

抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工技术研究

赵闻达

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：本文以某抽水蓄能电站工程为案例，深入研究了导流洞混凝土衬砌施工技术，首先概述了混凝土衬砌的功能及其重要性，随后结合具体项目概况，从模板选型、混凝土配比设计及施工组织等方面进行了详细的应用方案分析，阐述从施工准备、钢筋安装、模板工程、混凝土浇筑到养护拆模的全过程施工工艺，对衬砌裂缝控制、灌浆质量保障等关键注意事项提出了有效的技术措施。实践表明，所采用的成套技术方案不仅保证了衬砌结构的整体性、防渗性和耐久性，还有效提高了施工效率、缩短了工期，为类似抽水蓄能电站导流洞衬砌工程施工提供了有价值的参考和借鉴。

【关键词】：抽水蓄能电站；导流洞；混凝土衬砌；施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.084

引言

抽水蓄能电站具备调峰填谷、调频调相、应急备用等多重功能，是保障电力系统安全稳定运行的重要设施。导流洞是抽水蓄能电站建设期间的临时建筑物，其处在断层破碎带，会遭受水流冲刷、围岩压力的多重载荷，受此影响，导流洞混凝土结构在防护能力和承载结构上要求较高。当前，抽水蓄能电站导流洞建设呈现“大埋深、高水头、大断面”的发展趋势，在施工过程中，混凝土衬砌施工技术是保障工程质量的关键，系统研究抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工技术，优化施工方案与工艺，强化风险防控措施，具有重要的理论价值与工程实践意义。

1 混凝土衬砌施工技术概述

抽水蓄能电站中，导流洞主要担负着施工期河道水流导排的重要任务，在现代抽水蓄能电站中，导流洞混凝土衬砌技术已发展为一项综合性系统工程，衬砌技术通过多维度升级，从传统分块浇筑发展为全断面一次性浇筑，从人工立模发展为机械化台车施工，从经验控制发展为数字化精细管理，尤其是近年来“四新技术”（新技术、新工艺、新材料、新设备）的应用，这一应用大幅提升了导流洞混凝土衬砌的技术水平与工作效率，有效保障隧洞结构的整体性、耐久性，大幅提升了导流洞的防渗性能^[1]。目前，行业人员对混凝土衬砌结构可按三种方式划分，即按受力状态，可分为有压衬砌和无压衬砌；按衬砌形式，可分为全断面衬砌和局部衬砌；按施工方法，可分为现浇混凝土衬砌和预制混凝土衬砌。在抽水蓄能电站导流洞工程中，工程建设者对现浇钢筋混凝土全断面衬砌的应用最为青睐，因为该类型衬砌能更好地适应复杂地质条件，且能提供足够的结构强度，契合导流洞的工程需求。

2 混凝土衬砌施工技术的应用分析

2.1 项目概况

本文以国内某抽水蓄能电站输水系统工程为研究案例，该项目是国家抽水蓄能发展规划重点实施项目，也是所在地区的首个核准的抽水蓄能电站项目，电站建成后将为增强地区电力调峰能力、提升新能源发电消纳水平提供重要支撑。该抽水蓄能电站输水系统隧洞全长700余米，设计为圆形断面，衬砌后直径为10.8米，衬砌厚度根据地质条件和受力要求变化，介于60厘米至100厘米之间，衬砌混凝土总量约2万立方米，施工中需要通过精准控制衬砌厚度与混凝土施工质量，提升洞室抗变形能力，适应复杂地质环境，避免因结构缺陷影响导流、泄洪效率。

2.2 技术应用方案分析

2.2.1 模板选型与支撑方案

混凝土衬砌施工中，模板工程的质量关系着衬砌表面的平整度、整体质量及施工进度，工程项目中技术人员结合实际，摒弃了传统“先底拱后顶拱”的分次浇筑方案，创新性地采用了全圆针梁台车“一次性浇筑”工艺。全圆针梁台车结构稳定且刚度大，在混凝土浇筑过程中变形量小，通过全断面一次性浇筑，消除了传统施工中的纵向施工缝，不仅能够有效保证衬砌断面的尺寸精度和表面平整度，而且通过机械化施工，大幅降低了劳动人员强度，保障了工程效率^[2]。对于导流洞闸门井等特殊部位，工程团队应用了门槽一期直埋施工技术，依托专门设计的门槽台车系统（以焊接式桁架为主体），作为支撑平台，减少了二期施工中混凝土结合面凿毛、插筋等工序埋施工技术，降低以往井内高空作业的风险，并提升了门槽安装精度与混凝土施工质量，是一种高效可靠的施工方案。

