

工程爆破节能环保技术研究与应用

刘友平¹, 李 义², 张丕界³, 何广沂⁴

(1. 中铁十七局集团有限公司, 太原 030000; 2. 太原理工大学, 太原 030000; 3. 中铁十一局集团有限公司, 武汉 430071; 4. 铁道第五勘察设计院, 北京 102600)

[摘要] 工程爆破节能环保技术的核心内容是往炮眼中一定位置注入一定量的水并用专用设备制成的炮泥回填堵塞,与常规工程爆破相比,具有显著的节能环保作用。主要介绍了往炮眼底部注水在实际应用中所产生的作用与效果并对此进行了分析,而且通过模拟实验应变测试结果证明了理论分析的正确性。

[关键词] 工程水压爆破;节能环保;模拟实验;应变测试

[中图分类号] U455.6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)09-0039-08

1 前言

如果笼统地给“工程爆破”下个定义,就是在工程上对岩石的爆破。无论对露天的岩石爆破,例如路堑的开挖、场地的平整,还是地下的岩石爆破,例如隧道(洞)、巷道爆破掘进和地下工程的爆破开挖,绝大多数都采取“炮眼法”进行爆破。而工程爆破节能环保技术是针对炮眼法的,往炮眼中一定位置注入一定量的水并用专用设备制成的炮泥回填堵塞。炮眼的这种装药结构俗称水压爆破。研究表明,水压爆破与常规爆破——即炮眼无回填堵塞与用土或用岩屑堵塞——相比,具有显著的节能环保作用,具体表现在节省炸药,即提高炸药有效能量利用率,提高施工效率,提高经济效益和改善作业环境以保障作业人员身体健康。

该项技术的研究开发始于1995年,分为两个省部级科技开发项目进行研究,一是“露天石方深孔水压爆破技术”,于1997年6月通过了部级鉴定,鉴定认为“在国内外首次提出的‘露天石方深孔水压爆破技术’改进了以往深孔爆破装药结构,提高了炸药有效能量利用率,降低了炸药的单耗,在实践中取得了良好的爆破效果,具有创新性和实用性,为国际先进水平”;二是“隧道掘进和城市露天开挖水压爆破技术”,于2002年12月通过了省级鉴定,鉴定

认为“‘隧道掘进和城市露天开挖水压爆破技术’采取炮孔充填水袋,并用炮泥回填堵塞,提高了炸药能量利用率,改善了爆破对环境的影响,具有可操作性,实现了浅孔爆破的工艺技术创新,为国际先进水平”。鉴定过后笔者撰写了一篇题为《节能环保工程水压爆破研究与应用》论文,刊登在《中国工程科学》2003年第5卷第9期上。这篇论文对炮眼中上部注水与用炮泥回填堵塞进行了研究与应用,取得了令人满意的成果。在此基础上,笔者对该项技术又进行了深入的研究,即往炮眼底部也注入一定量的水,其实际爆破效果如何,其理论依据充分科学与否,乃是文章主要介绍的内容。

2 隧道掘进水压爆破实际应用

2.1 炮眼中上部注水与炮泥回填堵塞

现以隧道掘进水压爆破为例,阐明工程爆破节能环保技术的优势所在。隧道掘进水压爆破相对隧道掘进常规爆破即炮眼无回填堵塞(目前国内存在的普遍现象正是炮眼装药之后无回填堵塞)而言,其创新突破点就是往炮眼中一定位置注入一定量的水并用专用设备制成的炮泥回填堵塞。前面已提及,在该项技术鉴定之前,实际应用(应用试验)仅是对炮眼中上部注水并用炮泥回填堵塞。现以渝怀

[收稿日期] 2007-12-21

[作者简介] 刘友平(1966-),男,山西省洪洞县人,高级工程师,研究方向为地下工程

铁路歌乐山^[1]隧道爆破掘进为例,概述这种装药结构应用情况。

歌乐山隧道为单线铁路隧道,其地质为Ⅲ级围岩(灰岩),采取复式楔形掏槽全断面爆破开挖,布眼117个,设计掘进深度为3.8 m。笔者在同样的条件下进行了炮眼中上部注水并用炮泥回填堵塞与常规爆破实际应用的对比,其爆破效果的对比见表1。

