

ICS 93.040
CCS P 28

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3089 —2023

梁式桥结构安全监测系统实施指南

2023-06-19 发布

2023-08-01 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 总则 1

4 术语和定义 1

5 基本规定 3

6 系统设计 3

7 传感器安装 13

8 数采与传输设备安装 15

9 系统配套工程 16

10 系统部署与调试 18

11 系统交工验收 19

12 系统试运行 29

13 系统竣工验收 30

附录 A （规范性） 常见梁式桥传感器测点总体布设示意图 33

附录 B （规范性） 梁式桥结构安全监测系统验收评定表格 46

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。

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。

本文件由四川省交通运输厅提出、归口并解释。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司，四川长瑞土木工程检测有限公司。

本文件主要起草人：吴涤、张二华、刘蕾蕾、翟艺阳、孙振、邓亚、李秀春、王万全、张登科、杨杰、李龙景、王莹峰、唐澈、刘铎、任栓勤、彭博、余翔、刘建华、刘昊、王钟文、李宁、张果、王江、代晗、邝靖、曾艳、慈彬、秦搏聪、江猛、任喻云、王波、梁鹏、吴进良。

本文件为首次发布。

梁式桥结构安全监测系统实施指南

1 范围

本文件提供了梁式桥结构安全监测系统建设过程中系统设计，设备安装与配套工程，系统集成与调试，系统交工验收、试运行及竣工验收等主要环节的技术指导和建议。

本文件适用于四川省新建和已建公路梁式桥结构安全监测系统的实施。其它同类型桥梁可参照执行。

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 9386 计算机软件测试文档编制规范
- GB/T 15395 电子设备机柜通用技术条件
- GB/T 15532 计算机软件测试规范
- GB/T 21296.1 动态公路车辆自动衡器—第1部分：通用技术规范
- GB 50052 供配电系统设计规范
- GB 50054 低压配电设计规范
- GB 50254 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范
- GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范
- GB 50311 综合布线系统工程设计规范
- GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范
- GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- JT/T 1037-2022 公路桥梁结构监测技术规范
- DB51/T 2794-2021 山区公路混凝土桥梁结构安全风险监测指标体系设计与预警技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

梁式桥 girder bridge

上部结构在铅垂向荷载作用下受力以弯剪效应为主，在支座处以竖向反力为主的桥梁。

3.2

桥梁结构安全监测 bridge structural safety monitoring

通过安装在桥梁结构上的传感元件、数据采集设备、网络通信设备、附属设施、以及数据处理分析软件，对运营桥梁所处环境和荷载作用、及其对应的结构变化和结构响应进行跟踪感知，数据采集、传输、处理和分析，并对桥梁结构安全风险和技术状态进行预警和评估的过程和策略。

3.3

桥梁结构安全监测系统 bridge structural safety monitoring system

由安装在桥梁结构上的传感元件、数据采集设备、网络通信设备、附属设施、以及数据处理分析软件等模块组成，用以完成上述桥梁结构安全监测功能的集成化系统。

3.4

荷载与环境参数 load and environmental parameter

表征桥梁结构遭受外部荷载及自然环境作用的指标参数，包括车辆荷载、地震动、温度、降雨、地基变位、基础冲刷等。

[来源：DB51/T 2794-2021，4.8]

3.5

结构整体响应 structural global response

在荷载与环境作用下桥梁结构整体的振动、位移、变形和转角等响应。

[来源：DB51/T 2794-2021，4.9]

3.6

结构局部响应 structural local response

在荷载与环境作用下桥梁结构局部或构件的应变、裂缝、支座反力等响应。

[来源：DB51/T 2794-2021，4.10]

3.7

结构变化 structural change

桥梁结构或构件的几何形态、表观状态在服役过程中发生的不可逆变化，如不可恢复的下挠、墩台沉降、结构开裂等。

[来源：JT/T 1037，3.3]

3.8

系统交工验收 system handover acceptance

在桥梁结构安全监测系统设计、软硬件部署、系统集成和调试完成后，对关键设备的技术指标、施工安装质量、以及软件系统的主要功能进行检验的环节，又称为试运行验收。

3.9

系统试运行 system trial running

桥梁结构安全监测系统交工验收完成后，对各项监测指标的采样制度、超限阈值和预警规则进行设置，检验结构安全风险预警和结构技术状态评估算法的有效性，并根据反馈结果不断调整优化系统运行稳定性与可靠性的过程。

3.10

系统竣工验收 system completion acceptance

系统试运行完成后，对系统交工验收时提出的整改项、试运行期间系统设置、调整和优化工作进行全面检验，并完成系统培训交付的环节，又称为系统交付验收。

4 总则

4.1 为规范梁式桥结构安全监测系统的设计、安装施工、系统集成与验收，提高监测系统建设质量，特制定本文件。

4.2 基于四川省自然灾害多发特点，梁式桥结构安全监测除应监测桥梁自身结构状态外，还宜监测与桥梁自然环境或运营环境相关的灾害风险。

4.3 梁式桥结构安全风险监测系统建设应积极稳妥地采用新方法、新技术和新设备。采用本文件或现行标准之外的新方法、新技术和新设备时，宜满足下列条件之一：

- a) 与成熟的方法、技术和设备进行比对试验，结果稳定可靠；
- b) 通过科技成果评价，并经技术适用性论证。

5 基本规定

5.1 根据监测目的和适用场景不同，梁式桥结构安全风险监测系统可分为：A类—综合集成监测系统、B类—特定风险监测系统和C类—应急监测系统，其定义和适用范围应符合 DB51/T 2794-2021 中 5.3 条的相关规定。

5.2 梁式桥结构安全监测系统的设计应符合下列要求：

- a) A类和B类监测系统应进行专项设计后方可实施；
- b) C类监测系统可针对具体监测任务进行方案设计后实施。

5.3 梁式桥结构安全监测系统的验收应符合下列要求：

- a) A类和B类监测系统宜分为系统交工验收和系统竣工验收两个环节；
- b) C类监测系统可针对监测目的，对关键设备的技术指标和系统主要功能进行一次性验收后投入运行。

注：因C类监测系统大多针对应急监测任务，对时间节点要求高，且设备和系统往往是相关单位为完成应急任务而临时租用，因此验收时尽量简化程序，主要检验系统功能和运行有效性是否满足应急监测任务的需求。

5.4 新建和在建梁式桥的结构安全风险监测系统宜与桥梁主体结构同步建设，并与桥梁主体结构同步验收。系统监测内容与测点布置宜兼顾施工监控和成桥荷载试验的技术要求，并采取措施保持建设期和运营期的监测数据连续。

6 系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 系统设计宜包括监测内容与测点布置、系统总体架构设计、各子系统及配套工程设计。

6.1.2 系统设计宜基于桥梁主体结构设计（含维修加固设计）及结构安全风险进行分析结果进行，设计成果文件宜包括下列主要内容：

- a) 监测内容与测点布置；
- b) 系统总体架构设计；
- c) 系统各模块功能、接口及集成设计；
- d) 监测设备选型与技术参数要求；
- e) 设备安装施工图设计与施工工艺要求；
- f) 供电、接网、防雷及防护设施等配套工程设计；
- g) 数据采集与传输子系统设计；
- h) 数据存储与数据安全模块设计；
- i) 结构安全风险预警与应急响应功能设计；

- j) 结构技术状态评估与决策支持功能设计；
- k) 针对系统建设和维护需要的桥梁检修通道的新建或改造设计；
- l) 系统建设及运维的概、预算编制。

注：既有桥梁的监测系统在现场的供配电、通信、防雷等方案设计时尽量结合现场实际条件而定，利用既有的走线管道或通道（需征得走线管道的产权方、使用方的同意）。既有桥梁的监控中心尽量结合桥梁养管单位的现有设施、办公条件等进行改造设计，也可视实际需要新建配套房建工程，新建配套房建工程的工作界面划分同新建桥梁的监测系统设计。

6.1.3 新建梁式桥的监测系统设计除符合 6.1.2 条的要求外，还宜包括下列内容：

- a) 现场设备及其附属设施的预埋件和预留孔洞设计；
- b) 监测系统与主体结构工程、配套房建工程、供配电工程、通信工程等工作界面设计。

注：新建桥梁的监测系统设计，通常由系统设计单位出现场供配电、通信和防雷等需求，并与桥梁机电工程设计单位按照预定的工作界面共同设计。

6.1.4 系统设计前应充分了解桥梁周边环境及运营条件，以及现场供电、通信接入条件。对于供电及通信条件差、线缆敷设困难的桥梁，在传感器选型、数据采集与传输子系统设计时宜采用低功耗无线传感及组网方案。

6.1.5 桥梁结构安全风险监测项目的概预算编制宜统筹考虑系统建设和运维成本。运维成本的测算不宜低于三年，宜包括但不限于：系统用电及网络通讯费、外场设备财产保险费、软硬件维护升级费用、系统管理及预警评估技术服务费。

6.2 监测内容与测点布设

6.2.1 本文件中关于梁式桥结构安全风险监测内容与测点布设的规定适用于 A 类监测系统设计。B 类和 C 类监测系统设计时，宜根据结构安全风险辨识结果和现场条件确定监测内容和测点布设方案。

6.2.2 常见荷载与环境作用类监测指标选取和布设的指导性建议见表 1。

表1 常见荷载作用与环境类监测指标选取及布设技术建议

监测类别	监测项目	主要监测指标	监测优先级		测点布设部位
			简支梁桥	连续（刚构、T 构）梁桥	
交通荷载	车辆荷载	断面车流量、车型、车轴重、轴数、车辆总重、车速	○	⊕/○ ^a	桥台外路基或稳定墩柱支撑的混凝土结构铺装层内
		车辆空间分布	○	○	
环境因素	环境温度	温度	●	●	主梁上下或桥梁构件封闭空间内外温差显著部位
	环境湿度	相对湿度	—	⊕/— ^b	主梁构件封闭空间内潮湿部位
	地震动	两岸（桥台等处）地表场地加速度、主墩底部加速度等	⊕/○ ^c	●/⊕ ^d	主墩承台顶部或桥梁墩台底部
结构温度	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●	●	主梁或主墩关键受力截面
		桥面铺装层温度	○	○	主梁铺装层内

表1 常见荷载作用与环境类监测指标选取及布设技术建议（续）

监测类别	监测项目	主要监测指标	监测优先级		测点布设部位
			简支梁桥	连续（刚构、T 构）梁桥	
风速、风向	风速、风向	桥面风速、风向	—	○	主梁跨中附近桥面 上下游两侧
突发事件	船舶撞击	撞击时结构振动	⊕	⊕	桥墩或承台顶部
	桥面交通或桥下安全状况	视频监控	⊕	⊕	布设视角覆盖主车道/桥下主航道
注1：“●”表示应监测项，“⊕”表示宜监测项，“○”表示可监测项，“—”表示不包含项。 注2：本表内容在DB51/T 2794-2021表B.1基础上，结合JT/T 1037-2022的相关要求修订而成。 注3：表中对船舶撞击的监测适用于航道等级为I级至V级的桥梁，航道等级的确定依据桥梁设计时通航批复文件或GB 50139。					
^a 对主跨跨径不小于150米的连续（刚构、T构）梁桥为宜监测项，否则为可监测项。 ^b 对大跨箱梁内封闭环境为宜监测项，否则无需监测。 ^c 对抗震设防烈度为VII度及以上的简支梁桥为宜监测项，否则为可监测项。 ^d 对抗震设防烈度为VII度及以上且主跨跨径不小于150米的连续（刚构、T构）梁桥为应监测项，否则为宜监测项。					

6.2.3 桥位处水文与地灾监测指标选取和布设的指导性建议见表2。

表2 桥位处水文与地质灾害监测指标选取及布设技术建议

风险类别	监测项目	主要监测指标	监测优先级		测点布设部位
			桩基础	浅埋扩大基础	
水毁	基础冲刷	冲刷深度	○	⊕	冲刷严重的墩台周边
		水流流速、水位	○	⊕	
地质灾害	地表位移	地表绝对位移或相对位移	⊕	⊕	桥梁周边潜在变形坡体
	地表倾斜	地表倾斜度	⊕	⊕	
	地表裂缝	地表裂缝宽度	⊕	⊕	
	深部位移	地层间相对变位	⊕	⊕	
	土压力	土体压力	○	○	
	地下水位	地下水位	○	○	
	雨量	降雨量、降雨强度	⊕	⊕	
注1：“●”表示应监测项，“⊕”表示宜监测项，“○”表示可监测项，“—”表示不包含项。					
注2：表内容在DB51/T 2794-2021表B.2基础上，结合JT/T 1037-2022的相关要求修订而成。					

6.2.4 表1和表2中监测指标需与桥梁结构响应监测指标作相关性分析的，测点布设时宜与结构响应监测指标配套布设在对应的桥跨范围内。

6.2.5 简支梁桥结构响应和结构变化监测指标选取和测点布设的指导性建议见表3。

表3 简支梁桥结构响应和结构变化监测指标选取和测点布置技术建议

监测类别	监测项目	主要监测指标		监测优先级	测点布设截面/部位	
					主要测点	附加测点
结构整体响应	振动	频率、振型、阻尼比	主梁竖向振动	○	主梁跨中	—
			主梁横向振动	—	—	—
			主梁纵向振动	—	—	—
			桥墩纵向及横向振动	○	高墩墩顶	—
	变形	活载作用下动挠度	主梁挠度	⊕	主梁跨中	主梁1/4及3/4截面
	位移	主梁位移	梁端纵向位移	⊕	伸缩缝处梁端	—
结构局部响应	应力/应变	活载作用下动应变	主梁结构应变	○	主梁跨中	主梁1/4、3/4截面
		活载作用下动应力	主梁钢筋应力	○	主梁跨中	主梁1/4、3/4截面
	反力及位移	支座反力、支座位移		⊕	弯桥、斜桥、易倾覆的独柱墩、基础沉降的墩台	
结构变化	变形	恒载及缓变作用下静挠度	主梁挠度	○	主梁跨中截面	主梁1/4、3/4截面
	位移、转角	墩台倾斜		⊕	墩台顶部	—
		墩台沉降		⊕	墩台顶部	—
	应变/应力	恒载及缓变作用下静应变	主梁结构应变	○	主梁跨中截面	主梁1/4、3/4截面
			桥墩结构应变	○	桥墩墩底	—
		恒载及缓变作用下静应力	主梁钢筋应力	○	跨中截面	主梁1/4、3/4截面
			桥墩钢筋应力	○	桥墩墩底	—
	裂缝	裂缝宽度		⊕	主要承重构件上宽度超限的代表性受力裂缝、主要承重构件上成因不明的代表性裂缝	
	注1：“●”表示应监测项，“⊕”表示宜监测项，“○”表示可监测项，“—”表示不包含项。					
注2：“主要测点”为优先布设的测点，“附加测点”为条件允许时可布设的测点。						
注3：当被监测桥梁由相同结构类型的多孔跨组成时，可选择技术状况较差或运行环境恶劣的不同跨径代表性桥跨实施监测。						
注4：梁端位移、墩台倾斜和沉降指标宜优先选择地形地质条件复杂、结构变位风险较高的桥跨实施监测，如：长大纵坡桥梁的梁端位移、顺河桥或傍山桥的墩台倾斜和沉降。						
注5：本表内容在DB51/T 2794-2021表B.3基础上，结合JT/T 1037-2022的相关要求修订而成。						

