

山西省工程建设地方标准



DBJxxxxxx-2026
备案号: Jxxxxx-2026

隔震建筑智能监测技术标准
Technical standard for intelligent monitoring
of base-isolated buildings

征求意见稿

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

山西省住房和城乡建设厅 发布

山西省工程建设地方标准

隔震建筑智能监测技术标准

Technical standard for intelligent monitoring
of base-isolated buildings

DBJxxxxxx-2026

批准部门：山西省住房和城乡建设厅

主编单位：太原市建筑设计研究院

东南大学

实施日期：2026 年 XX 月 XX 日

XX 出版社

2026 X X

前 言

根据山西省住房和城乡建设厅关于印发《2025 年工程建设地方标准制（修）订计划的通知》（晋建科字〔2025〕74 号）要求，标准编制组会同有关单位经广泛调查研究认真总结实践经验，参考国家相关规范和标准并结合山西省隔震建筑建设情况，在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准共分为 6 章和 1 个附录，主要技术内容包括：1 总则；2 术语符号；3 基本规定；4 监测设备与系统；5 监测数据处理与分析；6 结构状态评估与监测报告；附录 A 监测设备选型参考表。

本标准由山西省住房和城乡建设厅管理，由太原市建筑设计研究院负责具体技术内容的解释，执行本标准过程中如有意见或建议，请寄送太原市建筑设计研究院（地址：山西省太原市新建路 80 号，邮政编码：030002，电话：0351-4222592，邮箱：tyjyzps@163.com），以供今后修订时参考。

本 标 准 主 编 单 位：太原市建筑设计研究院

东南大学

本 标 准 参 编 单 位：山西省建筑科学研究院集团有限公司

济通智能装备股份有限公司

山西建筑工程集团有限公司

本标准主要起草人员：张 晨 郝利君 郭 彤 张志强 张瑞君 郭玉童

高 巍 伍大成 孟宪亮 徐 刚 吴宜峰 侯晋杰

王剑明 梁 鑫 许家文 翟桂庆 郭 霖 刘 强

郭翔宇 赵变青 杨润涛 樊永盛 李 政 刁鹏展

本标准主要审查人员：郁银泉 刘彦生 王 涛 李玉屏 张宗升
石 勇 朱 翔

目 次

1	总 则	1
2	术语	2
3	基本规定.....	3
4	监测设备与系统.....	6
4.1	一般规定.....	6
4.2	系统设计与设备选型	7
4.3	监测系统安装、调试与验收	10
4.4	运行维护.....	12
5	监测数据管理.....	14
5.1	一般规定.....	14
5.2	数据采集.....	14
5.3	数据传输.....	16
5.4	数据处理与质量控制	16
5.5	数据存储与管理	17
6	结构状态评估与监测报告	19
6.1	一般规定.....	19
6.2	结构状态评估.....	19
6.3	预警.....	20
6.4	监测报告.....	21
附录 A	监测设备选型参考表	23
	本标准用词说明.....	25
	引用标准名录.....	26

附： 条文说明..... 28

CONTENTS

1	General Provisions.....	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	3
4	Monitoring Equipment and Systems	6
4.1	General Requirements	6
4.2	System Design and Equipment Selection.....	7
4.3	Installation, Commissioning and Acceptance of Monitoring System..	10
4.4	Operation and Maintenance.....	12
5	Monitoring Data Management	14
5.1	General Requirements	14
5.2	Data Acquisition	14
5.3	Data Transmission	16
5.4	Data Processing and Quality Control	16
5.5	Data Storage and Management.....	17
6	Structural Condition Assessment and Monitoring Report	19
6.1	General Requirements	19
6.2	Structural Condition Assessment.....	19
6.3	Early Warning	20
6.4	Monitoring Report	21

Appendix A Reference Table for Monitoring Equipment Selection	23
Explanation of Wording in This Standard	25
List of Quoted Standards	26
Addition:Expanation of Provision.....	28

1 总 则

1.0.1 为规范隔震建筑智能监测技术的应用，确保监测工作做到技术先进、经济合理、数据可靠，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建隔震建筑在运维管理期间的智能监测工作，也可用于既有隔震建筑在使用期间增设监测系统的项目。

1.0.3 隔震建筑智能监测除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家、行业及山西省有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 智能监测 intelligent monitoring

利用测量仪器或传感器，通过特定的监测方法，自动或人工辅助进行监测数据获取、处理与管理，实现隔震建筑结构安全状态识别或预警的过程。

2.0.2 智能监测系统 intelligent monitoring system

运用信息技术，对隔震建筑的结构响应、环境作用等进行实时、自动监测，并对监测数据进行处理、分析和存储的体系。

2.0.3 监测对象 monitoring object

需要监测的结构、构件、荷载作用与环境。

2.0.4 监测测点 monitoring point

为获取隔震建筑相关信息，在建筑结构或设备上设置的用于安装传感器的位置。

2.0.6 监测参数 monitoring parameter

描述监测对象整体或局部结构状态的参数，可采用传感器直接测得或间接计算获得。

2.0.7 监测预警值 precaution value for monitoring

为保证工程结构安全及周边环境安全，对表征监测对象可能发生异常或危险状态的监测量设定的警戒值。

2.0.8 专项评估 special assessment

结构遭受地震、风灾、火灾、化学腐蚀等极端荷载或遭受突发事件后，为确定结构整体或局部安全状态而专门开展的评估工作。

3 基本规定

3.0.1 监测前应根据各方的监测要求与设计文件明确监测目的，结合工程结构特点、现场及周边环境条件等因素，制定监测方案。

3.0.2 除设计文件要求或其他规定应进行监测的隔震建筑以外，满足下列条件之一的隔震建筑应进行监测：

- 1 特殊设防类的隔震建筑；
- 2 地震发生时或发生后建筑损坏将产生严重次生灾害或严重影响抗震救灾的建筑；
- 3 结构高度大于 60m 或高宽比大于 4 的高层隔震建筑；
- 4 结构跨度大于 60m 的大跨空间隔震建筑；
- 5 单体面积大于 20000m² 的隔震建筑；
- 6 特别不规则的隔震建筑；
- 7 采用隔震加固的重要历史建筑；
- 8 距离发震断裂 5km 以内的新建隔震建筑。

3.0.3 监测应设定监测预警值，监测预警值应满足工程设计及被监测对象的控制要求。

3.0.4 监测期间，应对监测设施采取保护和维护措施。

3.0.5 监测应明确其目的和功能，未经监测实施单位许可不得改变测点或损坏传感器、电缆、采集仪等监测设备。

3.0.6 隔震建筑的监测项目应符合以下规定。

- 1 应监测下部结构和上部结构的位移和楼层加速度；
- 2 应监测隔震部件的变形和隔震支座反力；
- 3 对应 3.0.2 条第 1、2 款规定的建筑应监测隔震层转换梁的变形和支墩的变形；

4 对于存在易燃易爆及有毒气体管线的隔震层，应监测相应管线的柔性连接段。

3.0.7 对于超长及大跨度隔震建筑尚应对隔震层的温度进行监测。

3.0.8 测点布置应符合下列规定：

1 应反映监测对象的实际状态及变化趋势，且宜布置在监测参数值的最大位置；

2 测点的位置、数量宜根据设计要求、监测项目及结构分析结果确定；

3 测点的数量和布置范围应有冗余量，重要部位应增加测点；

4 可利用结构的对称性，减少测点布置数量；

5 宜便于监测设备的安装、测读、维护和替代；

6 不应妨碍监测对象的正常使用；

7 监测设备不应设置在影响或阻碍隔震建筑变形的位置；

8 对于设置后浇带的建筑，每一后浇带分区应在中心点和至少一个角点设置测点；

9 在符合上述要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

3.0.9 对承重构件包括隔震支座状态的关键监测量，应采用具备承重构件服役期校准能力的监测设备，以保证长期监测数据准确、稳定并具有量值溯源性。

3.0.10 监测预警应根据结构性能，并结合长期数据积累提出与结构安全性、适用性和耐久性相应的限值要求和不同的预警值，预警值应满足国家现行相关标准的要求。

3.0.11 监测系统应能不间断工作，宜具备自动生成监测报表功能。监测宜为长期实时监测。

3.0.12 当监测数据异常或报警时，应及时对监测系统及结构进行检

查或检测。当异常数据涉及承重构件包括隔震支座时，应优先实施承重构件服役期校准，确认监测数据可靠后再开展结构检查或状态评估。

3.0.13 监测设备及系统应定期进行巡视检查和系统维护。

3.0.14 监测报表、原始记录应进行归档。

3.0.15 隔震支座正常使用状态下，隔震主体结构施工完毕，应以此时的状态作为初始状态，最大水平剪切变形不应大于 50mm，最大竖向压缩变形不应大于 5mm。(60 年的徐变量不应大于橡胶层总厚度的 5%)

4 监测设备与系统

4.1 一般规定

4.1.1 应根据监测目的、监测项目及现场情况，对结构的整体或局部建立智能监测系统，并宜设置专用监控室。

4.1.2 智能监测系统应具备信号感知与调理、数据采集与传输、数据存储与处理、分析评估、预警及可视化展示功能。

4.1.3 智能监测系统宜由下列子系统组成：

1 传感子系统：由各类传感器、信号调理装置及相关附件组成，用于感知结构响应、环境作用等信息；

2 数据采集与传输子系统：由数据采集仪、同步控制器、数据传输网络（有线或无线）等组成，用于数据的同步采集和可靠传输；

3 数据处理与控制子系统：由服务器、数据存储设备、系统控制软件、数据分析与评估软件等组成；

4 人机交互与预警子系统：由监测软件平台、可视化界面、声光报警装置、短信或网络预警模块等组成，用于状态展示、系统管理和险情预警。

4.1.4 智能监测系统的设计和实施应遵循技术先进、安全可靠、经济合理、便于维护和具有可扩展性的原则。

4.1.5 监测系统的设计、集成和安装宜由具有相应工程经验的单位承担。主要监测设备应具有出厂检验合格证明及检定或校准证书，设备的型号、批次、安装位置等信息应纳入本标准第 5 章规定的数据管理体系，实现全寿命期可追溯。