表1 炮眼中上部注水炮泥回填堵塞与常规爆破实际应用爆破效果对比表

Table 1 The practical application blasting compared effect between infused - water mud over middle of the blasthole with back - filled and normal blasting

炮眼装药结构	设计掘进深度 /m	装药量 /kg	实际进尺 /m	炮眼利率 /%	单位用量 / (kg·m ⁻³)	节省炸药 /%
常规爆破 (炮眼无回填堵塞)	3.8	248.9	3.36	86.2	1.247	
炮眼中上部注水炮泥回填堵塞	3.8	228.7	3.70	97.4	1.041	16.5

笔者对上述炮眼两种不同装药结构爆破进行了粉尘浓度的监测,结果如下:常规爆破粉尘浓度为16 mg/m³,炮眼中上部注水炮泥回填堵塞为9.2 mg/m³,后者与前者相比,粉尘浓度下降了42.5%。

2.2 炮眼底部注水

该项技术鉴定之后,尤其是在被评审批准为《建设部2004年科技成果推广项目》之后,随着对水压爆破的认识与研究的不断深入,笔者在推广实际应用中除继续往炮眼中上部注水并用炮泥回填堵塞外,又大胆地把一定量的水注入炮眼最底部,产生了很好的爆破效果。不但进一步节省了炸药、加快了进度,更为突出的是,粉尘浓度大幅度下降;光面爆破(俗称光爆)眼采取了水压爆破装药结构,不但保障了光爆质量,而且大大节省了起爆器材费用;进行了有毒有害气体监测,取得了令人满意的结果。

炮眼底部注水已在马鹿箐^[1]等8条隧道和1座平导爆破掘进中实际应用,现以马鹿箐和定水坝隧道爆破掘进为例,简述应用概况。

2.2.1 马鹿箐隧道掘进水压爆破

宜万铁路马鹿箐隧道岩层为中厚层灰岩夹薄层

灰岩或泥质条带,为Ⅲ级围岩,地质复杂,有暗河、突水、突泥及岩爆等。

马鹿箐隧道常规爆破掘进,其炮眼分布如图1所示,设计掘进深度3.8 m。需要指出的是,图1中炮眼分布是根据钻爆工实际打眼而绘制的,存在的问题是光爆眼距 a 大于光爆层厚 w ,合理布置应 a 小于 w 。在相同条件下,进行了炮眼3种不同装药结构的实际应用对比。炮眼3种不同装药结构如图2所示,实际应用对比见表2。

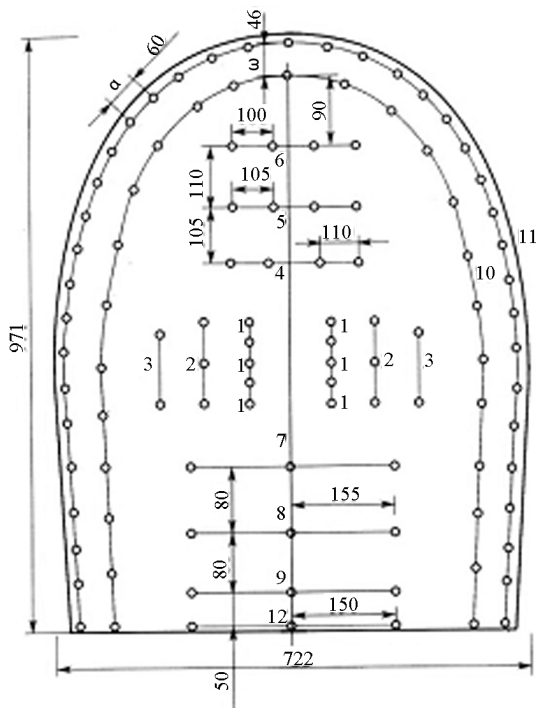


图1 炮眼分布(单位:cm)

Fig. 1 Boreholes distribution

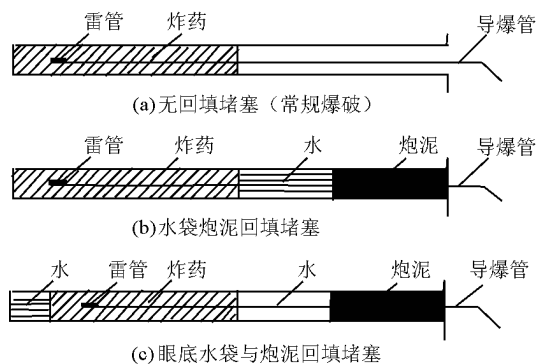


图2 炮眼3种不同装药结构

Fig. 2 Three styles charging structure of borehole

表2 炮眼3种不同装药结构爆破效果对比表

Table 2 Blasting effect contrast among three styles charging structure of borehole

