹层。

对于三、四级公路, 在没有专用拌和机械的情况下, 可用农用旋转耕作机与多铧犁或平地机相配合进行拌和, 但应注意拌和效果, 拌和时间不能过长; 也可用缺口圆盘耙与多铧犁或平地机相配合, 拌和水泥稳定细粒土和中粒土, 但应注意拌和效果, 拌和时间不可过长。

(4) 整形碾压

在整形施工过程中, 平土机是最受欢迎的施工机械。除了使用机械之外, 还可以直接人工整形。

但需要注意的是, 高速公路施工作业一般都使用机械进行整平; 在初步整平的阶段, 使用轻型的机械快速碾压路面, 进而将潜在不平整的位置暴露出来, 再进行整平工作也就更加方便了。

一般情况下, 整形要进行 1 次到 2 次; 路面局部地区可能会出现低洼现象, 那么需要使用齿耙把低洼路面表层 5cm 耙松, 再使用新拌的混合料进行找补、整平; 在整形工序进行过程中, 路面不能够有任何车辆通过; 在整形工作完成以后, 使用大于 12t 的三轮压路机、重型轮胎压路机或振动压路机碾压。

在碾压过程中, 碾压的速度应该适中, 采用由低处向高处、由近处向远处的方式进行碾压作业, 直到达到需要的压实度位置。施工时, 基层表面不能过于干燥, 需要始终保持潮湿的状态, 如果出现表层水蒸气蒸发过快的现象, 那么需要施工人员及时补洒少量的水。在碾压过程中如果出现了“弹簧”“松散”“起皮”等现象, 施工人员要及时将这样的路面翻开, 重新进行拌和, 或者采用其他有效的方式将这一问题解决, 使路面的质量达到使

用标准的要求。

(5) 接缝处理

横向接缝的处理方式主要包括以下几点。

使用摊铺机将混合料摊铺，混合料摊铺是持续的过程，不能被中断，如果有特殊情况造成摊铺作业中断 2h 以上，再施工时应该设置横向接缝，并且摊铺机要远离混合料的末端。

末端的混合料需要进行人工整平，在混合料的边缘放置两根方形的木棍，方木的高度需要与混合料压实的厚度相等，将方木附近的混合料整平；方木的另一侧用沙砾或碎石回填，回填的距离为 3m 左右，并且回填的高度应该高于方木几厘米；在重新进行摊铺工作之前，把方木、沙砾或者碎石全部清理，下承层也需要进行彻底清扫；此时将摊铺机放置到已压实层的尾部，重新进行混合料的摊铺工作。

如果摊铺工作因为种种原因中断，也没有按照上述方式将横向接缝进行科学的处理，并且摊铺工作被中断的时间超过了 2h。此时再进行摊铺工作时，需要把摊铺机附近以及机械底部没有完全被压实的混合料清理掉，并将已碾压压实且高程和平整度符合要求的末端挖成一横向垂直向下的断面，这一工作完成之后，才可以进行后续的摊铺工作。

纵向接缝处理方法主要包括以下几点。

在施工过程中，应该尽量避免出现纵向接缝，如果由于某些原因，必须要产生纵向接缝，那么纵向接缝必须是垂直的，并且采用以下措施进行科学的处理。

在上一幅摊铺作业过程中，在后面一幅的一侧施工钢模板或者方木作为支撑，这时使用的钢模板或者方木的厚度应该等同于路面压实的厚度；在道路养生完成之后，在摊铺另一幅路面之前，先将钢模板或者方木拆除。

(6) 养生及交通管制

养生期应采取洒水保湿措施，在铺筑上层之前，至少养生 7d。养生方法根据情况可采用洒水、覆盖沙等方法。未采用覆盖措施时，应封闭交通。采用覆盖沙或喷洒沥青膜养生，不能封闭交通时，应限制车速不得超过 30km/h。养生期结束，应立即施工上层，以免产生收缩裂缝；或先铺封层，开放交通，待基层充分开裂后，再施工上层，以减少反射裂缝。

三、粒料类基层施工

(一) 级配碎(砾)石

1. 路拌法施工

(1) 准备下承层

级配碎石路拌法施工的下承层表面应保持平整，具有规定的路拱，平整度和压实度应符合规范规定。需要注意的是，下承层断面不宜做成槽式。

(2) 测量放样

应该按照规范的具体规定逐个断面检查下承层的标高。

(3) 备料

计算材料用量，根据各路段的基层或底层的宽度、厚度及规定的压实干密度并按确定的配合比，分别计算各段需要的未筛分碎石和石屑的数量或不同粒级碎石和石屑的数量，并计算每车料的堆放距离。

未筛分碎石的含水量较最佳含水量宜大 1% 左右。未筛分碎石和石屑可按预定比例在料场混合，同时，洒水加湿，使混合料的含水量超过最佳含水量约 1%。

(4) 运输与摊铺

集料装车时，应控制每车料的数量基本相等。在同一料场供料的路段内，宜由远到近卸置集料。卸料距离应严格掌握，避免料不够或过多。未筛分碎石和石屑分别运送时，应先运送碎石。

应事先通过试验确定集料的松铺系数并确定松铺厚度。人工摊铺混合料时，其松铺系

数约为 1.40~1.50; 平地机摊铺混合料时, 其松铺系数约为 1.25~1.35。用平地机或其他合适的机具将料均匀地摊铺在预定的宽度上, 表面应力求平整, 并具有规定的路拱。同时, 应摊铺路肩用料。

(5) 拌和及成型

施工时根据拟定的混合料配合比、基层宽度与厚度及预定达到的干密度等计算确定各规格集料的用量, 以先粗后细的顺序将集料分层平铺在下承层上, 然后用人工或平地机进行摊平; 级配碎(砾)石混合料可用稳定土拌和机、自动平地机、多铧犁与缺口圆盘耙相配合拌和, 拌和应均匀, 避免出现集料离析现象, 确保级配碎(砾)石基层具有良好的整体强度。应边拌和边洒水, 使混合料达到最佳含水量。表面整理成规定的路拱横坡, 随后用拖拉机、平地机或轮胎压路机在初平的混合料上快速碾压 1~2 遍, 使潜在的不平整部位暴露出来, 再用平地机整平。

(6) 碾压

整形后, 当混合料的含水量等于或略大于最佳含水量时, 轮压路机、振动压路机或轮胎压路机进行碾压。直线和不设超高的平曲线段, 由两侧路肩开始向路中心碾压, 在设超高的平曲线段, 由内侧路肩向外侧路肩进行碾压。

碾压时, 后轮应重叠 $1/2$ 轮宽; 后轮必须超过两段的接缝处。后轮压完路面全宽时, 即为一遍, 碾压一直进行到符合要求的密实度为止。一般需碾压 6~8 遍, 应使表面无明显轮迹。压路机的碾压速度, 头两遍以采用 $1.5\text{km/h} \sim 1.7\text{km/h}$ 为宜, 以后用 $2.0\text{km/h} \sim 2.5\text{km/h}$ 。路面的两侧应多压 2~3 遍。严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头或急刹车。凡含土的级配碎石层, 都应进行滚浆碾压, 一直压到碎石层中无多余细土泛到表面为止, 滚到表面的浆(或事后变干的薄土层)应清除干净。

(7) 接缝处理

位于两个作业段之间衔接处的横缝, 需要进行搭接拌和; 在施工过程中, 应该尽量避免纵缝的出现, 如果实在难以避免纵缝, 那么纵缝也需要进行搭接拌和。

(二) 填隙碎石基层施工

填隙碎石基层施工的顺序为: 准备下承层→施工放样→运输和摊铺粗骨料→稳压一撒布石屑→振动压实→第二次撒布石屑→振动压实→局部补撒石屑并扫匀→振动压实, 填满空隙洒水饱和(湿法)或洒少量水(干法)→碾压。其中, 运输和摊铺粗骨料及振动压实是确保施工质量的关键。

填隙碎石施工时, 细集料应干燥; 采用振动压路机充分碾压, 尽量使粗碎石骨料的空隙被细集料填充密实, 而填隙料又不覆盖粗碎石表面自成一层, 粗碎石应“露子”。

填隙碎石的压实度用固体体积率来表示, 用作基层时, 不应小于 83%; 用作底基层时, 不应小于 85%。填隙碎石基层碾压完毕, 铺封层前禁止开放交通。

第四节 沥青类路面面层施工

沥青混合料面层是指用沥青作结合料铺筑的路面结构。由于使用了黏结力较强的沥青材料, 集料间的黏结力极大增强, 因而提高了沥青混合料的强度和稳定性, 使面层的行驶质量和耐久性都得到提高。与水泥混合料面层相比, 沥青混合料面层具有表面平整、无接缝、行车平稳、振动小、噪声低、施工期短、养护方便等优点。

一、沥青路面概述

(一) 沥青路面的特点

沥青路面由于使用了黏结力较强的沥青材料, 使经嵌挤压实的矿料之间的黏结力大大加强, 路面的使用质量和耐久性都大为提高。表面平整、坚实、无接缝、行车平稳舒适、噪声小。

路面强度可根据矿料的粒径、颗粒级配和沥青用量的不同进行调节,以适应不同的需要。面层透水小,特别是密实沥青混凝土面层透水更小,能大大防止地表水进入路面基层和路基,从而使路面强度稳定。同时,土基和基层内水分也难以排出。

在潮湿路段,若路面结构处理不当,易发生土基和基层变软,导致路面破坏。沥青混合料的生产可工厂化,质量易得到保证。面层适宜机械化施工,且施工进度快,摊铺完成后就可开放交通,分期建设和后期修补也较方便。

但沥青路面抗弯强度低,温度稳定性差,夏季高温暴晒,路面易变形而破坏;冬季低温时,沥青材料变脆而开裂。另外,履带式车辆不能在沥青路面上行驶。

(二) 沥青路面的分类

1. 按强度构成原理划分

沥青路面按强度构成原理划分可分为密实类路面和嵌挤类路面。

密实类沥青路面要求矿料的级配按最大密实原则设计,其强度和稳定性主要取决于混合料的黏聚力和内摩阻力。

密实类沥青路面按其空隙率的大小可分为闭式和开式两种:闭式混合料中含有较多的小于 0.6mm 和 0.074mm 的矿料颗粒,空隙率小于 6%,混合料致密而耐久,但热稳定性较差;开式混合料中小于 0.6mm 的矿料颗粒含量较少,空隙率大于 6%,其热稳定性较好。

嵌挤类沥青路面要求采用颗粒尺寸较为均一的矿料,路面的强度和稳定性主要依靠骨料颗粒之间相互嵌挤所产生的内摩阻力,而黏聚力则起着次要的作用。按嵌挤原则修筑的沥青路面,其热稳定性较好,但因空隙率较大、易渗水,且耐久性较差。

2. 按施工工艺划分

按施工工艺,沥青路面可分为层铺法、路拌法和厂拌法。

层铺法是用分层洒布沥青,分层撒铺矿料和碾压的方法修筑,其主要优点是工艺和设备简便、功效较高、施工进度快、造价较低;其缺点是路面成型期较长,路面需要经过炎热季节行车碾压之后方能成型,用这种方法修筑的沥青路面有沥青表面处治和沥青贯入式两种。

路拌法是在道路现场用机械将矿料和沥青材料就地拌和、摊铺和碾压密实形成沥青面层的方法。

此类面层所用的矿料为碎(砾)石,称为路拌沥青碎(砾)石;所用的矿料为土则称为路拌沥青稳定土。路拌沥青面层,通过就地拌和,沥青材料在矿料中分布比层铺法均匀,可以缩短路面的成型期。但因所用的矿料为冷料,需使用黏稠度较低的沥青材料,故混合料的强度较低。

厂拌法是把具有一定级配的矿料和沥青材料在工厂用专用设备加热拌和,然后送到工地摊铺碾压而成的沥青路面。

矿料中细颗粒含量少,不含或含少量矿粉,混合料为开级配的(空隙率达 10%~15%),称为厂拌沥青碎石;若矿料中含有矿粉,混合料按最佳密实级配制的(空隙率 10%以下)称为沥青混凝土。厂拌法按混合料铺筑时温度的不同,又可分为热拌热铺和热拌冷铺两种。

3. 按沥青路面材料技术特点划分

(1) 沥青混凝土路面

沥青混凝土路面指按级配原理选配的矿料与适量沥青在严格控制条件下均匀拌和、经摊铺碾压而成型的沥青路面。沥青混凝土是经人工选配具有一定级配组成的矿料(碎石或轧碎砾石、石屑或砂、矿粉等)与一定比例的路用沥青材料,在严格控制条件下拌制而成的混合料。

热拌的沥青混合料宜在集中地点用机械拌制。一般选用固定式热拌厂,在线路较长时宜选用移动式热拌机。冷拌的沥青混合料可以集中拌和,也可就地路拌。沥青混凝土根据

厚度不同可适合于各级路面。

(2) 热拌沥青碎石路面

热拌沥青碎石路面指由一定级配的集料与适量的沥青在要求的控制条件下均匀拌和、经摊铺碾压而成型的沥青路面。热拌沥青碎石适合于三、四级公路。

(3) 乳化沥青碎石路面

乳化沥青碎石路面指用乳化沥青作结合料与相关集料在要求的控制条件下均匀拌和、经摊铺碾压而成的沥青路面。乳化沥青是将黏稠沥青加热至热熔状态，经机械的强力搅拌作用，使沥青以细微液滴状态分布在含有乳化剂的水溶液中，成为水包油状的沥青乳液。乳化沥青碎石适合于三、四级公路。

此外，还有沥青玛蹄脂碎石 SMA 路面、沥青贯入路面以及沥青表面处治路面等。

二、沥青路面施工

(一) 沥青材料的选择

1. 沥青路面原材料的选择 沥青路面原材料包括沥青、粗集料、细集料、填料等。

(1) 沥青材料

①石油沥青

沥青路面一般采用道路石油沥青，或经过乳化、稀释、调和、改性等工艺加工处理的石油沥青产品作为结合料。有时也采用煤沥青，但是由于煤沥青对人体健康有害，已很少采用。中国道路石油沥青以针入度为指标分为 7 个标号，每一种标号的沥青，都分为 A、B、C 三个等级，分别适用于不同等级的公路和不同的结构层次。

②乳化沥青

乳化沥青是石油沥青或煤沥青在乳化剂、稳定剂的作用下经乳化加工制得的均匀的沥青产品，也称沥青乳液。按乳化沥青的使用方法分为喷洒型（用 P 表示）及拌和型（用 B 表示）乳化沥青两大类。

其主要优点为：冷态施工、节约能源；利便施工、节约沥青；乳化沥青施工不需加热，故不污染环境；避免了劳动操作人员受沥青挥发物的毒害。乳化沥青适用于沥青表面处置路面、沥青贯入式路面、常温沥青混合料路面，以及透层、黏层与封层。乳化沥青的类型应根据使用目的、矿料种类、气候条件选用。

对酸性石料，以及当石料处于潮湿或在低温状态下施工时，宜采用阳离子乳化沥青；对碱性石料，且石料处于干燥状态或与水泥、石灰、粉煤灰共同使用时，宜采用阳离子乳化沥青。

③改性沥青

改性沥青是掺加橡胶、树脂、高分子聚合物、磨细的橡胶粉或其他填料等外掺剂（改性剂），或采取对沥青轻度氧化加工等措施，使沥青或沥青混合料的性能得以改善制成的沥青结合料，使用改性沥青通常对改善沥青路面高温及低温稳定性有明显效果。

改性沥青使用范围如下：目前，改性道路沥青主要用于机场跑道、防水桥面、停车场、运动场、重要交通路面、交叉路口和路面转弯处等特殊场合的铺装应用。近来欧洲将改性沥青应用到公路网的养护和补强，较大地推动了改性道路沥青的普遍应用。

(2) 粗集料

沥青混合料用粗集料，可以采用碎石、破碎砾石、筛选砾石、矿渣等。沥青混合料用粗集料，应该洁净、干燥、无风化、不含杂质。在力学性质方面，压碎值和洛杉矶磨耗率应符合相应道路等级的要求。

粗集料应具有良好的颗粒形状，用于道路沥青面层的碎石不宜采用颚式破碎机加工。筛选砾石仅适用于三级及三级以下公路和次干路以下的城市道路的沥青表面，处置路面和拌和法施工的沥青面层的下面层，不得用于贯入式路面及拌和法施工的沥青面层的中上面

层。

对于抗滑表层沥青混合料中的粗集料,应该选用坚硬、耐磨、韧性好的碎石或砾石,矿渣及软质集料不得用于防滑表层。用于高速公路、一级公路、城市快速道路、主干路沥青路面表面层及各类道路抗滑用的粗集料,应符合磨耗值和冲击值的要求。在坚硬石料来源缺乏的情况下,允许掺加一定比例普通集料作为中等或小颗粒的粗集料,但掺加比例不应超过粗集料总质量的 40%。

(3) 细集料

细集料是指集料中粒径小于 4.75mm (或 2.36mm) 的那部分材料。沥青面层的细集料可采用机制沙、天然沙、石屑。细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质,并有适当的颗粒级配。

(4) 填料

填料的粒径小于 0.6mm,沥青与填料混合而成的胶浆是沥青混合料形成强度的重要因素,所以填料必须采用由石灰岩或岩浆岩中的强基性岩石等憎水性石料经磨细的矿粉。矿粉要求干燥、洁净、能自由地从矿粉仓流出,其质量应符合技术要求。有时为提高沥青混合料的黏结力,也可掺加部分消石灰或水泥作为填料,其用量一般为矿料总量的 1%~3%。

2. 沥青混合料的选择

沥青混合料是由矿料(粗集料、细集料和填料)与沥青拌和而成的混合料,包括沥青混凝土混合料和沥青碎石混合料。沥青混合料是一种黏弹塑性材,具有优良的物理力学性能(包括抵抗各种荷载的能力、高温稳定性、低温柔韧性、水稳定性等),施工较容易,修筑路面时不需要设置接缝,具有减震吸声的效果,保证行车舒适。施工方便、速度快,能及时开放交通,并可再生利用。因此,沥青混合料是高等级道路修筑的一种主要路面材料。

(1) 沥青混合料的特性

良好的力学性能。沥青混合料是一种黏弹性材料,采用它修筑的路面,夏季具有一定的高温稳定性,冬季具有一定的低温抗裂性。路面平整无接缝且有弹性,特别是在高速公路上可使客运快捷、舒适,货运损坏率低。

良好的抗滑性。沥青混合料路面既平整又具有一定的粗糙度,有利于高速行驶的安全。

在潮湿状态下,路面仍具有较高的抗滑性。

施工方便。采用沥青混合料修筑的路面,施工操作方便。采用机械化施工,进度快,养护期短,能及时开放交通。

经济耐久。采用沥青混合料修筑的路面,造价比水泥混凝土路面低得多。高速公路和机场道面可以保证 15 年无大修,使用期可达 20 余年。

便于维修养护、分期改建和再生利用,当沥青混合料路面出现坑槽可以补修。随着道路交通量的增加可分期改建,在旧路面上拓宽和加厚。对旧有的沥青混合料还可再生利用,节约能源、节约投资,社会和经济效益较高。此外,路面的噪声小,晴天无尘,雨天不泞,易于清洁,黑色无强烈反光,便于汽车高速行驶。

此外,沥青路面具有易老化、感温性大等缺点。

(2) 沥青混合料的选择

沥青混合料类型的选择主要要满足以下要求。

沥青面层集料的最大粒径宜从上至下逐渐增大,并与压实层厚度相匹配;沥青面层一般应采用双层或三层式结构,各层之间应联结成为整体,在沥青层下必须浇洒透层油,沥青层与沥青层之间必须喷洒黏层油;沥青路面应满足耐久性、抗车辙、抗裂、密水、抗滑等多方面性能要求,便于施工,应根据施工机械、工程造价等实际情况选择沥青混合料的种类;可对上面层或中面层沥青结合料采取改性措施,或采用 SMA 特殊的矿料级配;

保证各层的组合不致发生早期破坏,并在此基础上优先或侧重考虑各层的服务功能做出选择;高速公路的紧急停车带(硬路肩)沥青面层应采用与车行道相同的结构,但表面层一般应采用密级配沥青混凝土混合料铺筑;各层沥青混合料应满足所在层位的功能性要求,便于施工,不容易离析。各层应连续施工并连接成为一个整体。当发现混合料结构组合及级配类型的设计不合理时,应进行修改、调整,以确保沥青路面的使用性能。

(二) 沥青混合料路面施工

1. 热拌沥青混合料路面施工

(1) 施工准备

材料准备:做好配合比设计,报送监理工程师审批,对各种原材料进行符合性检验。选购经调查试验合格的材料进行备料,矿粉应分类堆放且不得受潮,必要时做好矿粉场地的硬化处理和场地四周排水及搭设库房或储存罐。

测量放样:沥青混合料路面施工前,应在下承层上重新恢复道路中线,放样边桩根据摊铺机的宽度和摊铺方案控制纵向摊铺条带的划分。

机械准备:检查、调试沥青混合料路面施工机械的工作状态,确保机械性能正常摊铺机、压路机组合、运料车及其他机械设备各就各位。

下承层准备:铺筑沥青层前,应检查基层或下卧沥青层的质量,检查下承层的高程、路拱、平整度等参数,不符合要求的不得铺筑沥青面层。旧沥青路面或下承层已被污染时,必须清洗或经铣刨处理后方可铺筑沥青混合料。仔细清扫下承层,待干燥后洒布黏层油。

试验段:各层开工前在监理工程师批准的现场备齐全部机械设备进行试验段铺筑,以确定松铺系数、施工工艺、机械配备、人员组织、压实遍数,并检查压实度,沥青含量、矿粉级配、沥青混合料马歇尔各项技术指标等。注意气象预报,加强工地现场、沥青拌和厂及气象台站之间的联系,待天气条件合适,其他准备工作均已就绪,就可以开始混合料的摊铺作业。

(2) 混合料配合比设计

沥青混合料配合比设计的主要任务就是确定粗集料、细集料、矿粉和沥青材料相互配合的最佳组成比例,使之既能满足沥青混合料的技术要求又符合经济的原则。连续级配的沥青混合料配合比设计,通常按下列两个步骤进行。

第一,根据沥青混合料的矿料最佳级配范围,计算各组成矿料的配合比。矿料的最佳级配范围可以通过理论计算的方法并结合生产实践经验予以确定。实际施工时,往往人工轧制的各种矿料的级配很难完全符合某一级配的范围。这就必须采用两种或两种以上符合质量要求的矿料,分别进行筛析试验,并测定各种矿料的相对密实度。根据各种矿料的颗粒组成,确定达到级配曲线要求时各种矿料的配比,并按配比配合起来,以满足级配要求。矿料配比确定方法有试算法、正规方程法、图解法等。

第二,确定最佳沥青用量。现行规范采用马歇尔试验确定沥青混合料的最佳沥青用量,以 OAC 表示。沥青掺量可以采用油石比或沥青用量两种表达方式。

油石比是指沥青占矿料总量的百分比;沥青用量是指沥青占沥青混合料总量的百分比。确定最佳沥青用量,首先应根据当地的实践经验选择适宜的沥青用量,分别制作几组级配的马歇尔试件,初选一组满足或接近设计要求的级配作为设计级配,再进行马歇尔试验确定最佳沥青用量。

(3) 沥青混合料的拌制与运输

沥青混合料必须在拌和厂采用拌和机械拌制。拌和机械分为连续式和间歇式两种,前者的单位时间生产能力大于后者。拌和设备的选型应根据工程量和工期综合考虑,并且拌和设备的生产能力应与摊铺能力相匹配,最好略高于摊铺能力。拌和机可以是固定式的或移动式的。

热拌沥青混合料采用较大吨位的自卸卡车运输到铺筑工地。运输车的运能应略大于拌能力和摊铺速度。运送路途中,应在混合料上覆盖篷布,防止雨淋或污染环境。混合料运送到摊铺地点的温度应符合国家标准的规定。车厢内侧板表面应涂薄层掺水柴油(油:水=1:3),以此来防止沥青黏接到车厢体上。运送到工地时,已经成团块、温度不符合要求或遭受雨淋的沥青混合料,不得使用。

(4) 沥青混合料的摊铺

热拌沥青的混合料使用沥青摊铺机械进行摊铺工序,在摊铺机械的受料斗事先要涂一层薄薄的隔离剂,或者涂防黏结剂也可。

在高速公路、一级公路、城市快速路或者主干道铺筑沥青混合料的过程中,如果是双车道,那么一台摊铺机进行铺筑的宽度需要在 6m 以内;如果是 3 车道或者大于 3 车道,那么一台摊铺机进行铺筑的宽度需要在 7.5m 以内。

一般情况下,铺筑作业最少使用两台机械进行作业,摊铺机两两之间错开大约 10m~20m 的距离同时进行铺筑工作。在两幅之间需要进行搭接,搭接的宽度应该控制在 30mm~60mm。搭接部分需要避开车轮印迹,上下层的搭接位置最少需要错开 200mm。

在施工前的半个小时到 1 个小时,摊铺机就要开始进行预热,在施工过程中,熨平板的温度应该在 100℃ 以上。铺筑时,要调整好熨平板的振捣或夯锤压实装置的振动频率和振幅,保证路面初始压实度符合标准要求。熨平板加宽连接应仔细调节至摊铺的混合料没有明显的离析痕迹。摊铺机运行速度不需要过快,但是必须保证摊铺机能够匀速行驶,以确保能够均匀摊铺混合料,并且摊铺作业是一个连续的过程,尽量避免在摊铺过程中出现停顿。

一般情况下,摊铺机的摊铺速度为 2m/min~6m/min。如果在摊铺过程中混合料出现了离析、龟裂或者拖痕等问题,施工人员应该马上分析出现这些问题的原因,并且在最短的时间内将问题解决。

摊铺机应采用自动找平方式,下面层或基层宜采用钢丝绳或路缘石、平石引导的高程控制方式,上面层宜采用平衡梁或雪橇式摊铺厚度控制方式,中面层根据情况选用找平方式,直接接触平衡梁的轮子不得黏附沥青。铺筑改性沥青或 SMA 路面时宜采用非接触式平衡梁,沥青混合料的松铺系数应根据混合料类型施工,机械和施工工艺等应通过试验段确定,试验段长不宜小于 100m。摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度及路拱、横坡。

摊铺机的螺旋布料器也需要进行均衡、稳定的转动。一般情况下,摊铺机的螺旋布料器的转动速度与摊铺机的摊铺速度相对应。在摊铺机的两侧有大于或者等于送料器高度 2/3 的混合料,这是为了避免混合料在摊铺作业中出现离析。

使用摊铺机进行作业过程中,最好不要频繁的进行人工修正。如果出于某些原因必须使用人工进行局部的摊铺或者进行混合料的更换工作,要求人工施工必须小心仔细,如果出现特别严重的问题,那么应该将整层全部都清理干净,重新进行摊铺。

在路面狭窄部分、平曲线半径过小的匝道或加宽部分,以及小规模工程不能采用摊铺机铺筑时可用人工摊铺混合料。人工摊铺沥青混合料应符合下列要求。

半幅施工时,路中一侧宜事先设置挡板;沥青混合料宜卸在铁板上,摊铺时应扣锹布料,不得扬锹远甩。铁锹等工具宜沾防黏结剂或加热使用;边摊铺边用刮板整平,刮平时应轻重一致,控制次数,严防集料离析;摊铺不得中途停顿,并加快碾压。

如因故不能及时碾压时,应立即停止摊铺,并对已卸下的沥青混合料覆盖苫布保温;低温施工时,每次卸下的混合料应覆盖苫布保温;在雨季铺筑沥青路面时,应加强气象联系,已摊铺的沥青层因遇雨未行压实的应予以铲除。

(5) 碾压成型

压路机在施工过程中的速度需要与上一阶段摊铺机的工作速度相适应。压路机每次应

由两端折回的位置阶梯形的随摊铺机向前推进,使每一次折回的位置最终都不在同一个横断面之上。摊铺机如果一直在正常工作,没有出现停顿,那么压路机也应该持续进行作业,保证碾压温度始终保持在正常的范围内波动。

在实际作业过程中,如果是较为平缓的路段,那么压路机的驱动轮可以适当靠近摊铺机,这样可以减少波纹或者热裂缝的出现。在碾压过程中,压路机的轮子可能会附着沥青混合料,影响路面的平整度和压实度,此时绝对不能向碾压轮喷洒柴油,只需要喷洒少量的水或者洗衣粉溶液。

在碾压的末尾处,如果此时压路机能够稍微转动方向,就可以将摊铺机后面的压痕减至最小。在作业过程中,压路机不允许在没有经过碾压成型的路段上进行停顿、停车以及调头。在已成型的路面上,振动压路机在行驶时必须要将振动装置关闭。

压路机的体积较大,桥梁、挡墙等构造物拐弯死角、加宽以及道路边缘等位置无法使用压路机进行压实,这样的位置可以使用振动夯板进行压实处理工序。雨水井或者其他检查井的边缘还应用人工夯锤、热烙铁补充压实。

在完成碾压并且沥青的温度依旧很高的和混合料之上,任何车辆以及机械设备都不得停放,矿料、油料等也不得洒于表面。待路面温度在 50℃ 以下时,才能够允许通车。如果有紧急事件需要尽早恢复通车,可以在沥青路面洒水,加快路面的降温速度。

(6) 接缝处理

沥青路面的各种施工缝(包括纵缝及横缝)都必须密实、平顺。

纵向接缝施工:摊铺时采用梯队作业的纵缝应采用热接缝;半幅施工不能采用热接缝时,宜加设挡板或采用切刀切齐;铺另半幅前必须将缝边缘清扫干净,并涂洒少量黏层沥青,摊铺时应重叠在已铺层上 5cm~10cm。

横向接缝的施工:对高速公路和一级公路,中、下层的横向接缝时可采用斜接缝,在上面层应采用垂直的平接缝。其他等级公路的各层均可采用斜接缝。平接缝应做到紧密粘接、充分压实、连接平顺。

第五节 水泥混凝土路面施工

水泥混凝土路面也称刚性路面,具有强度高、刚度大、稳定性好、养护维修费用低、使用寿命长等优点,在道路工程特别是高等级、重交通量的道路中已得到广泛应用。水泥混凝土包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、预应力混凝土、装配式混凝土和钢纤维混凝土等面层板和基层、垫层所组成的路面。普通混凝土路面是指除接缝区和局部范围(边缘和角隅)外不配置钢筋的混凝土路面。水泥混凝土路面与沥青路面相比有对水泥和水的需要量大、开放交通迟、有接缝和修复困难等缺点。

一、水泥混凝土路面材料组成

(一) 水泥

公路、城市道路、厂矿道路应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),水泥强度等级不应低于 42.5 级。

当条件受限制时,可采用矿渣水泥,其强度不应低于 42.5 级;中轻交通等级道路强度等级不宜低于 32.5 级,并严格控制用水量,适当延长搅拌时间,加强养护工作;亦可采用 325 号普通水泥,但应采取掺外加剂、干硬性混凝土或真空吸水措施。

民航机场道路和高速公路,必须采用强度不低于 42.5 级的硅酸盐水泥,水泥应有出厂合格证(含化学成分、物理指标),并经复验合格,方可使用。不同强度等级、厂牌、品种、出场日期的水泥,不得混合堆放,严禁混合使用。出场期超过三个月或受潮的水泥,必须经过试验,按其试验结果决定正常使用或降级使用。已经结块的水泥不得使用。

(二) 粗集料

粗集料的最大公称粒径, 碎砾石不应大于 26.5mm, 碎石不应大于 31.5mm, 砾石不宜大于 19.0mm; 钢纤维混凝土粗集料最大粒径不宜大于 19.0mm。混凝土所用的集料应坚硬耐磨、表面粗糙、有棱角, 并符合规定级配。

(三) 沙 (细集料)

混凝土的细集料是指细度模数在 2.5 以上的天然沙、机制沙或混合沙, 海沙不得直接用于混凝土面层。淡化海沙不应用于城市快速路、主干干道, 但可用于支路混凝土。用沙应质地坚硬、耐久、洁净。其技术指标与级配符合规范要求。

(四) 水

饮用水可直接作为混凝土搅拌和养护用水。非饮用水应进行水质检验, 并应符合有关规定, 还应与蒸馏水进行水泥凝结时间与水泥胶沙强度的对比试验。

(五) 外加剂

1. 流变剂

流变剂是改善新拌混凝土流变性能的外加剂, 工程中常用的流变剂为减水剂。工程中常用的减水剂有木质素系减水剂 (简称 M 剂)、萘系减水剂 (简称 NF、MF 剂等), 水溶性树脂 (蜜胺树脂) 类减水剂等。

2. 调凝剂

调凝剂是调节水泥混凝土凝结时间的外加剂, 通常有早强剂、促凝剂、速凝剂和缓凝剂。早强剂常用的有氯化钙和三乙醇胺复合早强剂。促凝剂常用的有水玻璃、铝酸钠、碳酸钠、氟化钠、氯化钙和三乙醇胺等。速凝剂是使水泥混凝土迅速凝结和硬化的外加剂, 可用于冬季施工。

常用的有红星 1 号、711 型、782 型等, 通常掺入量为水泥用量的 2.5%~4.0%, 初凝时间可在 5min 之内, 终凝时间在 10min 之内, 缓凝剂常在气温较高时拌制混凝土使用。目前, 主要有羟基羧酸盐类 (酒石酸等)、多羟基碳水化合物 (糖蜜等) 和无机化合物类等。

3. 引气剂

引气剂能在混凝土中形成细小的、均匀分布的空气微泡, 对新拌混凝土可改善其工作性、减少泌水和离析, 对硬化后的混凝土, 可缓冲其水分结冰膨胀的作用。目前, 常用的有松香热聚物、烷基磺酸钠和烷基苯丙酸钠等。

二、水泥混凝土面层施工技术

(一) 施工准备

1. 施工机械选择

常见的水泥混凝土路面的摊铺机械有滑模摊铺机、轨道摊铺机、三辊轴机组、小型机具和碾压混凝土摊铺机械等。

2. 技术准备

当采用自拌混凝土时, 应选择合适的拌和场地, 要求运送混合料的运距尽量短, 水、电等方便, 有足够面积的场地, 能合理布置拌和机和沙、石堆放点, 并能搭建水泥库房等; 有碍施工的建筑物、灌溉渠道和地下管线等, 均应在施工前拆迁完毕; 混凝土摊铺前, 对基层进行整修, 检测基层的宽度、路拱、标高、平整度、强度和压实度等各项指标达到设计和规范要求, 并经监理工程师同意后进行。混凝土摊铺前, 基层表面应洒水润湿, 以免混凝土底部水分被干燥基层吸去。

(二) 模板与钢筋

模板安装应符合下列规定: 支模前应核对路面标高、面板分块、胀缝和构造物位置; 模板应安装稳固、顺直、平整, 无扭曲, 相邻模板连接应紧密、平顺, 不应错位; 严禁在基层上挖槽嵌入模板; 使用轨道摊铺机应采用专用钢制轨模。

钢筋安装应符合下列规定：钢筋安装前应检查其原材料品种、规格与加工质量，确认符合设计规定；钢筋网、角隅钢筋等安装应牢固、位置准确；钢筋安装后应进行检查，合格后方可使用；传力杆安装应牢固、位置准确；胀缝传力杆应与胀缝板、提缝板一起安装。

（三）混凝土搅拌

混凝土的搅拌时间应按配合比要求与施工对其工作性要求，经试拌确定最佳搅拌时间，每盘最长总搅拌时间宜为 80s~120s；外加剂宜稀释成溶液，均匀加入进行搅拌；混凝土应搅拌均匀，出仓温度应符合施工要求。

搅拌钢纤维混凝土，除应满足上述要求外，还应符合下列要求：当钢纤维体积率较高、搅拌物较干时，搅拌设备一次搅拌量不宜大于其额定搅拌量的 80%；钢纤维混凝土的投料次序、方法和搅拌时间，应以搅拌过程中钢纤维不产生结团和满足使用要求为前提，通过试拌确定；钢纤维混凝土严禁用人工搅拌。

（四）混凝土拌合物的运输

1. 机动车运送

在路面施工中，为了便于混凝土的摊铺，一般采用自卸车运送混凝土拌和物（工程量一般，现场条件有一定限制时，也可以使用机动翻斗车）。机动车运送混凝土拌和物，主要的风险类型是车辆伤害，其风险控制的重点在于以下几点。

杜绝超载、超速行驶的不安全行为；遇视线不良天气（大雾、沙尘暴等）时，严防快速行驶的不安全行为；卸料前，严防不确认车厢上方无电线或障碍物（尤其是乡村公路）的不安全行为；车厢处于举升状态时，杜绝作业人员上车厢清除残料的不安全行为；卸料后，杜绝在车厢倾斜情况下行驶的不安全行为。

除了要严防车辆伤害外，还应加强现场指挥，防止机动车与其他施工机械之间发生碰撞而导致各种意外伤害事故，防止造成地面作业人员的意外伤亡。

2. 手推车运送

在工程量很小或现场条件不适合使用大中型运输车时，可使用现场拌和混凝土，采用手推车将混凝土运送到摊铺现场。手推车运送混凝土拌和物的风险控制重点在于以下几点。

杜绝猛跑、撒把溜车的不安全行为，以免手推车倾翻而导致机械伤害（很可能是伤害他人）；严防车斗内载人的不安全行为，以免造成机械伤害；多车推送混凝土时，防止前后车之间距离过近（一旦后车控制不住手推车，很可能造成前车的推车人受到挤压伤害）。

（五）混凝土拌合物的摊铺

1. 人工小型机具施工

人工小型机具施工水泥混凝土路面层，应符合下列规定。

混凝土松铺系数宜控制在 1.10~1.25；摊铺厚度达到混凝土板厚度的 2/3 时，应拔出模内钢钎，并填实钎洞；混凝土面层分两次摊铺时，上层混凝土的摊铺应在次下层混凝土初凝前完成，且下层厚度宜为总厚度的 3/5；混凝土摊铺应与钢筋网、传力杆及边缘角隅钢筋的安放相配合；一块混凝土板应一次连续浇筑完毕；混凝土采用插入式振捣器振捣时，不应过振，且振动时间不宜少于 30s，移动间距不宜大于 50cm。使用平板振捣器振捣时应重叠 10cm~20cm，振捣器行进速度应均匀。

2. 三机轴机组铺筑

三机轴机组铺筑应符合下列规定。

辊轴机组铺筑混凝土面层时，辊轴直径应与摊铺层厚度匹配，且必须同时配备一安装插入式振捣器组的排式振捣机，振捣器的直径宜为 50mm~100mm，间距不应大于其有效作用半径的 1.5 倍，且不得大于 50cm；当面层铺装厚度小于 15cm 时，可采用振捣梁，其振捣频率宜为 50Hz~100Hz，振捣加速度宜为 4g~5g（g 为重力加速度）；当一次摊铺双车道面层时，应配备纵缝拉杆插入机，并配有插入深度控制和拉杆间距调整装置。

铺筑作业应符合下列要求：卸料应均匀，布料应与摊铺速度相适应；设有接缝拉杆的混凝土面层，应在面层施工中及时安设拉杆；三辊轴整平机分段整平的作业单元长度宜为 20m~30m，振捣机振实与三辊轴整平工序之间的时间间隔不宜超过 15min；在一个作业单元长度内，应采用前进振动、后退静滚方式作业，最佳滚压遍数应经过试铺确定。

（六）表面修整

1. 抹平作业

采用抹平机抹平表面时，其风险控制的重点在于以下几点。

杜绝抹平机带病使用的不安全行为，以免造成机械伤害；作业时，严防无专人收放电缆的不安全行为，以免造成触电伤害；杜绝抹平机带负荷启动的不安全行为，以免造成设备损坏。

2. 吸水作业

路面混凝土摊铺、振捣、抹平后，在混凝土表面铺上吸垫，启动真空设备，从混凝土中吸出游离水，可降低混凝土水灰比，从而提高混凝土路面的质量。真空吸水装置作业时，其风险控制的重点在于以下几点。

杜绝真空泵绝缘不良而导致触电伤害；吸水作业时，严防操作人员在吸垫上行走或压其他物件，以免造成吸垫损坏或者影响工程质量；冬期施工时，严防真空泵存有冷却水，以免造成真空泵损坏；严防掀起盖垫前未断电，以免造成触电伤害。

三、滑模式摊铺机施工

滑模摊铺的特点是不需模板，由四个液压缸支承腿控制的履带行走机构行走。它可以通过控制机构上下移动，调整摊铺层厚度。在摊铺机两侧安装固定的滑模板。因此，不需另设轨模，这种摊铺机一次通过就可以完成摊铺、捣实、整平等多道工序。滑模摊铺机械化程度高，其施工工艺较为复杂，每一个流程都要求做到充分、精确。

整个施工工艺大致可分为：施工前准备→混凝土拌和→混凝土运输→滑模摊铺及整修养护→灌填缝料→验收及开放交通。

（一）施工前的准备

铺筑前需要保证基层平整，设有沙垫层的，垫层表面应平整、密实；模板尺寸、位置、高程等应满足设计要求，支撑牢固稳定，隔离剂涂刷均匀，模板接缝严密、模内洁净；预埋胀缝板的位置正确；边缘、角隅及其他部位的钢筋安装牢固，位置准确，传力杆与胀缝垂直，绑扎牢固，套筒安装齐全、位置准确；各种检查井井盖、井座，雨水口篦子、篦圈应预先安装完成，且安装牢固，位置准确，标高与路面标高协调一致；水泥混凝土运输应确保及时、连续；设有纵缝的水泥混凝土路面层，在成型水泥混凝土板块侧立面，应按要求涂刷隔离剂。

（二）正确设置滑模摊铺机各项工作参数

1. 振捣棒位置

振捣棒的位置应在压板最低点以上，振捣棒的横向间距大于 450mm 均匀排列，两侧最边缘振捣棒与摊铺边缘距离不宜大于 250mm。振捣棒位置是保证面板不产生纵向收缩裂缝的关键，振捣棒随滑模摊铺机拖行时，将粗集料推开，会形成无粗集料的砂浆暗沟，由于砂浆的干缩量是混凝土的 20 倍。所以，如果主要振捣棒掉下来，摊铺后的路面留有发亮的砂浆条带，路面必然纵向开裂。在所有公路路面摊铺时，振捣棒的最低点位置必须设置在路表面以上。也有很厚的厚面板，如广州新白云机场，面板厚度达 42cm。除了缩窄一倍加密振捣棒的横向间距外，一半振捣棒安装在表面，另一半是插入板中的。公路没有这么厚的面板，均必须设置在路表面以上，防止开裂。

2. 前倾斜角

挤压底板前倾角宜设置为 30℃左右，提浆夯板位置宜在挤压底板前缘以下 5mm~10mm

之间,这是横向拉裂与否的关键要素。

3. 超铺角及搓平梁

两边缘超铺角宜在 3mm~8mm 间。搓平梁前宜调整到与挤压板后沿同高,搓平梁的后沿比挤压底板后沿低 1mm~2mm,并与路面同高。

4. 位置校准

滑模摊铺机首次摊铺路面,应对挂线及其铺筑位置、几何参数和机架水平度进行校准,正确无误后,方可开始摊铺。

5. 复核测量

在开始摊铺的 5min 内,应在铺筑行进中对摊铺出的路面标高、边缘厚度中线、横坡度等参数进行复核测量。所摊铺的路面精确度应控制在规范的规定值范围内。

(三) 混凝土搅拌与运输

搅拌前应先检查搅拌设备的各机构是否运转正常,并根据实验室提供的配料单将各材料数据输入搅拌设备微机里,接到前方通知后,进行搅和。

搅和时应根据搅和物粘聚性、均质性及强度稳定性试拌确定最佳拌和时间。所生产的拌和物应色泽一致,如有生料、干料、离析或外加剂成团的非均质混合物时,严禁用于路面铺筑。

把搅拌好的混凝土拌和物运到摊铺现场,在运输过程中要保证不漏浆、不变干、不离析,卸料时尽量不要堆积太高。卸料高度不应超过 1.5m。远距离运输或运输桥面、钢筋混凝土路面混凝土拌和物时,宜采用混凝土运输车。机前布料尽量使混凝土在全宽方向厚度较均匀,中间可高一点,布料高度一般比成型后的路面高出 6cm~10cm 为宜。

(四) 铺筑作业技术要领

1. 摊铺速度

操作滑模摊铺机应缓慢、匀速、连续不间断地作业。摊铺速度应根据拌和物稠度、供料多少和设备性能控制在 0.5m/min~3.0m/min,一般宜控制在 1m/min 左右。拌和物稠度发生变化时,应先调振捣频率,后改变摊铺速度。

2. 松方控制

应随时调整松方高度板控制进料位置,开始时宜略设高些,以保证进料。正常摊铺时应保持振捣仓内料位高于振捣棒 100mm 左右,料位高低上下波动宜控制在 ± 30 mm 之内。为了摊铺高平整度的路面,挤压底板的料与振动仓内的混凝土之间,始终应维持相互间压力的均衡,才不至于因挤压力忽大忽小而影响平整度。

3. 振捣频率控制

正常摊铺时,振捣频率可在 6000r/min~11000r/min 之间调整,宜采用 9000r/min 左右的频率。应防止混凝土过振、欠振或调振。应根据混凝土的稠度大小,随时调整摊铺的振捣频率或速度。摊铺机起步时,应先开启振捣棒振捣 2min~3min,再缓慢平稳推进。摊铺机脱离混凝土后,应立即关闭振捣棒组。

4. 纵坡施工

滑模摊铺机满负荷时可铺筑的路面最大纵坡为:上坡 5%、下坡 6%。

上坡时,挤压底板前仰角宜适当调小,并适当调轻抹平板压力,坡度较大时,为了防止摊铺机过载,推不动,宜适当调整挤压底板前仰角;下坡时,前仰角宜适当调大,并适当调大抹平板压力。板底不小于 3/4 长度接触路面时抹平板压力适宜。

5. 纵缝拉杆安置

摊铺单车道时,必须根据路面设计配置单侧或双侧打拉杆机械装置,打拉杆装置的正侧插入位置应在挤压底板下的中部或偏后部,无论采用何种方式打入拉杆,其压力应满足一次打到位。打入拉杆位置必须在板厚中间,中间和侧向拉杆的高低和左右误差不得大于

±2mm。

（五）路面修整

滑模摊铺过程中应采用自动抹平板装置进行抹面。对少量局部麻面和明显缺料部位，应在挤压板后或梁前补充拌和物，由搓平梁或抹平板机械修整。

滑模摊铺的混凝土面板在下列三种情况下，可用人工进行局部修整：用人工操作抹面抄平，精整摊铺后表面小缺陷，但不得在整个表面加薄层修补路面标高；对纵缝边缘出现的倒边、塌边、溜肩现象，应在顶侧模或在上部支方铝管进行边缘处补料修整；对起步和纵向施工接头处，应使用水准仪抄平并采用大于 3m 的靠尺边测边修整。

滑模摊铺结束后，必须及时做好以下工作：要清洗滑模摊铺机，进行当日保养、加油、加水、打润滑油等；应丢弃端部的混凝土和摊铺机振动仓内遗留下的纯砂浆；设置施工缝端模，并用水准仪测量面板高程和横坡。

为使下次摊铺能紧接着施工缝开始，两侧模板应向内各收进 20mm~40mm，收口长度宜比滑模摊铺机侧模板略长；施工缝部位应设置传力杆，并应满足路面平整度、高程、模坡和板长要求；在开始摊铺和施工接头时，应做好端头和结合部位的平整度，防止工作缝结合部低洼现象，接头部位宁高勿低。

第四章 道路附属工程施工技术

第一节 路缘石施工

路缘石是设在路面边缘的界石，也称为道牙或缘石。它在路面上是区分车行道、人行道、绿地、隔离带和道路其他部分的界线，起到保障行人、车辆交通安全和保证路面边缘齐整的作用，有助于路面排水，提高公路的使用寿命。

路缘石主要有立缘石（侧石）、平缘石（平石）、专用路缘石（包括弯道路缘石、隔离带路缘石、反光路缘石、减速路缘石）等。路缘石宜用石材或混凝土制作。

一、路缘石的种类

路缘石可根据使用要求和条件选用水泥混凝土预制块、条石、砖等材料，最常用的是工厂化生产的水泥预制块。

水泥预制块平石为矩形，长 30cm~100cm，宽 7cm~15cm；侧石大多为矩形，长 30cm~100cm，高 30cm~35cm，厚 8cm~13cm；只有小半径曲线用特制弧形块。城市道路边缘石采用立式，缘石宜高出路面边缘 10cm~20cm。隧道内、重要桥梁、道路线形弯曲路段或陡峭路段等处的缘石可高出 25cm~40cm，并应有足够的埋深，以保证稳定和行车安全。斜式缘石便于儿童车、轮椅及残疾人通行，而在分隔带端头或交叉口的半径处，缘石宜做成曲线式。另外，考虑无障碍设计，道路上人行道出入口多采用牛腿式出入口，平石沿人行道边向前延伸，侧石向下降至 1cm~2cm，或侧石向出入口转弯。

总之，使人行道的路面要连续无障碍、无高低，便于老、幼行走和童车滚动。在道路宽度日益增加、车速加快的情况下，国外常将沿街建筑的门牌号码写在道路侧石上，开车人极易识别，减少了许多车辆追尾事故。

二、路缘石施工

（一）施工材料

1. 水泥

水泥应选用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、矿渣水泥，并应有出厂合格证。散装水泥及袋装水泥出厂日期不明或已超过 3 个月，应经复验合格后方可使用。已受潮或结块的水泥不得使用。

散装水泥应按牌号、批号分仓储存；袋装水泥应按牌号、批号架高堆存离地至少 30cm，并苫盖，以免混杂和受潮。使用时按出厂日期择先使用。如掺用外加剂，应经试验合格后方可使用。

2. 沙（细集料）

细集料应清洁、坚硬，不得含有团块、片状颗粒，土及云母等有害物质，含量不超过总干重的 5%；必要时应过筛清洗。

粗沙平均粒径不得小于 0.5mm；中沙平均粒径应为 0.35mm~0.5mm。

3. 石料（粗集料）

石料中不得含有煤、煤渣、石灰、碎砖或其他杂物；如料堆中的粗颗粒呈分离状态时，必须重新混合以符合要求的级配；粗集料最大尺寸不得超过 25mm，最好不大于 20mm。

4. 拌和水

拌和水时一般可饮用的水均可使用。如使用其他水，pH 值应大于 4，硫酸盐含量不大于 1%。

（二）施工工艺

1. 测量放线

柔性路面侧、缘石应在路面基层完成后，未铺筑沥青面层前施工；水泥混凝土路面，

应在路面完成后施工。

侧、缘石可以在铺筑路面基层后,沿路面边线刨槽、打基础安装;也可在修建路面基层时,在基础部位加宽路面基层作为基础;也可利用路面基层施工中基层两侧自然宽出的多余部分作为基础,基础厚度及标高应符合设计要求。

路面中线校核后,在路面边缘与侧石交界处放出侧缘石线,直线部位 10m 一个桩;曲线部位 5m~10m 一个桩;路口及分隔带、安全岛等圆弧处 1m~5m 一个桩,也可用皮尺画圆并在桩上标明侧、缘石顶面标高。

2. 刨槽与处理

人工刨槽:按桩的位置拉小线或打白灰线,以线为准,按要求宽度向外刨槽,一般为平铣宽(约 30cm)。靠近路面一侧,比线位宽出少许(水泥混凝土路面刨至路面边缘),一般不大于 5cm,不要太宽以免回填夯实不好,造成路边塌陷。刨槽深度可比设计加深 1cm~2cm,以保证基础厚度,槽底要修理平整。

机械刨槽:使用侧、缘石刨槽机,刀具宽度应较侧、缘石宽出 1cm~2cm,按线准确开槽,深度可比设计加深 1cm~2cm,以保证基础厚度,槽底应修理平整。

如在路面基层加宽部分安装侧、缘石,则将基层平整即可,免去刨槽工序。铺筑石灰土基层侧、缘石下石灰土基础通常在修建路面基层加宽基层时一起完成。

如不能一起完成而需另外刨槽修筑石灰土基础的,必须用 3:7(体积比)的石灰土铺筑夯实,厚度至少 15cm,压实度要求不大于或等于 95%(轻型击实)。

3. 侧石的选用和施工

侧石在直线段中采用长 80cm~100cm;曲线半径大于 15m 时采用长度为 100cm 或 60cm 的侧石;曲率半径小于 15m 或圆角部分,可视半径大小采用长度为 60cm 或 30cm 的侧石。

侧石施工应根据施工图确定的平面位置和顶面标高所放出的样线执行,但对于人行道斜坡处的侧石,一般放低至比平石高出约 2cm~3cm,两端接头(与正常侧石衔接处)则应做成斜坡连接。

4. 安装侧缘石

安装侧石前应按侧石顶面宽度误差的分类分段铺砌,以达到美观的效果。安装时先拌制 1:3(体积比)石灰砂浆铺底,砂浆厚度 1cm~2cm,缘石可不用石灰砂浆铺底,可用松散过筛的石灰土代替找平基础。

