

DB 31

上 海 市 地 方 标 准

DB 31/T 1435—2023

重要建设工程强震动监测台阵布设
技术规范

Specification of strong motion monitoring array layout for
major construction projects

2023 - 10 - 19 发布

2023 - 11 - 01 实施

上海市市场监督管理局 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 监测对象 2

5 监测系统分类 2

 5.1 分类规则 2

 5.2 集中记录式监测系统 2

 5.3 分散记录式监测系统 2

6 系统组成 3

 6.1 监测设备 3

 6.2 传输线路及设备 3

 6.3 辅助设备 3

 6.4 数据管理 4

7 监测台阵布置要求 4

 7.1 监测基本要求 4

 7.2 监测点布置要求 4

 7.3 监测条件和环境要求 5

8 监测设备测试 5

 8.1 基本要求 5

 8.2 传感器测试 5

 8.3 记录器测试 5

9 系统安装与调试 6

 9.1 传感器安装要求 6

 9.2 记录器安装要求 6

 9.3 监测系统运行调试 6

10 系统验收 6

 10.1 验收方式 6

 10.2 验收内容及要求 7

11 系统运行与维护 7

 11.1 系统运行 7

 11.2 系统维护 7

12 监测记录存储与处理 8

 12.1 监测记录存储 8

 12.2 监测记录处理 8

附录 A（规范性） 监测设备主要技术指标要求..... 9

附录 B（资料性） 远程通讯检查记录表 11

附录 C（资料性） 现场检查记录表 12

附录 D（资料性） 强震动监测台阵记录报表 13

参考文献..... 14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市地震局提出并组织实施。

本文件由上海市震灾风险防治中心归口。

本文件起草单位：上海市震灾风险防治中心、同济大学、华东建筑设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：周伯昌、教聪聪、孔庆钊、袁程、王飞、包联进、张耀康、胡涛、周介元、齐亚坤、李俊、谢冰滢、胡峻、李红玉、吉寅。

重要建设工程强震动监测台阵布设技术规范

1 范围

本文件规定了重要建设工程强震动监测台阵的分类、组成、布设要求、测试、安装、调试、验收、运行与维护、监测记录的存储与处理等技术内容及要求。

本文件适用于上海市新建、改建、扩建的特大桥梁、发射塔、高层建筑以及对经济社会有重大价值或重要影响的建设工程或者设施的强震动监测台阵，其他需要设置强震动监测台阵的建设工程或设施可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- DB/T 10 数字强震动加速度仪
- DB/T 17 地震台站建设规范 强震动台站
- JSGC—03 中国数字强震动台网技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

重要建设工程 major construction project

对社会有重要价值或者重要影响的工程。

注：本文件主要指特大桥梁、发射塔、高层建筑以及对经济社会有重大价值或重要影响的建设工程或者设施。

[来源：GB/T 18207.1—2008，5.13，有修改]

3.2

强震动 strong motion

地震或爆破等引起的场地或工程结构的强烈震动。

[来源：DB/T 10—2016，3.1]

3.3

测点 monitoring point

设置强震动传感器进行强震动监测的地点。

[来源：DL/T 5415—2009，4.0.3，有修改]

3.4

强震动监测台阵 strong motion monitoring array

根据工程结构强震动监测需要，专门设计由多个测点组合构成的阵列式监测系统。

[来源：DL/T 5415—2009，4.0.6，有修改]

4 监测对象

下列新建、扩建、改建建设工程或者设施，应当设置强震动监测台阵：

- a) 跨江、跨海的单孔跨度 150 m（含）以上的桥梁；
- b) 建筑高度 100 m（含）以上且抗震设防类别为重点设防类（含）以上的发射塔；
- c) 建筑高度 200 m（含）以上的高层公共建筑；
- d) 其他对经济社会有重大价值或重要影响的建设工程或者设施。