炮眼装药结构	设计掘进深度 /m	装药量 /kg	实际进尺 /m	炮眼利率 /%	单位用药量 / (kg·m ⁻³)	节省炸药 /%
常规爆破 (炮眼无回填堵塞)	3.8	204.15	3.20	84.2	0.95	
炮眼中上部注水炮泥回填堵塞	3.8	185.9	3.43	90.4	0.81	16.2
炮眼底部注水及炮眼中上部注水炮泥回填堵塞	3.8	186.5	3.50	92.1	0.79	17.0

光面水压爆破炮眼装药结构如图5所示。光爆效果良好,拱部半眼痕达到了95%,边墙为80%,还节省了爆破材料费用,见表3。

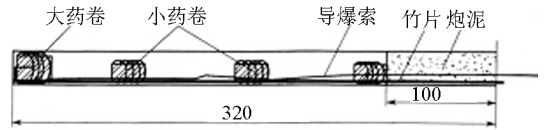


图4 光面爆破炮眼常规装药结构

Fig. 4 Conventional charging distribution of smoothwall blasting blasthole

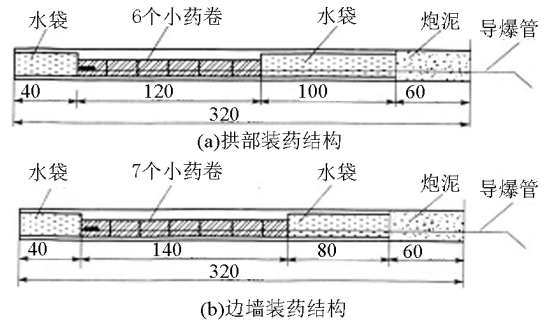


图5 光面爆破炮眼水压爆破装药结构图(单位:cm)

Fig. 5 Smoothwall blasting blasthole water-pressure blasting charging structure

2.2.2 定水坝隧道光面水压爆破

黔桂铁路最长的隧道——定水坝隧道——全长8 540 m,其围岩为Ⅲ级,岩性为石英夹泥岩,节理发育,隧道开挖炮眼分布如图3所示。光面爆破炮眼常规装药结构如图4所示,炮眼底部装1卷直径为32 mm的药卷,中部等间隔装3卷直径为25 mm的药卷(俗称小药卷),炮眼口处应用炮泥回填堵塞,可是实际上大多数采取纸卷堵塞,药卷用竹片定位。装药前先将药卷和导爆索用黑胶布绑扎在竹片上,装药时整体填入炮眼中。

表3 光面爆破炮眼两种不同装药结构爆破材料费用对比表

Table 3 Smoothwall blasting blasthole two style charging structures blasting material fees contrast

光面爆破炮眼装药结构	每循环炸药用量/kg	每循环秒雷管/个	每循环导爆索/m	每循环爆破材料费/元
光面爆破炮眼常规装药结构	17.85	8	150	470
光面爆破炮眼水压爆破装药结构	26.88	35	0	290

