

复杂环境逐孔起爆技术及可靠性研究

张权¹ 张清²

1 浙江省交通工程管理中心 2 信阳市建设工程质量安全技术站

DOI:10.12238/etd.v5i4.8563

[摘要] 逐孔爆破技术对开山爆破提高爆破效果作用明显,是目前在复杂环境条件下,使用比较多的一项技术。论文结合实际工程展开研究,对逐孔起爆爆破原理,逐孔起爆地震波频谱特性,起爆网络安全可靠性以及实际工作中出现的问题,进行了分析和总结,对指导爆破实践有一定的参考价值。

[关键词] 逐孔起爆; 爆破振动; 起爆网络; 安全可靠

中图分类号: TB41 文献标识码: A

Complex Environment hole-by-hole Blasting Technology and Research on the Reliability of Blasting Network

Quan Zhang¹ Qing Zhang²

1 Zhejiang Provincial Transportation Engineering Management Center

2 Xinyang City Construction Engineering Quality and Safety Technology Station

[Abstract] The hole by hole blasting technology has a significant effect on reducing blasting vibration and improving blasting effect, and is a widely used blasting technology in China's mountain blasting in recent years. The paper conducts research based on practical engineering, analyzing and summarizing the principle of hole by hole detonation blasting, the frequency spectrum characteristics of hole by hole detonation seismic waves, the safety and reliability of detonation networks, and the problems that arise in actual work, ensuring the scientific and reasonable, safe and reliable construction plan that is in line with the actual site conditions. The integration of technology is inherently safe to guide the safe implementation of projects.

[Key words] explode hole by hole; safety and reliability; blasting vibration; explosive network

前言

逐孔起爆技术的理论研究在多年前已开始发展,但当时的科学技术条件有限,逐孔起爆技术仅限于简单的应用,且存在网络安全的可靠性问题。随着科学技术和爆破器材的发展,特别是数码电子雷管的普及使用,逐孔起爆技术得以实现。爆破向着可控化、精细化方向发展。它主要特点是利用高精度数码雷管,通过孔间和排间不同延期时间的逐孔爆破技术,可以最大限度的降低爆破振动,使每个炮孔能按照爆破设计的延期时间顺序起爆,为单个炮孔创造了多个自由面,增强了爆炸应力波的反射,岩石间碰撞机会增加,爆炸能量得以充分利用,从而改善了爆破效果。目前,逐孔起爆技术在国内已经得到了普遍应用,但对采用数码电子雷管所进行的逐孔起爆技术研究并不多。本文将对逐孔起爆技术进行深入剖析,分析其机理、爆破效果、爆破地震波频谱特性,起爆网络的安全性等进行研究,为逐孔起爆技术在我国开山爆破的进一步推广应用提供理论依据^[1]。

1 工程概况

项目位于舟山地区北部,呈半环形,北侧为施工后保留山体,

西南侧为正在运营投产中的公司。面积: 0.773km²,两宕口之间残山及北宕口东侧分布有待拆除的电缆沟、高压线等,开山爆破施工环境比较复杂。本文将对逐孔起爆技术进行剖析,分析其机理、起爆方式、逐孔起爆网络的可靠性研究,通过施工实践完善逐孔起爆技术,以技术融合本质安全,从而为该项目在后续的爆破安全施工提供理论依据和技术支撑^[2]。

2 逐孔起爆技术基本原理

逐孔起爆技术是按照爆区内处于同一排的炮孔按照设计好的延期时间从起爆点依次起爆,同时爆区排间炮孔按排间延期时间依次向后排传爆,并使爆区内相邻炮孔的起爆时间错开。根据逐孔起爆的爆破过程,逐孔起爆技术有以下几个特点。

