

爆破振动效应影响评价及减震措施研究

付士根^{1,2}, 王云海¹, 许开立²

(1. 中国安全生产科学研究院, 北京 100029) (2. 东北大学, 沈阳 110006)

摘要: 爆破地震效应是工程爆破产生的主要危害之一, 如何保证工程爆破时爆区周围建筑物、基础设施等的安全运行, 对爆破的地震效应进行实测和振动效应影响评价是十分必要的。以水电站左岸边坡工程爆破对右岸化工厂的影响为例, 根据实测爆破振动速度和爆破振动频率, 通过对测试结果线性回归分析, 得到不同区域爆破地震波的传播和衰变规律。根据实测结果和数值计算, 评价了左岸工程爆破对江右岸化工厂及区内建筑物的振动影响, 论述了控制爆破振动强度、减小振动效应的措施。

关键词: 工程爆破; 地震效应; 振动监测; 减震措施

中图分类号: X966 文献标识码: A

Study on the evaluation of blast vibration effect and measures of reducing vibration

FU shi-gen^{1,2}, WANG yun-hai¹, XU kai-li²

(1. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100029, China)

(2. Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract Blast vibration is one of the main hazards of blasting engineering therefore how to ensure the safety of important infrastructure and buildings around blasting and the tests and controlling measures on blasting vibration effects are all necessary. Taking the impact of blast engineering of hydroelectric power station on equipment of chemical plant and buildings speed and frequency of blasting vibration were tested. The attenuation law of blasting waves of different area by the relationships between vibration velocity and explosive charge and the distance of dissemination were regressed. According to the results of practically measured data and numerical calculation, evaluation of the effects of vibration by the blasting on the left bank of the river to the chemical plants and buildings in the vicinity on the right bank. The measures to control explosion vibration strength and reduce vibration were illustrated.

Key words engineering blast; vibration effect; vibration monitoring; reducing vibration measures

1 前言

爆破在工程建设中具有高效、快速、建设费用低的优点, 但爆破地震效应会对邻近岩质边坡、各种地下工程结构的稳定性和安全有着极大的影响作用,

对国家规定的重点保护对象(如: 可能危及国家一、二级文物、极精密贵重仪器及重要建构物)的影响更应当引起施工爆破的注意^[1~2]。为保护附近建构物及其他工程的安全, 爆破振动安全控制标准做了大量的研究工作^[3~5]。

本文以某水电站左岸公路工程施工爆破对江右岸一天然气化工厂区内生产车间、建(构)筑物等的影响为例, 根据实测数据及理论计算, 评价爆破地震效应, 提出相应的减震措施, 为爆破施工提供一定的

参考。

2 爆破工程概况

左岸公路工程是水电站工程的重要组成部分,由左岸进厂公路、左岸缆机平台道路、左岸炸药库道路组成。左岸爆破区主要在进厂公路、左岸水厂,左岸 300m 高边坡的 II 区、III 区、IV 区下游围堰采石场等施工地点,根据不同的爆破区域,采用深孔爆破或浅孔爆破等爆破技术。

紧邻坝址下游右岸为一天然气化学股份公司,厂内聚甲醛车间、尿素车间、铵合成车间等对振动有严格要求,同时还要防止厂区内居民楼受爆破振动的破坏影响,因而需要采取爆破控制措施,保护生产车间的精密仪器及居民楼的安全。

3 现场实测分析

江右岸化工厂是主要安全保护对象,为研究爆破地震波传播过程中衰变规律和对厂区可能产生的破坏效应,表 1 是在化工厂区内的聚甲醛车间、尿素车间、铵合成车间及附近宿舍楼等部位布置监测点,用以监测爆破振动和频率^[6]。

3.1 实测振动峰值

测点的最大峰值振动值见表 1 表 2 振动波形如图 1、2。

表 1 化工厂生产区各测点测试结果表

测点 部位	水平 T 向速度	竖直 V 向速度	水平 L 向速度	合速度
	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	
10#	0.175/5.1	0.302/4.6	0.143/4.7	0.314
11#	0.13/5.8	0.222/4.5	0.19/5.2	0.252
12#	0.238/7.9	0.175/35	0.349/7.6	0.383
16#	0.286	0.381/46	0.08/171	0.468

表 2 化工厂生活区 79#楼测试结果表

测点 部位	水平 T 向速度	竖直 V 向速度	水平 L 向速度	合速度
	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	mm • s ⁻¹ / 频率 Hz	
6楼	0.397/4.3	0.159/5.3	0.46/3.8	0.591
1楼	0.143/5.7	0.127/6	0.143/4.7	0.163

