

中国强震记录汇报

REPORT ON STRONG EARTHQUAKE MOTION RECORDS

IN CHINA

第四集 Vol. IV

黄壁庄水库 非常溢洪道地震观测报告

地震出版社

中国强震记录汇报

Report on Strong Earthquake Motion Records in China

第四集

Vol. IV

黄壁庄水库非常溢洪道地震 观测报告

The Report of Earthquake Motion Observation on the
Emergency Spillway of Huangbizhuang Reservoir

1967年10月至1974年7月

记录编号自4 B01-001至4B17-183

国家地震局工程力学研究所北京强震观测中心
中国科学院
水利电力部水利水电科学研究院抗震防护研究所 合编
河北省黄壁庄水库管理处

地震出版社 出版

Seismological Press, Beijing China

汇编工作人员名单

主 编：彭克中 陈厚群
编 辑：李沙白 苏克忠 杨道友
观 测：任增云等
数据处理：

记录数字化：徐秀芬 林琼芳 任增云
丛桂荣 黄 杨
数 据 计 算：李沙白 杨道友 刘肖京
徐秀芬 任增云 黄 杨

黄壁庄水库非常溢洪道地震观测报告

国家地震局工程力学研究所北京强震观测中心
中国科学院水利电力部水利水电科学研究院抗震防护研究所 合编
河 北 省 黄 壁 庄 水 库 管 理 处

责任编辑：蒋乃芳

*
地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

中国科技情报所印刷厂印刷
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 28 印张 800 千字
1986年 3月第一版 1986年 3月第一次印刷
印数0001—900

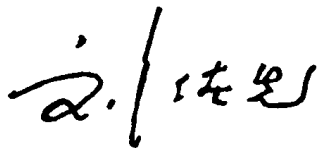
统一书号：13180·293 定价：7.40 元

序

强烈地震，发生无常，因此强震观测工作贵在常备不懈，长期坚持。黄壁庄水库强震台是在1966年3月邢台地震发生之后建立的。当时坝体受损、余震不息，此台之设，旨在利用余震以取得坝体在地震作用下的反应的记录，为抗震措施提供依据。建台以来，运转不息，自始至终，历时17年，正如预期那样，取得了一批有用的强震记录。这是难能可贵的，也是我国继新丰江水库之后，又一次在水库坝址取得的系统的强震观测成果。

本集选取了17次地震的记录，进行了常规分析，供地震工程界参考利用。尽管这些地震震级不很大，震中大都远离坝址百公里，但仍然可以进行因小喻大、由远及近的分析，提取有用的信息，还可以进行坝址场地特征和地震方位影响的研究。

应当指出，这项成果是国家地震局工程力学研究所（原中国科学院工程力学研究所，下同），黄壁庄水库管理处和水利水电科学研究院抗震防护研究所三方为了共同目的，齐心协力、长期合作的结果。这为强震观测工作提供了一种合作模式，值得发扬与推广。来日方长，尚待再接再厉，更新仪器、调整测点，夺取更大观测成果，为抗震科学和水利建设作出贡献。



1984. 1.20

目 录

前言.....	(1)
地震记录编目.....	(3)
非常溢洪道工程观测概况.....	(5)
记录的常规处理及分析.....	(11)
校正记录的主要计算结果.....	(18)
参考资料.....	(30)
校正的地震加速度记录.....	(31)
校正的地震加速度、速度及位移时程曲线.....	(259)
地震加速度反应谱.....	(337)
地震加速度记录的富氏 (F ourier) 振幅谱.....	(351)

前 言

黄壁庄水库位于河北省滹沱河的中游，距石家庄市西北约30公里。它是一座大型水利枢纽，总库容为12.1亿立方米，具备防洪、灌溉、发电、城市给水等多种功能，是根治海河的重要工程之一。

水库工程包括主坝(水中填土均质坝，长1843.0米，最大坝高30.7米)、副坝(水中填土均质坝，长6907.0米，最大坝高19.2米)、正常溢洪道、非常溢洪道、石津渠渠首电站重力坝及灵正渠电站工程等。主体工程始于1958年10月，竣工于1968年汛前。

1966年3月邢台地震中，水库地区地震烈度为Ⅶ度，主体工程的一些部位受到了轻微损坏，引起了有关方面的密切注意。为对土坝、闸室等水工建筑的抗震设计提供第一性基础资料和数据，国家地震局工程力学研究所与河北省黄壁庄水库管理处合作，先于1966年5月13日在副坝(2+610断面)上，继于1967年9月14日在非常溢洪道闸室上，再于1973年11月6日在正常溢洪道闸与主坝的接合部位及马鞍山山坡基岩露头上共设置了强震台3处，均配以国产RDZ1-12-66型地震加速度仪开展观测，形成了水库地区的强震台阵(图1)。

