

武汉市地方标准

城市桥梁与隧道结构安全监测技术规程

Technical Specification for Bridge and Tunnel Structure Safety Monitoring

DB4201/T 624—2020

批准部门：武汉市市场监督管理局

实施日期：2020年06月15日

武汉理工大学出版社

武汉

图书在版编目(CIP)数据

城市桥梁与隧道结构安全监测技术规程/武汉市市场监督管理局主编. —武汉: 武汉理工大学出版社, 2021. 8

ISBN 978-7-5629-5526-9

I. ①城… II. ①武… III. ①城市桥-桥梁结构-安全监测-技术规范②隧道工程-工程结构-安全监测-技术规范 IV. ①U448.15-65 ②U451-65

中国版本图书馆CIP 数据核字(2021)第151324号

项目负责人: 汪浪涛

责任编辑: 汪浪涛

责任校对: 丁 冲

排 版: 芳华时代

出版发行: 武汉理工大学出版社

社 址: 武汉市洪山区珞狮路122号

邮 编: 430070

网 址: <http://www.wutp.com.cn>

经 销: 各地新华书店

印 刷: 武汉市籍缘印刷厂

开 本: 880×1230/16

印 张: 35

字 数: 106千字

版 次: 2021年8月第1版

印 次: 2021年8月第1次印刷

定 价: 40.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话: 027-877857588738472987165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

根据《武汉市城市桥梁与隧道安全管理条例》要求，新建、改建、扩建中型以上或者特殊结构的城市桥梁、隧道，建设单位应当同步建设符合相关规定的城市桥梁、隧道安全信息监控管理系统，实现安全监测自动预警；其他小型城市桥梁、隧道，建设单位应当安装安全监控设施。既有城市桥梁、隧道的养护人应当在市城市管理部门规定的期限内，安装安全信息监控管理系统或设施。

为指导武汉市城市桥梁、隧道安全信息监控管理系统的实施，实现武汉市城市桥梁、隧道集中式、专业化、智慧化管理，编制一本城市桥梁与隧道结构安全监测技术规程具有重要意义：

- 现有3部国家标准、行业规范中，交通部《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》主要针对大跨径公路桥梁安全监测系统设计；住房和城乡建设部《建筑与桥梁结构监测技术规范》包含了高层与高耸结构、大跨空间结构、桥梁结构等大型建筑结构的监测与监控技术；中国工程建设协会《结构健康监测系统设计标准》也是大型土木工程结构的健康监测系统设计，尚无针对城市桥梁与隧道特点实施安全监测系统指定的规范。

- 《武汉市城市桥梁与隧道安全管理条例》指出要对城市桥梁与隧道建设安全监测系统与安全监控设施，但是并无细节条文给予明确规定，本规程的制定可以辅助管理条例的有效执行。

- 对全市桥梁与隧道安全监测系统设计、实施与验收制定统一标准，实现不同桥梁管养部门建设的安全监测系统快速、便捷接入管理平台。

本规程在编制过程中，结合了武汉城市桥梁智慧管理系统的内在需求，将项目设计、施工与验收的经验融入到本规程的编制中，并将项目实施中能够有效应用的技术成果反映到本规程中，明确提出了城市桥梁与隧道安全监测指标、数据交换标准和数据结构等，能够规范和引导城市桥梁与隧道安全监测项目的建设，实现城市桥梁与隧道统一化、集中化、专业化管理。

本规程由武汉市城市管理执法委员会提出。

本规程由武汉市市场监督管理局归口。

本规程主编单位：中铁大桥科学研究院有限公司
武汉市桥梁维修管理处

本规程参编单位：西南交通大学
中交第二公路勘察设计研究院有限公司
中铁第四勘察设计院集团有限公司
武汉城市公共设施运营发展有限公司
武汉中岩科技股份有限公司

本规程主要起草人员：钟继卫叶仲韬胡俊亮张刚张少星林燕华袁新昌熊鹰王国培赵青海涂峰田路邓妮芬张文斌陈文林谢轶董学军李奕刘尚茂苏利南京杨捷陈卫民甘建春吴启明骆俊张伟李素兰柳胜李聪韩伟龙谢焕龙赵光单德山肖晨贺晓川南军强杨永波杨鑫殷鹏程张涛

目 录

1 总则	(1)
2 术语和定义	(1)
3 桥梁与隧道结构安全监测系统设计	(3)
4 桥梁与隧道结构安全监测系统实施与验收	(14)
5 系统维护	(21)
附录 A(资料性附录) 传感器设备性能要求	(22)
附录 B(资料性附录) 采集设备性能指标要求	(27)
附录C(资料性附录) 数据存储及交换接口标准	(29)
附录D(资料性附录) 验收表格	(41)
引用标准名录	(45)
附：《城市桥梁与隧道结构安全监测技术规程》条文说明	(46)

1 总则

1.1.1 本规程规定了城市桥梁与隧道结构安全监测系统设计、实施与验收、维护等内容。

1.1.2 本规程适用于武汉市城市桥梁与隧道结构的安全监测系统建设，其他城市的桥梁与隧道结构安全监测可参照执行。

1.1.3 为规范城市桥梁与隧道结构安全监测系统实施，提高市政桥梁与隧道养护管理水平，保障桥梁与隧道服役安全，制定本实施规程。

1.1.4 本规程所称城市桥梁与隧道，是指武汉市市区和市人民政府确定实行城市化管理的其他区域的运营期内供车辆、行人通行的，具备一定技术条件的桥梁、隧道及其附属设施等。

1.1.5 本规程中关于桥梁与隧道规模的定义应按照《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)、《城市地下道路工程设计规范》CJJ 2015) 的规定执行。

1.1.6 城市桥梁与隧道结构安全监测系统的设计应立足于长期规划，结合实际桥梁与隧道的结构特点和使用环境，考虑桥深与隧道结构施工、运营、维修加固等阶段对结构安全监测的需求，为结构设计验证、结构模型修正、结构损伤识别、结构养护和维修以及新方法、新技术的应用提供支持。系统设计应做到安全可靠、经济合理、方案可行、便于维护。

1.1.7 新建桥梁与隧道结构安全监测系统宜与主体结构设计同步进行，与绪构施工同步实施，并提前规划好现场供由r 数据通信、预埋件安装、预留孔道、检修通道等工程界面。既有桥梁与隧道安全监测系统的设计应考虑桥梁的运营维护现状。

1.1.8 在选用传感器与采集装置时，要综合考虑监测要求和经费预算等多方面因素进行合理选择。传感器布设应根据工作环境考虑一定程度的冗余，宜优先选用技术成熟可靠的产品。

1.1.9 结构安全监测系统的硬件应具备适当的保护措施设计与维修智换设计|各硬件的使用寿命应符合现行国家/行业设备标准。

1.1.10 结构安全监测系统软件应与硬件匹配良好，且具有兼容性、易扩展性、易维护性与较好的人机交互功能，直能长期稳定运行

1.1.11 城市桥梁与隧道结构安全监测系统的设计与实施应考虑绑入桥梁与隧道施工监控、桥梁成桥荷载试验等检测数据，为桥梁专全状态评估提供基础数据。

1.1.12 城市桥梁与隧道结构安全监测系统的设计、实施、验收与维护，除应执行本规程外，还应符合国家相关标准的规定。

1.1.13 城市桥梁与隧道结构安全监测系统的设计与实施应充分考总到《武汉市城市桥梁隧道安全管理条例》的要求。

1.1.14 新建城市桥梁与隧道结构安全监测系统，应考虑系统整合的需求，宜接入政府主管部门建立的桥梁统一管理平台。

2 术语和定义

2.1.1 结构安全监测系统(Structural Safety Monitoring System)

