

露天复杂环境条件下降低爆破大块率的研究

Research on Reducing Blasting Bulk Rate in Complex Open Environment

付其顿 李静 束阁 李勇

Qidun Fu Jing Li Ge Shu Yong Li

中铁三局集团华东建设有限公司 中国·江苏南京 210000

China Railway Third Bureau Group East China Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

摘要: 几乎所有露天爆破都面临着降低爆渣大块率的问题, 结合本工程复杂环境下深路堑的爆破经验, 通过对现场实践分析总结, 详细分析产生大块的原因, 并指出露天深孔爆破过程中出现大块率高的原因以及有针对性地对其降低措施, 对今后类似的周边环境复杂露天深孔爆破效果有一定的指导意义。

Abstract: Reduce the blasting bulk rate is almost all the open blasting needs to deal with the problem, combined with the blasting experience of deep cutting under the complex environment of the project, analyzes the cause of the field blasting and reduce the large rate targeted measures, to similar surrounding environment of complex open hole blasting effect in the future.

关键词: 大块率; 露天深孔爆破; 复杂环境

Keywords: large block rate; open air deep hole blasting; complex environment

DOI: 10.12346/etr.v4i9.7097

1 引言

台阶深孔爆破作业是在露天复杂环境条件下扩堑开挖首选的生产工艺。爆堆大块率和炮孔根底爆破效果情况是衡量爆破是否成功的最重要指标, 铲装运设备的施工效率和损耗率, 对一般整个高速铁路扩堑取土施工进度和技术经济指标有重大影响。过高的爆堆岩石块率增加了二次机械破碎工作量, 增加了爆破成本, 并影响铁路扩堑取土开挖生产的进度, 同时也增加了碎石加工机械的成本维护; 爆渣大块破碎在这一过程中, 碎石飞溅对现场破碎、铲装机械及操作人员的安全也是存在一定安全隐患。因此, 降低露天深孔爆破大块率, 对高速铁路深路堑开挖的进度、质量、安全、成本均具有十分重要的意义。

2 工程概况

本工程主要岩石处于强弱风化的花岗斑岩, 从硬度来分属于软石、次坚石^[1], 位于湖州站至湖州东区间, 在宁杭高速公路、申嘉湖高速公路、104国道和湖州南高速收费站形成的合围区内, 路基线路总长度 296.01 m, 宽度 260 m, 两侧 5 级 8 m 高边坡, 坡比 1 : 1.25, 开挖最大高差 80 m, 土石方开挖量 235 万 m³。场区北侧及西侧、南侧附近因地方采石, 原始地貌破坏较大, 多形成陡坎、断崖、危石、

孤石较多。开挖区域周边 300 m 范围内存在寺庙、信号塔、104 国道等保护对象, 500 m 范围内存在长深高速(收费站)、申嘉湖高速公路、加油站等重要工程设施, 地质和周围环境相当复杂, 爆破扩堑取土开挖施工的安全风险极高。本庄树下路基工程扩堑取土开挖施工部分采用 90/115 mm 孔径、15 m 台阶高度的中深孔爆破方式, 即多排孔的毫秒微差起爆, 使用 2# 岩石乳化炸药, 单耗控制在 0.35 kg/m³。

3 产生大块的部位及原因

3.1 易产生大块的部位

结合每次爆破作业的情况及大量露天爆破工程实践资料, 露天深孔爆破高大块率存在的主要位置是: 在侧边炮孔和台阶坡面之间; 在同一工作面或地质复杂的地方, 如节理裂隙, 软石和硬石之间的边界; 爆破区最后一排的边界; 孔排网间距过大的中间部分; 未装送药的堵塞部位等。

3.2 大块产生的原因

①炮孔布置、底盘抵抗线、穿孔质量、钻孔超深、装药结构、装药量、爆破方法等爆破参数不能满足爆炸能量均匀的分布。例如, 一是炮孔的排列布置方式取决于炮孔的直径、台阶的高度、岩石的性质特征、炮孔的孔、排间距可以随时调整, 若间距过大的孔排网无法炸碎中间位置的岩石, 从而导致产生大块; 二是引入微差毫秒爆破, 微差毫秒间隔时间