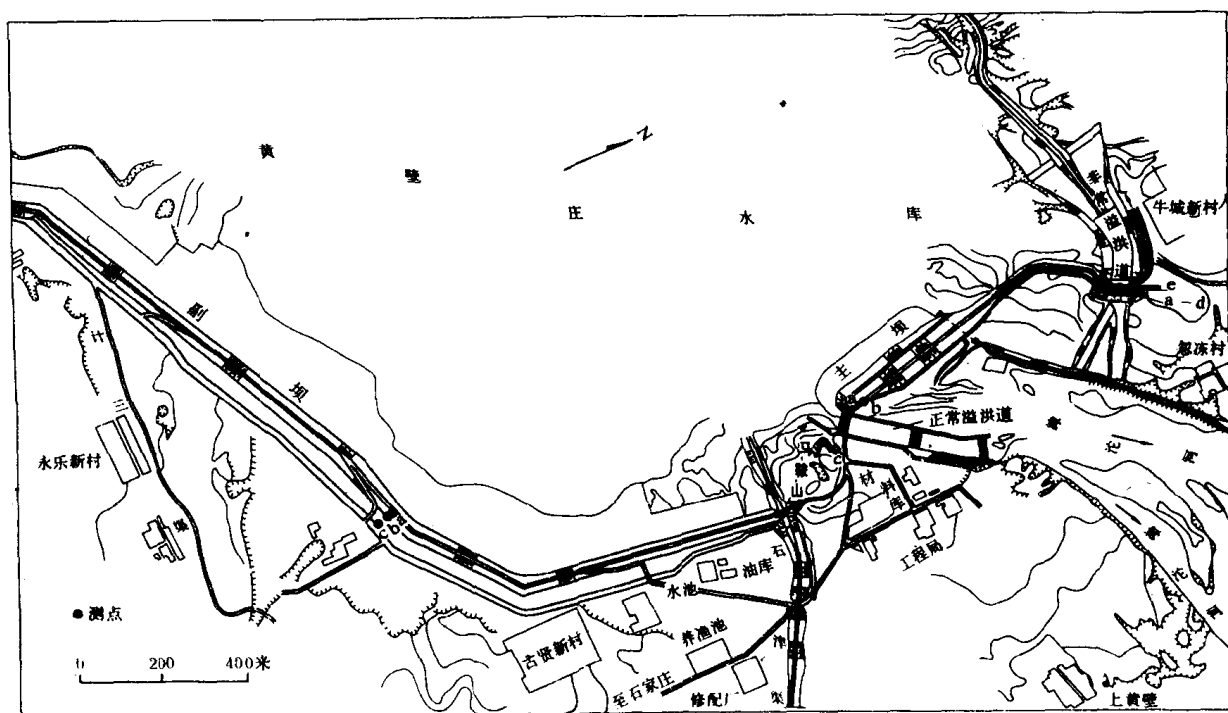


图1 黄壁庄水库枢纽总平面及强震仪台阵图

十多年来，黄壁庄水库强震台阵取得了一批较好的地震加速度记录，为编制我国水工建筑抗震规范做出了贡献。

1977年，我们编辑出版了《黄壁庄水库副坝地震观测报告(1966年6月—1974年6月)》^[1]，系对强震观测资料的汇编工作做一初步尝试，本报告则是这一工作的继续，收入了1967年10月—1974年7月间非常溢洪道强震台所获取记录中的17个地震的183条加速度记录，包括

校正的加速度记录(数据),校正的加速度、速度、位移时程曲线,加速度记录的反应谱和富氏(Fourier)振幅谱等。此外,还介绍了数据处理中所依据的我国现行强震加速度记录的常规处理方法。

我们衷心期望本报告能对地震和抗震工作有所裨益,并恳切期待读者给予批评指正。

在本报告的汇编过程中曾得到国家地震局徐宗和、王志新、水利电力部科技司有关同志、河北省水利厅工管局李兆庆同志的热情支持和帮助;黄壁庄水库管理处曹梦增、刘国兴、龚方家、刘树林及朱明义同志有效地支持了观测现场资料的收集工作;工程力学研究所计算站魏继武、贾相玉等同志曾为保证良好的计算条件付出了辛劳,在此特向他们致以衷心的感谢。

编者 1983.5

地震记录编目

所选取的17个地震记录,按发震时间先后排列编号。有关地震参数列于表1,震中分布见图2。地震参数取自《邢台地震目录》^[2],《河北省及其邻近地区地震目录》¹⁾及《华北地区地震目录》²⁾。

