

研究报告

硐室加深孔预裂爆破振动测试分析

申振宇^{1,2}, 汪旭光², 于亚伦¹, 刘宏刚³

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044; 3. 中铁三局爆破公司, 太原 030001)

[摘要] 硐室加深孔预裂爆破能够显著地降低硐室爆破所带来的地震效应, 有效地解决爆破振动所造成的边坡稳定性、边坡质量和爆区附近建(构)筑物的安全问题, 适用范围比较大。太原—长治高速公路硐室加深孔预裂爆破的振动测试获得明显的降震效果, 对同类工程具有参考价值。

[关键词] 硐室爆破; 深孔预裂爆破; 爆破振动; 振动测试分析

[中图分类号] TD235 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)03-0070-05

硐室爆破适用于土石方量集中, 工期要求紧的土石方爆破工程, 曾经在我国得到广泛应用。但是因为硐室爆破的一次爆破装药量多, 爆炸能级较高, 导致其爆破振动大, 对爆区附近的建(构)筑物及道路、边坡的安全稳定性有很大影响, 爆破地震效应尤其引人注目^[1]。如何改进硐室爆破技术, 降低其地震效应, 一直是困扰爆破工程技术人员的难题。在太长高速公路的路基开挖中, 采用硐室加深孔预裂一次爆破成型技术, 既发挥了硐室爆破的优越性, 又克服了爆破振动负效应大的缺点, 爆破振动监测分析表明质点爆速峰值(PPV)完全符合新的《爆破安全规程(GB6722-2003)》的规定^[2], 有效地解决了这一难题, 对同类工程具有一定的参考价值。

1 工程概况

太长(太原—长治)高速公路第十四合同段K62+880~K63+010段为双壁石方路堑, 石方数量大而集中, 开挖工程量为 $10.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 中心最大挖深23.66 m, 边坡最大开挖高度44.67 m。开挖石方为砂页岩间层, 地质单元为构造剥蚀、侵蚀基岩区, 地形复杂, 沟壑纵横, 出露岩石主要为T2砂岩, 砂质泥岩。岩石为次坚石, 强—弱风化状

态, 局部呈强风化状态。地下水埋置较深, 植被较少。K63+054处为冲积沟, 下面是已建好的过水涵洞, K62+844处也是冲积沟, 下面有已修好的滨河4号大桥的桥墩, 每隔50 m一个; 爆区后面为山峰, 山峰背侧为很陡的山坡; 爆区前面有一条小河, 且距既有榆黄公路200 m, 工程项目部紧靠公路的外侧。这些建(构)筑物都需要保护。

2 爆破方案的选择

根据施工单位提供的地形图, 结合现场勘查, 综合考虑该工程的地形、地质条件, 施工进度要求, 爆破安全, 施工质量和经济效益等多方面的因素, 刘宏刚教授等人参考国内外有关文献, 并根据他们以前的爆破施工实践, 最终决定选择硐室加深孔预裂一次爆破成型的爆破方案^[3]。鉴于地形与环境条件, 当开挖深度大于25 m时, 条形药室分上下两层布置, 层距为16 m, 上层为3#硐室, 属于单壁路堑爆破, 先爆破, 形成上部边坡; 再开挖和爆破下层的1#、2#硐室, 属于双壁路堑爆破。在硐室爆破之前, 沿爆破开挖线先进行深孔预裂爆破, 炸出一条5 cm宽的预裂缝, 用来阻断爆破地震波的传播, 保护边坡。设计的平面布置图如图1所示, 主要爆破参数见表1和表2。