(1) 先爆炮孔为后爆炮孔多创造一个自由面。增加爆破自由面,能大幅度地提高爆破炸药的能量,提高爆破效率。

(2) 能使爆炸应力波沿自由面充分反射,加强矿岩破碎。

(3) 相邻爆炸孔相互碰撞,挤压,增强矿岩二次破碎。

(4) 逐孔起爆技术,爆破矿岩块度好,大块率低,二次爆破量少,能较大地提高其后续工作(铲装和运输)的工作效率。

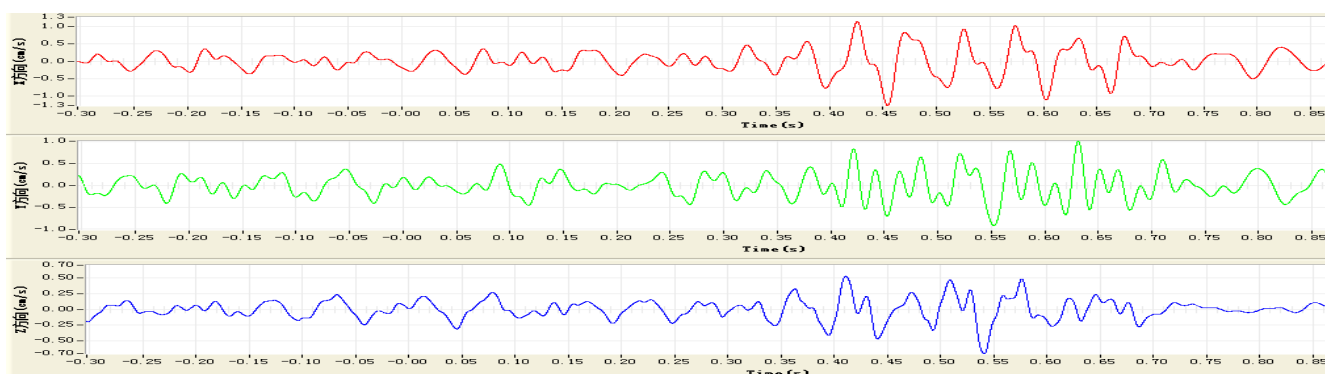


图1 逐孔起爆爆破振动典型实测波形图

(5)减小爆破地震波等危害。每次起爆药量只有单孔装药量,起爆药量小,同其它爆破方法相比,能有效地控制和减少爆破地震波、冲击波和飞石等矿山危害的发生^[3]。

3 逐孔起爆效果的综合评价

爆破效果取决于爆破参数的选择,而爆破效果直接影响工程的经济效益。爆破效果受多种因素影响。如何处理好各种影响因素,对爆破作业的经济核算具有一定的指导意义。

(1)采用逐孔起爆,从现场调查分析,岩石爆破破碎效果良好、爆破块度比较均匀,方便机械装卸,大块主要产生于爆区边缘、炮孔填塞部位、以及由于地质条件原因(如裂隙、断层发育等)产生大块,或者爆破产生的裂隙,使炸药爆炸时,爆生气体过早从裂隙中冲出,爆炸作用岩石时间过短所致。

(2)通过对同为多排炮孔爆破,逐孔起爆后爆堆比齐发起爆爆堆体积大很多,爆堆前伸8m左右,整体移动性好,爆堆明显隆起,爆区后排炮孔沉降1-2m,无后冲现象,形成的新坡顶线比较整齐。

(3)采用逐孔起爆,爆破开挖边坡平滑,能达到设计开挖边界,可有效消除了超挖、欠挖等现象。

(4)逐孔起爆孔间间隔时间主要决定爆堆破碎块度,由于整个山体岩性差异较大,对于不同的岩性,采取不同的延期间隔时间(如图1),对于坚硬而脆的岩石,由于岩体中动态反应时间短,孔间延时时间应缩短,对于孔隙多塑性大的软岩,孔间延时应大些。

(5)逐孔起爆排间延时主要决定爆堆抛掷距离,一般情况下,开山爆破都是多排孔爆破,为取得最佳抛掷效果,排之间的延时间适当增加,使先爆岩石完全脱离原来位置,为后爆岩石创造自由面。为取得合理的孔间和排间延期间隔时间,一般可以通过现场的试爆获得。

4 逐孔起爆对爆破振动的有效控制

逐孔起爆可以有效地减小爆破振动,合理的逐孔起爆延期爆破时间,对周围环境爆破危害最小。一般情况下,逐孔爆破时,在其它爆破参数不变的情况下,由于相邻炮孔先后以延期间隔时间起爆,爆炸所产生的地震波能量在时间上和空间上得到分

