山岭隧道钻爆法施工中光面爆破质量控制技术研究

谢乾坤

湖北交投建设集团 湖北 武汉 430070

【摘　要】：在山岭隧道钻爆法施工当中，光面爆破是保障开挖轮廓规整、保护围岩稳定的关键工艺，但现场经常出现超欠挖严重、围岩受扰动明显等问题。本文从钻孔作业、起爆设计、爆破参数匹配三个维度，总结光面爆破施工中的典型问题，分别研究周边眼钻孔管控、起爆网路延时优化、围岩分级下爆破参数动态调整以及周边眼分段装药与间距协同控制等控制技术。通过工程优化前后对比分析可知，该套技术可改善隧道开挖成型效果，抑制超挖问题，减弱爆破对围岩的破坏，减少支护材料投入，可为山岭隧道光面爆破施工提供参考。

【关键词】：山岭隧道；钻爆法；光面爆破

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.041

引言

山岭隧道大多采用钻爆法开展开挖作业，光面爆破施工质量，直接影响隧道施工安全、成型效果与工程造价。受洞内作业环境限制、人员操作差异以及围岩条件不断变化的影响，光面爆破实际效果往往达不到设计预期。周边眼成孔偏差、起爆时序依靠经验选取、爆破参数不能随地质改变，都会诱发超欠挖，加剧围岩损伤。基于此，本文梳理光面爆破现存施工问题，研究对应的质量控制优化技术，并结合工程工况分析应用效果，为现场施工提供思路。

1 山岭隧道钻爆法光面爆破施工现存问题

1.1 周边眼钻孔孔位与外插角偏差超标

山岭隧道洞内作业光照不足，现场放线定位存在误差，钻机操作带有人为偏差，周边眼会产生孔位偏移、外插角失控现象。钻孔角度与位置脱离设计参数，炮孔无法贴合隧道设计轮廓布设，爆破能量释放方向随之改变。装药满足设计参数，依旧产生局部超挖或者欠挖[1]。钻孔深度出现同步偏差，炮孔底部爆破作用范围发生变动，干扰光面爆破成型状态，诱发隧道开挖轮廓形态不规则。

1.2 炮孔起爆时序设计不合理

起爆时序管控各炮孔爆破能量释放次序。现场施工分段间隔时间多依托经验选定，未参照围岩硬度、炮孔间距完成验算。掏槽眼、辅助眼、周边眼起爆时差设置偏差，先爆炮孔生成裂隙扰动后爆炮孔孔壁，损毁周边眼成型面。时序紊乱引发爆破能量叠加，加重周边围岩承受的冲击损伤，削减光面爆破对围岩的防护效果，提升轮廓破碎、局部掉块出现概率。

1.3 爆破参数无法适配围岩性质变化

山岭隧道掌子面围岩状态持续变动，软弱夹层、裂隙发育区域和完整硬岩交替分布。部分施工依旧套用固定爆破参数，不存在配套动态调整手段。施工阶段留存“宁超勿欠”的固有思路，软弱围岩段周边眼装药量未下调。炸药能量和岩体强度无法匹配，能量朝着岩体薄弱部位释放，造成局部大范围超挖，放大围岩扰动，光面爆破难以实现预想的轮廓成型。

2 山岭隧道钻爆法光面爆破质量控制优化技术

2.1 周边眼精准放样与钻孔角度管控技术

周边眼放样与钻孔角度管控技术依托光面爆破开挖边界的几何条件，炮孔空间位置状态影响着开挖轮廓区域应力裂隙的成型贯通效果。免棱镜三维全站仪可采集掌子面真实凹凸形态，隧道设计断面轮廓可投射至掌子面区域，测算得出各周边眼的平面点位、钻进倾角与有效孔深，摒弃传统皮尺搭配粉笔的粗放放线模式。钻机底座调平后，利用自带倾角标尺固定钻臂姿态，可规避岩层节理牵引造成的钻杆偏摆问题[2]。掌子面岩面起伏时，可调整钻进角度而不改动孔位，使孔底贴合设计开挖边界。炮孔平面位置、钻进倾角、成孔深度三类几何参数可实现协同管控，所有周边眼孔底可统一归至同一控制层面，爆炸应力波沿预设边线形成连贯裂隙，钻凿作业源头可规避炮孔几何偏差引发的轮廓变形，为光面爆破规整成型筑牢几何支撑。

2.2 起爆网路分段延时优化控制技术

起爆网路分段延时优化控制技术依托微差爆破应力波叠加理论，把控各炮孔爆破时序，为周边眼爆破形成稳定充足的临空面。现场岩体弹性波速、掏槽腔尺寸、炮孔排布间距用于演算微差间隔时长，脱离单纯依靠施工经验选定雷管段别的作业方式。掏槽眼、辅助眼、底板眼、周边眼构成既定起爆序列，掏槽孔率先起爆，掌子面内部生成初始补偿临空面，辅助眼接续起爆拓展空腔范围，周边眼安排在网路末端起爆，先期爆破