6.2.6 连续（刚构、T 构）梁桥结构响应监测指标选取和测点布置的指导性建议见表 4。

表4 连续（刚构、T 构）梁桥结构响应和结构变化监测指标选取和测点布置技术建议

类别	监测项目	主要监测指标		监测优先级	测点布置截面/部位	
					主要测点	附加测点
结构整体响应	振动	频率、振型、阻尼比	主梁竖向振动	●/⊕ ^a	边跨：跨中截面 主跨：跨中、1/4、3/4 截面	边跨：1/4、3/4 截面 主跨：1/8、3/8、5/8、7/8 截面
			主梁横向振动	⊕/○ ^b	主跨跨中截面	边跨：跨中截面 主跨：1/4、3/4 截面
			主梁纵向振动	⊕/○ ^b	连续梁桥的主跨跨中截面	—
			桥墩顶部纵向及横向振动	⊕/○ ^b	连续刚构/T 构桥的主墩墩顶截面	交界墩、辅助墩墩顶
	变形	活载作用下动挠度	主梁挠度	⊕	边跨：跨中截面 主跨：跨中、1/4、3/4 截面	边跨：1/4、3/4 截面 主跨：1/8、3/8、5/8、7/8 截面
结构局部响应	应力/应变	活载作用下动应变	主梁结构应变	●/⊕ ^a	边跨最大正弯矩截面、支点处最大负弯矩截面、主跨跨中截面	主跨 1/4、3/4 截面
		活载作用下动应力	主梁钢筋应力	⊕/○ ^b	边跨最大正弯矩截面、支点处最大负弯矩截面、主跨跨中截面	主跨 1/4、3/4 截面
	反力及位移	连续梁桥支座反力、支座位移		⊕	弯桥、斜桥、易倾覆的独柱墩、基础沉降的墩台	
结构变化	变形	恒载及缓变作用下静挠度	主梁挠度	●/⊕ ^a	边跨：跨中截面 主跨：跨中、1/4、3/4 截面	边跨：1/4、3/4 截面 主跨：1/8、3/8、5/8、7/8 截面
	位移、转角	墩台倾斜		⊕	墩台顶部	—
		墩台沉降		⊕	墩台顶部	—
	应变/应力	恒载及缓变作用下静应变	主梁结构应变	●/⊕ ^a	边跨最大正弯矩截面、支点处最大负弯矩截面、主跨跨中截面	主跨 1/4、3/4 截面
			桥墩结构应变	○	桥墩墩底截面	连续刚构或 T 构的主墩顶截面
		恒载及缓变作用下静应力	主梁钢筋应力	⊕/○ ^b	边跨最大正弯矩截面、支点处最大负弯矩截面、主跨跨中截面	主跨 1/4、3/4 截面
			桥墩钢筋应力	○	桥墩墩底截面	连续刚构或 T 构的主墩顶截面
	预应力度	体外预应力		●/⊕ ^a	根据体外预应力钢束的布置型式确定	
	裂缝	裂缝宽度		⊕	主要承重构件上宽度超限的代表性受力裂缝、主要承重构件上成因不明的代表性裂缝	

表 4 连续（刚构、T 构）梁桥结构响应和结构变化监测指标选取和测点布置技术建议（续）

类别	监测项目	主要监测指标	监测优先级	测点布置截面/部位	
				主要测点	附加测点
注1：“●”表示应监测项，“⊕”表示宜监测项，“○”表示可监测项，“—”表示不包含项。 注2：“主要测点”为优先布置的测点，“附加测点”为条件允许时可布置的测点。 注3：当被监测桥梁由相同结构类型的多联跨组成时，可选择技术状况较差或运行环境恶劣的代表性联跨实施监测。 注4：梁端位移、墩台倾斜和沉降指标宜优先选择地形地质条件复杂、结构变位风险较高的桥跨实施监测，如：长大纵坡桥梁的梁端位移、顺河桥或傍山桥的墩台倾斜和沉降。 注5：本表内容在DB51/T 2794-2021表B.3基础上，结合JT/T 1037-2022的相关要求修订而成。					
^a 对主跨跨径不小于150米的连续（刚构、T构）梁桥为应监测项，否则为宜监测项。 ^b 对主跨跨径不小于150米的连续（刚构、T构）梁桥为宜监测项，否则为可监测项。					

6.2.7 简支梁桥、连续梁桥和连续刚构梁桥结构安全监测系统立面布置宜分别参照附录 A 中图 A.1、图 A.2、图 A.3。

6.3 系统架构设计

6.3.1 系统架构宜包括但不限于：传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与管理子系统、数据分析与预警评估子系统，并通过系统集成技术、用户交互界面和系统交互接口将各子系统集成为统一协调的功能整体。系统总体架构示意如图 1 所示。

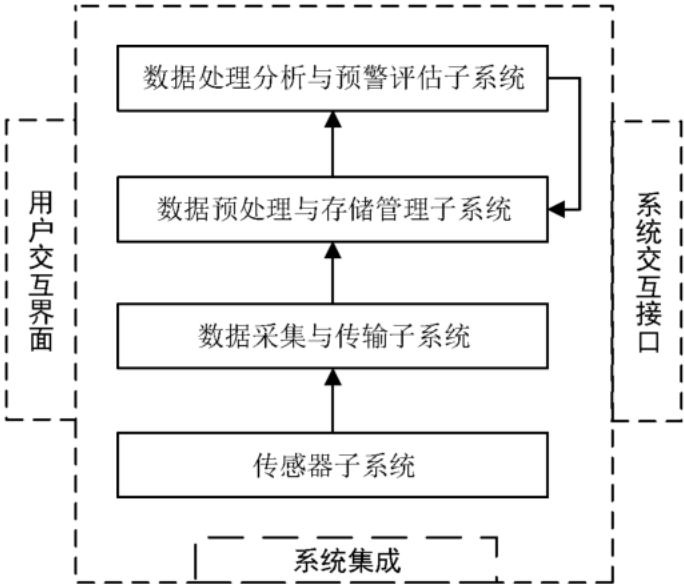


图1 系统总体架构框图示意

6.3.2 传感器子系统由各类传感器构成，应能够感知作用于桥梁结构上的荷载和环境变化、及其对应的结构响应，并基于不同的传感机制将其转变成电压、电流或光等便于记录、传输和再处理的信号。

6.3.3 数据采集与传输子系统由数据采集设备、数据传输设备、及其配套的线缆和软件等构成，应具备对电压、电流或光等模拟信号进行实时同步采集，并将其转换为数字信号以实现高保真远程传输的功能。

6.3.4 数据处理与存储管理子系统由实时数据预处理、数据存储、数据查询与推送等功能的硬件和软件模块构成，宜具备对实时监测数据和人工巡检数据进行处理、存储、融合、归档、查询等功能。

6.3.5 数据分析与预警评估子系统宜具有：1)基于监测数据驱动的在线分析和测点超限报警功能；2)基于测点超限报警驱动的桥梁结构健康度评估功能；3)基于桥梁结构健康度评估和结构安全状态评估结果的应急响应和养管决策支持功能。

6.3.6 用户交互界面实现用户与监测系统之间的信息和指令交互，宜包括但不限于以下功能：系统数据和功能展示、用户管理、桥梁构件管理、测点与设备管理、采样制度管理、超限阈值与报警管理、事件与任务管理、报告报表管理、视频管理等。

6.3.7 系统交互接口用于实现：1)监测系统与上位系统之间的信息和指令交互；2)监测系统与其他业务系统之间的数据交互。

6.4 传感器子系统

6.4.1 传感器子系统设计应包括：传感器选型及技术参数要求、传感器布设及安装施工设计。

注：在工程项目实践中，“监测指标选取、传感器的类型及主要技术指标”通常在设计说明中明确，“传感器布设及安装施工设计”通常包括传感器总体布置图、分类布置图及各传感器安装详图等。

6.4.2 传感器分为埋入式和外置式两类，其安装方式和使用年限要求分别如下：

- a) 埋入式：预埋于结构内部，不可维修或更换。传感器及其附属设施（含预埋安装件）的正常使用年限不应低于 20 年；
- b) 外置式：附着安装在桥梁结构表面或周边环境，可维修或更换。传感器及其附属设施（含表贴式安装所需预埋件、及必要的检修平台和通道）的正常使用年限不应低于 5 年。

注：对于埋入式传感器，若同时布设与其监测数据相关性较强的外置式传感器，便可通过相关性分析建立埋入式传感器与外置式传感器监测数据之间的对应关系，以备埋入式传感器失效后，外置传感器能继续“接力”监测，从而保障监测数据的连续性和一致性。

6.4.3 传感器选型应全面考虑量程、精度、分辨力、灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、耐久性、环境适应性、可更换性和经济性等要求，宜便于现场安装、集成调试和维修更换。常见传感器的具体选型要求及主要技术指标宜满足 JT/T 1037-2022 以及 DB51/T 2794-2021 中附录 C 的相关要求。

6.4.4 传感器布设及安装施工设计应考虑防雷、防静电、防尘、防水等防护措施。

6.4.5 传感器安装前应进行必要的校准或标定，系统运维过程中也宜定期校准或标定。

注1：校准是指由具有计量检验资质的第三方机构，依据校准规范或方法，确定传感器的示值误差，必要时加以修正的操作过程。

注2：标定是指由传感器生产厂商或用户，分别在出厂前或使用过程中对其测量精度进行检测，必要时加以修正的操作过程。

6.5 数据采集与传输子系统

6.5.1 数据采集与传输子系统的设计宜包括：信号调理方案设计、数据采样方案设计、数据采集设备选型与接口匹配性设计、数据传输网络与路由设计、以及配套软件功能设计。

注：在工程项目实践中，“信号调理方案”、“数据采样方案”、“数据采集设备选型与接口匹配性要求”、以及“配套软件功能”等内容通常在设计说明中明确；“数据传输网络与路由设计”通常包括传感器与数采设备索

引表和电缆布置图、系统网络拓扑图、采集站位置与安装详图（包括各采集站机柜中数采与通信设备的布置）、采集与传输软件模块构成图、以及在桥梁结构上的开孔和走线图。

6.5.2 数据采集和传输子系统宜具备自动采集与远程传输功能，并可通过配套软件对数据采集和传输功能的关键参数进行远程配置和调整。

6.5.3 数据采集与传输子系统宜选用兼容性、耐久性和环境适应性好，且便于维修和更换的设备，并根据现场条件采取适当的防水、防尘、防雷及防人为损坏等措施。

6.5.4 数据采集模块的功能设计宜符合下列要求：

- a) 在无人值守条件下能够连续监听或采集数据；
- b) 在特殊状态下支持人工干预采集；
- c) 支持数据实时同步采集；
- d) 数据采集软件具有自动缓存和断点续传功能；
- e) 数据采集设备具有自诊断和重启功能；
- f) 支持远程配置关键参数。

6.5.5 应综合考虑信号调理方案设计、传感器接口匹配性设计及数据采样方案设计的要求进行数据采集设备的选型，其主要功能和性能技术指标宜符合下列要求：

- a) 数据采集软件应支持连续采样、定时采样和触发采样等多种数据采样模式，并可远程配置采样模式和采样频率；
- b) 优先选用具备自校准功能的数据采集设备，对无自校准功能的数据采集设备宜在系统后期运维时采用标准信号发生器定期进行人工比对校准。

6.5.6 用于模态分析的多路结构振动信号应实时同步采集，时间同步精度应小于 0.1ms；其它动态监测数据采集的时间同步精度宜小于 1ms。接入不同数据采集站的同类动态监测信号之间的时间同步精度亦参照上述要求。

6.5.7 对时间同步精度要求不高设备，可支持 NTP 时钟同步功能以保持与远程服务器的时钟同步。如设备之间需要高精度的时钟同步，可采用北斗或 GPS 系统授时，以及 IEEE1588 等同步技术。

6.5.8 传感器、数采设备与传输节点设备间的传输路由和组网方案设计宜根据桥梁规模和几何形状、传感器空间布设方案、现场施工条件、及供电和通网条件综合考虑：

- a) 测点间距离远且分散、供电或光纤入网困难的，宜选用分布式无线组网方案；
- b) 测点间距离近或相对集中、接电方便的可选用星型或总线型有线组网方案；
- c) 当桥址周边存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下，宜采用有线组网方案并采取有效的电磁屏蔽措施；
- d) 当现场施工条件复杂恶劣、综合布线及维护困难时，或应急监测系统需要尽快投入使用时，宜采用无线组网方案。

6.5.9 采用有线组网方案时，多个数采设备可集中布置在同一数据采集站中。数据采集站的安装位置应结合传感器信号的传输距离要求、现场安装条件、接电接网条件等因素综合考虑确定。

6.5.10 传感器与数采设备间通讯线路宜采用抗干扰措施提高信噪比，包括：串模干扰抑制、共模干扰抑制、以及接地和屏蔽技术等。

6.5.11 采用有线组网方案时，宜符合下列要求：

- a) 当传输距离相对较短且无强电磁干扰时，可采用模拟信号进行传输；
- b) 当传输距离较远或有较强电磁干扰时，宜采用 RS485、以太网等数字信号传输技术；
- c) 传输线缆宜选取安全可靠且便于维护更换的传输介质；
- d) 宜利用已有的光纤通信网等数据传输线路，并设置必要的中继器或转发器；

e) 选取数据采集设备的通讯接口类型时, 宜以增加最少的接口转换器为原则。

6.5.12 采用无线组网方案时宜选用 LoRa、NB-IoT、ZigBee 等低功耗电磁波传输技术, 信号发射装置和接收装置应远离强电磁干扰源。

6.5.13 传输节点设备至监控中心或云服务器的远程数据传输应根据工程现场的营运商网络覆盖情况、项目运行成本预算等因素选择可靠且经济的传输方式。在桥址周边有运营商网络覆盖的条件下, 宜采用光纤传输技术、移动通信技术或两者相结合的方式; 在无运营商网络的偏远地区, 可采用微波通信等无线数据传输技术。

6.5.14 数据传输软件的设计开发宜符合下列要求:

- a) 宜考虑异构系统之间的数据兼容性 & 后期升级扩展的要求;
- b) 宜以数据包为单位进行传输, 并实现对数据包进行压缩和解压复原功能;
- c) 宜具备数据缓存备份和断点续传能力;
- d) 宜基于 TCP/IP 协议进行数据传输, 并符合 IEEE 802.3 的相关规定;
- e) 通过公网传输敏感数据时应进行加密传输, 并使用国家密码管理部门批准采用的加解密算法;
- f) 宜采用封装签名、测试字验证等方式保障数据传输的完整性, 并符合 GB/T 37025 的规定。