【作者简介】付其顿(1994-), 男, 中国江苏南京人, 本科, 助理工程师, 从事土木工程研究。

与岩体的性质和最小抵抗线有关。矿石越硬，间隔越短，最小抵抗线越大，间隔越大。根据实践经验，底盘抵抗线如果过大边会产生大块及根底，如果过小会导致岩石过于破碎，易出现飞石等安全事故，因此，调整每个孔中药包分段之间的时间间隔，以及每个孔、排距之间的时间间隔，将对爆破作业岩石爆渣块率效果是否合格产生重大影响。

②本路堑工程属于历史遗留矿山，周边环境复杂且裂隙发育、多处地段存在夹层岩石，针对爆炸能量的分散情况分析，夹层岩石易产生吸收爆炸能量及泄散爆炸能量的作用，从而导致爆炸应力波减少，不能够满足岩石被破碎成合格块率的基本能量，从而产生大块。

③由于不合理的选用爆破参数包括炸药单耗、单孔装药量、填塞长度、起爆顺序及延期间隔时间等因素，导致孔排距过大影响中间部位的岩石所需要的爆破能量不足，甚至影响了原来的抵抗线，从而导致原来设计的炸药量不能满足破碎合格块率大小的岩石药量。结合众多爆破施工经验，通常单孔爆破需要选择合理的装药区，然后结合装药区的临近参数确定孔排距网。当孔排网格参数太小时，单位炸药用量不变，装药重心下降，导致填塞长度过长，孔口岩石所需要能量削弱，则导致孔口爆破后易出现大块的现象；当孔排间距参数过大时，容易在药柱重心处产生较大的块体^[2]。

④钻孔质量不符合设计要求和爆破生产出现大块率现象的主要原因之一。当钻孔区域不是很平坦，没有钻机作业停放条件时，作业人员便根据现场情况调整钻孔位置，导致并不是按照原设计要求进行布置孔位，因而钻孔质量不能达到设计要求，爆炸效果不是很理想，导致大块率增加。装送药、填塞炮孔过程中，个别施工人员并不能严格根据技术交底去执行作业，操作随意，导致装药填塞质量不能得到保障，从而不能满足设计意图，最终爆破效果不佳产生大块。

⑤沪苏湖铁路庄树下路堑工程项目地处浙江省湖州市，雨水期长。雨水期间，钻机操作人员打孔作业时，炮孔成孔后保护意识不强，导致炮孔内可能存在流入部分积水，存在影响炸药作用力分布不均的隐患，同时水的浮力也会削减爆炸能量，所以炮孔底部会出现大块率现象。

4 降低大块率的技术措施

本项目爆破作业过程中降低不合理大块率的措施有多方面，如根据现场实际情况调研岩石纹理走向及地质条件；引入了一种不耦合的装药方法，以优化爆破设计参数；选择合理的起爆顺序和爆破穿孔参数设计等。

4.1 详细调查岩体地质情况

在开始设计爆破参数之前，必须仔细和详细地研究爆破区域的地质条件，尤其是边孔与台阶坡度分布区域，炮孔堵塞位置，软硬岩过渡位置，复杂的地质位置，如岩石节理裂隙发育。根据该区岩石的主要物理力学性质，如抗拉强度、抗压强度、岩石密度、硬度、波阻抗、地质构造等对爆破区

进行划分。关于地质结构，应注意确定基岩断层带的方向、走向、倾角和宽度，以及裂隙分布和裂隙发育状况等可爆性差的区域。根据收集的实际情况数据，从爆破技术的角度选择最佳的火工品种类，确定最合适的爆破设计参数，如孔网参数、炮孔单耗、装药结构、起爆顺序、延期时间、装药位置等措施来提高爆破质量。考虑到岩石的波阻抗特性、岩石乳化炸药爆炸后传递给岩石的总能量以及这种能量传递给岩石的有效因素，选择火工品与岩石的波阻抗特性相类似时，爆破后岩石的爆堆效果可以达到较好的块率。

