

水工隧洞混凝土衬砌施工技术

全超文 杜帛桐 郭清华 杨草蕾 黄叶辉
广东粤海粤西供水有限公司 广东 广州 510610

摘要：水工隧洞混凝土衬砌施工质量对工程安全运行意义重大。施工涵盖模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑及养护拆模等多项技术要点，需严格把控各环节操作规范。施工中面临地质复杂、环境恶劣、结构尺寸精度难控等技术难点，通过优化地质处理、改善施工环境、强化过程控制等措施可有效应对。这些技术要点与应对措施，为保障水工隧洞混凝土衬砌施工质量提供了有力支撑。

关键词：水工隧洞；混凝土衬砌；施工技术

引言

随着水利工程建设规模不断扩大，水工隧洞作为输水、泄洪等重要通道，其混凝土衬砌施工技术的优劣直接影响工程整体效益与使用寿命。当前，复杂地质条件、恶劣施工环境及严格的结构尺寸精度要求，对混凝土衬砌施工提出了更高挑战。本文系统剖析水工隧洞混凝土衬砌施工技术要点，深入探讨施工中的技术难点，并针对性提出应对措施，旨在为相关工程施工提供技术参考与实践指导。

1 水工隧洞混凝土衬砌概述

水工隧洞混凝土衬砌在水工隧洞工程里占据着举足轻重的地位，是保障隧洞结构稳定与安全运行的核心要素。其核心功能体现在多个方面。从支护角度来看，混凝土衬砌能有效防止隧洞围岩出现松动、坍塌现象，对围岩起到加固作用，进而形成稳固的永久性支护层。在隧洞运营期间，围岩会因地质应力等影响发生变形，而衬砌与围岩协同作用，共同承受山岩压力、内水压力等各类荷载，维持围岩稳定，杜绝塌落事故的发生。在输水性能方面，衬砌能够降低隧洞表面糙率，打造光滑平整的表面，以此减少水头损失，优化水流条件，显著提升隧洞的输水效率与运行性能。在围岩保护上，隧洞所处潮湿环境会使围岩遭受水流、空气、温度及干湿变化等因素的侵蚀。混凝土衬砌作为坚固的防护屏障，可阻挡水流对围岩的冲刷与风化作用，防止围岩因长期侵蚀而受损，从而延长隧洞的使用寿命。防止渗漏也是混凝土衬砌的重要职责。在水利工程中，隧洞渗漏不仅会造成水资源浪费，还可能危及工程结构安全。高质量的混凝土衬砌具备优良的密实性，能有效阻止水流渗透，保障工程安全稳定运行。水工隧洞混凝土衬砌施工需严格遵循技术要求与工艺流程。施工过程中，要重视混凝土质量控制，从配合比设计到原材料选用，都要确保混凝土

具备足够的强度与耐久性。要合理规划施工缝、伸缩缝，并采取有效的防裂措施，防止衬砌出现裂缝，影响工程质量与安全。通过科学施工与管理，充分发挥混凝土衬砌的作用，为水利工程的长期稳定运行保驾护航。

2 水工隧洞混凝土衬砌施工技术要点

2.1 模板安装技术

（1）模板选型需契合水工隧洞结构特征与施工条件，针对不同断面形式及尺寸，选用木模板、钢模板或钢木组合模板。圆形断面隧洞常采用整体移动式钢模台车，其具备整体性强、刚度大的特性，可有效保障衬砌曲面精度与表面平整度，同时提高模板周转效率；对于异形断面或小型隧洞，木模板通过灵活的裁切拼接，能够精准适配复杂形状，满足施工需求。（2）模板安装过程中，严格控制其定位精度，利用全站仪、水准仪等测量仪器，以设计轴线与高程为基准，对模板位置进行精确放样与校准。模板支撑体系须具备足够的强度、刚度与稳定性，采用钢管脚手架、型钢支撑等构建稳固的支撑结构，支撑间距依据模板受力计算合理确定，确保在混凝土浇筑过程中模板不发生变形、位移，防止出现错台、跑模等质量缺陷。（3）模板接缝处理是保证衬砌外观质量与防渗漏性能的关键环节。模板拼接时，采用企口缝、搭接缝等形式，缝隙处粘贴海绵条、橡胶条等密封材料，避免混凝土浇筑时漏浆，保证衬砌表面光滑平整。安装完成后，对模板表面进行清理与涂油处理，涂覆脱模剂应均匀适度，既便于脱模，又不污染混凝土表面，为后续施工奠定良好基础^[1]。

2.2 钢筋绑扎技术

（1）钢筋加工需严格按照设计图纸与规范要求进行，钢筋的调直、切断、弯曲等工序均需符合标准。采用钢筋调直机、切断机、弯曲机等专业设备，确保钢筋的规格、尺寸、形状准确无误。加工后的钢筋表面应

