

水压爆破技术在六盘山隧道施工中的应用研究

陈斌¹, 黄嫚², 史宝童², 朱仁义³

(1.中国中铁一局集团有限公司, 陕西 西安 710054; 2.中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075;

3.陕西省测绘地理信息局, 陕西 西安 710054)

摘要: 中国山岭隧道众多, 开挖中较多采用钻爆法, 常规的装药结构炸药能量损失较大, 爆破粉尘多, 容易造成环境污染, 影响工人身体健康。宁夏六盘山特长隧道地处国家自然保护区, 隧道施工需遵从以人为本、生态路、环保路的理念, 减少环境污染, 维持生态平衡。文中将水压爆破技术应用于六盘山隧道施工, 介绍了水压爆破设计和施工工艺; 通过与常规爆破技术对比, 分析了水压爆破技术的效果和经济效益。

关键词: 隧道; 水压爆破; 钻爆法; 施工技术

中图分类号: U455.41

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0188-03

目前, 中国隧道开挖、矿山开采等地下工程广泛采用钻爆法施工工艺, 不可避免地产生大量粉尘, 污染作业环境。水压爆破技术利用水袋填充堵塞炮孔, 用炮泥封堵炮孔进行爆破。水袋在隧洞中汽化的水蒸汽遇冷凝结, 与爆破粉尘大面积混合沉降从而实现降尘, 与矿山湿法除尘相比具有成本低、进尺快、控制尘源、有效控制隧道施工职业病危害、降低通风难度、提高循环作业效率等优点。

六盘山隧道地处国家自然保护区和高风险生态敏感区, 对环境保护有较高要求, 为防止因工程建设导致生态环境恶化, 采用水压爆破技术进行施工。

1 工程概况

六盘山隧道为青岛至兰州公路(宁夏境)东坡至毛家沟高速公路的关键控制性工程, 也是国家高速公路网的组成部分。该隧道设计为特长分离式, 分为上行和下行两个隧道, 共需掘进 18 970 m, 全长 9 490 m, 属于特长隧道。

六盘山隧道穿越地层岩性主要以中风化粉砂质泥岩为主, 岩石风化不均, 风化层厚度变化大, 围岩具有良好的可爆性。隧道暗洞衬砌均按新奥法原理设计和施工, 支护体系结构均为复合式衬砌, 即以锚杆、喷射砼、钢拱架等为初期支护, 二次衬砌采用模筑砼或钢筋砼, 并在两次衬砌之间敷设土工布及防水板。此外, 对浅埋、偏压、围岩较为破碎的洞口段落及断层破碎带采用超前支护辅助施工措施增强其安全性。

该隧道右线起止桩号为 K6+230—K15+710, 其中 A3 合同段 K9+900—K12+500 距离隧道洞

口较远, 随着施工的不断深入, 作业空间密闭, 作业循环性强, 粉尘量巨大, 通风结束后, 靠近掌子面粉尘浓度依旧较大, 严重影响作业安全、施工进度及作业人员的身体健康。加之六盘山隧道地质岩性的特点, 采用水压爆破能较好地解决上述难题。

2 水压爆破施工方法

2.1 施工工艺

施工工艺流程见图 1。

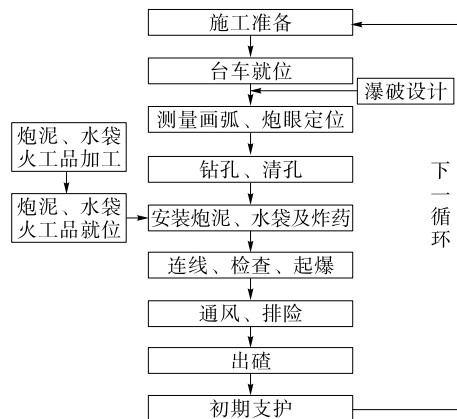


图 1 水压爆破施工工艺流程

炮泥和水袋制作对水压爆破的实施至关重要。该段隧道施工中, 炮泥使用黄黏土和黄沙以一定配比采用专用小型设备加工制造。黏土取自当地, 加工前先清除其中杂物, 并将大颗粒人工破碎, 再用喷雾器均匀洒水, 放置 2~3 d, 然后调整含水率至 10%~18%(根据不同土质), 最后经炮泥机加工成型炮泥。现场炮孔直径 40 mm, 炮泥加工直径一般

取 36~38 mm。

水袋依据炮口直径从塑料制品企业加工定做,现场采用水袋封口机进行灌水和封口。封口机使用前,排空水管内空气,然后将袋子分别安装在喷嘴上,水袋灌满后压口塑封。水袋灌装应尽可能饱满。

