

ICS 91.08.040

P 25

备案号: ***

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB32/T 3562—2019

桥梁结构健康监测系统设计规范

Design Code for Bridge Structural Health Monitoring System

2019 - 04 - 08 发布

2019 - 04 - 30 实施

江苏省市场监督管理局

发 布

目录

前 言 II

1 范围 1

2 术语和定义 1

3 总体要求 2

4 传感器子系统设计 3

5 数据采集与传输子系统设计 5

6 数据存储与处理子系统设计 8

7 数据预警与结构评估子系统设计 9

条文说明 11

1 范围 11

2 术语和定义 11

3 总体要求 11

4 传感器子系统设计 11

5. 数据通信与传输子系统设计 12

6. 数据存储与处理子系统设计 13

7. 数据预警与结构评估子系统 13

前 言

本标准按GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由江苏省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：江苏交通控股有限公司、苏交科集团股份有限公司、东南大学、江苏省长大桥梁健康监测数据中心。

本标准主要起草人：吴智深、张宇峰、吴赞平、孙震、彭家意、杨超、王浩、假冬冬、 张建、王友高、徐一超、赵亮、王路、欧阳歆泓、郭俊、徐嵩。

桥梁结构健康监测系统设计规范

1 范围

1.0.1 本规范规定了桥梁结构健康监测系统的设计要求，以提高设计质量，保障桥梁服役期的健康与安全，有效指导桥梁养护管理。

1.0.2 本标准适用于新建或在役的大跨径斜拉桥、悬索桥、拱桥、以及梁桥。

1.0.3 引用标准名录

GB 50139-2014 《内河通航标准》

GB/T 5083 《公路工程结构可靠度设计统一标准》

GB/T 17955 《桥梁球形支座》

GB/T 21296 《动态公路车辆自动衡器》

CJJ 11 《城市桥梁设计规范》

JT/T 1037-2016 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》

JT/T 391 《公路桥梁盆式支座》

JT/T 4 《公路桥梁板式橡胶支座》

JTGD60 《公路桥涵设计通用规范》

JTG D60-01 《公路桥梁抗风设计规范》

JTG/T D65-01 《公路斜拉桥设计细则》

EIA/TIA-568A 《商用建筑线缆标准》

DB32/T 2880-2016《基于分布式长标距光纤传感的桥梁结构健康监测系统设计施工规范》

T/CECS 505-2018 《光纤光栅结构振动检测与监测标准》

2 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

2.0.1 结构健康监测系统 Structural health monitoring system

一种集传感、数据采集与传输、结构状态参数与损伤识别、性能评估与预测技术为一体的自动化、信息化监测系统，主要由传感器及采集仪器设备等硬件系统和数据分析及结构分析等软件系统构成，通过对结构进行连续性（包括实时或不同频度）测试，实现对结构当前及未来服役状况及潜在风险进行分析和评估。