6.5.15 常用数据采集、传输设备的主要技术指标宜满足 JT/T 1037-2022 和 DB51/T 2794-2021 附录 C 的相关要求。

6.6 数据预处理与存储管理子系统

6.6.1 数据预处理与存储管理子系统宜包括但不限于以下主要功能: a) 数据预处理; b) 数据存储管理; c) 数据备份管理。

6.6.2 数据预处理与存储管理子系统的设计包括系统功能设计、数据库性能和架构设计、数据安全和访问机制设计。数据库及其配套软件的功能、架构和接口宜采用模块化设计, 数据库的性能设计及数据存储方式和存储介质的选取宜考虑后期升级扩展需求。

6.6.3 数据预处理功能宜包括但不限于:

- a) 数字滤波、去噪、去趋势项, 异常数据的剔除和修正;
- b) 异构数据之间的协议或结构转换;
- c) 对图像、视频、音频等非结构数据的特征抽取;
- d) 将原始监测数据换算成反映桥梁环境、作用、结构响应和变化的特征数据。

6.6.4 数据存储管理宜具备对海量异构数据的长期存储和备份管理功能, 存储数据包括: a) 结构化的历史监测数据; b) 图像流的历史视频数据; c) 嵌入式的文档数据; d) 数据处理分析过程产生的其它特征数据。

6.6.5 数据存储系统宜由分布式本地存储和集中式机房存储 (或云存储) 两部分组成。分布式本地存储宜布置在桥梁现场数据采集站内; 集中式机房存储 (或云存储) 宜采用模块化的分层架构, 由在线存储层和近线存储层 (或脱机存储层) 组成。

注: 在线存储适用于存储需频繁读写的监测数据和文档, 如数据处理分析常用的监测数据、近期的监测视频、桥梁结构状态信息、监测系统状态信息等。近线存储和脱机存储方式分别适用于自动或手动备份和归档不常用数据及文档, 如桥梁施工图设计文件、施工及交竣工资料、历年试验检测报告、需要长期保存的视频监测记录等静态文档和资料。

6.6.6 数据存储和备份归档宜符合以下要求:

a) 分布式本地存储宜采用循环更新存储方式。在网络中断情况下，应满足本地结构化监测数据存储时长不小于 30 天，视频图像数据存储时长不小于 10 天；网络恢复后，应支持以断点续传方式传输数据至集中式存储数据库；

b) 集中式在线存储：1) 应至少存储近 1 年的原始监测数据、预处理数据；2) 应至少存储近 3 年的监测分析成果数据；3) 应至少存储近 5 年的结构安全预警和响应记录、结构状态评估信息和养管决策支持记录、及监测系统设备状态信息和养护维修记录；4) 应至少存储近 30 天的视频监控数据；

c) 上述在线存储数据宜定期自动备份归档至近线存储介质，或不定期手动备份归档至脱机存储介质；

d) 集中式近线存储（或脱机存储）：应至少满足 5 倍以上在线存储的备份和归档的存储容量。应永久保存桥梁结构全生命周期的数据和资料，包括但不限于：桥梁前期立项资料、设计文件、施工及交（竣）工资料、历年试验检测报告、历年监测分析数据成果、历年结构预警及响应记录、结构状态评估及养管维修资料、需要长期保存的视频监测数据等。

6.6.7 集中式数据存储系统应配备网络防火墙，并制定适当的安全策略对未经授权的访问和数据传递进行筛选和过滤，对内部网络节点进行屏蔽和隐藏，在内外网络边界上为监测系统数据安全提供防御保障。监测系统的存储备份、数据处理、预警评估等中枢功能模块均应部署在网络防火墙内。

6.7 数据处理分析与预警评估子系统

6.7.1 数据处理分析与预警评估子系统宜包含各类数据处理和分析算法工具，并具备桥梁结构安全预警功能和桥梁结构安全评估功能。

6.7.2 数据处理分析与预警评估子系统设计时应明确：1) 具体要实现的数据处理分析功能和算法；2) 结构安全预警的阈值体系和判定准则；3) 结构安全评估的主要方法。

6.7.3 监测系统应支持对桥梁结构安全预警快讯及快报、桥梁结构安全定期（专项）评估报告的审核及发布等全过程事件的自动记录和归档。

6.8 用户/系统交互

6.8.1 用户与监测系统间交互功能通过软件用户界面实现，宜包括但不限于：用户管理、桥梁结构及测点管理、监测设备管理、视频流管理、超限报警管理、结构状态评估及预警管理、响应任务管理、数据订阅/发布/加密管理、报告报表管理等交互功能。

6.8.2 系统用户界面宜采用 GIS+BIM 模型对桥梁结构、监测点位与对应设备、及桥位处地形进行三维仿真模拟展示。

6.8.3 监测系统宜采用 Brower/Server 模式，并支持 PC 端的主流互联网浏览器软件访问用户界面。

6.8.4 监测系统宜配套开发兼容主流智能手机的 APP 软件，支持用户通过移动网络交互访问系统中桥梁结构及测点管理、数据订阅与发布、超限报警管理、结构状态评估及预警管理、响应任务管理等基本功能。

6.8.5 监测系统对用户权限宜具备“分权分域”管理功能：

a) 分权：系统应根据系统管理员和不同用户的岗位“角色”，分配其操作用户界面的功能权限；

b) 分域：系统应根据不同用户对桥梁养管责任区划结果，分配其访问数据和资源的权限。

6.8.6 监测系统宜支持运行日志和操作日志的收集及存储，通过日志审计功能满足对用户权限的安全审计需求。

6.8.7 监测系统与其他业务系统之间的数据交互宜采用 SSL (Security Socket Layer) 加密机制，外部用户的管理接入宜支持 HTTPS 协议。

7 传感器安装

7.1 一般规定

7.1.1 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。当现场安装条件达不到相关要求时，应采取有效的防护措施。

7.1.2 传感器的安装宜符合下列要求：

- a) 采用焊接方式安装时，应采取有效隔热措施使传感器温度低于其最高额定使用温度；
- b) 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；
- c) 紧固件宜采用镀锌制品或与传感器配套的其他防锈制品；
- d) 安装过程中不得猛烈敲打、强拉或抛扔传感器；
- e) 在不影响使用功能的前提下，传感器安装完成后宜外罩保护盒进行防护，保护盒防护等级不宜低于 IP65。

7.1.3 传感器的外部接线宜符合下列规定：

- a) 接线排列应整齐、顺直，线缆接头应绝缘良好、无损伤、标识清晰；
- b) 接线预留长度宜适中，并可采用线夹或卡槽固定；
- c) 传感器连接线缆宜穿管防护，接头处防护等级不宜低于 IP65。

7.1.4 宜在传感器保护盒外对测点进行统一编码和标识，测点编码规则应符合 JT/T 1037-2022 的相关规定。

7.1.5 布设传感器的截面宜设置标志铭牌，铭牌上宜展示下列内容：

- a) 该截面布设传感器的类型、型号、数量和编号；
- b) 传感器引出线的编号、及对应数采设备的编号和通道号。

7.2 环境与荷载监测传感器

7.2.1 环境温度监测可选用热电偶、热电阻或光纤温度传感器等，安装时宜满足下列要求：

- a) 室外安装的温度计宜位于开阔通风且免受阳光直射处，可与风速风向仪或 GNSS 系统共用安装支杆；
- b) 封闭箱室内安装的温度计也宜避开构造倒角等闭塞处；
- c) 可根据现场情况加装透气防尘罩。

7.2.2 环境湿度监测多用于墩梁构件封闭空间内潮湿部位，可选用电阻电容湿度计、氯化锂湿度计或电解湿度计等，安装要求可参照环境温度计。

7.2.3 雨量监测可选用翻斗式雨量计、电容雨量传感器或红外散射式雨量传感器等，安装时宜满足下列要求：

- a) 安置于远离建筑物或树木的开阔处；
- b) 支座安装牢固可靠，且保持器口水平；

7.2.4 桥面风速风向监测宜采用三向超声风速仪，安装时宜满足下列要求：

- a) 安装支架具有足够的刚度和强度并与桥梁结构连接牢固，以满足抗风要求；
- b) 支架伸出主梁边缘水平方向不宜小于 5m，伸出桥面高度不宜小于 3m。

7.2.5 地震动或船舶撞击监测可选用力平衡式拾振器或强震仪等，安装时宜满足下列要求：

- a) 地震动传感器宜安装在桥梁墩台底部或承台顶部，也可安装与桥梁两岸的护岸等自由场地；

b) 监测船舶撞击的振动传感器宜安装在有船撞风险的墩台底部（可根据最高洪水位调整安装标高）；

c) 安装时宜采用与传感器配套的安装基座：混凝土构件上的安装基座宜采用膨胀螺栓并灌胶方式进行固定；钢构件上的安装基座宜采用冷焊进行固定，特殊情况下也可采用粘接固定。

7.2.6 动态称重系统安装的路面条件、道路几何线形参数等应满足设计要求。设计无要求时，宜满足下列要求：

- a) 安装断面宜远离加速段或减速段，避免弯道或道路岔口；
- b) 安装断面前后 50m 路面的水平弯曲半径不宜小于 1500m；
- c) 路面纵向或横向坡度不宜超过 2%；
- d) 路面平整度良好，高低差不宜大于 5mm；
- e) 采用石英晶体传感器的动态称重系统应安装于桥头路基段的硬化路面上，混凝土路面厚度不宜小于 30cm，路面刻纹深度不宜大于 3mm；
- f) 动态称重传感器与路面的安装高差不宜大于 3mm；
- g) 其余安装要求宜满足 GB/T 21296.1 的相关规定。

7.3 结构整体响应监测传感器

7.3.1 桥梁墩台竖直度或梁端转角可选用 MEMS 倾角计监测，安装时宜满足下列要求：

- a) 安装时宜采用与倾角计配套的安装基座：混凝土构件上的安装基座宜采用膨胀螺栓并灌注植筋胶方式进行固定；钢构件上的安装基座宜采用冷焊进行固定，特殊情况下也可采用粘接固定；
- b) 倾角计安装方位和轴线方向应符合设计要求，并标识清晰。当设计无要求时，倾角计轴线宜与被测构件轴线平行；
- c) 倾角计安装后应及时读取并记录初始测值，以便数据处理时消除安装误差影响。

7.3.2 主梁挠度或墩台沉降可采用连通管原理的液位式静力水准系统或液压变送系统监测，安装时宜满足下列要求：

- a) 液位式静力水准系统各监测点的安装高程差不宜大于 50mm；
- b) 液压变送系统各监测点的高程差不大于其量程的 40%；
- c) 通液管的弯曲半径应满足设计要求。当设计无要求时，弯曲半径宜大于管道外径的 3.5 倍；
- d) 通液管和线缆宜采用抱箍、卡环或定位卡等定位装置可靠固定在桥梁结构上；
- e) 宜采取有效措施排出连通管中的可见气泡；
- f) 安装完成后应对系统加压并保持 30min 以上，检查所有的管道和接头处无渗漏现象；
- g) 安装完成后应及时读取并记录初始液位，并定期补液。

7.3.3 GNSS 站点的安装宜满足下列要求：

- a) 安装前应确认 GNSS 站点周围的遮挡情况符合设计文件的要求。设计无要求时，宜满足站点 2m 空间范围内无尺寸大于 20cm 的金属物，基准站点对水平 15° 以上的天空通视，监测站点对水平 10° 以上的天空通视；
- b) 基准站点距最远监测站点的距离不宜超过 8km；
- c) 设备立柱安装应牢固可靠，立柱倾斜度不宜大于 3°；
- d) 宜采取有效避雷措施，并确保设备屏蔽线接地良好；
- e) 设备安装防护等级不宜低于 IP67。

7.3.4 主梁挠度或墩台沉降（倾斜）可采用光电靶标式位移监测，系统安装时宜满足下列要求：

- a) 安装靶标前应确认测点与长焦摄像机之间可通视，测点位于摄像机视域内且清晰可见；
- b) 靶标测点与摄像机之间的连线与测点预期变位平面之间的夹角不宜小于 60° ；
- c) 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；
- d) 摄像机应牢固安装在相对靶标测点稳定不动的桥梁墩台或桥外基点上；
- e) 应采取有效措施降低温差和日照引起摄像机支架微动带来的测量误差；
- f) 宜在摄像机视域内安装基准靶标用于摄像机微动修正。

7.3.5 拾振器安装宜满足下列条件：

- a) 拾振器的测试轴向应与设计要求一致；
- b) 安装时宜采用与拾振器配套的安装基座：混凝土构件上的安装基座宜采用膨胀螺栓并灌注植筋胶方式进行固定；钢构件上的安装基座宜采用冷焊进行固定，特殊情况下也可采用粘接固定；
- c) 保护盒及安装基座宜进行密封处理，防护等级应达到 IP66 标准；
- d) 拾振器屏蔽线应接地良好，与接地体之间的阻抗不宜大于 1Ω 。

7.4 结构局部响应监测传感器

7.4.1 基础冲刷可采用声呐传感器监测，安装时宜满足下列要求：

- a) 宜根据桥梁冲刷专项检测报告的结果布设声呐探头位置。无检测结果时，圆形桥墩宜布设在桥墩上下游和两侧，圆端形桥墩宜布设在桥墩上游、下游以及在桥墩侧面最大冲刷位置；
- b) 声呐传感器预埋安装件宜根据监测区域水流速度、水压、含沙量等水文特点进行专项设计，预埋件宜与桥墩（台）结构长期牢固连接。声呐探头宜选用非永久方法固定，安装连接材料应防水、防锈、耐老化；
- c) 声呐传感器应通过试验确定声响探头的指向角度，控制探头与桥墩的合理距离；
- d) 声呐传感器的安装高程宜与承台底部或桩顶齐平，距离河床底不宜小于 10m。

7.4.2 准静态应变的监测可选用振弦式应变传感器或光纤光栅传感器，动应变监测可采用光纤光栅传感器或电阻应变传感器，应变计的安装宜满足下列要求：

- a) 宜采用专用量测工具放样，确保传感器安装方位满足设计要求；
- b) 表贴式应变计宜采用膨胀螺栓并灌胶方式稳妥地将传感器底座锚固在混凝土结构表面，或采用冷焊方式将传感器底座焊接在钢结构表面；
- c) 埋入式混凝土应变计安装应牢固可靠且避免与钢筋直接接触，宜采取必要的防护措施以免混凝土浇筑振捣过程中传感器移位或损坏；
- d) 应变计安装后应及时读取并记录初始测值 and 对应温度，以便进行温度修正。

