

高地应力深埋隧道超前预应力释放 卸压现场试验研究

苏 小 明¹， 方 中 杨²， 徐 应 中¹， 陈 行¹

(1.中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072;
2.成都理工大学 环境与土木工程学院,四川 成都 610059)

摘 要:川藏铁路拉林段某隧道因构造应力及埋深大,导致施工中岩爆频发,严重危害工人及设备安全。以此为研究背景,采用爆破卸压的方式进行了超前预应力释放现场试验,试验结果表明:爆破前后围岩最大应力降低幅度达 63%,爆破对最大主应力的降低起到了明显效果。另外,爆破前后最大主应力方向和最大主应力倾角有所变化,但变化值较小,属于缓倾。研究结果对后续工程施工具有指导意义。

关键词:岩爆;构造应力;爆破卸压;最大主应力;现场试验;预应力释放卸压;川藏铁路拉林段

中图分类号:TV554;TV51;TV523;[U25] **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)01-0070-03

Site Test and Study on Pressure Relief of Advance Prestress in Deep Buried Tunnel of High Ground Stress

SU Xiaoming¹, FANG Zhongyang², XU Yingzhong¹, CHEN Hang¹

(1.Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd, Chengdu, Sichuan, 610072; 2. College of Environment and
Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059)

Abstract: A tunnel in the Lasha-Linzhi Section of Sichuan-Tibet Railway has frequent rock burst during construction due to its large structural stress and buried depth, which seriously endangers the safety of workers and equipment. Based on this background, the site test of prestress release is carried out by means of blasting pressure relief. The test results show that the maximum stress of surrounding rock before and after blasting is reduced by 63%, and blasting has a significant effect on the reduction of the maximum main stress. In addition, the direction of the maximum main stress and the inclination angle of the maximum main stress has changed before and after blasting, but the change value is small, which belongs to gentle inclination. The research results have guiding significance for the subsequent construction.

Key words: rock burst; structural stress; blasting pressure relief; maximum main stress; site test; prestress release; Lasha-Linzhi Section of Sichuan-Tibet Railway

1 概 述

对于岩爆,众多学者早有研究。王兰生将因开挖卸荷引起周边围岩产生应力分异作用造成岩石内部破裂和弹性应变能的释放引起的破裂松动、剥离、弹射甚至抛掷性破坏现象统称为岩爆^[1]。汪泽斌(1988)根据国内外 34 个地下工程的岩爆特征,将岩爆划分为破裂松脱型、爆裂弹射型、爆炸抛突型、冲击地压型、远围岩地震型和断裂地震型六大类^[2]。1988 年,我国岩爆专家谭以安博士率先依据岩爆发生时的力学和声学特征、

破坏方式及其危害程度将岩爆烈度划分为弱、中等、强烈、极强四级^[3]。另外,陶振宇在前人研究的基础上并结合国内工程经验提出:当 $\sigma_c/\sigma_1 > 14.5$,不会发生岩爆;当 $\sigma_c/\sigma_1 \leq 14.5$,会发生岩爆,并将岩爆分为 4 级(吴德兴,等,2005),如表 1 所示(σ_c, σ_1 分别为岩石单轴抗压强度和最大主应力)^[4]。

根据挪威赫古拉公路隧道和我国岷江太平驿水电站引水隧洞等地下工程施工取得的实践经验,岩爆地段应尽量采用钻爆法施工^[5]。即利用以钻爆手段达到超前预应力解除、减少围岩表层应力集中现象的思想使岩体应力降低,从而达到

收稿日期:2020-01-22

预防岩爆的目的。笔者针对拉林地区某隧道施工中岩爆频发现象进行了超前预应力释放现场试验研究,所取得的研究结果可为川藏线后续类似工程提供参考。

表 1 陶振宇提出的岩爆分级表		
岩爆分级	σ_c/σ_1	说 明
I	>14.5	无岩爆发生,也无声发射现象
II	$14.5\sim5.5$	低岩爆活动,有轻微声发射现象
III	$5.5\sim2.5$	中等岩爆活动,有较强声发射现象
IV	<2.5	高岩爆活动,有很强的爆裂声

该隧道进口里程为 DK173+655,出口里程为 DK190+104,全长 16 449 m,其中单线隧道长 14 890 m,隧道最大埋深约 1 347 m。隧道围岩主要为花岗岩及微变质的片麻岩,强度最高达 210 MPa。因构造作用及埋深大影响,该段隧道所经地区工程地质条件极为复杂,为岩爆高发区。