此系统由安装在桥梁与隧道等结构物上的传感器以及数据采集与传输、数据处理与管理等软硬件构成，是对结构的荷载与环境作用以及结构性能参数进行测量、收集、处理、分析，并对结构正常使用水平与安全状态进行评估和预警的系统。

2.1.2 传感器(Transducer/Sensor)

其指将特定的被测量信息(包括环境变化、结构应变、结构变形、结构振动等)按一定的规律转换成某种可用信号输出的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。

2.1.3 环境参数(Environmental Parameter)

结构所在区域的自然环境参数,包括风、温度、湿度、降雨等。

2.1.4 结构整体响应(Structural Global Response)

其指在荷载作用下结构整体的振动、位移、变形和转角等。

2.1.5 结构局部响应(Structural Local Response)

其指在荷载作用下结构局部构件的应变、索力、支座反力、裂缝、腐蚀、基础冲刷深度等。

2.1.6 全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System—GNSS)

GNSS是所有在轨工作卫星导航系统的统称,包括GPS 卫星全球定位系统, GLONASS 全球导航卫星系统、BEIDOU卫星导航系统、WAAS广域增强系统、EGNOS 欧洲静地卫星导航重叠系统、DORIS星载多普勒无线电定轨定位系统、PRARE 精确距离及其变率测量系统、QZSS准天顶卫星系统、GAGAN GPS静地卫星增强系统,以及正在建设的GALILEO 卫星导航定位系统、IRNSS印度区域导航卫星系统。

2.1.7 数据采集与传输(Data Acquisition and Transmission)

通过数据采集与传输设备,将传感器输出的信号转换为支持长距离传输的数字信号及光信号,传输至后端处理设备。

2.1.8 RJ45

RJ45是布线系统中信息插座(即通信引出端)连接器的一种,连接器由插头(接头、水晶头)和插座(模块)组成,插头有8个凹槽和8个触点,RJ45接口属于一种网络输出接口。

2.1.9 UDP 协议(User Datagram Protocol)

UDP即用户数据报协议,是OSI(Open System Interconnection,开放式系统互联)参考模型中一种无连接的传输层协议,提供面向事务的简单不可靠信息传送服务。

2.1.10 CAT 5E

一种超5类网线,传输距离不宜大于100m。

2.1.11 数据处理与管理(Data Processing and Management)

对监测数据进行预处理、存储、自动生成报告报表,并能操作系统中心数据库,进行数据查询与管理;对数据进行备份、自动或手工导入导出数据;施加系统网络防护功能。

2.1.12 数据库(Database)

长期储存在计算机内的、有组织的、可共享的数据集合。

2.1.13 数据分析与安全评估(Data Analysis and Safety Evaluation)

对荷载与环境数据、结构整体响应数据和结构局部响应数据进行全面系统的统计分析,以实现在正常使用状态、出现突发事件时对桥梁与隧道结构安全状态的评估与预警。

2.1.14 预警(Early-warning)

安全监测系统在监测数据特征值超过预警值时,向相关部门报告异常情况的行为。

2.1.15 阈值(Threshold)

表征结构监测参数指标的界限值。

2.1.16 系统集成(System Integrating)

通过结构化的综合布线系统和计算机网络技术,将各个分离的设备(传感器、采集传输设备、监控中心设备)、功能和信息等集成到相互关联的、统一和协调的系统之中,使资源达到充分共享,实现集中、高效、便利的管理。

2.1.17 视频监控管理平台(Video Monitoring Management Platform)

视频监控管理平台对接入城市视频监控系统的视频资源进行整合,实现视频资源的存储、共享,

对视频资源进行统一调配和管理，并实现视频业务的深度应用，是城市视频监控系统的核心。

2.1.18 采集站(Data Acquisition Unit)

以外场机柜保护的安置有数据采集与传输设备的站点。

2.1.19 监控中心(Monitoring Center)

其为结构安全监测系统的中央控制室，安全监测系统在此接收、存储和处理各子系统发出的监测信息、检测数据、报警信息、状态评估信息等，并将处理后的数据和信息分别发往各相关子系统。

2.1.20 网络安全(Cyber Security)

通过采取必要措施，防范对网络的攻击、侵入、干扰、破坏和非法使用以及意外事故，使网络处于稳定可靠运行的状态，以及保障网络数据的完整性、保密性、可用性的能力。

2.1.21 系统维护(System Maintenance)

为保障结构安全监测系统应有的性能而进行的例行检查、修复活动。

3 桥梁与隧道结构安全监测系统设计

3.1 一般规定

3.1.1 系统的设计必须做到安全可靠，包括监测数据的可靠性、分析方法的可靠性和系统软硬件的可靠性。

3.1.2 应合理运用计算机技术和远程信息传输技术，保障系统的实时性。

3.1.3 应采用先进的硬件设备、先进的网络平台、先进的开发技术，保证系统具有一定的超前性。

3.1.4 监测内容及测点选择应根据结构的形式、重要性、既有病害及风险、外部环境与荷载作用设计确定。

3.1.5 多跨桥梁宜选择合理跨数的典型断面进行针对性监测内容设计；隧道结构宜选择合适的监测对象进行针对性监测内容设计。

3.1.6 监测内容、测点选择、设备选型、数据采集与传输、数据处理与管理及软件开发应满足数据分析、结构安全评估及预警的要求。

3.1.7 系统宜考虑人工巡检APP的开发。

3.1.8 结构安全评估及预警应结合人工巡检、定期检测、特殊检测等检测结果进行结构综合状态评估和预警。

3.1.9 系统应满足用户的不同需求，系统软件应操作简便。

3.1.10 系统应能比较容易地实现扩展和升级。

3.1.11 系统应便于管理部门进行维护、养护。

3.1.12 系统应在各个环节提供安全措施，防止非法侵入。

3.2 监测内容与传感器选择

3.2.1 监测内容设计

1) 测点选择宜根据系统造价的要求遵循有代表性、少而精的选择原则。

2) 监测内容和测点选择应符合下列规定：

① 荷载与环境监测内容和测点选择应考虑荷载与地质、水文等自然环境作用的特点确定；

② 结构整体响应监测内容和测点选择应根据结构振动和变形的特点、模态参数识别及安全评估的要求确定；

③结构局部响应监测内容和测点选择应根据结构计算分析和易损性分析结果确定。

3)监测包括三方面内容：荷载与环境、结构整体响应、结构局部响应，应按照不同桥梁、隧道结构形式，选择合适的监测项目。

3.2.2 传感器布置原则与方法

- 1)所选择的位置能尽可能全面地、精确地获取结构参数的信息；
- 2)所选择的位置有较好的抗噪声、抗干扰性能；
- 3)测得的模态信息应与有限元分析的结果保持良好的吻合度；
- 4)宜具备合理添加测点对感兴趣的部分模态进行数据重点采集的能力；
- 5)所选测点布置位置应对结构参数的变化较为敏感；
- 6)宜布置在结构响应最不利位置或已损伤位置；
- 7)应考虑方便安装和更换传感器；
- 8)布置的位置应考虑尽量减少信号的传输距离；
- 9)所选的位置能使测量结果具有良好的可视性和鲁棒性

3.2.3 梁桥监测内容

1)特大型、大型梁桥监测内容宜参考《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037—2016)的要求执行，按表人选择相应监测内容。

表1特大型、大型梁桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统	大
	地震	地震仪	
	温度	温度计	★
	环境温湿度	温湿度计	大
	路面温度	红外温度计	
	抓拍	抓拍镜头	
	视频	高清摄像头	
结构整体响应	振动	加过度计	
	主梁挠度	挠度仪	大
	主梁倾覆	拉绳位移计	
	伸缩缝 支座位移	位移计	▲
结构局部响应	应变	静应变计	★
		动应变计	★
	结构裂缝	裂缝计	★
	支座反力	测力支座	

