

重庆市工程建设标准

桥梁结构健康监测系统实施和验收标准

Standard for construction and acceptance of structural
health monitoring systems for bridges

DBJ50/T-304-2018

主编单位：重 庆 大 学

重庆亚派桥梁工程质量检测有限公司

批准部门：重 庆 市 城 乡 建 设 委 员 会

施行日期：2 0 1 9 年 2 月 1 日

2018 重 庆

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建发〔2018〕46号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《桥梁结构健康监测系统实施和 验收标准》的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《桥梁结构健康监测系统实施和验收标准》为我市工程建设推荐性标准,编号为 DBJ50/T-304-2018,自 2019 年 2 月 1 日起施行。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆大学负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2018 年 10 月 26 日

前 言

根据重庆市城乡建设委员会《重庆市城乡建设委员会关于下达重庆市工程建设标准制订修订项目计划(第一批)的通知》(渝建[2014]442号)文件要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国家标准,并在广泛充分征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要技术内容是:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.传感器安装;5.综合布线;6.采集站与机房安装;7.软件测试与部署;8.系统调试;9.系统试运行;10.工程验收。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆大学负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈给重庆大学土木工程学院《桥梁结构健康监测系统实施和验收标准》标准编制组(重庆市沙坪坝区沙正街174号;Email:gliu@cqu.edu.cn,邮政编码:400045;电话:023-65120720,网址:civil.cqu.edu.cn)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主编单位：重庆大学

重庆亚派桥梁工程质量检测有限公司

参编单位：重庆市城市建设投资(集团)有限公司

重庆市市政设施管理局

重庆市城投路桥管理有限公司

林同棧国际(重庆)工程咨询有限公司

重庆市建筑科学研究院

重庆市桥梁协会

重庆市市政设计研究院

重庆建工第三建设有限责任公司

重庆对外建设(集团)有限公司

主要起草人：刘 纲 陈伟民 章 鹏 杨吉云 杨 忠

杨 宏 胡 涛 周 逸 苗秀鹏 刘安双

刘雪山 曹淑上 罗 钧 杨其良 张万全

蒋红庆 刘 敏 杜春林 张 杨 陈 器

唐建辉 张 超

审查专家：陈 斌 代 彤 于海祥 宴致涛 曾 强

张开顺 郑佳燕

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	传感器安装	6
4.1	一般规定	6
4.2	动态称重传感器	7
4.3	风速风向传感器	8
4.4	地震动传感器	8
4.5	温湿度传感器	9
4.6	位移传感器	10
4.7	应变传感器	13
4.8	加速度传感器	14
4.9	锚索计	14
4.10	倾角仪	15
4.11	验收标准	15
5	综合布线	18
5.1	一般规定	18
5.2	桥架与线管安装	19
5.3	线缆敷设	20
5.4	防雷与接地	21
5.5	验收标准	22
6	采集站与机房安装	24
6.1	一般规定	24
6.2	采集站安装	25

6.3	机房安装	25
6.4	验收标准	26
7	软件测试与部署	28
7.1	一般规定	28
7.2	软件测试	28
7.3	软件部署	29
7.4	验收标准	29
8	系统调试	31
8.1	一般规定	31
8.2	系统单项调试	31
8.3	系统联合调试	32
8.4	系统验证	33
8.5	检验标准	33
9	系统试运行	35
9.1	一般规定	35
9.2	试运行	35
9.3	检验标准	35
10	工程验收	37
10.1	一般规定	37
10.2	质量验收划分和检验数量	37
10.3	验收方法、标准和程序	39
附录 A	单项(联合)调试报告	41
附录 B	分项工程质量验收记录	42
附录 C	分部工程质量验收记录	43
附录 D	单位工程质量控制资料检查记录(竣工验收意见书)	44
	本标准用词说明	45
	引用标准名录	46
	条文说明	47

Contents

1	GENERAL PROVISIONS	1
2	TERMS	2
3	BASIC REQUIREMENTS	4
4	SENSOR INSTALLMENT	6
4.1	General Requirements	6
4.2	Weigh-in-motion Sensor	7
4.3	Wind Speed and Direction Sensor	8
4.4	Ground Motion Sensor	8
4.5	Temperature and Humidity Sensor	9
4.6	Displacement Sensor	10
4.7	Strain Sensor	13
4.8	Acceleration Sensor	14
4.9	Anchorage Meter	14
4.10	Inclinometer	15
4.11	Inspection Standard	15
5	WIRING SYSTEM	18
5.1	General Requirements	18
5.2	Trunking and Cable Pipe Installation	19
5.3	Cable Laying	20
5.4	Lighting Protection	21
5.5	Inspection Standard	22
6	INSTALLATION OF MEASUREMENT STATION AND COMPUTER ROOM	24
6.1	General Requirements	24

6.2	Measurement Station Installation	25
6.3	Computer Room Installation	25
6.4	Inspection Standard	26
7	SOFTWARE TESTING AND DEPLOYING	28
7.1	General Requirements	28
7.2	Software Testing	28
7.3	Software Deploying	29
7.4	Inspection Standard	29
8	SYSTEM DEBUGGING	31
8.1	General Requirements	31
8.2	Subsystem Debugging	33
8.3	System Integrated Debugging	32
8.4	System Verification	33
8.5	Inspection Standard	33
9	SYSTEM TRAIL RUNNING	35
9.1	General Requirements	35
9.2	Trail Running	35
9.3	Inspection Standard	35
10	COMPLETE ACCEPTANCE	37
10.1	General Requirements	37
10.2	Acceptance Division and Inspection Quantity	39
10.3	Acceptance Method, Standard and Procedure	39
	APPENDIX A SUBSYSTEM (ASSOCIATED) DEBUGGING RECORDS	41
	APPENDIX B THE QUALITY ACCEPTANCE RECORDS OF SUB-ITEM PROJECT	42
	APPENDIX C THE QUALITY ACCEPTANCE RECORDS OF SUB-SECTION PROJECT	43
	APPENDIX D THE QUALITY ACCEPTANCE RECORDS	

OF UNIT PROJECT	44
EXPLANATION OF WORDING IN THIS STANDARD	45
LIST OF QUOTED STANDARDS	46
EXPLANATION OF PROVISIONS	47

1 总 则

1.0.1 为加强桥梁结构健康监测系统实施的技术管理,规范工程实施,统一工程实施的质量验收,确保工程质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于重庆市桥梁结构健康监测系统工程的质量和验收。其它结构类型的健康监测系统的实施和质量验收可参照执行。

1.0.3 桥梁结构健康监测系统实施和验收除应符合本标准外,尚应符合国家和重庆市现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 桥梁结构健康监测系統 structural health monitoring system for bridges