2.0.2 环境监测类参数 environmental parameters

桥梁所在区域的自然环境参数，如温度、风、湿度等。

2.0.3 外部荷载类参数 load parameters

桥梁受到的车辆荷载、地震作用、基础冲刷等荷载。

2.0.4 结构响应类参数 structural response

桥梁结构的应变、位移、加速度以及腐蚀、裂缝等响应参数。

2.0.5 模态识别 mode identification

桥梁结构的频率、振型等参数的识别。

2.0.6 损伤识别 damage identification

利用结构的响应数据来分析结构物理参数的变化，进而识别结构的损伤的过程。

2.0.7 平稳信号 Stationary signal

统计特性不随时间变化的信号。

2.0.8 模拟信号 Analog signal

模拟信号是指信息参数连续变化的信号。

2.0.9 数字信号 Digital signal

数字信号是自变量因变量为离散的信号。

2.0.10 预警 warning

在危险发生之前，根据结构监测、损伤诊断和安全评定结果，向相关部门发出紧急信号的过程。

2.0.11 评估 evaluation

确定结构实际性能的过程。

3 总体要求

3.1 一般规定

3.1.1 新建桥梁结构健康监测系统设计宜和桥梁主体结构的施工图设计同步进行。在役桥梁健康监测系统设计宜结合结构设计文件及现场调查进行。

3.1.2 桥梁结构健康监测系统设计应考虑与桥梁养护管理系统的良好衔接，并应兼顾考虑与桥梁施工监控、成桥荷载试验等的关联性。

3.1.3 系统建设原则

实用性原则：保证系统在桥梁服役环境下安全实用，各测点的布设应有明确目的性；

可靠性原则：保证系统在桥梁服役环境下可靠运行；

耐久性原则：应优先选用满足要求的抗干扰强的传感器和传输方式；

可维护原则：传感器应易于维护和更换并应采取合适方式进行数据接力；

可扩展原则：系统应具适当的扩展性，方便在后期根据需求增加监测内容。

3.1.4 桥梁结构健康监测系统的设计，除执行本规范外，尚应符合国家及行业现行相关标准的规定。

3.2 系统框架

3.2.1 桥梁结构健康监测系统主要由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据存储与处理子系统、数据预警与结构评估子系统所构成，并通过系统集成技术将上述子系统的软、硬件整合为协调运行的监测系统。

- 3.2.2 传感器子系统由针对环境监测、外部荷载监测与结构响应监测三类指标的传感器组成，应能实现桥梁环境参数、外部荷载及结构各类响应的数据获取功能。
- 3.2.3 数据采集与传输子系统由采集设备、传输设备及软件模块组成，应能实现多种类传感器的数据同步采集与传输功能，以保证数据质量。
- 3.2.4 数据存储与处理子系统由数据预处理、中心数据库、数据管理软件及硬件组成，应能实现桥梁监测信息的归档、查询、存储、管理等功能。
- 3.2.5 数据预警与结构评估子系统应具备实时数据在线显示和预警功能，荷载与环境预警和评估，结构安全预警和评估功能。

4 传感器子系统设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 应选用技术成熟、耐久性好、抗干扰性强、便于安装、维护和更换的传感器。
- 4.1.2 结构健康监测的传感器可分为环境监测、外部荷载和结构响应三类。环境监测类包括温度、湿度、风速风向等，外部荷载类包括地震作用、基础冲刷以及车辆荷载等，结构响应类包括应变、位移、加速度以及腐蚀、裂缝等。
- 4.1.3 传感器布置应按以下原则：宜在结构响应最不利处、易损伤处或已损伤处布置；布点宜结合结构分析确定；测得的数据应能充分并准确地反映结构的静、动力特性；可合理利用结构的对称性原则，达到减少传感器的目的。

4.2 传感器分类及布点要求

- 4.2.1 根据桥梁规模、受力特点、复杂性和重要性等，宜按照表 4.2.1 合理选择监测指标与传感器。
- 4.2.2 梁桥的监测内容宜选择桥面温度、主梁挠度、主梁应变、梁端位移等。
- 4.2.3 拱桥的监测内容宜包括桥面温度、主梁挠度、主梁应变、梁端位移、车辆荷载、拱顶偏位、拱脚移位、吊杆索力等。
- 4.2.4 斜拉桥的监测内容宜包括风荷载、地震作用、桥面温度、主梁挠度、主梁振动加速度、主梁应变、梁端位移、车辆荷载、斜拉索索力等。
- 4.2.5 悬索桥的监测内容宜包括风荷载、地震作用、桥面温度、主梁挠度、主梁振动加速度、主梁应变、梁端位移、车辆荷载、吊索索力等。

表 4.2.1 监测指标与传感器类型

监测指标		传感器类型
环境监测类	风荷载	风速仪、风压计
	温度	温度传感器
	湿度	湿度传感器
	雨量	雨量传感器
外部荷载类	地震	加速度传感器
	车辆	动态称重仪、视频摄像头、流量计
	船撞	加速度传感器、倾角仪、位移计
结构响应类	振动	加速度传感器、速度传感器、长标距光纤光栅传感器
	变形	GPS、倾角仪、压力变送器、长标距光纤光栅传感器
	应变	振弦式应变传感器、光纤光栅应变传感器、焊接式电阻应变

		传感器
	索力	加速度传感器、磁通量传感器、锚索计、长标距光纤光栅传感器
	断丝	声发射传感器
	裂缝	裂缝观测传感器、长标距光纤光栅传感器、导电涂料传感器
	腐蚀	腐蚀传感器、长标距光纤光栅传感器
	疲劳	应变传感器

