

高地应力硬岩隧道岩爆施工探讨

黄 岚

(中铁十二局集团第七工程有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘 要 高地应力硬岩隧道开挖的过程中, 会破坏岩体地应力平衡, 引发岩爆, 对隧道内作业人员造成伤害以及对作业机械、工装设备造成不同程度的损害。为保证隧道的安全掘进, 在施工过程中, 特采取超前钻探探孔、地质预报、微震监测和其他监测方法等措施来预测岩爆的发生, 采取光面水压爆破、超前钻孔释放应力、低预应力涨壳式中空注浆锚杆、消能防护网等措施来减少岩爆的危害, 为隧道快速掘进和安全生产提供保障。

关键词 水压光面爆破; 超前地质预报; 掌子面封闭; 大机施工; 超前钻孔释放应力

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)04-0031-03

1 岩爆的危险性

高地应力硬岩隧道掌子面开挖掘进过程中, 爆破作业导致原岩整体性受到破坏, 岩体中储存的弹性应变能转化为动能, 使破裂的岩块以不同的速度弹射传出去, 即为岩爆。岩爆对掌子面作业人员安全危害极大, 如何降低岩爆发生的可能性及岩爆的危害性, 是高地应力硬岩隧道施工的关键。

2 岩爆分类及预测位置

隧道施工中, 要充分考虑地应力引起的可能发生的岩爆, 做好地质超前预测、预报工作。施工中发生岩爆采取“预警先行、主动控制、多机少人、保证安全”的原则, 并根据岩爆等级采取相应辅助措施, 实现软化围岩、释放应力、保护人员及设备、保护结构安全等目的, 并动态调整隧道施工工艺, 尽量减小岩爆的危害, 另外应预先准备消能防护网、预应力中空锚杆及机具外包防护钢板, 以备岩爆发生时, 保障人员及设备的安全。

3 施工工艺技术

3.1 辅助坑道支护参数

辅助坑道岩爆支护参数见表 1。

3.2 施工原则及施工方法

3.2.1 施工原则

岩爆段施工遵循以防为主, 防控结合, 动态调整的原则, 贯彻预警先行、主动控制、多机少人、保证安全的理念; 加强组织管理, 注重人员设备防护, 确保作业安全。建立岩爆预测、监测与预警、动态设计、分级预防、及时调整的管理体系, 采用机械化配套方案。

开挖方法采取“短进尺、弱爆破、密钻眼”, 实现隧道开挖轮廓圆顺, 减少围岩扰动, 避免应力集中。

防治采取主动控制, 分级预防, 采取加强岩爆超前地质预报预测、快速施作锚喷支护, 同时严控光爆效果, 辅以喷洒高压水、人员设备防护等防治措施。对于中等及以上岩爆, 在爆破完成后, 应立即喷洒高压水对新暴露围岩进行软化、降温, 并进行岩爆地段采取高机械化配置的原则, 锚杆钻注一体机、湿喷机械手、凿岩台车、拱架拼装机组成快速开挖支护作业线^[1]。

3.2.2 岩爆的预报、监测、预警

岩爆隧道根据超前地质预报、微震监测和其他监测方法获取的数据信息, 综合分析预判潜在岩爆的位置、岩爆等级和发生概率, 为岩爆风险防控提供依据。根据相关经验总结, 易发生岩爆段落有以下特点: 一是岩石新鲜、完整、干燥, 岩质脆硬段落, 即掌子面岩体为块状结构的洞段; 二是断层带附近具有完整岩体部位; 三是复杂的地质构造带; 四是钻孔过程中有爆裂声、摩擦声和卡钻现象的段落。

3.2.3 超前地质预报

结合多种地质预报方法开展超前地质预报工作, 准确判别围岩特性, 针对岩爆可能性高的地段, 充分利用超前水平钻孔开展地应力测试, 对岩爆进行定量定级。主要包括: (1) 物探法。物探法具有探测距离大、速度快、干扰小等优点。施工中常采用的方法有: 地震波反射法(TSP)、地质雷达法、瞬变电磁法; (2) 超前钻探法。对于复杂地质区段, 采用超长地质钻机(钻孔长度 >100m)配以中长距离钻孔探测, 掌子面布置加深炮孔, 综合分析判断; (3) 围岩监测。成立围岩监测小组, 及时布设围岩监测点位收集围岩变形量等数据, 同时结合实验室测试的岩石弹性模量, 有效分析岩爆发生的可能性, 做好岩爆防控工作; (4) 监测预警。隧道岩爆监测应以总结岩爆发生特点和规律为

表1 支护参数措施表

岩爆等级	喷砼	防护网	锚杆	钢架
轻微	厚度同系统支护	-	Ⅱ级围岩地段岩爆部位局部布设2根, L=3m长低预应力中空注浆锚杆	-
中等	厚度同系统支护	拱墙设置消能防护网	Φ25低预应力中空注浆锚杆, 长3m, 间距1.0m×1.0m	HW125型钢钢架, 间距1.2m
强烈	初喷5cm厚C30钢纤维混凝土复喷15cm(强烈)/17cm(极强烈)钢纤维混凝土	拱墙设置消能防护网	Φ25低预应力中空注浆锚杆, 长4m, 间距1.0m×1.0m	HW150型钢钢架, 间距1m