2.2 施工注意事项

(1) 爆破设计。根据隧道实际围岩情况制订合理可行的爆破方案。

(2) 测定炮眼位置。按爆破设计图准确测量开挖断面,描绘炮眼位置,为钻孔作准备。

(3) 技术培训。对制作水袋、炮泥的工人进行岗前培训,保证其操作熟练、制作的产品合格。

(4) 检查监督。配备专门的技术人员监督、检查炸药的安装、水袋及炮孔堵塞情况。

(5) 记录总结。记录施工数据,及时进行爆破分析,总结相关经验。

2.3 水压爆破设计

(1) 水压爆破的炮眼数量、炮眼深度、炮眼分布及起爆顺序等与常规爆破一样,区别在于炮眼装药量和装药结构不同,水压爆破减少了各炮眼的装药量,往炮眼中装入水袋并用炮泥回填堵塞。

(2) 装药结构。在原有无堵塞爆破炸药后面装水袋、炮泥堵塞孔口的装药结构(见图 2),从炮孔底部至炮孔口依次为水袋、药卷、水袋和炮泥。



图 2 炮孔的装药结构示意图

(3) 装药量。装药前,先用尺量出炮孔深度,根据实测炮孔深度计算装药量及水袋、炮泥长度,再将炸药、水袋和炮泥按顺序装填入炮孔中。需要说明的是,仅需在试验阶段准确测量每个炮孔的深度,实际施工时,装填结构参数确定后就不必再测量了。水袋、炮泥在炮孔中的长度比例为 1:2。

3 爆破效果分析

水压爆破与常规爆破的参数及效果对比见图 3、表 1、表 2。

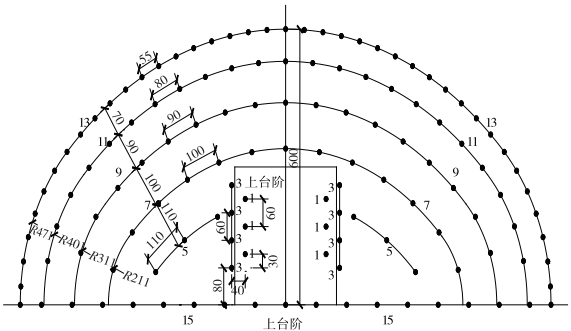


图 3 上台阶爆破参数(单位:cm)

根据隧道爆破试验结果,经过对常规装药结构进行调整,将无堵塞爆破替换为水袋炮泥堵塞爆破,不仅可提高炸药和炮孔利用率,还能大大降低隧道掘进成本和爆破后粉尘浓度,缩短排烟时间和出碴时间,提高开挖效率。具体表现如下:1) 单位装药量由原来的 0.62 kg/m³ 降低为 0.58 kg/m³;2) 爆破后粉尘浓度由原来的 17.3 mg/m³ 降低至 11.9 mg/m³;3) 炮眼利用率由原来的 86% 提高至

表 1 上台阶常规爆破参数及爆破效果

| 炮眼分类 | 炮眼数量/个 | 炮眼深度/cm | 单孔装药量/kg | 装填系数 | 装药量小计/kg | 项目 | 取值 |
|--------|--------|---------|----------|------|----------|-------------------------------|-------|
| 掏槽眼 1 | 6 | 300 | 1.8 | 0.60 | 10.8 | 开挖面积/m ² | 73 |
| 掏槽眼 3 | 8 | 400 | 1.6 | 0.40 | 12.8 | 炮眼密度/(个·m ⁻²) | 1.79 |
| 掘进眼 5 | 6 | 350 | 1.4 | 0.40 | 8.4 | 单位装药量/(kg·m ⁻³) | 0.62 |
| 掘进眼 7 | 13 | 350 | 1.2 | 0.34 | 15.6 | 爆碴块度/cm | 100 |
| 掘进眼 9 | 17 | 350 | 1.0 | 0.29 | 17.0 | 爆碴抛距/m | 36.7 |
| 掘进眼 11 | 23 | 350 | 1.0 | 0.29 | 23.0 | 爆破后粉尘浓度/(mg·m ⁻³) | 17.3 |
| 周边眼 13 | 41 | 350 | 0.6 | 0.17 | 24.6 | 循环时间/min | 1 110 |
| 底板眼 15 | 17 | 350 | 1.4 | 0.40 | 23.8 | 炮眼利用率/% | 86 |
| 合计 | 131 | | | | 136.0 | 循环进尺/m | 3.01 |

注:抛距是指碴堆的长度,个别飞石较远;循环时间是指钻孔到下循环钻孔的时间,包括初期支护耗时;粉尘浓度位于掌子面 50 m 处,数据开始采集时间为爆破后 1 min 以内。下同。