5 监测系统分类

5.1 分类规则

重要建设工程强震动监测台阵根据其设备配置、布设位置和功能要求，包括集中记录式监测系统和分散记录式监测系统两类。

5.2 集中记录式监测系统

5.2.1 当仅有传感器布设在结构测点现场时宜采用集中记录式监测系统。

5.2.2 集中记录式监测系统应由传感器、记录器、传输线路、辅助设备和数据中心组成，传感器和记录器用通讯电缆连接。

5.2.3 集中记录式监测系统的传感器布设应在结构测点，记录器布设应在数据中心。集中记录式监测系统配置与组成框图见图 1。

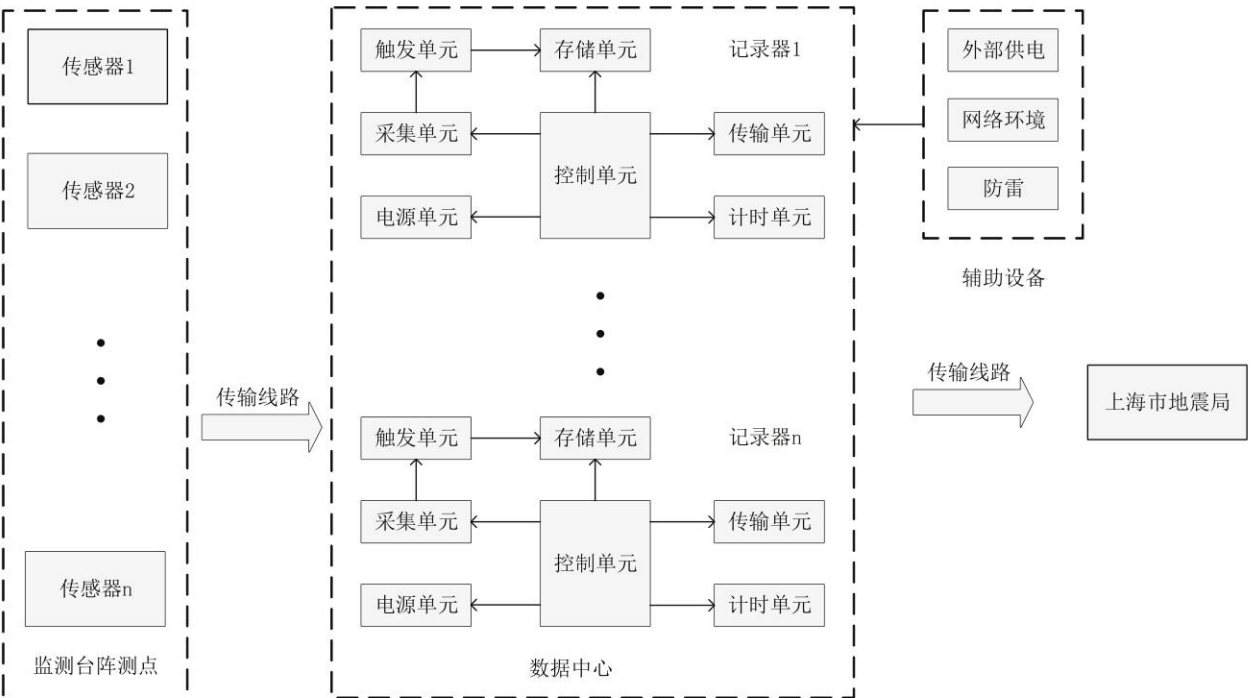


图1 集中记录式监测系统配置与组成框图

5.3 分散记录式监测系统

5.3.1 当传感器和记录器都布设在结构测点现场时，宜采用分散记录式监测系统。

5.3.2 分散记录式监测系统应由强震监测设备、传输线路、辅助设备和数据中心组成。

5.3.3 应将强震动监测设备安装在结构测点上，通过有线或无线网络把监测信息实时传输到数据中心和行业主管部门。分散记录式监测系统配置与组成框图见图 2。

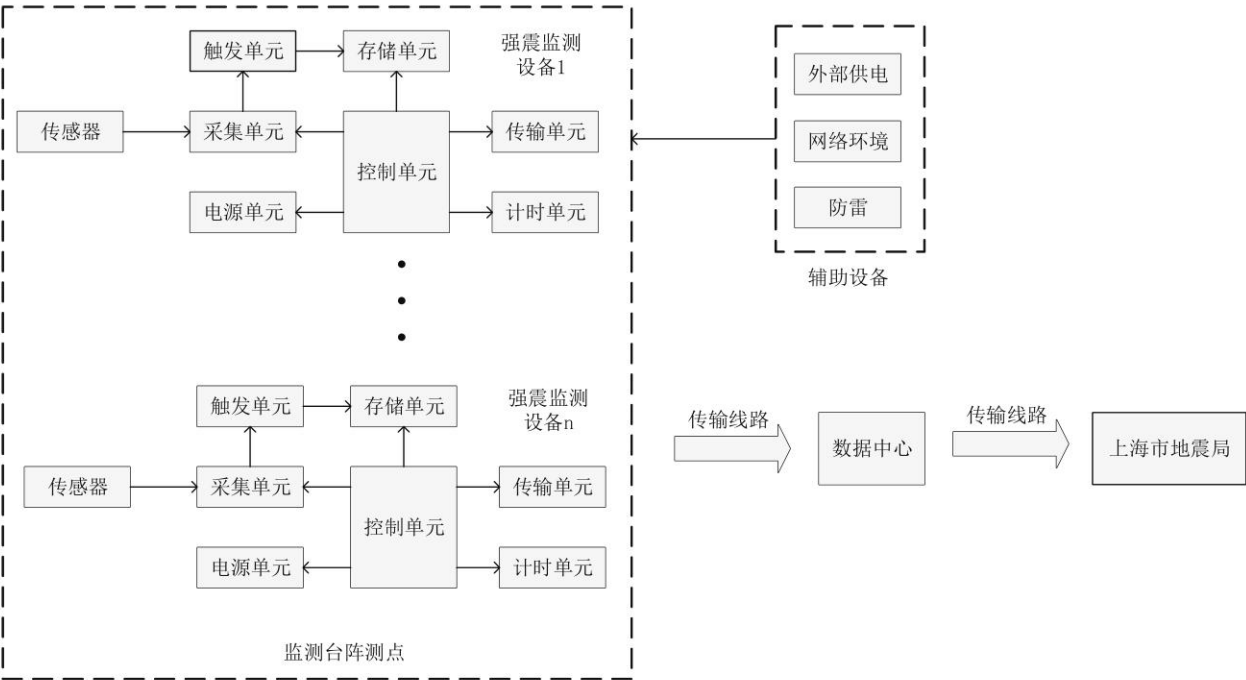


图2 分散记录式监测系统配置与组成框图

6 系统组成

6.1 监测设备

6.1.1 传感器主要技术指标应符合附录 A 中的表 A.1 要求。记录器的主要技术指标应符合附录 A 中的表 A.2 要求。

