

中国强震记录汇报

REPORT ON STRONG EARTHQUAKE MOTION RECORDS
IN CHINA

第一集 第三卷

Vol.1 No.3



唐山地震加速度记录反应谱

地震出版社

中国强震记录汇报

Report on Strong Earthquake Motion Records in China

第一集 第三卷

Vol. I No.3

唐山地震 加速度记录反应谱

Response Spectra of Tangshan Earthquake Accelerograms

1976年7月28日至1976年12月31日

记录编号自1C01—001至1C63—276

国家地震局工程力学研究所编

Institute of Engineering Mechanics, State Seismological Bureau

地震出版社出版

Seismological Press, Beijing, China

本卷工作人员

主 编: 谢礼立
编 辑: 于双久 胡成祥 高光伊
计 算: 胡成祥 徐秀芬等
插 图: 王淑珍

唐山地震加速度记录反应谱 国家地震局工程力学研究所 编

责任编辑: 蒋乃芳

责任校对: 王花芝

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 14 印张 358.4 千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数 001—430

ISBN 7-5028-0362-9/P·236

(752) 定价: 7.50 元

编辑说明

我国的强震观测工作开始蕴酿于 50 年代,着手进行于 60 年代。国家地震局工程力学研究所长期致力于此。1961 年在广东省新丰江水电站安装了我国第一个实验性的强震观测台站,以后研制了多道电流计记录式的 RDZ1 型加速度仪和光记录式的三分量加速度仪,并先后由北京地质仪器厂、国家地震局 581 仪器厂和工程力学研究所附属工厂进行小批量生产。截至目前,在各类典型场地和结构上已布设这类仪器约 200 余台。此外,在大地震发生之后,曾多次组织队伍到震区观测强余震。现在已经取得了一批地面和建筑物上的地震加速度记录,并且建立了适合我国观测仪器特点的强震记录数据处理和常规分析方法。目前,强震观测工作在我国已越来越受到重视,从事这项工作的单位越来越多,观测台阵日益扩大。可以预见,我国强震记录的积累必将加速为我国地震工程和地震学的研究提供丰富的基础资料。

强震记录的价值归根结底在于应用。为了便于各方应用,工程力学研究所曾于 70 年代初期先后印发过两集《中强地震观测汇报》,用模拟记录的形式发表了部分邢台地震的余震记录和分析结果,此后又曾以数字记录形式编辑出版过《1975 年海城地震余震加速度数字化记录》和《黄壁庄水库副坝地震观测报告》。这些记录在我国地震工程研究工作中无疑起到了一定的作用。但是,由于记录数量有限,数据处理方法缺少必要的调整和校正步骤,精度难以达到要求,格式也不尽一致,给使用者带来不便。有鉴于此,我们从现在起,将汇集我国强震观测记录,用标准的常规方法进行数据处理和分析,以统一的精度和格式编辑,不定期地出版《中国强震记录汇报》,供各界使用。

《中国强震记录汇报》将分集分卷出版。一般来说,将一个大地震及其在余震中取得的记录,或者在一定时期内积累取得的记录汇成一集,每集分成四卷,第一卷为未校正加速度数字化记录,第二卷为校正加速度、速度和位移数字化记录,第三卷为反应谱,第四卷为傅氏谱(各卷序号在记录编号中分别用 A, B, C, D 表示)。以强震记录数量的多寡,或分卷,或各卷合编在一起出版。

第一集第三卷为唐山大地震及其余震的加速度记录反应谱,是由本集第二卷校正加速度数字化记录数据经有关计算得到的。随后将出版傅氏谱。在其他地震(如海城地震、龙陵地震等)中已经取得的记录,也正在出版中。此外还将逐步做到及时出版新取得的记录。

强震记录,作为第一手资料,从其获取到数据处理和分析是一项极为严肃的工作,稍有差错,将谬种流传,贻害无穷。我们一定兢兢业业,黾勉从事。但由于经验不足,水平有限,缺点和错误在所难免,诚恳地盼望读者不吝指正。

编者 1988.12.

目 录

概况	(1)
地震资料	(2)
观测仪器	(3)
台站资料	(7)
加速度反应谱计算方法	(20)
记录目录	(21)
参考文献	(26)
反应谱图形	(27)

概 况

本集收入了1976年7月28日至1976年12月31日唐山地震主震($M_s=7.8$)及其余震($M \geq 5.0$ 或地面运动加速度大于 20cm/s^2)共38个地震的全部加速度记录63张,加速度曲线276条。在这38个地震中, $M \geq 6.9$ 的有3个, $M=5.0-5.9$ 的有14个, $M=4.0-4.9$ 的有19个, $M=3.0-3.9$ 的有2个。

北京、天津、石家庄地区强震观测台网中的11个台站取得了这次地震的主震或部分余震记录。主震后设置在唐山机场、唐山水泥厂、迁安县滦河大桥、昌黎县凤凰山地震台和玉田县招待所的5个流动观测台取得了部分余震记录。观测对象包括一类场地土(基岩)地面、二类场地土地面、桥梁、土坝以及各类房屋。

