

# 电力行业大坝安全监测标准化技术委员会

大坝标函〔2023〕387号

## 关于征求《水工建筑物强震动安全监测技术规范》（征求意见稿）意见的函

各有关单位及专家：

电力行业大坝安全监测标准化技术委员会组织中国水利水电科学研究院等单位编制的《水工建筑物强震动安全监测技术规范》已完成征求意见稿，现公开征求意见，请审阅并提出具体修改意见和建议，于2023年11月30日前以信函或邮件方式反馈至中国水利水电科学研究院。

《水工建筑物强震动安全监测技术规范》（征求意见稿）的全文可登录国家能源局大坝安全监察中心网站（<https://www.dam.nea.gov.cn>）的“中心通知”栏下载，或中国电力企业联合会网站（<https://dls.cec.org.cn/>）的“电力标准化-标准征求意见”栏下载。

联系人：胡 晓

电 话：010-68786921，13601242056（微信同号）

邮 箱：[huxiao@iwhr.com](mailto:huxiao@iwhr.com)

邮寄地址：北京市海淀区车公庄西路 20 号中国水科院抗震  
中心综合楼 211 室

邮 编：100044

- 附件：1. 电力行业标准征求意见表
2. 《水工建筑物强震动安全监测技术规范》（征求意见稿）
3. 《水工建筑物强震动安全监测技术规范》（征求意见稿）编制说明

电力行业大坝安全监测标准化技术委员会

2023 年 10 月 17 日

（主动公开）

附件 1

## 电力行业标准征求意见表

标准名称： 《水工建筑物强震动安全监测技术规范》

填表单位： \_\_\_\_\_

填表人： \_\_\_\_\_ 联系电话： \_\_\_\_\_ 电子邮箱： \_\_\_\_\_

序号	章节或页码	原条文内容	建议修改内容	修改理由
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
...				

填表日期： 2023 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

注 1： 纸张不够请另附页；

注 2： 手写或打字均可。

附件 2

ICS

P

备案号：

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

DL/T5416—20

**P**

---

# 水工建筑物强震动安全监测

## 技术规范

Specification of strong motion monitoring for  
seismic safety of hydraulic structures

(征求意见稿)

20-00-00 发布

20-00-00 实施

---

中华人民共和国国家能源局 发布

# 前 言

《水工建筑物强震动安全监测技术规范》DL/T5416-2009 于 2009 年 7 月 22 日发布，2009 年 12 月 1 日实施。本规范的修编是根据《国家能源局综合司文件》国能综通科技〔2022〕96 号文件，关于下达 2022 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知要求，吸收了 10 多年的科研成果以及强震动监测经验进行修编。

本规范共分 7 章和 10 个附录，主要内容包括：总则、术语和定义、监测台阵布置、监测系统组成与技术要求、监测系统的测试、安装和验收、台阵的管理与维护、加速度记录的处理分析。

本规范对《水工建筑物强震动安全监测技术规范》DL/T5416-2009 在以下几个方面做了修订：

—增加了对 1 级水闸、渡槽、抽水蓄能电站等水工建筑物强震动安全监测的要求。

—增加了对水电站大坝安全有影响的高边坡和滑坡体、地下厂房大规模洞室群上方边坡测点布置的相关规定。

—完善了震害检查的内容。

—完善了对河谷自由场测点布置的相关规定。

—修订了对加速度传感器、记录仪的主要技术指标。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市宣武区白广路二条一号，100761）。

本标准修编单位：中国水利水电科学研究院。

本标准主要起草人：胡 晓 张艳红 郭劲松 刘骅标 朱 建  
江晓涛 常廷改 杨 磊 宋 伟 董建辉 王茂华 张恺 朱洪东

# 目 次

1 总 则 .....	1
2 术语和定义 .....	3
3 监测台阵布置.....	6
4 监测系统组成与技术要求.....	8
5 监测系统的测试、安装与验收.....	10
6 监测系统的管理与维护.....	13
7 加速度记录的处理分析.....	15
附录 A 水工建筑物震害检查.....	16
附录 B 强震动监测系统框图.....	20
附录 C 强震动加速度仪的主要技术指标要求.....	21
附录 D 强震动加速度仪整机标定方法.....	23
附录 E 脉动测试.....	26
附录 F 建台报告格式和要求.....	27
附录 G 试运行报告格式和要求.....	28
附录 H 数字强震动加速度仪检测表.....	29
附录 I 强震动安全监测记录报告单.....	30
附录 J 安全评估方法.....	31
本规范用词说明 .....	33
引用标准名录 .....	34
附：条文说明 .....	35

# Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and definitions .....	3
3	Monitoring array layout .....	6
4	Composition and technical requirements of the monitoring system .....	8
5	Testing, installation, and acceptance of monitoring systems .....	10
6	Management and maintenance of the monitoring system .....	13
7	Processing analysis of acceleration records .....	15
Appendix A	Seismic damage inspection of hydraulic structures...	16
Appendix B	Block diagram of strong motion monitoring system .....	20
Appendix C	Main technical specifications of the strong motion acceleration instrument .....	21
Appendix D	Calibration method of the strong motion acceleration instrument .....	23
Appendix E	Pulsation test .....	26
Appendix F	Report format and requirements for establishment stations .....	27
Appendix G	Report format and requirements for trial operation report .....	28
Appendix H	Inspection table for digital strong motion acceleration instrument .....	29
Appendix I	Report form for strong motion safety monitoring record .....	30
Appendix J	Security assessment methods .....	31
	Explanation of wording in this specification .....	33
	List of quoted standards .....	34
	Addition: Explanation of provisions .....	35

# 1 总 则

**1.0.1** 为了规范我国水工建筑物强震动安全监测技术工作，以及为确定抗震设计地震动参数和地震烈度提供定量资料，通过强震记录的及时处理分析做出震害评估，采取相应的应急措施，减轻和防止水工建筑物震害的进一步扩展和次生灾害的发生，特制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于水电水利工程的 1、2 级水工建筑物强震动安全监测，其它水工建筑物参照执行。

**1.0.3** 监测工作可分为四个阶段，各阶段的工作应满足以下要求：

可行性研究阶段：进行必要现场勘选工作，提出监测系统的总体布置、监测仪器及设备的数量、监测系统的工程概算。

招标设计阶段：提出监测系统设计文件，包括监测系统布置图、仪器设备清单、各监测仪器设施的安装技术要求及工程预算等。

施工阶段：提出施工详图。做好仪器设备的检验、埋设、安装、调试和保护，绘制竣工图，编写建台报告和试运行报告，并进行验收。

运行阶段：加强监测系统的管理与维护，保障监测设备的正常运行，并对监测记录及时处理及报送。

**1.0.4** 台阵布设规定：

1 设计烈度为Ⅷ度及以上的 1、2 级大坝应设置结构反应台阵；1、2 级进水塔、垂直升船机、水闸、渡槽、抽水蓄能电站等水工建筑物，应设置结构反应台阵。

2 设计烈度为Ⅶ度的 1 级大坝，应设置结构反应台阵。

3 设计烈度为Ⅷ度及以上的 1 级高坝，应在蓄水前设置场地效应台阵。

**1.0.5** 强震动监测仪器应稳定可靠，技术指标应满足工程安全监

测需要。

**1.0.6** 在监测物理量上，主要记录地震动加速度。对于 1 级高土石坝可增加孔隙水压力和动位移的监测，对于 1 级高混凝土坝可增加动水压力、动位移等其它物理量的监测。

**1.0.7** 仪器监测应与震害检查结合，当发生有感地震或地基、自由场记录的峰值加速度校正后大于  $0.025g$  时，应立即对水工建筑物进行震害检查。震害检查内容与方法见附录 A。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 2.0.1

**强震动 strong motion**

地震和爆破等引起的场地或工程结构的强烈震动。

### 2.0.2

**强震动安全监测 strong motion safety monitoring** 用专门仪器记录强震发生时工程结构和场地的地震反应，为评估水工建筑物安全而进行的监测。

### 2.0.3

**测点 monitoring point**

设置仪器进行强震动监测的地点。

### 2.0.4

**加速度仪 acceleration instrument**

由加速度传感器和记录器组成的仪器。

### 2.0.5

**台站 station**

设置强震动加速度仪进行强震动监测的地点。

### 2.0.6

**台阵 array**

根据特定的目的，按专门设计布设的多个测点、台站、测点与台站的组合构成的监测网。

### 2.0.7

**自由场地 free field**

不受周围建筑和结构振动影响的空旷场地，其水平距离一般离开建筑物 1 倍高以上。

### 2.0.8

### 场地效应台阵 **site array**

记录局部自由场地地震动参数的台阵。

### 2.0.9

#### 背景振动加速度噪声 **background acceleration noise**

测点常时微小振动产生的加速度噪声。

### 2.0.10

#### 抗震设计烈度 **seismic design intensity**

抗震设计采用的地震烈度值。

### 2.0.11

#### 设计地震动参数 **design parameters of ground motion**

抗震设计采用的地震加速度时程、加速度反应谱和加速度峰值。

### 2.0.12

#### 通道 **channel**

一个测点通常记录三个正交平移分量的运动，即一个竖向的运动和两个互相垂直的水平方向的运动。每一个分量对应一个通道。

### 2.0.13

#### 灵敏度 **sensitivity**

传感器的输出量与指定输入量之比。

### 2.0.14

#### 测量范围 **measuring range**

输入信号能够被测量的幅值域。

### 2.0.15

#### 动态范围 **dynamic range**

满量程和噪声（均方根值）之比的常用对数与 20 的乘积，单位为分贝。

### 2.0.16

#### 频率响应 **frequency response**

在定常线性系统中输出与输入之比表示为输入信号频率的函

数，通常以幅频特性曲线、相频特性曲线表示幅值、相位与频率的关系。

### **2.0.17**

#### **触发 trigger**

记录器从等待状态转变为记录状态。通常有阈值触发、长短项比/差值触发、信道加权触发等。

### **2.0.18**

#### **监测系统 monitoring system**

由加速度传感器、记录器、电源、传输线路、管理中心等组成的系统。

### **2.0.19**

#### **管理中心 central station for monitoring management**

安装强震动安全监测管理计算机、软件和相关外围设备的场所。

## 3 监测台阵布置

**3.0.1** 强震动安全监测应根据设计烈度、工程等级、结构类型和地形地质条件进行布置。

**3.0.2** 台阵设计应包括确定台阵的类型和规模、布置方案、传输方式、仪器的性能要求，仪器安装和管理维护的技术要求等。

**3.0.3** 台阵的类型包括结构反应台阵和场地效应台阵。

**3.0.4** 结构反应台阵测点布置要求：

**1** 混凝土重力坝和支墩坝反应台阵应在溢流坝段和非溢流坝段各选一个最高坝段或地质条件较为复杂的坝段进行布置。1级高重力坝测点不宜少于6个测点。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位或2/3坝高附近、坝基和河谷自由场处。传感器测量方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。

**2** 混凝土拱坝反应台阵应在拱冠梁从坝顶到坝基布置2~4个测点；在1/4拱圈处，坝肩处沿顶拱各布置1个测点；拱座沿不同高度处布置2~3个测点；河谷自由场布置一个测点。1级高拱坝测点不宜少于9个测点。传感器测量方向应布成水平径向、水平切向和竖向三分量，次要测点传感器可简化成水平径向。

**3** 土石坝反应台阵测点应布置在最高坝段或地质条件较为复杂的坝段。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位、坝基和河谷自由场处，有条件时宜布设深孔测点。对于坝线较长者，宜在坝顶增加测点。1级高土石坝不宜少于7个测点。测点方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。对于重要的溢洪道建筑物宜进行布点。

**4** 进水塔反应台阵应沿高程布置：塔基、塔顶、塔高2/3处的附近。1级进水塔不宜少于4个测点，测点应布置成三分量。

**5** 垂直升船机反应台阵测点布置在塔柱和承船箱上。塔柱测

点布置在塔基、塔顶及沿塔柱高度方向刚度有较大变化处。1 级垂直升船机不宜少于 4 个测点。

**6** 水闸反应台阵应在地基、墩顶、机架桥、边坡顶布置测点。测点方向宜沿水平顺河向、水平横河向和竖向，1 级水闸不宜少于 4 个测点。

**7** 渡槽反应台阵应在槽身顶部、槽身底部、支墩顶部及支墩底部布置测点。测点方向宜沿水平顺槽向、水平横槽向和竖向，1 级渡槽不宜少于 4 个测点。

**8** 抽水蓄能电站反应台阵应在上、下库坝体、输水管道和发电厂房布置测点，不宜少于 4 个测点。

### **3.0.5 场地效应台阵测点布置应符合下列要求：**

**1** 宜在河床覆盖层、基岩、坝址峡谷地形处，以及区域活动性断裂附近布置测点。测点方向应依据大地坐标系；

**2** 自由场基岩测点宜布置在距离坝址下游 2~3 倍坝高位置处。测点方向宜沿坝址处水平顺河向、水平横河向和竖向；

**3** 对水库大坝安全有影响的高边坡、滑坡体和堆积体宜布置测点。

**4** 抽水蓄能电站压力管道的边坡宜布置测点。

**5** 地下厂房大规模洞室群上方边坡宜布置测点。

## 4 监测系统组成与技术要求

**4.0.1** 监测系统由加速度传感器、记录器、电源、传输线路四部分组成。监测系统框图参见附录 B。

**4.0.2** 加速度传感器的主要技术指标见附录 C 中的表 C.1。

**4.0.3** 记录器由数据采集单元、触发单元、存储单元、计时单元、通信单元、控制单元、显示单元及电源单元组成。记录器一般采用集中或分散布置。主要技术指标见附录 C 中的表 C.2。

**4.0.4** 应安装监测仪器专用地线，接地电阻宜小于  $4\Omega$ 。

**4.0.5** 结构反应台阵监测设备宜配备多通道数字强震动加速度仪。场地效应台阵宜配备三通道数字强震动加速度仪。

**4.0.6** 信号传输辅助设备应配备程控电话或网络等通信手段、并做好接地保护措施。

**4.0.7** 计算机系统：

1 台站强震动加速度仪监测数据可通过网络传输至计算机系统。

2 应配备适合工业应用环境，有较高运算速度和较大存储容量的服务器，并宜配有打印机、扫描仪等外围设备。

3 宜配置便携式计算机作为移动工作站。

4 应配置强震动加速度数据接收、处理与分析软件。

**4.0.8** 传输线路：采取电缆或光纤进行有线传输方式。传感器应通过电缆，将信号传输到记录器。电缆采用多芯屏蔽电缆，不得设置在具有强电磁干扰设备的附近，露天电缆宜穿入钢管加以保护，并采取接地保护措施。台站至管理中心可通过光纤或网络传输。

