

浅谈两河口隧道钻爆施工中光面爆破技术分析

谭海涛, 杨 希

(二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051)

[摘要] 隧道洞身爆破是隧道工程施工的关键工序, 主要介绍了两河口隧道洞身爆破参数的优化实践, 通过大面积掏槽设计, 以及适当增加辅助眼间距, 达到减少炮眼数量, 减少炸药用量, 加快施工进度目的。

[关键词] 隧道; 钻爆; 大面积掏槽; 光面爆破; 实践

[中图分类号] U455.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2011)S0-0165-03

Analysis of Smooth Blasting Technology in Drill-blasting Construction of Lianghekou Tunnel

Tan Haitao, Yang Xi

(Ertan Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610051, China)

Abstract: Tunnel blasting is the key technology in the tunnel construction. The optimization of the blasting parameters at Lianghekou tunnel is introduced. The cut for large area is designed and the distance between auxiliary holes is increased to reduce the quantities of blast holes and explosive amount. The construction progress is accelerated finally.

Key words: tunnel; drill-blasting; cut for large area; smooth blasting; application

现代隧道钻爆施工主要控制方法有光面爆破及预裂爆破。而隧道施工中, 光爆技术应用最为广泛, 隧道光面爆破的目的是使周边孔形成贯穿裂缝。当两炮孔同时起爆时, 炸药所引起的压缩应力波将在两孔中间相遇, 两孔间的岩石在压缩应力的作用下产生垂直方向上的拉应力, 如果此拉应力超过岩石的极限强度, 周边就会沿两孔连线产生弧形裂缝。该裂缝产生情况与周边孔的间距、角度、装药结构及起爆方式有关。故此, 合适的周边孔间距及角度, 合理的装药结构及起爆方式, 使炸药爆炸所产生的压应力刚好克服岩石动态抗拉强度, 炸药的爆破作用形成贯穿裂缝, 使岩层周边形成规整的断面形状轮廓。在光爆中应控制好效果, 除周边孔布置外, 掏槽孔的布置形式尤为重要, 周边孔的间距、装药量、起爆顺序直接影响光面效果, 掏槽的深度直接影响爆破循环的进尺, 光爆的成败与地质条件、开挖断面及形式、开挖进尺、爆破器材等息息相关。

两河口隧道Ⅱ、Ⅲ级围岩光爆开挖比钻孔数及比装药量指标相对传统爆破参数有较大提高, 本文主要介绍两河口隧道中光面爆破实践应用。

1 两河口隧道光爆实践

两河口隧道全长 5 840m, 地处海拔 2 700m 高原, 自发电施工作业, 由隧道两端向中部掘进。本文以隧

道出口段为例, 隧道独头掘进 4 017m, 以Ⅱ、Ⅲ级围岩为主, 隧道地质构造为单斜构造, 岩性为细粒石英砂板岩, 岩石较坚硬, 岩体较完整。隧道设计限界 11.0m × 5.3m, Ⅱ、Ⅲ级围岩开挖断面分别为 89.90.8m², 开挖断面面积差距较小, 本文将以Ⅲ级围岩为例, 介绍隧道开挖过程中光爆控制的具体实践。

隧道Ⅱ、Ⅲ级围岩采用全断面开挖, 人工钻爆法施工。从隧道开挖成型效果来看, 半孔保留率在 90% 以上。爆破出的岩壁无明显爆破裂隙, 达到预期效果。

1.1 传统经验公式中两河口隧道Ⅲ级围岩主要爆破参数

1) 单位岩体炸药消耗量 根据瑞典建议采用计算 $q = 14/S + 0.8$ (S 为断面面积) 可得, 断面 90.8m² 的单位岩体耗药量为 0.95kg/m³。

2) 开挖断面钻孔数量 按译波尔建议公式计算: $N = a_1 + a_2S$ (由岩体可爆程度, a_1 选定为 37.6, a_2 选定为 1.36), 得 $N = 161$ 个, 增加光面爆破周边孔及底板孔数约 50 个, 则钻孔数量为 211 个, 比炮孔数为 211/90.8 = 2.3 个/m²。

1.2 两河口隧道Ⅲ级围岩实际钻爆参数选定

1) 掏槽方式的确定 掏槽方式是保证循环进尺的关键, 其作用是增加爆破临空面, 提高周围炮孔的爆破效果。常见的掏槽孔布置方式有扇形掏槽、楔形掏槽孔、锥形掏槽孔和直孔掏槽等。

该隧道Ⅲ级围岩开挖界限为 12.68m × 8.59m, 开

[收稿日期] 2011-03-01

[作者简介] 谭海涛, 二滩水电开发有限责任公司助理工程师, 二滩水电开发有限责任公司两河口建设管理局(筹) 627450, 电话: (0836)5127260, E-mail: tanhaitao@ehdc.com.cn

