

DB13

河北省地方标准

DB13/T 2548—2017

混凝土桥梁结构健康监测系统设计 与维护指南

2017 - 09 - 06 发布

2017 - 10 - 06 实施

河北省质量技术监督局 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由河北省交通运输厅提出。

本标准起草单位：河北省高速公路宣大管理处、河北道桥工程检测有限公司。

本标准主要起草人：冯 升、刘春雪、高炜党、裴 卿、赵志军、魏 伟、刘文军、刘晨敏、王乾坤、侯满忠、胡世博、胡晓明、李海滨、荆翠兰、郭融冰、李 宁、王海涛、孙 元、马福强、董 垚、毛国栋、魏春辉、冯贵华。

混凝土桥梁结构健康监测系统设计与维护指南

1 范围

本标准规定了混凝土桥梁结构健康监测系统的基本规定、系统设计及维护的技术要求。
本标准适用于混凝土桥梁结构运营期间的健康监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
GB/T22385-2008 大坝安全监测系统验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

监测系统

由监测设备组成实现一定监测功能的软件及硬件集成。

3.2

监测设备

监测系统中，传感器、采集仪等硬件的统称。

3.3

传感器

能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

3.4

监测预警值

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

3.5

监测系统稳定性

监测系统经过长期使用以后其工作特性保持正常的性能。

4 基本规定

4.1 基本要求

4.1.1 监测系统应配备可靠的设备，并运用成熟、可靠的数据处理与分析技术。

4.1.2 监测仪器设备应定期进行检定和校准。

4.1.3 基准点和测点应牢固可靠、易于识别，并注意保护，严防损坏。基准点距离监测断面较远时，宜在桥梁的稳定区域埋设新的基准点，并采取保护措施。基准点应定期进行检查校核。

4.1.4 监测控制软件应与监测系统同步设计，并应与监测硬件具有较好的适应性。

4.2 一般规定

4.2.1 监测前应根据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。

4.2.2 结构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。

4.2.3 监测期间，应对监测设施采取保护和维护措施。

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

4.2.5 使用期间的监测宜为长期实时监测。

4.2.6 使用期间的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结构设计标准的要求。

4.2.7 使用期间监测应定期进行巡视和系统维护。

4.3 监测系统、测点及设备要求

4.3.1 应根据监测项目及现场情况对结构的整体或局部建立监测系统，并宜设置专用监控室。

4.3.2 监测系统应具有完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。

4.3.3 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：

- a) 监测前，宜对传感器进行初始状态设置或零平衡处理；
- b) 应对干扰信号进行来源检查，并应采取有效措施进行处理；
- c) 使用期间的监测系统宜继承施工期间监测的数据，并宜进行对比分析与鉴别。

4.3.4 监测系统的采样频率应满足监测要求。

4.3.5 监测期间，监测结果应与结构分析结果进行适时对比，当监测数据异常时，应及时对监测对象与监测系统进行核查，当监测值超过预警值应立即报警。

4.3.6 测点应符合下列规定：

- a) 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；

- b) 测点的位置、数量宜根据结构类型、设计要求、监测项目及结构分析结果确定；
- c) 测点的数量和布置范围应有冗余量，重要部位应增加测点；
- d) 可利用结构的对称性，减少测点布置数量；
- e) 宜便于监测设备的安装、测读、维护和替代；
- f) 不应妨碍监测对象的施工和正常使用；
- g) 在满足上述要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

4.3.7 监测设备应符合下列基本规定：

- a) 监测设备的选择应符合监测期、监测项目与方法及系统功能的要求，并具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性；
- b) 测得信号的信噪比应符合实际工程分析需求；
- c) 在投入使用前应进行校准；
- d) 应根据监测方法和监测功能的要求选择安装方式，安装方式应牢固，安装工艺及耐久性应符合监测期内的使用要求；
- e) 安装完成后应及时现场标识并绘制监测设备布置图，存档备查。

