

光面爆破技术在小断面引水隧道的应用研究

崔笃林

宏大爆破工程集团有限责任公司 湖南 长沙 410000

摘要: 光面爆破是指通过正确选择爆破参数和合理的施工方法, 分区分段微差爆破, 达到爆破后轮廓线符合设计要求, 临空面平整规则的一种控制爆破技术。采用光面爆破控制技术可以降低单耗, 减少对周边围岩的扰动, 能有效控制周边围岩的超欠挖, 间接降低支护材料的损耗, 经济效益可观, 结合工程实际, 本文介绍如何使用光面爆破控制技术。

关键词: 光面爆破; 小断面引水隧道; 超欠挖; 经济效益; 劳动效率

引言: 根据围岩的岩性及强度选择合理的光面爆破参数, 可以有效的控制超欠挖, 轮廓线平整、圆顺, 同时达到降低对周边围岩扰动破坏的目的, 光面爆破控制在隧道施工中应用比较广泛, 具有较大的优势, 经济效益可观^[1]。

1 工程概述

夹岩水利枢纽打鼓井引水隧道全长1200m, 底宽4m, 竖墙高2.5m, 上部为半圆拱结构, 采用锚网喷支护。该区域为溶蚀侵蚀地貌, 主要由溶蚀斜坡及溶蚀残留山丘组成, 岩石为深灰色泥质灰岩, 中厚层构造, 岩质新鲜, 岩石较坚硬, 岩体较完整, 隧道掘进为Ⅲ类围岩, 围岩普氏系数 $f = 8-10$ 。

2 光面爆破设计方案的选择

采取全断面开挖, 掏槽方式选用9孔直眼掏槽, 周边孔采用光面爆破, 凿岩机械选用YT-28气腿式凿岩机, 钻孔直径40mm, 爆破器材选用直径为32mm×300mm的2号岩石乳化炸药, 300g/条, 数码电子雷管、导爆索。

3 爆破参数设计

3.1 掏槽孔

①孔径 $d = 40\text{mm}$, 采用直径为32mm的药卷;

②孔距 $a = 200\text{mm}$;

③排距 $b = 200\text{mm}$;

④孔深 $L = 2200\text{mm}$ (掏槽孔超深200mm);

⑤填塞长度 $L_2 = 500\text{mm}$;

⑥装药长度 $L_1 = L - L_2 = 1700\text{mm}$;

⑦线装药密度 $q_{\text{线}} = 1.0\text{kg/m}$ (根据现场施工经验选取);

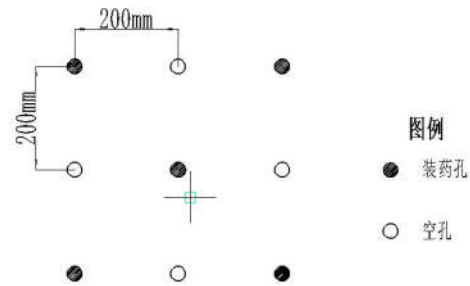
⑧单孔装药量 $Q_{\text{单}} = L_1 \times q_{\text{线}} = 1.7\text{m} \times 1\text{kg/m} = 1.7\text{kg}$;

⑨掏槽孔布置

本设计采用9孔直眼掏槽, 掏槽中间先响, 后面4个孔后响, 能够提供很好的自由面, 便于破碎, 布置方式

详见下图:

掏槽孔炮孔布置示意图



⑩装药结构采用连续柱状装药结构。

3.2 周边孔

①孔径 $d = 40\text{mm}$, 采用直径为32mm的药卷;

②孔距 $a = (8-12)d$, 本设计拱部取 $a = 450\text{mm}$, 直墙段取 $a = 600\text{mm}$;

③孔深 $L = 2000\text{mm}$;

④周边孔角度

周边孔为斜孔, 根据施工经验, 在轮廓线边往里内移150mm的位置便于打钻, 为了保证边界不缩小, 满足设计要求, 钻孔时孔的角度为偏离水平角度 $2^\circ-3^\circ$;

⑤填塞长度 $L_2 = 500\text{mm}$;

⑥装药长度 $L_1 = L - L_2 = 1500\text{mm}$;

⑦线装药密度 $q_{\text{线}} = 200\text{g/m}$ (根据现场施工经验选取);

⑧单孔装药量 $Q_{\text{单}} = L_1 \times q_{\text{线}} = 1.5\text{m} \times 200\text{g/m} = 300\text{g} = 0.3\text{kg}$ 。

⑨装药结构采用空气间隔装药, 导爆索传爆。

3.3 底孔

①孔径 $d = 40\text{mm}$, 采用直径为32mm的药卷;

②孔距 $a = 800\text{mm}$;

③孔深 $L = 2000\text{mm}$;

