

建筑结构地震反应观测系统

周正华^{1,2}, 李铁^{3,4}, 代志勇¹, 吴惟廉¹, 任增云¹

(1. 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080;
3. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 4. 抚顺市地震局, 抚顺 113006)

摘要 建筑结构上获取的地震反应记录有助于促进建筑抗震设计规范的改进, 从而减轻地震引起的生命财产损失. 本文对建筑结构地震反应观测系统布设的目的进行了简要论述, 并就观测系统的构成及测点布设原则作了详细介绍. 此外, 以防灾楼结构地震反应观测系统作为典型实例进行了介绍.

关键词 抗震设计, 建筑结构地震反应, 观测系统

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2004)04-0868-05

Observation system of responses of building to earthquake

ZHOU Zheng-hua^{1,2}, LI Tie^{3,4}, DAI Zhi-yong¹, WU Wei-lian¹, REN Zeng-yun¹

(1. Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of sciences, Beijing 100080, China; 3. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
4. Earthquake Administration of Fushun City, Fushun 113006, China)

Abstract The recorded earthquake response data from buildings can be used to facilitate necessary studies to improve code for seismic design of building so as to reduce losses of life and property during damaging earthquakes. In this paper, the purpose to deploy the observing system for the response of buildings to earthquake is briefly discussed, and the composition of this system and the principle of sensors are introduced in detail. In addition, as a typical application example, observing system for the response of an anti-damage building to earthquake is introduced.

Keywords seismic design, response of buildings to earthquake, observation system

0 引言

建筑结构是人类居住、工作的基本场所. 以往的地震震害表明, 地震引起的建筑物破坏是导致人员伤亡和经济损失的主要原因. 另外, 现代社会的管理、金融、教育、科研、医疗、生产设施也大量集中于建筑结构之中, 建筑结构的抗震安全性事关国计民生, 历来引人注目. 每一次破坏性地震不但加深了人们对各种建筑结构震害现象的认识, 更通过建筑结构上的记录详细地把握了相应位置的地震反应过程, 加深了对建筑结构地震反应的认识, 其相关成果被吸纳到修订的抗震规范中. 由此可见, 建筑结构的强震动观测在地震工程和工程抗震科学中具有重要

的地位和作用. 1994年美国Northridge地震, 1995年日本Kobe地震以及1999年台湾集集地震均在不同类型的建筑结构上取得了一些强震动记录. 这些记录对相关学科的发展都起到了较大的推动作用. 比如不同类型建筑结构的记录可用于该类结构设计分析的验证和修改、安全性评估和健康状况的诊断. 应该指出, 目前建筑结构分析技术还远不能满足工程需要, 这主要是由于分析技术在建模和简化等各个分析环节都有较大的误差. 只有不断地经过建筑结构上获取的强震记录反馈回来的信息进行修正, 才能使建筑结构分析设计水平不断提高.

收稿日期 2004-08-31; **修回日期** 2004-10-14.

基金项目 国家自然科学基金资助项目(40244021), 辽宁省科学计划资助项目(2003231003).

作者简介 周正华(1962-), 男, 研究员, 主要从事强震动观测技术及强震动数据应用研究.

1 建筑结构地震反应观测系统构成

在对建筑结构进行强震动观测时,一般需要在建筑结构的特征部位以及相邻的自由地表处布设若干测点.若观测系统采用整装(或成套)的3通道强震仪,这样既不经济,也不便于管理.从系统建设经费及其维护管理的角度,建筑结构地震反应观测系统最适宜采用以微机为基础的多通道地震观测系统.

随着计算机技术的发展,近年来以微机为基础的多通道地震观测系统得到了迅速发展^[1].这种地震观测系统硬件设备采用微机,配以高速、高精度的模—数转换板和力平衡式加速度计.数据采集和系统控制通过软件来实现,系统管理及后续数据处理灵活多样,时间服务可采用GPS授时.系统可进行连续监测,实时显示波形,并可以通过市政电话线实现远程通讯.目前投放市场的这种系统通道数通常为16道、32道、64道或128道.这种多通道强震动观测系统成本低、功能强,特别适用于建筑结构的强震反应观测,其基本设备配置包括:多道数据采集器、加速度计、GPS系统、UPS、稳压器和标定信号源、屏蔽电缆、程控电话、防雷装置、数据存储与处理设备、通信与数据处理软件等.

2 测点布置原则

为了经济、合理地设计建筑结构地震反应观测系统,在考虑系统的测点布设时,需根据建筑物特点确定,将测点尽量安设在既能够反映出建筑结构主体结构的振动,又能灵敏地反映建筑结构振动特征的位置上.同时,为了解建筑物的整体反应特性,在建筑物的底层、顶层和若干中间层以及建筑物附近自由场地均需布设测点.为此,在进行房屋建筑地震反应观测系统设计时,应考虑结构振型及耦连振动的影响^[2].

