

野山河码头隧道爆破设计

邹振^{1,2}, 吴立^{1,2}, 佐清军^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)岩土钻掘与防护教育部工程研究中心, 湖北武汉 430074)

摘要:分析野山河码头隧道爆破施工要求,通过相应的经验公式计算,确定野山河码头隧道的爆破参数,以保证隧道爆破施工过程中所引起的振动速度不大于邻近建筑物的安全允许振速,并保证开挖过程中的效率。

关键词:爆破设计; 邻近建筑物; 振动速度

中图分类号: U615.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)11-0076-04

Blasting Design on Yeshanhe Dock Tunnel/ZOU Zhen, WU Li, ZUO Qing-jun (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Blasting requirements of Yeshanhe dock tunnel were analyzed, through the corresponding experience formula calculation, the tunnel blasting parameters were determined to keep vibration velocity in the permit safety of the nearby buildings and promise excavation efficiency.

Key words: blasting design; nearby building; vibration velocity

1 工程概况

湖北建始野山河码头隧道全长约 170 m, 断面尺寸分别为 4.0 m × 5.0 m、4.8 m × 5.8 m、7.5 m × 6.7 m 三段, 其中绝大部分隧道段身是 4.0 m × 5.0 m 的断面。隧道地层岩性为三叠系大冶组深灰色薄层灰岩夹极薄层页岩, 偶夹极薄层灰岩, 灰岩单层厚度 5 ~ 15 cm、页岩单层厚度 1 ~ 5 mm。岩层产状 340° ∠ 43°, 因此将隧道区围岩等级划分为Ⅲ级^[1]。在隧道爆破施工期间, 隧道周围建筑物变电站厂房及变压器设备是重点监测和保护对象。其中, 变电站厂房是钢筋混凝土框架结构, 变压器设备目前尚未安装。

因断面尺寸为 4.0 m × 5.0 m 的断面Ⅱ占整个隧道长的 83% (见图 1), 其他两种断面尺寸仅在洞脸、洞尾和隧道中部 (约 10 m), 故本文详细介绍断面尺寸为 4.0 m × 5.0 m 的炮孔布置设计。

2 爆破要求

野山河码头隧道 (进口) 洞口右侧约 20.5 和 30.0 m 处分别为变压器设备 (未安装) 和变电站厂房, 爆破施工时对变压器设备和变电站厂房的保护要求高。根据中华人民共和国《爆破安全规程》(GB 6722-2003), 隧道在爆破开挖时, 变压器设备和变电站厂房允许的振速分别控制在 0.5 和 3.5

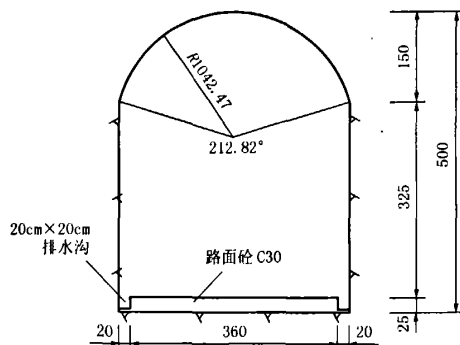


图1 断面Ⅱ的尺寸图

cm/s 内。对于露天控制爆破个别飞石的警戒距离 ≤ 30 m, 个别飞石最大距离控制在 45 m 以内。

3 未装变压器时断面Ⅱ爆破参数的确定

3.1 光面爆破主要参数的确定^[2]

光面爆破主要针对周边一层岩体的爆破, 要在爆落岩体的同时, 应形成光滑、平整的边界, 其主要爆破参数有最小抵抗线、炮眼密集系数、不耦合系数、线装药密度、孔距与起爆时差。光面爆破主要参数的确定, 既要满足光面爆破的技术要求, 又要保证隧道快速掘进的需要。技术上可行就是要减少对周边围岩的扰动、超欠挖小、炸药用量少、爆落石块符合已配备机械的装渣要求。

收稿日期: 2009-07-28

作者简介: 邹振 (1985-), 男 (汉族), 湖北荆州人, 中国地质大学 (武汉) 硕士研究生在读, 地质工程专业, 研究方向为隧道爆破和监测、地质灾害防治, 湖北省武汉市鲁磨路中国地质大学 (武汉) 1200811 班, zouzhen301@163.com。

