

高速铁路圆端形变截面空心桥墩翻模施工工艺研究

胡金伟 东鹏飞 冯华民

中铁九局集团有限公司 辽宁沈阳 110000

摘 要:我国已成为世界上桥梁工程最多,发展最快的国家。当前,对于建设空心薄壁高墩的施工模板方案,主要有滑模、爬模和翻模三种方式供选择。液压滑模和液压爬模在施工速度上具有优势,但它们需要大量的配套设备和施工机具投入,通常还需要配备塔吊、电梯等设备。这些模板具有高的刚度和自重,可能导致混凝土外观质量较差,且施工纠偏困难。一旦开始施工,就不能中断,这在雨季可能会影响施工进度和质量,并且昼夜连续作业会增加管理难度。相比之下,“提升翻模”施工需要的配套设备较少,施工机具投入也较小,对模板的刚度要求较低,自重也较轻,这使得混凝土外观质量更容易控制,施工纠偏也相对容易,而且可以连续或间断施工。

关键词:空心薄壁墩;翻模;施工工艺

新建重庆至昆明高速铁路宜宾至嵩明段站前工程YKYGZQ-3标位于云南省曲靖市会泽县境内。头道河特大桥空心墩共计10个,最大墩高58米,均为圆端形变截面空心桥墩,其外坡比为40:1,内坡比为60:1,墩底、顶实心段均为2.5米,最大截面面积为 12.3×7.9 米。在头道河特大桥7#墩翻模施工过程中,项目技术人员对高墩每节混凝土的浇筑高度、混凝土质量控制、模板施工、钢筋绑扎连接及施工机械的综合运用不断比较分析,总结形成高速铁路圆端形变截面空心桥墩翻模施工工艺研究。

一、工法特点

①创新设计了可伸缩式内网架平台,平台放置于模板的拉杆孔上,可实现整体吊装,代替墩内布设50米高盘扣式脚手架,大大节省了施工机具及人力的投入,减少了施工安全风险。

②翻模施工模板投入量小、施工周期快、周转次数及利用率比较高,利用一套模板可实现流水作业。

③此施工技术展现出了对多种混凝土输送及提升手段的兼容性,并显著加快了施工进度。在泵送混凝土作业中,它能够与模板上翻动作同步,灵活延长泵送管道,此举不仅加速了混凝土的浇筑效率,还便于即时调整墩身施工偏差,促进了模板的迅速清理、修正及脱模剂的应用。另外,通过塔式起重机与倒链的协同使用来抬升模板和工作平台,实现了设备配置的简便性与经济合理性。完成拆模后,混凝土表面呈现出极为优良的外观品质。

④本项目创新性地引入了内嵌式预制钢筋混凝土盖板作为封顶方案。该策略直接以预制盖板充当底部模板,省去了额外布置木制或钢质模板(包括用于加固模板的支撑结构)的需求。同时,预制盖板与桥墩结构融为一体,无需后续移除。施工期间,预制钢筋混凝土盖板的安装可与墩身建造并行推进,最终借助塔吊完成吊装作业,这一流程既便捷又安全,有效缩短了工程周期,且具备出色的经济效益。

二、适用范围

该施工方法具有广泛的适用性,能够在高速铁路、客运专线及高速公路等多种桥梁工程中实施变截面空心墩的翻模施工。

三、工艺原理及施工体系

1. 工艺原理

该翻模施工体系主要由四节段的大块组合式钢模构成(墩底实心部分不在此列),同时还包括了支架结构以及内外两个工作平台。在施工过程中,随着各节段混凝土的逐层灌注,工作平台得以逐步提升,并相应地带动支架结构向上移动。此时,借助塔式起重机与倒链的协同作用,模板能够持续翻升,直至达到预定的设计标高。这种方法具有以下优点:首先,它能够适应多种不同的施工环境,包括山区、平原和城市等地区。其次,由于采用了大块组合钢模,使得整个结构的刚度得到了提高。此外,该方法还具有较快的施工速度和较低的成本,因此在实际应用中得到了广泛的应用。