如果将建筑结构近似地简化为一线性的力学模型,则结构系统的动力特性可用四个主要参数来确定,即振型、振型质量、自振频率和振型阻尼.尽管这四个参数对于房屋建筑结构在地震作用下的振动反应均有着显著影响,但由于结构振型直接关系到结构在地震作用下的变形特征,因此在选择合理的测点位置时,应该首先考虑振型的影响.应将测点布设在对应各振型中都有较大幅值的部位,尽量避免将测点布设在振型节点处.一般情况下,振型阶数越高,所需测点的数量也就越多.例如,为了测定结构

的第一振型,至少需二个测点,分别布设在房屋建筑物的底层和最高层;为了测定第二振型,则沿建筑物的高度至少布设三个测点,分别布置在建筑物的底层、顶层以及第二振型较大幅值所在位置;以此类推,至少需要四个测点才能了解第三振型的特征.

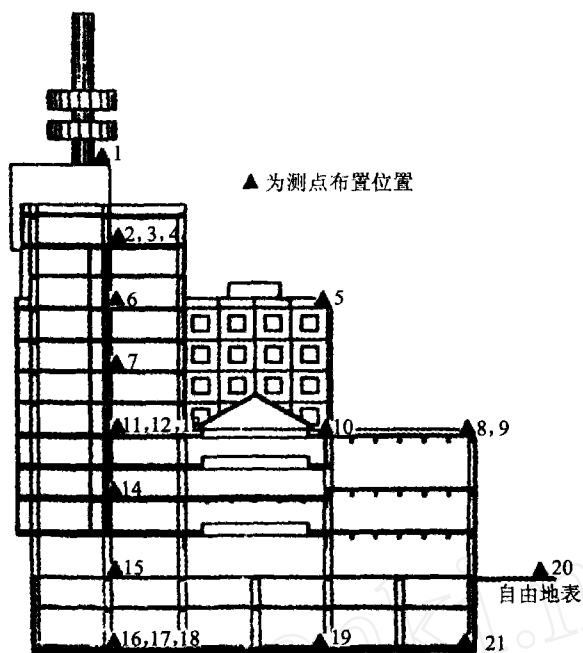
对于对称结构形式的建筑物,一般认为在地震作用下的侧向水平运动可以分离成三个独立的运动,即沿两个主轴方向的侧向水平运动和扭转运动.然而,实际振动测试结果表明,多数情形下侧向水平运动与扭转运动是耦连在一起的,很难分离出来.对于不对称的结构来说,耦连振动现象更显著.因此,在进行房屋建筑地震反应观测系统设计时,应考虑结构耦连振动效应,否则,就不能反应建筑物的完整振动特性.为了获取房屋建筑物的扭转振动反应数据,以进行侧向水平运动与扭转运动分离分析,应在建筑物的较高楼层上布设二个以上的对称水平测点.

此外,还应在建筑物附近的自由场地上布设一测点,为进行房屋建筑结构地震反应记录分析提供输入地震动.为了使这一测点得到的地震动能真正地代表输入到结构上的自由场地震动,要求这个测点离结构不能太远,最好不要超过 $1/2 \sim 1/3$ 的地震波长^[2].但为了防止土—结构相互作用对这一测点地震动的影响,这一测点又不能太靠近房屋建筑物,通常应距离结构至少相当结构物高度的 $1.5 \sim 2$ 倍处为宜^[3].

3 典型实例

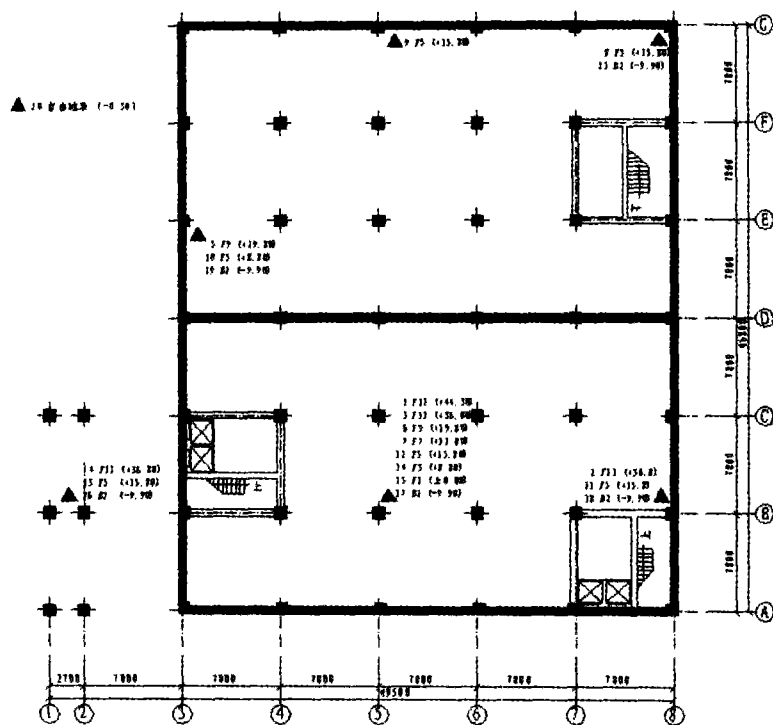
图1是设置在中国地震局防灾大楼上的地震反应观测系统,该系统是我国第一个完整的观测结构地震反应的遥测观测系统^[4].它的建成为今后布设各类结构地震反应观测系统积累了经验.