3.1.1 最小抵抗线和炮眼密集系数^[3]

光爆层的厚度即周边孔的最小抵抗线,光爆层的厚度 W 与周边孔的间距 E 有着密切的关系,可用两者的比值 K 表示:

$$K = E/W \quad (1)$$

式中: K ——周边孔的密集系数。

在一般情况下, K 值是一个小于 1 的数字,通常取 $K = 0.8$ 左右。中硬岩光爆孔间距 E 一般取 45 ~ 60 cm,最小抵抗线取 60 ~ 80 cm。经多次爆破比较,取 $E = 60$ cm, $W = 80$ cm,代入公式(1)得 $K = 0.75$ 。

3.1.2 不耦合系数

隧道岩石坚硬,Ⅲ类围岩完整,在实践中对周边眼采用加大药量,减少不耦合系数,以达到减少钻眼数量的目的。一般隧道不耦合系数 K' 应大于 2,最小也不能小于 1.5,本次隧道爆破根据实验与调整取 1.5 比较合适,即炮眼直径取 48 mm,炸药取直径为 32 mm、长度为 200 mm、质量为 150 g 的 2 号岩石铵梯炸药。

3.1.3 线装药密度^[2]

在进行爆破设计时,按具体爆破条件计算光爆眼的线装药量密度 q_0 :

$$q_0 = KK_1K_2W \quad (2)$$

式中: K ——炮眼密集系数; K_1 ——岩性系数,一般软岩取 0.5 ~ 0.7、中硬岩 0.75 ~ 0.9、硬岩为 1.0 ~ 1.5; K_2 ——炮眼深度系数,一般为 0.5,每加深 1 m 增加 0.2。

取 $K_1 = 1.5$, $K_2 = 0.5$,将 $K = 0.75$ 代入公式(2)得 $q_0 = 0.45$ kg/m。

3.1.4 爆破进尺的选择

采用气腿式凿岩机,凿孔深度 $L = 2$ m。

3.2 炮眼数据选取

3.2.1 单位岩体炸药消耗量^[4]

断面面积在 20 m² 以内用式(3)计算:

$$q = [0.3L^4f^3/(\sqrt{S_x}\sqrt{d_x})]el_x \quad (3)$$

式中: q ——岩体单位消耗药量,kg/m³; f ——普氏岩石坚固系数; S_x ——相对断面面积,m², $S_x = S/5 = 0.5 \sim 4.0$; S ——平洞断面面积,m²; d_x ——药卷相对直径,mm, $d_x = d/32$; d ——药卷直径,mm; e ——炸药类型系数, $e = 0.5[(360/e_x) + 14/h]$; e_x ——炸药爆力,cm³; h ——炸药猛度,mm; l_x ——炮孔深度对炸药耗量系数,当炮孔深度为 1.0 m 时, $l_x = 1.05$; 当炮孔深度为 1.5 ~ 2.5 m 时, $l_x = 1.0$ 。

2 号岩石铵梯炸药爆力为 320 cm³,炸药猛度为 12 mm,得出 $e = 1.146$;由图 1 可得: $S = 19.7$ m², $S_x = 3.9$, $L = 2.0$, $l_x = 1.0$, $d_x = 32/32 = 1$, $f = 6$;代入式(3)得 $q = 1.8$ kg/m³。

3.2.2 开挖断面的炮孔数量

一般按经验公式来确定。20 m² 以内断面的洞室可按下式来计算:

$$N = [qSl_1/(\alpha_x g)] + n_1 + n_2 \quad (4)$$

式中: N ——开挖断面的炮孔数量; q ——岩石单位耗药量,kg/m³; S ——平洞断面面积; l_1 ——单个药卷长度,m; g ——单个药卷质量,kg, $g = (\pi d^2/4)l_1 \Delta$; Δ ——炸药密度,kg/m³; α_x ——炮孔充填系数, $\alpha_x = 1 - (d_x/d)(1 - a)$; d_x 、 d ——分别为药卷相对直径、药卷直径; a ——适用 32 mm 直径炸药时的炮孔充填系数,一般为 0.6 ~ 0.7; n_1 ——药径减少时周边孔增加数量,普通爆破时的小断面洞室 $n_1 = 1 \sim 4$,使用 32 mm 药卷时 $n_1 = 0$,采用光面爆破时应按光面爆破要求增加周边孔数量; n_2 ——掏槽孔的数量。