图1表示取得记录的16个强震台位置,38个地震的震中分布及主震等烈度线。

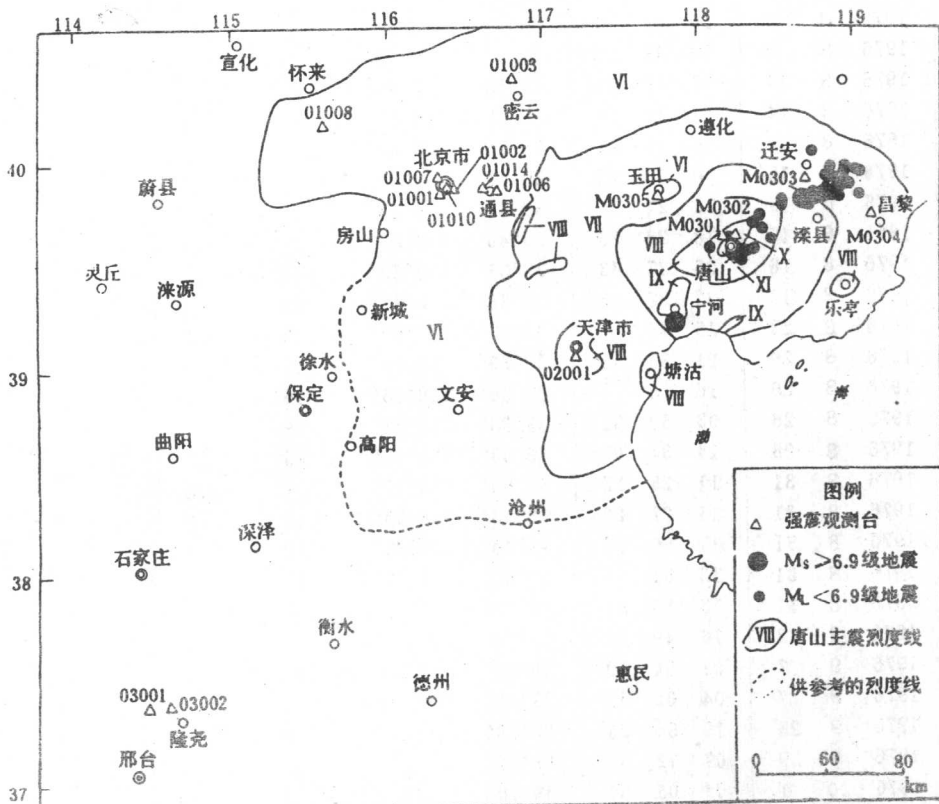


图1 观测台站、震中、主震烈度分布图

地震资料

本集中38个地震按发震时间先后顺序排列, 有关参数列于表1。地震资料取自《唐山地震目录》。表中震级除1976年7月28日7.8级、7.1级和11月15日6.9级给出 M_s 标度外, 其余均只给出 M_L 标定。

表 1

地 震 资 料

地震编号	地震日期			发震时间			震中位置		震源深度 公里	震级 M	震中烈度	备 注
	年	月	日	时	分	秒	北 纬	东 经				
76.001	1976	7	28	03	42	56	39°38'	118°11'	11	7.8	XI	M_s
76.002	1976	7	28	18	45	37	39°50'	118°39'	10	7.1	IX	M_s
76.003	1976	7	31	05	23		39°41'	118°27'		5.4		
76.004	1976	8	1	18	32	19	39°34'	118°15'	14	4.3		
76.005	1976	8	2	18	26	13	39°55'	118°54'	10	4.6		
76.006	1976	8	3	17	33	58	40°04'	118°43'	< 5	4.2		
76.007	1976	8	3	18	16	52	39°38'	118°04'	10	5.0		
76.008	1976	8	3	20	40	40	39°59'	118°51'	< 5	4.8		
76.009	1976	8	5	07	37	28	39°50'	118°50'	< 5	4.2		
76.010	1976	8	5	23	31	36	39°38'	118°20'		4.6		
76.011	1976	8	7	11	07	04	39°51'	118°44'	5	4.1		
76.012	1976	8	8	19	09	10	39°48'	118°32'		5.5		
76.013	1976	8	9	06	41	33	39°57'	118°49'	14	5.7		
76.014	1976	8	14	13	26	38	39°53'	118°49'	17	4.1		
76.015	1976	8	14	13	40	45	39°53'	118°52'	10	4.6		
76.016	1976	8	14	15	10	29	39°52'	118°46'		4.5		
76.017	1976	8	15	00	02	42	39°51'	118°42'	12	5.0		
76.018	1976	8	15	18	21	15	39°44'	118°20'		4.8		
76.019	1976	8	15	18	28	35	39°46'	118°23'		4.8		
76.020	1976	8	16	05	27	43	39°55'	118°58'	13	4.8		
76.021	1976	8	18	23	37	48	39°38'	118°17'	18	4.4		
76.022	1976	8	23	15	45		39°57'	118°52'	5	3.6		
76.023	1976	8	26	01	31	53	39°39'	118°10'	12	4.9		
76.024	1976	8	26	16	55		39°50'	118°45'	16	3.5		
76.025	1976	8	28	03	50	51	39°50'	118°31'	9	4.2		
76.026	1976	8	28	14	34	03	39°58'	118°55'	15	5.0		
76.027	1976	8	31	11	25	27	39°50'	118°42'		5.8		
76.028	1976	8	31	11	27	20	39°53'	118°53'	10	5.7		
76.029	1976	8	31	11	56	28	39°49'	118°53'	11	5.1		
76.030	1976	8	31	12	03	36	39°53'	118°50'	13	4.2		
76.031	1976	8	31	13	05	51	39°52'	118°47'	9	4.3		
76.032	1976	9	2	16	49	32	40°00'	118°57'	9	5.0		
76.033	1976	9	7	01	01	59	39°58'	119°00'	15	5.0		
76.034	1976	9	7	04	02	41	39°57'	119°03'		4.5		
76.035	1976	9	25	19	50	25	39°43'	118°24'	7	5.4		
76.036	1976	9	29	07	12	58	39°52'	119°01'	< 5	5.3		
76.037	1976	10	1	04	05	50	39°49'	118°41'		5.0		
76.038	1976	11	15	21	53	01	39°17'	117°50'	17	6.9	VII	M_s