洁净、无损伤,油渍、漆污和铁锈等在绑扎前需清除干净,避免影响钢筋与混凝土的粘结性能。(2)钢筋绑扎时,遵循先主筋后分布筋的原则,按照设计间距与位置进行精准布置。采用22号铁丝或钢筋焊接进行绑扎固定,绑扎点应牢固可靠,避免钢筋移位。对于受力钢筋的连接,优先采用机械连接或焊接方式,保证连接强度与可靠性,如套筒挤压连接、闪光对焊等技术,可有效提高钢筋连接质量,确保钢筋骨架整体受力性能。(3)钢筋保护层厚度控制直接关系到混凝土衬砌的耐久性与结构安全。在钢筋骨架与模板之间设置高强度砂浆垫块或塑料卡,垫块间距根据钢筋直径与混凝土浇筑高度合理确定,确保钢筋在混凝土中位置准确,保护层厚度符合设计要求。在钢筋绑扎过程中,注意预留预埋件、孔洞等,避免后期凿除破坏结构,保证隧洞各项功能设施的安装与使用。

2.3 混凝土浇筑技术

(1)混凝土浇筑前,需对模板、钢筋、预埋件等进行全面检查验收,确保其位置准确、安装牢固,模板内杂物清理干净,湿润模板但不得有积水。根据隧洞浇筑长度与结构特点,合理划分浇筑仓面,确定浇筑顺序与方向,一般采用分层、分段、对称浇筑方式,避免混凝土产生不均匀沉降与裂缝。(2)混凝土入仓采用溜槽、串筒、泵送入仓等方式,防止混凝土产生离析现象。入仓高度较大时,通过设置缓降装置,控制混凝土自由下落高度不超过2m。浇筑过程中,采用插入式振捣器进行振捣密实,振捣棒应快插慢拔,插入深度与间距依据混凝土坍落度与骨料粒径合理控制,避免漏振、过振,确保混凝土内部密实、表面泛浆,无蜂窝、麻面等缺陷。

(3)施工缝处理是混凝土浇筑的重要环节,在浇筑上一层混凝土前,需对已浇筑混凝土表面进行凿毛处理,清除浮浆、松动石子等,冲洗干净后铺设一层2-3cm厚的同强度等级水泥砂浆,增强层间粘结力。在混凝土浇筑过程中,严格控制浇筑速度与间歇时间,避免因浇筑速度过快导致模板受力不均,或间歇时间过长形成冷缝,影响混凝土衬砌的整体性与防水性能^[2]。

2.4 养护与拆模技术

(1)混凝土浇筑完成后,应及时进行养护,以保证混凝土强度增长与耐久性。采用洒水养护、覆盖塑料薄膜或土工布等方式,保持混凝土表面湿润状态。养护时间根据混凝土强度等级、水泥品种及环境温度等因素确定,对于普通硅酸盐水泥拌制的混凝土,养护时间不少于14天;大体积混凝土养护周期适当延长,通过控制混凝土内外温差,防止温度裂缝产生。(2)拆模时间需

依据混凝土强度增长情况确定,在混凝土强度达到设计强度的70%以上,且能保证其表面及棱角不因拆模而受损时,方可拆除模板。对于承重模板,需在混凝土强度达到设计强度的100%后拆除。拆模过程中,遵循先支后拆、后支先拆的原则,严禁强行撬拆,避免损伤混凝土表面与棱角,拆除的模板应及时清理、修整、堆放,以备下次使用。(3)拆模后,对混凝土衬砌表面进行检查验收,对于出现的蜂窝、麻面、裂缝等缺陷,及时制定修补方案进行处理。轻微缺陷采用水泥砂浆抹面修补;对于较深裂缝,采用压力灌浆等技术进行处理,确保混凝土衬砌表面质量与结构安全,使水工隧洞满足设计与使用要求。

3 水工隧洞混凝土衬砌施工技术难点及应对措施

3.1 技术难点

3.1.1 地质条件复杂

水工隧洞常穿越不同地质构造区域,地层岩性复杂多变。岩石的软硬程度差异大,软弱岩层如页岩、泥岩等强度低、稳定性差,在开挖过程中极易出现坍塌、变形,导致衬砌结构受力不均,影响衬砌施工质量与隧洞整体稳定性。断层破碎带区域岩体完整性差,裂隙发育,地下水易沿裂隙渗透,不仅增加施工排水难度,还可能引发突泥、涌水等地质灾害,严重威胁施工安全与进度,给混凝土衬砌施工带来极大挑战。高地应力地区开挖后,围岩应力重新分布,可能产生岩爆现象,破坏已施工的初期支护,使衬砌施工无法正常开展,即便完成衬砌,高地应力长期作用也可能导致衬砌开裂、变形,影响隧洞使用寿命。