7.4.3 钢筋计的安装宜采用对接法焊接或机械连接，并满足下列要求：

- a) 焊接时宜采用冷焊，否则应控制焊接温度不超过 65°C 以保护传感器；
- b) 混凝土浇筑时，钢筋计周围宜用人工插捣或用小型振捣器在周围插振，避免振动棒直接触碰安装有钢筋计的钢筋；
- c) 钢筋计安装后应及时读取并记录初始测值 and 对应温度，以便进行温度修正。

8 数采与传输设备安装

8.1 一般规定

8.1.1 数采设备和传输节点设备应设置防护、抗干扰措施，避免受温湿度突变、雷击、过载冲击、环境振动及电磁干扰等因素的影响。

8.1.2 根据传感器在桥梁结构空间的布设方案，宜设置一个或多个数据采集站，将多个数采设备和传输节点设备集中安置于采集站机柜中，统一配置供电、接网、防水、防尘、防雷、温控、安防等防护和抗干扰措施。

8.2 数采与传输设备安装

8.2.1 数采设备和传输设备安装前应检验现场环境和安装条件，确认是否满足系统设计要求和设备技术文件要求。

8.2.2 数采设备和传输设备在采集站机柜中宜分类、分层安装，强弱电端子分开布置，设备安装应符合 GB 50254 相关要求。

8.2.3 数采设备应与传感器和数据采集软件功能相适配，传输设备应与传输软件功能适配，满足同步采集和实时传输要求。

8.3 采集站机柜安装

8.3.1 数据采集站的数量和位置宜根据桥梁现场系统供配电和网络接入点的要求综合考虑，采集站与传感器的最远距离宜根据传感器信号衰减传输性能确定。

8.3.2 采集站机柜若位于桥梁结构箱室内部，防护级别不宜低于 IP55 标准；若位于桥梁结构外部，防护等级不宜低于 IP65 标准。其他参数宜符合 GB/T 15395 的相关规定。

8.3.3 采集站机柜的供电功率和网络传输带宽应满足设计要求，并宜预留冗余。

8.3.4 现场环境温度高于或低于数采和传输设备的工作温度范围 10℃ 以上时，采集站机柜宜配置温控功能。

8.3.5 采集站机柜宜用螺栓稳固安装在基座上，在振动环境中宜采取隔振措施，在桥面或路面安装时宜加装门禁安防系统。

9 系统配套工程

9.1 一般规定

9.1.1 系统配套工程包括但不限于：综合布线、供配电及网络接入、防雷接地保护、开孔开洞、预留预埋等。

9.1.2 传感器、数采设备与传输节点设备间采用有线组网方案时，应在现场综合布线为设备提供稳定的供电和通信。

9.1.3 根据系统设计要求，综合布线的拓扑结构可为星型、总线型或两者的组合。

9.1.4 管道和线缆的敷设应满足设计要求，并尽可能利用桥梁主体结构或机电工程的预留孔洞、桥架、管道、及检修通道，并远离强电等干扰源。

9.1.5 管道和线缆的敷设不应影响桥梁结构承载能力和正常使用功能，也不宜妨碍对桥梁结构的养护和维修作业。

9.1.6 信号线缆和供电线缆的标识宜符合下列要求：

- a) 采用统一、清晰、易读的编码规则；
- b) 标识统一朝上或朝向维护操作面；相同去向的线缆，标识部位和朝向一致；
- c) 采用不同颜色区分强电、弱电；

- d) 信号线缆的标识部位：1) 传感器的接出端；2) 桥架或管道的接入端和引出端；3) 数采设备的接入端或接出端；4) 传输节点设备的接入端或接出端。
- e) 供电线缆的标识部位：1) 电源的接出端；2) 桥架或管道的接入端和引出端；3) 用电设备的接入端。

9.2 综合布线

9.2.1 桥架、线槽和导管的材质、规格尺寸、防腐要求和安装施工应符合系统设计文件要求和 GB 50303 的相关规定。

9.2.2 在混凝土构件上安装桥架时应避开预应力管道或钢筋进行钻孔，对废弃不用的膨胀螺栓钻孔宜采用浆料填塞处理。

9.2.3 桥架的间距应满足设计要求。当设计无要求时，水平安装的桥架间距宜为 1.5m~3m；垂直安装的桥架间距不宜大于 2m。

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

9.2.5 在易受车辆、风等引发振动的结构上安装桥架时，固定桥架的螺母宜有防滑功能。

9.2.6 当线槽、导管等长度超过 30m 或跨越桥梁伸缩缝、护栏变形缝时，宜设置伸缩节段等变形补偿措施。

9.2.7 当设计无要求时，线槽和导管宜敷设在易燃易爆气体管道或热力管道下方，与各类管道的净距宜满足 GB 50303 的相关规定。

9.2.8 线缆终接后，应留有余量。交接间、设备间对绞电缆预留长度宜为 0.5m~1.0m，工作区为 10mm~30mm；线缆布放宜盘留，预留长度宜为 3m~5m，有特殊要求的应按设计要求预留长度。

9.2.9 敷设的线槽和导管宜横平竖直、整齐美观，不影响桥梁和桥下交通运营安全、不妨碍桥梁检查维修。

9.2.10 线缆敷设施工应满足系统设计要求 and GB 50303 的相关规定。

9.2.11 光缆的敷设宜满足下列要求：

- a) 光缆的弯曲半径不应小于设计要求。当设计无要求时，弯曲半径不宜小于光缆外径的 20 倍；
- b) 光缆连接应采用专用设备进行熔接，熔接损耗应不大于 0.05dB。

9.2.12 电源线、信号线的敷设施工宜满足下列要求：

- a) 不宜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；
- b) 电源线、信号线的接头宜采用压接，使其平直不受力；当采用焊接时应采用无腐蚀性的助焊剂；同轴电缆的连接应采用专用接头；
- c) 双绞线、同轴电缆等的弯曲半径不宜小于线缆外径的 15 倍；
- d) 线缆垂直敷设于线槽内时，距其顶部和底部 1.5m 处宜与线槽和桥架绑定；线缆水平敷设于桥架线槽内时，每隔 3m~5m 处宜与线槽和桥架绑定；
- e) 线缆敷设时强电和弱电宜分别走线，否则宜对模拟信号传输线缆采取屏蔽措施，避免对监测数据产生电磁干扰；
- f) 绝缘导线应采取导管或槽盒保护，不可外露明敷，且不宜与电缆敷设在同一槽盒内。

9.2.13 线缆从外部进入室内或机柜时，宜从底部进入并采取防水密封措施。

9.2.14 线缆进出线槽或导管前后，宜采用软波纹管进行保护。

9.3 防雷与接地

监测系统防雷与接地应满足系统设计要求和 GB 50343 的相关规定。设计无要求时，宜满足下列要求：

- a) 当桥梁结构自身有接地装置时，宜将监测系统接地线与桥梁接地装置牢固焊接并应采取防腐措施，接地线材质和施工要求应满足 GB50343 的相关规定；
- b) 当桥梁结构无接地装置时，宜根据现场条件合理确定监测系统的接地体的材质、埋设位置和深度，工频接地电阻不宜大于 $10\ \Omega$ ，必要时可采取换土法、长效降阻剂法或其他新技术、新材料降低接地体的接地电阻；
- c) 接地端子宜设置在便于操作部位，并做明显标记；
- d) 等电位连接导线宜使用铜质绝缘导线，等电位连接带表面应无毛刺、明显伤痕、残余焊渣，安装平整、连接牢固，绝缘导线的绝缘层无老化龟裂现象；
- e) 电源线路的各级浪涌保护器宜安装在防雷区的界面和靠近被保护设备处；
- f) 宜根据监测系统的传感器类型、信号类型配置适量的信号线路浪涌保护器并连接在被保护设备的信号端口上；
- g) 宜采用金属保护管、金属桥架进行线缆敷设并与接地线做电气连通。

10 系统部署与调试

10.1 一般规定

10.1.1 系统部署包括硬件系统部署和软件系统部署。硬件系统部署宜满足本文件第 7 章、第 8 章和第 9 章的相关要求。软件系统部署宜满足以下一般规定：

- a) 软件部署前，现场监测和传输设备、云服务器或监控中心的工作站等硬件设备已安装完毕并接电联网稳定运行，供配电、通信、照明、防雷等技术条件满足设计要求；
- b) 操作系统、数据库系统及应用支撑组件等安装和配置完成，且满足系统设计要求；
- c) 软件部署前宜编制软件部署指南，有序规范各软件模块的安装和测试步骤，各模块部署完成后宜及时测试，检查功能接口和数据接口的兼容性与完备性。

10.1.2 软硬件联合调试应通过工具软件实现硬件、软件和网络接口的兼容匹配和合理配置，确保各子系统之间的兼容性、数据传输可靠性、系统整体稳定性、环境适应性和可扩展性，使系统整体性能达到最优。

10.1.3 系统部署和联合调试过程中应详细记录过程中出现的系统故障、异常事件、及其排除和处理方法，并永久存档。

10.2 软件开发部署与测试

10.2.1 系统软件开发宜采用国内外主流的软件开发技术与系统框架，系统内各软件模块宜功能独立、模块之间耦合度低。

10.2.2 软件编码宜满足 GB/T 8566 的相关规定，代码编写应简洁易读、结构清晰、注释规范。

10.2.3 软件开发文档和接口文档宜满足 GB/T 8567 的相关规定。

10.2.4 宜由具备资质的专业测评单位进行软件测试，测试内容和流程宜满足 GB/T 15532 和 GB/T 9386 的相关规定。

10.2.5 《软件测试报告》宜描述每个测试用例的测试结果，对于重大功能偏离、缺陷和逻辑错误，经

修改完善后应再次提交测试，最终测试通过数不宜低于测试用例总数的 95%。

10.2.6 数据采集与传输软件宜部署运行在桥梁现场数采设备和传输设备端，且应符合 6.5 节的相关规定。

10.2.7 数据预处理与存储软件宜分别部署运行在桥梁监测现场工控机和云服务器（或监控中心远程服务器）上，且应符合 6.6 节的相关规定。

10.2.8 数据处理分析与预警评估软件、WEB 用户访问软件、系统交互接口等模块宜部署运行在云服务器（或监控中心远程服务器）上，并符合 6.7 和 6.8 节的相关规定。

10.3 系统调试

10.3.1 系统调试宜分为单项调试和联合调试。系统单项调试宜包括：供电调试、信号调试和数据调试。

10.3.2 系统供电调试宜符合下列规定：

- a) 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 $5M\Omega$ ；
- b) 60V 以上的直流电源电压波动应不超过 $\pm 10\%$ ，60V 以下的直流电源电压波动应不超过 $\pm 5\%$ ；
- c) 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。

10.3.3 系统信号调试宜符合下列规定：

- a) 各传感器采集参数设置应满足设计要求；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 动态同步采集时各传感器同步精度不宜大于 10ms；
- e) 静态同步采集时各传感器同步精度不宜大于 10s。

10.3.4 系统数据调试宜符合下列规定：

- a) 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；
- b) 数据存储精度应不低于传感器的测量精度。

10.3.5 系统软件与硬件的联合调试应符合以下规定：

- a) 数据采集与传输软件部署完成后应与桥梁现场感知设备进行数据采集校验，确保数据输出通道、数据流、方向、精度等与外场设备安装保持一致；
- b) 数据处理与管理软件部署完成后与桥梁现场感知设备和数据采集与传输软件应进行数据对接，确保数据接收、处理和存储等功能满足设计文件要求；
- c) 软硬件联合调试完成后，用户界面软件各项功能应正常，监测数据展示准确，界面数据值、数据精度、数据单位应与设计文件和传感器输出一致；
- d) 各软件节点与外场传感器之间的时间同步误差、网络延迟误差、信号噪声量等应满足设计文件规定。

11 系统交工验收

11.1 一般规定

11.1.1 系统交工验收宜以关键监测和传输设备的技术指标、施工安装质量和软件系统功能为主要验收内容。

11.1.2 监测系统交工验收合格应符合下列规定：

- a) 应符合设计文件的规定；
- b) 应符合本文件和相关专业验收标准的规定；
- c) 应符合合同约定。

11.2 工程质量技术要求及检查方法

梁式桥常用传感器及设备的施工安装质量技术要求及检查方法宜满足表 5 至表 19 的相关要求。

表5 动态称重系统施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	△交通量计数精度	允许误差 $\leq \pm 1\%$	人工计数与结果比较
2	平均车速精度	允许误差 $\leq \pm 1.5\%$	雷达测速仪实测值与结果比较
3	△轴重测量精度	符合设计要求	与静态称重结果比较
4	绝缘电阻	强电端子对机壳 $\geq 50M\Omega$	500V 兆欧表测量
5	安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测试仪
6	△复原功能	加电后硬件恢复和重新设置时，原存储数据保持不变	实际操作
7	本地操作与维护功能	能够接便携机进行维护和测试	实际操作，操作方法参考说明书
8	控制功能	具有设计文件要求的控制功能	实际操作
9	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
10	自检功能	对应的 LED 灯闪亮	车辆通过时观察主机前面板指示灯
11	电容值（若为压电传感器）	$(12 \pm 5) \text{ nF}$	容抗表
注：涉及使用功能或安全的重要实测项目为关键项目（表中以“△”标识），合格率必须达到100%，如不能达到表中所规定的技术要求，必须进行返工处理。本节表中“△”均表示同一含义。			

表6 环境温湿度传感器施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求	卷尺测量
2	支架、法兰、基础几何尺寸	符合设计要求	长、宽用量具测量，隐蔽工程查看验收记录或实测，立柱壁厚度用超声波测厚仪测量
3	保护底座及保护盒的防腐涂层厚度	符合设计要求	用量具或涂层测厚仪测量
4	△绝缘电阻	强电端子对机壳 $\geq 50M\Omega$	500V 兆欧表测量
5	△安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
6	△防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪
7	△数据传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用数据传输测试仪
8	△大气温度误差	$\leq \pm 1.0^\circ\text{C}$	温度计实地测量比对
9	△大气湿度误差	$\pm 5\% \text{ R.H.}$	湿度计实地测量比对

表7 结构温度传感器施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时，纵向 $\leq \pm 2\text{cm}$ ， 横向 $\leq \pm 2\text{cm}$	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	符合设计要求	卡尺
3	保护盒及底板与结构表面缝隙	$\leq 1\text{mm}$	塞尺
4	Δ 绝缘电阻	强端子对机壳 $\geq 50\text{M}\Omega$	500V 兆欧表测量
5	Δ 安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
6	Δ 防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪
7	温度测量误差	$\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 或设计要求	实地测量与上传数据比对
8	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次或 $\text{BER} \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
9	Δ 信号输出值	符合设计要求。无要求时，正常温度输出信号幅值（电压） $\geq 100\text{mV}$	示波器测量

