

中华人民共和国水利行业标准

SL 486—2011

水工建筑物强震动安全监测技术规范

**Technical specification of strong motion monitoring
for seismic safety of hydraulic structures**

2011-03-08 发布

2011-06-08 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2011年第12号

中华人民共和国水利部批准《水工建筑物强震动安全监测技术规范》(SL 486—2011)标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工建筑物强震动安全监测技术规范	SL 486—2011		2011.3.8	2011.6.8

二〇一一年三月八日

http://www.slzjxx.com
水利造价信息网

前 言

根据水利水电规划设计总院水总科〔2008〕794号文的安排，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，制定本标准。

本标准共8章10节81条和4个附录，主要技术内容有：

- 总则；
- 监测台阵布置；
- 监测系统组成与技术要求；
- 监测系统的检测、安装与验收；
- 监测系统的运行管理与维护；
- 加速度记录的处理分析；
- 震害检查。

本标准1.0.3条第1款为强制性条文，用黑体字表示必须严格执行。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：胡 晓 苏克忠 郭永刚 常廷改

邢国良 彭克中 张艳红 张翠然

王 静 于爱华 许亮华

本标准审查会议技术负责人：刘志明

本标准体例格式审查人：窦以松

目 次

1 总则	5
2 术语	7
3 监测台阵布置	9
4 监测系统组成与技术要求	11
5 监测系统的检测、安装与验收	14
5.1 强震动加速度仪的检验	14
5.2 监测系统的安装	14
5.3 监测系统的检查、设置和调试	15
5.4 监测系统工程验收	16
6 监测系统的运行管理与维护	17
6.1 一般访问	17
6.2 远程访问	17
6.3 月巡回检测	17
6.4 年度巡回检测	17
6.5 特别巡回检测	18
6.6 监测系统的维护	18
7 加速度记录的处理分析	19
8 震害检查	20
附录 A 建台报告格式和要求	21
附录 B 试运行报告格式和要求	22
附录 C 强震动加速度仪检测表	23
附录 D 强震动安全监测记录报告单	24
标准用词说明	25

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，加强水工建筑物地震响应信息积累及震后的安全评估，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程的 1 级、2 级水工建筑物强震动安全监测。

1.0.3 下列情况应设置强震动安全监测台阵：

1 设计烈度为 7 度及以上的 1 级大坝、8 度及以上的 2 级大坝，应设置结构反应台阵。

2 设计烈度为 8 度及以上的 1 级、2 级进水塔、渡槽、垂直升船机等主要水工建筑物，应设置结构反应台阵。

3 设计烈度为 7 度及以上的其他重要水工建筑物，经论证可设置结构反应台阵。

4 设计烈度为 8 度及以上的 1 级水工建筑物，在蓄水前应设置场地效应台阵。

1.0.4 监测工作可分为可行性研究、初步设计、施工和运行管理四个阶段，各阶段的工作应分别满足以下要求：

1 可行性研究阶段：提出监测系统的初步方案，估列监测工程投资。

2 初步设计阶段：提出监测系统设计文件，包括监测系统布置图、仪器设备的技术性能要求和备品清单、各监测仪器设施的安装技术要求及工程预算等。

3 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、保护和观测，绘制竣工图，编写建台报告和试运行报告，并进行验收。

4 运行管理阶段：对台阵进行管理与维护，保障监测系统的正常运行。并对监测记录及时进行处理分析及报送。

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 强震动监测应以记录地震动加速度时程为主。对于1级高土石坝，可增加动孔隙水压力和动位移的监测，对于1级高混凝土坝，可增加动水压力、动应变等其他物理量的监测。

1.0.7 强震动监测记录资料的分析应与震害检查和水工建筑物静态安全监测资料的分析相结合。

1.0.8 水工建筑物强震动安全监测除符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

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 monitoring for seismic safety**