散,每段起爆的装药量Q实际上等于单孔装药量,所以爆破减振效果比较明显。根据爆破振动萨道夫斯基公式可知:

$$V=K \cdot (Q_1/3/R)^{\alpha}$$

式中: V——质点振动速度(cm/s)

K——与介质性质、爆破方式有关的系数

α ——和地质地形等有关的衰减指数

Q——最大单响药量(kg)

R——爆心距(m)

通过对逐孔起爆的爆破振动分析,和排间延期爆破相比,爆破振动可降低50%-80%,有效降低了爆破危害。

一般情况下,对爆破振动可采用如下措施:

(1)选取合理的炸药单耗。避免因炸药单耗过低,炸药成为内部作用药包造成岩石的破碎和松动不良,从而使消耗在爆破振动上的能量增大。

(2)严格控制单孔药量,有效降低震动效应的影响。根据距离保护目标远近设计最大单段药量。在起爆网路设计时,对炮孔进行合理组合,增加爆破时的瞬时自由面,以降低爆破振动。有目的地降低单孔药量,使单段药量符合设计要求,达到减振目的。

(3)选择合理的孔网参数。精确地进行炮孔定位,避免采用过大的超深,过大超深会增加爆破振动。

(4)合理布置最小抵抗线方向。一般情况下,最小抵抗线方向上的振动强度最小,反向最大,侧向居中。

(5)前期进行爆区爆破振动传播规律的测试,准确预估爆破振动的强度和影响;并用测试结果完善修改爆破方案,改善爆破设计。

(6)也可以采用气体间隔器间隔装药。有效削弱炸药爆炸时的峰值压力、降低爆破振动,有利于改善爆破效果。

5 逐孔起爆爆破对周边建筑物振动影响

逐孔起爆从实测爆破振动波形分析可以看出,逐孔起爆爆破振动速度曲线比较平缓(如图1),爆破振动速度比较小,不会发生爆破振动速度峰值突变,可确保周围建筑物的安全。同时爆破振动主频频率比较高(如图2),都是40Hz左右,远离建筑物自振频率(1~2)Hz,不会与建筑物发生共振现象。

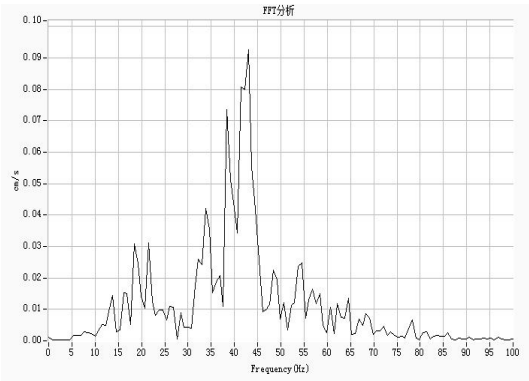
表1 现场实测爆破振动最大值及主频

通道名	最大值	最大值时间	FFT 主频	量程	灵敏度系数
X 方向振动	1.4058cm/s	1.000s	45.3Hz	35.714cm/s	28.000V/m/s
Y 方向振动	1.6213cm/s	0.609s	45.3Hz	35.714cm/s	28.000V/m/s
Z 方向振动	0.7912cm/s	0.869s	39.9Hz	35.714cm/s	28.000V/m/s

根据爆区附近建筑物情况调查,主要建筑物为框架结构或砖混结构建筑物,根据表1,在10~50Hz的主频范围内,一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物允许振速在2.3~2.8cm/s,测出的振速斗小于2.3~2.8cm/s这个数值,根据爆破振动安全评价标准,说明建筑物是安全的。

表2 《爆破安全规程》规定的一般建(构)筑物安全允许标准(摘录)

序号	保护对象类别	安全允许振速		
		<10 Hz	10~50 Hz	50~100 Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5~1.0 cm/s	0.7~1.2 cm/s	1.1~1.5 cm/s
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0~2.5 cm/s	2.3~2.8 cm/s	2.7~3.0 cm/s
3	钢筋混凝土结构房屋	3.0~4.0 cm/s	3.5~4.5 cm/s	4.2~5.0 cm/s