注：①根据桥址环境特点、桥梁结构形式、病害特征确定最终数量；
 ②*表示必选监测项；★表示应选监测项；▲表示宜选监测项；●表示可选监测项，以下类同；
 ③桥下有公路铁路通行、通航要求的应布置摄像头监测，下表同。

2)中、小型梁桥根据桥梁受力特点按表2选择相应监测内容。

表2 中、小型梁桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求 (中型梁桥)	监测需求 (小型梁桥)
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统		
	温度	温度计		
	路面温度	红外温度计		
	抓拍	抓拍镜头		
	视频	高清摄像头		关
结构局部响应	应变	应变计		
	结构裂缝	裂缝计		

3.2.4 拱桥监测内容

1) 特大型、大型拱桥监测内容宜参考《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037—2016)执行,按表3选择相应监测内容。

表3特大型、大型拱桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统	大
	风速风向	风速风向仪	
	地震	地震仪	
	温度	温度计	
	路面温度	红外温度计	
	环境温湿度	温湿度计	
	抓拍	抓拍镜头	
	视频	高清摄像头	
结构整体响应	振动	加速度计	大
	主梁挠度	挠度仪	大
	空间偏位	GNSS	大
	伸缩缝/支座位移	位移计	▲
结构局部响应		静应变计	大
	应变	动应变计	大
	结构裂缝	裂缝计	大
	索力	索力计	大
	疲劳	动应变计	大
	支座反力	测力支座	

2) 中、小型拱桥根据桥梁受力特点按表4选择相应监测内容。

表4 中、小型拱桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求 (中型拱桥)	监测需求 (小型拱桥)
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统		
	温度	温度计	大	
	路面温度	红外温度计		
	抓拍	抓拍镜头		
	视频	高清摄像头		
结构整体响应	振动	拾振器	★	
	空间偏位	GNSS	★	
结构局部响应	应变	应变计	★	
	结构裂缝	裂缝计	★	

3.2.5 斜拉桥监测内容

斜拉桥监测内容宜参考《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037—2016)执行,按表5选择相应监测内容。

表5 斜拉桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统	★
	风速风向	风速风向仪	★
	地震	地震仪	
	船撞	加速度计	
		雷达防撞	
	温度	温度计	大
	路面温度	红外温度计	
	环境温湿度	温湿度计	大
		除湿系统	▲
	抓拍	抓拍镜头	
视频	高清摄像头	关	
结构整体响应	振动	加速度计	★
	主梁挠度	挠度仪	★
	空间偏位	GNSS	★
	伸缩缝/支座位移	位移计	▲
结构局部响应	应变	静应变计	★
		动应变计	★
	结构裂缝	裂缝计	★
	索力	索力计	★
	疲劳	动应变计	★
	支座反力	测力支座	

3.2.6 悬索桥监测内容

悬索桥监测内容宜参考《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037—2016)执行,按表6选择相应监测内容。

表6 悬索桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求
荷载与环境	车辆荷载	动态称重系统	★
	风速风向	风速风向仪	★
	地震	地震仪	
	船撞	加速度计	
		雷达防撞	
	温度	温度计	大
	路面温度	红外温度计	
	环境温湿度	温湿度计	大
		除湿系统	▲
	抓拍	抓拍镜头	
视频	高清摄像头		
结构整体响应	振动	加速度计	★
	主梁挠度	挠度仪	★
	空间偏位	GNSS	★
	伸缩缝/支座位移	位移计	▲
	锚碇变形	倾角仪	★
结构局部响应	应变	静应变计	★
		动应变计	★
	结构裂缝	裂缝计	★
	主缆索力	索力计	★
	吊杆索力	索力计	●
	主梁疲劳	动应变计	★
	吊杆疲劳	动应变计	★
	支座反力	测力支座	

3.2.7 人行桥监测内容

人行桥根据结构受力特点按表7选择监测内容,测点布置宜满足如下要求:

- 1) 高清摄像头不宜少于2个,一个监控人行桥梁桥面通行情况,视场对准桥梁主跨桥面,一个监控桥梁总体情况,视场能够覆盖大部分桥梁立面及桥下通行情况;
- 2) 振动传感器在主跨布置不宜少于2个,1个测试横桥向振动,1个测试竖向振动;
- 3) 其他类型传感器应根据桥梁检测报告及风险评估进行合理布置,应适当控制传感器数量。

表7 人行桥监测内容

类别	监测参数	设备选型	监测需求
荷载与环境	视频	高清摄像头	若
结构整体响应	振动	拾振器	大
结构局部响应	裂缝	裂缝计	
	基础沉降	挠度仪	
	结构变形	位移计	

注：根据人行桥的桥址环境特点、桥梁结构形式、病害特征确定最终数量。

3.2.8 隧道监测内容

- 1) 隧道宜根据隧道规模及结构形式按表8选择监测内容。
- 2) 短距离隧道宜仅实施视频监控

表8中等以上距离隧道监测内容

类别	监测参数	设备选型	盾构法管片隧道	沉管法管段隧道	矿山法时砌隧道	明挖或盖挖法现浇隧道
荷载与环境	环境温湿度	温湿度计			▲	▲
	温度	温度计	★	★	★	★
	视频	高清摄像头				
	空气质量	空气质量监测站	▲	▲		▲
	风速	风速仪				
	光照度	光照度仪				
	地震动及车辆撞击	三向加速度计				
结构整体响应	管片结构竖向位移	挠度仪				
	管片结构水平位移	位移计	大			
	管片结构净空收敛	收敛计	★			
	二次衬砌拱顶沉降	位移计			★	
	二次衬砌底板竖向位移	挠度仪			★	
	二次衬砌净空收敛	收敛计			★	
	地表沉降		大	★	★	★
	不均匀沉降	挠度仪	—	★		★
	结构纵向变形	位移计	▲	▲	▲	▲
	结构接缝扩展	裂缝计	▲	▲	▲	▲
结构局部响应	结构内力	应变计/土压力盒	▲	▲	▲	▲
	结构裂缝	裂缝计	★	★	★	★

注：①根据环境特点、隧道结构形式、病害特征确定最终数量；

②对于长度大于100m的短距离通道，可根据实际需要按中长以上距离通道设计监测内容。

3.2.9 传感器设备选型

- 1) 传感器设备选型时，宜选用稳定、可靠的传感监测设备；
- 2) 传感器选型应满足附录A 中传感器设备性能指标要求；
- 3) 传感器选型宜便于系统集成；
- 4) 传感器安装前应进行必要的标定、校准或自校；
- 5) 传感器应满足结构实际使用的环境因素，且应便于维护和更换。

3.3 数据采集与传输设计

3.3.1 数据采集与传输模块设计

- 1) 数据采集模块应在无人值守条件下连续运行；
- 2) 数据采集模块应具有连续采集、触发采集及定时采集功能；
- 3) 数据采集软件应具有数据自动采集和缓存管理功能；
- 4) 数据采集模块应具有自启动功能，支持远程控制；
- 5) 数据采集模块宜实现数据的同步采集，具备断点续传功能
- 6) 数据采集模块应能够满足长期稳定工作的要求；
- 7) 数据传输模块应具有数据接收、交换和传输的能力，应保证数据传输的可靠性、高效性和数据传输质量；
- 8) 桥梁与隧道现场传输设备应安置于现场机柜中，保证电力稳定供给、防火、防水等较高等级防护要求(IP55 防护等级)并满足内部温湿度工作环境要求，桥梁结构现场还需具备防雷要求；
- 9) 数据传输模块的线路应满足设备安装的相关要求，并采取一定的防护措施；
- 10) 数据传输应根据实际情况制定应对特殊突发情况的应急预案。

3.3.2 数据采集传输设备组网方式

- 1) 采集传输设备宜采用统一的RJ45输出网络接口；
- 2) 非RJ45 输出网络接口设备应通过转换器转换为RJ45 接口，遵循TCP/IP 或UDP 协议；
- 3) 采集传输设备通过以太网总线进行数据的汇总与上传
- 4) 网络设备之间采用不低于CAT 5E 标准接线方式的网线进行数据交互，传输距离不大于100m。