**4.0.9** 台站

1 台站的抗震设计应符合 GB 50011 建筑抗震设计规范的要求。

## 2 台站辅助设施:

- 1) 具备 220V 市电电源并配置不间断电源, 其容量应使仪器在市电停电条件下能继续工作不低于 3 天。
- 2) 电源避雷器接地电阻应小于  $10\Omega$ 。
- 3) 应敷设网线、光纤或采用无线传输。
- 4) 电源、传输线路和 GNSS (Global Navigation Satellite System, 全球导航卫星系统) 应分别安装防雷装置。
- 5) GNSS 天线应安装在室外, 离地面高度 2m 以上的开阔位置, 应保证能接收到有效的卫星信号。

## 3 台站环境要求:

- 1) 温度应满足监测设备运行要求, 宜在  $-20^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$  之间。
- 2) 相对湿度不大于 90%。

### 4.0.10 管理中心:

1 管理中心宜布置在大坝管理部门附近, 应具备足够的设备和人员工作空间, 房屋建筑应符合 GB50011 建筑抗震设计规范的抗震设计要求。

- 2 配置可靠的供电电路和防雷接地。
- 3 能通过计算机对现场监测系统数据进行采集和控制。
- 4 管理中心宜配置网络授时服务器。

## 5 监测系统的测试、安装与验收

### 5.1 强震动加速度仪的检验

**5.1.1** 强震动加速度仪应在有资质的实验室超低频标准振动台上进行整机标定。仪器整机标定方法参见附录 D。

**5.1.2** 强震动加速度仪安装前，应进行测试验收。

**5.1.3** 对加速度传感器进行外观检查和功能测试（阻尼与自振频率测试）。按照 DB/T10 规定方法和附录 C.1 加速度传感器的主要技术指标，进行灵敏度、线性度、测量范围、满量程输出、噪声、动态范围、幅频特性、相频特性、横向灵敏度的测试、静态耗电电流测试。

**5.1.4** 对记录器进行触发功能、本地和远程通讯功能、控制功能测试。按照 DB/T10 规定方法和附录 C.2 加速度记录器的主要技术指标，进行噪声、动态范围、分辨力、幅频响应、带通滤波器、守时精度、校时精度的测试。

### 5.2 监测系统的安装

#### 5.2.1 监测墩

1 加速度传感器应固定安装在现浇的混凝土监测墩上，监测墩出露部分尺寸长、宽、高，宜为 40cm×40cm×20cm，顶部要求平整，墩体宜预留出导线穿入孔。

2 监测墩应与被测物牢固连成一体，其建造要求是：

1) 在混凝土坝及在新鲜基岩上，现浇混凝土观测墩前，应先将接触面打毛，冲洗干净后，用混凝土现浇，待干后，将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。尚应外加保护罩。

2) 在土石坝及土基上现浇混凝土观测墩时，应先开挖深

0.8 m~1.0m，再进行插筋，而后现浇混凝土观测墩。  
加速度传感器宜通过螺栓或可靠的粘合剂固定在观测墩上。尚应外加保护罩。

3) 固定前，应使加速度传感器符合设计要求的方位和初动方向。

### 5.2.2 信号传输

1 宜采用多芯屏蔽电缆，布线不得设置在具有强电磁干扰设备的附近。混凝土坝电缆多沿坝内竖井、廊道、电缆沟铺设，土坝可沿坝体在电缆沟内铺设。室外电缆宜穿入钢管内加以保护，并采用接地保护措施。

2 传输电缆线应尽量减少接头。接头处应焊接牢固，并作好导线的绝缘屏蔽。

3 铺设电缆时，应避免电缆承受过大拉力，以防受损。

## 5.3 监测系统的检查、设置和调试

5.3.1 强震动加速度仪安装后，应进行检查，确认各通道的极性和加速度传感器的零位。

5.3.2 设置仪器参数。

5.3.3 设定通道极性。

5.3.4 测试背景噪声。

5.3.5 功能试验标定记录。

5.3.6 人工触发试验。

5.3.7 GNSS 同步检测。

5.3.8 双向通信遥测试验。

5.3.9 监测台阵运行正常后，应进行场地的脉动和水工建筑物的脉动反应测试，记录脉动加速度时间过程和进行分析。场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试的具体要求参见附录 E。

## 5.4 监测系统工程验收

5.4.1 台阵建设完成后，应编写出建设报告，报告内容见附录 F。

**5.4.2** 试运行满 3 个月，应编写出试运行报告，报告内容见附录 G。

**5.4.3** 对监测人员应完成技术培训。

**5.4.4** 在完成前面三项任务的基础上，可申请进行监测系统验收。

监测系统验收应准备的资料：

- 1 强震动安全监测设计报告
- 2 强震动安全监测建设报告。
- 3 强震动安全监测建设试运行情况报告。
- 4 相关的仪器、软件使用说明书等技术资料。

## 6 监测系统的管理与维护

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 强震动监测系统的管理应纳入大坝安全监测的日常工作。
- 6.1.2 对监测人员应经过培训上岗。
- 6.1.3 巡回检测分为远程访问、月巡回检测、年度巡回检测和特别巡回检测四类。

### 6.2 远程访问

- 6.2.1 每月远程通信检查至少 4 次。
- 6.2.2 检查内容：仪器参数设置、触发事件数、加速度传感器零位电压、GNSS 天线状态、电池电压。

### 6.3 月巡回检测

- 6.3.1 每月对强震动加速度仪进行一次常规检测。检测的内容是：
  - 1 以标准时间校对仪器时钟。
  - 2 强震动记录器面板检查，各开关是否放在待触发位置上。
  - 3 检测直流电源电压是否正常。
  - 4 检查各线道记录显示是否正常。
  - 5 恢复仪器至待触发。
- 6.3.2 检查后应填写检测表。检测表见附录 H。

### 6.4 年度巡回检测

- 6.4.1 每年对强震动加速度仪进行一次全面检测。
- 6.4.2 检测包括加速度传感器、信号传输和强震动记录器。并对仪器的总灵敏度进行一次标定。
- 6.4.3 不应同时对两套以上处于待触发的仪器进行标定，以尽量

减少漏记地震的可能性。

**6.4.4** 台阵仪器检测合格后，应进行场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试，记录脉动加速度时间过程。

**6.4.5** 场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试结束后，应对测试记录进行计算分析。

**6.4.6** 年度巡回检测完成后，应编写年度强震动安全监测报告。

## **6.5 特殊巡回检测**

**6.5.1** 在发生强雷电、暴雨、有感地震等特殊情况下，应及时检查强震动安全监测系统工作状况。

**6.5.2** 检查台阵仪器后，应填写检测表。检测表见附录 H。

## 7 加速度记录的处理分析

**7.0.1** 在获得强震动加速度记录后，应及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份，按照规定格式形成包括头段数据和记录波形数据两部分的未校正加速度记录。

**7.0.2** 获得校正后场地加速度峰值 $\geq 0.025$  g的记录后，应填写监测记录报告单，并报告上级主管单位。监测记录报告单的内容，包括地震发生的时间、各通道地震记录的最大加速度值、各通道地震记录的时间长度等，见附录 I。

**7.0.3** 及时根据强震动安全监测台阵各个测点的记录和预存的抗震设计计算求得的各个测点能抗御的最大加速度值，对大坝进行安全评估，可划分成三个等级：

- 1 安全（绿色）。即建筑物一般不会出现震害。
- 2 警惕（黄色）。即建筑物可能出现局部损坏。经一般修复即可正常使用。
- 3 危险（红色）。即建筑物遭遇超设计地震时，建筑物可能出现破坏，应及时采取应急措施。

安全评估方法参见附录 J。

**7.0.4** 场地峰值加速度记录大于 0.002g 时，应对加速度记录进行常规处理分析，其内容包括：

- 1 校正加速度记录：对未校正加速度记录波形数据进行零基线和仪器频率校正，形成校正加速度记录。
- 2 速度和位移时程：对校正加速度记录波形数据进行一次、二次积分计算处理，形成速度时程和位移时程。
- 3 反应谱：对校正加速度记录计算 5 个阻尼比值（0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2）的反应谱。
- 4 傅里叶谱：对校正加速度记录计算傅里叶谱。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**水工建筑物震害检查**

**A.1 震害检查项目：**包括坝体、坝基、坝肩、引水建筑物、泄水建筑物、闸门、启闭机、发电厂房、近坝库区岸坡等工程。

**A.2 震害检查方法：**一般采用目视、耳听、手摸直观方法对工程表面和异常现象进行检查，必要时可采用坑槽探、物理勘探、钻孔等方法对内部、水下部位、坝基进行检查。

**A.3 土石坝震损检查突出重点是坝坡稳定及渗流安全：**

**A.3.1 坝顶：**是否存在纵向裂缝、横向裂缝、错台、塌坑；防浪墙在地震中是否倾倒或存在贯穿性裂缝；防浪墙与大坝防渗体结合部是否存在裂缝。

**A.3.2 上下游坝坡：**上游护坡是否错动开裂、松动脱落、架空坍塌下滑；下游护坡是否因地震产生陡坎或坍塌；坝脚反滤排水体是否存在裂缝、坍塌、滑坡。

**A.3.3 防渗面板：**分缝止水、周边缝止水是否破坏，坝体严重变形是否导致面板裂缝、错台、脱空；面板是否存在挤压破坏、贯穿性裂缝、塌陷。

**A.3.4 坝坡稳定：**是否存在两坝肩岸坡、溢洪道岸坡及输(泄)水洞进出口岸坡滑坡、弧形裂缝、崩塌、泥石流等

**A.3.5 坝体与混凝土建筑物的连接：**坝体与两坝肩及穿坝建筑物接触处是否存在沉陷裂缝；土石坝与混凝土坝、溢洪道、船闸、涵管等建筑物的连接部位，是否存在接触面附近因不均匀沉降而产生裂缝脱开、明显错台。

**A.3.6 坝基液化：**坝脚临近区域是否出现局部或大范围翻砂、冒砂现象，不均匀沉陷、临近坝体区域是否出现裂缝或滑坡迹象。

**A.3.7 滑坡涌浪：**近坝库岸是否存在潜在滑坡，可能导致涌

浪而影响土石坝安全。

**A.3.8 坝体坝基渗流安全：**大坝渗流量是否异常；渗漏水是否出现浑浊或细颗粒带出；坝后侧是否存在管涌、冒水翻砂、塌陷或松软隆起，或伴有坝前漩涡现象；大坝渗压监测数据是否出现突变；防渗面板是否漏水、止水失效。

**A.3.9 排水体及反滤料渗流安全：**截渗和减压设施有无破坏、穿透、淤塞等现象；排水反滤设施是否有堵塞、排水不畅甚至失效，渗水有无骤增、骤减和浑浊现象。

**A.3.10 穿坝建筑物渗流安全：**是否存在坝下(内)埋管出口与坝体接触部位出现明显渗流，出水浑浊或有细颗粒带出；进水塔侧墙与坝体连接部位是否存在明显渗流；是否存在涵管漏水致使涵管处上、下游坝坡局部出现塌陷。

**A.3.11 绕坝渗漏渗流安全：**绕坝渗流量或渗流压力是否异常，坝体与岸坡结合部位是否出现明显漏水且有细颗粒带出；坝体与岸坡结合部位上、下游是否出现塌坑。

#### **A.4 混凝土坝及砌石坝震损检查要点：**

**A.4.1 坝体结构安全：**防浪墙有无裂缝、错动、沉陷、倾覆；相邻坝段之间是否存在错动；坝体结构缝是否张开或挤压破损；坝体混凝土或砌石结构是否存在横向裂缝、纵向裂缝；重力坝上部变坡段是否出现裂缝；下游坝趾附近是否有塌陷。

**A.4.2 坝基坝肩安全：**基础岩体有无挤压、错动、松动和鼓出；坝体与基岩(或岸坡)接合处有无错动、开裂、脱离等；两岸坝肩区有无裂缝、滑坡、沉陷等情况；拱坝两坝肩是否有明显的失稳趋势。

**A.4.3 近坝库岸安全：**是否存在岸坡塌陷、裂缝、滑移迹象；高边坡或潜在滑坡体是否存在异常变形。

**A.4.4 坝体渗流安全：**上游止水设施是否完好、有无贯穿性裂缝，下游面有无新增渗水点；下游坝趾渗漏水量、颜色、浑浊度及其变化状况。

**A.4.5 坝体廊道渗流安全：**有无新增漏水、射水、溶蚀、剥

落;止水是否完好,排水孔有无堵塞;排水量、颜色、浑浊度及其变化状况。

**A.4.6 坝基渗流安全:**坝基渗漏量是否存在异常增大或减小;渗漏量突变排水孔是否伴有泥沙污物排出;渗漏量突变附近坝体、坝基是否出现异常变形。

**A.4.7 近坝库岸渗流安全:**两岸坝肩区绕坝渗漏是否加剧;库区水面有无漩涡、冒泡现象;岸坡地下水出露及渗漏情况;表面排水设施或排水孔工作是否正常。

**A.5 泄、输水建筑物震损检查要点:**重点关注建筑物泄洪能力是否因地震受到影响,并应关注相关建筑物与大坝连接位置的结构稳定和渗流安全

**A.5.1 溢洪道:**进、出口段有无堵塞;两侧边坡有无滑坡或坍塌迹象,泄洪通道的进出口是否保持通畅;护坡是否有裂缝、沉陷、渗水;流态是否正常。溢洪道控制段堰顶或闸室、闸墩、边墙、胸墙、溢流面、底板、工作桥等处有无裂缝、渗水,排水孔及伸缩缝是否完好。泄槽、消能、掺气设施有无裂缝、异常变形及其他破损。溢洪道与坝体连接部位有无异常变形和渗漏现象。