注:表中数据是以当地毫秒雷管3.5元/个、炸药6.3元/kg、导爆索2.2元/m而计算出的爆破材料费用。

2.2.3 粉尘浓度的监测

定水坝隧道及其平导爆破掘进由中铁十七局集团承担施工,平导爆破掘进的粉尘浓度监测由中铁十一局集团五公司进行。

该隧道平导围岩为Ⅲ级石英砂岩夹泥岩,开挖断面高5 m、宽4.8 m,布眼61个,炮眼常规装药结构与炮眼底及中上部注水炮眼加填堵塞实际爆破效果对比见表4。

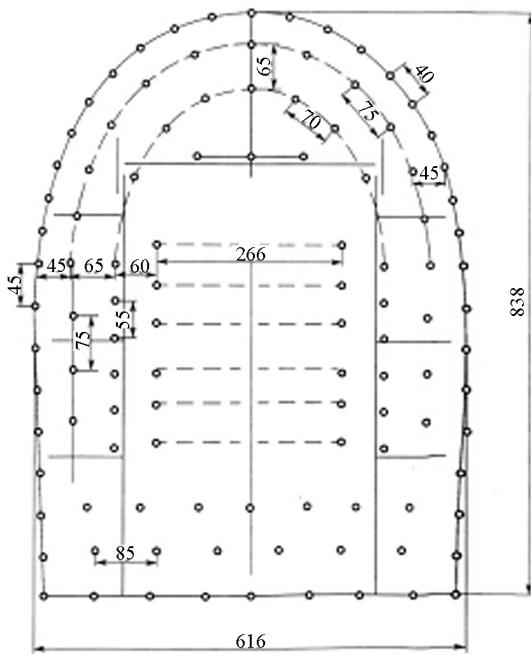


图3 炮眼分布(单位:cm)

Fig. 3 Boreholes distribution

表4 常规爆破与炮眼底及中上部注水炮泥回填堵塞爆破效果对比表

Table 4 Blasting effect contrast between normal blasting and bottom and overmiddle of blasthole infused water and back-filling

炮眼装药结构	设计掘进深度/m	装药量/kg	实际进尺/m	炮眼利率/%	单位用药量 / (kg · m ⁻³)	节省炸药/%
常规爆破(炮眼无回填堵塞)	2.5	74	1.86	74.4	1.8	
炮眼底部及中上部注水炮泥回填堵塞	2.5	57	2.21	88.4	1.17	35

平行导坑爆破掘进水压爆破与常规爆破粉尘浓度的监测仪器、监测工作状态、监测的有关数据等详见表5。需要说明的是,歌乐山隧道粉尘浓度监测

的工作状态是距掌子面 60 m 处,而该平导相距 25 m,故两处粉尘浓度差异大。

表5 粉尘浓度监测记录表

Table 5 Inspecting records of powder concentration

监测日期	测定地点	工种及状态	采样时间 /min	样品(滤膜编号)	采样流量 / (L · min ⁻¹)	采样前滤膜重量/mg	采样后滤膜重量/mg	浓度 / (mg · m ⁻³)
常 2005-08-31	黔桂铁路定水坝隧道平	爆破后 3 min	5	1	30	38.9	68.7	198.7
规 9:11 ~ 9:16	导距掌子面 25 m 处	未通风						
爆 2005-088-31	黔桂铁路定水坝隧道平	爆破后 3 min	5	2	30	41.2	68.9	184.7
破 17:35 ~ 17:40	导距掌子面 25 m 处	未通风						
平均值								191.7
水 2005-09-07	黔桂铁路定水坝隧道平	爆破后 3 min	5	3	30	41.9	51.4	70
压 10:49 ~ 10:54	导距掌子面 25 m 处	未通风						
爆 2005-09-07	黔桂铁路定水坝隧道平	爆破后 3 min	5	4	30	41	49.5	56.6
破 21:03 ~ 21:08	导距掌子面 25 m 处	未通风						
平均值								63.3

2.2.4 有毒有害气体的监测

隧道掘进常规爆破与水压爆破(炮眼底及中上部注水炮泥回填堵塞)的掌子面爆破后有毒有害气体的监测,始于2006年9月襄渝铁路复线清水溪隧道爆破掘进。该隧道石质为青色灰岩,岩石级别为Ⅲ级围岩,开挖断面约 60 m²,采取全断面开挖,布眼 102 个,水平楔形掏槽,设计掘进深度 3.2 m,常规爆破每循环装药量 143.4 kg,水压爆破相对常规爆破减少了 24 kg 炸药,均为 2#硝铵炸药。就是在

这样条件下进行有毒有害气体监测的。使用的仪器为法国的奥德姆(OLONAM)公司生产的 MX21-PLUS 复合式智能型检测报警仪。具体监测过程是,掌子面起爆后,测量人员立即从洞口(距掌子面约 300 m)赶至掌子面前 20 m,把仪器摆放在爆堆边缘,仪器在无通风的条件下停放 10 min,最后把仪器取走,即完成了有毒有害气体测量工作。常规爆破与水压爆破各进行了 2 个爆破循环的测量,有毒有害气体种类及浓度见表 6。

