

强震动台站与干扰源最小距离的初步研究

李佐唐, 潘颖凌, 田秀丰, 姚 凯, 何新社

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:为了在强震台址遴选、台站观测环境保护工作中对泵房、火车站、采石场爆破这三类干扰源的避让提供定量参考依据,通过实地测试,探讨了这三种干扰源的振动衰减关系。研究认为预警与固定观测台站离开11 kW泵房的距离应不小于69 m;离开(客货低速)铁路线的距离应不小于228 m;离开采石场的距离应不小于723 m。烈度速报台站离开泵房的距离应不小于19 m;离开铁路线的距离应不小于156 m,离开采石场的距离应不小于428 m。

关键词:强震动台站; 干扰源; 最小距离

中图分类号: P315.780.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2012)01-0088-05

Preliminary Study on the Minimum Distance between Strong Motion Station and Interference Sources

LI Zuo-tang, PAN Ying-ling, TIAN Xiu-feng, YAO Kai, HE Xin-she

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to provide quantitative reference for avoiding interference sources such as pump, train station and quarry blasting in strong motion station establishing and station environmental protection work, some tests on site are done and the vibration attenuation relationships of these three interference sources are discussed. The studies suggest that the distance from the station for early warning and fixed observation to pump should be more than 69 m, to train line (low-speed for passenger and freight) should be more than 228 m, and to quarry should be more than 723 m. The distance from the station for quick report to pump should be more than 19 m, to train line should be more than 156 m, and to quarry should be 428 m.

Key words: Strong motion station; Interference sources; The minimum distance

0 引言

如何快速有效的选定新建台站的地址是一个常遇问题。对预警和固定台站、烈度速报台站、各类专用台阵台站,允许的地面脉动值上限不尽相同。“十一·五”背景场地震预警台阵台站对选址提出了新的要求,其中对台址地面脉动值要求小于 $0.0001\text{ gn}^{\text{①}}$ 。现实工作中要找到同时满足各项条件的台址较为困难。如果能对大型厂矿、单位内的泵站和发电机、铁路(包括车站)、采石(矿)场、公路、机场、水

电站、河流、海浪等常见干扰源的规避距离有定量的参考依据,则可大大提高强震动台址的遴选效率,建台后周围新上项目对强震动台站观测的影响也可定量预估。

测震台址的遴选在《GBT19531.1-2004 地震台站观测环境技术要求》第1部分:《测震》中对测震台站规避各类干扰源的最小距离逐项给出了定量数据^[1],给实际工作提供了极大方便,但因其标准要求

收稿日期:2011-04-14

中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2011047

作者简介:李佐唐(1964—),男(汉族),甘肃天水人,硕士,副研究员,主要从事强震台站建设、台网运行维护管理和强震预警方法研究。

中国地震背景场探测项目总工程师办公室. 中国地震背景场探测项目强震动台站场址遴选技术指南. 2009.

太高,位于人类居住区的强震动台站无法照搬。而强震台址遴选所依据的是 2005 年 7 月 4 日中国地震局发布实施的《中国数字强震动台网技术规程》(JSGC-03)^[2],对各类干扰源如何定量规避没有分类给出具体数据,其中要求“固定台站台址场地的最大背景振动加速度噪声小于 0.000 1 gn,对具有速报功能的台站,台址场地的最大背景振动加速度噪声要求宜小于 0.001 gn”。所以选台时只能通过实际测试来判断。《中国数字强震动台网技术规程》(4.2.1)中规定的一天之内分两次各半小时的测试方法也是有缺陷的,比如某些采石场基于安全考虑,往往是半夜爆破,遴选测试假如错过爆破时段所得测试结果就可能为无效数据。

对各类台站干扰源的规避距离逐项开展定量研究是非常必要的^[3-5]。本文中以现场观测数据为依据对泵房、火车站和采石场三种常见干扰源开展了初步研究,研究结果可供强震动台站建设前的地址遴选和建成后的观测环境保护作参考,也为将来系统制订“强震台站观测环境技术要求”国家标准提供参考依据。

1 水泵引起的加速度噪声

1.1 振动源、测试场地和测线概况

2010 年 11 月 17 日上午 9:50 至 11:25 对某乡政府供热水泵引起的地面加速度噪声进行了现场测试。泵房及观测场地见图 1,带烟囱的二层小楼是供热泵房,右侧白色瓷砖贴面房屋为强震动观测室,室内摆墩距离供热水泵电机 15 m。泵房内共两台电机,工作时只开一台,另一台备用,两台电机功率都为 11 kW。泵房内的锅炉容量是 16 t,水泵正常供热时出水压力为 0.29 MPa(表压)。供热水泵房外地面全部水泥硬化。除水泵引起的振动、地面脉动和人员走动之外,未发现其它振动源。从电机(振源)附近开始沿射线布设测线,从 2 m 到 55 m,ET-NA 仪器的 x 方向指向振动源。