4.3.8 监测传感器除应符合本规范第 4.3.7 条基本要求以外，尚应符合下列规定：

- a) 传感器的选型应根据监测对象、监测项目和监测方法的要求，遵循“技术先进、性能稳定、兼顾性价比”的原则；
- b) 宜采用具有补偿功能的传感器；
- c) 传感器应符合监测系统对灵敏度、通频带、动态范围、量程、线性度、稳定性、供电方式及寿命等要求。

4.3.9 监测设备作业环境应符合下列基本规定：

- a) 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 的相关要求；
- b) 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；
- c) 采用卫星定位系统测量时，视场内障碍物高度角不宜超过 15°。

5 监测系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 监测项目宜包括应变监测、变形与裂缝监测、温湿度监测、振动监测、地震动及地震响应监测、风及风致响应监测和腐蚀监测。

5.1.2 监测参数可分为静态参数与动态参数，监测参数的选择应满足对结构状态进行监控、预警及评价的要求。

5.1.3 使用期间的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、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结构设计标准的要求。

5.1.4 使用期间监测系统应能不间断工作，宜具备自动生成监测报表功能。

5.1.5 监测系统设计应具备下列基本功能：

- a) 巡测、选测和定时测量功能；
- b) 现场网络数据通信与远程通信功能；
- c) 数据存储、管理及备份功能；
- d) 掉电保护功能；
- e) 网络安全防护功能；
- f) 自检、自诊断功能；
- g) 防雷及抗干扰功能；
- h) 数据异常报警功能。

5.2 应变

5.2.1 一般规定

- a) 应变监测项目包括混凝土表面的应变、钢筋应变等；
- b) 应变监测与温湿度、变形与裂缝等监测项目相结合布置，重要的物理量宜布置相互验证的监测仪器；
- c) 应变监测可选用电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计等应变监测元件进行监测；
- d) 应变计应根据监测目的和工程要求，以及传感器技术、环境特性进行选择；
- e) 应变监测测点应结合桥梁结构的受力特点布置，应变监测应根据使用其间结构应变变化幅值设置预警值。

5.2.2 监测设计

混凝土的应变监测布置应符合下列要求：

- a) 应根据结构特点、应力状况合理布置测点，使监测成果能反映结构应力分布及最大应力的方向和大小，以便和计算成果及模型试验成果进行对比，以及与其它监测资料综合分析；
- b) 测点的应变计只数和方向应根据应力状态而定。空间应力状态宜布置 7 向~9 向应变计，平面应力状态宜布置 4 向或 5 向应变计，主应力方向明确的部位可布置单向或两向应变计。

5.2.3 监测设施及其安装

- a) 应变计应符合下列基本规定：
 - 1) 量程应与量测范围相适应，应变量测的精度应为满量程的 0.5%，监测值宜控制为满量程的 30%~80%；
 - 2) 混凝土构件宜选择大标距的应变计；应变梯度较大的应力集中区域，宜选用标距较小的应变计；
 - 3) 应变计应具有温度补偿功能。
- b) 选用不同类型的应变传感器应符合下列规定：
 - 1) 电阻应变计的测量片和补偿片应选用同一规格产品，并进行屏蔽绝缘保护；
 - 2) 振弦式应变计应与匹配的频率仪配套校准，频率仪的分辨率不应大于 0.5Hz；
 - 3) 光纤解调系统各项指标应符合被监测对象对待参数的规定；
 - 4) 采用位移传感器等构成的装置监测应变时，其标距误差应为 $\pm 1.0\%$ ，最小分度值不宜大于被测总应变的 1.0%。
- c) 应变传感器的安装应符合下列规定：
 - 1) 安装前应逐个确认传感器的有效性，确保能正常工作；
 - 2) 安装位置各方向偏离监测截面位置不应大于 30mm；安装角度偏差不应大于 2° ；

- 3) 安装中, 不同类型传感器的导线或电缆宜分别集中引出及保护, 无电子识别编号的传感器应在线缆上标注传感器编号;
- 4) 安装应牢固, 长期监测时, 宜采用焊接或栓接方式安装;
- 5) 安装后应及时对设备进行检查, 满足要求后方可使用, 发现问题应及时处理或更换;
- 6) 安装稳定后, 应进行调试并测定静态初始值。