**A.5.2 其他泄、输水建筑物:**进水口和引水渠道有无淤堵、裂缝及损坏;进水口边坡有无裂缝及滑坡。进水塔(或竖井)有无裂缝、渗水或其他损坏现象;塔体有无倾斜或不均匀沉降。可见范围内洞(管)身有无裂缝、坍塌、渗漏等现象;放水时洞内声音是否正常。出水口水流形态、流量是否正常,出水口有无淤堵、裂缝及损坏,出水口边坡有无裂缝及滑坡体。下游渠道及岸坡有无裂缝及滑坡等破坏现象。

**A.6 金属结构及启闭设施震损检查要点,**重点针对闸门启闭、供电是否因地震受到影响,压力钢管、闸阀等设施是否因地震发生灾害性破坏。

**A.6.1 闸门:**闸门或拦污栅是否可以顺畅启闭,螺栓有无松动、变形、损伤或脱落;门槽、门槛、埋件、锁定装置等是否发生异常变形等现象;门叶梁格、吊耳、弧形闸门的支臂、滚轮支

承、弧形闸门支较等主要受力构件和支撑结构有无变形、损伤，焊缝有无开裂，运转是否正常；翻板闸门、叠搭连锁闸门支撑墩、较链等有无异常变形、损坏铸铁闸门门框和导轨有无变形、松动现象闸门止水是否存在明显损坏造成闸门漏水。

**A.6.2 启闭机震损检查：**启闭机、坝顶门机是否正常工作；制动、限位设备是否准确有效；电源、传动、润滑等系统是否正常；备用电源及手动启闭是否正常运行。启闭机房是否存在因地震造成的异常变形、裂缝等结构破坏现象。

**A.6.3 电气及自动控制设备震损检查：**启闭机控制柜、配电柜震后是否能正常运行，配电柜进线三相电压、控制柜的闸刀开关、供电线路等是否正常。各种电气设备接地体的两端连接是否有松动、脱落现象。集中控制或自动化监控系统是否正常。

**A.6.4 压力钢管及闸阀震损检查：**管壁是否有裂缝、凹陷、鼓包；管壁及焊缝区是否漏水，焊缝是否有开裂或表面裂纹；管体、支墩、镇墩有无异常变形；伸缩节处是否有漏水，主阀与钢管连接处是否有漏水现象；埋管的四周混凝土及沿线是否有渗水、变形和失稳，焊缝区是否存在渗漏情况，伸缩节处是否渗水；工作阀、检修阀工作是否正常，有无漏水；手动、电动装置是否完好。

**A.7 震害等级划分：**应根据震害的有无，震害的类型，震害的轻重，以及震害对工程安全可能造成影响程度，将震害划分成无明显震害、局部损坏、高危、溃坝四个等级。

## 附录 B

### (资料性附录)

### 强震动监测系统框图

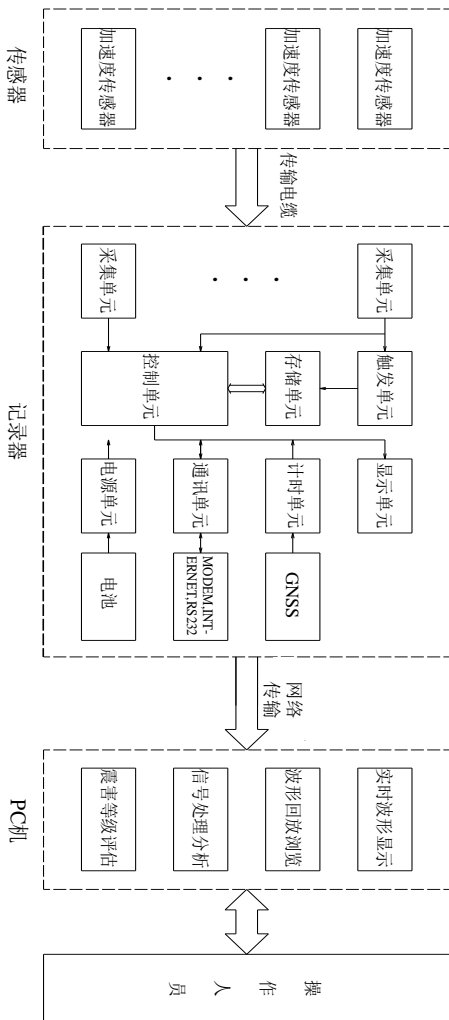


图 B.1 监测系统框图

**附录 C**  
**(规范性附录)**  
**强震动加速度仪的主要技术指标要求**

**表 C.1 加速度传感器的主要技术指标**

内容	技术指标
满量程	$\pm 2 \text{ g}$ (坝基、场地效应等测点)
	$\pm 4 \text{ g}$ (大坝坝顶等动力放大部位)
满量程输出	$\pm 2.5 \text{ V}$ 、 $\pm 5.0 \text{ V}$ 或 $\pm 10.0 \text{ V}$ ; 差分
频率响应	(0~80) Hz
动态范围	$\geq 120 \text{ dB}$
线性度误差	$\leq 1\%$
横向灵敏度比	$\leq 1\%$ (包括角偏差)
噪声均方根值	$\leq 10^{-6} \text{ g}_n$
零位漂移	$\leq 500 \mu\text{g}/^\circ\text{C}$
运行环境温度	$-20 \text{ }^\circ\text{C} \sim +65 \text{ }^\circ\text{C}$
相对湿度	$< 90\%$

**表 C.2 强震动记录器的主要技术指标**

内容	技术指标
满量程输入	$\pm 2.5 \text{ V}$ 、 $\pm 5 \text{ V}$ 或 $\pm 10 \text{ V}$ , 差分
动态范围	$\geq 120 \text{ dB}$
频率响应	(0~100) Hz
分辨力	满量程为 $\pm 10 \text{ V}$ 时, 分辨力 $\leq 3.0 \mu\text{V}$ 满量程为 $\pm 5 \text{ V}$ 时, 分辨力 $\leq 1.5 \mu\text{V}$ 满量程为 $\pm 2.5 \text{ V}$ 时, 分辨力 $\leq 0.75 \mu\text{V}$
触发模式	连续触发采集、阈值触发、STA/LTA (Short-Term to Long-Term)

内容	技术指标
	Average, 短长时窗能量比值) 触发、STA 与 LTA 差触发、定时触发、手动触发等
采样率	100 sps, 200 sps, 500 sps 可编程
时间服务	标准 UTC, 内部时钟精度优于 $10^{-6}$ , GNSS 校时精度优于 0.1 ms
数据通信	网络通信
数据存储	固态硬盘, 存储容量 $\geq$ 8 GB, 可扩充容量
道间延迟	无
零点飘移	$<100 \mu\text{V}/\text{C}$
软件	包括通信程序, 图形显示程序, 其他实用程序和监控、诊断命令
环境温度	$-20 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim +65 \text{ }^{\circ}\text{C}$
环境湿度	$<90\%$

## 附录 D

### (资料性附录)

#### 强震动加速度仪整机标定方法

**D.1** 仪器在进行安装前,应在有资质的低频标准振动台上进行加速度传感器和强震动记录器的整机标定。通常包括三方面内容:一是输入——输出特性(简称线性特性);二是幅值——频率特性(简称幅频特性);三是相位——频率特性(简称相频特性)。在标准振动台上进行整机标定的方框图如下:

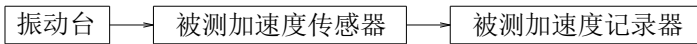


图 D.1 整机标定框图

#### **D.2** 输入——输出特性(简称线性特性):

标定方法是将被测加速度仪固定在振动台台面中心,其灵敏轴应与振动方向平行。在一定的频率下,逐次改变振动输入量,测出相应的仪器输出量。见下图:

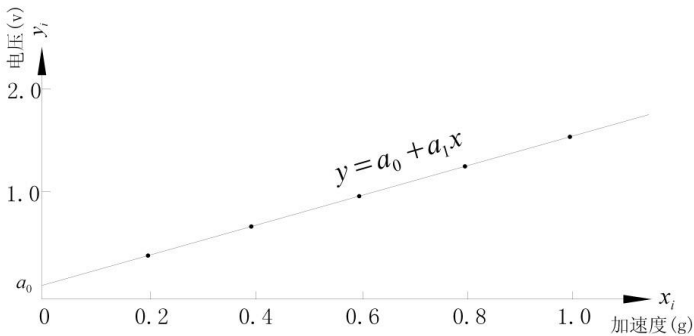


图 D.2 输入—输出特性图

将全部振动输入量和相应的仪器输出量代入直线方程后,求解方程组,即可将标定所取得的全部资料用平均法拟合成一个直线方程,即

$$y = a_0 + a_1x$$

式中  $a_0$ （截距）为仪器系统测量误差； $a_1$ （斜率）为测试仪器的增量，即灵敏度。

### D.3 幅值——频率特性（简称幅频特性）：

标定方法是在振动台上给定一个振动幅值，并逐次改变振动频率，用示波器读出仪器在各个频率时的输出量的幅值，取其输出量与输入量的幅值比，即

$$A_f = U_f / U_0$$

将不同频率下的幅值比连成一条曲线，即可得仪器的幅频响应曲线。见下图。

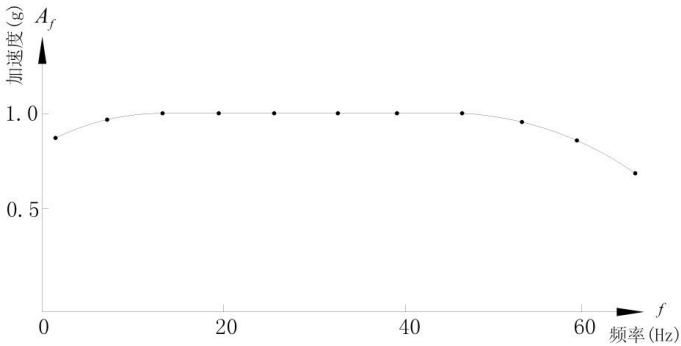


图 D.3 幅度—频率特性图

由上图可知仪器工作频带的低端和高端。

### D.4 相位——频率特性（简称相频特性）：

相频特性标定方框图如下：

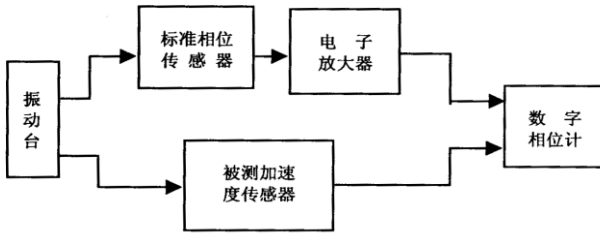


图 D.4 相位—频率特性图

相频特性标定是表示仪器在不同频率时，输入信号和相应的仪器输出信号之间相位差的变化情况。其方法是将被测仪器和标准相位加速度仪固定在振动台上，两者的输出信号同时输出给数字相位计。其测点不应小于 10 个。

**附录 E**  
**(资料性附录)**  
**脉动测试**

**E.1** 应用现有的强震动加速度仪，适当调整前放增益，即能满足脉动测试加速度要求。

**E.2** 脉动测试应分别在白天和晚上各进行一个时段的测试。每一时段的测试时间不应小于 15 分钟。

**E.3** 场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试结束后，应对测试记录进行计算分析，以便选择和确定强震动加速度仪的触发方式和阈值，并进一步确定场地的卓越周期和水工建筑物的自振周期。通过多次测试结果的对比，可根据水工建筑物的动力特性变化对其工作性态进行分析。

**附录 F**  
**(规范性附录)**  
**建台报告格式和要求**

**F.1 绪言**

- 1 工程位置、主要建筑物的布置、工程主要指标。
- 2 建台的依据、监测的目的、台阵仪器和规模，以及建台过程。
- 3 建台工作负责人和参加人员，建台完成日期。

**F.2 地质概况**

- 1 区域构造地质背景。
- 2 场地工程地质条件。

**F.3 强震动安全监测台阵**

- 1 监测台阵地理位置，各测点位置和分布，包括经纬度和绝对标高。
- 2 监测台阵的主要仪器设备及系统框图。
- 3 监测台阵仪器的主要技术指标。

**F.4 仪器的安装**

- 1 仪器的参数设置。
- 2 加速度传感器的安装。
- 3 电源、传输线路的铺设。
- 4 强震动记录器的安装。
- 5 管理中心的软、硬件安装。

**F.5 测试**

- 1 背景噪声测试。
- 2 地脉动及结构响应测试。

**附录 G**  
**(规范性附录)**  
**试运行报告格式和要求**

- G.1** 试运行基本情况：试运行开始、结束时间，故障及处理，设备及参数调整说明。试运行负责人及参加人员。
- G.2** 基本运行环境：温度、湿度、电源系统、避雷系统。
- G.3** 系统设备状况：设备及软件名称、型号、数量。
- G.4** 系统技术指标：台阵监控、数据传输处理和存储能力。
- G.5** 原始监测数据与强震动加速度记录处理分析结果。

