

中国强震记录汇报

REPORT ON STRONG EARTHQUAKE MOTION RECORDS
IN CHINA

第三集

Vol. III



龙陵地震强震记录常规处理报告

地震出版社

中国强震记录汇报

Report on Strong Earthquake Motion Records in China

第三集

vol.III

龙陵地震强震 记录常规处理报告

Report on Strong Earthquake Motion Records of Data
Processing Routine in Longling Earthquake

1976年6月5日至1976年6月29日

记录编号自3A01-001至3A13-088

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

本集工作人员

主编: 谢礼立

编辑: 于双久 白桂泉 彭克中 于海英

观测: 白桂泉 于书勤 吴维廉 胡成祥 钱渠炕 张继烈等

数据处理:

记录数字化: 徐秀芬 侯艳华 吕尊子

数据计算: 谢礼立 彭克中 于海英 白桂泉

插图绘制: 王淑珍

龙陵地震强震记录常规处理报告

国家地震局工程力学所编

责任编辑: 蒋乃芳

*

地震出版社出版

北京复兴路63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 59 印张 1888千字

1989年8月第一版 1989年8月第一次印刷

印数 001—400

ISBN 7-5028-0165-0 / P.105

555 定价:30.00元

概 况

1976年5月29日20时23分18秒和22时00分19秒在我国云南省龙陵地区相继发生了7.3级和7.4级强烈地震。震中位置分别为北纬 $24^{\circ}22'$ ，东经 $98^{\circ}38'$ ；北纬 $24^{\circ}23'$ ，东经 $98^{\circ}45'$ 。震源深度均为20km。两次主震的最高烈度均为Ⅷ度，等震线图如图1所示。

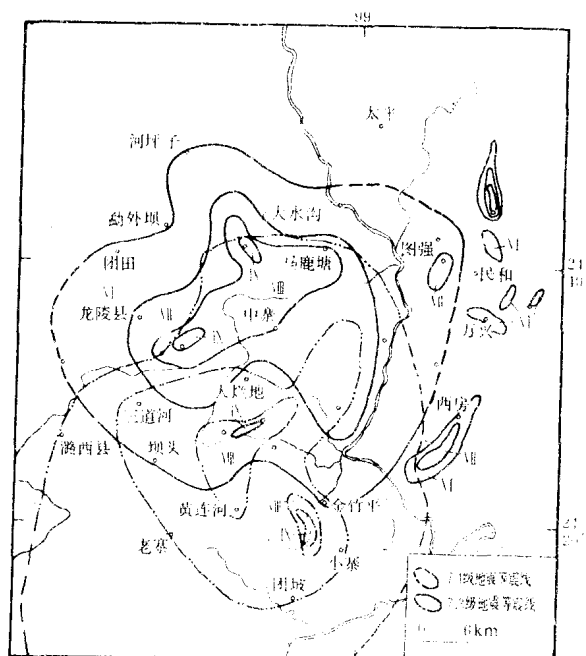


图1 龙陵地震等震线图

龙陵地震后，国家地震局工程力学研究所（当时为中国科学院工程力学研究所）和云南省地震局在地震现场龙陵、潞西、施甸和朝阳架设了4个临时（流动）强震台，进行了余震观测，取得了一批强震记录。

本集收入了11次地震的13张计88条强震记录。对这些记录进行了数字化处理和常规分析，给出了未校正加速度记录，校正加速度记录、反应谱和傅氏谱结果。

地震资料

本集中 11 次地震按发震时刻排列, 有关参数列于表 1。地震资料取自云南省地震局编《云南地震目录》, 1976—1980。

表 1 地震目录

地震编号	地震时间	震中位置		震源深度 (km)	震级	
	年 月 日 时 分	北纬	东经		M_L	M_S
LL001	1976 06 05 22 34	24° 23′	98° 43′	5	3.8	
LL002	1976 06 09 07 14	24° 18′	98° 47′			5.3
LL003	1976 06 09 08 20	24° 50′	98° 45′	10		6.2
LL004	1976 06 09 19 14	24° 20′	98° 39′	5	4.1	4.3
LL005	1976 06 13 14 41	24° 34′	98° 47′	5	4.3	4.0
LL006	1976 06 20 10 33	24° 30′	98° 38′	5		5.1
LL007	1976 06 22 13 25	24° 22′	98° 39′	5	4.1	3.6
LL008	1976 06 22 17 54	24° 24′	98° 49′	5	2.3	
LL009	1976 06 27 01 49	24° 33′	98° 44′	5	4.0	3.9
LL010	1976 06 27 07 41	24° 26′	98° 43′	15	4.1	3.6
LL011	1976 06 29 11 49	24° 32′	98° 48′	10	4.2	3.8

观 测 仪 器

强震台使用的观测仪器均为北京地质仪器厂生产的 RDZ1-12-66 型多道电流计记录式强震加速度仪。该仪器主要包括 RDZ1-12-66 型地震示波仪一台, 它配有 FC6 型电流计, RPS-1 型水平速度摆拾振器, RZS-1 垂直速度摆拾振器, RCF-1 机械触发器。其主要技术参数见表 2—4。