6.1.2 记录器主要由控制、计时、采集、记录、通信、存储元、供电等单元组成，其中，计时单元、记录单元、通信单元和存储单元，满足以下技术要求：

- a) 计时单元应具备北斗或 GPS 校时功能，应具备 PTP 网络校时功能，与授时源标准时间的同步误差应小于 0.1 ms；
- b) 记录单元应采用连续记录方式，具备事件触发记录功能，最大可设采样率不应低于 200 Hz；
- c) 通信单元可采用网络通讯，监测数据传输应支持有线或无线网络实时传输；
- d) 存储单元应具备连续存储至少 90 d 全通道、最高采样率监测数据的能力，宜支持移动介质存储。

6.2 传输线路及设备

6.2.1 当采用集中记录式监测系统时，传感器与记录器之间应采用高性能屏蔽电缆连接。

6.2.2 当采用分散记录式监测系统时，记录器与数据中心之间应采用有线或无线网络通讯介质传输，远距离传输或电磁干扰大的场地应采用光纤通讯。

6.2.3 集中记录式监测系统和分散记录式监测系统都应将数据通过网络实时发送至行业主管部门。

6.3 辅助设备

6.3.1 辅助设备主要包括供电、网络和防雷等辅助监测设施，应满足以下要求：

- a) 供电设施应具备维持监测系统持续、稳定运行的供电能力和备用电源，日常供电宜优先选择交流供电。备用电源应具备满足监测设备连续、稳定工作至少 3 d 的能力；
- b) 网络设施应具备满足数据实时传输的有线网络或无线网络以及网络设备；
- c) 监测设备和电源应配置防雷设施，接地电阻宜小于 $4\ \Omega$ 。

