

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.005

复杂岩体回填料爆破技术

黄雄,曹进军,周桂松,郝亚飞,朱宽,冷振东,田水龙,张程娇

(中国葛洲坝集团易普力股份有限公司,重庆401121)

摘要:科威特南穆特拉城基础设施建设项目要求爆破后粒径小于0.4 m,但多数区域存在“软硬夹层”地质构造,采用传统爆破方法,极易产生大块,爆破质量难以满足要求。为改善爆破质量,节约综合施工成本,加快施工进度,提出了深浅孔结合正方形布孔技术:深孔周围都是等距的浅孔,浅孔周围都是等距的深孔,使浅孔正常爆破作用区域与深孔爆破减弱区域形成互补,并设计出相应的起爆网路,最大化的利用破碎能量,实现破碎能量的均衡分布,并根据不同岩石可爆性制定个性化爆破设计方案。经现场试验优化,得出粒径小于0.4 m的爆破料比例超过90%的爆破参数。

关键词: 爆破粒径; 软硬夹层; 深浅孔; 破碎能量; 爆破设计

中图分类号: TD824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)02-0026-04

Blasting Technology for Backfill in Complex Rock Mass

HUANG Xiong, CAO Jin-jun, ZHOU Gui-song, HAO Ya-fei, ZHU Kuan,
LENG Zhen-dong, TIAN Shui-long, ZHANG Cheng-jiao

(CHINA Gezhouba GROUP Explosive Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: An infrastructure construction project in the city of South Mutla in Kuwait requires the fragment size to be less than 0.4 m after blasting. However, in most areas there are "hard and soft interlayers". Using the traditional blasting method, it is prone to produce large blocks, and it is difficult to make the blasting quality meet the requirements. In order to improve the quality of blasting, save comprehensive construction costs, and speed up the construction progress, the technology of deep holes combined with shallow holes in square layout is proposed. Each deep hole is surrounded by equidistant shallow holes, and each shallow hole is also surrounded by equidistant deep holes. Thus, the normal blasting area of shallow holes and the weakened area of deep holes are complementary. And the corresponding initiation network is designed to maximize the use of crushing energy and achieve a balanced distribution of such energy. Based on the blastability of different rocks, a personalized blasting design test is developed. Optimized by field tests, it is found that the blasting parameters can be obtained to make the size of 90% of the fragments after blast less than 0.4 m.

Key words: blasting particle size; soft and hard sandwich; shallow hole; breaking energy; blasting design

在露天爆破中,爆破后的大块率是衡量爆破效果好坏的重要指标之一,过高的大块率将直接增加二次爆破的成本,特别是在爆破料直接回填的项目

中,二次爆破不仅增加爆破成本,同时也严重影响施工进度,因此,降低爆破大块率,对露天爆破具有重要的意义。

针对降低大块率,改善爆破效果,国内的学者主要从爆破参数、布孔方式、起爆网路这三个方面进行优化。赵强、张树伟、牟延波等结合现场实际情况分别通过调整炮孔布置、延期时间等优化爆破参数,取

收稿日期:2020-01-19

作者简介:黄雄(1993-),男,湖北武汉,硕士研究生,从事爆破理论及其应用研究,(E-mail)huangx@expl.cn。

通讯作者:曹进军(1988-),男,湖北天门,硕士研究生、工程师,从事爆破理论及其应用研究,(E-mail)824426964@qq.com。

得了良好的爆破效果^[1-3]。张平等在中深孔爆破中将起爆网路改变为V型逐孔起爆网路,达到改善爆破效果的目的^[4]。在布孔方式方面,国内学者提出深浅孔结合布孔方式,可明显改善爆破效果。任少峰、曹进军等通过理论分析、模型实验结合现场应用,验证了深浅孔结合布孔方式的可靠性^[5-10],尤其是在“软硬夹层”的特殊地质构造中可取得明显效果,但在现场使用时,还需依据实际情况而定。