挖断面跨度大、净空高,采用全断面一次爆破开挖,没有大自由面掏槽爆破很难实现。通过多次掏槽试验最后确定为楔形大面积掏槽方式,掏槽的岩石在其掘进空间抛出最远,在岩层爆破空间能形成较大的楔形临空面,掏槽效果较好。如图 1 所示,掏槽孔为 12 孔对称单排楔形掏槽,掏槽区规格为 6m × 3.5m。楔形掏槽开口宽 6m,孔深 4.88m,掏槽孔炮孔排距为 70cm,倾斜夹角为 70°,炮孔堵塞长度均为 30cm。图 1 中 1,3,5,7,9,11,13,15 为毫秒雷管段号,即控制起爆顺序;其余数据为炮孔布置排距及炮孔间距,单位以 cm 计。

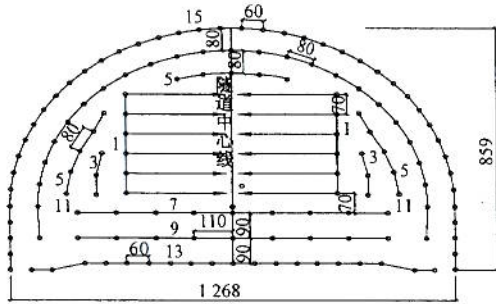


图 1 两河口隧道Ⅲ级围岩炮眼布置示意

2) 周边孔间距的确定 在抵抗线 W 一定的条件下,孔距大小直接影响光爆效果。因为爆破瞬间其自由面处的反射拉应力应等于入射压应力,而两孔间所引起的拉应力则小于入射的压应力;同时在自由面向上的岩石是处于双向应力状态,所以自由面方向的岩石易被拉坏。因此为充分利用炸药能量,选择合理的孔距 E ,产生满意的爆破效果,应设法使自由面方向的反射拉应力与两孔间爆破拉应力相等。

两河口隧道Ⅲ级围岩节理裂隙较少,爆破时裂缝方向易形成完整的曲面。通过现场观察光爆成型情况,根据围岩特点,总结发现周边孔间距在 60cm、底板孔间距为 60cm 最宜。

3) 最小抵抗线的确定 不同岩石光面爆破效果通常与岩石最小抵抗线大小有关。在每孔装药量一定条件下,孔距 E 大于两倍最小抵抗线 W 时,即周边孔密集系数 $m = E/W > 2$ 时,等于两孔分别单独起爆,会在两炮孔之间形成隔墙造成欠挖;当最小抵抗线过小时,爆轰作用过大,造成爆破过分破碎形成超挖。因此,根据岩性特征,确定合理的岩石抵抗线,是提高光面爆破效果的最有效途径。

周边孔最小抵抗线是影响光爆效果的主要因素。在爆破实践中,根据两河口隧道岩层的变化情况,采用最小抵抗线为 80cm, $E/W = 0.75$,取得了较好的爆破效果。

4) 装药参数的确定 因为两河口隧道裂隙水比较丰富,所以洞身爆破选用 2 号岩石乳化炸药,药卷 $\phi 25\text{mm}$,炮孔 $\phi 40\text{mm}$ 。

周边孔用小直径药卷间隔装药,其他孔均采用连

续装药结构。所有装药炮孔用炮泥堵塞,周边孔堵塞长度应 $\geq 30\text{cm}$ 。起爆系统采用导爆管传爆,以集束为主的混合连接网络引爆。

为控制爆破引起的裂隙发展,保持岩石新壁完整和稳固,要在保证炮眼连心线上岩石得以破裂贯通的前提下,尽可能减少炸药量。经多次爆破实践,确定掏槽孔的平均装药系数为 0.61kg/m ,辅助孔的平均装药系数为 0.41kg/m 。两河口隧道围岩为中硬岩,周边孔的实际平均装药系数为 0.15kg/m ,比理论值小,主要是因为采取了周边孔设置导爆索起爆,导爆索同时亦为爆破源,使光面爆破效果更好,如表 1 所示。

表 1 光面爆破参数经验

| 岩石种类 | 周边孔间距 E/cm | 周边孔最小抵抗线 W/cm | 相对距 E/W | 周边孔装药系数 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) |
|------|---------------------|------------------------|-----------|---|
| 硬岩 | 55 ~ 70 | 60 ~ 80 | 0.7 ~ 1.0 | 0.30 ~ 0.35 |
| 中硬岩 | 45 ~ 65 | 60 ~ 80 | 0.7 ~ 1.0 | 0.20 ~ 0.30 |
| 软岩 | 35 ~ 50 | 45 ~ 60 | 0.5 ~ 0.8 | 0.07 ~ 0.12 |