按桩概线及侧、缘石顶面测量标高拉线绷紧(水泥混凝土路面侧石,可靠板边安装,必要处适当调整),按线码砌侧缘石。需事先算好路口间的侧石块数,切忌中间用断侧石加楔。

曲线处侧、缘石应注意,外形圆滑的相邻侧石间缝隙用 0.8cm 厚木条或塑料条掌握。缘石不留缝,侧石铺砌长度不能用整数侧石除尽时,剩余部分可用调整缝宽的办法解决,但缝宽应不大于 1cm。不得已必须断侧石时,应将断头磨平。

侧石要安正,切忌前倾后仰,侧石顶线应顺直圆滑平顺,无凹进凸出、前后高低错牙现象。缘石线要求顺直圆滑、顶面平整,符合标高要求。

5. 回填石灰土

(1) 侧石

在侧石安装前要按照侧石宽度误差的分类分段砌筑,使顶面宽度统一美观。安装后,按线调整顺直圆滑,侧石里侧用长木板大铁楔背紧,外侧后背用体积比为 2:8 的石灰土,也可以利用修建路面基层时剩余石灰土,回填夯实里侧缝用体积比为 2:8 的石灰土夯填。

侧、缘石两侧同时分层回填,在回填夯实过程中,要不断调整侧、缘石线,使之达到顺直圆滑和平整的要求。夯实后拆除两面铁楔及木板。夯实灰土,外侧宽度不小于 30cm,里侧与路面基层接上。

夯实工具可采用小型夯实机具夯实,每层厚度不大于 15cm。若侧石里侧缝隙太小,可用铺底砂浆填实。如果侧石埋入路面基层太浅,夯填后背时易使侧石倾斜,此时靠路一侧可用体积比为 1:3 的石灰炉渣,加水拌和拍实成三角形,使侧石临时稳固。设计采用混凝土后,要按照设计要求的强度等级、现场浇筑捣实,要求表面平整。

(2) 平缘石

在平缘石安装后,人工刨槽的槽外一侧沟槽用体积比为 2:8 石灰土分层填实,宽度 $\geq 30\text{cm}$,层厚 $\leq 15\text{cm}$,也可利用路面基层剩余的路拌石灰土填实。外侧经夯实后与路缘石顶面齐平,内侧用上述同样材料分层夯实,夯实后要比缘石顶面低一个路面层厚度,待油面铺筑后与缘石顶面齐平。

可以使用洋镐头、铁扁夯等工具进行夯实作业。灰土含水量不足时,要加水夯实。在夯实两侧石灰土过程中,要不断调整缘石线形,保证顺直圆滑。机械刨槽时,两侧用过筛体积比为 2:8 石灰土夯实或石灰土灌浆填密实。

6. 勾缝

路面完工后,安排侧石勾缝。勾缝前必须进行挂线,调整侧石至顺直、圆滑、平整,方可进行勾缝。先把侧石缝内的土及杂物剔除干净,并用水润湿,然后用体积比为 1:2.5 的水泥砂浆灌缝填实勾平,用弯面压子压成凹形,并不得在路面上拌制砂浆。砂浆初凝后,用软扫帚扫除多余灰浆,并应适当洒水养护,养护时间不少于 3d,最后达到整齐美观。

第二节 人行道施工

人行道为道路两侧、公园等地供人行走的设施,如有机动车横过地段或机动车停放地段,应做加固处理。道路两侧人行道为道路的组成部分,人行道与绿化带或土路肩相邻时,应按设计要求埋设缘石、水泥步砖或大理石砖等。

人行道按材料分为沥青混凝土、水泥混凝土和各类预制步砖等品种,其中水泥混凝土人行道有一般预制块、连锁砌块和现场浇筑三种,工业废渣压制的锚口步砖、地砖现已基本上取代了混凝土预制块。建筑材料贴面有大理石贴面、瓷砖陶土地面砖(古代所谓的“金砖铺地”,就是指陶土地砖)贴面等。

一、人行道施工准备

(一) 材料要求

沥青混凝土人行道应采用细粒或微粒式沥青混凝土。沥青混凝土铺装层厚不应小于 3cm,沥青石屑、沥青砂铺装层厚不应小于 2cm。压实度不应小于 95%。表面应平整,无明显轮迹。

现浇混凝土人行道,混凝土的抗折强度应不低于设计要求,如设计未规定时,不宜低于 3.5MPa。粗骨料尺寸不得大于厚度的二分之一。

一般的水泥抗折强度应不低于 3.5MPa,同时,抗压强度不低于规范规定;无设计时,不宜低于 30MPa。表面制花纹分格,以利排水和防滑,其规格、尺寸按设计要求确定,步砖要求大小均匀、颜色一致,无蜂窝、露石、脱皮、裂缝等现象。无缺边掉角,顶面均匀细密,其尺寸允许偏差要符合检验规范要求。现在的水泥步砖,多用细粒干硬混凝土压制,表面为有色水泥砂浆。

水泥混凝土预制砌块必须整齐统一,抗压强度应符合设计规定;设计未规定时,不宜低于 30MPa,要求各面平整,无缺边掉角,表面光泽一致,无蜂窝麻面;利用多种异形表面在铺砌时相互连锁的要求稳定。

建筑材料贴面,尺寸形状按设计要求确定,做到表面平整、色泽一致,无缺边掉角。料石、预制砌块宜由预制厂生产,并提供强度、耐磨性能试验报告及产品合格证。进场后应检验合格后方可使用。料石应表面平整、粗糙,色泽、规格、尺寸应符合设计要求,其

抗压强度不宜小于 80MPa。

（二）作业条件

地面下的暗管、沟槽和附属构筑物等工程已验收合格，场地已平整；原材料经见证取样检验合格；方案已获监理工程师批准；根据现场与周边环境条件、交通状况，与道路交通管理部门研究制定交通疏导或导行方案，并实施完毕。

施工中影响或阻断既有人行交通时，在施工前应采取措施，保障人行交通畅通、安全。

设置排水沟、集水坑，及时将路基里的积水或地下水排走，确保路基上无积水。

施工用水、用电已经接通。根据工程规模、环境条件，修筑临时施工道路。临时施工道路应满足施工机械调运和车辆通行安全要求，且不得妨碍施工。

对作业层队伍进行全面技术、安全、质量、环保内容的交底。

无雨、雪天气。采用干铺时，环境温度不应低于 0℃。采用掺有水泥的砂浆铺设时，环境温度不应低于 5℃。

（三）人行道施工准备注意事项

1. 地下管线的保护

在基槽开挖之前，应全面掌握人行道下的管线种类、结构、水平位置、埋深等情况。在地下管线埋深较浅处，采用人工开挖基槽，人工或小机具夯实，以免损伤地下管线。

2. 相邻构筑物的协调

人行道上常有树穴、绿带、各种检查井、电杆穴等构筑物，因此，在人行道施工时，必须与有关部门互相协作配合，避免在工序上发生冲突，并应保护好测量标志，保证人行道的标高和横坡。

3. 环境保护

在喷洒乳化沥青或涂沥青漆和摊铺沥青混凝土时，侧石及相邻构筑物应用旧报纸、牛皮纸等加以覆盖，以防止污染。

4. 盲道设置

按设计及规范规定设置施工步骤与施工工艺；行进盲道砌块与提示盲道砌块不得混用；盲道避开树池、检查井、杆线等障碍物；路口处盲道应设为无障碍。

铺砌面层完成后，必须封闭交通，并应湿润养护。当水泥砂浆达到设计强度后，方可开放交通。

二、人行道施工

（一）基槽施工

基槽施工要点如下。

按设计图样实地测高程桩与放线，人行道直线段，一般 10m 一桩，曲线段适当加密，并在桩上标出面层设计标高，或放在建筑物上画线表明设计标高。若人行道外侧已按标高安装站石时，则以站石顶面标高为准，按设计横坡放样。

新建道路，可将土路床施工至人行道基槽标高，不必反开挖；路垫开挖接近基槽标高时，适当停留厚度，找平碾压达到设计压实度后再进行检查平整。草地软土应换填或用石灰稳定处理。开挖基槽前要对地下管网进行了全面检查，并采取相应的保护措施。雨、冬期施工，必须做好相应的排水、防冻措施。

（二）基层施工

人行道基层有石灰土基层、石灰水泥稳定石屑基层、水泥稳定碎石基层、素混凝土基层等。

沥青混凝土面层人行道一般采用石灰水泥稳定石屑、水泥稳定碎石等半刚性基层材料，以减少反射裂缝；水泥混凝土人行道多采用石灰土基层、石灰水泥稳定石屑、水泥稳定碎石等基层材料；建筑材料贴面的人行道一般采用素混凝土基层。

(三) 面层施工

1. 沥青混凝土面层施工

(1) 铺筑面层

检查到达工地的沥青混凝土种类、温度及拌和质量等, 冬季运输沥青混凝土必须注意保温。人工摊铺时要计算用量, 分段卸料, 卸料要卸在钢板上, 松铺系数为 1.2~1.3。上料时要注意扣铰操作, 摊铺时不要踩在新铺混合料上, 注意轻拉慢推, 接平时注意粗细均匀, 不使大料集中。

(2) 碾压

用平碾纵向错半轴碾压, 随时用 3m 直尺检查平整度, 不平处及粗麻处要及时修整或筛补, 趁热压实。碾压不到处要用热夯或热烙铁拍平, 或用振动夯板夯实。

(3) 接槎

采用立槎涂油热料温边方法。低温施工应适当采取喷油措施, 并铺热沙措施, 以保护人行道面层, 防止掉渣。要求表面坚实, 无松散、裂纹、掉渣、积水、粗细料集中等, 接槎紧密平顺, 与其他构筑物应接顺。

2. 现浇水泥混凝土面层施工

(1) 摊铺面层

现浇水泥混凝土人行道面层铺筑厚度应不小于 10cm。水泥混凝土拌合物应摊铺均匀。

布料的松铺系数取 1.10~1.25 之间。摊铺后表面应大致平整, 不得有明显的凹陷。块混凝土板应一次连续摊铺完毕。

(2) 振捣

当混凝土摊铺长度大于 10m 时, 可以开始使用平板振捣器进行振捣作业, 振动时间不宜少于 30s, 应重叠 10cm~20cm, 振捣器行进速度应均匀一致。振捣速度宜匀速缓慢, 振捣应连续不间断地进行, 其作业速度以水泥混凝土拌合物表面不露粗集料, 泛出水泥浆为准。

(3) 收面

透水水泥混凝土振捣后, 宜使用抹平机对水泥混凝土面层进行收面, 收面时必须保持模板顶面整洁, 接缝处板面平整。抹面不宜少于 4 次, 先找平抹平, 待混凝土表面无泌水时再抹面, 并依据水泥品种与气温来控制抹面间隔时间。

(4) 切缝

根据环境温度在混凝土面层成活后 250℃Ah, 按设计要求间距采用切缝法施工横向缩缝。缩缝应垂直板面, 宽度宜为 4mm~6mm。设传力杆时, 不应小于面层厚的 1/3。切缝完成后, 立即用高压水枪将残余砂浆冲洗干净。待缩缝干燥后, 按设计要求进行填缝处理。

3. 路面砖铺砌面层施工

(1) 复测标高

按照设计图纸复核放线, 用测量仪器打方格, 并以对角线检验方正, 然后在桩橛上标注该点面层设计标高。

(2) 水泥砖装卸

预制块方砖的规格为 200x200x180 (单位: mm), 装运花砖时要注意强度和外观质量, 要求颜色一致、无裂缝、不缺棱角。要轻装轻卸以免损坏。卸车前应先确定卸车地点和数量, 尽量减少小搬运。砖间缝隙为 2mm, 用经纬仪和钢尺测量放线, 打方格时要把缝宽计算在内。

(3) 拌制砂浆

采用 1:3 石灰砂浆或 1:3 水泥砂浆, 石灰粗砂要过筛, 配合比要准确, 砂浆的和易性要好。

(4) 修整基层

挂线或用测量仪器检查基层竣工高程,对小于等于 2m² 的凹凸不平处当低处小于等于 1cm 时,可填实,可填 1:3 石灰砂浆或 1:3 水泥砂浆;当低处大于 1cm 时,将基层刨 5cm,用基层的同样混合料填平拍实,填补前应把坑槽修理平整干净,表面适当湿润,高处应铲平,但如铲后厚度低于设计厚度的 90% 时,应进行反修。

(5) 铺筑砂浆

在清理干净的基层上洒一遍水使之湿润,然后铺筑砂浆,厚度为 2cm,用刮板找平。铺砂浆应随砌砖同时进行。

(6) 铺砌水泥砖

铺砖时,按控制桩高程,在方格内由第一行砖纵横挂线,根据标线按标准缝宽铺筑第一行样砖,然后纵线不动,横线平移,依次按照样砖铺砌。

铺步砖缝的直线要通,曲线要顺。扇形平面上铺步砖,要用电锯切割异形步砖与之相配,也可按直线顺延铺筑,然后用与预制步砖颜色相同的水泥砂浆补齐并刻缝。

砌筑时,步砖要轻拿轻放,用木槌或橡胶锤轻捶击实砌稳,如砌不平,应将步砖拿起,用砂调整重新铺筑,不准在砖底塞灰或用硬料支垫,必须使步砖平铺在密实的砂浆上并稳定无动摇、无空隙。

(7) 灌缝

灌缝一般采用 1:3 水泥细沙干浆,先在步砖表面均匀撒铺一层砂浆,然后用扫帚或板刷将砂浆扫入缝中,然后可用小型振动碾压机振实或浇水灌实。灌缝要反复进行几道,直到缝隙饱满为止。施工完毕后,面上的砂浆要清扫干净,用扫帚扫出步砖本色。

灌缝完毕后应及时洒水养护,在铺砌过程中,质检员应跟踪检查,发现不符合检验规范要求的部位,及时督促修整。

4. 其他形式的人行道面层施工

(1) 彩色板(砖)和触感板(砖)人行道的施工

彩色人行道方砖要采用刚性或半刚性基层及干拌水泥砂浆黏结层。基层和黏结层的材料、厚度、强度应符合设计要求。基层的施工可按照规程的有关规定执行。

彩色道板(砖)在铺砌之前要浇水湿润。将彩色道板(砖)按照定位线逐块坐实于黏结层上,使其结成整体。相邻板块贴紧,表面平整,线形顺直,铺砌后应浇水湿润养生。艺术花样和触感板的导向、停步块材铺砌时,要按照设计图形进行施工。

(2) 水泥混凝土连锁砌块铺装

由于连锁砌块条块狭小,因而平整度的要求更高,块与块的连接必须连锁紧密、齐平,不得有错落现象。铺砌不留缝,垫层用粗砂,使用专用的振平板振实,灌缝用细沙,其余操作均同铺水泥砖。完工后需要表面平整光洁、图案排列整齐、颜色一致,无麻面或者掉面、缺边现象,纵横坡度要符合设计要求。

(3) 曲线段人行道板(砖)的施工

曲线段人行道的道面铺砌,可采用直铺法或扇形铺法进行铺砌,其中彩色人行道板(砖)应采用直铺法进行施工。铺板(砖)后所形成的楔形空缺和边、角空缺可采用同标号水泥混合料就地浇筑,彩色人行道板(砖)应按所需形状切割后拼砌,与预制道板(砖)面平,并进行养护。

(四) 特殊部位的施工

1. 各种井的周边施工

按设计标高、纵坡、横坡,调整井圈高程;对已破坏或跳动的井盖、井圈进行更换;检查井周围,不得使用锯割的步砖嵌砌,步砖与井周空缺应及时用细石混凝土填补好;建筑材料贴面可使用切割后材料与检查井接顺。

2. 树穴施工

按设计要求间隔和尺寸留出树穴；树穴与路缘石或站石要方正衔接；树穴边缘按设计要求用水泥混凝土预制件、水泥混凝土缘石或大理石等围成，尺寸、高程按设计要求确定；人行横道线、公共汽车站处不设树穴。

3. 无路缘石部位施工

对人行道、广场等无路缘石人行道边缘，应采用混凝土止挡法或步砖砂浆黏结法固定。

4. 与建筑物衔接处施工

人行道面层高于建筑物地面时，应调整人行道横坡接平，或将建筑通行范围降低接顺；当建筑物地面与人行道高差较大时，应设置踏步或挡土墙。

（五）人行道的保养与修理

1. 人行道保养

应经常保持人行道整洁，及时清除人行道上的尘土污泥和杂物；两侧建筑物的管道排水，不得浸流人行道上；禁止机动车辆在人行道上行驶或停放；经常保持块料铺装人行道块体的稳定，发现松动及时补充嵌缝材料，填充稳固；若垫层不平引起人行道砌块松动，应将砌块挖出，整修垫层重新铺筑；应保养好整体铺装人行道的伸缩缝和施工缝及人行道同检查井口的接缝，发现损坏应及时修补；侧石及平石的接缝要定期清缝及勾缝；对损坏及歪斜的侧石及平石，应及时调整或更换；因树根挤坏人行道及侧石而影响行人及排水时，应同有关部门联系解决。

2. 人行道修理

人行道的修理，应针对破损原因（如排水不良、路面树根部的发育、集中堆放重型物资或机动车辆驶入等）采取相应措施进行修补。修复时应符合下列规定。

处理部分要比损坏边缘扩大 10cm 以上，开挖前应清理尘土、杂物；要按照修理时画出的轮廓开挖，边缘应垂直整齐。如果修理砌块面层，则应按砌块接缝线前 10cm 进行画线开挖；人行道路面损坏需要修整并更换侧石和平石，必须在更换侧石和平石后再修整路面；结构组合应按原人行道结构恢复，回填土及基层压实度应符合规定要求；修理部分要将四周边缘结合至密实平整，检查井的周围要细致地修复，黑色混合料铺筑的人行道结构，槽壁要涂黏结剂浇沥青，水泥混凝土人行道按原规格、原花纹恢复；新开人行道根据道路口宽度、侧石设置、转弯半径等采用不同形式，并要考虑行人行走方便。

三、海绵城市道路透水人行道路面施工技术

（一）海绵城市概述

海绵城市是新一代城市雨洪管理概念，指城市在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的“弹性”，被称为“水弹性城市”。下雨时吸水、蓄水、渗水、净水，需要时将蓄存的水“释放”并加以利用，同时还可通过科学净化将雨水过滤为可再次利用的水资源，在有效缓解城市积水问题的前提下，提高可循环利用资源的使用率，由此降低城市积水处理成本，提高城市综合效益。此外，为了强化海绵城市的适应性，在建设环节需要遵守因地制宜、生态优先的基本原则开展规划设计工作，加强人工技术同自然途径的有机结合，在保证城市排水防涝效率的前提下，实现城市雨水积存、渗透及净化效果的最大化目标，进一步提高雨水资源的利用率，降低内涝对城市自然环境的影响。

（二）海绵城市道路透水人行道路面的施工技术要点

1. 做好施工前的准备工作

（1）编制科学合理的施工方案

基于海绵城市的弹性理论，在对透水人行道路面开展设计工作时，应依照施工可行性原则，因地制宜地选择合适的设计方案，保证透水材料、施工技术的适应性，确保人行道路面的透水效果。基于此，设计师应到施工现场进行全面勘察，充分掌握施工区域内的地

质条件、水文地质以及地下水位等基本信息,根据现场实际情况进行综合分析,按照海绵城市的建设标准及人行道路面透水指标,结合勘察资料绘制工程总体设计图,编制完善的施工方案,为后续顺利开展施工作业提供可靠的参考依据。

(2) 选择合适的施工材料

施工材料是决定人行道路面透水效果的关键。因此,在前期采购阶段,应优先选用渗透能力强、耐腐蚀性能良好的透水材料,保证所选材料的各项性能指标都能满足海绵城市人行道路面的建设标准,加强对各类材料质量的有效管理。不同于传统人行道路面材料,海绵城市的透水人行道路面的材料多以透水混凝土、透水砖等渗水性强的材料为主,其针对性较为明显,而传统人行道路面一般为普通混凝土、普通石材等施工材料。所以,在海绵城市透水人行道路面正式开工前,应加大施工材料的管理力度,切实把好基础质量关。

2. 透水混凝土施工的要点分析

(1) 施工原材料的质量检测

透水人行道路面主要应用透水混凝土,其是由水、水泥、碎石等各类原材料配制、搅拌而成,要想切实达到透水人行道路面的建设要求,还应对各类原材料进行质量检测。通常,水泥材料应选用强度等级在 42.5 级的普通硅酸盐水泥;碎石粒径应在 5~10mm 左右,确保表面清洁、无杂物。同时,还要对碎石质地进行检测,保证其耐久性 & 硬度指标均能达到标准要求。

(2) 确定水泥配合比

在正式开展施工作业前,施工人员应开展施工原材料配合比试验,通过标准试验确定施工所用材料的配合比,强化质量管控意识。其应严格按照施工设计指标操作,在满足材料功能性的条件下进行试验,同时还要充分考虑施工质量及施工操作的经济性,严格把控施工材料的试验比例。经相关试验表明,骨料选用 5~10mm 的瓜子石材料为宜。经过一系列试验对比后,可将透水混凝土的施工配合比定为:水:水泥:碎石=95:350:1540,施工人员需要结合当地实际情况选择最佳的材料配合比,确保透水材料比例的精确性。

(3) 透水混凝土的拌制和运输

透水混凝土大多在混凝土搅拌站拌制而成,在拌制过程中要严格依照技术指标实施操作,根据透水混凝土的投料顺序依次放至搅拌机中。操作人员可先将 1/2 的骨料放至搅拌机内,再将规定计量的添加剂、水泥和剩余骨料逐一放至搅拌机中,投放好各类原材料后,需进行分次加水予以搅拌。为了保证搅拌充分,强化透水混凝土的强度性能,加水搅拌的时间应控制在 15s 左右、骨料搅拌的时间把控在 40s 即可。

完成拌制工作后,要及时将透水混凝土运输至施工现场,由于透水混凝土混合料的流动性小,极易发生失水、水化等现象,进而会影响透水混凝土的和易性,降低其强度性能。因此,透水混凝土拌制完成后,需在 2h 之内完成摊铺作业。

(4) 透水混凝土的浇筑与摊铺

透水混凝土的浇筑、摊铺作业决定了透水人行道路面的施工质量,关乎着路面的透水性。鉴于此,在此环节中需强化浇筑与摊铺质量的管控意识,合理把控施工温度,尽可能维持透水混凝土混合料的稳定性。一般情况下,透水混凝土的浇筑工作需要在 5℃ 以上、32℃ 以下的环境中进行,以防受到温差影响导致透水混凝土结构发生裂缝等病害问题¹。在实施摊铺作业前,施工人员应对施工人行道的下承层进行洒水作业,由此保证其湿润度,提升透水混凝土混合料的黏结性。待混合料运输至现场且质量检验达标后,施工人员便可开展透水混凝土的摊铺与刮平操作。

通常情况下,人行道路的路面宽度较窄、内侧大多设有绿化带,因此并不适合摊铺机进行操作。基于此,施工人员可利用挖掘机进行摊铺及人工整平,由此完成透水混凝土混合料的摊铺。

为了提高人行道路面的透水性,可将透水混凝土的松铺系数控制在 1.15~1.2 之间。同时,施工人员可借助平板振捣器对透水混凝土实施振捣工作,待透水混凝土表面浮浆、无气泡方可停止振捣。

(5) 透水人行道路面的养护

完成透水混凝土混合料浇筑 12h 后,施工人员应及时落实养护工作,其可将土工布铺设在透水混凝土表面,并进行洒水养护,降低混合料的水化热、规避裂缝病害。为了全面提升透水人行道路面的耐久性,养护时间应至少保持在 14d 及以上,且养护期间需禁止交通通行。

3. 透水砖的施工操作要点

透水人行道路面可采用陶瓷透水砖。一般标准道路路面的透水砖规格为 400×200×60mm、盲道砖规格应为 400×400×60mm。现场质量监管人员要对透水砖的性能参数、应用质量进行全面验收,确保各项检测指标均在标准范围内方可允许投入工程施工操作中。针对透水砂浆的应用标准,其强度等级应为 M10、厚度控制在 40mm 即可。下述对透水砖的施工技术要点进行分析。

(1) 透水砂浆的配制

透水砂浆的配制方式分为两种,施工人员需要根据海绵城市的规划标准及透水人行道路面的设计指标选择合适的配制方法,保证透水砖的强度。

选择合适计量的水泥、聚合物、细骨料等材料通过搅拌混合形成透水砂浆,在对其进行加水搅拌待其凝固固化后,形成干混砂浆 4。在此环节中,骨料可选用石英砂或玄武岩颗粒,粒径应控制在 3~5mm 左右,含泥量应在 1%以内,微粉含量需低于 3%,水泥材料可选用强度 42.5 级的普通硅酸盐水泥。

依照配制比例,根据 1:5 的水泥:骨料配合比进行配置工作,然后按照设计指标将适量的高分子聚合物复合粉料添加至混合料中,通过均匀搅拌形成透水砂浆。

(2) 透水砖的安装施工

安装透水砖前,施工人员要参考施工图纸上的标注数据进行测量放样,标定高程,结合现场实际环境对不合理的安装部位进行适当调整,确保透水人行道路面的平整度。现场质量监管人员应同施工人员做好技术交底工作,施工人员需充分掌握透水人行道路面的施工技术要点,明确施工操作的工艺流程,以便能顺利完成透水砖的安装作业。

铺砌透水砖前,应先完成透水砂浆的铺设工作,其厚度可控制在 4cm 左右,然后采取一字型铺砌法开展透水砖的试铺作业。施工人员需按照设计方位及角度对透水砖进行试拼,注意将其横纵缝对齐,并用胶锤轻轻敲打透水砖中间,通过振动作用提高透水砂浆的密实性。待透水砖试铺质量达到规定要求后,可将透水砖翻开,对透水砂浆的平整度及密实性进行详细核查。如若存在凹凸问题,则需进行增补操作,然后将透水砖放置原位并用胶锤对木垫板进行轻敲,以此提升透水砖块的平整度。在整个铺砌环节,施工人员要注意对铺砌质量进行实时检查,一旦铺砌空隙偏大,则需将透水砖取出,充分用透水砂浆进行填充、补实,做好基础处理工作后再继续铺砌透水砖,确保透水人行道路面的平整性,以防凹凸不平影响人们正常通行,避免降低人行道路面的透水效果。

(3) 填缝与养护工作

在施工过程中,当完成每天的施工任务后,施工人员要及时将施工过程中产生的垃圾进行清扫,保证施工区域内的整洁度,以防杂物混入透水砂浆中影响砂浆强度性能。完成透水砖的铺设工作后,应将警示牌或其他障碍物放置人行道道口,并落实 2d 的养护工作。在此期间,施工人员还可将细砂均匀铺设在透水人行道路面上,用扫把将其轻扫至透水砖的缝隙中,以此强化透水砖的稳固性。待完成工程质量验收工作后,应对透水砖进行清洗维护,以便保证其良好的透水性。

（四）设置溢流井

在海绵城市建造过程中，为了强化透水人行道路面的渗透作用、保证路面干爽性，可在人行道上设置溢流井。溢流井的设置位置应同排水路缘石对齐，每个溢流井的设置间距应把控在 25m 左右，由此提高溢流井的流水效率。在设置过程中，溢流井需同路面平行。溢流井防渗层的材料可选用 PPR 防水毯、SBS 土工布等材料，并且施工人员需在防渗层上预留穿孔排水管，而穿孔排水管可应用 UPVC 材料。在溢流井内可使用双螺纹管和双壁波纹管进行排水，同时还应在溢流井周边设置小型花坛或树坑，一方面可以改善海绵城市的自然环境，提高空气质量；另一方面还可提升雨水下渗的速度，强化人行道路面的干燥性及整洁性。

第三节 其他附属工程施工

一、护栏工程施工

（一）护栏的种类

1. 按护栏构造形式划分

根据造型不同，护栏可以分为半刚性护栏、刚性护栏和柔性护栏。

（1）半刚性护栏

半刚性护栏是一种连续的梁柱结构。它是通过车辆与护栏间的摩擦，车辆与地面间的摩擦及车辆、土基和护栏本身产生一定量的弹、塑性变形（以护栏系统的变形为主）来吸收碰撞能量，延长碰撞过程的作用时间来降低车辆速度，并迫使失控车辆改变行驶方向，恢复到正常的行驶方向，从而确保乘员安全，减少车辆损坏。半刚性护栏主要设置在需要着重保护乘员安全的路段。

（2）刚性护栏

刚性护栏是一种基本不变形的护栏结构。对刚性护栏来说，是通过车轮转动角的改变，车体变位、变形和车辆与护栏、车辆与地面的摩擦来吸收碰撞能量。在碰撞过程中，车辆变形程度取决于自身的刚度、碰撞能量和碰撞作用时间。当车辆的碰撞角度较大时，往往造成比较严重的后果。刚性护栏主要设置在需严格阻止车辆越出路外，以免引起二次事故的路段。

（3）柔性护栏

柔性护栏是一种具有较大缓冲能力的韧性护栏结构。缆索护栏是柔性护栏的主要代表形式，它是一种以数根施加初张力的缆索固定于立柱上而组成的结构，完全依靠缆索的拉应力来抵抗车辆的碰撞，吸收能量。

2. 按护栏设置的位置划分

根据设置位置的不同，护栏可以分为路侧护栏、中央分隔带护栏、桥梁护栏、过渡段护栏、端部护栏以及防撞垫等。

（1）路侧护栏

主要用以防止失控车辆越出路外或碰撞路侧构造物和其他设施。决定是否设置路侧护栏的关键因素是路堤高度和边坡坡度。

路侧护栏防撞等级的选取则需综合考虑以下因素：车辆驶出路外可能造成的交通事故等级、路侧安全等级、路堤高度、公路线形、交通量以及车辆构成。

（2）中央分隔带护栏

中央分隔带护栏是指设置于道路中间带内的护栏，目的是防止失控车辆穿越分隔带闯入对向车道，并保护分隔带内的构造物和其他设施。

当整体式断面中间带宽度小于 12m 时，必须设置中央分隔带护栏；大于 12m 时，应分路段确定是否设置中央分隔带护栏。

作为干线公路的一级、二级公路桥梁必须设置路侧护栏，作为干线公路的公路桥梁必须设置中央分隔带护栏。作为集散公路的一级、二级公路桥梁应设置路侧护栏，作为集散公路的一级公路桥梁宜设置中央分隔带护栏。

(3) 桥梁护栏

为了避免机动车辆碰撞行人和机动车辆的严重事故发生，对于高速公路、汽车专用一级公路上的特大桥、大桥、中桥梁，必须根据其防撞等级在人行道与行车道间设置桥梁护栏。

一般公路的特大桥、大桥、中桥梁在条件许可的情况下也应设置护栏。在有人行道的桥梁上，应按实际需要有人行道和行车道分界处设置汽车、行人分隔护栏。

桥梁护栏形式的选择，首先要根据防撞等级要求，避免在相应设计条件下失控车辆跃出。同时，还应综合考虑公路等级、桥梁护栏外侧危险物的特征、美观、经济以及养护维修等因素。例如，在有美观要求的情况下或积雪严重的地区，宜采用梁柱式护栏组合结构。钢桥为了减轻恒载，宜采用金属制成的护栏。组合式护栏兼有钢筋混凝土墙式护栏的坚固和金属制梁柱式护栏美观的优点，在中国高速公路的桥梁上普遍被采用。它的优点是：当汽车车轮与之相撞且碰撞角小于 10° 时，能校正汽车运行轨迹，而不会出现较大的损伤。

(4) 其他护栏形式

除了以上三种护栏之外，还有过渡段护栏、端部护栏以及防撞垫。过渡段护栏是指在不同护栏断面结构形式之间平滑连接并进行刚度过渡的结构段；端部护栏是指在护栏开始端或结束端所设置的专门结构；防撞垫是通过吸能系统使正面、侧面碰撞的车辆平稳地停住或改变行驶方向，一般设置在互通立交出口三角区、未保护的桥墩、结构支撑柱和护栏端头。

(二) 安全护栏的功能

公路上的安全护栏，需要进行正确的设计才有可能实现以下功能。

阻拦车辆，防止车辆越出路外，保护路外建筑物的安全，确保行人不致受到重大伤害，确保与其相交道路、铁路的安全，阻止失控车辆穿越中央分隔带闯入对向车道。

能使车辆恢复到正常行驶方向。车辆碰撞护栏的运动轨迹应能圆滑过渡，以较小的脱离角和较小的回弹量停留在不影响车辆正常行驶的地方，不致发生二次事故。

一旦失控车辆与护栏发生碰撞时，为了使驾驶人和乘客的损伤为最小，要求护栏具有良好的吸收碰撞能量的功能。

能诱导驾驶人的视线，能清晰地看到道路的轮廓及前进方的线形，增加行车的安全性，使道路更加美观。

(三) 护栏的施工工艺

1. 立柱位置放样

立柱放样应以道路固定设施，如桥梁、通道、涵洞、隧道、中央分隔带开口、紧急电话开门、路线交叉等为主要控制点（即控制立柱的位置）。应在两控制点之间量距，如出现零头数，可通过合适的调整段调整。立柱间距可能有不大于 25cm 的间距零头数，可通过分配法将其调整至多根立柱间距中。为准确放样和保证护栏的线形，在条件允许时可使用全站仪、经纬仪、水准仪等测量仪器。放样后，应确认立柱施工不会造成对地下设施的损坏，否则应调整立柱的位置。

2. 立柱安装

立柱安装应与设计文件相符，并与公路线形相协调。位于土基中的立柱，可采用打入法、挖埋法或钻孔法施工。立柱标高应符合设计要求，不得损坏立柱端部。采用打入法打入过深时，不得将立柱部分拔出加以矫正，必须将其全部拔出，将基础压实后再重新打入。

采用挖埋法施工时，回填土应采用良好的材料并分层夯实，回填土的压实度不应小于

设计规定值。填石路基中的柱坑,应用粒料回填并夯实。采用钻孔法施工时,立柱定位后应用与路基相同的材料回填,并分层夯填密实。

在铺有路面的路段设置立柱时,柱坑从路基至面层以下 5cm 处应采用与路基相同的材料回填并分层夯实,余下部分应采用与路面相同的材料回填并压实;位于石方区的立柱,应根据设计文件的要求设置混凝土基础;位于小桥、通道、明涵等混凝土基础中的立柱,可设置在预埋的套筒内,通过灌注砂浆或混凝土固定,或通过地脚螺栓与桥梁护轮带基础相连。

立柱安装就位后,其水平方向和竖直方向应形成平顺的线形。护栏渐变段及端部的立柱,应按设计规定的立柱进行安装。

3. 波形梁安装

波形梁通过拼接螺栓相互拼接,并由连接螺栓固定于立柱或横梁上。波形梁的搭接方向是安装的关键,搭接方向应与行车方向一致。如果搭接方向与行车方向相反,即使是轻微的擦碰,也会造成较大的损失。波形梁在安装过程中要不断进行调整,不应过早拧紧其连接螺栓和拼接螺栓,否则将无法发挥板上长圆孔的调节作用。

4. 防阻块及端头的安装

防阻块能防止立柱阻绊车轮,避免护栏局部受力、减小碰撞时车辆的冲击。托架适用于路肩较窄或护栏设置防阻块受限的情况。在安装时,应保证使其准确就位。在调整好立柱后,即可安装防阻块,最后安装波形梁板并进行统一调整。防撞等级为 SA、SA_m 和 SS 的波形梁护栏在安装防阻块时,应根据设计文件要求,同时安装上层立柱。

设有横隔梁的护栏,把梁与横隔梁连为一体成为组合型护栏。横隔梁应平行于路面(即垂直于立柱)安装。在安装波形梁板之前不应拧紧横隔梁与立柱的连接螺栓,否则不易进行总体调节。

中央分隔带护栏的端头梁与两侧梁相连,端头附近的立柱应按设计文件的要求进行加强处理。路侧护栏的端部结构由端柱、端头梁、混凝土基础等组成。在端部基础混凝土达到设计强度 70%后,方可安装端部结构。如因土基压实度不足等原因需要对端部结构进一步加强时,经论证,可根据设计文件的要求在端头梁附近设置钢丝绳锚固件。

(四) 施工质量要求

护栏立柱的埋深、基础规格、土基压实度、端部和过渡段处理应符合设计规范和设计文件的规定;立柱位置、立柱中距、垂直度、横梁中心高度应符合设计要求;所有构件不应因运输、施工造成防腐层的损伤;直线段护栏不得有明显的凹凸、起伏现象;曲线段护栏应圆滑顺畅,与线形协调一致;中央分隔带开口端头护栏的线形应与设计文件相符;波形梁板搭接应方向正确、搭接平顺、垫圈齐备、螺栓紧固;防阻块、托架、横隔梁、端头的安装应与设计文件相符,安装到位,不得有明显变形、扭转、倾斜;波形梁板和立柱不得现场焊割和钻孔;立柱及柱帽安装牢固,其顶部应无明显塌边、变形、开裂等缺陷。

(五) 施工验收

护栏立柱的埋深、基础规格、土基压实度、端部和过渡段处理应符合设计规范和设计文件的规定;立柱的位置、中距、垂直度和横梁中心高度均应符合设计要求,这是护栏发挥功能的基本保证。横梁中心高度是指从路面到波形梁横梁中心点的垂直距离。

二、交通标志、标线的施工

(一) 交通标志

道路交通标志是用图形符号、颜色和文字向交通参与者传递特定信息,用于交通运行管理的设施。一般设在路旁或悬挂在道路上方,使交通参与者获得确切的道路交通信息,从而达到保障运行安全和高效的目的。交通标志应使交通参与者在很短的时间内就能看到、认识并完全明白它的含义,从而采取正确的措施。因此,交通标志必须具有较高的显示性、

良好的易读性和广泛的公认性。

1. 交通标志三要素

不同颜色具有不同光学特性,从心理学角度讲会产生不同的心理感受和联想形状。研究表明:交通标志的视认性、显示性与标志形状有重要关系,面积相同时不同形状标志的易识别程度大小的顺序为:三角形、棱形、正方形、正五边形、圆形等。符号表达标志具体含义,应简单明了,易为公众理解,力求易认直观。

2. 交通标志的分类

(1) 按功能划分

交通标志按功能可分为主标志和辅助标志两大类。

①主标志

警告标志:警告车辆行人注意危险地点的标志。

禁令标志:禁止或限制车辆、行人交通行为的标志。

指示标志:指示车辆、行人行进的标志。

指路标志:传递道路方向、地点、距离信息的标志。

旅游区标志:提供旅游景点方向、距离的标志。

道路施工安全标志:通告道路施工区通行的标志。

②辅助标志

辅助标志指附设在主标志下,起辅助说明作用的标志。

(2) 按支撑方式分

柱式标志:以立柱支持在路侧、交通岛或中央分隔带等处;

单柱式:标志牌安装在一根立柱上;

双柱式:标志牌安装在两根立柱上;

悬臂式标志:标志牌安装在悬臂支架结构上方;

门架式标志:标志牌安装在门式支架结构上方;

附着式标志:标志牌安装在上跨桥和附近构造物上。

(3) 按反光方式分

不反光标志:无定向反射功能的一般油漆标志、搪瓷标志等;

反光标志:标志面采用反光材料制作的标志。

照明标志:利用照明设备使标志面发亮的标志。

内部照明标志:标志板内装照明装置,采用半透明材料制作标志面板,有单面显示和两面显示两种;

外部照明标志:外部光源照明标志板面的方式;自发光标志:白天吸收太阳光,晚上发亮的标志。

(二) 交通标线

路面标线是标划于路面上的各种线条、箭头、文字、立面标记、突起路标和路边轮廓标等所组成的交通安全设施。它的作用是确保车流分道行驶,导流交通行驶方向,加强车辆行驶纪律和秩序,增加公路通行能力,更好地组织交通,引导用路者视线,管制用路者驾驶行为的重要手段,可以有效地指引车辆在汇合或分流前进入合适的车道。

道路交通标线按设置方式可分为以下3类:纵向标线:沿道路行车方向设置的标线;横向标线:与道路行车方向成角度设置的标线;其他标线:字符标记或其他形式标线。

道路交通标线按功能可分为以下3类:指示标线:指示车行道、行车方向、路面边缘、人行道等设施的标线;禁止标线:告示道路交通的遵行、禁止、限制等特殊规定,车辆驾驶人及行人需严格遵守的标线;警告标线:促使车辆驾驶员及行人了解道路上的特殊情况,提高警觉,准备防范应变措施的标线。

道路交通标线按功能可分为 4 类。线条：标画于路面、缘石或立面上的实线或虚线；字符标记：标画于路面上的文字、数字及各种图形符号；突起路标：安装于路面上用于标示车道分界、边缘、分合流、弯道、危险路段、路宽变化、路面障碍物的反光或不反光体；路边线轮廓标：安装于道路两侧，用以指示道路的方向、车行道边界轮廓的反光柱（或片）。

（三）交通标志、标线的施工

1. 交通标志的施工

标志在厂家加工，现场安装。标志板材料采用挤压成型异型铝材制作，标志板与滑动槽钢采用铝合金铆钉连接，板面上的铆钉头应打磨平整。标志板边缘应做角钢加固处理。立柱、抱箍、底衬、柱帽等均应进行热镀锌处理。所有金属构件除特殊说明外均采用 Q235 钢制作。为防止雨水渗入，立柱顶部应加柱帽。标志板与横梁采用抱箍连接。

标志板的反光膜均采用超强级反光膜标识，安装采用汽车吊配合人工进行，标志板施工需要注意：施工的全过程应顺序作业，标识外观顺直、流线、平滑、垂直；标识朝向、角度与设计一致；标识的防锈层不得破坏；电缆线接头牢固可靠，防水绝缘，不易暴露；标识平面位置准确；吊装时注意交通行人、行车的安全；标识在吊装时，一定要系结溜绳，控制起重物的姿态稳定；吊装时要设置警示标志。

在施工过程中，所有标志基础应严格按照设计图纸位置施工，若遇树木、路灯等路上或地下构筑物与设计标志基础相矛盾的，经与现场监理协商可依据现场实际情况将标志基础沿道路中线纵向平移 $0\text{m}\sim 2\text{m}$ ；所有标志基础长边均应平行相应道路中心线，标志板面长边垂直相应道路中心线；施工中需与使用方（交警设施处、科技处等）加强联系，紧密配合，必要时应通知使用方人员到场。

2. 交通标线的施工

（1）路面标线

路面应清洁干燥，不得存在松散颗粒、灰尘、沥青渣、油污或其他有害材料。车行道边缘线的宽度应为 $15\text{cm}\sim 20\text{cm}$ ，车行道分界线的宽度应为 $10\text{cm}\sim 15\text{cm}$ ，路面中心线的宽度应为 $10\text{cm}\sim 15\text{cm}$ 。位于中央分隔带或路侧安全净区内未加护栏防护的桥墩、隧道洞口、交通标志立柱等构造物应设置立面标记，颜色为黄黑相间，线宽及间距均为 15cm 。立面标记应向车行道方向以 45° 角倾斜。立面标记宜设置为 120cm 高。二级及以下等级的公路上设置减速丘设施时，应在距其两侧各 30m 的范围内设置减速丘预告标线。正式施画前应进行试划，以检验画线车的行驶速度、线宽、标线厚度、玻璃珠撒布量等能否满足要求。调试合格后才能开始正式施工。施工时，应按设计文件要求留出排水孔，位于禁止超车线处的突起路标应空出其位置。新铺沥青混凝土路面的交通标线施工，可在路面施工完成一周后开始；新建水泥混凝土路面的交通标线施工，应在混凝土养护膜老化起皮并清除后开始。对施工中存在的缺陷，应及时修整。成型标线带和防滑彩色路面标线的施工应符合产品使用说明书的规定。

（2）突起路标

隧道的车行道分界线上宜设置突起路标；突起路标可单独设置成车行道边缘线和车行道分界线；突起路标的壳体颜色、设置位置、间距应符合现行国家标准的规定。根据设计文件的要求确定突起路标的设置位置，反射体应面向行车方向。路面和突起路标底部应清洁干燥并涂黏结剂。突起路标就位后，应在其顶部施加压力，排除空气，调整就位。

3. 质量控制要点

（1）标志质量控制要点

标志板安装后应平整，夜间在车灯照射下，标志板底色和字符应清晰明亮，颜色均匀，不应出现明暗不均的现象，不能影响标志的认读。在粘贴底膜时，横向不宜有拼接。竖向拼接时，上膜须压下膜，压接宽度不应小于 5mm 。

(2) 标线质量控制要点

标线线形应流畅,与道路线形相协调,曲线圆滑,不允许出现折线。

三、中间带

(一) 中间带概述

1. 中间带的作用

公路中的高速公路、一级公路,城市道路中的双幅路和四幅路均应设置中间带。中间带由两条左侧路缘带和中央分隔带组成,其作用如下。

第一,将上、下行机动车流分开,既可防止因快车驶入对向行车道造成车祸,又能减少公路中心线附近的交通阻力,提高通行能力。

第二,作为设置交通标志牌及其他交通管理设施的场地。

第三,种植花草灌木绿化或设置防眩网,可防止对向车辆灯光炫目,还可起到美化环境的作用。

第四,设于分隔带两侧的路缘带,由于有一定宽度且颜色醒目,既引导驾驶员视线,又增加行车所必需的侧向余宽,从而提高行车的安全性和舒适性。

2. 中间段的组成

中间带由中央分隔带和路缘带组成。分隔带以路缘石线等设施分界,在构造上起到分隔往返交通的作用。在分隔带的两侧设置路缘带,既引导驾驶员的视线,促进行车安全,还能保证行车所必需的余宽,提高行车车道的使用效率。

3. 中间带的宽度

中间带宽度规定有一般值和最小值。正常情况下采用一般值,当遇有特殊情况时可采用最小值。中间带的宽度一般情况下应保持等宽,并不得频繁变更宽度。当中间带宽度因地形条件或其他特殊情况限制而减窄或增宽时,应设置过渡段。过渡段以设在回旋线范围内为宜,其长度与回旋线长度相等。宽度大于规定或大于 4.5m 的中间带的过渡段,以设置在半径较大的平曲线路段为宜。整体式断面分离为分离式断面后和分离式断面汇合为整体式断面前的一段距离内,当分离式断面两相邻路基边缘之间的中间距离小于中间带宽度时,应设置不同宽度的中间带。

4. 中间带开口

为了便于养护作业和某些车辆在必要时驶向对向车道,中间带应按一定距离设置开口。

公路上开口一般情况下以每 2km 以上的间距设置为宜,太密将会造成交通的紊乱。城市道路开口(断口)最小间距大于 300m~400m,通常要考虑横向交通(车辆和行人)的需要。中间带的开口应设置在通视条件良好的路段,若在曲线上开口,其曲线半径宜大于 700m。在互通式立体交叉、隧道、特大桥、服务区等设施的前后必须设置开口。

开口端部的形状,常用的有两种:半圆形和弹头形。对于窄的分隔带($M < 3.0\text{m}$)可用半圆形,宽的($M \geq 3.0\text{m}$)可用弹头形。

(二) 中间带的施工

1. 埋设横向塑料排水管

路基施工完成后即可进行施工;沟槽开挖:开挖的位置、深度、宽度应符合设计要求沟槽应保持直线并与线路中线垂直,沟槽底部坡度与路面横坡一致;可采用开沟机或人工开挖;铺设垫层:采用粒径小的石料铺设,厚度保持均匀,并具有与路面相同的横坡;埋设塑料排水管:一端插入中央分隔带纵向盲沟范围内,另一端伸出路基边坡外进出口用土工布包裹,防止被碎石堵塞;塑料排水管采用套接时,管口要对齐并靠紧,用短套管套紧两根管,并在套管两端用不透水材料扎紧。

2. 中央分隔带开挖

路面基层施工完成后即可施工;先挖集水槽,再挖纵向盲沟;一般采用人工开挖;挖

开的土不得堆在施工完成的基层上,防止污染基层;沟槽的深度、宽度及沟底纵坡应符合设计要求;沟底必须平整密实,不得有杂物。

3. 防水层施工

喷涂双层防渗沥青时,要求喷涂厚度均匀,无漏喷,喷涂范围为中央分隔带范围内的路基和路面结构层;采用 PVC 防水板时,防水板的两端应拉紧、无褶皱,防水板纵横向搭接,并用铁钉固定。

4. 纵向碎石盲沟

碎石盲沟要填充密实、表面平整,并在顶面设置反滤层;反滤层可以采用砂石材料或土工合成材料,目前,高等级公路中多采用土工布;土工布的铺设应平整、无折皱、无重叠,并且要避免过量拉伸而发生破坏;施工现场若发现土工布破损,应进行修补,并且必须能够达到原性能时方可使用;土工布采用平行搭接,搭接长度不小于 30cm。

5. 缘石安装

缘石安装应在路面面层铺设前安装完成,可以现场浇筑或预制安装;采用预制安装时应铺设在不小于 2cm 厚的砂垫层上,砌筑的砂浆的水泥与沙的体积比应为 1:2;缘石的安装要稳固、线条直顺、曲线圆滑、顶面平整、缝宽均匀、勾缝密实;基底和后背填料必须夯打密实。

四、安全隔离设施施工

第一,材料表面处理检验。隔离设施的所有金属件原则上都应进行表面处理,一般应采用热浸镀锌处理。其他表面处理方法,如油漆、涂塑、紧固件的粉镀锌技术等,对其耐久性、经济性、美观及施工条件的全面分析并经认可后,也可采用。

第二,检查其柱孔深度、基底清理,坑底混凝土质量。放入立柱后,检查其垂直度、立柱的埋设,应分段进行。先埋两端,然后拉线埋放中间立柱。注意立柱纵向线形,柱顶的平整。

第三,有框架的隔离网宜在工厂集中制作。检查其外框架焊接,钢板网的切割及放入,钢板网的拉紧,与外框的焊接及除锈、去油污等工序。

第四,立柱要保证安装牢固和垂直度的要求,基础不得有松动,立柱纵向应在一线上,不得出现参差不齐的现象。柱顶应平顺,不得出现高低不平的情况。立柱基础强度达到设计强度的 70%后方可安装隔离栅网片。

第五,编织网隔离栅最好纵向连续铺设,边铺边拉紧,并尽可能在立柱挂钩上扣牢。编织网要求卷网自如,弯勾时保证不变形。隔离栅安装完毕后,纵向高程不应有很大的起伏变化,网面要平整,在任何方向均不得有明显的倾斜。各类隔离栅网片安装完毕后,立柱基础均应进行压实处理。

第六,刺钢丝安装时要求从端头立柱开始。刺钢丝之间要求平行、平直;绷紧后用 11 号钢丝与立柱上铁钩绑扎固定,横向与斜向刺钢丝相交处用 11 号钢丝绑扎。

第七,钢板网安装要求网面平整,无明显凹凸现象,框架与立柱应连接牢固,整体连接平顺。

三、路肩施工

(一) 路肩的作用及宽度

各级公路都要设置路肩。路肩的作用主要有以下几个方面:由于路肩紧靠在路面的两侧设置,具有保护及支撑路面结构的作用;供发生故障的车辆临时停放之用,有利于防止交通事故和避免交通紊乱;作为侧向余宽的一部分,能增进驾驶的安全和舒适感,对保证设计车速是必要的,尤其在挖方路段,还可以增加弯道视距,减小行车事故;提供道路养护作业、埋设地下管线的场地,对未设人行道的道路,可供行人及非机动车等使用;精心养护的路肩,能增加公路整体的美观。

根据上述路肩功能,从构造上又可分为硬路肩、土路肩。硬路肩是指进行了铺装的路肩,它可以承受汽车荷载的作用力,在混合交通的公路上便于非机动车、行人通行。在填方路段,为使路肩能汇集路面积水,在路肩边缘应设置缘石。土路肩是指不加铺装的土质路肩,它起保护硬路肩、路面和路基的作用,并提供侧向余宽。高速公路、一级公路应采用分离式断面。宽度大于 4.5m 的中间带,行车道左侧也应设硬路肩。高速公路、一级公路的平原微丘区,有条件时硬路宽度宜大于 2.50m。

城市道路采取边沟排水时,与公路一样,应在路面外侧设置路肩,同样分硬路肩和保护性路肩。城市道路的设计速度大于或等于 40km/h 时,应设置硬路肩。保护性路肩一般为土质或简易铺装,其作用是为城市道路的某些交通设施,如护栏、杆栏、电线杆、交通标志牌等的设置提供场地,最小宽度为 0.5m。双幅路或四幅路中间具有排水沟的断面,还应设置左侧路肩。各级公路和城市道路的路肩宽度根据条件可采用 0.75m~4.0m,最窄不得小于 0.50m。

(二) 路肩施工

路肩石可以在铺装路面基层后,沿路面边线刨槽、打基础安装;也可以在修建路面基层时,在基础部位加宽路面基层作为基础;也可以利用路面基层施工中基层两侧宽出的多余部分作为基础,厚度及标高应符合设计要求。

路面中线校正后,在路面边缘与侧石交界处放出路肩石线,直线部位 10 米桩;曲线部位 5~10 米桩;路口及分隔带等圆弧 1~5 米桩。也可以用皮尺画圆并在桩上标明路肩石顶面高程。

刨槽施工时,按要求宽度向外刨槽,一般为 30cm,靠近路面一侧比线位宽出少许,一般不大于 5cm,太宽容易造成回填夯实不好及路边塌陷。为保证基础厚度,刨槽深度可比设计加深 1cm~2cm,槽底应修理平整。若在路面基层加宽处安装路肩石,则将基层平整即可,免去刨槽工序。