表 2 拾 振 器 参 数

序号	项 目	符 号	数 值		单 位
			RPS-1	RZS-1	
1	自振频率	f_1	4.0 ± 0.2	4.5 ± 0.2	Hz
2	机电耦合系数	Bl	>57	>57	$V \cdot s / m$
3	转动惯量	K_1	$3.6 \pm 0.1 \times 10^{-4}$	$3.6 \pm 0.1 \times 10^{-4}$	$V \cdot A \cdot s^3$
4	折合摆长	L_0	约 48	约 56	mm
5	指示摆长	L_k	100	100	mm
6	内 阻	R	150 ± 10	150 ± 10	Ω
7	阻尼电阻	R_1	43 ± 10	43 ± 10	Ω
8	体 积		$268 \times 108 \times 150$	$287 \times 126 \times 144$	mm^3
9	重 量		5.6	6.5	kg

表 3 机 械 触 发 器 技 术 参 数

序 号	项 目	符 号	数 值	单 位
1	自振频率	f_3	1.5—2	Hz
2	阻尼常数	D_3	0.1	
3	静态放大率	V_3	10	
4	体 积		$293 \times 136 \times 152$	mm^3
5	重 量		6.2	kg

表 4

示波器用 FC6 型电流计技术参数

序 号	项 目	符 号	数 值		单 位
			FC6-120	FC6-400	
1	自振频率	f_2	120 ± 10	400 ± 10	Hz
2	工作频率	f_w	60	200	Hz
3	灵敏度	V_g	2700	220	mm · m / mA
4	内 阻	r_g	50 ± 10	50 ± 10	Ω
5	外阻($d=0.7$)	r_d	180 ± 50	20 ± 10	Ω
6	允许最大电流	I_m	0.2	2	mA
7	保证线性最大偏转		3%, ± 100	同左	mm

水平与垂直摆拾振器均为速度摆拾振器。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

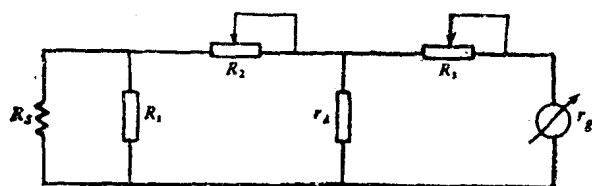


图 2 双 T 型电阻耦合网络

速度量。各记录线道的拾振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 为拾振器线圈内阻, R_1 为拾振器阻尼电阻, 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

尼及记录道灵敏度的匹配电阻。

整套仪器的技术参数如下:

1. 幅频特性: 0.5—35Hz(图 3);
2. 灵敏度: 0.5—10cm · mm / s² (配 FC6-120); 5—100 cm · mm / s², (配 FC6-400);
3. 触发灵敏度: 1—10cm / s², 可调;
4. 触发一次可持续运行 3s, 触发器所在位置处地震动强度大于触发阈值能连续多次运转;
5. 触发延时: 小于 0.2s;
6. 记录感光纸宽 200mm, 长 20m;
7. 记录纸速: 三种, 2.0, 4.8, 11.3cm / s, 纸速均匀性在 1m 之内小于 3%;
8. 记录迹线: 12 个信号道, 2 个时标道, 1 个零线道, 1 个备用道, 总计 16 道;

9. 时标频率: $20 \pm 01\text{Hz}$;

