

# 长距离水利隧洞施工技术难点及对策

刘顺安

昭通市昭阳区水务局

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6807

**[摘要]** 长距离水利隧洞施工在现代水利工程中占据着重要地位,但其施工过程面临着诸多技术难点,如地质条件复杂、施工空间受限、通风排水困难等。本文深入分析了长距离水利隧洞施工中的主要技术难点,并针对性地提出了有效的应对策略,旨在为相关工程提供参考与借鉴,确保长距离水利隧洞施工的顺利进行和工程质量。

**[关键词]** 长距离水利隧洞; 施工技术; 难点; 对策

**中图分类号:** TV52 **文献标识码:** A

## Technical difficulties and countermeasures in long-distance water conservancy tunnel construction

Shunan Liu

Zhaoyang District Water Bureau, Zhaotong City

**[Abstract]** Long distance water conservancy tunnel construction plays an important role in modern water conservancy engineering, but its construction process faces many technical difficulties, such as complex geological conditions, limited construction space, and difficulties in ventilation and drainage. This article deeply analyzes the main technical difficulties in the construction of long-distance water conservancy tunnels and proposes effective response strategies, aiming to provide reference and inspiration for related projects, ensuring the smooth progress and engineering quality of long-distance water conservancy tunnel construction.

**[Key words]** long-distance water conservancy tunnel; Construction technology; Difficulties; countermeasure

### 引言

随着社会经济的快速发展,水资源的调配和利用需求不断增加,长距离水利隧洞工程应运而生。这类工程对于改善水资源分布、保障供水安全等方面具有重要意义。然而,长距离水利隧洞施工环境复杂、技术要求高,施工过程中常常会遇到各种技术难题,给工程建设带来了巨大挑战。因此,深入研究长距离水利隧洞施工技术难点及对策具有重要的现实意义。

### 1 长距离水利隧洞施工技术难点

#### 1.1 地质条件复杂

长距离水利隧洞往往穿越多种地质单元,可能遇到断层破碎带、软弱岩层、高地应力岩体等不良地质条件。这些地质条件增加了隧洞施工的不确定性和风险性。例如,在断层破碎带,岩体破碎、裂隙发育,容易引发坍塌、涌水等地质灾害;在高地应力区域,岩爆现象时有发生,对施工人员和设备安全构成威胁。

#### 1.2 施工空间受限

长距离水利隧洞施工通常在狭窄的隧洞内进行,作业空间有限。这给施工设备的布置、材料的运输以及施工工序的衔接

带来了极大不便。例如,在进行隧洞衬砌施工时,混凝土输送泵、衬砌台车等大型设备的操作空间受限,可能导致施工效率降低;在出渣作业中,运输车辆的调度和交汇也容易受到空间限制,影响出渣速度。

#### 1.3 通风排水困难

长距离水利隧洞施工过程中,通风和排水是两个关键问题。由于隧洞长度较长,通风路径长,导致通风阻力大,新鲜空气难以有效输送到隧洞深处,施工人员的工作环境恶劣,同时机械设备的散热和废气排放也难以得到有效处理。排水方面,隧洞施工过程中可能会遇到地下水渗漏、涌水等情况,尤其是穿越含水层或接近河流等水体时,排水难度更大,若排水不及时,可能引发隧洞内积水,影响施工进度和安全。

#### 1.4 混凝土施工质量控制难度大

长距离水利隧洞的衬砌通常采用混凝土浇筑,但由于施工环境的特殊性,混凝土施工质量控制面临诸多挑战。一方面,混凝土的运输距离长,可能导致混凝土在运输过程中离析、坍落度损失等问题;另一方面,在狭窄的隧洞内进行混凝土振捣、浇筑等操作,容易出现漏振、过振等情况,影响混凝土的密实度和强