3.3.3 数据采集模块软硬件

- 1) 应根据传感器种类数量信号特征、采样频率及对信号的预处理等要求，确定数据采集硬件系统的基本方式和硬件设备选型，
- 2) 系统应遵循标准协议和采用标准接口，便于数据传输和存储；
- 3) 采集模块应具有较高的精度(不宜低于16位)，并配置信号增益、滤波等功能；
- 4) 采集设备应具备实时采集、自动存储、自动传输功能，并保证现场采集数据的真实性、有效性、实时性和可用性；
- 5) 采集设备应便于更换且不影响软件的使用；
- 6) 不同种类的传感器数据采集，应采用统一的软件架构，提供一致的用户操作界面、规范的代码、统一的参数配置，以提高软件模块的可重用性；
- 7) 不同物理信号的采集模块，应配备相应的信号转换设备，实现统一组网方式，并可实现模块组合配置，以提高采集软件的可配置性、可扩展性；
- 8) 应提供统一参数配置界面，可以对所有采集软件进行远程参数配置；
- 9) 宜采用多线程技术编制采集软件，以提高采集软件的并发性，确保高频采集；
- 10) 采集软件应可记录软件和设备运行状态，并可定时将设备和软件运行状态写入状态数据库，以方便用户远程查看；

11) 宜采用二进制数据格式文件存储高频采样数据, 以确保数据存储的完整性, 宜采用标准数据库格式存储低频采样数据, 提高采集软件的运行效率;

12) 数据采集站(机柜)布置方案应考虑传感器布置、信号传输距离、易于维护等要求, 并预留与通信、除湿、监控等其他机电工程的接入接口, 并与大功率设备(如抽湿机)的供电完全隔离。

3.3.4 数据传输方案

1) 数据传输方式的选择应考虑建设成本、系统稳定性及可靠性等因素, 宜优先选择稳定、可靠、低功耗的无线传输技术;

2) 桥梁、隧道现场与数据中心之间的远距离数据传输, 宜采用光纤有线传输方式至数据中心, 线路网络带宽(Mbps) 不小于[(摄像机数量+1)×4];

3) 桥梁、隧道现场采集站和采集传输设备在距离接入点不小于100m时宜采用光纤线路进行数据传输;

4) 系统采用的网络采集器、网络转换器、网络传感器等应遵循TCP/IP 或 UDP 协议。

3.3.5 数据采集设备性能参数要求

数据采集设备性能参数满足附录B 中的内容要求, 并按照附录C 的要求对设备进行编码。

3.4 数据处理与管理设计

3.4.1 应通过数据预处理确保监测数据质量, 包括数据的准确性、完整性、同步性和时效性等指标。

3.4.2 应对含噪信号进行降噪处理, 提高信号的信噪比, 可以使用平滑、回归、滤波等方法。

3.4.3 应对数据误差进行处理, 包括系统误差和随机误差, 应根据各测点实际情况, 辨别误差类别, 选用合适算法对误差进行处理。

3.4.4 宜对监测信号进行缺失值填充, 主要针对较短时段静态数据缺失的情况, 可以使用回归、基于推理方法等进行处理。

3.4.5 监测数据的单位宜采用国际单位制, 同类型监测数据的单位应统一。

3.4.6 所有监测数据均宜带有时间标记, 在采集存储阶段没有添加时间标记的监测数据, 通过数据预处理添加时间标记, 并确保时间标记的统一和同步。

3.4.7 监测数据实时预警应基于预处理后的数据, 应确保数据预处理的时效性。

3.4.8 数据管理应实现快速显示、高效存储、生成报告和数据归档等功能。

3.4.9 结构安全监测系统数据库宜包括原始数据库、预处理数据库、分析数据库及系统信息数据库。

3.4.10 原始数据库应存储和管理车辆荷载、风、地震、温度、湿度、降雨量、空气质量以及结构的振动加速度、位移、变形、倾角、应变、裂缝、索力、腐蚀、冲刷等原始时程数据。

3.4.11 预处理数据库存储和管理原始采集数据预处理后的结果。

3.4.12 分析数据库存储和管理数理统计以及各种数据分析方法得到的分析结果。

3.4.13 系统信息数据库应对桥梁设计、竣工图纸、检测报告以及科研专题研究资料进行存储和管理, 数据库中的表格宜按照桥梁设计、竣工图纸目录及科研报告分类进行。

3.4.14 数据存储和管理可在本地计算机上进行, 也可采用云存储和云管理技术。

3.5 数据分析与安全预警评估设计

3.5.1 数据分析内容

1) 数据分析包括统计分析和特殊分析, 统计分析包括最大值、最小值、平均值、均方根值、累计值等统计值, 特殊分析包括荷载谱分析、风参数分析、模态分析、疲劳分析等。采样频率大于1Hz 的数据应以10分钟、日、月、年为统计间隔获得其统计值。温湿度、静应变、静位移等监测变量, 应给出以

日、月、年为统计间隔的统计值。

2) 荷载与环境监测的数据分析

- ① 分析过桥车流量、车型、轴重、总重、速度及超载车比例等车辆荷载参数，提取出车辆荷载日、月、年最大值及其统计分布，将车辆荷载统计和模型转化为疲劳荷载谱，也可将车辆荷载重量、数量和相应时间直接作为车辆疲劳荷载；
- ② 分析风参数，包括风速、风向、风攻角、脉动风速谱、湍流强度、阵风系数及各等级风速疲劳谱等；
- ③ 分析地震数据，包括加速度峰值、速度峰值、持续时间、频谱和反应谱等；
- ④ 分析温度数据，包括最高温度、最低温度、构件断面的最大温度梯度等；
- ⑤ 分析湿度数据，包括构件内/外湿度的最大值、平均值和超限的持续时间等；
- ⑥ 分析雨量数据，包括每小时最大降雨量、累积降雨量等；
- ⑦ 分析隧道空气质量数据，包括空气中CO、SO₂等有害气体浓度峰值。

3) 结构整体响应监测的数据分析

- ① 结构整体响应监测数据包括加速度、变形、位移、模态参数等；
- ② 分析加速度，包括绝对最大值、最大均方根值，可进行车桥耦合振动分析；
- ③ 分析桥梁结构变形，包括平均值、绝对最大值，宜进行挠度与温度、车辆荷载的相关性分析，水平变形与风荷载的相关性分析；
- ④ 分析梁端位移与支座位移，包括绝对最大值、累计位移，宜进行梁端位移、支座位移与温度、车辆荷载的相关性分析；
- ⑤ 分析锚碇位移的最大值和累计值等；
- ⑥ 模态参数包括结构的频率、振型和阻尼比等；
- ⑦ 分析隧道结构变形，包括平均值、绝对最大值，宜进行结构变形与温度相关性分析。

4) 结构局部响应监测的数据分析

- ① 结构局部响应监测数据包括应变、裂缝、冲刷、腐蚀、索力、支座反力和疲劳等；
- ② 应变花等三向应变应转化为主应力方向的应变；
- ③ 应变时程的数据分析，包括平均值、最大值、最小值、应力幅最大值等，钢箱梁等钢结构宜根据雨流计数法和 Miner 线性损伤理论计算疲劳损伤指数；
- ④ 索力时程的数据分析，包括平均值、最大值、最小值等，应对监测索力与成桥索力、设计容许索力、破断索力进行对比分析，宜根据拉索应力计算疲劳损伤指数；
- ⑤ 支座反力时程的数据分析，包括平均值、最大值和最小值、最大变化量等；
- ⑥ 应对冲刷深度、腐蚀深度、裂缝宽度的最大值进行数据分析，宜分析冲刷深度的变化规律与发展趋势，分析腐蚀进程并预测其发展趋势。