④底孔的角度

根据施工经验，为了巷道底部平整，不留底坎，底孔在工时沿轮廓线水平方向下往下扎2度—3度；

⑤填塞长度 $L_2 = 600\text{mm}$ ；

⑥装药长度 $L_1 = L - L_2 = 1400\text{mm}$ ；

⑦线装药密度 $q_{\text{线}} = 1.0\text{kg/m}$ （根据现场施工经验选取）；

⑧单孔装药量

底孔装药一般和辅助孔相当，但是考虑到岩石的夹制作用，底孔一般70%装药，30%填塞， $Q_{\text{单}} = L_1 \times q_{\text{线}} = 1.4\text{m} \times 1\text{kg/m} = 1.4\text{kg}$ ；

⑨装药结构采用连续柱状装药结构。

3.4 辅助孔

①孔径 $d = 40\text{mm}$ ，采用直径为32mm的药卷；

②孔距 $a = 800\text{mm}$ （围岩普氏系数 $f = 8-10$ ，根据现场施工经验选取）；

③排距 $b = 700\text{mm}$ （围岩普氏系数 $f = 8-10$ ，根据现场施工经验选取）；

④孔深 $L = 2000\text{mm}$ ；

⑤填塞长度 $L_2 = 600\text{mm}$ ；

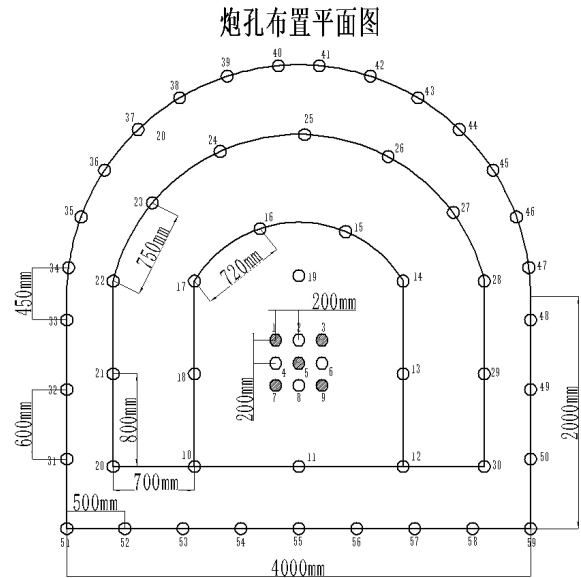
⑥装药长度 $L_1 = L - L_2 = 1400\text{mm}$ ；

⑦线装药密度 $q_{\text{线}} = 1.0\text{kg/m}$ （根据现场施工经验选取）；

⑧单孔装药量 $Q_{\text{单}} = L_1 \times q_{\text{线}} = 1.4\text{m} \times 1\text{kg/m} = 1.4\text{kg}$ ；

⑨装药结构采用连续柱状装药结构。

3.5 炮孔布置图



3.6 爆破参数设计表

名称	孔距/m	排距/m	孔深/m	孔数/个	单孔装药量/kg	填塞长度/m	总药量/kg	起爆延时
掏槽孔 (1-9)	0.2	0.2	2.2	9 (其中装药的5个)	1.7	0.5	8.5	5号孔25ms, 1、3、7、9号孔75ms
辅助孔 (10-30)	0.8	0.7	2.0	21	1.4	0.6	33.6	125ms
周边孔 (31-50)	拱部0.45 直墙0.6	无	2.0	20	0.3	0.5	6	175ms
底孔 (51-59)	0.5	无	2.0	9	1.4	0.6	12.6	225ms
合计							60.7	

3.7 孔数校核

根据公式

$$N = 3.3 \times \sqrt[3]{fS^2} = N = 3.3 \times \sqrt[3]{10 \times (4 \times 2 + \frac{1}{2} \times 3.14 \times 2^2)^2} = 42,$$

因需光面爆破孔数有所增加，根据现场实际施工经验，本设计取59个孔，设计合理（式中 f 为围岩普氏系数取10， S 经计算为 14.3m^2 ）。

3.8 单耗校核

①掘进断面积

$$S = 4 \times 2 + \frac{1}{2} \times 3.14 \times 2^2 = 14.3\text{m}^2;$$

②循环进尺

炮眼利用率本设计取90%，每循环进尺为 $2 \times 0.9 = 1.8\text{m}$ 。

③根据公式 $\frac{Q}{V} = \frac{60.7}{14.3 \times 1.8} = 2.4 > 1$ ，本设计单耗合格。

3.9 起爆网络

采用数码电子雷管起爆网路，5号孔延时25ms，1、3、7、9号孔延时75ms，10-30号孔延时125ms，31-50号孔延时175ms，51-59号孔延时225ms。

4 影响光面爆破效果因素分析

光面爆破虽在地面和地下开挖工程中应用比较广泛，但影响光面爆破效果的因素十分复杂，除地质条件、炮孔精度和爆破操作技术外，决定光面爆破效果的主要因素有最小抵抗线、光面眼间距、装药量、装药结构以及起爆技术等方面^[2]。