度。此外,隧洞内的湿度、温度等环境因素也会对混凝土的养护和强度发展产生影响。

## 2 长距离水利隧洞施工技术对策

### 2.1 优化施工方案与地质超前预报

在长距离水利隧洞施工中,地质条件的复杂性是影响施工安全和进度的关键因素之一。因此,在施工前,应充分开展地质勘察工作,并利用先进的地质超前预报技术,提前探明隧洞前方的地质情况。常用的地质超前预报技术包括TSP地震反射波法、地质雷达探测、超前钻探等。

#### 2.1.1 TSP地震反射波法

通过在隧洞内发射地震波并接收反射波,能够探测隧洞前方100米范围内的地质结构,提前识别断层、破碎带等不良地质体的位置和范围。这种方法对于预测大型地质构造具有较高的准确性,能够为施工方案的调整提供重要依据。例如,在某长距离水利隧洞工程中,通过TSP技术提前识别出前方存在一条断层破碎带,项目团队及时调整了施工方案,采用弱爆破技术,减少了对围岩的扰动,有效避免了坍塌事故的发生。

#### 2.1.2 地质雷达探测

利用电磁波探测围岩的内部结构,对浅部地质情况的探测效果尤为显著。地质雷达可以快速检测围岩的裂隙发育情况和地下水分布情况,帮助施工人员及时采取相应的防水和加固措施。例如,在某隧洞施工中,地质雷达探测发现围岩裂隙发育且存在地下水渗漏,施工人员及时采取了注浆加固和排水措施,确保了施工安全。

#### 2.1.3 超前钻探

通过钻孔取样,直接获取围岩的物理力学性质数据,如抗压强度、弹性模量等。超前钻探能够提供最直接的地质信息,对于评估围岩的稳定性和制定具体的支护方案具有重要意义。例如,在某高地应力区域的隧洞施工中,通过超前钻探获取了围岩的物理力学参数,项目团队提前采取了应力释放措施,如超前钻孔、深孔预裂爆破等,有效降低了岩爆风险。

根据地质预报结果,合理优化施工方案。例如,在遇到断层破碎带时,可适当调整开挖方式,采用弱爆破或非爆破开挖技术,减少对围岩的扰动。在应力区域,可提前采取应力释放措施,如超前钻孔、深孔预裂爆破等,降低岩爆风险。这些措施能够有效减少施工过程中的地质灾害,保障施工安全。

### 2.2 合理规划施工设备与工序

长距离水利隧洞施工空间狭窄,施工设备的布置和施工工序的衔接是影响施工效率的重要因素。因此,应合理选择和配置施工设备,并优化施工工序。

#### 2.2.1 施工设备选择

(1) 小型化、高效化设备。采用小型混凝土输送泵、窄轨运输车等小型化、高效化的施工设备,以适应狭窄的隧洞空间。这些设备能够在有限的空间内高效运行,减少设备之间的相互干扰。例如,在某长距离隧洞施工中,项目团队采用了小型混凝土输送泵,有效解决了混凝土运输难题,提高了施工效率。

(2) 多功能设备。选择具有多种功能的设备,如多功能钻机,既可以进行钻孔作业,又可以进行注浆作业,提高设备的利用率。例如,在某隧洞施工中,多功能钻机的使用减少了设备的频繁更换,提高了施工效率。

#### 2.2.2 施工工序优化

(1) 分段施工、流水作业。在进行衬砌施工时,可采用分段施工、流水作业的方式,合理安排各工序的衔接时间,减少工序之间的干扰。例如,将隧洞分成多个施工段,每个施工段依次进行开挖、支护、衬砌等工序,形成流水作业线,提高施工效率。在某长距离隧洞施工中,项目团队采用分段施工、流水作业的方式,将施工效率提高了20%。

(2) 合理规划运输路线。在出渣作业中,合理规划运输路线和汇车点,确保出渣作业的顺畅进行。例如,设置专门的出渣通道,避免运输车辆与施工人员的交叉作业,提高出渣效率。在某隧洞施工中,通过合理规划运输路线,出渣效率提高了30%。