10. 电源: DC 24V。

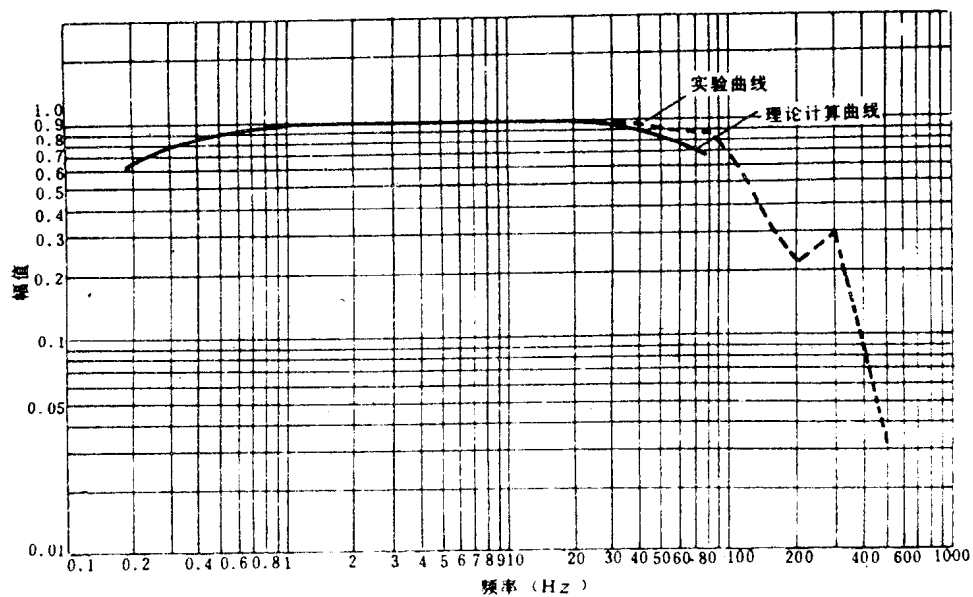


图3 RDZ1 型幅频特性

台 站 资 料

强震台站的分布如图 4。

台站目录见表 5。

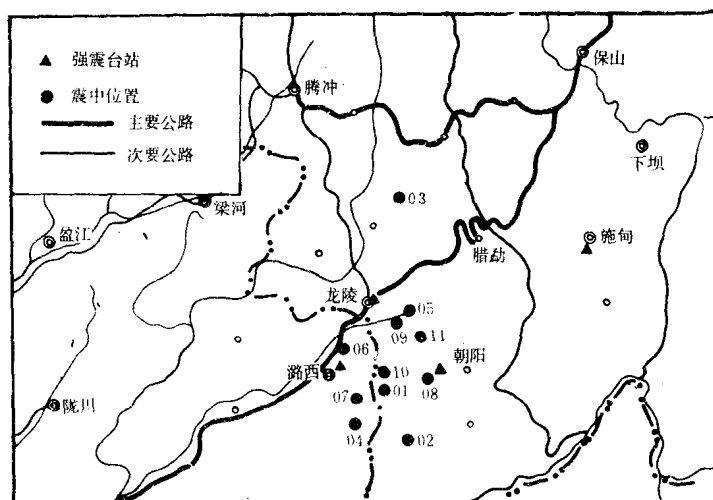


图 4 强震台站分布图

表 5

台 站 目 录

台站编号	台站名称	台 站 位 置		观测对象	场地条件
		北 纬	东 经		
01	龙 陵	24° 37′	98° 42′	二层砖混结构	基岩
02	潞 西	24° 27′	98° 37′	三层砖混结构	Ⅱ类土
03	施 甸	24° 44′	99° 11′	人防工程平洞	基岩
04	朝 阳	24° 27′	98° 50′	山梁	基岩

台站资料分述如下：

龙陵台(01)

该台设在龙陵县百货公司，位置如图 5。

百货大楼为二层砖混结构。在一层、二层楼板和自由地面各设一组三分量测点（图 6）。

地基土为 I 类基岩。

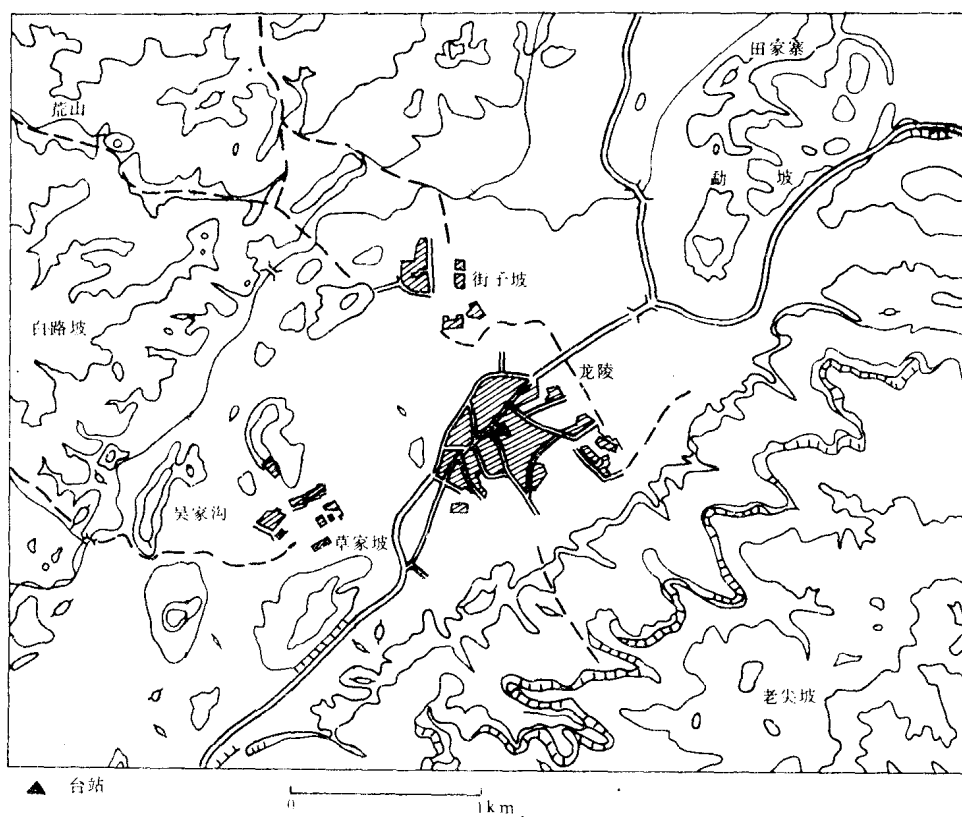


图5 台站位置图

路西(芒市)台(02)

该台设在德宏傣族景颇族自治州州委办公楼，其位置如图7所示。

该楼为三层砖混结构。在二层、三层和自由地面各设一组三分量测点（图8）。

地基土为Ⅱ类。

施甸台(03)

该台设在施甸县人武部，位置如图9所示。

人武部办公室为砖柱土坯墙平房，距人武部办公室 30m 处的小山处开凿有人防平洞。在办公室地面、人防平洞洞口及洞内地面各设一个三分量测点。相距均约 30m（图10）。