表8 拾振器施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	安装位置与方向	符合设计要求	水平及竖向位置用量具测量，倾斜度用倾斜仪测量，埋深查隐蔽工程验收记录
2	保护盒厚度	符合设计要求	卡尺
3	保护盒及底座的防腐涂层厚度	符合设计要求	用量具或涂层测厚仪测量
4	Δ 绝缘电阻	强端子对机壳 $\geq 50\text{M}\Omega$	500V 兆欧表测量
5	Δ 安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
6	Δ 防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪
7	振动参数	符合设计要求	实地测量与上传数据比对
8	数据传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次或 $\text{BER} \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
9	Δ 信号输出值	符合设计要求	示波器测量

表9 GNSS 站点施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	天线安装位置偏差	符合设计要求	卷尺测量
2	天线立柱竖直度	$\leq 5\text{mm/m}$	铅锤、直尺或全站仪
3	机箱、立柱、法兰和地脚的防腐涂层厚度	符合设计要求	用量具或涂层测厚仪测量
4	Δ 绝缘电阻	强端子对机壳 $\geq 50\text{M}\Omega$	500V 兆欧表测量
5	Δ 安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
6	Δ 防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪
7	测点位移量检测	显示各测点位移量	实地测量与上传数据比对

表9 GNSS 站点施工质量技术要求及检查方法一览表（续）

项次	检查项目	技术要求	检查方法
8	软件参数设置	符合设计要求	实际操作
9	△数据传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用数据传输测试仪

表10 倾角计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时， 纵向 $\leq \pm 2\text{cm}$ ，横向 $\leq \pm 2\text{cm}$	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	$\geq 2\text{mm}$	卡尺
3	传感器安装竖直度	$\leq 0.5\text{mm/m}$	铅锤、直尺
4	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
5	△信号输出值	符合设计要求	示波器测量

表11 位移计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	△安装位置与方向	符合设计要求	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	$\geq 2\text{mm}$	卡尺
3	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
4	△信号输出值	符合设计要求	示波器测量

表12 裂缝计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	△安装位置与方向	符合设计要求	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	$\geq 2\text{mm}$	卡尺
3	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
4	△信号输出值	符合设计要求	示波器测量

表13 静力水准系统施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	△传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时， 纵向 $\leq \pm 2\text{cm}$ ，横向 $\leq \pm 2\text{cm}$	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	$\geq 2\text{mm}$	卡尺
3	传感器安装竖直度	$\leq 2^\circ$	铅锤、直尺
4	△连通管有无气泡	连通管有无肉眼可见气泡	目视检查

表 13 静力水准系统施工质量技术要求及检查方法一览表（续）

项次	检查项目	技术要求	检查方法
5	△连通管有无弯折	≥ 3.5 倍管道外径	目视检查或量具测量
6	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
7	△信号输出值	符合设计要求。	示波器测量
8	△安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
9	△防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪

表14 焊接式电阻应变计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时， 纵向 $\leq \pm 10\text{cm}$ ，横向 $\leq \pm 10\text{cm}$	查看日志、量尺实地测量
2	传感器安装竖直度	$\leq 5\text{mm/m}$	铅锤、直尺
3	传感器芯线电阻	符合设计要求。无要求时， (120 ± 10) 左右	万用表
4	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
5	△应变信号误差	符合设计要求，或 $\pm 0.1\%$ （满量程）	实际测试比对
6	安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪

表15 振弦式应变计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时， 纵向 $\leq \pm 10\text{cm}$ ，横向 $\leq \pm 10\text{cm}$	查看日志、量尺实地测量
2	传感器安装竖直度	$\leq 5\text{mm/m}$	铅锤、直尺
3	传感器芯线电阻	频率线： $(180 \pm 10) \Omega$ 。温度线： 25°C 时 $3\text{k}\Omega$ 左右	万用表
4	传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次或 $BER \leq 10^{-8}$	查看日志或用采集仪测试
5	△应变信号误差	符合设计要求，或 $\pm 0.1\%$ （满量程）	实际测试比对
6	安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪

表16 光纤光栅类应变计施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	传感器安装位置偏差	符合设计要求。无要求时， 纵向 $\leq \pm 20\text{cm}$ ，横向 $\leq \pm 10\text{cm}$	查看日志、卷尺测量
2	保护盒、保护箱厚度	$\geq 1\text{mm}$	卡尺
3	保护盒及底板与结构表面缝隙	$\leq 1\text{mm}$	塞尺

表 16 光纤光栅类应变计施工质量技术要求及检查方法一览表（续）

项次	检查项目	技术要求	检查方法
4	△单模光纤接头损耗平均值	$\leq 0.1\text{dB}$	光万用表或光时域反射计测量
5	△多模光纤接头损耗平均值	$\leq 0.2\text{dB}$	光万用表或光时域反射计测量
6	△中继段单模光纤总衰耗	符合设计要求	光万用表或光源、光功率计在中继段两端测量
7	△应变信号误差	$\pm 3\mu\text{e}$	示波器测量
8	△自检功能	自检传感器的开路、短路或损坏情况	实际操作试验
9	控制功能	具有示波功能，自动实时采样采集， 动应变最大采样频率不低于 50Hz， 静应变采样频率不低于 1Hz	实际操作试验
10	传输性能	实时自动采集 24h 内无异常	实际操作
11	△采集设备安装的可靠性	系统采集设备安装经振动后系统无警告、无误码	实际操作
12	安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪

表 17 数据采集单元施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	设备安装位置及分布的合理性	符合设计要求	长、宽用量具测量，埋深查隐蔽工程验收记录或实测
2	机柜的防腐涂层厚度	符合设计要求	用量具或涂层测厚仪测量
3	△绝缘电阻	强电端子对机壳 $\geq 50\text{M}\Omega$	500V 兆欧表测量
4	△安全接地电阻	$\leq 4\Omega$	接地电阻测量仪
5	△防雷接地电阻	$\leq 10\Omega$	接地电阻测量仪
6	UPS 安装与性能检测	符合合同要求	实际操作
7	工业控制计算机及采集卡检测	工作正常，符合合同要求	实际操作
8	调理器检测	工作正常，符合合同要求	实际操作
9	机柜空调	工作正常，符合合同要求	实际操作
10	△数据传输性能	24h 观察时间内失步现象不大于 1 次 或 $\text{BER} \leq 10^{-8}$	查看日志或用数据传输测试仪

表 18 光、电缆施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	光纤护层绝缘电阻	$\geq 1000\text{M}\Omega \cdot \text{km}$	1000V 兆欧表测量（仅对直埋光纤）
2	△单模光纤接头损耗平均值	$\leq 0.1\text{dB}$	光万用表或光时域反射计测量
3	△多模光纤接头损耗平均值	$\leq 0.2\text{dB}$	光万用表或光时域反射计测量
4	△中继段单模光纤总衰耗	符合设计要求	光万用表或光源、光功率计在中继段两端测量
5	△低速误码率	$\text{BER} \leq 10^{-8}$	将线对一端短接，另一端接数据传输测试仪以 64K 速率测量

表 18 光、电缆施工质量技术要求及检查方法一览表（续）

项次	检查项目	技术要求	检查方法
6	同轴电缆衰耗	符合设计要求	衰耗测试仪
7	同轴电缆内外导体绝缘电阻	$\geq 500\text{M}\Omega$	用兆欧表 500V 挡，在连接器的芯线和外导体之间测量
8	Δ 信号电缆绝缘电阻	$\geq 500\text{M}\Omega \cdot \text{km}$	用 1000V 兆欧表在线对之间测量
9	信号电缆直流电阻	$\leq 23.5\Omega/\text{km}$	用电桥或电缆分析仪测量
10	Δ 电力电缆绝缘电阻	$\geq 2\text{M}\Omega$	用 1000V 兆欧表在配电箱和用电设备两点间测量
11	光电缆埋深	符合设计要求	查隐蔽工程记录，必要时挖开实测

表19 网络通信设备施工质量技术要求及检查方法一览表

项次	检查项目	技术要求	检查方法
1	Δ 网线接线图	EIA/TIA568	双绞线缆，按通信行业标准《综合布线系统电气特性通用测试方法》（YD/T 1013-2013）
2	布线长度	符合设计要求	
3	Δ 衰减	EIA/TIA568	
4	Δ 近端串扰	EIA/TIA568	
5	环路阻抗	EIA/TIA568	
6	远方近端串扰衰耗	EIA/TIA568	5e、6类双绞线缆，按通信行业标准《综合布线系统电气特性通用测试方法》（YD/T 1013-2013）
7	相邻线对综合串扰	EIA/TIA568	
8	远端串扰与衰减比	EIA/TIA568	
9	近端串扰与衰减比	EIA/TIA568	
10	综合远端串扰比	EIA/TIA568	
11	Δ 回波衰耗	EIA/TIA568	
12	传输时延	EIA/TIA568	
13	线对间传输时延差	EIA/TIA568	
14	Δ 同轴电缆特性阻抗	50 Ω 或 75 Ω	同轴缆，按通信行业标准《综合布线系统电气特性通用测试方法》（YD/T 1013-2013）
15	光纤接头衰耗	0.2dB	对光缆采用光时域反射计检测
16	光纤接头回损	按设计文件	
17	光纤衰耗	按设计文件	
18	Δ 网络维护性测试	符合设计要求	对网络采用网络测试仪检测
19	网络健康测试	符合设计要求	

11.3 验收评分方法

11.3.1 工程质量评分应符合以下要求：

- a) 在查看监测数据、查验监测设备安装相关资料的基础上，宜选取内业资料描述不清或施工安装难度大的硬件设备进行现场检查，每类监测设备的抽检比例不宜低于 30%且不少于 1 个；

- b) 总体要求：传感器、数采设备及网络通信设备的数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件一致，合格证、说明书及出厂检验报告等应齐全且设备处于正常工作状态；
- c) 工程质量验收整改项或扣分项每项扣减 0.5~1 分；常见监测设备的扣分项见表 20。

表20 常见监测设备的扣分要求一览表

序号	监测设备类别	扣分要求
1	动态称重系统	1.传感器安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正，机箱外部完整、密封、门锁开闭灵活； 4.机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 6.机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、固定可靠，插头牢固； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
2	环境温湿度传感器	1.各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 2.传感器出线孔应采用防水措施、接头连接紧密； 3.立柱、支架、法兰、螺栓及基础几何尺寸符合要求，防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀； 4.安装支架牢固，安装后无晃动； 5.电源、信号线路连接规范； 6.防雨、防水罩安装牢固、端正； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
3	结构温度传感器	1.传感器及其保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 6.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
4	拾振器	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 6.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。

表20 常见监测设备的扣分要求一览表（续）

序号	监测设备类别	扣分要求
5	GNSS	1.各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 2.传感器出线孔应采用防水措施、接头连接紧密； 3.立柱、支架、法兰、螺栓及基础几何尺寸符合要求，防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀； 4.安装支架牢固，安装后无晃动； 5.机箱及接线盒安装牢固、端正，布线平直、整齐、牢固可靠； 6.以上任一项不符合要求时，该项扣减0.5~1分。
6	倾角计	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 6.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减0.5~1分。
7	结构应力应变传感器（光纤光栅）	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.光纤光栅应变计熔接处应保护良好； 6.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 7.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 8.以上任一项不符合要求时，该项扣减0.5~1分。
8	结构应力应变传感器（非光纤光栅）	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 6.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 7.以上任一项不符合要求时，该项扣减0.5~1分。

表20 常见监测设备的扣分要求一览表（续）

序号	监测设备类别	扣分要求
9	位移计	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.裸露金属部分无锈蚀； 6.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 7.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 8.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
10	静力水准系统	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.连通管表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落； 3.连通管与传感器液嘴连接牢固，无弯折； 4.立柱、支架、螺栓及基座几何尺寸符合要求，防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀； 5.固定连通管的抱箍、卡环或定位支架牢固，安装后无晃动； 6.连通管内无肉眼可见气泡； 7.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 8.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 9.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
11	裂缝计	1.传感器及保护盒安装位置正确，安装牢固、端正； 2.保护盒出线孔应采用防水措施、接头与保护盒连接紧密； 3.采集机箱安装牢固、端正； 4.采集机箱表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀； 5.裸露金属部分无锈蚀； 6.采集机箱内的出线管与箱体连接密封良好，箱体内无积水、尘土、霉变； 7.采集机箱内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、牢固可靠、插头牢固； 8.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
12	数据采集工作站	1.控制柜及其设备安装稳固端正，无伤残痕迹，标识清楚； 2.控制柜内布线整齐、捆扎牢固，接线端子和接插座规范、标识清楚； 3.系统布线规范、整齐、美观，预留长度适当，保护符合要求，编号标识清晰； 4.信号线和电源线及其接头插座区分明确； 5.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。

表20 常见监测设备的扣分要求一览表（续）

序号	监测设备类别	扣分要求
13	网络通信设备	1.光传输设备和光缆配线箱安装稳固、端正，配件齐全，环境符合要求； 2.光传输设备表面完好，无伤残，标识正确清晰； 3.光缆路由位置正确，排列整齐、捆扎牢固，盘留长度适当，标识正确清晰； 4.光继的进线与成端规范； 5.通信机柜电器绝缘、雷电保护指标符合要求； 6.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。
14	监控中心设备	1.控制台、监视器墙、地图板安装质量符合要求； 2.工作站设备安装稳固端正，外观完好，无伤残痕迹； 3.接线端子和接插座规范，标识清楚； 4.系统布线整齐、美观，预留长度适当，编号标识清晰； 5.信号线和电源线及其接头插座区分明确； 6.以上任一项不符合要求时，该项扣减 0.5~1 分。

11.3.2 工程质量评分宜采用百分制，可采用以下方法进行：

- a) 满足总体要求得 100 分，再根据整改项或扣分项进行扣减分；
- b) 不满足总体要求的，该分项直接评为不合格，视为未通过验收。

11.3.3 系统软件分项验收评分宜符合下列要求：

- a) 系统软件分项验收总体要求：各主要功能满足项目合同要求，且方便操作；与上位管理系统之间的数据交互通畅；
- b) 系统软件分项验收在实操系统软件各主要功能的基础上进行综合评价，宜包括下列内容：
 - 1) 进行数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求；
 - 2) 进行数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，正常接收、处理、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求；
 - 3) 进行用户界面软件功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件技术要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据显示准确、齐全；
 - 4) 软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件技术要求；
 - 5) 进行系统整体安全性检查，确保满足 JT/T 1037-2022 第 9.6 条规定和设计文件的要求。
- c) 系统软件分项验收整改项每个扣减 0.5~1 分。

11.3.4 系统交工验收应做好工程质量整改项或扣分项的记录，形成并留存对关键设备的技术指标、施工安装质量的评定表，评定表可参照表 B.2。

11.3.5 系统交工验收应做好软件系统功能整改项或扣分项的记录，形成并留存对监测系统软件分项验收评定表，评定表可参照表 B.3。

11.3.6 系统交工验收中发现的工程质量和系统功能整改项或扣分项，应在系统竣工验收时进行复检合格。

12 系统试运行

12.1 一般规定

- 12.1.1 系统应经交工验收和软硬件联合调试完成后方可进行试运行。
- 12.1.2 系统试运行的时间期限应符合设计规定，当设计无规定时，试运行期宜不少于 3 个月。