5) 桥梁与隧道因遭遇强风、地震、船撞、雪灾、洪水、特殊车辆过桥等突发事件而进行专项评估时，应对事件发生前后的数据进行对比分析。

6) 数据分析报告应包括桥梁与隧道及安全监测系统的基本信息、分析项目、分析方法和分析结果等。

7) 数据分析可基于在线分析与离线分析两种方式实现。

3.5.2 结构安全评估

1) 系统应能对自动化监测数据和定期检测结果进行统计、对比分析、趋势分析和相关性分析；

2) 系统应能综合各种监测数据、定期检测信息和分析结果，对结构异常状态进行识别和诊断，在线对结构安全和使用状态进行总体评价；

3) 系统应能在线生成结构安全评估日报，定期上传结构综合评估报告(如月报、季报、年度报告等)，特殊事件发生后7天内上传特殊事件综合评估报告。

3.5.3 安全预警

1) 预警分为初级预警与结构性预警:

①初级预警宜设置于数据采集单元,按传感器量程设置阈值对原始采集数据进行预警;

②结构性预警宜设置于结构状态评估服务器,按黄色和红色两级预警设置阈值(表9)。

2) 应设定合理阈值实现自动化实时报警,要求报警在软件界面与自动报表体现。

3) 预警阈值设置,宜结合规范限值与有限元模型计算值进行综合考虑,并随系统长期监测数据的积累,进一步根据历史数据统计分析进行修正。

4) 预警阈值可根据正常使用极限状态效应值进行分级设置。

5) 系统应能生成和存储标准格式的报警信息,报警信息具体内容及格式详见附录C。

表 9 阈值设置

分级类型	黄色预警	红色预警
分级策略	75%ss ss	Ssis<Sm

注: Sm为实测效应值, Sss 为正常使用极限状态效应值。

3.5.4 基于风险问题导向的成套监测预警

1) 在单点预警的基础上,直根据桥梁与隧道集群的总体风险因素识别制定专题性的成套分析和预警方案;

2) 桥梁重载风险预警管理系统;

3) 桥梁与隧道环境监测系统;

4) 桥墩倾斜风险监测系统;

5) 装配式桥梁横向在接性能监测系统;

6) 匝道倾覆风险监测;

7) 地表沉降监测

3.6 系统集成及用户界面设计

3.6.1 系统集成应包括硬件集成,软件集成和工具平台的集成。

3.6.2 系统集成应通过工具平台实现硬件和软件的最优配置,形成完整的集成方案,使系统的整体性能最优。

3.6.3 系统集成应进行硬件、软件、网络、数据存储与管理等接口设计,使各模块协调统一工作,形成桥梁与隧道安全监测一体化办作平台。

3.6.4 用户界面交互应清晰和友好地显示监测数据、数据采集与传输的工作状态、数据处理与分析结果、安全评估结果及预警信息。

3.6.5 用户界面交互软件模块宜根据监测要求综合考虑选择 Client/Server 模式、主机/终端模式以及 Brower/Server 模式。

3.6.6 用户界面交互软件模块应与各数据库无缝衔接,确保数据交换的高效。

3.6.7 监测数据和在线实时预警信息应实时在线显示,并可将来预警信息传送给桥梁与隧道管养单位。

3.6.8 传感器、数据采集和传输、数据处理和管理的设备信息应实时在线显示,并可对各模块的功能参数进行在线设置和修改。

3.6.9 用户界面交互应设计有进入数据分析模块的接口,并可显示安全评估的结果。

3.6.10 用户界面交互应可通过互联网在其他地区或场所安全远程登录并显示本地界面。

3.6.11 系统投入运行前,应基于桥梁与隧道结构特性对输入、输出的监测数据进行逻辑性、相关性、匹配性的检验。

3.7 视频监控系统设计

3.7.1 视频监控系统功能要求

视频监控系统应具有以下功能：

- 1) 监控系统应对需要进行监控的桥梁和隧道的通行情况、重要易损部位和区域、关键设施、桥下航道和铁路等进行有效的视频探测与监视，图像显示、记录与回放；
- 2) 前端设备的最大视频(音频)探测范围应满足现场监视覆盖范围的要求；
- 3) 系统的信号传输应保证图像质量、数据的安全性和控制信号的准确性；
- 4) 系统应具有常规的控制功能，如变倍、旋转等；
- 5) 监视图像信息和声音信息应具有原始完整性；
- 6) 系统应具有良好的图像记录功能，可支持桥梁与隧道结构智能巡查、视频信息分析功能；
- 7) 系统监视或回放的图像应清晰、稳定，显示方式应满足安全管理要求，显示画面上应有图像编号/地址、时间、日期等，文字显示采用简体中文；
- 8) 具有视频移动报警的系统应能任意设置视频警戒区域和报警触发条件，支持与政府相关部门联动；
- 9) 系统应具备远程信息发布与共享、远程授权操控能力。

3.7.2 视频监控管理平台功能要求

为实现视频监控资源的全网统一管理、统一运行维护、统一安全防护以及后期开展的统一智能应用，视频监控宜统一纳为视频监控管理平台。

1) 视频监控管班年雷功能要求如下：

①用户管理；②设备管理；③组织管理；④录像管理；⑤报警设置；⑥系统设置；⑦日志管理；⑧远程监控功能；⑨实时监控；⑩云台控制；⑪录像回放；⑫报警通知；⑬管理服务功能；⑭视频上墙；⑮电子地图配置。

2) 平台软件功能如下：

客户端应具备如下功能：实时监控、录像回放、电子地图、报警管理、云台控制、语音对讲、视频上墙，以及本地配置等功能。

管理端应具备如下功能组织管理、用户管理、设备管理、录像管理、报警设置、电子地图配置、电视墙配置、日志管理。

3) 可视化地图应用

系统应能实现GIS地图和监控系统的结合应用，主要体现在设备的标注，包括监控设备、存储设备、卡口设备、报警设备和各类传感器等。

4) 分布式存储

部署NVR+ 监控硬盘，保证网络因意外情况断开情况下，实现不间断录像，录像时长应大于90×24小时。

3.7.3 系统设备性能要求

1) 系统中使用的设备必须符合国家法律法规和现行强制性标准的要求，并经法定机构检验或认证合格。

2) 系统的制式应与我国的电视制式一致。

3) 摄像机的选型与设置应符合以下规定：

- ①为确保系统总体功能和技术指标，摄像机选型要充分满足监视目标的环境照度、安装条件、传输、控制和安全需求等因素的要求；
- ②在监视目标的环境中可见光照明不足或摄像机隐蔽安装监视时，宜选用红外灯作光源；
- ③摄像机的工作温度、湿度应适应现场气候条件的变化，必要时可采用适应环境条件的防

护罩；

- ④ 摄像机应有稳定牢固的支架：摄像机应设置在监视目标区域附近不易受外界损伤的位置，高度不宜低于5m。

4) 智能行为分析功能，包括人脸检测、智能移动探测、防破坏探测、场景分析等。

3.8 网络安全等级保护设计

3.8.1 城市桥梁与隧道结构安全监测系统设计应进行网络安全等级保护设计。

3.8.2 应根据信息系统受到破坏后，对公民、法人和其他组织的合法权益，社会秩序和公共利益及国家安全造成侵害的程度来确定网络安全保护等级。

3.8.3 城市桥梁与隧道结构安全监测系统安全保护等级宜定级为二级或二级以上。

3.8.4 网络安全等级保护的安全技术设计宜根据GB/T 25070的规定按安全保护环境(安全计算环境、安全区域边界、安全通信网络、安全管理中心)及安全互联(安全互联部件和跨定级系统安全管理中心)的技术要求进行设计。