由安装在桥梁上的传感器、数据处理等监测软硬件构成,能自动获取桥梁运营过程中的环境状态、荷载作用数据和结构响应数据,并自动评估桥梁结构安全状态和报警的系统。

2.0.2 实施 engineering implementation

采用监测硬件施工、监测软件部署以及系统调试等手段,完成桥梁结构健康监测系统设计所要求目标的行为。

2.0.3 监测硬件 hardware for monitoring

桥梁结构健康监测系统中传感器、数据采集设备、数据传输设备、线缆和附属设施等各种物理装置的总称。

2.0.4 监测软件 software for monitoring

为实现数据采集、数据传输、数据存储、数据处理、结构安全评估和可视化应用等功能,按照特定顺序组织的计算机程序、数据、指令和相关文档的集合。

2.0.5 监测点 measuring point

对被测参量进行量测的具体位置,即传感器的现场安装位置。

2.0.6 GNSS 位移传感器 GNSS displacement sensor

采用全球导航卫星系统及相关增强系统实现位移测量的传感器。

2.0.7 采集站 measuring unit

将不同被测参量的数据采集设备、数据传输设备集中安放的装置。

2.0.8 软件部署 software deployment

将监测软件安装在监测硬件中并进行环境配置等必要工作,从而使监测软件能正常运行的过程。

2.0.9 平均无故障工作时间 mean time between failures

指在规定的时间内,健康监测系统在相邻两次故障之间的平均工作时间。

2.0.10 数据完整率 data integrity rate

完好的数据量与总数据量的比值。

3 基本规定

3.0.1 承担桥梁结构健康监测系统的实施单位应建立健全项目组织机构、安全管理制度、施工质量控制和检验制度。

3.0.2 实施前应做好以下准备工作：

1 应组织相关技术人员深入现场调查，掌握现场情况，做好充分的现场实施准备工作；

2 应组织相关技术人员对设计图进行认真审查，发现问题应及时按规定程序办理设计变更手续；

3 应组织建设、设计、监理和实施单位有关人员，由设计人员进行设计交底，并应形成文件；

4 应编制专项施工方案，通过审批后方可施工。

3.0.3 实施中应做好以下质量和安全保障工作：

1 应建立技术和安全交底制度，作业前应对施工人员进行安全与技术交底；

2 使用的原材料、安全防护用品、机械设备和生产工具等应为合格产品；

3 实施过程中的安全技术、劳动保护、防火措施及环境保护等应符合国家现行有关法律法规和有关标准的规定；

4 由实施单位自主开发的应用软件应经可靠性、安全性、可恢复性和兼容性等功能测试合格后方可部署。

3.0.4 质量管理应包括监测硬件与监测软件进场验收、隐蔽工程过程检查和验收、工程安装质量检查、系统自检和试运行等。

3.0.5 监测硬件的进场检验包括外观检查和标志检查。外观和标志检查以目测为主，并应符合下列规定：

1 名称、型号、数量与设计文件要求一致；

- 2 外观应无锈迹、裂痕,各部分连接牢固,引出线缆无损坏;
- 3 铭牌标志、备件和附带技术文件齐全;
- 4 安装孔尺寸及安装孔间距应符合设计文件的要求。

3.0.6 软件的进场检查应符合下列规定:

1 应确认商业软件、实施单位自主开发软件的使用范围符合设计要求;

2 应确认商业软件、自主开发软件的部署说明书、使用和维护说明书等资料齐全。

3.0.7 预埋件、安装基座、防护措施等应在隐蔽工程验收合格后,方可进行传感器、线缆等监测硬件的安装。

3.0.8 验证、调试采用的仪器仪表、量具和量器应在有效的检定期内使用。

4 传感器安装

4.1 一般规定

4.1.1 传感器的安装环境应符合设计文件和传感器产品说明书的要求。当安装环境超出规定时,应采取有效的防护措施。

4.1.2 传感器、预埋件、安装基座和原材料等监测硬件应按使用条件分类保管。

4.1.3 传感器的安装应符合下列规定:

1 采用焊接方式安装时,传感器温度应低于其允许的最高使用温度;

2 采用膨胀螺栓安装时,应按传感器的技术要求选择螺栓规格,不得使用塑料胀塞或木楔;

3 紧固件应采用镀锌制品或与传感器配套的其他防锈制品;

4 安装过程中不得猛烈敲打、强拉或抛扔传感器。

4.1.4 传感器的外部接线应符合下列规定:

1 接线排列应整齐、美观,导线应绝缘良好、无损伤,标识应清晰;

2 固定接线的螺栓和螺钉应拧紧,拧紧力矩值应符合技术文件的要求;

3 接线张紧程度应适中,不得使硬件内部受到额外应力;

4 接线接头处宜有防水保护措施。

4.1.5 安装到位的监测硬件应符合下列规定:

1 应采取防止人为破坏、雨水冲刷和雷击等破坏的保护措施;

2 不应影响桥梁的使用和检修。

4.1.6 布设传感器的截面应全桥统一编号,并宜采用带荧光的标示条进行标识。标示条可采用条形码、二维码或射频电子标签等辅助手段。

4.1.7 布设传感器的截面应设置标志牌,标志牌应包括下列内容:

- 1 截面布设传感器的类型、型号、数量和编号;
- 2 传感器引出线的编号及对应采集设备的编号和通道号。

4.2 动态称重传感器

4.2.1 在已运营路段安装前应制定专项交通组织方案,并经相关部门批准后方可进行施工作业。

4.2.2 传感器的基础材料和强度等级应符合设计要求。当设计无要求时,应采用 C30 及以上混凝土或具有同等强度的材料制作,施工完成后的基础应牢固可靠。

4.2.3 传感器前后的引道应为直线路段,且应符合下列规定:

- 1 传感器两侧引道的长度不应小于 20m;
- 2 引道宽度应超出传感器两端各 300mm 以上且不应小于 3m;
- 3 引道横向坡度应小于 1%;

4 在传感器两侧 8m 范围以内,引道纵向水平倾斜度不应超过 +3mm;在传感器两侧 8m 范围以外,引道纵向水平倾斜度不应超过 +6mm。

4.2.4 动态称重监测点的排水截面尺寸应符合设计文件要求。

4.2.5 动态称重传感器与路面水平面的高差应符合设计文件要求。当设计文件无要求时,高差不应大于 3mm。

4.2.6 接地片的横截面面积和埋深应符合设计文件要求。当设计文件无规定时,接地电阻不应大于 4Ω。

4.2.7 安装时不应超开挖、超切割路面。安装完成后应及时修复,并不得影响道路使用。

4.2.8 动态称重传感器封印装置的安装应符合现行国家标准《动态公路自动衡器》GB/T 21296 的规定。

4.3 风速风向传感器

4.3.1 基座安装应符合下列规定:

- 1 基座宜安装在桥梁结构或地基上,且应牢固固定;
- 2 基座伸出桥梁结构或附属物的高度应符合设计要求。当设计无要求时,伸出高度应不小于 2m。

4.3.2 风速风向传感器的安装应符合下列规定:

- 1 风向传感器的定北标志方向与正北方的角度偏差应不大于 0.5° ;
- 2 风速风向传感器的中轴应保持竖直状态;
- 3 风速风向传感器应在避雷措施的有效防护范围内。

4.3.3 机械式风速风向传感器的安装应符合下列规定:

- 1 风速和风向非一体化设计时,风速和风向传感器应分别垂直安装在水平横臂上;
- 2 安装过程中,不得松动、拆卸风速、风向传感器的制动螺钉;
- 3 风向标前后重量应平衡,前后两翼板应与旋转轴线位于同一平面内。

4.4 地震动传感器

4.4.1 基座安装施工应符合下列规定:

- 1 安装基座应与被测构件牢固连成一体;
- 2 安装基座的尺寸应符合设计规定。当设计无规定时,安

装基座边缘与最近传感器边缘的距离应不小于 20mm；

3 水平安装地震动传感器时，安装基座的安装面应水平；竖向安装地震动传感器时，安装基座的安装面应竖直。

4.4.2 地震动传感器的安装应符合下列规定：

1 安装前应在安装基座和传感器的安装面分别满涂环氧树脂，再按设计规定方式安装；

2 应确认传感器敏感轴方向和设计方向一致后方可固定传感器；

3 传感器完全固定后方可安装保护罩；保护罩不得与地震动传感器相接触。

4.5 温湿度传感器

4.5.1 环境温湿度传感器的安装应符合下列规定：

1 温度传感器不应受到阳光的直接辐射；

2 湿度传感器不应安装在空气不流通的桥梁结构或保护装置内的死角处；

3 湿度传感器宜加装透气防尘罩。

4.5.2 混凝土内部预埋温度传感器的安装应符合下列规定：

1 监测点位置远离结构钢筋时，宜采用直径不小于 $\phi 6$ 的钢筋作为定位辅助钢筋；

2 应将温度传感器与钢筋牢固绑扎；

3 混凝土浇筑过程中应避免振动棒直接接触温度传感器。

4.5.3 混凝土钻孔中温度传感器的安装应符合下列规定：

1 钻孔前应确认钻孔深度范围内无预应力钢筋；

2 钻孔方向应与设计孔位方向一致；钻孔深度不得小于设计深度；钻孔直径与设计偏差应小于 3mm；

3 达到钻孔深度后，应将孔内残留物清理干净；

4 沿孔深方向宜采用钢筋等辅助工具进行温度传感器的

定位：

5 传感器安装到位后应采用细石混凝土或砂浆将钻孔填塞密实。

4.5.4 结构表面的温度传感器安装应符合下列规定：

1 在混凝土表面安装时，传感器的敏感元件应紧贴混凝土表面，并应采用细石混凝土或砂浆等材料将温度传感器完全包裹；

2 在钢结构表面安装时，应除去钢结构表面的防腐层，使传感器的敏感元件紧贴钢结构表面，并应采用绝热材料隔绝传感器与外界环境之间的热交换。

4.6 位移传感器

I 静力水准仪

4.6.1 监测点的高程差应符合设计规定。设计无规定时，应符合下列要求：

1 液位传感器各监测点的高程差宜不大于 50mm；

2 微压传感器各监测点的高程差应不大于其测量范围的 1/4。

4.6.2 在混凝土结构上钻孔安装基座时，钻孔施工应符合本标准第 4.5.3 条的规定。

4.6.3 静力水准仪的安装应符合下列要求：

1 采用螺栓或抱箍固定传感器时，宜先在螺栓或抱箍及传感器的连接面上满涂环氧树脂，再拧紧螺栓或抱箍；

2 传感器应竖直安装，角度偏差应不大于 2° 。

4.6.4 连通管的安装应符合下列要求：

1 连通主管、支管的直径应不小于设计直径；

2 连通主管、支管应采用抱箍、卡环或定位卡等定位装置可

靠固定在结构物上；

3 连通管的弯曲半径应符合设计规定。当设计无规定时，弯曲半径应大于管道外径的 3.5 倍；

4 连接处管的内径不得小于被连接管道的内径；

5 连通管与传感器液嘴的连接宜为软连接；

6 施工过程中不得扭曲、划伤连通管。

4.6.5 连通管灌入液体的施工应符合下列规定：

1 灌入液体的材料、配比应符合设计要求；

2 应从连通管的一端连续、匀速地灌入液体，避免在连通管中形成气泡；

3 应采用有效措施排出连通管中水平长度大于 10mm 的气泡。

4.6.6 连通管安装完成后，应对连通管施加不小于 2 个标准大气压并持续 30min，所有的管道、接头处应无渗漏现象。

II GNSS 位移传感器

4.6.7 安装前应确认 GNSS 天线周围的遮挡情况符合设计文件的要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