**附录 H**  
**(规范性附录)**

**表 H.1 数字强震动加速度仪检测表**

台阵名称		测点编号	
仪器型号		仪器编号	
事件数		存储卡余容量	
电池电压			
充电电压		UPS 状态	
通道零位电压			
检查电压			
调整后电压			
标定试验		人工触发	
		GNSS 状态	
记录文件回收			
参数修改			
原设置			
修改值			
监测室环境			
检查后仪器状态			
故障及处理			
重要记事			
检查人员			
日期			

附录 I  
(规范性附录)

表 I.1 强震动安全监测记录报告单

台阵名称						台阵代号			
仪器型号						仪器编号			
场地条件						监测对象			
地震时间		年 月 日 时 分 秒				震级			
震中经纬度						震中地点			
震中距						震中烈度			
震源深度						记录编号			
仪器编号	通道编号	拾震器号	测点编号	测点位置	测点高程 m	测点方向	灵敏度 mV/g	最大加速度 g	记录长度 s
安全评估		安全		警惕			危险		
检查人员				日期					

**附录 J**  
**(资料性附录)**  
**安全评估方法**

**J.1** 工程安全评估宜先计算出震害危险指数  $y_w$  和安全指数  $y_a$ 。

1 水工建筑物震害危险指数  $y_w$

$$y_w = \frac{a_c}{a_l}$$

式中：

$y_w$ ——水工建筑物震害危险指数。

$a_c$ ——水工建筑物强震反应台阵实测点最大加速度记录值。

$a_l$ ——按 NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范计算求得的相应测点能抗御的最大加速度值。

当  $y_w$  值有大于 1 者，水工建筑物将可能出现破坏。 $y_w$  值越大，工程破坏越严重。

2 水工建筑物安全指数  $y_a$

$$y_a = \frac{a_c}{a_d}$$

式中：

$y_a$ ——水工建筑物安全指数。

$a_c$ ——水工建筑物强震反应台阵实测点最大加速度记录值。

$a_d$ ——按最大加速度 0.05g(混凝土建筑物)或 0.025g(土工建筑物)抗震计算求得的相应点最大加速度值。

**J.2** 安全评估可按下表 J.1：

表 J.1 安全评估

安全评估	安全	警惕	危险
判别标准	$y_a \leq 1$	$y_a > 1$ $y_w \leq 1$	$y_w > 1$

### J.3 安全评估校核

当安全评估为警惕或危险时，应立即对水工建筑物现场进行震害检查，参见附录 A。收集静态安全监测数据，并以实际记录的地面加速度时程曲线作为地震输入，结合地震时库水位等实际荷载条件，根据 NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范中规定的方法进行计算，结合水工建筑物震害检查情况，校核安全评估结果。

## 本规范用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

GB/T 18207.1 防震减灾术语 第一部分

GB51247 水工建筑物抗震设计标准

GB50011 建筑抗震设计规范

NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范

DB/T 10 数字强震动加速度仪

DL5180 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准

# 水工建筑物强震动安全监测 技术规范

## 条 文 说 明

# 目 次

1	总则 .....	37
3	监测台阵布置 .....	39
4	监测系统组成与技术要求 .....	41
5	监测系统的测试、安装与验收 .....	43
6	监测系统的管理与维护 .....	44
7	加速度记录的处理分析 .....	45

# 1 总 则

1.0.1 本条简要说明制定本规范的目的。特别指明了是为减轻和防止水工震害的进一步扩展和次生水灾的发生。水工建筑物强震动安全监测是预先在水工建筑物上布置强震动反应台阵，一旦发生强震，自动获取加速度记录，进行及时分析和快速震害等级评估，采取应急措施，达到减灾、防灾目的。另外取得的强震动记录还能水工建筑物抗震设计地震动参数和地震烈度的评估提供定量资料。

1.0.3 本条规定了台阵布设要求。主要用于设计烈度为VIII度及以上的1、2级大坝，设计烈度为VII度的1级大坝。设计烈度为VIII度及以上的1级水工建筑物，应在蓄水前设置场地效应台阵。这样可较快形成我国水工建筑物强震动安全监测台网，逐步改变“我国是多地震的国家，又是缺少强震动记录的国家”的落后状态。我国水工建筑物强震动安全监测迄今50多年只建成近百座台阵，而1、2级大型水工建筑物超过400座，3级中型水工建筑物2000余座多未建台，因此，许多次强震动都漏记，仅有为数不多的台阵取得加速度记录，但场地的强震动最大加速度均小于0.1g。据不完全统计，美国有强震动监测加速度仪6000余台，日本有强震动监测加速度仪5000余台。美国、日本等国不仅已建成了强震动安全监测台网，还布设了各类强震密集监测台阵。美国已取得大于0.1g强震动加速度记录数千条，日本在阪神大地震时，有近百台仪器均同时取得地震加速度记录，促进了地震工程学和工程抗震事业的发展。我国抗震设计地震动参数，目前主要是借鉴美国的，美国建筑场地的地质条件与我国建筑场地的地质条件不可能完全相同，只有完成我国自己的水工建筑物强震动安全监测台网建设，才能尽快的、不断的取得我国自己的强震动加速度记录。

1.0.5 监测物理量主要应记录地震动加速度。这是因为当前阶段

抗震设计采用的地震动参数是加速度。随着高坝抗震研究的深入，对于 1 级高土石坝可增加动孔隙水压力、动位移的监测，对于 1 级高混凝土坝可增加动水压力、动位移的监测等其他物理量。这是因为动位移可以作为量化高坝地震损伤的定量指标。

### 3 监测台阵布置

3.0.4 本条规定了结构反应台阵测点布置要求。测点的布置是依据水工建筑物的动力特性以及地震反应而作出的，测点布置的部位一般都是水工建筑物各阶振型的最大值、地震反应较大以及重要的动力特征部位。河谷自由场主要是反应地震动输入参数的情况。

一般情况下土石坝、混凝土重力坝，在抗震设计中主要针对坝的断面、单坝段并以顺河流方向的水平向地震作用为主，两岸陡坡上的重力坝段，宜考虑垂直河流方向的水平作用。因此传感器测量方向应以水平顺河向为主。国内外普遍用材料力学悬臂梁法来计算重力坝坝段的静动应力并设计坝的断面，并在长期工程实践中积累了丰富经验，对于工程抗震设防类别为甲类，或结构复杂或地基条件复杂的重力坝，同时规定采用有限元法进行补充分析，抗震分析表明：重力坝坝顶、坝坡的变坡部位或  $2/3$  坝高附近、坝基则是该坝型地震反应较大和动力特征部位。由于溢流坝段和非溢流坝段结构存在很大差异，因此应各选一个最高坝段或地质条件较为复杂的坝段进行布置。

近年来，我国进行了大量高拱坝抗震研究并已取得显著进展。在将坝体及其地基作为一个体系的前提下，充分考虑了坝体、地基和库水的动力相互作用，坝体横缝在强震时开合的非线性接触影响，沿河谷坝基各点地震动相位和幅值差异导致的非均匀输入、坝体体系振动能量向远域无限地基逸散的辐射阻尼、以及邻近坝基的近域地基中各类不同岩性及地质构造差异及其材料非线性特性的影响等因素。研发了将坝体、地基和库水作为一个体系、能同时反映上述诸因素的、更切近实际的有限单元模型，及多种非线性交叉的动态分析方法和程序。目前已有的拱坝抗震研究表明：混凝土拱坝拱冠梁顶部是对称振型的最大处， $1/4$  坝顶拱圈是反

对称振型的最大处，拱座稳定十分重要和复杂，它不但受坝址地形、地质条件的影响，而且在地震时作用在滑动岩块上的拱端推力，其大小和方向都随时间变化，滑动体的滑动模式也非固定，岩体的物理力学参数与其静态值也有区别。另一方面，至今有缝隙岩体材料的动态试验资料太少，成果又都很离散。拱坝岸坡的地震动态放大效应，尚缺乏实测资料的充分验证。因此强震动监测测点应重点从拱冠梁坝顶到坝基布置、在 1/4 拱圈处，坝肩处沿顶拱各布置、拱座沿不同高度处布置。考虑到拱坝为空间结构传感器测量方向应布成水平径向、水平切向和竖向三分量，次要测点传感器可简化成水平径量。

土石坝反应台阵测点，有条件时宜布设深孔测点，主要考虑到坝基深孔测点对于研究地震动输入机制，深厚覆盖层的动力放大效应有重要意义。

进水塔、垂直升船机、闸墩、闸顶机架和其它两个主轴方向刚度接近，应考虑结构的两个主轴方向的水平地震作用。

由于近年来我国调水工程、中抽水蓄能电站建设的快速发展，本次修编增加了对渡槽、抽水蓄能电站的强震动监测的要求。

3.0.5 场地效应台阵对研究场址地震不均匀输入，覆盖层对地震输入参数的影响有重要作用，本次修编增加了对场地效应台阵布设的要求。由于地震对高边坡安全有重要影响，因此对大坝有安全影响的边坡、抽水蓄能电站压力管道的边坡需要增加强震动监测。自由场基岩测点的监测，可以作为大坝抗震分析的输入参数。

## 4 监测系统组成与技术要求

4.0.1~4.0.3 规定了监测系统由加速度传感器、加速度记录器、电源、传输线路四部分组成。加速度传感器、加速度记录器的主要技术指标是从我国水工建筑物强震动安全监测自动化的要求出发,又考虑到我国目前强震动加速度仪的生产水平,根据 DB/T 10 数字强震动加速度仪地震行业标准,而加以引用。记录器一般采用集中记录式布置,见下图 4.1。记录器集中布置主要优点有二:一是便于记录器连机运行,可采用同一时标,能够更精确地判断同一时刻的地震动相位;二是便于管理和检查。对于建筑物规模很大,传输电缆太长时,可采取分散记录式布置,见下图 4.2。由于电缆太长,电缆的电阻值加大,必将削弱向加速度记录器供直流电的电流和电缆传输的信号,根据以往经验,电缆长度以不超过 500 米为宜。

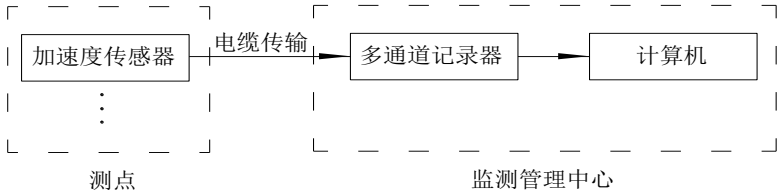


图 4.1 集中记录式框图

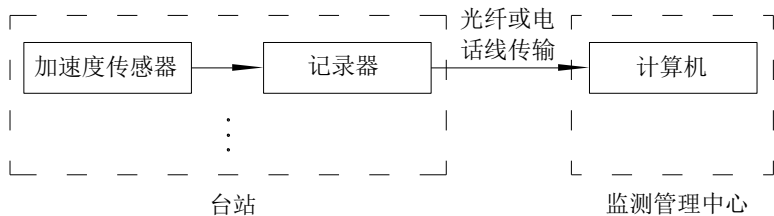


图 4.2 分散记录式框图

4.0.9~4.0.10 对监测台站和监测管理中心的建设分别提出了主要技术要求。其中特别强调必须符合 NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范的抗震设防要求，以及 GB50011 建筑抗震设计规范的设计要求，以免强震造成建筑物或设备倒塌砸毁监测系统的仪器设备，从而失掉强震动加速度记录。

## 5 监测系统测试、安装与验收

5.1.1 规定了仪器出厂前，应在有资质的实验室超低频标准振动台上进行整机标定。这是由于仪器各通道虽然标有统一的灵敏度额定值，但在仪器选择元器件和生产过程的差异，各仪器灵敏度是不同的。必须以整机标定的结果为准。

5.1.2~5.1.4 规定了仪器安装前应对加速度传感器和记录器进行测试，以及测试的具体内容，这是确保仪器能否正常运转及保障监测数据准确的重要步骤。

5.3.1~5.3.8 规定了强震动加速度仪安装后，应对监测系统进行参数设置和调试，确认各通道的极性和加速度传感器的零位，检查的内容和顺序是：设置仪器参数、设定通道极性、测试背景噪声、标定记录、人工触发试验、GNSS 同步检测、双向通讯遥测试验，这是确认监测系统是否正常运行的重要步骤。

5.3.9 规定了安全监测系统运行正常后，应进行场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试，应对测试记录进行计算分析，以便选择和确定强震动加速度仪的触发方式和阈值，并确定场地的卓越周期和水工建筑物的自振周期。通过将历年记录进行对比分析，可依据水工建筑物动力特性的变化，对水工建筑物进行动力健康诊断分析。

5.4.1~5.4.4 规定了台阵建设完成后，应编写出建台报告，试运行报告，并完成人员的技术培训和相关的仪器、软件使用说明书等技术资料，可申请进行单元工程验收。

## 6 监测系统的管理与维护

6.1.1~6.1.3 对台阵的管理作了一般规定。即应纳入大坝安全监测的日常工作。强调了对台站兼管人员应经过培训上岗，以便能了解仪器的基本原理和主要技术特性，正确掌握仪器操作使用方法和简单的故障检查，学会对加速度记录进行现场处理分析。规定了台站巡回检测为远程访问、月巡回检测、年度巡回检测和特别巡回检测四类。