4.3 传感器性能参数要求

4.3.1 传感器性能应满足量程、采样频率、分辨率、灵敏度、使用环境和寿命的要求。

4.4 环境监测类传感器选择及安装要求

4.4.1 风荷载监测宜采用三向超声风速仪或机械式风速仪，且应符合下列规定：

- 处于台风区域的桥梁和跨度较大的桥梁，宜选择三向超声风速仪；
- 风速仪量程应大于根据设计风速换算的安装位置的风速；
- 风速仪宜在桥面梁侧和塔顶布设，安装位置应使其能够监测自由场风速；
- 风速仪风向监测精度不宜低于 1° ，风向分辨率不宜低于 0.1° 。风速检测精度不宜低于 0.3m/s ，风速分辨率不宜低于 0.1m/s 。
- 风速仪宜安装在专用钢结构支架上，且安全得到保证。

4.4.2 温度监测应符合下列规定：

- 温度传感器应根据截面温度梯度及结构体系整体升、降温和空间分布，通过有限元模拟或参考相关桥梁设计规范确定布设位置；
- 应在主梁跨中截面、桥塔、拱圈等关键构件布设温度传感器，测量温度场；
- 温度传感器的布设位置应避免太阳直射和传感器直接受力部位；
- 温度传感器的布设位置宜与施工监控、应变温度补偿传感器共享；
- 温度传感器的监测精度不宜低于 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，测量分辨率不宜低于 0.1°C ；
- 温度监测宜选择热电偶温度传感器、热电阻温度传感器或光纤光栅温度传感器，设备类型的选择应考虑监测构件、部位的特殊性、以及应变传感器的选型后综合确定。

4.4.3 湿度监测应符合下列规定：

- 桥梁湿度检测器宜布设在结构内外湿度变化较大和对湿度敏感的构件内外部；
- 大型桥梁关键钢构件上应布设湿度监测点。对斜拉桥，宜在斜拉索的锚头、箱梁内外布设；对悬索桥，宜在箱梁内外布设；
- 湿度计监测范围宜选择 $0\sim 100\text{RH}$ ；湿度监测精度不宜低于 3RH ；
- 湿度传感器宜选择毛发湿度计、干湿球湿度计、氯化锂湿度计、电阻电容湿度计、电解湿度计，也可选择其他可靠的湿度计；应考虑监测构件、部位的特殊性后综合选择，且应固定在结构构件内外表面。

4.5 外部荷载类传感器选择及安装要求

4.5.1 地震监测宜采用强震动记录仪或三向加速度传感器监测，对于连续长度大于 800m 桥梁，宜考虑地面运动的非一致性，在梁侧桥墩底部各设一套传感器。

4.5.2 车辆荷载监测宜采用动态称重设备，传感器宜布设于有稳定支撑的混凝土铺装层内，宜覆盖所有车道。且应符合以下规定：

- 动态称重传感器的设备技术参数和安装方法应符合 GB/T 21296 《动态公路车辆自动衡器》的相关规定；

b) 量程应不小于限载车辆轴重的 200%;

c) 应具备数据自动采集功能, 现场存储能力不少于 7 天。

4.5.3 船撞荷载监测分为桥墩和主梁监测, 桥墩监测宜采用加速度传感器监测, 主梁监测宜采用拉绳式位移计监测, 测点宜选择易受船舶撞击的位置。

4.6 结构响应监测类传感器要求

4.6.1 加速度传感器布置

(1) 加速度传感器的布点设置应依据桥梁结构动力计算结果, 考虑振型的特点以及所需要监测的振型数量综合确定; 测点传感器宜布设在所测结构振型振幅最大和较大的部位, 并应避免节点位置。

(2) 对于基频较低的大跨度桥梁结构振动监测, 应选用低频动态频响较好的力平衡式或电容式加速度传感器;

(3) 对于自振频率较高的中小跨度桥梁结构或斜拉索、吊杆、吊索等钢构件, 宜选用力平衡式或电容式加速度传感器, 亦可选用压电式加速度传感器。

4.6.2 腐蚀监测传感器布置

腐蚀监测传感器测定的电流或电位差应能判别钢筋混凝土的腐蚀进程, 并应选择与桥梁结构钢筋及保护层匹配的安装方式。

4.6.3 应变传感器布置

(1) 测量应变的传感器主要分为: 电阻应变计、振弦式应变计、光纤光栅应变计, 宜根据监测目的及要求选用。

(2) 应变传感器的选择应充分考虑测量结构在制作、养护、施工及服役阶段的环境条件。对于监测长期处于潮湿、易腐蚀及高电磁干扰的结构应变时, 宜优先采用光纤光栅应变计; 对于需要监测动荷载作用下的结构应变时, 宜采用电阻应变计或光纤光栅应变计。