6.3.2 有条件时可配置和安装位移、应变、形变、风力、温度、湿度等辅助监测设备。

6.4 数据管理

数据管理应满足以下技术要求：

- a) 应具备与监测台阵所有测点进行网络通信的能力，带宽应满足数据传输要求；
- b) 应具备本地数据存储、管理和服务能力；
- c) 应具备稳定可靠的供电能力；
- d) 宜通过计算机专业软件对台阵现场监测系统进行远程的数据采集和控制，并具备地震数据分析功能；
- e) 应具备将监测数据通过网络发送到指定服务器的能力。

7 监测台阵布设要求

7.1 监测基本要求

7.1.1 监测台阵应根据抗震设防烈度、工程等级、结构类型和地震地质条件进行设计。监测台阵设计应综合考虑监测目的和用途、工程结构类型及场地特点等多方面因素，确定台阵规模、布设方案、仪器的性能要求、仪器安装方法和管理维护措施等。

7.1.2 监测台阵的规模应根据抗震设防类别进行设计，标准设防类建筑应不少于 9 通道（3 个～9 个测点），特殊设防类和重点设防类建筑应不少于 18 通道（9 个～18 个测点）。对于结构类型特殊、地震地质条件复杂、场地条件差的建设工程，应增加测点数量。

7.1.3 安装有健康监测系统的重要建设工程，强震动监测台阵监测点应与健康监测系统联合布设。

7.1.4 传感器的安装位置应避开对监测数据有较大干扰的振动源。

7.1.5 传感器的监测方向应与被测结构的主振型方向一致，宜根据抗震计算的结果布置在工程结构主要振型的振幅最大点上。

7.1.6 在自由场地与结构基础处应布置测点，用以记录工程场地的地震动。

7.1.7 监测大跨度结构时，监测台阵应能监测到多点地震动输入。

7.1.8 监测采用隔震减震或其他振动控制措施的结构时，应在相应部位设置传感器，用于监测减震效果。

7.1.9 监测台阵应结合结构施工或运营监控布设，对于其他特殊结构或有特殊要求的台阵布设应开展专门研究。

7.2 监测点布设要求

7.2.1 桥梁应根据不同桥梁结构形式在关键位置采取不同的监测点布置：

- a) 连续梁桥（连续刚构桥）在主墩承台顶（或主墩墩顶）及边墩承台顶（或边墩墩顶）、主跨及相邻跨的跨中等关键位置布设测点；
- b) 斜拉桥在主塔承台顶（或主塔下横梁顶处）、边墩承台顶（或边墩墩顶）及辅助墩承台顶（或辅助墩墩顶）、主塔塔顶、主梁跨中、塔梁结合处及主要支点等关键位置布设测点；

- c) 悬索桥在主塔承台顶（或主塔下横梁顶处）、辅助墩承台顶（或辅助墩墩顶）、锚碇、主塔塔顶、主梁跨中及四分之一跨和四分之三跨等关键位置布设测点；
- d) 拱式桥在拱脚、边墩承台顶（或边墩墩顶）、辅助墩承台顶（或辅助墩墩顶）、拱肋、立柱和吊杆等关键位置布设测点。

7.2.2 发射塔应在塔座、塔楼和塔杆处布设测点。

7.2.3 高层建筑楼层测点应布置在楼层的平面形心、核心筒和平面端部，沿建筑高度方向应布置于结构屋面标高、结构薄弱层、上部结构的嵌固端、地下室以及层间位移角和扭转位移比最大的楼层标高处。

7.3 监测条件和环境要求

7.3.1 传感器监测环境

应具备传感器安装条件，保障传感器与监测对象牢固结合。应具备保障传感器正常工作的方位、温度和湿度条件，宜浇筑专用的仪器墩，仪器墩的建造方法应按DB/T 17的规定执行。

7.3.2 记录器监测环境

应具备记录器安装条件，具备保障记录器正常工作的数据传输网络环境和温度与湿度条件。采用卫星定位系统校时，应能保证持续接收到有效的卫星信号。采用网络校时，应能保证网络持续连通。

