

# 公路隧道工程施工技术及质量控制

葛怀群

身份证号码: 340321197806053477

**摘要:** 公路隧道工程施工受地质、地形、气候等因素影响, 施工难度较大, 风险因素较多, 存在一些不可预见问题。在公路隧道工程建设过程中, 应构建综合质量管理体系, 严格控制隧道工程各环节施工工艺, 落实科学的隧道施工质量控制标准, 加强工程施工过程质量管控, 提高实体施工质量。本文分析了公路隧道施工过程中出现最常见的一些问题, 探讨了加强公路隧道工程施工技术和管理的控制措施和建议。

**关键词:** 隧道工程; 施工技术; 质量控制

公路隧道施工环境隐蔽、施工地形复杂、地质条件变化较多, 施工伴随着较高的安全风险。公路隧道工程需要专业工程技术人员, 具备一定的类似工程经验, 以便能够及时有效地处理隧道开挖等环节出现的异常问题。目前, 随着我国汽车保有量急剧增加, 日益发展交通需求不断扩大, 我国高速公路建设发展进入历史的新阶段。高速公路路线四通八达, 穿山越岭, 趟水过河, 公路隧道工程越来越多, 结合国家耕地保护政策、环境保护政策和高速路网规划等影响, 一些平原地区或丘陵地区也逐步出现公路隧道规划与设计。公路隧道工程建设进入一个新的发展阶段, 特别是高速公路隧道的规划、设计、建设和运营, 面临着许多新任务和课题, 对一些平原地区的工程建设者提出了新的挑战和要求。蚌埠至五河高速公路路线穿越了蚌埠市东郊一处山地, 设计一座498米长度的双连拱公路隧道, 是皖北地区第一座公路隧道——老山隧道。结合蚌埠至五河高速公路老山隧道工程施工实例, 本文主要对公路隧道工程的施工技术和质量控制进行分析和研究。

## 一、提高隧道施工水平和质量控制的研究意义

公路隧道工程是一门系统性工程, 结构比较复杂, 工艺控制要求较高, 施工过程比较复杂。研究隧道工程施工技术和质量控制不仅可以提高施工质量, 减少工程施工周期, 还可以减少安全事故发生。隧道工程建设者主要是施工单位技术部门应参考类似隧道工程施工经验, 充分了解和析工程施工特点, 对隧道工程施工进行适当的总体分析和科学评价, 为制定工程施工方案和质量控制计划提供更全面意见和建议。从事隧道工程施工管理人员必须具备一定的隧道工程专业知识, 接受过良好的培训, 工程施工前必须充分解隧道地质勘察资料、掌握设计标准和施工技术指导方案, 了解项目具体施工内

容, 分析项目实际情况, 编制科学有效的施工组织设计和项目质量控制计划。公路隧道施工的地形和地质复杂性难以从安全角度进行评价。在施工过程中, 无法估计任何时刻都可能发生多少事故。工程施工前项目管理团队应向施工队伍主要是开挖支护方面施工队伍进行详细的技术交底, 指导如何处理各类工程隧道施工的不可预测问题, 比如坍塌、涌水突泥等, 并根据实际情况采取预防措施。同一个隧道工程的不同部位地质差异可能较大, 一些位置地质相对稳定, 但可能局部会出现较差岩土条件。如果在施工过程中没有严格的安全控制, 可能会导致一些工程事故发生。公路隧道工程开工前, 务必认真对隧道工程中存在的各种问题进行详细地分析和预判, 重点分析该隧道围岩分级分段划分及工程特性, 对隧道进出口稳定进行评估, 以及对隧道洞身围岩稳定性评价, 把安全问题放在首位, 从而有效避免安全生产事故发生。