表6 有毒有害气体监测记录表

Table 6 Inspecting records of deleterious harmful gas

监测时间	测量地点	工种	CO(标准 24 × 10 ⁻⁶)	NO ₂ (标准 24 × 10 ⁻⁶)	SO ₂ (标准 24 × 10 ⁻⁶)	CH ₄ (标准 24 × 10 ⁻⁶)
2006-09-10 4:30	中铁二十局三公司襄渝二线清水溪隧道出口距掌子面 23 m	常规爆破	280 1 066.67 %	0.7 未超标	0.5 未超标	4 未超标
2006-09-11 4:10	中铁二十局三公司襄渝二线清水溪隧道出口距掌子面 23 m	常规爆破	350 1 358.33 %	1.1 未超标	0.9 未超标	6 未超标
2006-09-12 3:20	中铁二十局三公司襄渝二线清水溪隧道出口距掌子面 23 m	水压爆破	1 200 4 900.00 %	8.1 224.00 %	8.2 64.00 %	12 未超标
2006-09-13 14:20	中铁二十局三公司襄渝二线清水溪隧道出口距掌子面 23 m	水压爆破	1 200 4 900.00 %	11.9 376.00 %	10.8 116.00 %	14 未超标

从表中可知,水压爆破各种有毒有害气体均比

常规爆破高,其原因是水压爆破后各种有毒有害气

体被水雾吸附在距掌子面约 20 m 的范围内,没有扩散。用 110 kW 以上隧道抽风机可以在 5 min 之内将其全部排除洞外,进入下一步工作;而常规爆破后各种有毒有害气体大面积扩散,弥漫到隧道中,用 110 kW 以上抽风机至少要 30 min 以上才能排出洞外。水压爆破比常规爆破可缩短工序之间的时间近 30 min。

综上所述,水压爆破的优点如下:由于增加了炮眼底部注水,比单纯的炮眼中上部注水炮泥回填堵塞,进一步节省了炸药、加深了掘进深度。尤为突出的是,粉尘浓度大大下降,由原来的 67% (炮眼中上部注水炮泥回填堵塞与常规爆破相比) 下降到 42.5%;光面水压爆破可节省大量爆破材料费;有效地吸附有毒有害气体并及时排出洞外;有利于防止岩爆等。

关于炮眼底注水的作用的初步分析是,它不但起到了像炮眼中上部注水所起到的作用(即无损失地传递爆炸能量)外,而且有相当于炮眼底部药卷的作用。下面通过模拟实验应变测试来验证炮眼底水是否真有相当于炮眼底部原来药卷的作用。

3 模拟实验应变测试

3.1 测试方案

实验试块采用水泥砂浆试块,水泥和砂的比值为 0.5,水灰比为 0.4;试块尺寸为 500 mm × 500 mm × 500 mm,上表面中心处预留 $\phi 20 \times 250$ mm 的炮孔。实验采用 BE-1AA 型应变片制成应变砖作为传感器(应变砖材料与试块材料相同),采用 CS2092H 动态数据分析仪及超动态应变仪作为数据采集与分析系统。测试系统组成见图 6,实验步骤见图 7。

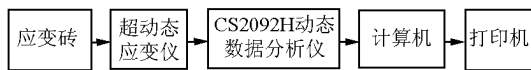


图 6 测试系统框图

Fig. 6 Testing system frame

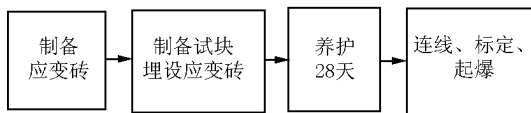


图 7 实验步骤图

Fig. 7 Scheme of experiment process

试块中应变砖分两层埋设,第一层等距离置于

炮孔两侧,每个应变砖安装两个应变计,分别对应于炮孔的径向与切向;第二层为炮孔正下方,应变计对应于炮孔的轴向与径向。试块中应变砖布置如图 8 所示。

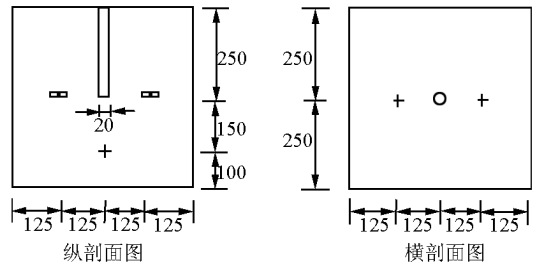


图 8 试块中应变片布置(单位:mm)