[收稿日期] 2005-05-09; **修回日期** 2005-10-10

[作者简介] 申振宇(1971-), 男, 安徽亳州市人, 北京科技大学博士研究生

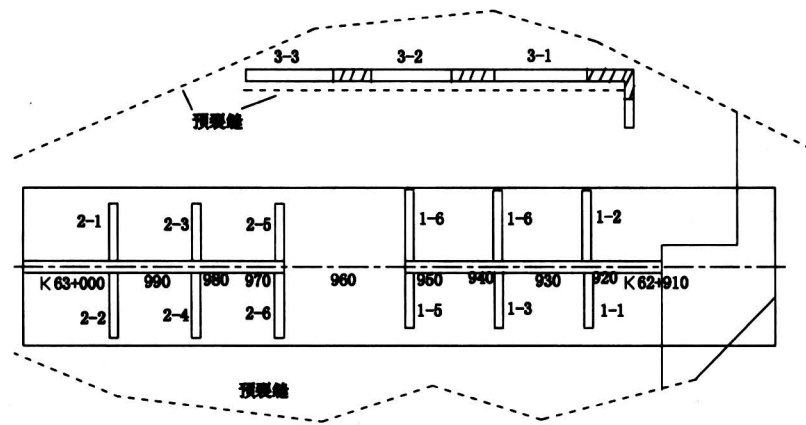


图1 硐室加深孔预裂爆破平面布置图

Fig.1. Arrangement of chamber & deep-hole pre-splitting blasting

表1 深孔预裂爆破主要参数

Table 1 Key parameters of deep-hole pre-splitting blasting

孔深/m	孔距/m	不耦合系数	线装药密度/ $g \cdot m^{-1}$				堵塞长度/m	装药结构
			底部	次加强	正常	顶部		
随地形变化 8~32	1.2	3.1	2 004	709	408	167	492	1~1.5 不耦合 间隔装药

表2 硐室爆破主要参数

Table 2 Key parameters of chamber blasting

药室编号	断面里程	相对中心距		药室长度/m	药室断面面积/ m^2	最小抵抗线/m	Kf (n)	W/H	装药量/kg
		左	右						
1-1	K62+920	左		12	1.7	14.5	0.7	0.76	1 764
1-2	K62+920		右	13	1.7	14.5	0.7	0.76	1 911
1-3	K62+936.5	左		12	1.7	15	0.8	0.77	2 160
1-4	K62+936.5		右	13	1.7	15	0.8	0.77	2 340
1-5	K62+952.5	左		12	1.7	15	0.8	0.71	2 160
1-6	K62+952.5		右	13	1.7	15	0.8	0.71	2 340
2-1	K63+000	左		12	1.7	12	0.7	0.78	1 212
2-2	K63+000		右	13	1.7	12	0.7	0.78	1 313
2-3	K62+985	左		12	1.7	14	0.8	0.67	1 884
2-4	K62+985		右	13	1.7	14	0.8	0.67	2 041
2-5	K62+968.5	左		12	1.7	15	0.9	0.65	2 436
2-6	K62+968.5		右	13	1.7	15	0.9	0.65	2 639
3-1	K62+910~K62+932.5		右	22.5	1.7	11	0.7	0.77	1 913
3-2	K62+932.5~K62+955		右	22.5	1.7	12	0.7	0.8	2 273
3-3	K62+955~K62+975		右	22.5	1.7	14.5	0.8	1.0	3360

3 爆破振动测试

3.1 DSVM-4C 型爆破振动测试仪

测试采用北京矿冶研究总院研制、生产的 DSVM-4C 型爆破振动测试仪。该仪器采用高速微处理器为控制核心的四通道振动测试仪，将 4 个 ZCC-201C 型速度传感器输出的电压量或加速度传感器输出的电荷量进行处理，然后由仪器内的高速 12 倍 A/D 转换器将此电压量进行量化并将量化结果保存到存储器内，可以分区存储 10 次测试结果；通过 RS232 标准串行接口与电脑相连，在电脑上用可视化分析软件进行分析，输出测试结果。

3.2 测点布置

在爆破振动测试之前，上层 3# 条形硐室和深孔预裂爆破已经进行，上层边坡已形成；下层的预裂孔已爆破形成 5 cm 宽的预裂缝，下层 1-1, 1-2 硐室的试爆也已完成。根据地形条件，要达到测试预裂缝降震效果的目的，需要布置两条测线，各布置 4 个测点。根据《爆破测试技术》中介绍的有关原则及爆破现场的地形条件，只能在爆区后面预裂缝外侧的山坡和山顶上布置一条测线^[4]，第一个测点布置在距爆心 46.65 m 的山坡岩石上，后面每隔 20 m 布置一个测点；同时为了比较，在没有预裂缝的滨河 4 号大桥处布置一条测线，第一个测点布置在距爆心 92.50 m 的桥墩基座上，后面每隔 50 m 布置一个测点，也都布

置在桥墩基座上。经过预裂缝后的测点在高程上的布置剖面图见图 2。

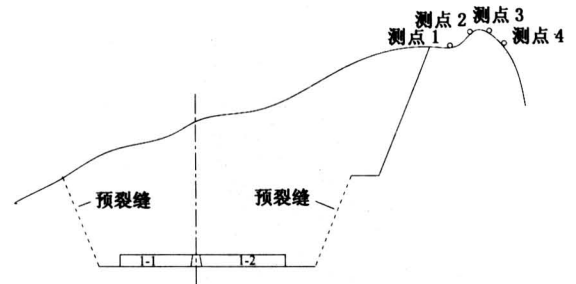


图 2 硐室加深孔预裂爆破的剖面图

Fig.2 Section plane of chamber & deep-hole pre-splitting blasting

3.3 宏观观测

除了用测振仪测量爆破振速外，还进行宏观观测：对需要保护的边坡、涵洞、房屋和桥墩等建（构）筑物进行观测，并对预裂缝后面一个有裂纹的 5 m × 15 m 的区域进行拍照，通过爆破前后对比，确定硐室加预裂爆破对建（构）筑物的影响。