5) 孔数及孔深的确定 两河口隧道经过实践,掏槽眼间距为 6m,排距为 0.7m,周边眼及底板眼间距为 0.6m,辅助孔间距 0.8 ~ 1.1m,排距 0.8 ~ 1m,总炮孔数为 137 个。两河口隧道Ⅲ级围岩炮眼布置如图 1 所示。

掏槽钻孔深度为 4.88m,掏槽眼间夹角为 70° , $L_{\text{辅助孔}} = L_{\text{周边孔}} = L_{\text{底板孔}} = 4\text{m}$ 。每循环开挖进尺 3.75m 具体参数如表 2 所示。

表 2 两河口隧道Ⅲ级围岩地段全断面法钻爆参数

| 毫秒雷管段号 | 爆孔名称 | 孔深/m | 数量/个 | 单孔装药量/kg | 段装药量/kg | 备注 |
|----------------------------|---|------|------|----------|---------|----|
| 1 | 掏槽眼 | 4.88 | 12 | 3 | 36 | |
| 3 | 辅助眼 | 4 | 6 | 1.65 | 9.9 | |
| 5 | 辅助眼 | 4 | 15 | 1.65 | 24.75 | |
| 7 | 辅助眼 | 4 | 9 | 1.65 | 14.85 | |
| 9 | 辅助眼 | 4 | 9 | 1.65 | 14.85 | |
| 11 | 辅助眼 | 4 | 25 | 1.65 | 41.25 | |
| 13 | 底板眼 | 4 | 19 | 1.8 | 34.2 | |
| 15 | 周边眼 | 4 | 42 | 0.6 | 25.2 | |
| 合计 | | | 137 | | 201 | |
| 爆破指标 | 每循环开挖进尺 3.75m,比炮眼数:1.51 个/ m^2 ,比装药量:0.6kg/ m^3 | | | | | |
| 断面面积: $S = 90.8\text{m}^2$ | | | | | | |

1.3 爆破效果监测及设计优化

爆破后通过断面仪检查超欠挖、开挖轮廓平整度、爆出的渣块是否满足装渣要求、炮孔痕迹保存率等来检测爆破参数的合理性。通过修正爆破参数,根据岩层节理发育、岩性软硬情况,修正孔距、装药量。根据爆破后石渣的块度修正参数,若石块块度小,说明辅助孔布置偏密;块度大,说明炮孔偏疏,用药量过大。通过爆破振速监测,调整单响起爆药量及雷管段数。根据开挖面凹凸情况修正钻孔深度,特别注意爆破孔孔底应基本落在同一断面上。

2 几点体会

1)多次实践,隧道洞身爆破方案进行设计优化,采用大面积掏槽爆破技术,对于周边眼和底板眼严格按照规范间距布置炮眼,对于掏槽眼和辅助眼适当增加间距,并且适当调整炸药用量,达到减少炮眼数量和炸药用量的目的。

2)施工成本。根据经验系数选定参数后,在Ⅲ级围岩中钻爆参数一般为比炮孔数 $1.9 \sim 2.5$ 个/ m^2 ,比装药量为 $0.95 \sim 1.2$ kg/ m^3 。本文所介绍的12孔大面积楔形掏槽指标为比炮孔数 1.51 个/ m^2 ,比装药量为 0.6 kg/ m^3 ,显著减少钻孔数及装药量,施工成本大幅缩减。

3)循环时间,加快施工进度。通过实践,炮孔布置相对传统钻爆工艺有较大缩减,大大加快了施工进度。两河口隧道在位于高原且自发电情况下,出口端采用大面积掏槽光面爆破技术后,创造了洞身开挖月最高进尺 260 m的纪录,2007年出口端在包括洞口软弱围岩情况下,全年完成洞身开挖 $2\ 050$ m。

本标段地处高原,隧道独头掘进 $4\ 000$ 余m,随着隧道掘进尺的加大,洞内通风排烟效果随掌子面的掘进效果变差,且钻孔噪声及空气污染严重,钻孔时间缩短既有利于减少循环时间,加快施工进度,也有利于保护掌子面钻孔工人身体健康。

4)为保证良好的爆破效果,现场施工中,应要求测量人员严格按照钻爆设计图中方案定出掏槽孔的位置,误差控制在 5 cm以内。每列掏槽孔布置在统一一直线上,不同列的辅助孔成梅花形布置。

5)隧道洞身开挖爆破应根据围岩情况、断面面积等不断调整爆破设计,最终确定合理的爆破参数。

参考文献:

- [1] 黄成光.公路隧道施工[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.
- [3] 顾毅成.爆破工程施工与安全[M].北京:冶金工业出版社,2004.