

# 浅谈特长隧道反坡排水施工技术

于照宸

中铁一局集团第五工程有限公司 陕西 宝鸡 721000

**摘要：**特长隧道反坡排水是隧道施工的关键环节，直接决定施工安全与进度。本文结合反坡排水施工特点，阐述其核心定义、影响因素及施工原则，重点分析排水系统布设、泵站与管道施工及分段接力排水等核心技术，探讨施工质量与安全控制要点及特殊工况应对措施，结合工程实际总结技术应用经验，为同类特长隧道反坡排水施工提供技术参考，助力提升排水施工效率、降低安全风险，推动隧道施工技术规范化发展。

**关键词：**特长隧道；反坡排水；施工技术

**引言：**随着我国交通基础设施快速发展，特长隧道工程数量逐年增多，反坡段施工场景日益普遍。反坡排水因无自然重力引流条件，需依靠机械强制排水，受水文地质、工程自身及设备环境等因素影响较大，易出现积水淤积、设备故障等问题，严重制约施工进度、威胁施工安全。因此，深入研究特长隧道反坡排水施工技术，优化施工方案、强化质量安全控制，对保障隧道施工顺利推进、提升工程建设水平具有重要现实意义。

## 1 特长隧道反坡排水施工相关基础理论

### 1.1 特长隧道反坡排水核心定义与特点

(1) 核心定义：特长隧道反坡排水是隧道施工中的关键技术，指当隧道掘进方向与自然水流坡向相反，需通过机械强制抽水的排水方式，将洞内掌子面、围岩渗漏水及施工废水等及时排出洞外的系统性技术措施，是保障反坡段隧道顺利施工的前提。(2) 施工特点：一是强制性排水，因无自然重力引流条件，需全程依靠机械主动抽水，无法依赖自然排水；二是需动态调整，随隧道掘进深度增加、水文条件变化，需及时调整排水设备参数与布设方案；三是能耗及维护成本高，长期连续运行排水设备能耗量大，且洞内潮湿环境易导致设备故障，需频繁检修维护；四是对设备可靠性要求高，一旦设备失效会导致积水淤积，影响施工进度甚至引发安全事故。

### 1.2 反坡排水施工核心影响因素

(1) 水文地质因素：核心影响排水难度与方案设计，岩层渗透性越强、地下水位越高且波动越大，涌水量越大；断层破碎带易形成地下水通道，加剧涌水风险；水质腐蚀性会损伤排水设备，缩短设备使用寿命。(2) 工程自身因素：隧道反坡坡度越大、掘进深度越深，排水扬程越高，对设备动力要求越高；断面尺寸影响排水系统布设空间，辅助坑道的位置与数量是影响反坡排水效率与成本的重要因素之一。(3) 环境与设备因素：暴雨

等极端天气会短时间增大洞内涌水量，考验排水系统应急能力；排水设备的扬程、流量等性能直接决定排水效果，供电稳定性则是保障设备连续运行的关键，突发停电易引发积水险情<sup>[1]</sup>。

### 1.3 反坡排水施工基本原则

(1) 先排后挖原则：施工前需提前布设完整的排水系统，完成泵站、管路等设施安装调试，确保掌子面、作业区域无积水后，再开展隧道掘进作业，杜绝积水影响施工安全与进度。(2) 分级接力原则：根据隧道总长度、反坡坡度及涌水量，分段设置多级泵站，实现分级抽水、接力排水，降低单级泵站的扬程压力，提升排水系统的稳定性与效率。(3) 安全可靠原则：排水系统需配备足够的备用设备与应急电源，应对设备故障、突发停电等情况；同时制定突涌水等突发事件的应急处置方案，防范各类排水安全风险，保障施工顺利进行。

## 2 特长隧道反坡排水核心施工技术

### 2.1 排水系统总体布设技术

(1) 布设原则：排水系统布设需以“适配需求、高效节能、安全可靠”为核心，结合隧道实际涌水量、反坡坡度及掘进进度，科学划分排水区段。需提前核算最大涌水量，确保各区段排水能力预留1.5~2.0倍余量，避免因涌水量突发增长导致排水系统过载；同时兼顾施工便利性，减少排水系统与掘进作业的相互干扰，实现排水与施工协同推进。(2) 系统构成：排水系统采用“集、抽、排”一体化布局，核心由集水坑、泵站、排水管道及辅助排水设施组成。集水坑布设于掌子面后方及隧道低洼处，用于汇集掌子面渗漏水、施工废水；泵站作为排水核心，承担抽水动力供给，按功能分为临时泵站与永久泵站；排水管道根据扬程需求分级布设，连接各集水坑与泵站，实现积水输送；辅助排水设施包括沉砂井、反冲洗装置等，用于提升排水效率、保护设备<sup>[2]</sup>。(3) 布设

