

隧洞塌方原因分析及处理措施

毛新功

新疆银通建设监理有限公司 新疆 奎屯 833200

摘要:在现代工程建设领域,隧洞是一种重要的地下结构形式,广泛应用于交通、水利、矿山等诸多关键行业。然而,在隧洞施工和运营过程中,塌方是一种极具破坏力的灾害,给工程带来了诸多严重的负面影响。鉴于塌方问题对工程安全、进度和成本的严重危害,深入研究隧洞塌方的原因及处理措施具有极其重要的现实意义。通过对塌方原因的深入剖析,可以为工程设计和施工提供科学合理的依据,提前采取有效的预防措施,降低塌方事故的发生概率。同时,系统研究塌方后的处理措施,能够在事故发生时迅速、有效地进行应对,最大限度地减少人员伤亡和经济损失,保障工程的顺利进行。

关键词:隧洞;塌方原因;处理措施

引言:隧洞工程作为地下空间开发的核心形式,其施工安全与围岩稳定性问题始终备受关注。受复杂地质条件、动态施工扰动及设计参数偏差等因素耦合影响,隧洞塌方成为制约工程进度与安全的关键风险。据统计,全球每年因塌方导致的工程事故造成数十亿美元经济损失,并严重威胁人员安全。基于此,本文从隧洞塌方的危害入手,探讨了隧洞塌方具体的原因,并在此基础上重点研究了隧洞塌方的处理措施。希望论文的研究能够推动交通、水电及矿产领域重大工程的安全实施。

1 隧洞塌方的危害

首先,人员安全首当其冲受到巨大威胁。塌方瞬间,施工现场会被大量土石掩埋,施工人员极易被困其中。狭小且充满粉尘、缺氧的空间,不仅会对被困人员的呼吸系统造成严重伤害,还可能因土石挤压导致身体多处骨折、脏器受损。救援工作在塌方后的复杂环境下展开难度极大,稍有不慎还可能引发二次塌方,进一步危及救援人员的生命安全,最终造成不可挽回的人员伤亡悲剧。

其次,工程进度也会因隧洞塌方而遭受严重延误。塌方发生后,首先需要耗费大量时间对现场进行勘察评估,制定详细且安全的塌方处理方案。清理塌方体、重新进行支护等工作流程复杂且耗时长久。原本按计划有序推进的工程不得不中断,后续的施工工序也被迫延迟。

此外,经济成本方面,隧洞塌方带来的损失堪称巨大^[1]。直接成本包括塌方体清理费用、额外的支护材料与设备投入、因处理塌方而增加的人工费用等。间接成本更是不容小觑,工程延误可能导致违约赔偿,增加贷款利息支出,还会影响项目预期收益。如某大型水利隧洞塌方后,直接经济损失高达数千万元,加上因工期延误

造成的间接损失,总损失过亿,给项目投资方带来沉重的经济负担。

最后,对周边环境而言,隧洞塌方同样影响恶劣。大量塌方体可能堵塞周边河道、沟渠,破坏原有的水系平衡,引发局部洪涝灾害。更严重的是,塌方还可能导致周边山体稳定性下降,增加山体滑坡、泥石流等地质灾害发生的风险,对周边居民的生命财产安全以及生态环境造成长期的负面影响。

2 隧洞塌方原因分析

2.1 地质因素

2.1.1 地层岩性

地层岩性对隧洞稳定性影响重大。硬岩强度高、完整性好,如花岗岩、石英岩,开挖时围岩相对稳定,塌方可能性小,但开挖难度大,高地应力下可能岩爆。软岩强度低、变形大、遇水易软化,像泥岩、页岩,黏土矿物多,胶结弱,开挖易受扰动变形,遇水强度和承载下降,易引发塌方。破碎岩体受地质构造、风化影响,节理、裂隙切割使其破碎,岩块间连接支撑差,开挖时易松动掉落,且渗透性强,地下水流动加剧失稳。

2.1.2 地质构造

地质构造显著影响隧洞安全。断层处岩体破碎、节理裂隙发育、强度低,隧洞穿越时围岩自稳差,两侧应力差致变形加剧,易塌方。褶皱使岩层产状变,向斜汇聚地下水致岩体强度降,背斜顶部岩石受张力易裂隙破碎,隧洞穿越不利部位易塌^[2]。节理削弱岩体强度完整性,其方向、间距、密度不利时,增加塌方风险,如与隧洞轴线平行或夹角小,岩体易沿节理面滑动坍塌。

2.1.3 地下水作用

地下水对隧洞危害多面。其软化岩体,与矿物反应

改变结构性质,软岩遇水膨胀强度降,如泥岩遇水软化致承载下降引发塌方。地下水增加岩体孔隙水压力,减小颗粒间有效应力,降低抗剪强度,引发滑动破坏,如富水砂层中孔隙水压力上升致流砂、塌方。在此,需要提醒的是,长期流动还冲刷溶蚀节理、裂隙,岩溶地区溶蚀形成溶洞等,隧洞穿越未发现的溶洞会突然坍塌。

