

硬岩隧道光面爆破施工技术要点分析

全俊成

保利长大海外工程有限公司 广东 广州 510630

摘要：硬岩隧道施工中，光面爆破技术对保障工程质量、提升施工安全至关重要。传统光面爆破施工存在设计与实际地质适配性不足、过程管控精度欠缺等问题，制约了施工效率与围岩稳定性。本文围绕硬岩隧道光面爆破的前期准备、核心工序、质量控制及安全保障关键环节展开分析，明确各阶段技术要点与优化方向，为硬岩隧道光面爆破施工的规范化开展提供技术参考。

关键词：硬岩隧道；光面爆破；施工技术；要点分析

引言：随着交通基础设施建设向深部复杂地质区域推进，硬岩隧道工程数量不断增加。光面爆破作为硬岩隧道开挖的核心技术，其施工质量直接影响隧道开挖轮廓规整度、围岩完整性及后续支护效果。当前，硬岩隧道施工面临地质条件复杂多变、传统爆破技术适配性不足等挑战，易引发超欠挖、围岩扰动过大等问题，威胁工程安全与进度。因此，系统梳理硬岩隧道光面爆破施工技术要点，优化施工管控策略，对提升硬岩隧道施工水平具有重要现实意义。

1 硬岩隧道光面爆破施工前期准备要点

1.1 爆破设计要点

爆破设计需以硬岩地质特性为核心依据，精准确定爆破参数。先明确开挖断面尺寸，结合隧道设计要求标注炮孔布置位置，包括周边眼、掏槽眼、辅助眼的间距与排距，周边眼需保证平行于隧道轴线且眼底落在同一平面。再计算装药量，根据岩石抗压强度、炮孔深度等参数，采用逐孔药量分配方式，控制周边眼装药量低于辅助眼，避免过度爆破破坏围岩稳定性。同时设计起爆网络，选用毫秒延期雷管，合理设置各段雷管延期时间，实现掏槽眼先爆、辅助眼次爆、周边眼最后爆的顺序，确保爆破能量有序释放，提升光面效果。

1.2 施工设备与材料准备要点

设备准备需保障性能匹配与完好性，核心设备包括钻孔机械、爆破器材、出渣设备等。钻孔机械优先选用凿岩台车，搭配与炮孔直径匹配的钻头，提前调试设备确保钻孔精度；备用手持式凿岩机应对特殊断面施工。爆破材料需选用符合硬岩爆破要求的炸药，周边眼宜采用小直径药卷，同时准备导爆管、雷管等起爆器材，进场前进行性能检测，杜绝不合格材料投入使用。此外配备通风设备、洒水降尘设备，以及设备维修工具与备件，确保施工过程中设备故障能及时处理。材料存储需

划分专用区域，做好防潮、防火、防爆措施，规范堆放并标注清晰^[1]。

1.3 施工场地准备与地质勘察复核

施工场地准备需清理隧道洞口及周边杂物，平整作业场地，修建临时施工便道，保障设备与材料运输通畅。搭建临时设施，包括设备存放区、材料仓库、施工人员休息区等，合理规划场地布局以提升施工效率。同时布设施工供电、供水系统，确保满足钻孔、通风等作业需求。地质勘察复核需在前期勘察基础上，通过超前地质钻探、物探等方式，进一步确认隧道掌子面前方岩石性质、岩层产状、裂隙发育情况等，核对是否存在前期勘察未发现的地质异常区域。针对复核结果调整爆破设计参数，确保设计方案与实际地质条件精准匹配，降低施工风险。

2 硬岩隧道光面爆破核心施工工序要点

2.1 钻孔施工要点

钻孔施工需严格遵循爆破设计方案，确保孔位、孔深、孔向精准。首先采用全站仪定位放线，标记各类型炮孔中心位置，偏差控制在5厘米以内，避免因孔位偏差影响爆破效果。钻孔时优先使用凿岩台车作业，周边眼钻孔方向需与隧道轴线平行，眼底偏移量不超过3厘米，掏槽眼需按设计角度倾斜，确保掏槽体积极满足后续爆破空间需求。钻孔深度根据循环进尺确定，单次钻孔深度控制在3-4米，钻孔完成后及时清理孔内岩粉，采用高压风将岩粉吹净，避免残留岩粉影响装药密度。同时逐孔检查孔深、孔向，对不合格钻孔进行补钻或封孔处理，确保钻孔合格率达到要求。

2.2 装药施工要点

装药施工需严格把控药量与装药顺序，保障爆破能量合理分布。按照设计药量逐孔称量炸药，周边眼采用间隔装药方式，将小直径药卷与炮泥交替摆放，药卷间

距控制在40厘米左右,炮泥堵塞长度不小于50厘米,确保堵塞密实防止冲炮。掏槽眼和辅助眼采用连续装药方式,装药过程中避免药卷破损,防止炸药受潮失效。装药顺序遵循“先掏槽眼、再辅助眼、最后周边眼”的原则,逐孔完成装药与堵塞作业。同时在装药过程中同步布设起爆网络,将导爆管有序理顺,避免交叉缠绕,确保各炮孔雷管连接可靠,每个起爆支路需预留足够长度的导爆管,保障起爆信号有效传递。