1 天线 2m 空间范围内应无尺寸大于 20cm 的金属物；

2 天线周围俯仰角 30° 范围内应无建筑、铁塔等较大的遮挡物。

4.6.8 观测墩的施工应符合下列规定：

1 观测墩偏离监测点设计位置的距离应不大于 10cm；

2 观测墩的截面尺寸应不小于设计要求；

3 混凝土观测墩的顶面应水平、平整；钢结构观测墩应竖直；

4 观测墩顶部的强制对中器的底盘应调整水平，倾斜度应不大于 1° 。

4.6.9 固定 GNSS 天线的支架应竖直,角度偏差应不大于 2° 。

4.6.10 GNSS 天线的安装应符合下列规定:

- 1 GNSS 天线应安装在观测墩顶部或支架的南面;
- 2 保护罩应安装严密,防止雨水渗入;
- 3 GNSS 天线应位于避雷针保护范围内;
- 4 GNSS 天线不得和其他硬件的接地导体连接。

4.6.11 GNSS 天线的引下馈线安装应符合下列规定:

1 引下馈线从观测墩外部或支架走线时,其与观测墩或支架的绑扎间距应不大于 0.8m,拐弯两侧应同时绑扎固定;

2 馈线不得缠绕、扭绞,且拐弯应圆滑均匀。硬质馈线最小弯曲半径应不小于馈线外径的 20 倍;软馈线最小弯曲半径应不小于馈线外径的 10 倍;

3 引下馈线的长度应有余量,防止因环境温度降低而拉坏。

III 光电靶标式位移传感器

4.6.12 靶标的安装应符合下列规定:

1 安装前应确认监测点的靶标与长焦摄像机之间可通视;

2 靶标应竖直安装且与被测桥梁顺桥向垂直,垂直度偏差应不大于 1° ;

3 靶标应与桥梁结构牢固连接,车辆通行情况下靶标与桥梁结构不得相对晃动。

4.6.13 长焦摄像机的安装应符合下列规定:

1 安装基座应与桥梁结构或无沉降的基础刚性连接;

2 安装基座的安装表面应水平;

3 应将摄像机与长焦镜头牢固卡紧后,方可拧紧摄像机与安装基座、长焦镜头与安装基座的固定螺丝;

4 应确认靶标在摄像机视域的中心,且清晰可见;

5 安装过程中不应触碰长焦镜头和摄像机的镜面。

4.7 应变传感器

4.7.1 预埋式应变传感器安装位置与设计监测点的距离偏差应不大于 30mm,角度偏差应不大于 1° 。

4.7.2 预埋式应变传感器的安装应符合以下要求:

1 宜采用结构钢筋或辅助钢筋进行预埋传感器的定位,并应在传感器两端、中部分别绑扎牢固;

2 当传感器预浇在预制块内埋设时,预制混凝土块的设计强度应与监测点处混凝土的设计强度相同。在传感器测试方向,预制块顶面应在钢筋保护层以内;

3 在混凝土浇筑过程中,禁止振捣器触碰传感器。

4.7.3 预埋式应变传感器的引出线缆应符合下列规定:

1 引出线缆宜采用软管保护,软管与钢筋的绑扎间距应不大于 1m;

2 光纤应变传感器露出混凝土的光缆长度应不小于 1m,在光缆端头应采取密封保护措施。

4.7.4 表贴式应变传感器安装位置与设计监测点的距离偏差应不大于 20mm,角度偏差应不大于 0.5° 。

4.7.5 在混凝土构件表贴应变传感器时,宜将 2 块钢板按下图埋入混凝土表面作为安装基座,应变传感器与基座应采用焊接或螺栓连接。

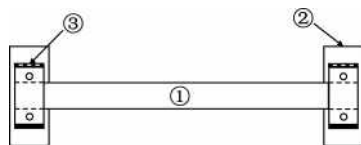


图 4.7.5 混凝土表贴应变传感器安装示意图

1-应变传感器 2-预埋钢板 3-焊接位置

4.7.6 在钢结构上安装表贴应变传感器时应符合下列规定:

1 应先清除钢结构表面的油漆、焊渣等杂物,并将安装表面打磨光滑;

2 宜采用冷焊或螺栓固定应变传感器,并应恢复钢结构表面的涂装。

4.8 加速度传感器

4.8.1 安装基座的施工应符合下列规定:

1 混凝土安装基座的施工应符合本标准第 4.4.1 条的规定;

2 钢结构构件上的安装基座宜采用冷焊进行固定。

4.8.2 加速度传感器的安装应符合下列规定:

1 测试方向与设计方向的角度偏差应不大于 1° ;

2 采用单螺栓固定加速度传感器时,应采取防止加速度传感器发生转动的措施;

3 加速度传感器外壳与接地体之间的阻抗应不大于 1Ω 。

4.8.3 加速度传感器的屏蔽线外层应与接地体可靠连接。

4.9 锚索计

4.9.1 锚索计的安装应符合下列规定:

1 应确认锚索计的安装基面与所测索孔径方向垂直;索与锚垫板不垂直时,应采用与锚垫板刚度相同的楔型垫板进行调整;

2 锚垫板与锚束张拉孔的中心轴线应相互垂直;

3 锚索计的内径应大于所测索的外径。

4.9.2 锚索计的安装应符合下列规定:

1 应将锚索计平稳放置于锚板和工作锚之间;

2 锚索计出现几何偏心时应即时予以调整;

3 锚索计安装就位后应及时调零,并读取初值。

4.9.3 在进入桥架之前的锚索计引线宜采用 PVC 钢丝软管保护。

4.10 倾角仪

4.10.1 倾角仪的安装方式应符合设计规定。当设计无规定时,宜采用刚性连接将其与被测构件牢固连接。

4.10.2 倾角仪安装精度应符合设计规定。当设计无规定时,倾角仪轴线宜与被测构件轴线重合,水平位置偏差宜不大于 1cm。

4.10.3 倾角仪安装后应及时读取初始值,并应作为传感器的起始值。

4.11 验收标准

主控项目

4.11.1 传感器的类型、型号以及安装位置应符合设计要求。

检验方法:检查施工记录、现场观察。

4.11.2 动态称重传感器前后直线引道的长度应不小于 20m,安装后路面高差应不大于 3mm。

检验方法:检查施工记录,用直尺、游标卡尺量测。

4.11.3 风向传感器的定北标志方向与正北方的角度偏差应不大于 0.5° ;风速风向传感器中轴的垂直度偏差应不大于 1° 。

检验方法:用角度尺量测。

4.11.4 地震动传感器起振方向与设计方向的偏差应不大于 1° 。

检验方法:用倾角仪量测。

4.11.5 混凝土内部预埋温度传感器的安装位置与设计位置的偏差不大于 5mm;表贴式温度传感器的安装位置与设计位置的偏

差应不大于 3mm。

检验方法:检查施工记录,用游标卡尺量测。

4.11.6 连通主管、支管的直径不应小于设计规定的直径,连通管内气泡的长度应不大于 10mm。

检验方法:检查施工记录,用直尺、水平尺或游标卡尺量测。

4.11.7 GNSS 天线在 2m 空间范围内应无尺寸大于 200mm 以上的金属物,且天线应在避雷针保护范围内。

检验方法:检查施工记录、观察检查。

4.11.8 光电靶标式位移传感器的光源器件、长焦摄像机与被测结构物牢固连接,光源器件在长焦摄像机中的成像清晰度良好。

检验方法:观察检查。

4.11.9 预埋式应变传感器安装位置偏差应不大于 30mm,角度偏差应不大于 1° ;表贴式应变传感器安装位置偏差应不大于 20mm,角度偏差应不大于 0.5° 。

