

台基对地震波、干扰信号的选择性抑制 及其抗干扰品质的实验研究^{*}

崔庆谷, 宋金燕, 秦波, 蔡绍平

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 基于地震波及干扰信号在覆盖层与基岩分界面的衰减差异实验, 分析了基岩类台基对地震波及干扰信号的选择性抑制的机理, 提出台基抗干扰品质的概念。在此基础上, 以昭通地震台的抗干扰改造为例, 给出利用多套地震仪测定台基抗干扰品质的方法。

关键词: 选择性抑制; 台基; 抗干扰品质; 测试

中图分类号: P315.62

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)02-0222-05

0 引言

环境干扰是伴随着社会现代化进程而加剧的制约当前地震监测事业发展的主要障碍之一。为降低干扰的影响, 自20世纪60、70年代至今, 我国地震台站选址的指导思想是“在满足基本生活条件的前提下尽可能远离干扰源”。

然而, 随着城市化进程的推进, 在上述指导思想下选址建设的大批台站纷纷因干扰源的逼近而停测或迁址(崔庆谷等, 2008)。以云南为例: 1956~1984年间建成的22个测震台站有11个受干扰严重, 占台站总数的1/2, 其中8个台站已停测或迁址(楚雄台、弥渡台、通海台、巧家台、澜沧台、剑川台、云县台、东川台), 仅有7个台站(永胜台、洱源台、云龙台、丽江台、个旧台、盐津台、芒市台)受干扰程度较轻。

事实上, 台站受干扰的程度不仅与干扰源与台站的距离、干扰源的强度有关, 还与台基的岩性及完整性有关(彼得·鲍曼, 2006)。其中, 前两个因素随外部环境的变化而迅速改变, 而第三个因素长期稳定不变, 它决定了台基对干扰的“免疫”力, 称为台基的抗干扰品质。

台基抗干扰品质是指干扰信号在传输过程中遇到基岩露头时的衰减比例。台基抗干扰品质不仅影响台站初选时的噪声水平, 而且决定未来新增干扰源对台站噪声水平的影响程度。因此, 在

人文干扰日益严重的今天, 台基的抗干扰品质是台站选址中需重点考虑的问题。

另一方面, 在台站抗干扰改造实践中, 是选择原址改造还是迁址新建, 在决策之前必须根据干扰的现状及恶化趋势, 结合台基的抗干扰品质做出决定, 否则将造成投资的浪费。

本文在总结云南地震观测实际经验的基础上, 通过分析干扰信号及地震波在传输介质分界面两侧的衰减差异, 给出用多套地震仪测试台基抗干扰品质的方法并应用于昭通地震台的抗干扰改造实践, 取得良好效果。

1 基岩类台基对地震波及干扰的选择性抑制

台基的抗干扰品质由基岩的岩性及完整性决定, 其中完整性是台址勘选中应重点考察的环节。完整性好的基岩露头上的干扰信号会远远低于近旁覆盖层或孤石上的干扰信号。而孤石、断裂的基岩露头上记录到的干扰信号与周围覆盖层相比没有明显的衰减。

物探实践证明, 当面波信号跨越不同地质背景区域(赖思静等, 2005)或者断层分界面时(杨润海等, 1999), 其记录特征将发生明显的改变。因此, 可以通过测量台基与附近覆盖层上的干扰信号振幅差异来得到台基的抗干扰品质。

实验安排如下: 在易门地震台的完整灰岩

^{*} 收稿日期: 2009-05-31.

基金项目: 云南省自然科学基金面上项目(2008CD220)资助.