6.2.1~6.2.2 对远程通讯检查的时间和内容做出具体规定。

6.3.1~6.3.2 规定了台阵月巡回检测的具体内容。

6.4.1~6.4.3 规定了台阵年度巡回检测的内容和应注意的事项。强调了不得同时对两套以上处于待触发状态下的仪器进行标定，以尽量减少漏记地震的可能性。

6.4.4~6.4.5 规定了台阵仪器检测合格后，应进行场地脉动和水工建筑物的脉动反应测试，记录脉动加速度时间过程。并应对测试记录进行计算分析。

6.5.1~6.5.2 规定了台阵特别巡回检测的内容。即在发生强雷电、暴雨、有感地震等特殊情况下，要及时检查仪器工作是否正常。因为在这些特殊情况下，往往对监测台阵仪器造成损坏。应及时发现，及时检修好，可避免漏记地震，提高地震获取率。

## 7 加速度记录的处理分析

7.0.1 规定了在获得地震动加速度记录后，应及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份，按照规定格式形成包括头段数据和记录波形数据两部分的未校正加速度记录。

7.0.2 规定了获得校正后场地峰值加速度 $\geq 0.025 g$ 的记录后，应填写监测记录报告单，并报告上级主管单位。监测记录报告单的内容，包括地震发生的时间，各通道地震记录的最大加速度值，各通道地震记录的时间长度等。

7.0.3 及时根据强震动安全监测台阵各个测点的的记录和预存的抗震设计参数计算求得的各个测点能抗御的最大加速度值，对大坝进行安全评估，可划分成三个等级：

- 1 安全（绿色）。即建筑物一般不会出现震害。
- 2 警惕（黄色）。即建筑物可能出现局部损坏。经一般修复即可正常使用。
- 3 危险（红色）。即建筑物遭遇超设计标准地震时，可能出现破坏。若不及时采取应急措施，有可能发展到建筑物垮塌的危险。

安全评估方法可参阅附录 J。

地震对水工建筑物的破坏机理是极其复杂的，目前尚待搞清。但大量震害实践证明，建筑物破坏取决于两个方面：一是取决于地震动的强弱和建筑物地震反应特征；二是取决于建筑物本身具有的抗震潜力。前者可通过在建筑场地和建筑物关键部位上预先布置水工建筑物强震反应台阵，在地震发生时取得各测点的加速度记录；后者，可预先通过对建筑物按抗震设计烈度和地震动参数，进行抗震计算分析求得建筑物各测点能抗御的加速度值，进而导出水工震害危险指数  $y_w$  和安全指数  $y_a$ 。

$$y_w = \frac{a_c}{a_l} \quad y_a = \frac{a_c}{a_d}$$

在水工危险指数  $y_w$  和安全指数  $y_a$  的计算公式中，只有相应测点的最大加速度值之比，似乎未考虑反应谱值。实际上，反应谱值取决于工程场地土类别，在抗震设计参数计算求得的各个测点能抗御的最大加速度值时，已考虑了该工程场地土类别；监测台阵各个测点记录的最大加速度值，是在同一工程场地土上取得的，故反应谱值可视为常数，在分数的分子、分母中可以相约，简化。

水工建筑物安全指数公式中， $a_d$  的取值是根据我国 1961 年新疆巴楚地震，1962 年广东河源地震，1966 年河北邢台地震，1969 年广东阳江地震，山东渤海湾地震，1970 年云南通海地震，1974 年江苏溧阳地震，云南昭通地震，1975 年辽宁海城地震，1976 年内蒙和林格尔地震，云南龙陵地震，河北唐山地震，1979 年江苏溧阳地震，1985 年云南禄劝地震和新疆乌恰地震，1988 年云南澜沧-耿马地震，1996 年青海格尔木等 17 次强震进行水工震害调查得出的认识：混凝土建筑物 6 度以下（含 6 度）没有震害，相当于最大加速度 0.05g，土石建筑物 5 度以下（含 5 度）没有震害，相当于最大加速度 0.025g。但个别不符合抗震设计要求，采用可液化土料筑坝或土料未达到压实标准的病险库例外，如山东渤海湾地震时 5 度区的冶源水库土坝，江苏溧阳地震时 5 度区的小土坝，内蒙和林格尔地震时 5 度区的小塘坝也出现震害。近年，我国已有计划的对病险库进行了除险加固。

本条提出宜采取的计算公式，表示如有更好计算公式，容许选择。

7.0.4 规定了对场地峰值加速度大于 0.002g 的台阵记录应进行常规处理分析，包括校正加速度记录，速度和位移时程，反应谱，傅里叶谱。因为完整的台阵记录，虽然峰值加速度小，但对于分析建筑物的动力特性是十分宝贵的。

附件 3

# 《水工建筑物强震动安全监测技术规范》

(征求意见稿 送审稿 报批稿)

## 编 制 说 明

主编单位 (签章): 中国水利水电科学研究院

2023 年 9 月 7 日

# 目 录

1	任务来源.....	1
2	本标准修编单位和主要起草人.....	14
3	主要内容及来源依据.....	14
4	国内外相关标准对比分析.....	18
5	重大分歧意见的处理经过和依据.....	21
6	标准中尚存在主要问题和今后需要进行的主要工作.....	21
7	标准实施建议.....	21
8	其他说明事项.....	21

## 1 任务来源

包括任务来源、制定/修订单位主要工作过程、主要起草人及其所做的工作等。

《水工建筑物强震动安全监测技术规范》DL/T5416-2009 于 2009 年 7 月 22 日发布，2009 年 12 月 1 日实施。本规范的修编是根据《国家能源局综合司文件》国能综通科技[2022]96 号文件，关于下达 2022 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知要求，吸收了 10 多年的科研成果以及强震动监测经验进行修编。

《水工建筑物强震动安全监测技术规范》主要内容有：范围，规范性引用文件，总则，术语和定义，监测台阵布置，监测系统组成与技术要求，监测系统的测试、安装和验收，台阵的管理与维护，加速度记录的处理分析。

本标准的附录 C、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I 为规范性附录。

本标准的附录 A、附录 B、附录 D、附录 E、附录 J 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会归口并负责解释。

本次修订的主要技术内容如下：

### 《水工建筑物强震动安全监测技术规范》新旧条款对比说明

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
前言	本标准时根据《国家发展和改革委员会办公厅关于下达 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2005]739 号）的要求制定的。	《水工建筑物强震动安全监测技术规范》DL/T5416-2009 于 2009 年 7 月 22 日发布，2009 年 12 月 1 日实施。本规范的修编是根据《国家能源局综合司文件》国能综通科技[2022]96 号文件，关于下达 2022 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知要求，吸收了 10 多年的科研成果而进行的。	根据本次修订内容，对前言进行了修改。
前言	附录 A 为规范性附录	附录 A 为资料性附录	附录 A 水工建筑物震害检查，增加了内容详细、全面的震害检

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
			查内容，改为资料性附录比较合适。
2 规范性引用文件	GB/T 18207.1 防震减灾术语 第一部分 GB50011 建筑抗震设计规范 DL5073 水工建筑物抗震设计规范 DB/T 10 数字强震动加速度仪 DL5180 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准	GB/T 18207.1 防震减灾术语 第一部分 GB51247 水工建筑物抗震设计标准 GB50011 建筑抗震设计规范 NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范 DB/T 10 数字强震动加速度仪 DL5180 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准	增加了新颁布的 GB51247-2018 水工建筑物抗震设计标准；NB 35047-2015 水电工程水工建筑物抗震设计规范。（替代旧规范：DL5073 水工建筑物抗震设计规范）
3.0.2	3.0.2 监测工作可分为四个阶段，各阶段的工作应满足以下要求： 可行性研究阶段：提出监测系统的总体布置、监测仪器及设备的数量、监测系统的工程概算。	3.0.2 监测工作可分为四个阶段，各阶段的工作应满足以下要求： 可行性研究阶段：进行必要现场勘选工作，提出监测系统的总体布置、监测仪器及设备的数量、监测系统的工程概算。	增加了现场勘选工作的要求
3.0.3 1	3.0.3 台阵布设规定： 1 设计烈度为VIII度及以上的1、2级大坝应设置结构反应台阵；进水塔、垂直升船机等水工建筑物，宜设置结构反应台阵。	3.0.3 台阵布设规定： 1 设计烈度为VIII度及以上的1、2级大坝应设置结构反应台阵；1、2级进水塔、垂直升船机、水闸、渡槽、抽水蓄能电站等水工建筑物，应设置结构反应台阵。	增加了1级水闸、渡槽、抽水蓄能电站等水工建筑物，应设置结构反应台阵的要求，考虑到1级建筑物的重要性有原来的“宜”设置修订为“应”设置。
3.0.3 3	3.0.3 台阵布设规定： 3 设计烈度为8度及以上的1级水工建筑物，应在蓄水前设置场地效应台阵。	3.0.3 台阵布设规定： 3 设计烈度为8度及以上的1级高坝，应在蓄水前设置场地效应台阵。	考虑到有的抽水蓄能电站，大坝虽然是1级建筑物，但其坝高较低，因此将“1级水工建筑物”修改为“1级高坝”比较合理。
3.0.5	3.0.5 在监测物理量上，主要记录地震动加速度。对于1级高土石坝可增加监测动孔隙水压力和动位移，对于1级高混凝土坝可增加监测动水压力等其它物理量的监测。	3.0.5 在监测物理量上，主要记录地震动加速度。对于1级高土石坝可增加监测动孔隙水压力和动位移的监测，对于1级高混凝土坝可增加监测动水压力、动位移等其它物理量的监测。	根据高坝抗震分析与安全评价最近的科研成果，遭遇大地震时，大坝破坏损伤会产生位移突然增加的现象，因此增加动位移的监测
3.0.6	3.0.6 仪器监测应与震害检查结合，当发生有感地震或坝基记录的峰值加速度校正后大于0.025g时，应立即对水工建筑物进行震害检查。震害检查内容与方法见附录A。	附录A的内容进行了细化。	改成校准后的加速度更加合理。 附录A的震害检查内容，进行了细化，更加有利于震害检查工作的量化。考虑到每个水电水利工程存在的

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
			不同特征，因此将此附录变更为资料性附录更为合理。
4.0.3	测点 <b>monitoring point</b> 设置强震动加速度传感器进行强震动监测的地点。	测点 <b>monitoring point</b> 设置仪器进行强震动监测的地点。	考虑到测点除了加速度传感器外，还有其他仪器，所以进行了修订
4.0.9	背景振动加速度噪声 <b>background acceleration noise</b> 台阵场地常时微小振动产生的加速度噪声。	背景振动加速度噪声 <b>background acceleration noise</b> 测点常时微小振动产生的加速度噪声。	将台阵场地改为测点更符合实际情况
4.0.15	动态范围 <b>dynamic range</b> 满量程和噪声（均方根值）之比的常用对数与 20 的乘积，用分贝表示。	动态范围 <b>dynamic range</b> 满量程和噪声（均方根值）之比的常用对数与 20 的乘积，单位为分贝。	修改后语言更简练
4.0.16	频率响应 <b>frequency response</b> 在定常线性系统中输出与输入之比表示为输入信号频率的函数，通常以幅频特性曲线、相频特性曲线表示幅度、相位与频率的关系。	频率响应 <b>frequency response</b> 在定常线性系统中输出与输入之比表示为输入信号频率的函数，通常以幅频特性曲线、相频特性曲线表示幅值、相位与频率的关系。	将幅度改为幅值，含义更准确
4.0.18	监测系统 <b>monitoring system</b> 由加速度传感器、记录器、计算机、传输线路四等组成的系统。	监测系统 <b>monitoring system</b> 由加速度传感器、记录器、电源、传输线路、管理中心等组成的系统。	增加了电源，管理中心，并将计算机归并到管理中心，不再出现计算机名词
5.0.2	台阵设计应包括确定台阵的类型和规模、布置方案、仪器的性能要求，仪器安装和管理维护的技术要求等。	台阵设计应包括确定台阵的类型和规模、布置方案、传输方式、仪器的性能要求，仪器安装和管理维护的技术要求等。	增加了传输方式的设计要求
5.0.4 1	5.0.4 结构反应台阵测点布置要求： 1 混凝土重力坝和支墩坝反应台阵应在溢流坝段和非溢流坝段各选一个最高坝段或地质条件较为复杂的坝段进行布置。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位或 2/3 坝高附近、坝基和河谷自由场处。传感器测量方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。	5.0.4 结构反应台阵测点布置要求： 1 混凝土重力坝和支墩坝反应台阵应在溢流坝段和非溢流坝段各选一个最高坝段或地质条件较为复杂的坝段进行布置。1 级高重力坝测点不宜少于 6 个测点。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位或 2/3 坝高附近、坝基和河谷自由场处。传感器测量方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。	增加了 1 级高重力坝测点不宜少于 6 个测点的数量要求。
5.0.4 2	2 混凝土拱坝反应台阵应在拱冠梁从坝顶到坝基布置 2~4	2 混凝土拱坝反应台阵应在拱冠梁从坝顶到坝基布置 2~4 个测	增加了 1 级高拱坝测点不宜少于 9 个测点