4.1.6 系统应建立统一的时间基准，所有监测数据均应附有时间标识。时间同步宜采用全球导航卫星系统（GNSS）卫星授时方式，并宜优先采用北斗卫星导航系统，时间同步误差不应大于 1ms。

4.1.7 系统应具备不间断供电能力，并应符合下列规定：

1 监测系统的主要设备应配置不间断电源（UPS），特殊设防类隔震建筑

的监测系统宜采用双回路供电并配置不间断电源；

2 数据采集与本地存储设备的后备供电时间不应少于 2h，并应保证主电源中断后系统能完整记录并保存地震事件全过程数据。

4.1.8 系统应具备良好的环境适应性和抗电磁干扰能力。监测设备的防护等级应符合现行国家标准《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 的有关规定，并应符合下列规定：

1 室外及潮湿、粉尘等恶劣环境下安装的设备，防护等级不应低于 IP65；

2 隔震层（沟）内安装的设备应考虑积水、潮湿、鼠害等不利条件，防护等级不应低于 IP65；

3 室内一般环境下安装的设备，防护等级不宜低于 IP54。

4.1.9 系统应建立完善的安全保障措施，包括物理安全、网络安全和数据安全，防止未经授权的访问、篡改和破坏。数据安全与访问权限管理尚应符合本标准第 5.5 节的有关规定。

4.2 系统设计与设备选型

4.2.1 监测系统的总体设计应依据本标准第 3 章确定的监测项目（第 3.0.7 条、第 3.0.8 条）和测点布置要求（第 3.0.9 条）进行，并应编制系统设计方案及施工图设计文件。

4.2.2 监测设备的选择应符合下列规定：

1 应符合监测期、监测项目与方法及系统功能的要求，并应具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性；选型时应考虑使用寿命、维护周期及远程诊断功能，并应满足本地区极端气候的环境适应性要求和震后应急工况下的工作能力要求；

2 测得信号的信噪比应满足工程分析需求；

3 设备投入使用前应经检定或校准合格；用于长期监测的重要物理量、特别是涉及隔震支座等承重构件的监测设备，应具备服役期量值核查条件，保证监测数据的量值溯源性和长期可信性；

4 安装方式应根据监测方法和监测功能的要求确定，安装应牢固，安装工

艺及耐久性应满足监测期内的使用要求；

5 安装完成后应及时进行现场标识并绘制监测设备布置图，存档备查。

4.2.3 监测传感器除应符合本标准第 4.2.2 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 传感器选型应根据监测对象、监测项目和监测方法的要求确定；

2 宜采用具有温度补偿等补偿功能的传感器；

3 传感器的灵敏度、通频带、动态范围、量程、线性度、稳定性、供电方式及使用寿命应满足监测系统要求。

4.2.4 主要传感器的选型应综合考虑监测参数、量程、精度、分辨率、频率响应范围、工作环境和耐久性等因素，可参照本标准附录 A，并应符合下列规定：

1 加速度传感器：宜选用伺服式或力平衡式加速度计，其动态范围、频带宽度和灵敏度应满足地震动及结构振动监测的要求；

2 隔震层水平位移传感器：可采用激光位移计、拉线式位移计或视觉测量设备等，量程不应小于罕遇地震作用下隔震层最大水平位移设计值的 1.2 倍；用于长期静态位移监测时，测量精度不应低于 1mm；全球导航卫星系统（GNSS）设备宜用于长期缓变位移监测，或作为大位移工况的冗余测量手段；

3 应变传感器：宜选用具有温度自补偿功能的传感器，消除温度变化对测量结果的影响；

4 竖向力传感器：用于隔震支座反力监测的传感器应具备原位校准条件，宜采用可更换式设计，量程不应小于罕遇地震作用下支座最大竖向反力设计值，并应考虑长期荷载作用下的零点稳定性；

5 支座竖向变形传感器：用于监测隔震支座竖向压缩变形及徐变的位移传感器，测量精度不应低于 0.1mm，并应满足长期监测的稳定性要求；

6 转换梁及支墩变形监测设备：可采用静力水准仪、位移计或倾角仪，测量精度应满足本标准第 3.0.7 条相应设计控制指标的识别要求；

7 管线柔性连接段监测设备：可采用位移计或图像（视频）识别设备；安装于存在易燃易爆及有毒气体管线的隔震层内的监测设备，应符合现行国家标

准《爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求》GB/T 3836.1的有关规定；

8 环境传感器：温度、湿度、风速风向等环境类传感器的工作温度范围不应小于 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ，防护等级和长期漂移指标应满足监测期要求。

4.2.5 数据采集设备的选型应符合下列规定：

1 应支持多通道同步采集，A/D转换分辨率不宜低于24位；

2 动力响应监测的采样频率宜为被测信号有效频率上限的5~10倍，且不应低于100Hz，地震动监测的采样频率不应低于200Hz；位移、应变、温度、支座反力等静态（缓变）参数的采集频率应按本标准第5.2节的规定根据参数变化特征确定；

3 应具备自检、远程配置、远程重启和断点续传功能。

4.2.6 数据传输网络的设计应保证数据的完整性、实时性和可靠性。重要监测项目宜采用光纤等有线网络作为主要传输方式；采用无线网络时，应评估信号覆盖强度和稳定性，并应设置数据缓存机制。数据传输尚应符合本标准第5.3节的有关规定。

4.2.7 数据处理与控制子系统的服务器及存储设备应具有满足系统运行和数据增长需求的计算能力与存储容量，应采取存储冗余和备份措施保证数据安全，并应符合本标准第5.5节的有关规定。

4.2.8 监测软件平台应具备下列基本功能：

1 系统管理：对系统设备、传感器参数、采集参数和报警阈值进行配置和管理；

2 数据管理：实现数据的实时接收、存储、备份、查询和检索，并应符合本标准第5章的有关规定；

3 实时监测：实时显示各测点的监测数据波形、数值及变化曲线；

4 数据分析：提供时域、频域等基本分析功能，并能根据预设模型进行结构性能评估；

5 预警与报警：当监测数据超过预警阈值时，能通过声光、短信、软件界

面等方式自动发出警报，预警分级与阈值应符合本标准第 6.3 节的规定；

6 报告生成：能够自动或手动生成定期监测报告及地震等事件专项报告，报告内容应符合本标准第 6.4 节的规定。

4.3 监测系统安装、调试与验收

4.3.1 系统的安装与调试应由专业技术人员按照审查通过的设计文件和产品技术说明书进行。安装过程不应损伤主体结构构件和隔震部件，不应影响结构的正常使用。

4.3.2 传感器安装应符合下列规定：

- 1** 安装位置和方向应与设计文件一致；
- 2** 传感器与安装基座之间应牢固连接、耦合良好，能够真实反映被测点的运动或变形状态；
- 3** 安装完成后应对传感器进行唯一性标识，标识应清晰、牢固、耐久；
- 4** 信号电缆应穿管敷设，并应采取防水、防腐、防鼠咬和防机械损伤等保护措施，线路连接应可靠，接头应做密封处理；
- 5** 设备安装完成后应结合现场环境特点采取防护措施，保护装置应有足够的强度和耐久性。

4.3.3 监测设备的安装方式应根据设备类型、测点位置和结构形式确定，应保证连接牢固、耦合可靠；采用焊接、植筋或膨胀螺栓等方式时，不得损伤主体结构受力构件和隔震部件，不得在隔震支座连接板及预埋件上施焊。

4.3.4 数据采集仪、服务器等设备的安装环境应满足设备对温度、湿度、洁净度、电磁环境及防震的要求，并应配备可靠的防雷接地。监测设备作业环境尚应符合下列规定：

- 1** 信号电缆、监测设备与大功率无线电发射源、高压输电线和微波无线电信号传输通道的距离宜符合现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》GB 50311 的有关规定；
- 2** 监测接收设备附近不宜有强烈反射信号的大面积水域、大型建筑、金属

网及无线电干扰源；

3 采用 GNSS 测量时，测站周围高度角 15° 以上范围内不宜有成片遮挡障碍物。

4.3.5 监测系统应按规定的方法或流程进行参数设置和调试，并应符合下列规定：

- 1 监测前宜对传感器进行初始状态设置或零平衡处理；
- 2 应对干扰信号进行来源检查，并应采取有效措施进行处理；
- 3 监测系统的采样频率设置应满足监测要求；
- 4 运维管理期间的监测系统宜延续施工期间监测的数据，并宜进行对比分析与鉴别。

4.3.6 监测设备安装前应经检定或校准合格；安装后应进行接线正确性、通道对应关系和数据有效性校验。投入运行后应定期开展量值核查，并应符合下列规定：

- 1 可拆卸设备宜送检校准；
- 2 埋入式、结构附着式等不可拆卸设备，可采用与经检定合格的参考仪器现场同点比对、多传感器互校或环境激励响应一致性检验等方式进行核查；
- 3 量值核查周期应结合设备类型在监测方案中明确，且不宜超过一年。

4.3.7 系统安装调试完成后，应进行连续试运行，并应符合下列规定：

- 1 试运行时间不应少于 1 个月，期间应至少完整进行一次数据采集与传输核查、远程巡检和模拟预警流程演练；
- 2 试运行期间系统各项功能应正常，数据应完整、准确，并形成试运行记录；
- 3 试运行合格后方可组织验收。

4.3.8 系统验收应由建设单位组织监测系统设计（集成）单位、施工安装单位、工程设计单位、监理单位及运维（使用）单位共同进行，必要时可委托具有相应能力的第三方检测机构对系统性能进行检测。