四、雨水口施工

(一) 雨水口施工工艺

雨水口施工步骤主要有以下几点:根据设计图样,放出雨水口井位,打定位桩,并标定高程;按照定位线开挖基槽,井周每侧留出 30cm 的余量,控制设计标高,清理槽底,进行夯实;浇筑底板,底板按设计图施工养护达到一定强度后再砌筑井体;砌筑井体前要先按墙身位置挂线,先在底板上铺上一层砂浆后,再开始砌筑墙身,要保证墙身垂直,井底应采用水泥砂浆抹出雨水口泛水坡。

墙身砌筑到一定高度时,将内墙用砂浆抹面,随砌随抹,抹面要光滑平整、不起鼓不开裂;井外用水泥砂浆搓缝,使外墙严密;墙身每砌起 30cm 应及时回填外槽,一般采用碎砖灌水泥砂浆回填,也可用 C10 水泥混凝土回填,回填必须密实,防止井周路面产生局部沉陷。

砌至支管顶时,应将井内管头与井壁口相平,将管口与井壁用水泥沙浆勾抹严密,雨水管端面应露出井壁,其露出长度不应大于 2cm。雨水管穿井墙处,管顶应砌砖券;墙身砌至设计标高时,用水泥沙浆坐底安装井框、井篦,安装必须平稳、牢固;立式雨水口在墙身设计标高时,安装立式井篦,并将井身上口加盖盖板;雨水口井身砌筑完毕后,应及时将井内碎砖、砂浆等杂物清理干净,井口临时覆盖。

(二) 施工注意事项

位置应符合设计要求,不得歪扭;井篦与井墙应吻合;井篦与道路边线相邻边的距离应相等;内壁抹面必须平整,不得起壳裂缝;井篦必须完整无损、安装平稳;井内严禁有垃圾等杂物,井周回填土必须密实;雨水口与检查井的连接应顺直、无错口;坡度应符合设计规定。

五、检查井施工

（一）检查井的构造

检查井主要有圆形、矩形和扇形三种类型，从构造上看三种类型检查井基本相似，主要由井基、井身、井盖、盖座、爬梯等几部分组成。

1. 井基

井基包括基础和流槽。按照土壤及水文地质条件，采用灰土、碎砖、碎石或卵石作垫层。上铺混凝土或砌砖基础。基础上部按上下游管道管径大小砌成流槽。

2. 井身

检查井身的材料应采用砖、石、混凝土或钢筋混凝土。中国目前多采用砖砌，以水泥砂浆抹面。井身在构造上分为工作室、渐缩部分和井筒三部分。工作室的平面形状有圆形、矩形和扇形。

3. 井盖、盖座

井盖盖在井筒上面，井盖座在盖座上，井盖和路面、人行道安装平整，防止行人车辆掉入井内和其他物品落入井内。一般用铸铁制作，也有用混凝土制作的。

4. 爬梯

爬梯供工作人员上下井用，用铸铁制作，也有用砖砌的脚窝，交错地安装在井壁上。

（二）检查井的施工要点

施工前先熟悉图样，确定检查井的尺寸、样式；砌筑检查井，应在管道安装后立即进行；砌井前检查基础尺寸和高程；基础清理干净后，先铺一层砂浆，再进行墙体砌筑，砌砖时每砌完一层，要灌一次砂浆，使缝隙内砂浆饱满，上下两层砖间竖向要错缝，所用砂浆与砖的强度要求由设计确定；井壁与混凝土管相接部分，必须用砂浆坐满，在混凝土管上砌砖，以防漏水，管外壁接头处要提前洗刷干净；井身上部收口按设计标准图集所要求坡度砌筑，砌井也应边砌边完成井内砂浆抹面。

支管或预埋管按设计要求标高、位置、坡度安装好，做法同主管；护底、流槽、爬梯应与井壁同时砌筑；一般污水检查井要求内外抹面，雨水检查井只要求内部抹面，外壁要用砂浆搓缝。应边砌边进行内部抹面。

检查井完成后要将井内杂物清理干净，如还不能立即安装井座、井盖，应设防护或警示标志，防止发生杂物落入和安全事故。

六、雨水支管施工

（一）挖槽

测量人员按设计图上的雨水支管位置、管底高度定出中心线概并标记高程。

根据开槽宽度，撒开槽灰线，槽底宽一般采用管径外皮之外每边各加宽 3.0cm；根据道路结构厚度和支管覆土要求，确定在路槽或一步灰土完成后反开槽，开槽原则是能在路槽开槽就不在一步灰土反开槽，以免影响结构层整体强度；挖至槽底基础表面设计高程后挂中心线，检查宽度和高程是否平顺，修理合格后再按基础宽度与深度要求，立槎挖土直至槽底做成基础土模，清底至合格高程即可打混凝土基础。

（二）四合一法施工

四合一法施工即基础、铺管、八字混凝土、抹箍同时施工。

1. 基础

浇筑强度为 C10 水泥混凝土基础，将混凝土表面做成弧形并进行捣固，混凝土表面要高出弧形槽 1cm~2cm，靠管口部位应铺适量 1:2（体积比）的水泥砂浆，以便稳管时挤浆使管口与下一个管口黏结严密，防止接口漏水。

2. 铺管

在管子外皮一侧挂边线，以控制下管高程顺直度与坡度，要洗刷管子保持湿润。

将管子稳在混凝土基础表面,轻轻揉动至设计高程,注意保持对口和中心位置的准确。

雨水支管必须顺直,不得错口,管子间留缝最大不准超过 1cm。灰浆挤入管内用弧形刷刮除,如出现基础铺灰过低或揉管时下沉过多,应将管子撬起一头或起出管子,铺垫混凝土及砂浆,且重新揉至设计高程。

支管接入检查井一端,如果预埋支管位置不准,按正确位置高程在检查井上凿好孔洞拆除预埋管,堵密不合格空洞,支管接入检查井后,支管口应与检查井内壁齐平,不得有探头和缩口现象,用砂浆堵严管周缝隙,并用砂浆将管口与检查井内壁抹严、抹平、压光,检查井外壁与管子周围的衔接处,如果存在缝隙应用水泥砂浆抹严。

靠近收水井一端在尚未安收水井时,应用干砖暂时将管口塞堵,以免灌进泥土。

3. 八字混凝土

当管子稳定并完成捣固工作之后,按照要求角度抹出八字。

4. 抹箍

管座八字混凝土灌好后,立即用 1:2 水泥砂浆抹箍。

抹箍的材料规格,水泥用强度等级 32.5 以上水泥,沙用中沙,含泥量不大于 5%;接口工序是保证质量的关键,不能有丝毫马虎。抹箍前先将管口洗刷干净,保持湿润,砂浆应随拌随用。

抹箍时先用砂浆填管缝压实略低于管外皮,如砂浆挤入管内用弧形刷随时刷净,然后刷水泥素浆一层宽 8cm~10cm,再抹管箍压实,并用管箍弧形抹子赶光压实;为确保管箍和管基座八字连接一体,在接口管座八字顶部预留小坑。当抹完八字混凝土立即抹箍,管箍灰浆要挤入坑内,使砂浆与管壁黏结牢固;管箍抹完初凝后,要盖草袋洒水养护,注意勿损坏管箍。

(三) 包管加固

凡支管上覆土不足 40cm,需上大碾碾压者,应作 360° 包管加固。在第一天浇筑基础下管,用砂浆填管缝压实略低于管外皮并做好平管箍后,于次日按设计要求打水泥混凝土包管,水泥混凝土必须插捣振实,注意养护期内的养护,完工后支管内要清理干净。

(四) 支管沟槽回填

回填应在管座混凝土强度达到 50%以上进行;应在管子两侧用 8%灰土同时进行雨水支管顶拌回填,管顶 40cm 范围内用人工夯实,夯实度要与道路结构层相同。

(五) 升降检查井

城市道路在路内有雨污水等各种检查井,在道路施工中,为了保护原有检查井井身强度,一般不准采用砍掉井筒的施工方法。

开槽前用竹竿等物逐个在井位插上明显标记,堆土时要离开检查井 0.6m~1.0m,不准推土机正对井筒直推,以免将井筒挤坏。井周土方采取人工挖除,井周填石灰土基层时,要采用火力夯分层夯实。

凡升降检查井取下井圈后,按要求高程升降井筒,如升降量较大,要考虑重新收口,使检查井结构符合设计要求。

井顶高程按测量高程在顺路方向井两侧各 2m,垂直路线方向井每侧各 1m,挂十字线稳好井圈、井盖。

检查井升降完毕后,立即将井子内里抹砂浆面,在井内与管头相接部位用 1:2.5 砂浆抹平压光,最后把井内泥土杂物清除干净。

井周除按原路面设计分层夯实外,在基层部位距检查井外墙皮 30cm 中间,浇筑一圈厚 20cm~22cm 的 C30 混凝土加固。顶面在路面之下以便铺筑沥青混凝土面层。在井圈外仍用基层材料回填,注意夯实。

第五章 桥梁施工技术

第一节 桥梁基础施工

桥梁上部承受的各种荷载,通过桥台或桥墩传至基础,再由基础传至地基。基础是桥梁下部结构的重要组成部分,因此基础工程在桥梁结构物的设计与施工中,占有极为重要的地位,它对结构物的安全使用和工程造价有很大的影响。

一、桥梁基础概述

(一) 基础的作用与要求

基础(Foundation)指桥梁结构物直接与地基接触的部分,是桥梁下部结构的重要组成部分。承受基础传来荷载的那一部分地层(岩层或土层)则称为地基(Subsoil)。地基与基础受到各种荷载后,其本身将产生应力和变形。为了保证桥梁的正常使用和安全,地基和基础必须具有足够的强度和稳定性,变形也应在容许范围之内。

根据地基土的土层变化情况、上部结构的要求和荷载特点,桥梁基础可采用各种类型。基础类型的选定主要取决于地质土层的工程性质与水文地质条件、荷载特性、桥梁结构及使用要求,以及材料的供应和施工技术等因素。

选择的准则是:力争做到使用上安全可靠、施工上简便可行、经济上节约合理。因此,必要时应作不同方案的比较,从中得出较为适宜与合理的设计和施工方案。

众多工程实例表明,桥梁基础的设计与施工质量的好坏,关系到整座桥梁质量的根本问题。基础工程是隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,也较难弥补或修复,而这些缺陷往往直接影响整座桥梁的使用甚至安危。基础工程施工的进度,经常控制全桥施工进度。下部工程的造价,尤其是在复杂地质条件下或深水基础,通常占全桥相当大的比重。因此,从事这项工作必须做到精心设计,精心施工,确保万无一失。

桥梁结构是一个整体,上下部结构和地基是共同工作,相互影响的。地基的任何变形都必然引起上下部结构的相应位移,上下部结构的受力行为也必然关系到地基的强度和稳定条件。所以,桥梁基础的设计、施工都应紧密结合桥梁结构的特点和要求,全面分析、综合考虑。

(二) 桥梁基础的特点

桥梁基础起着支承桥跨结构,保持体系稳定的作用,它把上部结构、墩台自重及车辆荷载传递给地基,是桥梁结构物的一个重要组成部分。地基即基础下面的地层。作为整个桥梁的载体,地基承受基础传来的荷载。

为了保证结构物的安全和正常使用,要求地基必须有足够的强度和稳定性;同时,变形也应在容许范围之内。对于浅基础而言,从地基的层次和位置看,它有持力层和下卧层之分。持力层即与浅基础底面相接触的那部分地层,直接承受基底压应力作用,持力层以下的地层称为下卧层。要保证建筑物的质量,必须保证有可靠的地基与基础,否则,整个建筑物就可能遭到损坏或影响正常使用。

从实践来看,建筑工程质量事故往往是地基与基础的失稳、破坏造成的,究其原因也是多方面的。第一,从客观上看,地基和基础属于隐蔽工程,施工条件差,一旦出现问题,很难发现,也很难处理、修复;第二,地基与基础在地下或水下,往往导致主观上的轻视;第三,地基和基础所占造价比重较大。因此,要求充分重视地基和基础的设计、施工质量,严格执行现行部颁公路桥涵设计、施工相关技术规范、标准。

(三) 桥梁基础的分类

地基可分为天然地基和人工地基。直接在其上修筑基础的地层称为天然地基;如天然地层土质过于软弱或有不良工程地质问题时,则需要经过人工加固或处理后才能修筑基础,

这种地基称为人工地基。

在一般情况下,应尽量采用天然地基。基础的类型,可按基础的刚度、埋置深度、构造形式及施工方法来分类。分类目的在于了解各种类型基础的特点,以便在设计时,根据具体情况合理选用。

1. 按基础的刚度划分

按基础刚度分类,根据基础受力后的变形情况,可分为刚性和柔性基础。

受力后,不发生挠曲变形的基础称为刚性基础,一般可用抗弯拉强度较差的圬工材料(如浆砌块石、片石混凝土等)做成。这种基础不需要钢材,造价较低,但圬土体积较大,且支承面积受一定的限制。

受力后,容许发生较大挠曲变形的基础称为柔性基础或弹性基础,其通常须用钢筋混凝土做成。由于钢筋可以承受较大的弯拉应力和剪应力,所以当地基承载力较小时,采用这种基础可以有较大的支承面积。在桥梁工程中,一般情况下,多数采用刚性基础。

2. 按基础埋置深度划分

按基础埋置深度不同,可分为浅基础(5m以内)和深基础两种。

当浅层地基承载力较大时,可采用埋深较小的浅基础。浅基础施工方便,通常用明挖法从地面开挖基坑后,直接在基坑底面砌筑、浇筑基础,是桥梁基础首选方案。

如果浅层土质不良,需将基础埋置于较深的良好土层中,这种基础称为深基础。深基础设计和施工较复杂,但具有良好的适应性和抗震性。因此,目前高等级公路普遍应用,常见的形式有桩基础、沉井等基础形式。

3. 按构造形式划分

对桥梁基础来说,可归纳为实体式和桩柱式两类。

当整个基础都由圬工材料筑成时称为实体式基础。其特点是基础整体性好,自重较大,对地基承载力要求也较高。实体式基础由多根基桩或小型管桩组成,并用承台连接成整体的基础,称为桩柱式基础。这种基础较实体式基础圬工体积小、自重较轻,对地基强度的要求相对较低,桩柱本身一般要用钢筋混凝土制成。

4. 按施工方法划分

按施工方法不同,可分为明挖法、沉井、沉箱、沉桩、沉管灌注桩、就地钻(挖)孔灌注桩等。明挖法最为简单,但只适用于浅基础,其他方法均用于深基础。

5. 按基础的材料划分

目前,中国公路构造物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,少部分采用钢结构。在石料丰富的地区,按照因地制宜、就地取材的原则,也常用砌石基础。只有在特殊情况下(如抢修、林区便桥),才采用临时的木结构。

二、桥梁浅基础施工

(一) 桥梁浅基础的构造形式

1. 刚性扩大基础

由于地基强度一般较墩台强度低,因而需要将基础平面尺寸扩大,以适应地基强度的要求;同时,相对于地基而言,基础类似于一个强大的刚体,故常被称为刚性扩大基础。

作为刚性基础,其每边的最大尺寸应该受到其自身材料刚性角的限制。当基础较厚时,可以利用刚性角将基础做成阶梯状,这样既可以减少基础的圬工量,又可以发挥基础的承载作用。

刚性角是材料的一种性质,由于刚性角的存在,设计基础时应当根据刚性角的限定范围将基础按照阶梯形状逐步放大,以便让放大的尺寸尽可能与刚性角保持一致,基础的高度与底边宽度不得随意设定。在充分考虑材料刚性角的前提下进行基础施工,既可以较好地扩散基底应力,又可以节省基础建造材料。

2. 单独基础和联合基础

单独基础是立柱式桥墩中常用的基础形式之一，它的纵、横剖面均可砌筑成台阶式。但当两个立柱式桥墩相距较近，每个单独基础为了适应地基强度的要求而必须扩大基础平面尺寸时，有可能导致相邻的单独基础在平面上相接甚至重叠，此时可将基础扩大部分连在一起，形成联合基础。

3. 条形基础

条形基础是指基础长度远大于宽度和高度的基础形式，分为墙下钢筋混凝土条形基础和柱下钢筋混凝土条形基础。柱下条形基础又可分为单向条形基础和十字交叉条形基础。

条形基础必须有足够的刚度将柱子的荷载较均匀地分布到扩展的条形基础底面积上，并且调整可能产生的不均匀沉降。当单向条形基础底面积不足以承受上部结构荷载时，可在纵横两个方向将柱基础连成十字交叉条形基础，以增加桥梁的整体性，减小基础的不均匀沉降。

条形基础可分为梁板式条形基础和板式条形基础两类。梁板式条形基础适用于钢筋混凝土框架结构、框架-剪力墙结构、框支结构和钢结构。板式条形基础适用于钢筋混凝土剪力墙结构和砌体结构。

(二) 桥梁浅基础基坑开挖

1. 基坑定位放样

在桥梁施工过程中，首先要建立施工控制网，其次进行桥梁轴线标定和墩台中心定位，最后进行墩台施工放样，定出基础和基坑的各部分尺寸。桥梁的施工控制网除了用来测定桥梁长度外，还要用于各个位置控制，保证上部结构的正确连接。

施工控制网常用三角控制网，其布设应根据总平面图设计和施工地区的地形条件来确定，并作为整个工程施工设计的一部分。布网时要考虑施工程序、方法以及施工场地的布置情况，可以用桥址地形图拟定布网方案。

桥梁轴线的位置是在桥梁勘测设计中根据路线的总走向、地形、地质、河床情况等选定的，在施工时必须现场恢复桥梁轴线位置，并进行墩台中心定位。中小桥梁一般采用直接丈量法标定桥轴线长度并定出墩台的中心位置，有条件的可以用测距仪或全站仪直接确定。

施工放样贯穿于整个施工过程，是质量保证的一个方面。施工放样的目的是将设计图上的结构物位置、形状、大小和高低在实地标定出来，以作为施工的依据。

桥梁施工放样的主要内容是：墩台纵横向轴线的确定；基坑开挖及墩台扩大基础的放样；桩基础的桩位放样；承台及墩身结构尺寸、位置放样；墩帽和支座垫石的结构尺寸、位置放样；各种桥型的上部结构中线及细部尺寸放样；桥面系结构的位置、尺寸放样；各阶段的高程放样。

基础放样是根据实地标定的墩台中心位置为依据来进行的，在无水地点可直接将经纬仪安置在中心位置，用木桩准确固定基础纵横轴线和基础边缘。由于定位桩随着基坑开挖必将被挖去，所以必须在基坑开挖范围以外设置定位桩的保护桩，以备施工中随时检查基坑位置或基础位置是否正确，基坑外围通常用龙门板固定或在地上用石灰线标出。对于建筑物标高的控制，常将拟建建筑物区域附近设置的水准点引测到施工现场附近不受施工影响的地方，设置临时水准点。

2. 陆上基坑开挖

(1) 浅基坑无水开挖

浅基坑无水开挖指的是在陆地深水位地层中的开挖工作。由于这种类型的基坑很浅，而水位又很深，因此，整个开挖过程都是在无水或者渗水很小的情况下进行的。基坑壁的稳定不会受到的水的影响，开挖工作可以比较简单地进行。坑壁形态可根据土质情况灵

活选择,可选择竖直状、斜坡状、阶梯状。

(2) 深基坑无水开挖

深基坑无水开挖是指开挖较深的基坑,但地下水依旧位于基坑地面以下,坑内有较少的渗水,一般情况下只需在坑底设置几个集水坑进行抽水即可。少量的渗水不会影响基坑壁的稳定。

若条件允许,可以采用坑壁放坡或修筑台阶的方式进行开挖;若条件不允许全方位大尺度扩口,则应当采取适当的护壁措施进行开挖,以防止坑壁发生坍塌。通常采用的护壁措施有插打钢板桩围堰、钢轨、木桩,也可以采用挂网喷射混凝土、地下连续墙、钻孔搅拌桩连续墙等防护措施。

(3) 浅基坑渗水开挖

如果桥梁施工位置的地下水位很浅,会出现严重渗水甚至涌水的情况。在这样的状态下,如果不消除水的影响,那么后续的工作将无法顺利开展。

目前使用较多的排水方法主要有以下三种:降水井抽水排水法;钢板桩围堰封闭排水法;地下连续墙封闭排水法。其中,降水井抽水排水法适用于陆地高水位环境;钢板桩围堰封闭排水法既适用于水中基坑开挖,又适用于陆地高水位环境;地下连续墙封闭排水法适用于陆地高水位环境。在水中环境和陆地高水位环境中,采用集水坑抽水排水的方法是难以奏效的。

(4) 深基坑渗水开挖

在水中开挖深基坑是浅基础施工中难度最大的。根据长期的工程实践经验,利用钢板桩围堰封闭开挖空间,使之与外围水源隔绝,在无渗水、无坑壁坍塌的环境中进行水中深基坑的开挖是值得推荐的方法。

3. 水中基坑开挖

桥梁墩台基础大多位于地表水位以下,有时水流还比较大,施工时都希望在无水或静止水条件下进行。桥梁水中基础最常用的施工方法是围堰法。

围堰的作用主要是防水和围水,有时还起着支撑施工平台和基坑坑壁的作用。围堰的结构形式和材料要根据水深、流速、地质情况、基础形式以及通航要求等条件进行选择。任何形式和材料的围堰,均必须满足下列要求。

第一,围堰顶高宜高出施工期间最高水位 70cm,最低不应小于 50cm,用于防御地下水的围堰宜高出水位或地面 20cm~40cm。

第二,围堰外形应适应水流排泄,大小不应过多压缩流水断面,以免壅水过高危害围堰安全,影响通航、导流等。围堰堰内的平面尺寸应满足基础施工的要求,并留有适当的工作面积。

第三,围堰的填筑应分层进行,减少渗漏,并应满足堰身强度和稳定性的要求,基坑开挖后,围堰不致发生破裂、滑动或倾覆。围堰要求防水严密,应尽量采取措施防止或减少渗漏,减轻排水工作。围堰施工一般安排在枯水期进行。

4. 地基处理

(1) 多年冻土地基的处理

基础不应置于季节冻融土层上,并不得直接与冻土接触;基础的基底修筑于多年冻土层(即永冻土)上时,基底之上应设置隔温层或保温层材料,且铺筑宽度应在基础外缘加宽 1m。

按保持冻结原则设计的明挖基础,其多年平均地温等于或高于 3℃时,应于冬期施工;多年平均地温低于-3℃时,可在避开高温季节的其他季节施工。

施工前做好充分准备,组织快速施工。做好的基础应立即回填封闭,不宜间歇。必须间歇时,应以草袋、棉絮等加以覆盖,防止热量侵入。施工过程中,严禁地表水流入基坑。

明水应在距坑顶 10m 之外修排水沟。水沟之水, 应远离坑顶排放并及时排除融化水。施工时, 必须搭设遮阳棚和防雨篷, 并及时排除季节冻层内的地下水和冻土本身的融化水。

(2) 岩层基底的处理

风化的岩层, 应挖至满足地基承载力要求或其他方面的要求为止; 在未风化的岩层上修建基础前, 应先将淤泥、苔藓、松动的石块清理干净, 并洗净岩石; 坚硬的倾斜岩层, 应将岩层面凿平; 倾斜度较大, 无法凿平时, 则应凿成多级台阶, 台阶的宽度宜不小于 0.3m。

(3) 溶洞地基的处理

影响基底稳定的溶洞, 不得堵塞溶洞水路; 干溶洞可用沙砾石、碎石、干砌或浆砌片石及灰土等回填密实; 基底干溶洞较大, 回填处理有困难时, 可采用桩基处理, 桩基应进行设计, 并经有关单位批准。

(4) 泉眼地基的处理

可将有螺口的钢管紧紧打入泉眼, 盖上螺帽并拧紧, 阻止泉水流出, 或向泉眼内压注速凝的水泥砂浆, 再打入木塞堵眼。堵眼有困难时, 可采用管子塞入泉眼, 将水引流至集水坑排出或在基底下设盲沟引流至集水坑排出, 待基础圬工完成后, 向盲沟压注水泥浆堵塞。采用引流排水时, 应注意防止沙土流失, 引起基底沉陷。

5. 基坑施工过程中注意要点

在基坑顶缘四周适当距离处设置截水沟, 防止水沟渗水, 避免地表水冲刷坑壁, 影响坑壁稳定性; 坑壁边缘应留有护道, 静荷载距坑边缘不小于 0.5m, 动荷载距坑边缘不小于 1.0m, 垂直坑壁边缘的护道还应适当增宽, 水文地质条件欠佳时应有加固措施。

应经常注意观察坑边缘顶面土有无裂缝, 坑壁有无松散塌落现象发生; 基坑施工不可延续时间过长, 自开挖至基础完成, 应抓紧时间连续施工。

如用机械开挖基坑, 挖至坑底时, 应保留不小于 30cm 厚度的底层, 在基础浇筑圬工前用人工挖至基底标高; 基坑应尽量在少雨季节施工; 基坑宜用原土及时回填, 对桥台及有河床铺砌的桥墩基坑, 则应分层夯实。

三、桩基础施工

(一) 沉入桩基础施工

当地基浅层土质较差, 持力土层埋藏较深, 需要采用深基础才能满足结构物对地基强度变形和稳定性要求时, 可用桩基础。桩基础是常用的桥梁基础类型之一。应用锤击沉桩、振动沉桩、射水沉桩、静力压桩等施工方法的称为沉入桩。

桩基按材料分类有木桩、钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩与钢桩, 桥梁基础应用较多的是中间两种。

1. 沉入桩基础施工准备工作

沉桩前应掌握工程地质钻探资料、水文资料和打桩资料; 沉桩前必须处理地上(下)障碍物, 平整场地, 且应满足沉桩所需的地面承载力; 应根据现场环境状况采取降噪措施; 城区、居民区等人员密集的场所有不应进行沉桩施工。

2. 锤击沉桩法

锤击沉桩一般适用于中密沙类土、黏性土。由于锤击沉桩依靠桩锤的冲击能量将桩打入土中, 对沉桩设备要求较高, 因此, 一般桩径不能太大(不大于 0.6m), 入土深度在 40m 左右。沉桩设备是桩基施工成败的关键, 应根据土质、工程量、桩的种类、规格、尺寸、施工期限、现场水电供应等条件选择。

(1) 沉桩设备

锤击沉桩的主要设备有桩锤、桩架、桩帽及送桩等。

桩锤: 桩锤可以分为坠锤、单动气锤、双动气锤、柴油锤和液压锤等。

桩架：桩架是沉桩的主要设备。它的主要作用是装吊锤、吊桩、插桩、吊插射水管和在桩下沉过程中用于导向。桩架主要由吊杆、导向架、起吊装置、撑架和底盘组成。

桩架可以用木料和钢材做成，分为：轨道式桩架、液压步履式桩架、悬臂履带式桩架和三点支承式桩架，工程中常用的是钢制轨道式桩架。

桩帽：打桩时，要在锤和桩之间设置桩帽。它既要起缓冲保护桩顶的作用，又要保持沉桩效率。

因此，在桩帽上方（锤与桩帽接触一方）填充硬质缓冲材料，如橡木、树脂、硬桦木、合成橡胶等；在桩帽下方应垫以软质缓冲材料，如麻饼、草垫、废轮胎等。

送桩：在桩顶设计的标高在导杆以下时，需用送桩。送桩可以用硬木、钢或钢筋混凝土等制成。

（2）施工技术要求

第一，水泥混凝土桩要达到 100% 设计强度并具有 28d 龄期。

第二，重锤低击混凝土管桩桩帽上宜开逸气孔。

第三，打桩顺序一般是由一端向另一端打；密集群桩由中心向四边打；先打深桩，后打浅桩；先打坡顶，后打坡脚；先打靠近建筑的桩，然后往外打；遇到多方向桩，应设法减少变更桩机斜度或方向的作业次数，避免桩顶干扰。

第四，在桩的打入过程中，应始终保持锤、桩帽和桩身在同一轴线上。

第五，沉桩时，以控制桩尖设计标高为主。桩尖标高等于设计标高，而贯入度较大时应继续锤击，使贯入度接近控制贯入度。当贯入度达到控制贯入度，而桩尖标高未达到设计标高时，应继续锤击 100mm 左右（或锤击 30~50 击）。如无异常变化，即可停锤。

第六，无论桩多长，打桩和接桩均须连续作业，中间不应有较长时间的停歇（一鼓作气）。

第七，在一个墩、台桩基中，同一水平面内的桩接头数不得超过桩基总数的 1/4，但采用法兰盘按等强度设计的接头可不受此限制（抗水平剪力的需要）。

第八，沉桩过程中，若遇到贯入度剧变，桩身突然发生倾斜、位移或有严重回弹，桩顶或桩身出现严重裂缝、破碎等情况，应暂停沉桩，分析原因，采取有效措施。

第九，在硬塑黏土或松散的沙土地层下沉群桩时，如在桩的影响区内有建筑物，应防止地面隆起或下沉对建筑物的破坏（黏土隆起，沙土下陷）。

3. 振动沉桩法

振动沉桩法是用振动打桩机（振动桩锤）将桩打入土中的施工方法。其原理是：振动打桩机使桩产生上下方向的振动，在清除桩与周围土层间摩擦力的同时，松动桩尖地基，从而使桩贯入或拔出。振动沉桩法一般适用于砂土、硬塑及软塑的黏性土和中密及较软的碎石土。

振动沉桩施工要点及注意事项如下。

（1）振动时间的控制

每次振动时间应根据土质情况及振动机能力大小，通过实地试验决定，一般不宜超过 10min~15min。一般当振动下沉速度由慢变快时，可以继续振动。由快变慢，如下沉速度小于 5cm/min 或桩头冒水时，即应停振。当振幅过大（一般不应超过 14mm~16mm）而桩不下沉时，则表示桩尖端土层坚实或桩的接头已振松，应停振继续射水，或另作处理。

（2）振动沉桩停振控制标准

应以通过试桩验证的桩尖标高控制为主，以最终贯入度（cm/min）或可靠的振动承载力公式计算的承载力作为校核。如果桩尖已达标高而最终贯入度或计算承载力相差较大时，应查明原因，报有关单位研究后另行确定。

（3）管桩改用开口桩靴振动吸泥下沉

若桩基土层中含有大量卵石、碎石或破裂岩层,采用高压射水振动沉桩难以下沉,可将锥形桩尖改为开口桩靴,并在桩内用吸泥机配合吸泥,非常有效。

(4) 振动沉桩机、机座、桩帽应连接牢固

沉桩机和桩中心轴应尽量保持在同一直线上;开始沉桩时宜用自重下沉或射水下沉,桩身有足够稳定性后,再采用振动下沉。

4. 射水沉桩法

射水施工方法的选择应视土质情况而定,在沙夹卵石层或坚硬土层中,一般以射水为主,锤击或振动为辅;在亚黏土或黏土中,为避免降低承载力,一般以锤击或振动为主,以射水为辅,并应适当控制射水时间和水量;下沉空心桩,一般用单管内射水。当下沉较深或土层较密实,可用锤击或振动,配合射水;下沉实心桩,将射水管对称地装在桩的两侧,并沿着桩身上下自由移动,以便在任何高度上射水冲土。不论采取何种射水施工方法,在沉入最后阶段至设计标高 $1\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 时,应停止射水,单用锤击或振动沉入至设计深度。

射水沉桩的主要设备包括水泵、水源、输水管路和射水管等。射水沉桩的施工要点是:吊插基桩时要注意及时引送输水胶管,防止拉断与脱落;基桩插正立稳后,压上桩帽桩锤,开始用较小水压,使桩靠自重下沉。初期应控制桩身不使下沉过快,以免阻塞射水管嘴,并注意随时控制和校正桩的方向;下沉渐趋缓慢时,可开锤轻击,沉至一定深度 ($8\text{m}\sim 10\text{m}$) 已能保持桩身稳定后,可逐步加大水压和锤的冲击动能;沉桩至距设计标高一定距离

(2.0m 以上) 停止射水,拔出射水管,进行锤击或振动使桩下沉至设计要求标高。若采用中心射水法沉桩,要在桩垫和桩帽上留有排水通道,防止射水从桩尖孔返入桩内,产生水压,造成桩身胀裂。管桩下沉到位后,如设计要求以混凝土填芯,应用吸泥法等清除沉渣以后,再用水下混凝土填芯。

5. 静力压桩法

静力压桩适用于高压缩性黏土或沙性较轻的软黏土地基。

(1) 静力压桩的特点

施工时无冲击力,噪声和振动较小;桩顶不易损坏,可预估和验证桩的承载力;较难压入 30m 以上的长桩,但可通过接桩,分节压入;机械设备的拼装和移动耗时较多。

(2) 静力压桩施工要求

选用压桩设备的设计承载力宜大于压桩阻力的 40% ;压桩前检查各种设备,使压桩工作不至于间断;用 2 台卷扬机同时启动,放下压梁时,必须使其同步运行;压桩尽量避免中途停歇;当桩尖标高接近设计标高时应严格控制进程;遇到特殊情况,应暂停施压。

(二) 钻孔灌注桩施工

钻孔灌注桩桩长可以根据持力土层的起伏面变化,按使用期间可能出现的最不利内力组合配置钢筋。钢筋用量较少,便于施工,且承载能力强,故应用较为普遍。钻孔灌注桩施工的主要工序有埋设护筒、制备泥浆、钻孔、清底、钢筋笼制作与吊装、灌注水下混凝土等。

1. 埋设护筒

护筒能稳定孔壁、防止坍孔,还有隔离地表水、保护孔口地面、固定桩孔位置和起到钻头导向作用等。护筒要求坚固耐用,不漏水,其内径应比钻孔直径大(旋转钻约大 20cm ,潜水钻、冲击或冲抓锥约大 40cm),每节长度约 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 。

一般常用钢护筒,在陆上与深水中均能使用,钻孔完成可取出重复使用。在深水中埋设护筒时,应先打入导向架,再用锤击或振动加压沉入护筒。护筒入土深度视土质与流速而定。护筒平面位置的偏差不得大于 5cm ,倾斜度不得大于 1% 。

2. 泥浆制备

钻孔泥浆由水、黏土(膨润土)和添加剂组成,具有悬浮钻渣、冷却钻头、润滑钻具,

增大静水压力,并在孔壁形成泥皮,隔断孔内外渗流,防止坍孔的作用。通常采用塑性指数大于 25,粒径小于 0.005mm,颗粒含量大于 50%的黏土,通过泥浆搅拌机或人工调和,储存在泥浆池内,再用泥浆泵输入钻孔内。

3. 钻孔

(1) 正循环回转钻机钻孔

开始钻孔时,应稍提钻杆,在护筒内打浆,开动泥浆泵进行循环,待泥浆均匀后开始钻进;在黏土中宜选用尖底钻头,用中等转速、大泵量、稀泥浆的方法钻进,在沙土或软土层中宜选用平底钻头,用控制进入深度、轻压、低档慢速、大泵量、稠泥浆的方法钻进;在钻孔过程中,钻机的主吊钩应始终吊住钻具,钻机的全部重量不全由孔底承受,这样既可避免钻杆折断,又可保证钻孔质量。

(2) 反循环回转钻机钻孔

反循环程序是泥浆由孔外流入孔内,用真空泵或其他方法(如空气吸泥机等),将钻渣通过钻杆中心从钻杆顶部吸出,或将吸浆泵随钻锥一同钻进,从孔底将钻渣吸出孔外。钻孔过程中,必须连续不断地补充水量或泥浆,保证护筒内水位稳定,维持应有的高度。

(3) 冲击锥钻进成孔

利用钻锥不断地提锥、落锥,反复冲击孔底土层,把土层中的泥沙、石块挤向四壁或打成碎渣,钻渣悬浮于泥浆中,利用掏渣筒取出,重复上述过程冲击钻进成孔。要求:钻头应有足够的重量,适当的冲程和冲击频率,以使它有足够的能量将岩石打碎。

(4) 冲抓锥钻进成孔

用兼有冲击和抓土作用的抓土瓣,通过钻架,由带离合器的卷扬机操纵,靠冲锥自重冲下,使抓土瓣锥尖张开插入土层,然后由带离合器的卷扬机锥头收拢抓土瓣将土抓出,弃土后继续冲抓成孔。钻锥常采用六瓣和四瓣冲抓锥冲抓成孔适用于黏性土、沙性土及夹有碎卵石的沙砾土层,成孔深度宜小于 30m。

4. 清孔

钻孔深度达到设计标高后,应对孔深、孔径进行检查,符合要求后方可清孔。清孔方法应根据设计要求、钻孔方法、机具设备条件和地层情况决定。在吊入钢筋骨架后,灌注水下混凝土之前,应再次检查孔内泥浆性能指标和孔底沉淀厚度,如超过规定,应进行第二次清孔,符合要求后方可灌注水下混凝土。

5. 钢筋骨架的制作、运输及吊装

钢筋骨架采用在场内支座,长桩骨架宜分段制作,分段长度应根据吊装条件确定,且应确保不变形,接头应错开。应在骨架外侧设置控制保护层厚度的垫块,其间距竖向为 2m,横向圆周不得少于 4 处。骨架顶端应设置吊环,骨架人孔一般用吊机,无吊机时,可采用钻机钻架、灌注塔架。起吊应按骨架长度的编号入孔。钢筋骨架的制作和吊放的允许偏差为:

主筋间距 $\pm 10\text{mm}$ 、箍筋间距 $\pm 20\text{mm}$ 、骨架外径 $\pm 10\text{mm}$ 、骨架倾斜度 $\pm 0.5\%$ 、骨架保护层厚度 $\pm 20\text{mm}$ 、骨架中心平面位置 20mm、骨架顶端高程 $\pm 20\text{mm}$,骨架底面高程 $\pm 50\text{mm}$ 。

6. 灌注水下混凝土

灌注水下混凝土时,配备的搅拌机等设备,应能使桩孔在规定时间内灌注完毕。灌注时间不得长于首批混凝土初凝时间。若估计灌注时间长于首批混凝土初凝时间,则应掺入缓凝剂。水下混凝土一般用钢导管灌注,导管内径为 200mm~350mm,视桩径大小而定。导管使用前应进行水密承压和接头抗拉试验,严禁用压气试压。混凝土拌和物运至灌注地点时,应检查其均匀性和坍落度等。如不符合要求,应进行第二次拌和,若仍不符合要求,不得使用。首批灌注混凝土的数量应满足导管首次埋置深度和填充导管底部的需要。首批混凝土拌合物下落后,混凝土应连续灌注。在灌注过程中,导管的埋置深度宜控制在 2m~

6m, 在灌注过程中, 应经常探测井孔内混凝土面的位置, 及时调整导管埋深。为防止钢筋骨架上浮, 当灌注的混凝土顶面距钢筋骨架底部 1m 左右时, 应降低混凝土的灌注速度。当混凝土拌合物上升到骨架底口 4m 以上时, 提升导管, 使其底口高于骨架底部 2m 以上, 即可恢复正常灌注速度。在灌注过程中, 特别是潮汐地区和有承压水地区, 应注意保持孔内水头; 在灌注过程中, 应将孔内溢出的水或泥浆引流至适当地点处理, 不得随意排放, 污染环境及河流; 灌注中发生故障时, 应查明原因, 确定合理处理方案, 及时处理。

(三) 挖孔灌注桩施工

1. 开挖桩孔

一般采用人工开挖, 开挖之前应清除现场四周及山坡上悬石、浮土等, 排除一切不安全的因素, 做好孔口四周临时围护和排水设备。孔口应采取措施防止土石掉入孔内并安排好排土提升设备(卷扬机或木绞车等), 布置好弃土通道, 必要时孔口应搭雨棚。挖孔过程中要随时检查桩孔尺寸和平面位置, 防止误差。注意施工安全, 下孔人员必须佩戴安全帽和安全绳, 提取土渣的机具必须经常检查。孔深超过 10m 时, 应经常检查孔内二氧化碳含量, 如超过 0.3% 应增加通风措施。孔内如用爆破施工, 采用浅眼爆破法, 严格控制炸药用量并在炮眼附近加强支护, 以防止振坍孔壁。孔深大于 5m 时, 应采用电雷管引爆, 爆破后应先通风排烟 15min 并经检查孔内无毒后, 施工人员方可下孔继续开挖。

2. 护壁和支撑

挖孔桩开挖过程中, 开挖和护壁两个工序必须连续作业, 以确保孔壁不坍塌。应根据水质、水文条件、材料来源等情况因地制宜选择支撑及护壁方法。桩孔较深, 土质较差出水量较大或遇流沙等情况时, 宜采用就地灌注混凝土护壁, 每下挖 1m~2m 灌注一次, 随挖随支。

护壁厚度一般采用 0.15m~0.20m, 混凝土为 C15~C20, 必要时可配置少量的钢筋, 也可采用下沉预制钢筋混凝土圆管护壁。如土质较松散而渗水量不大时, 可考虑用木料作框架式支撑或在木框架后面铺架木板作支撑。木框架或木框架与木板间应用扒钉钉牢, 木板后面也应与土面塞紧。如土质情况尚好, 渗水不大时也可用荆条、竹笆作护壁, 随挖随护壁, 以保证挖土安全进行。

3. 排水孔

内如渗水量不大, 可采用人工排水(手摇木绞车或小卷扬机配合提升); 渗水量较大, 可用高扬程抽水机或将抽水机吊入孔内抽水。若同一墩台有几个桩孔同时施工, 可以安排一孔超前开挖, 使地下水集中在一孔排除。

4. 吊装钢筋骨架及灌注桩身混凝土

挖孔达到设计深度后, 应进行孔底处理。必须做到孔底表面无松渣、泥、沉淀土, 保证桩身混凝土与孔壁及孔底密贴, 受力均匀。如地质复杂, 应钎探了解孔底以下地质情况是否能满足设计要求, 否则应与监理、设计单位研究处理。吊装钢筋骨架及灌注水下混凝土的有关方法及注意事项与钻孔灌注桩基本相同。

四、沉井基础施工

沉井基础是桥梁工程中经常用到的基础形式, 因沉井在最初制作时无底无盖, 形似筒状, 故又称为井筒。

沉井通常采用钢材、混凝土或钢筋混凝土制成, 具有强度高, 质量大, 外形庞大, 容易下沉的特点。当采用合适的方式将其沉降到稳定地层中时, 沉井将因其稳定的状态和较大的支撑截面, 为建造在其顶面上的结构物提供强大、稳定的支撑。

因此, 在软土沉积很厚的地方常选择沉井作为桥墩基础。沉井主要由井壁、刃脚和隔墙等组成。沉井既是基础结构的组成部分, 又在下沉过程中起着挡土和挡水的围护作用, 不需再另设坑壁支护结构, 施工工艺简单, 技术稳妥可靠, 不需特殊的专业设备。此外,

其可做成补偿性基础,既节省了材料又简化了施工,因而在深基础或地下结构中被广泛应用。

(一) 沉井的类型

1. 按平面外形划分

按照平面外形,沉井可分为圆形沉井、矩形沉井和圆端形沉井。

圆形沉井:易控制下沉方向,取土方便,在水压力作用下,井壁只承受环向压力。

矩形沉井:制造简单,基础受力有利。其四角一般做成圆角,以减小井壁的摩阻力和取土清底的困难。但其阻水面积大,易造成严重冲刷,井壁承受的挠曲弯矩较大。

圆端形沉井:介于上述两者间,在控制下沉、受力状态、阻水冲刷方面较矩形沉井有利,但制造相对复杂。

2. 按仓室分布分类

当沉井平面尺寸较大时,往往根据井壁侧向承受的弯矩、施工要求及上部结构的需要,在沉井中设置面墙,将沉井平面分成多格,沉井内部空间被分成多个仓室。按照仓室的分布,沉井可分为圆形单仓沉井和矩形三仓沉井。

(二) 沉井的构成

1. 刃脚

刃脚在沉井的最下端,用钢板做成,形如刀刃。当沉井下沉时,起切入土中的作用。

2. 井壁

井壁是沉井的外壁,用钢筋混凝土逐节现浇而成。下沉的过程中扫除起挡土作用外还以其自重克服外壁与地基土间的摩阻力和刃脚底部的土阻力,使沉井逐渐下沉直至设计高程。

3. 隔墙

隔墙把沉井分成若干小间,以减小外侧土压力对井壁的弯矩,加强沉井的刚度。此外,在施工时,便于挖土和可以控制沉井下沉的偏差。

4. 井孔

井孔是挖土排土的工作场所和通道。井孔尺寸应满足施工要求,宽度(直径)不宜小于 3m。井孔布置应对称于沉井中心轴,便于对称挖土使沉井均匀下沉。

5. 凹槽

凹槽设在井孔下端近刃脚处,其作用是使封底混凝土与井壁有较好的结合,封底混凝土底面的反力更好地传给井壁(如井孔全部填实的实心沉井也可不设凹槽)。凹槽的深度约 0.15m~0.25m,高约 10m。

6. 射水管

当沉井下沉深度大,穿过的土质又较好,估计下沉会产生困难,可在井壁中预埋设水管组。射水管应均匀布置,以利于控制水压和水量来调整下沉方向,一般水压不小于 600kPa。

7. 封底和盖板

沉井沉至设计高程进行清基后,便浇筑封底混凝土。混凝土达到设计强度后,可从井孔中抽干水并填满混凝土或其他圬工材料。如井孔中不填料或仅填沙砾,则须在沉井顶面浇筑钢筋混凝土盖板,盖板厚度一般为 1.5m~2.0m。

封底混凝土底面承受地基土和水的反力,这就要求封底混凝土有一定的厚度(可由应力验算决定),其厚度根据经验也可取不小于井孔最小边长的 1.5 倍。封底混凝土顶面应高出刃脚根部不小于 0.5m,并浇灌到凹槽上端。封底混凝土强度等级对岩石地基用 C15,一般地基用 C20。井孔中充填的混凝土,其强度等级不应低于 C10。

(三) 水中沉井的施工

1. 筑岛法

水流速不大,水深在 3m 或 4m 以内,可用水中筑岛的方法。筑岛材料为沙或砾石,周围用草袋围护,如水深较大可作围堰防护。岛面应比沉井周围宽出 2m 以上,作为护道,并应高出施工最高水位 0.5m 以上。砂岛地基强度应符合要求,然后在岛上浇筑沉井。如筑岛压缩水面较大,可采用钢板桩围堰筑岛。

2. 浮运法

水深较大,如超过 10m 时,筑岛法很不经济,且施工也困难,可改用浮运法施工。沉井在岸边做成,利用在岸边铺成的滑道滑入水中,然后用绳索引到设计墩位。

沉井井壁可做成空体形式或采用其他措施(如带木底或装上钢气筒)使沉井浮于水上,也可以在船坞内制成用浮船定位和吊放下沉,或利用潮汐,水位上涨浮起,再浮运至设计位置沉井就位后,用水或混凝土灌入空怀、徐徐下沉直至河底。或依靠在悬浮状态下接长沉井及填充混凝土,使它逐步下沉。每个步骤均需保证沉井本身足够的稳定性。沉井刃脚切入河床一定深度后,可按前述下沉方法施工。

(四) 陆地沉井的施工

陆地上的沉井采用在墩台位置处就地制造,然后取土下沉的施工方法。因这种施工方法是在原地制作,故不需大型设备,且施工方便,成本低。通常情况下,沉井比较高,故可以分段制造、分段下沉。其中,第一节沉井的制作和下沉尤为重要。

1. 第一节沉井的制作

第一节沉井应建造在较好的土质上。当土质强度不能满足第一节沉井制作的质量要求时,可对地基进行处理或减小沉井节段的高度。由于沉井自重较大,刃脚底部窄,应力集中,所以应在沉井刃脚下对称的位置铺垫枕木,再立模,绑扎钢筋,浇筑第一节沉井混凝土,下沉时,应按顺序对称地抽出枕木,以防止沉井出现倾斜和开裂。

2. 沉井下沉

在沉井仓室内不断取土可使沉井下沉。下沉方法可分为排水下沉和不排水下沉两种,两种方法对沉井下沉过程中井壁外侧的摩擦力有较大影响。

对于水位以上部分或渗水量小的土层,可采取人工和机械挖土;当井内水位上升时,可采用抓土斗或水力吸泥机取土,待沉井顶面高出地面 1m~2m 时应停止挖土,接高沉井。

3. 封底,填充填料及浇筑盖板

封底之前应对基底进行检验和处理,一般情况下,采用不排水封底,封底厚度应满足沉井底部不渗水的要求。封底施工完毕后再填充填料,浇筑盖板。

第二节 桥梁墩台施工

桥墩、桥台为桥梁的下部结构,是桥梁的重要组成部分。桥梁墩台的主要作用是承受上部结构传来的荷载,并将荷载及桥梁墩台本身自重传给地基。桥墩支承相邻的两孔桥跨,居于桥梁的中间部位。桥台居于全桥的两端,它的前端支承桥跨,后端与路基衔接,起着支挡台后路基填土并把桥跨与路基连接起来的作用。

桥梁墩台除承受上部结构的作用力外,桥墩还承受风力、流水压力及可能发生的冰压力、船只和漂流物的撞击力,桥台还需要承受台背填土及填土车辆荷载产生的附加侧压力。

因此,桥梁墩台不仅本身应具有足够的强度、刚度和稳定性,而且对地基的承载能力沉降量、地基与基础之间的摩阻力等也都有一定的要求。

一、桥墩

(一) 桥墩的分类

按构造特征分为:重力式(实心)桥墩、薄壁空心桥墩、多柱式柔性桥墩、V 形桥墩等。

按变形能力分为：刚性桥墩、柔性桥墩。

按截面形状分为：矩形墩、圆形墩、圆端形墩、尖端形墩、组合截面墩。

（二）重力式桥墩

重力式桥墩依靠自身的重量和桥面传来的永久荷载抵抗水平荷载，通常截面尺寸较大。重力式桥墩在水平荷载作用下，桥墩内将产生弯矩，最大弯矩在墩底截面。

在此弯矩作用下，横截面内将产生弯曲正应力，一部分截面受拉、一部分截面受压；桥墩在自重和桥跨传来的竖向永久荷载作用下，横截面内产生压应力；此压应力完全抵消弯曲拉应力，因而最终横截面上没有拉应力。

重力式桥墩多采用简单的流线型截面形状，如圆端墩、尖端墩、圆角形墩等，以便桥下水流顺畅绕过桥墩，减少阻水及墩旁冲刷。因重力式桥墩横截面内没有拉应力，一般采用抗拉强度很低的砖石材料或混凝土材料。

（三）空心桥墩

1. 部分镂空实体桥墩

部分镂空实体桥墩仍保持了重力式桥墩的基本特点，如较大的轮廓、较大的圬工量、较少的钢筋量等。镂空的目的是在截面强度和刚度足以承担外荷载的条件下减少圬工量，使桥墩结构更经济。

但镂空部位受到一定的条件限制，如在墩帽下一定高度范围内，为保证上部结构的荷载能安全有效地传递给墩身镂空部分的墩壁，应设置一定的实体过渡段。在镂空部分与实体部分连接处，应设置倒角或配置构造钢筋，以避免在墩身的传力路径中产生局部应力集中。对于易遭漂浮物撞击或易磨损、需防冰害的墩身部分，一般不宜镂空。

2. 薄壁空心桥墩

针对重力式桥墩建筑材料用量多，力学性能利用低的情况，空心薄壁桥墩应运而生。一般高度的空心墩比实体墩省工 20%~30% 左右，钢筋混凝土空心墩则可省工 50% 左右。

当墩高小于 50m 时，混凝土空心墩的壁厚一般要求不小于 30cm。有资料表明，跨度在 12m~26m 的多跨连续梁桥，桥墩壁厚可做成 40cm~80cm，造价比一般桥墩节约 20% 以上。

南京长江大桥，墩位水深 40m 有余，江面通航万吨轮船，墩身高超过了上海 24 层的国际饭店，墩底面积相当于一个篮球场，这样一个庞然大物就是空心的。

空心桥墩的截面形式有圆形、圆端形、长方形等。沿墩高一般采用可滑模施工的变截面，即斜坡式立面布置，墩顶和墩底部分，可设实心段，以便设置支座与传递荷载。

（四）柔性桥墩

柔性桥墩是指在墩帽上设置活动支座，桥梁热胀冷缩时产生的水平推力以及刹车制动力，通过桥梁对桥墩的水平力，都因活动支座而使桥墩免于承受这些压力。

柔性桥墩墩身比刚性桥墩细，柔性桥墩对水平力是柔的而不是刚的。柔性桥墩造型纤细，为了承受竖向荷载，墩身要加入一些粗钢筋和采用高强度材料。柔性桥墩也可以做成空心、薄壁的。高达 146m 的空心薄壁预应力钢筋混凝土柔性桥墩，壁厚仅 35cm~55cm，比实体墩节省材料 70%，它就是奥地利的欧罗巴公路大桥二号桥墩，建于山谷之中，采用了矩形截面形式。

（五）V 形桥墩

V 形桥墩的出现不仅扩展了桥墩的类型，还给桥梁结构的造型增添了新的形态。V 形桥墩在改变桥墩受力特征的同时，也改变了桥墩以往那种拙朴的外形，使得桥梁结构的整体造型更显轻巧、美观。V 形桥墩包括纵向和横向两个方向，扩展的 V 形桥墩还包括 Y 形、X 形、倒梯形等。V 形桥墩可以缩短梁的跨径，从而可以采用更为简单的梁截面，进而可降低梁的高度和造价，增强桥梁的跨越能力，还可以改善桥梁结构的造型。V 形桥墩与主梁的连接可以是固接，也可以是铰接。前者连接后部分称为 V 形桥墩斜撑刚架，后者连接后