基础, 采用地质综合分析法、微震监测、电磁辐射监测等方法相互补充和印证, 预测岩爆发生的概率及等级, 为后续施工提供正确指导。

3.3 岩爆的预防及处理

在高应力地段施工中可采用以下技术措施: 一是加强超前地质探测, 及时预测岩爆, 制定相应的施工措施; 二是结合光面爆破与水压爆破技术, 保证开挖轮廓线圆顺, 同时降低岩面应力; 三是岩爆施工作业地段, 隧道爆破完成, 技术人员采取“四听、三看、两记录”的方式对岩爆地段围岩进行描述与记录。“四听”是指: 第一点是掌子面响炮通风完毕后, 停止洞内机械设备作业五分钟, 在一个相对安静的环境下, 听掌子面附近是否有异响, 若有异响则停止出渣作业, 并对响声进行记录, 待异响消失方可进行出渣作业。第二点是进行出渣作业时, 出渣2小时时候停止出渣, 进行掌子面异响记录, 若有异响则停止作业, 直至异响结束, 没有异响则继续作业。第三点是出完渣机械找顶前, 进行掌子面异响记录, 若有异响则停止作业, 直至异响结束, 没有异响则继续作业。第四点是湿喷完成后, 进行掌子面异响记录, 若有异响则停止作业, 直至异响结束, 没有异响则继续作业。“三看”是指: 第一点是出渣进行到一半时, 实验人员进洞进行岩石取样, 进行试验测定岩石岩性。第二点是现场值班人员对现场掌子面围岩节理进行查看。第三点是掌子面排险找顶结束后, 由现场带班和有地质专业知识的技术员上台车, 对拱顶位置的围岩进行查看, 是够存在裂隙及未清理干净岩石, 若没有则进行初喷, 若存在少量类似情况, 安排专人穿好防护服戴好防爆头盔进行人工清理排险。“两记录”是指: 第一点是拍摄出渣一半时和出渣结束的光爆照片两张, 记录对比拱顶拱腰岩爆掉块情况。第二点是拍摄湿喷后掌子面情况1张, 记录掌子面围岩节理; 四是超前钻孔注水释放岩

石应力; 五是采用低预应力中空注浆锚杆及钢纤维混凝土等措施加强支护; 六是作业人员穿戴防爆头盔及专用防爆服, 车辆做好防护罩, 降低岩爆带来的危害^[2]。

3.4 施工与防护

初期支护工艺流程见图1。

3.4.1 开挖

岩爆洞段采用钻爆法施工, 轻微岩爆段每循环不大于3.5m, 中等岩爆段不大于3m, 强烈、极强烈岩爆段不大于2m; 对于轻微及中等岩爆段采取全断面法开挖, 强烈岩爆地段, 必要时采用微台阶法进行开挖。岩爆非常剧烈时, 组织作业人员在安全距离躲避, 直至岩爆平静为止, 同时加强巡回撬顶, 及时清除危石。岩爆的发生多在开挖完成后的7小时内, 在强烈岩爆地段采取停工避让措施, 待岩爆减弱后再恢复施工。发生岩爆程度较重时将此作为第一选择。

(1) 光面爆破设计关键参数。针对岩爆特点, 采用水压光面爆破。周边眼间距适当加密, 采用小药卷不耦合装药, 减少爆破对围岩扰动, 实现开挖周边轮廓圆顺, 避免表面凹凸不平造成应力集中; (2) 钻孔、超前钻探、断面扫描。施工流程: 施工准备→台车定位→钻孔→清孔。转孔过程中实时监测钻进速率、钻杆扭矩、水压流速等数据, 通过地质分析软件对数据进行处理, 预测地质状况, 形成地质报告。台车就位后, 车载3D扫描仪对台车前后6m隧道轮廓自动扫描, 生成三维结构模型, 立体显示隧道断面超欠情况, 为后序钻爆施工提供依据, 实现动态钻爆设计。及时分析3D扫描数据, 对比湿喷前后隧道截面大小, 掌握喷射混凝土超耗、回弹情况; (3) 装药。炮泥和水袋提前加工制作完成。将Φ32PVC管中间剖开, 把炸药、水袋按爆破设计用胶带固定在管内, 多功能移动式防护台车利用液压杆件将防护体系撑开, 密贴拱顶与边墙, 施工人员在防护台车内装药作业; (4) 找顶排险。爆

