

# 小洞径引水隧洞工程的施工安全管理

魏友意

上海东华工程咨询有限公司 上海 200434

**摘要：**小洞径引水隧洞工程因施工空间受限、地质条件复杂及环境恶劣，面临坍塌、涌水、有害气体、机械伤害等安全风险。本文结合工程特点，提出超前地质预报、支护技术、通风防尘、电气安全、火工品管理及排水照明等安全技术措施，并构建涵盖应急预案、资源储备、演练评估的应急管理体系。通过科学管理降低施工风险，保障人员与工程安全，为水利工程建设提供参考。

**关键词：**小洞径隧洞；施工安全；火工品管理；排水照明；应急管理

引言：小洞径引水隧洞工程是水利基础设施建设的核心环节，其洞径小、地质复杂、环境恶劣等特点对施工安全提出高要求。通过技术优化与应急管理，可有效规避风险，保障工程顺利推进。本文从风险分析、技术措施、应急管理三方面展开论述，重点补充火工品安全、排水照明及应急联动等内容，为同类工程提供实践指导。

## 1 小洞径引水隧洞工程特点与安全风险分析

### 1.1 工程特点

洞径尺寸限制对小洞径引水隧洞工程提出了独特的挑战。较小的洞径意味着有限的施工空间，这直接影响了设备的选择和人员的操作方式。在狭窄的空间内，大型机械设备难以施展，需要采用更加灵活小巧的工具进行作业。操作人员必须适应这种受限环境，执行更为精细的工作流程，以确保高效完成任务。材料运输和废弃物处理也需精心规划，以避免影响施工进度。地质条件复杂是小洞径引水隧洞工程面临的另一大难题<sup>[1]</sup>。隧洞通常要穿越多种地质层，包括坚硬岩石、松软土层以及断层等，每种地质条件都带来了不同的技术挑战。例如，在岩石段落中挖掘时，可能需要使用爆破技术来推进工程；而在土层或断层区域，则需采取额外的支撑措施防止坍塌。面对复杂的地质情况，准确的地质勘探和技术评估显得尤为重要，以便制定合适的施工方案。恶劣的施工环境进一步增加了工程的难度。洞内的通风不良可能导致有毒气体积聚，照明不足使得施工人员难以看清工作面，而高湿度环境不仅降低了工作效率，还可能对设备造成损害。为应对这些不利因素，必须建立有效的通风系统，保证空气流通；提供充足的照明设施，确保清晰视野；并采取措施控制洞内湿度，保护施工设备免受腐蚀。

### 1.2 主要安全风险识别

坍塌风险是小洞径引水隧洞工程中的重大隐患之一。围岩失稳和支护不及时是导致坍塌的主要原因。在施工过程中，如果未能及时识别围岩稳定性变化并采取相应支护措施，就可能发生坍塌事故。特别是在地质条件复杂的情况下，围岩变化更难预测，必须加强监测并适时调整支护策略。涌水突泥风险同样不可忽视，地下水位变化和地质构造可能引发突然涌水或泥浆喷出，威胁施工安全。前期地质勘查应充分考虑水文特征，并设计合理的防水排水系统，发现异常应及时启动应急预案。有害气体风险存在于洞内作业环境中，可能存在瓦斯、硫化氢等有毒气体，危害人员健康甚至生命。必须安装气体检测报警装置，并定期检查有效性，同时保障良好通风，稀释有害气体浓度。机械伤害风险主要来自钻机、装载机、运输车辆等设备操作，洞内空间狭小增加了操作难度与意外发生可能。除加强操作培训外，还应定期维护设备，合理安排作业流程，减少人机交叉作业。电气安全风险涉及洞内电气设备的安装、使用与维护，不当操作可能引发触电或火灾。必须规范设备安装和使用流程，严格执行检查与维护制度，预防电气安全事故的发生。

## 2 施工安全技术措施

### 2.1 超前地质预报与监测

超前地质预报方法在隧洞施工中扮演着至关重要的角色。地质雷达、TSP超前地质预报系统和超前钻探是常用的技术手段。地质雷达通过发射高频电磁波探测地下结构，适用于浅层地质条件的快速评估；TSP超前地质预报系统利用地震波反射原理，能有效识别前方岩体的性质变化；超前钻探则是直接获取前方地质信息的传统方法，尤其适合复杂地质环境。这些技术的应用有助