部分称为 V 形桥墩连续梁。V 形桥墩斜撑刚架两斜撑的夹角根据桥下通航净空及斜撑与主梁的内力关系来确定。

二、桥台

(一) 重力式桥台

重力式桥台主要靠自重来平衡台后的土压力, 桥台本身多数由石砌、片石混凝土或混凝土等圬工材料建造, 并用就地浇筑的方法施工。重力式桥台依据桥梁跨径、桥台高度及地形条件的不同有多种形式, 常用的类型有 U 形桥台、埋置式桥台、八字式和一字式桥台。

(二) 轻型桥台

轻型桥台一般由钢筋混凝土材料建造, 其特点是用这种结构的抗弯能力来减少圬工体积而使桥台轻型化。常用的轻型桥台有薄壁轻型桥台和支撑梁轻型桥台。轻型桥台适用于小跨径桥梁, 桥跨孔数与轻型桥墩配合使用时不宜超过 3 个, 单孔跨径不大于 13m, 多孔全长不宜大于 20m。

(三) 框架式桥台

框架式桥台是一种在横桥向呈框架式结构的桩基础轻型桥台, 它所承受的土压较小, 适用地基承载力较低、台身较高、跨径较大的梁桥。其构造形式有柱式、肋墙式、半重力式和双排架式、板凳式等。

(四) 组合式桥台

为使桥台轻型化, 桥台本身主要承受桥跨结构传来的竖向力和水平力, 而台后的土压力由其他结构来承受, 形成组合式的桥台。常见的有锚定板式、过梁式、框架式以及桥台与挡土墙的组合等形式。

三、桥梁墩台施工

(一) 钢筋混凝土墩台施工

1. 墩台模板

(1) 模板设计原则

宜优先使用胶合板和钢模板; 在计算荷载作用下, 对模板结构按受力程序分别验算其强度、刚度及稳定性; 模板板面之间应平整, 接缝严密, 不漏浆, 保证结构物外露面美观, 线条流畅, 可设倒角; 结构简单, 制作、拆装方便。模板可采用钢材、胶合板、塑料和其他符合设计要求的材料制成; 浇筑混凝土之前, 木板应涂刷脱模剂, 外露面混凝土模板的脱模剂应采用同一种品种, 不得使用废机油等油料, 且不得污染钢筋及混凝土的施工缝处。重复使用的模板应经常检查、维修。

(2) 模板的类型和构造

混凝土及钢筋混凝土墩台的模板主要有固定式模板、拼装式模板、整体吊装模板、组合式定型钢模板。

拼装式模板: 拼装式模板系用各种尺寸的标准模板, 利用销钉连接, 并与拉杆、加劲构件等组成墩台所需形状的模板。将墩台表面划分为若干小块, 尽量使每部分板扇尺寸相同, 以便于周转使用。板扇高度通常与墩台分节灌注高度相同。一般可为 3m~6m, 宽度可为 1m~2m, 具体视墩台尺寸和起吊条件而定。拼装式模板由于在厂内加工制造, 因此, 板面平整、尺寸准确、体积小、质量轻, 拆装容易、快速, 运输方便, 故应用广泛。

整体吊装模板: 根据墩台高度分层支模和浇筑混凝土, 每层的高度应视墩台尺寸、模板数量和浇筑混凝土的能力而定, 一般为 2m~4m; 用吊机吊起大块板扇, 按分层高度安装好第一层模板, 其组装方法同低墩台组装模板; 模板安装完成后在浇筑第一层混凝土时, 应在墩台身内预埋支承螺栓, 用以支承第二层模板和安装脚手架。

组合型钢模板: 组合型钢模板系以各种长度、宽度及转角标准构件, 用定型的连接件将钢模拼成结构用模板。组合型钢模板具有体积小、质量轻、运输方便、装拆简单、接缝

紧密等优点,适用于在地面拼装,整体吊装的结构上。

滑动钢模板:滑动钢模板适用于各种类型的桥墩。各种模板在工程上的应用,可根据墩台高度、墩台形式、机具设备、施工期限等条件,因地制宜,合理选用。

验算模板的刚度时,其变形值不得超过下列数值:结构表面外露的模板,挠度为模板构件跨度的 $1/400$;结构表面隐蔽的模板,挠度为模板构件跨度的 $1/250$;钢模板的面板变形为 1.5mm ,钢模板的钢棱、柱箍变形为 3.0mm 。

模板安装前应对模板尺寸进行检查;安装时要坚实牢固,以免振捣混凝土时引起跑模漏浆;安装位置要符合结构设计要求。

2. 混凝土的浇筑

桥梁墩台具有垂直高度较大、平面尺寸相对较小的特点,其混凝土浇筑方法有别于梁或承台等构件的混凝土浇筑方法。墩台混凝土运输方式不仅有水平运输,还有难度较大的垂直运输。

通常采用的混凝土运输方法有:利用卷扬机和升降电梯平台运送混凝土手推车;利用塔式起重机吊斗输送混凝土;利用混凝土输送泵将混凝土送至高空建筑点等。

混凝土在运输过程中应有足够的初凝时间,保证混凝土的浇筑质量。混凝土的拌和、运输及浇筑速度应大于墩台混凝土浇筑体积与配制混凝土的初凝时间之比。

对于泵送混凝土,应防止堵管现象的发生。在进行大体积墩台混凝土浇筑时应分层分块浇筑。同时,应控制混凝土的水化热。一般情况下,其应符合相关桥涵施工质量标准的要求。当平截面面积过大,次层混凝土不能在前层混凝土初凝或被重塑前浇筑完成时,可进行分块浇筑。分块浇筑时应符合下列规定。

分块时宜合理布置,各分块平截面面积应小于 50m^2 ;每块的高度不宜超过 2m ;块与块之间的水平接缝面应与基础平截面的短边平行,且与截面边界垂直;上、下邻层混凝土间的竖向接缝应错开位置做企口,并按施工缝处理。

大体积混凝土应参照下述方法控制混凝土的水化热温度:用改善骨料级配,降低水灰比,掺加混合料、外加剂、片石等方法来减少水泥用量;采用水化热低的大坝水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥或低强度等级水泥;减小浇筑层厚度,以加快混凝土的散热速度;混凝土用料应避免日光暴晒,以降低初始温度;在混凝土内埋设冷却管通水冷却。

(二) 砌筑墩台施工

1. 施工准备

(1) 对石料、砂浆与脚手架的要求

对石料与砂浆的要求:石砌墩台系用片石、块石及粗料石以水泥砂浆砌筑的,石料与砂浆的规格要符合有关规定。

浆砌片石一般适用于高度小于 6m 的墩台身、基础、镶面及各式墩台身填腹;浆砌块石一般用于高度大于 6m 的墩台身、镶面或应力要求大于浆砌片石砌体强度的墩台;浆砌粗料石则用于磨耗及冲击严重的分水体及破冰体的镶面工程以及有整齐美观要求的桥墩台身等。

对脚手架的要求:将石料吊运并安砌到正确位置是砌石工程中比较困难的工序。

当重量小或距地面不高时,可用简单的马凳跳板直接运送;当重量较大或距地面较高时,可采用固定式动臂吊机或桅杆式吊机或井式吊机将材料运到墩台上,然后再分运到安砌地点。

用于砌石的脚手架应环绕墩台搭设,用以堆放材料并支承施工人员砌镶面定位行列及勾缝。脚手架一般常用固定式轻型脚手架(适用于 6m 以下的墩台)、简易活动脚手架(适用于 25m 以下的墩台)以及悬吊式脚手架(用于较高的墩台)。

(2) 注意事项

第一,砌块在使用前必须浇水湿润,表面如有泥土、水锈,应清洗干净。砌筑基础的

第一层砌块时,若基底为岩层或混凝土基础,应先将基底表面清洗、湿润,再坐浆砌筑;若基底为土质,可直接坐浆砌筑。

第二,砌体应分层砌筑,砌体较长时可分段分层砌筑,但两相邻工作段的砌筑差一般不宜超过 1.2m;分段位置宜尽量设在沉降缝或伸缩缝处,各段水平砌缝应一致。

第三,为使外表美观,石砌墩台常选择较整齐的石料砌筑外层。里层则可使用一般石料,但应注意里外交错地连接成一体,不可砌成外面一环后,里面杂乱填芯。

第四,砌筑上层块时,应避免振动下层砌块。砌筑工作中断后恢复砌筑时,已砌筑的砌层表面应加以清扫和湿润。

第五,墩台侧面为斜面时,为砌筑方便,当用料石或预制块砌筑时,可用收台方式形成墩台身的斜面。此时,台阶内凹顶点的连接线应与墩台设计线相一致。

第六,在砌筑中应经常检查平面外形尺寸及侧面坡度是否符合设计要求。检查平面尺寸时,应先用经纬仪恢复墩台中心线位置,再按中心线量出外轮廓尺寸。至少每 2m 高度应复测一次。有偏差但不超过允许值时,在下一段砌筑时逐渐纠正。若超出允许偏差时,应返工重砌。

第七,砌筑完后所有砌石(块)均应勾缝,勾缝必须平顺,无脱落现象。

2. 砌筑方法

同一层石料及水平灰缝的厚度要均匀一致,每层按水平砌筑,丁顺相间,砌石灰缝应互相垂直。砌石顺序为先角石,再镶面,后填腹。

填腹石的分层高度应与镶面相同;圆端、尖端及转角形砌体的砌石顺序应自顶点开始,按丁顺排列安砌镶面石。

3. 墩、台帽施工

(1) 放样

墩、台混凝土浇筑或砌石砌至离墩、台帽下缘约 300mm~500mm 高度时,即需测出墩、台帽纵横中心轴线,并开始竖立墩、台帽模板,安装锚栓孔或安装预埋支座垫板,绑扎钢筋等;桥台台帽放样时,应注意不要以基础中心线作为台帽背墙线;模板立好后,在浇筑混凝土前应再次复核,以确保墩、台帽中心、支座垫石等位置、方向和高程不出差错。

(2) 墩、台帽模板安装

墩、台帽系支承上部结构的重要部分,其位置、尺寸和高程的准确度要求较严,墩、台身混凝土浇筑至墩、台帽下约 300mm~500mm 处就应停止浇筑,以上部分待墩、台帽模板立好后一次浇筑,以保证墩、台帽底有足够厚度的紧密混凝土。

(3) 钢筋和支座垫板的安设

墩、台帽钢筋绑扎应遵照国家标准中有关钢筋工程的规定。墩、台帽上支座垫板的安设一般采用预埋支座垫板和预留锚栓孔的方法。前者需在绑扎墩台帽和支座垫石钢筋时,将焊有锚固钢筋的钢垫板安设在支座的准确位置上,即将锚固钢筋和墩、台帽骨架钢筋焊接固定。同时,用木架将钢垫板固定在墩、台帽模板上。此法在施工时垫板位置不易准确,应经常校正。后者需在安装墩台帽模板时,安装好预留孔模板,在绑扎钢筋时注意将锚栓孔位置留出,安装支座施工方便,支座垫板位置准确。

(三) 装配式墩台施工

装配式墩台可用于预应力混凝土、钢筋混凝土薄壁空心墩或轻型桥墩,采用拼装法施工。拼装式桥墩主要由实体部分墩身、拼装部分墩身和基础组成。实体墩身与基础采用就地现浇施工,在浇注实体墩身与基础时应考虑其与拼装部分的连接、抵御洪水和漂流物的冲击、锚固预应力筋、调节拼装墩身高度等问题。

拼装部分墩身由基本构件、隔板、顶板和顶帽等部分组成,在工厂制作,运到桥位处拼装成桥墩。装配部分墩身的分块根据桥墩的结构形式、吊装、起重和运输能力决定。拼

装要根据施工现场的具体情况拟定施工细则，认真组织施工。

1. 拼装接头

(1) 承插式接头

承插式接头连接是将预制构件插入相应的承台预留孔内，插入长度一般为 1.2~1.5 倍的构件宽度，底部铺设 2cm 厚的砂浆，四周以半干硬性混凝土填充，这种方法常用于立柱与基础的接头连接。

(2) 钢筋锚固接头

钢筋锚固接头连接是使构件上的预留钢筋形成钢筋骨架，插入另一构件的预留槽内，或将钢筋互相焊接后再浇筑混凝土，这种方法多用于立柱与墩帽处的连接。

(3) 焊接接头

焊接接头连接是将预埋在构件中的钢板与另一构件的预埋钢板用电焊连接，外部再用混凝土封闭。这种方法易于调整误差，多用于水平连接杆与立柱间的连接。

(4) 扣环式接头

扣环式接头连接即相互连接的构件按预定位置预埋环式钢筋。安装时，柱脚先安置在承台的柱心上，上、下环式钢筋互相错接，扣环间插入 U 形钢筋焊接，之后立模浇筑外侧接头混凝土。

(5) 法兰盘接头

采用法兰盘接头时，在连接构件两端安装法兰盘，连接时要求法兰盘预埋件的位置必须与构件垂直，接头处可以不采用混凝土封闭。

2. 砌块式墩台施工

砌块式墩台安装前的准备工作与石砌墩台相同，只是预制砌块的形式因墩台形状不同而有很多变化。基坑坑底整平后，经检验合格后铺设砂、砾石或碎石垫层并夯实整平，铺好坐浆后安装墩台。其施工方法和注意事项主要包括以下几点：预制砌块时，吊环宜设于凹窝内，使其不突出顶面，以免妨碍拼装，同时，也省去切除吊环工序；吊运安装机具可采用各种自行式吊车、龙门架、简易缆索吊机设备或各种扒杆；砌块安装时应对准位置安放平稳，若位置不准确时，应吊起重放，不得用撬棍拔移；安砌时，平缝用较干砂浆。砌缝宽度应不大于 1cm，为防止水平缝砂浆全被上层砌块挤出，可在水平缝中垫以铁片，其厚度需小于铺筑的砂浆。竖向砌缝中砂浆应插捣密实，砌筑上篇路桥工程施工技术外露面时应预留 2cm 的空缝备作勾缝之用，隐蔽面砌缝可随砌随刮平。竖向砌缝错缝应不小于 20cm；每安装高 1m 左右的砌块应进行找平，控制灰缝厚度和标高。

3. 柱式墩施工

装配式柱式墩系将桥墩分解成若干轻型部件，在工厂或工地集中预制，再运送到现场装配桥梁。其形式有双柱式、排架式、板凳式和刚架式等。装配式柱式墩台应注意几个问题。

第一，墩台柱构件与基础顶面预留环形基座应编号，并检查各个墩、台高度是否符合设计要求；基杯口四周与柱边的空隙不得小于 2cm。

第二，墩台柱吊入基坑内就位时，应在纵横方向测量，使柱身垂直度或倾斜度以及平面位置均符合设计要求；对重大、细长的墩柱，需用风缆或撑木固定，方可摘除吊钩。

第三，在墩台柱顶安装盖梁前，应先检查盖梁口预留槽眼位置是否符合设计要求，否则应先修凿。柱身与盖梁（顶帽）安装完毕并检查符合要求后，可在基坑空隙与盖梁槽眼处灌注稀砂浆，待其硬化后，撤除楔子、支撑或风缆，再在楔子孔中灌填砂浆。

第四，在基础或承台上安装预制混凝土管节、环圈做墩台的外模时，为使混凝土基础与墩台连接牢固，应由基础或承台中伸出钢筋插入管节、环圈中间的现浇混凝土内，插入钢筋的数量和锚固长度应按设计规定或通过计算决定。

4. 后张法预应力钢筋混凝土装配式墩台施工

后张法预应力钢筋混凝土装配式墩台采用的预应力钢材主要有高强度低松弛率钢丝和冷拉Ⅳ级粗钢筋两种。

高强度低松弛率钢丝的强度高,张拉力大,因此。所需预应力束的数量较少,施工时穿束较容易。在预应力钢束连接处,受预应力钢束连接器的影响,需要局部加厚构件的混凝土壁。对于冷拉Ⅳ级粗钢筋,要求混凝土预制构件中的预留孔道精度高,以利于冷拉Ⅳ级粗钢筋的连接。

后张法预应力钢筋混凝土装配式墩台的预应力张拉方式有两种,即在墩帽顶上张拉预应力钢束和在墩台底的实体部位张拉预应力钢束,一般在墩帽顶上张拉预应力钢束。

(1) 在墩帽顶上张拉预应力钢束

在墩帽顶上张拉预应力钢束的主要特点是:张拉作业为高空作业,虽然张拉操作方便,但安全性较差;预应力钢束锚固端可以直接埋入承台,而不需要设置过渡段;在墩台底截面受力最大的位置可以发挥预应力钢束抗弯能力强的特点。

(2) 在墩台底的实体部位张拉预应力钢束

在墩台底的实体部位张拉预应力钢束的主要特点是:张拉作业为地面作业,施工安全且方便;在墩台底要设置过渡段,既要满足预应力钢束张拉千斤顶的安放要求,又要布置较多的受力钢筋,以满足截面在运营阶段的受力要求;过渡段构件中预应力钢束的张拉位置与竖向受力钢筋间的相互关系较为复杂。

应特别注意的是,压浆时最好由下而上压注,构件装配的水平拼装缝采用 35 号水泥砂浆,砂浆厚度为 15mm。一方面,可以起到调节水平的作用,另一方面,可避免因渗水而影响预制构件的连接质量。

(四) 滑模施工

滑动模板是整体地支在桥墩墩脚处,借助液压千斤顶和顶杆使模板沿墩身向上滑升,目前滑动模板的高度已达百米。

其主要优点为:施工进度快,在一般情况下,每昼夜平均进度可达 5m~6m;混凝土质量好,采用干硬性混凝土,机械振捣,连续作业可提高墩台质量;节约木材和劳力;滑动模板可用于直坡墩身也可用于斜坡墩身。

1. 滑模施工

(1) 滑模组装

在墩位上就地进行组装时,安装步骤如下。在基础顶面搭枕木垛,定出桥墩中心线;在枕木垛上先安装内钢环,并准确定位,再依次安装辐射梁、外钢环、立柱、千斤顶、模板等;提升整个装置,撤去枕木垛,再将模板落下就位,随后安装余下的设施;内外吊架待模板滑升至一定高度,及时安装;模板在安装前,表面需涂润滑剂,以减少滑升时的摩阻力;组装完毕后,必须按设计要求及组装质量标准进行全面检查,并及时纠正偏差。

(2) 灌注混凝土

滑模宜灌注低流动度或半干硬性混凝土,灌注时应分层、分段对称地进行,分层厚度 20cm~30cm 为宜,灌注后混凝土表面距模板上缘宜有不小于 10cm~15cm 的距离。

混凝土入模时,要均匀分布,应采用插入式振动器捣固,振捣时应避免触及钢筋及模板,振动器插入下一层混凝土的深度不得超过 5cm;脱模时混凝土强度应为 0.2~0.5MPa,以防在其自重压力下坍塌变形。

为此,可根据气温、水泥强度等级经试验后掺入一定量的早强剂,以加速提升;脱模后 8h 左右开始养生,用吊在下吊架上的环绕墩身的带小孔的水管来进行。养生水管一般设在距模板下缘 1.8m~2.0m 处效果较好。

(3) 提升与收坡

整个桥墩灌注过程可分为初次滑升、正常滑升和最后滑升三个阶段。

从开始灌注混凝土到模板首次试升为初次滑升阶段；初灌混凝土的高度一般为 60cm~70cm，分几次灌注，在底层混凝土强度达到 0.2MPa~0.4MPa 时即可试升。将所有千斤顶同时缓慢起升 5cm，以观察底层混凝土的凝固情况。现场鉴定可用手指按刚脱模的混凝土表面，若基本按不动，但留有指痕，砂浆不沾手，用指甲划过有痕，滑升时能耳闻“沙沙”的摩擦声，这些现象表明混凝土已具有 0.2MPa~0.4MPa 的出模强度，可以开始再缓慢提升 20cm 左右。

初升后经全面检查设备，即可进入正常滑升阶段。即每灌注一层混凝土，滑模提升一次，使每次灌注的厚度与每次提升的高度基本一致。在正常气温条件下，提升时间不宜超过 1h。

滑升阶段是混凝土已经灌注到需要高度，不再继续灌注，但模板尚需继续滑升的阶段。

灌完最后一层混凝土后，每隔 1h~2h 将模板提升 5cm~10cm，滑动 2~3 次后即可避免混凝土模板胶合。滑模提升时应做到垂直、均衡一致，顶架间高差不大于 20mm，顶架横梁水平高差不大于 5mm。并要求三班连续作业，不得随意停工。随着模板的提升，应转动收坡丝杆，调整墩壁曲面的半径，使之符合设计要求的收坡坡度。

(4) 接长顶杆、绑扎钢筋

模板每提升至一定高度后，就需要穿插进行接长顶杆、绑扎钢筋等工作。为了不影响提升时间，钢筋接头均应事先配好，并注意将接头错开。对预埋件及预埋的接头钢筋，滑模抽离后，要及时清理，使之外露。

在整个施工过程中，由于工序的改变，或发生意外事故，使混凝土的灌注工作停止较长时间，即需要进行停工处理。例如，每隔半小时左右稍微提升模板一次，以免黏结；停工时在混凝土表面要插入短钢筋等，以加强新老混凝土的黏结；复工时还需将混凝土表面凿毛，并用水冲走残渣，湿润混凝土表面，灌注一层厚度为 2cm~3cm 的 1:1 水泥砂浆，然后再灌注原配合比的混凝土，继续滑模施工。

爬升模板施工与滑动模板施工相似，不同的是支架通过千斤顶支承于预埋在墩壁中的预埋件上。待浇筑好的墩身混凝土达到一定强度后，将模板松开。千斤顶上顶，把支架连同模板升到新的位置，模板就位后，再继续浇筑墩身混凝土。如此往复循环，逐节爬升每次升高约 2m。

翻升模板施工是采用一种特殊钢模板，一般由三层模板组成一个基本单元，并配置有随模板升高的混凝土接料工作平台。当浇筑完上层模板的混凝土后，将最下层模板拆除翻上来拼装成第四层模板，以此类推，循环施工。翻升模板也能够用于有坡度的桥墩施工。

2. 滑升模板施工方法的特点

(1) 机械化程度高

整套滑升模板均由电动液压机械提升，机械化程度高。

(2) 施工速度快

施工过程中只需要进行一次模板组装，大大减少了模板拆装工序，实现了连续作业。竖向结构施工速度快，在一般气温下，每个昼夜的平均施工进度可达 5m~6m。

(3) 结构整体性好

滑升模板体系刚度高且可连续作业，各层混凝土之间不留施工缝，从而大大提高了墩台混凝土浇筑的内在质量和外观质量。

(4) 节约模板和劳动力，有利于安全施工

滑升模板事先在地面上组装，施工中不再变化，模板的利用率很高。这不但可以大量节约模板，还极大地减少了装拆模板的劳动力，方便浇筑混凝土，改善了操作条件，因而有利于安全施工。

(5) 适应性强

该方法不但可用于直坡墩身的施工，还可用于斜坡墩身的施工。

滑升模板施工方法具有以下缺点：一次性投资大；建筑物立面造型受到一定限制；需要较高的施工管理水平和技术水平。

第三节 桥梁上部结构施工

一、简支梁桥的分类

从梁的截面形式来区分，混凝土简支梁桥可以分为三种类型：板桥、肋板式桥和箱梁桥。其中，肋板式桥的横截面形式又主要有 II 形和 T 形两种基本形式。

(一) 板桥

板桥的承重结构就是矩形截面的钢筋混凝土或预应力混凝土板，其主要特点是构造简单、施工方便、建筑高度较小。板桥通常有三种结构形式，即装配式板桥、整体式板桥、组合式板桥。这三种结构形式的板式梁因结构上的差异而导致使用中受力与变形方面的不同，从而导致承载能力的不同，因而适用的场合和跨径也不同。

1. 整体式板桥

整体式板桥是小跨径桥梁中常用的形式，因其具有结构整体性强、刚度大，成桥后桥面状况好等优势而得到广泛应用。

但整体式板桥的施工存在如下不便之处：需要现场浇筑，机械化程度低，施工速度慢，支架和模板使用量大，在架空太高或深水环境中难以施工等。

整体式板桥梁的截面形式主要有实心式、空心式、矮肋式。其通常在桥位处现场浇筑；当具有充分的吊装条件时，也可以先在桥下预制整体式板梁，然后吊装就位。整体式板桥在车辆等荷载的作用下，其变形和内力分布均表现为空间板结构的受力状态。受力时，发现其不但绕受力方向产生双向弯矩，而且由于弯曲曲率逐点不同，还将导致围绕法线的扭矩产生。因此，整体式板桥的承载能力优于装配式板桥。

2. 装配式板桥

装配式板桥一般由数块一定宽度的实心或空心预制板组成。各板利用板间企口缝填充混凝土相连接。在荷载作用下，每块板相当于单向受力的梁式窄板，除在主跨径方向承受弯曲中心基还承受通过板间接缝（铰缝）传递剪力而引起的扭转。因此，每块预制板除承受本板内的荷载外，还承受相邻板块作用而引起的竖向剪力和其他内力作用。由于其他内力与竖向剪力相比，对确定板的内力影响很小，所以设计中多采用铰接板（梁）法确定其板中内力。板中主要受力钢筋的数量由计算得到的内力确定。此外，在板中布置适量的构造钢筋以承受计算时忽略的某些内力。装配式板桥的截面形式有实心板、空心板两种。

3. 组合式板梁

组合式板桥通常采用“装配+整体现浇”的方式成型，因而也称为叠合桥。施工中，通常在桥下将组合式板梁的底层分片预制构件，然后在墩顶进行装配，最后以装配构件为底模，整体浇筑梁体部，从而完成组合式板桥的施工。

组合式板桥在荷载作用下的变形和受力与整体式板桥类似，属于双向受力弹性薄板。其刚度介于整体式板桥和装配式板桥之间。从组合式板梁的施工过程和成桥后的受力特点中可以看出，组合式板梁在施工过程中可以充分利用装配式板梁成桥的优点，先将部分梁体在桥下预制构件，然后将预制构件安装于墩顶，作为上部梁体浇筑时的底模，从而大大减少了施工时所需的支撑和模板数量。组合式板梁在成桥之后又具有整体式板梁的承载能力，因此，在小跨度简支梁桥的建设中得到了广泛应用。

(二) 肋板式桥

肋板式梁桥在横截面内形成明显肋形结构的梁桥称为肋板式梁桥，或简称肋梁桥。在

此种桥上,梁肋(或称腹板)与顶部的钢筋混凝土桥面板结合在一起作为承重结构。由于肋与肋之间处于受拉区域的混凝土得到很大程度的挖空,显著减小了结构自重。特别对于仅承受正弯矩作用的简支梁来说,既充分利用了扩展的混凝土桥面板的抗压能力,又有效地发挥了集中布置在梁肋下部的受力钢筋的抗拉作用,从而使结构构造与受力性能达到理想的配合。与板桥相比,对于梁肋较高的肋梁桥来说,由于混凝土抗压和钢筋受拉所形成的力偶臂较大,因而肋梁桥也具有更大的抵抗荷载弯矩的能力。目前,中等跨径(20m~25m以上)的简支梁桥通常多采用肋板式梁桥。

肋板式梁桥的横截面又分为Ⅱ形和T形两种基本形式。

1. Ⅱ形截面

Ⅱ形截面的特点是:截面形状稳定,横向抗弯刚度大,梁的堆放、装卸和安装都方便,各Ⅱ形梁之间用穿过腹板的螺栓连接,但这种构件的制造较复杂。梁肋被分成两片薄的腹板,通常用钢筋网来配筋,难以做成刚度较大的钢筋骨架。设计经验证明,跨度较大时Ⅱ形梁桥的混凝土和钢筋用量都比下述的T形梁桥大,而且构件也重。故Ⅱ形梁桥一般只用于6m~12m的小跨径桥梁,应用有限。

2. T形截面

由若干个T形截面梁组成的桥,统称为T(形)梁桥。在设计整体式T梁桥时,鉴于梁肋尺寸不受起重安装机具的限制,故可以根据钢筋混凝土体积最小的经济原则来确定截面尺寸。对于桥面不宽的双车道公路桥梁,只要建筑高度不受限制,往往以建造双主梁桥较为合理,主梁的间距可按桥梁全宽的0.55~0.60布置。有时为减小桥面板的跨径,还可在两主梁之间增设内小纵梁。

(三) 箱形梁桥

箱形梁是指桥横截面形式为箱形的桥。由于箱形截面具有闭合性,当荷载作用于梁上任何位置时,箱形梁桥结构的所有组成部分(包括顶板、腹板、底板和翼板)将同时参与受力,使其具有较大的抗扭刚度和抗弯刚度,因而其可制作成薄壁结构,从而节省大量建筑材料。同时,因为箱形梁桥顶、底板具有较大的面积,能有效地抵抗正、负弯矩的作用,所以满足较大跨度简支桥梁建设的需要。

此外,对于曲线半径较大的弯桥和变宽度的桥梁,采用小箱梁布置有较好的适应性。在设计中,通常根据现场条件,经技术、经济等多种因素的方案比选来确定最适宜的梁型。

一般来说,整体现浇的梁桥具有整体性好、刚度大、易于做成复杂形状(如曲线桥、斜交桥、宽度变化的异形桥)等优点,但其施工速度慢,工业化程度较低,又要耗费大量支架模板材料。

二、混凝土简支梁桥施工

(一) 支架与模板

1. 支架

(1) 支架的类型和结构

就地浇筑简支梁桥的上部结构时,应在桥孔位置搭设支架,以支承模板和钢筋混凝土以及其他施工荷载。支架的类型主要有以下几个。

① 满布式木支架

满布式木支架常用于陆地、不通航的河道、桥墩不高或桥位处水位不深的桥梁。其形式可采用排架式、人字撑式或八字撑式。排架式是最简单的满布式支架,主要由排架和纵梁等部件组成,纵梁为抗弯构件,跨径一般不大于4m。人字撑式和八字撑式支架构造较复杂,纵梁需加设可变形的人字撑或八字撑。因此,在浇筑混凝土时应适当安排浇筑程序,均匀、对称地进行浇筑,以防发生较大变形。此类支架的跨径可达8m左右。满布式木支架的排架,可设置在枕木或桩基上,基础需坚实可靠,以保证排架的沉陷值不超过规定要求。

当排架较高时,为保证支架的横向稳定,除在排架上设置撑木外,还需在排架两端外侧设置斜撑木或斜立柱。满布式支架的卸落设备一般采用木楔、木马或砂筒等,可设置在纵梁支点处或桩顶帽木上面。

②钢木混合支架

钢木混合支架为加大支架跨径、减少排架数量,支架的纵梁可采用工字钢,其跨径可达 10m。但在这种情况下,支架多采用木框架结构,以提高支架的承载力及稳定性,其各项参考数值可查看《五金手册》。

③万能杆件拼装支架

用万能杆件可拼装成各种跨度和高度的支架,其跨度需与杆件本身长度成整数倍。用万能杆件拼装的架的高度,可达 2m、4m、6m 或 6m 以上。当高度为 2m 时,腹杆拼为三角形;高度为 4m 时,腹杆拼为菱形;高度超过 6m 时,则拼成多斜杆的形式。用万能杆件拼装墩架时,柱与柱之间的距离应与桁架之间的距离相同,根高除柱头及柱脚外应为 2m 的倍数。用万能杆件拼装的支架,在荷载作用下的变形较大,而且难以预计其数值。因此,必要时应考虑预压重。预压质量相当于浇筑的混凝土及其模板和支架上机具、人员的质量。

④装配式公路钢桥桁架节拼装支架

用装配式公路钢桥桁架节可拼装成桁架梁和支架,为加大桁架梁孔径和利用墩台做支承,也可拼成八字斜撑以支撑桁架梁。桁架梁与桁架梁之间,应用抗风拉杆和木斜撑等进行横向联结,以保证桁架梁的稳定。用装配式公路钢桥桁架节拼装的支架,在荷载作用下的变形很大,因此应进行预压。

⑤轻型钢支架

桥下地面较平坦,有一定承载力的梁桥,为节省木料,宜采用轻型钢支架。轻型钢支架的梁和柱,以工字钢、槽钢或钢管为主要材料,斜撑、联结系等可采用角钢;构件应制成统一规格和标准;排架应预先拼装成片或组,并以混凝土、钢筋混凝土枕木或木板作为支承基底。为了防止冲刷,支承基底须埋入地面以下适当深度。为适应桥下高度,排架下应垫以一定厚度的枕木或木楔等。为便于支架和模板的拆卸,纵梁支点处应设置木楔。

⑥墩台自承式支架

在墩台上留下承台式预埋件,上面安装横梁及架设适宜长度的工字钢或槽钢,即构成模板的支架。这种支架适用于跨径不大的梁桥,但支立时仍须考虑梁的预拱度、支架梁的伸缩以及支架和模板的卸落等所需条件。

⑦模板车式支架

这种支架适用于跨径不大、桥墩为立桩式的多跨梁桥的施工。在墩柱施工完毕后即可立即铺设轨道,拖进孔间,进行模板的安装,这种方法可简化安装工序、节省安装时间。当上部构造混凝土浇筑完毕,且强度达到要求后,模板车即可整体向前移动,但移动时须将斜撑取下,将插入式钢梁节段推入中间钢梁节段内,并将千斤顶放松。

(2) 支架的制作要求

支架宜采用标准化、系列化、通用化的钢构件制作拼装;制作木支架时,两相邻立柱的连接接头宜分设不同的水平面上,并应减少长杆件接头。主要压力杆的接长连接,宜使用对接法,采用木夹板或铁夹板夹紧;次要构件的连接可采用搭接法。

(3) 支架的安装要求

支架应按施工图设计的要求进行安装。立柱应垂直,节点连接应可靠。支架在纵桥向和横桥向均应加强水平、斜向连接,增强整体稳定性。高支架应设置足够的斜向连接、扣件或缆风绳,横向稳定应有保证措施。

应通过预压的方式,消除支架地基的不均匀沉降和支架的非弹性变形,并获取弹性变形参数,或检验支架的安全性。预压荷载宜为支架需承受全部荷载的 1.05~1.10 倍,预压

荷载的分布应模拟需承受的结构荷载及施工荷载。

支架在安装完成后,应对其平面位置、顶部高程、节点连接及纵横向稳定性进行全面检查。检查符合要求,方可进行下一工序。

(4) 设置支架的预拱度和卸落装置

设置的预拱度值,应包括结构本身需要的预拱度和施工需要的预拱度两部分。

施工预拱度应考虑下列因素:模板、支架承受施工荷载引起的弹性变形;受载后由于杆件接头的挤压和卸落装置压缩而产生的非弹性变形;支架地基在受载后的沉降变形。

专用支架应按其产品的要求进行模板的卸落;自行设计的普通支架应在适当部位设置相应的木楔、木马、沙筒或千斤顶等卸落装置,并应根据结构形式、承受的荷载大小确定卸落量。支架制作、安装质量应分别符合模板、支架的制作、安装质量标准。

2. 模板

(1) 模板的类型与结构

就地浇筑的桥梁模板主要有木模和钢模。模板形式的选择主要取决于同类桥跨结构的数量和模板材料的供应。

当建造单跨或跨度不等的多跨桥梁结构时,一般采用木模;而对于多跨相同跨径的桥梁,可采用大型模板块件组装或采用钢模。模板制造宜选用机械化的方法,以保证模板形状的正确和尺寸的精度。模板制作尺寸偏差、表面平整度和安装偏差均应符合有关规定,尤其要保证模板具有足够的强度、刚度和稳定性。

木模包括用胶合板制成的大型整体定型的块件模板,以及局部构造较复杂部位采用的模板。大型整体定型的块件模板可按结构要求预先制作,然后在支架上用连接件迅速拼装。钢模大多做成块件,由钢板和加劲骨架焊接而成,钢板厚度通常为 4mm~8mm。骨架由水平肋和竖向肋组成,肋由钢板或角钢做成。大型钢模块件用螺栓或销钉连接。对于多次周转使用的钢模,在使用前应用化学方法或机械方法清扫,在浇筑混凝土前,应在模板内壁涂脱模剂,以利脱模。

(2) 模板的制作与使用要求

模板虽然是施工中的临时性结构,但对于梁体的制作十分重要。模板不仅控制着梁体尺寸的精度,直接影响施工进度和混凝土的灌注质量,而且关系到施工安全。因此模板应符合下列要求。

具有足够的强度、刚度和稳定性,能安全可靠地承担施工中可能出现的各种荷载。保证结构的设计形状、尺寸及各部分相互之间位置的准确性。模板的接缝必须密合,确保混凝土浇筑过程中不漏浆。构造简单,拆装方便,便于周转使用,应尽量做成装配式组件或块件。

3. 预拱度的设置

在简支梁就地浇筑施工过程中,模板和支架因承受巨大的混凝土荷载作用而产生弹性和非弹性变形。如果不加以控制,势必导致现浇梁成型后跨中起拱。为避免这种情况的发生,保证桥梁竣工后线形准确,在进行模板与支架安装时须设置一定的预拱度。设置预拱度时应考虑下列因素。

卸架后上部构造自重及 1/2 活荷载产生的竖向挠度 δ_1 ; 支架在荷载作用下的弹性压缩量 δ_2 ; 支架在荷载作用下的非弹性变形量 δ_3 ; 支架基础在荷载作用下的非弹性沉陷量 δ_4 ; 由混凝土收缩及温度变化引起的挠度。

根据梁的挠度和支架变形所计算出来的变形值之和,为支架体系预拱度的最大值。预拱度设置的位置在梁的跨径中点,其余各点的预拱度以中间点为最高值,以梁的两端为 0,呈直线或二次抛物线形式分布。

(二) 钢筋的制作与安装

1. 准备工作

(1) 钢筋的检查与保管

①钢筋的外观检查和力学性能检查

进场钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单。进场时除应检查外观和标志外,还应按不同的钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批抽取试样进行力学性能检验,检验试验方法应符合现行国家标准的规定。钢筋经进场检验合格后方可使用。

②钢筋的保管

钢筋进场后,应妥善保管,具体应做到以下几点:钢筋堆放选择在地势较高处,上用料棚遮盖,下设垫块,不能直接置于地面;钢筋应按不同钢种、等级、牌号、规格及生产厂家等分类挂牌堆放,并标明数量;钢筋在运输过程中应避免锈蚀、污染或被压弯。

(2) 钢筋的调直

直径 10mm 以下的细钢筋多卷成盘形,粗钢筋常弯成“发卡”形,以便运输和储存。因此,运到工地的钢筋应先调直。

采用冷拉方法调直钢筋时,HPB235 级钢筋的冷拉率不宜大于 2%;HRB335 级、HRB400 级钢筋的冷拉率不宜大于 1%。钢筋的形状、尺寸应按照设计的规定进行加工,加工后的钢筋,其表面不应有削弱钢筋截面的痕迹。

(3) 钢筋的除锈

钢筋表面应洁净、无损伤,使用前应将表面的油渍、漆皮、鳞锈等清除干净,保证钢筋与混凝土间的黏结力得以充分发挥。可用钢丝刷或喷枪喷沙进行除锈去污,也可将钢筋在沙堆中来回抽拉以除锈去污。带有颗粒状或片状老锈的钢筋不得使用;当除锈后钢筋表面有严重的麻坑、斑点,已伤蚀截面时,应降级使用或剔除不用。

2. 钢筋的连接

(1) 焊接

钢筋的焊接接头宜采用闪光对焊,或采用电弧焊、电渣压力焊或气压焊,但电渣压力焊仅可用于竖向钢筋的连接,不得用作水平钢筋和斜筋的连接钢筋焊接接头形式。焊接的方法和材料应符合现行行业标准的规定。

每批钢筋焊接前,应先选定焊接工艺和焊接参数,按实际条件进行试焊,并检验接头外观质量及规定的力学性能,试焊质量经检验合格后方可正式施焊。焊接时,对施焊场地应有适当的防风、防雨、防雪、防严寒的设施。

电弧焊宜采用双面焊缝,仅在双面焊无法施焊时,方可采用单面焊缝。

采用搭接电弧焊时,两钢筋搭接端部应预先折向一侧,两接合钢筋的轴线应保持一致;采用帮条电弧焊时,绑条应采用与主筋相同的钢筋,其总截面面积不应小于被焊接钢筋的截面面积。电弧焊接头的焊缝长度,双面焊缝不应小于 5d,单面焊缝不应小于 10d(d 为钢筋直径)。电弧焊接与钢筋弯曲处的距离不应小于 10d,且不宜位于构件的最大弯矩处。

(2) 机械连接

①锥螺纹连接

钢筋锥螺纹连接是利用锥形螺纹套筒将两根钢筋端头对接在一起,利用螺纹的机械咬合力传递拉力或压力。锥螺纹连接套是在工厂专用机床上加工制成的,钢筋套丝的加工是在钢筋套丝机上进行的。

②直螺纹连接

直螺纹连接是将钢筋待连接的端头滚扎成规整的直螺纹,再用相配套的直螺纹套筒,将两钢筋相对拧紧,实现连接。该技术的优点在于无虚拟螺纹,力学性能好,连接安全可靠,接头强度能达到与钢筋母材等强。

③套筒挤压连接

钢筋套筒挤压连接是一项新型钢筋连接工艺，它改变了电弧焊、电渣焊、闪光焊、气压焊等传统焊接工艺的热操作方法，是在常温下采用特别钢筋连接机，将钢套筒和两根待接钢筋压接成一体，使套筒塑性变形后与钢筋上的横肋纹紧密地咬合在一起，从而达到连接效果的一种机械接头方式。冷压接头具有性能可靠、操作简便、施工速度快、施工不受气候影响、省电等优点。两根钢筋插入钢套筒后，用带有梅花齿形内模的钢筋连接机对套筒外壁加压，螺纹钢的横肋间隙中，继续加压使钢套筒的金属冷塑性变形程度加剧，进一步加强硬化程度，其强度提高 110MPa~140MPa。

(3) 绑扎

当没有焊接条件时，接头可用铁丝绑扎搭接，但钢筋直径不能超过 25mm。

当混凝土在凝固过程中受力钢筋易受扰动时，其搭接长度宜适当增加。

在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于 300mm；受压钢筋的搭接长度不宜小于 200mm。

当混凝土强度等级低于 C20 时，I 级、HRB335 钢筋的搭接长度应按表中 C20 的数值相应增加 10d；HRB500 钢筋不宜采用绑扎接长。

对有抗震要求的受力钢筋的搭接长度，当抗震烈度为 7 度（及以上）时，应增加 5d；两根不同直径的钢筋搭接长度，以较细的钢筋直径计算。

接头的绑扎要求如下。受拉区的 I 级钢筋绑扎接头的末端应做弯钩，HRB335、HRB4000 钢筋的绑扎接头末端可不作弯钩；直径等于和小于 12mm 的受压 I 级钢筋的末端，可不作弯钩，但搭接长度不应小于钢筋直径的 30 倍；钢筋搭接处，应在中心和两端用铁丝扎牢。

3. 钢筋的安装

第一，钢筋的级别、直径和根数应符合设计的规定；对于多层多排钢筋，宜根据安装需要在其间隔外设立一定数量的架立钢筋或短钢筋，但架立钢筋或短钢筋端头不得伸入混凝土的保护层内；当钢筋过密影响到混凝土质量时，应及时与设计人员协商解决。

第二，钢筋与模板之间应设置垫块，垫块应与钢筋绑扎牢固，其绑丝的丝头不应进入混凝土保护层内。混凝土浇筑前，应对垫块的位置、数量和紧固程度进行检查，不符合要求时应及时处理，保证钢筋混凝土保护层的厚度满足设计要求和规范的规定。

第三，钢筋骨架的焊接拼装应在坚固的工作台上进行。拼装前应按设计图纸放样，放样时应考虑焊接变形的预留。拱度拼装时，需要焊接的位置宜采用楔形卡卡紧，防止焊接时局部变形。

第四，骨架焊接时，不同直径钢筋的中心线应在同一平面上，较小直径的钢筋在焊接时，下面宜垫以厚度适当的钢板。施焊顺序宜由中到边对称地向两端进行，先焊骨架下部，后焊骨架上部、相邻的焊缝应采用分区对称跳焊，不得顺方向一次焊成。

第五，绑扎或焊接的钢筋网和钢筋骨架不得有变形、松脱和开焊。

(三) 混凝土工程

1. 混凝土的配合

试验室配合比计算是以干燥材料为基准的，而施工现场存放的砂石材料都含有一定水分，所以要将试验室配合比换算为施工配合比，下面介绍混凝土施工配合比的确定。施工时，每立方米混凝土水、沙和石的实际称量为：

水的称量=用水量-沙、石材料中含水的质量；

沙的称量=砂的用量+沙中含水的质量；

石的称量=石的用量+石料中含水的质量；水泥称量不变。

2. 混凝土拌制

混凝土应采用机械拌制，人工拌制仅用于小量的辅助或修补工程。混凝土的配料宜采用自动计量装置，各种衡器的精度应符合要求，计量应准确。计量器具应定期标定，迁移

后应重新进行标定。拌制混凝土所用的各项材料应按质量投料，材料数量的允许质量偏差应符合表 5-1 的规定。

表 5-1 材料数量允许质量偏差

材料类别	允许偏差/%	
	现场拌制	预制场或集中搅拌站的拌制
水泥、干燥状态的掺和料	± 2	± 1
粗、细集料	± 3	± 2
水、外加剂	± 2	± 1

混凝土拌制时，将全部材料加入搅拌筒。开始搅拌至开始出料的最短拌制时间，应按搅拌机产品说明书的要求并经试验确定。混凝土拌和物应搅拌均匀，颜色一致，不得有离析和泌水现象。混凝土搅拌完毕后，应检测混凝土拌和物的坍落度及损失。必要时，还应对工作性能泌水率及含气量等混凝土拌和物的其他指标进行检测。

3. 混凝土的运输

运输能力应与混凝土的凝结速度和浇筑速度相适应，应使浇筑工作不间断且混凝土运到浇筑地点时仍能保持其均匀性和规定的坍落度。

混凝土的运输宜采用搅拌运输车，或在条件允许时采用泵送方式输送；采用吊斗或其他方式运输时，运距不宜超过 100m 且不得使混凝土产生离析。

采用搅拌运输车运输混凝土时，途中应以 $2\text{r/min} \sim 4\text{r/min}$ 的慢速进行搅动，卸料前应以常速再次搅拌。混凝土运至浇筑地点后发生离析、泌水或坍落度不符合要求时，应进行第二次搅拌。

二次搅拌时不宜任意加水，确有必要时，可同时加水、相应的胶凝材料和外加剂，并保持其原水胶比不变；二次搅拌仍不符合要求时，则不得使用。

混凝土采用泵送方式时，混凝土的供应宜使输送混凝土的泵能连续工作，泵送的间歇时间不宜超过 15min。

在泵送过程中，受料斗内应具有足够的混凝土，应防止吸入空气产生阻塞；输送管应顺直，转弯处应圆缓，接头应严密不漏气；向低处泵送混凝土时，应采取必要的措施，防止混凝土离析或堵塞输送管。

4. 混凝土的浇筑

(1) 混凝土的浇筑速度

为了保证浇筑混凝土的整体性，防止混凝土在浇筑过程中出现破坏性扰动，浇筑混凝土时于必须具有一定的速度，上层混凝土应当在下层已浇筑混凝土开始初凝之前完成浇筑。因此，混凝土浇筑层的最小增长速度为 $h \geq s/h$ 。其中， h 为混凝土浇筑面的上升速度， s 为振捣棒的振捣深度， t 为混凝土的初凝时间。

(2) 混凝土的浇筑顺序

①水平分层浇筑

对于跨径不大的简支梁，可以采用该方法。具体操作时，可以从梁体两端向跨中水平分层浇筑并在跨中合龙，然后掉头再向梁端浇筑。分层厚度视振捣器的能力而定，一般采用 1530cm。当采用人工捣实时，分层厚度可采用 15cm~20cm。为避免振捣导致支架产生不均匀的沉降，浇筑时应保持合理的速度，以便在混凝土失去塑性之前完成浇筑工作。

②斜层浇筑

采用斜层浇筑时，简支梁的混凝土应从主梁两端斜向跨中浇筑并在跨中合龙。因为箱形梁底板顶面没有模板，所以 T 梁和箱形梁所采用的斜层浇筑法在细节上是有差异的。当梁的跨度较大而采用梁式支架且在内部设置支点时，应在支架下沉量最大的部位先浇筑混凝土，使应该发生的支架变形及早完成，以保护先期浇筑的混凝土初凝后，不再发生更大

的变形,避免混凝土内部微裂隙的产生。

③单元浇筑

当桥面较宽且混凝土数量较大时,可分成若干纵向单元,分别浇筑每个单元可沿其长度分层浇筑,在纵梁间的横梁上设置连接缝,并在纵横梁浇筑完成后填缝连接,之后桥面板可沿桥全宽一次浇筑完成,桥面与纵横梁间设置水平工作缝。

5. 混凝土的养护

对新浇筑混凝土的养护,应满足其对温度、湿度和时间的要求。应根据施工对象、环境条件、水泥品种、外加剂或掺和料以及混凝土性能等因素,制订具体的养护方案,严格实施混凝土浇筑完成后,应在其收浆后尽快予以覆盖并洒水保湿养护。

对于硬性混凝土、高强度和高性能混凝土、炎热天气浇筑的混凝土以及桥面等大面积裸露的混凝土,应加强初始保湿养护,具备条件的可在浇筑完成后立即加设棚罩,待收浆后再予以覆盖和洒水养护。覆盖时不得损伤或污染混凝土的表面。混凝土面有模板覆盖时,应在养护期间使模板保持湿润。

混凝土的养护不得采用海水或含有有害物质的水。混凝土的洒水保湿养护时间应不少于7d。对重要工程或有特殊要求的混凝土,应根据环境的湿度、温度,水泥品种以及掺用的外加剂和掺和料等情况,酌情延长养护时间,并应使混凝土表面始终保持湿润状态。当气温低于5℃时,应采取保温养护的措施,不得向混凝土的表面洒水。当采用喷洒养护剂对混凝土进行养护时,所使用的养护剂应不会对混凝土产生不利影响,且应通过试验验证其养护效果。

新浇筑的混凝土与流动的地表水或地下水接触时,应采取临时防护措施,保证混凝土在7d以内且强度达到设计强度的50%以前,不受水的冲刷侵袭;当环境水具有侵蚀作用时,应保证混凝土在10d以内且强度达到设计强度的70%以前,不受水的侵袭。

混凝土处于冻融循环作用的环境时,宜在结冰期到来4周前完成浇筑施工,且在混凝土强度未达到设计强度等级的80%前不得受冻,否则应采取技术措施,防止发生冻害。

(四) 构建的安装

1. 陆地架梁法

(1) 自行式吊车架梁

在桥不高,场内又可设置行车便道的情况下,用自行式吊车(汽车吊车或履带吊车)架设中、小跨径的桥梁十分方便。大型的自行式吊机逐渐普及,自行式吊机本身有动力,因而架设迅速,可缩短工期。不需要架设桥梁用的临时动力设备,不必进行任何架设设备的准备工作,不需要如其他方法架梁时所具备的技术工种。因此,一般中小跨径的预制梁(板)的架设安装越来越多地采用自行式吊机。此法视吊装重量不同,可以采用一台吊机架设、二台吊机架设、吊机和绞车配合架设等方法。当预制梁重量不大,而吊机又有相当的起重能力,河床坚实无水或少水,允许吊机行驶、停搁时,可用一台吊机架设安装。用二台吊机架梁,是用二台自行式吊机各吊住梁(板)的一端,将梁(板)吊起并架设安装。此法应注意两吊机的互相配合。吊机和绞车配合架梁时,预制梁一端用拖履、滚筒支垫,另一端用吊机吊起,前方用绞车或绞盘牵引预制梁前进。梁前进时,吊机起重臂随之转动。梁前端就位后,吊机行驶到后端,提起后端取出拖履、滚筒,再将梁放下就位。

(2) 移动式支架架梁法

陆地架梁法是在架设孔的地面上,顺桥轴线方向铺设轨道,其上设置可移动支架预制梁的前端搭在支架上,通过移动支架将梁移运到要求的位置后,再用龙门架或人字扒杆吊装;或者在桥墩上设枕木垛,用千斤顶卸下,再将梁横移就位。

(3) 摆动式支架架梁法

摆动式支架架梁法通常是将预制梁(板)沿路基牵引到桥台上并稍悬出一段(悬出距

离根据梁的截面尺寸和配筋确定), 然后从桥孔中心河床上悬出的梁(板)端底下设置人字扒杆或木支架示。

(4) 跨墩或墩侧龙门架架梁法

对于桥不太高, 架桥孔数又多, 沿桥墩两侧铺设轨道不困难的情况, 可以采用跨墩或墩侧龙门吊车来架梁。通过运梁轨道或者用拖车将梁运到后, 就用门式吊车起吊、横移, 并安装在预定位置。当一孔架完后, 吊车前移, 再架设下一孔。用本方法的优点是架设安装速度较快, 河滩无水时也较经济, 而且架设时不需要特别复杂的技术工艺, 作业人员较少。但龙门吊机的设备费用一般较高, 尤其在高桥墩的情况。