检验方法:检查施工记录、用直尺、游标卡尺量测。

4.11.10 加速度传感器的敏感主轴方向与设计方向的偏差应不大于 1° 。

检验方法:检查施工记录、现场检查。

4.11.11 锚索计的安装基面与所测索孔径方向垂直度的偏差应不大于 1° 。

检验方法:检查施工记录、用倾角仪量测。

4.11.12 倾角仪轴线与被测试的结构表面的垂直度偏差应不大于 0.5° 。

检验方法:检查施工记录、用角度尺量测。

一般项目

4.11.13 布设传感器截面的标识应包括传感器的类型、型号、数量、编号、传感器引出线编号及对应采集设备的编号和通道号。

检验方法：观察检查。

4.11.14 传感器标识应齐全、牢固、清晰。

检验方法：观察检查。

5 综合布线

5.1 一般规定

5.1.1 管线安装、线缆敷设的线路应满足设计要求。当设计无要求时,应按最短路径原则集中安装、敷设。

5.1.2 综合布线不应妨碍桥梁结构的维护、维修操作,不应影响桥梁的正常使用。

5.1.3 宜在管线安装施工结束后敷设线缆,且敷设过程中不得损伤线缆。

5.1.4 信号线在以下部位应进行标识:

- 1 传感器的连接端;
- 2 桥架的接入端和引出端;
- 3 采集设备接入端;
- 4 线路每 100 米间距处。

5.1.5 电源线在以下部位应进行标识:

- 1 与主电源的连接端;
- 2 桥架的接入端和引出端;
- 3 用电设备接入端。

5.1.6 信号线、电源线的标识应符合下列要求:

- 1 标识应统一、清楚、易读和整洁;
- 2 相同去向线缆标识粘贴的朝向应一致,宜统一朝上或朝向维护操作面;
- 3 标识宜采用不同颜色区分强电、弱电。

5.1.7 在经过伸缩缝或支座时,桥架、线管及线缆的安装和敷设应采取适应变形的措施。

5.1.8 敷设的管线和线缆应横平竖直、整齐美观,不宜交叉。

5.1.9 管线安装、线缆敷设、防雷与接地施工中的下脚料、废弃物等垃圾应统一回收,不得丢弃在桥梁现场。

5.2 桥架与线管安装

I 桥架安装

5.2.1 桥架支架的材质、加工尺寸和焊接施工应符合设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

5.2.2 桥架安装施工应符合现行国家标准《建筑电气施工质量验收标准》GB50303 的规定。

5.2.3 钢支架在安装前应进行防腐处理,防腐层应均匀、完整,以避免钢支架发生锈蚀。

5.2.4 支架安装应符合下列规定:

1 支架焊接不应有漏焊、欠焊、裂纹和咬边等缺陷;

2 在钢筋混凝土构件上安装支架时应避开钢筋进行钻孔。对废弃不用的膨胀螺栓钻孔,应采用浆料填塞处理;

3 支架安装坡度、弧度应符合设计要求。当设计无规定时,支架安装坡度、弧度应与电缆沟或桥梁结构的坡度、弧度相同;

4 支架固定后应横平竖直、整齐美观,各支架之间的距离应均匀。

5.2.5 支架的间距应符合设计规定。当设计无规定时,支架的间距宜为 1.5m~3m。

5.2.6 桥架垂直段大于 2m 时,应在垂直段上、下端槽内增设固定电缆用的支架;当垂直段大于 4m 时,应在中部增设支架。

5.2.7 桥架采用螺栓连接时,应采用平滑的半圆头螺栓,螺母应在电缆槽外侧,固定应牢固。

5.2.8 在易受车辆、风等引发振动的环境安装桥架时,固定桥架的螺母应有防滑功能。

II 线管安装

5.2.9 线管不得有变形或裂缝,其内部应清洁干燥、无毛刺,管口应有保护措施。

5.2.10 线管与控制箱、接线箱、接线盒等连接时,应采用锁母将管口固定牢固。

5.2.11 线管穿过桥体时应加装保护套管。

5.2.12 焊接钢管不得在焊接处弯曲,弯曲处不得有折皱。镀锌钢管不得加热弯曲。

5.2.13 位于桥架外的通信线缆应采用镀锌钢管加以保护,并采取接地保护措施。

5.2.14 线管接头及线盒连接处的粘接应牢靠,无形变损坏。

5.2.15 钢管进线盒的连接施工应符合下列规定:

- 1 线盒开孔应一管一孔,且应排列整齐;
- 2 钢管与线盒的连接应采用锁紧螺母或护圈帽固定。

5.3 线缆敷设

5.3.1 光缆敷设前应进行外观检查和光纤导通检查。

5.3.2 线缆铺设施工应符合设计及现行国家标准《综合布线系统工程验收标准》GB50312 的规定。

5.3.3 光缆的弯曲半径不应小于设计要求。当设计无要求时,弯曲半径应不小于光缆外径的 15 倍。

5.3.4 以牵引方式敷设光缆时,主要牵引力应加在光缆的加强芯上。

5.3.5 光缆连接应采用专用设备进行熔接,熔接损耗应不大于

0.08dB。

5.3.6 线缆中继接头应按设计要求制作,无虚焊;同轴电缆的连接应采用专用接头。

5.3.7 电源线、信号线的敷设施工应符合下列规定:

1 不应敷设在有腐蚀性物质排放、强磁场和强电场干扰的区域。当无法避免时,应采取防护或屏蔽措施;

2 电源线、信号线的接头应在暗线箱或接线盒内。接头宜采用压接,当采用焊接时应采用无腐蚀性的助焊剂;

3 在雨天、大雾天等恶劣天气条件下,不应进行室外的光缆、电缆的接续工作;

4 线缆垂直铺设于桥架内时,其顶部和每隔 1.5m 处宜与桥架固定;线缆水平铺设于桥架内时,每隔 3~5m 处宜与桥架固定;

5 线缆敷设作业人员不得攀爬桥架和支架。

5.3.8 线缆从室外进入室内或进入室外的机柜、机箱时,宜从底部进入,并应有防水密封措施。

5.3.9 线缆在进入桥架前,宜采用软波纹管进行保护。

5.4 防雷与接地

5.4.1 防雷与接地装置的施工应符合现行国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术标准》GB50343 的规定,并应符合下列规定:

1 防雷保护器的安装应牢固,接线应可靠;多个防雷保护器的安装位置、顺序应符合设计文件和产品说明书的要求;

2 当桥梁结构有接地装置时,宜将监测系统的接地与桥梁接地焊接牢固,并应采取防腐措施;

3 当桥梁结构无接地装置时,监测系统的接地体埋设位置和深度应符合设计文件要求;

4 接地电阻值无法满足设计文件要求时,应采取物理或化学降阻措施。

5.4.2 接地线的安装应符合现行国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术标准》GB50343 的规定,并应符合下列规定:

- 1 接地线不应有机械损伤;
- 2 接地端子应设置在便于操作部位,并做明显标记。

5.5 验收标准

主控项目

5.5.1 金属电缆桥架及其支架和引入或引出的金属电缆导管必须接地(PE)或接零(PEN)可靠,金属电缆桥架及其支架全长与接地(PE)或接零(PEN)干线相连应不少于 2 处。

