

大断面隧道光面爆破技术的改进与应用

潘明亮¹, 段宝福²

(1. 中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳, 471000; 2. 山东科技大学
山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266510)

摘要: 新大瑶山隧道是我国铁路客运专线建设中最长的超大断面隧道, 穿越地层复杂, 施工要求高, 设计时速高达 350 km/h。为保证工期要求和施工质量, 在围岩较好地段采用了全断面光面爆破快速施工技术。结合围岩类型和生产情况, 在不影响正常生产的条件下进行了一定数量的现场试验, 对大瑶山隧道开挖的爆破参数、装药结构和起爆网路进行了详细的分析与设计; 对钻爆施工和管理, 提出了合理的质量保障和安全措施。通过采用 PVC 半管连续不耦合装药结构, 达到了降低爆破成本、提高爆破效果的目的。

关键词: 大断面; 隧道; 光面爆破; 爆破效果

中图分类号: TD 文献标识码: B 文章编号: 1671-4172(2011)02-0000-00

Improvement and application of smooth blasting construction technology in Large Cross-section Tunnel

PAN Mingliang¹, DUAN Baofu²

(1. China Railway Tunnel Group Co., LTD, Luoyang 471000, Henan, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China)

Abstract: The new Dayaoshan tunnel is the longest ultra-large cross-section tunnel in our country's railway passenger transportation special line construction. It passes through complex stratum and has high construction requests. Its design speed reaches as high as 350 km/h. In order to guarantee the time limit for the project and the construction quality, the rapid construction technology by whole section smooth blasting in a better adjacent formation land sector is used. Combing rock types and construction condition, a certain number of field tests without affecting the normal construction are carried out. The demolition parameter, power-charging structure and the initiation network of the Dayaoshan tunnel excavation are detailedly analyzed and designed. The reasonable quality safeguard and safety measures on drilling and blasting construction and management are put forward. Through using of PVC half-tube continuously non-coupling charging structure, the purpose of reducing the excavation cost and enhancing the blasting effect has achieved.

Key words: large cross-section; tunnel; smooth blasting; blasting effect

前言

在隧道挖进过程中, 采用一般的爆破方法会使围岩受到一定程度的损坏, 影响围岩稳定性, 并产生严重的超欠挖, 成本上造成很大的浪费。光面爆破是为了控制周边轮廓并能维持围岩稳定的一种科学的施工技术, 尤其在隧道、地铁等对周边轮廓要求较高的爆破施工中具有较明显的效果, 可形成规则、光滑、符合设计要求的轮廓^[1]。光面爆破对围岩的扰动范围小, 可有效地减少应力集中所引起的塌方现象, 有利于围岩稳定, 是目前隧道施工中保证周边轮廓、控制超欠挖的主要爆破方法。尤其是在不良地质段, 光面爆破技术可以改善作业环境, 便于喷锚作业, 降低喷射混凝土回弹率, 能大大节约工程成本。

光面爆破效果受到围岩条件、爆破器材、爆破参数、装药结构等多种因素的影响, 在不同的工作环境中, 需要经过反复的试验与优化, 才能获得最佳效果^[1-3]。

1 工程概况

武广客运专线大瑶山隧道区属南岭山系, 属构造剥蚀—溶蚀切割中低山、低山地貌, 进

口~DK1909+730 段为碳酸盐岩分布区; DK1909+730~出口段为碎屑岩—浅变质岩分布区, 属构造剥蚀型低山, 最大相对高差达 750 m, 陡坡、峡谷极为发育。

隧道地质条件复杂, 对 II、III 级围岩采用全断面光面爆破技术进行施工, 为了降低施工成本、控制周边轮廓、减小对邻近围岩稳定性的影响, 在施工过程中需要不断地探索合适的爆破参数与工艺。

2 光面爆破技术的优化

在大瑶山隧道掘进过程中, 针对大断面隧道安全高效钻爆施工技术进行了专门的试验与研究, 取得了很好的效果。

2.1 爆破参数

2.1.1 周边孔间距 E

周边眼间距是影响开挖轮廓面平整度的主要因素, 一般采用以下经验公式确定:

$$E = (12 \sim 15)d$$

式中: d 为炮孔直径, 经统计, 现场平均炮孔直径为 42 mm。

合理的周边眼间距需要结合围岩类型、岩石条件等因素进行选择, 对于节理发育、层理明显的地段, 周边眼间距可适当减小。

大瑶山隧道掘进过程中, 遇到的主要是 II、III 级围岩。在经验公式计算值的基础上, 结合工程实践中的爆破效果比较, 对 II 级围岩, 取 $E=600$ mm; 对 III 级围岩, 取 $E=500$ mm。