(3) 不同材质的电阻应变计应使用不同的粘贴剂。在选用粘贴剂和导线时, 应充分考虑监测对象在制作、养护和施工工程中的环境条件。

(4) 振弦式应变计应按被测对象规格大小选择。仪器的可测频率范围应大于被测对象在最大加载时的频率的 1.2 倍。使用前应对振弦式应变计逐个标定, 得出应变与频率之间的关系。

(5) 结构健康监测所用的光纤光栅传感器的性能参数应遵循以下条件: 光纤光栅进行退火处理, 以保证其长期稳定性; 光纤光栅反射光 3dB 带宽低于 0.25nm; 光纤光栅反射率大于 90%; 边模抑制比应高于 15dB; 对于 0.25nm 的带宽, 推荐光纤光栅的物理长度为 10mm; 光纤光栅阵列波长间隔大于 3nm; 厂商所标出的传感器中心波长不超过 ± 0.5 nm 的误差。

4.6.4 索力监测应根据被测索结构的测量要求和安装测试技术条件综合比对选择采用压力传感器、磁通量传感器、振动法加速度传感器或光纤光栅应变传感器。

4.6.5 振动监测的长标距光纤光栅传感器选型应符合下列要求。

(1) 使用的长标距光纤光栅传感器测量频率不小于 100Hz, 分辨率不小于 0.002g。

(2) 最优布设于满足结构损伤识别与模态识别要求的测点, 对于有振型测量要求的构件的测点数目不宜少于五处。

5 数据采集与传输子系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 数据采集应包括数据采集硬件、软件和数据采集制度的设计。

5.1.2 数据采集的硬件选型、软件预处理和数据传输软硬件设计与选型应保证及时获得数据; 采集及传输硬件设备的耐久性和技术指标应满足国家相关规范、标准的要求。

- 5.1.3 数据采集制度的设计应包括数据采集模式、触发阈值、频次和采样频率的设定。
- 5.1.4 数据传输硬件应能保证安全监测系统各部分之间的物理连接,提供 2 倍以上传输带宽并留有冗余。
- 5.1.5 数据传输软件应能保证监测数据在各子系统和相应的通讯协议之间的无障碍传输。
- 5.1.6 数据采集和传输系统应满足在无人值守的情况下能够连续运行,满足长期稳定工作的要求。

5.2 数据采集方式

5.2.1 应根据桥梁的规模、测点位置和数量、监测设备类型,合理设计数据采集方式。测点及监测设备较多且监测部位距离较远且相对分散的桥梁宜采用分布式或总体分布式、局部集中式的混合方式进行数据采集;测点及监测设备较少且监测部位集中的桥梁,宜采用集中式数据采集。

5.3 数据采集设备选型

5.3.1 应根据传感器类型、信号传输方式、信号调理设备类型以及供电需求等条件进行数据采集设备的选型:

模拟电压信号宜采用集中式的基于 PCI、PXI、和 USB 接口的数据采集板卡,需根据输入范围、总采样频率、采样通道、分辨率、精度与数据传输率选型;

外场数字采集宜采用 CAN、LonWorks、PCMCIA、IEEE1384 等总线设备,需根据采样频率、数据传输率、传输距离与接口标准选型;

数据采集设备的模拟输入分辨率应满足监测数据的分辨率要求,且不应低于 16 位。

5.3.2 应根据传感器信号类型选择合适的信号调理设备或配套的采集设备,并应考虑与后续数据传输与管理的接口兼容。

电荷传感器的输出信号和长距离传输的模拟电压信号应选用电压放大器进行信号调理;

动态信号应选用抗混滤波器进行滤波和去噪;

所有电信号应使用带有信号隔离功能的数据采集设备以消除自然干扰以及其他不明脉冲干扰;

多个静态物理量可使用多路模拟开关进行采集实现多路巡回检测。

5.3.3 宜选择具有自校准功能的数据采集硬件;对于无自校准功能的数据采集硬件应根据设备说明定期进行外校准。

5.3.4 数据采集设备应考虑抗干扰措施,包括串模干扰抑制、共模干扰抑制以及接地技术、屏蔽技术,以提高信噪比。

5.3.5 数据采集上位机应采用防护措施,保证在高低温、冲击、振动、电磁干扰、潮湿和盐雾等恶劣环境中正常工作。

5.3.6 集中式的数据采集设备与数据采集上位机应置于采集站内,数据采集站的位置应保证数据采集设备所接收到的模拟信号的质量。数据采集站与传感器的最远距离应根据传感器信号衰减传输性能确定。如超过该距离需设置多个数据采集站,多个数据采集站之间的数据采集应同步。