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
	个测点；在 1/4 拱圈处，坝肩处沿顶拱各布置 1 个测点；拱座沿不同高度处布置 2~3 个测点；河谷自由场布置一个测点。传感器测量方向应布成水平径向、水平切向和竖向三分量，次要测点传感器可简化成水平径向。	点；在 1/4 拱圈处，坝肩处沿顶拱各布置 1 个测点；拱座沿不同高度处布置 2~3 个测点；河谷自由场布置一个测点。1 级高拱坝测点不应少于 9 个测点并应布设河谷自由场测点。传感器测量方向应布成水平径向、水平切向和竖向三分量，次要测点传感器可简化成水平径向。	的数量要求。
5.0.4 3	3 土石坝反应台阵应布置在最高坝段或地质条件较为复杂的坝段。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位、坝基和河谷自由场处，有条件时宜布设深孔测点。对于坝线较长者，宜在坝顶增加测点。测点方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。对土石坝的溢洪道宜布置测点。	3 土石坝反应台阵测点应布置在最高坝段或地质条件较为复杂的坝段。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位、坝基和河谷自由场处，有条件时宜布设深孔测点。对于坝线较长者，宜在坝顶增加测点。1 级高土石坝不应少于 7 个测点并宜布设深孔测点。测点方向应以水平顺河向为主，重要测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。对于重要的溢洪道建筑物宜进行布点。	增加了 1 级高土石坝不应少于 7 个测点并宜布设深孔测点的要求。
5.0.4 4	4 进水塔反应台阵应沿高程布置：塔基、塔顶、塔高 2/3 处的附近。宜布置成三分量。	4 进水塔反应台阵应沿高程布置：塔基、塔顶、塔高 2/3 处的附近。1 级进水塔不宜少于 4 个测点。	增加了 1 级进水塔不宜少于 4 个测点的数量要求
5.0.4 5	5 垂直升船机反应台阵测点布置在塔柱和承船箱上。塔柱测点布置在塔基、塔顶及沿塔柱高度方向刚度有较大变化处。	5 垂直升船机反应台阵测点布置在塔柱和承船箱上。塔柱测点布置在塔基、塔顶及沿塔柱高度方向刚度有较大变化处。1 级垂直升船机不宜少于 4 个测点。	增加了 1 级垂直升船机不宜少于 4 个测点的数量要求。删去布置三分量的要求。
5.0.4 6		6 水闸反应台阵应在地基、墩顶、机架桥、边坡顶布置测点。测点方向宜沿水平顺河向、水平横河向和竖向，1 级水闸不宜少于 4 个测点。	增加了对水闸的强震动监测要求
5.0.4 7		7 渡槽反应台阵应在槽身顶部、槽身底部、支墩顶部及支墩底部布置测点。测点方向宜沿水平顺槽向、水平横槽向和竖向，1 级渡槽不宜少于 4 个测点。	增加了对渡槽的强震动监测要求
5.0.4 8		8 抽水蓄能电站反应台阵应在上、下库坝体、抽水和发电厂房内布置测点，不宜少于 4 个测点。	增加了抽水蓄能电站反应台阵测点布置的相关规定。
5.0.5	场地效应台阵的测点宜布置在河床覆盖层、基岩、区域活动性断裂带、坝址峡谷地形处。应布成三分量。	场地效应台阵测点布置应符合下列要求： 1 宜在河床覆盖层、基岩、坝址峡谷地形处，以及区域活动性断裂附近布置测点。测点方向应依	增加了对河谷自由场测点布置的相关规定。 增加了对水库大坝安全有影响的高边坡和

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
		据大地坐标系； 2 自由场基岩测点宜布置在距离坝址下游 2~3 倍坝高位置处。测点方向宜沿坝址处水平顺河向、水平横河向和竖向； 3 对水库大坝安全有影响的高边坡、滑坡体和堆积体宜布置测点。 4 抽水蓄能电站压力管道的边坡宜布置测点。 5 地下厂房大规模洞室群上方边坡宜布置测点。	滑坡体测点布置的相关规定。 增加了对抽水蓄能电站压力管道的边坡布置测点的要求。 增加了地下厂房大规模洞室群上方边坡宜布置测点。
6.0.2	6.0.2 加速度传感器的主要技术指标见附录 C 中的表 C.1。	对附录 C 中的表 C.1 的技术指标进行了升级更新。 表 4.2.1.3 ..... 满量程： $\pm 2g$ （坝基、场地效应等测点） $\pm 4g$ （大坝坝顶等动力放大部位）	根据仪器制造的现有技术水平及监测的需要，对加速度传感器的主要技术指标进行了修改。 随着电子设备的升级进步，对技术指标进行了升级
6.0.3	6.0.3 记录器由数据采集单元、触发单元、存储单元、计时单元、通信单元、控制单元、显示单元及电源单元组成。记录器一般采用集中或分散布置。主要技术指标见附录 C 中的表 C.2。	对附录 C 中的表 C.2 的技术指标进行了升级更新。 表 4.3.1.4..... 满量程输入： $\pm 20V$ ，差分输入 频率响应： $0\sim 100Hz$ 分辨力： $\leq 6mV$ 记录模式：数据连续循环存储、数据连续传送 采样率： $\geq 100sps$ 时间服务：标准 UTC，内部时钟精度优于 $10^{-6}$ ，GNSS 校时精度优于 $1ms$ 数据通信：网络通信 数据存储：固态硬盘，存储容量 $\geq 4GB$ ，可扩充容量 道间延迟：无 零点漂移： $< 400\mu V/^{\circ}C$ 软件：包括通信程序，图形显示程序，其他实用程序和监控、诊断命令 环境温度： $-20^{\circ}C\sim +65^{\circ}C$ 环境湿度： $< 90\%$	根据仪器制造的现有技术水平及监测的需要，对记录器的主要技术指标进行了修改。 随着电子设备的升级进步，对技术指标进行了升级
6.0.7 1	1 台站强震动加速度仪监测数据可自动拨号或进行网络通信至计算机系统。	1 台站强震动加速度仪监测数据可通过网络传输至计算机系统。	目前已经不用拨号方式进行传输，普遍采用了网络方式
6.0.7 2	2 应配备适合工业应用环境，有较高运算速度和较大存储容量的工业 PC 机，并宜配有打印	2 应配备适合工业应用环境，有较高运算速度和较大存储容量的服务器，并宜配有打印机、	目前普遍采用了较大存储容量的服务器代替 PC 机

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
	机、扫描仪等外围设备。	扫描仪等外围设备。	
6.0.8	传输线路：采取电缆或光纤进行有线传输方式。传感器应通过电缆，将信号传输到记录器。电缆采用多芯屏蔽电缆，不得设置在具有强电磁干扰设备的附近，露天电缆宜穿入钢管加以保护，并采取接地保护措施。台站至监测管理中心之间通信网络可根据需要采用光纤、电话线以及无线等通信介质。	传输线路：采取电缆或光纤进行有线传输方式。传感器应通过电缆，将信号传输到记录器。电缆采用多芯屏蔽电缆，不得设置在具有强电磁干扰设备的附近，露天电缆宜穿入钢管加以保护，并采取接地保护措施。台站至监测管理中心之间通信可通过光纤或网络传输。	修改了台站至监测管理中心之间通信的条款
6.0.9 1	台站 1 台站的抗震设计应符合 DL5073-1997 的要求。	1 台站的抗震设计应符合 GB50011 建筑抗震设计规范的要求。	对相关规范进行了修改，更符合实际抗震设防要求情况。
6.0.9 2	2 台站辅助设施： 1 具备 220V 市电电源并配置不间断电源，其容量应使仪器在市电停电条件下能继续工作不低于 1 天。 3 应敷设电话线路或光缆。 5 电源、传输线路和 GPS 应分别安装防雷装置。 6 GPS 天线应安装在室外，离地面高度 2m 以上的开阔位置，应保证能接收到有效的卫星信号。	2 台站辅助设施： 1 具备 220V 市电电源并配置不间断电源，其容量应使仪器在市电停电条件下能继续工作不低于 3 天。 3 应敷设网线、光纤或采用无线传输。 5 电源、传输线路和 GNSS (Global Navigation Satellite System, 全球导航卫星系统) 应分别安装防雷装置。 6 GNSS 天线应安装在室外，离地面高度 2m 以上的开阔位置，应保证能接收到有效的卫星信号。	1. 增加了不间断电源持续工作时间的要求。 3. 改进了传输的方式。 5. 将“GPS”改为“GNSS”，可以优先选用北斗卫星信号。 6. GNSS 天线
6.0.9 3	3 台站环境要求： a) 温度应满足监测设备运行要求，宜在-20℃~+65℃之间。	3 台站环境要求： a) 温度应满足监测设备运行要求，宜在-20℃~+45℃之间。	考虑到实际工程运行中，仪器在+65℃附近运行状态不良，而作出的修订。
6.0.10 1	1 管理中心宜布置在大坝管理部门附近，应具备足够的设备和人员工作空间，房屋建筑应符合 GB50011-2001 的抗震设计要求。	1 管理中心宜布置在大坝管理部门附近，应具备足够的设备和人员工作空间，房屋建筑应符合 GB50011 的抗震设计要求。	GB50011 建筑抗震设计规范有了新修订的版本，因此作出相应调整
6.0.10 4	4 与本系统以外的计算机网络应设有连接接口，以便于与上级主管单位进行远程传输。	4 管理中心宜配置网络授时服务器。	目前对连接接口有严格的规定，该条文做了授时的规定作为替代。
7.2.1 2	1) 在混凝土坝及在新鲜基岩上，现浇混凝土观测墩前，应先将接触面打毛，并打孔预埋插筋，冲洗干净后，用混凝土	1) 在混凝土坝及在新鲜基岩上，现浇混凝土观测墩前，应先将接触面打毛，冲洗干净后，用混凝土	新鲜基岩无需预埋插筋

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
	浇,待干后,将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。尚应外加保护罩。	器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。尚应外加保护罩。	
7.3.7	GPS 同步检测。	GNSS 同步检测。	将“GPS”改为“GNSS”。
8.2.1	每月远程通信检查至少 3 次。	每月远程通信检查至少 4 次。	工程实际中一般每周检查一次,因此做了相应的调整
8.2.2	检查内容:仪器参数设置、触发事件数、加速度传感器零位电压、GPS 天线状态、电池电压。	检查内容:仪器参数设置、触发事件数、加速度传感器零位电压、GNSS 天线状态、电池电压。	将“GPS”改为“GNSS”。
9.0.2	获得场地加速度峰值 $\geq 0.025 g$ 的记录后,应填写监测记录报告单,并报告上级主管单位。	获得校正后场地加速度峰值 $\geq 0.025 g$ 的记录后,应填写监测记录报告单,并报告上级主管单位。	改成校准后的加速度峰值
附录 A	<p>(规范性附录)</p> <p><b>水工建筑物震害检查</b></p> <p><b>A.1 震害检查项目:</b>包括坝体、坝基、坝肩、引水建筑物、泄水建筑物、发电厂房、近坝库区岸坡等工程。</p> <p><b>A.2 震害检查方法:</b>一般采用目视、耳听、手摸直观方法对工程表面和异常现象进行检查,必要时可采用坑槽探、物理勘探、钻孔等方法对内部、水下部位、坝基进行检查。</p> <p><b>A.3 震害类型:</b></p> <p><b>A.3.1 建筑物震害:</b>纵向裂缝、横向裂缝、水平裂缝、伸缩缝错位、坝体滑坡、沉陷、位移、坝体渗漏等。</p> <p><b>A.3.2 地基震害:</b>喷水冒砂、不均匀沉陷、地裂缝、地震断层、地基渗漏等。</p> <p><b>A.3.3 边坡震害:</b>弧形裂缝、滑坡、崩塌、泥石流等。</p> <p><b>A.4 震害等级划分:</b>应根据震害的有无,震害的类型,震害的轻重,以及震害对工程安全可能造成影响程度,将震害划分成无明显震害、局部损坏、破坏三个等级。</p>	<p>(资料性附录)</p> <p><b>水工建筑物震害检查</b></p> <p><b>A.1 震害检查项目:</b>包括坝体、坝基、坝肩、引水建筑物、泄水建筑物、闸门、启闭机、发电厂房、近坝库区岸坡等工程。</p> <p><b>A.2 震害检查方法:</b>一般采用目视、耳听、手摸直观方法对工程表面和异常现象进行检查,必要时可采用坑槽探、物理勘探、钻孔等方法对内部、水下部位、坝基进行检查。</p> <p><b>A.3 土石坝震损检查突出重点是坝坡稳定及渗流安全:</b></p> <p><b>A.3.1 坝顶:</b>是否存在纵向裂缝、横向裂缝、错台、塌坑;防浪墙在地震中是否倾倒或存在贯穿性裂缝;防浪墙与大坝防渗体结合部是否存在裂缝。</p> <p><b>A.3.2 上下游坝坡:</b>上游护坡是否错动开裂、松动脱落、架空坍塌下滑;下游护坡是否因地震产生陡坎或坍塌;坝脚反滤排水体是否存在裂缝、坍塌、滑移。</p> <p><b>A.3.3 防渗面板:</b>分缝止水、周边缝止水是否破坏,坝体严重变形是否导致面板裂缝、错台、脱空;面板是否存在挤压破坏、贯穿性裂缝、塌陷。</p> <p><b>A.3.4 坝坡稳定:</b>是否存在两坝肩岸坡、溢洪道岸坡及输(泄)水洞进出口岸坡滑坡、弧形裂缝、崩塌、泥石流等</p>	将震害检查内容更加细化,有利于检查结果的完整、规范。