检验方法:观察检查。

5.5.2 电缆敷设不得有绞拧、铠装压扁、护层断裂和表面严重划伤等缺陷。

检验方法:观察检查。

5.5.3 光缆的后向散射信号曲线应无异常。

检验方法:检查光缆施工检测记录。

5.5.4 同一接地网连接的各相邻设备、设备与引下线之间的直流过渡电阻应不大于 0.2Ω 。

检验方法:检查施工检测记录。

5.5.5 接地装置的接地电阻应符合设计要求。

检验方法:检查施工检测记录。

一般项目

5.5.6 当设计无要求时,电缆桥架水平安装的支架间距应不大于 3m;垂直安装的支架间距应不大于 2m。

检验方法:钢尺测量。

5.5.7 桥架与支架间螺栓、桥架连接板螺栓固定应紧固无遗漏，螺母位于桥架外侧。

检验方法：观察检查。

5.5.8 直线段钢制电缆桥架长度超过 30m、铝合金或玻璃钢制电缆桥架长度超过 15m 宜设伸缩节；电缆桥架跨越结构伸缩缝处应设置补偿装置。

检验方法：丈量、观察检查。

5.5.9 电缆桥架的安装应横平竖直、排列整齐；连接处应对合严密；成排拐弯时弧度应一致。

检验方法：观察检查。

5.5.10 线管敷设应排列整齐，固定应牢固。电缆出入电缆沟、竖井、结构物、柜台处及管子管口处等宜做密封处理。

检验方法：观察检查。

5.5.11 电线、电缆穿管前，应清除管内杂物和积水。管口应有保护措施，不进入接线盒（箱）的垂直管口穿入电线、电缆后，管口应密封。

检验方法：观察检查。

6 采集站与机房安装

6.1 一般规定

6.1.1 机柜尺寸应符合设计要求。机柜的面板、边框应无锋边、毛刺；机柜的箱门把手等外露和操作部位的棱角半径应不小于 2mm。

6.1.2 机柜内设备的分布应符合设计要求。当设计无要求时，设备分布应做到功能集中、方便布线、利于维护和更换。

6.1.3 机柜内的布线应符合下列规定：

- 1 布线应横平竖直、无交叉，接头不得扭绞、打圈；
- 2 线缆不应受外力的挤压和损伤；
- 3 邻近机柜之间布设走线宜在机柜的顶端；
- 4 裸线应用套管或绝缘胶布包裹。

6.1.4 机柜过线区的安装应符合下列规定：

- 1 电源线、信号线应有独立的进线孔以避免相互干扰；
- 2 应考虑线缆引入、固定和接线时的安全性、便利性和扩容性，并预留足够的过线空间；
- 3 当户外机柜有屏蔽要求时，过线区应增加屏蔽措施。

6.1.5 机柜门的最大开启角度应不小于 90°。室外机柜门开启时，应能防止外部积水进入机柜。

6.1.6 机柜接地应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

- 1 机柜金属部分任意两点之间的连接电阻应不大于 0.1Ω；
- 2 接地连线应采用截面面积不小于 4mm² 的铜线；
- 3 接地连接点应有清晰的接地标识。

6.1.7 机柜编号及机柜标识张贴应符合下列规定：

- 1 机柜应统一编号,并将标签贴于机柜外部醒目处；
- 2 同一机柜内的设备应统一编号,并将机柜内所有设备列表标签张贴于机柜内部醒目处。

6.2 采集站安装

6.2.1 落地式机柜的安装应符合下列规定：

- 1 机柜竖立后应及时固定,防止倾倒造成人员伤亡和设备损坏；
- 2 机柜上的固定螺丝、垫片和弹簧垫圈应紧固；
- 3 有抗震要求时,应按设计要求对机柜固定装置进行抗震加固。

6.2.2 壁挂式机柜的安装应符合下列规定：

- 1 机柜距离地面应不小于 300mm,机柜门应垂直于地面开启；
- 2 机柜与结构或安装基座的固定点应不少 4 个。

6.2.3 在机柜固定后方可安装机柜内的设备和部件,设备、部件应与机柜牢固固定。

6.2.4 线缆安装完毕后,机柜的进出线缆孔洞应采用防火胶泥封堵,并做好防水和防潮处理。

6.2.5 室外机柜门应配置门锁,门锁应具有防盗功能。

6.3 机房安装

6.3.1 机房的土建施工应符合现行国家标准《数据中心基础设施施工及验收标准》GB 50462 的规定。

6.3.2 在既有机房施工且需对既有设备进行作业时,应经相关人员认可,并在机房值班人员配合下进行。施工中不得触动与施

工无关的设备。

6.3.3 在安装机房设备、仪器前,机房应具备下列条件:

- 1 基础底座应安装完毕;
- 2 地板、顶棚、内墙和门窗应施工完毕;
- 3 空调系统应已投入运行;
- 4 供电系统及室内照明应已投入运行。

6.3.4 机房设备安装就位后,机房应具备设计文件规定或监测硬件运行要求的供电、温湿度条件。

6.3.5 机房 220V 供电电压波动不应超过+10%。当超过该范围时,应加装稳压设备。

6.4 验收标准

主控项目

6.4.1 机柜安装位置与设计文件的偏差应不大于 30mm。

检验方法:用直尺、水平尺量测,现场观察。

6.4.2 机柜安装垂直偏差度应不大于 3mm,水平误差应不大于 2mm。

检验方法:用直尺、水平尺量测,现场观察。

6.4.3 机柜内设备与机柜的连接牢固,无漏连、虚连现象,柳钉或柳固螺母应排列整齐,无歪头、裂头及松动,柳接面无下凹、变形或破损。

检验方法:现场观察。

一般项目

6.4.4 数据采集、数据传输等设备安装满足工艺要求,整齐、美观,各个接线端子应接触可靠、连接牢固。

检验方法：现场观察。

6.4.5 在经过高温后机柜不应出现下列缺陷：

- 1 柜体出现翘曲、损伤或损坏、永久变形；
- 2 门、窗及孔口盖板等活动部件开关不灵活或闭锁不紧密；
- 3 密封部位和涂覆层膨胀、开裂、脱落；
- 4 安装件和紧固件弯曲、松动、移位或损坏。

检验方法：现场观察。

7 软件测试与部署

7.1 一般规定

7.1.1 软件测试、部署宜由专业人员完成，在软件测试、部署前应编制相应的测试、部署文档。

7.1.2 测试、部署过程中应详细记录出现的异常、错误等事件，在部署完成后应建立软件文档台账。

7.1.3 软件中的后台程序部署应在完善相关流程后方可实施。

7.2 软件测试

7.2.1 软件测试中的单元测试、集成测试、配置项测试和系统测试等应符合现行国家标准《计算机软件测试标准》GB/T 15532 的规定。

7.2.2 软件测试文档的编制应符合国家现行标准《计算机软件测试文档编制标准》GB/T 9386 的规定。

7.2.3 软件测试应制定详细的软件测试需求分析、测试方案和测试用例，并搭建配合软件测试的硬件、网络环境后，方可开展测试工作。

7.2.4 应对数据采集、传输和存储监测软件进行压力测试，压力测试宜包括下列内容：

- 1 超过设计规定采样频率的全桥传感器同步采集能力；
- 2 数据传输量的饱和测试；
- 3 超出规定存储量的数据存储能力。

7.2.5 软件系统测试以功能测试、安全测试为主。实施单位应

随同软件向软件测试单位提供硬件、网络测试环境。

7.2.6 监测软件测试报告应包括以下内容：

- 1 软件测试单位编制的测试计划、测试用例文档；
- 2 测试用例的结果，包括测试期间出现的所有偏离、失败情况。

7.3 软件部署

7.3.1 在符合下列条件后方可进行软件部署：

- 1 监测硬件、网络等的配置符合监测系统设计要求；
- 2 监测软件通过测试并确认合格；
- 3 监测硬件工作正常。

7.3.2 监测软件部署应符合下列规定：

- 1 环境、接口等设置应符合软件详细设计的要求；
- 2 专用服务器、工控机等硬件不得安装与监测系统无关的软件；
- 3 操作系统、防毒软件宜设置为自动更新；
- 4 软件部署后能正常启动。

7.3.3 软件缺陷导致无法部署时，应修改软件并测试通过后方可重新部署。

7.3.4 在软件部署后、系统调试未完成前，应采取临时措施防止未经培训人员操作软件。

7.3.5 监测软件部署后应形成的文档包括：

- 1 用户手册；
- 2 监测软件产品规格说明书；
- 3 监测软件系统故障与恢复手册。

7.4 验收标准

主控项目

7.4.1 软件应实现软件概要设计中的所有功能和业务流程。

检验方法：查看测试报告。

7.4.2 软件部署后应使用正常。

检验方法：现场查看。

7.4.3 软件测试、部署过程中的文档齐全，文档编写应符合相关标准的要求。

检验方法：现场检查文档资料。

一般项目

7.4.4 软件界面布局合理、层次清晰，界面美观。

检验方法：现场查看。

7.4.5 软件窗口、菜单、图标、按钮等元素具有良好的容错能力。

检验方法：查看第三方测试报告、现场测试。

8 系统调试

8.1 一般规定

8.1.1 系统调试应由相关专业技术人员组成调试小组,并应根据设计文件和产品技术文件进行。

8.1.2 系统调试前的准备工作应符合下列规定:

1 监测硬件和监测软件的规格、型号、数量和标识应符合设计文件规定;

2 接地系统和接地电阻应满足设计要求。当设计无要求时,接地电阻应不大于 4Ω ;