2.3 起爆施工要点

起爆施工需做好安全防护与起爆控制,确保爆破有序进行。起爆前清理作业面人员与设备,在隧道洞口及周边危险区域设置警戒,确保警戒范围覆盖爆破影响区域。起爆采用毫秒延期起爆方式,严格按照设计的雷管段别顺序起爆,掏槽眼先爆形成自由面,辅助眼随后爆破扩大开挖断面,周边眼最后爆破形成平整岩壁,各段雷管延期时间间隔控制在50-100毫秒,避免爆破冲击波相互干扰。起爆操作由专人负责,采用起爆器引爆,引爆前再次检查起爆网络连接情况,确认无误后发出起爆信号,待所有人员撤离至安全区域后实施起爆,起爆后等待15分钟以上,确认爆破稳定后再进入作业面检查^[2]。

2.4 爆破后清理与效果初步检查

爆破后首先启动通风设备,持续通风30分钟以上,降低隧道内炮烟浓度,待空气质量达标后组织人员进入作业面。清理作业优先采用机械出渣,配合人工清理掌子面残留的危石与岩块,避免岩块掉落伤人。清理过程中同步进行爆破效果初步检查,检查开挖断面尺寸是否符合设计要求,周边岩壁平整度误差控制在10厘米以内,无明显超欠挖现象。检查炮孔痕迹保存率,周边眼炮孔痕迹应清晰可见,确保光面爆破效果。同时检查围岩稳定性,观察岩壁是否有裂隙发育、掉块等情况,若发现异常及时采取支护措施,确保后续施工安全。对爆破效果不达标的部位,分析原因并制定整改措施,调整后续爆破参数。

3 硬岩隧道光面爆破质量控制要点

3.1 爆破效果评价指标与检测方法

爆破效果评价需明确核心指标,重点关注隧道轮廓规整度、围岩完整性及爆破块度合理性。(1)轮廓规整度主要评价开挖轮廓与设计轮廓的契合程度,避免出现欠挖、超挖现象,确保隧道断面尺寸符合要求;围岩完整性需判断爆破后围岩是否产生新的裂隙,防止因爆破扰动导致围岩失稳;爆破块度合理性则要求岩块大小均匀,便于后续出渣及支护作业开展。(2)对应的检测方法需具备针对性和可操作性。轮廓规整度可采用直观观

察与仪器测量相结合的方式,通过目测初步判断轮廓平整情况,再利用激光断面仪等设备精准测量断面尺寸,核查超欠挖情况;围岩完整性检测可通过地质雷达探测或钻孔窥视等手段,识别爆破产生的隐蔽裂隙,判断围岩扰动范围;爆破块度则通过现场观察统计,评估岩块分布的均匀性,判断是否满足后续施工需求。

3.2 施工过程中的质量动态调整措施

施工过程中的质量动态调整需以现场实际情况为依据,建立“参数预设-过程监控-效果反馈-参数调整”的闭环控制机制。(1)在爆破参数预设阶段,需结合硬岩特性、隧道断面尺寸及地质条件,合理确定炮孔间距、深度、装药量及起爆顺序等核心参数。(2)施工过程中,需加强对炮孔施工质量的监控,重点检查炮孔的位置、角度、深度及间距精度,确保炮孔参数与设计一致,避免因炮孔偏差导致爆破效果不佳;严格控制装药过程,规范装药操作,确保装药量均匀,起爆顺序准确^[3]。(3)爆破完成后,及时对爆破效果进行检测评价,根据评价结果针对性调整参数。若出现超挖严重、轮廓不规整等情况,需调整炮孔间距或装药量;若围岩扰动过大,需优化起爆顺序,减少爆破冲击波的叠加影响。需关注地质条件的变化,若遇岩层产状、硬度发生改变,及时调整爆破参数以适应地质条件的变化。

3.3 常见质量问题及防治对策

硬岩隧道光面爆破常见质量问题主要包括超欠挖、围岩扰动过大、爆破块度不均及炮孔痕迹保存差等。(1)针对超欠挖问题,防治核心在于提高炮孔施工精度,严格控制炮孔位置和角度,优化装药量,对于硬岩特性合理调整炮孔间距,同时加强施工过程中的测量复核,及时纠正炮孔偏差。(2)对于围岩扰动过大问题,需优化起爆方案,采用分段起爆方式减少同时起爆的药量,降低爆破冲击波强度;合理确定炮孔深度和起爆顺序,避免爆破能量过度集中,减少对围岩的扰动;加强地质勘察,提前预判地质薄弱区域,针对性调整爆破参数。(3)针对爆破块度不均问题,需精准控制装药量,确保各炮孔装药量均匀,优化炮孔间距和起爆顺序,使爆破能量均匀分布,避免出现局部岩块过大或过小的情况。(4)对于炮孔痕迹保存差问题,需严格控制炮孔角度和深度精度,确保光爆层厚度均匀,合理选择炸药类型,控制炸药爆速与硬岩特性匹配,同时优化起爆时差,使相邻炮孔爆破协同作用,减少炮孔痕迹的破坏。