## 二、隧道工程施工面临的难点

### 1. 喷混凝土层脱落

公路隧道工程施工当开挖岩面有较大坑洼时, 先喷凹处找平。分层喷射时后一层喷射在前层砼终凝后进行, 并按规定洒水养护。

公路隧道工程施工比较容易产生喷混凝土层脱落的现象。喷混凝土层脱落一般是由施工裂缝、施工工艺和材料质量等多方面引起的。如果喷射混凝土在抗裂与防渗方面存在一些问题, 也会导致渗水和裂缝现象的产生。混凝土裂缝是喷混凝土层产生脱落比较关键的影响因素之一, 混凝土裂缝的存在对隧道结构的稳定性、强度和使用寿命都有较大的影响。混凝土结构裂缝的产生, 会影响混凝土结构的整体性, 降低整体防水性能, 降低混凝土结构的抗腐蚀性能。

混凝土结构裂缝的存在也会极大影响混凝土结构的抗震性,如若发生震动,裂缝的存在使得混凝土结构的受力不均匀,更一步加剧了更多裂缝的产生,可能形成较为严重的工程质量问题。施工裂缝的存在直接影响了隧道工程的质量,对隧道工程的稳定性和整体性方面存在极大的危害。

## 2. 钢筋锈蚀问题

在公路隧道工程施工现场钢筋搁置过久,直接搁置在露天场地上,下面没有垫木板、上面也没有覆盖保护物,缺乏必要的规范化堆放保护措施,钢筋直接裸露在大气环境中,地面水分与夜间的潮气与钢筋直接接触,导致钢筋发生氧化反应,出现锈蚀现象。此外,没有及时对一些已完工程的预埋或连接裸露钢筋进行涂层等方式保护,或是下道施工工序不能及时连续跟上,都会引发钢筋的锈蚀现象,影响到隧道工程的正常施工。

钢筋锈蚀使钢筋有效截面积减小,钢筋与混凝土握裹力削弱,结构承载力下降,并诱发其他形式的裂缝,加剧钢筋锈蚀,导致结构破坏。

## 3. 防排水不到位

在公路隧道工程施工时,防排水处理一直是隧道工程施工的难点和重点内容。目前来说,一般是采用高分子防水材料作为隧道工程防排水系统中的防水层,并沿隧道壁的横、纵以及环三个方向安装排水管道,然后将隧道工程中的渗水引流到排水管道中,进而排出到隧道洞身外面。

但是在实际施工操作中,由于施工技术难度比较大,而且对于材料要求比较高,导致施工质量出现不合格问题,引发隧道漏水现象,从而影响到隧道工程的使用寿命,同时由于防排水施工不达标,如防排水材料与隧道岩壁连接不良、前后材料搭接宽度不足、固定点间距不够等情况,都将对工程施工产生严重影响,造成一定的工程质量隐患。

## 4. 开挖方式处理不当

选择科学合理的开挖方式是隧道工程施工的关键和核心问题。隧道工程施工前必须对开挖施工方案进行详细研究和分析,如若处理不当,将会影响隧道工程实体质量,甚至产生洞身结构整体安全等问题。隧道施工常用方法主要有五种,包括矿山法、新奥法、盾构法、浅埋暗挖法、盖挖法。隧道开挖方式的选择,主要取决于工程地质和水文地质条件、断面尺寸、隧道埋深及所采用的机械设备和施工水平等。

(1) 围岩条件:也就是地质条件,其中包括围岩级

别,地下水及不良地质现象等。围岩级别是地围岩工程性质的综合判定,对施工方法的选择起着重要的甚至决定性的作用。从施工技术的发展趋势看,地质条件虽然是重要的,但基本施工方法的变化却不显著。例如全断面法和超短台阶法的结合以及全地质型掘进机及自由断面掘进机等的开发都说明了这一点。

(2) 隧道断面:隧道尺寸和形状,对施工方法选择也有一定的影响。目前隧道断面有向大断面方向发展的趋势,如公路隧道已开始修建3车道甚至4车道的大断面。在这种情况下,施工方法必须适应其发展。在单线和双线的铁路隧道、双车道公路隧道中,越来越多地采用了全断面法及台阶法;而在更大断面的隧道工程中,先采用各种方法修小断面的导坑,再扩大形成全断面的施工方法极为盛行。