该隧道斜井自 XDK0+810 开始掌子面开挖时出现爆裂声,发生岩块崩落;至 XDK0+610 后,掌子面爆裂声强度增加、岩体崩落次数增加,爆坑深度为 50 cm 左右,面积达 2~4 m²。XDK0+280 至当前掌子面里程 XDK0+170(Ⅱ级围岩,岩体密度为 2.66 g/cm³,强度 210 MPa,埋深 800 m)发生了强烈、剧烈岩爆情况:开挖后岩体劈裂声、闷响声剧烈,突发性岩体大量弹射、抛射,主要发生部位在拱部、拱腰以及掌子面掏槽处,岩爆爆坑深度可达 2 m 以上。距掌子面 20 m 处仍存在明显的岩体爆裂声响。针对以上实际情况进行了现场岩爆研究试验。

2 现场试验方案

2.1 试验现场的选址及爆破设计

根据以上情况,将试验现场选择在距发生过剧烈岩爆的斜井附近的主洞高应力洞段。为减小开挖对应力重分布的影响,选择在一侧预留的避车洞里作为应力测试试验和卸压爆破试验地点,桩号为正洞 DK186+020.94(应力测试孔中心位置),该处岩体为Ⅱ级围岩,岩体密度为 2.66 g/cm³,强度为 143.8 MPa,埋深 850 m。选择该处做为试验场地避免了试验与主洞开挖施工的相互影响。

为了在炮孔周围产生裂缝、形成一个与洞壁有一定安全距离和厚度的人工破碎带。爆破试验设计的各个参数为:炮孔数量 7 个、炮孔深度 5 m、炮孔直径 50 mm、不耦合系数为 1、起爆方式

为反向起爆、单孔装药量为 1.2 kg、与应力测试孔的间距为 1 m。

卸压爆破孔位布置情况和侧视图见图 1、2。

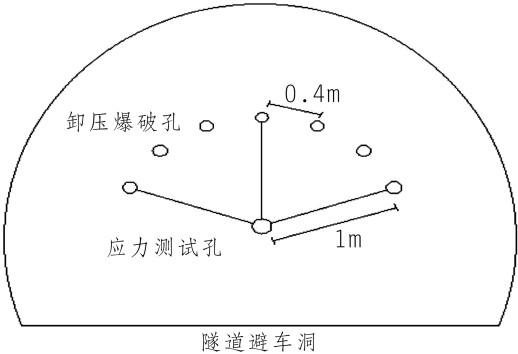


图 1 卸压爆破孔位布置图

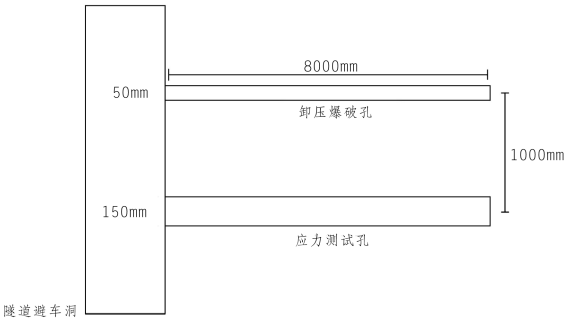


图 2 卸压爆破孔位侧视图

2.2 应力测试试验及卸压爆破试验设备

本次应力测试试验设备采用澳大利亚 ES&S 空心包体应变计,型号为 CSIRO HID,该应变计共三个应变花,每个应变花有 4 个应变片,可以在一个钻孔中测取三维地应力值。

爆破试验设备及材料:高能起爆器 2 台、风动凿岩机(型号 T26)两台、取芯钻机(型号 XY-2 型回钻机)1 台、乳化炸药 8 kg、空压机 1 台。

2.3 卸压爆破试验步骤

(1)钻爆破孔。用气腿式风动凿岩机钻炮眼,孔径 50 mm,深 5 m,孔数 7 个,炮眼间距 1 m。

(2)验 孔。由爆破队长指派的验孔人员按照爆破设计进行逐孔验收;对于不合格的孔,要依据工程技术人员的意见及时采取补救措施。

(3)装 药。装药时应规范,按技术设计要求操作,在装药过程中,边装药边用(木、竹)炮棍或炮绳进行药高测量,避免出现下部堵孔现象。

(4)填 塞。装药完毕,采用钻孔周围的钻渣实施炮孔填塞,不应使用石块和易燃材料填塞。

(5)起爆。起爆工作由爆破队长指定的、经验丰富的爆破员担任。起爆前,对起爆器等器材再次进行详细检查,确保起爆的顺利实施。起爆实施人在接到警戒负责人口令并确认安全可靠后实施起爆。