5.3 变形与裂缝

5.3.1 一般规定

- a) 变形基准值监测应减少温度等环境因素的影响;
- b) 变形监测的结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

5.3.2 监测设计

- a) 使用期间的变形监测项目应包括竖向位移、水平位移及倾角;
- b) 根据监测仪器的种类、监测方法可分为机械式测试仪器法、电测仪器法、光学仪器法及卫星定位系统法;
- c) 应根据结构或构件的变形特征确定监测项目和监测方法;
- d) 变形监测应建立基准网, 采用的平面坐标系统和高程系统可与施工采用的系统一致, 局部相对变形测量可不建立基准网, 但应考虑结构整体变形对监测结果的影响;
- e) 监测标志应根据不同工程结构的特点进行设计, 监测标志点应牢固、适用和便于保护;
- f) 对于施工阶段累积变形较大的结构, 应按设计要求采取补偿技术修正工程结构的标高, 宜使得最终的标高与设计标高一致, 标高补偿技术应采用预测和监测相结合的方式进行;
- g) 已发生开裂结构, 宜监测裂缝的宽度变化; 尚未发生开裂结构, 宜监测结构的应变变化。

5.3.3 监测设施及其安装

- a) 变形监测仪器量程应介于测点位移估计值或允许值的 2 倍~3 倍; 采用机械式测试仪器时, 精度应为测点位移估计值的 1/10;
- b) 裂缝长度和较大裂缝的宽度可采用钢尺或机械式测试仪器法测量, 直接测量时可采用裂缝宽度检验卡、电子裂缝观察仪, 每个测点每次量测不宜少于 3 次; 裂缝宽度检验卡最小分度值不宜大于 0.05mm; 利于电子裂缝观察仪时, 量测精度应为 0.02mm;
- c) 对于宽度 1mm 以下的裂缝, 可采用电测仪器法, 仪器分辨率不应大于 0.01mm;
- d) 需监测裂缝两侧两点位移的变化时可用结构裂缝监测传感器, 传感器包括振弦式测缝计、应变式裂缝计或光纤类位移计, 传感器的量程应大于裂缝的预警宽度, 传感器测量方向应与裂缝走向垂直。

5.4 温湿度

5.4.1 一般规定

- a) 温湿度监测可包括环境及构件温度监测和环境湿度监测;
- b) 温度监测精度宜为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 湿度监测精度宜为 $\pm 2\%\text{RH}$;
- c) 湿度宜采用相对湿度表示, 湿度计监测范围应为 $12\%\text{RH}\sim 99\%\text{RH}$ 。

5.4.2 监测设计

- a) 温度监测的测点应布置在温度梯度变化较大位置,宜对称、均匀,应反映结构竖向与水平向温度场变化规律;
- b) 相对独立空间应设 1~3 个点,面积或跨度较大时,以及结构构件应力及变形受环境温度影响大的区域,宜增加测点;
- c) 监测整个结构的温度场分布和不同部位结构温度与环境温度对应关系时,测点宜覆盖整个结构区域;
- d) 湿度监测宜布置在结构内湿度变化大,对结构耐久性影响大的部位。

5.4.3 监测设施及其安装

- a) 温度传感器宜选用监测范围大、精度高、线性化及稳定性好的传感器;
- b) 湿度传感器要求响应时间短、湿度系数小,稳定性好以及湿滞后作用低;
- c) 大气温度仪可与风速仪一并安装在结构表面,并应直接置于大气中以获得有代表性的温度值;大气湿度仪宜与温度仪、风速仪一并安装;宜布置在结构内湿度变化大,对结构耐久性影响大的部位。

5.5 振动

5.5.1 一般规定

- a) 振动监测应包括振动响应监测和振动激励监测,监测参数可为加速度、速度、位移及应变;
- b) 振动监测的方法可分为相对测量法和绝对测量法;
- c) 振动监测前,宜进行结构动力特性测试;
- d) 动态响应监测时,测点应选在工程结构振动敏感处;当进行动力特性分析时,振动测点宜布置在需识别的振型关键点上,且宜覆盖结构整体,也可根据需求对结构局部增加测点;测点布置数量较多时,可进行优化布置。