测点地基均为基岩。

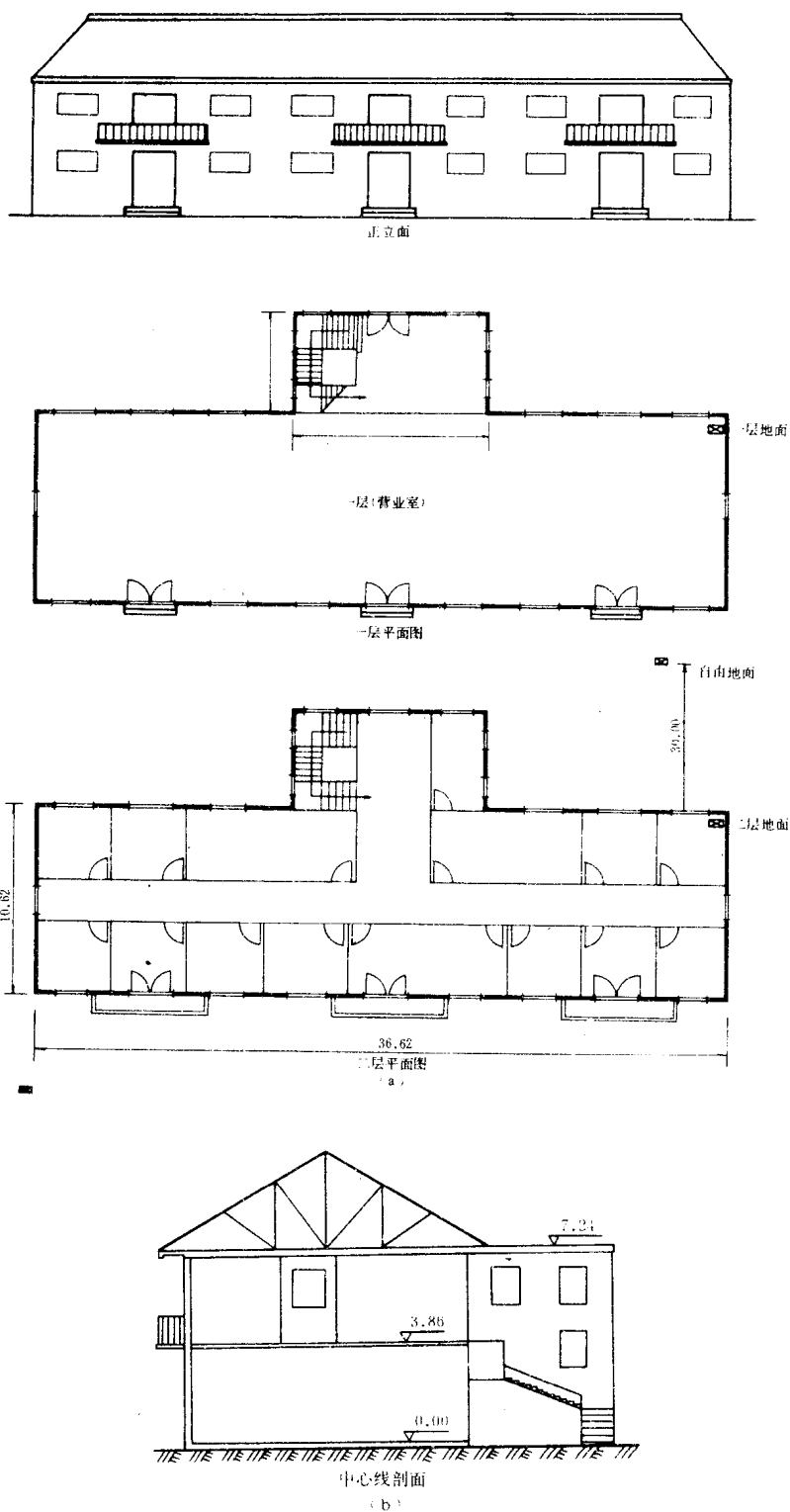


图6 测点布置图 (单位: m)

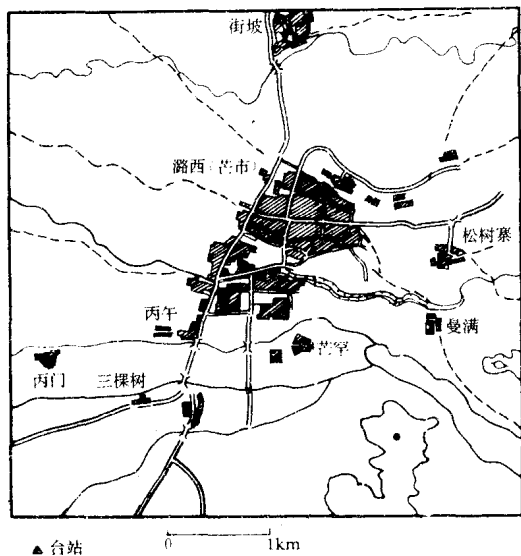


图 7 台站位置图

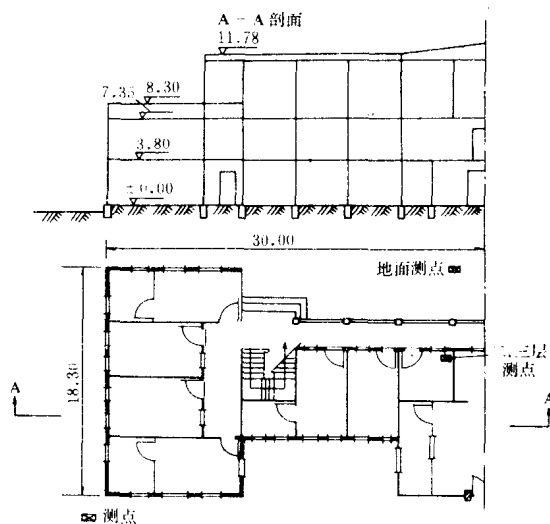


图 8 测点布量图(单位: m)