中国地震局防灾大楼是一栋高41.5米的框架剪力墙结构,地上11层,地下2层,其地震反应观测系统由布设在结构上的20个测点和邻近自由地表的1个测点组成,共57个分量.加速度计采用中国地震局工程力学研究所生产的力平衡式加速度计.数据采集采用美国SYMMETRIC RESEARCH公司生产的ViSeis-DSPA64多道实时地震数据采集系统,用微机硬盘作为数据储存介质,通过拨号电话与位于北京强震观测中心的控制中心通讯,实现远程控制和数据传送.图2为观测系统的流程.



(a) 测点竖向分布图

(a) Measuring point distribution in vertical direction



(b) 测点柱网坐标图

(b) Coordinates of Pillar nets for measuring points

图 1 防灾楼地震反应观测系统测点位置图

Fig. 1 Location of measuring points in the observing system for the earthquake response of the anti-damage building

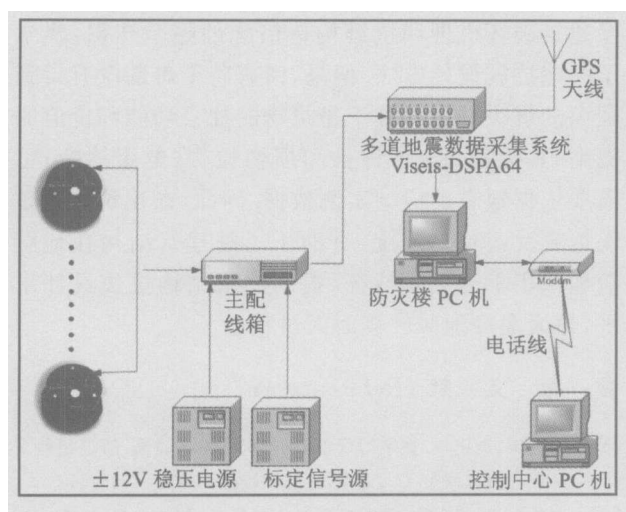


图 2 观测系统的流程图

Fig. 2 Flow chart of the observing system

3.1 观测仪器特性与系统技术指标

大楼地震反应观测系统的加速度计采用 SLJ—100B 型力平衡式三分量加速度计和 WLJ—200 型力平衡式单分量加速度计。数据采集采用美国 SYMMETERIC RESEARCH 公司生产的 ViSeis—DSPA64 多道地震数据采集系统。该系统采用过采样 DSP, 可同时采集 64 道地震数据, 采样率最大可达 138 kHz(单道), A/D 转换 16 位。系统可以不间断地连续记录, 同时可以将满足规定触发条件的事件记录文件号和时间记入触发日志文件中, 以便从连续记录文件中快速查找触发事件的记录。其硬件部分由两块系统板组成: DSPA64 和 DSPHLF 板, 前者用于接收 64 道模拟信号输入、信号放大和模数转换, 后者为协处理器板。

ViSeis—DSPA64 的软件部分主要由以下五个软件组成: 系统实时监测采集软件 ViSeisA64; 生成触发参数软件 A64STA; 记录文件头段信息编辑软件 PrintHdr; 数据文件移送软件 MoveEvts 和 GPS 授时软件 GpsTime。此外, SYMMETERIC RESEARCH 公司还提供了将 OUT 文件转换成 SUD 格式和 ASCII 格式的辅助程序 A642SUD.EXE 和 SUD2ASC.EXE, 以及屏幕显示 SUD 文件的时程曲线的程序 WVIEW.EXE。

模数转换后的数据(OUT 文件)存储在 PC 机硬盘上, 硬盘容量为 30G, 可以存储一周以上连续记录的 57 道信号数据。

系统时间采用 UPS 授时。

通过远程控制软件实现系统的远程控制及数据传输。被控端 PC 为防灾楼观测室的 PC 机, 远程遥

控主机为北京强震观测中心的 PC 机。观测期间防灾楼观测室的 PC 机上的远程控制软件始终保持为被控状态, 北京强震观测中心的 PC 机通过拨号电话与防灾楼观测室的 PC 机进行通讯。