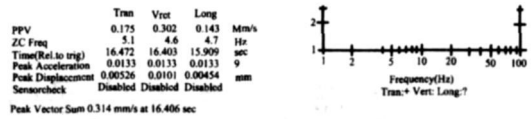


图 1 10#点实测振动波形

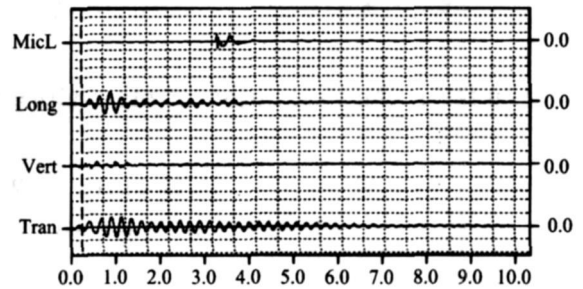


图 2 79#楼实测振动波形

3.2 测试结果分析

反映爆破振动的物理量与炸药量、距爆源距离、岩土性质及场地条件等因素有密切关系。国内外学者提出利用地面速度峰值、加速度峰值作为振动物理量的评价标准。我国目前采用的爆破振动速度公式,是由前苏联 M. A. 萨道夫斯基提出:

$$V = K \left[\frac{Q}{R} \right]^{1/3} \alpha \quad \text{cm/s} \quad (1)$$

式中: K 、 α —与岩石特性等因素有关的常数;

Q —为炸药量, 单位 kg

R —爆炸源至测点间距离, m

根据爆破测试数据,利用沙道夫斯基经验公式对测试结果进行回归计算分析,对左岸高边坡开挖爆破振动衰减规律,总结出了不同区域爆破振动衰减规律^[6]。

I 区和 IV—化工厂生活区和生产区爆破振动衰减规律

$$v = 3591.4 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.68} \quad (2)$$

相关系数: $\gamma = 0.83$ 适用范围: $Q = 288 \sim 60\text{kg}$
 $R = 2478 \sim 800\text{m}$.

III区及下游围堰采石——化工厂生活区和厂区
 爆破振动衰减规律

$$v = 1537.1 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.51} \quad (3)$$

相关系数: $\gamma = 0.90$

适用范围: $Q = 480 \sim 32\text{kg}$ $R = 2043.7$
 $\sim 521.1\text{m}$.

III区——化工厂生活区、厂区爆破振动衰减规律

$$v = 1400.8 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.59} \quad (4)$$

相关系数: $\gamma = 0.81$

适用范围: $Q = 395 \sim 12\text{kg}$ $R = 2178.3 \sim 278.3\text{m}$

本文选择上述公式(2)计算了不同起爆药量和
 距离处的地震动最大速度值,如表 3所示。

表 3 不同药量和距离时的速度峰值

距爆源距离 (m)	起爆药量 (kg)	震动峰值 (mm/s)
2478	288	0.17
800	288	1.14
1639	288	0.34
800	60	0.65

由计算结果看出由振动理论计算最大速度峰值
 $V = 1.14\text{mm/s}$, 爆破振动产生的速度理论上符合
 《爆破安全规程》^[7]和文献[6]关于左岸开挖爆破对
 右岸影响的安全控制要求,如表 4所示。

表 4 左岸开挖爆破对右岸影响安全控制标准

监测部位	允许振速 (mm/s)		
	设计	校核	GB6722-2003
化工厂区生产线在线设备	1.25	5.0	5.0
化工厂生活区	5.0	19.0	20.0~25.0

由爆破振动计算公式可以看出,一次爆破药量
 越大,在相同的条件下爆破质点振动速度越大。因
 而限制一次爆破时的最大用药量可控制质点振动速
 度^[8]。同时左岸爆破后,地震波在经过金沙江等天

然的隔震减震屏障后,其强度降低,也减小了对被保
 护对象的破坏作用。

根据测试结果和理论计算分析,只要左岸高边
 坡爆破施工时按照设计要求进行控制爆破,则左岸
 高边坡爆破振动不会对右岸化工厂区内的生产系统
 产生影响。

3.3 爆破地震的安全距离

为了保证左岸水利水电工程施工爆破不会对
 化工厂内化危险化学品储存装置、生产系统产生
 破坏,上面针对左岸爆破对右岸化工厂产生的速度
 峰值进行了分析,下面在爆破安全距离方面进行
 分析计算。

根据《爆破安全规程》GB6722-2003的规定,
 安全距离为

$$R = \left[\frac{K}{V} \right]^{\frac{1}{\alpha}} Q^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

式中: R —爆破振动安全允许距离, m;

Q —炸药量, 齐发爆破取总炸药量; 延时爆破
 取最大一段药量, kg

V —保护对象所在地质点振动安全允许速度,
 cm/s

K 、 α —与爆破点至计算保护对象间的地形地
 质条件有关的系数和衰减指数。

取 $Q = 288\text{kg}$ $K = 3591.4$ $\alpha = 1.68$ 根据表 3控
 制标准,当允许校核振动速度 $V = 5.0\text{mm/s}$ 时,由公
 式(2)计算得爆破安全距离约为 332m;当允许振动
 速度为设计 $V = 1.25\text{mm/s}$ 时,由公式(2)计算得爆
 破安全距离约为 760m。