空心墩根部实体段和首节空心段砼施工时,通常需

要使用竖向调整节模板。将调整节模板支立于已施工完成的承台顶，第二层模板支立其上，墩身内外模板拼装完成并经测量定位无误后一次浇筑墩身砼。待达到拆模强度后，拆除根部首节模板，同时松开第二层模板的最下层螺栓，此时上部荷载由已硬化的墩身砼传至墩底。随后进入翻模施工阶段，将标准节模板拼装调整并打磨完成后，利用吊升设备将其翻升到第一节最上层进行安装，该标准节共计2层模板合4米高，待该节段砼浇筑完成并达到拆模强度后，保留最上层标准节模板，拆除其余模板，拼装调整并打磨完成后，利用吊升设备将其翻升到第三节，依据此流程，施工团队将不断循环进行一系列操作：首先拆卸模板，随后翻升并重新组立模，接着进行平面和标高的精确测量与定位，最终完成混凝土的浇筑工作，直至达到设计墩顶高度。

2. 施工系统

施工系统由提升机构、模板系统、工作平台和安全设施组成。

①提升机构采用的是塔吊，其主要任务是负责模板及小型机具的提升等。在混凝土输送方面，采用了汽车泵与地泵结合的方式，这种方式既能够保证混凝土的输送效率，又能够满足不同施工环境的需求。

②所选用的模板系统为拉杆式钢模设计，该模板体系主要由标准化的钢模单元及配套拉杆构成，均根据详细的施工图纸要求，由专业的钢模制造厂家定制生产。在模板加工阶段，必须执行严格的试拼装流程，以确保模板系统的精确度与稳定性。此试拼过程涵盖两个关键方向：一是水平方向的拼接测试，二是垂直方向的对接验证，其中，对于模板首次翻升后的垂直方向试拼，需给予特别的关注与细致的检查，以确保后续施工的顺利进行。

③为了优化施工流程并提升作业效率，特别设计了内外两个独立的操作平台。外部操作平台环绕墩身模板四周构建，依托于特制的角钢支架之上，其主要功能在于提供外围的安全防护，同时便于在模板固定之前进行安装、拆卸、微调及加固工作，此外还承担着墩身钢筋绑扎的任务。此平台采用工厂预制的三角形支架结构，宽度设定为0.9米，并以1.0米的环向间隔通过高强度螺栓稳固地连接在墩身外模的外侧。支架材料选用L80号角钢，其上铺设满脚手架板，旨在为施工人员提供安全便捷的行走与作业空间。平台周边则设置L63号角钢作为防护栏杆的立柱，立柱高度达到1.2米，间距保持1.0

米，并通过 $\Phi 16$ 钢筋焊接形成环状围栏，围栏的竖向间距为0.3米。在防护栏内侧悬挂安全立网，而平台下方则加装安全平网，以此全面防范高空坠物与人的安全风险。

针对内部模板的拆除以及钢筋的接续与绑定需求，内部操作平台采用了一种创新的设计策略，即在空心墩内模上预先设置螺栓孔洞，利用 $\Phi 32$ 规格的精轧螺纹钢作为支撑，在其上安装可灵活伸缩的内模移动网架系统。对于脚手架的搭建，根据实际需要，在特定位置可临时布置长竹排或木板作为辅助设施，待作业结束后予以移除。每当墩身施工接近顶部时，会在脚手架上方额外搭建一个专用的作业平台，专门用于混凝土浇筑工序的操作。考虑到内部模板拆除过程及泵管输送作业可能引起的震动影响，特别规定在内模尚未移除的区域，横向钢管的顶端需与内模保持至少50厘米的距离；而在内模成功拆除之后，则采用更长的钢管与墩身内壁进行固定，以此来确保整个脚手架体系的稳定性和安全性。