4.2 合理布孔

根据本工程多次的爆破实践经验总结，应根据台阶高度确定合理的布孔参数，如抵抗线、孔排间距和炮孔超深等等^[3]。抵抗线是影响爆破大块率的重要参数。如果抵抗线太小，会产生飞石，并导致存在潜在的安全风险；抵抗线过大会出现大块与根底；孔距（a）、排距（b）的布置是影响爆破效果的第二重要参数，多次爆破经验总结硬岩适宜选择小的孔距和排距，大孔距和排距可用于松软、破碎和夹层的岩石，即在孔、排距区域面积（a×b）不变的条件下，适当减小排距，增加孔距，可大大提高爆破质量。钻孔深度h为设计超台阶框架标高的孔深，它作用主要是降低炮孔炸药重心的位置，有效克服台阶底部产生的阻力，避免甚至减少台阶底部的根底，形成平坦的根底基面。结合多次爆破经验总结，超深不能太大，这不仅增加了钻孔成本和炸药成本，还降低了炮孔内的炸药的高度，导致台阶顶部出现大块，其炮孔超深h可按照经验公式选取： $h = (0.15 \sim 0.35) w$ ；采用梅花桩形布孔形式，可以在爆破时能够在岩体内部提供最优的能量分布，从而降低爆破的大块产生率。

4.3 采用小抵抗线大孔距

在一定布孔参数基础上实现小抵抗线大孔距爆破的目的可以通过改变起爆顺序来实现，使用这样的布孔参数可以实现以下效果：①大孔距爆破能使炮孔之间裂隙不过早贯通，因此，可以延长相邻爆炸孔之间爆炸能量的停留时间；②可以增大受力面的作用，为下一排孔形成新的抵抗自由面可以满足沿着抵抗线方向的应力均匀传播从而减少大块。

4.4 合理的炸药单耗

岩石爆性、炸药特性、自由面条件、起爆方式和质量要求是影响单位炸药消耗量的主要因素。单耗偏小时，能量不足，导致大块率较高；炸药单耗偏大时爆堆块率较小且抛掷范围大容易产生飞石安全隐患且爆堆不集中挖装不便。因此，为了选择一个合理的单位炸药消耗量，通常需要多次或长期的生产实践进行验证。

本工程炸药单耗的选择主要取于庄树下岩体性质及现场实际爆破条件，根据经验公式和实践经验体积装药量公式： $Q = ahwq$ 。式中，Q为每孔装药量kg；a为孔距m；h为台阶高度m；w为底盘抵抗线m；q为单耗 kg/m^3 。爆破参数选取见表1。

表1 爆破参数选取

爆破参数	开挖高度	钻孔直径	超深	孔深	最小抵抗线	孔距	排距	设计炸药单耗	单孔装药量	填塞长度
代号	H	D	h	L	W	a	b	q	Q	L2
单位	m	mm	m	m	m	m	m	Kg/m ³	Kg	m
	11	115	1	12	3.4	4.4	3.4	0.35	58	4.2
	12	115	1	13	3.6	4.6	3.6	0.35	70	4.4
	13	115	1	14	3.8	4.8	3.8	0.35	83	4.6
	14	115	1	15	4	5	4	0.35	98	5
	15	115	1	16	4	5	4	0.35	105	5

装药结构根据实际情况灵活运用连续装药和间隔装药

4.5 装药方法

根据现场矿岩特征性质、矿岩夹层等情况，通常作业设计人员会选择不一样的装药方法。爆破时要避开地层较弱的地带，在坚硬矿岩中底盘抵抗线较小时应选择间隔装药结构，把炸药分成若干份，装在爆破阻力最高的地方，以达到炸药能量均匀分布在矿石中；但是，装药间隔的数量不应太大，在抵抗线小的地方预留1~2 m不装药，用钻石粉填充或者PVC管^[4]作为炸药隔断，上下段同批同段同时起爆雷管，以保证爆破不产生盲炮孔口充填长度必须保证4 m以上，在地质条件复杂时，选择如断层、夹岩部等薄弱部分不装药。在基岩较为完整的地区，引用耦合加强装药用于孔底、不耦合装药用于孔上部、孔顶部采用间隔装药的方式，经工程实践验证，可有效降低大块的产生率；在多排孔爆破中还可以采用炮孔间交错间隔装药，为了改善岩石和岩石中爆炸的能量分布，宜对每个孔的装药段进行错开，以达到整个炮区有较好的破碎效果。