2.2.2 混凝土配比设计方案

本工程项目中，抽水蓄能电站导流洞衬砌施工使用的混凝土需要满足强度高、水化热低、工作性好、抗渗耐蚀等技术要求，为实现这一目标，工程团队对混凝土配合比进行调整，最终研制出适合导流洞衬砌的高性能混凝土。该工程导流洞衬砌选用的 C30W6F300 混凝土，其配比如表 1 所示，技术人员对其标号含义作出明确界定：混凝土抗压强度等级为 C30（28 天抗压强度不低于 30MPa），抗渗等级为 W6（能抵抗 0.6MPa 水压力不透水），抗冻等级为 F300（能经受 300 次冻融循环）。技术人员在设计这种高性能混凝土时，充分考虑了导流洞长期水下运行的环境要求，从材料配比到性能测试全程严格把控，切实保证了衬砌结构的长期耐久性^[3]。

此外，该工程项目在夏季施工，外界平均温度高达 30℃ 以上，加之衬砌厚度最大可达 1.5 米，造成混凝土内部散热困难，为防止混凝土开裂问题的发生，工程团队在衬砌模板内预埋冷却水管，通过循环冷却水的方式主动降低混凝土内部温度；同时，拌合站技术人员在拌合楼安装专业制冷设施，采用骨料预冷、冰水拌合等工艺生产预冷混凝土，从源头控制入模温度。

表 1 导流洞衬砌混凝土推荐配合比

组成材料	水泥	粉煤灰	砂	石子	减水剂	水
用量(kg/m³)	220	100	750	1050	4.8	150
比例	1	0.45	2.35	3.28	0.015	0.47

2.2.3 施工组织方案

科学合理的施工组织设计是确保导流洞混凝土衬砌高效推进的重要保障，工程团队需要根据导流洞工程特点，确定衬砌施工通常采取分区段、分序加密的方式进行，同时明确每区段长度不大于 3 个衬砌段，一般将其控制在 50m 以内，且要求作业人员必须将区段端部封堵严密，避免施工过程中出现漏浆问题；在施工资源配置环节，工程团队应根据导流洞衬砌工程的实际规模和总工期要求进行精确计算，确保人力、设备按需到位。

2.3 施工工艺分析

2.3.1 施工准备阶段

导流洞衬砌混凝土施工准备阶段，主要包括基础面处理、测量放样和材料设备准备三大内容。在混凝土回填前，施工班组需要将基岩表面上的淤泥、石渣、破碎岩块等彻底清理干净，

对于部分松动的岩块使用专业工具进行凿除，若洞中出露软弱破碎带，则需要在专业技术人员指导下进行挖掘，以保证基础面满足浇筑要求。在测量放样环节，测量人员先要按照设计图纸对预埋 PVC 管的位置进行确认，严格控制预埋偏差，预埋管安装完成后，施工人员需要对预埋管正对的钢模上做标志，以便于拆模后能够及时标识孔位，并再次作出标记，为后续钻孔、灌浆作业奠定基础。

2.3.2 钢筋加工与安装工艺

钢筋工程是混凝土衬砌的骨架，首先施工人员需要按照设计图纸，完成钢筋骨架的绑扎作业；在钢筋安装过程中，施工人员则要注意钢筋与模板之间的位置，确保混凝土保护层厚度符合设计要求；在钻孔施工过程中，若钻头遇到结构钢筋时，施工人员可在 10 厘米范围内进行调整，避免损伤钢筋截面，对于临时支护钢筋则可直接穿过。施工人员采用这样的施工方式，既保证了结构安全性，又确保了灌浆孔位的准确性。

2.3.3 模板安装工艺

模板安装质量直接影响衬砌混凝土的外形尺寸和表面平整度，本工程采用全圆针梁台车“一次性浇筑”工艺，施工人员需要在全圆针梁台车就位前，完成测量放线工作，以确保台车中心线与隧洞中心线重合，且台车断面尺寸与设计断面一致，台车就位后，作业人员需对其进行再次检查调整，保证模板表面平整、接缝严密、支撑牢固。对于灌浆廊道顶拱等特殊部位，施工人员需用脚手钢管搭设支撑排架、制作拱架，并在基岩面或老混凝土面上预埋Φ25 插筋固定模板，防止模板在混凝土浇筑过程中发生移位和变形。模板安装完成后，质检人员需对其进行全面检查，内容包括平面位置、顶部标高、节点联系及纵向稳定性；待监理工程师验收合格后，工程团队方可进入混凝土浇筑环节^[4]。