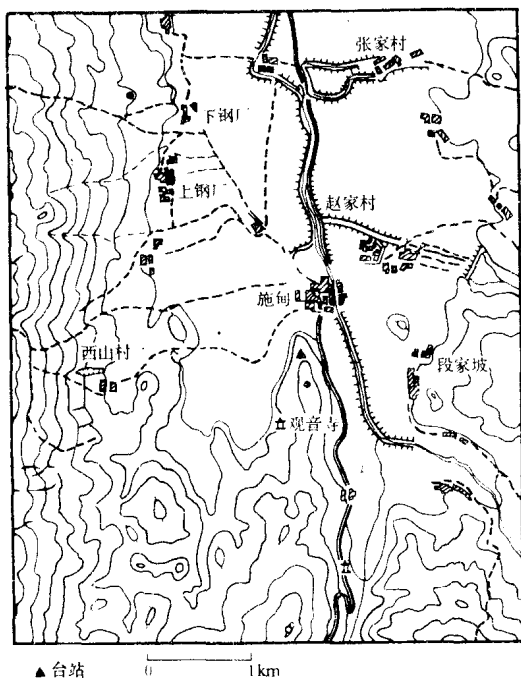


图 9 台站位置图

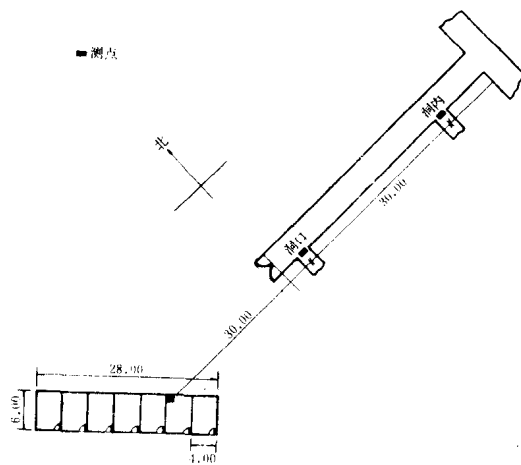


图 10 测点布量图(单位: m)

朝阳台(04)

该台设在龙陵县朝阳寨南面的山梁处, 其位置如图 11 所示。山梁高出附近河谷约 45m, 延伸为北东向。

两组三分量测点分别设在山梁顶部和腰部，高程差约 20m。

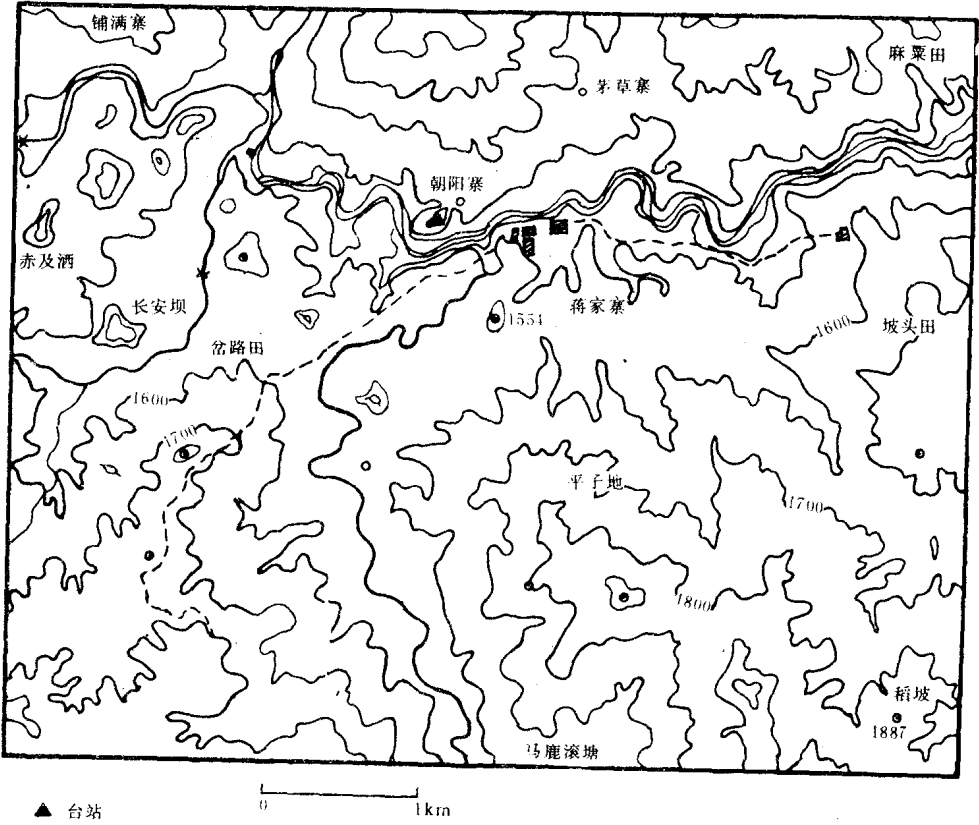


图 11 台站位置图

记录的常规处理分析

强震加速度记录的常规处理分析包括：对模拟记录的数字化处理，计算未校正加速度数字化记录；由未校正加速度数字化记录计算校正加速度记录、速度记录和位移记录；由校正加速度记录计算反应谱；由校正加速度记录计算傅氏振幅谱。