(3) 埋深:隧道埋深与围岩的初始应力场及多种因素有关,通常将埋深分为浅埋和深埋两类,有时将浅埋又分为超浅埋和浅埋两类。在同样地质条件下,由于埋深的不同,施工方法也将有很大差异。

(4) 环境条件:当隧道施工对周围环境产生如爆破振动、地表下沉、噪声、地下水条件的变化等不良影响时,环境条件也应成为选择隧道施工方法的重要因素之一,在城市条件下,甚至会成为选择施工方法的决定性因素。

(5) 施工条件:实践证明,施工条件是决定施工方法的最基本因素,它包括一个施工队伍所具备的施工能力、素质以及管理水平。目前隧道施工队伍的素质和施工装备水平,有高有低,参差不齐,因此,在选择施工方法时,不能不考虑这个因素的影响。

## 三、隧道工程施工质量控制

### 1. 喷混凝土层脱落控制

结合一些工程具体实践经验,预防公路隧道工程喷混凝土层脱落主要是从混凝土原材料、混凝土浇筑和养生等方面控制与管理。

(1) 选取抗渗性能较强与低水化热反应的配合比对混凝土材料进行比例配置,混凝土原材料要选择抗渗性能较好的,同时水热化反应比较低的水泥,而且为了降低水泥在混合料中的水热化反应,需要添加适量的粉煤灰,但是粉煤灰的用量不能超过水泥用量的40%,这样才能有效防止由于温度出现剧烈变化导致的混凝土裂缝问题。

(2) 混凝土浇筑,需要连续不断的进行,利用输送泵和运输车不停的运输混凝土,因此如需要中断混凝土

的浇筑过程,则需要相应的混凝土试验以计算中断时间,防止中断时间过长而对混凝土的质量产生影响。此外混凝土振捣时,为了防止混凝土出现露筋,裂缝以及气孔等问题,要保证混凝土振捣密实。

(3) 混凝土的浇筑温度。在实际工作中,要保证浇筑温度在 $10 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ,一旦温度过高,就会出现裂缝问题。

(4) 加强浇筑混凝土的养生工作。混凝土养生工作要注意做好混凝土的保温和保湿工作,要注意结合外界环境的温度和湿度,同时当衬砌工作完成后,要用土工布对衬砌层进行覆盖;混凝土养生要保证养生环境的温度不高于 $25^{\circ}\text{C}$ ,同时要对混凝土表面及时喷洒水分,以保证混凝土的湿度,另外养生时间要控制在14天以上。

## 2. 钢筋锈蚀防御

在工程施工现场钢筋存放保护是非常重要的,一般不允许露天放置,应按规定等做好覆盖或者包裹处理。加工后的成品钢筋做到归类堆放并及时使用,不能长期库存。对于部分已完工程结构的裸露连接钢筋或预埋钢筋,可以通过在钢筋表面涂抹水泥浆等保护层进行处理。在实际施工过程中,应不断对钢筋班组等施工人员进行培训,加强钢筋保护意识培养,加强现场钢筋存放管理。

隧道工程应注意从实体结构处理、混凝土施工措施和工艺管理等方面防御钢筋锈蚀,一是增加保护层厚度,可以推迟由碳化引起的钢筋锈蚀,还可以减缓氧气扩散,减缓由氧气扩散控制的钢筋锈蚀,同时还可以减缓氯离子在混凝土中的渗透量;二是适当增加混凝土的搅拌时间和振捣力度等方法最大限度提高混凝土的密实度,降低混凝土的孔隙率,减缓混凝土的碳化速度,减缓有害离子的传递速度甚至可以阻止有害离子的扩散;三是控制混凝土中的最大水灰比和最小水泥用量,在混凝土中掺入适宜的减水剂,减小混凝土中水的含量。