4 爆破振动测试结果

4.1 测振仪测试结果

爆破以后，将测振仪与电脑相连，读取速度传感器测到的信息，通过电脑的分析处理，得到如表 3 所示的爆破振动测试结果。

表 3 爆破振动测试数据

Table 3 The vibration testing data of blasting

测点编号	预裂缝	爆心距/m	相对于路基面的高差/m	最大一段药量/kg	最大垂直振速/cm·s ⁻¹	最大加速度/g	最大位移/mm
测点 1	有	46.65	58.60	26.39	0.170	0.238	0.012
测点 5	无	92.50	-10	2 639	2.683	0.888	0.247
测点 6	无	142.50	-10	2 639	2.220	0.464	0.170
测点 7	无	192.50	-10	2 639	1.255	0.444	0.095
测点 8	无	242.50	-10	2 639	0.869	0.363	0.101

4.2 宏观观测结果

通过宏观观测，得到如下结果：

1) 预裂缝后面已经形成的 16 m 高边坡没有发生破坏。

2) 预裂缝后面事先选定的 5 m × 15 m 区域里裂纹未扩展，裂纹条数也没有增加。

3) 已经修好的桥墩、过水涵洞和工程项目部的房屋等建（构）筑物没有发生破坏。

5 爆破振动测试分析

由于地形条件的限制，考虑到硐室爆破的装药量较大（2 639 kg），爆破后松动的岩石会沿爆区前

方山坡向下面滚动，个别飞石的飞散距离较远。为了人员和测振仪的安全，本次测试无法在爆区前部的预裂缝后面布置测点，只能在爆区后部的预裂缝后面的山坡上布置测点。测定未通过预裂缝的爆破地震波传播及其衰减规律的测点也只能布置在爆区一侧已修好的桥墩上，以利于保护传感器、测振仪和测振人员的安全。

爆前先根据最大一段装药量，爆心距，按照萨道夫斯基公式 $V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha$ ，选择合适的 K ， α 值，预先估计硐室加深孔预裂爆破引起的爆破振速，以便设定测振仪的量程，做好测定爆破振动的准备工作。在本工程中，选取 $K = 150$ ， $\alpha = 1.5$ ，预先估计硐室加深孔预裂爆破引起的爆破振速。

本次硐室加深孔预裂爆破只有一次爆破，因此只能做一次测试；并且在施工现场没有装测振仪分析软件的计算机，无法把测振仪的测振记录方式由只能记录 1.25 s 的单次测试改变为记录时间更长的连续测试，因此导致测振仪记录的未通过预裂缝的爆破地震波不完整，但是仍然记录了最大一段装药量的爆破地震波的波形，故仍具有重要的价值。

由于测定经过预裂缝传播的爆破地震波的测点布置在爆区后面预裂缝外侧的山坡上，经过下部预裂缝上层 3 # 条形硐室加单壁深孔预裂爆破已经形成的上层边坡的减震以后，爆破振动速度已很小，因此只有测点 1 处的 ZCC - 201C 型速度传感器测到了爆破振动信号，后面的 3 个测点处的振速水平已低于 ZCC - 201C 型速度传感器的触发水平，未能测到爆破振动信号。

分析图 3 和图 4 的振速波形图可知：如果没有预裂缝，硐室爆破的地震波在距爆心 92.50 m 处的最大垂直振速达到 2.683 cm/s；然而通过 5 cm 宽的预裂缝以后，硐室爆破的地震波在距爆心 46.65 m 处的最大垂直振速仅为 0.170 cm/s。由此可见，5 cm 宽的预裂缝使硐室爆破地震波的振速衰减幅度



图 3 通过预裂缝传播的振速波形图
Fig.3 Waveform of vibration velocity propagated by pres-split crack