4 硬岩隧道光面爆破施工安全保障要点

4.1 爆破器材安全管理要点

爆破器材的安全管理是光面爆破施工安全的基础环

节,需严格把控器材储存、运输、领用、回收全流程。

(1) 储存环节应选择符合安全条件的专用库房,确保库房远离施工区域、居民区及其他危险源,同时配备完善的防火、防爆、防潮设施,安排专人24小时值守,建立严格的出入库登记制度。(2) 运输过程中需使用专用运输车辆,车辆需符合相关安全标准,配备必要的安全防护装备,运输路线应避开人员密集区域和交通繁忙路段,运输过程中严禁超速、超载,严禁与其他易燃易爆物品混装。(3) 领用环节需实行实名制管理,根据施工需求精准领用,领用人员需出示相关资质证明,严格核对器材型号、数量并签字确认。(4) 施工结束后,剩余爆破器材需及时回收至库房,严禁私藏、丢弃或随意堆放,回收过程需详细记录,确保器材流向可追溯。

4.2 施工人员安全防护措施

施工人员的安全防护是保障施工人员生命安全的关键,需从岗前培训、个人防护、作业规范三个方面落实防护措施。(1) 岗前培训需针对光面爆破施工的安全风险、操作规范、防护要求等内容开展系统培训,确保施工人员熟练掌握相关知识和技能,经考核合格后方可上岗作业^[4]。(2) 个人防护方面,施工人员必须按要求佩戴齐全有效的防护用品,包括安全帽、防护眼镜、防尘口罩、防噪声耳塞、防滑鞋等,针对爆破作业人员还需配备专用的防静电服装和绝缘手套。(3) 作业过程中需严格遵守施工规范,严禁违规操作,爆破作业人员需严格按照爆破设计方案进行钻孔、装药、连线等操作,钻孔作业时需检查钻孔设备的安全性能,确保设备正常运行;装药过程中需轻拿轻放,避免碰撞产生火花,严禁在装药区域吸烟、使用明火。

4.3 爆破作业安全警戒与应急预案

爆破作业的安全警戒与应急处置是防范事故的重要保障,需明确警戒范围、落实警戒责任并制定完善应急预案。(1) 爆破前,结合施工环境、爆破规模科学划定警戒范围,在关键出入口设警戒标志与岗哨,专人值守严禁无关人员车辆进入;提前通知区域内人员撤离至安全地带,经专人核查警戒情况、现场负责人确认无误后,方可下达爆破指令。(2) 应急预案需结合光面爆破潜在风险,明确应急组织机构、响应流程、处置措施及

物资保障;提前备齐急救药品、消防器材等应急物资并定期检查维护,确保应急可用;定期组织应急演练,提升施工人员应急处置与协同配合能力,保障突发事故时快速响应、有效处置^[5]。

4.4 围岩稳定性监测与安全预警

硬岩隧道光面爆破会扰动围岩,可能引发失稳,需加强围岩稳定性监测并建立高效安全预警机制。(1) 结合隧道地质条件与施工进度制定科学监测方案,明确监测项目、点位、频率及方法;重点监测围岩位移、应力、拱顶下沉、周边收敛等,监测点位布设于围岩薄弱区、爆破影响区及关键断面;采用精度合格的监测设备,由专业人员负责数据采集分析,确保数据真实准确完整。(2) 建立监测数据动态分析机制,实时对比数据与预警阈值;若数据异常或接近阈值,立即发出预警信号,通知人员撤离危险区域,组织技术人员评估围岩稳定性并制定针对性处置措施,待围岩稳定后再恢复施工。

结束语:硬岩隧道光面爆破施工为系统性工程,需统筹前期准备、核心工序、质量控制与安全保障等环节协同推进。本文明确各阶段技术要点,为解决传统施工中地质适配性差、管控精度不足等问题提供了有效思路。后续施工需结合具体地质条件动态调整技术参数,强化各环节协同管控。未来可结合智能化技术提升施工精准度,推动该技术向高效、安全、绿色方向发展,助力隧道工程建设质量提升。

参考文献

- [1]安卫龙.基于引水隧道光面爆破施工技术分析[J].当代化工研究,2022,(06):180-182.
- [2]张俊弘,王余,蒋云东.隧道光面爆破施工技术研究[J].建筑安全,2022,37(9):33-35.
- [3]王振浩.黄柏山隧道光面爆破技术[J].爆破,2022,39(2):100-106.
- [4]王国青.公路工程隧道项目光面爆破施工技术[J].交通世界,2022(20):138-140.
- [5]张蛟龙.复杂地质条件隧道光面爆破及超挖控制技术[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2023,22(1):26-29.