3.1.2 施工环境恶劣

水工隧洞施工空间相对狭小封闭,空气流通不畅,施工过程中产生的粉尘、有害气体如一氧化碳、氮氧化物等难以迅速排出,积聚在洞内,不仅严重危害施工人员身体健康,降低工作效率,还可能因有害气体浓度过高引发中毒、爆炸等安全事故。洞内潮湿的环境使施工设备容易锈蚀,缩短设备使用寿命,增加设备维护成本,影响施工进度。隧洞深处光照条件差,能见度低,给测量放样、钢筋绑扎、混凝土浇筑等施工操作带来不便,导致施工精度难以保证,容易出现质量缺陷,如钢筋位置偏差、混凝土表面不平整等问题^[3]。

3.1.3 结构尺寸精度控制困难

水工隧洞混凝土衬砌结构尺寸精度要求高,特别是对于过水断面,尺寸偏差会影响水流条件,增大水头损失,降低输水效率。在施工过程中,受地质条件、施工设备及人为操作等因素影响,模板安装易出现偏差。例

如,复杂地质条件下,地基不均匀沉降会使模板发生位移、变形;模板支撑体系刚度不足或受力不均,也会导致模板在混凝土浇筑过程中跑模、涨模,从而造成衬砌厚度不均匀、断面尺寸超差。钢筋绑扎过程中,若钢筋定位不准确,会影响混凝土保护层厚度,进而影响衬砌结构的耐久性与承载能力,无法满足设计要求。

3.2 应对措施

3.2.1 优化地质处理方案

针对复杂地质条件,在施工前通过地质勘察、物探等手段,详细掌握隧洞沿线地质情况,制定针对性的地质处理方案。对于软弱岩层,采用超前预支护技术,如超前锚杆、超前小导管注浆等,加固围岩,提高围岩自稳能力,为衬砌施工创造安全稳定的条件。在断层破碎带区域,采用注浆加固技术,选择合适的注浆材料与注浆工艺,填充裂隙,增强岩体整体性,降低地下水渗透能力,防止突泥、涌水事故发生。对于高地应力地区,采用应力释放孔、卸压爆破等方法,降低围岩应力,减少岩爆发生概率;同时加强初期支护,采用高强度、高刚度支护结构,如钢拱架、喷射混凝土等,抵抗高地应力作用,保证衬砌施工安全与质量。

3.2.2 改善施工环境条件

为改善施工环境,在隧洞施工过程中需全方位考虑环境优化措施。合理设置通风系统是关键,依据隧洞长度、断面尺寸以及施工人数,精准选择通风设备与通风方式,以此确保洞内空气始终保持流通顺畅状态,及时、高效地排出粉尘与有害气体,为施工人员提供清新空气。采用湿式凿岩、喷雾洒水等降尘措施,从源头降低粉尘浓度。加强洞内排水系统建设,及时排除积水,让作业面保持干燥,减少设备锈蚀风险。合理布置照明设施,选用高亮度、低能耗的照明灯具,保证洞内有足够光照强度。为施工人员配备防尘口罩、防毒面具等必要防护用品,全方位保障施工人员身体健康与安全。

3.2.3 强化施工过程控制

为保证衬砌结构尺寸精度,在施工过程中加强测量控制,采用高精度测量仪器,如全站仪、水准仪等,定期对隧洞轴线、高程及模板位置进行复核,及时发现并纠正偏差。优化模板支撑体系设计,根据模板受力计算合理确定支撑间距与形式,采用高强度、高刚度的支撑材料,如钢管脚手架、型钢支撑等,确保模板在混凝土浇筑过程中稳定不变形。加强钢筋绑扎质量控制,制作钢筋定位模具,严格按照设计间距与位置绑扎钢筋,设置足够数量的垫块,保证钢筋保护层厚度准确。在混凝土浇筑过程中,控制浇筑速度与方向,对称均匀浇筑,防止模板因受力不均产生位移;加强振捣,确保混凝土密实,避免因混凝土浇筑不密实导致的衬砌变形、裂缝等问题,保证衬砌结构尺寸精度与质量^[4]。

结语

综上所述,水工隧洞混凝土衬砌施工技术要点明确,通过对模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑及养护拆模等环节的精准把控,可奠定施工质量基础。面对地质、环境及精度控制等技术难点,所提出的应对措施经实践验证切实有效。未来,随着新材料、新工艺的不断涌现,需持续探索优化施工技术,以适应更高标准的水利工程建设需求,进一步提升水工隧洞混凝土衬砌施工质量与效率。

参考文献

- [1]李成龙.水工隧洞混凝土衬砌施工的地下水控制技术分析[J].河南科技,2021,40(26):86-88.
- [2]卢建山.水工隧洞混凝土衬砌施工地下水控制技术[J].大众标准化,2023(4):33-35.
- [3]李钰.水工隧洞衬砌混凝土温控防裂技术研究[J].水利科技与经济,2022,28(9):126-130.
- [4]罗啸.水工隧洞开挖与衬砌同步施工技术研究[J].现代装饰,2024,582(13):178-180.