①不耦合系数：合理的不耦合系数应使炮孔压力低于岩壁动抗压强度而高于动抗拉强度。通常采用

1.1~3.0, 其中1.5~2.5用得较多。

②光面眼间距: 一般取为炮眼直径的10~20倍。在节理裂隙比较发育的岩石中应取小值, 整体性好的岩石中可取大值。

③最小抵抗线: 光面层厚度或周边眼到邻近辅助眼间的距离, 是光面眼起爆时的最小抵抗线, 一般它应大于或等于光面眼间距。

④炮孔邻近系数: 炮孔邻近系数用 m 表示, 即光面炮孔间距与其最小抵抗线之比。 m 值过大时, 爆后有可能在光面眼间的岩壁表面留下岩埂, 造成欠挖; m 值过小时, 则会在新壁面造成凹坑。实践表明, 当 $m = 0.8 \sim 1.0$ 时, 爆破后的光面效果较好, 硬岩中取大值, 软岩中取小值。

⑤线装药密度: 线装药密度又叫装药集中度, 它是指单位长度炮眼中装药量的多少(g/m)。为了控制裂隙的发育以保持新壁面的完整稳固, 在保证沿炮眼连心线破裂的前提下, 应尽可能少装药。软岩中一般可用 $70 \sim 120 g/m$, 中硬岩石中为 $100 \sim 150 g/m$, 硬岩中为 $150 \sim 250 g/m$ 。

⑥起爆间隔时间: 爆破试验结果表明, 齐发起爆的裂隙表面最平整, 微差延期起爆次之, 秒差延期起爆最差。齐发起爆时, 炮眼间贯通裂隙较长, 抑制了其他方向裂隙的发育, 有利于减少炮眼周围裂隙的产生, 可形成平整的壁面。所以, 在实施光面爆破时, 间隔时间愈短, 壁面平整的效果愈有保证。应尽可能减小周边眼间的起爆时差。相邻光面炮眼的起爆间隔时间不应大于 $100ms$ ^[3]

⑦地质条件: 工程地质状况对光面爆破效果的影响较大。采用光面爆破, 在相同的爆破条件下, 超欠挖量与岩石坚固性系数有较大的关系, 它的值越大超欠挖量越小, 值越小则超欠挖量越大; 断层、大而密的节理、裂隙、岩脉均易导致大的超挖。对裂隙少、整体性好、脆硬的岩体, 光面爆破的参数可以适当加大, 反之应适当减小。

⑧钻孔精度: 如何保证炮孔间距和最小抵抗线达到设计要求, 保证爆破效果, 钻孔精度的影响很大。钻孔精度与开孔的准确度、钻进方向的准确性、钻具的选取是否恰当以及测量放线的准确度等有很大的关系。

⑨爆破技术本身: 炸药品种和装药量的影响。光面爆破所采用的炸药与主体爆破所用的炸药相比, 爆速要低一些, 密度要小一些, 爆力要大一些, 这样有利于实现光面爆破。

起爆方法的影响。在不耦合系数较大的情况下, 应绑扎一根导爆索, 以免由于间隙效应引起爆轰中断现象

发生。

装药结构与堵塞质量的影响。装药过于集中或者炸药沿炮孔全长分布不均匀都将影响光面爆破的质量。在有条件使用光面爆破专用炸药的情况下应优先考虑选用光面爆破炸药进行连续装药, 孔底适当加大药量。若没有光面爆破专用炸药, 通常选用导爆索和自制小药卷, 绑扎在竹片上形成串状装药结构(孔底间隔应小一些)。在软岩中, 还可以采用由导爆索束形成的装药结构。对光面爆破来说, 炮孔的堵塞质量也很重要, 应引起足够重视。

5 光面爆破的注意事项

为了减少超挖。减轻爆破对围岩的扰动, 获得既符合设计要求又平整、稳定的围岩, 降低工程成本, 掘进施工中应采用光面爆破。

为搞好光面爆破, 应采取以下技术措施^[4]:

①合理布置周边眼;

②合理选择装药参数;

③精心实施钻爆作业。炮眼应相互平行且垂直于工作面, 眼底要落在同一平面, 开孔位置准确, 都落在设计掘进断面轮廓线上。炮眼偏斜角度不要超过 5° 。内圈眼与周边眼应采用相同的斜率钻进;

④采取一些特殊的措施和新技术, 如切槽法、聚能药包法、缝管法等。

6 结论

经此工程实践光面爆破控制技术能有效地控制开挖轮廓线、减少超欠挖, 经测算调整爆破设计后半孔率达到了83%, 炸材节约了18%, 支护材料节约了26%, 经济效益可观。

光面爆破控制技术轮廓线完整, 围岩应力分布均匀, 基本可以消除围岩应力集中引发的各种安全隐患, 不仅减少了炸材的消耗量, 而且还节约了喷浆材料, 提高了劳动效率, 值得推广使用。

参考文献

- [1]刘丽萍, 分析光面爆破技术在隧道施工中的应用[J]. 黑龙江交通技, 2018(04)153-156.
- [2]李夕兵主编. 凿岩爆破工程. 中南大学出版社. 2011. 09
- [3]张成良, 刘磊, 王超编著; 陈娱, 王海强, 孙宇, 廖疆平参与编著人员. 高等岩石力学及工程应用. 中南大学出版社. 2016. 08
- [4]徐建军著. 岩土工程爆破技术. 冶金工业出版社. 2015. 07