Fig. 8 Layout of strain piece in the experimental block

每个试块中的炮孔均装相等的药量,即 1 个 8 号电雷管与 3 段 10 cm 长的普通导爆索(约 5 g 黑索金)。炮孔装药结构如图 9 所示,各个试块在相同的位置埋设有 6 个应变片,应变片位置及编号如表 7 所示。

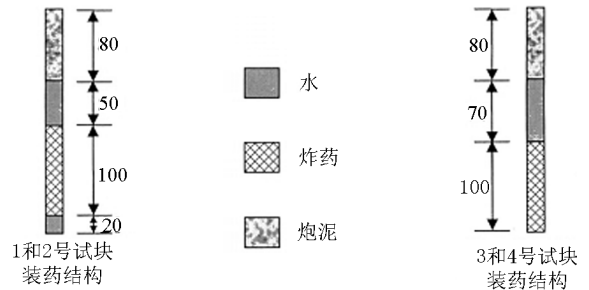


图 9 炮孔装药结构(单位:mm)

Fig. 9 Charging structure of blastholes

表 7 各试块中应变片位置及编号

Table 7 Position and number of the strain piece in every experimental blocks

应变片位置	下端	下端	左侧	左侧	右侧	右侧
试件号	径向	轴向	径向	切向	径向	切向
1#	101	102	103	104	105	106
2#	201	202	203	204	205	206
3#	301	302	303	304	305	306
4#	401	402	403	404	405	406