7.3.3 接地环境

记录器周边应具备接地条件，应采用粗铜线将接地端与仪器专用地线牢固连接。

7.3.4 传输介质环境

传感器与记录器连接电缆周围5 m内不应有强电磁干扰，宜对传输介质采取安全保护措施。

8 监测设备测试

8.1 基本要求

应对监测台阵布设的传感器和记录器进行安装前测试。

8.2 传感器测试

8.2.1 常规测试

8.2.1.1 应对每个传感器进行常规测试，测试内容包括：外观检查、功能测试。

8.2.1.2 测试方法应按 DB/T 10 和传感器说明书规定的方法执行。

8.2.2 抽样测试

8.2.2.1 应对传感器进行抽样测试或提供第三方机构测试报告。抽样方法按 GB/T 2828.1 的规定执行。

8.2.2.2 测试内容包括：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、横向灵敏度比的检验、静态耗电电流等。

8.2.2.3 测试方法应按 DB/T 10 的规定执行。

8.3 记录器测试

8.3.1 常规测试

8.3.1.1 应对每台记录器进行常规测试，测试内容包括本地和远程通讯功能、控制功能等。

8.3.1.2 测试方法应按 JSGC—03 中 5.1.2 规定的常规测试方法执行。

8.3.2 抽样测试

8.3.2.1 应对记录器进行抽样测试或提供第三方机构测试报告。抽样方法按 GB/T 2828.1 的规定执行。

8.3.2.2 测试内容包括噪声、动态范围、分辨力、幅频响应、带通滤波器的检验、守时精度、校时精度等。

8.3.2.3 测试方法应按 DB/T 10 的要求执行。

9 系统安装与调试

9.1 传感器安装要求

传感器的安装应满足以下要求：

- a) 应按照仪器使用说明书中的安装要求和步骤进行；
- b) 应将传感器的两个水平测量方向分别对准结构的两个主轴方向。一般情况下，X 轴沿结构短轴或横向方向，Y 轴沿结构长轴或纵向方向，Z 轴沿竖直方向（向上为正），角度误差应小于 1° ；
- c) 传感器与被测物刚性连接；
- d) 外加防水、防尘保护罩，保持罩内环境满足传感器的工作要求，结构内部满足 IP₅₅ 要求，结构外部满足 IP₆₇ 要求；
- e) 供电、防雷、选址及监测环境要求符合第 5 章、第 6 章的规定。

9.2 记录器安装要求

强震动记录器的安装应满足以下要求：

- a) 应按照仪器使用说明书中的安装要求和步骤进行；
- b) 稳固放置在仪器箱或者机柜等保护措施内；
- c) 供电、防雷、选址及监测环境要求符合第 5 章、第 6 章的规定；
- d) 所有连接牢固可靠。

9.3 监测系统运行调试

9.3.1 应依据相关规范和使用说明对仪器进行确认、设置和调试。

9.3.2 对布设的监测系统进行脉动测试，并编写脉动测试报告，测试应满足以下要求：

- a) 场地脉动和建筑物的脉动测试主要测试自然震源（风、海浪、交通等）引起结构测试点三轴向的加速度振动；
- b) 场地脉动和建筑物的脉动测试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大于 30 min；
- c) 场地脉动和建筑物的脉动测试结束后，对测试数据进行计算分析。计算分析结果包括脉动峰值、脉动的主频，以便选择和确定强震动加速度仪的触发方式和阈值，并可进一步确定场地的优势频率以及结构的自振频率。

10 系统验收

10.1 验收方式

- 10.1.1 应组织相关文件审查,包括监测系统建台报告、仪器测试报告、数据传输测试合格证明等。
- 10.1.2 应对系统进行现场查验,查看监测台阵的设备安装和布置情况,并确认其符合规范和设计要求。

10.2 验收内容及要求

- 10.2.1 传感器和记录器应具备仪器抽样测试或第三方机构测试报告,并有行业主管部门出具的数据传输测试合格证明。
- 10.2.2 监测台阵实时数据应按要求接入到行业主管部门。监测台阵连续正常运行满3个月,系统正常运行率高于95%及以上,连接通讯通畅,可视为试运行合格。
- 10.2.3 监测台阵验收应编写监测台阵试运行报告,并报送报行业主管部门确认,报告内容应包括:
 - a) 试运行起止时间;
 - b) 实时数据接入行业主管部门情况;
 - c) 试运行状态,包括监测台阵工作情况和正常运行率;
 - d) 对监测台阵功能是否符合要求进行综合评定。
- 10.2.4 在完成9.2.1至9.2.3的规定要求后,应按要求向行业主管部门提交强震动监测台阵验收资料,并申请验收备案。行业主管部门应对验收情况进行指导和监督。
- 10.2.5 监测台阵建设完成后,确认设备型号、规格和技术指标应符合本规范、项目设计书要求,且系统工作正常,且验收通过后应编写监测系统建台报告,内容可参照JSGC—03中附录E的格式和要求编写。