震中距和震中方位角系对非常溢洪道强震台而言。

表 1 地 震 目 录

地震 编号	发震日期 年 月 日	发震时刻 (北京时间) 时 分 秒	震 级	震源深度 (公里)	震 中 坐 标		震中参考地点	资料 来源	精 度	震中 距离 (公里)	震中方位角	库 水 位 (米)
					北 纬	东 经						
1	1967 10 15	21 33 18	4.2*	20	37°37'	115°04'	河北宁晋贾家口	(1)	I	97.8	SE 41°10'	117.56
2	1968 3 19	01 07 54.2	4.4	34	37°29'	115°03.5'	河北宁晋艾辛庄	(1)	I	108.6	SE 35°50'	117.88
3	1968 3 19	02 56	4.0	32	37°43'	115°12'	河北束鹿南智邱	(1)	I	98.1	SE 51°09'	117.88
4	1968 4 6	03 29 35	4.0*	30	37°42'	115°13'	河北束鹿南智邱	(1)	I	100.5	SE 50°37'	117.75
5	1968 6 13	07 33 03	4.3*	20	37°39'	115°06'	河北宁晋百尺口贾家口之间	(1)	I	97.2	SE 44°08'	110.70
6	1968 7 25	07 07 22	4.8	17	37°37.5'	115°07.5'	河北宁晋百尺口贾家口之间	(1)	I	100.8	SE 43°48'	108.08
7	1968 7 25	07 10 10.2	3.7	18	37°38'	115°07.5'	河北宁晋百尺口贾家口之间	(1)	I	99.6	SE 44°23'	108.08
8	1968 9 18	22 38 43	4.2*	25	37°34'	114°56'	河北宁晋	(1)	I	94.7	SE 33°50'	107.53
9	1969 1 17	06 10 24.5	4.1	23	37°42'	115°11'	河北宁晋南智邱	(1)	I	98.4	SE 49°33'	115.86
10	1970 10 30	09 17 38	3.6*	20	37°40'	115°21'	河北宁晋百尺口东	(2)	I	112.2	SE 52°42'	115.32
11	1971 2 1	20 06 18	4.4*	(12—15)	37°00'	114°00'	河北邢台西城计头	(2)	II	144.9	SW 12°36'	118.06
12	1971 6 5	18 21 21	4.8*	(10)	37°26'	113°25'	山西和顺京上	(2)	I	122.7	SW 40°50'	111.59
13	1972 10 12	07 42 27.1	5.2	16	36°57.5'	114°18.5'	河北邢台羊范	(1)	I	146.4	SW 1°45'	109.14
14	1973 4 16	13 37 36	3.1*	—	38°20'	114°19'	河北灵寿北狗台	(3)	I	8.4	NE 12°59'	112.31
15	1974 5 25	12 41 56	3.9	20	37°40'	115°17'	河北宁晋百尺口	(1)	I	107.7	SE 50°58'	107.92
16	1974 6 6	20 30 52.5	4.9	24	37°36'	115°07.5'	河北宁晋贾家口东	(1)	I	102.6	SE 42°38'	109.81
17	1974 7 18	14 09 51	4.3	22	37°26'	115°09'	河北新河王府	(1)	I	118.2	SE 37°06'	109.46

说明: 1. 资料来源中(1)为《邢台地震目录(1965年7月—1975年12月)》,河北省革命委员会地震局编,1976,地震出版社;
(2)为《河北省及其邻近地区地震目录(1970年1月—1975年3月)》,河北省革命委员会地震办公室编;(3)为《华北地区地震目录》,河北省地震队编。