1.2 数据处理

取得数据后发现,由于振动强度不大,院内人员走动引起的干扰不可忽略。而水泵引起的振动在同一测点是持续等幅度的,于是人工识别出其它振动波形并从原始数据中截去,保留的波形仅是泵机和地面脉动的叠加结果(表 1)。

由于地面脉动加速度值在所研究的小区域内不同观测点其大小是基本不变的。而泵房电机引起的振动随距离的近远而衰减,经验证明这种衰减规律



图 1 水泵房、强震观测室及观测场地
Fig. 1 The pump room, strong motion station and the observation site.

表 1 泵机振动观测数据及处理结果

编号	震源距 x /m	校正加速度/gal			水平向 合成 /gal	三分向 合成值 y /gal	三分向 合成值 y 减去 0.199/gal
		径向 ch1 (X)	切向 CH2 (Y)	垂直向 CH3 (Z)			
标定		73.97	68.99	75.85			
1	55.0	0.144	0.144	0.351	0.204	0.406	0.207
2	50.0	0.146	0.087	0.379	0.170	0.415	0.216
3	45.0	0.121	0.071	0.538	0.140	0.556	0.357
4	40.0	0.150	0.105	0.458	0.184	0.494	0.295
5	35.0	0.104	0.064	0.401	0.122	0.419	0.220
6	30.0	0.109	0.081	0.358	0.135	0.383	0.184
7	25.0	0.146	0.107	0.656	0.181	0.680	0.481
8	20.0	0.350	0.153	0.693	0.382	0.792	0.593
9	15.0	0.311	0.152	1.088	0.346	1.142	0.943
10	10.0	0.489	0.227	1.063	0.539	1.192	0.993
11	5.0	0.976	1.371	1.182	1.683	2.057	1.858
12	2.0	1.775	1.447	2.130	2.290	3.128	2.929
13	0.8	1.332	0.759	1.896	1.533	2.438	

符合指数关系,因此假设衰减关系为

$$y - g_0 = be^{-ax}, \tag{1}$$

其中 y 为实测的校正加速度三分向合成值; g_0 为地面脉动值,且 $0 < g_0 < y_{\min}$; b 和 a 为常数,且都大于 0, x 为震源距。

用 55~2 m 范围内的十二个测点数据的校正加速度三分向合成值进行指数拟合, Y 位于 0.383 至 3.128 之间。从 0.00 到 0.38 逐渐增大 g_0 的值,发现决定系数 R^2 (Determinate Coefficient) 从 0.783 4 逐渐上升至 0.794 0,此时 g_0 为 0.199; 随着 g_0 的继续增大, R^2 又逐渐减小到 0.549 9,说明 g_0 取 0.199 gal 最佳,推测地面脉动值 $g_0 = 0.199$ gal(表 2)。

表 2 地面脉动值的估计

g_0 值	R^2 值	g_0 值	R^2 值	g_0 值	R^2 值	g_0 值	R^2 值	g_0 值	R^2 值
0.000	0.783 4	0.09	0.789 7	0.190	0.793 9	0.204	0.793 9	0.29	0.784 3
0.005	0.783 8	0.10	0.790 3	0.195	0.794 0	0.205	0.793 9	0.30	0.780 9
0.01	0.7841	0.11	0.790 9	0.196	0.794 0	0.21	0.793 9	0.31	0.776 6
0.02	0.784 9	0.12	0.791 5	0.197	0.794 0	0.22	0.793 6	0.32	0.770 9
0.03	0.785 6	0.13	0.792 0	0.198	0.794 0	0.23	0.793 2	0.33	0.763 3
0.04	0.786 3	0.14	0.792 5	0.199	0.794 0	0.24	0.792 6	0.34	0.753 0
0.05	0.787 0	0.15	0.792 9	0.200	0.794 0	0.25	0.791 7	0.35	0.738 3
0.06	0.787 7	0.16	0.793 3	0.201	0.794 0	0.26	0.790 5	0.36	0.715 4
0.07	0.788 4	0.17	0.793 6	0.202	0.794 0	0.27	0.788 9	0.37	0.674 1
0.08	0.789 0	0.18	0.793 8	0.203	0.793 9	0.28	0.786 9	0.38	0.549 9

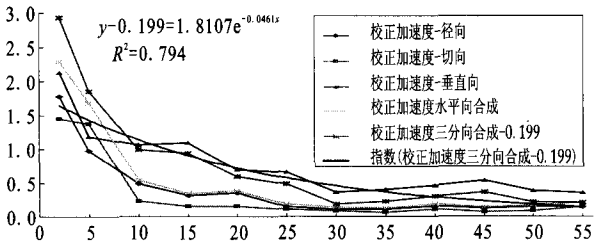


图 2 曲线拟合结果
Fig. 2 The result of curve fitting.