1 工程概况

科威特南穆特拉城基础设施建设项目(以下简称科威特项目)于2018年3月开始采用爆破施工,由于项目工期短,投建垫层料的破碎加工系统经济性差,因此需要爆破后粒径尽量满足回填的要求,粒径小于0.4 m的爆破料需超过80%。根据揭露的岩性与爆破后的块度分布来分析,虽然岩体的力学强度不高,但呈很强的塑性特征,难以形成爆破裂隙,可爆性不好,极易形成大块。同时,多数区域存在“软硬夹层”地质构造(如图1~图2所示),尤其是顶部容易产生大块。

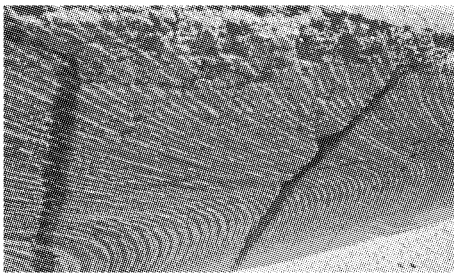


图1 竖向软硬夹层

Fig. 1 Vertical soft and hard interlayer

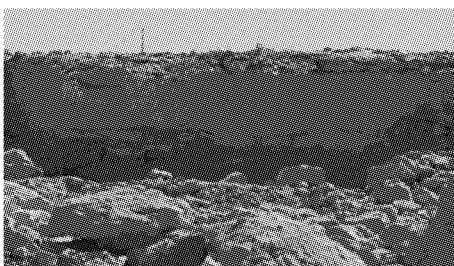


图2 横向软硬夹层

Fig. 2 Transverse hard and soft interlayer

2 爆破优化方案

由于科威特项目多数区域存在“软硬夹层”的地质构造,采用传统爆破方式,无法使爆破料满足直接回填粒径要求,仍需进行二次爆破,这将带来很高的爆破成本压力,同时也严重影响土石方爆破进度,

因此本文结合国内学者的研究成果和科威特项目实际情况,针对现场岩性复杂、爆破料直接回填等高难度技术问题,围绕“布孔、网路”等关键工序进行系统研究,确定满足施工要求的布孔方式、起爆网路以及爆破参数。

2.1 深浅孔结合的正方形布孔技术

深浅孔结合的布孔技术原理为:深孔药柱爆炸后,随着冲击波能量的消耗,逐渐衰减成应力波,并向台阶顶部周围传播,同时浅孔药柱起爆的应力波在堵塞端进行叠加,应力加强,使堵塞段裂纹进一步扩展,同时在爆生气体的膨胀挤压及气楔作用下堵塞段裂隙继续扩展和延伸,使堵塞段破裂更厉害,减小堵塞段大块的产生。深孔解决正常装药段岩体破碎问题,而浅孔解决堵塞段岩体破碎问题,这样既解决了堵塞过短造成飞石危害的问题,也有利于充分破碎孔顶大块。

根据利文斯顿爆破漏斗理论,深孔爆破作用减弱区位于深孔正上方,而采用图3所示“田字格”布孔方式,深孔周围都是等距的浅孔,浅孔周围都是等距的深孔,使浅孔正常爆破作用区域与深孔爆破减弱区域形成互补,真正实现了碎破能量的均衡分布,使岩石破碎更均匀,有效改善整个爆区爆破效果。

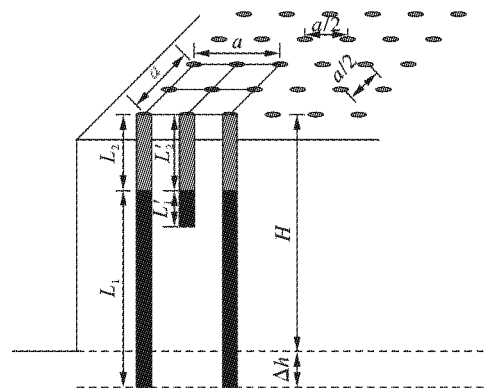


图3 深孔与浅孔相结合的正方形布孔

Fig. 3 Square hole layout combining deep holes and shallow holes

科威特项目采用深浅孔结合正方形布孔技术的设计参数为:深孔孔深3.5 m,浅孔孔深1.3 m,孔网参数为2.5 m×2.5 m,炮孔直径76 mm。经现场应用,有效的改善了爆破效果,使爆破后的块度更均匀,同时解决了堵塞过短造成飞石危害的问题,提高了现场的安全性,也使炮孔上部的大块有效减少。