观 测 仪 器

除官厅水库台使用水利水电科学研究院研制的SG-4-12型地震示波仪¹⁾外, 其余台站均使用北京地质仪器厂生产的RDZ1-12-66型自动触发电流计记录式的12道地震加速度仪⁽³⁾。

(一) RDZ1-12-66型强震加速度仪

该仪器系多道电流计记录式测震仪器, 它包括RDZ1 型电磁式光线示波器一台, RPS1型水平拾震器8个, RZS1型垂直拾震器4个, RCF1型机械触发器2个, 示波器防护支架一个, 均由国家地震局工程力学研究所设计, 北京地质仪器厂生产。电源为外接蓄电池。

水平与垂直摆拾震器均属速度摆拾震器, 地震时, 速度摆的线圈在磁场中运动所产生的电流与测点的加速度成正比, 因而由示波器内所配接的高频电流计可以记录地震动的加速度量。各记录线道的拾震器与示波器内的电流计采用双T型电阻耦合网络, 如图2所示。图中 R_s 为拾震器线圈内阻, R_1 为拾震器阻尼电阻, R_2 为灵敏度调节电位器, r_g 为电流计线圈内阻, r_d 和 R_3 为调节电流计阻尼及记录线道灵敏度的匹配电阻。

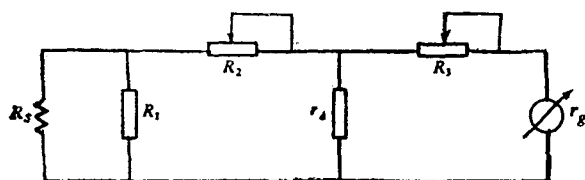


图2 RDZ1型强震仪的双T型电阻耦合网络

拾震器、电流计和机械触发器的主要技术指标见表2—4。

整机技术参数如下:

1. 通频带: 0.5—35Hz (图3)
2. 灵敏度: 0.5—10cm/s²/mm (配FC6-120电流计), 连续可调; 5—100cm/s²/mm (配FC6-400电流计), 连续可调。
3. 触发灵敏度: 1cm/s²即可触发, 可调。
4. 触发延迟时间: 0.2—0.25s
5. 示波器光臂长: 308.38mm
6. 感光纸宽: 200mm; 纸长: 20m
7. 纸速为2.1, 4.8, 11.3cm/s, 不均匀性在1米内小于3%
8. 触发后运转一次为2—3s, 地震强度大于触发灵敏度时能连续触发运转
9. 时标频率为20±0.1Hz
10. 示波器由蓄电池供直流电, 额定电压为25V
11. 示波器外形尺寸: 490×358×353mm³

1) 水利水电科学研究院SG-4-12型地震示波器说明书。

12. 示波器重: 35kg

13. 强震仪示波器可工作在 $0-+40^{\circ}\text{C}$ 的环境中, 拾震器和触发器可工作在 $-20-+40^{\circ}\text{C}$ 的环境中

表 2

RPS1 和 RZS1 型拾震器技术参数

项 目	符 号	数 值		单 位
		RPS 1-66	RZS 1-66	
自振频率	f_1	4.0 ± 0.2	4.0 ± 0.2	Hz
机电耦合系数	B_1	≥ 57	≥ 57	$\text{V} \cdot \text{s} / \text{m}$
转动惯量	K	3.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}	$\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}^3$
折合摆长	L_0	约48	约56	mm
指示摆长	L	100	100	mm
内 阻	R_s	150 ± 10	150 ± 10	Ω
阻尼电阻	R_1	43 ± 10	43 ± 10	Ω
磁感应强度	B	0.6	0.6	T
体 积		$268 \times 108 \times 150$	$287 \times 126 \times 144$	mm^3
重 量		5.6	6.5	kg

表 3

FC6 型电 流 计 技 术 参 数

项 目	符 号	数 值		单 位
		FC ₆ -120	FC ₆ -400	
自振频率	f_2	120	400	H.
工作频率	f_w	60	200	H.
灵 敏 度	v_g	2700	220	mm/mA.m
内 阻	r_o	50 ± 10	50 ± 10	Ω
最佳阻尼状态下的外阻 ($d = 0.6-0.7$)	r_d	180 ± 10	20 ± 10	Ω
允许最大电流	I_m	0.2	2	mA
保证线性度的最大偏转		± 100	± 100	mm
平 衡		1	1	