3.2 测试结果

实验进行得很顺利,获得了所有试块的应变时程曲线。受篇幅的限制,文中列举 1#、3#试块的炮孔下端及炮孔左侧的应变时程曲线,见图 10。

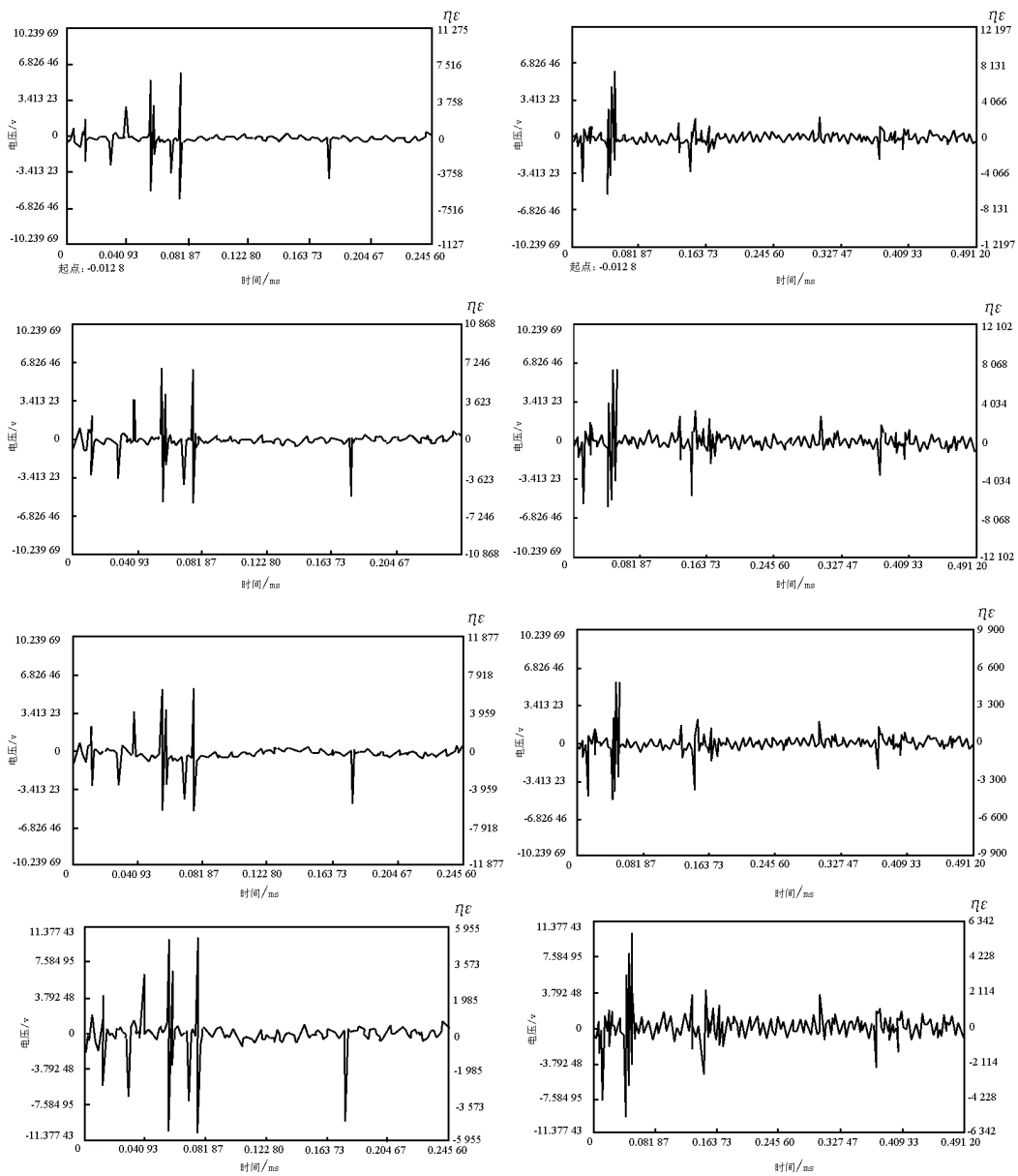


图 10 应变时程曲线

Fig. 10 Strain curve of time period

在爆破过程中各试块(4 块)最大正应变与负应变值见表 8。

表 8 各试块应变峰值

Table 8 Strain peak value of experimental blocks

1#	应变片	101	102	103	104	105	106
试	正应变值 $\mu\epsilon$	6 870	6 708	6 681	5 318	6 366	6 315
件	负应变值 $\mu\epsilon$	-6 117	-6 114	-6 124	-5 360	-5 932	-5 974
2#	应变片	201	202	203	204	205	206
试	正应变值 $\mu\epsilon$	7 029	5 990	7 116	5 576	6 556	6 639
件	负应变值 $\mu\epsilon$	-4 810	-4 777	-5 041	-4 391	-6 248	-6 733
3#	应变片	301	302	303	304	305	306

续表

1#	应变片	101	102	103	104	105	106
试	正应变值 $\mu\epsilon$	7 147	7 375	5 414	5 664	6 398	5 970
件	负应变值 $\mu\epsilon$	-6 480	-6 808	-4 873	-5 262	-6 169	-6 148
4#	应变片	401	402	403	404	405	406
试	正应变值 $\mu\epsilon$	5 781	6 675	6 452	5 138	5 775	5 642
件	负应变值 $\mu\epsilon$	-6 413	-6 408	-5 891	-5 872	-6 497	-6 370

对 1#、2#、3#和 4#试块相同位置对应的最大应变值取平均值,得到不同装药结构条件下同一位置的应变极值和应变极值的绝对平的值,见表 9。

表9 同一位置不同装药结构爆炸应变比较

Table 9 Blasting strain contrast of various charging structure in same site

应变片位置	水平径向	水平切向	下部径向	下部轴向
1#、正应变峰值 $\mu\epsilon$	6 679.93	5 692.02	6 949.92	6 349.24
2#、负应变峰值 $\mu\epsilon$	-5 836.2	-5 614.17	-5 575.77	-5 445.44
试件绝对平均值 $\mu\epsilon$	6 258.07	5 788.1	6 262.85	5 897.34
3#、正应变峰值 $\mu\epsilon$	6 009.74	5 603.33	6 463.97	7 025.13
4#、负应变峰值 $\mu\epsilon$	-5 857.47	-5 913.03	-6 446.61	-6 607.97
试件绝对平均值 $\mu\epsilon$	5 933.6	5 758.18	6 455.29	6 816.55

各试块爆破作用时间(雷管爆炸时间不计)见表10。

表10 各试块爆破作用时间

Table 10 Blasting effective time of various experimental blocks

1#	应变片	101	102	103	104	105	106
试件	作用时间/ms	0.022 6	0.022 6	0.021 6	0.022 8	0.022 6	0.022 8
2#	应变片	201	202	203	204	205	206
试件	作用时间/ms	0.032 4	0.032 8	0.040 8	0.041 2	0.041 2	0.041 2
3#	应变片	301	302	303	304	305	306
试件	作用时间/ms	0.011 5	0.011 2	0.011 4	0.011 3	0.011 2	0.011 2
4#	应变片	401	402	403	404	405	406
试件	作用时间/ms	0.017 8	0.019 6	0.018 0	0.022 4	0.016 8	0.022 3