2. 浮吊架设法

(1) 浮吊船架梁

在海上和深水大河上修建桥梁时, 用可回转的伸臂式浮吊架梁比较方便。这种架梁方法高空作业少、施工比较安全、吊装能力大、工效高, 但需要大型浮吊。鉴于浮吊船来回运梁航行时间长, 要增加费用, 故一般采取用装梁船储梁后成批一起架设的方法。浮吊架梁时需在岸边设置临时码头移运预制梁。架梁时, 浮吊要认真锚固。如流速不大则可用预先抛入河中的混凝土锚作为锚固点。

(2) 固定式悬臂浮吊架梁

在缺乏大型伸臂式浮吊时, 也可用钢制万能杆件或贝雷钢架拼装固定式的悬臂浮吊进行架梁。

3. 高空架梁法

(1) 联合架桥机架梁

此法适用于架设安装 30m 以下的多孔桥梁, 其优点是完全不设桥下支架, 不受水深流急影响, 架设过程中不影响桥下通航、通车。预制梁的纵移、起吊、横移、就位都较方便。其缺点是架设备用钢量较多但可周转使用。

联合架桥机由两套门式吊机、一个托架、一根两跨长的钢导梁三部分组成。钢导梁由贝雷装配、梁顶面铺设的运梁平车、托架行走的轨道、门式吊机和工字梁组成, 并在上下翼缘处及接头的地方用钢板加固, 门式吊机顶横梁上设有吊梁用的行走小车。为了不影响架梁的净空位置, 其立柱做成拐脚式(俗称拐脚龙门架)。门式吊机的横梁高程, 由两根预制梁叠起的高度加平车及起吊设备高确定。蝴蝶架是专门用来托运门式吊机转移的, 它由角钢组成, 整个蝴蝶架放在平车上, 可沿导梁顶面轨道行走。

联合架桥机架梁顺序如下: 在桥头拼装钢导梁, 梁顶铺设钢轨并用绞车纵向拖拉导梁就位; 拼装蝴蝶架和门式吊机, 用蝴蝶架将两个门式吊机移运至架梁孔的桥墩(台)上; 由平车轨道运送预制梁至架梁孔位, 将导梁两侧可以安装的预制梁用两个门式吊机吊起, 横移并落梁就位; 将导梁所占位置的预制梁临时安放在已架设好的梁上; 用绞车纵向拖拉导梁至下一孔后, 将临时安放的梁由门式吊机架设就位, 做完梁的架设工作, 并用电焊将各梁联结起来; 在已架设的梁上铺接钢轨, 再用蝴蝶架顺序将两个门式吊机托起并运至前一孔的桥墩上。如此反复, 直至将各孔梁全部架设好为止。

(2) 双导梁架桥机架梁法

本法是在架设孔间设置两组导梁, 导梁上安设配有悬吊预制梁设备的轨道平车和起重行车或移动式龙门吊机, 将预制梁在双导梁内吊着运到规定位置后, 再落梁、横移就位。

横移时一种方法是将两组导梁吊着预制梁整体横移; 另一种是导梁设在桥面宽度以外, 预制梁在龙门吊机上横移, 导梁不横移, 这比第一种横移方法安全。双导梁架桥机架梁法的优点与联合架桥机架梁法相同, 适用于墩高、水深的情况下架设多孔中小跨径的装配式桥梁, 但不需蝴蝶架。因配备双组导梁, 故架设跨径可较大, 吊装的预制梁较重。

(3) 自行式吊车桥上架梁法

在预制梁跨径不大、重量较轻且梁能运抵桥头引道上时，可直接用自行式伸臂吊车（汽车吊或履带吊）来架梁。但是，对于架桥孔的主梁，当横向尚未连成整体时，必须核算吊车通行和架梁工作时的承载能力。此种架梁方法简单方便，几乎不需要任何辅助设备。

三、预应力混凝土桥梁施工

（一）固定支架就地浇筑法

固定支架就地浇筑施工法是一种古老的施工方法，它是在固定支架上安装模板，绑扎及安装钢筋骨架，预留孔道，并在现场浇筑混凝土与施加预应力的施工方法。由于采用此种方法施工需用大量的支架，故其一般在桥墩较低的中小跨径桥梁或交通不便的边远地区采用。

近年来，随着桥梁结构形式的发展，出现了一些变宽的异形桥、弯桥等复杂的预应力混凝土结构。由于临时钢构件、万能杆件、贝雷梁和六四军用梁等大量应用，其他施工方法都比较困难；或经过比较固定支架就地浇筑施工法较方便、费用较低时，在大跨径桥梁中也可以采用这种施工方法。为了完成现浇梁桥的就地浇筑施工，应根据桥孔跨径、桥孔下面覆盖土层的地质条件、水的深浅等因素，合理地选择支架形式。

1. 支架

支架类型选择是就地浇筑施工的关键。就地浇筑连续梁桥施工所用支架与钢筋混凝土简支梁桥就地浇筑支架基本相同，此处不做赘述。

2. 浇筑

固定支架就地浇筑施工中与装配式预应力梁预制工艺相同的部分，此处也不再赘述。以下仅就碗扣式钢管支架的搭设、混凝土的浇筑顺序、支架的拆除进行阐述。

（1）碗扣式钢管支架的搭设

采用碗扣式钢管支架时，其支架搭设应符合下列要求。

第一，模板支架应根据所承受的荷载选择立杆的间距和步距，底层纵、横向水平杆作为扫地杆，距地面高度应小于或等于 350mm，立杆底部应设置可调底座或固定底座；立杆上端包括可调螺杆伸出顶层水平杆的长度不得大于 0.7m。

第二，可调底座及可调托撑丝杆与调节螺母的啮合长度不得少于 6 扣，插入立杆内的长度不得小于 150mm。

模板支架的斜杆设置应符合下列要求。

第一，当立杆间距大于 1.5m 时，应在拐角处设置通高专用斜杆，中间每排每列应设置通高八字形斜杆或剪刀撑；当立杆间距小于或等于 1.5m 时，模板支架四周应从底到顶连续设置竖向剪刀撑；中间纵横向应由底至顶连续设置竖向剪刀撑，其间距应小于或等于 4.5m；剪刀撑的斜杆与地面间的夹角应为 $45^\circ \sim 60^\circ$ ，斜杆应每步与立杆扣接。

第二，当模板支架高度大于 4.8m 时，顶端和底部必须设置水平剪刀撑，中间水平剪刀撑设置间距应小于或等于 4.8m。

第三，必须严格控制支架的垂直度，以免影响整体稳定性。垂直度偏差应小于或等于 $H/500$ （H 为支架搭设高度），且不得大于 50mm。

第四，当模板支架周围有桥梁墩台结构时，应建立与墩台的水平连接，以加强架体的安全可靠度。

第五，模板支架高宽比应小于或等于 2；当高宽比大于 2 时，可扩大下部架体尺寸或采取其他构造措施（如设置缆风绳加固）。

（2）混凝土的浇筑顺序

在浇筑混凝土时支架会产生不均匀沉降。为避免因支架不均匀沉降而导致混凝土在浇筑过程中出现内伤，要求混凝土的浇筑应从跨中向两侧墩台逐步推进，当整跨梁体浇筑完成后浇筑跨越梁段。跨越梁段的浇筑应呈斜面逐层推进，浇筑完成时应保持混凝土顶面

为斜面,以便与下一梁跨混凝土建立更好的连接。

(3) 模板拆除及卸架

当混凝土的强度达到设计强度的 25% 以后可拆除侧模,当混凝土强度大于设计强度的 75% 以后可拆除梁体的各项模板。对于预应力混凝土梁,应在预应力钢束张拉完毕或张拉到一定数量后再拆除模板,以免梁体混凝土受拉。卸架程序应从梁体挠度最大处的支架节点开始,逐步卸落相邻两侧的节点。落梁要对称、均匀、有序。同时,要求各节点的卸落应分级多次进行,以使梁的沉落曲线逐步加大。

3. 固定支架预应力就地浇筑的特点

综上所述,固定支架就地浇筑施工方法的特点包括以下几点。

第一,混凝土能整体浇筑,预应力筋整体张拉,桥梁的整体性较好。施工中不需要进行体系转换。对机具和起重能力要求不高,不需要大型起重设备,施工较简便、平稳、可靠。

第二,需要使用大量的施工支架,施工周期长,周转次数少,费用高;跨河桥梁搭设支架影响河道的通航与排洪,施工期间支架可能会受到洪水和漂流物的威胁。

第三,需要有较大的施工场地进行支架组拼、钢筋加工、模板制作、预应力筋加工等,因此施工管理较复杂。

(二) 悬臂施工法

悬臂施工法是大跨度桥梁最常采用的施工方法,也是桥梁施工中难度较大的施工工艺,需要专门的施工设备和一支熟悉悬臂施工工艺的技术队伍。

采用该方法建造桥梁时,不需要在桥下搭设大量的支架,而是利用挂篮施工设备从墩顶已建梁段向两侧开始对称悬出接长,直至合龙。梁体每延伸一段,通过预应力钢筋将当前梁段与梁体连成一体。按照节段梁体的制作方法方式的不同,悬臂施工法可以分为悬臂浇注法和悬臂拼装法。

悬臂浇注:在桥墩两侧对称逐段就地浇注混凝土,待混凝土达到一定强度,张拉预应力钢筋,移动机具、模板继续施工。

悬臂拼装:将预制节段块件,从桥墩两侧依次对称安装,张拉预应力钢筋,使悬臂不断接长,直至合龙。

1. 悬臂浇筑施工

(1) 施工挂篮

挂篮是一个能够沿轨道行走的活动脚手架,悬挂在已经张拉锚固的箱梁梁段上。挂篮的承重结构可用万能杆件或采用专门设计的结构。挂篮除了要能承受梁段自重和施工荷载外,还要求自重轻、刚度大、变形小、稳定性好、行走方便等。

用梁式挂篮浇筑墩侧初始几对梁段时,由于墩顶位置受限往往需要将两侧挂篮的承重结构临时联结在一起。待梁段浇筑到一定长度后,再将两侧承重结构分开。如果墩顶位置过于窄小,开始用挂篮浇筑困难时,可以设立局部支架。墩顶梁段(即所谓零号块)或墩顶附近的梁段在支架上浇筑,施工挂篮就在已浇筑的梁段上拼装。

(2) 悬浇施工工艺流程

当挂篮安装就位后,即可在其上进行梁段悬臂浇筑的各项作业,其工艺流程是按每一梁段的混凝土分两次浇筑排列的,即先浇筑底板混凝土,后浇筑肋板及顶板混凝土。当采用一次浇筑时,将浇筑底板混凝土的工序与浇筑肋板及顶板混凝土的工序合并,其他工序不变。

混凝土浇筑前,须用硬方木支垫于台车前轮分配梁上,以分布荷载,减小轮轴压力。浇筑混凝土的过程中,要随时观测挂篮由于受荷而产生的变形。挂篮负荷后,还可能引起新旧梁段接缝处混凝土开裂。尤其是采用两次浇筑法施工,第二次混凝土浇筑时,第一次

浇筑的底板混凝土已经凝结。由于挂篮的第二次变形,底板混凝土就会在新旧梁段接缝处开裂。为了避免这种裂缝,可对挂篮采取预加变形的办法,如采用活动模板梁等。

悬臂浇筑一般采用由快凝水泥配制的 C40~C60 混凝土。在自然条件下,浇筑后 30h~36h,混凝土强度达 30MPa。这样可以加快挂篮的移位。目前,每段施工周期 7d~10d,具体应视工程量、设备、气温等条件而定。

悬臂浇筑施工的主要优点是:预制场地小,逐段浇筑,易于调整和控制梁段的位置,且整体性好;不需大型机械设备,主要作业在没有顶棚的挂篮内进行;各段均属严密的重复作业,需要施工人员少,工作效率高等。

其主要缺点是:梁体部分不能与墩柱平行施工,施工期较长,而且悬臂浇筑的混凝土加载龄期短,混凝土收缩、徐变影响较大。

2. 悬臂拼装施工

(1) 梁段预制

悬拼施工是将梁沿纵轴,根据起吊能力分成适当长度的节段,在工厂或桥位附近的预制场进行预制,然后运到桥位处用吊机进行拼装。节段预制的质量直接关系着梁段悬拼施工的重量和速度,因此,预制时应严格控制梁段断面和形体的精确度,充分注意预制场地的选择与布置、台座和模板支架的制作,工艺流程的拟订以及养护和储运的每一环节。梁段预制的方法通常有长线预制或短线预制法长线预制。

①长线预制

长线预制是在预制厂或施工现场按梁底曲线制作固定台座,在台座上安装模板进行节段混凝土浇筑工作。组成箱梁的各梁段均在固定台座上的活动模板内且相邻段应相互贴合浇筑,缝面浇前涂抹隔离剂,以利脱模。

长线预制需要较大的场地,其底座的最小长度应为桥孔跨径的一半。梁体节段的预制一般在底板上进行。模板常采用钢模,以便于装拆使用。为加快施工进度,保证节段之间密贴,常采用先浇筑奇数节段,然后浇筑偶数节段。当节段混凝土强度达到设计强度 75% 以上后,可吊出预制场地。

②短线预制

短线预制是在固定台位且能纵移的模板内浇筑,由可调整内、外部模板的台车与端梁来完成。当第一节段混凝土浇筑完成后,在其相对位置上安装下一节段模板,并利用第一节段混凝土的端面作为第二节段的端模,完成第二节段混凝土的浇筑工作。这种方法适合节段的工厂化生产预制,设备可周转使用,台座仅需 3 个梁段长,但节段的尺寸和相对位置的调整要复杂一些。短线台座除基础部分外,多采用钢料加工制作。

由于长线台座可靠,因而成桥后梁体线形较好,长线的台座使梁段存贮有较大余地;但占地较大,地基要求坚实,混凝土的浇筑和养护移动分散。

短线预制场地相对较小,模板及设备基本不需移动,可调的底、侧模便于平、竖曲线梁段的预制;但精度要求高,施工严,周转不便,工期相对较长。

箱梁节段预制要求相邻节段之间接触紧密,故必须以前面浇筑完成的节段的端面作为后来浇筑节段的端模。同时,必须采用隔离剂使节段出坑时相互容易从接缝处脱离。

常用隔离剂可分:薄膜类,如塑料硬薄膜;油脂类,如好机油;皂类,如烷基苯磺酸钠,虽成本较高,但使用效果较好。

(2) 节段运输

梁段运输有水、陆、栈桥及缆吊等各种形式。梁体节段自预制底座上出坑后,一般先存放于存梁场,节段拼装时由存梁场运至桥位处,预制块件的运输方式一般可分为场内运输、装船和浮运三个阶段。

①场内运输节段

出坑和运输一般由预制场的龙门起重机担任。节段上船也可使用预制场的龙门起重机。当预制场与栈桥距离较远时,节段的运输应首先考虑采用平车运输。当采用无转向架的运梁平车运输时,运输轨道不得设平曲线,纵坡一般应为平坡。当地形条件受到限制时,最大纵坡不得大于 1%。

②装船节段

装船应在专用码头上进行,码头的主要设施是施工栈桥和节段装船的起重机。栈桥的长度应保证在最低施工水位时驳船能够进港起运,栈桥的高度要保证在最高施工水位时栈桥主梁不被水淹。栈桥宽度要保证运梁驳船两侧与栈桥之间不少于 0.5m 的安全距离。栈桥起重机的起重能力和主要尺寸(净高和跨度)应与预制场上的起重机相同。

③浮运

浮运船只应根据节段的重量和高度来选择,可采用铁驳船、坚固的木趸船、水泥驳船或用浮箱装配。为了保证浮运安全,应设法降低浮运重心。

开口舱面的船应尽量将块件置于船舱底板;必须置放在甲板面上时,必须在舱内。压重块件的支垫应按底面坡度用碎石子堆成,满铺支垫或加设三角形垫木,以保证块件安放平稳。另外,还需以缆索将块件系紧固定。

(3) 悬拼方法

①浮吊拼装法

重型的起重机械装配在船舶上,全套设备在水上作业,在 40m 的吊高范围内起重力大,所用辅助设备少。优点是相应的施工速度较快,一天可以完成 2~4 段的吊拼,但台班费用较高。

②悬臂吊机拼装法

悬臂吊机由纵向主桁架、横向起重桁架、锚固装置、平衡重、起重系统、行走系统和工作吊篮等部分组成。

纵向主桁为吊机的主要承重结构,可由贝雷桁片、万能杆件、大型型钢等拼制。一般由若干桁片构成两组,用横向连接系连成整体,前后用两根横梁支承。横向起重桁架是供安装起重卷扬机,直接起吊箱梁节段之用的构件,多采用贝雷架、万能杆件及型钢等拼配制作。

纵向主桁架的外荷载就是通过横向起重桁架传递给它。横向起重桁架支承在轨道平车上,轨道平车搁置于铺设在纵向主桁架弦的轨道上,起重卷扬机安置在横向起重桁架的上弦。设置锚固装置和平衡重的目的是防止主桁架在起吊节段时倾覆翻转,保持其稳定状态对于拼装墩柱附近节段的双悬臂吊机,可用锚固横梁及吊杆将吊机锚固于 0 号块上。对称起吊箱梁节段,不需要设置平衡重。

单悬臂吊机起吊节段时,也可不设平衡重,而将吊机锚固定在节段吊环上或竖向预应力筋的螺丝端杆上。起重系统一般是由电动卷扬机、吊梁扁担及滑车组等组成。作用是将由船浮运到桥位处的节段提升到拼装高度以备拼装。滑车组要根据起吊节段的重量来选用。

吊机的整体纵移可以采用钢管滚筒在木板上滚移,由电动卷扬机牵引。牵引绳通过向滑车系于纵向主桁架前支点的牵引钩上。横向起重桁架的行走采用轨道平车,用倒链滑车牵引。

工作吊篮悬挂于纵向主桁架前端的吊篮横梁上,吊篮横梁由轨道平车支承以便工作吊篮的纵向移动。工作吊篮供预应力钢丝穿束、千斤顶张拉、压注灰浆等操作之用。可设上、下两层,上层供操作顶板钢束用,下层供操作肋板钢束用。也可只设一层,工作吊篮可用倒滑车调整高。

③连续桁架拼装法

连续桁架拼装法可分移动式和固定式两类。移动式连续桁架的长度大于桥的最大跨径

桁架支承在已拼装完成的梁段和待拼墩顶上，由吊车在桁架上移运节段进行悬臂拼装。固定式连续桁架的支点均设在桥墩上，而不增加梁段的施工荷载。

(4) 接缝处理及拼装程序

梁段拼装的接缝有湿接缝、干接缝和胶接缝等几种。不同的施工阶段和不同的部位，将采用不同的接缝形式。

①湿接缝

1 号块和调整块用湿接缝拼装。悬拼施工时，防止梁体上翘和下挠的关键是 1 号块的准确定位。1 号块是基准块件，一般 1 号块与墩顶 0 号块以湿接缝相接。1 号块定位后，可由起重机悬吊支承，也可用下面的临时托架支承。为便于接缝处管道接头操作接头钢筋的焊接和混凝土振捣作业，湿接缝宽度一般为 0.1m~0.2m。

0~1 号块间湿接缝处理程序：块件定位，中线以及高程测量；接头钢筋焊接，制孔器安放；湿接缝模板安放；湿接缝混凝土浇筑；湿接缝混凝土养护拆模；穿预应力钢束，张拉锚固。

跨度大的 T 形刚构桥，由于悬臂很长，往往在悬臂中部设置一道现浇箱梁横隔板。同时，设置一道湿接缝。这道湿接缝除了能增加箱梁的结构刚度外，还可以调整拼装位置。在拼装过程中，如拼装上翘的误差很大，用其他方法难以补救时，也可以通过增设一道湿接缝来调整。但应注意增设的湿接缝宽度必须用凿打块件端面的办法来提供。

②干接缝或胶接缝拼装

除上述块件之间采用湿接缝外，一般块件之间采用干接缝或胶接缝。

其他预制梁段拼装顺序包括以下几个步骤：预制梁段提升，内移就位，试拼；预制梁段移开，与已拼装梁段保持约 0.4m 间距；穿束；涂胶（双面涂胶，干接缝无此工序）；梁段就位，检查位置、高程及吻合情况；预应力钢束张拉，观察预制梁段是否滑移，锚固。

环氧树脂胶接缝可使块件连接密贴，可提高结构抗剪能力、整体刚度和不透水性。环氧树脂胶由环氧树脂、固化剂、增塑剂、稀释剂、填料等组成，其配方应根据施工环境、温度、固化时间和强度要求选定。一般对接缝混凝土面先涂环氧树脂底层胶，然后再涂加入填料的环氧树脂胶，环氧树脂胶随用随配并调制。

(4) 穿束与张拉

①穿束

T 形刚构桥纵向预应力钢筋的布置有两个特点：一是较多集中于顶板部位；二是钢束布置对称于桥墩。因此，拼装每一对对称于桥墩块件的预应力钢丝束须按锚固这一对块件所需长度下料。

明槽钢丝束通常按等间距排列，锚固在顶板加厚的部分（这种板俗称“锯齿板”），加厚部分预制时留有管道。穿束时先将钢丝束在明槽内摆放平顺，然后再分别将钢丝束穿入两端管道之内，钢丝束在管道两头伸出长度要相等。

暗管穿束比明槽难度大。经验表明，60m 以下的钢丝束穿束一般均可采用人工推送。较长钢丝束穿入端，可点焊成箭头状缠裹黑胶布。60m 以上的钢丝束穿束时，可先从孔道中插入一根钢丝与钢丝束引丝连接，然后一端以卷扬机牵引，一端以人工送入。

②张拉

钢丝束张拉前，先要确定合理的张拉次序，保证箱梁在张拉过程中每批张拉合力都接近于该断面钢丝束总拉力重心处。

钢丝束张拉次序的确定与箱梁横断面形式、同时工作的千斤顶数量、是否设置临时张拉系统等因素有关。

一般情况下，纵向钢丝束的张拉次序按下述原则确定：第一，对称于箱梁中轴线，钢丝束两端同时成对张拉；第二，先张拉肋束，后张拉板束；第三，肋束的张拉次序是先张

拉边肋,后张拉中肋(若横断面为三根肋,仅有两对千斤顶时);第四,同一肋上的钢丝束先张拉下边的,后张拉上边的;第五,板束的次序是先张拉顶板中部的,后张拉边部的。

悬臂拼装法施工的主要优点是:梁体块件的预制和下部结构的施工可同时进行,拼装成桥的速度较现浇快,可显著缩短工期;块件在预制场内集中预制,质量较易保证;梁体塑性变形小,可减小预应力损失,施工不受气候影响等。

其缺点是:需要占用较大的预制场地,移运和安装需要大型的机械设备;如果不用湿接缝,则块件安装的位置不易调整。

(5) 压浆管道压浆的目的是为了保证预应力筋不受腐蚀。目前的工艺是先用高压水检查管道的畅通、匹配面的密贴情况以及封端情况后再进行正式压浆,直到出浆口出浓浆。封闭出浆口持压 3min~5min,以保证水泥浆尽量充满管道。

压浆是在局部封锚后进行的,除了保证封端质量外,须在水泥浆中加入适量微膨胀剂,选取合适的配合比,既能使压浆工作顺利进行,又能使凝固后的水泥浆尽量充满管道,尽可能地排出管道内的水和空气,避免力筋受蚀。

(6) 合龙段施工用悬臂施工法建造连续刚构桥、连续梁桥需在跨中将悬臂端刚性连接、整体合龙。合龙段施工有现浇和拼装两种方法,现浇方法与悬浇中跨合龙段施工方法相同,拼装方法与简支梁板的安装相同。

四、桥梁支座的施工

(一) 桥梁支座概述

桥梁支座是桥梁结构的一个重要组成部分。但是由于它在桥梁工程造价中所占比例很小,往往未引起工程技术人员的重视。

20 世纪 70 年代以前,中国的公路、铁路桥梁上常不设支座或仅设置传统的钢支座。随着桥梁建设事业的发展,各种形式的桥梁陆续建成,对桥梁支座的承载力、支座适应线位移和转角能力的要求也不断提高,与之相适应的各种新型桥梁支座应运而生。

桥梁支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要结构部件。它可将桥梁上部结构的反力和变形(线位移和转角)可靠地传递给桥梁下部结构。同时,保证上部结构在荷载、温度变化、混凝土收缩徐变等因素作用下的自由变形,以便结构的实际受力情况与理论计算图示相符合,保护梁端、墩台帽不受损伤。

梁支座必须满足以下功能要求:一是梁支座必须具有足够的承载能力,以保证安全可靠的传递支座反力;二是支座对桥梁变形(位移和转角)的约束应尽可能小,以适应梁体自由伸缩及转动的需要。此外,支座应便于安装、养护和维修,必要时可进行更换。

梁式桥的制作一般分为固定支座和活动支座。固定支座允许梁截面自由转动而不能移动,活动支座允许梁在挠曲和伸缩时转动与移动。针对桥梁跨径、支座反力、支座允许转动与位移不同,支座选用的材料不同,支座是否满足防振、减振要求不同,桥梁支座具有许多相应类型。

随着桥梁结构体系的发展,制作类型也相应地更新换代,过去一般针对小跨径桥梁或加工较烦琐的支座,如简易垫层支座钢板支座、钢筋混凝土摆柱式支座等已不常使用,代之以板式橡胶支座、盆式橡胶支座、球形钢支座、聚四氟乙烯滑板支座以及圆形板式橡胶支座等。

(二) 不同种类的桥梁支座施工

1. 板式橡胶支座安设

板式橡胶支座由多层橡胶片与薄壁板镶嵌、黏合、压制而成。安装前,应将垫块顶面清理干净,采用干硬性水泥砂浆抹平,且检查顶面标高是否满足设计要求;板式橡胶支座安装前还应对支座的长、宽、厚、硬度、容许荷载、容许最大温差及外观等进行全面检查,如不符合设计要求,则不得使用。

板式橡胶支座安装时, 支座中心尽可能对准梁的计算支点, 必须使整个橡胶支座的承压面上受力均匀。就位不准或与支座不密贴时, 必须重新起吊, 采取垫钢板等措施, 并使支座位置控制在允许偏差内, 不得用撬棍移动梁、板。

为保证板式橡胶支座安装装置准确, 支座安装尽可能排在接近年平均气温的季节里进行, 以减小由于温差变化过大而引起的剪切变形。梁、板安装时, 必须细致稳妥, 使梁、板就位准确且与支座密贴, 勿使支座产生剪切变形; 就位不准时, 必须吊起重放, 不得用撬杠移动梁、板。

当墩台两端标高不同, 顺桥向或横桥向有坡度时, 支座安装必须严格按设计规定办理。支座周围应设排水坡, 防止积水, 并注意及时清除支座附近的尘油脂与污垢等。

2. 球形支座的安设

球形支座各向转动性能一致, 适用于弯桥、坡桥、斜桥、宽桥及大跨径球形支座无承重橡胶块, 特别适用于低温地区。

支座出厂时, 应由生产厂家将支座调平, 并拧紧连接螺栓, 防止支座在安装过程中发生转动和倾覆。支座可根据设计需要预设转角及位移, 但施工单位应在订货前提出预设转角及位移量的要求, 由生产厂家在装配时预先调整好。

支座安装前方可开箱, 并检查装箱清单, 包括配件清单、检验报告复印件、支座产品合格证书及支座安装养护细则。施工单位开箱后, 不得任意转动连接螺栓, 并不得任意拆卸支座。支座安装高度应符合设计要求, 保证支座平面的水平及平整。支座支承面四角高差不得大于 2mm。

当下支座板与墩台采用螺栓连接时, 应先用钢楔块将下支座板四角调平, 高程、位置应符合设计要求, 用环氧砂浆灌注地脚螺栓孔及支座底面垫层。环氧砂浆硬化后, 方可拆除四角钢楔, 并用环氧砂浆填满楔块位置。当下支座板与墩台采用焊接连接时, 应对称、间断地将下支座板与墩台上预埋钢板焊接。焊接时应采取防止烧伤支座和混凝土的措施。

当梁体安装完毕, 或现浇混凝土梁体达到设计强度后, 在梁体预应力张拉之前, 应拆除上、下支座板连接板。

3. 盆式橡胶支座

盆式橡胶支座是钢构件与橡胶组合而成的新型桥梁支座, 具有承载能力大、水平位移量大, 转动灵活等特点, 适用于支座承载力为 1000kN 以上的跨径桥梁, 也适用于城市、林区、矿区的桥梁。

盆式橡胶支座构造简单、结构紧凑、滑动摩擦系数小、转动灵活。与一般铸钢辊轴支座相比, 具有重量轻、建筑高度低、加工制造方便、节省钢材、降低造价等优点。与板式橡胶支座相比具有承载能力大、容许支座位移量大、转动灵活等优点。因此, 盆式橡胶支座特别适宜在大跨径桥梁上使用。

支座规格和质量应符合设计要求, 支座组装时其底面与顶面(埋置于墩顶和梁底面)的钢垫板, 必须埋置稳固。垫板与支座间应平整密贴, 支座四周不得有 0.3mm 以上的缝隙, 严格保持清洁。活动支座的聚四氟乙烯板和不锈钢钢板不得有刮伤、撞伤。氯丁橡胶板块密封在钢盆内, 要排除空气, 保持紧密。

安装前, 将支座各相对滑移面用清洁剂仔细擦洗, 擦净后在四氟滑板的储油槽内注满硅脂类润滑剂并保持清洁。盆式橡胶支座的顶面和底板可用焊接或锚固螺栓拴接在梁体底面和垫石顶面的预埋钢板上。

焊接时, 应防止烧坏混凝土; 焊接完成后, 应在焊接部位作防锈处理。安装锚固螺栓时其外露螺杆的高度不得大于螺母的厚度。支座安装的顺序, 宜先将上座板固定在大梁上, 然后根据其位置确定底盆在墩台的位置, 最后固定。

支座的安装标高应符合设计的要求, 中心线与梁的轴线重合, 水平最大位移差不超过

2mm。

安装固定支座时，上下各部件的纵轴线必须对正；安装活动支座时，上下纵轴线必须对正，横轴线应当根据安装时的温度与年平均温度的差，由计算确定其错位的距离；支座上的上下导向挡块必须平行，最大偏心的交叉角不得大于 5° 。

五、桥面铺装层施工

（一）水泥混凝土桥面铺装层施工

水泥混凝土桥面铺装层的施工工艺为：施工准备工作→安装模板→桥面钢筋绑扎→混凝土制备→混凝土运输→桥面混凝土浇筑→接缝施工→表面修整→养护。下面将对部分施工要点进行介绍。

1. 梁顶标高的测定和调整

预应力混凝土空心板或大梁在预制后存梁期间，由于预应力作用，往往会产生反拱。如果反拱过大，就会影响桥面铺装层的施工。因此，设计中对存梁时间、存梁方法都做了一定要求。

如果架梁前已发现反拱过大，则应采取降低墩顶标高、减少垫石厚度等方法来保证铺装层厚度。架梁后应对梁顶标高进行测量，测定各跨中线、边线的跨中和墩顶处的标高，分析评价其是否满足规范要求。若偏差过大，则应采取调整桥面标高、改变引线纵坡等方法，以保证铺装层厚度，使桥梁上部结构形成整体。

2. 绑扎、布设桥面钢筋网

桥面钢筋应根据设计要求和相关规定进行绑扎。正交桥必须注意放正钢筋，斜交桥桥面钢筋应按图纸规定方向放置。所有钢筋均应正确留设保护层厚度。采用双层钢筋网时，两层钢筋之间应有足够数量的定位撑筋，以保证两层钢筋的位置正确。

在两跨连接处，若桥面为连续构造，应再布设桥面连续的构造钢筋；若为伸缩缝，要注意做好伸缩缝的预埋钢筋。

3. 混凝土浇筑

对板顶处理情况、钢筋网布设情况进行检查。当其满足设计和规范要求后，即可浇筑混凝土。若设计为防水混凝土，其配合比及施工工艺应满足规范要求。

浇筑铺装层时，为防止钢筋变位，不得在钢筋上搁置重物，不得让运料小车在钢筋网上推运，不得让人员在钢筋网上行走践踏。若必须在钢筋上通行，可搭设支架架空走道。在浇筑过程中，应随时注意纠正钢筋位置。

浇筑混凝土时，宜从下坡向上坡进行，注意要连续施工，防止产生施工缝。混凝土振捣时，先用插入式振捣器沿模板边角均匀插捣，然后用平板振捣器对中间部分混凝土进行振捣，直至混凝土不再下沉，最后用振动梁进行粗平。

水泥混凝土桥面施工可采用真空脱水工艺，脱水后还应进行表面平整和提浆。如不采用真空脱水工艺，应采用抹子反复抹面直至表面平整、无泌水为止。必须符合设计规定，面层必须平整、粗糙。如果桥面纵坡较大，则必须采取防滑措施。第二次抹平后，应沿横坡方向拉毛或采用机具压槽，拉毛和压槽深度应为 1mm~2mm。浇筑完后待表面有一定硬度时即可开始养生。常用的养生方法为覆盖草麻袋、草帘、塑料薄膜、土工布等并洒水。

2. 沥青混凝土桥面铺装层施工

（1）准备工作

铺装沥青混凝土面层以前，须对混凝土桥面的平整度、粗糙度等进行检查，桥面应平整、粗糙、干燥、整洁，并应符合规定的设计要求。测设中线和边线的高程，根据所需铺装沥青混凝土的最小、最大及平均厚度计算沥青混凝土的数量，做好用料计划。清扫桥梁混凝土面层，保持清洁、干燥，并喷洒黏层油，黏层沥青宜采用快裂的洒布型乳化沥青，也可采用快、中凝液体石油沥青或煤沥青，并采用机械喷布工艺，用量一般控制在 0.3kg

/ $\text{m}^2 \sim 0.4 \text{ kg} / \text{m}^2$, 要求洒布均匀。

(2) 浇洒黏层

沥青工艺要求如上所述, 黏层沥青应均匀洒布 (亦可涂刷), 浇洒过量的局部地段或积聚油量较多时应予以刮除。当气温低于 10°C 或水泥混凝土桥面层潮湿 (或不洁), 不得浇洒黏层沥青。浇洒黏层沥青后, 严禁除沥青混合料运输车以外的其他车辆、行人通过。黏层沥青洒布后, 应紧接铺筑沥青混凝土面层, 但乳化沥青应等待破乳、水分蒸发完后铺筑。洒布沥青黏层前宜在路缘石上方涂刷石灰水或粘贴保护纸张, 以免沥青沾染缘石。

(3) 伸缩缝处理

铺筑沥青面层时, 伸缩缝处理宜用黄沙等松散材料临时铺垫与水泥混凝土顶面相平, 沥青混凝土面层可连续铺筑, 铺筑完成后再按所用伸缩缝装置的宽度, 画线切割, 挖除伸缩缝部分的沥青混凝土后再安装伸缩装置。

(4) 热拌沥青混合料的运输

沥青混凝土面层铺筑用沥青混合料应采用较大吨位的自卸汽车运输, 车厢应清扫干净。为防止沥青与车厢板黏结, 车厢侧板和底板可涂一薄层油水混合液 (柴油与水比例可为 1:3), 但不得有余液积聚在车厢底部。运料车应用篷布覆盖, 用以保温、防雨、防污染, 夏季运输时间短于 0.5h 时, 亦可不加覆盖。

连续摊铺过程中, 运料车应在摊铺机前 $10\text{cm} \sim 30\text{cm}$ 处停住, 不得撞击摊铺机; 卸料过程中运料车应挂空挡, 靠摊铺机推动前进。沥青混合料运至摊铺地点后应凭运料单接收并检查拌和质量及温度要求, 遇有已经结成团块或遭遇淋湿的混合料不得铺筑在桥面、道路上。

(5) 沥青混凝土面层的铺筑

铺筑沥青混凝土面层应采用机械摊铺, 应以伸缩缝的间距确定一次铺筑长度, 要求在相邻两个伸缩缝之间尽量不设施工缝。桥面的宽度宜在 1d 内铺筑成, 每次铺筑的纵向接缝宜在上次铺筑的沥青混凝土的实际温度未降至 100°C 时予以接缝铺筑并碾压。

根据混凝土桥面层的平整度、沥青混凝土面层的厚度和结构层次决定一次铺筑或两次铺筑。沥青混凝土面层厚度大于 6cm 时, 宜采用两次铺装以提高沥青混凝土面层的平整度。沥青混合料必须缓慢、均匀、连续不断地摊铺, 摊铺过程中不得随意变换速度或中途停顿。

摊铺速度一般控制在 $2\text{m} / \text{min} \sim 6\text{m} / \text{min}$, 可根据沥青混合料供应及机械配套情况及摊铺层厚度、宽度确定。摊铺好的沥青混合料应随即碾压 (碾压方法、要求可参照沥青路面施工有关规定)。如因故不能及时碾压或遇雨时, 应停止摊铺, 并对卸下的沥青混合料覆盖保温。

当先铺筑的沥青混凝土的实际温度降至 80°C 以下时, 后铺筑的沥青混凝土应按冷接缝方法处理, 即铣刨接缝处的沥青混凝土, 要求接缝顺直。

纵缝的铁刨宽度宜为 $20\text{cm} \sim 30\text{cm}$, 横缝的铁刨宽度应用直尺测量后决定, 一般不宜小于 100cm 。如无铣刨机时, 可按画线用切缝机切割后再凿除。

沥青混凝土面层的铺筑和碾压宜从下坡向上坡进行。施工车辆和施工机械不允许停留在新铺装的沥青混凝土面层上, 也不允许柴油之内的油料滴漏在沥青混凝土面层上, 以免引起沥青混凝土软化、壅包。当采用刻槽方式增加沥青混凝土铺装层与混凝土桥面的啮合, 提高其抗滑能力时, 刻槽的宽度宜为 20mm , 槽间距宜为 20m , 槽深宜为 $3\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 。

第四节 其他桥梁施工

一、拱桥施工技术

(一) 混凝土拱桥施工

混凝土拱桥的施工按其主拱圈成型的方法可以分为以下三大类。

1. 就地浇筑法

就地浇筑法就是把拱桥主拱圈混凝土的基本施工工艺流程（立模、扎筋、浇筑混凝土、养护及拆模等）直接在桥孔位置来完成。按照所使用的设备来划分，包括以下两种。

（1）有支架施工法

这和梁式桥的有支架施工类似，与其支架类型、主拱圈混凝土浇筑的技术要求以及卸架方式等有关。

（2）悬臂浇筑法

悬臂浇筑法把主拱圈划分成若干个节段，并用专门设计的钢桁托架结构作为现浇混凝土的工作平台。托架的后端铰接在已完成的悬臂结构上，其前端则用刚性组合斜拉杆经过临时支柱和塔架，再由尾索锚固在岸边的锚碇上。但是钢桁托架本身较重，转移较难，钢筋骨架和混凝土法的运输需借助缆索吊装设备，施工比较麻烦，拱轴线上各点的高程也较难控制，故目前较少采用这种施工方法。

2. 预制安装法

预制安装法按主拱圈结构所采用的材料可以分为整体安装法和节段悬拼法两种。

（1）整体安装法

这种施工方法适合于钢管混凝土系杆拱的整片起吊安装，钢管混凝土拱肋在未灌混凝土之前具有质量轻的优点。例如某跨径为 45m 的系杆拱片，经组合后，其吊装质量仅为 18.7t，用起重量为 20t 的浮吊，仅用了一天就把两片拱片全部安装完毕。被起吊的拱片应做以下三点验算。

拱肋从平卧到竖立的翻转过程中，形若一根简支曲梁。因此，应将此两个起吊点视为作用于其上的垂直集中力，来验算此曲梁的强度和刚度。

在竖向吊运过程中，需验算吊点截面的强度。

当两吊点间距较近时，需验算系杆在吊运过程中是否出现轴向压力及其面外的稳定性。

应该科学地设计其施工顺序，使设计中对全桥横向稳定有利的杆件先安装或浇筑以尽早发挥作用。例如，先安装肋间横撑，浇筑支承节点和端横梁混凝土，再安装内横梁和沿系杆的纵向分条地安装桥面板直至合龙等。

（2）节段悬拼法

节段悬拼法是将主拱圈结构划分成若干节段，先放在现场的地面或场外工厂进行预制，然后运送到桥孔的下面，利用起吊设备提升就位，进行拼接，逐渐加长直至成拱。每拼完一个节段，必须借助辅助设备临时固定悬臂段。这种方法对钢筋混凝土或钢管混凝土主拱圈的施工都适用。常用的起重设备有以下两种。

①缆索吊装设备

缆索吊装设备主要由主索、工作索、塔架和锚固装置等四个基本部分组成。其中包括主索、起重索、牵引索、结索、扣索、缆风索、塔架及索鞍、地锚、滑车、电动卷扬机等设备和机具。

②伸臂式起重机

伸臂式起重机每拼接好一个节段，即用辅助钢索临时拉住，每拼完三节，便改用更粗的主钢索拉住，然拆除辅助钢索，供重复使用。这种方法适用于特大跨径的拱桥施工。

3. 转体施工法

转体施工法的特点是将主拱圈从拱顶截面分开，把主拱圈混凝土高空浇筑作业改为放在桥孔下面或者两岸进行，并预先设置好旋转装置，待主拱圈混凝土达到设计强度后，再将它就地旋转就位成拱。按照旋转的几何平面又可分为以下三种。

（1）平面转体施工法

这种施工方法特点是：将主拱圈分为两个半跨，分别在两岸利用地形作简单支架（或

土牛拱胎），现浇或者拼装拱肋，再安装拱肋间横向联系（横隔板、横系梁等），把扣索的一端锚固在拱肋的端部（靠拱顶）附近，经引桥桥墩延伸至埋入岩体内的锚碇中，再用液压千斤顶收紧扣索，使拱肋脱模，借助环形滑道和手摇卷扬机牵引，慢速地将拱肋转体 180° （或小于 180° ），最后再进行主拱圈合龙段和拱上建筑的施工。

（2）竖向转体施工法

当桥位处无水或水很浅时，可以将拱肋分成两个半跨放在桥孔下面预制。如果桥位处水较深，可以在桥位附近预制，然后浮运至桥轴线处，再用起吊设备和旋转装置进行竖向转体施工。这种方法最适宜钢管混凝土拱桥的施工。因为钢管混凝土拱桥的主拱圈必须先让空心钢管成拱后再灌注混凝土，故在旋转起吊时，不但钢管自重相对较轻，而且钢管本身强度也高，易于操作。

（3）平-竖相结合的转体施工法

这种施工方法综合吸收了上述两种转体施工方法的优点，具体体现在以下几点：利用竖向转体法的优点，变高空作业为地上作业，避免了长、大、重安装单元的运输和起吊；利用平面转体法的优点，将全桥三孔分为两段，放在主河道的两岸进行预制和拼装，将桥跨结构的施工对主航道航运的影响减到最低程度；利用边孔作为中孔半拱的平衡重，使整个转体施工形成自平衡体系，免除了在岸边设置锚碇构造。

（二）拱桥的有支架施工

1. 拱架

砌筑石拱桥或混凝土预制块拱桥，以及现浇混凝土或钢筋混凝土拱圈时，需要搭设拱架，以承受全部或部分主拱圈和拱上建筑的重量，保证拱圈的形状符合设计要求。拱架主要有钢桁架拱架、扣件式钢管拱架等。

（1）钢桁架拱架

①常备拼装式桁架形

拱架常备拼装式桁架形拱架是由标准节段、拱顶段、拱脚段和连接杆等用钢销或螺栓连接的，拱架一般采用三铰拱，其横桥向由若干组拱片组成，每组的拱片数及组数由桥梁跨径、荷载大小和桥宽决定，每组及各组间拱片由纵、横连接系联成整体。

②装配式公路钢桥桁架节段拼装式拱架

在装配式公路钢桥桁架节段的上弦接头处加上一个不同长度的钢铰接头，即可拼成各种不同曲度和跨径的拱架，在拱架两端应另加设拱脚段和支座，构成双铰拱架。拱架的横向稳定由各片拱架间的抗风拉杆、撑木和风缆等设备保证。

③万能杆件拼装式拱架

万能杆件拼装式拱架是用万能杆件补充一部分带铰的连接短杆，拼装时，先拼成桁架节段，再用长度不同的连接短杆连成不同曲度和跨径的拱架。

④装配式公路钢桥桁架或万能杆件桁架与木拱盔组合的钢木组合拱架

装配式公路钢桥桁架或万能杆件桁架与木拱盔组合的钢木组合拱架是由钢桁架及其上面的帽木、立柱、斜撑、横梁及弧形木等杆件构成。

（2）扣件式钢管拱架

扣件式钢管拱架一般有满堂式钢管拱架、预留孔满堂式钢管拱架、立柱式扇形钢管拱架等几种形式。

扣件式钢管拱架的基础可以采用在立柱下端垫上底座，使立柱承重后均匀沉降并有效地将荷载传递给地基。但由于立柱数量较多，分散面宽，每根立柱所处的地基不相同，除按一般基础处理外，还可采取分别确定立柱管端承载能力的方法，使各立柱承载后的不均匀沉降控制在允许的范围内。

2. 模板

(1) 拱圈模板

拱圈模板(底模)的厚度应根据弧形木或横梁间距的大小而定,一般有横梁时为40mm~50mm,直接搁置在弧形木上时为60mm~70mm。有横梁时为使顺向放置的模板与拱圈内弧线圆一致,可预先将木板压弯,但40m以上跨径拱桥的模板可不事先压弯。

混凝土和钢筋混凝土拱圈模板在拱顶处应铺设一段活动模板,在间隔缝处应设间隔缝模板并在底模或侧模上留置孔洞,待分段浇筑完后再堵塞孔洞,以便清除杂物。拱轴线与水平面倾角较大地段,须设置顶面盖板,以防混凝土流失。

(2) 拱肋模板

拱肋模板的底模基本上与混凝土和钢筋混凝土拱圈相同,在拱肋间及横撑间的空档可不铺设底模。拱肋侧面模板一般先按样板分段制作,然后拼装于底模之上,并用拉木、螺栓拉杆及斜撑等固定。在安装时,应先安置内侧模板,等钢筋入模后再安置外侧模板,且应在适当长度内设置一道变形缝。拱肋盖板设置于拱轴线较陡的拱段,随浇筑进度装订。

3. 拱架卸落

(1) 拱架卸落的程序和方法

拱架卸落的过程,就是由拱架支撑的拱圈的重力逐渐转移给拱圈自身来承担的过程,为了对拱圈受力有利,拱架不能突然卸除,而应按一定的卸架程序和方法进行。在卸架中,只有达到一定的卸落量时,拱架才能脱离拱圈体并实现力的转移。下面以满布式拱架为例,简述卸落程序。

拱架所需的卸落量 h 为拱圈体弹性下沉量与拱架弹性回升量之和,可通过计算得出。该卸落量 h 为拱顶卸落量,拱顶两侧各支点的卸落量按直线比例分配。为了使拱圈体逐渐均匀降落和受力,各支点和各循环之间分成几次和几个循环逐步完成。各次和各循环之间要有一定间歇。间歇后将松动的卸落设备顶紧,使拱圈体落实。满布式拱架可根据算出和分配的各支点的卸落量,从拱顶开始,逐步同时向拱脚对称卸落,横向的几个砂筒同时放砂,速度一致、统一指挥。要检视拱圈边棱,用两组水准仪测量拱顶及 $1/4$ 点处的高程变化。

(2) 卸架设备

为保证拱架能按设计要求均匀下落,必须设置专门的卸架设备。卸架用的设备在拱架安装时已预先就位,满布式拱架卸落设备则放在拱脚较的位置。

①木楔

木楔可分为简单木楔和组合木楔。简单木楔由两块 $1:6\sim 1:10$ 斜面的硬木楔组成。落架时,用锤轻轻敲击木楔小头,将木楔取出,拱架即可下落。它的构造最简单,但缺点是敲击时振动大,易造成下落不均匀。一般可用于中、小跨径拱桥。组合木楔由三块楔形木和拉紧螺栓组成。卸架时,只需扭松螺栓,则楔木徐徐下降。组合木楔的下落较均匀,可用于40m以下的满布式拱架或20m以下的拱式拱架。

②木凳(木马)

木凳是另一种形式简单的卸架设备。卸架时,只要锯去木凳的两个边角,在拱架自重作用下,木凳被压陷,拱架也随之下落。一般适用于跨径在5m以内的拱桥。

③砂筒

砂筒是由内装沙的金属(或木料)筒及活塞(又名顶心木,为木制或混凝土制)组成。适用于跨径大于30m的拱桥。卸落时靠砂从筒的下部预留泄沙孔流出。因此,要求砂干燥、均匀、清洁,沙筒与活塞间用沥青填塞,以免砂受潮。由于沙泄出量可以控制拱架卸落的高度,这样就能通过泄沙孔的开与关,分数次进行落架,使拱架均匀下降而不受振动。

(三) 拱桥的无支架施工

1. 缆索吊施工

缆索吊装施工是指采用缆索结构（单跨或双跨）吊运、安装桥梁的施工方法。缆索吊装具有跨越能力大，水平和垂直运输机动灵活，适应性广，施工稳妥、方便等优点，因而得到广泛采用，尤其在修建大跨径或连续多孔拱桥中更能显示这种施工方法的优越性。

缆索吊装施工主要用于预制安装的钢筋混凝土拱桥，同时，在劲性骨架施工中，拱桥的骨架安装、拱上结构安装、桁架、刚架拱桥施工甚至一般跨径的悬索桥加劲梁安装已得到广泛运用。

（1）主要设备和机具

缆索吊机的主要设备和机具有：承重索、起重索、牵引索、压塔索、缆风索、扣索、塔架（包括索鞍）地锚、滑轮、电动卷扬机及跑车等。

（2）缆索吊施工工艺

缆索吊装施工主要包括拱肋预制、运输和吊装、主拱圈的安装、拱上建筑的砌筑、桥面构造的施工等主要工序。

拱桥的拱肋在河滩或桥头岸边分节预制后，送至缆索下面，由起重小车起吊送至桥位安装。为使端段基肋在合龙前保持在一定位置，在其上先用扣索临时系住，然后才能松开吊索。吊装应自一孔桥的两端向中间对称进行，在最后一节拱肋吊装就位，并将各接头位置调整到规定高程后，才能放松吊索并将各接头合龙，最后才能将所有扣索撤去。

吊装施工的成败，关键在于保证基肋（指拱肋、拱箱或桁拱片）有足够的强度和稳定性，不仅要按单根构件在运输和吊装时的情况复核其强度和稳定性，更重要的是按基肋合龙时及合龙后所承担的荷载，检算其强度和稳定性。

基肋吊装合龙要拟定正确的施工程序和施工细则。拱桥跨度较大时，最好采用双基肋或多基肋合龙。此时，基肋与基肋间的横系梁或横隔板必须紧随拱段的拼接及时焊接。必要时可在基肋的上下两面内侧设置临时交叉斜杆以缩短基肋的自由长度。端段拱肋就位后，除上端用扣索拉住使之不下坠外，还应在左右两侧各用一对风缆牵住以免左右摆动。

中段拱肋就位时，缓慢地松吊索，使各接头顶紧，尽量避免简支搁置和冲击作用。当拱肋分五段吊装时，由于最后一段就位时或多或少的简支作用，第一接头可能上升，而第二个接头可能下降，为此应在第一个接头下侧也设拉索牵住，以防失稳。

施工时一般在每一接头处都设一对横撑或一对横向风缆来加强基肋的稳定性，注意两侧横向风缆的角度要对称。

2. 劲性骨架拱圈浇筑施工

劲性骨架法是采用劲性材料（如角钢、槽钢等型钢）作为拱圈的受力钢材，在施工过程中，先把这些钢骨架拼装成拱，作为施工钢骨架，然后再浇筑混凝土，将钢骨架浇筑在混凝土内部形成型钢混凝土拱。该方法的优点是可减少施工设备的用钢量，结构整体性好，拱轴线易于控制，施工进度快。但结构本身用钢量大且用型钢量多，造价较高，目前较少采用。

劲性骨架法主要施工步骤为：劲性钢骨架制作、劲性钢骨架安装、拱圈混凝土浇筑、梁和吊杆安装。

（1）劲性钢骨架制作

劲性钢骨架采用 16Mn 型钢焊接制成，按照 1:1 大样分段冷弯成形，在大样架上拼装成的钢骨架应进行探伤检测。

（2）劲性钢骨架安装

劲性钢骨架的安装关键应保证钢骨架在整个过程中的竖向和横向稳定性。安装时需根据计算要求，设置横向联系，每段骨架采用八字风缆固定。

（3）拱肋混凝土浇筑

拱肋混凝土浇筑的关键是保证钢骨架在浇筑混凝土过程中的稳定性，需根据计算布置

足够的横向连接系和横向风缆。拱肋混凝土在浇筑过程中, 钢骨架会随浇筑位置发生轴线变形。为适应钢骨架变形, 调整时可采用水箱压, 避免混凝土开裂, 应适当设置变形缝, 待混凝土浇筑完成后, 采用高强度混凝土填缝。