12.2 试运行

- 12.2.1 试运行期间系统的可靠性宜符合以下要求：
- a) 系统设备每月平均无故障工作时间不小于每月总时长的 95%；
 - b) 系统自动采集数据每日的数据完整率不小于 95%。
- 12.2.2 试运行期间系统的稳定性宜符合以下要求：
- a) 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文件第 11.2 条的规定；
 - b) 在监测点与人工测试点相同或邻近条件下，系统自动采集数据与对应时段内人工测试数据的规律一致；
 - c) 监测数据具有较好的周期性、与环境的相关性，并不得出现明显的系统性偏移。

12.3 检验标准

系统试运行检验标准宜包括以下内容，并编制系统试运行报告：

- a) 设备每月平均无故障工作时间不小于每月总时长的 95%；
- b) 系统自动采集数据每日的数据完整率不小于 95%；
- c) 系统试运行期间的稳定性符合本文件第 12.2.2 条的规定；
- d) 系统试运行时间符合本文件第 12.1.2 条的规定。

13 系统竣工验收

13.1 一般规定

- 13.1.1 竣工验收以系统整体验收为主，宜包括系统硬件分项验收、系统软件分项验收、系统整体性能以及内业资料分项验收四部分。
- 13.1.2 系统硬件、系统软件、系统整体性能以及内业资料各分项的推荐权重、主要验收内容、验收方法宜符合表 21 的要求。

表21 各分项的推荐权重、主要验收内容、验收方法一览表

序号	分项名称	推荐权重	主要验收内容	验收方法
1	系统硬件	0.3	系统硬件设备的主要技术指标以及施工安装质量	观察监测系统采集到的数据，查验监测设备施工安装相关资料，现场复核系统硬件设备的施工安装质量。
2	系统软件	0.3	系统软件的主要功能以及操作便捷性	实操系统软件，观察系统软件的各主要功能
3	系统整体性能	0.3	监测系统运行的稳定性、监测数据和结构安全预警的有效性	根据监测系统采集到的历史数据、相关报告报表或试运行报告，综合评价监测系统运行的稳定性、监测数据的有效性；查看预警状态特征值阈值设置等，综合评价结构安全预警的有效性
4	内业资料	0.1	内业资料的完整性和规范性	查验相关内业资料

13.1.3 监测系统总体和各分项评定等级均合格（通过验收）、不合格（未通过验收）两个等级。各分项之一评为不合格（未通过验收）的，系统总体评定等级应评为不合格（未通过验收）。

13.1.4 系统总体和各分项验收评分应符合以下要求：

- a) 系统总体和各分项验收评分宜采用百分制。A类、B类和C类系统的验收： ≥ 90 分的为合格（通过验收）， < 90 分的为不合格（未通过验收）；
- b) 各分项评分可采用“满足总体要求得100分，再根据整改项或扣分项进行扣减分；不满足总体要求的，该分项直接评为不合格（未通过验收）”的方法进行评分；
- c) 系统总体评分宜根据各分项评分，按本文件13.1.2条规定的权重系数进行加权计算而得（计算结果保留两位小数）。

13.2 系统分项验收评分方法

13.2.1 系统硬件分项验收评分宜符合本文件第11.3条规定。

13.2.2 系统软件分项验收评分宜符合本文件第11.3条规定。

13.2.3 系统整体性能分项验收评分宜符合下列要求：

- a) 系统整体性能分项验收总体要求：监测系统运行稳定，各监测数据在正常范围之内，预警状态特征值阈值设置合理；
- b) A类和B类系统：主要根据监测系统试运行报告、监测系统试运行期间各项预警状态特征值阈值设置和预警规则的调整和优化情况、以及系统交工验收时提出的整改项落实情况，综合评价监测系统运行的长期稳定性、监测数据和结构安全预警的有效性；
- c) C类监测系统：在查阅监测系统采集到的历史数据、相关报告报表或试运行报告的基础上，综合评价监测系统运行的稳定性和监测数据的有效性；查阅预警状态特征值阈值设置等，综合评价结构安全预警的有效性；
- d) 系统整体性能分项验收整改项每个扣减0.5~1分。

13.2.4 内业资料分项验收评分宜符合下列要求：

- a) 内业资料分项验收总体要求：内业资料总体齐全，编制规范，方便使用；
- b) 内业资料分项验收在查阅相关内业资料的基础上，综合评价内业资料的完整性和规范性。内业资料宜包含以下内容：
 - 1) 合同相关资料：合同协议书、合同谈判纪要等；
 - 2) 实施过程资料：系统设计文件，系统变更资料，设备进场报验资料、监测设备设施安装记录、设备设施检验资料，监理资料（质量控制资料），有关会议纪要等；
 - 3) 技术成果资料：系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。
- c) 内业资料分项验收整改项每个扣减0.5~1分；对于安装工程竣工图或系统软件使用说明书缺失的，内业资料分项验收直接评为不合格，视为未通过验收。

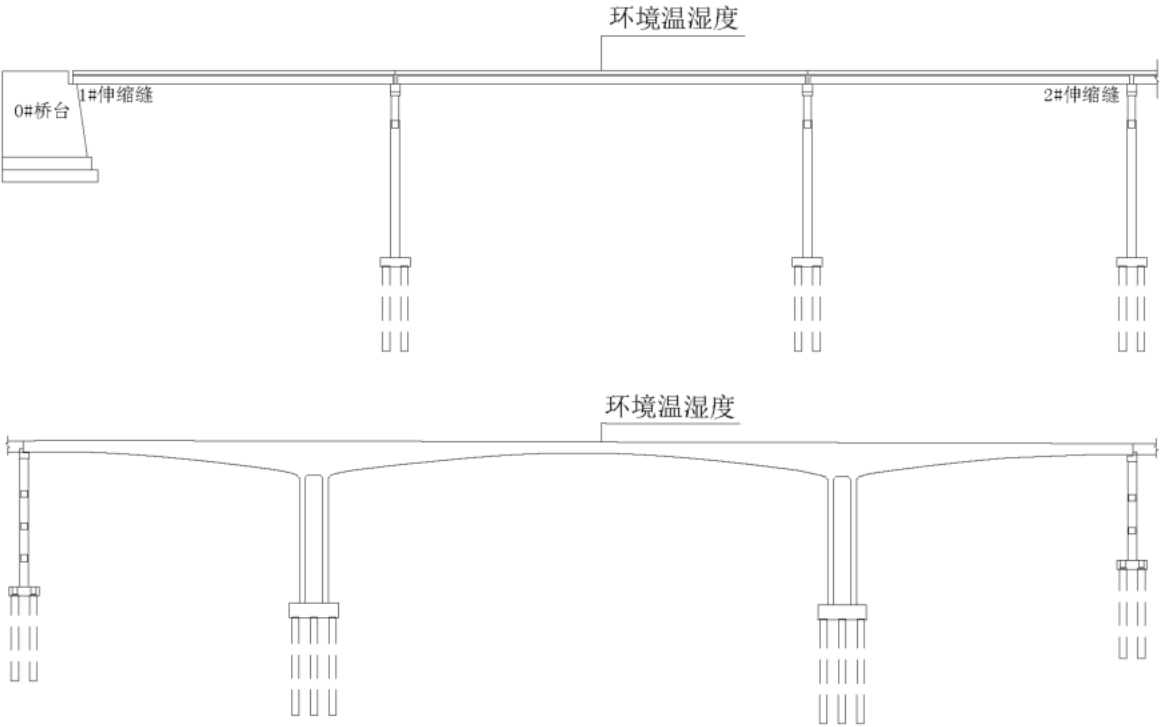
13.3 验收流程

监测系统的验收流程宜符合下列要求：

- a) 系统实施单位完成相关工作并自评合格后，向项目业主单位提交验收申请并提交相关内业资料；
- b) 项目业主单位对系统实施单位提交的内业资料进行初步审查，确认具备验收条件后，由项目业主单位组织进行系统验收；

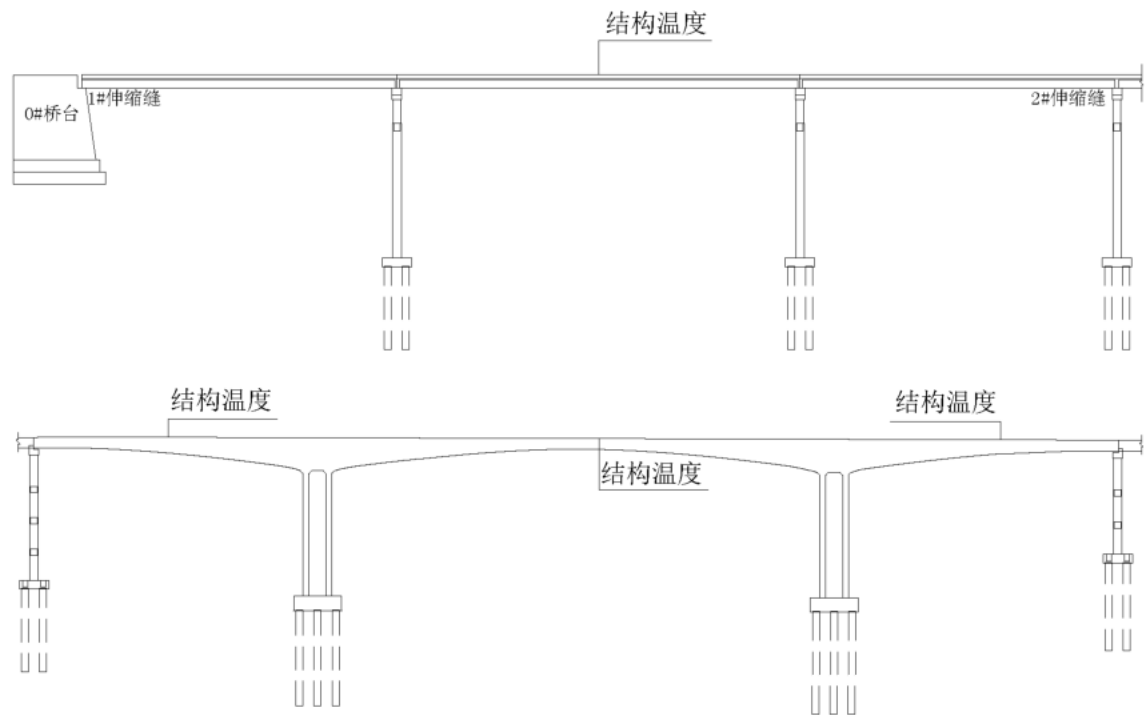
- c) 项目业主单位可邀请相关专业的技术专家、桥梁养管部门代表、行业主管部门代表、桥梁设计及检测单位的代表组成验收专家组。
- d) 验收专家组按照本文件的相关要求进行系统验收评定，并提出书面验收意见和整改项。系统实施单位根据验收意见完成相关整改工作，并经项目业主单位确认后交付监测系统或开展下一步工作。

附录 A
(规范性)
常见梁式桥传感器测点总体布设示意图



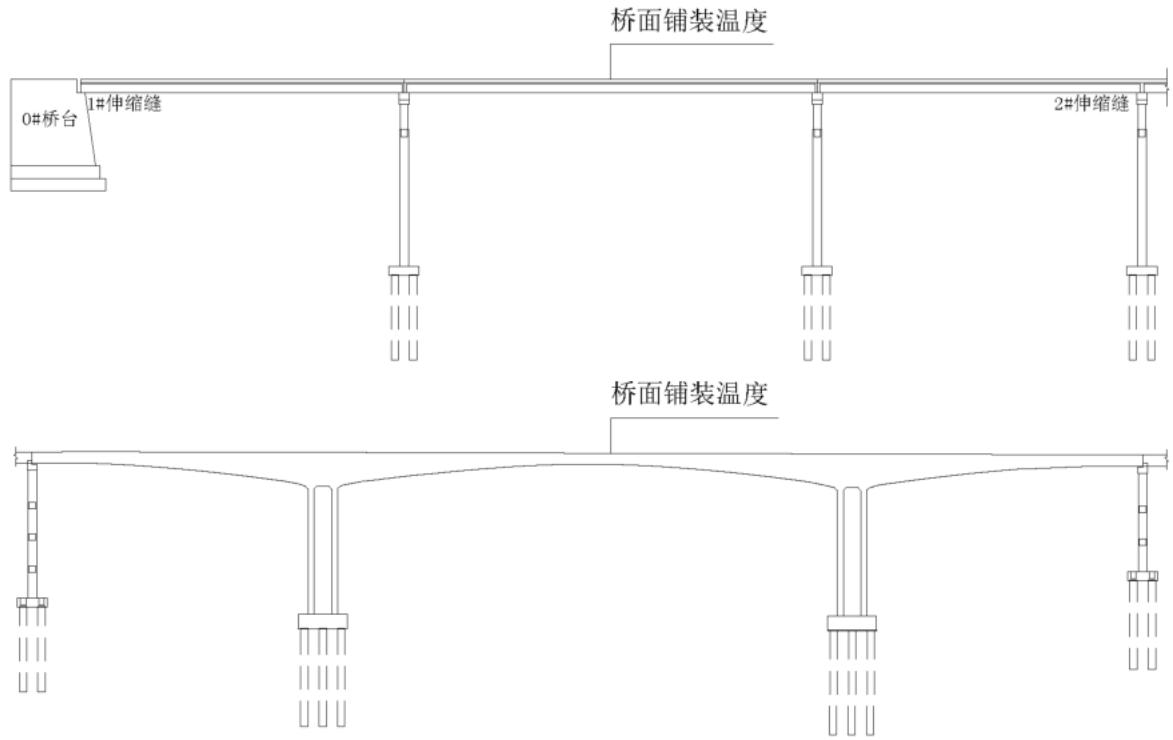
注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。
注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

图A.1 梁式桥温湿度测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。
注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