四、操作方法及操作要点

1. 操作方法及操作要点

(1) 施工准备

施工前，认真学习施工方案，全面了解施工图纸的意图，深入研究相关技术问题，熟练掌握相关规范和控制技术标准，开展上岗前的安全技术教育培训，确保考试合格后，作业时必须持证上岗，做好劳动力的组织工作，准备好各种施工机械和设备，确保其完整率，以满足施工要求。

(2) 钢筋施工

钢筋施工前，对已经浇筑完成且混凝土强度达到设计规范要求得混凝土面进行凿毛处理，至少露出75%的新鲜混凝土，杂物清理干净后。再将内模板一次安装到位（即6m高，除首段外），然后再进行钢筋绑扎，钢筋帮扎时采用定制的操作平台，墩身水平钢筋第一次绑扎高度为2m，完成之后，将操作平台吊下，安装2m高的外模，使用操作平台再次绑扎剩余4m钢筋，平台围绕墩身钢筋形成一个闭合环状，每个平台之间采用钢管扣件进行连接，底部坐落于模板平台上的花纹钢板上。

(3) 模板施工

1. 首段墩身施工

首节模板安装注意事项：

①在进行模板安装之前，需借助全桥控制网精确放样墩身中心点及其四个角点，并通过换手二次测量的方式确保数据无误。随后，在承台表面使用墨线清晰标出

墩身截面轮廓线及立模控制线的十字轴线。此外,墩身模板在正式施工前还需经过预拼装检查,以确保所有配件齐全且安装正确无误。

②沿着墩身的轮廓线施作一层厚度为3厘米的砂浆找平层,旨在调整基顶的水平度,确保各点的相对标高差异不超过2毫米。当第二节墩身施工完成后,可凿除该砂浆找平层,以便底节模板能够顺利拆除。

③外模安装完毕后,需再次进行抄平与校正工作,确保模板顶部的相对高差小于2毫米,同时对角线误差控制在5毫米以内。满足上述要求后,方可上紧所有的螺栓、拉杆及支撑结构。

④在进行承台混凝土施工时,应在墩身轮廓线外侧约70厘米处预埋 $\phi 16$ 规格的短钢筋头,此举是为了便于后续墩身外模支点的加固工作。

⑤首节模板的安装过程中,首先利用塔吊进行吊装,并辅以人工协助就位。具体操作时,先拼装墩身一个面的外模,然后逐步完成整个墩身第一节外模板的组拼工作。待外模板安装稳固后,再进行内模板的吊装作业;紧接着安装拉筋。需要注意的是,在每节模板安装过程中,应在两节模板间的缝隙中塞填薄钢板进行纠偏处理。墩身外模板采用平面钢模板和圆端形钢模板,模板标准节高2米,每次浇筑控制在6米范围内,浇筑速度控制在不大于0.9米/小时。实体段浇筑时与下倒角一同浇筑高度3.5米,根据模板配置尺寸,适当调整浇筑高度4~6米,首节混凝土浇筑高度宜为4米。

2. 第二模墩身施工

标准阶段模板编号从下往上依此为①、②…,按顺序拆除①模板,依次将③④⑤放置在②号模板,即从下往上模板编号为②③④⑤,节共6m高,内模翻模时采用相同的方法。

利用拉杆对拉加固墩身模板。搭设内模施工平台,接长墩身脚手架施工平台,采用塔吊提升墩身钢筋,主筋接头采用单面焊接方式连接,以保证施工质量。

采用混凝土泵车浇筑第二模墩身混凝土。

施工时注意在实心段墩身顶部倒角处预留泄水孔,以利上面各节墩身施工期间养生水和雨水流出。

3. 其余节段墩身施工

第二模浇筑完成后,保留最上面⑤号模板,依次拆除②③④号模板,放置在⑤号模板,循环交替翻升模板、绑扎钢筋、浇筑混凝土,每次翻升3块标准节模板,依次周而复始,直至完成整个薄壁空心高墩身的施工,直