优化：随着隧道掘进深度增加，及时动态调整泵站位置与管道走向，避免管道过长导致的能耗增加与排水效率下降。当掘进达到预设区段，及时迁移临时泵站至新的低洼区域，缩短抽水距离；同时优化管道铺设路径，减少弯道与阻力，合理调整管道坡度，确保水流顺畅，最大限度降低设备运行能耗与维护成本。

## 2.2 泵站施工技术

(1) 泵站选址与规格确定：泵站选址需优先选择隧道底板地势低洼、便于积水汇集且交通便利、便于设备维护的位置，避开断层破碎带、地下水富集区等地质不良区域。根据各区段最大涌水量，科学设计水仓容量，确保水仓有效容积能够满足至少12小时的最大涌水量储存需求，同时配套设计溢流设施，防止水仓满溢；泵站规格需匹配排水扬程与流量要求，合理确定水泵数量、型号及控制系统配置。(2) 泵站安装施工：严格按照施工方案开展泵站安装作业，先进行基坑开挖，控制基坑尺寸与深度，清理基坑内杂物与积水，确保基坑承载力满足设计要求；随后进行基础浇筑，采用C30混凝土浇筑泵站基础，预埋固定螺栓，确保基础平整度与强度达标；基础养护完成后，进行水泵、电机及控制系统的安装，确保设备安装牢固、接线规范，安装完成后开展单机试运行与联动调试，排查设备运行隐患，确保泵站运转平稳、排水正常。(3) 泵站运行维护：建立常态化泵站运行维护机制，安排专业人员每日开展巡检，重点检查水泵运行状态、电机温度、管路接口密封情况及控制系统运行参数，及时发现并处理设备异响、渗漏、参数异常等问题。定期对水泵叶轮、密封件等易损部件进行检查、更换与保养，清理水仓内淤积的泥沙与杂物，防止杂物进入水泵导致设备损坏；建立设备维护台账，详细记录巡检情况、故障处理过程及部件更换信息，确保泵站长期稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2.3 排水管道施工技术

(1) 管道选型：根据排水压力、水质情况及隧道施工环境，选用耐腐蚀、高强度、抗磨损的管材。对于高压排水区段，选用无缝钢管，其抗压性强、不易破损；对于中低压区段及水质腐蚀性较强的区域，选用钢丝网骨架PE管，其耐腐蚀、重量轻、安装便捷；管材规格需匹配排水流量与压力，确保管道不会因压力过大或流量过高发生破损、渗漏。(2) 管道铺设：铺设过程中严格控制管道坡度，确保管道内水流顺畅，避免出现倒坡导致积水淤积；采用支架固定管道，支架间距根据管材规格与重量合理设置，防止管道变形；管道接口采用密封性能良好的连接方式，做好接口密封处理，涂抹密封胶并进行压实，防范管道接口渗漏与堵塞；铺设完成后进

行水压试验，确保管道无渗漏后投入使用<sup>[4]</sup>。(3) 管道防淤与清淤：在管道沿线合理设置沉砂井，用于沉淀水中泥沙与杂物，减少管道堵塞风险；在关键区段安装反冲洗装置，定期对管道进行反冲洗，清除管道内壁附着的污物；制定定期清淤流程，安排专业人员对沉砂井、管道进行清淤作业，及时清理沉积的泥沙与杂物，确保管道排水畅通，避免因堵塞影响排水效率。

## 2.4 分段接力排水施工技术

(1) 分段划分：结合隧道总高差、反坡坡度及各区段涌水量，科学确定各级泵站的间距，实现分段接力排水。一般情况下，泵站间距控制在200-400米，对于涌水量较大、坡度较陡的区段，适当缩小泵站间距，降低单级泵站的排水扬程与压力；分段划分时需兼顾施工便利性与经济性，确保各区段排水能力均衡，避免出现某一区段排水过载、另一区段设备闲置的情况。(2) 接力流程：严格按照“掌子面临时排水→临时集水坑→各级泵站→洞外沉淀池”的完整流程实施分段接力排水。掌子面采用小型潜水泵进行临时排水，将积水排入附近临时集水坑；临时集水坑内的积水由一级泵站加压抽排至二级泵站，依次逐级接力，最终由最末端泵站将积水抽排至洞外沉淀池；沉淀池对积水进行沉淀处理，去除水中泥沙与杂物，达标后再排放，避免污染周边环境。(3) 流量匹配：采用变频控制技术，协调各级泵站的排水流量，确保各级泵站流量匹配，避免出现上游泵站流量大于下游泵站流量导致的水流倒灌，或下游泵站流量过大导致的设备过载问题。实时监测各级泵站的进水流量与出水流量，通过变频调节水泵转速，调整排水流量，使整个接力排水系统处于动态平衡状态；同时配备流量监测仪表，定期校准流量数据，确保流量匹配精度，保障分段接力排水系统高效、稳定运行。