系统总的技术指标如下:

通道数:	64 道(实际使用 57 道)
满量程:	±2.75 V
分辨率:	16 bit
动态范围:	80 dB
采样率:	100, 200sps (可调, 最大 138.8 kHz / 通道数)
频响:	0~80Hz@200sps, 0~40 Hz @100sps
存储量:	30G
电源:	±12 VDC
数据格式转换:	转换成 SUDS 和 ASCII 数据
时间:	GPS 授时
记录方式:	连续

表 1 防灾楼结构地震反应观测系统
测点位置及配置

Table 1 Location and configuration of measuring points in the observing system for the earthquake response of the anti-damage building structure

编号	记录 线道	测点 位置	高程 (m)	柱网 坐标	拾振 方向	加速度 计配置
1	0~2	F12R	+44.30	5B	⊥, EW, NS	1个3分量
2	3~5	F11	+36.80	8B	⊥, EW, NS	1个3分量
3	6~8	F11	+36.80	5B	⊥, EW, NS	1个3分量
4	9~11	F11	+36.80	1B	⊥, EW, NS	1个3分量
5	12~14	F9	+29.80	3E	⊥, EW, NS	1个3分量
6	15~17	F9	+29.80	5B	⊥, EW, NS	1个3分量
7	18,19	F7	+22.80	5B	EW, NS	2个单分量
8	20~22	F5	+15.80	8G	⊥, EW, NS	1个3分量
9	23~25	F5	+15.80	5G	⊥, EW, NS	1个3分量
10	26,27	F5	+15.80	3E	EW, NS	2个单分量
11	28,29	F5	+15.80	8B	EW, NS	2个单分量
12	30~32	F5	+15.80	5B	⊥, EW, NS	1个3分量
13	33,34	F5	+15.80	1B	EW, NS	2个单分量
14	35,36	F3	+8.80	5B	EW, NS	2个单分量
15	37,38	F1	±0.00	5B	EW, NS	2个单分量
16	39~41	B2	-9.90	1B	⊥, EW, NS	1个3分量
17	42~44	B2 观测室	-9.90	5B	⊥, EW, NS	1个3分量
18	45~47	B2	-9.90	8B	⊥, EW, NS	1个3分量
19	48~50	B2	-9.90	3E	⊥, EW, NS	1个3分量
20	51~53	室外 地表	-0.30	⊥, EW, NS	3个3分量	
21	54~56	B2	-9.90	8G	⊥, EW, NS	1个3分量

3.2 观测系统的布设

大楼地震反应观测系统共布设测点 21 个,其中三分量测点 15 个(14 个结构测点、1 个自由场测点),另 6 个测点(结构测点)各布设两个单分量加速度计,共 57 个分量。

防灾楼结构上所有测点的加速度计都布设在主体结构相应楼层的楼板靠近柱网节点的部位,以反映结构主体的整体振动性状。由于防灾大楼周围环境的限制,自由场地测点选在人防地下室出口旁的绿地上,距离防灾大楼约 25m。各测点加速度计设置在水泥墩座上,墩座旁设置电缆分线盒 1 个,与引入的专用信号电缆连接。露天测点加设了防雨罩。所有信号电缆线均预先在大楼施工期间委托北京电话工程公司布设。

各测点的位置和加速度计配置等情况列于表 1 中。

5 结 语

地震工程的研究和实践已经获得了许多有关房

屋建筑破坏机理和抗震构造措施的经验知识,建立了一些抗震设计方法。但是,尚有若干难题没有得到圆满的解决。同时,鉴于建筑物的社会功能和价值的提高,其抗震安全性评价和损伤检测(健康诊断)也需要依据地震反应的实测数据。因此,在建筑物上布设地震反应观测系统,有助于了解建筑结构在地震荷载作用下的反应特征,提高建筑结构抗震设计水平,最大限度地减轻震时人员伤亡。

参 考 文 献 (References):

- [1] 周雍年,周正华. 数字时代的强震动观测[A]. 见:新世纪地震工程与防震减灾[C]. 北京:地震出版社, 2002: 683~690.
- [2] 谢礼立,于双久等. 强震观测与分析原理[M]. 北京:地震出版社, 1982:149~164.
- [3] M Celebi. Seismic instrumentation of buildings, U. S. Geological Survey Open-File Report 00-157, 2000.
- [4] 周雍年,章文波. 防灾楼结构遥测台阵[A]. 见:王亚勇,李爱群,崔杰. 现代地震工程进展[C]. 南京:东南大学出版社, 2002: 755~758.