4.3.9 系统验收应包括下列内容：

1 资料审查：审查设计文件、设备清单、出厂合格证、检定或校准证书、检测报告、安装记录、调试记录及试运行记录等技术资料的完整性和规范性；

2 设备核对：核对现场安装的设备及传感器的品牌、型号、规格、数量与设计文件的一致性；

3 功能测试：测试系统连续数据采集、传输、存储功能，时间同步准确性，软件平台实时显示、数据查询、历史回放功能，预警与报警功能的准确性和可靠性，以及断电后备电源的切换与供电时长；

4 性能考核：对部分关键传感器进行现场标定或比对测试，验证其工作状态和测量精度；

5 试运行核查：核查试运行时间、数据完整率及故障处理记录是否满足本标准第 4.3.7 条的要求。

4.4 运行维护

4.4.1 应建立智能监测系统的长期运行维护管理制度，明确管理机构和人员职责，确保系统的持续、稳定、可靠运行。

4.4.2 运行维护内容应包括日常巡检、定期保养、故障处理、软件升级与网络安全维护、资料归档。

4.4.3 日常巡检应至少每周进行一次，主要通过软件平台远程检查，内容应包括：

- 1** 检查服务器、采集仪等硬件设备的运行状态；
- 2** 检查软件平台运行是否正常，数据是否实时更新；
- 3** 检查数据传输的完整率和存储空间余量；
- 4** 检查有无报警信息，并对报警信息进行分析处理。

遇强雷电、暴雨、大风等异常天气后，应增加现场巡视检查。

4.4.4 定期保养应制定详细计划，至少每半年进行一次，内容应包括：

- 1** 对传感器、线缆和设备箱等进行现场检查，查看有无松动、锈蚀、破损等情况，并进行清洁和紧固；
- 2** 检查防雷接地系统的可靠性；

3 对不间断电源（UPS）进行充放电测试，检查电池性能；

4 对监测数据进行备份，并核查备份数据的可用性；

5 按本标准第 4.3.6 条的规定对传感器进行量值核查；

6 检查系统账号与访问权限，更新安全补丁，核查数据访问和操作日志。

4.4.5 建筑遭受地震或其他可能影响监测系统的突发事件后，应立即对监测系统进行专项检查，核查传感器工作状态、测点及线缆完好性和事件数据记录完整性，及时修复受损设备并恢复监测功能。系统检查和恢复情况应记入运行维护档案，并应作为本标准第 6 章震后结构状态评估的依据之一。

4.4.6 系统发生故障时，维护人员应及时响应，进行诊断和修复；修复后应详细记录故障现象、原因、处理过程及结果。对无法修复的设备应及时更换，设备更换后应按本标准第 5.2.4 条的规定重新建立相应监测状态基准。

4.4.7 应建立完整的运行维护档案，所有巡检、保养、故障处理、设备更换、软件升级和网络安全维护等工作均应有详细的书面记录，并妥善保管。

5 监测数据管理

5.1 一般规定

5.1.1 隔震建筑监测数据管理应包括数据采集、数据传输、数据处理与质量控制、数据存储与管理等内容。

5.1.2 监测数据管理应根据隔震建筑监测目的、监测对象、监测参数特点及运行维护需求确定，并应为隔震系统工作状态识别、功能有效性判断和震后专项检查提供数据支撑。

5.1.3 监测数据管理应贯穿监测系统运行全过程，并应保证监测数据在采集、传输、处理、存储和应用过程中的真实性、完整性、准确性和可追溯性。

5.1.4 监测数据应根据监测参数特点和应用要求进行分类管理。宜分为静态监测数据、动力响应数据、人工检查复核数据和系统运行状态数据。不同类型数据的采集方式、采集频率、传输方式、处理方法和存储要求应相互协调。

5.1.5 监测数据应与工程基本信息、隔震系统信息、监测对象、测点编号、设备信息和采集时间建立对应关系，并应采用统一的数据编码和时间基准。

5.1.6 监测数据用于异常识别或震后检查前，应进行数据质量检查。存在明显异常且未经核查的数据不应直接用于异常处置和震后检查。

5.2 数据采集

5.2.1 监测数据采集方案应根据监测目的、监测参数变化特征、设备性能及数据应用要求确定。

5.2.2 监测数据采集应满足下列要求：

- 1 监测参数应与监测对象和测点布置相对应；
- 2 采集频率应满足监测参数变化规律识别要求；
- 3 应记录监测值、采集时间、测点编号及设备运行状态；
- 4 应保证规定采集周期、采集时段或触发事件内数据的完整性。

5.2.3 隔震建筑投入使用前，应建立隔震系统监测初始状态。初始状态数据应作为后续监测数据分析和状态变化识别的基准。

5.2.4 监测设备更换、测点调整或隔震系统维修后，应根据需要重新建立相应监测状态基准。

5.2.5 监测数据可采用自动采集、人工采集或自动采集与人工复核相结合的方式。

5.2.6 隔震层位移、隔震支座变形、支座反力以及柔性连接状态等监测数据，宜采用定期采集方式获取。

5.2.7 加速度等动力响应数据宜用于地震或其他动力事件记录、隔震层上下动力响应对比和震后专项检查；常态运行期间宜采用事件触发采集方式，确需连续采集时，应明确采集频率、存储方式和数据用途。

5.2.8 采用事件触发方式采集动力响应数据时，应记录：

- 1 事件发生时间；
- 2 触发条件；
- 3 相关测点响应数据；
- 4 数据完整性状态。

5.2.9 监测数据采集频率应根据监测参数变化特征确定。

5.2.10 隔震层状态监测数据采集频率应满足长期变化趋势识别和异常状态发现要求。

5.2.11 出现下列情况之一时，应根据需要提高相关监测数据采集频率：

- 1 监测数据出现明显变化；
- 2 监测值接近控制指标；
- 3 隔震装置或柔性连接状态异常；
- 4 建筑遭受地震等突发作用；
- 5 其他需要加强监测的情况。

5.2.12 多个测点或多个监测参数需要进行关联分析时，应采用统一时间基准，并保证数据同步。

5.2.13 监测数据采集过程中出现设备故障、通信异常、数据缺失或异常情况时，应记录异常状态，并采取措施恢复正常采集。

5.3 数据传输

5.3.1 监测数据传输方式应根据监测参数类型、数据量、传输条件及应用需求确定。

5.3.2 监测数据传输过程中，应保证数据内容、测点信息和时间信息完整，不应改变原始监测数据。

5.3.3 用于异常识别和事件记录的数据，其传输时效应满足应用要求。

5.3.4 监测系统应具备数据缓存和补传功能。通信中断时，应保存未传输数据，并在通信恢复后完成补传。

5.3.5 监测数据传输应进行完整性校验，并应识别数据缺失、重复和异常情况。

5.3.6 监测系统宜记录数据传输状态，包括数据正常传输、通信中断、恢复传输和数据补传等状态信息。

5.3.7 不同监测设备和测点的数据传输应保持统一时间基准，满足数据关联分析要求。

5.3.8 穿越隔震层的监测线路和通信线路应满足隔震层设计变形要求。

5.4 数据处理与质量控制

5.4.1 监测数据处理与质量控制应包括数据整理、质量检查、异常识别和特征参数提取等内容。

5.4.2 监测数据整理应符合下列要求：

- 1 应统一数据单位、时间基准和测点编号；
- 2 应区分自动采集数据、人工采集数据和处理分析数据；
- 3 应保留原始监测数据；

4 数据转换、修正和补充应形成记录。

5.4.3 监测数据质量检查应包括下列内容：

- 1 数据完整性；
- 2 数据连续性；
- 3 时间一致性；
- 4 数据是否超出设备量程；
- 5 数据是否存在异常突变、漂移或明显干扰。

5.4.4 数据质量检查结果应进行标识，并应区分有效数据、异常数据和待核查数据。

5.4.5 异常监测数据应结合设备运行状态、相关测点数据和现场检查结果进行综合判断。

5.4.6 确认异常的数据应记录异常原因、处理过程和处理结果。异常数据不得无依据删除。

5.4.7 监测数据特征参数应根据监测目的和运行维护需求确定。

5.4.8 隔震层位移、隔震支座变形和支座反力等数据宜提取当前值、最大值、变化量和变化趋势等特征参数。

5.4.9 动力响应数据宜提取事件时间、响应峰值、响应时程以及隔震层上下结构动力响应差异等特征参数。

5.5 数据存储与管理

5.5.1 监测数据应分类存储，并应建立原始数据、处理数据和分析结果之间的关联关系。

5.5.2 原始监测数据不得被处理结果覆盖，并应满足历史查询和追溯要求。

5.5.3 隔震层位移、支座变形和柔性连接状态等数据应按照测点和时间顺序存储，并满足长期变化分析要求。

5.5.4 动力响应监测数据应按照监测事件进行归档，并应保存事件时间、触发条件及相关测点信息。

5.5.5 监测数据应定期备份，重要监测数据宜采用多种方式保存。

5.5.6 监测数据应具备查询和追溯功能，并宜支持按照工程、测点、时间和事件进行检索。

5.5.7 监测数据访问、修改和导出应实行权限管理，并应记录相关操作。

5.5.8 监测数据、处理结果和相关报告应按照工程档案管理要求进行归档。

6 结构状态评估与监测报告

6.1 一般规定

6.1.1 隔震建筑的安全状态评估工作应在获取可信监测数据并定期完成测量系统校准的基础上进行。监测数据分析应满足每年应进行不少于 1 次的监测数据分析，并应形成相应的监测数据分析报告。

6.1.2 应结合系统数据实时开展建筑安全状态评估。当数据出现报警时，应立即触发复核。

6.1.3 当结构遭受地震、风灾、火灾等突发事件后，应进行结构状态检查、监测数据检查与分析，必要时可进行结构安全性或适用性等状态的专项评估。

6.2 结构状态评估

6.2.1 依据监测数据对结构进行评估时，应按下列原则进行：

1 结构内力或变形满足设计规范要求，判定结构处于正常状态；否则，判定结构状态异常。

2 结构动力特性进行状态评估，应对监测的加速度数据进行模态分析，获取结构动力特性；将获取的结构动力特性宜与设计值进行对比；数值接近，判定结构处于正常状态；否则，判定结构状态有异常。