露头 and 近旁孤石上架设相同的两套地震仪，相距 3.5 m，在两套地震仪连线的中垂线上（距两套仪器 12 m）用人工震源产生干扰信号，基岩和孤石上记录到的干扰信号波形对比见图 1，地震事件波形对比见图 2。

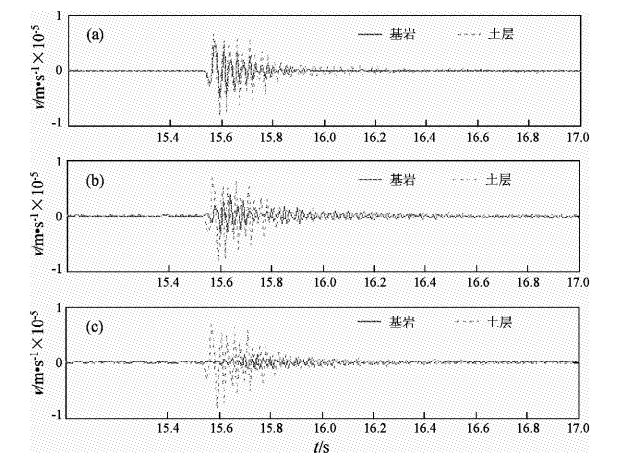


图 1 2009 年 5 月 16 日 16:33 易门地震台基岩和孤石上记录的干扰信号时程对比

Fig. 1 Contrast diagram of disturbance's recordings got from bedrock outcrop and isolated stone (16:33, 16th May, 2009 at Yimen Seismic Station)

图 1 中，通过求解干扰信号在持续时间内的振幅衰减比例，可以得到易门台台基的抗干扰品质，求解公式为

$$R_d = 1 - \frac{\sigma_R}{\sigma_B} \tag{1}$$

其中， R_d 为台基抗干扰品质， $R_d \in [0,1]$ ； σ_R 为台基上的干扰信号标准差； σ_B 为覆盖层（或孤石）上的干扰信号标准差。根据（1）式，得到易门台台基抗干扰品质平均值为 0.585，属中等偏上（表 1）。

表 1 易门台台基抗干扰品质实验结果			
Tab. 1 Test result of noise immunity of Yimen Seismic Site			
分向	$\sigma_R/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\sigma_B/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	R_d
垂直	7.678×10^{-7}	1.323×10^{-6}	0.419
东西	5.926×10^{-7}	1.321×10^{-6}	0.551
北南	2.817×10^{-7}	1.312×10^{-6}	0.785
平均			0.585

实验结果表明：干扰信号遇到基岩时振幅有较大的衰减，说明完整的基岩对来自于地表的干扰信号具有较强的抑制作用，基岩的完整性越好，台基的抗干扰品质就越高。

台基的抗干扰品质仅仅表现为对干扰信号的

抑制，对地震波却没有影响，即选择性抑制。实验结果表明：地震波在基岩和孤石（覆盖层）上的记录基本重合，基岩上的地震波相对于覆盖层（或孤石）没有衰减（图 2）。

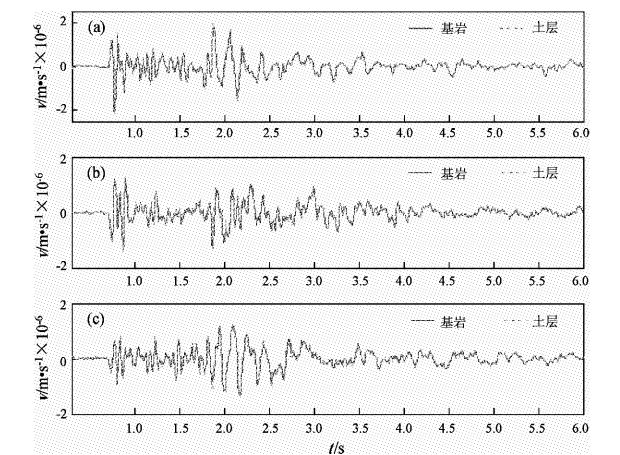


图 2 2009 年 5 月 16 日 06:24 易门地震台基岩和孤石上记录的地震波对比

Fig. 2 Contrast diagram of seismic wave got from bedrock outcrop and isolated stone (06:24, 16th May, 2009 at Yimen Seismic Station)