2.2 设计因素

2.2.1 洞线选择不合理

洞线选择关乎隧洞安全。穿越断层破碎带、褶皱区、软弱夹层等不良地质区,岩体破碎、自稳差,开挖易变形破坏致塌方,如铁路隧洞因勘察不足穿越断层发生严重塌方。洞身埋深过浅,围岩覆盖层薄,难抗围岩压力和施工荷载,受地表荷载、地下水影响易变形坍塌,如城市地铁隧洞因埋浅上方有建筑而塌陷。

2.2.2 支护设计缺陷

支护设计保障隧洞稳定。支护参数不合理影响承载和稳定,过小如锚杆长度不足、喷射混凝土厚度不够,无法约束围岩变形致塌方;过大则增加成本、扰动围岩。支护形式应据地质、断面、施工方法选择,软岩用柔性支护,硬岩用刚性支护,选错如软岩用刚性支护,无法适应围岩变形,致应力集中、支护结构破坏、围岩失稳。

2.3 施工因素

2.3.1 施工方法不当

施工方法影响隧洞安全。全断面开挖法速度快但对围岩自稳要求高,软岩或破碎岩体中用此方法易塌方,如引水隧洞穿越软岩采用全断面开挖致大规模塌方。台阶法分台阶开挖可增安全,但台阶长度、施工顺序不合理会影响稳定,如公路隧洞因上台阶过长致塌方。CD法适用于软弱围岩大跨度隧道,开挖和支护时机把握不好会塌方,如地铁隧道穿越断层破碎带时因各分部施工时间间隔长引发塌方。

2.3.2 施工工艺不规范

施工工艺影响施工质量和稳定。爆破参数不合理,如炸药用量大、炮眼间距小、起爆顺序不当,过度扰动围岩致强度降低、塌方,如矿山隧洞因爆破参数问题引发局部塌方^[3]。喷射混凝土质量关乎支护承载,配合比不合理、厚度不足、工艺不规范致强度和粘结力不足,如铁路隧洞因喷射混凝土质量问题引发塌方。锚杆安装不规范,如长度、间距、锚固深度不足,无法发挥锚固作用,如水利隧洞因锚杆安装问题引发局部塌方。

2.3.3 施工管理不善

施工管理不善的具体表现如下:一是安全监测不到位,无法掌握围岩变形、应力变化,错过处理时机致塌

方,如公路隧洞因监测不足引发塌方。二是施工组织不合理,如顺序混乱、进度不当、人员设备调配差,影响隧洞稳定,如铁路隧洞因施工组织问题引发塌方。三是施工人员技术水平低,操作失误致施工质量下降、塌方风险增加,如引水隧洞因施工人员技术问题引发塌方。

3 隧洞塌方处理措施

3.1 应急处理措施

3.1.1 人员安全保障

隧洞塌方后,保障人员安全是重中之重,关乎后续救援工作开展。为此,现场应急救援指挥系统应即刻启动,负责人迅速发警报,借广播、警报器让洞内人员知晓险情,组织按预设逃生路线撤离,安排专人维持秩序,防拥挤踩踏。对受伤人员,现场医疗救援要跟上,配备急救设备药品,救援人员快速止血、包扎、固定,创造条件送附近医院全面救治。同时,给救援人员配足安全防护装备,如安全帽、安全带等,并培训安全知识与自救互救技能,安排专人监测现场,遇异常立即通知撤离。

3.1.2 现场封锁与监测

塌方后及时封锁现场,设警示标志,如警示灯、警戒线,安排专人警戒,防无关人员进入。实时监测塌方现场意义重大,主要监测围岩变形、应力及地下水情况。

其中,围岩变形监测用全站仪、水准仪等,定期监测塌方及周边围岩位移、沉降等,分析数据判断变形趋势。某铁路隧洞塌方处理中,靠监测发现周边围岩位移短时间剧增,及时加强支护控制了塌方。应力监测利用压力盒等传感器,监测围岩应力,超承载易致塌方,为调整支护参数提供依据。某矿山隧洞通过应力监测发现应力集中,增强支护强度避免二次塌方。地下水监测关注水位、水压等,其变化影响围岩稳定,如某水利隧洞监测到水位上升,及时排水降压防塌方恶化。此过程中,监测频率依塌方严重程度定,初期围岩变化大,加密监测;稳定后适当降低频率。建立监测数据记录分析制度,为塌方处理提供可靠数据。