①钢管拱肋制作

a. 钢管卷制与焊接

钢板用火焰切割机切割, 但应将热力影响部分去掉。拱肋及横撑结构外表面均应先进行喷丸除锈, 按一级表面清理。钢板卷制前, 应根据要求将板端开好坡口, 将钢板送入卷板机卷制成直筒体, 卷管方向应与钢板压延方向一致。压制钢管的失圆度和对口错边偏差均应满足相应施工规范的要求, 将卷成的钢管纵向缝焊成直管。对焊成的直钢管应进行检查和校正, 以确保组装的精度。

b. 拱肋放样和拱肋段的拼装

将半跨拱肋在混凝土地面上按 1: 1 进行放样。沿放样的拱肋轴线设置胎架, 在大样上放出吊杆位置、段间接头位置和混凝土灌注孔位置。拱肋钢管的纵向焊缝各管节应相互错开, 并将纵向焊缝全部置于两肋板中间, 以免外表面焊缝影响美观。拱肋分段长度主要考虑从工厂到工地的运输能力, 分段长度一般为 10m 左右。

在拱肋上部钢管内施焊吊杆垫板、支架、吊杆套管和弹簧钢筋, 对管段焊缝质量进行超声检测和 X 光拍片检查, 对管段涂装防锈。对拱肋安装的吊点位置进行布置, 并在吊扣点位置增设加劲板, 以防圆管受荷时变形。

对各段端接头进行必要的加劲, 以防止吊装时拱肋端头碰撞, 局部变形, 难以对接施焊。段间接头外部增设法兰盘螺栓连接, 以便就位后作为临时连接。横向风撑等杆件与拱肋的焊接, 应根据拱肋安装方法而定。

当整孔安装或半孔安装时, 风撑应在工地安装前焊接完毕; 当采用缆索安装时, 风撑可在拱肋吊装完成后焊接分段拱肋。运至工地后, 再进行放样, 将几段拱肋拼成安装的长度。

②钢管拱肋混凝土浇筑

浇筑钢管拱肋内混凝土可采用泵送顶升浇灌法和吊斗浇捣法。泵送顶升浇灌法是在钢管拱肋、拱脚的位置安装一个带闸门的进料支管, 直接与泵车的输送管相连, 由泵车将混凝土连续不断地自下而上灌入钢管拱肋, 无须振捣。采用吊斗浇筑时, 在钢管拱肋顶部每隔 4m 开孔作为灌注孔和振捣孔。混凝土由吊斗运至拱肋灌注孔, 通过漏斗灌入孔内, 由插入式振捣棒对混凝土进行振捣。

灌注混凝土的配合比除满足强度指标外, 还应注意混凝土坍落度的选择。

为满足坍落度要求, 可掺入适量减水剂; 为减少收缩量, 可掺入适量的混凝土微膨胀剂。钢管内混凝土是否灌满, 混凝土收缩后与钢管壁形成空隙往往是较令人担心的问题。采用小铁锤敲击钢管听声音的方法是十分简单和有效的。当小锤敲击发出声音异常时, 可采用钻孔检查, 也可用超声波进行检测, 对有空隙部位进行钻孔压浆补强。大跨径钢管混凝土拱桥混凝土灌注可以分环或分段进行, 灌注时应从拱脚向拱顶对称进行。大跨径拱肋灌注混凝土时应应对拱肋变形和应力进行观测, 并在拱顶附近配置压重, 以保证施工安全。

二、斜拉桥施工

斜拉桥又名斜张桥, 是由斜拉索、索塔、主梁三种基本构件组成的超静定组合体系结构。采用高强钢材制成的斜拉索对主梁进行多点弹性支承, 并将主梁的恒荷载和车辆荷载传至塔柱, 再通过塔柱基础传至地基。

斜拉桥的斜拉索一般采用平行钢丝束或钢绞线, 上端与索塔的钢锚箱锚固, 下端张拉锚固在对应的主梁梁段上。斜拉索是斜拉体系中的关键, 可在运营阶段调整索力或进行更换。

斜拉桥的主梁高度一般较小,在斜拉桥发展前期,有悬臂梁和连续梁两种,目前主要采用连续梁作为主梁。根据主梁、索塔支承方式的不同,斜拉桥可分为简支体系、半悬浮体系、全悬浮体系、塔梁墩固结体系。

从斜拉桥的总体结构上看,依索塔的数量可分为独塔斜拉桥、双塔斜拉桥和多塔斜拉桥等类型,依索面的数量可分为单索面和双索面两种类型,依斜拉索的分布形状可分为竖琴形、扇形、星形、辐射形等类型。

斜拉桥一般可分为基础、索塔、主梁、斜拉索四部分。其中,基础施工与其他类型的桥梁相似;索塔的施工方法和桥墩的施工方法无很大区别,但索塔较大,构造形式多变(如倒Y形、钻石形等),塔顶索区构造复杂,如何保证各构件准确定位是索塔施工中的关键问题。对主梁而言,梁桥施工方法基本都可采用。只有索的施工,包括索的制造、架设和张拉具有其特殊性。斜拉桥作为一个整体,索塔、主梁、斜拉索的施工必须互相配合,服从工程设计意图。根据结构特点和受力特性,编制施工组织设计,做好施工过程控制,使成桥线形、内力符合设计和监控的要求。因此,本节以主梁、斜拉索、索塔为主线介绍斜拉桥的施工工艺。

(一) 索塔施工

索塔的构造远比一般桥墩复杂。塔柱可以是倾斜的,塔柱之间可能有横梁;塔内须设置管道以备斜拉索穿过锚固;塔顶有塔冠,并须设置航空标志灯及避雷器;沿塔壁须设置检修攀登步梯,塔内还可能设置观光电梯。因此,索塔的施工必须根据设计、构造要求统筹兼顾。

索塔的材料主要是钢、钢筋混凝土或预应力混凝土,故斜拉桥索塔分为钢索塔和混凝土索塔两类。一般来讲,钢索塔施工采用预制吊装,混凝土索塔施工采用搭架现浇、预制吊装、滑升模板浇筑、翻转模板浇筑、爬升模板浇筑等多种施工方法。同时,混凝土塔柱施工过程中会受施工偏差,混凝土收缩、徐变,基础沉降,风荷载,温度变化等因素影响,其几何尺寸、平面位置将发生变化。但无论是何种结构形式的索塔,采用哪种施工方法,施工过程中都必须实行严格的施工测量控制,以确保索塔施工质量及内应力分布满足设计及规范要求。

1. 索塔施工方法

(1) 搭架现浇

该施工方法工艺成熟,无须使用专用的施工设备就能适应较复杂的断面形式,对锚固区的预留孔道和预埋件的处理也较方便,但是比较费工、费料、速度慢。对于跨度200m左右的斜拉桥,一般塔高(指桥面以上部分)在40m左右,采用搭架现浇比较合适。广西红水河桥、济南黄河桥的索塔施工都是采用的这种方法。对于跨度更大的斜拉桥,塔柱一般可分为几段,各段的尺寸、倾角都不相同,往往采用不同的方法,下段比较适合搭架现浇。

(2) 预制吊装

该施工方法要求有专用的起重设备,当索塔不是太高时,可以加快施工进度,减轻高空作业的难度和劳动强度。

(3) 滑模、爬模施工

该施工方法的优点是施工进度快,适用于高塔的施工。塔柱无论是竖直的还是倾斜的,都可以采用该施工方法。例如,辽宁长兴岛斜拉桥塔高43m,索塔下节11.7m的斜腿段采用一般的塔架模板浇筑,竖直的上节塔柱则采用滑模或提升模施工;上海南浦大桥塔高150m,下塔柱净高29m,采用传统的脚手架翻模工艺,中塔柱净高55m,采用斜爬模施工,上塔柱采用爬模施工。

2. 钢索塔施工要点

钢索塔所用材料必须有出厂合格证明,使用前按规定对其力学性能和焊接性能进行检

验,合格后方可使用。在施工过程中应注意以下方面。

(1) 焊接作业

焊接作业应在室内进行,若必须在露天焊接,应采取防风、防雨措施。焊接材料应通过工艺评定确定。焊接工艺方法、施工环境及焊接预热温度应通过焊接试验和焊接工艺评定确定。焊工必须经过考试并取得资格证书,且只能从事资格证书中认定范围内的工作。焊工如果停焊 6 个月,应对其重新进行考核。

(2) 节段端面加工精度

表面粗糙度 R_a 值不大于 $12.5\mu\text{m}$,端面平面度不大于 $0.08\text{mm}/\text{m}$,全平面的平面度不大于 0.25mm ;立式匹配的垂直精度要求不大于 $1/10000$,端面几何尺寸偏差不大于 2mm 。金属接触率:壁板不小于 50% ,腹板不小于 40% ,加劲板不小于 25% 。

(3) 钢索塔与钢混结合段或基础的连接

当采用螺栓锚固时,承压板与混凝土之间必须保持密切接触,混凝土表面应抛光磨平并对承压板进行切削;当采用埋入式锚固时,必须保证底座的安装精度。轴线偏差不大于 3mm ,顶面标高容许误差不大于 1.5mm ,垂直度偏差不大于 $1/4500$ 。

(4) 塔柱节段和横梁吊装施工

①必须编制详细的塔柱节段和横梁吊装施工工艺,架设前应核对塔柱节段和横梁的起吊重量。

②塔柱节段和横梁吊装前应进行稳定性验算,对必要部位应进行临时加固,并进行试吊,确认无误后方可起吊安装。钢塔架设测量和定位应在阴天或日出之前温度较低且稳定的时段进行。

③塔柱节段安装前,应除去其上毛刺、飞边、焊接飞溅物,并用细铜丝刷、干净棉丝除去栓接板面和栓孔内的脏物。对沾有油污处,应用汽油或丙酮擦净。栓接板面必须干燥,严禁雨中作业。

④塔柱节段安装时应使板层密贴,对翘曲板面应予以平整。使用不少于螺栓孔总数 10% 的冲钉定位,同时使用不少于螺栓孔总数 20% 的普通螺栓临时紧固,严禁用高强度螺栓兼作安装螺栓。

(5) 螺栓施工

①高强度螺栓连接副的安装应在塔柱节段位置调整准确后进行,高强度螺栓、螺母、垫圈必须按生产厂提供的批号配套使用,并不得改变其出厂状态。

②安装螺栓时,应在板束外侧各置一个垫圈,其有内倒角的一侧应分别朝向螺栓头和螺母支承面。螺栓的穿入方向以方便施拧和维修为原则,但各墩钢塔的螺栓穿入方向应一致。

③安装螺栓时,严禁强行穿入。对于不能自由穿入螺栓的孔,应用与螺栓孔直径相同的铰刀或钻头进行铰孔或扩钻孔。严禁采用气割方法扩孔。为防止钢屑掉入板层缝隙中,铰孔或扩孔前应全部拧紧该孔四周螺栓,对于铰孔或扩钻孔的位置应做好施工记录。

(6) 倾斜索塔架设

倾斜索塔架设时,应验算索塔内力,控制成塔线形,分段设置水平横撑。

钢索塔架设时,应制订安全施工管理细则,充分考虑气候的影响。在钢索塔架设过程中及施工完成状态下,应分阶段采取抑振措施,以保证索塔、塔吊的结构安全性以及施工的舒适性。

3. 混凝土索塔施工要点

混凝土索塔的施工方法应综合考虑结构、体形、施工设备和设计要求。混凝土索塔施工过程中,应避免塔梁交叉施工作业,必须交叉施工时应根据设计要求和施工方法采取保证塔、梁质量和施工安全的措施。同时,施工中除设置相应的塔吊外,还应设置工作电梯

及安全通道。

在施工过程中应注意以下几个方面。

(1) 混凝土输送泵

索塔混凝土现浇时应根据索塔高度及混凝土供应能力选用适宜的输送泵。超过一台泵的工作高度时,可接力泵送。在满足第二台泵工作能力的前提下,应尽量降低接力站台的高度。

(2) 混凝土塔座施工

混凝土塔座施工中,应控制好模板的平面位置和倾斜度,并应采取温度控制措施对混凝土加强养护。

(3) 索塔横梁施工

索塔横梁施工时,应根据其结构、重量及支撑高度,设置可靠的模板和支撑系统。其强度、刚度和稳定性必须满足要求,支撑系统的弹性和非弹性变形、基础不均匀沉降、日照温差等因素对支撑的影响应控制在容许范围以内,必要时应设支承千斤顶调控。体积过大的横梁可分次浇筑。

(4) 倾斜塔柱施工

倾斜塔柱施工时,必须对各施工阶段塔柱的强度和变形进行验算,应分高度设置主动横撑,使其线形、内力、倾斜度满足设计要求,并保证施工期间结构的安全。

(5) 劲性骨架的设置

宜在索塔施工中设置劲性钢骨架,以保证钢筋架立和索管空间定位的精度。劲性骨架应在工厂分节段加工,在现场分段超前拼接,精确定位。

(6) 上塔柱钢锚箱施工

上塔柱钢锚箱施工时,宜先进行钢锚箱安装,后浇筑混凝土。钢锚箱安装时应按以下规定执行:

- ①根据钢锚箱的结构特点,确定吊装方法及吊具,并验算安全性;
- ②钢锚箱吊装宜控制在 10m/s 以下风速的时段进行;
- ③首节钢锚箱安装轴线允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$,倾斜度误差不大于 $1/3000$;
- ④当总体倾斜度误差不能满足要求时,应分段设置调整垫片。

(7) 上塔柱环形预应力施工

上塔柱环形预应力施工时,应按以下规定执行:

- ①预应力管道埋设应线形圆顺,过渡平滑,坐标误差不大于 10mm ,并用定位筋固定,同时采取措施防止漏浆。
- ②严禁混凝土直接冲击波纹管,严禁振捣棒碰撞波纹管。
- ③施加预应力时宜两端同时张拉,以减少预应力损失。应采取措施防止预应力钢绞线受力不均匀造成的断丝现象。
- ④环形预应力管道压浆宜采用真空辅助压浆工艺。
- ⑤拉索预埋导管安装测量时,宜控制进、出口中心坐标,并应复核施工图是否已进行拉索的垂度修正。

(8) 外观质量控制

对混凝土索塔施工的不同阶段,应采取下列相应措施,以保证索塔混凝土的外观质量。

- ①索塔各部分应采用同一厂家、同一品牌的水泥和外掺剂,并宜采用同一料场的粗集料。
- ②应确保混凝土保护层的厚度,避免混凝土表面出现锈痕或露筋,同时应防止由于保护层过厚而引起的混凝土表面裂纹。
- ③应避免上部塔体施工对下部塔体表面造成污染。

④永久预埋件的表面必须进行防锈处理,临时预埋件应采取临时防护措施,使用完成后必须进行修饰。

⑤塔身模板应选用大面模板。模板平整度应小于等于 5mm,相邻两块模板表面高度差应小于等于 2mm。模板安装时表面应保持干净,脱模剂宜使用水性脱模剂,涂抹应薄且均匀。

⑥混凝土布料时,应按一定的平面距离布设串筒,并控制其倾落高度不超过 2m,以确保混凝土不离析。混凝土应分层浇筑,每层厚度不超过 300mm。

(9) 施工过程中的安全措施

混凝土索塔施工时必须按下列要求制订整体和局部的安全措施:

①设置运输安全设施,如塔吊起重量限制器、断索防护器、钢索防扭器、风压脱离开关等;

②考虑雷击、强风、暴雨、寒暑、飞行器等对施工的影响;

③防范坠落和作业事故的发生,并有应急措施;

④应对塔吊、支架等施工设备的安装、使用和拆除阶段的强度和稳定性进行验算,并加强施工过程中的检查。

(二) 主梁施工

混凝土梁桥施工中的任何一种合适的方法,如支架上拼装或现浇、悬臂拼装或浇筑、顶推法和平转法等,都有可能在混凝土斜拉桥上部结构的施工中采用。斜拉桥梁体尺寸较小,各节间有拉索,还可以利用索塔来架设辅助钢索,因此更有利于采用无支架施工法。其中,悬臂施工法是混凝土斜拉桥施工中普遍采用的方法。究竟采用哪种方法,设计者须根据斜拉桥跨越障碍的情况、斜拉桥本身的结构与构造等进行综合研究确定。

1. 混凝土主梁

混凝土主梁施工应根据设计要求、地形环境、施工设备、施工成本等进行综合考虑后,选用安全、经济、合理的施工方案。在选用施工方案时,应采取有效措施防止施工荷载超过设计允许的临时荷载,以免造成主梁线形、内力以及斜拉索力偏差过大。

(1) 悬臂拼装法施工

主梁采用悬臂拼装法施工时,应按下列规定施工:

①如设计无规定,预制梁段宜选用长线台座(可分段设置),端面不应随意修补。

②应在底模上调整主梁分段形体所受竖曲线、预拱度的影响。

③梁段拼合前应试拼,以便及时调整线形。

④接缝黏合料应满足有关规定的要求,配合比和拌和工艺应通过试验确定。

⑤湿接缝拼合面应进行表面凿毛和清洗,干接缝应保持结合面清洁。黏合料应涂刷均匀,不得出现缺胶现象,厚度宜为 1~1.5mm,挤压后厚度为 0.5~1.0mm;黏合料应在不小于 0.3MPa 的压力下凝固。

⑥采用垫片调整梁段拼装线形时,每次调整的高程不应大于 20mm。

⑦主梁拼装时,对于 0 号梁及其相邻的梁段,其纵、横向轴线和标高误差应不大于 5mm。其他梁段按设计线形控制各块末端的底面、顶面标高及桥轴向位置。

(2) 悬臂浇筑法施工

主梁采用悬臂浇筑法施工时,应按下列规定进行。

①主梁 0 号段及其相邻的梁段在支架上浇筑时,应采取措施消除温度、支架的弹性和非弹性变形及支承沉降等因素对变形和施工质量的不良影响。

②采用挂篮悬臂浇筑法施工时,除应符合梁桥挂篮施工的有关规定外,还应按下列规定执行:

a. 挂篮全部构件制作完成后均应进行检验和试拼,合格后再于现场整体组装检验,并

按设计荷载及技术要求进行预压,同时测定挂篮的弹性挠度,调整高程性能及其他技术性能;

- b. 挂篮设计和主梁浇筑时,应考虑抗风振的刚度要求;
- c. 拉索张拉应对称、同步进行,以减少其对塔与梁位移和内力的影响。

(3) 合龙梁段施工

合龙梁段施工时,应采用以下措施改善合龙段的受力状况:

①观测合龙前连续 2~3d 的昼夜温度差变化与合龙梁段高程、长度变化的关系,选定一天中温度最低、温度变化幅度最小的时段作为合龙时间;

②合龙施工宜采用无应力合龙工艺;

③应按设计要求设置临时刚性连接,控制合龙口长度及其轴线与高程的变化;

④合龙梁段浇筑完成后至纵向预应力束张拉前,应禁止施工荷载的超平衡变化;

⑤预应力孔道压浆宜采用真空辅助压浆工艺。

大跨径主梁施工时,应尽量缩短长悬臂持续时间,以减少风振的不利影响,必要时应采取临时抗风措施。长拉索在抗振阻尼支点安装前,应采取临时减振措施,以抑制和减小拉索的振动。

2. 钢主梁

钢主梁应由具备相应资质的专业单位加工制作并试拼,经检验合格后安全运至工地备用。钢主梁堆放时应无损伤、无变形、无腐蚀。钢主梁包括钢箱梁和钢桁梁。

(1) 钢箱梁架设安装

钢箱梁架设安装应按下列规定执行:

①制作钢箱梁的材料和焊接工艺应符合设计要求。焊接材料的选用、焊接要求、加工成品、涂装等项的标准和检验内容均应按现行规范的规定执行,并编制相应的工艺操作规程。

②应制订钢箱梁吊装和节间连接工艺标准及焊接和栓接工艺检验标准。

③对于塔下无索区梁段施工,采用托架支撑时,应在托架与梁体间预留一定高度,以便于安装梁体的精确定位。

④钢箱梁 0 号块的安装精度除应满足规范规定外,还应严格控制加工精度:梁长偏差为 $\pm 1\text{mm}$,上、下游外腹板顶面高差为 1mm 。

⑤应采取措施消除钢箱梁接缝高差,以使高差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。

⑥合龙段施工前,应严格控制施工荷载引起的标高和索力变化,对全部梁段的标高、中线、塔顶变位和索力应进行复测,以了解合龙前后塔、梁的变化情况,为施工监控提供合龙计算依据。

⑦对合龙梁段的连日温度变形,应持续观测 48h,每隔 2h 对合龙口两侧梁端标高和中线以及合龙口宽度进行观测。确定适宜的合龙温度及施工程序,并应满足钢梁安装就位时高强度螺栓定位所需的时间。

⑧主梁安装应采取相应的安全保障措施。例如,每次吊装钢箱梁时,应严格检查吊具及起重设备,以杜绝安全隐患。

(2) 钢桁梁架设安装

钢桁梁架设安装施工应按以下规定执行:

①钢桁梁施工应编制实施性施工组织设计、施工工艺设计。

②钢桁梁杆件存放场地应平整、密实、排水良好,基础应具有足够的强度,防止产生不均匀沉降。

同时钢桁梁杆件在存放时应离开底面一定高度,以防止杆件发生积水锈蚀和栓接板面损坏、污染。

③钢桁梁杆件预拼图应根据钢桁梁设计图和钢桁梁拼装顺序绘制,应标明预拼杆件位置编号、节点板位置编号。

④高强度螺栓连接副施拧使用的扳手,使用前、后必须进行标定,扳手扭矩偏差不应大于使用扭矩值的 $\pm 5\%$ 。

⑤杆件拼装前,必须对工厂随梁发送的栓接板面抗滑移系数试件进行检验。抗滑移系数符合设计要求后才能安装。

⑥高强度螺栓副的规格质量、扭矩系数必须符合设计要求和相关标准的规定。

⑦由板厚小于 32mm 板组成的板束,其板层缝隙必须满足 0.3mm 插片深入缝隙深度不大于 20mm 的要求。其他板束必须符合设计要求。

⑧磨光顶紧节点预拼时,必须按工厂的编号组拼,不得调换、调边或反面拼装。磨光顶紧处缝隙不大于 0.2mm 的密贴面积应不大于 75%。

3. 钢-混凝土组合梁

钢-混凝土组合梁包括钢桁架与混凝土桥面板组成的组合梁及钢箱梁与混凝土桥面板组成的组合梁。

(1) 桥面板施工

桥面板宜预制,并在良好的条件下养护较长时间,应存放 6 个月以上才可使用。对跨径不大的组合梁,也可采用现浇桥面板。桥面板安装前,必须将钢梁与桥面板的接合面及剪力连接装置表面清理干净,剪力连接装置应无锈蚀、损害等缺陷;应复核桥面板的尺寸、型号,使其符合设计要求;应验算吊点的局部应力,避免混凝土开裂。

(2) 组合梁拼装

组合梁拼装工艺应根据试验确定,应最大限度地克服桥面板混凝土施工和预应力张拉对钢结构的影响。组合梁整体预制时,钢结构制造和混凝土桥面板施工应分别在钢结构胎架和混凝土胎架上进行流水作业。混凝土胎架地基基础应进行加固,严格控制沉降变形。钢结构上混凝土胎架后,应调整好轴线和标高,随后分段浇筑桥面板混凝土。

(3) 钢构架预制

桥面板与钢构架分开预制时,桥面板底面平整度要求高,应选择理想的施工台座,并控制其平整度误差,宜采用混凝土水磨石台座。钢构架按拼装顺序在厂内预制并进行试拼装,每次应试拼装不少于 3 个节段,应经过验收并签发产品合格证后,才能运往工地安装。

(4) 现场安装

安装前应对主塔墩、辅助墩、边墩的中线、里程、高程和跨径进行复测。安装过程中必须检查验收支座顶标高、中线、里程,支座安装时各项偏差值应控制在允许范围内。主梁的安装与斜拉索的张拉宜同步进行,所有梁段拼接点的定位标高、转角和索力都必须进行严格控制,以满足设计线形的要求。

(5) 接缝混凝土

各桥面板单元之间的接缝混凝土应选择微膨胀低收缩混凝土,设计配合比时应尽量控制水泥用量,以减少混凝土的收缩、徐变。

(6) 横向预应力张拉

横向预应力张拉宜在混凝土龄期达 14d 后进行。预应力张拉完成后,才能进行结合面预拼装施工。

4. 钢-混凝土混合梁

混合梁施工时,分钢主梁和混凝土主梁两部分,分别按钢主梁和混凝土主梁的规定施工。主梁施工质量控制标准见表 8-3~表 8-5。

钢主梁和混凝土主梁结合段施工应按以下规定执行:

①结合段应在工厂预制,检验合格运至现场安装后再浇筑填充混凝土。

②填充混凝土的配合比应通过试验确定,宜选择微膨胀低收缩混凝土,设计配合比时应尽量控制水泥用量。浇筑时应充分振捣,保证密实性。

③处理结合面时不能降低其黏结性能。

④应对称张拉钢-混凝土连接预应力筋。

5. 主梁施工控制

主梁施工时必须进行施工控制,即对梁体每一施工阶段的结果进行详细检测、分析和验算,以确定下一施工阶段拉索张拉量值和主梁线形、高程及索塔位移控制量值,直至合龙成桥。对塔梁非固结的斜拉桥,施工时必须使塔梁临时固结,合龙后按要求程序解除临时固结,完成结构的体系转换。施工期间应加强对临时固结的观察。

(三) 拉索施工

斜拉索是指由高强钢丝为材料制成的斜缆索,其类型有平行钢丝拉索和钢绞线拉索两种。前者多为工地现场制作;后者则为工厂制作,具有较高的内在质量和防腐能力,有条件时宜优先考虑采用。每一根斜拉索都包括钢索和锚具两大部分。钢索承受拉力,设置在钢索两端的锚具用来传递拉力。

1. 平行钢丝拉索

(1) 拉索的安装

①宜根据塔高、布索方式、索长、索径、索的刚柔程度、起重设备和施工现场状况等综合选择安装方法。

②安装前应根据索长、索重、斜度和风力等因素,计算安装过程中锚头与索管口的距离以及锚头带锚环时的牵引力,以综合选择架设方案和设备。

③施工中不得损伤索体保护层和索端锚头及螺纹,不得堆压、弯折索体。

④施工中,拉索抗振的约束环和减振器未安装前,必须确保索管(特别是梁上索管)和锚端的防水、防腐和防污染。施工过程中应设置临时减振设施。

(2) 拉索的张拉

①张拉施工的设备和方法应根据设计的索型、锚具、布索方式及塔和梁的构造确定。

②拉索张拉的顺序、级次数和量值应按设计规定执行。应以振动频率计测定的索力或油压表量值为准,以延伸值作校核,并应视拉索防振圈以及弯曲刚度的状况对测值予以修正。

③拉索张拉可于塔端或梁端单端进行,也可顶升索鞍支座进行。平行钢丝拉索宜采用整体张拉。

④索塔顺桥向两侧的拉索(组)和横桥向对称的拉索(组)必须对称、同步张拉;同步张拉时不同步索力的相差值不得超出设计规定;两侧不对称或设计拉力不同的拉索,应按设计规定的索力分级同步张拉,各千斤顶同步之差不得大于油压表读数的最小分格,索力终值误差小于 $\pm 2\%$ 。

⑤拉索锚固时不宜在锚环与承压板间加垫。需要加垫时,其垫圈材料和强度应符合承压要求,并应设成两个密贴带扣的半圆。

⑥拉索张拉完成后,悬臂施工跨中合龙前后,当梁体内预应力钢筋全部张拉完且桥面及附属设备安装完时,应采用传感器或振动频率测力计检测各拉索索力值,同时应视防振圈及索的弯曲刚度等状况对测值予以修正。每组及每索的拉力误差超过设计规定时应进行调整。调整时可从超过或低于设计索力最大的拉索开始(放或拉),直至调为设计索力。调索时应对塔和相应梁段进行位移检测,并做好存档记录。记录内容包括日期、时间、环境温度、索力、索伸缩量、桥面荷载状况、塔梁的变位量及主要相关控制断面应力等。

2. 钢绞线拉索

(1) 拉索的制作

①钢绞线拉索包括环氧树脂涂层钢绞线拉索、镀锌钢绞线拉索、光面钢绞线拉索三种类型。钢绞线的各项性能应满足相应规范的要求。单根索外护套管的长度应通过连续挤压或标准管段经熔融焊接而成。锚具应委托专业单位制作,且具有互换性。

②钢绞线拉索在安装前要进行防腐处理。无黏结拉索锚头部分应进行有效防腐并予以密封,防腐或经定期保养后的防腐效果应保证其使用寿命大于或等于拉索的设计使用寿命。有黏结拉索应将锚板、支撑筒、延长筒部分灌注抗老化性能好、强度大于 50MPa 的固结混合物,灌浆时应保证浆体的密实性和均匀性。部分斜拉桥的有黏结拉索应将抗滑锚筒、拉索、塔侧挡板间灌注抗老化性能好、强度大于 50MPa 的固结混合物,灌浆时应保证浆体的密实性和均匀性。灌浆后要在锚具上安装保护罩,并在保护罩内灌注油脂对裸露的钢绞线、夹片和锚板进行防腐。

(2) 拉索的安装

①挂索施工前,需在桥面适当位置安装钢绞线放线架、导向轮、切割工作平台、锚头设备以及切割的相关设备,在塔柱外索鞍两侧附近安装工作平台和起吊设备。

②HDPE(高密度聚乙烯)外套管起吊时,不准在未加支垫保护的桥面上拖拽,与其有连接关系或承套关系的所有部件均须与其临时固定。HDPE 外套管临时固定时,应保证其两端与梁上预埋管口和塔上锚垫板各留出 1m 左右的空间。起吊过程中,其下方严禁站人。

③拉索的安装可根据塔高、索长、索重、起重设备和施工现场状况等综合选择架设方法。

④施工中不得损伤索体保护层和锚具外螺纹。应保护拉索不被腐蚀、加热、磨损和受其他不利影响。

⑤锚具与钢绞线组成无黏结斜拉索,要保证能对钢绞线实行单根更换,否则视为不合格。

(3) 拉索的张拉

①钢绞线拉索宜采用单根钢绞线安装、单根张拉,最后整体张拉的施工方案。单根张拉应按分级、等值的原则进行。调索以控制所有钢绞线延伸量相同为原则。

②张拉宜以索力值为准,以延伸值作校核。索力值以应力传感器、数显或数控智能张拉设备、油压表量值为准,并根据设备与施工状况对测量值予以修正。

③当一根拉索张拉完毕后,至少 20% 的钢绞线需要进行索力测试。如果单根钢绞线的索力与平均索力的差值大于 3%,则所有的钢绞线需重新张拉;如果实际总索力超出或少于设计索力的 1%,则所有的钢绞线需重新张拉。

④每根拉索同级的索力允许误差为 $\pm 1\%$ 。

⑤拉索张拉完成后,应对各个锚固单元进行顶压,并安装防松装置。

⑥拉索张拉完毕后,必须对拉索进行最后组装,对拉索进行抗震防护与防腐处理。无黏结拉索防腐填料不允许灌注环氧树脂、水泥浆等固结材料。

⑦部分预应力斜拉桥每张拉完一根钢绞线后,必须对索鞍两侧管口进行封堵,保证雨水与杂物不进入管内。

⑧拉索施工应进行专门的施工控制。施工过程中应作永久记录。记录内容包括:工程几何尺寸、测量记录、施工日期、时间、环境温度、天气状况、索力测量、拉索延伸量测量、垫片安装或锁定螺母装置、桥面荷载条件、桥面线形的变化、每一拉索调节值、每一拉索的最终索力值等。应对桥梁的梁体、塔柱、拉索相互之间的线形与受力变化进行调整与控制,对因环境因素与施工因素所出现的偏差进行预测与控制。

第六章 道路工程施工管理

第一节 道路工程养护管理

一、道路的养护管理

(一) 道路设施的移交与接管

为实现道路工程完工移交与接管工作的顺利对接,移交前,道路设施应满足国家、行业、地方标准及安全功能要求,并符合相关法律法规及地方文件的规定。

1. 参与设计方案审查等活动

提前介入道路建设活动是为了规范道路设施建设项目的竣工验收、移交与接管,充分发挥道路设施的使用功能。鉴于道路项目建设单位和管理单位并非同一行政主管部门,需要道路建设单位在工程建设初期,即施工图交底前,将初步设施批复等相关资料送交接管行政主管部门进行登记,界定接管的单位,并通知接管单位参与道路建设活动。

(1) 参与初步设计方案审查

依据相关文件精神,涉及项目审批、初步设计方案审查的活动,应当通知城市管理部门参加,听取其意见。如有不符合城市道路专项规划、设计规范、养护管理标准等问题,或对道路设施运行产生影响的,应当以书面形式向建设单位提出改进意见。

规划主管部门在审定新建、扩建、改建城市道路工程的初步设计方案时,应当征求道路主管部门、公安交管部门以及依附于城市道路的各种管线、杆线设施管理单位的意见。道路主管部门、公安交管部门以及各有关单位提出书面意见。

道路主管部门在制订城市道路改造、大修工程设计方案时,应当符合城市规划的要求,并应当征求公安交管部门以及依附于城市道路的各种管线、杆线设施管理单位的意见。公安交管部门以及各有关单位提出书面意见。

(2) 参与施工图交底、设计变更

确定道路接管单位后,该道路接管单位应及时参加施工图审查和施工图交底,并以工程初步设计批复为依据,结合道路管养的实际情况提出意见和建议,对可能影响道路设施运行安全及管理的事项,建设单位应提交相关的处理方案或签订保护协议,对可能影响道路设施运行安全及管理的施工行为,应报行政主管部门批准后实施。

(3) 参加竣工验收

接管单位参与竣工验收检查,对项目使用功能是否达到设计批复要求进行检查和资料审查,并将查实的问题以检查记录表的形式告知道路建设单位。由道路建设单位组织参建单位对查实的问题进行整改,同时将整改情况予以反馈。上述问题整改消项之后,接管单位才能参加竣工验收会议并给予通报,同时,审查竣工资料,必要时提出相应的处理意见和建议。

2. 具体实施移交与接管

项目完成竣工验收、备案之后进行移交。移交时,应明确道路设施的内容和范围,以及红线的界定。同时,对因施工造成的地形变化等不足做必要的处理。移交工作一般由道路建设单位牵头,移交方和接管方同为主体责任单位。双方主体责任单位可成立移交工作小组,小组成员可由熟悉本工程的建设、施工、监理、设计等单位组成,具体实施移交与接管工作。

(1) 确定移交与接管形式

此项移交可采取一次性移交、有条件移交和延期移交三种移交形式。

通常,符合移交接管要求的,应进行一次性移交;如资料不够完整,可进行有条件移交,并在三个月内将相关资料补充完整;如果存在施工质量问题、功能性指标不符合要求,

且不能通过整改按时完成移交的,则应延期移交,延期期间移交方必须按相关规范要求要求进行管养。

(2) 签订移交接管协议

根据竣工验收会议,已形成竣工验收合格意见的,即可签订移交接管协议。之后,由接管单位做好道路设施管理工作。超期项目应委托有资质的检查鉴定机构鉴定工程质量,合格后方可移交与接管。

(3) 质量保修与回访期

质量保修、回访期从竣工验收合格之日起开始计算,期限设定应符合有关规定要求。在项目质量保修、回访期内,道路建设单位和接管单位应及时掌握由于工程质量而影响使用功能的问题,以及竣工验收承诺的有关整改情况检查等,了解其是否都已整改到位。质量保修、回访期届满,道路接管单位根据质量保修、回访情况签署接管意见,并向有关机构备案。

(二) 道路养护检查考核

1. 养护运行考核的要求

(1) 养护运行需求配置

根据道路的面积、养护等级等,配置相应的专业技术人员。专业技术人员应包括养护工程师、施工员、安全员、档案(信息)管理员及养护工等。

养护工程师应具有本科以上学历、三年以上市政专业工作经验,并具备中级职称资格。安全员经岗位培训考核合格。档案管理员应取得档案管理员资格。信息管理员为从事计算机或相关专业的人员。现场养护人员经培训且通过现场操作考核,合格后方可持证上岗。

应按需合理配备养护工。

道路面积 500000m²以下,需配备 1 个沥青班(8~10 人)、2 个人行道班(每班 4~5 人)、1 个排水班(4~5 人)、1 个管道检测班(4~5 人)。

道路面积 500000m²~800000m²,需配备 2 个沥青班(每班 8~10 人)、3 个人行道班(每班 4~5 人)、2 个排水班(每班 4~5 人)、1 个管道检测班(4~5 人)。

道路面积 800000m²~1100000m²,需配备 3 个沥青班(每班 8~10 人)、4 个人行道班(每班 4~5 人)、3 个排水班(每班 4~5 人)、1 个管道检测班(4~5 人)。

应合理配备养护机具设备。

每个沥青班可配备 1 台铣刨机、1 台压路机、1 台保温车、2 辆车;每个人行道班配备 1 辆车;每个管道检测班配备冲洗车、吸泥车、毒气检测仪,以及水泵、封堵气囊、CCTV(管道内窥摄像)检测仪等设备。

(2) 检查考核内容及形式

城市道路方面的考核包含巡查、日常养护、日常检测、重大活动保障、交办工作执行等内容,一般通过第三方检测进行考核评定。最终,将路面 PQI 指数(路面行驶质量指数)评价结果,作为“最佳”“最差”道路养护评比的依据。

随路排水管渠考核。从设施养护、道路积水、安全文明作业、排水许可、应急处置、资料管理等方面开展考核。

随路桥梁考核。以现有随路桥梁为抽样基数,每月随机抽取一定数量的桥梁进行检查考核,对扣分进行累计,得出当月桥梁日常检查考核的分数。

日常检查及社会监督。从以下几方面检查:未按要求处治的损坏问题;临时占用挖掘和临时排水接管、排水等违章行为;超时结案、修复质量问题;群众投诉,社会监督部门、媒体及领导点名批评等问题。

综合考核。主要从制度建设、目标管理、工程管理、信息管理等方面开展。

年度考核得分由月度平均得分、综合考核得分两项组成。技术创新、技术状况和技能

竞赛等内容可作为加分项目纳入年度考核体系。

2. 养护作业考核的要求

(1) 沥青路面养护考核要求

沥青路面应进行经常性和预防性养护。

制订病害维修方案，并按计划进行维修。

处理坑槽、沉陷、车辙等病害，需将原路面面层挖除，要求当日开挖，当日修补，当日完工。

病害修补的轮廓线应与路面中心线平行或垂直，并向外扩展 100~150mm，修补部分与原路面连接应贴切、密实。

冬季降雪天气应及时除雪除冰，并采取必要的防滑措施。

(2) 人行道养护考核要求

人行道表面平整，无积水，砌块无松动、残缺；所需更换的砌块色彩、强度、块型、尺寸与原面层砌块一致。当发生下沉和拱起时，应对基础进行维修。

缘石、踏步稳定牢固，不得缺失。

树池框不得凸起、残缺。

人行道上检查井不得凸起、沉陷，井盖不得缺失；井周或与构筑物接壤的砌块宜切块补齐，不宜切块补齐的部分应及时填补平整。

盲道砌块缺失、损坏应及时维修。提示盲道的块型、位置应安装正确。

(3) 缘石养护考核要求

缘石应保持稳固、直顺。所需更换的缘石规格、材质与原路缘石一致，并采取 C15 水泥混凝土做立缘石背填；花岗岩、大理石缘石其缝宽不得小于 3mm，最大不得超过 10mm。

(4) 窨井养护考核要求

保持检查井与路面平整，采用新型防沉降盖座。

(三) 道路养护检测与状况评价

1. 路面状况调查

同一道路以 200~500m 为一个检查单元，不足 500m 的可单独作为一个检查单元。水泥混凝土路面评价面积不超过 5000m²。历次检测和评价所选取的单元应保持相对固定，而同一单元内各类道路设施的养护状况分别进行评定。

城市道路养护状况调查内容应包括车行道、人行道（含路缘石）、路基、排水设施、其他设施的破损状况，调查时可采用全面或抽样调查方式，大城市较大规模调查工作宜采用先进仪器设备快速检查，其他可采用人工调查方法。

调查数据应由城市道路养护管理机构组织采集，也可委托专门检测机构采集。参与数据采集的人员应熟悉路面病害类型区分，界定各类病害，准确丈量损坏面积，不规则形状的损坏面积应按当量面积计算。

2. 路面检测类别

路面检测根据其内容、周期分为经常性巡查、定期检测和特殊检测三类，并根据检测结果进行路面技术状况的评价。

(1) 经常性巡查

经常性巡查应由经过培训的专职道路管理人员或养护技术人员负责。

巡查方式宜以目测为主，I 等养护的道路宜每日一巡，II 等养护的道路宜两日一巡，III 等养护的道路宜三日一巡。巡查过程中发现设施明显损坏，影响车辆和行人安全的，应及时采取相应养护措施，特殊情况可设专人看护，并应及时填写设施损坏通知单。

经常性巡查内容包括：检查路面及附属设施外观完好情况，检查客井盖、雨水算完好情况，检查路面积水、路基沉陷、变形、破损等情况；检查施工作业对道路设施的影响。

在经常性巡查中,当发现道路沉陷、出现孔洞或大于 100mm 的错台以及窨井盖、雨水口算子丢失等影响道路安全运营的情况时,第一发现人应按应急预案处置,立即上报,并设置围挡,在现场监视。

(2) 定期检测

定期检测可分为常规检测和结构强度检测两种。其检测结果可作为道路评价和定级的依据。定期检测的情况记录、评价及对养护维修措施的建议,应及时整理、归档、上报。

常规检测每年一次,按城镇道路资料卡现场校核基本数据,检测损坏情况,判断损坏原因,确定养护范围和方案;对难以判断损坏程度和原因的道路,提出进行特殊检测的建议。具体内容包括车行道、人行道、广场铺装的平整度,相关设施的病害与缺陷,以及基础和附属设施损坏状况。

快速路、主干路结构强度检测宜每两三年一次;次干路、支路宜每三四年一次。结构强度检测由专业单位承担,由具有城市道路养护、管理、设计、施工经验的技术人员参加。检测负责人应具有 5 年以上城镇道路专业工作经验。

定期检测采用的仪器设备。平整度检测可采用激光平整度仪,次干路、支路可采用平整度仪或 3m 直尺等。路面损坏检测可采用路况摄像仪,次干路、支路可采用常规方法量测。

(3) 特殊检测

当出现下列情况之一,即道路大修、改扩建,道路发生不明原因的沉陷、开裂、冒水,在道路下方进行管涵顶进、降水作业、隧道开挖等工程施工,道路超过设计使用年限时,应进行特殊检测。

进行特殊检测时应收集道路的设计、竣工、检测评价、特殊工艺技术、交通量统计等方面的资料,检测结构强度,调查道路沉陷和出现孔洞的原因等,并对道路结构整体性能、功能进行评价。

检测和评价时要求记录道路当前状况,了解车辆和交通量的影响,跟踪结构与材料的使用性能变化,对检测结果进行评价,将评价结果提供给养护、设计部门。城市道路的技术状况应根据检测和评价结果划分等级。

3. 道路养护技术档案

为了掌握道路的现状,要准确及时地记载道路检测和维修的相关数据以及维修的情况,并整理好资料进行存档。

存档资料能反映项目管理过程,所以,要求所有原始数据应按照标准统一进行录入,并以每条道路为单位汇总。原始资料与评定结果应整理造册,纳入城市道路养护管理档案。已建立城市道路养护管理系统数据库的城市,应以电子文档形式将各条道路历年养护状况评定结果保存,并制定相应的管理办法,确保养护档案的完整性和准确性,科学、规范地管理养护档案。

4. 道路检测评价主要内容及指标

(1) 路面技术状况评价

沥青路面技术状况评价包括路面行驶质量、路面损坏状况、路面结构强度、路面抗滑能力和综合评价,相应的评价指标为路面行驶质量指数(RQI)、路面状况指数(PCI)、路表回弹弯沉值、抗滑系数(BPN 或 SFC)和综合评价指数(PQI)。

水泥路面技术状况评价内容应包括路面行驶质量、路面损坏状况和综合评价,相应的评价指标为路面行驶质量指数(RQI)、路面状况指数(PCI)和综合评价指数(PQI)。

人行道铺装技术状况评价内容应包括平整度评价和损坏状况评价,相应的评价指标为人行道质量指数(FQI)和人行道状况指数(FCI)。

(2) 路面行驶质量和人行道铺装评价质量等级设置

沥青路面和水泥路面行驶质量评价应根据 RQI、IRI 或平整度标准差,将城镇道路路面

行驶质量分为 A、B、C 和 D 四个等级。

人行道铺装平整度评价应根据 FQI、IRI 或平整度标准差，将人行道质量分为 A、B、C 和 D 四个等级。

(3) 路面损坏状况评价

沥青路面和水泥路面损坏状况的评价指标应以 PCI 表示。PCI 为路面状况指数，数值范围为 0~100，如出现负值，则 PCI 取为 0。其中：沥青路面损害类型分为裂缝类、变形类、松散类和其他类；水泥路面的损坏类型分为裂缝类、接缝破坏类、表面破坏类和其他类。某单类损坏类型分线裂、网裂和碎裂三类。

人行道损坏状况评价指标应以人行道状况指数 (FCI) 表示。FCI 代表人行道状况指数，数值范围为 0~100，如出现负值，则 FCI 取为 0。损坏类型分别对应裂缝、松动（变形）和残缺三种。

(4) 沥青路面结构强度评价

沥青路面结构强度评价应根据沥青路面路表回弹弯沉值，将不同基层类型和交通量等级的沥青路面结构强度分为足够、临界和不足三个等级。

(四) 路面养护检测项目及方法

市政设施安全事故不仅会带来巨大的经济损失，还会伴随着负面的社会效应。为了尽早发现异常，及时将安全问题消灭在萌芽之时，城市道路的安全检测越来越受到重视，管理部门应积极地将路面破损、路面平整度、路面承载能力、路面抗滑能力等检测技术引入实际工程中，提早发现潜在的病害和风险。

1. 路面破损检测

(1) 路面破损的五种形式

路面破损可分为裂缝类、松散类、变形类、接缝类及其他类，每类破损可进一步分级。如表 6-1。

表 6-1 路面破损分类

类别	沥青路面	水泥混凝土路面
裂缝类	龟裂、不规则裂、纵裂、横裂	纵向、横向、斜向裂缝，断角，交叉裂缝
松散类	坑槽（含啃边）、脱皮、麻面	露骨、剥落、坑洞
变形类	沉陷、车辙、波浪、拥包	唧泥、错台、拱起、沉陷
接缝类		接缝材料破损、接缝破损
其他类	泛油、修补损坏	修补损坏

各种破损范围可按实测损坏面积计算，不规则形状的损坏面积按当量矩形面积估算。对于单条裂缝，其损坏面积按裂缝长度乘以 0.2 换算系数计算。对于车辙、拥包、波浪、坑槽，可用 3m 直尺测其最大间隙。

裂缝类。每百米桩之间划分为一个区间。对于沥青路面，凡成块（网）者则直接量测其面积；单条裂缝，则量测其实际长度，以长度计算。重点裂缝路线需要观测历年变化和发展情况时，可选取有代表性的路段，每年测定 1~2 次。水泥混凝土路面，在冬季裂缝最大时测定，可采用裂缝测定仪测定裂缝的宽度。

松散类。调查路段纵向每一个行车道每 100m 测 1 次（划分车道的按每个车道计，不划分车道的以全宽计），如果 1000m 内性状相似，可划分为一个代表区间，每隔 100m 做 1 次间隔测定，找出平均值作为本区段的代表值，单位为平方米。调查路段或代表路段还应量测坑槽的最大深度，并统计其个数，算出百分率作为修补时的依据。一般采用直尺或水平线绳量测，高等级路面应选用专用的设备测定。

保护层粗粒料磨细是将调查路段每 1000m 分 3 个点取样试验，凡其中 0.5mm 以下的细粉含量超过 20%（体积百分比）的，以其长度乘以保护层的宽度的面积计。

路面麻面和露骨采取实地量测方法,直接求算其面积并累计总数,如在 1000m 范围内性状类同,则可实测有代表性的 100m 的面积数,用以推算总面积。

变形类。调查路段按路面全宽沿纵向分成 50m 间隔,在间隔段落内进行测定。若某一间隔存有连续的波浪或搓板时,即以此类间隔个数乘以间隔的长度和车道的宽度记录其面积。对波浪还要量测其波峰与波谷的深度中的较大值。调查路段或代表路段的波浪深度以各断面的最大值的平均值表示。一般采用实地量测或专用设备量测和摄影等方法。

要了解错台、局部沉陷及桥头跳车情况,可在实地用水平线绳或仪器测量等方法,获取相关数据,计算其面积。如沉陷错台严重,应测量其沉陷值。错台也可采用错台仪或其他方法量测接缝两侧板边的高程差,量测点的位置在错台严重的车道右侧边缘内 300mm 处,以调查路段内各条接缝高程差的平均值表示该路段的平均错台量。

对于路面拱起的路段,应进行实地测量,计算其面积,并应设立临时水准点,测量其高度和深度的变化。

接缝类。旧混凝土面层板的接缝传荷能力和板底脱空状况可采用弯沉测试法调查评定。弯沉测试宜采用落锤式弯沉仪,也可采用梁式弯沉仪,其支点不得落在弯沉盆内。

其他类。路面泛油、油包的调查,是将调查路段按全宽范围沿纵向每隔 100m 量测 1 次,如果 1000m 范围内性状相似,可选取其中有代表性的一两处的数据,推算这 1000m 的面积。油包则应同时在每一区段中量测其高度的最大值。

(2) 路面破损常用检测方法

路面破损可选择车载高效摄影法和人工实地量测法两种方法。

车载高效摄影法。采用高速摄影车或其他高效测试设备摄影或录像来快速连续记录路面破损状况,并通过人工判读或图像识别在室内确定损坏类型、严重程度和范围。采用自动摄影车测试时,可按国家相关标准进行连续摄影或录像,然后在室内评定或用计算机检测裂缝等各类破损数量。

该方法主要用于行车速度较高、交通量较大的城市快速路和主干路的路面破损检测。但由于成本高,操作较困难,尚未在全国广泛推广使用,有条件的城市可使用该方法。

人工实地量测法。通常由 2~4 人组成调查小组沿线进行,主要通过目测、实地丈量和经验判断。该方法为每 1000m 抽取 100m 代表路段,各项检测都在该路段进行,以减少调查结果的变异性和保证各次调查结果的可比性。检测人员鉴别路段上出现的损坏类型和严重程度并丈量损坏范围,记录在调查表格上。

该方法操作简单,仪器设备要求不高,成本较低,是中国普遍采用的路面破损检测法,适用于车速不高、交通量较小的次干路和支路。

(3) 路面破损检测

沥青路面破损检测。一般因强度不足或疲劳引起的荷载性裂缝(龟裂),宜在春季等雨水较多的时期检测;因温度收缩等引起的非荷载性裂缝(块裂及横向裂缝),宜在冬季检测;车辙、拥包、波浪等热稳定性变形,宜在夏季检测;而松散类破损宜在雨季检测。也可在规定的时间内检测,需要时可定期检测,以了解破损情况。为便于检测裂缝,宜选择在雨后(或预先洒水)路表已干燥但尚有水迹的时候检测。

而选择测试路段时应量测其路面的长度及宽度,计算测试路段总面积,在毫米格纸上按比例绘制破损记录方格,填好里程桩号,记录破损位置(桩号),就地在方格纸上按比例描绘破损图,记录破损类别。

如路面不洁妨碍检测,应用扫帚清扫路面。检测前应通报有关交通管理部门,检测时应有专人指挥交通(必要时可封闭交通),并设置交通安全标志等以确保检测车及检测者的安全。

当采用高速摄影车或其他高效测试设备测试时,按有关使用说明书操作。采用自动摄

影车测试时,进行连续摄影或录像,然后在室内评定或用计算机检测裂缝等各类破损的数量。

人工检测时,由2~4人组成一组,沿路面仔细观察路面各类破损情况。检测裂缝时,一般以逆光检测较为清楚,对不明显的裂缝,可在裂缝位置用粉笔做出标记。

对路面车辙的量测,目前以人工实地量测为主。在测试路段上按一定间距(通常为50m)量测每个车道上的车辙深度,取其最大值。对代表车辙的量测以各断面最大车辙深度的平均值表示。

对于拥包、波浪、沉陷等变形类损坏,除记录面积外,尚应测记拥起的高度或下陷的深度。

水泥混凝土路面破损检测。选择在雨后路面已干燥但裂缝尚有水迹的时候检测。选定路段并量测其路面的长度及宽度,沿路面纵向记录板块号、破损位置(桩号),在方格纸中按比例绘制裂缝及破损情况图。

2. 路面平整度检测

路面平整度常用检测方法为3m直尺法、连续式平整度仪法、车载式颠簸累积仪法和车载式激光平整度仪法四种,具体方法已在本书专门章节阐述。

3. 路面承载能力检测

表面弯沉测定估算路面的结构承载能力,可采用贝克曼梁法、落锤式弯沉仪法及自动弯沉仪法,具体方法已在本书专门章节阐述。

4. 路面抗滑性能检测

路面抗滑性能的检测可采用摩擦系数测定车法、摆式仪法、手工铺砂法、电动铺砂法和激光构造深度仪法,具体方法已在本书专门章节阐述。

二、道路养护作业的质量控制

本书介绍沥青混合料路面、水泥混凝土路面及挖掘快速修复工程的质量控制。

(一) 沥青混合料路面养护质量控制

沥青混合料路面因路面噪音小、施工周期短、铺筑速度快及易维修等优势,在国内使用极为广泛。沥青混合料路面的养护质量受技术、设备以及天气等多方面因素的影响,本节仅针对下列方面存在的质量问题,阐述如何进行质量控制。