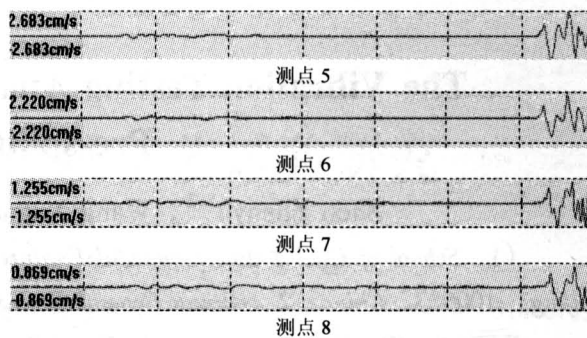


图 4 未通过预裂缝传播的振速波形图
Fig.4 Waveform of vibration velocity not propagated by pres-split crack

很大。为了准确掌握硐室加深孔预裂爆破的爆破地震波传播及其衰减规律，进一步分析硐室加深孔预裂爆破的降震机理，还必须在以后做更多的爆破振动测试工作。

6 结论

通过本次硐室加深孔预裂爆破的振动测试，得出下面的结论：

- 1) 预裂缝可以有效地阻断硐室爆破地震波的传播，获得十分明显的降震效果。
- 2) 硐室加深孔预裂爆破能够确保高边坡的稳定性，使边坡不受破坏。
- 3) 与传统的硐室爆破技术相比，改进的硐室爆破技术有效地减少了爆破地震效应带来的危害，满足新的爆破安全规程的要求，有利于扩大硐室爆破的适用范围，进一步推广应用硐室爆破技术。

参考文献

[1] 刘殿中. 工程爆破实用手册(第二版)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 爆破安全规程 GB6722 - 2003[S]. 2003

[3] 肖一杰, 张林, 刘宏刚. 硐室加预裂一次爆破成型技术[J]. 工程爆破, 2003, (1): 43 ~ 46

[4] 孟吉复, 惠鸿斌. 爆破测试技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992

[5] International Society of Explosives Engineers. Blaster's Handbook[M], Cleveland, OH: USA, 1998

The Vibration Testing Analysis of Chamber & Deep-hole Pre-splitting Blasting

Shen Zhenyu^{1,2}, Wang Xuguang², Yu Yalun¹, Liu Honggang³

(1. School of Civil & Environmental Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China; 3. The Blasting Corp of the Third Bureau of China Railway, Taiyuan 030001, China)

[Abstract] The vibration testing analysis of blasting in Tai-Chang freeway show that it is chamber & deep-hole pre-splitting blasting that can strikingly drop the seismic effect of chamber blasting, so it effectively solves some problems of slope stability, slope quality and safety of building & structure that blasting vibration brings about. The improved technique of chamber blasting is beneficial to extending its scope of application so that it has reference value to similar engineering.

[Key words] chamber blasting; deep-hole pre-splitting blasting; blasting vibration; vibration testing analysis

《中国工程科学》2006 年第 8 卷第 4 期要目预告

- | | | | |
|----------------------|------|-----------------------|------|
| 中医的渊源和对医学发展的思考 | 王文奎 | 净化系统 | 宁献文等 |
| 深部裂缝带——一种新的地震构造 | | 公理化设计与 TRIZ 的比较研究及其 | |
| 样式 | 李愿军 | 集成模型 | 丁俊武等 |
| 基于经验学的创造力支持系统层次 | | 具有极点区域约束的广义模糊系统的 | |
| 结构模型 | 冯勤超等 | 输出反馈控制 | 高丹等 |
| 邓小平理论武装中国农业 | 刘更另 | 高层建筑加压送风系统设计的实验研究 | |
| 基于价格机制的无线网自适应接纳 | | | 冯瑞等 |
| 控制算法 | 张雪 | 基于双 CPU 结构的数据监控系统设计 | |
| 水波与淤泥质底床相互作用数值建模: | | | 贾贵玺等 |
| 基于以滞后回路为特征的淤泥体流变模型 | | 停机过程中的水电站厂房支撑结构动力 | |
| | 齐鹏等 | 特性识别方法 | 练继建等 |
| 区域定量风险评价及其在城市重大危险源 | | 煤矿区土地可持续利用研究 | 王建等 |
| 安全规划中的应用 | 吴宗之等 | 老山自行车馆大厅自然排烟系统 | |
| 大型重载支承轴的疲劳裂纹时间序列 | | 性能研究 | 张和平等 |
| 诊断分析 | 李学军等 | 软硬件协同设计和系统级仿真探索 | 徐辉等 |
| 非线性弹性薄模表面效应的尺寸 | | 粉碎机构学的形成 研究的内容和 | |
| 相关性研究 | 黄殿武等 | 发展前景 | 董书革等 |
| 基于纳米催化的旅客机座舱新型空气 | | | |