2. 加“*”号的地震震级为 M_s ,未加“*”号的为 M_L 。

3. 精度:资料来源(1)中,I类<3公里,II类<5公里;资料来源(2),(3)中,I类≤10公里,II类≤25公里。

4. 可靠性较差的数据以括弧()表示。

5. 震中距,震中方位角是在1:60万分之一图上相对强震台量取的结果。

1) 河北省革命委员会地震办公室,《河北省及其邻近地区地震目录(1970年1月—1975年3月)》。

2) 河北省地震队,《华北地区地震目录(1973年4月)》。

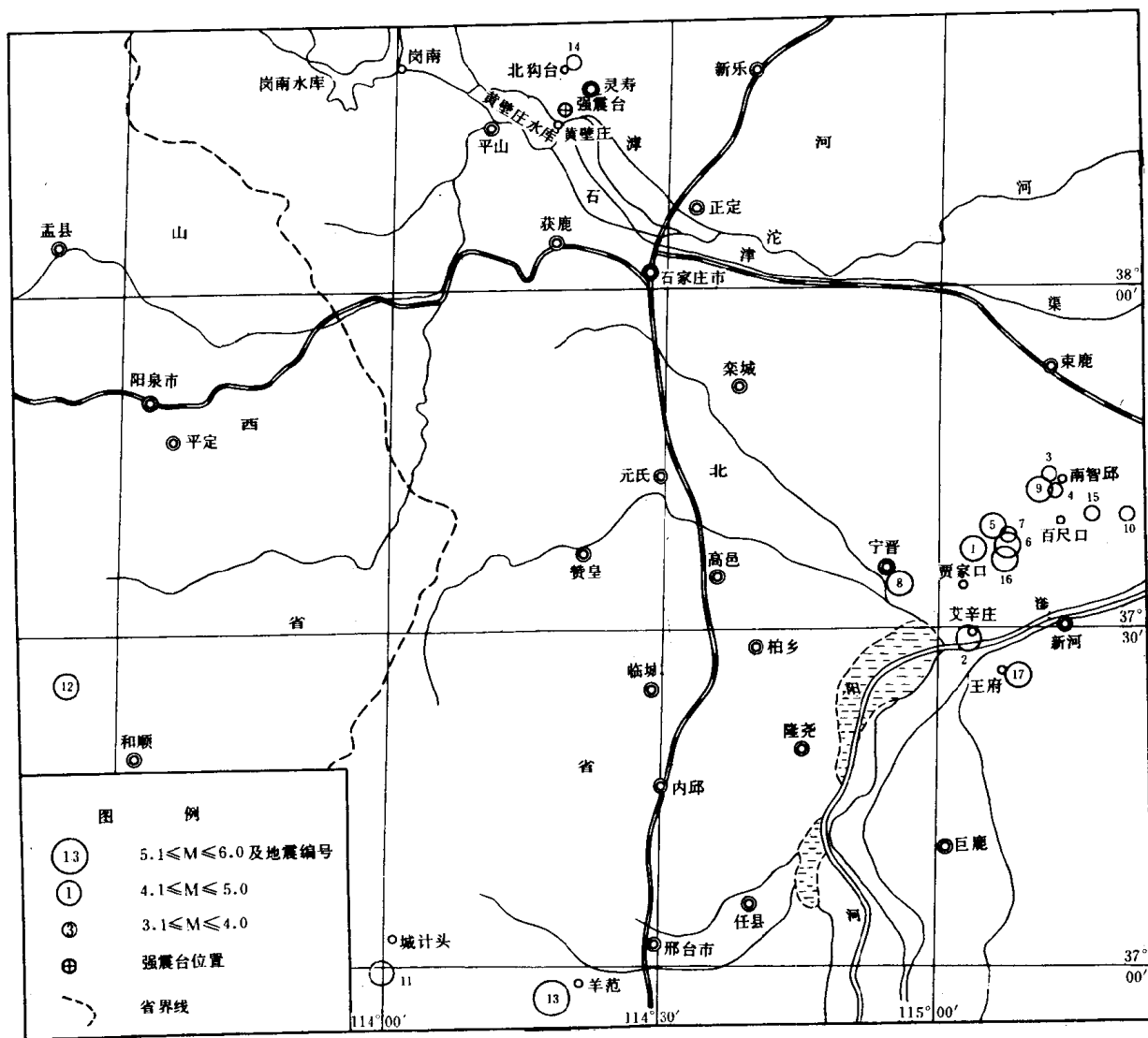


图 2 震中及强震台位置简图

非常溢洪道工程观测概况

黄壁庄水库非常溢洪道位于主坝北端(见图1)。整个工程包括:进口引水渠、钢筋混凝土防渗板及导水墙、闸室段、挑坎段、下游防护及尾水渠等(图3)。

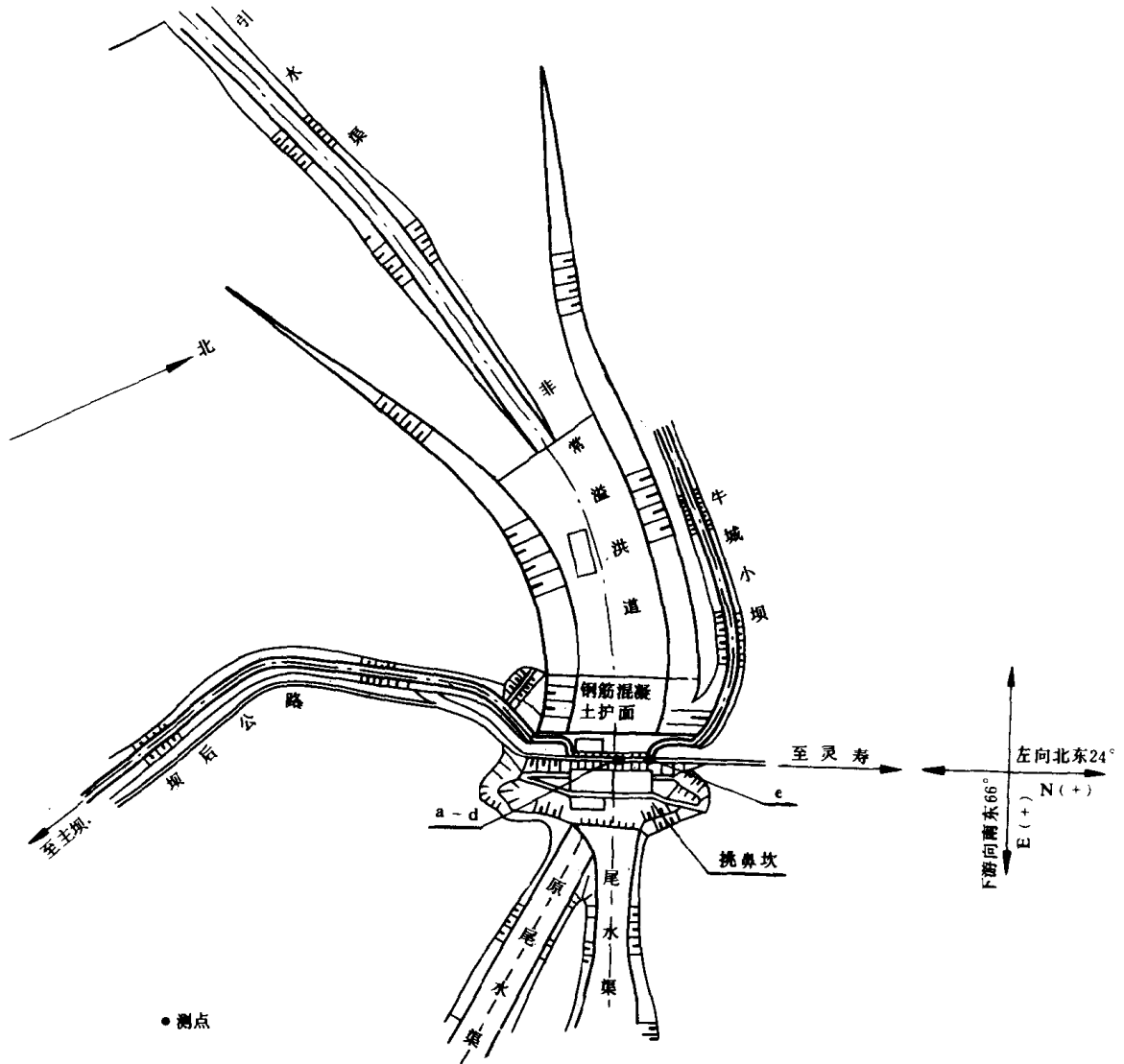
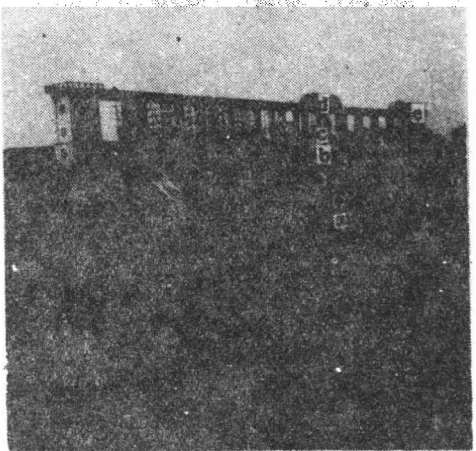