3.3 测试结果分析

3.3.1 最大应(力)变值的分析

从表8、表9可以对比看出,炮眼最底部充水(1

#、2#试块),其水平径向与切向的应(力)变值均大于同等条件下炮眼最底部为装药的3#、4#试块的应变值。这就有力地证明了前面述及的炮眼最底部一定量的水可以起到药卷的作用。从表8、表9还可以看出,炮眼底是炸药要比炮眼底是水的轴向与径向应变大,但这对破碎炮眼最底部以上的围岩作用不大。

3.3.2 爆破作用时间分析

由表10可知,1#、2#试块炸药(导爆索)完全爆炸后主压力脉冲的作用时间是3#、4#试块的近2倍。爆炸应力波在孔底水介质的上下界面发生多次反射,从而增加了作用炮孔底部的爆炸能量。由此可知,炮孔底部充水大大延长了岩石爆破作用时间,使得炸药能量可以得到充分利用,达到改善爆破效果的目的。

3.3.3 试块爆破效果分析

1#、2#试块爆破后,整个试块从上到下完全爆裂,不存在根底,而3#、4#试块未完全爆裂,从上到下还留下近1/2的厚度。由此可以证明,炮孔最底部充一定量的水,可充分起到“水楔”作用,减少炮根。

参考文献

[1] 何广沂. 工程爆破节能环保技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 2007

New stage of the research and application of the technology about engineering blasting energy conservation environmental protection

Liu Youping¹, Li Yi², Zhang Pijie³, He Guangyi⁴

(1. China Railway 17th Bureau Group Co. Ltd., Taiyuan 030000, China; 2. Taiyuan University of technology, Taiyuan 030000, China; 3. China Railway 11th Bureau Group Co. Ltd., Wuhan 430071, China; 4. The Fifth Survey & Design Institute of China Railway, Beijing 102600, China)

[Abstract] The core of the technology about engineering blasting energy conservation environmental protection is infusing certain volume water to certain position of the blastholes, and then the blastholes are jammed with

the blasting mud which is made by special machine. The technology has prominent energy conservation and environmental protection effect compared with the normal engineering blasting. The effect of infusing water to the bottom of the blasthole in practical application was mainly introduced in the paper. The result was analyzed and proved its correct through the stimulant experiment strain tests.

[**Key words**] engineering water-pressure blasting; energy conservation environmental protection; stimulant experiment; strain tests

(上接 24 页)

Advances on the application of ocean color remote sensing engineering in China

Pan Delu, Bai Yan

(*State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamic, Second Institute of
Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*)

[**Abstract**] After many years' endeavor of research and application practice, the ocean color remote sensing in China has been growing into a new technique with valuable practicality from the initiate stage of trial research. With the aim of operational service, several kinds of ocean color remote sensing monitoring systems have been developed, and realized the long-term marine environmental monitoring dynamically utilizing the real-time or near real-time satellite data and airborne remote sensing data. In this paper, firstly, four major technical advances are describing, including 1) the radiative transfer principle of the ocean color remote sensing; 2) the atmospheric correction algorithms specialized on China Sea and Chinese ocean color satellites; 3) ocean optical research in China Sea and the study of semi-analysis algorithm of inherent optical properties; 4) local algorithms of oceanic parameters. Secondly, On the foundation of technical advances, ocean color remote sensing takes effect on marine environment monitoring, with four major kinds of application systems, namely, 1) the automatic multi-satellites data receiving, processing and application system; 2) coastal water quality monitoring and fast report system; 3) the shipboard satellite data receiving and processing system; 4) the preliminary system of airborne ocean color remote sensing application system. Finally, according to the application status and requirements, the prospective development of Chinese ocean color remote sensing is brought forward. With Chinese second ocean color satellite (HY-1B) orbiting on April 11, 2007 and the development of airborne ocean color remote sensing system for Chinese Surveillance Planes, great strides will take place in Chinese ocean color information application with the unique function in the field of marine monitoring, resources management and national security, etc.

[**Key words**] ocean color remote sensing, operational application system, Chinese ocean color satellite series, HY-1A/B