3.8.5 城市桥梁与隧道结构安全监测系统建设完成后，应根据GB/T 28448的规定对系统安全等级状况实施等级测评。

3.9 系统供电功能要求

3.9.1 根据桥梁、隧道结构的地理位置和用电条件选择合适的供电方式，根据供电设备的功率和传输的距离选用合适的供电电缆线径。

3.9.2 供电系统要保证连续、可靠、稳定，受周围环境影响小；应进行多级分配，确保系统能够多级分层次控制。

3.9.3 优先选用220V市电供应，在特殊条件下可选用太阳能供电系统或风光互补供电系统，电池配置容量不低于阴雨天气7天的需求；应配置UPS电源作为电源净化和临时断电使用。

3.9.4 220V市电宜经过不低于C级电源防雷、隔离稳压、净化等工序处理。

3.9.5 应确保系统良好接地，接地电阻不大于4Ω。

3.9.6 监测系统的电源功率应预留损耗供后期扩展使用。

4 桥梁与隧道结构安全监测系统实施与验收

4.1 一般规定

4.1.1 承担桥梁与隧道结构安全监测系统实施的单位应建立项目组织机构、安全管理制度、施工质量控制和检验制度。

4.1.2 桥梁与隧道结构安全监测系统实施前，应按设计要求深化施工图，编制施工组织设计、专项施工方案，在通过审查、技术交底后方可进行现场施工。

4.1.3 桥梁与隧道结构安全监测系统宜按单位工程、分部工程、分项工程进行划分。

4.1.4 硬件在安装前应进行检查、测试，确认是否满足设计文件的要求。

4.1.5 各硬件分项工程可划分为一个检验批。同一检验批的所有硬件均应进行检查；同一检验批硬件测试数量不应少于该批硬件数量的10%且不少于1个。

4.1.6 硬件的检查包括外观检查和标志检查。外观和标志检查以目测为主，应满足下列要求：

- 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之间距离应符合设计文件的要求。

4.1.7 硬件的测试采用专用工具和试验设备进行，以检验硬件能否正常工作为主。若发现抽检硬件无法正常工作，该批硬件应送有资质的第三方检验机构进行检验。

4.1.8 若送检硬件不满足设计文件或技术文件要求，该批硬件应返修并全部重新检验。

4.1.9 基座、预埋件、防护措施等土建施工需监理单位工序验收合格后，方可进行传感器、线缆等硬件的安装。

4.1.10 硬件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有关法律法规和现行有关标准的规定。

4.1.11 系统调试与验收表格见附录D。

4.2 硬件安装实施

4.2.1 硬件和原材料在实验室及施工现场应按使用条件进行分类保管。

4.2.2 硬件的安装环境应符合设计文件和传感器技术文件要求。当安装环境超出规定时，应采取有效的保护措施。

4.2.3 当硬件安装部位存在热辐射、油污和滴水等现象时，应采取有针对性的保护措施。

4.2.4 硬件的固定应满足下列要求：

- 1) 当采用焊接方式固定时，焊接传导给硬件的最高温度应小于传感器允许的使用温度上限值；
- 2) 当采用膨胀螺栓固定时，应按硬件技术要求选择螺栓规格，不应使用塑料胀塞或木楔固定；
- 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) 固定硬件时，不应使硬件内部受到额外的应力。

4.2.5 硬件的外部接线应满足下列要求：

- 1) 接线排列应整齐、美观，导线应绝缘良好、无损伤；
- 2) 固定接线的螺栓和螺钉应采用有金属防护层或铜质的制品；
- 3) 固定接线的螺栓和螺钉应拧紧，拧紧力矩值应符合硬件技术文件的要求；
- 4) 接线张紧程度应适中，不得使硬件内部受到额外应力。

4.2.6 对已安装的传感器、线缆等硬件应采取保护措施，防止人为破坏和雨水冲刷等破坏。

4.2.7 安装就位后的传感器、桥架等硬件不应影响桥梁与隧道车辆、行人和检修人员的正常通行。

4.2.8 主体结构施工阶段宜做好各类预留、预埋措施，最大限度减少后期设备安装施工对主体结构性能产生影响。

4.2.9 针对上跨铁路的城市桥梁，应避免在上跨铁路部分的梁底布设传感器，保证桥面以上各类传感器及其他设备安装牢固，防止设备脱落对桥下铁路运营产生影响。

4.2.10 在安装硬件前机房应具备下列条件：

- 1) 基础底座安装完毕；
- 2) 地板、顶棚、内墙、门窗施工完毕；
- 3) 空调系统已投入运行；
- 4) 供电系统及室内照明已投入运行。

4.2.11 硬件安装就位后应符合设计文件规定或硬件运行要求的供电、温度、湿度条件。

4.2.12 采集站的机柜应牢固固定在基座上。机柜安装位置与设计文件的偏差应小于30mm。

4.2.13 机柜的安装应考虑开门方向和操作便利性，机柜的设备舱门和配线舱门应能完全开启。

4.2.14 机柜进出线缆孔洞在线缆安装完毕后应采用防火胶泥封堵，并做好防水和防潮处理。

4.3 软件开发实施

4.3.1 一般规定

- 1) 软件系统主要包括数据采集及控制软件、数据预处理软件、数据库管理软件、安全评估软件 and 用户界面显示软件，在监控中心应能实现这些软件参数的配置和远程管理。
- 2) 软件系统应具有本地配置和管理功能。
- 3) 软件系统应具备自动恢复功能，在无人值守情况下可从故障中恢复正常工作状态。
- 4) 在软件系统上设计后台程序应获得建设单位和桥梁与隧道管理部门的书面批准。
- 5) 在软件实施过程中形成文档的内容要求应符合《计算机软件文档编制规范》(GB/T 8567)的规定。

4.3.2 设计与开发

- 1) 软件应采用模块化设计，各模块的功能宜相对独立，以便调试和后期维护。
- 2) 软件设计和开发过程中应形成的文档包括：
 - ① 软件需求说明书；
 - ② 软件接口规格说明书，
 - ③ 软件设计说明书；
 - ④ 软件详细设计说明书；
 - ⑤ 数据库设计说明书。
- 3) 软件安全设计应符合《信息安全技术-信息系统通用安全技术要求》GB/T 10271)的要求。

4.3.3 测试与部署

- 1) 应制定详细的软件测试方案，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。
- 2) 软件的单元测试|集成测试、配置项测试和系统测试应符合《计算机软件测试规范》(GB/T 15532)的要求。
- 3) 对数据采集、传输和存储软件应进行软件强度测试，包括：
 - ① 超过30%设计专传感器数量的采集任务；
 - ② 地震、船撞等极端条件下全桥所有传感器同步采集能力；
 - ③ 数据传输量的饱和试验；
 - ④ 超出规定存储量的数据存储能力。
- 4) 硬件、网络等的配置空检查满足设计文件要求后方可进行软件部署。
- 5) 在软件部署后应形成的文档包括：
 - ① 用户手册；
 - ② 软件操作手册；
 - ③ 软件产品规格说明书；
 - ④ 软件维护说明书。

4.3.4 网络安全等级保护实施

- 1) 网络安全等级保护应按保护对象划分等级，遵循自主保护、重点保护、同步建设、动态调整等原则按标准进行建设、管理和监督。
- 2) 网络安全等级保护基本流程包括等级保护对象定级与备案阶段、总体安全规划阶段、安全设计与实施阶段、安全运行与维护阶段和定级对象终止阶段。
- 3) 等级保护对象定级与备案阶段宜包括以下内容：
 - ① 等级保护对象分析；
 - ② 安全保护等级确定；
 - ③ 定级结果备案。