取 $q = 1.8$, $S = 19.7$, $l_1 = 0.2$ m, $\alpha_x = 1 - (1/32)(1 - 0.6) = 0.9875$, $g = 0.15$ kg,掏槽孔采取九孔中空对称形方式,取 $n_2 = 8$;隧道是采用的光面爆破,取 $n_1 = 8$,代入式(4)得 $N = 65$ 。

3.2.3 周边孔数量

周边孔的数量 n 为:

$$n = \{[(5/6)\pi \times 2.1 + 2 \times 3.5]/0.6\} - 1 = 20$$

由上述设计可得断面 II 的炮孔布置图(如图 2 所示)。

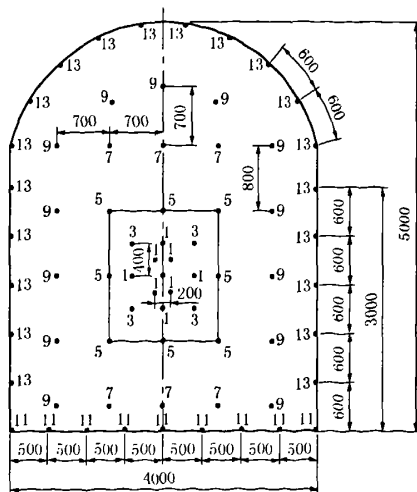


图 2 断面 II 的炮孔布置图

3.3 最大单响药量

爆破震动会对周围设施产生危害,应预计其危害程度,以便采取必要的防护措施。爆破地震的安全距离采用 M. A. 萨道夫斯基公式计算:

$$R_s = (K/V_s)^{1/\alpha} Q_{\max}^{1/3} \tag{5}$$

式中: R_s ——爆破地震的安全距离,m; $Q_{\max}$ ——最大单响药量,kg; V_s ——建筑物允许的震动速度,cm/s; K ——与爆破地形、地质条件有关的系数; α ——地震波衰减指数。

K 和 α 的取值见表 1,变电站厂房允许的安全振速为 3.5~4.5 cm/s。

表 1 爆区不同岩性的 K 、 α 值

岩性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

取 $K=150, \alpha=1.5, V_s=3.5$ cm/s,断面 II 距变电站厂房的距离 $R_s=39.7$ m,代入式(5)得 $Q_{\max}=34.1$ kg。即每段炸药起爆的总药量 ≥ 34.1 kg。

3.4 单孔装药量及装药量分配

3.4.1 周边孔

线装药密度 $q_0=0.45$ kg/m,炮孔深度 $L=2$ m,堵塞段长度取 0.6 m,周边孔单孔装药量 q_1 为:

$$q_1 = (2 - 0.6) \times 0.45 = 0.63 \text{ kg} \approx 0.6 \text{ kg} (4 \text{ 卷})$$

总装药量 $Q_1 = 0.6 \times 20 = 12$ kg。

3.4.2 辅助孔

根据经验,辅助孔的单孔药量取周边孔单孔药量的 1.2~1.5 倍。

单孔装药量 $q_2 = 0.6 \times 1.5 = 0.9$ kg(6 卷)。

总装药量 $Q_2 = 0.9 \times 31 = 27.9$ kg。

3.4.3 掏槽孔

由于掏槽孔的夹制作用最大,爆破后往往在槽中存留被压实的岩渣,影响辅助孔的爆破效果,为了克服这一缺点,常将孔眼加深 200~400 mm,并在孔底装入 150~300 g 炸药,即掏槽孔孔深为 2.2 m。

