

高边坡工程爆破震动监测与支护顺序

朱卫东 王在泉
(青岛建筑工程学院) (中国矿业大学)

摘 要 以某大型高边坡工程的爆破开挖与锚喷支护过程为基础,分析比较了预裂、崩岩爆破与坡高放大的震动传播规律,评价了爆破对边坡岩体及支护系统施工质量的影响,据此提出了施工质量的控制措施。

关键词 边坡 预裂爆破 震动监测 锚喷支护

Monitoring of the Blast Vibration in High Slope Engineering and the Supporting Sequence

Zhu Weidong Wang Zaiquan
(Qingdao Architectural Engineering Institute) (China Mining University)

Abstract On the basis of the blasting and excavation and the shotcreting and rock bolting process of a large high slope engineering, the vibration transmission laws in the presplitting blasting, the rock caving blasting and the high slope blasting where the vibration is magnified are analyzed and compared. The effect of the blasting on the slope rock mass and the quality of supporting system construction are evaluated. On this basis, the construction quality control measures are worked out.

Keywords Slope, Presplitting blasting, Vibration monitoring, Shotcreting and rock bolting

在岩石边坡工程,特别是永久使用边坡工程的爆破开挖过程中,为控制爆破对边坡岩体的震动破坏,维护边坡岩体的完整性,必须选用合理的预裂爆破参数,并在爆破震动现场监测等基础上,据现场实测效果及有关监控指标进行反馈优化。另外,永久使用边坡一般随开挖进行锚喷或其它支护,为保证锚喷支护质量,除考虑锚喷本身的施工质量外,还应充分考虑到频繁的爆破影响。因此为保证开挖、支护的平行协调进行,必须确定合理的爆破开挖与支护的施工顺序及时空间隔。为此本文以某高边坡工程的施工为例,初步探讨了以上问题。

1 基本情况

某高边坡工程设计最大高度 185 m,其中边坡上部为坚硬灰岩,设计为垂直台阶式,台阶高 15 m;下部为倾斜台阶式,倾角 $35^\circ \sim 45^\circ$,台阶高 15 m,台阶平台宽度 2 ~ 5 m。边坡为逆向坡,坡内有 NNE、NNW、NWW 等断层,规模不大,属 ~ 级结构面;灰岩发育有 4 ~ 5 组节理,页岩发育有 5 ~ 6 组节理,另外边坡中存在 4 ~ 5 条逆坡向的泥化夹层。

为维护边坡岩体完整,生产中采用预裂爆破,其参数为:孔径 $\phi = 100$ mm,孔深 15 ~ 17 m,孔距 $a = 0.8 \sim 1.0$ m,不耦合装药系数 $\lambda = 3.1$ m,线

装药密度 $\rho = 200 \sim 250$ g/m, 2# 岩石炸药。

根据上述爆破参数在工地进行试验。针对预裂爆破特点,采用炸药的药卷直径为 32 mm,长度 200 mm。为了克服孔底岩石的夹制作用,孔底装药密度 2.5 ~ 4 倍平均装药密度,取 750 g,其余药量均布于炮孔其它部分,孔口堵塞 1.5 ~ 2.0 m,孔口裂隙发育时,加大到 3 ~ 4 m。炮孔布置及装药结构见图 1。

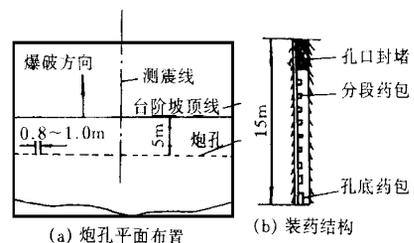


图 1 炮孔平面布置及装药结构

爆破效果如下:预裂缝宽一般 3 ~ 15 cm,半孔率可达 85% 以上,不平整度 15 cm。

2 边坡工程爆破震动的监测及传播规律分析

边坡爆破震动监测采用速度传感器,测点布置

朱卫东,青岛建筑工程学院黄岛校区,副教授,266520 山东省青岛市经济技术开发区金沙江路。

在爆区后方,并分别设置水平和垂直两个方向传感器,测点布置见图 2。

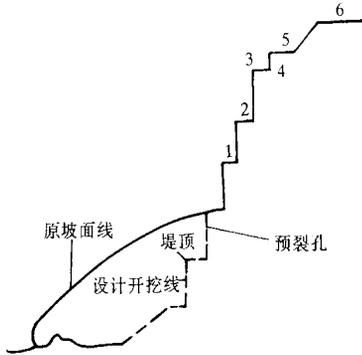


图 2 爆破震动测点布置

2.1 坡高不大时爆破震动传播规律

边坡开挖初期,由于坡高不大,故坡高的震动放大效应不明显,为此采用常规的经验公式进行分析:

$$V = k[Q^{1/3}/R], \quad (1)$$

式中, V 为质点最大震速, cm/s ; Q 为同时起爆药量, kg ; R 为爆心距, m ; k 、为待求系数。

经实测数据(表 1、表 2) 回归, 分别得到预裂爆破、崩岩爆破的震动传播规律:

$$\begin{aligned} V_{\text{预}} &= 312.476[Q^{1/3}/R]^{1.638}, \\ V_{\text{崩}} &= 268.990[Q^{1/3}/R]^{1.891}. \end{aligned} \quad (2)$$