2.3.4 混凝土浇筑工艺

本工程中，工程团队采用全圆针梁台车“一次性浇筑”工艺，由作业人员操作设备将混凝土自下而上对称浇筑，防止台车因受力不均发生偏移。在混凝土入仓方式选择中，施工人员可根据现场的条件灵活选择，如可选择泵送入仓、溜槽入仓或垂直提升机+手推架子车入仓等多种方式，而对于导流洞封堵段混凝土，最顶部一层必须使用砼泵送入仓，以确保浇筑密实度。混凝土振捣环节，施工人员采用插入式振捣器施工，严格遵循“快插慢拔、垂直插入、层层扣搭、均匀振捣”的原则，尤其是钢筋密集区和模板周边，施工人员需加强振捣频率，这样才能保证混凝土密实度，避免出现蜂窝麻面等质量缺陷。

2.3.5 养护与拆模工艺

混凝土养护是防止混凝土表面裂缝、保证强度发展的关键工序。该工程中,工程团队通过预埋冷却水管、通冷却水的方法控制混凝土内外温差,有效防止了温度裂缝的产生,但在衬砌混凝土浇筑完成后,施工人员仍需及时对其进行养护,持续保持混凝土表面湿润,且养护时间不少于28天。拆模时间需由技术人员根据混凝土强度发展情况和环境条件确定,一般在混凝土强度达到设计强度的70%以上时,施工人员方可进行拆模作业。针对全圆针梁台车,作业人员拆模时需先收缩模板,再将台车移动至下一浇筑段,拆模时需遵循“后支先拆、先支后拆”的原则,避免因操作不当损坏混凝土边角,为后续工程施工奠定基础^[5]。

3 技术应用中的注意事项

3.1 衬砌裂缝控制技术

混凝土裂缝是导流洞衬砌施工中最常见的质量通病,工程团队需要采用综合防控的方案。在预防环节,工程团队应重点关注混凝土配合比优化工作,选用低热水泥,并在混凝土拌和过程中掺加粉煤灰和减水剂,通过这一技术调整减少水泥用量,从源头降低水化热产生量;其次,施工班组按照温控要求加强现场温度控制,具体采用预冷骨料、冷水拌和、覆盖隔热材料等实操手段,切实降低混凝土入仓温度;第三,现场作业人员严格按照设计图纸要求,在衬砌模板内预埋冷却水管系统,通过持续通冷却水的方式,主动控制混凝土内部温升;第四,养护班组在混凝土浇筑完成后,立即启动表面保湿养护工

作,通过覆盖土工布、定时洒水等方式,避免混凝土表面因水分过快蒸发出现干缩裂缝。

3.2 灌浆质量保障措施

回填灌浆和固结灌浆是确保衬砌与围岩紧密接触、实现两者共同受力的关键技术,工程团队需严格按照行业规范和项目技术要求开展施工。在回填灌浆施工前,技术人员需先组织强度检测,确认混凝土强度达到设计强度规定比例后,方可允许灌浆作业人员启动灌浆作业;施工过程中,作业人员需控制钻孔深度,确保灌浆孔钻入基岩规定深度,同时通过压力表实时监控,严格控制灌浆压力在标准范围内。固结灌浆施工需遵循“先回填后固结”的流程,现场管理人员需在回填灌浆全部完成后,组织质检人员对回填灌浆质量进行全面检查,确认合格并出具检查报告后,方可安排灌浆班组开展固结灌浆施工。

4 结语

本文通过对工程案例的分析,采用全圆针梁台车一次性浇筑、优化混凝土配合比、实施严格的温控措施以及完善灌浆工艺等先进技术,可显著提高衬砌施工质量和使用寿命。此外,随着我国抽水蓄能电站建设规模的不断扩大和技术要求的不断提高,导流洞混凝土衬砌施工技术仍需在材料性能、施工工艺和质量控制等方面持续创新和完善。只有通过技术创新和工艺优化,不断提升导流洞混凝土衬砌施工质量,才能为我国抽水蓄能电站建设提供更加可靠的技术保障,助力清洁能源发展和国家双碳目标的实现。

参考文献:

- [1] 马淇霖.南方某抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工技术[J].中国高新科技,2025,(12):137-139.
- [2] 钟桂良,刘来飞,唐明.某抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工与温控仿真分析[J].水电能源科学,2022,40(05):125-128.
- [3] 孙役,燕乔,李广志.抽水蓄能电站引水隧洞衬砌台车设计与应用[J].人民长江,2021,52(S1):185-188.
- [4] 陈伟,张国新,刘毅.水工隧洞混凝土衬砌施工期温控防裂研究进展[J].水利学报,2020,51(10):1157-1167.
- [5] 王红军,汪小刚,郝晓东.长距离大落差隧洞混凝土泵送施工关键技术研究[J].水利水电技术,2019,50(S2):110-114.