6.2.2 结构安全评估的可靠度指标应与结构设计依据的标准相一致。结构状态评估，可按国家现行设计标准的规定进行，亦可按国家现行结构鉴定标准的规定进行。

6.2.3 当监测结构遭受地震、火灾、风灾、撞击等突发事件后，应对监测结构状态及监测数据进行及时检查，检查内容至少应包括：

1 事件前后监测数据及变化、监测系统工作是否正常、现场结构变形与损伤状况；

2 事件过程中监测数据的最大值、极值与事件经历时间；

3 事件发生后结构响应监测数据的绝对最大值，结构响应监测数据的最终值与塑性变形残余值。

6.2.4 事件后应按下列要求对监测结构的安全性和适用性等进行专项评估：

1 应计入突发事件引起的损伤和残余变形影响；

2 包括突发事件对结构的损伤程度评估、后期正常使用荷载作用下的安全性与适用性等评估。

6.3 预警

6.3.1 监测单位应根据工程特点、材料、结构计算分析及外界环境影响等因素建立预警机制。

6.3.2 预警系统宜具备预警信息通信功能，宜能将各种预警信息以短信等即时通信方式通知相关人员。

6.3.3 预警阈值的设置宜根据设计值、规范限定值、监测数据值、专家论证意见等确定，可定期进行检验、补充、修正和优化，并应符合下列规定：

1 当监测数据为绝对值时，可设定预警阈值为设计值或规范限定值乘以折减系数，折减系数可根据测点所在构件重要性、结构所处阶段以及预警等级进行设定；

2 当监测数据为相对值时，可设定预警阈值为 $\mu \pm \beta \sigma$ ，指标 β 可根据测点所在构件重要性、结构所处阶段以及预警等级进行设定。

注： μ 为近期监测数据的分布均值， σ 为近期监测数据的分布标准差。

6.3.4 预警等级宜设黄色和红色两级。当某监测参数达到黄色预警阈值时，应加强关注，并进行跟踪观察；当某监测参数达到红色预警阈值时，应连续密切

关注，应查明报警原因，并采取适当检查和应急措施。

6.3.5 环境监测参数预警阈值设定应符合下列规定：

1 当最高温度、最低温度、最大温差超过设计值时，应发出黄色预警；

当最高温度、最低温度、最大温差超过 1.2 倍设计值时，应发出红色预警；

2 当水平地震加速度峰值大于多遇地震动峰值加速度时，应发出黄色预警；当水平地震加速度峰值大于罕遇地震动峰值加速度时，应发出红色预警。

6.3.6 结构监测预警阈值应符合下列规定：

1 当位移或变形监测值大于 80%的设计值或 80%的规范限定值时，应发出黄色预警；当位移或变形监测值大于设计值或规范限定值时，应发出红色预警；当相对位移或变形超出 $\mu \pm 3.5\sigma$ 范围时，应发出黄色预警；当相对位移或变形超出 $\mu \pm 4.5\sigma$ 范围时，应发出红色预警；

2 当应力监测值大于 90%的设计值或 90%的规范限定值时，应发出黄色预警；当应力监测值大于设计值或规范限定值时，应发出红色预警；

3 当一个月内黄色预警达到 10 次后，应发出红色预警。

6.4 监测报告

6.4.1 评估报告应包括下列内容：

1 工程与监测系统概况，包含结构设计概况、结构历史情况、监测系统概况，包括监测参数、测点布置和设备型号、监测参数大纲、测点拓扑图、各级预警阈值清单；

2 在线特征数据清洗结果及超限次数统计分析；

3 监测数据及分析结果；

4 结构状态评定结果及依据；

5 运行结论和下阶段巡检维护建议。

6.4.2 监测报告应为结构性能的评价提供真实、可靠、有效的监测数据和结论。

6.4.3 监测评估报告评估中应明确数据分析方法、临界状态预警阈值的选取依据。

6.4.4 报告宜明确结构损伤识别和计算分析模型修正情况以及结构状态评定分类。

6.4.5 报告专项评估中宜包含以下内容：

- 1 突发事件前后的监测数据对比；
- 2 结构受力重分析；
- 3 结构极限承载能力分析 & 状态评定。

6.4.6 监测评估报告可将监测数据以附件形式附于报告中。

6.4.7 监测评估报告应根据要求，给出监测数据结果和相应的数据分析或状态评估结论。

附录 A 监测设备选型参考表

表 A.1 隔震建筑智能监测常用设备选型参考表

监测项目	监测参数	常用传感器/设备类型	主要技术指标参考	备注
隔震层响应监测	隔震层水平位移	激光位移传感器、拉线式位移传感器、视觉测量设备	量程: ≥ 1.2 倍罕遇地震作用下隔震层最大水平位移设计值 精度: $\leq 1\text{mm}$ (长期静态监测) 地震动态记录采样频率: $\geq 100\text{Hz}$ 静态监测采集频率: 按第 5.2 节确定	测量相对位移。GNSS 设备宜用于长期缓变位移监测 (静态解算) 或作为大位移工况冗余测量手段 (第 4.2.4 条第 2 款)。
	隔震支座竖向压缩变形及徐变	静力水准仪、高精度电感式/光栅式位移传感器	量程: $\geq \pm 10\text{mm}$ 精度: $\leq 0.1\text{mm}$ 长期漂移: 应显著小于被测徐变年增量 采集频率: 定期采集 (按第 5.2 节)	对应第 3.0.17 条竖向压缩变形 ($\leq 5\text{mm}$) 及 60 年徐变 ($\leq$ 橡胶层总厚度 5%) 控制指标, 应重点核查长期稳定性。
	隔震支座反力	轮辐式/剪力环式压力传感器、光纤光栅压力环	量程: ≥ 1.2 倍罕遇地震作用下支座最大竖向反力设计值 精度: $\leq 1\%$ F.S. 长期零点稳定性应满足监测期要求	应具备原位校准条件, 宜采用可更换式设计 (第 4.2.4 条第 4 款)。
	隔震支座应变/应力	振弦式应变计、光纤光栅应变计	量程: $\geq \pm 1500\mu\epsilon$ 精度: $\leq 1\%$ F.S. 分辨率: $\leq 1\mu\epsilon$	用于监测支座内部应力或关键连接构件应变, 应力由应变数据换算。
	转换梁及支墩变形	静力水准仪、位移传感器、倾角仪	静力水准精度: $\leq 0.5\text{mm}$ 倾角精度: $\leq 0.01^\circ$ 采集频率: 定期采集 (按第 5.2 节)	对应第 3.0.7 条第 3 款, 适用于特殊设防类及次生灾害影响严重的隔震建筑。
	管线柔性连接段变形	位移传感器、图像 (视频) 识别设备	位移精度: $\leq 1\text{mm}$ 图像识别精度应满足柔性连接段变形状态识别要求	对应第 3.0.7 条第 4 款; 安装于易燃易爆及有毒气体管线区域的设备应符合 GB/T 3836.1 的防爆规定 (第 4.2.4 条第 7 款)。
	隔震层温度	电阻式温度传感器、光纤光栅温度传感器	测量范围: $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 精度: $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$	对应第 3.0.8 条, 适用于超长及大跨度隔震建筑, 测点宜沿平面长向分布。
结构整体响应监测	楼层加速度	伺服式/力平衡式加速度计、MEMS 加速度计	量程: $\geq \pm 2\text{g}$ 频率范围: DC $\sim 80\text{Hz}$ 动态范围: $\geq 120\text{dB}$ 灵敏度: $\geq 2.5\text{V/g}$ 采样频率: $\geq 100\text{Hz}$	用于监测楼层地震响应及环境振动, 宜优先选用伺服式或力平衡式加速度计 (第 4.2.4 条第 1 款); 隔震层上、下部结构测点应配套布置。

监测项目	监测参数	常用传感器/设备类型	主要技术指标参考	备注
	结构层间位移角	倾角传感器、位移计阵列、视觉测量设备	量程： $\geq \pm 2^\circ$ 精度： $\leq 0.01^\circ$	
	结构应变/应力	振弦式应变计、光纤光栅应变计	量程： $\geq \pm 1500\mu\epsilon$ 精度： $\leq 1\%$ F.S.	监测关键梁、柱、剪力墙等构件，宜选用温度自补偿型（第 4.2.4 条第 3 款）。
环境与荷载监测	地震动输入（自由场或基底）	伺服式/力平衡式加速度计（强震仪）	量程： $\geq \pm 2g$ 频率范围：DC~80Hz 动态范围： $\geq 120dB$ 采样频率： $\geq 200Hz$	在建筑自由场或下部结构基底位置安装，与上部结构楼层加速度测点对应，用于输入—响应对比分析。
	环境温度	电阻式/热电偶温度传感器、光纤光栅温度传感器	测量范围： $-40^\circ C \sim +60^\circ C$ 精度： $\leq \pm 0.5^\circ C$ 传感器工作温度范围：不小于 $-40^\circ C \sim +70^\circ C$	测量范围下限按山西省极端低温条件确定（第 4.2.4 条第 8 款）。
	环境风	三维超声波风速风向仪	风速量程：0~60m/s 风向范围：0~360° 精度： $\pm 3\%$ （风速）、 $\pm 3^\circ$ （风向）	适用于高层隔震建筑。
数据采集与传输	数据采集	动态/静态数据采集仪	A/D 分辨率： ≥ 24 位 时间同步误差： $< 1ms$ 动态通道采样频率：100Hz~200Hz 可调（地震动监测 $\geq 200Hz$ ） 静态通道采集频率：按第 5.2 节确定	应具备自检、远程配置、远程重启和断点续传功能（第 4.2.5 条）。
	数据传输	工业交换机、光纤收发器、4G/5G 无线传输终端	有线传输速率： $\geq 100Mbps$ 无线传输应具备本地缓存和断点补传功能	重要监测项目宜采用光纤等有线网络作为主要传输方式（第 4.2.6 条）；穿越隔震层的线路应满足隔震层设计变形要求（第 5.3.8 条）。