条款 编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
		<p>A.3.5 坝体与混凝土建筑物的连接：坝体与两坝肩及穿坝建筑物接触处是否存在沉陷裂缝；土石坝与混凝土坝、溢洪道、船闸、涵管等建筑物的连接部位，是否存在接触面附近因不均匀沉降而产生裂缝脱开、明显错台。</p> <p>A.3.6 坝基液化：坝脚临近区域是否出现局部或大范围翻砂、冒砂现象，不均匀沉陷、临近坝体区域是否出现裂缝或滑坡迹象。</p> <p>A.3.7 滑坡涌浪：近坝库岸是否存在潜在滑坡，可能导致涌浪而影响土石坝安全。</p> <p>A.3.8 坝体坝基渗流安全：大坝渗流量是否异常；渗漏水是否出现浑浊或细颗粒带出；坝后侧是否存在管涌、冒水翻砂、塌陷或松软隆起，或伴有坝前漩涡现象；大坝渗压监测数据是否出现突变；防渗面板是否漏水、止水失效。</p> <p>A.3.9 排水体及反滤料渗流安全：截渗和减压设施有无破坏、穿透、淤塞等现象；排水反滤设施是否有堵塞、排水不畅甚至失效，渗水有无骤增、骤减和浑浊现象。</p> <p>A.3.10 穿坝建筑物渗流安全：是否存在坝下(内)埋管出口与坝体接触部位出现明显渗流，出水浑浊或有细颗粒带出；进水塔侧墙与坝体连接部位是否存在明显渗流；是否存在涵管漏水致使涵管处上、下游坝坡局部出现塌陷。</p> <p>A.3.11 绕坝渗漏渗流安全：绕坝渗流量或渗流压力是否异常，坝体与岸坡结合部位是否出现明显漏水且有细颗粒带出；坝体与岸坡结合部位上、下游是否出现塌坑。</p> <p><b>A4 混凝土坝及砌石坝震损检查要点：</b></p> <p>A.4.1 坝体结构安全：防浪墙有无裂缝、错动、沉陷、倾覆；相邻坝段之间是否存在错动；坝体结构缝是否张开或挤压破损；坝体混凝土或砌石结构是否存在横向</p>	

条款 编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
		<p>裂缝、纵向裂缝;重力坝上部变坡段是否出现裂缝;下游坝趾附近是否有塌陷。</p> <p>A.4.2 坝基坝肩安全:基础岩体有无挤压、错动、松动和鼓出;坝体与基岩(或岸坡) 接合处有无错动、开裂、脱离等;两岸坝肩区有无裂缝、滑坡、沉陷等情况;拱坝两坝肩是否有明显的失稳趋势。</p> <p>A.4.3 近坝库岸安全:是否存在岸坡塌陷、裂缝、滑移迹象;高边坡或潜在滑坡体是否存在异常变形。</p> <p>A.4.4 坝体渗流安全:上游止水设施是否完好、有无贯穿性裂缝,下游面有无新增渗水点;下游坝趾渗漏水量、颜色、浑浊度及其变化状况。</p> <p>A.4.5 坝体廊道渗流安全:有无新增漏水、射水、溶蚀、剥落;止水是否完好,排水孔有无堵塞;排水量、颜色、浑浊度及其变化状况。</p> <p>A.4.6 坝基渗流安全:坝基渗漏量是否存在异常增大或减小;渗漏量突变排水孔是否伴有泥沙污物排出;渗漏量突变附近坝体、坝基是否出现异常变形。</p> <p>A.4.7 近坝库岸渗流安全:两岸坝肩区绕坝渗漏是否加剧;库区水面有无漩涡、冒泡现象;岸坡地下水出露及渗漏情况;表面排水设施或排水孔工作是否正常。</p> <p><b>A5 泄、输水建筑物震损检查要点:</b> 重点关注建筑物泄洪能力是否因地震受到影响, 并应关注相关建筑物与大坝连接位置的结构稳定和渗流安全</p> <p>A.5.1 溢洪道: 进、出口段有无堵塞;两侧边坡有无滑坡或坍塌迹象, 泄洪通道的进出口是否保持通畅;护坡是否有裂缝、沉陷、渗水;流态是否正常。溢洪道控制段堰顶或闸室、闸墩、边墙、胸墙、溢流面、底板、工作桥等处有无裂缝、渗水, 排水孔及伸缩缝是否完好。泄槽、消能、掺气设施有无裂缝、异常变形及其他破损。溢洪道与坝体连接部位有无</p>	

条款 编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
		<p>异常变形和渗漏现象。</p> <p>A.5.2 其他泄、输水建筑物：进水口和引水渠道有无淤堵、裂缝及损坏；进水口边坡有无裂缝及滑坡。进水塔（或竖井）有无裂缝、渗水或其他损坏现象；塔体有无倾斜或不均匀沉降。可见范围内洞（管）身有无裂缝、坍塌、渗漏等现象；放水时洞内声音是否正常。出水口水流形态、流量是否正常，出水口有无淤堵、裂缝及损坏，出水口边坡有无裂缝及滑坡体。下游渠道及岸坡有无裂缝及滑坡等破坏现象。</p> <p><b>A6 金属结构及启闭设施震损检查要点</b>，重点针对闸门启闭、供电是否因地震受到影响，压力钢管、闸阀等设施是否因地震发生灾害性破坏。</p> <p>A.6.1 闸门：闸门或拦污栅是否可以顺畅启闭，螺栓有无松动、变形、损伤或脱落；门槽、门槛、埋件、锁定装置等是否发生异常变形等现象；门叶梁格、吊耳、弧形闸门的支臂、滚轮支承、弧形闸门支较等主要受力构件和支撑结构有无变形、损伤，焊缝有无开裂，运转是否正常；翻板闸门、叠搭连锁闸门支撑墩、铰链等有无异常变形、损坏铸铁闸门门框和导轨有无变形、松动现象闸门止水是否存在明显损坏造成闸门漏水。</p> <p>A.6.2 启闭机震损检查：启闭机、坝顶门机是否正常工作；制动、限位设备是否准确有效；电源、传动、润滑等系统是否正常；备用电源及手动启闭是否正常运行。启闭机房是否存在因地震造成的异常变形、裂缝等结构破坏现象。</p> <p>A.6.3 电气及自动控制设备震损检查：启闭机控制柜、配电柜震后是否能正常运行，配电柜进线三相电压、控制柜的闸刀开关、供电线路等是否正常。各种电气设备接地体的两端连接是否有松动、脱落现象。集中控制或自</p>	

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由																																																
		<p>动化监控系统是否正常。</p> <p><b>A.6.4 压力钢管及闸阀震损检查:</b>管壁是否有裂缝、凹陷、鼓包;管壁及焊缝区是否漏水,焊缝是否有开裂或表面裂纹;管体、支墩、镇墩有无异常变形;伸缩节处是否有漏水,主阀与钢管连接处是否有漏水现象;埋管的四周混凝土及沿线是否有渗水、变形和失稳,焊缝区是否存在渗漏情况,伸缩节处是否渗水;工作阀、检修阀工作是否正常,有无漏水;手动、电动装置是否完好。</p> <p><b>A.7 震害等级划分:</b>应根据震害的有无,震害的类型,震害的轻重,以及震害对工程安全可能造成影响程度,将震害划分成无明显震害、局部损坏、高危、溃坝四个等级。</p>																																																	
附录 B (资料性附录)		<p>强震动监测系统框图</p> <p>本次修编将图中 GPS 改为 GNSS,自动拨号或 IP 传输改为网络传输</p>																																																	
附录 C (规范性附录) 表 C.1	<p>表 C.1 加速度传感器的主要技术指标</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>序号</th> <th>项目</th> <th>技术指标</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>测量范围</td> <td>±2g、±4g</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>满量程输出</td> <td>±2.5V 或 ±5.0V; 单端、差分可选</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>频率响应</td> <td>0Hz ~ 50Hz</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>动态范围</td> <td>≥120dB</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>线性度误差</td> <td>≤1%</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>横向灵敏度比</td> <td>≤1% (包括角偏差)</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>噪声均方根值</td> <td>≤10<sup>-6</sup>g<sub>n</sub></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>零位</td> <td>≤500μg<sub>n</sub>/°C</td> </tr> </tbody> </table>	序号	项目	技术指标	1	测量范围	±2g、±4g	2	满量程输出	±2.5V 或 ±5.0V; 单端、差分可选	3	频率响应	0Hz ~ 50Hz	4	动态范围	≥120dB	5	线性度误差	≤1%	6	横向灵敏度比	≤1% (包括角偏差)	7	噪声均方根值	≤10 <sup>-6</sup> g <sub>n</sub>	8	零位	≤500μg <sub>n</sub> /°C	<p>表 C.1 加速度传感器的主要技术指标</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>内容</th> <th>技术指标</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">满量程</td> <td>±2 g (坝基、场地效应等测点)</td> </tr> <tr> <td>±4 g (大坝坝顶等动力放大部位)</td> </tr> <tr> <td>满量程输出</td> <td>±2.5 V、±5.0 V 或 ±10.0 V; 差分</td> </tr> <tr> <td>频率响应</td> <td>(0 ~ 80) Hz</td> </tr> <tr> <td>动态范围</td> <td>≥120dB</td> </tr> <tr> <td>线性度误差</td> <td>≤1%</td> </tr> <tr> <td>横向灵敏度比</td> <td>≤1% (包括角偏差)</td> </tr> <tr> <td>噪声均方根值</td> <td>≤10<sup>-6</sup>g<sub>n</sub></td> </tr> <tr> <td>零位漂移</td> <td>≤500 μg<sub>n</sub>/°C</td> </tr> <tr> <td>运行环</td> <td>-20 °C ~ +65 °C</td> </tr> </tbody> </table>	内容	技术指标	满量程	±2 g (坝基、场地效应等测点)	±4 g (大坝坝顶等动力放大部位)	满量程输出	±2.5 V、±5.0 V 或 ±10.0 V; 差分	频率响应	(0 ~ 80) Hz	动态范围	≥120dB	线性度误差	≤1%	横向灵敏度比	≤1% (包括角偏差)	噪声均方根值	≤10 <sup>-6</sup> g <sub>n</sub>	零位漂移	≤500 μg <sub>n</sub> /°C	运行环	-20 °C ~ +65 °C	<p>随着近 10 年来,加速度传感器技术的进步,对相应的技术指标进行了升级。</p>
序号	项目	技术指标																																																	
1	测量范围	±2g、±4g																																																	
2	满量程输出	±2.5V 或 ±5.0V; 单端、差分可选																																																	
3	频率响应	0Hz ~ 50Hz																																																	
4	动态范围	≥120dB																																																	
5	线性度误差	≤1%																																																	
6	横向灵敏度比	≤1% (包括角偏差)																																																	
7	噪声均方根值	≤10 <sup>-6</sup> g <sub>n</sub>																																																	
8	零位	≤500μg <sub>n</sub> /°C																																																	
内容	技术指标																																																		
满量程	±2 g (坝基、场地效应等测点)																																																		
	±4 g (大坝坝顶等动力放大部位)																																																		
满量程输出	±2.5 V、±5.0 V 或 ±10.0 V; 差分																																																		
频率响应	(0 ~ 80) Hz																																																		
动态范围	≥120dB																																																		
线性度误差	≤1%																																																		
横向灵敏度比	≤1% (包括角偏差)																																																		
噪声均方根值	≤10 <sup>-6</sup> g <sub>n</sub>																																																		
零位漂移	≤500 μg <sub>n</sub> /°C																																																		
运行环	-20 °C ~ +65 °C																																																		

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009			现规范		修订理由	
	8	漂移 运行环境温度	-20°C ~ +65°C	环境温度			
	10	相对湿度	<90%	相对湿度	<90%		
附录 C (规范性附录) 表 C.2	表 C.2 强震动记录器的主要技术指标			表 C.2 强震动记录器的主要技术指标		随着近 10 年来, 强震动记录器技术的进步, 对相应的技术指标进行了升级。	
	项目	技术指标		内容	技术指标		
	满量程输入	±2.5V 或±5V, 单端、差分输入可选		满量程输入	±2.5 V、±5 V 或±10 V, 差分		
	动态范围	≥90dB		动态范围	≥120 dB		
	频率响应	0Hz ~ 50Hz		频率响应	(0 ~ 100) Hz		
	分辨率	≥16 位		分辨率	满量程为±10 V 时, 分辨力≤3.0 μV 满量程为±5 V 时, 分辨力≤1.5 μV 满量程为±2.5 V 时, 分辨力≤0.75 μV		
	系统噪声	≤1LSB(均方根值)		触发模式	连续触发采集、阈值触发、STA/LTA (Short-Term to Long-Term Average, 短长时窗能量比值) 触发、STA 与 LTA 差触发、定时触发等		
	触发模式	阈值触发、STA 与 LTA 差、比值触发、手动触发等		采样率	100 sps, 200 sps, 500 sps 可编程		
	采样率	50, 100, 200, 500 sps 可编程		时间服务	标准 UTC, 内部时钟精度优于 10 <sup>-6</sup> , GNSS 校时精度优于 1ms		
	时间服务	标准 UTC, 内部时钟精度优于 10 <sup>-6</sup> , GPS 校时精度优于 1ms		数据通信	网络通信		
	数据通信	RS-232 时实数据流串口, 通讯速率 9600, 19200, 57600, 115200bps 可选		数据通信数	固态硬盘, 存储容量≥8		
	数据存	CMOS 静态或 RAM 固态硬盘, 容量≥16M 字节, 可扩充容量					

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009		现规范		修订理由
	储道间延迟	无	据存储道间延迟	GB, 可扩充容量	
	零点飘移	< 100 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C	零点飘移	< 100 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C	
	软件	包括通信程序, 图形显示程序, 其他实用程序和监控、诊断命令	软件	包括通信程序, 图形显示程序, 其他实用程序和监控、诊断命令	
	环境温度	-20 $^{\circ}$ C ~ +65 $^{\circ}$ C	环境温度	-20 $^{\circ}$ C ~ +65 $^{\circ}$ C	
	环境湿度	< 90%	环境湿度	< 90%	
附录 DD.1	超低频幅度		低频幅值		超低频改成低频; 幅度改成幅值
附录 F	3. 1 监测台阵地理位置, 包括经纬度和绝对标高。 3. 2 监测台阵各测点位置和分布。		1 监测台阵地理位置, 各测点位置和分布, 包括经纬度和绝对标高。		1、2 内容相近, 进行合并
附录 H (规范性附录) 表 H.1 数字强震动加速度仪检测表	GPS 状态		GNSS 状态		将“GPS”改为“GNSS”。可以优先选用北斗卫星信号。
附录 J (资料性附录) 震害等级评估方法	$a_l$ ——按 DL5073 抗震设计规范计算求得的相应测点能抗御的最大加速度值。		$a_l$ ——按 NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范计算求得的相应测点能抗御的最大加速度值。		相应的抗震设计规范已经修编更新
附录 J (资料性附录) 安全评估方法	J.3 安全评估校核 当安全评估为警惕或危险时。应立即对水工建筑物现场进行震害检查和收集静态安全监测数据, 并以实际记录的地面加速度时程曲线为输入地震, 以地震时库水位等实际荷载条件, 按照 DL 5047 水工建筑物		J.3 安全评估方法 当安全评估为警惕或危险时。应立即对水工建筑物现场进行震害检查, 参见附录 A。收集静态安全监测数据, 并以实际记录的地面加速度时程曲线为地震动输入, 以地震时库水位等实际荷载条件, 应按照 NB 35047 水电		相应的抗震设计规范已经修编, 因此对条文做了更新