3 断开不同接地系统的公共连接点后,不同接地系统之间的绝缘阻值应大于 $50M\Omega$;

4 电气接线应无松动、短路、断路等现象;

5 电源应符合设计和设备电源要求,包括电源种类、电压、负载能力等。

8.1.3 系统调试分为单项调试和联合调试,应按照附录 A 出具调试报告。

8.1.4 系统调试前应制定调试方案并采取必要的安全防护措施。

8.1.5 系统验证使用的仪表和器具的测量精度应不低于被检验传感器的测量精度。

8.2 系统单项调试

8.2.1 系统供电调试应符合下列规定:

1 电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻应满足产品设计要求。当设计无要求时,用 500V 兆欧表测量时应不小于 5M Ω ;

2 60V 以上的直流电源电压波动应不超过+10%;60V 以下的直流电源电压波动应不超过+5%;

3 不间断电源宜进行自行切换性能试验,切换时间和切换电压值应符合设计文件的规定。

8.2.2 系统信号调试应符合下列规定:

1 各传感器采集参数设置应满足设计要求;

2 应针对每种采集策略分别测试传感器返回测试信号的正确性;

3 单个传感器采集数据的响应时间应满足设计和产品技术文件的要求;

4 动态同步采集时各传感器同步精度应不大于 10ms;

5 静态同步采集时各传感器同步精度应不大于 30s。

8.2.3 系统数据调试应符合下列规定:

1 传感器编号及数据在现场数据库和远程数据库中应相互对应;

2 数据存储精度应不低于传感器的测量精度;

3 各传感器的测量数据应不超过传感器的测量范围。

8.3 系统联合调试

8.3.1 系统联合调试以功能调试为主,应调试系统的下列功能:

1 自动和人工实现数据采集、传输和存储的功能;

2 数据显示、回放和统计功能;

3 监测系统报警和预警功能;

4 监测系统的结构安全评估功能;

5 设计文件要求的其他功能。

8.3.2 桥梁结构健康监测系统的时钟每月最大计时误差应不大于5s。

8.4 系统验证

8.4.1 对可采用参考计量仪器进行验证的被测参量,系统实测数据与同时、同条件人工测量数据的偏差应符合表 8.4.1 的规定。

表 8.4.1 传感器验证允许偏差

类别	温度	湿度	应变	挠度	固有基频
允许最大偏差	0.5℃	5%	3 $\mu\epsilon$	1mm	0.2Hz

注:表中误差可为正、负误差。

8.4.2 动态称重传感器的现场验证方法和偏差应满足现行国家标准《动态公路车辆自动衡器》GB/T 21296 的规定。

8.4.3 连通管挠度传感器应按传感器满量程的 30%、50%、80% 进行加减水试验 3 次,相邻传感器的平均偏差应小于传感器精度的 3 倍。

8.4.4 GNSS 天线连续 48h 应锁定 4 颗及以上的 GNSS 卫星。

8.4.5 在相同截面处,桥梁定期观测位移与监测系统位移测试的变化趋势应吻合。

8.5 检验标准

主控项目

8.5.1 监测系统的功能应符合设计文件的要求。

检验方法:查看调试记录。

8.5.2 电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻,采用

500v 兆欧表测量,应不小于 5MΩ。

检验方法:查看调试记录。

8.5.3 得到采集指令后,监测系统所有传感器能正常返回数据。且动态同步采集的同步精度应不大于 10ms;静态同步采集的同步精度应不大于 30s。

检验方法:查看调试记录。

8.5.4 系统验证抽样传感器的误差应符合本标准第 8.4 节的规定。

检验方法:查看调试记录。

一般项目

8.5.5 系统单项调试、联合调试的报告应完整。

检验方法:检查单项调试、联合调试报告。

9 系统试运行

9.1 一般规定

9.1.1 系统单项调试和联合调试合格后方可进行系统试运行。

9.1.2 系统试运行的时间期限应符合设计规定。当设计无规定时,试运行期应不少于3个月。

9.2 试运行

9.2.1 试运行期间系统的可靠性应符合下列规定:

1 系统设备每月平均无故障工作时间应不小于每月总时长的95%;

2 系统自动采集数据每日的数据完整率应不小于95%。

9.2.2 试运行期间系统的稳定性应符合下列规定:

1 当被测桥梁结构受力、环境基本不变时,监测静态参数的传感器在1min内连续采集数据的变动幅值应小于本标准表8.4.1的规定;

2 在监测点与人工测试点相同或邻近条件下,系统自动采集数据应与对应时段内人工测试数据的规律一致;

3 监测数据应具有较好的周期性、与环境的相关性,并不得出现明显的系统性偏移。

9.3 检验标准

主控项目

9.3.1 系统设备每月平均无故障工作时间应不小于每月总时长的 95%。

检验方法:查看试运行报告。

9.3.2 系统自动采集数据每日的数据完整率应不小于 95%。

检验方法:查看试运行报告。

9.3.3 系统试运行期间的稳定性应符合本标准第 9.2.2 条的规定。

检验方法:查看试运行报告。

一般项目

9.3.4 系统试运行时间应符合本标准第 9.1.2 条的规定。

检验方法:查看试运行报告。

10 工程验收

10.1 一般规定

10.1.1 监测系统的施工质量检查和验收应划分为分部工程(单位工程)、分项工程和检验批,并宜符合下列规定:

1 当与新建桥梁同期建设时,监测系统宜按专项工程进行分部工程和分项工程的划分;

2 当监测系统在已运营桥梁上单独建设时,每个独立合同宜划分为一个单位工程。

10.1.2 系统质量验收合格应符合下列规定:

- 1 应符合设计文件的规定;
- 2 应符合本标准和相关专业验收标准的规定;
- 3 应符合合同约定。

10.2 质量验收划分和检验数量

10.2.1 分部工程(单位工程)和分项工程的划分应符合下列规定:

1 分部工程(单位工程)宜按施工工艺特点划分为若干子分部工程;

2 分部工程(子分部工程)中,应按施工工艺特点划分为分项工程;

3 子分部工程和相应的分项工程宜按表 10.2.1 的规定执行。本标准未规定时,可由建设、监理和实施等单位协商确定。

表 10.2.1 子分部工程与相应的分项工程划分表

序号	子分部工程	分项工程
1	传感器安装	动态称重传感器安装
		风速风向传感器安装
		地震动传感器安装
		温湿度传感器安装
		位移传感器安装
		应变传感器安装
		振动传感器安装
		锚索计安装
		倾角仪安装
2	综合布线	桥架与线管安装
		线缆敷设
		防雷与接地
3	采集站与机房安装	采集站安装
		机房安装
4	软件详细设计与开发	软件详细设计
		软件开发
5	软件测试与部署	软件测试
		软件部署
6	系统调试	系统单项调试
		系统联合调试
		系统验证
7	系统试运行	试运行

10.2.2 监测系统的硬件、软件在进场时应全部检验。

10.2.3 硬件安装质量检验的抽检数量应符合下列规定：

1 供电电源设备的安装质量应全部检验；

2 传感器应按测试原理、用途等分类，每类传感器应抽检 30%，且不得少于 1 个；

3 数据采集设备应按采集原理、用途等分类，每类采集设备、数据传输和处理设备各应抽检 10%，且不得少于 1 台。

10.2.4 系统调试的检验数量应符合下列规定：

- 1 硬件中同型号、规格和生产批次的传感器在系统验证时划分为一个验证批。同一传感器验证批的系统验证抽样数量不应少于该批传感器数量的10%且不少于1个；
- 2 硬件中的数据采集设备和数据传输设备应全部检验；
- 3 监测软件应全部检验。

10.3 验收方法、标准和程序

10.3.1 工程质量验收应在实施单位自检的基础上，按照分项工程、分部工程(单位工程)的顺序进行。

10.3.2 分项工程质量验收合格应符合下列要求：

1 分项工程所含的检验项目中，主控项目的质量应经抽样检验合格；

2 分项工程所含的检验项目中，一般项目的质量应经抽样检验合格；当采用技术检验时，除有专门要求外，一般项目的合格率应达到80%级以上，且不合格点的最大偏差不得大于规定允许偏差值的1.5倍；