至墩顶。

4. 空心墩封顶实心段施工

空心墩外坡为40:1,内坡为60:1,空心部分高度32m~58m。墩顶实心段部分高300cm,分两次浇筑。采用在空心墩墩顶实心段倒角处预留槽口,采用8块10cm厚C50预制盖板放置在预留槽口上,盖板中预留钢筋安装孔洞,与主筋相连接加以固定形成底模。第一次浇筑高度为60cm,待已浇筑混凝土达到设计强度后,再浇筑剩余高度2.4m实心段混凝土。顶帽实体部分高300cm,分两次浇筑,第一次采用预制盖板现浇60cm高,第二次240cm厚顶帽在第一次混凝土浇筑完成达到100%强度后,进行第二次浇筑。底板铺设完成即开始钢筋制安,绑扎钢筋时必须严格按照设计要求的位置、间距进行施工,同时注意钢筋连接位置的检查,钢筋模板在经过严格检查并确认合格之后,于混凝土浇筑之前,需对接缝处进行凿毛处理并彻底清洗。在混凝土的浇注过程中,必须指派经验丰富的混凝土工人负责振捣工作,在施工过程中,采用插入式振动器进行操作时,需严格把控振捣棒的移动范围,确保其移动距离不超过振动棒半径的1.5倍,并且与模板保持一定的间距,这个间距应控制在5至10厘米之间。同时,振动棒在插入混凝土时,应深入下层混凝土5至10厘米以确保振捣效果。对于每层混凝土的分层厚度,也有明确的要求,即不应超过50厘米,以避免出现振捣不均的情况。在每一处振捣完成后,操作人员应边振动边缓慢地将振动棒拔出,这样做的目的是确保混凝土中的气泡能够被有效引出至表面,从而提高混凝土的密实度。在整个振动过程中,务必保持高度的专注和谨慎,避免振动棒与模板或钢筋等发生碰撞,以免对这些结构造成损伤。对于每一个需要振捣的部位,都应持续进行振动处理,直至该部位的混凝土变得密实为止。密实的标志是混凝土停止下沉、不再冒出气泡,且表面呈现出平坦的状态,混凝土开始泛浆。浇注完成后,应立即进行养护工作。对于墩顶实心段混凝土的养护,采用水桶加覆盖土工布的方式进行养护。

(4) 混凝土施工

① 浇筑前准备工作

在进行混凝土浇筑之前,必须全面而细致地检查模板的各项指标,包括其标高、尺寸、位置、强度、刚度、牢固性、平整度以及内侧的光洁度等是否均满足施工要求。要特别注意的是,模板之间不得存在缝隙和孔洞。此外,还需仔细检查模板接缝的严密程度,确保隔离剂

涂抹得均匀且无遗漏。同时,模板中的任何杂物都应被彻底清理干净。对于钢筋及预埋件,也需要进行严格的检查,包括其数量、型号、规格、摆放位置以及保护层厚度等是否均符合设计要求。并且,要做好隐蔽工程的验收记录,确保每一步都符合规范。在正式浇筑混凝土之前,必须指派专人负责仔细检查钢筋保护层垫块的位置和数量,以及模板、支架、钢筋、预埋件的紧固程度。特别需要注意的是,构件侧面和底面的垫块数量至少应达到4个/m²,并且绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。除此之外,还需对模板及支架系统的整体稳固状况进行全面检查。一旦发现问题,应立即采取相应的措施进行处理。在墩顶封顶时,应在顶部倒角上方预留槽口,以便作为封顶混凝土模板支撑使用。