11 系统运行与维护

11.1 系统运行

- 11.1.1 监测台阵应每日自动标定1次,标定数据宜上传至行业主管部门。
- 11.1.2 监测台阵记录到地震、爆破、撞击等事件后,事件及数据处理应满足以下要求:
 - a) 当结构基础记录到超过 0.10 m/s^2 的加速度信号时,记录完整事件数据,并进行分析处理,结果写入年度强震动监测报告;
 - b) 当在自由场地或结构基础记录到超过 0.30 m/s^2 的加速度信号时,应立即向业主单位报警。完成数据分析处理后,在一周内编写事件报告,提交给业主单位。

11.2 系统维护

- 11.2.1 监测台阵完成验收工作后,应建立维护管理制度,设备管理维护人员应定期对台阵进行巡查。巡查工作内容包括:监测室内外环境、传感器监测环境、传输线缆、保护装置等,并对传感器的灵敏度进行标定。
- 11.2.2 每月远程检测至少1次。检测内容包括:仪器参数设置、触发事件数、数据回收情况、传感器零位电压、授时状态、电池电压等,并填写《远程通讯检查记录表》存档,样表参见附录B。
- 11.2.3 设备管理维护人员巡查工作原则上应不少于每年现场检查2次,填写《现场检查记录表》并报送行业主管部门,样表参见附录C。当发现设备外观破损或其他异常情况时,应及时向行业主管部门报告。
- 11.2.4 监测台阵监测备件数量应满足以下要求:
 - a) 集中记录式监测系统,传感器的备件数量不低于测点总数的10%,应至少有1个备件,及时满足设备维修需要,保证系统正常运行;

- b) 分散记录式监测系统,传感器和记录器的备件数量不低于测点总数的10%,应至少有1个备件,及时满足设备维修需要,保证系统正常运行。

11.2.5 监测台阵应在每年第一季度内出具1份年度运行报告,报告内容应包括上一年监测系统管理和维护情况、地震记录和数据分析、震害评估结果等,并提交给业主单位和行业主管部门。

12 监测记录存储与处理

12.1 监测记录存储

12.1.1 连续监测记录、存储监测台阵工作过程中的连续波形数据、记录器内部数据记录应保留30d以上。

12.1.2 事件监测记录中,存储超过触发条件的事件的波形记录应永久保存。

12.2 监测记录处理

12.2.1 在获取强震动加速度记录峰值大于 0.10 m/s^2 的地震记录时,应进行数据的常规处理。

12.2.2 应及时填报《强震动监测台阵记录报表》,应于记录获取后24h内提交给业主单位、行业主管部门,样表参见附录D。

附 录 A
(规范性)
监测设备主要技术指标要求

监测设备主要技术指标要求应符合表A. 1、表A. 2。

表A. 1 常规传感器主要技术指标

序号	项 目	技术指标
1	测量范围	-2.0 g _n ~2.0 g _n (标称值), -1.0 g _n ~1.0 g _n 和 -4.0 g _n ~4.0 g _n (选用)
2	灵敏度	-2.5 V/g _n ~2.5 V/g _n (标称值), -1.25 V/g _n ~1.25 V/g _n 和 -0.625 V/g _n ~0.625 V/g _n (选用)
3	灵敏度误差	<3%
4	动态范围	≥120 dB
5	满量程输出	-5.0 V~5.0 V (标称值), -2.5 V~2.5 V 和 -10.0 V~10.0 V (选用)
6	线性度误差	≤1%
7	频率响应 幅频特性误差 阻尼常数	0.1 Hz~80 Hz <±0.3 dB (0 Hz~50 Hz), -3 dB~+0.5 dB (50 Hz~80 Hz) 0.707±0.021
8	横向灵敏度比	≤1%
9	静态耗电电流 (三分向)	<30 mA (-12 V~12 V DC)
10	噪声	<10 ⁻⁵ g _n (均方根值)
11	零点漂移 (-20 ℃~70 ℃)	<500×10 ⁻⁵ g _n /℃
12	输出阻抗	<10 Ω
13	最大负载电容	0.01×10 ⁻⁵ F
14	工作环境	温度-20 ℃~50 ℃ 相对湿度 10%~98%