- 4) 总体安全规划阶段宜包括以下内容：
- ① 安全总体需求分析。
 - ② 总体安全设计，宜包括如下内容：
 - a. 总体安全策略设计；
 - b. 安全技术体系结构设计；
 - c. 整体安全管理体系结构设计；
 - d. 设计结果文档化。
 - ③ 安全建设项目规划。
- 5) 安全设计与实施阶段宜包括如下内容：
- ① 安全方案详细设计，宜包括如下内容：
 - a. 技术措施实现内容的设计；
 - b. 管理措施实现内容的设计
 - c. 设计结果的文档化
 - ② 技术措施的实现，宜包括如下内容：
 - a. 网络安全产品或服务采购；
 - b. 安全控制开发；
 - c. 安全控制集成
 - d. 系统验收。
 - ③ 管理措施的实现，宜包括如下内容：
 - a. 制定和修订安全管理制度；
 - b. 设置安全机构和人员；
 - c. 制定安全实施管理制度。
- 6) 安全运行与维护阶段宜包括如下内容。
- ① 安全运行管理和控制；
 - ② 变更管理和控制；
 - ③ 安装状态监控
 - ④ 安全自查和持续改进；
 - ⑤ 服务商管理和监控
 - ⑥ 等级测评；
 - ⑦ 监督检查；
 - ⑧ 应急响应与保障
- 7) 定级对象终止阶段宜包括如下内容：
- ① 信息转移、暂存和清除，
 - ② 设备迁移或废弃；
 - ③ 存储介质清除或销毁。

4.4 系统调试与验证

4.4.1 一般规定

1) 系统调试应由机电、结构和软件专业技术人员组成调试小组，根据设计文件和产品技术文件进行。

2) 系统调试前应做好如下准备工作：

- ① 按照施工资料查验已安装硬件和软件的规格、型号、数量和标识位置，应正确无误；
- ② 查验接地系统和接地电阻是否符合设计要求，当无设计要求时，接地电阻应小于40；

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50MQ；

④查验引入电源是否符合设计或设备电源要求，包括电源种类、电压、负载能力等。

3) 系统调试前应制定调试方案并采取必要的安全防护措施。

4) 系统调试应进行单项调试和联合调试，按照附录D的要求出具调试报告。

5) 系统验证使用的计量仪表和检测器具应在规定的使用期内且检定合格，仪表和器具的测量精度应不低于相应传感器的测量精度。

4.4.2 单项调试

1) 供电调试：

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，当无设计要求时，用兆欧表测量时不应小于500MQ；

②市电220V 电压波动不应超过±10%，当超过该范围时，应加装稳压设备；

③ 60V 以上的直流电源电压波动不应超过±10%，60V 以下的直流电源电压波动不应超过±5%；

④ 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产品技术文件的规定。

2) 信号调试：

① 检查各传感器采集参数设置是否满足设计要求；

②当设计要求多种采集策略时，应针对每种采集策略分别测试传感器能否正确返回测试信号；

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需要同步采集的传感器其同步精度应满足监测需要。

3) 数据调试：

① 传感器的编号和数据在现场数据库及远程数据库中应完全对应；

② 传感器数据应与其物理位置对应；

③数据存储精度应不低于传感器的分辨率；

④各传感器的测量数据不应超过传感器测量范围和设计文件规定的测量范围。

4.4.3 联合调试

1) 桥梁与隧道结构安全监测系统的功能调试包括：

①自动和人工实现数据采集、传输和存储功能；

②数据显示、回放和统计功能；

③桥梁与隧道安全监测系统报警和预警功能；

④桥梁与隧道安全监测系统评估功能；

⑤设计文件要求的其他功能。

2) 桥梁与隧道结构安全监测系统的时钟每月最大计时误差应小于5s。

3) 在试运行期间桥梁与隧道结构安全监测系统的可靠性应满足下列要求：

①设备每月平均无故障工作时间应大于每月总时长的95%，统计时宜排除网电等外部因素影响；

② 系统自动采集数据日均数据缺失率应不大于5%。

4) 试运行期间桥梁与隧道结构安全监测系统的稳定性应满足下列要求：

① 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相应时间人工测试数据的规律一致，变化幅值接近；

② 监测数据具有较好的周期性，无明显的系统性偏移。

4.4.4 系统验证

1) 系统验证抽样的传感器数量应满足设计文件的规定。

- 2) 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试数据的偏差应小于抽样传感器测量精度的3倍。
- 3) 系统安装完成后，可采用车辆实施加载试验对系统进行验证。
- 4) 动态称重传感器的现场验证方法和偏差可参照《动态公路车辆自动衡器》(GB/T 21296),设备性能指标应满足设计要求。
- 5) 在相同截面处，桥梁与隧道定期观测位移与监测系统位移测试的变化趋势应吻合。

4.5 验收要求与评分办法

4.5.1 分项工程验收要求

- 1) 分项工程内设备安装完成，符合设计文件和本规范的规定时，可向监理和业主提交书面申请进行分项工程验收。
- 2) 分项工程验收时，应提交下列文件：
 - ① 安装和质量检查记录；
 - ② 隐蔽工程记录；
 - ③ 硬件和材料的产品质量合格证明。

4.5.2 分部工程验收要求

- 1) 文件范围内传感器安装、线缆敷设以及软件部署完毕，监控机房安装完成后，可向监理和业主申请分部工程验收。
- 2) 分部工程验收时，应提交下列文件：
 - ① 分项工程验收所提交资料；
 - ② 调试试验记录；
 - ③ 硬件清单；
 - ④ 软件清单。

4.5.3 单位工程验收要求

- 1) 系统正常运营90天、经验证合格及完成档案验收后，可向监理和业主申请竣工验收。竣工验收按期举行确有困难的，经工程验收主持单位同意，可适当延长期限。
- 2) 提交竣工验收报告前应完成下列事项：
 - ① 历次检查和监理发现的问题已全部处理完毕；
 - ② 归档资料符合工程档案资料管理的有关规定。
- 3) 系统竣工验收前整体性能达到验收要求：
 - ① 监测数据必须有效传输至桥梁与隧道管理部门监控中心，统一维护管理；
 - ② 系统应保证24小时连续工作；
 - ③ 系统应满足实时监测、定期远程监控、特殊环境状况下的应急监测需求；
 - ④ 系统应满足人工控制启动功能；
 - ⑤ 必须提供系统完整的帮助文档和操作手册。
- 4) 工程资料清单包括：
 - ① 竣工验收申请报告；
 - ② 竣工图；
 - ③ 工程决算书；
 - ④ 图纸会审记录，设计变更洽商记录；
 - ⑤ 材料、硬件的质量合格证明；
 - ⑥ 施工记录，包括必要的检验、试验记录；
 - ⑦ 中间交接记录与证明；

- ⑧工程质量事故发生和处理记录;
- ⑨工程变更单;
- ⑩其他有关该项工程的技术决定和技术资料;
- ① 系统使用说明书;
系统维护说明书;
- ⑬系统硬件、软件清单;
系统审批资料;
本规范规定的在软件实施过程中形成的文档;
- ⑩软件测试报告;
- ⑰系统试运行报告。

4.5.4 分项工程质量评分

1) 分项工程质量检验按检验批对分项项目且进行评定, 检验批检验内容包括基本要求、实测项目、外观鉴定和质量保证资料四个部分

2) 只有在其使用的原材料半成品 成品及施工工艺符合基本要求的規定, 且无严重外观缺陷和质量保证资料真实并基本全时, 才能对**检验批质量进行检验**评定。

3) 检验批评分值满分为100分, 按实测项目采用加权平均法计算。存在外观缺陷或资料不全时, 须予减分。

$$\text{检验批得分} = (\sum [\text{检查项目得分} \times \text{权值}]) / (\sum \text{检查项目权值})$$

$$\text{检验批评分值} = \text{检验批得分} - \text{外观缺陷减分} - \text{资料不全减分}$$

4) 分项工程的评分值满分为100分, 按实测项目采用加权平均法计算

$$\text{分项上程评分值} = (\sum [\text{检验批评分值} \times \text{权值}]) / (\sum \text{检验批权值})$$