②混凝土浇筑及振捣

墩身混凝土的浇筑工作采用了泵送混凝土的方式。针对那些混凝土倾注高度超过2米的情况,我们特别采用了串筒下料的方法,这样做是为了防止混凝土发生离析现象。在整个浇筑过程中,我们严格按照一定的顺序和方向进行分层操作。具体来说,墩身混凝土的浇筑应当在整个截面内按照一定的厚度、顺序和方向进行分层浇筑,并且确保在下层混凝土初凝或能重塑之前完成上层混凝土的浇筑。每一层都应保持水平状态,而分层浇筑的厚度则建议控制在30厘米左右。此外,混凝土的浇筑工作应当保持连续性,然而,在某些不可抗力力的情况下,如果需要暂时中断浇筑作业,那么其间歇时间必须严格控制在小于前层混凝土初凝时间的范围内。在混凝土正式入模之前,还需依据相关规定对其温度、坍落度以及含气量等关键性能指标进行精确测定。另外,混凝土的最大浇筑速度也不应超过每小时0.9米。

③模板拆除混凝土养生

墩身的养护工作由专人负责,每浇筑完一模混凝土,待混凝土强度大于15MPa后拆除模板,拆模时应先从直线段开始,依次将对拉杆松开,拆除哪块松哪块,严禁将螺栓全部松开厚再进行模板拆除,模板拆除应按照一顺时针顺序来,严禁随意拆除;在进行模板拆除工作时,必须严格遵循以下条件:当混凝土芯部与表面、以及表面与环境之间的温差超过20℃时,坚决不允许进行拆模

操作。此外,在混凝土内部温度开始下降之前,也不得擅自拆除模板。同时,在遭遇大风天气或气温出现急剧变化的情况下,同样应当避免进行拆模作业,以确保施工质量和安全。通知监理工程师检查墩柱外观,检查合格后及时对墩身表面对拉杆进行封堵且均匀喷洒清水,对拉孔采用干硬性水泥预缩砂浆进行封堵(不低于墩身本身混凝土强度),拆除模板后专用扳手将锥形套卸除,清理锥形孔内的残渣,并喷水湿润,拌制干硬性水泥预缩砂浆,拌制好的干硬性水泥预缩砂浆采用塑料布包裹。干硬性水泥预缩砂浆存放0.5至1h后,人工填充清理干净锥形孔,边充填边捣实,捣实至表面出现少量浆液为宜,最后用抹刀反复摸压至平整光滑。然后包裹塑料薄膜,包裹物紧贴墩身,沿墩身盘旋而上,相接处重叠覆盖10cm,保证包裹物内水分不易散失,包裹到顶部后用胶带粘紧,保证覆盖紧密。包裹好后,在每节段上方采用自动喷淋系统洒水养护,养护时间不少于14天。设专人每日对墩柱进行检查,确保水分充足,以保证养护质量;当采用塑料薄膜作为包裹物时,要保证塑料薄膜表面无破损、无漏洞,发现有小面积破损,必须及时进行处理,采用宽胶带将破损处密封,大面积破损先对破损处洒水,然后用塑料薄膜包裹。为防止浇筑下一节墩身混凝土时出现漏浆对已覆盖部位包裹物造成损坏,必须在浇注下节混凝土前用塑料薄膜紧包裹住最上节的塑料薄膜,围护范围在1.5m左右养护完成后及时拆除包裹物。由于墩身比较高,每拆一节模板,借助内外操作平台及吊篮及时进行覆盖、包裹。作业时必须佩戴安全带,有恐高症、高血压者严禁高空作业。

参考文献

- [1] 张克雷.大跨度连续刚构薄壁空心墩翻模施工技术[J].国防交通工程与技术,2021,19(S1):71-73. DOI: 10.13219/j.gjgyat.2021.S1.022.
- [2] 陈建.特大桥圆端形变截面空心薄壁高墩群施工技术[J].工程机械与维修.2021,(3).DOI: 10.3969/j.issn.1006-2114.2021.03.053
- [3] 冯世敏.桥梁工程施工中常见的技术问题及其解决策略[J].广东公路交通,2018(04)