由式(1)得:

$$X = (1/a)\ln(b/(y - g_0)) \tag{2}$$

即 $X = (1/0.0461)\ln(1.8107/(y - 0.199))$ 。

依照《中国数字强震动台网技术规程》(JSGC-03)的规定,对具有速报功能的台站,台址场地的最大背景振动加速度噪声宜小于 0.001 gn,即 $0.001 \times 981 \text{ cm/s}^2 = 0.981 \text{ gal}$ 。水泵引起的振动大小为 $y - 0.199 = 0.981(\text{gal})$, $y = 1.180 \text{ gal}$ 。代入式(2)可知,仅考虑泵机的影响,对应的最小震源距为 14 m;考虑拟合误差的影响,对应的最小震源距为 19 m。如果要求泵机和地面脉动的总和小于 0.001 gn,即 $y = 0.981$,则对应的最小震源距为 18 m,再考虑拟合误差的影响,对应的最小震源距为 23 m。

固定台站台址场地的最大背景振动加速度噪声宜小于 0.000 1 gn,即 $0.000 1 \times 981 \text{ cm/s}^2 = 0.098 1 \text{ gal}$ 。同上计算方法,仅考虑泵机的影响,对应的最小震源距为 64 m,再考虑拟合误差的影响,对应的最小震源距为 69 m。地震预警台址的要求与此相同。

图 1 中的强震动固定台站摆墩距离泵机仅 15 m,当泵机开始工作时该台摆的背景振动明显加剧,造成摆故障的假象。该台所用中国地震局工程力学研究所生产的 SLJ-100FBA-T 摆,量程为 $\pm 2.5 \text{ V}$,对应 $\pm 196 2 \text{ gal}$ 。泵停机时摆的波动幅度为, ch1:0.054 mv、ch2:0.122 mv、ch3:0.074 mv;泵开

机时的波动幅度为 ch1:2.4 mv(1.88 gal)、ch2:2.0 mv(1.57 gal)、ch3:2.9 mv(2.28 gal)。

锅炉房内为 16 t 锅炉及泵机浇注了 1 m 深的混凝土机座,类似基岩台的摆墩,摆墩上距电机(震源)水平距离 0.8 m 处测到的振幅相对较小(表 1 中的事件 13)。在震源距 0.8 m 处用 ETNA/2634 # 记录了水泵由运转到停机的连续振动过程(图 3),水泵的运转使背景加速度噪声提高了 16~44 倍。

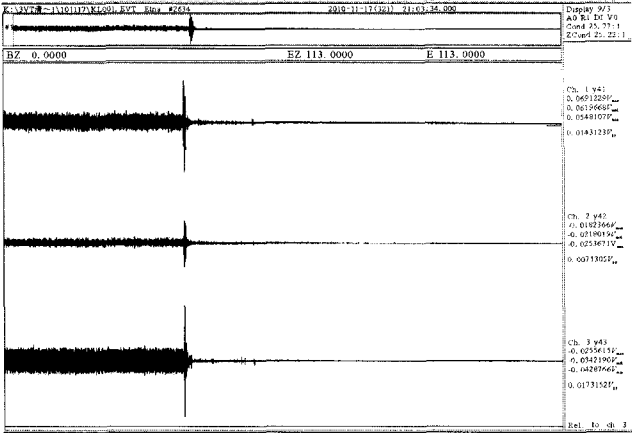


图 3 水泵运转到停机的振动过程
Fig. 3 The vibration curves recorded from pump turning to stop.

2 火车引起的加速度噪声

2.1 场地概况和仪器布置

某火车站内有 6 条轨道线。从北往南依次称为 1~6 轨道。测线垂直于铁路线布设。振动源变化而保持测试仪器的平面布设位置固定不变。连续测试火车常速(约 90 km/h)通行时在车站南侧引起的振动情况,获得加速度噪声数据并计算得到了振动三分向加速度值。在仪器记录振动的同时人工记录铁道上的火车通行情况。