条款编号	原规范 DL/T 5416-2009	现规范	修订理由
	抗震设计规范中规定的数学模型进行计算，结合水工建筑物震害检查情况，校核安全评估结果。	工程水工建筑物抗震设计规范中规定的数学模型进行计算，结合水工建筑物震害检查情况，校核震害快速等级评估结果。	

## 2 本标准修编单位和主要起草人

(1) 本标准修编单位为：中国水利水电科学研究院

(2) 本标准修编主要起草人（特邀其它单位的专家参与，名单以及排序暂定）：

胡 晓 张艳红 郭劲松 刘骅标 朱 建 江晓涛 常廷改 杨 磊

宋 伟 董建辉 王茂华 张恺 朱洪东

## 3 主要内容及来源依据

(1) 增加了场地效应台阵的自由场基岩测点布置、对水库大坝安全有影响的高边坡、滑坡体和堆积体测点布置、抽水蓄能电站压力管道的边坡测点布置的相关规定

本次规范修编规定，场地效应台阵测点布置应符合下列要求：

1) 宜在河床覆盖层、基岩、坝址峡谷地形处，以及区域活动性断裂附近布置测点。

测点方向应依据大地坐标系；

2) 自由场基岩测点宜布置在距离坝址下游 2~3 倍坝高位置处。测点方向宜沿坝址处水平顺河向、水平横河向和竖向；

3) 对水库大坝安全有影响的高边坡、滑坡体和堆积体宜布置测点；

4) 对抽水蓄能电站压力管道的边坡宜布置测点。

考虑到河床覆盖层、基岩、坝址峡谷地形处，以及区域活动性断裂附近布置测点，能够深入了解高坝大库的地震动不均匀输入，活动性断裂发生地震对水利水电工程有重大影响，而作出的要求。

自由场基岩测点可以作为大坝地震响应分析的输入地震动参数，因此要求在距离坝

址下游 2~3 倍坝高位置处自由场基岩测点。

地震往往对水库大坝的高边坡、滑坡体和堆积体产生严重破坏，而高边坡、滑坡体和堆积体的滑坡破坏会造成水利水电工程的严重破坏，所以增加布置测点进行监测要求；

近年来，随着我们国家新能源开发的不断扩大，为了调峰调谷，兴建了大量的抽水蓄能电站，本次修编也增加了对抽水蓄能电站压力管道的边坡布置测点要求。

## (2) 修改、更新了加速度传感器、记录器、地震计及数据采集器的主要技术指标

随着近 10 年电子工程、传感器、通信等技术的快速发展，地震监测设备技术指标有了较大的提升，因此本次对强震动监测的加速度传感器技术指标、记录器的主要技术指标。水库地震监测地震计的主要技术指标、数据采集器的主要技术指标进行了更新。更新后的技术指标如下：

### 强震动监测加速度传感器的主要技术指标

内容	技术指标
满量程	±2 g (坝基、场地效应等测点)
	±4 g (大坝坝顶等动力放大部位)
满量程输出	±5 V、±10 V 或 ±20.0 V (差分)
频率响应	(0 ~ 80) Hz
动态范围	大于等于 120 dB
线性度误差	小于等于 1%
横向灵敏度比	小于等于 1% (包括角偏差)
噪声均方根值	小于等于 10 <sup>-6</sup> g <sub>n</sub>
零位漂移	小于等于 500 μg <sub>n</sub> /°C
运行环境温度	-20 °C ~ +65 °C
相对湿度	小于 90%

### 强震动监测记录器的主要技术指标

内容	技术指标
满量程输入	±5 V、±10 V 或 ±20 V (差分)
频率响应	(0 ~ 80) Hz
动态范围	大于等于 120 dB
触发模式	阈值触发、STA/LTA (Short-Term to Long-Term Average, 短长时窗能量比值) 触发、STA 与 LTA 差触发、定时触发等
采样率	50 sps, 100 sps, 200 sps, 500 sps 可编程

内容	技术指标
时间服务	标准 UTC，内部时钟精度优于 $10^{-6}$ ，GNSS 校时，精度优于 0.1 ms
数据通信	网络通信
数据存储	固态硬盘，存储容量大于等于 8 GB，可扩充容量
道间延迟	无
零点飘移	小于 $100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
软件	包括通信程序，图形显示程序，其他实用程序和监控、诊断命令
环境温度	$-20^\circ\text{C} \sim +65^\circ\text{C}$
环境湿度	小于 90%

### (3) 修改了强震动安全监测系统的特别巡回检测内容

根据近年来对水工建筑物强震动安全监测运行的调研，本次规范修订提出了：

1) 强震动安全监测系统的运行管理应纳入工程安全监测的日常工作。

2) 巡回检测分为远程访问、月巡回检测、年度巡回检测和特别巡回检测四类，规定如下：

远程访问应符合下列要求：

a) 每月不应少于 4 次；

b) 检测内容应包括仪器参数设置、触发事件数、加速度传感器零位电压、GNSS 天线状态、电池电压等。

3) 月巡回检测应符合下列要求：

a) 强震动加速度仪每月应进行 1 次常规性检测；

b) 检测内容应包括仪器时钟校对、强震动记录器面板指示灯与开关检查、直流电源电压检测、各通道记录检查、强震动记录器触发状态检查等；

c) 月巡回检测后，应及时填写检测表。

4) 年度巡回检测应符合下列要求：

a) 强震动加速度仪每年应进行 1 次全面检测；

b) 检测对象应包括加速度传感器、信号传输和强震动记录器；

c) 应对仪器灵敏度进行标定，且不应同时对两套以上处于待触发状态的仪器进行标定；

d) 台阵仪器检测合格后，宜进行场地脉动和水工建筑物脉动反应测试。记录脉动加速度时间过程，并进行分析；

e) 年度巡回检测完成后，应编写年度强震动安全监测报告。

#### **5) 特别巡回检测应符合下列要求：**

a) 在发生强雷电、暴雨、5级及以上地震等特殊情况下，应及时检查强震动安全监测系统工作状况；

b) 检查台阵仪器时，应填写检测表；

c) 对地震活动性增强或已发布短临预报的地区，应缩短台站现场检查的时间间隔。

强震动安全监测系统经检测发现故障时，应及时维修。对于坝顶及自由场测点，应配置备用仪器，以免漏记强震动记录。

强震动加速度仪在维修或记录强震后，应进行标定。

应及时更新达到使用年限的强震动监测仪器。

本次规范的修编，认真贯彻执行国家、行业的有关法律、法规和方针、政策。重点是贯彻执行《中华人民共和国防震减灾法》和国务院《破坏性地震应急条例》《水库大坝安全管理条例》，修编规范的目的是以减轻和防止水工震害的进一步扩展和次生水灾的发生。吸收了我国近 10 多年来水工建筑物强震安全监测与水库地震监测技术工作的经验，以及近年来经过鉴定或实践检验的、技术上成熟的、经济上合理的科研成果。从我国国情出发，有分析的参照国外先进经验。如采用国内外生产的监测仪器稳定性好，性能指标先进，取得的强震记录数据质量较高的设备。做好与地震、建筑等部门和我部现行标准之间的协调，充分考虑了水电工程强震动监测技术的特点。

## 4 国内外相关标准对比分析

(1) 与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。

世界各国建设了大量的强震动监测台站，但针对性的标准并不多。在美国、日本及我国台湾地区，台站建设主要依据专门的项目建设指南进行。这可能与其负责台站建设施工与质量监管的组织机构单一有关。针对性的强震动监测台站建设技术文件有：

美国强震动监测系统组织协会(COSMOS)-市区强震动参考台站导则 (Urban Strong Motion Reference Station Guidelines) ;

美国强震动监测系统组织协会(COSMOS)-高级全国地震系统强震动参考台站安装导则 (Guidelines for Installation of Advanced National Seismic System, Strong Motion Reference Stations) ;

美国强震动监测系统组织协会(COSMOS)-结构强震动仪器安装(Strong Motion Instrumentation of Buildings);

美国地质调查局 USGS-结构地震仪器安装( Seismic Instrumentation of Buildings( with Emphasis on Federal Buildings) ) ;

美国强震动监测系统组织协会(COSMOS)-市区强震动参考台站导则-目的、标准和说明(Urban Strong Motion Reference Station Guidelines-Goals, Criteria and Specifications for Urban Strong Motion Reference Stations);

美国强震动监测系统组织协会(COSMOS)-核电站强震动仪器安装(Strong Motion Instrumentation for Nuclear Power Plants)

国外对地震监测主要依据一些导则，没有形成系统的规范。对地震运动的监测是在1923年日本关东大地震之后。日本著名地震学家末广恭二 (Kyoji Suyehiro) 首先设计了一个记录地震加速度时间过程的仪器方案；之后，美国在1932年研制了第一台定名为

USCGS 型的强震加速度仪，并于次年将第一批 4 台 USCGS 仪器安装于南加州地区。1933 年 3 月 10 日在加州长滩地震中取得了世界上第一个地震加速度记录。之后，强震监测逐渐引起地震工程界与地震界的广泛重视，到目前，全球已布设了大约 1 万 5 千多个强震台。

## 美国

全国有 5000 多台强震仪，其中 USGS 所辖台网约 1000 台；加州 4000 台以上。Tri-Net 台网有实时监测台 80 台、拨号台 100 台，扩建目标是 670 台。USGS 提出的 ANSS 计划，拟在 26 个受地震影响较大的大城市内布设 6000 台强震仪（3000 布设于自由地表、3000 布设于结构，仅洛杉矶市就布设 1300 台）。

## 日本

全国已布设强震仪 5000 多台。其中日本气象厅的烈度速报台网有 574 个强震台、K-Net 有线遥测强震台网有 1000 个数字强震仪台（台站间距约为 25 公里）、KiK-Net 井下强震台网有 522 个井下强震台、日本消防厅 FDA 实施了一个在 3225 个社区各布设一个带有加速度摆烈度计的计划。在台湾集集大地震发生后，日本政府又提出了再增加 2000 台数字强震仪的新计划。

## 中国台湾地区

共布设强震仪 1500 余台，都市区内台站间距约 3 公里，为世界之最。

A. 台湾中央气象局地震测报中心，700 多个自由场强震台（其中 76 个台实时遥测），56 个建筑物、桥梁台阵

B. 台湾中央研究院地球科学研究所，SMART2 台阵（花莲，40 个自由场点、4 个井下），LSST 土—结相互作用台阵（花莲，37 台强震仪，结构为核反应堆安全壳 1/4 模型）

## 中国大陆

1962 年在新丰江水库主坝上建立了我国第一个实验性强震监测站。1966 年邢台地震和 1976 年唐山大地震后，强震监测台网有了较大的发展。到“九五”末期，全国固定强震台 405 个（其中自由地表 188 台、结构 166 台、烈度速报 152 台、其它 3 台）、流动强震仪 200 余台。在“十五”期间，中国地震局建设 2000 台数字强震仪来建设国家数字强震台网。

目前，我国重大的水利水电工程，特别是高坝均建有强震动监测台站和水库地震监测规范。新建工程的强震动监测仪器的技术指标，引进吸收了国外先进技术。随着我国水利水电工程建设的快速发展，建设规模与技术水平达到国际领先水平。本标准与国际、国外同类标准（导则）水平的对比情况，处于国际领先水平。

### （2）与国内相关标准协调性分析。

国内已颁布的《土石坝安全监测技术规范》和《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T5178 只对日常静态观测有具体条件，由于地震安全监测在仪器原理和设计原则上差异较大，因此内容不同，没有冲突。水利行业编有《水工建筑物强震动安全监测技术规范》由于均由中国水利水电科学研究院编制组编制，主要内容是相协调的。另外本规范编制吸收了采纳了部分，GB/T 19531.1 地震台站观测环境技术要求第 1 部分：测震，GB 21075；DB/T 10 数字强震动加速度仪，DB/T 22 地震观测仪器进网技术要求地震仪等相关规范的技术条款，也与这些相近的标准相协调。

本次修编写主要本着正确、准确、简明、和谐、统一的原则。认真贯彻执行国家、行业的有关法律、法规和方针、政策。认真总结我国十年来水工建筑物强震动监测与水库诱发地震监测技术工作的经验。吸收近年来经过鉴定或实践检验的科研成果。从我国国情出发，有分析的参照国外先进经验。做好与地震、建筑等部门和水利、电力现行标

准之间的协调。

## 5 重大分歧意见的处理经过和依据

无

## 6 标准中尚存在主要问题和今后需要进行的主要工作

加强标准的宣贯和推广力度，研究基于物联网的强震动监测数据分析处理技术，开发响应的管理软件。建立全国统一的水工建筑物强震动监测数据处理分析中心，更好发挥综合优势。

## 7 标准实施建议

建议标准颁布后，马上开始实施。后续根据实施的情况，将水工建筑物强震动监测技术规范的行业规范升级为国标，重要条款升级为强制性条文。

## 8 其他说明事项

无