(6)爆后检查。爆后检查工作由爆破队长与

经验丰富的爆破员负责,待起爆烟尘散尽后进行检查。

3 爆破前后的结果及对比

在爆破孔钻眼前,先用 XY-2 型回转钻机施作应力测试孔,深度为 5 m,安装空心包体进行应力测试,地应力测试计算成果见表 2。

表 2 爆破前地应力测试成果表

测试部位	岩性	地应力参数	最大主应力 σ_1	中间主应力 σ_2	最小主应力 σ_3
		量值 /MPa	30.7	20.8	17.7
里程 186+020.94	花岗岩	方向 /°	250	145	25
		倾角 /°	31	23	49

注:主应力方向为主应力的投影方向,以象限角表示;倾角“—”表示俯角,正角为仰角。

应力测试点采样抗压强度 σ_c 为 143.8 MPa,爆前判别系数 $\sigma_c/\sigma_1=4.68$,属于中等岩爆等级。经过卸压爆破后,爆前判别系数 $\sigma_c/\sigma_1=12.5$,属于低岩爆等级。

根据爆破试验设计的爆破参数及现场围岩情况,对于今后情况类似隧道的爆破卸压参数设计可以考虑为:炮孔直径 D 为 50~70 mm、炮孔长度为 5~8 m。炮孔间距最好为: $20\text{ cm}\leq d\leq 70\text{ cm}$ 。不耦合系数适宜取值区间为: $1<K<2.5$ 。

4 结 语

由上述对比参数可以得到以下结论:

(1)爆破前最大主应力为 30.7 MPa,爆破后最大主应力值为 11.5 MPa,最大应力降低幅度达 63%,爆破对最大主应力的降低起到了明显效果。

(2)爆破前测点最大主应力 σ_1 的方向为 250°,爆破后测点最大主应力 σ_1 的方向为 275°,说明爆破卸压对围岩最大主应力方向有所影响,

(上接第 65 页)

4 结 语

(1)超前钻孔对围岩应力的影响呈减小的趋势,从而使双护盾 TBM 开挖隧道时其高地应力对其影响能够减小。

(2)超前钻孔能够对围岩产生影响的范围为超前钻孔半径的 5~6 倍左右,超过该范围虽然超前钻孔对围岩应力有影响,但效果不明显。所取得的数据可为今后类似高应力、提前释放部分应力、降低高地应力参考。

参考文献:

[1] 张雷,超前钻探在隧道施工中的应用[J].科技传播,2012,4(1):58-59.

[2] 韦猛,赵桦.深埋隧道超前应力释放参数影响性研究[J].煤矿安全,2019,50(3):38-43.

[3] 高攀,张文新,邹翀.超前大钻孔应力释放方法在高地应力软岩隧道中的应用效果分析[J].隧道建设,2013,33

但影响较小。

参考文献:

[1] 王兰生,李天斌,徐进,徐林生,等.川藏公路二郎山隧道围岩变形破裂的调研与监测[C].四川省公路学会隧道专委会 98 年学术讨论会论文集,1998.

[2] 汪泽斌.岩爆实例、岩爆术语及分类的建议[J].工程地质,1988,(3):32-38.

[3] 谭以安.岩爆烈度分级问题[J].现代地质,1992,38(5):450-456.

[4] 左文智,张齐桂,等.地应力与地质灾害关系探讨[C].第五届全国工程地质大会文集.北京:地质出版社,1996,31~36.

作者简介:

苏小明(1969-),男,四川射洪人,正高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
方中杨(1992-),男,河南禹州人,硕士,专业:隧道与地下工程;研究方向:城市地铁盾构施工技术;
徐应中(1973-),男,四川巴中人,正高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
陈行(1985-),男,四川威远人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)

[10]:820-825.

[4] 雷学义,褚晓威.高应力巷道迎头超前钻孔卸压模拟分析[J].煤矿安全,2015,46(11):175-178.

[5] 韦善阳,陈学习,王磊,胡家立.瓦斯压力对超前钻孔有效排放半径影响数值模拟研究[J].煤炭技术,2015,34(4):137-139.

[6] Meng Wei, Ningxin Zhang, Yuan Tong. Analysis of Abnormal Use of Cement Paste in Perfusion during Tunnel Construction using TBM[J]. International Journal of Georesources and Environment,2018,Vol4,No(2).

作者简介:

徐应中(1973-),男,四川巴中人,正高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
文俊(1996-),男,四川成都人,在读硕士研究生,研究方向:地下空间;
李超(1986-),男,河南鹤壁人,高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;
陈秉政(1968-),男,四川资阳人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)