本集的数据处理分析是以工程力学研究所根据我国强震观测特点研究编制的专门程序进行的。

(一) 未校正加速度数字化记录

对模拟记录的数字化处理内容包括：

- (1) 对原始记录中的时标、固定线及加速度迹线采样，给出相应的离散化数据。
- (2) 由这些离散化数据，确定每条加速度记录的零线位置，并对加速度幅值及与之对应的时间坐标值进行标定。

记录的采样是在 DT-206 型半自动读数机上进行的。读数机的灵敏度可调，X 轴方向为 1—10 数码/mm，Y 轴方向为 1—50 数码/mm。读数机台面可供读数的范围为 740mm × 300mm。

对时标迹线采样按实际记录状况采用 0.2s 的时间间隔；对固定迹线采样间隔为 0.25s 左右；对加速度迹线以不等间隔采样，采样时检出所有的峰点、拐点及其间的适当点子，以保证取样点能最好地逼近记录迹线。

进一步的数据处理是用专门程序进行的*。内容包括：固定线光滑化，时标光滑化，加速度数字化记录的零线调整等。

图 12 是程序框图。

(二) 校正加速度记录

未校正加速度数字化记录固然包含了所需要的地震动的真实信息，但其中尚包含着仪器反应失真以及其他环节中混入的各种误差。为减少和消除这种误差，提高数据精度，需对数字化记录进行仪器校正和零线校正。

1. 仪器校正

台网使用的 RDZ1-12-66 型强震仪采用速度摆（自振频率一般 4Hz，阻尼常数约等于 10）配接电流计（自振频率一般为 120Hz，阻尼常数为 0.7）来记录加速度。它的运动方程为：

$$\begin{cases} \ddot{\theta} + 2n_1 D_1 \dot{\theta} + n_1^2 \theta = -\frac{1}{l} \ddot{X}(t) + 2n_1 D_1 \sigma_1 \dot{\varphi} \\ \ddot{\varphi} + 2n_2 D_2 \dot{\varphi} + n_2^2 \varphi = 2n_2 D_2 \sigma \theta \end{cases} \quad (1)$$

$$\ddot{\varphi} + 2n_2 D_2 \dot{\varphi} + n_2^2 \varphi = 2n_2 D_2 \sigma \theta \quad (2)$$