Z(垂向)

图2 逐孔起爆爆破振动频率普

由图2也可以看出,震动频率主要集中在50~70Hz,一般在这个频谱范围能量最为集中,破坏力最大,而一般建筑物的主要频率在1-2Hz,与逐孔起爆主频测得数据相差较大,测得数据与建筑物共振的影响非常小,建筑物是安全的。通过两次监测,爆破振动速度与爆破振动控制都很好,能起到安全作用。

先后组织两次爆破实验并通过监测数据分析,逐孔起爆有以下的爆破效果:

(1)爆破效果良好:爆破破碎块度均符合设计要求,岩石块度均匀细碎,大块率较少,降低了机械破碎成本,同时爆堆相对集中并有较好的松散度,提高了装载、运输和破碎等后续工序生产效率;爆破时振动强度得到有效的控制,减小了爆破振动对周围建筑物的影响。

(2)逐孔起爆区的爆堆形态良好,爆堆前冲大部分在距离5-10m内,爆堆隆起,整体移动效果较好。爆区后冲距离小,塌落整齐。便于后续钻孔作业,加快施工进度^[4]。

6 逐孔起爆网路设计

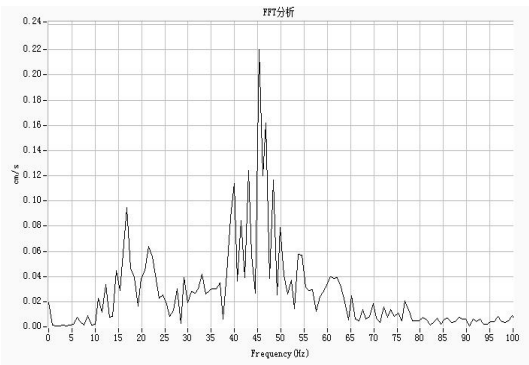
对于露天开山爆破,逐孔起爆通过利用数码电子雷管布置毫秒延期起爆网路,使爆区炮孔起爆时在空间上具有两个自由面,在时间上满足相邻炮孔互相碰撞的要求即可以达到改善爆破效果的目的,本工程逐孔起爆网络采用孔间25ms、排间65ms延时(如图3)。

(1)逐孔起爆网络的设计原则及方法:在爆破设计中,为了控制一次起爆最大药量,一般采用分段爆破网路。但是随着爆破规模的增大,起爆段数可能比较多,为确保网络的可靠性,常见的方法是采用孔间延期和排间延期相结合的逐孔起爆网路形式,这就意味着比较长的爆破持续时间。网路起爆后可能发生,后续起爆网路被先前起爆网路破坏而发生大面积的拒爆。

如何在设计和施工中避免网络拒爆,尤其是实现逐孔起爆需要更长延期的情况下保证起爆网络安全、可靠、高效地传爆,都值得我们深入研究和防范。

(2)孔间延时间隔时间的确定。合理的孔间延期时间,对爆破决定效果有重要影响,不同的岩石性质应采用不同的孔间延期时间,对于坚硬而脆的岩石,岩体中动态反应时间短,孔间延

X(径向)



Y(切向)

时时间应缩短。对于孔隙多、塑性大的软岩,孔间延时应加大。研究发现不合理的延期时间会减弱应力波在自由面的拉伸强度,进而削弱对岩石的破坏作用。具体来说,如果孔间延时太短,裂隙将首先在炮孔间产生,岩体被推向较远的位置。如果孔间延时太长,炮孔单独发挥作用,容易产生爆破飞石,出现爆破安全问题,且爆堆块度变差。根据长期实际经验,硬岩的合理孔间延时为3-8ms/m。

