华新宜昌水泥石灰石矿爆破振动监测与分析

梁开水[1]，赵　翔[1]，石斌宏[2]，孙　宇[2]

（1.武汉理工大学爆破工程研究所，湖北武汉 430070；2.华新宜昌水泥有限公司，湖北宜昌 443100）

爆破地震是爆破五大公害之一，在爆区外一定区域范围内，可能会造成各种破坏作用，如建（构）筑物的振裂、边坡的滑塌等，带来一系列安全问题，影响居民生产、生活，导致工农关系紧张，从而影响露天矿正常生产。为了防范矿山生产爆破振动对周边建筑物可能产生的损害，确保安全生产，构筑企业和谐的社会关系，华新宜昌水泥有限公司决定对石灰石矿生产爆破三个方向的爆破振动进行实地振动监测。

1　工程概况

华新宜昌水泥有限公司石灰石矿位于宜都松木坪镇西南方约2km处。矿体赋存于三迭系下统大冶中上部，呈单斜构造缓倾斜层状产出，总体走向近东西，倾向南偏西，倾角15°~25°。矿区南北长约800m，宽约500m，总厚约220m，最高海拔标高500m。

矿区（红线）东侧距宜昌——常德公路约400m，距松木坪镇水泥厂约300m，北偏东侧距石头包民宅约320m，距采场工业场地和破碎站各约340m，南侧距柳姓宅约500m。

华新宜昌水泥有限公司石灰石矿为露天矿，采场台阶高度目前为12m（或15m），炮孔分别采用SWDB165型全液压潜孔钻机和CM341型中风压潜孔钻机钻凿，炮孔直径分别为ϕ152mm和ϕ115mm。

矿山爆破装药为岩石膨化硝铵炸药，单位炸药消耗量一般为K=0.4kg/m^3，根据现场条件及穿孔孔径不同，ϕ152mm炮孔单孔装药量为q_1=125~175kg（平均为150kg），ϕ115mm炮孔单孔装药量为q_2=60~80kg（平均为70kg）。

本矿山爆破采用导爆索——毫秒非电雷管联合起爆网路起爆。一般情况下同排炮孔装药同段起爆，相邻排炮孔毫秒延期起爆，排间起爆延期时间约为50ms。

2　测试方法

2.1　测试系统

振动测试主要采用非电量电测系统，其基本组成为传感器、中间交换器（包括放大器）和记录装置三部分见图1。

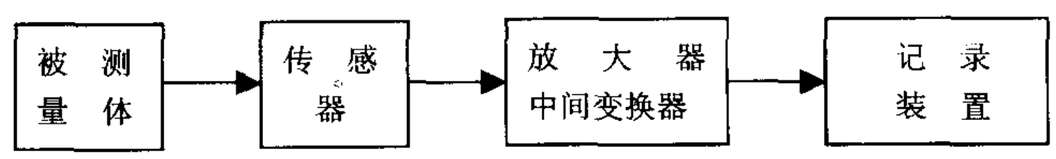

图1　非电量电测系统图

测试系统的基本工作原理为：与被测体紧附在一起的传感器感应到被测非电物理量（如振动速度、加速度、位移等），然后传感器将感受到的物理量按照相应的关系，转换成另一种物理量（一般为电量），再将电量信号转换成能为人们所接受并易于显示、记录和处理的信号，再通过记录装置保存这些信号。

2.2　测试仪器

本次测试仪器采用成都中科动态仪器有限公司生产的EXP3850爆破振动仪及配套的速度传感器，可实现多通道数据采集、存储和分析。EXP3850爆破振动记录仪是记录、分析爆破引起的地震波形信号的便携式仪器，仪器直接与速度传感器相连，将本仪器放置在测试点附近，每台仪器可自动记录8个振动事件及其采集时刻，仪器通过RS232接口将波形传给计算机，由计算机对数据进行处理。

2.3　测点布置及仪器安装

测点数目及测点位置主要根据测试的目的和现场条件等因素确定，一般布置在地质条件变化不大，

岩性基本一致的地方。

本次测试与村、镇负责人一道确定布置了3条测线：测线1因爆区位于396台段，测线沿已有公路指向石头包民宅方向（南偏东）布置，测点数目6个，测点连线基本垂直于爆区最小抵抗线方向；测线2因爆区位于408台段，测线沿爆源正后方的徐家民宅方向布置，测点数目6个；测线3因爆区位于420台段，测线沿爆源正后方周家民宅方向布置，测点数为6个。同时为了确定爆破振动对附近民房的影响程度，在爆源附近相关建筑物的地基上另外布置了测点。具体测点布置见图2。