表 4

RCF1 型机械触发器技术参数

项 目	符 号	数 值	单 位
自 振 频 率	f_3	1.5—2	
阻 尼 常 数	D_3	0.1	
静 态 放 大 率	V_3	10	
体 积		$293 \times 136 \times 152$	mm^3
重 量		6.2	kg

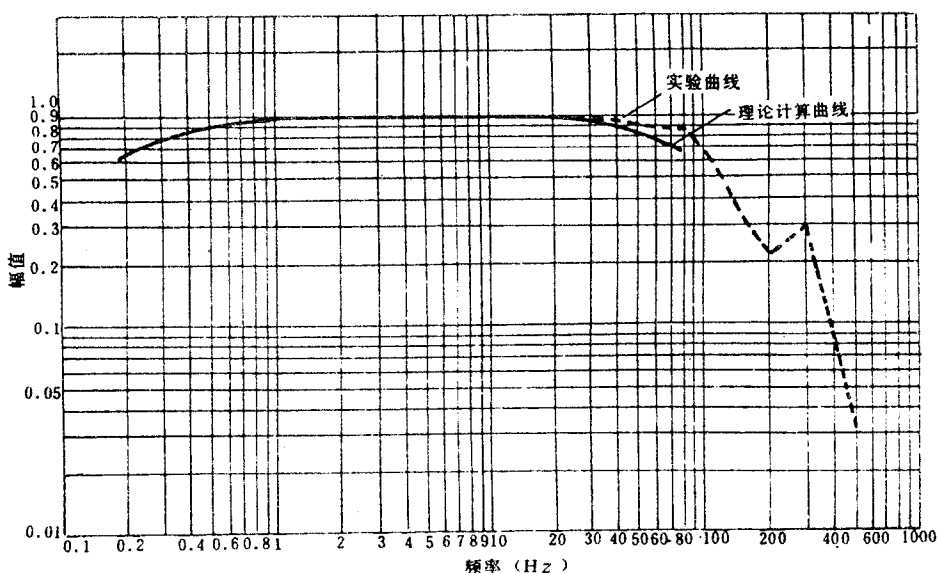


图3 RDZ1型强震仪幅频特性曲线

(二) SG-4-12型强震加速度仪¹⁾

该仪器是多道电流计式强震观测仪，由水利水电科学研究院研制的SG-4-12型地震电磁式光线示波器，配接西安石油化工仪器厂产的DJ651-B型地震检波器（即拾震器）而成。拾震器摆的自振频率约为26Hz，阻尼常数为0.35—0.5，对观测地震动而言，它属加速度拾震器，摆的运动经电磁换能器后，输出的电流与测点运动加速度的一次微分成正比。而在地震示波器内装有积分或低频电流计，其自振频率 $f_2 = 10\text{Hz}$ ，阻尼常数为0.15—0.2，从而可获得记录测点运动加速度这一物理量。触发器包括电磁触发器和机械触发器两种。前者由DJ651-B型拾震器、电子放大器及控制电路构成；后者由水平摆和垂直摆、触点开关及控制电路构成。

记录线道的拾震器与电流计采用图4所示的电阻耦合网络。图中 R_s 为拾震器线圈内阻， R_1 为拾震器阻尼电阻， R_2 为灵敏度调节电位器， r_d 为电流计线圈内阻， R_d 为调节电流计阻尼的匹配电阻。SG-4-12型强震加速度仪所用拾震器和电流计的主要技术参数如表5和表6所列。

SG-4-12型强震加速度仪的整机技术参数如下：

1. 通频带：0.5—20Hz

2. 测量范围：1—200cm/s²

3. 触发灵敏度：机械式触发器的灵敏度可调，最高为1cm/s²；电磁式触发器的灵敏度分为1, 2.5, 5和10cm/s²四挡

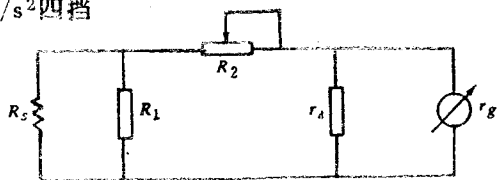


图4 SG-4-12型强震仪拾震器与电流计的耦合网络

1) SG-4-12型强震仪的技术参数由水利水电科学研究院邓克中提供。

4. 触发一次运转时间: 3—60秒, 可调
5. 示波器光臂长: 0.32m
6. 感光纸: 宽120mm, 14°
7. 记录纸速度: 5cm/s
8. 记录线道及分配: 总线道数12, 记录线道10, 时标2
9. 时标: 0.1s/格
10. 电源: AG220V; DG12V或24V

表 5

DJ651-B 型 拾 震 器 技 术 参 数

项 目	符 号	数 值	单 位
自 振 频 率	f_1	26 ± 1	H _z
阻 尼 常 数	D_1	0.35—0.5	
机电耦合系数	Bl	>12	V·s/m
内 阻	R_s	$270 \pm 7\%$	Ω
重 量	W	74	g