3 分项工程质量验收记录应按本标准附录B填写。

10.3.3 分部工程质量验收合格应符合下列要求：

1 分部工程所含分项工程的质量应全部合格；

2 分部工程的质量控制资料应齐全；

3 分部工程质量验收记录应按照本标准附录C填写。

10.3.4 当监测系统在已运营桥梁上作为单位工程单独建设时，其质量验收合格应符合下列要求：

1 单位工程所含分部工程应全部合格；

2 单位工程的质量控制资料应齐全；

3 单位工程质量验收记录和单位工程质量控制资料检查记录应按照本标准附录D填写。

10.3.5 监测系统应符合下列要求后方可进行工程竣工验收：

- 1 完成了设计文件和合同约定的各项内容；
- 2 系统试运行期间平均无故障工作时间满足要求；
- 3 实施单位提出了施工总结；监理单位提出了监理竣工总结、工程质量评估报告；设计单位提出了工作质量报告；
- 4 有完整的实施技术档案和实施管理资料；
- 5 监测硬件的检查报告、安装质量检验报告和系统调试试验报告完整；
- 6 有实施单位自主开发软件的评测报告及商业软件的检查报告；
- 7 有系统说明书、系统操作说明以及系统硬件、软件清单；
- 8 有实施单位签署的工程质量保修书；
- 9 法律、法规规定的其他条件。

10.3.6 分部工程(单位工程)质量验收的程序和组织应符合下列规定：

- 1 实施单位应在自检合格的基础上，将自检结果报监理工程师申请验收；
- 2 总监理工程师应组织各专业监理工程师对工程质量进行竣工预验收。存在施工质量问题时，应由实施单位整改。总监理工程师应根据预验收和整改结果写出工程评估报告，报建设单位组织验收；
- 3 建设单位收到工程评估报告后，对符合竣工验收要求的工程，应组织设计、监理和实施等单位组成验收组，制定验收方案；
- 4 竣工验收组应由建设、设计、实施和监测系统管理等单位的有关负责人组成，亦可邀请有关方面专家参加。

附录 A 单项(联合)调试报告

工程名称		调试项目	
调试内容		实施单位	
国家标准和技术标准(或设计要求):			
调试情况记录			
存在问题的处理意见			
结论			
建设单位	设计单位	监理单位	实施单位
现场负责人: 月 日	专业负责人: 年 月 日	监理工程师: 总监理工程师: 年 月 日	质检工程师: 技术负责人: 项目经理: 年 月 日

附录 B 分项工程质量验收记录

工程名称		实施单位		
项目经理		项目负责人		
国家标准和技术标准(或设计要求):				
序号	检验项目	实施单位检验结果	建设(监理)单位验收结果	
情况 记录	主控项目			
	一般项目			
建设单位	设计单位	监理单位	实施单位	
现场负责人： 年 月 日	专业负责人： 年 月 日	监理工程师： 总监理工程师： 年 月 日	质检工程师： 技术负责人： 项目经理： 年 月 日	

附录 C 分部工程质量验收记录

工程名称				分部工程名称			
实施单位				项目经理			
序号	分项工程名称	检验批数	实施单位检查结果		验收意见		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
质量控制资料							
单项和联合调试报告							
功能验收							
综合验收 结论							
建设单位		监理单位		设计单位		实施单位	
项目负责人： (公章) 年 月 日		总监理工程师： (公章) 年 月 日		项目负责人： (公章) 年 月 日		项目经理： (公章) 年 月 日	

附录 D 单位工程质量控制资料检查记录 (竣工验收意见书)

工程名称				建设规模(万元)		
结构类型				设计合理使用年限		
实际开工日期	年 月 日	实际竣工日期	年 月 日	验收日期	年 月 日	
隐蔽验收情况						
工程竣工技术资料核查情况						
工程监理资料情况						
主要使用功能检查结果						
完成工程设计与合同约定内容情况						
保修书签署情况						
档案验收情况						
验收意见						
建设单位	设计单位	监理单位	实施单位			
项目负责人： (公章)	项目负责人： (公章)	总监理工程师： (公章)	项目经理： (公章)			
年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日			

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待,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 标准中指明应按其他有关标准执行时,写法为:“应符合……的规定(或要求)”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《计算机软件文档编制标准》GB/T 8567
- 2 《计算机软件测试文档编制标准》GB/T 9386
- 3 《计算机软件测试标准》GB/T 15532
- 4 《信息安全技术-信息系统通用安全技术要求》GB/T 20271
- 5 《动态公路自动衡器》GB/T 21296
- 6 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 7 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 8 《建筑电气施工质量验收标准》GB 50303
- 9 《综合布线系统工程验收标准》GB50312
- 10 《建筑物电子信息系统防雷技术标准》GB 50343
- 11 《数据中心基础设施施工及验收标准》GB 50462
- 12 《建筑与桥梁结构监测技术标准》GB 50982
- 13 《城市桥梁工程施工与质量验收标准》CJJ2
- 14 《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251

重庆市工程建设标准

桥梁结构健康监测系統实施和验收标准

DBJ50/T-304-2018

条文说明

2018 重 庆

目 次

1	总则	51
3	基本规定	52
4	传感器安装	54
4.1	一般规定	54
4.2	动态称重传感器	54
4.3	风速风向传感器	55
4.5	温湿度传感器	55
4.6	位移传感器	55
4.7	应变传感器	56
4.9	锚索计	56
5	综合布线	57
5.2	桥架与线管安装	57
5.3	线缆敷设	57
5.5	验收标准	57
6	采集站与机房安装	58
6.1	一般规定	58
7	软件测试与部署	59
7.1	一般规定	59
7.2	软件测试	59
7.3	软件部署	59
8	系统调试	61
8.1	一般规定	61
8.4	系统验证	61

9 系统试运行	62
9.2 试运行	62

1 总 则

1.0.1 桥梁结构健康监测系统是否能够发挥结构安全评估、预防结构倒塌等重大安全事故的作用,涉及到系统设计、仪器仪表选型、工程实施质量和运营管理水平等因素,其中工程实施质量是较为重要的环节。桥梁结构健康监测系统实施是一个综合性强、专业性强的技术工作,在实施过程中必须遵循标准化,并采用有效的检验、验收手段,才能保障系统数据采集、传输和分析的可靠性。

1.0.2 根据现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术标准》GB 50982 的规定,监测可划分为结构施工期监测和使用期监测。本标准仅对使用期间实施的监测系统进行规定。对施工期已安装部分或全部传感器的监测系统,也可参照本标准建成桥梁结构使用期的长期监测系统。

1.0.3 桥梁结构健康监测系统实施和验收工作的涉及面广、专业技术要求高,不仅包括各类传感器等硬件安装方面的内容(如光纤光栅应变传感器安装、压电式加速度传感器安装、机房安装等),也涉及到数据传输、界面显示等软件实施方面的内容(如无线数据传输、安全评估软件等)。因此,凡本标准有规定的,应遵照执行;凡本标准无规定的,尚应按照有关现行标准的规定执行。

3 基本规定

3.0.1 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定,本条对健康监测系统实施单位的质量管理和保证制度提出了要求。健康监测系统实施单位应根据项目特点成立项目管理组织、制定质量保障制度。项目负责人应具有项目经理证,实施人员应持有该岗位所需的职业资格证书。

3.0.2 根据重庆市桥梁结构健康监测实施的具体情况,监测系统的设计、施工可由同一家单位完成,也可由不同单位完成。鉴于健康监测系统实施涉及到硬件、软件等多个方面,且实施过程中各工种相互交叉,因此,不管监测系统设计和实施是否为同一家单位,实施前均应认真审查图纸,确保施工过程能顺利进行。

3.0.3 进行软件测试时,监测系统实施单位应向软件评测单位提供用于测试的硬件环境,如无同步采集要求时每类传感器可提供 1 个同类传感器用于测试,有同步采集要求时应提供 2 个及以上的同类传感器进行测试。

3.0.5 附带技术文件应包括产品合格证和质保书等文件。当硬件设备的外观尺寸对其安装有影响时,除采用目测检查外,可采用游标卡尺等测试工具对硬件设备的外观尺寸、安装孔尺寸进行检查。

3.0.6 商业化软件主要指操作系统、数据库管理系统、信息安全软件和网管软件等软件,这些软件主要通过外购取得。

3.0.7 桥梁结构健康监测系统的施工包括临时设施施工、传感器基座和预埋件安装、桥架等线缆管道施工、硬件设备保护措施施工、采集站及机房安装等。这些施工的质量对传感器测试精度

和耐久性、环境噪音的屏蔽有一定影响,所以应在这些工程验收合格后,方可进行硬件的安装。

4 传感器安装

4.1 一般规定

4.1.5 对传感器,宜安装专用的保护盒;对外部接线,宜放入专用桥架或线管中。

4.1.6 截面编号可采用阿拉伯数字或英文字母。考虑到箱梁桥内部或受其他结构物、标示牌等阴影遮挡,标示条张贴处的光线可能较暗,故规定采用较为醒目的荧光标示条作为标记物。