- 注：1 表中技术指标为选型参考值，具体指标应根据设计文件、监测方案及本标准第 4.2 节的规定确定；罕遇地震作用下隔震层最大水平位移设计值和支座最大竖向反力设计值按现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的规定计算确定；
- 2 室外及隔震层（沟）内安装的设备防护等级不应低于 IP65，室内一般环境不宜低于 IP54（本标准第 4.1.8 条）；
- 3 涉及隔震支座等承重构件的监测设备应具备服役期量值核查条件，核查方式和周期按本标准第 4.3.6 条执行；
- 4 安装于存在易燃易爆及有毒气体管线的隔震层内的监测设备，应符合现行国家标准《爆炸性环境 第 1 部分：设备 通用要求》GB/T 3836.1 的有关规定；
- 5 表中“按第 5.2 节确定”指静态（缓变）参数的采集频率应按本标准第 5.2 节根据参数变化特征采用定期采集或事件触发加密采集方式确定。

本标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 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”；

3) 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”；

4) 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

- 《工程结构通用规范》（GB55001-2021）
- 《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）
- 《建筑与市政地基基础通用规范》（GB55003-2021）
- 《钢结构通用规范》（GB55006-2021）
- 《砌体结构通用规范》（GB55007-2021）
- 《混凝土结构通用规范》（GB55008-2021）
- 《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）
- 《建筑抗震设计标准》（GB/T50011-2010）
- 《混凝土结构设计标准》（GB/T50010-2010）
- 《钢结构设计标准》（GB50017-2017）
- 《砌体结构设计规范》（GB50003-2011）
- 《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3-2010）
- 《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）
- 《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）
- 《建筑隔震设计标准》（GB/T51408-2021）
- 《建筑消能减震技术规程》（JGJ297-2013）
- 《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）
- 《活动断层探测》（GB/T 36072-2018）
- 《工程场地地震安全性评价 》（GB17741-2005）
- 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）(2009 年版)
- 《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）

《高层建筑岩土工程勘察标准》（JGJ/T72-2017）

山西省工程建设地方标准

隔震建筑智能监测技术标准

XXX-XXXXX

条文说明

1 总 则

1.0.1 我国对隔震建筑有相应的建设法律法规和系列的规范标准，但隔震层的正常工作状态依赖于运维阶段的持续监控，目前缺少运维管理期间的监测技术规范。近年来随着高层与高耸、大跨空间、隔震等工程结构在我国不断发展，工程结构监测技术也取得了长足的进步，但缺少统一的监测技术规范。为达到有效监测的目的，满足当前工程结构监测科学研究和工程应用的需要，编制本规范。

1.0.2 本条规定了本规范的适用范围。适用范围涵盖山西省行政区域内新建的隔震建筑，包括运维管理期间的智能监测工作，以及既有隔震建筑使用期间增设监测系统的情形。对于改建和扩建工程在改、扩建范围内的隔震部分、已建隔震建筑在未改、扩建部分和增设监测系统时，也可参照本标准执行。

1.0.3 隔震建筑智能监测涉及多个专业领域，需要与建筑结构设计、施工、检测等标准相互协调配合。监测时，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 监测前应根据业主、设计、施工与监理方的要求，按结构工程的特点，明确监测的目的与要求；监测方案的制定应考虑监测目的、结构特点(新建或既有，结构形式等)，设计文件及监测要求确定监测期，结合现场及周边环境条件选择监测项目及合适的监测方法，并根据监测期、监测项目及方法选取合适的监测设备；方案中应针对不同监测项目提出具体实施措施及相应预警值。

3.0.3 监测预警是建筑实施监测的主要目的之一，是预防工程事故发生、确保结构及周边环境安全的重要措施。监测预警值是监测工作的实施前提，是监测期间对结构正常、异常和危险不同状态进行判断的重要依据，应分级制定，因此建筑监测必须确定监测预警值。

3.0.4 保护措施指根据现场情况采取的相应防风、防雨雪、防水、防雷、防尘、防晒等措施，应力传感器应避免阳光的直接照射，并宜根据现场情况在信号线外增加电气屏蔽、采取措施将导线中产生的感应电压互相抵消(条件允许可采用无线传输装置)以提高抗干扰能力。维护措施指定期对监测设备及保护措施进行检查，对监测系统进行维护，以确保监测系统的正常运行及耐久性。

3.0.5 建筑监测自立项开始即有明确的目的和功能，监测预警是监测的主要功能之一，而监测测点及传感器、电缆、采集仪、棱镜等监测设备是保证监测预警的最基本条件，因此监测期间改变或损坏监测测点、监测设备均会影响监测预警功能和安全，因此任何对监测测点、设备的改变（包括施工期间监测与运维管理期间监测）均须经监测技术单位许可，以保证监测的功能和安全。

3.0.6 监测重点是全面掌握建筑在使用阶段的结构响应和设备管线的安全状态。

监测工作程序，可按图 3.0.6 的流程实施。

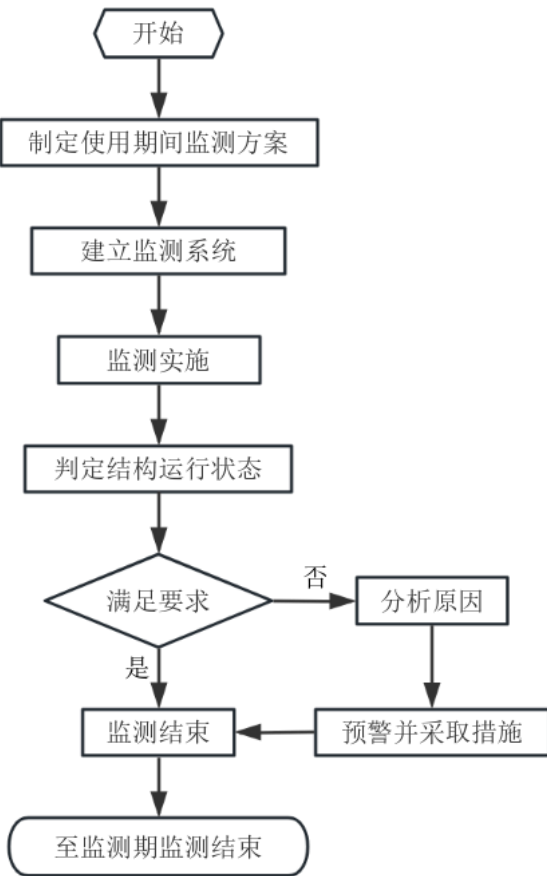


表 3.0.6 监测流程图

3.0.8 监测测点的布置是捕捉监测对象有效信息的关键环节，测点要能反映监测对象的实际状态及变化趋势。在结合结构分析结果布置测点时，宜对结构的内力分布、变形和动力特性等作全面的分析，选择结构静动力反应及变形较大的部位，并结合现场实际情况确定测点位置；测点的数量既要考虑到监测系统的可靠性，又要考虑经济性。

3.0.11 监测系统应能不间断工作，在日常维护中能保持正常运行，

支持热备份和手动故障恢复功能。具备形成监测报表功能的目的是在监测系统由监测单位交付业主自行管理后,可根据报表结果进行预警与分析。

3.0.12 运维管理期间监测一般为长期监测,甚至全寿命周期内的监测,因此定期对监测系统进行巡视检查和系统维护非常必要。监测期间,当发生强雷电、暴雨、地震等异常情况应进行巡视检查。

3.0.14 原始记录应包括对监测系统的定期巡视检查情况、对异常情况的处理记录及结果;归档应符合国家和地方相关主管部门制定的归档文件要求。

4 监测设备与系统

4.1 一般规定

4.1.1 监测系统可根据监测目的、监测项目、监测期和投资条件对结构整体或局部建立。对特殊设防类等重要隔震建筑，宜建立覆盖下部结构、隔震层和上部结构的整体监测系统；对以隔震层状态监控为主要目的的一般项目，可仅对隔震层及关键部位建立局部监测系统。设置专用监控室有利于设备集中管理、环境条件保障和值守制度落实，监控室宜靠近隔震层布置并制定相应工作制度。

4.1.2 本条规定了智能监测系统应具备的基本功能，功能排序与监测信号的实际流向一致：现场物理量经传感器感知和信号调理后，由采集设备转换为数字信号并传输至数据中心，经存储、处理后用于分析评估、预警和可视化展示。该功能链条与第 4.1.3 条的子系统划分一一对应，也与第 5 章数据管理"采集—传输—处理—存储"的环节划分相衔接。

4.1.3 本条给出了智能监测系统的典型架构，划分为传感、数据采集与传输、数据处理与控制、人机交互与预警四个子系统，与《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014 及结构健康监测领域的通行体系一致。本条用"宜"而非"应"，是考虑到随着技术发展，一体化智能传感器（传感与采集一体）、边缘计算设备（采集与处理一体）等集成化产品日益普及，系统物理构成允许合并或简化，但第 4.1.2 条规定的功能不得缺失。

4.1.4 本条为系统设计和实施的基本原则。可扩展性对隔震建筑长期监测尤为重要：监测期长达数十年，期间可能需要增补测点、更换设备或接入上级监测平台，系统架构、通道余量和通信协议均应为此预留条件，与第 5 章条文说明 5.5.11 关于预留标准化数据接口的要求相呼应。