3 测试结果及计算

3.1 测试数据

2005年1月28日至30日在该矿山各进行了一次爆破振动测试。对3次振动测试所测得的数据进行分析处理，获得多组有效数据，具体测试数据见表1。其中1测线孔径为115mm，孔距5m，排距3m，孔深14m；2测线孔径为152mm，孔距7m，排距3m，孔深14m；3测线孔径为152mm，孔距7m，排距4m，孔深14m。

3.2 数据分析

爆破振动速度涉及多个变量，这些变量间的关系不能严格从理论上推导得出，可以根据实测数据用统计回归方法得出。根据工程爆破界公认的萨道夫斯基爆破振动经验公式：

$$V=k\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{a}$$

式中：v—质点爆破振动速度峰值，$cm\cdot s^{-1}$；

k—与地质、爆破方法等因素有关的系数；

α—与地质条件有关的地震波衰减指数；

Q—与振速v值相对应的最大一段起爆药量，kg；

R—测点与爆心的直线距离，m。

采用最小二乘法对数据进行回归拟合，得各测线的k、α值，则该区域爆破地震波传播规律为：

测线1：$V_{垂直}=304.8\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.780}$

$V_{水平}=260.3\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.812}$

测线2：$V_{垂直}=116.2\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.582}$

表 1 爆破振动测试数据

测线	序号	爆心距离（m）	高差（m）	总药量（kg）	最大一段药量（kg）	振速（垂直/水平）（$cm\cdot s^{-1}$）	持续时间（垂直/水平）（s）	振频率（垂直/水平）（Hz）
1线	1	103	-11			3.5/2.45	1.09/1.03	6.1/17.5
	2	275	-19			0.62/0.56	1.0/0.98	14.3/16.7
	3	366	-26			0.39/0.35	0.91/0.78	13.5/16.7
	4	411	-28	2 125	605	0.31/-	0.66/-	13.4/-
	5	503	-25			0.21/0.16	0.89/0.77	12.8/11.6
	6	595	-22			0.15/0.09	0.94/0.96	7.6/10.7
	民房	296	-45			0.28/0.25	0.91/1.17	12.3/11.9
2线	1	224	19			0.82/1.12	0.61/0.84	13.9/14.4
	2	290	17			0.66/0.76	0.88/0.76	13.1/16.3
	3	363	20			0.49/0.51	0.93/0.98	17.6/12.7
	4	422	6	3 945	1 184	-/0.4	-/1.12	-/11.7
	5	467	-7			0.35/-	1.08/-	12.5/-
	6	519	-11			0.19/0.28	1.07/0.99	11.9/11.6
	徐家	573	-24			0.23/0.3	0.91/1.05	9.6/10.5
3线	1	56	6			9.49/9.81	0.62/0.61	14.9/12.7
	2	401	-54			0.34/0.41	0.92/0.94	13.4/13.2
	3	423	-59			0.36/0.38	0.96/0.96	13.4/13.4
	4	460	-63	4 800	700	0.27/0.34	1.02/1.32	13.2/12.7
	5	485	-63			0.22/0.26	0.94/1.22	12.1/12.7
	6	546	-74			0.2/0.23	1.12/1.23	12.4/14.1
	周家	514	-41			0.25/0.27	1.06/1.30	13.4/13.8

$$V_{水平}=159.1\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.618}$$

$$测线3:V_{垂直}=214.7\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.689}$$

$$V_{水平}=196.3\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{1.625}$$

4 爆破药量控制

根据《爆破安全规程》(GB6722—2003)中对不同建(构)筑物安全允许振动速度的规定见表2,即可计算出确保爆区附近建(构)筑物安全的最大一段安全药量。

对于第1条和第2条测线,实际测试的爆破地震波主频率有个别小于10Hz,所以依据《爆破安全规程》对一般砖房爆破振动安全允许标准,取[v]=2.0cm·s^{-1};对于第3条测线,有土坏房混杂于一般砖房之中,取[v]=0.7cm·s^{-1}。根据萨道夫斯基爆破震动经验公式及实测回归得出的k、α值即可推算三条测线方向上的最大一段安全起爆药量。