于提前了解地质情况,为施工提供科学依据。监测内容与方法方面,需确定围岩变形、支护结构应力、地下水位等关键监测项目<sup>[2]</sup>。选择合适的监测仪器如收敛计、应力计、水位计等,并确保其安装位置准确无误。例如,收敛计用于监测围岩变形,应力计则关注支护结构应力变化,而水位计用于跟踪地下水位波动。合理布置监测点,保证数据采集全面准确。监测数据分析与预警机制建立在收集到的数据进行深入分析的基础上。通过构建监测数据分析模型,设定合理的预警阈值,一旦监测指标超出安全范围,立即启动预警程序,及时发布安全预警信息,以便采取相应措施,防止事故的发生。

## 2.2 开挖与支护安全技术

开挖方法在隧道或基坑施工中至关重要,根据地质条件选择合适的开挖方式是确保工程安全与质量的基础。稳定岩层采用全断面开挖法,一次完成断面挖掘,提升施工效率。地质复杂时,台阶法或分部开挖法通过分层分区推进,控制围岩变形。无论何种方法,严格控制炸药量、起爆顺序等爆破参数,保证爆破效果与施工安全。开挖过程中实时监测围岩变形数据,根据数据动态调整开挖速度与支护时机。支护设计是保障地下结构稳定的关键。锚杆加固围岩,喷射混凝土形成防护层,钢拱架提供支撑力。支护结构需具备足够强度,且及时施作。软弱破碎带或地下水丰富地段,早期支护迅速封闭围岩,防止失稳,为后续施工创造安全条件。对于变形较大区域,可增加锁脚锚杆,增强拱脚稳定性。火工品管理贯穿存储到使用全流程。仓库做好防爆、防火、防雷设计,运输车辆配备GPS定位和防静电装置。使用前编制专项方案,明确器材领用退库流程,设置警戒区并覆盖炮眼。发现盲炮,专业人员分析原因,采用重新起爆或水冲法处理,避免盲目操作引发事故。恶劣天气下暂停爆破作业,对库存火工品加强防潮、防雨检查。

## 2.3 通风与防尘安全技术

通风系统设计应基于隧洞长度、断面尺寸和施工人数等因素计算所需通风量,选用轴流风机、射流风机等设备,并确定压入式、抽出式或混合式的通风方式。良好的通风系统不仅能排除有害气体,还能改善洞内空气质量,提高工作效率。防尘措施包括采用湿式凿岩、喷雾洒水和通风除尘等综合手段。湿式凿岩通过向凿岩过程中添加水分降低粉尘产生;喷雾洒水则是在工作面附近喷洒水雾以捕获悬浮颗粒;通风除尘借助通风系统排出洞内粉尘,三者结合可有效降低洞内粉尘浓度,保障施工人员健康。有害气体检测与处理方面,需配备专业的有害气体检测仪器,定期检测洞内有害气体浓度。根

据检测结果,采取通风换气或封闭处理等措施,确保有害气体浓度始终处于安全范围内,避免中毒事故发生。

## 2.4 排水与照明安全技术

排水与照明是地下工程施工过程中不可忽视的重要环节,直接关系到作业环境的安全与施工效率。在排水方面,应根据地下水位高低及地质条件合理设计排水系统,通常包括集水井、排水沟和水泵等设施,构成完整的主动排水网络,确保地下水能及时排出,防止积水影响施工进度或引发安全隐患<sup>[3]</sup>。对于可能出现的突发涌水情况,应提前配备移动式排水泵与防水沙袋,作为应急排水手段,有效控制险情。为防止设备腐蚀及环境污染,还需定期对排水水质进行监测,确保排放符合环保要求。在照明方面,需结合现场实际布置科学合理的照明系统。洞内作业空间狭长复杂,宜采用防爆型LED灯具,按照区域划分设置主照明与应急照明,保证施工面光线充足,不留盲区。为提升管理效率,可引入智能控制系统,通过光照传感器自动调节亮度,并支持远程控制,提高照明系统的灵活性与可靠性。考虑到突发停电风险,必须配置备用发电机与蓄电池组,确保断电状态下照明不中断,保障人员安全撤离与应急处置顺利进行。

## 2.5 施工机械安全技术

机械选型与配置上,根据施工需求挑选性能可靠、安全适用的施工机械,并合理安排机械设备数量。确保所有机械均符合工程要求,满足施工现场的实际需要。机械操作规程明确了各类施工机械的操作流程,规定了操作人员的具体职责和操作标准。加强对机械操作人员的培训和管理,提高他们的技术水平和安全意识。机械维护与保养制度确保了施工机械始终处于良好运行状态。定期对机械进行检查、维修和保养,及时发现并解决潜在问题,延长机械使用寿命,提升工作效率。安装机械运行监控装置,实时监测设备状态,设置违规操作自动锁定功能,杜绝危险操作行为。