表 2 上台阶水压爆破参数及爆破效果

| 炮眼分类 | 炮眼数量/个 | 炮眼深度/cm | 单孔装药量/kg | 装填系数 | 装药量小计/kg | 项目 | 取值 |
|--------|--------|---------|----------|------|----------|-------------------------------|-------|
| 掏槽眼 1 | 6 | 300 | 1.8 | 0.60 | 10.8 | 开挖面积/m ² | 73 |
| 掏槽眼 3 | 8 | 400 | 1.6 | 0.40 | 12.8 | 炮眼密度/(个·m ⁻²) | 1.79 |
| 掘进眼 5 | 6 | 350 | 1.2 | 0.34 | 7.2 | 单位装药量/(kg·m ⁻³) | 0.58 |
| 掘进眼 7 | 13 | 350 | 1.2 | 0.34 | 15.6 | 爆碴块度/cm | 65 |
| 掘进眼 9 | 17 | 350 | 0.8 | 0.23 | 13.6 | 爆碴抛距/m | 25.8 |
| 掘进眼 11 | 23 | 350 | 0.8 | 0.23 | 18.4 | 爆破后粉尘浓度/(mg·m ⁻³) | 11.9 |
| 周边眼 13 | 41 | 350 | 0.6 | 0.17 | 24.6 | 循环时间/min | 1 110 |
| 底板眼 15 | 17 | 350 | 1.4 | 0.40 | 23.8 | 炮眼利用率/% | 94 |
| 合计 | 131 | | | | 126.8 | 循环进尺/m | 3.28 |

94%;4)循环进尺由原来的 3.01 m 提升至 3.28 m;

5) 爆碴块度由原来的 100 cm 减小至 65 cm;6) 抛

距由原来的 36.7 m 减小至 25.8 m。水压爆破前后开挖情况对比见表 3。

表 3 上台阶水压爆破前后开挖情况对比(钻眼深度 3.5 m)

| 时间 | 里程 | 综合进尺/m | 装量/kg | 断面方量/m ² | 时间 | 里程 | 综合进尺/m | 装量/kg | 断面方量/m ² |
|-----|-----------|--------|-------|---------------------|-----|-----------|--------|-------|---------------------|
| | K9+983.26 | — | — | — | | K9+998.30 | — | — | — |
| | K9+986.30 | 3.04 | 137 | 73 | | K10+1.60 | 3.30 | 129 | 73 |
| 水压爆 | K9+989.33 | 3.03 | 138 | 73 | 水压爆 | K10+4.86 | 3.26 | 129 | 73 |
| 破前 | K9+992.29 | 2.96 | 138 | 73 | 破后 | K10+8.14 | 3.28 | 130 | 73 |
| | K9+995.29 | 3.00 | 133 | 73 | | K10+11.41 | 3.27 | 125 | 73 |
| | K9+998.30 | 3.01 | 134 | 73 | | K10+14.71 | 3.30 | 123 | 73 |
| 平均 | | 3.01 | 136 | 73 | 平均 | | 3.28 | 127.2 | 73 |

根据表 3,计算得出水压爆破后单位岩石炸药消耗量由原来的 0.62 kg/m³ 降低至 0.53 kg/m³,炸药量节约 6.8%,进尺增加 0.09%,每循环炸药量平均节约 9.2 kg,循环进尺增加 0.27 m。表明水压爆破能切实提高炸药利用率,加快施工进度,提高工作效率。

4 经济效益分析

各项节约费用之和减去各项另外支出费用之和为应用水压爆破可节省的费用。经计算,采用水压爆破,可节约 231.3 元/延米(见表 4)。

六盘山隧道 A3 标段左、右线长 2 600 m(有拱架 800 m,无拱架 800 m),按上述分析结果计算,可节省费用 120.2760 万元;2 600 m 可少钻爆 71 个循环(2 600/3.01-2600/3.28=71),缩短施工时间46d

表 4 水压爆破经济效益分析 元/延米

| 项目 | 金额 | 小计 |
|-------------|--------|--------|
| 节省炸药费用 | 84.16 | |
| 节省人工费 | 179.45 | 278.28 |
| 节约电费 | 14.67 | |
| 制作炮泥、水袋的人工费 | 25.15 | |
| 水袋材料费用 | 15.24 | |
| 炮泥材料费用 | 1.22 | 46.98 |
| 电费 | 1.50 | |
| 机械维修折旧摊销费 | 3.87 | |