4.1.5 本条为新增条文。监测系统的可靠性首先取决于建设主体的工程能力，隔震建筑监测涉及结构、传感、通信、软件多个专业，宜由具有类似工程经验的单位承担设计集成。要求主要监测设备具有检定或校准证书，是实现监测数据量值溯源的起点；要求设备型号、批次、安装位置信息纳入数据管理体系，是使第 4.3.2 条传感器唯一性标识、第 5.1.5 条监测数据与设备信息对应关系能够落实的前提，从而实现设备全寿命期可追溯，为数据异常排查（区分结构异常与设备故障）和设备质量责任认定提供依据。

4.1.6 统一、高精度的时间基准是多测点数据关联分析的基本前提。隔震建筑监测中，隔震层上下加速度响应对比、结构模态识别、地震事件全楼响应重构等分析均要求各通道数据严格同步，同步误差过大将直接导致相位关系失真、传递函数计算错误。时间同步误差不大于 1ms 的指标，依据现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014 附录 A.0.3 对地震动及地震响应监测记录器时间服务精度（优于 1ms）的规定确定。对结构振动主要频段（10Hz 以内）而言，1ms 同步误差引起的相位误差不超过 3.6° ，可满足模态识别精度要求。卫星授时采用全球导航卫星系统

（GNSS）的规范术语，并明确优先采用我国北斗卫星导航系统。

4.1.7 隔震建筑监测系统最关键的工作场景是地震发生时及震后，而强震发生时市电中断的概率最高，供电保障是系统震时数据获取能力的决定性因素。本条要求主要设备必须配置不间断电源

（UPS），对特殊设防类隔震建筑提出双回路供电加 UPS 的更高要求，是考虑到该类建筑（如医院、应急指挥建筑）的监测数据对震后应急决策具有直接支撑作用。

后备供电时间不少于 2h 的规定，是考虑主震及早期强余震序列的记录需求、震后系统状态自检和数据固化所需时间确定的下限值。本条同时提出"完整记录并保存地震事件全过程数据"的功能性要求，验收时应按第 4.3.9 条对断电切换和供电时长进行实测，不能仅以 UPS 标称容量作为判定依据；对通信条件差、震后抢修困难的项目，后备时间宜适当延长。

4.1.8 本条按安装环境对设备防护等级分级规定。IP65（完全防尘、防喷水）是室外长期无人值守电气设备的通行要求；隔震层多为半地下空间，具有潮湿、易积水、通风差、鼠害多发的特点，且隔震层是本标准监测设备布置最集中的部位，故与室外环境同等对待；监控室等室内受控环境下的服务器、交换机、显示设备等，市售产品防护等级普遍为 IP20~IP54，按 IP65 要求既无必要也无法执行，故规定为不宜低于 IP54。防护等级的划分和试验方法按现行国家标准《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 执行。

4.1.9 联网运行的监测系统面临网络攻击、数据篡改等安全风险，

监测数据一旦被篡改将直接影响结构安全评估结论和预警的可信性。物理安全包括监控室门禁、设备箱锁具和线缆防破坏；网络安全包括网络隔离或防火墙、访问控制、安全审计，系统等级保护定级和建设可按国家网络安全等级保护制度的有关规定执行；数据安全可参照现行国家标准《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》GB/T 37025 执行，访问权限管理按本标准第 5.5.7 条执行。

4.2 系统设计与设备选型

4.2.1 监测系统总体设计是连接监测方案与工程实施的中间环节。设计输入为第 3 章确定的监测项目（第 3.0.7 条、第 3.0.8 条）和测点布置（第 3.0.9 条），设计输出应包括系统架构、设备选型清单、测点布置图、线缆路由图、供电与防雷设计、软件功能要求等施工图设计文件，作为采购、安装和验收的依据。要求编制施工图设计文件，是为了避免监测系统建设“无图施工”、验收时无依据可查的问题。

4.2.2 本条为监测设备选择的总体规定。第 1 款强调环境适应性和震后应急工况下的工作能力：山西省地处黄土高原，气候特点是冬季严寒、昼夜温差大、春季风沙大，设备选型应覆盖当地极端气候条件；震后应急工况指强震后余震不断、供电通信不稳定的条件下设备仍需持续工作。第 3 款是量值溯源性的原则要求：长期监测数据跨越数年乃至数十年，若设备漂移得不到核查，数据的长期可比性无从谈起，涉及隔震支座等承重构件的监测数据还可能作为结构安全责任认定的证据，故要求设备具备服役期量值核查条件，具体

核查方式按第 4.3.6 条执行。第 5 款要求绘制监测设备布置图并存档，是运行维护、故障定位和后期设备更换的基础资料。

4.2.3 本条为传感器的补充规定。第 2 款推荐采用具有补偿功能的传感器：山西省年温差和日温差均较大，温度漂移是长期监测数据中最主要的系统性误差来源，具有温度补偿功能的传感器可显著提高长期数据质量；对无补偿功能的传感器，应同步布置温度测点，按第 5 章的规定在数据处理阶段消除温度效应。第 3 款所列传感器性能参数应在系统设计文件中逐项明确并作为采购和验收依据。

4.2.4 本条按传感器类型分别规定选型要求。

第 1 款，伺服式（力平衡式）加速度计具有低频性能好（可至直流）、动态范围大（可达 120dB 以上）、分辨率高的特点，能够兼顾微弱环境振动和强震动的测量，是地震响应监测的首选类型；技术指标可参照附录 A。

第 2 款，隔震层水平位移是隔震建筑最核心的监测参数，其量程规定为不小于罕遇地震作用下隔震层最大水平位移设计值的 1.2 倍，留出安全裕度的原因是：实际地震存在超越设计地震的可能，且传感器安装位置与计算位置存在偏差、支座实际刚度与设计值存在离散，若量程仅等于设计位移，强震时极易超出量程，恰好丢失最有价值的极值数据；1.2 倍的裕度与《建筑隔震设计标准》GB/T 51408-2021 中隔震缝宽度等构造要求的安全裕度思路一致。关于 GNSS 设备：实时动态（RTK）差分定位的水平精度一般为厘米级，达不到隔震层位移长期监测所需的毫米级精度，但采用静态解

算方式进行长周期缓变位移（如基础沉降、支座徐变引起的缓慢位移）监测时可达毫米级，且 GNSS 测量绝对位移、无需相对参考点、不受量程限制，故规定其宜用于长期缓变位移监测或作为强震大位移工况下的冗余测量手段，与激光、拉线式等相对式位移计形成互补。

第 4 款，隔震支座反力是判断支座受力状态和竖向荷载分布变化的直接指标。反力传感器长期承受高应力，零点漂移和蠕变是主要误差来源，故要求具备原位校准条件并考虑长期零点稳定性；采用可更换式设计是考虑到传感器使用寿命一般短于隔震支座设计使用年限，应能在不顶升更换支座的条件下更换传感器。

第 5 款为新增规定。本标准第 3.0.17 条规定隔震支座最大竖向压缩变形不应大于 5mm、60 年徐变量不应大于橡胶层总厚度的 5%，识别 5mm 量级的控制指标及其缓慢变化趋势，要求测量精度达到 0.1mm 量级，且传感器自身年漂移量应显著小于被测徐变年增量，普通位移计难以满足，选型时应重点核查长期稳定性指标，宜选用静力水准仪、高精度电感式或光栅式位移计等。

第 6 款，转换梁挠度和支墩变形（对应第 3.0.7 条第 3 款）为缓变量，静力水准仪适用于多点高差相对变化的长期自动监测，倾角仪适用于通过转角推算挠曲变形的场合。

第 7 款，存在易燃易爆气体管线的隔震层内，管线柔性连接段一旦渗漏可能形成爆炸性气体环境，普通电气设备的电火花可能成为引爆源，故安装于该区域的监测设备（含传感器、采集箱、接线盒）

必须符合现行国家标准《爆炸性环境 第 1 部分：设备 通用要求》GB/T 3836.1 的防爆要求，这是安全底线规定。

第 8 款，工作温度范围不小于 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 的规定系针对山西气候确定：晋北大同、朔州及右玉等地历史极端最低气温接近或低于 -35°C ，露天及非采暖空间安装的设备冬季实际经受温度可能低于 -30°C ，而低温恰是叠层橡胶支座刚度和阻尼特性变化最显著的工况（参见第 5 章条文说明 5.4.3），环境监测设备此时失效将丧失最有分析价值的数 据； $+70^{\circ}\text{C}$ 上限考虑夏季日照下设备箱内温升。原稿"工业级产品"无统一定义、无法检验，故改为具体指标。

4.2.5 第 1 款，24 位 A/D 转换分辨率是当前动态采集设备的主流配置，可提供理论上约 144dB 的动态范围，与伺服式加速度计 120dB 以上的动态范围相匹配，保证微振动信号不被量化噪声淹没。

第 2 款，采样定理要求采样频率不低于信号最高频率的 2 倍，但工程上考虑抗混叠滤波器过渡带和波形复原精度，通常取有效频率上限的 5~10 倍。一般建筑结构振动分析的有效频段在 20Hz 以内，故动力响应采样频率下限取 100Hz；地震动记录需覆盖更宽频段并满足强震动观测惯例，取 200Hz。位移、应变、温度、支座反力等缓变参数若按 100Hz 连续采集，将产生海量冗余数据而无分析价值，其采集频率应按第 5.2 节的规定根据参数变化特征确定（如定期采集、事件触发加密采集），本款下限不适用于此类参数。

第 3 款，远程配置、远程重启和断点续传功能可大幅降低长期监测的现场维护工作量，断点续传与第 5.3.4 条数据缓存补传要求相衔

接。

4.2.6 光纤传输具有带宽大、抗电磁干扰、耐雷击、传输距离远的优点，是重要监测项目主传输链路的首选。无线传输（4G/5G 等）建设灵活，但存在信号覆盖不稳定、灾时基站拥塞或损坏的风险，采用时应实测安装位置的信号强度，并配置本地缓存，保证通信中断期间数据不丢失、恢复后自动补传。数据传输的完整性校验、状态记录等要求按第 5.3 节执行；穿越隔震层的传输线路应按第 5.3.8 条满足隔震层设计变形要求。