用专门仪器记录强震动时工程结构和场地的地震反应，为评估水工建筑物安全性而进行的监测。

2.0.3 加速度仪 **acceleration instrument**

由加速度传感器和记录器组成的仪器。

2.0.4 台站 **station**

设置强震动加速度仪进行强震动监测的设施。

2.0.5 台阵 **array**

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

2.0.6 自由场地 **free field**

不受周围环境建筑和结构振动影响的空旷场地。

2.0.7 场地效应台阵 **site array**

记录自由场地地震动参数的台阵。

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

台阵场地常时微小振动产生的加速度噪声。

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

抗震设计采用的地震烈度。

2.0.10 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曲线、加速度反应谱和加速度峰值。

2.0.11 灵敏度 **sensitivity**

传感器的指定输出量与指定输入量之比。

2.0.12 测量范围 **measuring range**

输入信号能够被有效测量的幅值域。

2.0.13 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，用分贝表示。

2.0.14 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度、相位与频率的关系。

2.0.15 触发 trigger

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

2.0.16 强震动监测中心 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 强震动安全监测台阵应根据设计烈度、建筑物级别、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、仪器的性能要求，仪器设备和备品清单，安装和管理维护的技术要求等内容。

3.0.3 台阵的类型应包括结构反应台阵和场地效应台阵。

3.0.4 结构反应台阵的规模应根据建筑物级别确定，1级建筑物不宜少于18通道，2级建筑物不宜少于12通道。

3.0.5 结构反应台阵测点布置应符合以下要求：

1 重力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，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 拱坝反应台阵应在拱冠梁从坝顶到坝基、拱圈1/4处布置测点；在坝肩、拱座部位、河谷自由场布置测点。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断面或地质条件较为复杂的坝断面。测点应布置在坝顶、坝坡的变坡部位，坝基和河谷自由场处，有条件时坝基宜布设深孔测点。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。

4 水闸反应台阵测点应布置在地基、墩顶、机架桥、边坡顶，宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量，次要测点传

感器可简化成水平横河向。

5 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。宜布置成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。

6 垂直升船机反应台阵测点应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。承船箱上测点宜布置成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。

7 渡槽反应台阵测点应布置在槽身顶部、槽身底部、支墩顶部、支墩底部。相邻槽墩底部宜布置三分向测点。

3.0.6 场地效应台阵的测点宜布置在河床覆盖层、基岩、坝址峡谷地形处，以及区域活动性断裂附近，应按大地坐标的三分量进行布置。

4 监测系统组成与技术要求

4.0.1 监测系统应由加速度传感器、记录器、计算机、传输线路四部分组成。

4.0.2 监测仪器布置方式应包括集中记录式和分散记录式。集中记录式是将加速度记录器集中布置在监测管理中心；分散记录式是将加速度记录器分散在台站，监测管理中心只有计算机系统。

4.0.3 加速度传感器的主要技术指标应满足表 4.0.3 的要求。

表 4.0.3 加速度传感器的主要技术指标

序号	项 目	技 术 指 标
1	测量范围	$\pm 2g, \pm 4g$
2	满量程输出	$\pm 2.5V$ 或 $\pm 5.0V$ ；单端、差分可选
3	频率响应	0~50Hz
4	动态范围	$\geq 120dB$
5	线性度误差	$\leq 1\%$
6	横向灵敏度比	$\leq 1\%$ （包括角偏差）
7	噪声均方根值	$\leq 10^{-6}g_n$
8	零位漂移	$\leq 500\mu gn/^\circ C$
8	运行环境温度	-20~+65 $^\circ C$
10	相对湿度	$< 90\%$

4.0.4 记录器应由数据采集单元、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。主要技术指标应满足表 4.0.4 的要求。

4.0.5 应安装监测仪器专用地线，接地电阻宜小于 4Ω 。

4.0.6 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。

表 4.0.4 记录器的主要技术指标

序号	项 目	技 术 指 标
1	满量程输入	± 2.5 V 或 ±5V, 单端、差分输入可选
2	动态范围	≥90dB
3	频率响应	0~50Hz
4	分辨率	≥16 位
5	系统噪声	≤1LSB (均方根值)
6	触发模式	阈值触发、STA 与 LTA 差、比值触发、手动触发等
7	采样率	50sps, 100sps, 200sps, 500sps 可编程
8	时间服务	标准 UTC, 内部时钟精度优于 10 ⁻⁶ , GPS 校时精度优于 1ms
9	数据通信	RS-232 实时数据流串口, 通讯速率 9600bit/s, 19200bit/s, 57600bit/s, 115200bit/s 可选
10	数据存储	CMOS 静态或 RAM 固态硬盘, 容量 ≥16M 字节, 可扩充容量
11	道间延迟	无
12	零点飘移	<100μV/°C
13	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
14	环境温度	-20~+65°C
15	环境湿度	<90%

4.0.7 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。

4.0.8 计算机系统配置应符合以下要求:

- 1 台站强震动加速度仪触发后可自动拨号或进行网络通信至计算机系统。
- 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工业 PC 机, 并宜配有打印机、扫描仪等外围设备。
- 3 应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记录处理分析软件。

4.0.9 信号传输可采取电缆或光纤有线传输方式。传感器应通过电缆将信号传输到记录器。电缆应采用多芯屏蔽式，不应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可通过光纤、网络或电话线传输。

4.0.10 台站布置应符合以下要求：

- 1 台站的抗震措施应与所监测的建筑物抗震标准相协调。
- 2 台站辅助设施应符合下列要求：
 - 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 1d。
 - 2) 电源避雷器接地电阻应小于 10Ω。
 - 3) 应敷设电话线路或光缆。
 - 4) 电源、传输线路和 GPS 应分别安装防雷装置。
 - 5) 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。
- 3 台站环境应符合下列要求：
 - 1) 监测设备运行环境温度宜为 -20~+65℃。
 - 2) 相对湿度应小于 90%。

4.0.11 监测中心布置应符合下列要求：

- 1 强震动监测中心宜与大坝安全监测中心结合布置，并应满足设备布置和人员工作要求。
- 2 集中记录式布置应配置可靠的供电电路和防雷接地。
- 3 可通过计算机对现场监测系统数据进行数据采集和控制。
- 4 与本系统以外的计算机网络应设有连接接口，便于进行远程传输。

5 监测系统的检测、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相应检测资质的实验室超低频标准振动台上进行整机标定。

5.1.2 强震动加速度仪安装前，应进行测试验收。测试验收应包括如下内容：

1 加速度传感器外观检查和功能测试（阻尼与自振频率测试）。按表 4.0.3 加速度传感器的主要技术指标，对灵敏度、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、横向灵敏度以及静态耗电电流进行测试。

2 记录器进行触发功能、本地和远程通信功能、控制功能测试。按表 4.0.4 记录器的主要技术指标，进行噪声、动态范围、分辨率、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 加速度传感器的安装应符合下列规定：

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，顶面应平整，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，并符合下列建造要求：

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，用混凝土现浇，硬化后，应将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。应外加保护罩。

2) 在土石坝及土基上现浇混凝土观测墩时，观测墩埋设深度不小于 0.8 m。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。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 记录器的安装应符合下列规定：

- 1 记录器应安装在强震监测中心或台站内。
- 2 记录器与加速度传感器接通后，应确定加速度传感器的振动方向与加速度记录图上波形方位的对应关系，并保持相位一致。
- 3 为消除多台加速度记录器的时差，可采取联机的运行方式，共同记录主机的绝对时间。
- 4 应根据环境振动的具体情况，选择 STA 与 LTA 比值触发、阈值触发、STA 与 LTA 差触发等触发模式。

5.2.3 传输电缆的敷设应符合下列规定：

- 1 宜采用多芯屏蔽电缆。布线不应设置在具有强电磁干扰设备的附近。混凝土坝内电缆可沿坝内竖井、廊道、电缆沟敷设，土石坝内电缆可沿坝体电缆沟内敷设。室外电缆应采用套管保护，并采用接地保护措施。
- 2 传输电缆宜减少接头。接头处应焊接牢固，并做好导线的绝缘屏蔽。
- 3 敷设电缆时，应避免电缆承受过大拉力，防止受损。

5.3 监测系统的检查、设置和调试

- 5.3.1 监测系统安装后，应进行检查、设置和调试。
- 5.3.2 监测系统的检查主要内容应包括确认各通道的极性和加速度传感器的零位。
- 5.3.3 监测系统的设置应包括：仪器参数设置、通道极性设定。
- 5.3.4 监测系统的测试应包括：背景噪声测试、标定、人工触发试验、GPS 同步检测、双向通信遥测试验。
- 5.3.5 监测系统运行正常后，应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。

5.4 监测系统工程验收

5.4.1 监测系统建设完成后，应编写出建设报告。报告格式及内容可按附录 A 编制。

5.4.2 试运行满 3 个月，应编写出试运行报告。报告格式及内容可按附录 B 编制。

5.4.3 对监测人员应完成技术培训。

5.4.4 在完成上述三项任务的基础上，可申请进行监测系统验收。监测系统验收应提交下列资料：

- 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 强震动安全监测试运行报告。
- 4 相关的仪器、软件使用说明书等技术资料。