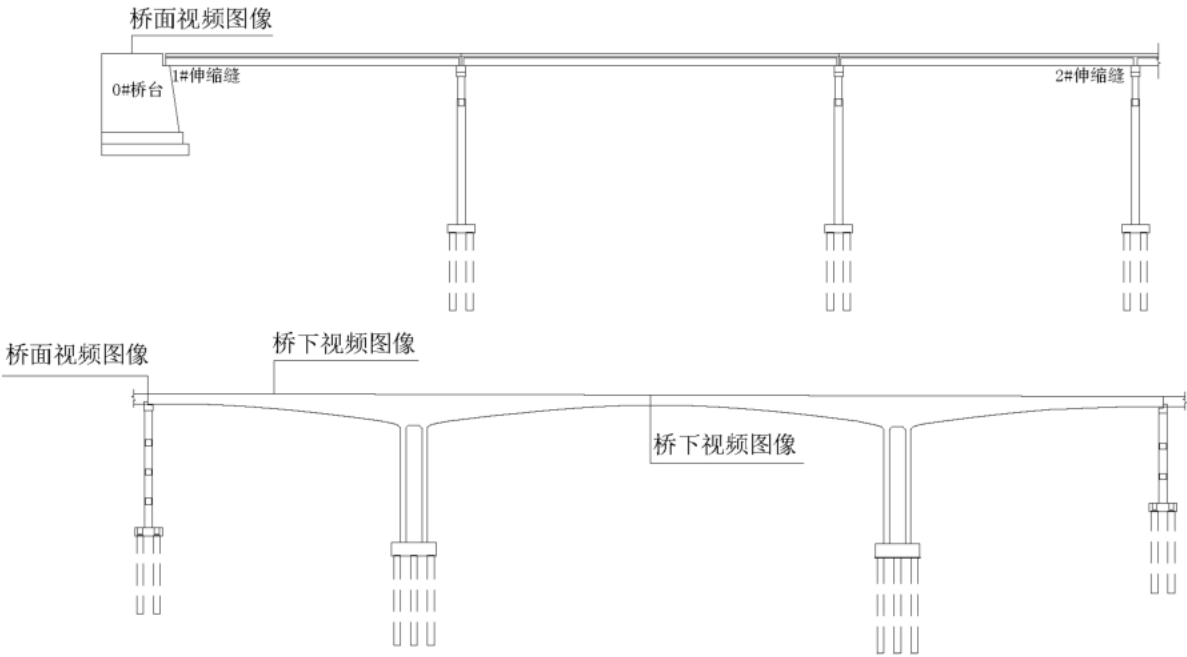
图A.2 梁式桥结构温度测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

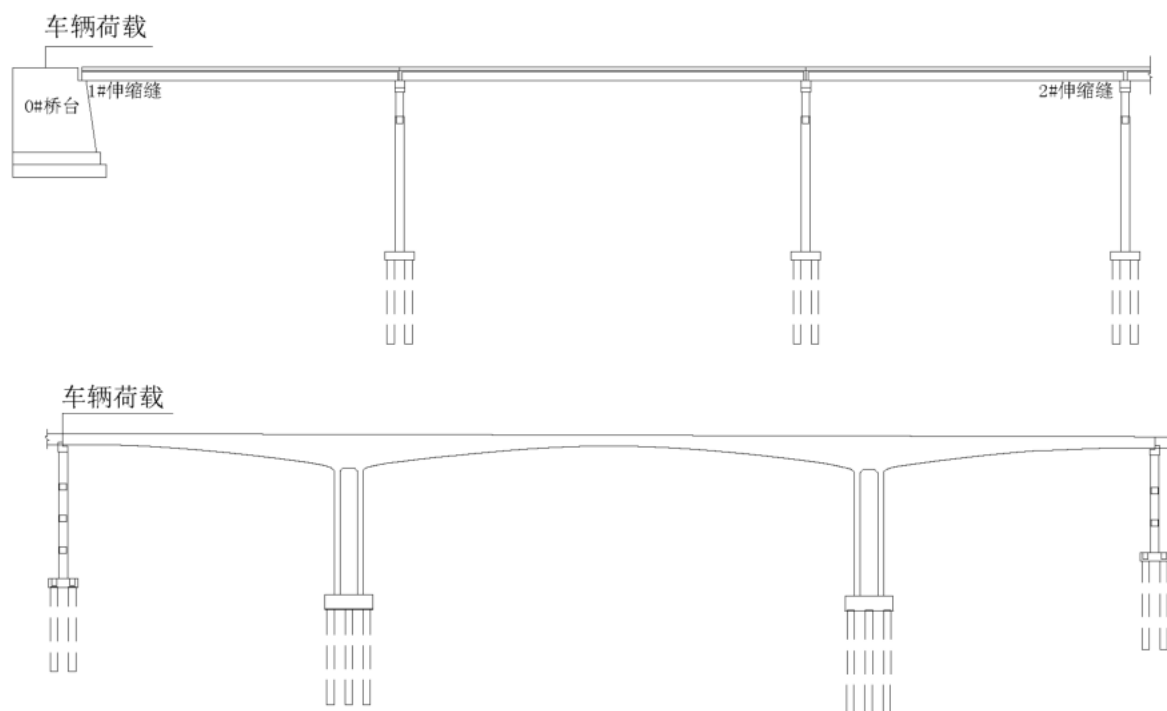
图A.3 梁式桥桥面铺装温度测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

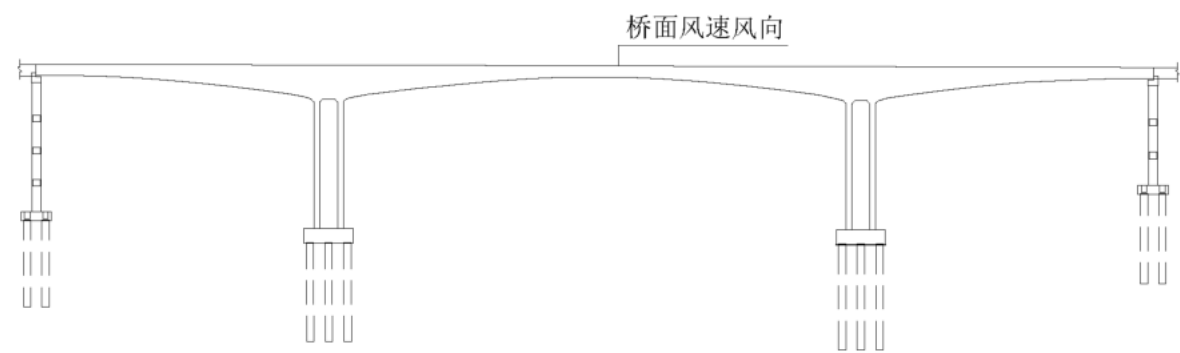
图A.4 梁式桥视频测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

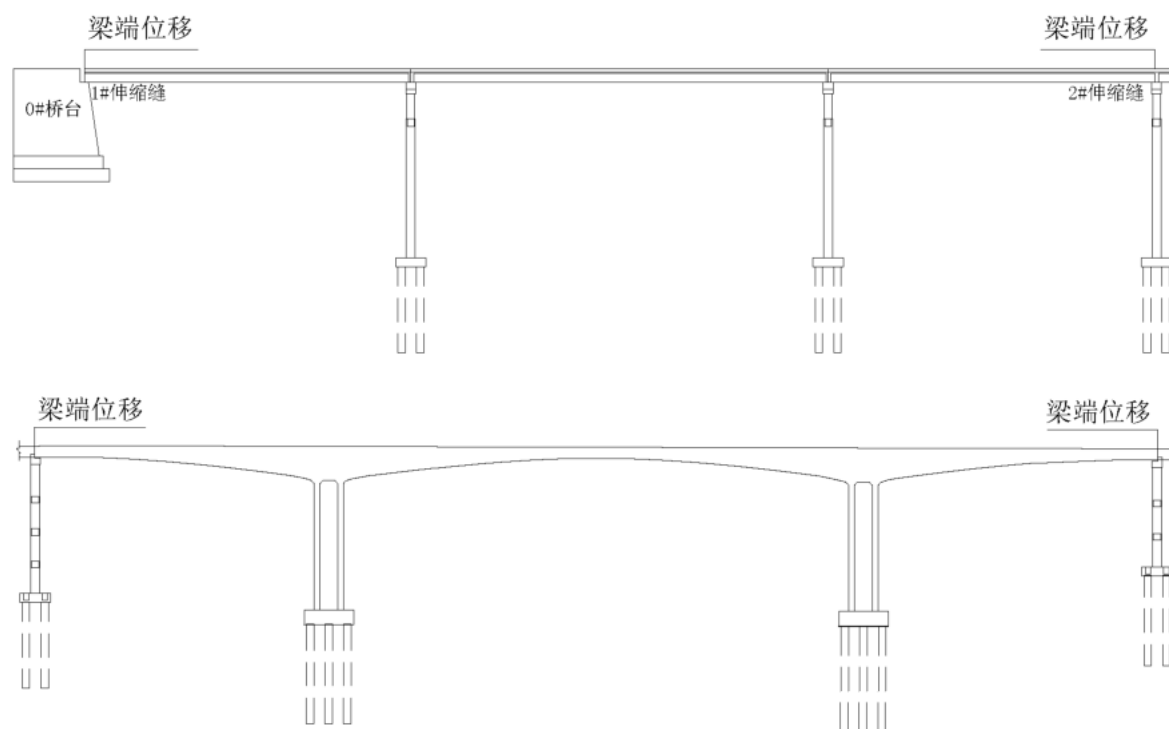
图A.5 梁式桥车辆荷载布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

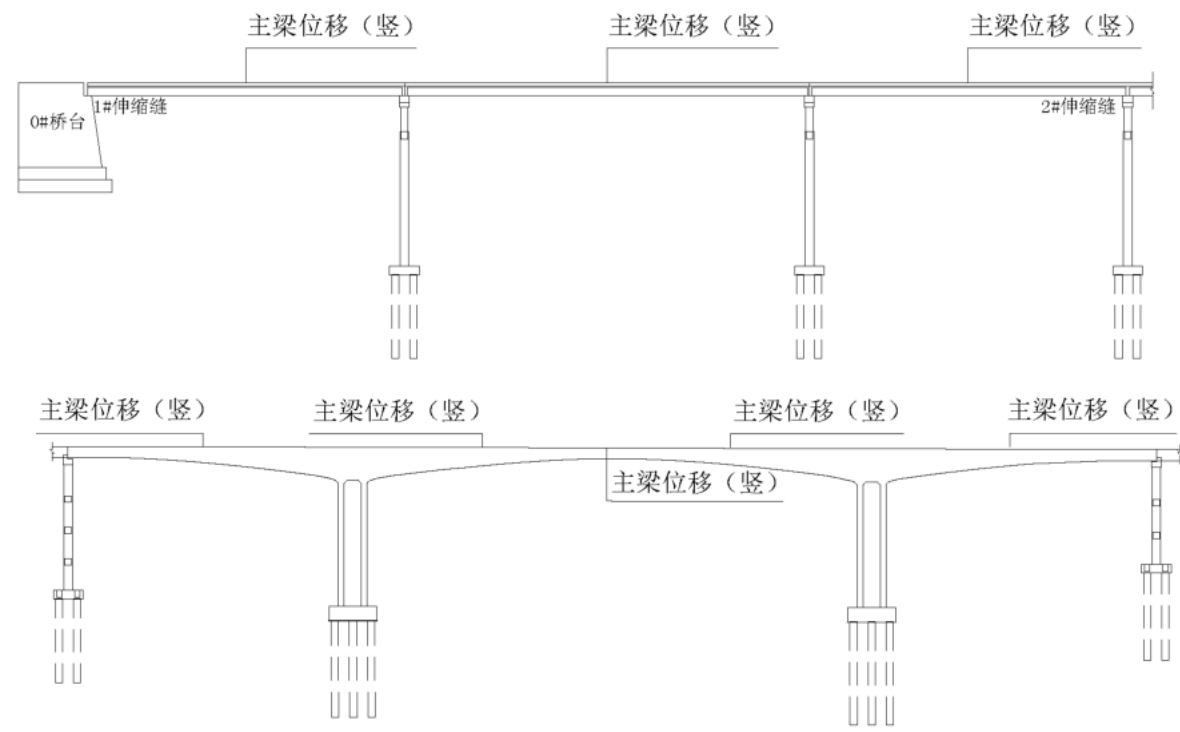
图A.6 梁式桥风速风向测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

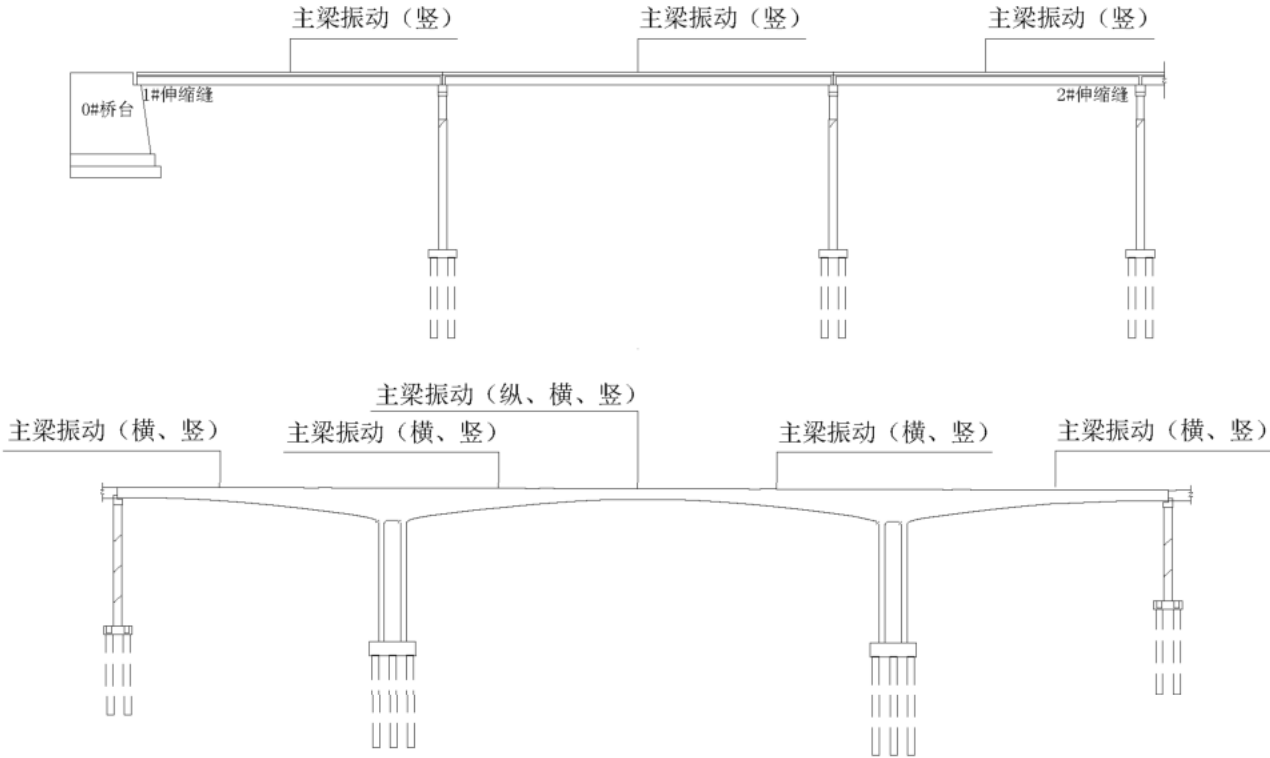
图A.7 梁式桥梁端位移测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