单孔装药量 $q_3 = 0.9 + 0.15 = 1.05$ kg(7 卷)。

总装药量 $Q_3 = 1.05 \times 8 = 8.4$ kg。

3.4.4 底孔

根据经验,底孔的单孔药量取周边孔单孔药量的 1.2~1.5 倍。

单孔装药量 $q_4 = 600 \times 1.5 = 0.9$ kg(6 卷)。

总装药量 $Q_4 = 0.9 \times 9 = 8.1$ kg。

3.5 起爆方法与起爆顺序

采用毫秒微差起爆,这种方法具有降低爆破地

震效应、改善破碎质量、降低炸药单耗、减小后冲、爆堆集中等明显优点,起爆时差为 50 ms。起爆顺序为:

掏槽孔→辅助孔→底孔→周边孔(见表 2)。

表 2 断面 II 炮孔装药量及起爆顺序

炮孔 编号	炮孔 名称	炮孔 个数	单孔深度 /cm	装药量/g		雷管 段别	起爆 顺序
				单孔	合计		
1	掏槽孔	8	220	1050	8400	1	1
3	辅助孔	4	200	900	3600	3	2
5	辅助孔	8	200	900	7200	5	3
7	辅助孔	6	200	900	5400	7	4
9	辅助孔	13	200	900	11700	9	5
11	底孔	9	200	900	8100	11	6
13	周边孔	20	200	600	12000	13	7
合计		68			56400		

3.6 装药结构

采用 2 号岩石铵梯炸药进行爆破,每节炸药质量 150 g,长 20 cm。实际装药时,周边孔采用间隔装药(见图 3),掏槽孔、辅助孔和底孔采用连续装药(见图 4 和图 5),孔口部位采用纸团和黄泥堵塞。

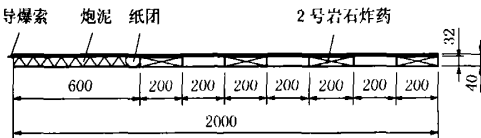


图 3 周边孔装药结构

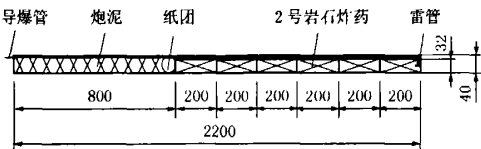


图 4 辅助孔和底孔的装药结构

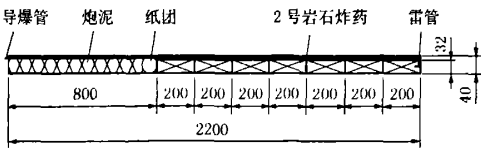


图 5 掏槽孔装药结构

4 装变压器后断面 II 的爆破参数确定

由于变压器设备允许的安全振动速度 V_s 很小 ($V_s=0.5$ cm/s),且爆区距变压器设备的距离 $R_s=20.5$ m,较距变电站厂房近,如果保证了变压器设备的安全,则变电站厂房一定是安全的。

将 $V_s=0.5$ cm/s、 $R_s=30$ m 代入式(5)得 $Q_{\max}=0.3$ kg,即每个炮孔最多只能装 2 卷药且起爆时

炮孔只能单个单个响,因此洞口的一段距离是不能爆破的,只能人工开挖。现在所需的工作是确定开挖的最短距离 R_s 。采用的方法是保持布孔设置不变,减少单孔装药量,降低孔深。根据多次的迭代比较,取炮孔深度 $L=1.0\text{ m}$,由线装药密度 $q_0=0.45\text{ kg/m}$,得出炮孔堵塞长度为 0.4 m ,从而周边孔单孔装药量 $q_1=(1-0.4)\times 0.45=0.27\text{ kg}\approx 0.3\text{ kg}$ (2 卷)。同样可求出掏槽孔、辅助孔和底孔的装药量(见表 3)。将表 3 中 $Q_{\max}=3.6\text{ kg}$ 代入式(5)得出起爆的最短距离 $R_s=68.7\text{ m}$,即隧道掘进 53.6 m 才能安装变压器设备。此时周边孔、辅助孔、底孔和掏槽孔的装药结构图分别见图 6、图 7 和图 8。