1. 沥青路面主要质量问题及质量控制要求

(1) 主要质量问题

车辙。车辙是沥青路面使用期内主要的破坏形式之一。其主要危害包括:路表过量变形影响路面的平整度;轮迹处沥青层变薄,削弱了面层及路面结构的整体强度;雨天车辙内积水导致车辆出现漂滑;冬季车辙槽内结冰,降低了路面的抗滑能力,行车时产生冰滑现象;车辆超车或变换车道时易失控,影响车辆的操纵稳定性。

裂缝。裂缝的出现往往是路面损害急剧增大的开始。裂缝按成因的不同分为荷载型和非荷载型两类。前者主要是在行车荷载作用下产生的裂缝;后者主要是在温度的作用下产生的裂缝,是一种低温收缩裂缝,简称低温度裂缝。特别是冬季,随着温度下降,沥青材料变得越来越硬,并开始收缩,一旦超过沥青混合料的抗拉强度或极限拉应变,沥青面层就会开裂。

水损害。在水的作用下,沥青会逐渐丧失与集料的黏结力,从集料表面脱落,在车辆的作用下沥青面层呈松散状态,甚至有集料从路面脱落形成坑槽。常见的水损害破坏形式主要有唧浆、松散、坑槽。以上的早期水损害现象有时是单独出现的,但大多数是组合出现的。比如产生唧浆的地方通常会出现形变,并随着时间的推移很快会出现松散和坑槽。

表面磨光。沥青路面在车轮反复滚动摩擦作用下,集料表面被逐渐磨光,有时还伴有沥青的不断上翻、泛油,从而导致沥青路面光滑。而在集料磨光的同时,路面噪声、水

雾、眩光等一系列影响交通的情况也会随之出现。

(2) 基本控制要求

沥青路面必须进行经常性和预防性养护。当路面出现裂缝、松散、坑槽、拥包、啃边等病害时,应及时进行保养小修。

沥青混合料出厂时应有出厂合格证明。混合料外观应拌和均匀、色泽一致,无明显油团、花白或烧焦现象。

铺筑沥青混合料时,大气温度宜在 10℃ 以上。低温施工时应有保证质量的相应技术措施;雨天时不得施工。沥青路面面层不得采用水泥混凝土修补。

当沥青路面摊铺面积大于 500m² 时,宜采用摊铺机铺筑。维修边线、纵横缝接茬宜使用机械切割。采用铣刨机铣刨的路面,在修补前应将残料和粉尘清理干净,铣刨、挖除的旧料宜再生利用。黏层油宜选择乳化沥青。

2. 沥青路面日常维护的质量控制

保养小修是为保持道路功能和设施完好所进行的日常保养,是对路面轻微损坏的零星修补,其工程量小于 400m²。

(1) 路面平整度控制

路面出现波浪、小坑或轻微沉降等现象,会降低行车速度,造成行车颠簸,加大冲击力,使道路局部受力增大,道路损坏加剧。特别是底基层平整度差,摊铺方法不当,黏结在底层上的粒料清除不净,摊铺机两侧高程基准线控制不准或操作不当,都将影响路面平整度。

为此,首先要解决底层平整度问题。在技术操作上,应加细找补和修整,并采用机械修整路床和基层的平整度。采用摊铺机摊铺时,须放准高程基准线,控制好熨平板的预留高度,以使厚度均匀一致。剩余冷料不能直接铺筑在底层,应加热另作他用。

(2) 路拱控制

路拱不饱满,局部高点偏离中心线,或在路面纵向出现波浪。主要原因是路面各结构层的高程控制不准确。因此,路面维护时应控制沥青混合料面层各层的虚铺厚度。人工摊铺要采用放平砖的方法,特别应该控制两个雨水口之间的路边高程,切勿低于下游雨水口附近高程。

(3) 沥青路面裂缝控制措施

沥青路面裂缝表现形式有横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝三种。裂缝产生的主要因素有:沥青的品种和等级,沥青混合料的组成,面层的厚度,基层材料的收缩性,土基和气候条件等。

防止横向裂缝产生的有效措施包括选用级配良好的沥青混合料,科学的施工流程、施工工艺等。

通常在半刚性基层材料层中掺入 30%~50% 的 2~4cm 粒径的碎石,可减少收缩性裂缝,并提高受碾压时抗拥推的能力。碾压过程须控制最佳含水量,之后应潮湿养护 5~14 天,可降低其干缩系数。

凡发现沥青混合料级配不佳,集料过细,油石比过低,拌制过火,油大时,必须退货。同时控制摊铺和上碾、终碾的沥青混合料温度,大风和下雨天应停止作业。

一般摊铺段在 60~100m 之间,于当日衔接。当第一幅摊铺完后,立即倒至第二幅摊铺,两幅之间搭接 2.5~5cm。不是当日衔接的纵横缝冷接茬,要刨直茬,涂刷粘层油后再摊铺。横向冷接茬,可用热沥青混合料预热,即将热沥青混合料敷于冷茬上,厚 10~15cm,宽 15~20cm。待冷茬混合料融化后(5~10min),再清除敷料,进行摊平碾压,或用喷灯烘烤冷茬后立即用热沥青混合料接茬压实。

压路机开始碾压,应轻碾预压;起动、换向都要平稳;转移、换向宜关掉振动挡;停

车、转向尽量在压好的、平缓的路段上。平地碾压使压路机驱动轮接近摊铺机，上下坡碾压驱动轮在后面，上坡碾压时让前轮对沥青混合料产生预压，下坡碾压时，驱动轮在后用来抵消压路机自重产生的向下冲力。

防止纵向裂缝产生的重要控制措施之一是加固基层。

纵向裂缝多为沉陷性、疲劳性裂缝，如不规则纵向裂缝、顺管走向裂缝、成片状网状裂缝和龟背状裂缝等。显然，雨水可从裂缝渗入路基、土基，使其承载能力下降，路面过早损坏。特别是龟裂部分，受水侵入和车辆荷载冲击，加速路面坑槽产生，车辙的危害性很大。

处理土基或基层损坏引起的网裂时，应先加固土基或基层，再修复面层。路基可选用水泥稳定碎石，保证其级配的均匀性和设计强度（无侧限抗压强度 R_7 大于或等于 0.7MPa）。沥青混合料拌和应均匀，不得出现花白、油少或干枯现象。检查井升至路面后，井周可用低标号混凝土补强处理。

龟裂宜采用挖补方法，连同基层一同处理。轻微龟裂，可采用刷油法处理，或进行小面层喷油封面，防止渗水。

（4）路面坑槽控制措施

坑槽形成初期表现为路面局部松散，形成深度 2cm 以上的凹槽，在水的侵蚀和行车的作用下，凹槽进一步扩大，或相互连接，形成较大、较深的坑槽。

预防坑槽损害，首先，要选用黏附性和抗老化性强的沥青，恰当采用集料，合理设计混合料级配；其次，要严格控制混合料的出厂、摊铺、碾压及终了温度，确保沥青面层的厚度和平整度。同时，以预防为主，对小面积松散、沉陷等，应及时维修，避免其迅速发展为坑槽。修复时可采用以下坑槽修补方法。

低温修补方法。采用冷拌冷补沥青混合料，其特点是不分季节、气候，可以储存，随用随取。施工时，宜按照坑槽大小，刨成两边平行于路中线的外接矩形坑，将坑底及侧壁清理干净，用汽油喷灯将坑底及侧壁烤干后，用刷子蘸热沥青在坑槽底部及侧壁均匀涂刷；之后，向坑槽内填入低温混合料，并用耙子整平，用压实设备碾压成形，即可开放交通。

喷补法。将乳化沥青通过喷管与输送来的骨料相混合，通过控制喷管上的乳液、骨料和压缩空气 3 个开关，把混合料均匀、高速地喷洒到坑槽中，达到密实黏结效果，无须碾压。其工艺是将最大粒径为 9.5mm 的单一尺寸的矿料与 60℃ 的乳化沥青，经专门的喷补设备同步喷射入坑槽中，当矿料喷入坑槽时被同时喷出的乳化沥青很好地裹覆，形成一种无须摊平、碾压的混合料。

热补法。使用破碎机铲除需补部位的旧路面，然后喷洒沥青黏结层，填充新的热拌沥青混合料，并摊平、压实。热拌法具有修补质量好、耐久性高、修补后的路面可以承受重载交通的优点。

热再生法。修补时对破损坑洞不开槽，坑洞内的旧料也不清除，将高效热辐射加热板放置到待补区域，使旧沥青路面软化，然后耙松被软化的沥青旧料，喷洒乳化沥青使旧料现场再生，再喷洒一些黏结料，补充一些新的热拌沥青混合料，然后就地拌和、摊平、碾压，完成修补。

（5）路面边部压实措施

路面边缘部位，若局部未碾压密实，表层容易出现松散状态，一经车辆碾压便会出现掉渣现象。面层结构性损坏后，经水浸、冻融、风蚀，易出坑槽，严重时还会波及基层。其控制措施如下：

一般应超宽碾压，每侧不小于 15cm，压密度不低于路中的部位。

安砌侧石的废槽，采用小型夯具夯实。特别是路边缘以内 50cm 范围，严格控制底层的平整度。

碾压不到的部位, 应使用热墩锤、热烙铁或平板振动夯夯实。

(6) 路面泛油控制措施

沥青从沥青混凝土层的内部或下部向上移动, 使表面有过多沥青的现象称作泛油。在严重泛油路段, 沥青面层发光发亮, 抗滑性能达不到行车要求的, 可按坑槽修补方法处理, 或铣刨原路面重新摊铺面层。

(7) 路面松散控制措施

路面松散主要表现为面层集料之间的黏结力丧失或基本丧失, 路表面可观察到成片悬浮的集料或小块混合料, 面层的部分区域明显不成整体。常用控制措施如下:

对因沥青稠度低、用量偏少、嵌缝料散失导致的麻面或松散病害, 可将松散矿料收集起来, 吹净路面杂物、灰尘, 按 $0.8 \sim 1.0 \text{ kg} / \text{m}^2$ 的用量喷洒沥青, 再均匀撒上直径 $3 \sim 6 \text{ mm}$ 的石屑或粗砂 ($5 \sim 8 \text{ m}^2 / 1000 \text{ m}^2$), 最后用轻型压路机压实。

因油温过高, 沥青老化失去黏结力而造成的松散, 应将松散部分全部挖除, 重做面层。

对因沥青与酸性石料黏附不良而造成的松散, 应挖除松散部分, 重做面层, 其矿料应选用碱性石料或酸性石料, 掺入剥离剂、增黏剂或用消石灰、水泥等作为填料的一部分, 以提高沥青与矿料的黏附力和混合料的水稳性。

因土基或基层软化变形造成的松散, 应先处理土基或基层, 再重做面层。

松散面积较大且基层强度好的路段采用铣刨机开挖, 重做面层。

如有细矿料散失, 可采用喷油封面处理; 而在气温较低的季节, 可用乳化沥青封面。

3. 沥青混凝土路面维修的质量控制

为保持城市道路经常处于完好状态, 防止其使用质量下降, 沥青路面需要制订路面维修方案, 进行必要的维修。

(1) 维修准备

首先, 通过检测评价或路况调查, 确定路面是否需要补强。其次, 根据路面状况指数 (PCI) 决定是否需罩面及罩面层的厚度。有时, 即使路面状况指数相同, 主导损坏类型不同, 所采用的对策也可能不同。

一般情况下, 路面平整度反映了路面行驶质量, 因此, 在决定罩面厚度时, 应考虑原路面是否平整。如果平整度差, 罩面应加厚。另外, 须对使用的材料进行质量检测, 选择符合质量要求的材料。各种机械、工具应进行全面维修检查, 使其处于良好的使用状态, 并保证具备足够数量的机械设备。

(2) 路面铣刨质量控制

根据路面的损坏情况和设计的高程确定铣刨深度, 在路面上做好标记, 以保证铣刨后具有良好的“平整度”。铣刨废料要运出场外, 供再生利用, 不得随意丢弃污染环境。

(3) 基层维修工艺及质量控制

重做基层的路段, 在铺筑垫层前, 应将路槽用 $12 \sim 15 \text{ t}$ 的三轮压路机或使用等效的压路机械压 $3 \sim 4$ 遍。并按规定检查路基顶面的标高、宽度、路拱横坡、平整度、压实度以及路基表面的回弹模量等各项指标是否符合要求。

在进行半刚性基层施工时, 拌和时配料要准确、均匀, 颗粒级配应符合设计要求。施工温度应在 5°C 以上, 混合料从拌和到碾压终了的时间不应超过 2 小时。其间, 在混合料处于或略大于最佳含水量时进行碾压, 压路机要使用 12 t 以上的重型振动压路机。碾压完成后, 洒水养生, 养生需 7 天以上, 整个养生期保持基层或底基层表面潮湿。

(4) 封层和粘层施工质量控制

封层是为封闭表面空隙、防止水分侵入而在沥青面层或基层上铺筑的有一定厚度的沥青混合料薄层。铺筑在沥青面层表面的称为上封层, 铺筑在沥青面层下面、基层表面的称为下封层。

粘层是为加强路面沥青与沥青层之间、沥青层与水泥混凝土路面之间的黏结而洒布的沥青材料薄层。

此处阐述的是半刚性基层完成后,应做下封层沥青,即将路面清扫干净,洒布封层沥青,并使沥青渗入基层一定深度,表面不得形成油膜。在大风、降雨天,或气温低于 10℃ 时,不宜封层。

粘层施工时,路面必须清理干净,当有沾粘的土块时,应用水刷净,待表面干燥后均匀洒布粘层沥青,此时应严禁其他车辆、行人通行。

(5) 沥青面层维修工艺及质量控制

应对热拌沥青混合料使用的各种材料进行质量检验,并按目标配合比和生产配合比要求进行配合比设计。

根据标准要求,沥青混合料出厂温度应控制在 170~185℃。拌制的沥青混合料应均匀一致,无花白料、无结团成块或严重的粗细料分离现象。

当下层质量不符合要求时,不得铺筑沥青面层。沥青混合料应采用机械摊铺方式,摊铺的机械具备自动或半自动调节摊铺厚度及找平的装置,具备可加热的振动熨平板或振动夯实装置。

压实后的沥青混合料应符合压实度及平整度的要求。为达到最佳效果,沥青混合料压实宜采用钢筒式、轮胎式及振动式压路机组合的方式,复压时宜使用振动压路机以高频低幅的振动方式进行碾压。

(二) 水泥混凝土路面养护质量控制

水泥混凝土路面具有强度高、稳定性强、耐久性好等优点,但同时也增加了后期养护与维修工作的难度,如果在养护与维修工作中缺乏针对性的养护维修方法,就会降低水泥路面的使用寿命以及行车安全。

1. 水泥路面存在的质量问题和养护的基本要求

水泥路面在行车荷载和自然因素的反复作用下,容易产生裂缝,板面起砂、脱皮、露骨和板面出现死坑等质量病害,依据路面特点,这些质量病害大致分为接缝破坏和混凝土板损坏两类。

(1) 主要质量问题

板面损坏。板面裂缝的主要表现形式有局部开裂和贯穿断裂,这些裂缝破坏了板块的整体性,使路基易受雨水浸泡变软;因板块变小,单位面积上路基层承受的压力增大,路基层易出现不均匀变形,板块便会变得高低不平。

胀缝损坏。由于胀缝内的滑动传力杆位置不正确,或者施工时胀缝内有混凝土或坚硬的杂屑嵌入,路面板的伸胀受阻从而发生板边的剪切挤碎。胀缝损坏导致的病害有以下几种表现形式。

一是拱起。路面因热膨胀受阻,接缝两侧的板突然向上拱起。这主要是在非高温季节施工,胀缝间距设置过长,缝隙过窄或缝内嵌入硬杂物,气温突变,从而出现这种纵向屈曲失稳现象。

二是错台。接缝两侧混凝土路面板端部出现竖向相对位移,胀缝两侧混凝土壁面不垂直,使缝旁两板在伸胀挤压过程中上下错开;或地面水沿缝隙渗入基层并使其软化;或者接缝传荷能力不足,在车辆的荷载作用下相邻端部出现挠度差。这些都会导致错台产生。

三是唧泥。车辆行经接缝或裂缝时,从缝内喷溅出稀泥的现象。

(2) 基本要求

水泥混凝土路面养护应包括下列主要内容:一是日常巡查、小修、养护;二是周期性的灌缝;三是对路面发生的病害及时进行处理;四是按周期有计划地安排中修、大修、改扩建项目,确保道路的技术状况。

水泥混凝土路面的大修、改扩建工程项目应进行专项工程设计。

I、II等养护的道路宜采用专用机械及相应的快速维修方法施工。常规和专用材料，应具有足够的强度、耐久性和稳定性，养护维修的主要材料应进行检验，并应符合相关规范的要求。

2. 水泥路面保养小修的质量控制

水泥路面保养小修的定义与沥青路面相同。

(1) 水泥路面的日常检查

要做好水泥路面的保养小修，首先要做好预防性工作、经常性保养和轻微破损修补，确保水泥路面处于良好的技术状态和服务水平。具体可通过日常检查，确保路面排水设施无淤塞、无损坏，排水通畅，还要确保挡土墙等其他附属设施的结构稳固。水泥路面应该有较强的稳定性以及平整度。如果在检查过程中发现病害，需要立刻采取有效的应对措施，及时处理。

(2) 路面板的保养小修

必须经常清除路面板上的泥土、石块、砂砾等杂物，应及时清洗受化学制剂或油污污染的路面。路面缘石缺失应及时补齐，特别是对平交道口以及与其他不同种类路面连接的地方，更应加强清扫保养。

针对表面起皮的问题，常采用的是沥青混凝土罩面的处理方法。麻面或者剥落，可以不进行预处理，只对一些露骨严重的区域进行修补。

(3) 接缝的保养小修

接缝处是水泥路面的薄弱点，因而是保养小修工作的重点。在保养中，应及时排除嵌入缝内的杂物，填充或更换填缝材料，以保持伸缩缝的功能。为防止雨（雪）水下渗，水泥路面的填缝料应在雨季到来前（及冬季降雪前）更新完毕。

如果发现填缝料超出面板，应及时处理。对城镇快速路、主干路，填缝料不得超出面板；对次干路和支路，填缝料超过路面板 3mm 时应铲平。

一般填缝料的更换周期宜为 2~3 年；填缝料脱落缺失大于 1/3 缝长时，应立即更换整条填缝料；清缝、灌缝宜使用专用机具，更换后的填缝料应与面板黏结牢固。填缝料的更换宜选在春秋两季，或在气温适宜且较干燥的季节进行。

3. 水泥路面常见破损维修的质量控制

(1) 裂缝补修

路面板出现小于 3mm 的轻微裂缝时，可采用直接灌浆的方法处理。对 3~15mm 贯穿板厚的中等裂缝，可采取扩缝补块的方法处理，扩缝补块的最小宽度大于 100mm。大于 15mm 的严重裂缝可采用挖补方法全深度补块。采用挖补方法时，基层强度应符合要求。

(2) 板角断裂补修

板角断裂应按破裂面确定切割范围。在后补的混凝土上，对应原板块纵横处切开；凿除破损部分时，应保留原有钢筋，新旧板面间应涂刷界面剂；与原有路面板的接缝面，应涂刷沥青，如为胀缝，应设置接缝板。当混凝土养生达到设计强度后，方可通行车辆。

(3) 板块脱空补修

路面板块脱空，可采用弯沉仪、探地雷达等设备测定。其弯沉值超过 0.2mm 时应确定为面板脱空。面板脱空可采用灌浆方法处置，且灌浆孔与面板边的距离不应小于 0.5m，灌浆孔的数量在一块板上宜为 3~5 个，孔的直径应和灌注嘴直径一致，其灌注压力宜为 1.5~2.0MPa。灌注作业应从沉陷量大的地方开始，当相邻孔或接缝处冒浆时停止泵送，每灌完一孔应采用木楔堵孔。

唧泥病害应采取压浆处理，处理后应对接缝及时灌筑。

(4) 错台补修

当 I 等养护的道路错台高差大于 8mm, II、I 等养护的道路错台高差大于 12mm 时, 应及时处理。高差大于 20mm 的错台, 应采用适当材料修补, 且接顺的坡度不得大于 1%; 修补时应将下沉板凿成 20~50mm 深的槽, 并涂刷界面剂。

对相邻路面板板端拱起的维修, 应根据拱起的高度, 将拱起板两侧横缝切宽, 释放应力, 使面板逐渐恢复原位, 修复后应再检查此段路面的伸缩缝, 如有损坏应按本书接缝的内容维修。

(5) 面板沉陷补修

面板沉陷的维修, 可采用面板顶升的方法, 顶升值应经测量计算确定。原板复位后, 按板下脱空进行处理; 若原板整板沉陷并发生碎裂, 则采取整板翻修。若沉陷处经常积水, 可在适当位置增设雨水口。

(6) 坑洞补修

深度小于 30mm 且数量较多的浅坑, 或成片的坑洞可采用适宜材料修补。深度大于或等于 30mm 的坑槽, 应先做局部凿除, 再补修面层。

(7) 接缝损坏补修

对接缝填料的损坏进行维修时应符合水泥路面接缝保养小修的要求。对接缝处因传力杆设置不当所引起的损坏, 应将原传力杆纠正到正确位置。

对伸缩缝进行修理时, 应先用热沥青涂刷缝壁, 再将接缝板压入缝内。对接缝板接头及接缝板与传力杆之间的间隙, 必须采用沥青或其他接缝料填实抹平, 上部采用嵌缝条的接缝板应及时嵌入嵌缝条。

低温季节或缝内潮湿时应将接缝烘干。当纵向接缝张开宽度在 10mm 及以下时, 宜采用加热式填缝料; 张开宽度在 10~15mm 时, 宜采用聚氨酯类填缝料常温施工; 张开宽度超过 15mm 时, 可采用沥青砂填缝。当接缝出现碎裂时, 应先扩缝补块, 再做接缝处理。

(三) 人行道养护质量控制

人行道作为城市市政设施的组成部分, 是城市基础设施和城市环境的载体, 是市民出行活动不可缺少的一部分, 人行道的形象直接影响着城市的整体形象。因此, 提升人行道档次和品位, 是市政维护工作的主要内容之一。

人行道养护应包括对基层、面层及无障碍设施、缘石、树池和踏步等的养护。

1. 面层养护质量控制

振捣成形、挤压成形和加工后的石材均可用作面层砌块, 发现面层砌块松动应及时补充填缝料, 充填稳固。若垫层不平, 应重新铺砌。铺砌时可采用干砂、石屑、石灰砂浆、水泥砂浆等作为垫层材料。

面层养护按相关要求进行质量控制, 包括以下内容:

更换砌块的色彩、强度、块型、尺寸均应与原面层砌块一致; 面层砌块发生错台、凸出、沉陷时, 应将其取出, 整理垫层, 重新铺装面层。填缝修理的部位应与周围的面层砌块砖相接平顺。

基层强度不足产生的沉陷、破碎损坏, 应先加固基层, 再铺砌面层砌块, 砌块的修补部位宜大于损坏部位。

检查井周围或与构筑物接壤部位, 若缺失砌块, 宜切块补齐, 不宜切块补齐的应及时填补平整; 盲道砌块缺失、损坏应及时修补。提示盲道的块型、位置应安装正确。

2. 基础养护质量控制

一般情况下, 当人行道变形下沉和拱胀凸起时, 应对基础进行维修。

对于一些修复挖掘的人行道基础, 要求沟槽回填的最小宽度满足夯实机械的最小工作宽度, 且不得小于 600mm, 并应分层回填夯实, 分层的厚度应小于夯实机械最大振实厚度。当不能满足回填最小宽度时, 可采用灌筑混凝土等方法回填密实。这类沟槽回填应高于原

路床，夯实后再整平，恢复原面层。

3. 树池、踏步养护质量控制

通常树池的尺寸应根据步道宽度确定，且不得小于 1mx1m。预留树池的边框距路缘石的间距宜大于 300mm，与人行道相接平整，故称为平树池。混凝土树池若出现剥落、露筋、翘角、拱胀变形，铸铁类、再生塑料类的树池若出现断裂、缺失，都应及时维修更换。

踏步破损或失稳，应及时维修。踏步每阶高度应一致。当踏步顶面为贴面时，应具有防滑性能。

4. 缘石养护质量控制

缘石应保持清洁，冬季应及时清除含有盐类、除雪剂的融雪。混凝土缘石应经常保持稳固、直顺，若发生挤压变形、拱胀变形，应予以调整，调整后的缘石应及时勾缝。更换的缘石规格、材质应与原路缘石一致。花岗石、大理石类的缘石其缝宽不得小于 3mm，最大缝宽不得超过 10mm。道路翻修、人行道改造时，砌筑缘石应采取 C15 水泥混凝土做立缘石背填。

第二节 道路工程施工质量管理

一、质量管理概念

(一) 广义的质量含义

根据中国 2016 版 GB / T19000 标准中质量的定义，质量是指客体的一组固有特性满足要求的程度。

定义中“客体”指的是可感知或可想象到的任何事物，可能是物质的（如一台发动机、一张纸）、非物质的（如一个项目计划、转换率）或想象的（如组织未来的状态）。“特性”是指可区分的特征，既可以是固有的或赋予的，也可以是定性的或定量的。“要求”是指明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望，其中“通常隐含”是指组织和相关方的惯例或一般做法，所考虑的需求或期望是不言而喻的。

(二) 工程项目质量

工程项目质量是指通过项目施工全过程所形成的、能满足用户或社会需要的并由工程合同、有关技术标准、设计文件、施工规范等具体详细设定其安全、适用、耐久、经济、美观等特性要求的工程质量以及工程建设各阶段、各环节工作质量的总和。

工程项目质量的内涵通常表述为在项目前期阶段所设定的建设项目的规格、质量标准；在设计和施工阶段确保工程结构和安全性、可靠性措施；提出满足建设项目耐久性要求的保障措施，以及与耐久性有重大关系的建筑材料、设备、工艺、结构具体要求；满足美观性、经济性、环境协调性、可维护性等其他要求；建设工程投入使用时能达到预定质量标准，满足合同要求及隐含要求。

(三) 质量管理

质量管理就是在一定的技术经济条件下，为保证和提高产品质量所进行的一系列经营管理活动的总称。该管理活动包括质量管理体系的制定、计划的确定、质量的控制、质量验收与评定等相关内容。

二、道路工程施工质量管理

(一) 道路施工企业的质量管理

道路工程施工企业质量管理通过企业建立质量管理体系、工程项目施工质量计划、承包人实验室（现场）、工程项目施工准备阶段质量控制、工程项目施工过程质量控制、工程项目竣工验收质量控制等工作来实现。

1. 制定工程项目施工质量计划

工程项目施工质量计划是指为确定项目应达到的质量标准和为达到这些质量标准而做

的工作计划与安排。项目施工质量管理是通过实施施工计划所开展的质量保证活动达到的,而不是仅仅通过事后检查得到的,计划的实施与质量的检测、检验、纠偏等一系列活动构成了质量管理的重要环节。

(1) 工程项目施工质量计划编制的具体要求。该计划应由项目经理主持编制,并报送施工企业相关部门、领导审批。其内容包括从工序、分项工程、分部工程到单位工程的管理计划,体现出资源投入,完成工程质量最终检验,试验方式的计划目标,纠偏措施等。工程项目施工质量计划应落实到人,建立质量计划、实施效果一体化的激励约束机制,成为对外质量保证和对内质量管理的依据。

(2) 工程项目施工质量计划的内容。该计划通常以施工组织设计或施工管理实施规划的文件形式编制。其主要内容包括编制依据,项目概况,质量目标,组织机构,质量控制及管理组织协调的具体形式,必要的质量控制手段,施工过程,服务、检验和试验程序等,确定关键工序和特殊过程即作业指导书,与施工阶段相适应的检验、测量、验证要求,更改和完善质量计划的程序等。

2. 建立承包人实验室(现场)

根据交通部有关规定,必须建立承包人实验室(现场)作为质量管理的重要手段。承包人实验室建筑面积、实验设备及人员配备应能满足本工程各项试验的需要:满足工程开工前的各种试验;满足对各种材料的鉴定试验等;配合施工,提供和采集为控制施工质量所需要的各种参数;对各种试验结果进行数理统计和分析整理等,建立全部工程的试验档案,为工程竣工验收提供详细的试验资料等。

3. 工程项目施工准备阶段质量控制

工程项目施工准备阶段质量控制是指项目正式施工活动开始前,对各项准备工作及影响质量的各因素和有关方面进行的质量控制。其程序与内容可以概括为以下几个方面。

(1) 施工合同签订后,项目经理部索取设计图纸和技术资料,指定专人管理有效文件清单;根据设计文件和技术交底的工程控制点进行复测,发现问题时与设计人员协商,并形成记录;项目技术负责人对图样进行审核,形成会议记录。

(2) 项目经理部按照质量计划中工程分包和物资采购的规定,选择并评价分包人和供应人,保存评价记录。

(3) 对全体施工人员进行质量知识培训,并保存培训记录。

(4) 进行项目建设地点调查分析、编制施工图预算和施工预算、编制项目施工组织设计等基本准备工作。

(5) 按照材料、机械设备供应计划进行采购和进场;对各种材料逐项核实,确保质量符合要求;检查机械设备是否进入正常生产状态,确保按时开工;订立分包合同等。

(6) 建立项目组织机构、施工队伍,建立、健全质量管理制度。

(7) 做好控制网、水准点等施工现场工作。

4. 工程项目施工过程质量控制

(1) 施工过程中的工序控制。工序质量管理与控制是工程项目施工过程质量控制的核

心。

①工序质量控制的基本规定:施工作业人员应按规定经考核后持证上岗;施工管理人员及作业人员应按施工工艺、操作规程、作业指导书和技术交底文件进行施工;工序的检验和试验应符合过程检验和试验的规定,对查出的质量缺陷应按不合格控制程序及时处理;施工管理人员应记录工序施工情况。

②工序质量控制和检查的程序:确定工序质量控制计划;进行工序影响因素分析,分清主次,重点控制;选择和确定工序质量控制点;确定每一个工序质量控制点的质量目标;按规定检测方法对工序质量控制点现状进行跟踪检测;将工序质量控制点的质量现状和质

量目标进行比较,找出两者的质量差距和产生差距的原因:采取相应的技术、组织和管理措施,消除其质量差距,防止发生质量问题;整个质量检验过程中,要把检验数据完整无误地记录下来,以便进行数据处理和备检用。其中,质量控制点一般是指为了保证工序质量而需要进行控制的重点(或关键部位,或薄弱环节)。

(2) 施工过程中的现场质量检查:包括开工前检查、施工过程中的跟踪监督与检查、工序交接检查、隐蔽工程检查、停工后检查、复工后检查、分部分项工程检查等。该项工作通过关键手续、巡视检查等多种方式,确保质量不合格产品不进入下一道工序。

(3) 成品保护:对施工过程中出现的一些中间产品,如一些分部分项工程已经完工,但其他部位正在施工的成品,采取护、包、盖、封等有效的保护措施。

(4) 特殊过程质量控制:有关质量特性要在后续工序中才能反映出来的工序,或无法检测只能通过破坏性检测的工序,或很难检验出结果的工序,或产品有缺陷但只能在使用后才能暴露出来的工序,一般称为特殊过程。

特殊过程质量控制应对人员进行特殊培训和资格认证,设置控制点进行控制;除执行一般控制外,还执行由专业技术人员编制的专门的作业指导书的质量控制程序。

5. 工程项目竣工验收质量控制

工程项目竣工验收是指施工承包单位将竣工工程以及有关资料移交业主单位或监理单位,并接受业主单位对产品质量和技术资料的一系列审查验收工作的总称。它是工程项目质量控制的关键。经竣工验收后,如果工程项目达到竣工验收质量标准,就可以解除合同双方各自承担的合同义务及经济 and 法律责任。

工程项目竣工验收是工程项目施工全过程中最后一道程序,也是工程项目管理的最后环节。

它是建设投资转入生产或使用的标志,也是全面考核投资效益、检验设计和施工质量的重要环节。

竣工验收阶段质量控制的基本要求有以下几个方面。

(1) 单位工程竣工后,必须进行最终检验和试验。项目技术负责人应按编制竣工资料的要求收集、整理质量记录。

(2) 项目技术负责人应组织有关专业技术人员按最终检验和试验规定,根据合同要求进行全面验证。

(3) 对查出的施工质量缺陷,应按不合格控制程序进行处理。

(4) 项目经理应组织有关专业技术人员按合同要求编制工程竣工文件,并做好工程移交的准备。

(5) 在最终检验和试验合格后,应对建筑物产品采取保护措施。在工程交工后,项目经理部应编制符合文明施工和环境保护要求的撤场计划。

(二) 监理单位进行的质量监理

在道路工程施工前,业主单位在工程招标之前,通过资格审查、招标、聘请、委托等方式确定监理单位并签订建立服务合同,监理单位和监理人员按照“严格监理、热情服务、秉公办事、一丝不苟”

的原则对工程质量进行监理。

1. 质量监理的依据与任务

工程质量监理是监理工程师对一项工程进行全过程、全方位和全天候的全面质量管理,与施工企业内部质量管理、政府进行的行政质量监督不同,监理工程师对工程质量的监理权在服务委托合同、承包商与业主签订的承包合同中有明确规定,受法律保护。

(1) 依据。质量监理的依据包括各项工程质量的保障责任、处理程序、费用支付等在内的合同条件、合同图纸和国家有关法律法规的相关内容;所有用于工程的材料、设施、

设备及施工工艺的合同条件、合同图纸和国家有关法律法规的相关内容；所有工程质量标准的合同条件、合同图纸和国家有关法律法规的相关内容或监理工程同意使用的其他标准。

(2) 任务。监理单位根据工程规模、难易程度、合同工期、现场条件等设置现场监理机构，可分别设置一级、二级或三级监理机构。一级为总监理工程师办公室，二级为高级驻地监理工程师办公室，三级为专业监理工程师办公室。监理人员包括总监理工程师、总监代表、高级驻地监理工程师、专业监理工程师，测量、试验人员和现场旁站人员以及必要的文秘、行政事务人员等。

由总监或其代表授权高级驻地监理工程师相应的职责和权限，负责全面工程质量管理。其主要工作内容如下：明确质量标准，评定工程质量；提出保证工程质量的措施和手段，组织进行质量抽查和抽检；批准各项工程的开工报告，发出开工通知；巡视现场，及时处理影响工程质量的各种问题；向承包人发出质量控制指示；建立部门或专业监理人员的日常汇报制度，每月以表格、图及简报的形式提出质量控制分析报告。

专业监理工程师负责现场具体监理工作，主要职责是监督承包人实施各项质量控制目标并满足规范、标准和图纸的要求，对各种变更或特殊要求予以落实和实施；提出各项工作流程及质量控制程序，监督、检查和检验工程质量；系统记录并分析整理各项质量成果；向驻地工程师汇报现场质量状况，每月提出本专业的质量报告。

2. 建立监理实验室

监理合同签订后，为有效地对施工全过程进行质量监控，必须在工程开工前建立一套科学的、行之有效的质量检测系统，使之具备必要的实验、测量设备，即建立监理实验室。

监理实验室应当对整个工程项目进行数据控制与检测，其规模、实验设备的种类及数量、人员安排应满足具体工程实际需要，并建立健全规章制度，实行明确的责任分工。

监理实验室具备试验、监督、检查功能，即对各个工程的材料、配合比和强度进行有效的控制，以确保各项工程的物理、化学性能达到规定的要求。同时还应当进行验证试验，进行预先鉴定，以决定是否应用于工程。此外，监理实验室还应对承包人实验室的设备功能、人员资质、操作方法等进行有效的监督，定期或不定期对承包人实验室的试验仪器进行检验，并监督承包人定期交由政府监督部门对仪器进行标定。当监理实验室试验结果与承包人实验室试验结果出现允许偏差以外的差异时，一般以监理实验室试验结果为准。

3. 施工准备阶段质量监理内容

监理合同签订后，随后就进入施工准备阶段。在此阶段，监理工程师的主要质量监理内容包括以下几个方面。

(1) 发布开工令。根据施工合同规定的具体日期，向承包商发布开工令并报业主备案。

(2) 召开第一次工地会议。会议由监理工程师主持，业主、承包商等各方参加，介绍人员和组织机构，介绍施工计划，承包人陈述施工准备，业主说明开工条件和明确施工监理例行程序。

(3) 审批承包人的工程进度计划。

(4) 审批承包人的质量保证体系，监理工程师按合同要求承包人建立一个完整的以自检为主的质量保证组织体系。

(5) 检验承包人的进场材料。在材料或商品构件订货之前，应要求承包人提供生产厂家的产品合格证书及试验报告。必要时监理人员还应对生产厂家生产设备、工艺及产品的合格率进行现场调查了解，或由承包人提供样品进行试验，以决定同意采购与否。材料或商品构件运入现场后，按规定的批量和频率进行抽样试验，不合格的材料或商品构件不准用于工程，并应由承包人运出场外。

(6) 审批承包人的标准试验。标准试验是对各项工程的内在品质进行施工前的数据采集，它是控制和指导施工的科学依据，包括各种标准击实试验、集料的级配试验、混合料

的配合比试验、结构的强度试验等。

(7) 检查承包人的保险及担保, 支付动员预付款。

(8) 审查承包人的施工机械设备。监理工程师应按其批准的承包人工程进度计划, 分期审查承包人在实施工程时所使用的施工机械设备。

(9) 验收承包人的施工定线。监理工程师在合同规定的时间内或在承包人的施工定线进行之前的合理时间内向承包人书面提供原始基准点、基准线、基准高程的方位和数据, 并对承包人的施工定线进行检查验收。

(10) 验收承包人测定的地面线。监理工程师应要求承包人对全部工程或开工段落的原始地面线进行实际测定, 并对测定工作进行检查验收, 以作为路基横断面施工图和土石方工程计量的依据。

(11) 审批承包人提交的施工图。

(12) 检查承包人占用工程场地。

(13) 监理其他与保证按期开工有关的施工准备工作。

通过上述内容的协调统一, 实现施工前质量监理准备工作的有效落实。如果没有达到有关规定的要求, 则通知承包人进行补充和修正, 直到符合合同要求或使得监理工程师满意为止。否则不允许进入正式施工阶段。

4. 施工阶段质量监理内容

(1) 检查承包人的施工工艺是否符合技术规范的规定, 是否按开工前监理工程师批准的施工方案进行施工。

(2) 检查施工中所使用的原材料、混合料是否符合经批准的原材料的质量标准和混合料配合比要求。

(3) 对每道工序完工后进行严格的质量验收, 合格后才能允许承包人进行下一道施工工序。

(4) 对施工中产生的工程缺陷或质量事故进行调查、处理, 达到设计要求后才准许承包人继续施工。

在施工阶段, 监理人员主要通过检查这个环节, 尽可能增加检查频率, 加密检查点, 通过检查发现问题, 做到防患于未然, 对已出现的各种质量问题及时处理。

5. 交工及缺陷责任期阶段

工程完工后, 承包人递交交工申请, 监理工程师收到书面申请后, 在确认工程确实完成、工程检验合格、现场清理完毕、交工资料齐备的条件满足后, 指派专人全面负责交工检查工作, 并成立有监理工程师、业主参加的交工检查小组, 建议业主邀请设计部门和质量监督部门参加。

监理工程师还应提示承包人列席参加, 并负责提供分组检查工程时所需要的情况、资料、人力和设备, 为交工检查活动提供服务。

交工检查小组的工作内容包括: 进一步审查交工申请报告; 现场检查申请交工的工程; 审查承包人的缺陷责任期的剩余工程计划; 根据以上情况写出交工检查报告; 决定是否签发交工证书。工程交工日期以检查小组决定的签发交工证书的日期为准。

监理工程师应根据合同, 规定交工工程的缺陷责任期(一般为一年), 起算日期必须以签发的工程交接证书日期为准。

缺陷责任期监理的工作内容包括四个方面:

①检查承包人剩余工程计划; ②检查已完工程; ③确定缺陷责任及修复费用; ④督促承包人按合同规定完成交工资料。

监理工程师收到缺陷责任期工作检查小组的报告, 并确认缺陷责任期工作已达到合同规定标准后, 向承包人签发缺陷责任终止证书。签发日期应以工程通过最终检验的日期为

准。

（三）政府进行的质量监督

政府质量监督部门的质量管理是代表政府的一种强制性质量监督行为，对工程施工阶段进行监督检查、组织竣工验收、工程质量等级评定、处理质量事故等工作。公路工程质量监督管理工作由交通部质量监督总站、各省直辖市与自治区的质量监督站、地州市的质量监督分站等负责。

政府对一项公路工程进行项目质量监督，日期从工程项目开工前办理监督手续始到获得交工工程质量等级鉴定止。质量监督程序分为以下几个方面。

1. 申请办理质量监督手续

建设单位在提出申请开工报告的同时，填写公路工程质量监督申请书，到当地公路工程质量监督站（简称“质监站”）办理监督申请手续。具体须提交以下资料。

（1）初步设计的批复文件、施工合同副本及有关资料。

（2）监理合同副本、监理工作计划、监理试验室的装备和试验室人员清单、监理单位及监理人员的资质说明。

（3）工地试验室装备和人员清单，参加施工的主要技术负责人、质量自检体系和人员名单及其资质情况。

2. 质监站办理质量监督手续

质监站在收到公路工程质量监督申请书的两周内，对有关文件、资料以及现场进行核实，确定该工程的质量监督人员，制定工程质量监督计划，填发公路工程质量监督通知书，送建设、设计、施工、监理等相关单位备案，并抄报上级交通主管部门和监督总站。

3. 质监站开展质量监督工作

质监站按公路工程质量监督通知书的内容开展质量监督工作。

（1）对实行施工监理的项目，质监站要对监理单位的工作程序、试验室、检测试验方法、数据处理以及工作质量进行监督检查；对工程质量进行随机抽查或核验，填发公路工程质量抽查意见通知书；对于重大工程质量问题，要求建设单位和监理单位按照合同或有关规定及时处理，经质监站复查合格后方可进行下道工序。

（2）对未实行施工监理的工程项目，质监站应对工程的重点部位和主要工序进行定期检查，填发公路工程质量抽查意见通知书，并按交通部《公路工程质量检验评定标准》进行抽验评分。

（3）无论工程项目是否实行施工监理，质监站应定期对施工单位的质量自检体系和规章制度执行情况进行检查。

4. 质监站对质量监督中违规情况的处理

对不按批准设计文件组织施工、不执行规范、管理工作混乱等造成施工质量低劣和工期达不到要求的施工单位，质监站有权在公路工程质量抽查意见通知书中要求建设单位和监理单位停工整顿或责令退场，或建议其主管部门给以吊销资质证书的处罚。

5. 竣工验收

工程交工后，由质监站对工程质量进行鉴定，并签发公路工程质量鉴定证书。未经质监站质量鉴定或鉴定不合格的工程不能组织竣工验收。

第三节 道路工程施工安全管理

一、安全生产的含义

安全指人身安全、健康和财产安全。

公路工程施工安全管理是指为预防道路工程施工中发生人身伤害、设备损毁等事故，保护劳动者在生产中的安全和健康而采取的各种措施和活动。

安全生产体系由人、物、环境共同组成，安全控制须从这三个方面入手。安全法规、安全技术和工业卫生是保障安全生产的三项主要措施。

安全法规是指采用立法手段制定保护劳动者安全、健康的政策、规程、条例、制度，侧重于控制人的不安全行为；安全技术是在生产过程中，为消除危险因素，防止伤亡事故、保护劳动者身体健康而采取的专门技术措施，侧重于控制物的不安全状态；工业卫生是指在施工过程中为防止生产环境中的不良因素（如各种粉尘、废气、废水、固体废弃物以及噪声、振动等）对劳动者的身体健康产生危害而采取的防护和医疗措施，侧重于环境的控制。安全法规、安全技术和工业卫生从人、物、环境三个方面对生产过程实施了安全控制，是安全生产体系的有力保证。

二、安全生产的意义

安全生产是国家的一项长期基本国策，是保护劳动者的安全、健康和国家财产，促进社会生产力发展的基本保证。因此，做好安全生产工作具有重要的意义。

从国际环境来看，推进安全生产工作，提高劳动保护水平，符合现阶段国际通行的做法。特别是中国加入 WTO 组织后，公路工程单位欲更多地打入国际市场，安全生产工作必然成为企业是否具有国际竞争力的一个关键因素。随着生产活动的现代化进程，仅仅依靠经验和传统，根本无法满足当前安全生产工作的需要。因此，企业必须与国际惯例接轨，建立职业安全健康管理体系，从根本上改善管理机制，有效保护劳动者的安全与健康。

近年来中国的公路工程行业持续快速发展。但施工生产的流动性、道路工程的单件性和多样性、施工生产过程的复杂性都决定了公路工程施工行业是高风险、事故多发行业。尤其是公路工程露天施工、作业环境复杂，施工作业人员密集且劳动者素质又相对较低，这些都增加了公路工程施工企业的不安全因素。对于公路工程施工企业来说，安全工作是一项尤为重要工作，工程安全是质量和效益的前提，因此必须强调安全生产、严格管理。

三、道路安全管理的基本原则

安全管理是道路工程施工管理中重要的组成部分，它是一种动态管理，管理对象是生产中的一切人、物、环境。施工现场的安全管理是保证生产处于最佳安全状态的根本环节，是施工企业保证安全生产的落脚点。

公路工程施工现场是各施工要素的集中点。其特点是：作业工种多且经常交叉作业，如桥涵施工、道路施工、隧道施工；临时性生产设施多，如临时驻地、材料场、预制加工厂；作业环境复杂，既有高空作业，也有地面作业；现场流动性大。因此，施工现场存在着众多的危险因素。

（一）安全管理中需要正确处理五种关系

1. 安全与危险并存

安全与危险在同一事物中是相互对立、相互依赖的。对于施工现场，因为环境、人员、生产机具材料等的复杂多变，安全与危险之间的变化特别频繁。为了保持施工生产的安全状态，就必须采取多种措施，以预防为主，进行动态管理。

2. 安全与生产统一

安全与生产是辩证统一的关系，而不是对立的、矛盾的管理。安全是生产的保证，生产有了安全作为保障才能持续、稳定发展。同时，安全又可以促进生产，提高劳动生产率，减少经济损失。现代化生产必须强化安全生产，当生产与安全发生矛盾时，生产就要服从安全。

3. 安全与质量的包含

“安全第一”与“质量第一”并不矛盾。质量包含安全工作质量，安全概念也内含着质量，二者交互作用，互为因果。安全为质量服务，质量需要安全保证，丢掉任何一头，都将使施工生产陷于失控状态。

4. 安全与速度互为保障

安全与速度成正比例关系。一味强调速度而置安全于不顾的做法是极其有害的。当速度与安全发生矛盾时,暂时减缓速度,保证安全才能真正保证速度,才是正确的做法。

5. 安全与效益的兼顾

安全技术措施的实施可改善劳动条件,提高劳动生产效率。所带来的经济效益,足以使原来的投入得以补偿。在安全管理中,投入要适度、适当,统筹安排,既要保证安全生产,又要经济合理。

(二) 施工项目安全管理的基本原则

1. 安全管理的法制化原则

安全管理的法制化是指要依据国家及相关部门制定的安全生产的法制化文件,包括各项安全生产法律、法规、规范和标准。加强法制是安全管理的重要环节,也是安全管理的关键。必须加强对企业的管理人员和广大职工的安全法律教育,增强其法制观念。

2. 安全生产管理的责任制原则

生产和安全是一个有机的整体,两者不能分隔,更不能对立。必须建立健全各级人员安全生产责任制并有效实施。

3. 预防为主的原则

“防患于未然”,安全生产必须强调预防为主。贯彻预防为主,首先要对生产中的不安全因素进行辨认识别,选准消除不安全因素的方法和时机,在安排与布置生产内容的时候,针对施工中可能出现的不安全因素,采取措施,明确责任,坚决消除。

4. 坚持动态管理的原则

安全管理涉及生产活动的方方面面,涉及全部生产过程,而且生产活动总是在不断地发展变化,因此生产活动中必须坚持“全员、全过程、全方位、全天候”的“四全”动态管理。动态安全管理的重点是对生产中人的不安全行为和物的不安全状态进行控制。

5. 全员参与安全管理的原则

安全生产,人人有责,安全管理不能仅仅依靠少数安全员和安全机构。缺乏广大职工的参与,安全管理难以取得好的效果。因此,企业中的每一位职工都有参与安全管理的责任,只有全体职工动员起来,才可能实现安全管理的目标。

6. 坚持在管理中发展提高的原则

安全管理是对变化的道路施工活动的动态管理。管理活动是不断发展变化的,以适应不断变化的施工活动,消除新的危险因素。这就需要我们不断地摸索新规律,总结新的安全管理方法与经验,指导新的变化后的管理,只有这样安全管理才能不断地上升到新的高度,提高安全管理的水平。

四、道路施工安全管理措施

(一) 建立起统一规划的安全管理层级模式

道路工程建设通常都不是完全封闭状态,由此,可能导致工程施工过程当中会出现一部分意想不到的事情。通常,工程的某一个施工段建设完成之后,需要将相关设备进行移除并且重新搭建,在此过程当中,工程施工人员必须等监理通过以及相关安全防护措施到位之后再进入工程下一阶段的施工,还需要将周边交通因素的影响纳入考量中。另外,在实际开展工程施工过程中,作为工程施工企业必须牢牢树立安全责任意识,严格执行国家的相关安全规范以及标准,并且将责任落实至个人。另外,由于分包施工队不同,必须严格依照提前制定的安全规范来进行施工,并且开展必要的安全监督,避免未排除安全隐患就施工。

(二) 积极提升施工管理人员自身的素养

道路工程的建设工作必须借助于不同的机械设备,而机械设备本身则需要操作人员来

操作。在实际开展城市道路工程建设过程中,必须要严格落实安全工作,避免施工过程中的安全隐患。基于此,针对工程施工人员在上岗前、岗中以及岗后都要进行培训,坚决避免无证上岗以及岗位与证件不符的情况。另外,还应该积极开展安全管理工作过人员在业务水平以及思想道德水平上的培训工作。建立起有效的奖惩制度,以此来提升员工工作积极性,从而达到提升市政道路工程整体施工质量之目的。安全管理人员的相关技术要求如下:

(1) 具备相对较好的心理素质。在日常工作过程中必须要经得起事,沉得住气,针对错误具备相对清醒的认识,在实际处理事务的过程中要有担当作为。

(2) 储备丰富的安全相关知识以及必要的业务素养。必须牢固掌握与安全管理相关的专业知识,准确了解国家相关法律法规的要求,并且准确了解安全管理工作过程中必须掌握的方式。

(3) 必须要具备能够应对“突发事件”的基本能力。安全事故本身具备相对较高的偶然性以及突发性。在实际开展项目建设过程中,不管管理制度多么严格、防范手段多么到位、制度建设多么健全,都不能完全避免风险发生。基于此,必须具备处理相关“突发事件”的能力,如果发生事故要迅速反应,并能及时解决问题。

(三) 建立相对科学的安全评价系统

道路工程的建设,必须要以目前已有的法律法规作为依托,首先确保工程施工过程的安全,而且要建立起与之相适应的相关管理制度,另外,还应该充分结合工程建设施工区域的配套设施以及其他的相关自然环境,以此为基础建立起具备较强合理性的安全质量管理体系,而且需要将以上制度落于实处。针对不同的道路工程施工采取具备较强个性与以及普遍性的施工安全管理措施,另外,在施工过程中必须配备安全设施,建立起具备较强实用性的安全管理流程,确保工程施工过程当中,建设人员自身的安全,要求非工作人员坚决不能进入工程施工区域中。另外,针对可能会发生的问题,必须提前预测,针对可能会发生的安全问题以及安全事故采取合理且科学的方式处理,对于问题可能产生的影响必须控制在最小范围,以此为工程施工人员自身的安全提供必要的保障。在实际施工过程中,一旦发生隐患,将立即停止一切工作,针对可能出现的问题提出解决方案,力求在更大安全隐患发生之前彻底解决。

第四节 道路工程项目合同管理

一、道路项目合同管理

道路建设项目合同管理应遵循依法履约、诚实信用、协调合作、动态管理的原则。合同管理包括合同评价、合同签订、合同实施、合同变更、合同备案、合同履行、合同纠纷处理、合同终止、合同后评价等内容。合同管理应设立专门的组织机构或委派专职人员进行合同管理工作,并建立合同档案、台账、报表等管理制度,采用信息化管理手段,提高合同信息共享水平。合同管理应按照规定,接受工商行政管理部门和其他有关行政主管部门对合同登记审查等的监督管理工作。工商行政管理部门和其他有关行政主管部门应依照相关规定,承担公路工程合同的登记、审查等监管工作,加强对道路建设项目合同管理的监督管理。