4.6 填塞长度

提高爆破效果，提升炸药利用率，降低大块率的目的必须严格按照技术交底执行进行填塞长度和填塞质量控制，一般情况下，底盘抵抗线的0.7~1.0倍这段孔长度，是炮孔的填塞长度。合理的填塞长度可以避免炮孔内爆炸造成的能量损失，并尽可能增加炮孔的装药量；良好的填塞质量是将空气与炮孔隔离，增加爆炸气体能量在孔中的作用时间，并减少因由孔内空气引起的能量分散造成冲孔，产生飞石的危险。炮孔堵塞填料多采用钻孔细岩屑粉、黏土等类似炮泥材料。

4.7 选择合理微差间隔

微差爆破是实现岩体破碎质量有效控制的有效方法之一。微差时间间隔与岩体特征及最小抵抗线有关。岩体越坚硬，作用时间间隔越短；最小抵抗线越大，作用时间间隔越长。根据庄树下路堑实践经验爆破各排之间延时间隔为34 ms，选择2段或3段毫秒延迟导爆雷管更合适，这对减少后座冲击力、有效控制飞石危险和降低大块率有很好的爆破效果。

4.8 控制钻孔质量

钻孔期间，施工人员应当相互配合，根据钻孔作业技术交底明确工作要点。技术人员应根据爆破方案交底要求和施工重点事项，要有针对性地跟施工作业人员讲明，每个孔位都留下了一个孔深标志，让每位作业人员都知道自己要钻的孔有多深，以避免现场钻孔人员随意操作，更改钻孔参数，

以达到提高爆破安全性，加强施工过程管理，提高钻孔质量。为了确保符合设计要求，提高装药和填塞质量，以实现减少大块的产生率这个良好爆破效果的目的。

4.9 清理孔内积水

爆破设计应该结合现场实际情况，炮孔尽可能地避开地表水充足的位置，若无法避免，为保证爆破孔内无积水，设计人员应查明地下水位置，清理爆破孔，并采取保护措施，防止地表水进入；对于积水量少的炮孔，采用吊装或绑扎毛竹片的方式进行装药、送药，按照设计交底，确保装药到位和连续性；对于进水量大的孔，特别是在爆破孔内形成泥浆的孔，应采用强力高压空气压缩机对爆破孔进行吹扫，然后迅速装药填塞炮泥进行保护。

4.10 采用压碴爆破技术

往往爆破孔的临空面，通常会产生较多的大块，为了降低这样的爆破效果，经过多次爆破参数尝试经验总结，引用压碴爆破技术在这问题上有显著优势。一般来说，最后一次爆破后，部分爆碴预留，不铲装完，其纵向厚度3~5 m，充当下一次爆破能量冲击的障碍物，使下一次爆破第一排岩石爆破时，能量分散的冲击力与预留的爆碴碰撞、挤压，使台阶坡面上岩石进一步破碎，降低了大块的产生率。

5 结语

工程周边环境复杂，爆破作业风险高，导致露天矿爆破中出现爆堆大块率的影响因素很多，包括爆破区岩石性质和形状变化不一的原因，以及对爆破方案设计和现场施工管理要求不同的原因。因此，论文通过更全面地分析大块产生区域，提出了露天复杂环境条件下降低爆破大块率的技术措施。在生产实践中，设计人员应根据现场情况选择最科学的爆破方案，采取合理措施在实践中不断完善，不断学习，总结施工经验，在不断改进中取得最佳爆破效果。

参考文献

- [1] 汪旭光.爆破设计与施工[M].北京:冶金工业出版社,2010.
- [2] 纪道宾.中深孔爆破降低大块率的技术措施分析[J].河南科技,2021(8):78.
- [3] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2018.
- [4] 沈兴玉,崔光峰,任昌胜,等.露天爆破大块率高及根底产生的原因及降低措施[J].现代矿业,2018(7):96-97.