2.1.2 炮孔密集系数 m

炮孔密集系数 m 是衡量光面爆破效果的一项重要指标, 取决于周边孔间距 E 与最小抵抗线 W 。根据实践经验, 在隧道施工中一般取 $m=0.6\sim1.2$ 为宜。本工程经过多次试验与效果对比, 确定炮孔密集系数 $m=0.9$ 。

2.1.3 最小抵抗线 W

隧道开挖过程中, 最小抵抗线一般取决于光爆层的厚度, 它直接影响光面爆破效果和爆破块度。最小抵抗线 W 可以通过炮孔密集系数与周边孔间距来确定, 即 $W = E / m$ 。

结合现场优化试验, 对 II 级围岩, 取 650 mm; 对 III 级围岩, 取 550 mm。

2.1.4 装药集中度 q

周边孔装药集中度 q 按以下经验公式计算:

$$q = (E + W) \cdot 10 \cdot \sqrt{R_b}$$

式中: q 为装药集中度, g/m; R_b 为岩石抗压强度, MPa。

经试验得到, 本工程中 II 级围岩的岩石平均抗压强度为 183 MPa, III 级围岩的岩石平均抗压强度为 148 MPa。

经计算, II 级围岩光爆孔的装药集中度 $q=169$ g/m, 取 170 g/m; III 级围岩光爆孔的装药集中度 $q=127.7$ g/m, 取 130 g/m。

利用光爆孔装药集中度的上述取值进行现场试验, 由试验结果发现计算值对应的装药量偏低, 效果不佳。根据爆破效果, 不断优化和调整装药量, 最后得到了本工程光爆孔装药集中度的最佳取值: II 级围岩, $q=300$ g/m; III 级围岩, $q=250$ g/m。

2.2 炮孔布置

在大瑶山隧道施工过程中，在对地质条件、开挖断面、开挖进尺、爆破器材、振速要求等因素综合考虑的基础上，首先预选爆破参数，然后通过多次不同开挖进尺的试爆，再不断调整和优化爆破参数^[4]。针对不同围岩情况，通过多次现场试验和参数调整，确定出了合理的炮孔布置方式。

周边眼、辅助眼按环形布孔，掏槽眼按线性布孔。为了能给辅助眼提供充分的自由面，本工程采用复式楔形掏槽，炮孔布置方式见图 1。

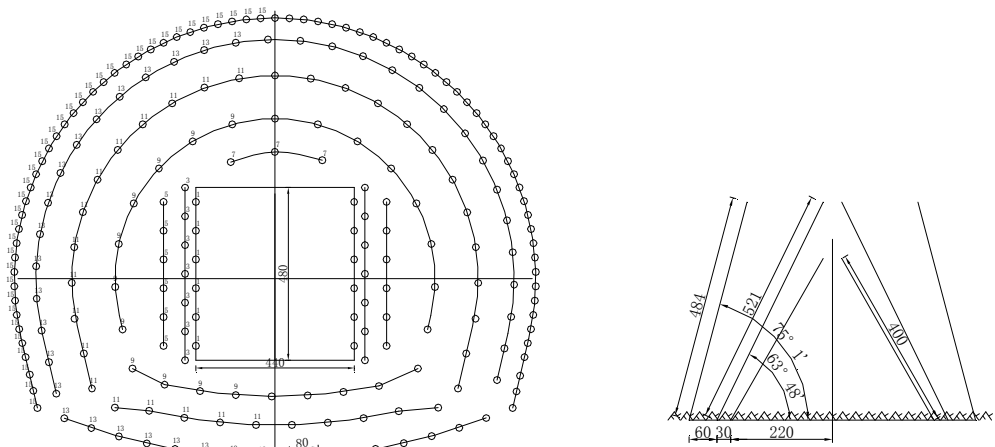


图 1 全断面开挖光面爆破设计示意图

Fig.1 The design sketch of smooth blasting for whole section tunnel excavation

2.3 装药结构

通过现场试验，周边孔利用 PVC 管，实现连续不耦合装药。将 $\Phi 15\text{ mm}$ 的 PVC 管劈开，管的长度与炮孔的长度相对应。炸药选用 $\Phi 25\text{ mm}$ 的小直径药卷，单个药卷重量为 100 g 。将其一分为四后，按 $1/4$ 小直径药卷连续装入 PVC 半管内，在底部将非电雷管塞入炸药内，实现不用竹片、不用导爆索的周边孔装药结构（如图 2）。与传统的“竹片+导爆索”间隔装药结构（如图 3）相比，效果更好，成本更低。