表 6

电 流 计 参 数

项 目	符 号	数 值	单 位
自 振 频 率	f_1	10	H _z
灵 敏 度	V_g	$134 \times 10^3 \pm 20\%$	mm/mA·m
内 阻	r_g	110	Ω
临界阻尼电阻	r_d	750	Ω

台 站 资 料

台站按我国统一的省、市、自治区标准排列顺序和该地区建台顺序编号，以M开头的台站编号为流动台。台站目录列于表7。台站分布见图1。

表 7 强 震 观 测 台 站 目 录

台站编号	台站名称	海拔标高 (m)	场地土质	观测对象及结构特点	观测单位
01001	北京饭店	43.5	砂质粘土	17层钢筋混凝土框架结构	工力所 ¹⁾
01002	呼家楼	38.5	砂质粘土	5层砖石混合结构	工力所
01003	密云水库	100	砂砾石层	粘土斜墙土坝	工力所
01006	通县东关桥	21	中轻砂粘土	地 面	工力所
01007	中关村	50	砂质粘土	地 面	工力所
01008	官厅水库	450	砂卵石层	粘土心墙土坝	水研院 ²⁾
01010	北京外交公寓	39.8	砂质粘土	18层钢筋混凝土框架结构	建研院 ³⁾
01014	通县八里桥	25	砂质粘土	地 面	建研院
02001	天津医院	5.2	亚粘土	7层钢筋混凝土框架结构	工力所
03001	冯 村 桥	60	中、粗砂层	多跨简支钢板梁铁路桥	工力所
✓ 03002	红 山	55	砂 岩	地 面	工力所
M0301	唐山机场	30	砂、粘土	地 面	工力所
✓ M0302	唐山水泥厂	20	石灰岩	地 面	工力所
✓ M0303	迁安滦河桥	40	石英砂岩	地 面	工力所
✓ M0304	昌黎凤凰山	60	花岗岩	地 面	工力所
M0305	玉田县招待所	15	中、细砂	8层砖混结构	建研院