## 3. 防排水处理

隧道防排水施工遵循“防、排、堵、截相结合、因地制宜、综合治理”的原则,争取隧道建成后达到洞内基本干燥的要求。隧道工程防排水处理主要是主体洞身初期支护与二次衬砌之间防排水的处理方面。结合老山隧道工程实例,隧道防排水处理需要特别注意一些敷设施工方面等事项。

衬砌防水:初期支护与二次衬砌之间敷设一层 $1.5\text{mm}$ 厚防水板+防水土工布,作为第一道防水措施,一般衬砌段铺设范围为拱部及边墙。一般衬砌段拱部和边墙二次衬砌采用不低于P8的防水混凝土,作为第二道防水措施。隧道变形缝采用橡胶止水带止水,隧道施工缝

采用膨胀橡胶止水条加背贴式止水带止水。

衬砌排水:在初期支护和二次衬砌之间布设纵、环向系统排水盲沟;纵向采用 $\phi 11\text{cm}$ HDPE纵向双壁打孔波纹管全隧贯通布置,纵向坡度与隧道相同。

环向采用 $\phi 5\text{cm}$ 软式透水管HDPE打孔波纹管与 $\psi$ 型弹簧排水管。暗洞环向排水管每道一根,为了使半圆管与岩面密贴,围岩开挖后先喷 $2 \sim 5\text{cm}$ 厚混凝土,再挂环向排水管。暗洞环向排水管在涌水、突水段每道2根,必要时采用注浆堵水;当岩面有大面积裂隙渗水,且水量、压力较小时,可结合初期支护采用喷射混凝土堵水,在敷设排水管,喷射混凝土应加大速凝剂用量,进行连续喷射,且在主裂隙处不喷射混凝土,使水流能集中于主裂隙进入环向排水管;当岩面大面积淋水段,应先用环向排水管引排水,上覆铁丝网后再喷混凝土;初喷完成后,若还有漏水段,可适当加设 $\phi 50$ 圆管排水。

$\psi$ 型弹簧排水管原则上在渗水较集中处铺设,V级衬砌地段间距为 $5\text{m}$ ,IV级衬砌地段间距为 $10\text{m}$ ,III级衬砌地段间距为 $20\text{m}$ ,施工时可根据具体情况适当调整。 $\psi$ 型弹簧排水管设置原则:根据初期支护喷射混凝土深度及地下水的大小和围岩变形收敛情况,喷射混凝土可分为二至四层,每层混凝土不小于 $5\text{cm}$ ,开挖后由于围岩裂隙水的全面流出。立即喷射第一层混凝土封闭,随着围岩变形,第一层混凝土产生裂隙漏水,凡漏水处均钻眼并设 $\psi$ 型弹簧排水管,排水管设置钢钉初期固定后,立即向表面喷射 $2\sim 3\text{cm}$ 速凝灰浆包裹固定。第二层也依此顺序进行。在较长的无渗漏水地段,可每隔 $5\sim 10\text{m}$ 沿墙壁钻眼,按上述方法预设暗埋式半圆排水管。

横向排水管采用 $\phi 11\text{cm}$ HDPE波纹管,设置间距根据开挖后地下水情况设置,但其设置间距不大于 $10\text{m}$ ,横坡不小于 $2\%$ 。设于纵向排水管与纵向盲沟之间,纵向排水管中汇集的地下水经横向排水管进入纵向盲沟,排出洞外。纵向与横(环)向排水管用塑料三通联接,接头处外缠无纺布,横向排水管尽量紧靠环向盲沟。

## 4. 优化隧道洞身开挖施工

选择合理的洞身开挖方式是决定隧道工程施工能否顺利实施的关键。开挖方式主要受工程围岩地质条件影响,施工前应对施工组织方案进行认真研究和分析,并按规定组织专家评审,确保实际工程操作可行。根据蚌埠至五河高速公路设计文件等要求,老山双连拱隧道施工将严格按照新奥法方式组织,施工原则:少扰动、管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、紧衬砌、勤