5.5.2 相对测量法

相对测量法监测结构振动位移应符合下列规定:

- a) 监测中应设置有一个相对于被测桥梁结构的固守参考点;
- b) 被监测对象上应牢固地设置有靶、反光镜等测点标志;
- c) 测量仪器可选择自动跟踪的全站仪、激光测振仪、图像识别仪。

5.5.3 绝对测量法

绝对测量法宜采用惯性式传感器,以空间不动点为参考坐标,可测量工程结构的绝对振动位移、速度和加速度,并应符合下列规定:

- a) 加速度量测可选用力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、ICP 型压电加速度传感器、压阻式加速度传感器;速度量测时可选用电位位移摆速度传感器,也可通过加速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得速度值;位移测量可选用电动位移摆速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得位移值;
- b) 结构在振动荷载作用下产生的振动位移、速度和加速度,应测定一定时间段内的时间历程。

5.5.4 振动监测数据采集与处理

振动监测数据采集与处理应符合下列规定:

- a) 应根据不同结构形式及监测目的选择相应采样频率;

- b) 应根据监测参数选择滤波器;
- c) 应选择合适的窗函数对数据进行处理。

5.5.5 动应变监测应符合下列规定:

- a) 动应变监测设备量程不应低于量测估计值的 2 倍~3 倍, 监测设备的分辨率应满足最小应变值的量测要求, 确保较高的信噪比。振动位移、速度及加速度监测的精度应根据振动频率及幅度、监测目的等因素确定;
- b) 动应变监测可选用电阻应变计或光纤类应变计;
- c) 动态监测设备使用前应进行静态校准。监测较高频率的动态应变时, 宜增加动态校准。

5.6 风及风致响应

5.6.1 一般规定

- a) 对风敏感的结构宜进行风及风致响应监测;
- b) 风及风致响应监测参数应包括风压、风速、风向、风致振动响应及风攻角。

5.6.2 风压监测

- a) 风压监测宜选用微压量程、具有可测正负压的压力传感器, 也可选用专用的风压计, 监测参数为空气压力;
- b) 风压传感器的安装应避免对工程结构外立面的影响, 并采取有效保护措施, 相应的数据采集设备应具备时间补偿功能;
- c) 进行表面风压监测的项目, 宜绘制监测表面的风压分布图;
- d) 风压计的量程应满足结构设计中风场的要求, 可选择可调量程的风压计, 风压计的精度应为满量程的 $\pm 0.4\%$, 且不宜低于 10Pa, 非线性度应在满量程的 $\pm 0.1\%$ 范围内, 响应时间应小于 200ms。风速仪量程应大于设计风速, 风速监测精度宜为 0.1m/s, 风向监测精度宜为 3° 。

5.6.3 风速及风向监测

- a) 机械式风速测量装置和超声式风速测量装置宜成对设置;
- b) 风速仪应安装在工程结构绕流影响区域之外;
- c) 风速仪宜选取采样频率高的风速仪, 且不应低于 10Hz;
- d) 监测结果应包括脉动风速、平均风速和风向。

5.6.4 风致响应监测

- a) 风致响应监测应对不同方向的风致响应进行量测, 现场实测时应根据监测目的和内容布置传感器;
- b) 风致响应测点可布置量测不同物理量的多种传感器;
- c) 应变传感器应根据分析结果, 布置在应力或应变较大或刚度突变能反映响应特征的位置;
- d) 对位移有限制要求的结构部位宜布置位移传感器, 位移传感器记录结果应与位移限值进行对比。

5.7 腐蚀

5.7.1 一般规定

在氯离子含量较高或受腐蚀影响较大的区域或有设计要求时, 可进行腐蚀监测。

5.7.2 腐蚀监测应符合下列规定：

- a) 腐蚀监测宜选用电化学方法，电化学监测方法可选用电流监测、电位监测，也可同时采用电流和电位监测；
- b) 腐蚀监测参数可包括结构腐蚀电位、腐蚀电流和混凝土温度；
- c) 腐蚀监测位置应根据监测目的，结合工程结构特点、特殊部位、结构连接位置、不同位置的腐蚀速率等因素确定；测点宜选择在力与侵蚀环境荷载分别作用的典型区域及侵蚀环境荷载作用下的典型节点；
- d) 腐蚀传感器应能分辨腐蚀类型、测定腐蚀速率。可采用外置式和嵌入式两种方式布置：对于新建结构，可在施工过程中将传感器埋入预定的位置；对于既有结构，可在结构相应测点的邻近位置外置传感器。