6 监测系统的运行管理与维护

6.1 一般规定

- 6.1.1 强震动监测系统的运行管理应纳入工程安全监测的日常工作。
- 6.1.2 监测人员应经过专业培训。
- 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 远程访问每月不应少于3次。
- 6.2.2 主要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、GPS天线状态、电池电压等。

6.3 月巡回检测

- 6.3.1 对强震动加速度仪每月应进行一次常规性检测。检测内容应包括下列各项：
 - 1 是否以标准时间校对了仪器时钟。
 - 2 强震动记录器面板指示灯、开关检查。
 - 3 检测直流电源电压是否正常。
 - 4 检查各通道记录显示是否正常。
 - 5 强震动记录器是否处于待触发状态。
- 6.3.2 应及时填写检测表，检测表格式及内容应符合附录C的要求。

6.4 年度巡回检测

- 6.4.1 对强震动加速度仪每年应进行一次全面检测。
- 6.4.2 检测对象应包括加速度传感器、信号传输和强震动记录

器。对仪器的灵敏度应进行标定。

6.4.3 不应同时对两套以上处于待触发的仪器进行标定。

6.4.4 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。

6.4.5 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 特别巡回检测

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 检查台阵仪器时，应及时填写检测表。检测表见附录 C。

6.6 监测系统的维护

6.6.1 强震动监测系统经检测发现故障时，应及时维修。对于重要测点，应换上备用仪器，以免漏记强震动。

6.6.2 对于达到使用年限的强震动监测仪器，应及时更新。

7 加速度记录的处理分析

7.0.1 地面加速度记录大于 0.002 g 时，应及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份原始数据。

7.0.2 场地加速度峰值大于等于 0.025 g 时，应及时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应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。强震动安全监测记录报告单格式见附录 D。

7.0.3 对混凝土建筑物可按基础最大加速度 0.05 g 作为安全监测的警示值，对土工建筑物可按基础最大加速度 0.025 g 作为安全监测的警示值。

7.0.4 根据强震动安全监测台阵各个测点的记录和设计的抗御最大加速度值，应及时结合其他安全监测资料和震害调查，对土工建筑物进行安全评估。

7.0.5 场地峰值加速度记录大于 0.025 g 时，应及时对加速度记录进行常规处理分析，包括以下内容：

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。

7.0.6 在对加速度记录进行常规处理分析的基础上，应提出加速度水平向最大峰值、垂直向最大峰值、地震动持续时间、地震卓越周期、地震烈度、结构的动力放大系数和结构自振周期等重要数据。

8 震害检查

8.0.1 当发生有感地震或地基记录的峰值加速度大于 0.025 g 时，应及时对水工建筑物进行震害检查。

8.0.2 震害检查应包含下列内容：

1 建筑物震害：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、倒塌、溃决等。

2 地基震害：喷水冒砂、不均匀沉陷、地裂缝、地震断层、地基渗漏等。

3 边坡震害：弧形裂缝、滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等。

8.0.3 震害检查应进行详细的现场记录，填写震害检查表，绘制震害略图，进行现场拍照和录像。

8.0.4 应结合强震动监测记录和其他的安全监测资料进行震害分析，提出震害处理措施。

附录 A 建台报告格式和要求

A.0.1 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。

A.0.2 地质概况

- 1 区域构造地质背景。
- 2 场地工程地质条件。

A.0.3 强震动安全监测台阵

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

A.0.4 仪器的安装

- 1 仪器的参数设置。
- 2 加速度传感器的安装。
- 3 传输线路的铺设。
- 4 强震动记录器在监测室的安装。
- 5 监测中心的安装，程控电话号码或 IP 地址。

A.0.5 测试

- 1 背景噪声测试。
- 2 地脉动及结构响应测试。

附录 B 试运行报告格式和要求

- B.0.1** 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。
- B.0.2** 基本运行环境：温度、湿度、电源系统、避雷系统。
- B.0.3** 系统设备状况：设备及软件名称、型号、数量。
- B.0.4** 系统技术指标：台阵监控、数据传输处理和存储能力。
- B.0.5** 原始监测数据与强震动加速度记录处理分析结果。

附录 C 强震动加速度仪检测表

表 C 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	
内部电池电压		外部电池电压	
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	GPS 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 D 强震动安全监测记录报告单

表 D 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 (cm/s ²)	记录长度
安全评估		安全		警惕		危险			
检查人员				日期					

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	