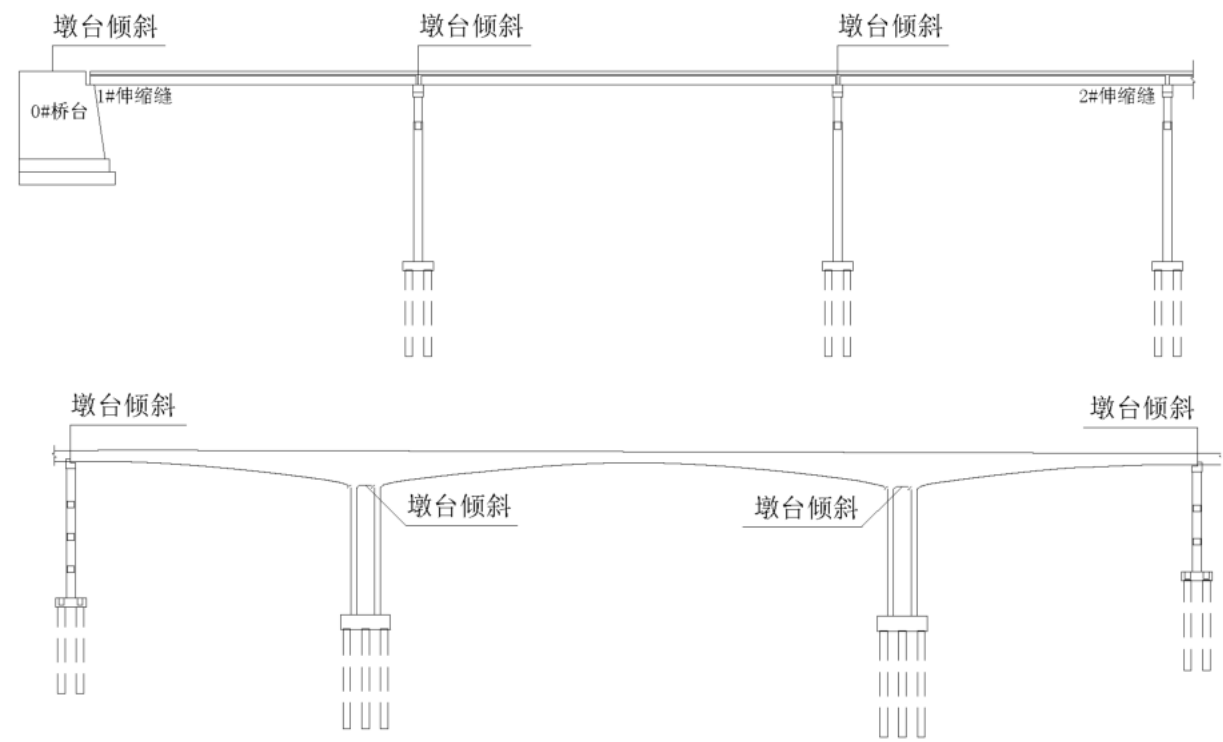
图A.8 梁式桥主梁位移测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

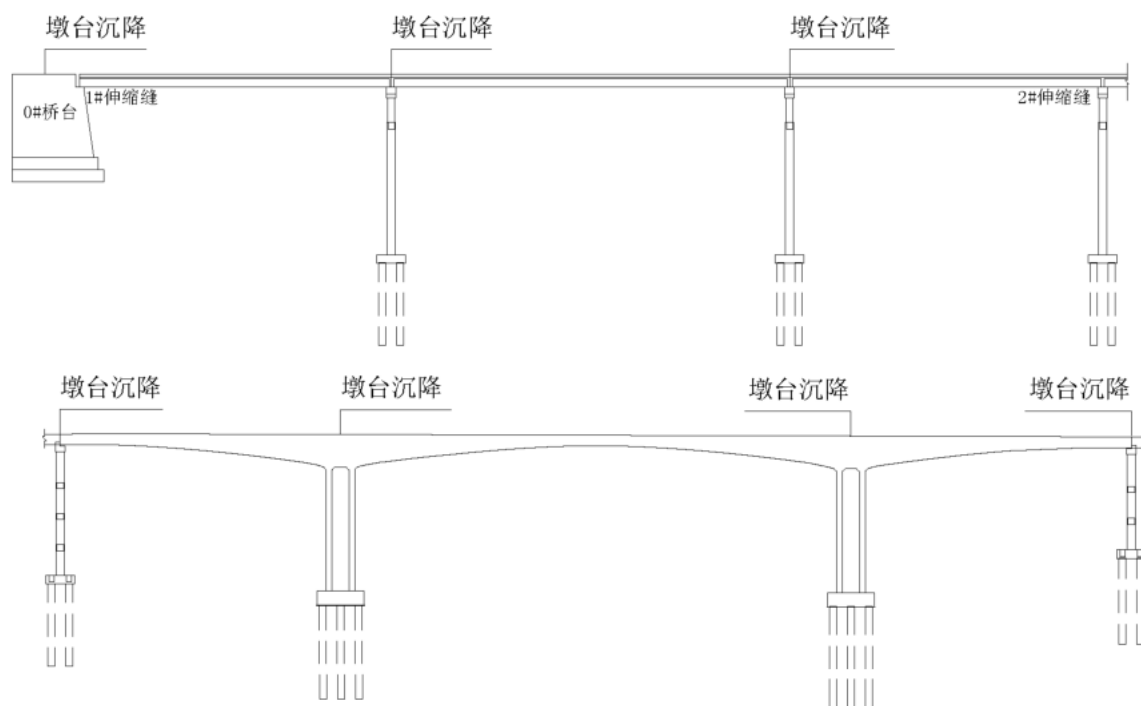
图A.9 梁式桥主梁振动测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

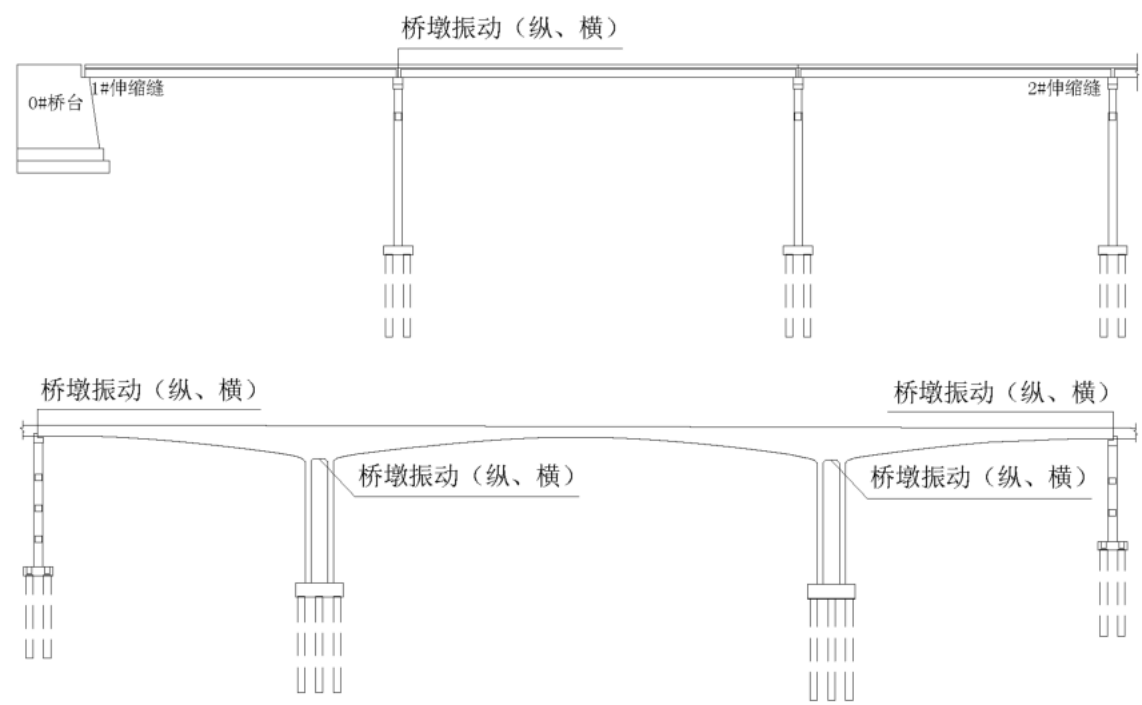
图A.10 梁式桥墩台倾斜测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

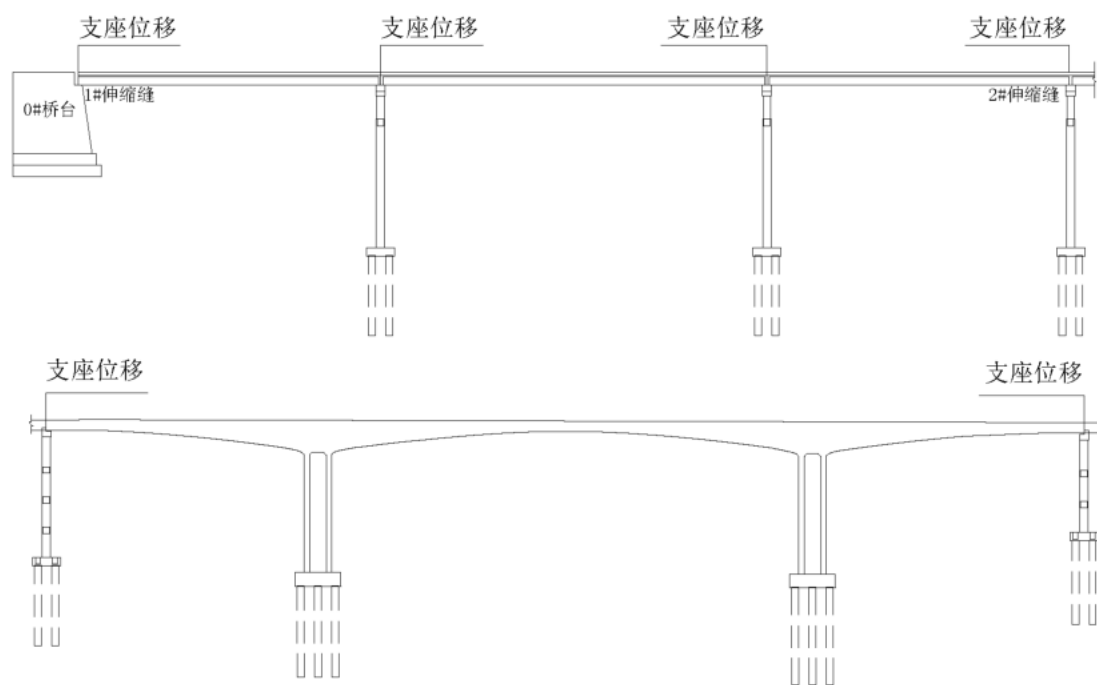
图A.11 梁式桥墩台沉降测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

图A.12 梁式桥高墩振动测点布设示意图



注1：具体监测内容和监测指标宜按本文件第6.2条要求并结合具体工程实际选用。

注2：本图仅对所选监测指标的推荐布设位置进行示意，实施时宜结合现场环境条件安装布设。

图A.13 梁式桥支座位移测点布设示意图

附 录 B
(规范性)

梁式桥结构安全监测系统验收评定表格

B.1 梁式桥结构安全监测系统验收总体评定表宜采用下列格式：

表B.1 梁式桥结构安全监测系统验收总体评定表

项目名称						
系统类别		☐ A类 ☐ B类 ☐ C类		验收阶段	☐ 竣工验收 ☐ _____	
项目 参建 单位	业主 单位					
	系统 实施 单位					
	XX 单位	若无其他单位，则删除此行。				
系统 总体评分计算		分项名称	实得分	权值	加权得分	评定等级
		系统硬件		0.3		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）
		系统软件		0.3		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）
		系统整体性能		0.3		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）
		内业资料		0.1		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）
		合计			1.0	
总体评定意见		系统总体评定等级		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）		

验收专家组组长： 年 月 日

B.2 梁式桥结构安全监测系统硬件分项验收评定表宜采用下列格式：

表B.2 梁式桥结构安全监测系统硬件分项验收评定表

项目名称					
系统类别		☐ A类 ☐ B类 ☐ C类		验收阶段	☐ 交工验收 ☐ 竣工验收 ☐ _____
项目 参建 单位	业主 单位				
	系统 实施 单位				
	XX 单位	若无其他单位，则删除此行。			
系统硬件分项总体要求		传感器、数采设备及网络通信设备的数量和主要技术指标符合要求，且处于正常工作状态。			☐ 满足 ☐ 不满足
整改项 或扣分项		1、..... 2、..... 3、.....			
		累计扣减分值		系统硬件 实得分	
系统硬件 评定等级		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）			

系统硬件分项组长：

年 月 日

B.3 梁式桥结构安全监测系统软件分项验收评定表宜采用下列格式：

表B.3 梁式桥结构安全监测系统软件分项验收评定表

项目名称					
系统类别		☐ A类 ☐ B类 ☐ C类		验收阶段	☐ 交工验收 ☐ 竣工验收 ☐ _____
项目 参建 单位	业主 单位				
	系统 实施 单位				
	XX 单位	若无其他单位，则删除此行。			
系统软件分项总体要求		各主要功能满足技术指南要求，满足项目合同要求，且方便操作； 与上位管理系统之间的数据交互通畅。			☐ 满足 ☐ 不满足
整改项 或扣分项		1、..... 2、..... 3、.....			
		累计扣减分值		系统软件 实得分	
系统软件 评定等级		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）			

系统软件分项组长：

年 月 日

B. 4 梁式桥结构安全监测系统整体性能验收评定表宜采用下列格式：

表B. 4 梁式桥结构安全监测系统整体性能验收评定表

项目名称					
系统类别		☐ A类 ☐ B类 ☐ C类		验收阶段	☐ 竣工验收 ☐ _____
项目 参建 单位	业主 单位				
	系统 部署 单位				
	XX 单位	若无其他单位，则删除此行。			
系统整体性能分 项总体要求		监测系统运行稳定，各监测数据在正常范围之内，预警状态特征值 阈值设置合理。			☐ 满足 ☐ 不满足
整改项 或扣分项		1、..... 2、..... 3、.....			
		累计扣减分值		系统整体性能 实得分	
系统整体性能 评定等级		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）			

系统整体性能分项组长： 年 月 日

B.5 梁式桥结构安全监测系统内业资料验收评定表宜采用下列格式：

表B.5 梁式桥结构安全监测系统内业资料验收评定表

项目名称					
系统类别		☐ A类 ☐ B类 ☐ C类		验收阶段	☐ 竣工验收 ☐ _____
项目 参建 单位	业主 单位				
	系统 实施 单位				
	XX 单位	若无其他单位，则删除此行。			
内业资料分项总体要求		内业资料总体齐全，编制规范，方便使用。			☐ 满足 ☐ 不满足
整改项 或扣分项		1、..... 2、..... 3、.....			
		累计扣减分值		内业资料 实得分	
内业资料 评定等级		☐ 合格（通过验收） ☐ 不合格（未通过验收）			

内业资料分项组长：

年 月 日