5.8 车辆荷载

5.8.1 对车流量大、重车多或需要进行荷载静动力响应对比分析的桥梁结构，宜进行动态交通荷载的监测。

5.8.2 交通荷载监测项目包括交通流量、车型及分布、车速及车头间距。

5.8.3 动态称重系统量程应根据桥梁的限行车辆载重及实际预估车辆载重确定，同时其尺寸选型应考虑车道宽度和车辆轴距。动态称重监测系统应具备数据自动记录功能，并应与其他监测系统的软硬件接口兼容。

5.8.4 测点宜布设在主桥上桥方向振动较小的断面。车轴车速仪与摄像头相配套，摄像头的监视方向为来车方向。

6 监测系统维护

6.1 系统维护标准

6.1.1 监测系统运行其间应能实现数据采集功能（集中式系统可实现自动巡测、定时巡测或选测；分布式系统可用应答式或自报式方式实现自动巡视、定时巡视或选测，并能在交流电源或通讯中断条件下定时巡测并储存数据）、数据处理和数据库管理功能、监测系统运行状态自检和报警功能。

6.1.2 监测自动化系统在运行期，测量频次应满足监测要求；特殊情况（如重车通过）下，应具备自动触发功能，能完整记录并存储重车上桥到出桥全过程的各项数据。

6.1.3 使用期间监测系统应能不间断工作，宜具备自动生成监测报表功能。

6.1.4 监测自动化系统应具备掉电保护功能（掉电运行时间不小于3个小时）、防雷功能（防雷电感应不小于500W）、自检自诊功能、数据异常报警功能等。

6.2 设施维护

6.2.1 监测系统仪器设备、装置、线缆等应设置标识和采取必要的防护措施，避免暴雨雷击、动物侵害、人为损害等影响。对易受环境影响或安装在结构外部的仪器设备，应考虑日照、雨淋、冰冻、风沙等恶劣天气的影响，必要时应采取特殊防护措施。

6.2.2 定期检查监测设备工作与运行状况，包括接线是否牢固，电触点是否灵敏，有无断线，漏电现象，防雷设施是否正常，接地电阻是否合格，电缆有无老化损坏等；对有问题的监测设备及时修复改善，必要时应更换。

6.2.3 监测仪器、仪表应定期进行保养、率定、检定，发现问题及时校准、维修或更换。

6.2.4 监测自动化系统的部分或全部测点宜每年进行 1 次人工比测。监测站点和监测管理站房应保持各种仪器设备正常运转的工作环境条件。监测自动化系统宜配置足够的备用品备件，并及时补充。

6.2.5 工程抢险加固、扩（改）建或工程维修施工中，对留用监测设施，均应妥善保护，对电缆应预特殊保护。

6.2.6 监测系统宜定期进行鉴定，掌握系统运行状况，分析监测系统存在问题，提出系统改进或处置意见。

6.2.7 应做好监测设施管理维护记录，并存档备查。

6.3 巡视检查

6.3.1 巡视检查内容应包括监测范围内的结构和构件变形、开裂、测点布设及监测设备或结合当地经验确定的其他巡视检查内容。

6.3.2 巡视检查应符合下列规定：

- a) 巡视检查以目测为主，可辅以测量器具以及摄像、摄影等设备进行；
 - b) 发出预警信号时，应加强巡视检查；当发现异常或危险情况，应及时通知相关单位；
 - c) c) 巡视检查的重点是确认基准点、测点的位置未改变及完好状况，确认监测设备运行正常及保护状态；
 - d) 巡视检查宜由熟悉本工程情况的人员参加，并相对固定；
 - e) 巡视检查应做好记录。
-