- 1) 国家地震局工程力学研究所。
- 2) 水电部水利电力科学研究院抗震防护所。
- 3) 中国建筑科学研究院工程抗震研究所。

北京饭店台

台站编号：01001

台站地点：北京市东城区

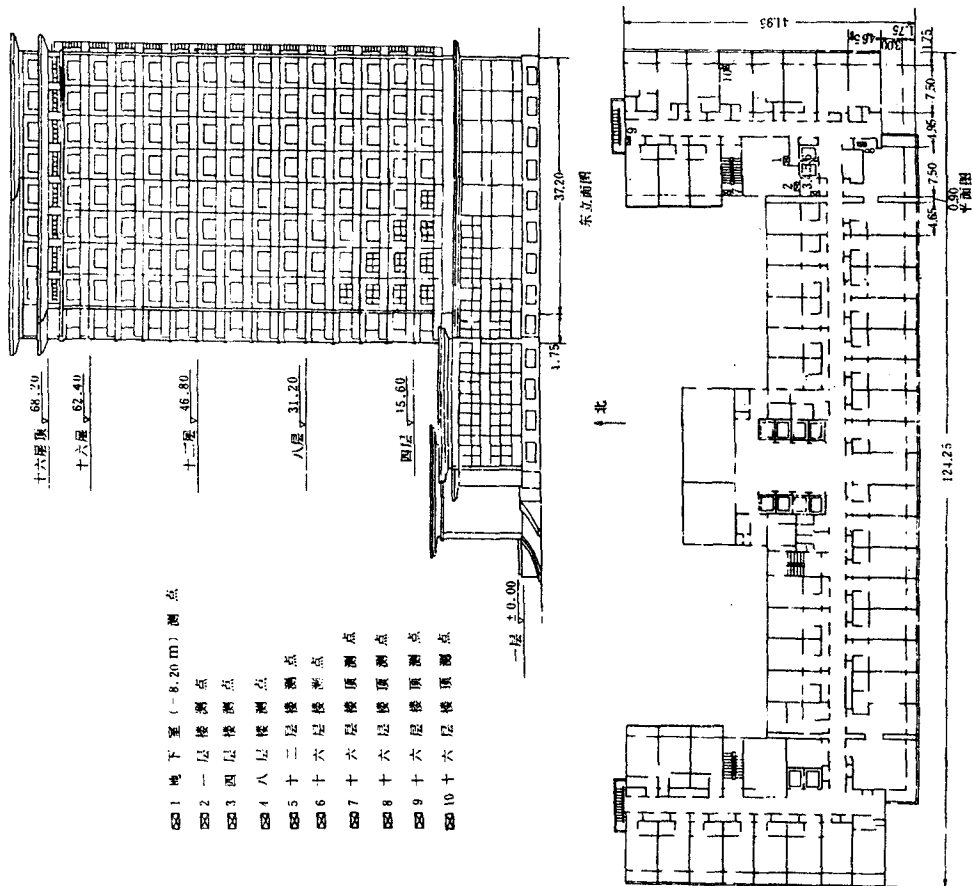
观测仪器：RDZ1-12-66型

观测对象：公用房屋

结构特点：新北京饭店主楼采用现浇钢筋混凝土框架结构。地下2层，地上17层。按Ⅳ度地震烈度设防。基础为天然地基、钢筋混凝土箱形基础

场地土质：以砂质粘土为主。地面标高为海拔42.76—44.47m，地下稳定水位标高为海拔33.64m

测点布置：两台强震仪安装在新北京饭店东翼，拾振器沿楼层不同高度及楼顶平面设置，测点布置如图5所示。



厚度	深度	柱状图	土质
1.75	1.75		杂填土
1.85	3.60		黄填土
0.60	4.20		亚粘土
0.60	4.80		亚粘土
3.40	8.20		亚粘土
3.00	11.20		细砂
1.80	13.00		亚土
0.80	13.80		细砂
2.00	15.80		卵石
4.80			
0.50	20.60		土
0.90	21.10		粘砂
0.90	22.06		粘砂
2.94	25.00		粗砂

土质柱状图

图 5 北京饭店台测点布置图 (单位: m)

呼家楼台

台站编号: 01002

台站地点: 北京市朝阳区

观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 居住用房

结构特点: 5层砖石混合结构, 天然地基

场地土质: 以砂质粘土为主。地面标高为海拔 38.27—38.79m, 地下水位为海拔 34.05m

测点布置: 拾振器沿各楼层设置, 测点布置如图 6 所示。

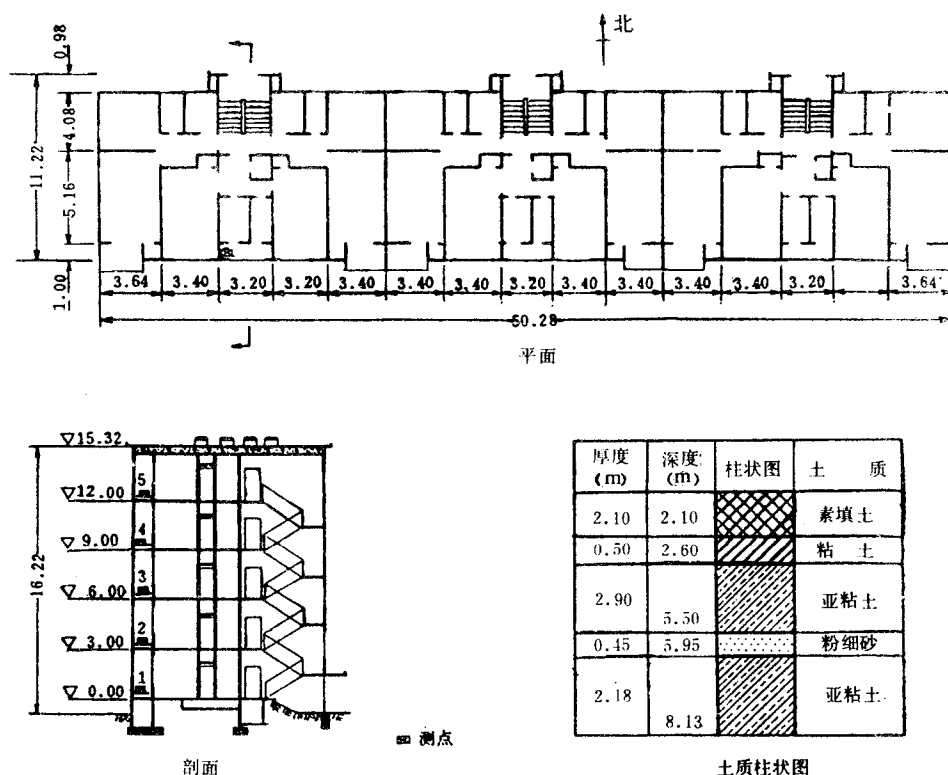


图 6 呼家楼台测点布置图 (单位: cm)