[$(1\ 100\times 41+690\times 30)/(60\times 24)=46$,其中1 110 min 为有拱架一循环时间,690min为无拱架一循环时间]。

(下转第 200 页)

素权重及专家自身权重,结合模糊综合评价,科学、有效地对高速公路改扩建工程人工功效估算系数进行了计算,为研究类似功效问题提供参考。

参考文献:

- [1] 卢洋. 建设工程施工效率损失索赔问题研究[D].大连:东北财经大学,2013.
- [2] 张春影,辛文,高平. 施工生产效率损失索赔依据和计算方法问题研究[J].项目管理技术,2015(9).
- [3] 洪微.工程量清单计价模式下的工程项目施工索赔管理研究[D].南昌:华东交通大学,2012.
- [4] 杨晓.我国建筑施工企业劳动生产率管理模型及应用研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [5] 杨玉胜,王卓.基于FAHP法的公路改扩建工程预算定额编制[J].公路与汽运,2015(1).

(上接第165页)

精度,但必须对测量结果进行误差分析,以进一步定量描述测量结果的精度。

参考文献:

- [1] JTG/T J21—2015,公路桥梁荷载试验规程[S].
- [2] 吴鹏,张永水,白嵩.倾角仪在桥梁挠度测量中的应用[J].西部交通科技,2009(5).
- [3] 黄振平,杨学山.桥梁挠度的新仪器:QY倾角仪[A].结构强度、振动、测试、理论与应用学术会议论文集[C].1992.
- [4] 杨学山.工程振动测量仪器和实验技术[M].北京:中国计量出版社,2001.
- [5] 杨建春,陈伟民.连管式光电挠度测量系统及其大桥

- [6] 李永福,陈起俊,刘京明.基于西藏地区施工机械降效数据处理模型与结果分析[A].《建筑科技与管理》组委会.2012年9月建筑科技与管理学术交流会议论文集[C].2012.
- [7] 王芳.层次一熵定权的灰色关联理论在工程评标中的应用[J].河南科技大学学报:自然科学版,2011,32(4).
- [8] 雷剑.高速公路改扩建工程精细化管理关键问题研究[D].西安:长安大学,2011.
- [9] 容信茹,刘小平,方聪.改扩建工程施工成本管理浅析[J].湖南交通科技,2012,38(4).
- [10] 李纲.基于熵的建设项目风险评价专家评定模型[J].黑龙江交通科技,2010(1).
- [11] 崔钢,黄珏.高速公路改扩建工程定额测定现场的优选方法[J].项目管理技术,2013(6).

收稿日期:2016-09-24

监测应用[J].光电子.激光,2006,17(3).

- [6] 金瑞云.现代桥梁挠度测量方法简析[J].技术与市场,2009(7).
- [7] 许娅娅,秦建平.全站仪观测桥梁挠度的探讨[J].西安公路交通大学学报,1999,19(3).
- [8] 钱寅泉.中小跨径桥梁挠度测试方法比较[J].中外公路,2012,32(4).
- [9] GB 50026—2007,工程测量规范[S].
- [10] 刘山洪,耿建莉.桥梁挠度精密水准测量方法探讨[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2007,26(4).
- [11] 边育生.桥梁挠度测量新方法的探讨[J].铁道工程学报,2008(7).

收稿日期:2016-08-31

(上接第190页)

5 结语

该文结合六盘山隧道A3标段工程对水压爆破进行试验研究,结果表明:水压爆破通过水袋爆破成雾吸附粉尘,可大大降低施工现场粉尘浓度,改善隧道施工环境;将难以被压缩的水作为介质,炸药能量通过水作用在岩石上,可加强冲击波作用效果,进而提高能量利用率,减少炸药量,创造较大的经济效益;还可提高循环进尺,缩短施工时间,保障工期。总之,水压爆破是一种节能、环保的工程爆破技术。

参考文献:

- [1] 高博.隧道水压爆破表面活性剂降尘技术研究[D].北

京:中国地质大学,2015.

- [2] 徐伟.水压爆破在铺子山隧道施工中的应用[J].公路与汽运,2014(3).
- [3] 方政英.水压爆破施工应用与研究[J].中国水运,2016(5).
- [4] 乔树伟.隧道掘进水压爆破施工技术[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2016,15(1).
- [5] 丁小平,黄嫚,史宝童,等.六盘山隧道地下水水质监测与分析评价[J].环境科学与技术,2015,38(增刊2).
- [6] 王威.地铁隧道节能环保水压爆破施工技术[J].隧道建设,2015,35(增刊2).
- [7] 李庆斌.隧道掘进水压爆破技术及应用分析[J].铁道建筑技术,2013(4).

收稿日期:2016-08-15