5.4 数据采集模式

5.4.1 应根据不同的结构桥梁监测功能需求、监测变量类型、系统处理能力、储蓄能力设计制定合适的数据采集模式。

5.4.2 桥梁运行初期 3 年内或桥梁一级评估结果发现了结构关键构件异常时应采取连续采样。

5.4.3 除上述情况外，环境作用中的风速、温度、湿度、雨量，结构响应中的静态位移、静态索力、支座反力、腐蚀、冲刷、加速度和动态位移、应变等变量，应定时采样。

5.4.4 外部荷载的车辆荷载、地震作用，宜采用触发采样，触发阈值（绝对值）应根据桥型和桥梁受力特点确定。

5.4.5 宜采用连续采集制度，每季度进行数据分析后，采集站宜仅存储特定一段时间的数据和典型事件的数据。

5.5 信号采样频率及同步性

5.5.1 应根据所监测变量随时间变化特性确定采用频率，动态信号应满足采样定理，且不应低于如下规定：

车辆荷载与环境：

- 1) 车辆荷载：车经过触发；
- 2) 船撞加速度：50 Hz；
- 3) 风速：超声风速仪 10 Hz，机械风速仪 1 Hz；
- 4) 地震地面运动：50Hz；
- 5) 温度：10 分钟采集 1 个数据；
- 6) 湿度：10 分钟采集 1 个数据；
- 7) 雨量：10 分钟采集 1 个数据；

b) 结构整体与局部响应：

- 1) 振动加速度：根据结构基频特性确定，一般不大于 50Hz；
- 2) 位移：GPS 为 1Hz；压力变送器为 10Hz；位移计为 1Hz；倾角仪为 1Hz；
- 3) 动应变：20Hz；
- 4) 静应变：10 分钟采集 1 个数据；
- 5) 索力：基于压力式方法 1Hz，基于频率法 20Hz；
- 6) 腐蚀：1 天采集 1 个数据。

5.5.2 同桥不同监测数据采集同步性，应满足同类型变量监测数据的时间同步误差小于 0.1ms；不同类型变量监测数据的时间同步误差小于 1ms。

5.6 数据采集软件

5.6.1 应具备传感器数据实时采集、自动存储、缓存管理、及时反馈、自动传输功能；

5.6.2 应具备与数据库系统和数据分析软件进行稳定和可靠通信、远程或者本地便捷更改设备配置、通过标签数据库或本地配置文件进行信息读取的功能；

5.6.3 应能对传感器输出信号与采集传输设备运行状况进行检测和识别；

5.6.4 应能接受计算机传送监测参数调整的指令，并能进行相关的监测过程或监测数据处理参数的调整，并记录、备份相关的调整指令。

5.7 数据传输

5.7.1 数据传输方式分为有线和无线两种方式。数据传输系统应具有对各种数据接收、处理、交换和传输的能力。数据通信系统应保证可靠性、高效性及数据传输质量。

5.7.2 电信号的数据传输应采用屏蔽电缆，且应满足以下规定：

数据传输线缆衰减损失应小于 1db/30m；

传感器到前置放大器之间的信号电缆长度不应小于超过 2m；；

前置放大器与采集设备之间的信号电缆长度宜小于 150m，超过 150m 应加中继放大器。

5.7.3 数据传输方案应按下列规定进行设计：

传感器输出为模拟信号，且传输距离较短，宜直接进行模拟信号传输；

当需要较长距离传输数字信号时，宜采用名词术语定义；

若要求通信双方均可以发送数据，宜采用名词术语定义；

当传感器和数据采集设备支持时，宜采用工业以太网标准。

5.7.4 桥梁现场与监控中心之间的数据传输可采用：1) 光纤传输技术；2) 微波中继传输技术；3) 使用现有通讯线缆。

5.7.5 数据传输软件应具备对数据进行分包处理和解包复原的功能，宜以包为单位实施传输。

5.7.6 数据传输系统应具有备份机制和良好的鲁棒性，在某个传输线路发送故障时，能保证数据完整性和可靠性。

6 数据存储与处理子系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 结构健康监测数据库存储从采集系统收集到的实时数据和历史数据，供数据处理系统进行数据处理，供评估系统对数据进行分析，并将处理及分析结果进行保存以便查询。