式中， θ ， φ 分别为摆体和电流计镜片相对于平衡位置的角位移； n_1 ， n_2 分别为摆体和电流

* 周雍年，强震加速度记录的数字化及标准程序，中国科学院工程力学研究所研究报告，79—032。

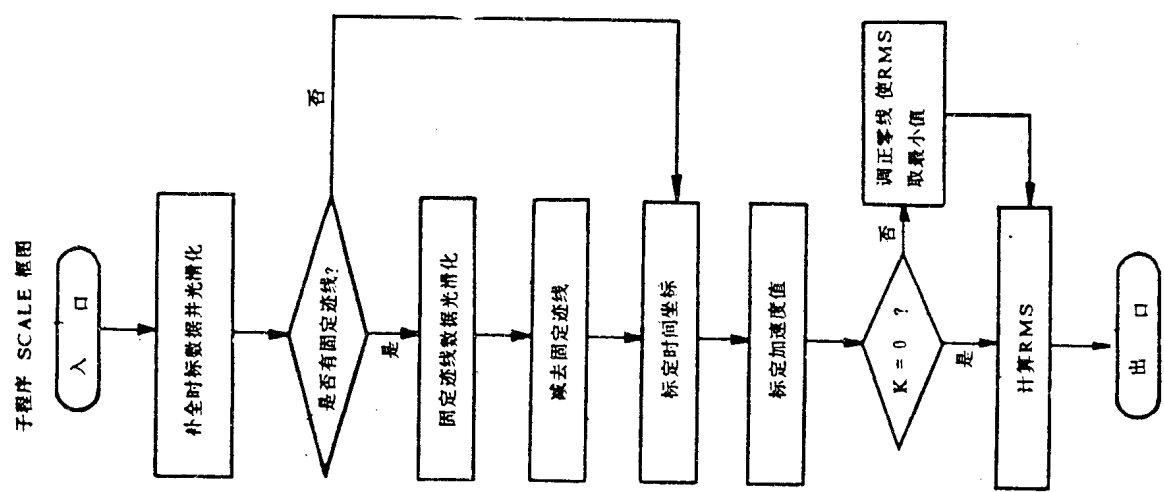
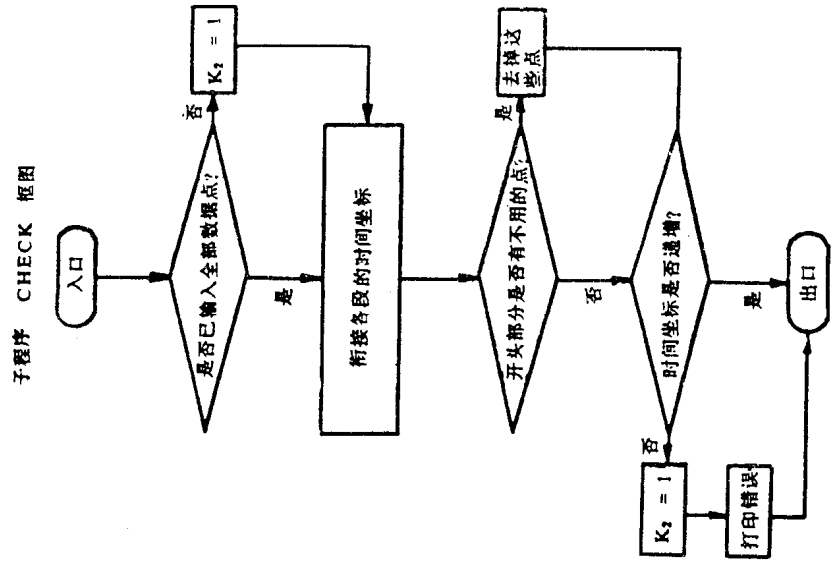
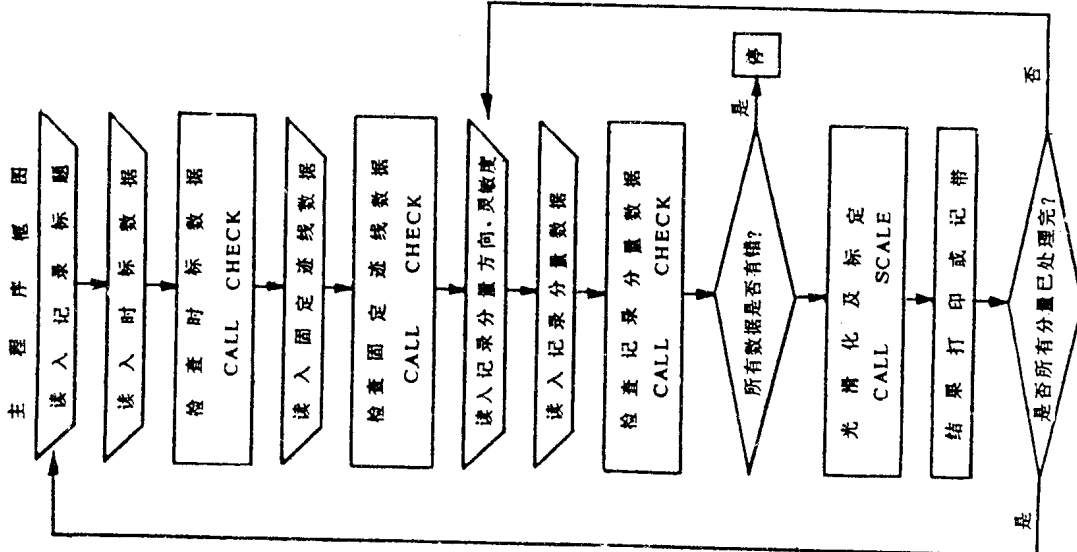


图 12 程序框图

计的自振圆频率; D_1 , D_2 分别为摆体和电流计的阻尼常数; l 为摆的折合摆长; $\sigma^2 = \sigma_1 \cdot \sigma_2$ 为耦合系数; $\ddot{X}(t)$ 为地震动的加速度; t 为时间自变量。

分析表明, 耦合系数 σ^2 的影响很小, 最大相对误差为 $0.05 \times 10^{-2} - 0.05 \times 10^{-5}$, 可略去不计。由于电流计自振频率 $n_2 / 2\pi$ 远大于工程中感兴趣的信号频率, 所以, 由电流计引入的误差也可略去不计。但是, 由于速度摆的阻尼常数 D_1 不容易达到很高的数值, 根据地震仪理论, 只能在一个有限的频带 (0.5—35Hz), 才能正确地记录地震信号。超出这个频带, 仪器反应必有很大的失真。

仪器校正的方法为微分-积分法。

微分-积分法就是分别对实测的失真加速度记录 $\ddot{\theta}(t)$ 作一次微分得 $\ddot{\theta}(t)$ 和作一次积分得 $\theta(t)$, 然后按式 (1) 进行组合, 即得到真实的地震动加速度记录。应当指出, 微分运算会使高频误差变大, 而积分运算会使低频误差变大, 所以, 在用微分-积分法进行仪器校正之前, 必须对加速度数据做一次带通滤波。仪器校正的计算框图如图 13 所示。