密云水库台

台站编号: 01003

台站地点: 北京市密云县

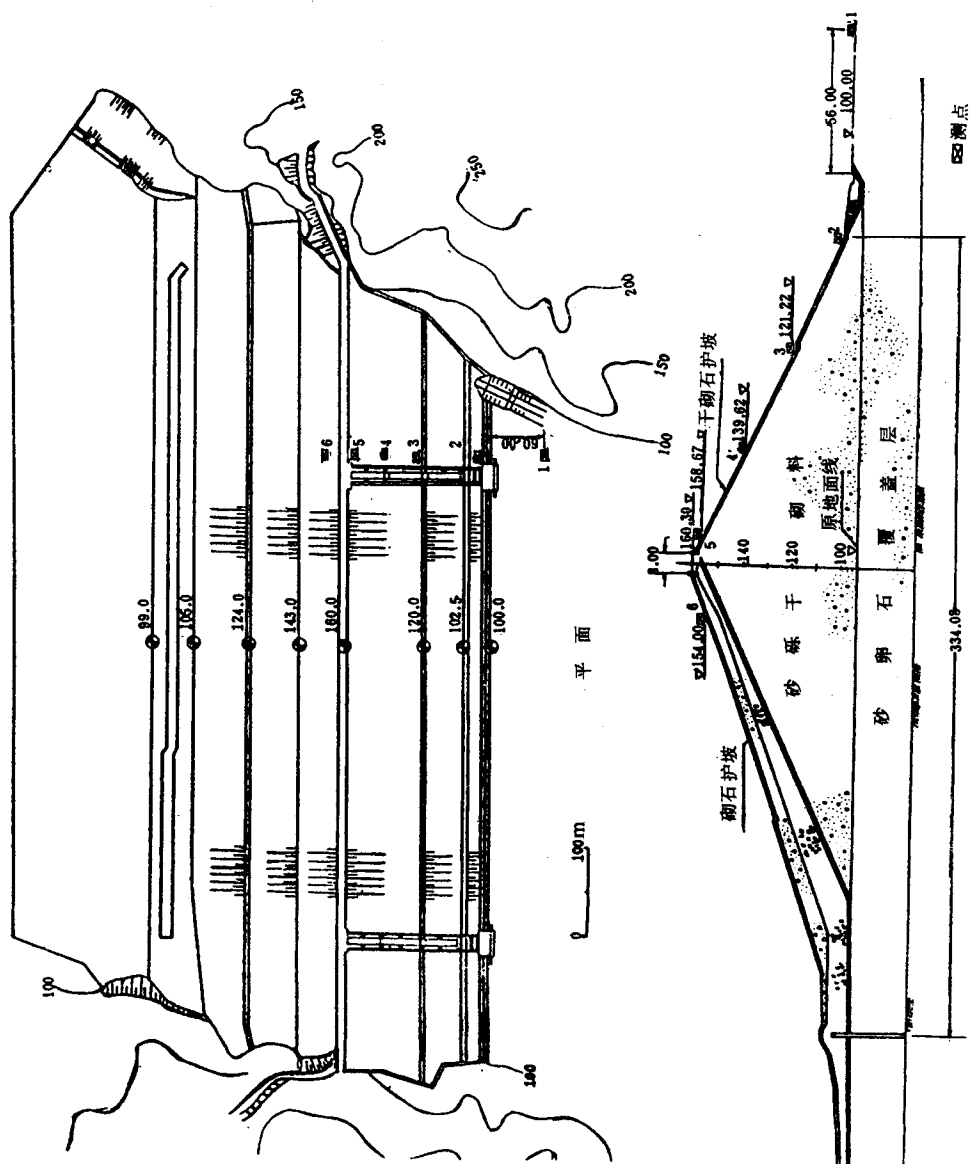
观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 土坝

结构特点: 密云水库白河主坝是粘土斜墙土坝, 砂砾料坝体, 干砌石护坡。坝高 65.30m, 坝顶长960m

场地土质: 砂砾石层。地面测点标高为海拔100m

测点布置: 拾振器沿坝的不同高程设置, 测点布置如图 7 所示。



厚度	深度	柱状图	土 质
3.70	3.70		耕 土
1.30	5.00		砂 砾 石
5.40	10.40		砂 卵 石
1.30	11.70		砂 砾 石
7.00	18.70		砂 卵 石
1.60	20.30		砂 砾 石
4.80	25.10		砂 卵 石
2.10	27.20		砂 砾 石
5.60	32.80		砂 卵 石
3.20	36.00		石英正长斑岩
14.70	50.70		辉石斜长片麻岩
13.30	64.00		石英正长斑岩
16.00	80.00		辉石斜长片麻岩

土质柱状图

图 7 密云水库台测点布置图 (单位: m)

通县关东桥台

台站编号: 01006

台站地点: 北京市通县东关桥西岸

观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 地面

场地土质: 以中轻砂粘土为主。地面标高为海拔21m

台站位置如图8所示。

中关村台

台站编号: 01007

台站地点: 北京市海淀区中关村工力所北京强震观测中心

观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 单层平房仪器室地面

场地土质: 以砂质粘土为主。地面标高为海拔50m, 地下水位为海拔48.39—49.42m

台站位置如图9所示。

官厅水库台

台站编号: 01008

台站地点: 河北省怀来县沙城镇(官厅水库属北京市管辖)