量测、速反馈。采用超前长管棚、超前小导管、超前锚杆及加固注浆等辅助施工措施。掘进循环进尺宜采用短进尺,支护应紧跟开挖面。对自稳性较差的软弱围岩地段,应对开挖面及早作封闭式支护。结合现场实际情况,将超前地质预报和隧道监控量测贯穿于整个隧道施工过程中,准确预报隧道掌子面前方围岩构造及水文情况、监控量测隧道围岩变形、隧道支护与衬砌结构受力情况,以及时改变稳定围岩的辅助措施和调整初期支护参数或修改衬砌结构类型,确保隧道施工安全和隧道结构的稳定。

隧道从进口(淮南端)单头掘进,采用自制钻孔台架配合凿岩机钻孔、人工装药、挖掘机配合侧卸式装载机装碴、自卸汽车出渣。隧道主洞二次衬砌采用

10.5米自行式液压钢模衬砌台车立模,混凝土拌和站集中拌制混凝土,砼运输车运送、混凝土输送泵泵送入模,先墙后拱浇筑顺序。

中导洞贯通前应先施做主洞出洞口长管棚(16m),管棚采用 $\phi 89 \times 6$ mm钢管,为增强钢管的刚度,注浆完成后管内以M30水泥砂浆填充。出口贯通面选择在K7+477处(设计明暗挖分界里程),该处覆土厚度为4.3m。当隧道掘进至K7+457时,在洞口开挖1m,预留核心土,立两榀工字钢拱架,从洞内向洞外开挖,直至贯通。

在进行洞口段开挖施工前必须施作好洞顶截水沟,防止地表水体渗入开挖面影响明洞边坡和成洞面的稳定;在进行开挖过程中,边坡防护必须与边坡开挖同步进行,套拱施工段2m范围内按要求预留核心土体,待洞口长管棚施工完成后再开挖进洞。洞口地质较差,应尽量避免雨季施工,明洞衬砌完成后应及时回填。

隧道施工开挖总体上采用光面爆破技术,使隧道开挖断面尽可能地符合设计轮廓线,减轻对围岩的扰动,减少超、欠挖。中导坑全隧道贯通并浇筑中隔墙后,开始主洞开挖、支护。V级围岩段主洞侧导坑先期施工,

其他部分采取预留核心土法施工。IV级围岩主洞采取环形开挖预留核心土法施工,III级围岩段主洞采用上下台阶法施工。同一端洞口左右侧主洞的施工掌子面错开50m。

#### 四、结束语

如今我国社会和经济水平迅速发展,各地高速公路建设发展日新月异,“十四五”期间全国高速公路建设又进入一个快速发展的新阶段。可以预见,公路隧道项目在我国中东部一些平原地区或丘陵地区也会不断出现。公路隧道施工将会出现一些并不常见的技术难点和工程问题,给各地公路建设者提出了更高的技术和管理方面要求。公路隧道项目一定要对工程质量进行把控,对隧道工程中的难点进行分析和研究,预判产生的施工问题和采取有效的应急方案,并做好喷混凝土层脱落控制、钢筋锈蚀防御、隧道防排水处理以及加强隧道开挖工艺控制管理等工作。

总之,公路隧道工程应按规定制定详细的施工组织计划,明确各道施工工序技术要求,完备相应的质量管理控制措施,编制专项安全施工方案和保障措施,从而有效地指导工程实际施工,提高现场施工安全管理水平,确保公路隧道工程实体质量。

#### 参考文献:

- [1]张杨.公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用探析[J].工程技术研究,2020,5(23):66-67. DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2020.23.028.
- [2]刘洋.试论苗寨沟隧道右幅进口仰拱首件工程施工的施工及质量保障策略[J].黑龙江交通科技,2020,43(11):126-127. DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2020.11.070.
- [3]段伟超.关于桥梁隧道工程施工质量控制难点及技术对策分析[J].运输经理世界,2020(13):68-69.
- [4]陈跃进.隧道施工技术管理关键点及质量控制分析[J].运输经理世界,2020(12):39-40.