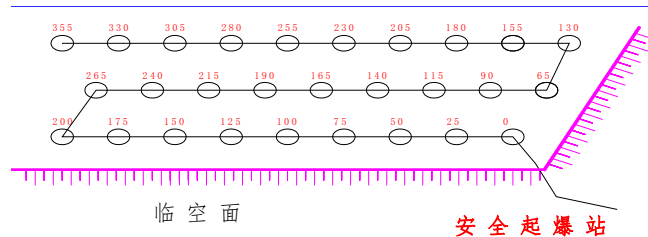


图3 逐孔起爆网路示意

(3) 排间间隔时间的确定。合理的排间延期时间对提高抛掷效果作用明显,为得到最佳抛掷效果,排与排之间的延期时间必须足够,这样可以使先爆岩石完全脱离原来位置,为后爆岩石创造自由面,不会阻挡后面岩石的移动。如果排间延期时间过小,爆破时前后排岩石相互阻碍,岩石松散度较差,不利于后续铲装作业。不同岩性岩石的动态反应时间不一,过大或过小的排间延时都会影响爆破效果,发挥不了逐孔起爆爆破效果的优势。一般情况下最大排间延时不超过15ms/m抵抗线^[5]。

7 逐孔起爆网路可靠性研究

逐孔起爆网络连接的可可靠性是爆破是否成功的关键所在,网络敷设应由有经验的爆破员或爆破工程技术人员实施,网络连接时无关人员应撤离施工现场。并严格按照设计要求敷设爆破网路,敷设爆破网路过程中禁止拔出或硬拉起爆药包,药包中的电子雷管脚线不应有死结,爆破网路连接技术人员必须精心操作,注意每排和每个炮孔的延期时间,必要时切片连接,以免出错和漏连。网路联好经检查合格后,要有专人看护、专人警戒。

(1) 逐孔起爆网路前期出现的问题。在去年实施的爆破中曾出现一次网络拒爆情况,当日设计爆破3次,其中前两次正常起爆,第三次起爆时,出现网络拒爆情况。第三次的爆破设计炸药量9600kg,雷管180发。

(2) 逐孔起爆网路拒爆原因分析及处置过程。经现场排查判断其网路拒爆直接原因是前两次起爆时,其爆破个别飞散物和冲击波损坏了连接母线。现场排查中,发现4个孔,雷管7发受前次爆破影响,炮孔位移,造成了盲炮,其中3发雷管经重新组网测试成功起爆,其余通过开挖,取出雷管做销毁处理。

(3) 针对现场确认的4个盲炮,专门制定了盲炮处理方案,并听取专家意见。

(4) 吸取本次网路拒爆事件的教训,采取有力的保障措施。结合本次爆破中出现的方面的缺陷,在后续的爆破施工中加强对爆区之间安全距离控制,举一反三确保今后不发生类似事件。同时控制爆破规模,加强技术管理,优化爆破技术参数^[6]。

8 结论

本文结合具体工程实践,应用逐孔起爆技术实现工程的爆破,达到了安全生产的设计的目标。以技术的革新保证安全生产,对以后安全生产工作具有很强的指导意义。

(1) 逐孔起爆技术可有效提高爆破效果、便于铲装作业,提高施工效率,加快施工进度。不同的岩石性质应采用不同的延时间隔时间,一般情况下,孔间延时采用3-8ms/m,排间延时以不超过15ms/m为宜。

(2) 逐孔起爆技术可有效减小爆破振动,降低爆破地震危害效应。

(3) 逐孔起爆网络的可靠性对爆破成功与否至关重要,应对爆破网络的设计、连接,精心操作,避免出错和漏连,提高逐孔起爆爆破网络的可靠性。

[参考文献]

[1] 全海军.隧道工程中的水压爆破施工技术分析[J].交通世界,2024,(21):134-136.

[2] 王旭光.爆破设计与施工[M].北京:冶金工业出版社,2018.

[3] 孟吉复,惠鸿斌.爆破测试技术[M].北京:冶金工业出版社,2011.

[4] 张衍昊,刘少光,楼晓明.露天深孔台阶爆破逐孔起爆参数优化研究与应用[J].爆破,2024,(02):104-111.

[5] 安胜杰,易吉祥,池思安,等.爆破地震波传播规律实验研究[J].爆破,2021,(02):32-36.

[6] 唐飞,王意堂,梁开水.爆破振动信号特征分析的应用探讨[J].爆破,2010,(04):109-112.

作者简介:

张权(1991-),男,汉族,河南信阳人,硕士研究生,工程师,从事港口航道与海岸工程研究。