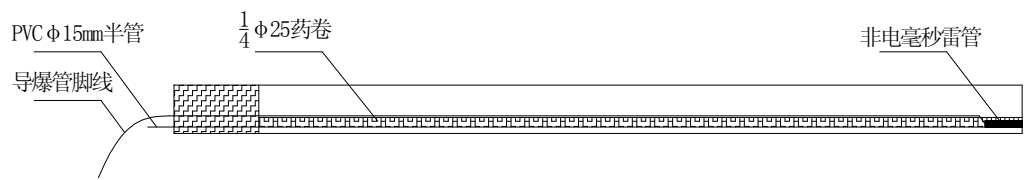


图 2 连续装药

Fig.2 Continuous power-charging

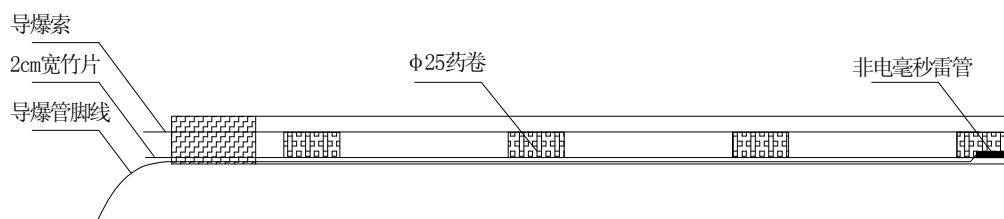


图 3 传统间隔装药

Fig.3 Traditional interval power-charging

2.4 起爆网路

选用非电毫秒塑料导爆管起爆系统，为减小爆破震动，相邻段别之间需要保证足够的、合适的毫秒延期时间。根据爆破器材，结合现场试验情况，将相邻段别之间的间隔时间定为 50 ms。因此，选用 1~15 段的非电毫秒雷管，跳段使用，可以将工作面炮孔分成七个区域按先后顺序微差起爆。

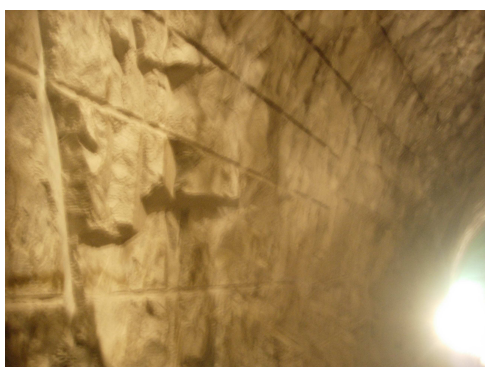
将工作面上各炮孔的导爆管分片集中成束，装入联接块。各联接块外接的导爆管再集中成束装入上一级联接块。依此类推，逐级簇联，最后采用激发笔引爆。

3 爆破效果与经济分析

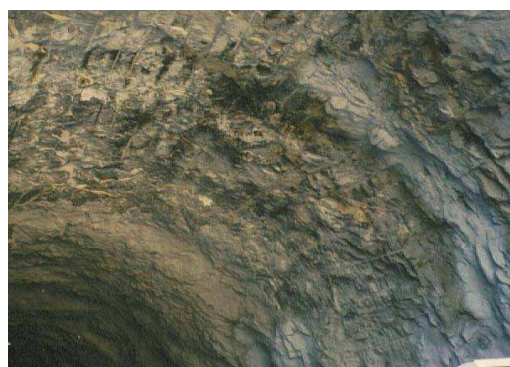
3.1 光爆效果

在大瑶山隧道Ⅱ级围岩地段，经过多次试验，光面爆破效果基本达到了预期要求。爆破后形成了光洁平整的轮廓面，半孔残眼率远远超过了规范要求，达到 91%；炮眼利用率达到 96%；欠挖很少，补炮工作量不大，超挖基本控制在 8 cm 之内；爆堆比较集中，岩渣粒度控制在 30 cm 以内，没有二次解炮的现象，便于铲装。爆破振动监测结果表明，质点（距爆源 30 m 处）最大爆破振动速度为 3.743 cm/s，远小于《爆破安全规程》规定的隧道围岩震动速度 20 m/s，不会引起围岩破坏。