4.5.5 分部(单位)工程质量评分

进行分部工程和单位工程评分时, 采用加权平均值算法确定相应的计分值。

$$\text{分部(单位)工程评分值} = (\sum [\text{分项(分部)工程评分值} \times \text{权值}]) / (\sum \text{分项(分部)工程权值})$$

4.5.6 评分流程

按照分项工程、分部工程、单位工程**顺序**, 逐级**计算**工程质量评分。

- 1) 根据分项工程质量评定的公式计算各分项工程评分,
- 2) 根据分项工程评分对各分部工程算出一个算术平均分,
- 3) 采用已算出的各分部工程得分, 按加权平均计算单位工程评分。

4.5.7 工程质量等级评定办法

工程质量评定等级分为合格与不合格, 应按分项、分部、单位工程逐级评定。

1) 分项工程质量等级评定

①分项工程合格标准必须同时满足以下条件:

- a. 评分值不小于90分者;
- b. 涉及结构安全和使用功能的重要实测项目为关键项目(在文中以“△”标识), 其合格率不得低于100%, 且检测值不得超过规定极值, 否则必须进行返工;
- c. 实测项目的任一单个检测值均不得突破规定极值, 不符合要求时该分项工程为不合格。

②评定为不合格的分项工程, 经加固、补强或返工、调测, 满足设计要求后, 可以重新评定其质量等级, 但计算分部工程评分值时按其复评分值的90%计算。

2) 分部工程质量等级评定

所属各分项工程全部合格, 则该分部工程评为合格; 所属任一分项工程不合格, 则该分部工程为不合格。

3) 单位工程质量等级评定

所属各分部工程全部合格，则该单位工程评为合格；所属任一分部工程不合格，则该单位工程为不合格。

4.5.8 检验评定一般规定

1) 分项工程检查频率：承包单位为100%；验收抽查不低于30%，当项目测点数少于3个时，全部检查。

2) 分项工程各项实测项目的权值：关键项目为2，非关键项目为1。

3) 所采用的仪器设备、原材料、半成品和制成品，均应符合有关产品标准、规范或合同的要求，并具有符合国家认可标准要求的质量检查机构出具的检验合格证和出厂合格证。

4) 监测设备的基础、法兰、地脚、支架等及其防腐处理均应符合相关规范和设计要求，连接牢固、可靠，并不得影响桥梁与隧道的结构安全和使用功能。

5 系统维护

5.1.1 桥梁与隧道管理部门应安排专职人员**对桥梁与隧道结构安全监测系统**进行日常维护管理，日常维护宜7天1次

5.1.2 桥梁节隧道管理部门宜聘请**专业公司****对桥梁与隧道结构安全监测系统**进行定期维护管理，定期维护宜1年1次。

5.1.3 维护人应掌握系统的硬件性能和技术参数，熟练操作系统各类软件；系统出现故障，系统维护人员进行处理时，应同时判断系统类型和故障级别，根据系统类型和故障级别，能独立处理系统维护手册中列出的系统可能出现的各类故障；**在系统出现重大故障时**及时上报，并协助专业人员查明原因，处理故障。

5.1.4 养护人应根据系统不同特点及养护质量要求，制订不同周期作业计划，并报系统管理部门审批。

5.1.5 宜定期组织系统养护技术培训、技术交流，提高养护人员管理和技术水平。

5.1.6 系统维护内容应包括现场**采集传输硬件设备维护**、配套网络维护、机房硬件设备与环境维护、应用软件维护四部分。

5.1.7 系统日常运行和维护管理，应实时监控**系统运行状态**，保证系统备类运行指标符合设计要求。

5.1.8 系统维护前应采取**数据保护措施**，如数据备份；数据备份、存储和管理应根据相关业务特性和需要制订**养护作业实施步骤**。

5.1.9 应详细、准确填写《**系统维护记录**》：**维护原因、维护的内容、维护前系统情况、维护后系统情况、维护起止时间、维护者、批准者**；建立健全必要的**技术资料**和原始记录管理制度。

5.1.10 系统维护人员都应熟悉并严格遵守和执行**信息安全保密**相关规定。

5.1.11 监控中心机房环境宜符合**国家相关标准《数据中心设计规范》(GB 50174)**的要求。

5.1.12 系统建成后，建立**系统维护制度**，编制**工作手册**，并对**桥梁与隧道结构安全监测系统**操作人员进行**系统使用、维护、信息解读**等培训。

5.1.13 当**桥梁与隧道结构**遭遇**地震、洪水、台风、车船撞击、爆炸、火灾**等突发性事故或灾害时，应对**系统进行紧急检查**，及时评估**系统运行状态**。

附 录 A

(资料性附录)

传感器设备性能要求

表A.1 动态称重仪性能指标

项 目	技术指标
称重范围	>30t/轴
速度范围	5~180km/h
称重精度	<±10% (车速20~180km/h), 95%以上可信度
可分类车型	交通部颁布的标准车型
流量检测精度	>98%
可采集车辆信息	单轴重, 轴数, 轴组重, 总车重, 等效单轴负载, 轴间距, 总轴距, 车速, 车间距时间, 车流量, 车间距, 行驶方向, 跨道行驶车辆车道代码, 车辆分类, 时间和日期

表A.2 温度传感器性能指标

项 目	技术指标
测量范围	-30~+85℃
精度	±0.5℃

表A.3 温湿度传感器性能指标

项 目	技术指标
空气相对湿度测量	
测量范围	0~100%RH
精度	±5%RH
空气温度测量	
测量范围	-40~+60℃
精度	±0.5℃

表A.4 路面温度传感器技术要求参数

项 目	技术指标
测量范围	-20~+100℃
精度	±2℃

表A.5 加速度传感器技术要求参数

项目	力平衡加速度计	电动式加速度计	ICP压电加速度计
灵敏度	$\pm 0.125\text{V}/\text{m}/\text{s}^2$	$\pm 0.3\text{V}/\text{m}/\text{s}^2$	$\pm 0.1\text{V}/\text{m}/\text{s}^2$
满量程输出	$\pm 2.5\text{V}$	$\pm 6\text{V}$	$\pm 5\text{V}$
频率响应	0~80Hz	0.25~80Hz	0.3~100Hz
动态范围	$\geq 120\text{dB}$	$\geq 120\text{dB}$	110dB
线性度	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
运行环境温度	-10~+50℃	-20~+50℃	-10~+50℃
信号调理	线性放大, 积分	线性放大, 积分	ICP调理放大

表A.6 速度传感器技术要求参数

项目	技术指标
灵敏度	$\pm 1\sim 25\text{V}/\text{m}/\text{s}$ (可调)
满量程输出	$\pm 5\text{V}$
频率响应	0.1~100 Hz(可调)
动态范围	$\geq 120\text{dB}$
线性度	$\leq 1\%\text{FS}$
运行环境温度	-20~+50℃
信号调理	线性放大, 积分, 滤波

表A.7 挠度传感器性能指标

项目	技术指标
量程范围	100~10000mm
精度	$\pm 0.065\%\text{FS}$

表A.8 GNSS传感器性能指标

项目	技术指标
静态GNSS定位	水平: 2.5 mm +0.5 ppm RMS
	垂直: 5 mm +0.5 ppm RMS
网络RTK定位	水平: 8 mm +1 ppm RMS
	垂直: 15 mm +1 ppm RMS

表A.9 位移传感器性能指标

项目	技术指标(小量程)	技术指标(中量程)	技术指标(大量程)
测量范围	0~2mm	0~300mm	50~7600mm
线性度	$\leq 0.25\%\text{FS}$	$< 0.25\%\text{FS}$	$< 0.05\%\text{ES}$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/945003304234011312>