生成的张开裂隙不会撕裂周边眼孔壁，保留岩体不会出现提前损伤。非电毫秒雷管按演算延时梯度匹配段别，雷管置于单孔药卷中部，导爆管理顺后簇联连接并做好防护，避免传爆通路中断。时序参数完成量化管控，削减爆炸能量的无效叠加，周边眼沿设计边界劈裂岩体，冲击波作用于洞壁保留围岩带来的扰动破坏得到削减。

2.3 基于围岩分级的爆破参数动态优化技术

基于围岩分级的爆破参数动态优化技术依托爆生气体与应力波联合破坏机理，搭建地质判识、参数匹配、效果反演的闭环技术流程。超前地质预报手段探明掌子面前方围岩完整程度、结构面发育特征以及软弱夹层分布范围，围岩等级划定基础爆破配置。整体性较好的硬质围岩布设标准不耦合装药结构，掌子面揭露Ⅳ级围岩、夹泥软弱夹层以及裂隙密集带，周边眼更换小直径药卷布设间隔不耦合装药，下调单孔装药量，削减爆炸冲击强度，适配软弱岩体承受爆破荷载的能力。单次爆破结束，免棱镜断面量测设备采集开挖断面完整轮廓，对照设计断面提取超欠挖分布位置与形态，反演当前参数下围岩承受爆破损伤的实际状态，调整周边眼线装药密度、最小抵抗线以及装药不耦合系数。炸药输出能量跟随围岩条件完成适配，限制围岩内部次生裂隙持续延展，减少软弱部位的过度开挖现象，完成山岭隧道复杂地质条件下光面爆破开挖质量的可控调节。

2.4 周边眼分段装药与间距协同控制技术

周边眼分段装药与间距协同控制，是在围岩分级参数调整基础上，对装药结构和布孔密度进一步细化。分段装药将单孔药卷沿孔深分为若干段，段间设空气间隔或惰性填塞，形成轴向不耦合装药；孔底段集中破岩，孔身段和孔口段减药缓冲，使应力波沿孔轴均匀传播，避免孔壁撕裂或超挖。间距控制需与分段结构、围岩级别和最小抵抗线匹配：硬质完整围岩可适当加大间距，软弱破碎围岩应缩小间距，防止孔间岩体过度崩落。现场结合超前地质预报和试爆，对间距、分段装药比例、空气间隔长度联合标定，形成“围岩分级—分段装药—间距调整”协同控制，降低保留岩体损伤，提升轮廓平整度和残孔率。

3 光面爆破质量控制技术应用成效分析

以某山岭隧道工程为例，综合运用周边眼钻孔几何管控、起爆网路延时优化、基于围岩分级的爆破参数动态调整以及周边眼分段装药与间距协同控制成套技术，采用免棱镜断面量测开展爆破效果对比[3]。

表 1 光面爆破技术优化前后开挖效果对比

检测项目	优化前	优化后
拱顶最大超挖/mm	723	283
拱顶普遍超挖区间/mm	400-700	≤240
拱脚开挖状态	局部欠挖	毫米级轻微欠挖

由表 1 数据可以看出，采取优化技术之后，同一Ⅳ级围岩区段超挖指标改善显著。起爆网路时序的合理调控减少爆破能量叠加冲击，降低对保留围岩的扰动；周边眼分段装药与间距协同控制则使孔内能量分布更加均匀，孔间裂隙沿设计轮廓稳定贯通，减少局部粉碎和孔口掉块；同时洞壁与设计轮廓贴合度明显提升，周边眼残孔留存连续性良好，拱脚处轻微欠挖不会干扰出碴、支护等后续施工工序。软弱夹层部位岩体崩落得到遏制，爆破诱发的张开裂隙减少，围岩损伤范围收窄。整体超挖体量下降，喷射混凝土回填工程量减少，在保障施工安全的前提下，实现开挖质量与经济效益同步提升。

4 结语

本文针对山岭隧道钻爆条件下光面爆破存在的现实难题，从周边眼钻孔精度、起爆网路设置、爆破参数适配围岩条件以及周边眼分段装药与间距协同控制等方面提出优化措施。整套技术能够改善洞身开挖轮廓，控制超挖规模，减轻爆破对保留围岩的扰动。受地质条件制约，现场仍需依据掌子面情况灵活调整工艺，后续可结合智能化测量手段推动爆破参数自动迭代，提升光面爆破施工的标准化与精细化水平。

参考文献：

[1] 李丰果.山岭隧道钻爆法开挖的一些建议措施[J].西部探矿工程,2021,33(11):183-184+190.

[2] 马伟斌.铁路山岭隧道钻爆法关键技术发展及展望[J].铁道学报,2022,44(3):64-85.

[3] 刘仁华.隧道光面爆破开挖质量控制的应用研究[J].工程技术研究,2021,6(14):14-15+18.