## 3 特长隧道反坡排水施工质量与安全控制技术

### 3.1 施工质量控制技术

(1) 设备质量控制：严格执行设备进场检验制度，水泵、管道、阀门等核心设备进场时，需核查产品合格证、出厂检测报告，确保设备规格、性能符合设计要求。对水泵进行单机试运行测试，检查扬程、流量、能耗等关键参数，不合格设备严禁进场；对管道进行外观检查与压力试验，排查管材破损、壁厚不足等问题，确保管道耐腐蚀、抗压力性能达标，从源头保障排水系统的质量基础。(2) 施工工序质量控制：针对泵站安装、管道铺设、接口密封等关键工序，制定明确的验收标准。泵站安装需检查基础浇筑强度、设备安装精度，确保水泵、电机固定牢固、运转平稳；管道铺设需控制坡度、支架

间距,接口密封需采用合格密封材料,做好压实处理,验收时重点检查接口无渗漏、管道无变形;每道工序完成后,需经监理验收合格,方可进入下一道工序,杜绝工序质量隐患<sup>[5]</sup>。(3)排水效果检测:建立常态化排水效果检测机制,在掌子面、集水坑、各级泵站等关键位置布设水位监测点,实时监测洞内积水水位变化,防止水位超标影响施工。定期开展流量测试,核查排水系统的实际排水能力,确保满足最大涌水量需求,若检测发现排水效率不达标,及时排查设备故障、管道堵塞等问题,调整优化排水方案,保障排水效果符合施工要求。

### 3.2 施工安全控制技术

(1)突涌水预警控制:全面布设水文监测系统,在隧道沿线及断层破碎带附近安装水位、水压监测传感器,实时采集水文数据;结合地质雷达扫描技术,提前探测地下水体分布、断层位置,预判突涌水风险。建立预警联动机制,设定水位、水压预警阈值,一旦数据超标,立即触发预警信号,停止掘进作业,启动应急排水方案,防范突涌水引发的安全事故。(2)设备安全控制:严格执行用电安全规范,排水设备采用TN-S接零保护系统,配备漏电保护器、应急电源,避免用电短路、漏电引发触电事故;对水泵、管道等设备采取防护措施,设置防护围栏、警示标识,防止设备误操作或损坏。制定设备故障应急处理流程,配备备用设备,一旦出现设备故障,立即切换备用设备,快速排查故障、组织维修,避免因设备失效导致积水淤积。(3)人员安全控制:对所有参与排水施工的人员进行专项安全培训,重点讲解设备操作规范、突涌水应急处置方法、用电安全注意事项,考核合格后方可上岗。定期组织应急演练,模拟突涌水、设备故障、触电等突发事件,提升人员应急处置能力。合理布设逃生通道,确保逃生通道畅通无阻,配备应急照明、急救器材,明确逃生路线,保障施工人员在突发情况下能够快速安全撤离。

### 3.3 特殊工况应对技术

(1)断层破碎带排水:提前开展超前地质预报,采

用地质雷达、钻孔探测等技术,明确断层破碎带的范围、涌水量及渗水通道。采用注浆堵水与排水协同施工的方式,先对断层破碎带进行注浆加固,封堵渗水通道,减少涌水量;同时在断层两侧增设临时集水坑与泵站,加密排水管道,提升排水能力,避免断层破碎带涌水影响施工安全与进度。(2)暴雨季排水:针对暴雨季可能出现的洞内涌水量激增情况,配置冗余泵站,增加备用水泵数量,确保排水系统具备足够的应急排水能力。对洞口截水沟进行扩容改造,清理沟内杂物,提升洞口排水能力,防止雨水倒灌进入洞内;建立气象联动预警机制,及时接收暴雨预警信息,提前启动应急排水预案,加大排水设备运行功率,安排人员24小时值守,实时监测排水情况,确保暴雨季排水安全。

### 结束语

特长隧道反坡排水施工具有强制性、动态性及高要求等特点,施工难度较大且涉及多环节协同。本文系统梳理了反坡排水施工基础理论、核心技术及质量安全控制措施,结合特殊工况提出针对性应对方案,有效解决了反坡排水中的关键技术难题。后续需结合新型施工技术及设备,持续优化排水方案,积累工程实践经验,为我国特长隧道反坡排水施工提供更完善的技术支撑,推动隧道工程施工高质量发展。

### 参考文献

- [1]李欣.特长隧道大纵坡反坡排水施工技术研究[J].四川水泥,2022,31(9):214-216.
- [2]寇志鹏.城市公路岩溶富水隧道反坡排水系统研究[J].居业,2025(3):193-195.
- [3]辛讲合,徐智.岩溶富水地层特长隧道采用平导通风辅助排水方案研究[J].公路,2022,67(5):281-284.
- [4]张栋.长大富水隧道反坡排水施工技术研究[J].价值工程,2022,41(29):68-70.
- [5]张涛.富水浅埋全风化花岗岩地层隧道施工降排水技术研究[J].工程技术研究,2021,9(4):97-99.