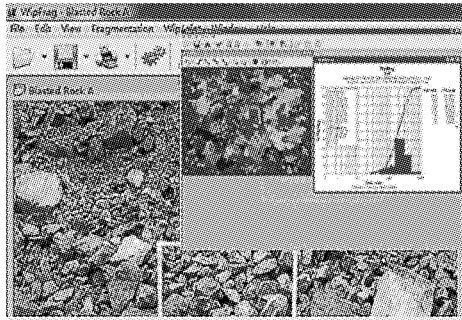
2.2 起爆网路优化

2.2.1 孔排间延期时间优化

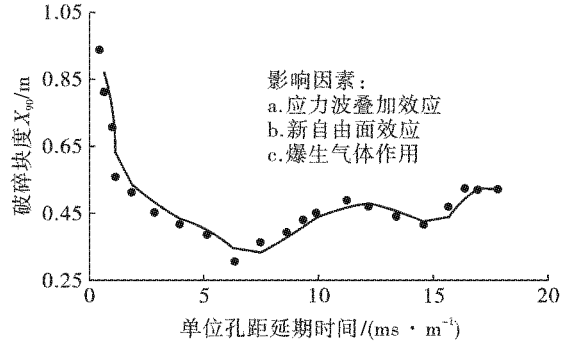
项目前期采用孔间延期时间25 ms、排间延期时间67 ms的雷管进行网路连接,由于岩性偏硬、孔网

参数过小,该延期时间过大,不利于应力波的叠加和破碎岩体间的二次碰撞挤压。为研究起爆时间对爆破岩石破坏和破碎的影响,采用 WipFrag 爆破块度图像分析系统对爆破后的爆堆进行块度分析后,如图 4 (a)所示,统计得到爆破平均块度 X_{50} 与单位孔距延期时间的关系曲线,如图 4(b)所示,分析得出的最优延

期时间约为 6.5 ms/m。王志华通过引进澳瑞凯公司高精度导爆管使用逐孔起爆技术进行现场试验^[11],认为单位孔距最优延期时间为 3~8 ms/m,这与本文试验得到的 6.5 ms/m 的数值基本一致。针对本项目的孔网参数 2.5 m × 2.3 m,将孔排间延期时间优化为 17 ms、42 ms,显著改善了爆破效果。



(a) WipFrag 爆破块度图像分析系统
(a) Fragmentation analysis system of Wipfrag



(b) 平均块度与单位孔距延期时间的关系
(b) Relationship between average size and delay time

图 4 最优延期时间确定

Fig. 4 Determination of optimal delay time

2.2.2 网络优化

科威特项目原起爆网路为排间起爆方式,炮孔密集系数为 1,抵抗线为孔间距 2.5 m;采用深浅孔结合正方形布孔技术后将起爆网路优化为如图 5 所示的起爆网路(图中红色炮孔为深孔,绿色炮孔为浅孔,图中数字为深孔地表传爆时间),即深孔起爆方式为如图 5 中虚线所示的斜线型起爆方式,该起爆方式将炮孔密集系数调整为 2,抵抗线为 1.76 m,约为孔间距的 0.7 倍,并使炮孔多增加一个自由面,最大化利用破碎能量,有效降低爆破单耗;同时起爆后两侧同段孔产生相向的抛掷作用,使爆破后的岩