## 3 施工安全应急管理

### 3.1 应急预案编制

在小洞径引水隧洞工程中,建立健全的应急预案体系是确保施工安全的关键。一个完善的应急预案体系通常包括三个层次:综合应急预案、专项应急预案和现场处置方案。综合应急预案作为整个应急管理体系的基础,提供了应对各类突发事件的基本框架,明确了总体应急响应策略和资源分配原则。它涵盖了从事故预警到应急响应结束的全过程,确保所有参与者都能了解自己的角色和责任。专项应急预案则针对特定类型的突发事件制定详细的应对措施,例如火灾、坍塌、涌水等。每

一种专项应急预案都应根据其特有的风险特征设计相应的预防措施、应急响应流程以及恢复重建计划。这些预案不仅为处理突发事件提供了指导，还增强了对特定风险的认识，有助于提前做好防范准备。现场处置方案更加具体化，专注于如何在事故发生的第一时间内有效控制局面。这包括具体的疏散路线、紧急避难所位置、初期灭火措施等。现场处置方案需要与实际施工环境紧密结合，考虑到隧道内的特殊条件，如通风不良、空间狭窄等因素，制定出切实可行的操作指南。应急预案内容方面，需详细规定应急组织机构及其职责。明确各个部门和个人在紧急情况下的角色和任务，确保一旦发生事故，所有人都能迅速行动起来。应急响应程序部分，则要涵盖从事故报告到启动应急响应的所有步骤，并提供清晰的指引。应急处置措施部分应详尽描述各种可能遇到的情况及其解决方案，而应急保障则涉及资金、物资、通讯等方面的准备，以确保应急响应能够顺利进行。

### 3.2 应急资源储备与管理

应急资源的充分储备与科学管理是应对突发事件的重要保障。在物资储备方面，应根据工程特点和潜在风险类型，提前配置必要的应急物品，包括消防器材、急救药品、抢险工具、排水设备以及应急照明灯具等。这些物资需分类存放于施工现场便于取用的位置，并设立专人负责日常检查与维护，确保在紧急情况下能够迅速投入使用。对易损耗或有使用期限的物品，如急救药品和电池等，应定期更换和补充，避免因设备失效而影响应急响应效率。在救援队伍的建设方面，应组建一支具备专业技能的应急救援队伍，成员可由项目管理人员、技术骨干及经验丰富的施工人员组成<sup>[4]</sup>。通过系统的培训和演练不断提升其应急处置能力，特别是在复杂环境下的快速反应和协同作战能力。除技术培训外，还应注重心理素质训练，增强队员在突发情况下的抗压能力和冷静应对的能力。定期开展实战化模拟演练，检验应急预案的有效性，提升团队之间的协作水平和现场处置能力。通过常态化的管理机制，确保应急资源始终处于可用状态，为施工现场安全提供坚实支撑。

### 3.3 应急演练与评估

制定年度应急演练计划，有助于系统性地提升整体应急管理水平。演练形式多样，既可以是桌面演练，也可以是实战演练。桌面演练侧重于模拟事故场景，讨论和优化应急响应流程；而实战演练则是真实模拟突发事件，考验各部门之间的协调配合能力以及应急救援队伍的实际操作水平。通过这两种方式结合，可以从不同角度检验应急预案的有效性。对应急演练的效果进行评估是不可或缺的一环。每次演练结束后，都要认真分析演练过程中暴露出来的问题，总结经验教训。基于这些反馈信息，及时对现有的应急预案和应急处置措施进行修订和完善。这样做的目的是为了使得应急预案更加贴近实际情况，更具有可操作性和实用性。这也为未来可能出现的真实紧急情况做好了更充分的准备，确保一旦发生事故，能够快速有效地启动应急响应机制，将损害降到最低限度。在整个施工安全管理过程中，建立健全的应急管理体系是保障人员生命财产安全的重要防线。通过科学合理的预案编制、充足的资源储备以及严格的演练评估机制，可以在很大程度上增强项目应对突发事件的能力，为小洞径引水隧洞工程的顺利推进保驾护航。

### 结束语

小洞径引水隧洞工程施工安全管理涉及多方面，从工程特点与风险分析，到施工安全技术措施的落实，再到应急管理的完善，每个环节都紧密相连。通过科学合理的安全管理举措，可有效降低施工风险，保障人员与工程安全。未来，需持续优化安全管理策略，提升技术水平，为水利工程建设提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]杨周.水利工程中引水隧洞的施工技术及质量保证[J].居业,2022(8):56-58.
- [2]梁秋.水利工程引水隧洞施工技术探析[J].江西建材,2021(11):194-195.
- [3]罗立铁.水利工程中引水隧洞的施工技术及质量保证[J].清洗世界,2020,36(08):90-91.
- [4]林松.关于水利工程引水隧洞施工技术的探析[J].建材与装饰, 2020(10):125-126.