6.1.2 数据库设计应遵循数据库系统的可靠性、先进性、开放性、可扩展性、标准性和经济性的基本原则。应保证数据的共享性、数据结构的整体性、数据的安全性、数据库系统与应用系统的统一性。

6.1.3 数据管理应具备标准化读取、存储接口，应能保证监测数据的安全、结构化、共享性以及对应软件的便携友好支持。

6.1.4 数据处理应能纠正或剔除异常数据，提高数据质量。

6.1.5 宜考虑设计系统自监控功能，对系统是否正常运行进行自动监控，系统异常时应能及时报警。

6.2 数据管理

6.2.1 数据管理软件应实现数据归档、生成报告、快速显示和高效存储等管理功能。

6.2.2 原始监测数据应定期存储、备份存档、后处理数据应保持不小于3月的在线存储；统计、分析数据应专项存储。

6.2.3 数据管理软件应能对所有监测项目、监测点设备或指定监测项目监测点设备的监测数据及图像在限定时间段进行回放追溯。

6.2.4 数据报告报表应实现提供月报、季报、年报、以及极端事件之后报告的功能；报告报表应能够导出并成为常用办公系统通用数据格式。

6.3 数据库

6.3.1 数据库应能够对监测设备所监测到的车辆荷载、环境作用、结构荷载效应数据，以及监测系统自身的属性信息进行分层、分类存储。系统数据库应模块化架构，并分层管理，宜根据数据需求包括子数据库。

6.3.2 数据库应存储桥梁结构的设计资料、荷载试验资料、科研专题研究资料、桥梁结构有限元模型、传感采集和传输设备的基本信息、桥梁结构的动力性能参数等。

6.3.3 数据库系统在使用时支持在线实时数据处理分析、离线数据处理分析以及两种工作方式的混合模式。

6.3.4 数据可存储在当地硬件设备上，宜用云技术存储和管理数据。

6.4 数据处理

- 6.4.1 数据处理软件应能实现数据预处理和后处理功能。数据预处理功能应包括滤波、去噪、去趋势项、截取和异常点处理；后处理数据应根据数据类型进行专项分析。
- 6.4.2 需要进行频谱分析的数据，在信号截断处理应考虑被分析信号的性质与处理要求，减少截断对谱分析精度的影响，应选择合适的窗函数。
- 6.4.3 根据数据时间先后顺序宜进行时域变换，宜利用自相关函数检验数据相关性，并检验混于随机噪声中的周期信号。
- 6.4.4 对于平稳信号宜采用离散傅立叶变换的频谱分析方法；非平稳信号宜采用时频域信号处理分析的方法或具有相对计算精度的数据处理方法。
- 6.4.5 数据处理软件应能实现数据备份、清除以及故障恢复等功能，其中故障恢复功能兼具手工操作控制功能，其它功能子模块应能自动调用。

7 数据预警与结构评估子系统设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 应对监测项设置相应的预警值；当出现极端环境与荷载以及结构异常响应时应进行预警。
- 7.1.2 应根据桥梁结构形式，结合 JTG H11-2004《公路桥涵养护规范》、《JTG H21-2011 公路桥梁技术状况评定标准》，定期进行结构安全一般评估；特殊事件后应进行结构安全特殊评估。
- 7.1.3 桥梁结构的安全评估宜分为两类：
 - 1) 一般评估。利用监测数据，对比设计及规范的相关规定，直接对环境、荷载和结构关键构件的安全进行评估。
 - 2) 特殊评估。满足下列条件之一时，应进行桥梁结构的特殊评估：
 - a) 桥梁遭受台风、地震作用、船撞、雪灾、洪水、特殊车辆荷载等突发事件；
 - b) 一般评估结果发现了结构关键构件异常；
 - c) 桥梁服役中后期，每年至少进行 1 次。

7.2 数据预警

- 7.2.1 根据桥型，预警应基于实时监测的数据，进行风荷载、地震作用、车辆荷载、桥面温度、主梁挠度、主梁振动加速度、主梁应变、梁端位移、索力等的预警。
- 7.2.2 阈值指标的设置应基于桥梁设计文件、成桥荷载试验和结构分析等设定。在预警的具体实施过程中，可依据结构运行状况对阈值进行校验和调整。