图3 非常溢洪道平面图及观测方向示意图

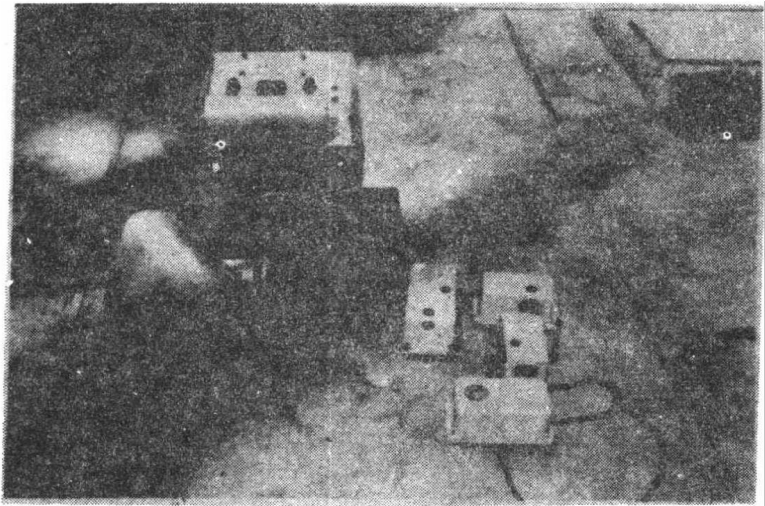
闸室是非常溢洪道工程的核心,基础置于千枚岩、石英片岩千枚岩互层及大理岩岩脉上,石英片岩新鲜完整,千枚岩较为软弱。闸室底板高程为108.0米,设有净宽7.8米平顶堰闸孔11个,中间设2.4米厚闸墩10个,两侧为混凝土重力式边墩。闸室顶公路桥桥面高程124.5米,每个闸孔并配有宽9.08米,高12.20米,重148吨的预应力混凝土平板定轮闸门,闸孔前方还装有预应力混凝土叠梁检修门。高程124.5米以上有启闭机机架桥,桥上装有200吨台式启闭

机两台, 行车梁轨顶高程为137.6米, 机架桥两端与边墩上的桥头堡相连。整个闸室结构简图示于图4-6, 下游侧视景观见照片 1。非常溢洪道主体工程始建于1965年汛后, 竣工于1966年汛前, 工程质量良好¹⁾。

为了观测带有机架桥的闸墩结构和桥头堡的地震反应, 非常溢洪道强震台使用RDZ1-12-66型地震加速度记录仪一台(照片 2), 主要技术性能列于表 2^[1]。12个拾震器分别设在闸室的 6 号闸门北墩(6 号墩)的底板上(溢流堰顶, 高程108.0米, 测点 a)、6 号闸墩墩顶(公路桥桥面, 高程124.5米, 测点 b)、闸门锁锭处(高程129.7米, 测点 c)、闸门启闭机机架桥顶(机架桥立柱顶, 高程136.0米, 测点 d)以及北桥头堡顶(高程137.2 米, 测点 e)等五个测点(图 3、图 4、照片 1)。测点位置及仪器配套参数见表 3²⁾。



照片 1 下游侧视景观及测点位置



照片 2 RDZ1-12-66 型强震仪

表 2 RDZ1-12-66型强震仪主要技术指标

拾震器自振频率(赫)	4.0—4.5	触发灵敏度(厘米/秒 ²)	>1可调
拾震器阻尼常数	10—12	记录线道	12
拾震器机电耦合系数(伏·秒/米)	≥57	触发延迟时间	<0.2
电流计自振频率(赫)	120	时 标(赫)	20
电流计阻尼常数	0.7	纸 速(厘米/秒)	2.1, 4.8, 11.3
线道灵敏度[毫米/(厘米/秒 ²)]	0.1—2 可调	触发控制方式	连续触发
线性频段(赫)	0.5—35	电 源	直流24伏
量 程(厘米/秒 ²)	1—1000		

1) 水利电力部黄壁庄水库工程局革命委员会, 黄壁庄水库工程竣工报告(1970年1月)。
2) 中国科学院工程力学研究所北京强震观测中心, 黄壁庄水库非常溢洪道强震台观测档案(1967—1974)。