体在抛掷过程中产生碰撞,使岩石发生二次破碎,达到改善爆破效果的目的。

针对临空面不同的工况下,分别设计有利于岩体撞击和挤压的中间斜线起爆网路(如图 5 所示),保证爆破时岩体的充分挤压。经现场应用,采用如图 5(a)所示的起爆网路起爆时,爆堆松散性较差,爆堆抛掷距离短,但爆破效果明显改善,可产生较好的爆破块度。采用如图 5(b)所示的起爆网路起爆时,所需单耗较高,同时爆后爆堆高度较高,但岩体的充分挤压,产生了良好的岩石块度,爆破效果明显改善。

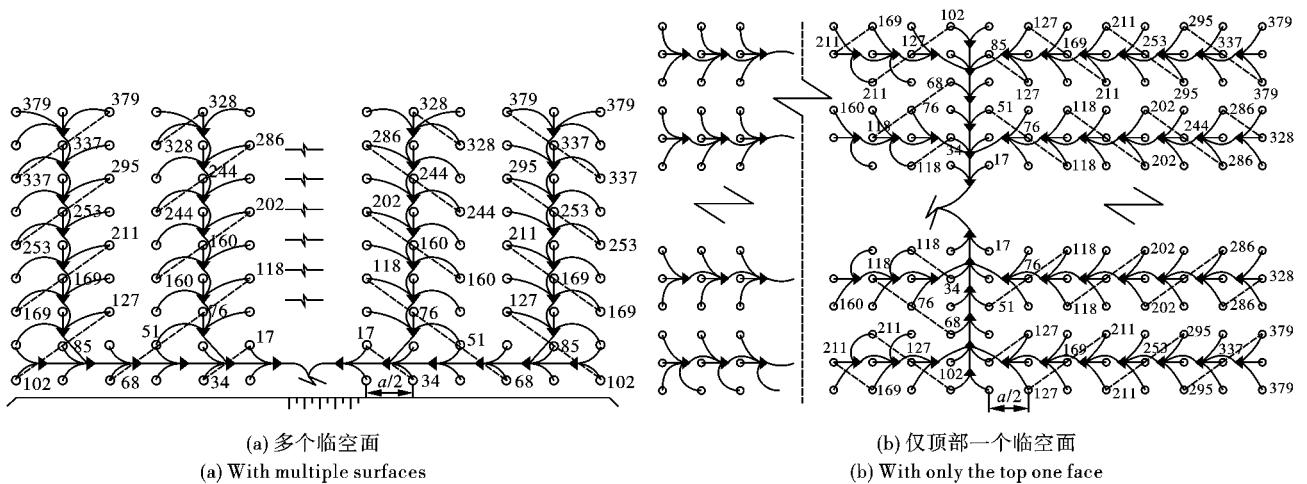


图 5 中间斜线起爆网路(单位:ms)

Fig. 5 The middle diagonal explodes the network(unit:ms)

2.3 爆破参数优化

根据项目前期 2.5 m × 2.3 m 的孔网参数,针对易爆岩体、中等可爆岩体、中等难爆岩体分别制定了 2.5 × 2.5、2.3 × 2.3、2.1 × 2.1 的个性化参数设计方案,其中易爆岩体炸药单耗约 0.56 kg/m³;中等岩体炸药单耗约 0.67 kg/m³;难爆岩体炸药单耗约 0.78 kg/m³,炮孔直径 76 mm,同时为改善边孔爆破效果和勘探判定地质情况,在爆破前沿炮区轮廓线处设计加密孔,根据不同岩石可爆性制定个性化爆破设计试验方案进行现场试验。