4.2.7 本条对服务器和存储设备提出性能化要求。存储容量应按通道数、采样频率、监测期和事件数据余量估算并留有扩展空间；存储冗余和备份的具体实现不限定技术路线，传统磁盘阵列（RAID）、分布式存储、云存储等均可采用，数据备份策略和存储期限按第 5.5 节执行。

4.2.8 本条规定软件平台的基本功能模块。平台是使用单位接触监测系统的主要界面，其功能完整性和易用性直接决定系统的实际使用效果。本条仅规定功能构成，数据管理的具体技术要求按第 5 章执行，预警分级、阈值设定按第 6.3 节执行，报告内容和深度按第 6.4 节执行，避免跨章重复规定。报告生成功能中的"定期监测报告"的种类和周期（如月报、年报）宜在监测方案中结合项目要求约定。

4.3 监测系统安装、调试与验收

4.3.1 监测系统安装涉及在结构构件上钻孔、锚固、敷线等作业，

必须以不损伤主体结构和隔震部件为前提。隔震部件（隔震支座、阻尼装置、柔性连接等）是隔震建筑的功能核心，其橡胶保护层、连接板和预埋件对局部损伤敏感，安装作业应特别注意保护，具体禁止性要求见第 4.3.3 条。

4.3.2 第 2 款，传感器与结构之间的耦合状态直接影响测量的真实性：加速度计安装联结刚度不足会引入安装谐振、造成高频段测量失真；位移计基座松动会将安装变形混入结构变形。第 3 款唯一性标识与第 4.1.5 条设备信息管理、第 5.1.5 条数据对应关系共同构成设备—数据的追溯链条。第 4 款针对隔震层环境特点强调防鼠咬：隔震层线缆密集且鼠害多发，线缆破坏是长期监测系统最常见的故障原因之一，穿管敷设和接头密封是最经济有效的防护手段。第 5 款防护装置指传感器保护罩、设备箱等，其强度和耐久性应与监测期相适应。

4.3.3 本条规定安装方式的选择原则和禁止性边界。不同设备的适宜安装方式差异很大：加速度计可采用螺栓、粘贴或专用底座安装，位移计支架可采用膨胀螺栓或化学锚栓，应变计可采用焊接（钢结构）、粘贴或预埋（混凝土结构）方式，条文不限定具体方式，由设计按设备类型和结构条件确定。禁止在隔震支座连接板及预埋件上施焊，是因为焊接高温会损伤支座橡胶及橡胶与钢板的粘结界面，且可能改变连接板和预埋件的受力状态，对隔震支座这一关键受力部件构成不可逆损伤；在混凝土受力构件上锚固时应避开主筋并控制钻孔深度。

4.3.4 第 1 款电磁环境要求按现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》GB 50311 执行，监测信号多为毫伏级弱信号，与强电磁干扰源保持距离是保证信噪比的基本措施。第 3 款，GNSS 测量要求测站上空开阔，高度角 15° 以上范围内的成片遮挡会减少可视卫星数并加剧多路径效应，显著降低定位精度，天线位置应在系统设计阶段实地踏勘确定。

4.3.5 第 1 款，零平衡处理是建立测量基准的必要步骤，应变计、位移计等相对式传感器的初始读数应与第 5.2.3 条规定的监测初始状态建立同步对应关系。第 2 款，干扰信号检查宜先排除设备自身因素，再对现场信号进行时频分析确定干扰特征和来源，采取屏蔽、接地改善或数字滤波等措施处理，具体方法可参照第 3 章条文说明的有关内容。第 4 款，延续施工期间监测数据可保留结构从施工到运维的完整状态演变过程，运维监测系统接替施工监测系统时应进行数据衔接比对，鉴别因设备、测点变化引起的系统性偏差。

4.3.6 本条建立了兼顾计量规范性与工程可操作性的量值核查体系。长期监测中传感器漂移不可避免，若无定期核查，数据的长期可信性无从保证；但埋入式应变计、支座反力传感器等安装后无法拆卸送检，传统的周期检定方式不可行。为此本条区分两类设备：可拆卸设备（如部分加速度计、环境传感器）宜按计量规程送检；不可拆卸设备采用工程替代方法核查，包括：与经检定合格的参考仪器现场同点比对（如便携式标准位移计与在线位移计比测）、同类多传感器互校（利用测点布置的冗余性交叉验证）、环境激励响

应一致性检验（利用环境振动下结构响应的统计规律性检验传感器灵敏度漂移）。核查周期不宜超过一年，与设备年漂移特性和年度监测数据分析（第 6.1.1 条）的周期相匹配，具体应在监测方案中按设备类型明确。

4.3.7 试运行是检验系统在真实运行条件下综合性能的必要环节，应作为验收的前置条件。试运行时间不少于 1 个月的规定，是考虑 72 小时量级的短期试运行难以暴露以下问题：温度日周期和天气过程引起的测量漂移与设备工作稳定性问题、通信链路的偶发中断与数据补传机制的有效性、UPS 及供电切换的可靠性、软件平台长时间运行的稳定性；1 个月大体覆盖一个完整的数据采集、远程巡检和报表生成周期，可对系统各环节进行一次完整考核。试运行期间的数据完整率宜作为量化考核指标，建议不低于 95%，具体可在监测方案中约定。

4.3.8 监测系统的设计集成单位、施工安装单位与主体工程的设计、施工单位通常不是同一主体，本条明确了验收的组织者和参加单位。运维（使用）单位是系统的长期使用者和维护责任主体，其参加验收并同步接受操作培训，是系统交付后能够正常运行的重要保障。传感器精度考核等专业性较强的验收内容，可委托具有相应检测能力和计量资质的第三方机构实施，以保证验收结论的公正性。

4.3.9 本条规定验收的五项内容，涵盖资料、硬件、软件和运行表现。第 3 款功能测试中，预警与报警功能应采用模拟信号或人工设

置阈值的方式实际触发检验，不得仅作界面演示；后备电源测试应实际切断主电源计时验证。第 4 款性能考核宜对关键测点传感器（隔震层位移、支座反力、地震动监测通道）全数或抽样进行现场比对，抽样时比例不宜低于同类传感器数量的 10%且不应少于 3 只。第 5 款将试运行结果核查纳入验收，与第 4.3.7 条形成闭环。

4.4 运行维护

4.4.1 隔震建筑监测期长达数十年，"重建设、轻维护"是监测系统失效的最主要原因。本条要求建立长期运行维护管理制度，明确管理机构、责任人员和经费保障。监测系统由监测实施单位交付建设（使用）单位自行管理的，交接时应完成操作培训和技术资料移交，并宜签订运行维护技术服务协议。

4.4.2 本条列出运行维护的五项基本内容。将软件升级与网络安全维护单独列为一项，是考虑到长期联网运行的监测系统若不持续进行安全维护，第 4.1.9 条建立的安全保障措施将随时间推移逐步失效；软件升级前应做好数据备份，升级后应验证系统功能和历史数据完整性。

4.4.3 日常巡检以软件平台远程检查为主，工作量小、时效性强，每周一次是保证故障能在一周内被发现的最低要求，有条件时宜通过平台自动巡检和故障自动告警实现每日检查。强雷电、暴雨、大风等异常天气可能造成设备进水、雷击损坏、天线移位等问题，且部分损坏（如防护罩破损）无法通过远程数据发现，故要求异常天气后增加现场巡视，与第 3.0.15 条的规定相衔接。

4.4.4 定期保养每半年一次的周期，考虑了与冬夏极端气候前的设备状态检查相结合，宜安排在春、秋季进行。第 3 款，UPS 蓄电池容量随使用年限显著衰减，充放电测试是检验实际后备能力的唯一可靠手段，电池一般 3~5 年即需更换，不能以设备通电指示正常代替容量测试。第 5 款传感器量值核查按第 4.3.6 条执行。第 6 款网络安全维护包括账号权限复核（人员变动后及时收回权限）、操作系统和软件安全补丁更新、数据访问和操作日志核查，落实第 4.1.9 条和第 5.5.7 条的要求。

4.4.5 本条为新增条文。隔震建筑监测的核心价值在地震发生时和震后体现：第 6.2.5 条要求震后检查监测数据和监测系统工作状态，第 5.2.11 条要求震后提高采集频率，这些要求均以监测系统震后仍然可用为前提。地震可能造成传感器移位或损坏、隔震层大变形拉断线缆、供电通信中断等叠加故障，若不及时检查修复，系统将在余震监测和震后评估最需要数据的时段失效。专项检查应在主震后立即启动，优先核查地震事件数据是否完整记录并及时导出固化，再逐项核查传感器、线缆、供电和通信状态；对暂时无法修复的关键测点，可按第 5 章有关应急预案的要求采用便携设备人工补测。系统检查和恢复情况记入运行维护档案并提交结构状态评估使用，是判断震后监测数据可信性的必要信息。

4.4.6 故障处理记录是分析系统薄弱环节、改进维护策略的基础资料。设备更换后重新建立监测状态基准的要求（按第 5.2.4 条执行），是因为不同个体传感器的灵敏度、零点存在差异，安装状态

也不可能与原设备完全一致，若不重建基准并做好新旧数据衔接标注，更换前后的数据将失去可比性，长期趋势分析可能得出错误结论。

4.4.7 运行维护档案是监测系统全寿命期管理的载体，也是监测数据可信性的佐证材料。档案内容应与第 4.4.2 条维护内容对应，归档应符合国家和地方档案管理的有关规定，档案保存期限宜与监测数据存储期限相协调。

5 监测数据管理

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了隔震建筑监测数据管理的主要内容。监测数据管理贯穿监测系统运行全过程，包括数据采集、传输、处理、存储及应用等环节，是保证监测数据有效利用的基础。