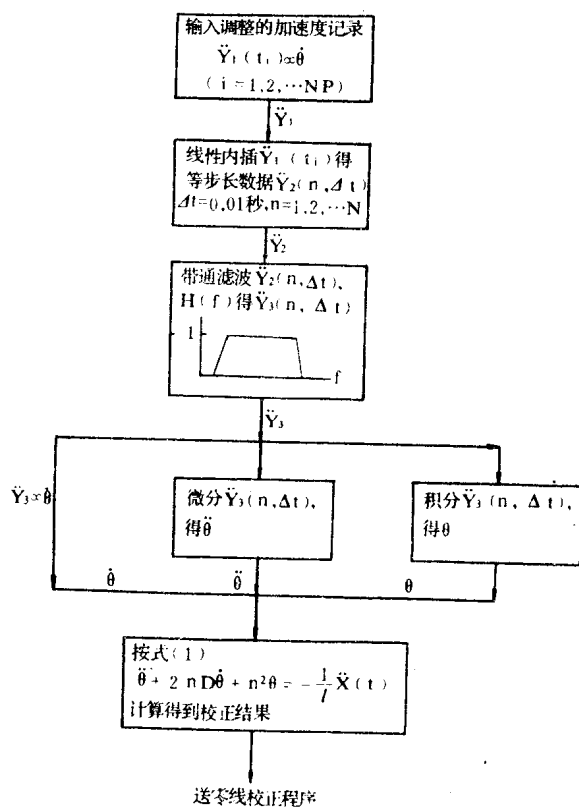


图 13 仪器校正计算框图

在仪器校正之前, 将未校正加速度记录数据内插成等步长数据系列, 步长取为 0.01s。

2. 零线校正

经过仪器校正后, 记录中仍然混有数字化过程中产生的长周期偶然误差。经积分求速

度和位移过程中, 这种长周期误差无疑会被放大。另一方面, 由于原始记录是丢头的 (P 波的开始部分总是漏记的), 而且初始速度和位移是未知的, 在积分过程中也会因此而引入长周期误差。长周期误差的存在就意味着零线受到歪曲, 所以零线校正是十分必要的。

零基线校正的框图如图 14 所示。

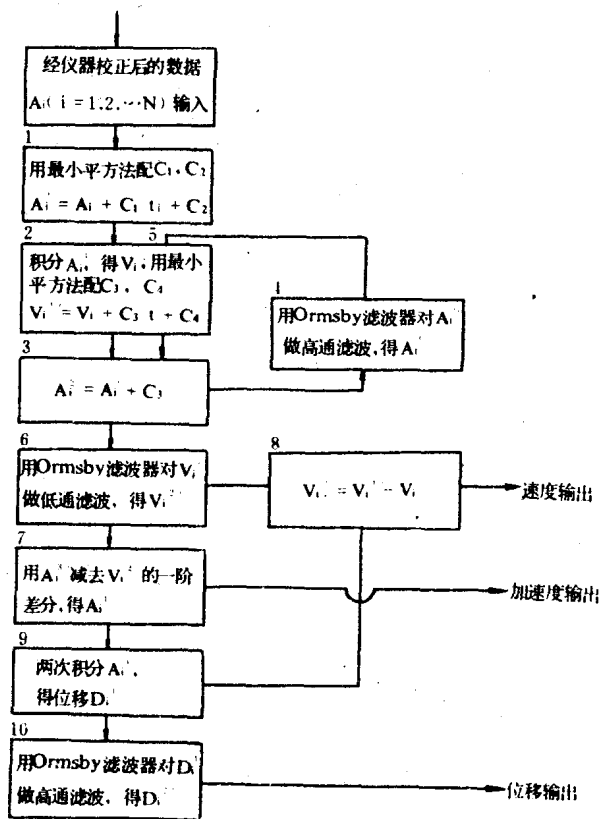


图 14 零基线校正计算框图

(1) 加速度零线的估计。经过仪器校正后, 为了对加速度数据的零基线给出新的估计, 通常采用最小均方法。即让零线平移并绕其始点旋转一个小角度, 使得加速度的平方和取最小。设经仪器校正后的加速度数据为 A_i ($i=1, 2, 3 \cdots N$), 令 $A_i^{(1)} = A_i + C_1 t_i + C_2$, t_i 是与 A_i 相对应的时间坐标 ($i=1, 2, 3 \cdots N$)。以条件 $[\sum_{i=1}^N (A_i^{(1)})^2]_{\min}$ 求出待定系数 C_1 和 C_2 , 这样得到的直线 $C_1 t_i + C_2$ 可给出零线的估计;

(2) 积分速度。假定初始速度为零, 由平移和旋转零线后得到的 $A_i^{(1)}$ 计算积分速度得 V_i ($i=1, 2 \cdots N$)。然后用最小均方法求出速度零线 $C_3 t_i + C_4$ 的估计。所得转角 C 可以作为加速度平均值, 应加到加速度记录 $A_i^{(1)}$ 中, 所得平移量 C_4 可作为初始速度的估计。得到 $V_i^{(1)} = V_i + C_3 t_i + C_4$ ($i=1, 2 \cdots N$);

(3) 加速度 $A_i^{(1)}$ ($i=1, 2 \cdots N$) 加上加速度平均值 C_3 , 得 $A_i^{(2)}$ ($i=1, 2 \cdots N$);

(4) 用 Ormsby 滤波器对加速度数据 $A_i^{(2)}$ 做高通滤波得 $A_i^{(3)}$ ($i=1, 2 \cdots N$);