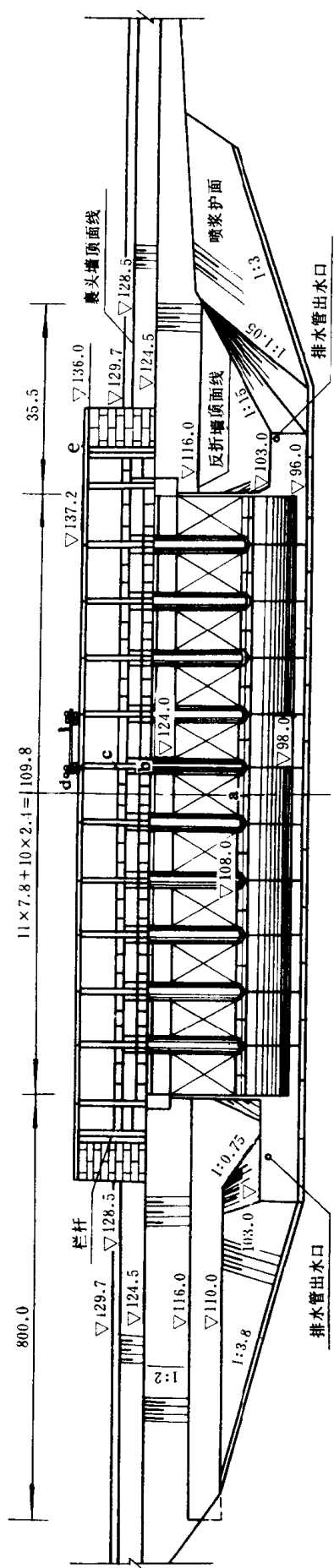


图 4 下游立视及测点位置图 (单位: 米)

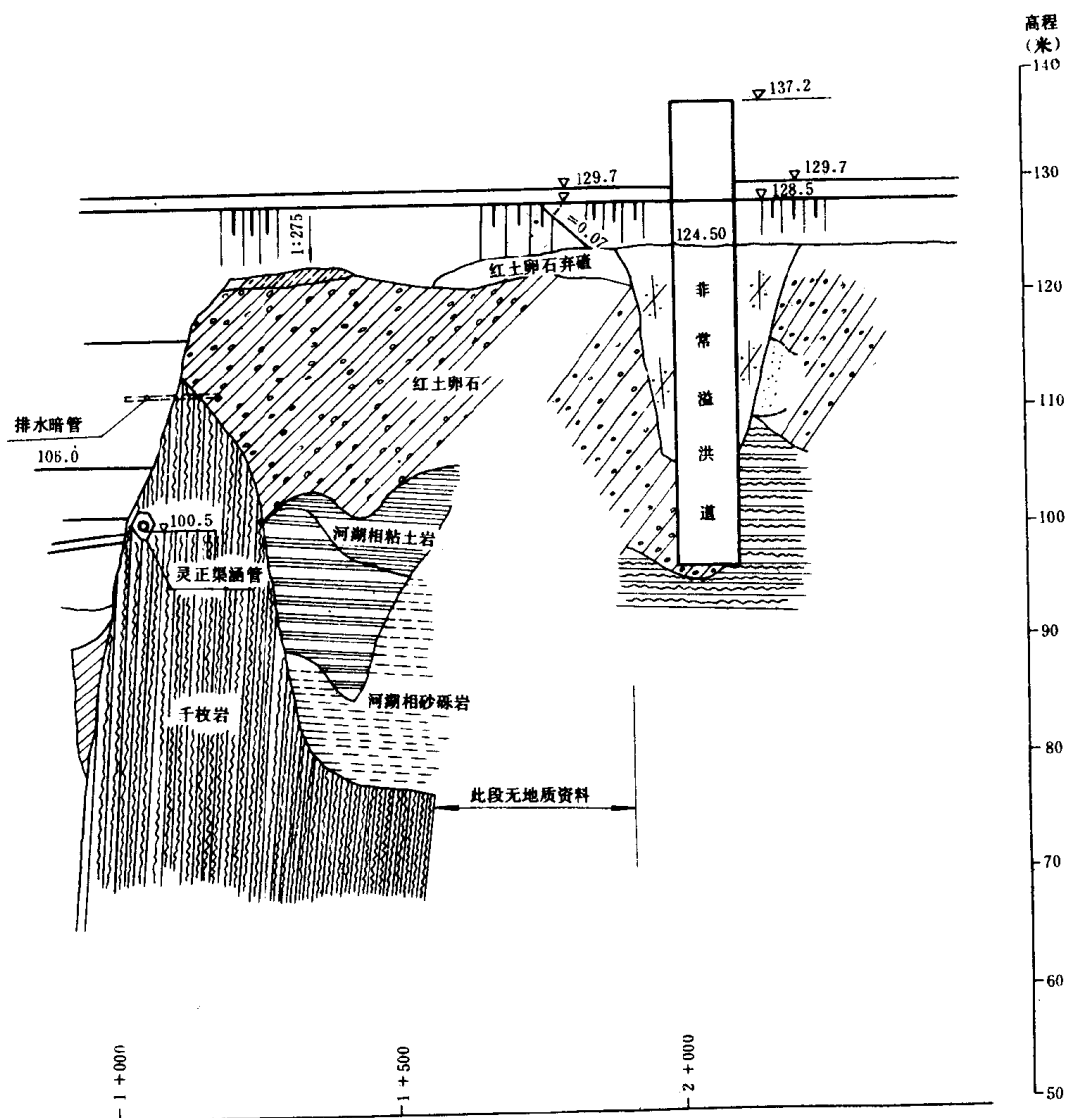


图.5 下游纵剖面图

测点位置及仪器参数

(示波器号: 019)