左岸水电工程施工爆破源与右岸化工厂生产区
 的实际距离要大于 760m(由施工总布置图推算),
 爆破在化工厂生产区产生的峰值振动速度一般要小
 于 1.25mm/s

根据上述速度峰值实测和数值计算,水电站左
 岸施工爆破不会对右岸化工厂区内的生产精密设备
 产生破坏影响。

4 振动频率对破坏影响分析

要评价爆破振动对地面建筑物的影响,不仅需
 要速度峰值指标判断,还要采用保护对象所在地质

点主振频率指标。

频率在结构动力破坏中有重要影响^[9], 表现为两个方面: 地震波频率是外部因素, 结构频率是内部因素。如果地震波频率较低, 半波长大于建筑结构的特征尺寸时, 结构震动明显。由于低频持续时间长, 累积损伤破坏就会发生, 而且破坏一般先发生于结构上部的薄弱带。频率与允许质点速度关系曲线为分段线性关系。

根据结构动力学理论, 单自由度下结构响应的峰值位移为:

$$A' = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + 4\xi^2\beta^2}} \cdot \frac{p}{4\pi^2 M f_s^2} \quad (6)$$

式中: β 为频率比, $\beta = f_0/f_s$; f_0 为震动频率; f_s 为结构自然频率; ξ 为阻尼比, 一般 $\xi = 0.01 \sim 0.1$ 结构质量大, ξ 小; M 为结构质量; p 为结构所受的地震力, $P = ma$, m 为单元质量, a 为加速度。

可以看出, 当 $\beta = \sqrt{1-2\xi^2}$ 时, $A' = \frac{1}{2\xi} \cdot \frac{p}{4\pi^2 M f_s^2}$, 此时会产生致命的破坏。

研究表明爆破地震波的高频部分随传播距离容易衰减, 而低频域基本不变; 当地震波从低处向高处传播时, 频率有所增加, 尤其是高频部分有明显增大; 地下药包产生的地震波主要是低频部分; 传播介质越松软, 测定的震动频率越低, 与结构物的固有频率越接近, 容易引起共振效应, 而导致振动成倍加强, 进而可能使结构局部或部分开裂破坏或失稳。

一般房屋结构自振频率很低 (约为 $1 \sim 10\text{Hz}$), 从目前的实测资料 (表 2) 来看, 左岸爆破在右岸产生的振动频率大多在 $4 \sim 8\text{Hz}$, 这与建筑物的结构自振频率相近, 对附近的居民楼房有一定的影响。但依据《爆破安全规程》(GB6722—2003) 所允许的安全控制标准, 对钢筋混凝土结构房屋安全允许振速为 $20.00 \sim 25\text{mm/s}$, 出于安全考虑, 设计振速控制在 5.0mm/s 远小于规程规定的安全允许振速, 因而按照设计要求进行施工爆破, 且房屋质量满足抗震设计要求, 爆破振动不会对民房产生不利影响。

5 结论

通过爆破振动实际监测结果和数值计算结果分析, 可得出以下结论:

(1) 对爆破地震效应进行实测是掌握爆破振动变化特性的有效技术手段;

(2) 由现场实测数据和理论计算可知, 现有的施工爆破振动不会对厂区内的生产系统及附近建筑物造成有害影响;

(3) 在爆破安全振动控制中以地面峰值振速为标准的同时, 对建筑物的结构影响评价需考虑频率的影响。

综上所述, 该水电工程左岸高边坡开挖爆破引起的有害效应, 不会对右岸的化工厂生产区及其附近建筑物产生有害影响。在爆破过程中, 要做好相应的爆破震动监测工作, 由实测数据总结适合现场的爆破震动经验公式, 作为制定爆破规模及确定钻爆参数的依据。

参考文献

- [1] 张继春, 彭琼芳. 岩体爆破地震波衰减规律的现场试验与分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2001, 20(4): 399~400
- [2] 吴德伦, 叶晓明. 工程爆破安全振动速度综合研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(3): 266~268
- [3] 朱传云. 岩质边坡爆破振动安全判据综述. 爆破 [J]. 1997, 12: 13~15
- [4] 汪旭光, 于亚伦. 关于爆破振动安全判据的几个问题 [J]. 工程爆破, 2001, 7(2): 88~92
- [5] 王先义, 何学秋, 邵军. 岩土开挖爆破震动效应安全判据的探讨 [J]. 煤炭科学技术, 2003, (7): 54~56
- [6] 向家坝水电站开挖爆破对需保护物影响安全监测成果报告. 长江水利委员会长江科学院, 2005, 12
- [7] 汪旭光, 于亚伦, 刘殿中. 爆破安全规程实施手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [8] 付士根, 许开立. 爆破振动效应预报及减震措施 [J]. 中国安全生产科学技术, 2006, (6): 45~48
- [9] 陈士海. 爆破地震作用下结构震动响应研究现状与发展 [J]. 爆破, 2003, (9): 96~101