### 2.3 加强通风排水系统建设

长距离水利隧洞施工中,通风和排水是两个关键问题。建立完善的通风系统和排水系统是确保施工顺利进行的重要保障。

#### 2.3.1 通风系统

(1) 设备选择。采用大型通风机、风管等设备,设置合理的通风路径和通风口,确保新鲜空气能够有效输送到隧洞深处。例如,采用轴流式通风机,其风量、风压高,能够满足长距离通风的需求。在某长距离隧洞施工中,项目团队采用了轴流式通风机,有效改善了隧洞内的通风条件。

(2) 系统维护。加强通风系统的日常维护和管理,定期检查通风设备的运行状况,及时清理风管内的积尘和杂物,保证通风系统的正常运行。例如,定期更换通风机的滤网,确保通风机的进风量。在某隧洞施工中,通过定期维护通风系统,减少了通风设备的故障率,确保了施工人员的健康。

(3) 辅助通风措施。在通风条件较差的区域,可设置辅助通风设备,如局部通风机,以改善局部区域的通风状况。例如,在某隧洞施工中,项目团队在通风条件较差的区域设置了局部通风机,有效改善了局部区域的通风状况。

#### 2.3.2 排水系统

(1) 系统设计。根据隧洞的地质条件和涌水量,合理设计排水系统,设置集水井、排水沟和排水泵等设施,及时排除隧洞内的积水。例如,在隧洞底部设置排水沟,将积水汇集到集水井中,再通过排水泵排出隧洞。在某长距离隧洞施工中,项目团队根据地质条件设计了合理的排水系统,有效解决了排水问题。

(2) 排水技术。对于涌水量较大的隧洞,可采用多级排水或真空排水等先进技术,提高排水效率。真空排水系统通过降低排水管道内的压力,增加水的流动速度,能够有效提高排水效率。在某隧洞施工中,项目团队采用了真空排水技术,排水效率提高了40%。

(3) 防水措施。在施工过程中,采取防水措施,如在隧洞壁上喷涂防水材料,减少地下水的渗漏,降低排水系统的负担。例如,

在某隧洞施工中,项目团队在隧洞壁上喷涂了防水材料,有效减少了地下水的渗漏,降低了排水系统的负担。

#### 2.4 提升混凝土施工质量控制水平

混凝土施工质量直接关系到长距离水利隧洞的结构安全和使用寿命。因此,应从混凝土的原材料选择、配合比设计、运输、浇筑、养护等环节入手,采取一系列质量控制措施。

##### 2.4.1 原材料选择

(1) 严格把控质量。严格把控水泥、砂石、外加剂等原材料的质量,确保其符合相关标准和规范要求。例如,选择高强度、低水化热的水泥,以减少混凝土的温度裂缝。在某隧洞施工中,项目团队选择了高强度、低水化热的水泥,有效减少了混凝土的温度裂缝。

(2) 原材料检验。对原材料进行严格的检验,包括水泥的强度和安定性、砂石的级配和含泥量、外加剂的性能等,确保原材料的质量合格。在某隧洞施工中,项目团队对原材料进行了严格的检验,确保了原材料的质量合格。

##### 2.4.2 配合比设计

###### (1) 合理设计

根据隧洞的施工环境和混凝土的设计要求,进行合理的配合比设计,通过试验确定最佳的水灰比、砂率等参数。例如,在高湿度环境下,适当降低水灰比,提高混凝土的抗渗性。在某隧洞施工中,项目团队根据施工环境进行了合理的配合比设计,提高了混凝土的抗渗性。

(2) 试验验证。通过试验验证配合比的合理性,确保混凝土的强度、耐久性和工作性符合设计要求。在某隧洞施工中,项目团队通过试验验证了配合比的合理性,确保了混凝土的强度、耐久性和工作性符合设计要求。