表 3

测点位置	高程 (米)	测量 方向	拾震器参数					数					灵敏度 (毫米/厘米/秒 ²)			
			拾震器 编号	自振 频率 (赫)	转动惯量 (千克·米 ² ×10 ⁻⁴)	机电耦合系数(伏秒/米)		并联 电阻 (欧)	线卷 内阻 (欧)	阻 67年— 73.11.25	尼 73.11.25— 76.5.10	比 73.11.25— 76.5.10	67.9.14— 69.8.8	69.8.8— 71.7.2	71.7.2— 73.11.25	73.11.25— 76.5.1
						67年— 73.11.25	73.11.25— 76.5.10									
闸底板(a)	108.0	上下游	61	4.1	3.714	59.4	58.1	44.3	153.0	9.4		8.9	1.89	1.56	1.67	1.65
闸底板(a)	108.0	左右	62	4.0	3.699	59.8	57.7	41.9	153.1	9.9		9.2	1.62	1.45	1.44	1.48
闸底板(a)	108.0	竖向	61⊥	4.4	3.840	59.4	42.8	44.4	153.1	8.4		4.4	1.49	1.39	1.39	1.90
闸墩(b)	124.5	左右	63	4.1	3.522	61.2	58.1	44.7	152.5	10.5		9.4	1.55	1.67	1.67	1.72
闸墩(b)	124.5	上下游	64	4.1	3.684	61.5	58.5	44.4	153.7	10.1		9.1	1.78	1.87	1.88	1.57
闸墩(b)	124.5	竖向	62⊥	4.4	3.612	59.4	58.1	43.8	153.0	9.0		8.6	1.63	1.48	1.47	0.88
锁锭(c)	129.7	上下游	65	3.9	3.524	59.5	55.8	45.4	154.0	10.3		9.0	1.85	1.75	1.76	1.82
机架桥顶(d)	136.0	上下游	66	3.9	3.688	59.9	58.0	46.3	155.0	9.9		9.2	0.52	0.52	0.50	0.51
机架桥顶(d)	136.0	竖向	63⊥	4.4	3.726	58.6	57.6	42.3	154.3	8.5		8.2	0.47	0.52	0.50	0.50
机架桥顶(d)	136.0	左右	67	4.0	3.541	60.3	56.1	44.7	152.4	10.4		9.0	0.56	0.59	0.58	0.61
北桥头堡顶(e)	137.2	上下游	68	4.0	3.574	59.4	55.9	43.7	154.7	9.9		8.8	0.65	0.63	0.61	0.65
北桥头堡顶(e)	137.2	竖向	64⊥	4.4	3.668	59.8	56.8	43.2	151.0	9.1		8.2	0.61	0.61	0.61	0.65