表A.2 记录器主要技术指标

序 号	检 验 项 目	技 术 指 标
1	通道数	≥3 通道
2	满量程输入	-5.0 V ~5.0 V (标称值), -2.5 V~2.5 V 和-10.0 V~10.0 V (选用)
3	分辨力	≥24 位 (二进制)
4	采样率	每秒样本数 50、100、200、500, 可编程选择; 实时传输采样率与记录器 存储事件采样率应分别设定
5	低通滤波器	宜使用线性相移或最小相移的 FIR 数字滤波器; 下降 3 dB 的频率点应不小 于采样率的 40%; 在大于采样率 50%的频段, 应至少衰减 90 dB。
6	噪声	小于噪声均方根值上限的计算值
7	动态范围	≥120 dB
8	频率响应	0.1 Hz~80 Hz, 平坦, 线性相移或最小相移用户可选
9	道间延迟	无
10	零点漂移	<100 μV/℃
11	输入阻抗	5 通道及以上记录器: ≥10 MΩ
12	工作环境	温度-30℃~70℃ 相对湿度 10%~98%

附 录 B
(资料性)
远程通讯检查记录表

表B. 1所示了通讯检查记录表格式及内容。

表B. 1 通讯检查记录表

台阵名称						测点位置		
数采型号						数采编号		
电压				数据回收情况				
存储卡剩余容量								
远程标定试验	X			Y			Z	
参数设置 (更改时填写)	采样率	触发方式	触发阈值	滤波参数	...	对时方式	IP	
原设置								
修改值								
通道零位电压（mv）	X			Y			Z	
授时状态								
故障及处理措施								
检查人员								
检查日期								
备注								
注：参数设置、通道零位电压检查表格可根据实际需要自行调整。								

附 录 C
(资料性)
现场检查记录表

表C. 1所示了现场检查记录表格式及内容。

表C. 1 现场检查记录表

台阵名称			测点位置	
数采型号			数采编号	
人工触发	X	Y	Z	
标定试验	X	Y	Z	
监测设备运行环境(√)	干燥	潮湿	腐蚀	
传输线缆(√)	良好	短路	断路	
防护壳状态(√)	良好	锈蚀	丢失	
地震标识(√)	良好	模糊	丢失	
故障及处理措施				
检查人员				
检查日期				
备注				
注：请在表中填入具体数值或勾选相应选项。				

附 录 D
(资料性)
强震动监测台阵记录报表

表D. 1所示了强震动监测台阵记录报表格式及内容。

表D. 1 强震动监测台阵记录报表

台阵名称				台阵代码		
传感器型号				数采型号		
场地类别						
地震事件	发震时间					
	震中经纬度					
	震中地点					
	震中距					
测点位置	测点编号	最大峰值加速度 (m/s ²)			灵敏度 (V/g)	记录长度 (s)
		X 轴	Y 轴	Z 轴		
填报人员						
复核人员				填报日期		
注：应填报所有测点监测信息。						

参 考 文 献

- [1] GB/T 6378.1 计量抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的对单一质量特性和单个AQL的逐批检验的一次抽样方案
- [2] GB/T 18207.1—2008 防灾减灾术语 第1部分：基本术语
- [3] GB 50011 建筑抗震设计规范
- [4] GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- [5] DB/T 64 强震动观测技术规程
- [6] DL/T 5416—2009 水工建筑物强震动安全监测技术规范
- [7] JGJ 3 高层建筑混凝土结构技术规程
- [8] JGJ 22 钢筋混凝土薄壳结构设计规程
- [9] JGJ 99 高层民用建筑钢结构技术规程
- [10] JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范
- [11] JTG/T 2231—01 公路桥梁抗震设计规范
- [12] DG/TJ 08—9 建筑抗震设计标准
-