表 1 预裂爆破震速实测参数

测点号	第一次测试 ($Q = 89.5 \text{ kg}$)		第二次测试 ($Q = 75.35 \text{ kg}$)		第三次测试 ($Q = 180 \text{ kg}$)				
	R/m	H/m	$V/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	R/m	H/m	$V/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$			
1		18.10	13.52	39.03	16.00	25.00	12.70		
2	18.25	27.96	26.61	27.90	14.81	10.92	26.00	38.70	10.83
3	24.50	29.86	18.85	46.00	24.79	6.97	36.70	53.80	14.47
4	32.00	27.05	15.75	54.20	27.33	4.96	40.07	54.30	9.43
5	59.50	24.21	2.59	77.00	28.58	4.64	42.17	61.10	7.89
6	89.00	26.34	1.41	103.30	29.24	2.14	60.32	74.50	7.59

表 2 崩岩爆破震速实测参数

测点号	第一段起爆($Q = 112 \text{ kg}$)			第二段起爆($Q = 81 \text{ kg}$)		
	R/m	H/m	$V/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	R/m	H/m	$V/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
1	18.93		16.07	16.50		15.65
2	27.25	27.96	13.19	25.00	27.96	12.36
3	33.82	29.86	7.63	33.50	29.86	6.22
4	41.79	27.05	4.73	39.50	27.05	3.67
5	68.83	24.21	1.91	66.50	24.21	1.88
6	96.80	2.34	0.72	94.50	26.34	0.68

2.2 坡高较大时爆破震动的放大效应

随着边坡爆破开挖进行,边坡高度越来越大,此时必须考虑爆破引起的质点震速随坡高的放大效应,为此采用下式反映坡高 H 的放大效应^[2]:

$$V = k[Q^{1/3}/R][Q^{1/3}/H], \quad (3)$$

式中, k 、为回归系数; H 为测点与爆源之间的垂直高。

对表 1 第三次实测数据进行多元回归,得下式:

$$V = 97.784[Q^{1/3}/R]^{1.34}[Q^{1/3}/H]^{-0.95}, \quad (4)$$

式中符号意义同前。

从上式知, $\alpha = -0.95$, 故随坡高 H 增大,震速 V 亦增大,的确反映了爆破震动随坡高的放大效应。

3 爆破对边坡工程系统的影响与对策

边坡进行爆破后,首先爆源附近岩体受到爆破的直接作用,爆破裂隙穿过坡面岩体进入坡内岩体,而爆破气体贯入到边坡岩体的天然裂隙或节理中,产生“气楔效应”,使裂隙扩展。另外,边坡表层岩体受到表面和反射波的作用,使天然的或爆破产生的裂隙进一步向深部发展,最终在边坡岩体内形成一定厚度的边坡裂隙带,虽然预裂爆破会在一定程度上减少岩体所受的爆破震动损伤,但仍会有一些的影响。

关于爆破震动对边坡岩体的影响,目前一般仍采用质点震动速度作为岩体或建筑物破坏程度的判据。根据收集到的国内外资料^[3],结合现场实测知,预裂爆破影响较大,最大震速为 26.61 ~ 39.13 cm/s ,故对边坡岩体有一定的破坏作用。从爆破后岩体破碎圈的测试知(图 3),一般破碎带深(厚)度为 0.35 ~ 0.70 m ,也说明爆破对岩体有一定的破坏损伤。

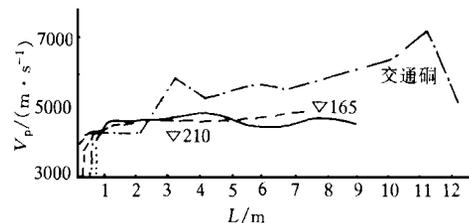


图 3 声波波速 V_p 随孔深 L 关系

因此为保证爆破开挖后,边坡破碎带不致进一步发展,并防止新鲜岩体风化、泥化,一般随边坡下挖,即进行上台阶的锚喷支护。而锚杆是加固岩体的主要手段,它依靠锚固体(砂浆)起作用,在锚固体砂浆尚未硬化达设计强度前,因受到振动而影响其强度,从而影响锚固力的发挥。另外,初喷后的混凝土喷层,当强度未达到设计强度前,冲击波会产生不利影响,严重会使混凝土脱落,并影响到喷层与岩体界面的粘结强度,故必须确定合理的爆破开挖与支护的合理顺序及时间间隔,以确保锚喷质量。