##### 2.4.3 混凝土运输

(1) 专用设备。采用专用的混凝土运输罐车,并控制运输时间,防止混凝土离析和坍落度损失。例如,运输时间应控制在1小时内,以保证混凝土的性能。在某隧洞施工中,项目团队采用了专用的混凝土运输罐车,这种罐车具备搅拌功能,能够在运输过程中持续搅拌混凝土,有效防止了混凝土离析和坍落度损失。通过这种方式,混凝土在到达浇筑点时仍能保持良好的工作性能,为后续的浇筑工作提供了有力保障。

(2) 运输路线优化。优化运输路线,减少运输过程中的颠簸和振动,确保混凝土的均匀性。在某隧洞施工中,项目团队优化了运输路线,尽量选择平坦、路况良好的道路,避免急转弯和陡坡,减少车辆的颠簸。同时,合理规划运输路线,避免交通拥堵,确保混凝土运输车辆能够快速、平稳地到达施工现场。通过这些措施,项目团队有效减少了运输过程中的振动,保证了混凝土的均匀性,提高了混凝土的施工质量。

#### 2.4.4 混凝土施工质量控制

(1) 混凝土浇筑。严格控制混凝土的振捣时间和振捣方式,确保混凝土的密实度。例如,采用高频振动棒,振捣时间控制在20-30秒,避免漏振和过振。在某隧洞施工中,项目团队通过精确控制振捣时间,有效提高了混凝土的密实度,减少了内部缺陷。

采用分层浇筑的方式,每层厚度控制在30-50厘米,确保混凝土的浇筑质量。在某长距离隧洞施工中,项目团队采用分层浇筑技术,有效避免了混凝土因一次性浇筑过厚而导致的内部温度过高、产生裂缝等问题,保证了混凝土的整体质量。

(2) 混凝土养护。根据隧洞内的环境条件,采取适当的养护措施,如洒水养护、覆盖保湿等,保证混凝土的强度发展。例如,在干燥环境中,增加洒水频率,保持混凝土表面湿润。在某隧洞施工中,项目团队根据隧洞内的湿度情况,合理调整洒水养护频率,确保了混凝土在养护期间始终保持适宜的湿度,促进了强度的均匀发展。

在混凝土浇筑后,采取保温措施,控制混凝土的温差,防止温度裂缝的产生。在某隧洞施工中,项目团队在混凝土浇筑后及时覆盖保温材料,并通过温度监测设备实时监控混凝土内部温度,根据温度变化及时调整保温措施,有效避免了温度裂缝的出现,保证了混凝土结构的完整性。

### 3 结论

长距离水利隧洞施工技术难点众多,但通过优化施工方案、合理规划施工设备与工序、加强通风排水系统建设以及提升混凝土施工质量控制水平等对策,能够有效克服这些难点,确保工程的顺利进行和质量达标。在未来的长距离水利隧洞工程建设中,应进一步加强技术创新和管理,不断探索和应用新的施工技术和方法,以提高施工效率、降低成本、保障施工安全,为我国水利事业的发展做出更大的贡献。

#### [参考文献]

- [1]王鹏.长距离输水隧洞施工中的关键问题及应对措施[J].水电水利,2021,5(1):35-39.
- [2]许增培,饶明明,桂欣.引调水工程深埋长隧洞施工方案与施工方法选择[J].四川水利,2025,46(3):78-81+88.
- [3]刘海波.长距离输水隧洞安全监测设计[J].山西水利科技,2021(3):22-24.
- [4]张卫华,孙根江,罗勇.长距离大断面水工隧洞下半洞开挖施工技术研究[J].四川水力发电,2021,40(3):40-43.
- [5]苟三江.长距离输水隧洞施工中的关键问题及应对措施[J].四川水利,2023(5):45-48.

#### 作者简介:

刘顺安(1984--),男,汉族,云南昭通人,本科,工程师八级,研究方向:水利工程建设及河道治理。