7.3 一般评估

- 7.3.1 桥梁一般评估应综合利用人工巡检和在线监测数据。
- 7.3.2 所采用的评估技术应具有实用性和可操作性。
- 7.3.3 所采用的评估方法应能够对监测的结果进行历史趋势对比、分析与预测。
- 7.3.4 评估结果应明确、直观，面向多级桥梁管理人员。
- 7.3.5 应根据评估结果给出相应的维护管养建议。
- 7.3.6 根据评估结果，应能生成评估报告，其内容应全面，格式应规范。

7.4 特殊评估

7.4.1 特殊评估应综合利用模态分析、数值模拟和人工检查结果等进行。

7.4.2 特殊评估应对桥梁安全结构状态进行分级，分级应符合表 7.4.1 的规定。

表 7.4.1 桥梁安全状态等级划分

分类	总体评定	评定依据
I 级	完好状态	桥梁结构完好，在设计荷载和监测荷载作用下，所有构件的内力、变形均小于设计值，不影响结构安全、行车舒适性和耐久性。
II 级	较好状态	在设计荷载和监测荷载作用下，关键构件良好，部分次要结构的内力、变形大于设计值的 5%，但不影响结构安全、行车舒适和耐久性。
III 级	中等程度损伤	在设计荷载和监测荷载作用下，部分关键结构内力大于设计值的 5%，较多次要构件内力大于设计值的 10%，影响结构的行车舒适性和耐久性。
IV 级	严重状态	在设计荷载和监测荷载作用下，部分关键构件内力达到设计极限值，承载能力下降，影响结构安全性。
V 级	危险状态	在设计荷载和监测荷载的作用下，关键构件内力大于设计极限值，出现重大破损，影响结构的稳定和安全。

条文说明

1 范围

- 1.0.1 本条说明了本规范的编制目的。
- 1.0.2 本条说明了本规范的适用范围。
- 1.0.3 本条说明了本规范的引用标准目录。

2 术语和定义

本条规定了本规范的术语和定义。

3 总体要求

- 3.1.1 桥梁结构健康监测系统设计开展的与桥梁建设阶段的关系。
- 3.1.2 桥梁结构健康监测系统设计应考虑与桥梁养护管理系统的良好的衔接。桥梁结构健康监测系统设计应充分考虑与桥梁施工监控、成桥荷载试验等的关联性。
- 3.1.3 本条说明了桥梁健康监测系统的建设原则。
- 3.2 本条规定了桥梁结构健康监测系统的框架。

4 传感器子系统设计

- 4.1 本条规定了传感器子系统的一般规定。
 - 4.1.1 本条规定了传感器的选用原则。

结构健康监测需要根据具体的项目要求和实际应用条件，本着力争实现“监测完整、性能稳定兼顾性价比最优”的主要原则选择合理的传感器类型和数量。从“保证结构全寿命周期安全”的要求出发，根据结构状态、体系和形式以及经济条件合理地提出传感器的需求，并结合健康监测中具体内容和目的选择适宜的传感器类型和数量。确保传感器在监测期间具有良好的稳定性和抗干扰能力，采集信号的信噪比应满足实际工程需求。
 - 4.1.2 本条规定了健康监测系统监测传感器的分类。
- 4.2 本条规定了传感器分类及布点的具体要求。针对不同的桥梁类型，确定监测指标和监测位置。
- 4.3 本条规定了传感器性能参数的具体要求。
- 4.4 本条规定了环境监测类传感器的要求。
 - 4.4.1 本条规定了风荷载监测应采用的传感器以及具体要求，包括安装位置、安装要求等。
 - 4.4.2 本条规定了温度监测的具体要求，包括布设位置、精度、分辨率及选型原则等。
 - 4.4.3 本条规定了湿度监测的具体要求，包括布设位置、监测范围、精度以及选型原则等。
- 4.5 本条规定了外部荷载类传感器选择及安装的要求。
 - 4.5.1 本条规定了地震作用监测的传感器选择以及布设位置。