测试持续 5 个小时。剔除干扰后筛选出振幅最

大的一组纪录,对应着两侧火车相向通行振动最强的组合。

2.2 观测结果及分析

对振动强度随离开铁路距离的衰减情况进行了分析。校正加速度峰值随震源距增大呈指数关系衰减(表3),三分向合成结果的衰减曲线见图4。

表3 加速度测试结果

测点 编号	震源 距/m	校正加速度/gal				三分向合成
		CH1	CH2	CH3	水平向合成	
1	15.1	97.607	59.102	76.735	114.106	137.508
2	40.3	9.062	5.537	10.441	10.620	14.893
3	40.3	9.308	5.089	7.692	10.608	13.104
4	87.9	3.027	2.474	3.563	3.910	5.290
5	105.3	2.428	1.942	3.346	3.109	4.568
6	110.3	0.706	0.564	1.581	0.904	1.822
7	118.1	0.798	0.644	1.616	1.026	1.915
8	124.7	1.134	0.954	2.004	1.482	2.493

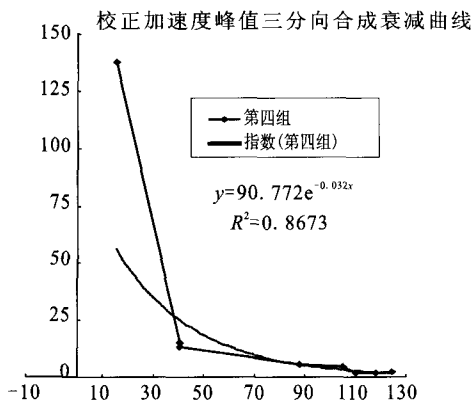


图4 铁路火车振动衰减曲线

Fig. 4 The vibration attenuation curves caused by railway train.

由回归得出的关系式 $y = 90.772\exp(-0.032x)$, 可知

$$x = (1/0.032)\ln(90.772/y), R^2 = 0.8673(3)$$

以常速火车相向通行引起最大振动,由式(2)计算出,固定台站台址的最小振源距为 213 m;考虑拟合误差的影响对应的最小震源距为 228 m。地震预警台址的要求与此相同。

对具有速报功能的台站,相应的最小振源距为 141 m;考虑拟合误差的影响,对应的最小震源距为 156 m。

3 采石场爆破加速度噪声

3.1 测试概述

对某采石场人工爆破引起的振动强度及其衰减关系进行了现场测试。爆破点位于悬崖不同高度,爆破采用露天单炮齐爆方式,3次爆破药量依次是

20 kg、15 kg 和 10 kg。

测点从爆点所在的悬崖顶部向外辐射状布设,测线走向 N16°W。测试使用的是美国 Etna 型三分向数字强震仪,共用 6 台仪器,全部得到完整的振动记录。各测点的震源距参数见表 4。

3.2 观测结果分析

从实测结果计算得到各项数据。对 15 kg 炸药量的爆破绘制了回归曲线(图 5)。对 3 次测试结果,均有 $x = (1/a)\ln(b/y)$ 。爆破衰减关系与炸药量、爆点位置都有关。固定观测位置,炸药量越大振动强度越大;震源越深,衰减越慢。三组结果相比较,虽然第 2 次 15 kg 的炸药量比第 1 次 20 kg 要小,但由于爆破点较低,相当于震源深度大,所以衰减最慢。按照强震动台站对背景噪声的上限值要求,依苛刻条件推断,固定台站的规避距离为 701 m,衰减台站的规避距离为 406 m。考虑拟合误差的影响,固定台站的规避距离为 723 m,衰减台站的规避距离为 428 m。

表4 各测点校正加速度测试结果

测点 序号	震源 距/m	加速度峰值/cm·s ⁻²				三分向合成值 / cm·s ⁻²	
		径向	切向	水平向	垂直向		
20 kg 爆 破	1	30	24.683	31.157	39.750	23.979	46.423
	2	50	9.678	8.309	12.756	9.843	16.112
	3	70	7.302	4.669	8.667	6.963	11.118
	4	100	5.772	4.064	7.059	5.030	8.668
	5	140	3.894	4.918	6.273	3.167	7.027
	6	170	4.186	4.246	5.963	2.261	6.377
15 kg 爆 破	1	30	15.426	16.803	22.811	12.735	26.125
	2	50	6.505	7.466	9.903	12.281	15.776
	3	70	6.679	4.156	7.867	5.716	9.724
	4	100	5.760	3.811	6.907	4.591	8.294
	5	140	5.480	4.755	7.256	4.508	8.542
	6	170	5.643	3.100	6.438	3.381	7.273
10 kg 爆 破	1	30	9.500	8.727	12.900	6.431	14.414
	2	50	4.239	2.340	4.842	2.755	5.571
	3	70	4.186	2.580	4.917	2.623	5.573
	4	100	3.133	1.803	3.615	2.186	4.225
	5	140	2.894	2.081	3.167	1.819	3.938
	6	170	2.081	1.819	2.764	0.994	2.938