由于基岩对干扰信号和地震波的选择性抑制，在地震观测中可以通过选择抗干扰品质较高的台基来达到抑制干扰、提高地震记录质量的目的。

2 台基抗干扰品质测试实例

2.1 台站基本情况及测试安排

昭通地震台建成于 1965 年，至 2005 年已积累了 40 年的连续地震观测资料。2005 年，由于城市扩建，台站观测质量受到严重影响。考虑到该台背山面城，可以选择继续加长原有山洞、或者向地下钻井两种方案来减轻人文干扰的影响，但两种方案的取舍需经过严格论证。

如果在现有山洞的内部找到抗干扰品质较高的仪器墩、可以间接证明山洞所在位置存在完整基岩露头，则可以考虑继续向山体深部开挖，寻找更完整的基岩来减轻干扰，提高台基的抗干扰品质以达到抗干扰改造的目的。如果在现有山洞的内部找不到抗干扰品质较高的仪器墩，说明山洞所在位置可能是质地均匀的覆盖层，大规模加长山洞将造成资金的浪费，且不能减轻干扰，必须选择其它抗干扰方案。

测试实验安排如下：在原有山洞的各仪器墩上布设相同的 4 套地震仪（编号分别为 01、02、03、04）组成简易台阵（郝春月等，2007），干扰信号取自附近典型干扰源（图 3）。

已知 03 测点建在覆盖层上，把 01、02、04 测点记录到的典型干扰信号与 03 测点进行对比，即可计算出各测点的抗干扰品质。

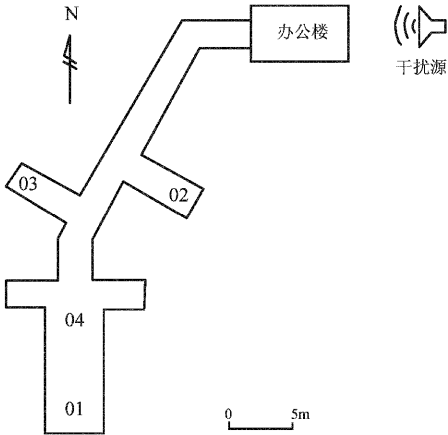


图 3 昭通台山洞内测点布局图
Fig. 3 Layout of test sites in the cave of Zhaotong Seismic Station

2.2 干扰信号测试结果及结论

2009 年 1 月 6 日 13 时在昭通台进行测试，图 3 中 01、03 观测点之间的距离为 16.5 m，由干扰源产生的干扰信号首先传到 03、01 的干扰记录相对于 03 有 0.02 秒延迟，消除延迟后的记录结果对比如图 4 所示。

从图 4 可以看出，尽管 01、03 观测点之间相距较远，但记录的干扰信号具有非常好的相关性且衰减很小（其它几个测点也是如此），说明昭通台山洞所在区域的传输介质具有相似的物理属性。根据（1）式计算各测点的抗干扰品质，得到表 2 所示的结果。

表 2 昭通地震台台基抗干扰品质测试结果

Tab. 2 Test result of noise immunity of Zhaotong Seismic Site

分向	$\sigma_R/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\sigma_B/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	R_d
01	6.335×10^{-7}	8.723×10^{-7}	0.274
02	8.731×10^{-7}	8.723×10^{-7}	-0.001
04	6.614×10^{-7}	8.723×10^{-7}	0.127
平均			0.133

实验结果表明：昭通地震台原有台基的抗干扰品质较低（0.133），山洞内没有找到抗干扰品质良

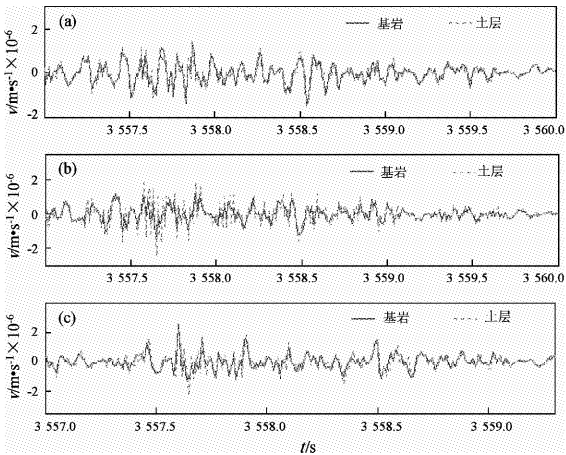


图 4 干扰信号在 01、03 测点上的记录对比
Fig. 4 Contrast diagram of disturbance's recordings at 01 and 03 test sites