4.5.2 本条规定了车辆荷载应采用动态称重设备,传感器宜布设原则以及采集方式、量程和存储能力。

4.5.3 本条规定了船撞荷载监测应采用加速度传感器,以及布设位置。

4.6 结构响应监测类传感器性能要求

4.6.1 本条规定了加速度传感器布点设置的确定方法、选型要求。

4.6.2 本条规定了腐蚀监测传感器的布置原则。本条规定的基于长标距光纤光栅传感器的结构腐蚀监测包括腐蚀的定位分析及定量分析。结构腐蚀的定位分析可采用静力间接法,通过比较特定荷载形式下各单元的长标距光纤光栅传感器的应变比值,若比值发生显著变化,则对应位置或单元发生损伤。结构腐蚀的定量分析可采用各单元的应变比值包括:传感单元随时间变化的应变增量与初始值的比值,以及荷载作用下各单元之间应变分布的比值,以及根据结构外部布设的传感单元通过内力解析方法获得的解析值与对应位置结构内部布设的传感单元的实测应变之间的比值。

4.6.3 本条规定了应变传感器的分类、布置原则、选型原则等。

4.6.4 本条规定了索力监测的选型原则。

4.6.5 本条规定了振动监测的长标距光纤光栅传感器的选型原则。

5. 数据通信与传输子系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了数据采集所包括的内容。

5.1.2 本条规定了数据采集的硬件选型、软件预处理和数据传输软硬件设计与选型的一般要求。

5.1.3 本条规定了数据采集制度的设计内容。

5.1.4 本条规定了数据传输硬件的一般要求。

5.1.5 本条规定了数据传输软件的一般要求。

5.1.6 本条规定了数据采集和传输系统长期稳定工作的要求。

5.2 数据采集方式

5.2.1 本条规定了数据采集方式应根据桥梁的规模、测点位置和数量、监测设备类型等因素确定。

5.3 本条规定了数据采集设备的选型原则。

5.4 本条规定了数据采集模式的设计原则。

5.5 本条规定了信号采样频率和同步性的要求。

5.6 本条规定了数据采集软件的要求。

5.7 数据传输

5.7.1 本条规定了数据传输方式。

1) 有线传输

两个通信设备之间使用物理连接,将信号从一方传到另一方。常用的介质有双绞线、同轴电缆和光缆等,常用的接口有 RS232、RS422、RS485 和 RJ45 等。

2) 无线传输

两个通信设备之间不使用任何物理连接,将信号通过空间传输的一种技术。通常可分为无线广域通信网(无线公网)和无线局域通信网两种方式。无线广域通信网络可采用 GPRS 和 CDMA 等方式;无线局域通信网可采用 TCP/IP 协议。

5.7.2 本条规定了电信号的数据传输屏蔽电缆的要求。

5.7.3 本条规定了数据传输方案的要求。

5.7.4 本条规定了桥梁现场与监控中心之间数据传输的方式。

5.7.5 本条规定了数据传输软件的功能要求。

5.7.6 本条规定了数据传输系统的备份机制和鲁棒性。

6. 数据存储与处理子系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定了结构健康监测数据库存储的目的和功能。

6.1.2 本条规定了数据库设计应遵循的基本原则。

6.1.3 本条规定了数据管理应具备的功能。

6.1.4 本条规定了数据处理的要求。

6.1.5 本条规定了数据库系统自动监控的要求。

6.2 数据管理

6.2.1 本条规定了数据管理软件应实现的功能。

6.2.2 本条规定了原始监测数据应、后处理数据和统计、分析数据的存储要求。

6.2.3 本条规定了数据管理软件的回放功能的要求。

6.2.4 本条规定了数据报告报表的功能和格式。

6.3 数据库

6.3.1 本条规定了数据库存储、架构、管理和包含内容。

6.3.2 本条规定了数据库的存储内容。

6.3.3 本条规定了数据库系统使用时的支持工作方式。

6.3.4 本条规定了数据存储设备和方式。

6.4 数据处理

6.4.1 本条规定了数据处理软件应能实现的功能。

6.4.2 本条规定了需要进行频谱分析的数据在信号截断处理时的要求。

6.4.3 本条规定了数据时域变换的要求。

6.4.4 本条规定了对于平稳信号和非平稳信号的处理分析方法。

6.4.5 本条规定了数据处理软件应能实现的功能。

7. 数据预警与结构评估子系统

7.1 一般规定

7.1.1 本条规定了监测项设置预警的一般要求。

7.1.2 本条规定了桥梁结构安全监测系统进行桥梁结构安全评估的一般要求。

7.1.3 本条规定了结构安全评估的分类。

7.2 本条规定了数据预警项内容及阈值设定原则。

7.3 本条规定了健康监测一般评估要求。

7.4 特殊评估

7.4.1 本条规定了特殊评估的一般原则。

7.4.2 本条规定了对桥梁结构状态进行分级的划分依据。