测线1方向质点振速控制的最大一段药量

$Q_{垂直}=2.09\times10^{-4}R^3$　　$Q_{水平}=3.15\times10^{-4}R^3$

测线2方向质点振速控制的最大一段药量

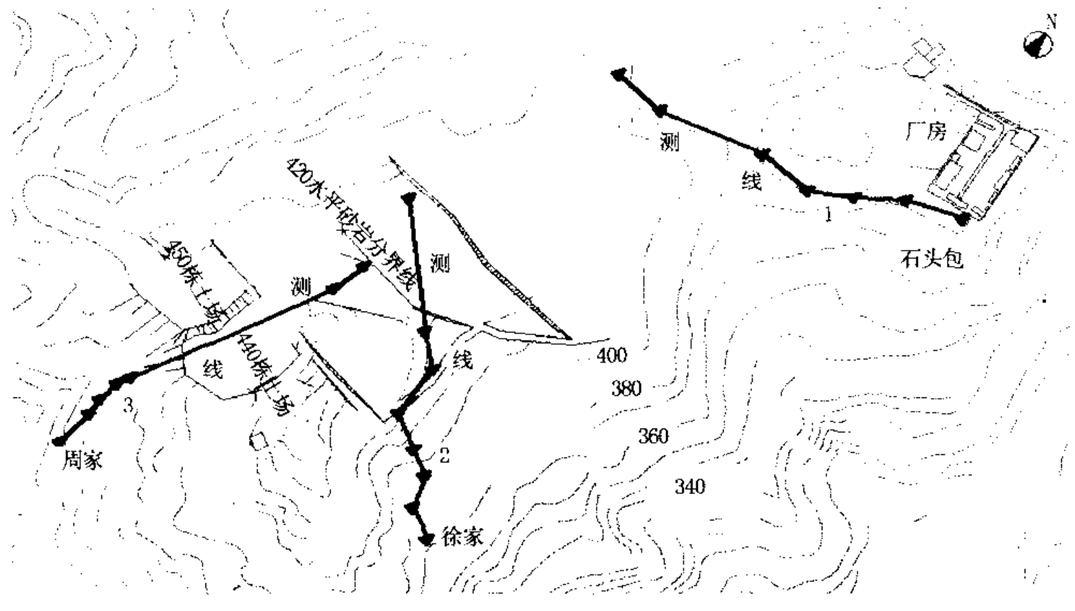

图2 具体测点布置图

表2 爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类别	安全允许振动速度(cm·s^{-1})		
		<10hz	10~50hz	50~100hz
1	土窑洞、土坏房、毛石房屋	0.5~1.0	0.7~1.2	1.1~1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0~2.5	2.3~2.8	2.7~3.0
3	钢筋混凝土结构房屋	3.0~4.0	3.5~4.5	4.2~5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5

注:表列频率为主振频率,系指最大振幅所对应波的频率。

$Q_{垂直}=4.51\times10^{-4}R^3$　　$Q_{水平}=2.99\times10^{-4}R^3$

测线3方向质点振速控制的最大一段药量

$Q_{垂直}=3.8\times10^{-5}R^3$　　$Q_{水平}=3.0\times10^{-5}R^3$

为保证爆区建(构)筑物安全,该矿山一次最大起爆量应控制在6个最大一段药量Q中的最小值以内。

将各次爆破中民宅等建筑物爆心距代入计算,该矿山正常生产爆破的最大一段药量均小于控制值,所以该矿山爆破是安全的,对附近建(构)筑物产生的影响在安全控制范围以内。

5 结论

(1)华新宜昌水泥有限公司露天石灰石矿于2005年1月28日至30日共进行3次生产爆破,爆破总装药量依次分别为2 125kg、3 945kg、和4 800kg,最大一段起爆药量依次分别为605kg、1 184kg、和700kg。与该矿山于2003、2004两年间的154次矿山爆破平均每次爆破总药量为2.97t、一般最大一段起爆药量为600~800kg、个别的最大一段起爆药量近1 200kg比较,这3次生产爆破与该矿山于2003、2004两年间生产爆破类似,具有较好的代表性。

(2)对于所选这3条测线,其方向分别指向并经过离相应爆区最近的村民房宅,测线2和测线3方向又分别为相应爆破最小抵抗线的相反方向(即爆破地震效应最强烈的方向)。因此,针对这3次爆破布置的测点实测到的爆破地震信号具有典型性。

(3)经现场测试,得出矿山现行生产爆破所引起的周围建筑物地面质点振动速度在0.23cm·s^{-1}~0.30cm·s^{-1}之间,振动主频范围大多大于10Hz。根据中华人民共和国《爆破安全规程》(GB6722—2003)中的规定可知,其爆破振动不会对矿山周围建(构)筑物产生破坏性影响。

(4)矿山爆破的最大一段起爆药量远比计算的一次最大安全起爆药量小。但测点大多比爆心底,地震波传播衰减较快,为确保矿山周边各建筑物的安全,建议在今后爆破中,其最大一段起爆药量最好比实际计算的最大一段起爆药量稍低一些。同时,为积累数据、优化爆破参数,建议矿山在典型的开采台段进一步开展爆破振动监测工作。□