4.1.7 为便于后期对监测系统进行管理、维护,本条规定在桥梁现场应对布设传感器的详细信息进行标识。

4.2 动态称重传感器

4.2.2 本条规定参考了现行国家标准《动态公路自动衡器》GB/T 21296。主要干线公路或城市道路混凝土强度等级通常为 C25 或 C30,高速公路为 C30,故本标准采用 C30。

4.2.3 现行国家标准《动态公路自动衡器》GB/T 21296 的规定,引道应有足够的长度可同时支持衡器称量最长车辆的所有车轮。目前,我国标准中特大型客车的长度 13.7m,平板车(17.5m)和车头约为 21m,其前轮和最后一个轮的轴距应小于 20m,故规定引道长度不小于 20m。

4.2.4 积水可能导致动态称重传感器损坏或降低其耐久性。气象资料表明,仅在 2000 年至 2009 年间,重庆发生大暴雨 4 次,特大暴雨 1 次(达 350mm),且特大暴雨随城市的扩大有频次增加的趋势。故本条对动态称重系统的排水施工进行了规定。

4.2.5 若动态称重传感器与道路高差较大,易因跳车现象导致

测量失真。

4.3 风速风向传感器

4.3.1 风速风向传感器的安装基座主要指支架。支架安装不稳固或刚度不足易引起风速风向传感器自身发生振动而致使其测量精度下降。

4.5 温湿度传感器

4.5.3 采用钢筋作为辅助定位工具的目的主要是为在后期封孔过程中保持传感器位置不易扰动。

4.6 位移传感器

4.6.5 当连通管中混入气泡时,将影响静力水准仪的准确度,本条对连通管允许的气泡量进行了规定。

4.6.10 GNSS天线可能将外界干扰引入天线系统,所以规定其应与其他系统分开。

4.6.12 光电靶标式位移传感器采用光源器件作为靶标,摄像仪作为测量仪,摄像仪采用长焦镜头,测试原理如图1所示。

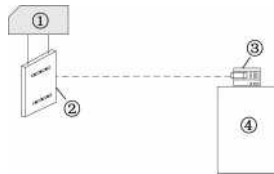


图1 光电靶标测试原理图

1-被测结构体 2-光源器件 3-摄像机(长焦镜头) 4-岸基或桥墩等沉降较小结构

4.7 应变传感器

4.7.1 本条参考了现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范标准》GB 50982 中对应变传感器的安装偏差的规定。

4.7.2 为保证振捣器不对传感器造成损伤,且振捣过程中不影响传感器的安装位置,本条规定了混凝土浇筑过程中振捣器的使用条件。

4.7.5 钢板尺寸可采用 $50\text{mm} \times 20\text{mm} \times 10\text{mm}$,以便被测结构的应力有效传递给传感器。

4.7.6 当采用螺栓在钢结构上固定应变传感器时,应经桥梁结构设计方允许后,使用攻丝机在钢结构上攻丝,攻丝深度宜不小于 5mm 。

4.9 锚索计

4.9.1 索与锚垫板不垂直时,应用楔形垫板使索锚计中心线与索的中心线重合,如图 2 所示。锚垫板与锚束张拉孔的中心轴线不相互垂直时,在锚束张拉过程中将导致锚索计在垫板上产生滑动,从而致使测量值偏小或测值失真。

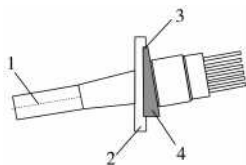


图 2 楔形垫板加装示意图

1-锚束孔 2-锚垫板 3-开槽 4-楔形垫板

5 综合布线

5.2 桥架与线管安装

5.2.3 钢支架可采用油漆进行防腐,其厚度的规定应满足现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 规定,也可采用镀锌方式进行防腐。

5.2.13 本条规定桥架外的线缆采用钢管保护的有二,一是保护线缆,二是屏蔽外界干扰信号。

5.3 线缆敷设

5.3.5 光纤损耗除与光纤材料相关外,也与光纤接头处的熔接损耗有关。降低光纤接头处的熔接损耗,可增大光纤中继放大传输距离和提高光纤链路的衰减裕量,故本条对光纤熔接进行具体规定。

5.5 验收标准

5.5.5 220V 电缆电线的绝缘电阻试验应采用 500V 兆欧表量测,100V 以下电缆电线应采用 250V 兆欧表量测。

6 采集站与机房安装

6.1 一般规定

6.1.1 规定锋边、毛刺主要是防止机柜在装配、安装和使用过程中机柜可能造成人身安全的隐患。

6.1.2 机柜由上到下宜分为四个区域：交流分配单元、配线架、有源设备和光缆终端盒。

6.1.4 机柜过线区是指机柜中布线的区域，如过线孔、走线架、过线槽等。

7 软件测试与部署

7.1 一般规定

7.1.3 应向有关部门提交关于设置后台程序的目的、用途、安全性等书面申请。获得批准后方可设计后台程序。不应私自在软件系统上设计后台程序,使软件系统受到非法远程控制或远程传输数据。

7.2 软件测试

7.2.5 功能测试主要包括适应性、健壮性、可恢复性及灾难恢复能力测试;安全测试主要包括加密、解密、数据备份、恢复及病毒检测等测试。功能测试和安全测试无需桥梁结构健康监测系统的全部网络和硬件环境,故在提供硬件环境时,各类传感器、数据采集设备、数据传输设备等仅提供 1 个或少量即可。

7.2.6 测试用例是为高效发现软件错误、漏洞而准备的测试数据或操作过程。测试用例不可能穷举软件的所有情况,但为提高测试效率,其应具有代表性,故测试用例需事先设计。

7.3 软件部署

7.3.3 为便于后期软件修改、测试,将软件系统缺陷分类如表 1 所示。

表 1 软件系统缺陷分类表

序号	缺陷类型	描述
1	功能错误	影响了重要的特性、用户界面、产品接口或全局数据结构,并且设计文档需要争取的变更。如逻辑、循环、递归、功能等缺陷
2	结构错误	应用程序结构化页面无法显示,或者显示错误
3	脚本错误	应用程序当中出现脚本错误,包括客户端对数据进行查询和统计的各种情况下产生的错误
4	页面链接错误	应用程序页面出现空链接、错误链接、死链接
5	页面文字错误	应用程序页面出现的中外文拼写、使用、以及不同语种页面的编码错误
6	页面图形错误	应用程序页面出现图片内容使用不当,或者无法显示
7	ALT 错误	应用程序页面当中超文本标识语言、文本标签解释错误
8	排版错误	应用程序页面排版不符合要求或者不符合使用习惯
9	业务逻辑不合理	应用程序的实现流程和规定业务流程不一致,或者实现流程无法正确完成。包括流程数据的部分并行、争用、同步等操作,引起的流程断裂、死锁、以及其他异常情况
10	业务逻辑不方便	应用程序实现流程在实际情况虽然可以完成,但是存在不必要的反复、等待、冗余等影响使用效率的情况
11	其他错误	其他未分类错误

8 系统调试

8.1 一般规定

8.1.1 系统调试是检验监测系统实施质量、修正实施过程中可能存在错误的重要手段,且调试过程可能造成传感器等设备损坏以及人为事故,故本条规定调试应由专业技术人员进行,专业技术人员宜取得相关专业工程师以上职称或具有相应的执业资格。

8.1.2 本条规定了系统在加电调试前应完成的准备工作,对电气接线、接地和电源的规定主要是确保传感器等设备在调试过程中的安全。

8.4 系统验证

8.4.1 在桥梁结构健康监测系统中,温度、湿度、风速和裂缝等测试参数均可采用参考计量仪器进行验证。

8.4.6 对于挠度,同一影响线段内,定期观测截面与健康监测布点截面之间的距离小于该段影响线长度的 $1/10$ 时可视为同一截面;对于桥塔的塔顶等位移,定期观测截面与健康监测布点截面之间的距离小于 5m 时可视为同一截面。

9 系统试运行

9.2 试运行

9.2.1 每月平均无故障工作时间指系统每月 30 天内正常工作的总小时数,其中,自动定时采集所得数据连续 3 次异常视为系统工作不正常。

9.2.2 桥梁结构受力基本不变主要指作用在桥梁上的车辆荷载相差不大,桥梁结构的环境基本不变主要指环境温度、风速风向基本不变。桥梁在凌晨 12 点至早上 5 点之间的车辆荷载较少,温度变化不大,故可采用这些时刻进行稳定性验证。在 1min 的采样时段内,静态数据采样次数宜大于 12 次,即在 1min 内至少采集 12 个数据。