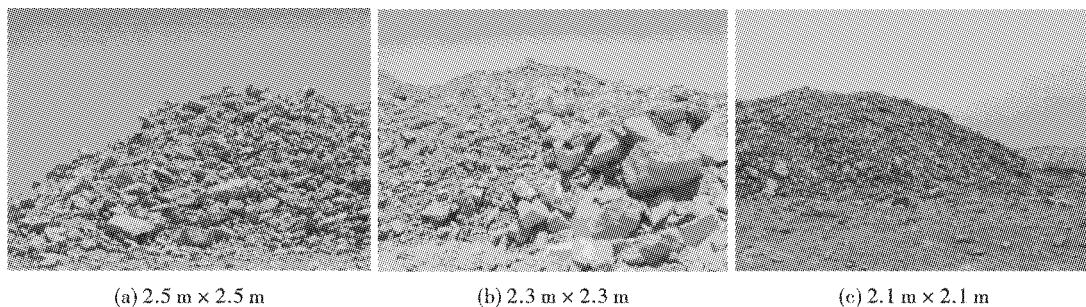


图6 第一试验区域不同孔网参数下的试验效果

Fig. 6 The first test area test results under different spacing-burden parameter

通过第二试验区域钻孔作业、爆后效果及后续挖装中对比发现:一是该区域上部约有 1.5 ~ 2.0 m 岩层,中部为砂层,下部为岩层;二是因软弱夹层的存在,堵塞长度过长,炸药爆炸时作用在岩石中的能量较少,爆破后大块很多;三是减少了堵长,爆破效果要略优于原有爆破效果,但大块率依然很高,如图 7(a)所示。经现场多次试验,不断调整参数后,爆破效果如图 7(b)所示,明显优于前期爆破,岩石破碎度较均匀,但表面有部分大块,仍不满足回填要求,因此继续进行试验,继续减少堵塞长度 20 cm 后,表面大块率明显降低,使粒径小于 0.4 m 的爆破料比例超过 90%,爆破料基本上可以满足回填要求,并得出最优爆破设计参数:炮孔直径 76 mm,孔网参数 2.1 m × 2.1 m,深孔孔深 3.5 m,浅孔孔深 1.3 m,堵塞长度 0.8 m,单耗 0.84 kg/m³。

3 结论

针对现场岩性复杂、爆破料直接回填粒径要求等高难度技术问题,围绕“布孔、网路”等关键工序技术进行系统研究与优化,得出如下结论:

(1)采用深浅孔结合正方形布孔技术,并使深浅孔均匀相间,可最大化的利用破碎能量,并实现破碎能量的均衡分布,使爆破后的块度更均匀,改善爆破效果,有效的解决了“软硬夹层”的地质构造顶部

为使爆破后粒径尽量满足回填的要求,分别在两个试验区域使用上述技术开展了现场试验,第一试验区域试验效果如图 6 所示,通过爆后效果可以看出:2.5 × 2.5 的参数相对于前期爆破有大幅度改善,但有部分爆破粒径大于 0.4 m,还无法完全满足直接回填要求;2.3 × 2.3 的参数左边爆破效果较好,由于右边岩性的变化,导致右边大块仍然较多;2.1 × 2.1 的参数爆破效果要优于前两种参数,爆堆松散,粒径均匀。

易产生大块的问题。

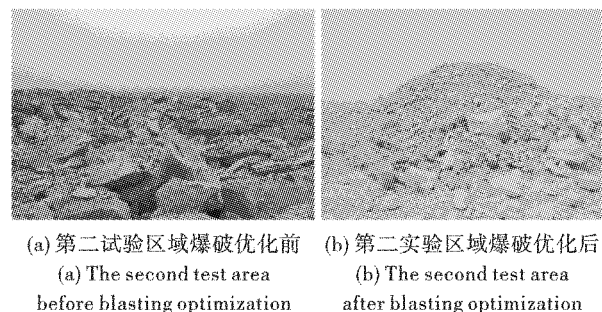


图7 第二试验区域试验效果

Fig. 7 The second test area test results

(2)根据以往项目经验将孔排间延期时间优化为 17 ms 和 42 ms,并针对深浅孔结合正方形布孔技术设计出最大化利用破碎能量的起爆网路,将深孔起爆方式调整为斜线型起爆方式,改善爆破自由面,提高爆破挤压效果,使岩石破碎更为充分。

(3)采用深浅孔结合正方形布孔技术,并设计出相应的起爆网路,根据不同岩石可爆性制定个性化爆破设计方案,进行现场试验优化后,得出满足回填要求的爆破参数,可为同类项目提供参考。