为此,通过爆破震动测试、声波测试及锚杆受力

变化测试等手段,确定了爆破与支护的合理顺序,从而达到了对锚喷支护系统的质量监控。

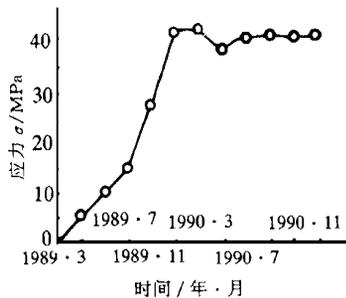


图4 某块体锚固前后锚杆受力情况

图4即为某局部块体C锚固前后锚杆受力的变化曲线,可以看出,锚固前该块体受力增大,表明该块体有滑动趋势,而锚固后该块体逐步稳定。通过监测,下台阶预裂爆破后的爆破开挖对其受力变化

影响不大,另外通过对喷层的强度取样检测,也表明受爆破影响不大。说明锚喷支护在下台阶预裂爆破后进行是合理的,这样一般可以保证锚杆内砂浆及喷层的混凝土有足够凝固时间,达到设计强度,并可保证开挖与支护的协调进行,加快施工进度。从后期对锚喷系统的质量抽查及锚杆受力变化知,此法达到了预期目的,也证明了爆破及支护施工质量良好的。

参 考 文 献

- 1 陆文兴,王在泉. 预裂爆破在清江隔河岩电站厂房高边坡中的应用. 爆破, 1992, (4)
- 2 朱传统等. 地震波参数沿边坡面传播规律公式选择. 爆破, 1998, (2)
- 3 孙 钧. 地下工程设计理论与实践. 上海:上海科学技术出版社, 1996

(收稿日期 1999-11-30)

(上接第7页)

理为一体的综合矿山开采工程系统,需采用综合的研究方法和手段,探索解决不同条件下矿床开采采场安全稳定性问题。并根据理论分析结果,制定符合开采实际的采矿工艺方法和相应的工程治理措施,寻求最佳的开采经济模型。

(2) 形成一整套的深部矿床综合开采技术。随着现代工业的迅速发展,人类对矿物资源的需求将越来越大。陆地矿产资源,特别是浅部矿产资源逐渐减小,资源枯竭已成为世界各国所重视的问题,深部矿床的开采已成为必然。在“九五”期间,铜陵有色金属公司狮子山铜矿冬瓜山矿区已开始深部开拓基建工作,昆钢大红山铁矿也通过了建设规划设计,不久也将开始建设。因此开展深部矿床综合开采技术的研究,以解决深部矿体的采矿工艺、地压控制、岩爆和地温控制、深井提升、地下水防治和通风防尘、个体安全防护等开采问题。

(3) 崩落采矿法将得以更加完善和成熟。无底柱分段崩落法仍将在地下矿山开采中占据相当大的比重,阶段自然崩落法和阶段强制崩落法所占的比重将有所增加,崩落采矿法今后的总趋势将向大分段、高阶段和大孔径深孔采矿技术方向发展,大结构参数的崩落采矿法将得到推广应用。

(4) 随着采矿技术的发展,大型地下矿山采掘将向无轨化、连续化方向发展。液压凿岩机及相应

的采矿凿岩台车和 $2.0 \sim 3.8 \text{ m}^3$ 的电动铲运机的应用数量将逐渐增加,装药车和其它辅助车辆将在回采作业中得到普遍应用,采矿作业的机械化程度将得到进一步提高,从而使矿山的生产效率和经济效益得以提高。

(5) 缓倾斜薄矿体的机械化开采将得以实现。通过引进和开发,适合于缓倾斜中厚以下矿体开采的凿岩、运输配套小型机械化设备将会得到广泛应用,实现这类矿体的机械化开采,提高矿山的生产效率,改善矿山的经济条件。

(6) 环保型和无公害矿山开采将会得以实现。随着矿山开采深度逐渐增大,从提高矿石回采率和保护生态环境的需要,充填采矿法的应用比重将会有所增加,并向高效化方向发展。深孔阶段充填和分段充填将进一步完善,并得到广泛应用;高浓度全尾胶结充填、泵送膏体胶结充填将有较大的发展;矿山无尾排放的目标将随充填技术的不断进步和充填材料的更新得以真正实现;充填法与空场法的组合采矿技术将得到推广应用。

参 考 文 献

- 1 郭金峰. 我国地下锰矿床开采技术的发展与展望. 中国锰业, 1995(1)
- 2 黄韦伟,罗建川. 我国采矿技术的发展与展望. 有色金属(矿山部分), 1996(3)

(收稿日期 1999-10-04)