表 3 断面Ⅱ炮孔装药量及起爆顺序

炮孔 编号	炮孔 名称	炮孔 个数	单孔深度 /cm	装药量/g		雷管 段别	起爆 顺序
				单孔	合计		
1	掏槽孔	4	120	600	2400	1	1
3	辅助孔	8	100	450	3600	3	2
5	辅助孔	8	100	450	3600	5	3
7	辅助孔	6	100	450	2700	7	4
9	辅助孔	8	100	450	3600	9	5
11	辅助孔	8	100	450	3600	11	6
13	底孔	7	100	450	3150	13	7
15	周边孔	10	100	300	3000	15	8
17	周边孔	10	100	300	3000	17	9
合计		69			28650		

5 减震措施

爆源和保护目标之间的沟槽在一定的宽度和深度的范围内形成了临空面,改变了爆破振动的传播规律。密集钻孔形成的孔排没有完全切断振动的传播途径,但也会发生与有沟槽时相似的现象。因此,沟槽(孔排)利用波的反射和干涉,极大地削减了爆破振动。本工程是在爆破区域外钻凿一排密集孔,作为保证变压器设备或者厂房的辅助措施。

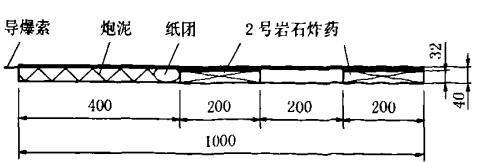


图 6 周边孔装药结构

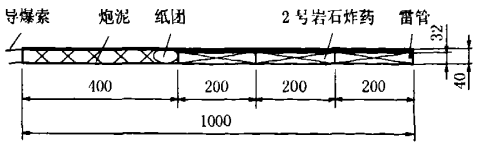


图 7 辅助孔和底孔的装药结构

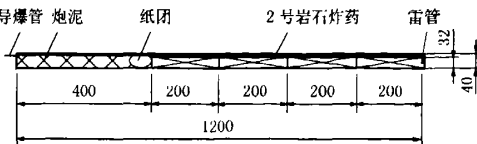


图 8 掏槽孔装药结构图

6 结语

本工程根据线装药密度合理分配周边孔、辅助孔、底孔和掏槽孔的单孔装药量,并根据经验公式定量求出开挖断面的炮孔数量,且运用 M. A. 萨道夫斯基公式来确保邻近建筑物和变电设备的安全。现场监测结果表明上述设计是合理的。

参考文献:

[1] 刘佑荣,唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1999.
[2] 董鹏. 温家山隧道施工爆破设计[J]. 西北水力发电,2005,21(3):67-70.
[3] 吴立,闫天俊,周传波. 晋岩爆破工程[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2005.
[4] 陈建平,吴立. 地下建筑设计与施工[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000.

我国高精度定向钻进中靶系统成功应用

本刊讯 近日,中国地质科学院勘探技术研究所承担的土耳其天然碱钻井三期工程工地传来喜讯:水平井 H004LB 成功与其靶井 V004LA 顺利连通,成为该工程建设历史上井距最大、井深最大和水平段最长的井组。

据了解,这次定向对接井连通是三期工程,是在一、二期工程的旧矿区进行,具有地层透水风险高,井距井深普遍增大,井组结构为三井组对接、五井组对接和七井组对接等结构复杂的特点。该井组为水平井 H004LB 一井连通 V004LB、V004U+LA 和 V004LA 三井。为钻井安全,勘探技术研究所采用自主研发的高精度定向钻进中靶系统成功避开了

V004LB 和 V004U+LA 溶腔边缘。最终在与水平井井距 569.5 m,水平钻井段长度 399 m,水平井井深 890.5 m 时与 V004LA 一次对接连通。

据介绍,高精度定向钻进中靶系统具有技术含量高、测量精度高、软件界面友好和易于使用等优点,在首次中靶作业中,在靶区半径仅有 1.5 m,矿层腔高只有 0.5 m 的条件下,取得了直接定向钻进一次中靶连通的优良效果。该成果的成功应用,标志着我国在定向钻进对接井钻探施工测量仪器领域彻底结束了高价租用进口仪器的历史。