注: 1. 拾震器的指示摆长为0.1米。

2. 73年11月25日重新测定机电耦合系数 B_l 值时, 61号垂直拾震器因磁钢拆修, 致使 B_l 值降低。

3. 测量方向: 下游向为南东66°, 上游向为北西66°, 以EW表示; 左向为北东24°, 右向为南西24°, 以NS表示; 竖向以UD表示, 见图3。

4. 计算数据的正负号规定为: 向下游、向左、向上为“+”, 向上游、向右、向下为“-”。

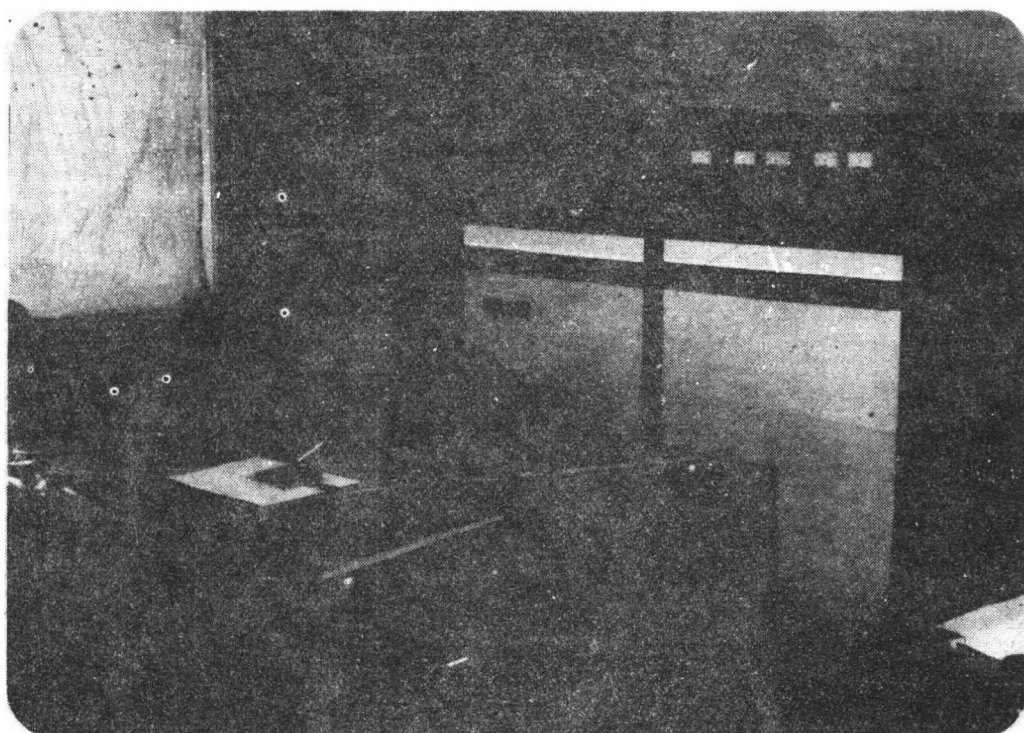
记录的常规处理及分析

近几年来,工程力学所针对我国强震观测的具体情况,详尽地分析了在处理模拟光记录过程中的各项误差,给出了消除或抑制这些误差的方法,并发展了一套适于我国特点的强震加速度记录的常规处理和分析方法以及相应的计算程序^[3]。本报告采用了这些方法,对黄壁庄非常溢洪道强震台所取得的地震记录进行了常规的数据处理和分析计算。

一、原始记录和记录的数字化

RDZ1-12-66型强震仪所取得的记录是一种模拟光记录。记录介质为20厘米宽的14°照相纸(天津感光胶片厂制)。通常记录纸速约为4厘米/秒。在每张记录上,至少有一条固定线,它是由电流计短路后得到的。因而固定线可作为记录纸运行轨迹的基准。在每张记录的上方和下方,均有20赫的相对时标信号。每张记录上至多可以同时记录12条线,记录迹线的宽度一般小于0.5毫米。

全部记录的数字化是在水利水电科学研究院的JTS-86型图形数字转换仪(读数机)上进行的(照片3),该机由西安仪表厂制造,数字化台面长80厘米、宽60厘米,分辨率为0.01毫米。具有数字打印输出和八单位纸带穿孔输出。



照片 3 JTS-86型图形数字转换仪

在对记录进行数字化时,首先用目测法使记录上的固定线与读数机台面的横轴(时间轴)平行,然后,分别对记录上的每条加速度迹线、固定线和时标采样读数。加速度迹线采用不

等间距采样,不仅要所有的峰点和拐点进行采样,而且在峰点和拐点之间还要选择足够多的点进行采样,使得全部采样点的直线段连线与加速度迹线基本上拟合。这样,在以后的计算分析中,采用线性插值方法获得的等步长数据序列才有足够的精度。平均每秒采样点为40—50个。对于固定线,采样间隔取0.25秒左右。对于时标线,采样间隔取0.2秒。

读数结果——打印数据和八单位穿孔纸带作为最原始的计算机输入数据,供以后的处理、分析使用。

为了消除读数机引入的系统误差以及记录纸横向移动的误差,用每条加速度迹线的数据减去这张记录上的固定线数据,然后,对每条加速度迹线做一次平移,使之对时间的一次积分为零。对固定线和时标数据,用不等权跟随平均滤波器做低通滤波。相邻采样点之间的数据,用线性内插法得到。

这样,就得到了数字形式的记录,通常称为调整的(未校正的)加速度记录。它将作为加速度记录常规处理和分析的基本数据。

二、校正的加速度记录

调整的加速度记录固然包含了所需要的地震动的真实信息,但是也不可避免地混入了各种误差。为了减少或消除这些误差,提高数据精度,必须对调整的加速度记录进行仪器校正和零线校正。

(一) 仪器校正

RDZ1-12-66型强震仪的通频带为0.5—35赫。由于RDZ1-12-66型强震仪选用的电流计自振频率较高(≥ 120 赫),耦合系数很小,所以电流计引入的误差和耦合系数的影响可以略去不计,仪器校正实际上只需要对拾震器的反应进行校正。

拾震器的运动方程为:

$$\theta + 2nD\dot{\theta} + n^2\theta = -\frac{1}{l}X(t) \quad (1)$$

式中, θ 为拾震器摆体相对其平衡位置的角位移; n 为拾震器的固有圆频率; D 为拾震器的临界阻尼比; l 为拾震器的折合摆长; $X(t)$ 为真实地震动加速度, t 为时间自变量。

RDZ1-12-66型强震仪所得到的加速度曲线正比于 $\ddot{\theta}$, 是失真的加速度记录。为了完成仪器校正,只要根据式(1), 求出真实地震动 $X(t)$ 就可以了。

在仪器校正之前,将调整的加速度记录内插成等步长的数据序列,步长取为0.01秒。

本报告采用微分—积分法^[3]来进行仪器校正。对失真加速度记录 $\ddot{\theta}(t)$ 做一次微分得 $\dot{\theta}(t)$, 对 $\dot{\theta}(t)$ 做一次积分得 $\theta(t)$, 然后,根据式(1),即可求出 $X(t)$ 。微分采用中心差分法,积分采用梯形公式。为了防止在运算过程中高、低频数字化误差被放大,在做仪器校正之前,先对调整的加速度数据做一次带通滤波。图7给出了仪器校正的计算框图。

(二) 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。在经积分求速度和位移的过程中,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 波的开始部分总是被漏记的),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^{[3][4]}。

零线校正的计算框图如图8所示。

(1) 加速度零线的估计