总之，隧道的光面爆破效果比较理想，很好地实现了“长进尺、弱扰动、少欠挖、小超挖”的安全高效施工要求。试验过程中光面爆破效果见图 4（a）；相比之下，传统的间隔装药结构的爆破方法对于超欠挖等不易控制，如图 4（b）。



a) 连续装药爆破效果



b) 传统间隔装药爆破效果

图 4 光面爆破效果

Fig.4 The Pictures of smooth blasting effect

3.2 经济效果

试验现场采用了 PVC 半管连续不耦合装药结构,与传统的“竹片+导爆索”间隔装药结构相比,爆破效果更好,施工操作更加方便,经济成本更低。表 1 给出了两种装药结构的经济对比情况,按一个 3 m 长的周边孔来计算成本。显然,现场试验中采用的 PVC 半管装药方式,经济效果更加显著。

表 1 经济比较计算表

Table 1 The economic compare between two charge methods

序号	材料名称	PVC 半管装药			竹片、导爆索装药		
		数量/m	单价/元	金额/元	数量/m	单价/元	金额/元
1	PVC 半管	3	0.36	1.08	/	/	/
2	导爆索	/	/	/	3	2.5	7.5
3	竹片	/	/	/	3	0.25	0.75
4	炸药	-	-	-	-	-	-
5	非电雷管	-	-	-	-	-	-
	合计			1.08			8.25
	结论	采用 PVC 半管一个周边孔节约 7.17 元材料投入。					

注：数量与价格相同的用“-”号代替，不用比较。不采用的材料用“/”号表示。

4 应用体会

通过大瑶山隧道光面爆破技术的试验与应用,再次证明了光面爆破技术是一项较为复杂的系统工程,需要结合实际施工,不断优化参数设计。在施工过程中严格管理,加强对爆破作业各工序的监督与指导。施工过程中要做到工作到位,责任到人,奖罚制度明确。这样以来,可以充分调动施工人员的劳动积极性,提高技术水平,加快施工进度,改善爆破效果,降低爆破成本。

从具体的技术角度来讲,在光面爆破施工过程中,需要注意以下几个方面的质量保证:

1)钻孔质量

钻孔质量是保证光面爆破效果的关键,周边孔的外插角掌握不当就会造成超、欠挖,影响周边轮廓的平整度。因此,在安排钻工时,尽量选派技术水平高、经验丰富且责任心强的工人来作业,实行定人、定位、定机、定质、定量的岗位责任制。

2)堵塞质量

爆破作业中,不可忽视堵塞炮泥的作用,尤其是对不耦合系数较大的光面爆破。对于低爆速和低猛度的炸药来说,爆轰气体的作用尤为重要,而堵塞炮泥可以延长其作用时间,形成光滑、平整的轮廓面。

3)严格检查

爆破前,对光爆孔的间距、孔深、外插角按要求进行检查、验收,并详细记录炮孔数目、装药量和围岩变化情况。爆破后检查作业面的平整度、半孔率和超欠挖等,以便根据光爆效果调整和优化爆破参数。

参考文献

[1] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 1999.
[2] 皮明华. 银洞湾隧道的光面爆破技术[J]. 中国港湾建设, 2003(2):39-41.
[3] 李彪,张子新. 京珠高速公路石门坳隧道开挖中光面爆破效果探讨[J]. 爆破, 2000(2): 63-66.

- [4] 卓国平. 聋潭隧道的光面爆破[J]. 铁道工程学报, 2003(2): 96-99.
- [5] 马 雷,王崇绪. 瀑布沟隧道光面爆破施工技术[J]. 西部探矿工程, 2004(5):133-136.
- [6] 邓志勇,郭峰. 隧道掘进爆破新技术的探讨[J]. 工程爆破, 1998(4):14-18.

基金项目：国家科技支撑计划项目(2007BAB18B07)。

作者简介：潘明亮（1973-），男，高级工程师，矿井建设专业，主要从事地下工程技术管理工作。