5.1.2 隔震建筑监测的主要目的是掌握隔震系统工作状态及功能有效性。与传统结构健康监测不同，隔震建筑监测重点关注隔震层、隔震支座及相关连接部件的状态变化，因此监测数据管理应结合隔震系统运行维护和震后检查需求确定。

5.1.3 监测数据在采集、传输、处理和存储过程中可能受到设备性能、通信状态及数据处理方式等因素影响。本条规定数据管理全过程应保证数据真实性、完整性、准确性和可追溯性，为后续数据应用提供可靠基础。

5.1.4 隔震建筑监测数据具有不同的数据特征。隔震层位移、支座变形等数据主要反映隔震系统长期状态变化；加速度等动力响应数据主要用于地震或其他动力事件记录；人工检查数据主要用于现场复核。因此，本条提出监测数据分类管理要求，以适应不同类型数据的管理需求。

5.1.5 监测数据需要与工程信息、监测对象和测点信息建立对应关系，才能实现不同测点、不同时间的数据查询和关联分析。本条规定统一数据编码和时间基准要求，为监测数据管理和应用提供基础条件。

5.1.6 监测数据异常可能由结构状态变化、设备故障或通信异常等因素引起。未经质量检查的数据可能导致误判，因此，本条规定监测数

据应用前应进行质量检查。

5.2 数据采集

5.2.1 监测参数具有不同的变化规律和应用目的，数据采集方案应根据监测对象特点、设备性能和数据应用需求确定，避免采用统一的数据采集模式。

5.2.2 本条规定监测数据采集的基本要求。监测参数应与监测对象和测点布置相对应，同时应记录必要的标识信息，以保证监测数据的完整性和可追溯性。

5.2.3 隔震系统初始状态是判断后续状态变化的重要基准。隔震建筑投入使用前建立初始状态数据，有利于识别隔震支座、隔震层及相关连接部件长期运行过程中的变化情况。

5.2.4 监测设备更换、测点调整或隔震系统维修可能导致监测基准发生变化，因此需要根据实际情况重新建立监测状态基准，以保证监测数据连续性。

5.2.5 隔震建筑监测数据来源包括自动监测和人工检查复核。自动采集适用于长期状态跟踪，人工采集可用于设备校核、异常复核及震后专项检查，因此本条规定可采用多种采集方式相结合。

5.2.6 隔震层位移、支座变形、支座反力和柔性连接状态等参数主要反映隔震系统长期工作状态，其变化过程相对缓慢，通常无需采用高频连续采集方式。因此，本条提出宜采用定期采集方式。

5.2.7 加速度等动力响应数据主要用于记录地震或其他动力事件作用下的结构响应。考虑到常态运行期间连续高频采集会产生大量数据，而对隔震功能判断贡献有限，因此规定宜采用事件触发采集方式。对于确有连续监测需求的情况，应明确采集频率、数据存储方式和应用目的。

5.2.8 动力事件数据具有不可重复性，是震后检查和分析的重要依据。因此，应记录事件发生时间、触发条件以及相关测点响应数据，保证事件过程完整。

5.2.9~5.2.11 不同监测参数变化规律存在差异，采集频率应根据参数特点确定。隔震系统正常运行阶段可采用满足长期变化识别要求的采集频率；当出现异常变化、地震作用或其他特殊情况时，应根据需要调整采集频率。

5.2.12 隔震建筑监测通常涉及多个测点和多类监测参数，不同数据之间需要进行关联分析。因此，本条提出统一时间基准和数据同步要求。

5.2.13 监测数据采集过程中可能出现设备故障、通信异常或数据缺失等情况。及时记录异常状态并采取恢复措施，有利于保证监测数据连续性。

5.3 数据传输

5.3.1 不同监测参数的数据量、更新频率和应用需求存在差异，因此数据传输方式应根据实际情况确定。

5.3.2 数据传输过程中应保持数据内容、测点信息和时间信息完整，避免因传输过程造成数据失真。

5.3.3 异常识别和事件记录数据具有一定时效要求，应保证相关数据能够及时传输，以满足运行维护和震后检查需求。

5.3.4 监测系统运行过程中可能出现通信中断情况。设置数据缓存和补传功能，可以避免通信异常导致的数据丢失。

5.3.5 数据传输过程中可能出现数据缺失、重复或异常等情况，因此需要通过完整性校验保证数据可靠性。

5.3.6 记录数据传输状态有助于判断数据异常原因，为监测系统运行

维护提供依据。

5.3.7 不同设备采集的数据需要进行综合分析时，统一时间基准是保证数据关联性的基础。

5.3.8 隔震层在地震作用下可能产生较大水平变形，穿越隔震层的监测线路应具有相应变形适应能力，避免影响隔震系统正常工作。

5.4 数据处理与质量控制

5.4.1 监测数据处理的目的在于保证数据质量并提取满足运行维护需求的信息。本条规定数据处理与质量控制的主要内容。

5.4.2 监测数据来源多样，不同设备和不同阶段的数据可能存在格式、单位和编号差异，因此需要进行统一整理。同时，应保留原始数据，保证数据可追溯。

5.4.3 监测数据可能受到设备状态、通信条件和外部干扰影响。本条规定数据质量检查内容，以识别可能影响数据应用的异常情况。

5.4.4 对数据质量检查结果进行标识，有利于区分有效数据和异常数据，避免异常数据直接进入后续分析。

5.4.5~5.4.6 监测数据异常可能由多种因素引起，不能仅依据单个测点数据进行判断。因此，应结合设备状态、相关测点数据和现场检查结果综合分析，并保留异常数据处理记录。

5.4.7~5.4.9 特征参数能够更加直观地反映监测数据变化规律。例如，隔震层位移、支座变形等数据可提取最大值和变化趋势，动力响应数据可提取事件时间、峰值和响应特征，为运行维护和震后检查提供数据依据。本条不限定具体分析方法。

5.5 数据存储与管理

5.5.1 监测数据包括原始采集数据、处理结果以及事件数据等多种类

型。分类存储并建立数据关联关系，有利于数据查询、分析和追溯。

5.5.2 原始监测数据是后续复核和分析的重要依据，处理结果不能替代原始数据。因此，应保留原始监测数据。

5.5.3 隔震层位移、支座变形和柔性连接状态等数据主要用于长期运行状态分析，应按照测点和时间顺序存储，以便开展变化趋势分析。

5.5.4 动力响应数据通常对应特定事件，其数据特征与长期监测数据不同。因此，应按照事件进行归档，并保存相关事件信息。

5.5.6 监测数据需要服务于运行维护和震后检查，因此应具备查询和追溯功能。

6 结构状态评估与监测报告

6.1 一般规定

6.1.1 监测数据分析是日常运行的第一道防线，适合作为常规预警机制；安全状态评估是在监测数据触发异常或遇到特定情形时启动的评估，评估工作应在获取可信监测数据的基础上进行。

6.1.2~6.1.3 结构整体响应异常可包括以下情况：变形大于或等于设计值；梁端位移达到变形缝设计值的 80%或者梁端位移最大值达到设计值；基础出现严重沉降或位移，达到或超出设计值；结构频率明显降低。

荷载作用超过设计值可包括以下情况：荷载水平超过设计值；最高温度、最低温度、最大温差和最大温度梯度超过设计值。

6.2 结构状态评估

6.2.1 利用结构动力特性进行安全一级评估符合下列规定：

- 1 应基于监测的加速度，采用模态分析获取结构动力特性；
- 2 获取的结构动力特性宜与设计值进行对比；
- 3 监测获取的桥梁结构自振频率与设计理论计算频率的比值大于或等于 1，判定结构处于正常状态；否则，判定结构状态异常。

6.3 预警

6.3.2 预警系统应服务于监测系统建设单位或日常管理与运营维护部门，具备安全状态实时预警、自动处理预警信息功能，可以根据需要将各种预警信息及时通知相关人员采取措施，并报送上级部门和有关单位。

6.3.3 预警阈值可以结合施工过程设计值、规范限定值以及材料强度

允许值等确定，建议对监测项目各参数设置相应的限值要求和不同危急程度的预警值；预警阈值可以根据结构性能，结合设计值、规范限定值、材料强度允许值、长期数据积累等，提出与结构安全性、适用性和耐久性相应的限值要求和不同危急程度的预警值。

可以通过对监测数据进行处理获得预警阈值，监测数据建议从服役期满一年且结构未见异常的连续监测数据中获取。由于大跨度钢结构属于一种典型的时变结构，在其长期服役过程中，其性能具有明显的时变特征，因此，随着结构运营年限的增加，预警阈值应根据环境变化、结构状态、认知深入而不断补充、修正和优化，使其更加合理。

本条所述的“定期”建议至少为一年。

本条所述的监测数据“分布均值”和“标准差”可采用移动窗策略选取近期一段时间内的监测数据进行直接统计，也可通过贝叶斯推断方法进行实时估计。当监测数据中环境作用引起的趋势项较明显时，应以去除趋势项后的数据为对象，设定相应的预警阈值并进行预警判断。

6.3.6 相对位移或变形超出 $\mu \pm 3.5 \sigma$ 范围的概率约为 0.0465%，相对位移或变形超出 $\mu \pm 4.5 \sigma$ 范围的概率约为 $6.79 \times 10^{-4}\%$ 。

6.4 监测报告

6.4.1 为监测评估报告应具备的基本内容，除此以外，根据报告类型的不同，宜补充相应内容，如：状态评估或专项评估报告中宜说明触发状态评估或专项评估的异常情况。

工程概况可将结构原始设计资料以附件形式附于报告中，结构历史情况包括结构曾经历的重大事故、重大灾害和大修等。

6.4.3~6.4.7 对于由某些突发事件（如撞击、火灾等）引起的专项评

估报告，如有影像记录资料，可将其以附件形式附于报告中。