注: (1)表中加速度数据是经过仪器基线校正和仪器响应校正后的结果;(2)水平向加速度峰值是径向和切向的矢量和。

4 结语

依据现行的《中国数字强震动台网技术规程》,依据苛刻条件最后得出三类干扰源的规避距离参考值。对于干扰源泵机,速报台站(0.001 gn)的规避距离是 19 m,预警与固定台站(0.000 1 gn)是 69 m;干扰源(客货低速)铁路线,速报台站的规避距离是 156 m,预警与固定台站是 228 m;干扰源采石场,速报台站的规避距离是 428 m,预警与固定台站是 723

表 5 振动衰减关系与规避距离

振动源	a 值	b 值	y/gal		规避距离/m		决定系数 R^2	序列长度
			固定台	烈度台	固定台	烈度台		
爆破 1(20 kg)	0.019 9	36.759	498	305			0.7525	6
爆破 2(15 kg)	0.007 8	23.307	701	406	723	428	0.7287	6
爆破 3(10 kg)	0.009 3	12.248	519	271			0.7412	5
11 千瓦的泵机	0.046 1	1.8107	63.2	13.3	69	19	0.7940	12
两列货运火车	0.032 0	90.77	213	141	228	156	0.8673	8

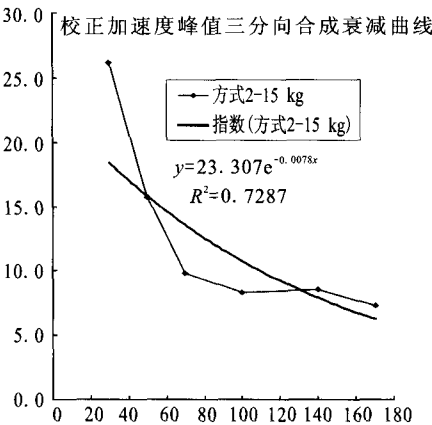


图 5 爆破振动衰减曲线

Fig. 5 The vibration attenuation curve caused by quarry explosion.

m。

干扰的产生、传播、衰减情况与路径及传播介质的特性都密切相关,是非常复杂的。不同的台基和介质条件下干扰的衰减可能千差万别,但是一个大致的衰减情况阐释对台站选址和观测环境评价治理保护仍然是非常有参考价值的。本工作的目的不在于研究揭示衰减规律,而是为了通过实验测试,为强震台址遴选提供一个规避这三类常见干扰源的定量参考依据,以减少盲目性,提高台址遴选效率,同时对建成后的强震动台站观测环境评价保护提供实验数据。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 19531.1 地震台站观测环境技术要求—第一部分—测震[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[2] 中国地震局. JSGC-03 中国数字强震动台网技术规程[S]. 北京:地震出版社,2005.

[3] 车用太,鱼金子,刘成龙,等. 地下流体动态的观测环境干扰影响距离研究[J]. 国际地震动态,2006,(4):10-16.

[4] 吴利辉,滕云田,王喜珍,等. 南京地磁台地铁干扰特征分析与抑制处理[J]. 地震地磁观测与研究,2009,30(6):32-39.

[5] 吴永权,林伟,何寿清. 广东省“十五”项目测震台站台址勘选结果分析[J]. 地震地磁观测与研究,2007,28(1):90-95.

[6] 周雍年. 强震观测的发展趋势和任务[J]. 世界地震工程,2001,12(4):9-26.

[7] 周雍年. 中国大陆的强震动观测[J]. 国际地震动态,2006,(11):1-6.

[8] 卢大伟,李小军. 中国大陆强震动观测发展研究[J]. 国际地震动态,2010,(10):35-42.

[9] 周正华,李铁,代志勇,等. 建筑结构地震反应观测系统[J]. 地球物理学进展,2004,19(4):868-872.

[10] 孙崇绍,石玉成. 甘肃省河西地区高层建筑动力特性脉动观测研究[J]. 西北地震学报,2000,22(3):224-231.

[11] 刘峥,石树中,沈建文. 用美国西部强震记录讨论厚覆盖土层峰值加速度的放大效应[J]. 西北地震学报,2008,30(3):245-248,254.

[12] 孙崇绍. 西北黄土地区河谷城市地震动参数小区划研究——以兰州为例[J]. 西北地震学报,2007,29(1):3-11.

[13] 孙崇绍,卢育霞. 甘肃省若干地段强震地面运动特征[J]. 西北地震学报,2010,32(1):1-10.