3.2 塌方段加固措施

隧洞塌方段加固需根据围岩特性与塌方规模综合施策。应采取的促使有以下几个方面:首先应采用钢拱架临时支护,选用工字钢或格栅钢架,紧贴围岩安装并锁脚固定,某水电隧洞塌方后利用增设钢拱架有效遏制变形发展。其次实施系统锚杆加固,将破碎岩体锚固成整体,如某交通隧洞采用全长粘结锚杆配合注浆工艺,显著提升围岩自稳能力^[4]。喷射混凝土形成柔性支护层,与钢架协同作用,某矿山隧洞通过湿喷工艺快速封闭岩面,抑制风化剥落。

其次,针对特殊地质条件,可采用超前支护措施,如超前小导管注浆预加固,在塌方前沿形成加固圈;或施作管棚支护,为塌方段处理提供安全作业空间。某铁路隧洞在塌方段周边打入42mm超前小导管注浆,成功控制围岩松动范围。另一方面,二次衬砌需及时施作,采用模筑混凝土或钢筋混凝土结构,某引水隧洞通过优化衬砌配筋与厚度,使塌方段承载力提升30%。加固过程中需同步进行围岩收敛监测,根据变形速率动态调整支护参数,确保加固效果满足长期稳定性要求。

3.3 塌方段处理方法

3.3.1 清除塌方体

清除塌方体需综合考量多种因素,常见方法有机械清除和人工清除。

首先,机械清除适用于大规模塌方体且场地允许的情况。如某高速公路隧洞塌方,用大型挖掘机和装载机,挖掘机挖起塌落物装入装载机运走,快速清理塌方体,但要注意避免扰动未塌围岩。施工时合理调整设备参数,控制速度和力度,加强未塌围岩监测,异常时立即停工加固。

其次,人工清除适用于塌方体小或机械作业受限的场景。如小型水利隧洞塌方,因断面小、地质复杂,施工人员戴防护装备用铁锹等工具小心清理,严格遵守规程,确保安全。人工清除劳动强度大、效率低,但能精细控制,需配备照明和通风设施。实际工程常采用机械与人工结合,先机械清大部分,再人工精细清理修整。如某铁路隧洞塌方处理,机械清完后,人工清理洞壁顶部残留,为支护施工打基础。

3.3.2 回填处理

回填塌方段能恢复隧洞结构完整性和稳定性,材料选择很关键。常见材料有片石混凝土、水泥砂浆和级配砂石。

第一,片石混凝土强度高、抗渗好,可节省成本、改善散热。某公路隧洞塌方用其回填,施工时散布清洗后的片石,再浇筑混凝土并振捣密实。第二,水泥砂浆粘结、填充性能佳,能增强隧洞整体性。某引水隧洞因围岩破碎用其回填,通过注浆填充缝隙,施工时控制压

力和量,注浆后养护。第三,级配砂石透水性和压实性好,适用于地下水位高的塌方段。某地铁隧洞位于地下水位下,用级配砂石分层铺设压实,支撑围岩。回填能提高围岩承载、改善受力、增强防水,对隧洞长期稳定意义重大。

3.3.3 特殊处理方法

复杂地质或大型塌方需特殊处理,如注浆加固、冻结法。其中,注浆加固向塌方岩体注浆液,胶结破碎岩体,增强强度和稳定性。某铁路隧洞穿越断层破碎带塌方,注水泥-水玻璃双液浆,水泥浆强度高、水玻璃凝固快,依裂隙调整压力和量,补注确保质量,稳定了塌方体。而冻结法人工制冷,将塌方段周围土体或岩体冻成冻土墙,抵抗围岩压力和地下水。某城市地铁隧洞穿越富水砂层塌方采用此方法,先布置冻结孔、安装冻结管,通入低温冷媒形成冻土墙,施工中监测冻土墙情况,结束后解冻,避免环境影响。虽成本高、工艺复杂,但在特定条件下效果显著。

结语:隧洞塌方作为地下工程领域的重大安全隐患,其防治研究对保障工程安全与可持续发展具有重要意义。当前,随着BIM建模与AI预测算法的深度应用,隧道工程正逐步迈入智能化防控新阶段。未来研究需进一步探索地质-结构-施工多场耦合分析方法,开发基于机器学习的塌方风险预警模型。同时,应加强特殊地质条件下的处置技术创新,如富水破碎带中冻结法与注浆工艺的联合应用,以及环保型支护材料的研发推广。

参考文献

- [1]蒋革新,徐显成.有压引水隧洞塌方原因分析及处理措施[J].四川建材,2024,50(8):233-234,237.DOI:10.3969/j.issn.1672-4011.2024.08.085.
- [2]李龙.小断面水工隧洞工程塌方分析及处理措施[J].农业科技与信息,2021(9):119-120.
- [3]曹星,贾洪敏.调水项目支洞涌水原因分析及处理措施[J].河南水利与南水北调,2020,49(9):46-48.
- [4]李吉艳.TBM引水隧洞卡机原因分析与处理方法[J].广东水利水电,2022(11):75-79.