好的仪器墩，山洞所在位置可能是质地较均匀的覆盖层，依靠加长山洞来实现预期目标的可能性很小，宜选择井下观测方案来降低环境干扰影响。

基于上述结论，我们对 2006 年的昭通台抗干扰改造方案进行修改，把原计划开挖的 160 m 山洞缩减为 57 m（形变测室），节约的经费计划用于其它抗干扰措施。

2009 年 9 月，昭通台抗干扰改造工程进行到中期，山洞开挖后的地质情况表明，山洞所在位置为大面积严重破碎风化的玄武岩，没有完整的岩体（图 5），证明测试结论正确。

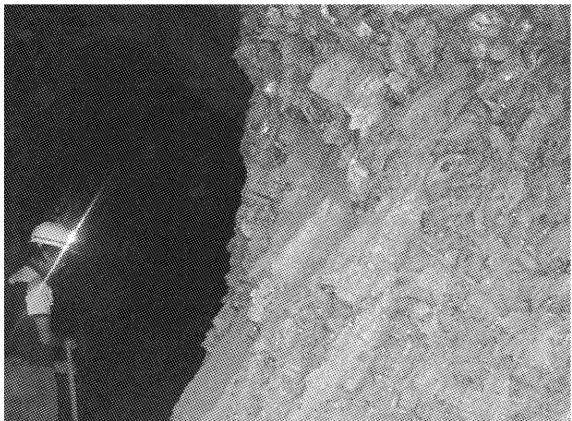


图 5 昭通地震台 57 m 新挖山洞开挖面
Fig. 5 Working face of new-digging 57 m seismic observation cave

2.3 地震波测试及结论

在昭通台进行干扰测试期间，4 台实验仪器同

时记录到地方震及远震,不同测点记录到的地震波波形基本重合。图6为01和03观测点记录到的地震波。

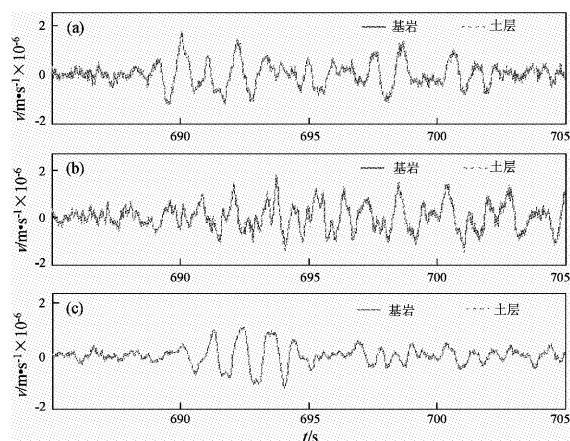


图6 地震波(丽江 $M_L 3.6$)在不同测点上的记录对比

Fig. 6 Contrast diagram of seismic wave (LiJian earthquake $M_L 3.6$) at 01 and 03 test sites

3 台基对地震波及干扰信号选择性抑制的解释

易门地震台的实验结果表明:产生于地表且沿地表覆盖层传输的干扰信号在传输路径上遇到基岩露头时,信号振幅急剧衰减(图1);而地震波遇到基岩露头时,振幅基本保持不变(图2)。引起上述差异的直接原因在于干扰信号与地震波到达基岩露头的传输路径不同。