(一) 道路建设项目合同分类

1. 按合同协议内容划分

按合同协议内容划分的道路建设项目合同主要包括特许经营合同、勘察设计合同、监理合同、施工合同、设备仪器材料采购合同、设计施工总承包合同、EPC 合同、代建合同、劳务合同、分包合同以及工程安全生产合同、廉政合同等。

2. 按合同计价方式划分

按合同计价方式划分的道路建设项目合同主要包括单价合同、总价合同和成本加酬金合同。

单价合同又细分为工程量清单合同和单价一览表合同。总价合同按照合同是否允许调价又可划分为可调价总价合同和不可调价总价合同。成本加酬金合同也可细分为成本加固定酬金合同、成本加浮动酬金合同等。

（二）道路建设项目合同管理内容

道路建设项目合同管理应依据合同文件内容、工程结果、变更请求，承包人单据等进行合同管理工作。其中，道路建设项目合同文件解释的优先顺序为合同协议书、中标通知书、投标函及投标函附录、专用合同条款、通用合同条款、技术标准和要求、图纸、已标价工程量清单、其他合同条件。

道路建设项目合同管理部门单位应全面收集并分析合同实施的情况，定期诊断合同履行情况，并采取措施及时纠正偏差。道路建设项目合同管理的内容包括以下方面。

1. 合同谈判

合同谈判应遵循依法客观、求同存异、公平竞争、妥协互补的原则，合同双方共同商谈合作细节和重点，明确所有合同参与方的权利与义务，以及各方违约的处理方式。

2. 合同交底

合同实施前，应组织专业人员进行合同交底。合同交底应包括合同的主要内容、合同实施的主要风险、合同签订过程中的特殊问题、合同实施计划和合同实施责任分配等内容。

3. 合同履行

合同各方应遵循全面适当、诚实守信、公平合理的原则，根据公路工程项目特点、周边环境、工期要求、自身条件等建立合理的实施计划，并与安全管理、质量管理、进度管理、现场管理、环境保护等协调一致。

合同履行过程中，合同各方应及时对工程变更事项或者合同约定允许调整的内容如实记录并履行书面确认手续，并作为合同的组成部分。涉及工程价款调整的，建设单位、其他参建单位应及时确认相应的工程变更价款。

4. 合同控制

合同管理人员应依据合同范围内的各种文件和合同分析资料，监督合同执行，防止违约，确保完成合同规定的各项责任。

5. 合同终止和评价

合同履行结束即合同终止。合同管理机构应及时进行合同评价，总结合同签订和执行过程中的经验教训，提出总结报告。

合同管理应针对勘察、设计、监理、施工等专业，就工程安全、质量、进度、现场管理等方面建立一套符合实际情况的动态履约考核和奖惩机制。合同管理应注意建立合同档案、台账、报表等管理制度，采用信息化管理手段，使合同信息更加便于共享。

（三）道路建设项目工作范围

道路建设项目工作范围应以确保公路项目建设目标实现为根本目的，通过明确项目参建各方的职责、权利风险界限，以保证项目建设管理工作充分、科学、高效、透明。道路建设项目范围管理的对象包括完成项目建设所必须实施的建设项目各项工作内容。项目实施前，公路项目建设单位应明确界定道路建设项目的范围，提出项目范围说明文件，作为项目建设管理的依据。道路建设项目范围的确定主要依据下列资料。

- （1）项目目标的定义或范围说明文件。
- （2）环境条件调查资料。
- （3）项目的限制条件和制约因素。
- （4）同类项目的相关资料。

道路建设管理单位应根据公路项目范围说明文件,组织开展项目范围划分工作。公路建设管理内容可划分为前期工作管理、资金管理、工程建设管理、交竣工及缺陷责任期等。

前期工作包括项目规划、项目建议书、项目前置手续审批。资金管理包括项目投资估算、建设资金筹集、建设投资控制、工程费用决算。工程建设管理主要包括招投标、工程设计、土地征迁、工程施工、环境保障等。交竣工及缺陷责任期管理包括交工验收、缺陷责任与保修、竣工验收、项目后评价。对于工程项目的招投标、验收管理工作,项目应按照临时工程、路基工程、路面工程、桥梁涵洞工程、交叉工程、隧道工程、公路设施及预埋管线工程、绿化及环境保护工程及服务区分。

对于工程设计、质量、费用、进度管理工作,项目宜按照单项工程、单位工程、分部工程、分项工程层次实施项目分解。公路工程项目分解应符合下列原则。

- (1) 内容完整,不重复,不遗漏。
- (2) 一个工作单元只能从属一个上层单元。
- (3) 每个工作单元应有明确的工作内容和责任者,工作单元之间的界面应清晰。
- (4) 项目分解应有利于项目的实施和管理,便于考核评价。

工作界面分解应使工作单元之间的接口合理,应对工作界面进行书面说明。在项目的实施中应考虑变更对界面的影响。公路项目建设单位应严格按照项目的范围划分和项目结构分解文件进行项目的范围控制。在项目范围控制中,跟踪检查,记录检查结果,建立文档,判断工作范围有无变化,对范围的变更和影响进行分析与处理。

二、合同索赔管理

(一) 概述

索赔是指在经济合同实施过程中,合同一方因对方不履行或未能正确履行合同所规定的义务而受到损失,向对方提出赔偿要求。从理论上讲,索赔是双向的,不仅承包商可以向业主索赔,业主同样也可以向承包商索赔,但通常所讲的“索赔”都是指承包商向业主索赔,是承包商在合同实施过程中根据法律及合同规定对并非由于自己的疏忽或过错,并且属于应由业主承担责任的情况所造成的实际损失或额外费用(与合同标准相比较而言),通过工程师向业主提出请求给予补偿的要求,包括要求经济补偿和工期延长这两种情况。应该特别强调:索赔仅仅是承包商对其实际损失或额外费用请求给予补偿的一种要求,对业主不具任何惩罚性质。

公路工程由于投资规模大、建设工期长、技术含量高、地下条件的不确定性、气候条件复杂多变及市场波动等,任何一项设计都可能有考虑不周之处,都会有与实际情况不符的可能,任何合同文件中都会存在不同程度的差错或漏洞。即使合同文件十分完善,各方之间也仍然会对某些问题存在分歧。比如,对有关合同条款的解释,什么是额外工作、变更工程付款、延期、工程师指令加速或放慢施工引起的损失、因业主原因延期所增加的成本、客观条件的变化等,承包商与工程师之间都有可能存在不同的理解。所有这些问题都可能导致承包商实际成本超支。因此,在由业主和承包商分担不确定性风险的合同条件下,索赔在合同实施过程中是必然存在的。公路工程合同多数属于固定单价合同(很少有不允许调价的固定总价合同),需要由双方来承担风险,在这种情况下,只能尽量减少索赔并有使之便于索赔发生后的处理工作,而绝不可能根绝索赔。

(二) 索赔的程序

1. 索赔通知书

不论合同中如何规定,如果承包人按照合同规定或者由于其他原因要求索赔任何额外支付,承包人应在要求索赔事件发生后的 28 天内,向工程师提交意向通知书,并给业主送一份复印件,这个意向通知书可采用函件的形式,一般包括下述资料:

- (1) 索赔编号和索赔名称:

- (2) 索赔依据的合同条款;
- (3) 简要说明索赔的基本依据;
- (4) 索赔事件是否有长期连续性影响;
- (5) 索赔的大致款额;
- (6) 索赔依据的有关活动或条件的开始日期。

2. 保持记录

索赔事件发生后, 承包人应保存当时有关记录, 以便作为以后可能提出的索赔的证实材料。工程师在收到承包人的意向通知书后, 应先检查当时的记录并指令承包商保存与索赔通知书有关的更详细的记录和事实依据。承包人应允许监理工程师检查由他保存的所有记录, 并当监理工程师有指令时, 还应向他提供所有记录的复印件。

3. 提交详细的索赔材料

在承包商察觉引起索赔的事件或情况后 42 天内, 或在承包商可能建议并经工程师认可的其他期限内, 承包商应向工程师递交一份充分详细的索赔报告, 包括索赔的依据、要求延长的时间和(或)追加付款的全部详细资料。如果该索赔事件有连续性的影响, 则上述充分详细的报告应被视为是中间的; 承包商应按月递交进一步的中间索赔报告, 说明累计索赔的延误时间和(或)款额; 承包商应在导致索赔事件或情况产生的影响结束后 28 天之内, 或在承包商可能建议并经工程师认可的其他期限内, 递交一份最终索赔报告。

4. 索赔的批复

工程师在收到索赔报告或对过去索赔的任何进一步证明资料后 42 天内, 或在工程师可能建议并经承包商认可的此类其他期限内做出回应, 表示批准、或不批准并附具体意见。工程师还可以要求任何必要的进一步资料, 但仍要在上述期限内对索赔的原则做出回应。

5. 索赔的支付

当承包商提供了能使工程师确定应付索赔款额的足够的详细资料后, 监理工程师在对这类款额作了证实, 并与业主和承包人协商之后, 可在任何期中支付证书中向承包人支付索赔款额。如果提供的详细资料不足以证实全部索赔, 则工程师应按照足以证实而使工程师满意的那部分索赔的详细资料, 给予承包商部分索赔的付款。

(三) 索赔计算

1. 工期索赔计算

在进行工期索赔计算之前, 首先对其进行分析, 确定干扰事件对工程活动的影响, 及由于工程活动持续时间的变化对总工期的影响。总工期所受到的影响即为干扰事件的工期索赔值。工期索赔计算的方法主要如下。

(1) 网络分析法

网络分析法通过分析干扰事件发生前后的网络计划, 对比两种工期计算结果来计算索赔值。

它是一种科学的、合理的分析方法, 适用于各种干扰事件的索赔。但它以采用计算机网络技术进行工期计划和控制作为前提条件。

网络分析法即为关键线路分析法。关键线路上关键活动(工作)持续时间的延长, 必然造成总工期的延长, 则可以提出工期索赔; 而非关键线路上工程活动的持续时间只要在总时差范围内延长, 则不能提出工期索赔。

(2) 比例计算法

网络分析法应有计算机的网络分析程序, 否则分析极为困难。因为稍微复杂的工程, 网络事件可能有几百个, 甚至几千个, 人工分析和计算将十分烦琐。在实际工程中, 干扰事件常常仅影响某些单项工程、单位工程、或分部分项工程的工期, 要分析它们对总工期的影响, 可以采用更为简单的比例计算法, 即以某个技术经济指标作为比较基础, 计算工

期索赔值。

①对于已知部分工程的延期时间：以合同价所占比例计算，计算方法如下。

总工期索赔 = (受干扰部分的工程合同价 / 整个工程合同总价) × 该部分受到干扰工期拖延量

②对于已知额外增加工程量的价格：以合同价所占比例计算，计算方法如下。

总工期索赔 = (附加工程或新增价格 / 原合同总价) × 原合同总工期

(3) 对上述方法的评价

①比例计算法在实际工程中用得较多，因计算简单、方便，不需作复杂的网络分析，在概念上人们也容易接受，一般不适用于变更工程施工顺序、加速施工、删减工程量等事件的索赔。

②从网络分析法可以看到，关键线路事件的任何延长，即为总工期的延长，而非关键线路事件延长（不超过其总时差）常常对工期没有影响。因此，严格地说，比例计算法是近似计算的方法，对有些情况不适用。例如业主变更工程施工次序、指令采取加速措施、指令删减工程量或部分工程等。如果仍用这种方法，会得到错误的结果，在实际工作中应予以注意。

2. 费用索赔计算

(1) 计算索赔费用的原则

①索赔费用应该是承包商履行合同所必需的，即如果没有该项费用支出，就无法合理履行合同，无法使工程达到合同要求。

②索赔费用的计算都应有详细的、具体的证明，这些证明通常包括各种费用支出的账单，工资表，现场用工、用料、用机的证明，财务报表、工程成本核算资料等。

③承包商获得索赔费用补偿后，应处于与假定未发生索赔情况下的同等有利或不利地位（承包商在投标中所确定的地位），即承包商不因索赔事项的发生而额外受益或额外受损。承包商的费用索赔可以分为两大类：损失索赔和额外索赔。前者主要是由业主违约或异常恶劣的气候条件引起的；后者主要是由合同变更引起的。对于损失索赔，业主应给予赔偿损失，包括实际损失和可得利益，这种可得利益一般指银行的利息，原则上不包括利润，其计算基础是成本；对于额外工作索赔，业主应以原合同中的适用价格为基础，或者以工程师确定的合理价格予以付款，这里的价格包括直接成本、管理费和利润。计算额外工作索赔允许包括额外工作的相应利润，甚至在该工作可以顺利列入承包商的工作计划，不会引起总工期延长时也如此。

(2) 允许索赔的费用及不允许索赔的费用

①根据索赔费用的计算原则，允许索赔的费用包括人工费、材料费、设备费、低值易耗品损耗、现场管理费、总部管理费、融资成本、额外担保费用以及利润损失。

②不允许索赔的费用包括如下方面。

a. 承包商的索赔准备费用，包括聘请索赔专家或其他咨询支出。

b. 工程保险费用。由于工程保险费用是按照工程的最终价值计算和收取的，如果合同变更和索赔的金额较大，就会造成承包商保险费用的增加。与索赔准备费用一样，这种保险费用也是作为现场管理费的一个组成部分得到补偿的，不允许单独索赔。当然，有的合同会把工程保险费用作为一个单独的费用项目在工程量清单中列出。在这种情况下，它就不包括在现场管理费中，可以单独索赔。

c. 因承包商的不适当行为而扩大的损失。如果发生了索赔，承包商应该及时采取适当措施防止损失的扩大。如果没有及时采取适当措施而导致损失扩大的，承包商无权就扩大的损失要求补偿。

d. 索赔金额在索赔处理期间的利息。

(3) 计算各项索赔费用的要点

①人工费

计算人工费一般可选用合同文件中的计日工单价。在人工费索赔中, 承包商不应该忘记与其相关的费用的索赔, 比如税收、各种保险和福利支出等, 这些费用一般以人工费的某一百分比来计算。

②材料费

材料费索赔包括材料耗用量增加及材料单位成本增加两个方面。

追加额外工作、变更工作性质、改变施工方法等都可能造成额外材料耗用。施工中的某种延误可能会造成材料库存时间的延长, 或材料采购滞后, 从而引起材料费用增加。承包商应该建立、健全材料管理制度, 对每一工作项目的每种材料保持完整的耗用记录, 以便索赔时能准确地分离出索赔事项所引起的额外材料耗用。如证明材料涨价, 承包商除要出示原来的采购计划和实际采购时间表, 以便进行比较、证明采购确实滞后外, 还要出具有关订货单或价格指数, 证明材料价格确实已上涨。

③施工机械费

施工机械费包括使用自有机械发生的机械使用费, 使用外部单位施工机械的租赁费, 以及按照规定支付的施工机械进出场等费用。由于施工机械费的实际发生数很难确定, 因而在实际工作中, 计算索赔的机械费用时, 都是按照有关标准手册中关于设备工作效率、折旧、大修、保养及保险等的定额标准进行计算。公路工程施工机械费用可根据交通部颁发的机械台班费用定额计算, 不同的项目可按照所在地的有关情况(如物价、工作环境)在标准定额的基础上修改。至于租用的施工机械, 只要租赁价格是合理的, 索赔计算时应尽可能采用这种实际价格。

工程中断或任务不饱满、工作面不够等原因造成的设备闲置, 其损失费用的计算不应包括燃料费用的支出。一般可以以标准定额费用的某一百分比进行计算, 如 50%、70%, 这一百分比的确定常常会发生分歧, 承包商应尽可能与业主协商一致。

④管理费

管理费包括总部管理费和现场管理费。FIDIC 条件第 1.1 款将成本定义为“现场内外已经发生的或将要发生的所有合理开支, 包括管理费及其合理分摊的费用, 但不包括利润”。由此可知, 现场和非现场管理费都是工程成本的合理组成部分。因此, 无论哪种索赔, 管理费都可以包括在索赔金额的计算中。

⑤利润

一般在下列三种情况下可以进行利润索赔。

- a. 合同延期, 这是基于承包商对其他工程盈利机会的损失。也就是由于延期, 承包商不得不继续在本工程保留原已安排用于其他工程的人员、设备和流动资金。
- b. 合同解除。
- c. 合同变更。

第五节 道路工程项目成本管理

一、概述

从施工企业角度讲, 道路工程项目在完成合同各项技术经济指标前提下, 以取得最佳经济效益即最大利润为其根本目标。按照中国现行道路建设项目费用管理的有关程序和内容, 项目成本管理是施工期施工企业的核心工作。工程项目成本是指工程项目从设计到完成期间所需全部费用的总和。

(一) 成本管理的含义

道路工程项目成本管理是施工企业的一项重要基础管理, 是道路施工企业结合道路项

目的具体特点,以施工过程中直接消耗为基础,以货币为主要计量单位,对从项目开工到竣工所发生的各项收、支进行全面系统的管理,以实现项目整个工程成本最优化目标的过程。

从工程成本管理的定义中可以看出,工程成本是施工企业在施工过程中消耗的活劳动和物化劳动,包括劳动力、生产资料和劳动对象,这些消耗以货币的形式表现,如工资、材料费、固定资产折旧费等,从财务的角度讲,就是施工企业关于该工程项目的全部支出。

1. 工程成本的分类

从不同角度分析,工程成本有不同的分类。

(1) 由于费用性质和定量计算方法的不同,工程成本分为直接成本和间接成本。直接成本是指以工程项目为对象,直接消耗在工程上的费用,包括人工费、材料费、施工机械费及其他直接费用等;间接成本是指在施工过程中,施工企业为组织和管理施工以及为生产服务而消耗的人力、物力等费用。

(2) 根据不同时期的不同依据,工程成本可分为预算成本、计划成本和实际成本。预算成本是以施工图为依据,按预算价格计算的成本,是确定工程造价的基础、编制计划成本的依据和评价实际成本的依据,也是检查施工成本节约或超支的标尺,是安排施工计划、供应工料的主要参考依据;计划成本是在施工中采用技术组织措施和实现降低成本计划要求所确定的工程成本,以工程量、所投入的资源 and 施工方法为依据,按施工定额计算的成本,它与预算成本的差额就是计划降低成本额;实际成本就是在施工过程中实际支出的生产费用总和,它与预算成本比较可以反映工程盈亏情况,与计划成本比较,可以揭示成本的节约和超支。

2. 工程成本管理的含义

成本是反映施工企业工作质量的综合性指标,是衡量企业管理水平的尺度。工程成本管理实际上是施工企业对工程的具体科学组织,资源的合理安排,达到工期、质量、效益三者的统一,实现项目最大经济效益的过程。从管理的手段上讲,工程成本管理实际上是广义的成本控制,其含义可以理解为在成本的形成过程中,按照合同规定的条件和事先制订的成本计划,对工程项目所发生的各项费用和支出,按照一定的原则进行指导、监督、调节和限制。对即将和已经发生的偏差进行分析研究,并及时采取有效措施进行纠正,以实现规定的目标。

3. 工程成本管理的目标

从本质上讲,工程成本管理目标是实现企业、项目成本效益最大化,但从具体实施过程上讲,工程成本管理目标就是实现项目管理成本目标责任书中的责任目标,即制定科学合理的计划,通过具体施工方案和管理措施的优化,确保在成本计划范围内,在计划工期内完成质量符合标准的产品任务,以确保预期利润的实现。

(二) 道路工程项目成本管理体系的建立

道路工程项目成本管理体系是指企业为使工程项目成本管理达到成本目标所需要的组织机构、程序、过程和资源。同质量管理体系一样,它是实现目标而进行的一系列组织活动的总称。

1. 组织机构

组织机构是指企业职工为实现成本管理目标,在相应的管理工作中进行分工协作,在职务范围、责任、权利方面所形成的组织体系。这个组织体系包括机构设置、业务分工及相互关系的职能结构:公司层次、项目层次、岗位层次等表明企业组织结构纵向复杂程度的层次结构;与成本管理有关的生产、计划、技术、劳动、人事、财务等的部门结构和项目经理部的具体结构;各个层次、各个部门、各个人员在权利和责任方面的分工和相互关系等。

2. 程序

在项目成本管理中, 主要程序文件应包括以下几个方面。

(1) 项目施工责任成本的确定程序和方法。项目施工责任成本是实施项目成本管理的前提和基础, 在推行项目施工成本核算、实施经营效益和管理效益分开的前提下, 确定公平、公正、合理的项目施工责任成本的测算程序和方法。

(2) 项目责任合同及内部岗位成本责任合同。为落实成本管理责任和成本管理目标, 公司与项目经理部、项目经理部与各岗位人员之间都要签订相应的责任合同。公司与项目经理部的责任合同以项目施工责任成本为成本控制目标。在此基础上, 项目经理部要将指标层层分解落实到人, 并签订内部岗位责任合同。

(3) 成本计划和成本核算。根据项目责任合同和工程实际情况, 在进行成本管理活动前要编制成本计划, 根据成本计划开展成本管理活动。成本计划包括工程总计划和分计划(年、季、月、旬、日计划)。为了对成本管理活动能够进行有效的控制, 同时为了总结经验、教训, 改善和提高管理水平, 要按成本计划的时段进行成本核算。成本核算所提供的各种成本信息是成本预测、成本计划、成本控制和成本考核等各个环节的依据。

(4) 人工、材料、机械等的管理程序和措施。在程序文件中, 要对人工费核算及材料采购、验收、发放, 机械租用及核算等一系列工作做程序上的规定, 以保证各项工作的规范性。

(5) 成本管理业绩的考核及激励机制。项目成本管理业绩是以项目施工责任成本(也称为项目施工成本责任总额)为基数的考核行为, 根据项目施工成本的收支核算和业绩的表露, 综合其他管理内容和考核目标, 确定项目成本管理业绩, 并在此基础上确定和采取激励行为。现在, 企业的激励一般以物质手段为主, 借以实现鼓励先进、推进管理、提高效益的目的。

3. 过程和资源

成本管理是贯穿整个施工活动的一个动态过程, 是施工管理人员通过对人员、资金、设施、设备、技术和方法等各项生产要素进行合理组合、调度、应用的过程。资源是进行成本管理所需要的人员、技术和方法以及成本管理的对象(进行施工生产的过程)所需要的资金、设备等, 是成本管理的基础, 如何合理使用和配置资源正是成本管理的研究内容。

4. 成本体系文件

成本体系需要用成本体系文件来表述。成本体系文件一般包括以下几种。

(1) 成本手册。它是阐明某项目成本方针、描述其成本体系的文件。内容包括目的、方针、目标; 组织结构、机构设置、职责权限、控制与核算方法; 各类过程的成本活动要求; 各类文件编制要求、文件目录等。

(2) 程序文件。它是为落实成本手册要求而规定的实施细则。内容包括有关规章制度、管理标准、工作标准; 各过程的控制程序、流程、实施办法等。文件内容可总结为 5W1H (What, Who, When, Where, Why, How), 即何事、何人、何时、何地、何故、何控。

(3) 各类作业指导书、相关规程、规定, 这些属于技术性程序文件, 是直接指导操作人员完成成本活动的文件。

(4) 成本记录。它是对已完成的成本活动提供客观证据的文件, 包括各类信息文件、单据(凭证)、传票、报表、数据文件。如进行日常管理所需要的各种计划、报表原始记录及重大决策的活动记录等。

(5) 成本管理手册。它是针对某一工程项目, 规范、指导项目经理进行成本管理的主要文件, 是成本体系文件中最具体的实施性文件, 成本管理手册是在项目开工前, 由项目经理组织有关人员为落实项目经理部人员分工、成本管理、明确工作程序、制定成本降低具体措施的强制性文件。

该文件完成后,汇总成册,分发到人,作为该项目施工成本控制管理工作的指南和行
为准则。其基本内容包括以下几点:

- ①工程概况,主要阐述工程规模、结构、特点等;
- ②项目组织机构,包括人员配备、岗位设置及资质情况;③公司规定的项目承包经营
指标,包括项目施工责任成本及各项管理目标如质量目标、安全目标、工期指标等;④项
目施工目标成本及管理目标;
- ⑤成本管理运行程序及相应的规章制度;
- ⑥岗位职责及岗位指标;
- ⑦成本降低措施,包括总的成本降低措施及各岗位的成本降低措施;⑧项目施工成本
核算办法,包括数据的收集、整理、核实、传递;⑨奖励制度及各类人员的业绩考核办法。

虽然每个企业或每个工程项目的实际情况不同,成本管理手册的编制方法或内容可能
有所不同,但只要成本管理手册能真正起到规范成本管理的作用,达到完成预期成本目标
的目的,那么,成本管理手册的编制就是成功的。

(三) 道路工程项目成本管理程序与内容

道路工程项目成本管理的内容一般包括以下六个方面。

(1) 成本预测。成本预测是根据成本信息和施工项目的具体情况,运用一定的方法对
未来的成本水平及其可能的发展趋势做出科学的评估,是在工程施工以前对成本进行的估
算。成本预测是施工项目成本决策与计划的依据,是实现成本管理的基础和重要手段。

(2) 成本计划。本计划以货币化的形式编制施工项目在计划工期内的费用、成本水平、
成本降低率以及为降低成本所采取的主要措施和规划的书面方案。它是建立施工项目成本
管理责任制、开展成本控制和核算的基础,是该项目降低成本的指导性文件,是设立目标
成本的依据。

(3) 成本控制。在施工过程中对影响施工成本的各种因素加强管理,并采取各种有效
措施,将施工中实际发生的各种消耗和支出严格控制在成本计划范围内。它是加强成本管
理和实现成本计划的重要手段,即通过纠偏处理,调整后面资源的投入,使得成本计划与
成本实际的偏差降到最低。

施工项目的成本控制应贯穿于整个过程。

(4) 成本核算。它是对施工项目所发生的费用支出和工程成本形成的核算。成本核算
提供的各种成本信息是成本预测、成本分析、成本控制、成本考核和成本评价等各环节的
重要依据。

(5) 成本分析。它是在成本核算的基础上,对成本的形成过程和影响成本升降的因素
进行分析,以寻求进一步降低成本的途径,包括有利偏差的挖掘和不利偏差的纠正。对施
工项目实际成本进行分析、评价,为以后的成本预测降低成本指明方向。成本分析要贯穿
于项目施工的全过程。

(6) 成本考核。它是对成本计划执行情况的总结和评价。施工项目经理部根据现代化
管理的要求,建立、健全成本考核制度,定期对各部门完成的成本计划指标进行考核、评
比,并把成本管理经济责任制和经济利益结合起来,通过成本考核有效地调动职工的积极
性,为降低施工项目成本、提高经济效益做出贡献。

二、施工项目成本计划

施工项目成本计划是成本管理的重要环节,它通过对工程成本的分解、编制和对工程
工期、质量的统筹考虑,为项目实际成本控制、核算、分析提供依据,也为施工企业进行
经营管理活动提供依据。施工项目成本计划有成本计划表、成本模型、资金支付计划、工
程款收入计划、现金流量计划、融资计划等多种形式。

(一) 施工项目成本计划编制方法

施工项目成本计划编制主要有以下几种方法。

1. 使用施工定额的预算调整法

采用该方法就是根据施工图样中的工程实物量，套用施工工料消费定额，计算工程量清单数量及工程量清单中工料消费量，并进行工料汇总，最后以货币形式反映施工生产消耗水平。各个职能部门再以施工图中的工料分析作为成本计划的依据，根据实际水平和要求，分别计算出各项成本，并汇总为整个工程的计划成本。由于定额在一定的时间、范围反映了工程实际费用的统计分析结果，该方法又能在工料消耗的基础上，结合企业实际编制，因此被施工企业广泛采用。

2. 直接按部分工程进行的询价法

对于部分设备、专项工程或服务，采用询价的方式；对于分包的分项工程，也可以采用询价的方式，由一个或多个供应商、分包商、服务商提出报价予以估计。该方法适用于工程量较小的工程，或设备、材料采购等。

3. 合同价调整法

合同价调整法又称中标价调整法，是一种外推法。就是根据已有的中标合同价、施工图预算价款确定总的价差额，然后根据技术组织计划确定技术组织措施，确定各个工程量清单中哪些成本必须保证，哪些成本可以降低。对可以降低的项目，依据平均降低程度，将实际情况、风险与可能性综合考虑，对预算成本予以调整，得出计划成本，可用下式表示：

$$\text{目标成本降低额} = (\text{目标成本降低} + \text{项目节约数} \pm \text{实际成本与定额水平之差}) \times (\text{中标价} + \text{综合影响部分})$$

$$\text{目标成本降低率} = (\text{目标成本降低额} / \text{项目预算成本})$$

4. 采用其他已完成同类工程的对比估算法

对已完工程项目进行总结，并分析已完工程具体成本构成、比例和合理性，编制企业已完工程数据库，在此基础上结合本项目具体情况予以调整。采用该方法主要在以下方面进行调整。

(1) 考虑到不同年代的物价指数，尤其是具体工程所采用的建筑材料、劳动力、机械设备等价格。

(2) 考虑到地区不同，所引起的物价、运输条件、发展水平、市场竞争等差异，造成工程成本的不同。

(3) 考虑到道路工程所经过区域的水文地质条件、气候条件、平原山区条件的差异。

(4) 考虑到已完工程代表企业过去的发展状况，针对其成本中的不合理成分、合理成分，在不断提高企业管理水平的前提下，客观地估算出工程项目的成本值。

(二) 成本计划表

成本计划表就是通过各种表格的形式将成本计划分解到各个分部分项工程中，并通过实际成本与计划成本的比较，降低成本的具体措施、计划等内容，使得成本降低任务落实到整个项目的施工过程，并借此在项目实施过程中实现对建筑施工项目成本的控制。常用成本计划表的形式有建筑安装施工项目成本计划总表、降低成本技术组织措施计划表和降低项目成本计划表等。

1. 建筑安装施工项目成本计划总表

该表全面反映项目在计划工期内工程施工的预算成本、计划成本、计划成本降低额和计划成本降低率等内容。由于施工过程所采取的技术组织措施决定了成本能否降低以及降低程度。因此，计划成本降低额是根据降低成本技术组织措施计划表、降低成本计划表和间接费用计划表等内容综合分析得出的。

2. 降低成本技术组织措施计划表

降低成本技术组织措施计划表由项目经理部、施工企业相关部门有关人员参照企业具体情况、项目具体特点、预计的施工任务和降低成本任务,结合本单位技术组织措施的条件,在预测分析的基础上编制。降低成本技术组织措施,必须通过不断采用新工艺、新技术,提高项目施工技术水平和管理水平来完成。因此,该表是改进成本技术组织措施来降低成本的依据,是反映各项节约措施及经济效益的文件。降低成本技术组织措施计划表主要包括计划采取的技术组织措施和内容、该项措施涉及的对象、经济效益的计算及各项费用的成本降低额等方面的内容。

2. 降低成本技术组织措施计划表

降低成本技术组织措施计划表由项目经理部、施工企业相关部门有关人员参照企业具体情况、项目具体特点、预计的施工任务和降低成本任务,结合本单位技术组织措施的条件,在预测分析的基础上编制。降低成本技术组织措施,必须通过不断采用新工艺、新技术,提高项目施工技术水平和管理水平来完成。因此,该表是改进成本技术组织措施来降低成本的依据,是反映各项节约措施及经济效益的文件。降低成本技术组织措施计划表主要包括计划采取的技术组织措施和内容、该项措施涉及的对象、经济效益的计算及各项费用的成本降低额等方面的内容。

(三) 资金计划

在道路工程中,无论是业主还是承包商,资金和项目的经济效益都是相关的。对承包商来说,由于项目的费用收入和支出存在着时间上的不平衡,对于付款条件苛刻的项目,承包商需要大量的资金来保证正常的施工,企业资金存在着机会成本,且企业资金不足必须通过融资来解决,给企业的经济效益、财务状况,工程的正常进度、质量控制等均带来风险和巨大影响,所以成本计划的重要内容之一就是确定资金计划。

资金计划就是按照项目进度要求、合同中的有关付款条件等,确定项目按照时间的资金收入状况、资金支出状况,并结合二者的缺口、企业的实际状况,制定可行的项目融资计划,并将现金流量作为最大约束,将企业动态成本最小化作为目标函数的优化过程。因此,资金计划主要包括资金支付计划、资金收入计划、现金流量计划、融资计划等。

1. 资金支付计划

施工项目工期计划时确定工程活动的时间安排,在此基础上制定的成本计划是反映真实的项目成本消耗情况。但工程的资金支付计划以施工生产活动过程中实际可能发生的支出时间及数额编制,因此承包商对工程资金的支取并不与工程进度、成本计划完全同步。主要存在两种情况:一是承包商可能超前支出,如培训人员、调遣队伍、调运设备和周转材料等,这些费用需要分摊在工程成本中,在以后的工程款中收回或者以开办费形式预先收取;二是在购买建筑材料、设备、租赁设备等时,先付一笔定金,到货后付清余款或滞后付清货款等。

承包商工程项目的资金支付计划包括人工费支付计划、材料费支付计划、设备费支付计划、分包工程款支付计划、现场管理费支付计划和其他费用(如保险费、利息)支付计划等。

2. 资金收入计划

承包商的工程款收入计划即为业主的工程款支付计划。它与两个因素有关:一是工程进度,即按照成本计划确定的工程完成的状况;二是合同确定的付款方式。目前公路工程的支付按照 FID-IC 条款规定通过开具支付证书的方式完成,具体分为合同支付和清单支付。

在一般情况下,工程收入款小于工程支付款,二者在不同的阶段有不同的特点。工程款收入成阶梯状,其中的差额部分为工程款中需要由施工企业支付的,即为公司收入、支出的现金流量。

3. 现金流量计划

在工程款支付计划和工程款收入计划的基础上可以得到工程的现金流量,它可以用表或图的形式表示出来。工程项目资金收入和支出的不平衡,需要承包商来垫付该方面的差额。通常按时间将工程支付、收入罗列在一张表中,按时间计算出当期收支相抵的余额,再按时间计算到期末的累积余额,在此基础上就可得到现金流量表。

4. 融资计划

对于现金流量表为正的情况,说明承包商占用他人资金进行生产,而且资金有富余;对于大多数情况的现金流量表为负的情况,需要承包商用自有资金进行支付,如果自有资金不足,则需要通过融资。

融资计划需要两部分内容:项目融资计划的确定,即项目在具体哪个时间段,需要融多少资金才能满足工程需要;用什么样的方式取得,融资成本、可靠性如何。通过这些内容的确定,制定出详细可靠的融资计划。

三、施工项目成本控制

施工项目成本控制是工程项目成本管理的主要内容,只有采用有效的成本控制才能确保工程项目成本管理目标的实现。本节先对施工项目成本控制的含义进行分析,然后讲述施工项目成本控制的具体方法。

(一) 成本控制含义

1. 成本控制概念

成本控制是通过控制手段,在达到预定工程质量和工期要求的同时优化成本开支,将总成本控制在预算(计划)范围,并随时纠正发生的偏差,从而保证工程项目成本管理目标的实现,并能合理使用人力、物力、财力,取得较佳投资效益和社会效益的过程。

2. 成本控制原理

从成本控制的概念中,我们可以看出,成本控制的原理就是采用动态管理思想,将施工项目分为若干阶段,并制定计划成本或目标;分析可能产生的偏差及其原因,在计划制定和执行过程中主动采取有关对策和措施;通过对实际发生成本的核算,找出超过允许偏差的有关工序或项目,分析原因并进行纠偏处理。实际上成本控制是前馈控制与反馈控制相结合的产物,其中施工前、中进行的预防措施和对策为前馈控制,进行的纠偏处理为反馈控制。

施工项目作为一个系统,输入为投入的人、财、物等,输出为符合质量要求的具有实际成本数值的道路,作为施工企业,实际成本为其主要输出之一。通过计划的制定、实施等各种预防措施,尽可能减少成本偏差,将成本可能产生的偏差在发生前压缩到最小程度,该类控制为主动控制,即前馈控制;通过实际成本与计划成本的比较,对超出成本偏差允许范围的项目,在以后的施工中对资源投入进行调整,使累计偏差达到最小,该类控制为被动控制,即反馈控制。

3. 施工项目成本控制目标

从表面上看,由于施工企业是追求经济效益最大化的独立核算单位,成本控制应以追求成本最小化为目标。但实际上,工程项目是由成本、质量和工期三大目标组成的复杂多目标系统,是一个相互制约、相互影响的统一体,存在着技术与经济的矛盾,任何一个目标的变化都会引起另外两个目标的变化,并受它们的影响和制约。在施工项目中,三个目标一般不可能同时取得最优,应根据工程的客观条件和要求进行综合分析,确定符合实际的衡量准则。只要成本控制的方案符合这一衡量准则,取得令人满意的结果,成本控制就能达到预期目标;成本并非越省越好,而是在成本、质量和工期三大目标中进行均衡,取得满意解的过程。

(二) 以目标成本控制成本支出

施工项目的具体实施过程应根据制定的成本计划控制成本支出,即实行“以计划定支

出”，这是成本控制最基础和最有效的方法之一。

1. 人工费的控制

在道路工程项目中，严格按照计划中确定的人工费标准、人员数量进行支付，控制开支；对于劳务分包等项目，一般通过招投标方式确定，并严格按合同核定的劳务分包费用控制开支；每月预结或按照实际拟结算一次，检查是否超支并分析具体原因：在施工过程中，除经监理工程师同意外，要严格控制合同外用工现象的发生。

2. 材料费的控制

材料价格主要由材料采购部门控制，由于材料价格是由买价、运杂费、运输中的合理损耗等所组成，因此控制材料价格主要通过掌握市场信息、应用招标和询价等方式控制材料、设备的采购价格。

(1) 材料消耗量的控制。主要通过制订计划的控制、材料领用的控制、材料计量的控制、工序施工质量的控制等实现。

①材料需用量计划的适时性、完整性、准确性控制。成本计划中应包含材料需用计划，该计划根据工程进度计划按月或周编制，同时均应包括材料进场计划、分时段需用数量等。各种材料的型号、规格、性能、质量要求等应明确且准确。

材料需用量计划的编制与实施可采用很多科学管理方法，其中以 ABC 分类法最为简单与普及。A 类材料价值量大，品种相对较少，如道路工程中的钢筋等，该类材料为控制的重点，一般采用提前预订方式，但提前进场时间较短，需控制在半个月以内；C 类材料价值量小，品种较多，如道路工程中的螺丝、铁丝等，该类材料为控制的一般对象，采用提前预订与进场的方法，可在项目开工后每年或半年订购一次；B 类材料价值量与品种位于二者之间，控制的方法也介于二者之间。

②定额控制。对于有消耗定额的材料，以消耗定额为依据，实行限额发料制度。在规定限额内分期分批领用，超过限额领用的材料，必须先查明原因，经过一定审批手续方可领料。

③材料计量的控制，计量仪器必须定期检查、校正，计量方法必须全面准确，计量过程必须按照操作程序。

④工序施工质量的控制。由于工序质量必然影响后面工序的材料消耗量，如土石方的超挖可能增加回填的工程量，模板的正偏差和变形必定增加混凝土的用量，因此对工序质量的控制实际上也是对工程成本的控制。

(2) 材料进场价格的控制。在招投标阶段和制定成本计划阶段，材料进场价格是在当时的具体价格基础上的预测价格，但实际材料价格采用的是市场价格，该价格为动态变化的，这两种价格可能会产生大的差别，给成本控制带来巨大的难度。因此，该部分控制应尽量限制在制定成本计划时的预测价格范围内。具体措施为企业的材料管理部门利用现代化信息手段，广泛收集材料价格信息，定期发布当期各种材料最高限价和材料价格趋势，提供材料采购信息：与项目经理部密切合作，将材料采购价格与可能发生的存储费用、缺货费用结合起来，运用运筹学等优化知识，制定并提高材料的采购水平，实现优化采购，控制材料进场价格。

3. 周转工具使用费的控制

周转工具使用费是根据施工组织总设计中的有关施工方案计算确定，或按照施工图预算的摊销费用总额乘以适当的降低率确定。目标成本中该项费用是在具体施工组织设计中有关方案确定基础上进一步细化的，包括周转材料租赁和自购材料的领用。该费用控制主要采用如下方法：在计划阶段制定合理的施工进度并进行优化，采用先进的施工方案和周转工具，周转工具的使用费计划数应低于目标成本的要求；在施工阶段，控制租赁数量和进退场时间，减少租赁数量和进退场时间，选择质优价廉的租赁单位和工具，降低租赁费

用。

4. 施工机械使用费的控制

类似周转工具使用费的控制，在确定目标成本时单独列出租赁的机械，在控制时按使用数量、时间、单价等逐项进行控制；小型机械及电动工具购置及修理费采取由劳务队包干使用的方法进行控制，包干费标准应低于目标成本的要求。

5. 现场经费的控制

道路工程现场经费包括项目经理部人员工资、奖金、业务费、交通费、临时设施费等，内容、人为因素多，不易控制，超支现象比较常见且较多。控制方法就是根据现场经费的支出，实行全面预算管理；对于不易控制的项目，如交通费等实行费用包干；对一些不宜包干的项目，如业务费等，通过严格的审批手续来进行控制。

（三）以施工方案控制资源消耗

施工企业的成本费用在具体表现形式上是资源消耗，控制资源消耗就等于控制成本费用，该控制方法及步骤可以总结为制订具体施工方案、组织实施并对施工方案进行优化。针对施工方案资源消耗的特点工程项目控制可采取两种方法：一种是我们常见的网络技术的计划评审技术方法；另一种是目前国外广泛采用的控制论方法，该方法偏重于从宏观角度，在各个阶段对建设项目系统进行动态优化控制，对象是各个阶段目标的实现。

（四）采用现代化方法，实现成本控制同步

道路施工企业普遍技术含量低、管理手段落后，要实现成本的同步控制，就必须在管理手段上下功夫。具体来讲，主要为两个方面。

1. 建立企业管理信息系统和项目管理信息系统

信息系统一方面可以迅速地为施工企业管理提供实时信息，为工程管理的规范化提供基础，使得施工企业流程重组；另一方面为成本控制提供必要的手段。成本计划、成本控制与成本分析是一项复杂烦琐的工作，在具体应用时需要大量的数学公式、模型与计算。管理信息系统中的成本管理内容为施工企业进行成本控制提供必要的决策支持。

2. 建立企业成本管理相关的激励约束机制

成本管理中的定岗、定责等岗位责任制必须通过激励约束机制来实现，通过考核，对按照成本计划要求完成节约成本的相关人员予以奖励。对由于主观原因造成成本提高的相关人员，主要通过经济方式予以惩罚。

参考文献

- [1]孙俊升. 试论市政道路施工管理中如何体现创新管理[J]. 居舍, 2019(26):135.
- [2]朱林海, 迟嵩本. 交通复杂情况下的市政道路施工管理协调[J]. 科技风, 2019(23):125. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201923104.
- [3]袁艳梅, 聂冬青, 韩清果. 浅析市政道路施工的综合管理方法[J]. 科技风, 2019(23):127. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201923106.
- [4]王新华, 陈锐. 论市政道路施工管理和安全控制[J]. 河南建材, 2019(04):152-153. DOI:10.16053/j.cnki.hnjc.2019.04.089.
- [5]胡红群. 试论道路施工管理中如何体现创新管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2019(14):23. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201914019.
- [6]周雅丽. 试析城市道路施工管理过程中的质量控制措施[J]. 居舍, 2019(09):162.
- [7]张文渊. 浅析温州市政道路施工安全管理有效措施[J]. 城市道桥与防洪, 2019(03):150-151+19. DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2019.03.042.
- [8]杜祝遥. 探微市政道路工程的施工管理及施工控制措施[J]. 山西青年, 2019(02):195.
- [9]杨强. 道路桥梁项目现场施工管理的影响因素及防范对策探讨[J]. 江西建材, 2018(14):121+123.
- [10]宋兴华. 市政工程道路施工的质量控制与管理[J]. 建材与装饰, 2018(52):253-254.
- [11]陈本领. 国外道路桥梁施工管理中的裂缝处理方案设计[J]. 居舍, 2018(36):116-117.
- [12]李文富. 探讨市政道路桥梁工程的施工管理策略[J]. 住宅与房地产, 2018(36):125.
- [13]邵泽友. 城市道路工程施工管理过程中的质量控制措施分析[J]. 工程技术研究, 2018(16):103-104. DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.16.047.
- [14]黄孙灵. 探讨道路施工管理中存在的问题及对策[J]. 山东工业技术, 2019(01):128. DOI:10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.01.119.
- [15]程德清. 市政道路桥梁工程的施工管理策略创新探索[J]. 住宅与房地产, 2018(34):119+140.
- [16]张家星. 浅析我国市政道路工程施工管理[J]. 居业, 2018(11):185-186.
- [17]吴建荣. 论市政道路桥梁工程的施工管理及施工控制措施[J]. 现代物业(中旬刊), 2018(11):178. DOI:10.16141/j.cnki.1671-8089.2018.11.159.
- [18]赵斌. 探微市政道路桥梁工程的施工管理及施工控制措施[J]. 低碳世界, 2018(10):250-251. DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2018.10.141.
- [19]张东. 市政道路施工应用沥青混凝土道路施工技术的分析[J]. 建筑技术开发, 2018, 45(17):90-91.
- [20]苏康. 道路桥梁施工管理中存在的缺陷与对策研究[J]. 中国标准化, 2018(16):103-104.
- [21]马军花. 沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的运用[J]. 交通世界, 2018(19):30-31. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2018.19.012.
- [22]李健雄. 城市道路施工技术研究[J]. 科学技术创新, 2018(22):128-129.
- [23]倪海鸥. 市政道路建设中沥青道路施工技术的探讨[J]. 居舍, 2018(22):68.
- [24]马丽萍. 沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的应用分析[J]. 建材与装饰, 2018(34):238-239.
- [25]俞路升, 韦锋. 沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的应用浅析[J]. 建材与装饰, 2018(33):269.
- [26]焦红伟. 市政道路施工技术中常见问题及有效对策[J]. 绿色环保建材, 2018(07):131+134. DOI:10.16767/j.cnki.10-1213/tu.2018.07.087.

- [27] 马忠贤. 市政道路桥梁施工管理存在的问题和解决方法分析[J]. 居舍, 2018(19):10.
- [28] 倪爱齐. 论市政道路工程建设中沥青道路施工技术[J]. 建材与装饰, 2018(30):274.
- [29] 何幸福. 浅析市政道路施工的综合管理方法[J]. 农业科技与信息, 2018(12):122-123. DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2018.12.052.
- [30] 殷粉芳, 江倩艳. 装配可周转临时道路施工技术[J]. 江苏建筑, 2018(03):62-63.
- [31] 侯小龙, 袁胜强. 手掘式顶管下穿既有道路施工技术要点分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S1):674-676.
- [32] 吕晶波. 市政工程城市道路施工技术探析[J]. 居业, 2018(06):137-138.
- [33] 陈维. 关于市政道路施工中沥青混凝土道路施工技术应用的思考[J]. 民营科技, 2018(06):79-80.
- [34] 蔡劲生. 沥青砼道路施工技术在市政道路施工中的应用分析[J]. 民营科技, 2018(06):82+84.
- [35] 张鲲. 绿色道路施工技术及应用[J]. 住宅与房地产, 2018(16):241.
- [36] 张运忠. 试析市政道路建设中沥青道路施工技术[J]. 四川水泥, 2018(05):36.
- [37] 张俊. 浅析市政道路施工的质量管理[J]. 山西建筑, 2018, 44(14):245-247. DOI:10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2018.14.132.
- [38] 严金华. 城市道路施工技术管理研究[J]. 中国住宅设施, 2018(04):39-40.
- [39] 胡永生. 高铁车站站前广场沥青砼道路施工技术探析[J]. 福建建材, 2018(04):64-66.
- [40] 于含琳. 浅议城市道路施工管理中的质量控制措施[C]//《建筑科技与管理》组委会. 2018年4月建筑科技与管理学术交流会议论文集. 2018年4月建筑科技与管理学术交流会议论文集, 2018:301-302.
- [41] 吴校明. 当代高速公路道路施工管理与养护措施分析[J]. 交通世界, 2018(09):136-137. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2018.09.063.
- [42] 薛向龙. 城市道路施工管理中精细化管理的有效应用探究[J]. 建材与装饰, 2018(13):259-260.
- [43] 王军. 城市道路施工管理方法解析[J]. 建材与装饰, 2018(10):269-270.
- [44] 张伟. 道路施工管理中存在的问题及对策[J]. 建筑技术开发, 2018, 45(03):74-75.
- [45] 姚翠翠, 梁颖颖. 市政道路施工安全管理的有效措施[J]. 江西建材, 2018(02):131+133.
- [46] 张娣. 道路施工管理中精细化管理的实践[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(02):44. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201802034.
- [47] 朱益民. 道路桥梁施工技术的发展现状与趋势[J]. 居舍, 2017(30):8+23.
- [48] 向星鹏. 伸缩缝施工技术在道路桥梁施工中的应用[J]. 交通世界, 2017(30):72-73. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2017.30.034.
- [49] 樊永敏. 我国道路桥梁施工技术的现状及发展趋势[J]. 交通世界, 2017(30):76-77. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2017.30.036.
- [50] 欧阳迎忠. 探究道路施工中的软基加固施工技术应用实践[J]. 低碳世界, 2017(30):215-216. DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2017.30.142.
- [51] 申彦敏. 市政公用工程道路路基施工技术应用研究[J]. 建设科技, 2017(20):160-161. DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2017.20.039.
- [52] 马力. 浅析道路桥梁施工中防水路基面的施工技术[J]. 门窗, 2017(10):92.
- [53] 袁景兰. 道路施工中软基处理方法及控制技术[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(10):71+73. DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2017.10.043.
- [54] 艾尼瓦尔. 伸缩缝施工技术在市政道路施工中的应用分析[J]. 江西建材, 2017(19):159+163.

- [55]徐燕. 道路施工中沥青混凝土施工技术的应用初探[J]. 四川水泥, 2017(10):15.
- [56]刘桂芳, 王霞. 影响市政道路桥梁施工技术的因素及相应对策[J]. 四川水泥, 2017(10):32.
- [57]蒋国庆. 道路桥梁工程施工中的混凝土施工技术与实施要点分析[J]. 建材与装饰, 2017(40):240.
- [58]郑吉庆. 道路施工中混凝土施工技术分析[J]. 科学技术创新, 2017(28):187-188.
- [59]李海清. 道路桥梁沉降段路基路面施工技术[J]. 交通世界, 2017(28):108-109. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2017.28.050.
- [60]范帅. 浅谈市政道路施工过程中软基加固技术的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(28):141. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201728122.
- [61]王春华. 浅析道路桥梁施工中防水路基面的施工技术的探讨[J]. 江西建材, 2017(18):159.
- [62]贾其华. 当代道路桥梁施工技术及管理对策[J]. 交通世界, 2017(27):142-143. DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2017.27.069.
- [63]李朋亮. 浅埋膨胀岩隧道下穿既有道路施工技术[J]. 四川建筑, 2014, 34(06):105-106.
- [64]戴彩同. 路桥过渡段道路施工技术研究[J]. 科技与企业, 2014(23):92. DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2014.23.083.
- [65]杨金华. 浅议沥青道路施工技术[J]. 中华民居(下旬刊), 2014(10):318.
- [66]陈世杰. 浅谈道路施工技术[J]. 江西建材, 2014(18):127.
- [67]段俊. 浅谈道路施工技术管理[J]. 江西建材, 2014(18):164.
- [68]胡刚. 沥青路面道路施工技术分析[J]. 科技与企业, 2014(18):109. DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2014.18.107.
- [69]张俊忠. 城市道路施工技术关键与质量控制[J]. 中华民居(下旬刊), 2014(08):274-275.
- [70]赵连生. 沥青砼道路施工技术在市政道路施工中的应用分析[J]. 科技创新与应用, 2014(23):223.
- [71]王伦, 潘世兰. 市政道路施工技术中常见问题及有效对策[J]. 黑龙江交通科技, 2014, 37(08):44. DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2014.08.118.
- [72]孔海雄. 道路施工技术的重难点分析及发展对策[J]. 中国新技术新产品, 2014(14):95. DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2014.14.079.
- [73]傅志文. 沥青道路施工技术在市政道路建设中的应用[J]. 门窗, 2014(07):164.
- [74]陈根渺. 论机械顶管穿越道路施工技术-以工程为例[J]. 福建建材, 2014(07):77-78.
- [75]王振吉. 刍议沥青道路施工技术[J]. 科技创新与应用, 2014(20):194.
- [76]李春雨, 高照宇. 市政沥青混凝土道路施工技术分析[J]. 江西建材, 2014(13):155.
- [77]徐明涛. 论市政道路施工技术控制要点及通病防治[J]. 江西建材, 2014(13):170+173.
- [78]吴镇英. 市政道路施工技术常遇问题及应对措施[J]. 中国高新技术企业, 2014(20):109-110. DOI:10.13535/j.cnki.11-4406/n.2014.20.051.
- [79]龚彬彬. 浅谈道路施工技术[J]. 科技创新与应用, 2014(18):177.
- [80]于克咪, 张群明, 谢杨光. 市政工程道路施工技术分析[J]. 中国高新技术企业, 2014(17):109-110. DOI:10.13535/j.cnki.11-4406/n.2014.17.052.