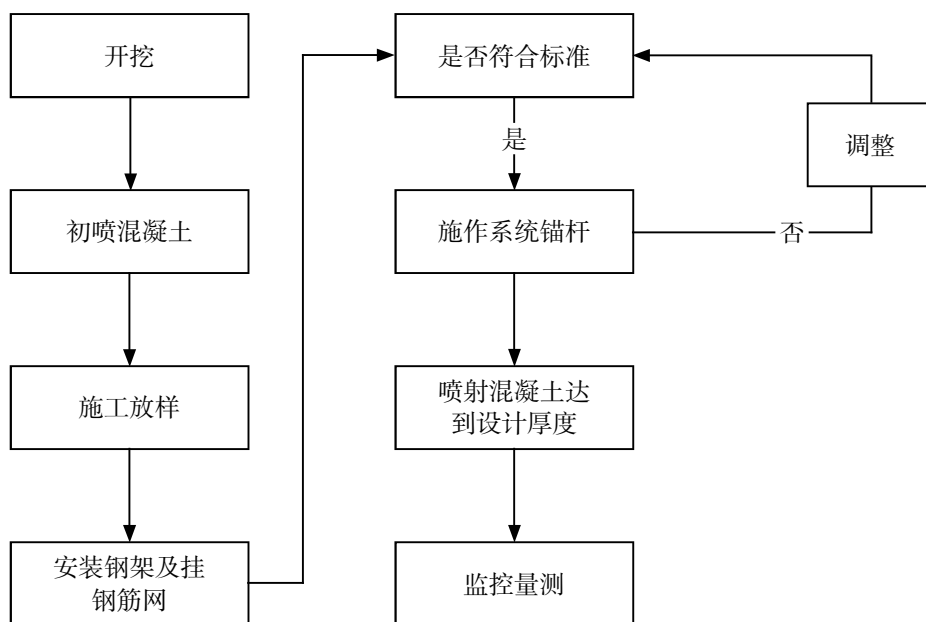


图 1 初期支护流程图

破后，通风等待，作业环境满足要求时，及时利用大型机械清理开挖面及周边危石。

3.4.2 喷水软化围岩

爆破后立即向掌子面附近岩体喷洒高压水，喷射距离应大于 10m，喷射时间控制在 10min~30min，以减弱岩体脆性，增强岩体塑性，降低岩爆程度，同时利用炮孔、锚杆孔向岩体深处注水。

3.4.3 喷混凝土封闭掌子面

采用大型湿喷机械手对掌子面初喷 5cm 厚的混凝土，及时封闭。

3.4.4 局部锚杆加固围岩

每次开挖爆破、通风排烟、机械找顶排除危石时，针对拱部机械无法清理及人工不能撬掉但又存在危险性的落石等不稳定岩体，采用锚杆钻注一体机施作低预应力涨壳式中空注浆锚杆予以加固。

3.4.5 初期支护

对掌子面超前锚固及洞壁初支作用有两个：一是改善掌子面及 1~2 倍洞径洞段内围岩的应力状态；二是防止弹射、塌落等事故。一般加固方法有以下几种：喷钢纤维混凝土法、锚杆法、锚网喷联合支护、钢拱架支护。(1) 轻微岩爆段落喷射 C30 高性能钢纤维混凝土，打设低预应力涨壳式中空注浆锚杆；(2) 中等岩爆段落喷射 C30 高性能钢纤维混凝土，打设低预应力涨壳式中空锚杆，必要时增设钢架；(3) 强烈岩爆段落喷射 C30 高性能钢纤维混凝土，打设低预应力涨壳式中空注浆锚杆，设置消能防护网，安设钢架。

3.4.6 防护措施

隧道施作岩爆段时，需加强增设临时防护措施，给隧道内的机械设备工装等安装防护网和防护棚架，给现场作业人员及技术员配发防爆头盔、防爆服等，必要时掌子面可加挂消能防护网，利用钢丝网、尼龙网等防护物阻挡岩爆飞石；对大型机械尽可能采用远程操控，人员位于安全区域。(1) 人员防护。人员防护要求“顶盔贯甲”，进洞人员必须穿戴钢盔和防护服。现场管理人员每一年更换一次防护服，开挖班组、支护班组、测量班组每日工作时长，危险系数高，每半年更换一次防护服；(2) 机械设备防护。各种行走设备车驾驶室设置钢筋网防护罩，保护操作人员及设备安全。装载机、挖掘机及凿岩台车：洞内作业时间长，防护罩采用 4.0mm 厚钢板与 $\Phi 22$ 螺纹钢焊接制作而成，每月更换一次；出渣车：防护罩采用 $\Phi 42$ 无缝钢管与 $\Phi 12$ 螺纹钢焊接制作而成，每三个月更换一次^[3]。

参考文献：

- [1] 谢卓雄,高筠涵,王志伟,等. 鸿图漳特长公路隧道岩爆预测与防治对策研究[J]. 公路工程, 2022,47(01):14-19.
- [2] 胡鹏伟,张少强,刘同展. 隧道岩爆病害发生机理及防治措施研究[J]. 福建质量管理, 2018(08):143.
- [3] 李行利. 全电脑三臂凿岩台车在隧道施工中的应用[J]. 四川水泥, 2019(02):280.