观测仪器: SG-4-12型

观测对象: 土坝

结构特点: 粘土墙土坝。坝高45m, 坝顶长290m, 设计烈度为Ⅲ度

场地土质: 石灰岩。坝基为厚10余米的砂卵石覆盖层, 被测坝段地面标高为海拔440m, 基岩测点标高为450m

测点布置: 拾振器沿坝不同高度设置, 测点布置如图10所示。

北京外交公寓台

台站编号: 01010

台站地点: 北京市朝阳区

观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 公用房屋

结构特点: 装配整体式钢筋混凝土框架-抗震墙结构。地下2层, 地上18层(包括设备层和水箱间)。基础为预制钢筋混凝土桩基

场地土质: 以砂质粘土为主。地面标高为海拔39.8m, 地下水位标高为海拔36m

测点布置: 拾振器沿楼不同高度设置, 测点布置如图11所示。

通县八里桥台

台站编号: 01014

台站地点: 北京市通县西郊八里桥附近

观测仪器: RDZ1-12-66型

观测对象: 单层平房地下室(离地面深1.2m)及单层平房室内地面三个不同位置

场地土质: 以砂质粘土为主, 地面标高为海拔25m

台站位置与测点布置如图12所示。

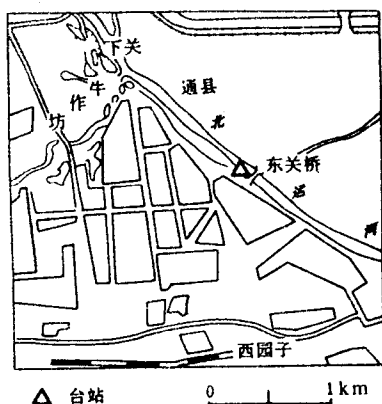
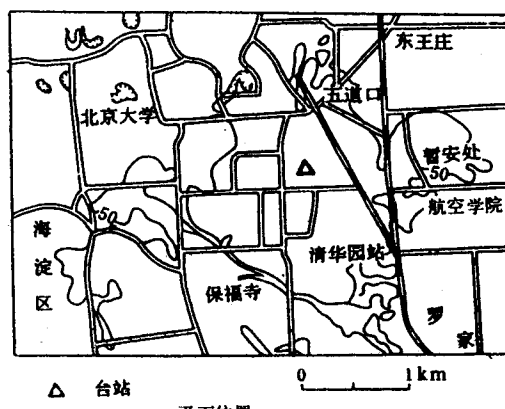


图8 通县东关桥台位置图



平面位置
图9 中关村台位置图

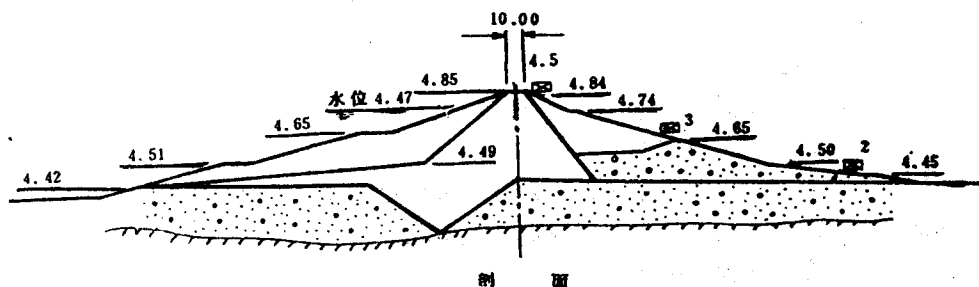
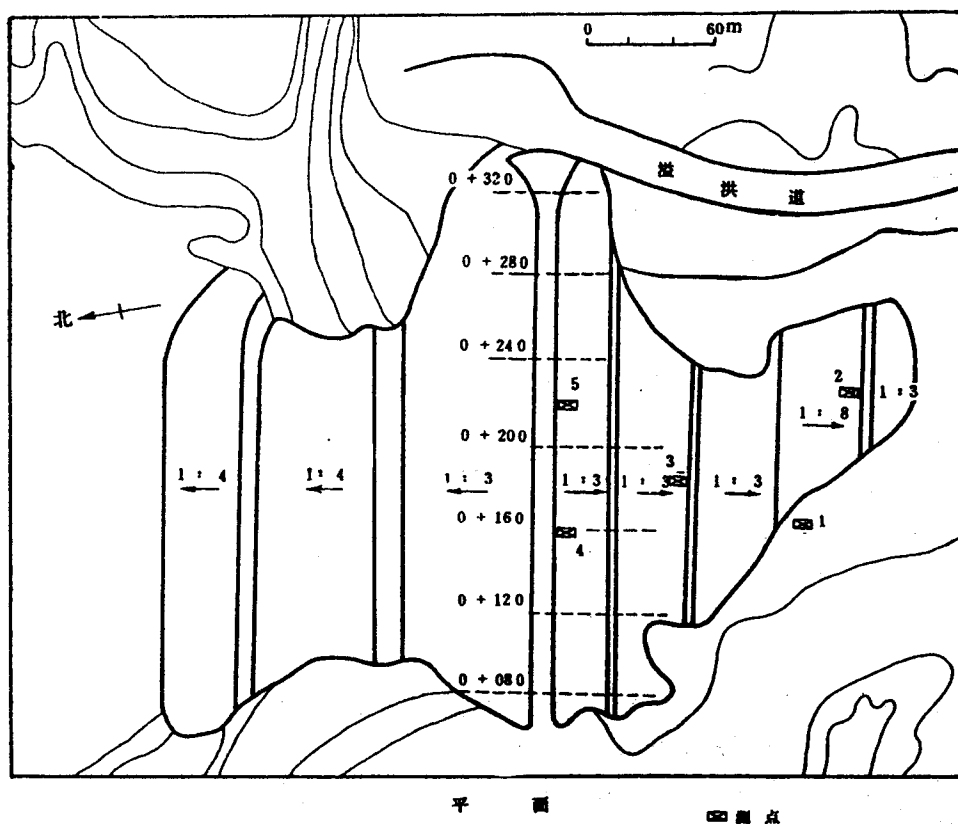


图10 官厅水库主坝断面及台站测点布置图 (单位: m)