干扰信号是产生于地表并沿地表传播的全向面波(Mykkeltveit *et al.*, 1983),其强度随深度的增加而急剧衰减(Carter *et al.*, 1991),因而可以采用开挖隔振槽的措施来切断部分干扰信号的传播路径(朱炳寅等, 2007),从而达到抑制干扰的目的。干扰信号在地表的传播速度和衰减情况决定于地表覆盖层的性质和状况(胡家富, 苏有锦, 1999; 刘国华等, 2008)。当干扰信号传输到基岩与覆盖层的分界面时,由于界面反射导致传输到基岩内的干扰信号急剧减小。对于孤石则不存在上述情况。

在实际工作中,有两种情况可能导致分界面

两侧的干扰衰减很小具有良好相关性:一是干扰源直接作用于与台基为同一地质单元的基岩上而不是覆盖层上;二是台基误选在覆盖层或孤石上。对于前者,干扰信号的衰减程度由岩石的声阻抗决定。

与干扰信号不同,地震波由基岩内的震源激发并穿越岩层到达地表,其成分包括体波和面波,体波不经覆盖层直接由基岩到达基岩露头,因而基岩与覆盖层的分界面对地震体波的传播没有影响、对地震面波的影响也小于干扰信号。因此地震波在基岩与孤石上的记录基本相同。

4 结论与讨论

基岩台基对干扰和地震波的选择性抑制可以用台基的抗干扰品质来描述。台基抗干扰品质反映了台站对未来干扰的“免疫能力”,是台站选址、台站抗干扰改造中需要重点考虑的问题。在台址勘选中,通过选择抗干扰品质高的台基可以达到有效抑制干扰的目的。台基的抗干扰品质可以用多套地震仪组成简易台阵来测量。

参考文献:

- 彼得·鲍曼. 2006. 新地震观测实践手册[M]. 北京:地震出版社, 236-237.
- 崔庆谷, 杨玲英, 蔡绍平, 等. 2008. 系统动态特性对重力地倾斜仪器抗干扰性能的影响[J]. 地震研究, 31(4): 394-398.
- 郝春月, 郑重, 牟磊育. 2007. 台阵地震学、禁核台阵与禁核试验条约监测系统[J]. 中国地震, 23(3): 233-244.
- 胡家富, 苏有锦. 1999. 用面波估计浅土层的品质因子[J]. 地震学报, 21(4): 433-438.
- 赖思静, 杨伟, 李海平. 2005. 几种典型面波时域信号的特征分析[J]. 岩石力学与工程学报, 24(增刊): 4884-4859.
- 刘国华, 肖梅, 李庆春. 2008. 浅层三分量地震勘探技术在我国西部公路地下裂缝与陷穴调查中的应用[J]. 水文地质与工程地质, (5): 101-105.
- 杨润海, 许昭永, 王彬, 等. 1999. 多波浅层地震勘探中的断层识别[J]. 地震研究, 22(3): 280-284.
- 朱炳寅, 姜宇, 杨琦. 2007. 建筑地基基础设计方法及实例分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社.
- Carter J A, Barstow N, Pomeroy P W, *et al.* 1991. High-frequency seismic noise as a function of depth[J]. BSSA, 81(4): 1101-1114.
- Mykkeltveit S, Astebol K, Doornbos D J, *et al.* 1983. Seismic Array Configuration Optimization[J]. BSSA, 73(1): 173-186.

Research on Noise Immunity of Seismic Site and Discriminating Attenuation of Bedrock Outcrop to Disturbance and Seismic Wave

CUI Qing-gu, SONG Jin-yan, QIN Bo, CAI Shao-ping

(*Earthquake Administrator Yunnan of Province Kunming 650224 Yunnan, China*)

Abstract

Based on the different performance of seismic wave and disturbance which travel through boundary of overburden and bedrock outcrop, the different attenuating of bedrock outcrop to disturbance and seismic wave is analyzed and verified by experiment. Furthermore, a method for measuring noise immunity of seismic site in simple seismic array is illustrated in the example of Zhaotong Seismic Site.

Key words: discriminating attenuation; seismic site, noise-immunity measurement, testing