

附件 1

ICS: 点击此处添加 ICS 号

CCS: 点击此处添加 CCS 号

T/CSMT

团 体 标 准

T/CSMT-00*—20xx

公路基础设施监测传感器通用技术要求

Generic Technical Specification of Monitoring Sensors for Highway Infrastructures

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国计量测试学会 发布

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》给出的规则起草。

请注意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。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件主要起草单位：机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、交通运输部公路科学研究院、北京迈石科创监测技术有限公司。

本文件参加起草单位：武汉理工大学，清华大学、中航电测仪器股份有限公司、南京工业大学。

本文件主要起草人：张保磊、彭璐、朱敏杰、胡永康、谌仪、窦光武、王振、李万恒、周次明、晏志鹏、魏亚、罗文婷

本文件为首次制定。

目录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4. 公路基础设施传感监测要求.....	3
5. 传感器技术要求.....	10
6. 试验方法.....	20
7. 传感器安装与验收.....	25

公路基础设施监测传感器（或仪器）通用技术条件

1 范围

本文件规定了公路基础设施监测传感器(或仪器)的术语,公路基础设施监测传感要求,传感器技术要求,试验方法,传感器安装与验收等。

本文件适用于对公路边坡、路基、路面、桥梁、隧道运行状态下进行监测的环境、位移、应变、压力、加速度等常用传感器。

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 50982-2014 建筑与桥梁结构监测技术规范

GB/T 18901.1-2002 光纤传感器 第1部分:总规范

GB/T 2829-2002 周期检验计数抽样程序及表(适用于对过程稳定性的检验)

GB/T 4208-2017 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 5080.1-2012 可靠性试验.第1部分:试验条件和统计检验原理

GB/T 7665-2005 传感器通用术语

JT/T 1037-2022 公路桥梁结构监测技术规范

JT/T 52/20—2023 贵州省公路桥梁结构健康监测体系建设指南(试行)

JTG/T 3660-2020 公路隧道施工技术规范

JTT52/08-2023 贵州省公路边坡自动化安全监测技术指南

DB61_T 1037-2016 连续梁(刚构)桥健康监测技术规程

3 术语

GB/T 7665-2005、GB/T 18901.1-2002 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 光纤传感器

利用光纤的光学特性获取或转换环境信息的传感器。一般包括一个光传感元件或光供能

元件，也可以包括下列一个或多个部分（附光纤传感器简图）

3.2 分布式光纤传感器

采用分布式光纤探测技术，对沿光纤传输路径上的空间分布和随时间变化信息进行测量或监控的传感器。

3.3 金属粘贴式电阻应变计

用金属电阻体作为敏感栅，用粘接剂固定在试件上的电阻应变计（简称应变计）。

3.4 机械应变

仅由于施加机械载荷而在试件上产生应力所引起的单位变形。以(ϵ)表示。

3.5 路面损坏

导致公路路面质量或使用性能降低的路面裂缝、坑槽等病害的统称。

3.6 环境参数

公路所在区域的自然环境参数，包括温度、湿度、风速、风向、降水、辐射等。

3.7 结构响应

公路路基路面在外力及环境作用下其内部各个部位产生的位移、应力和应变。

3.8 周边位移

隧道洞壁上两点间相对位置的变化。

3.9 地表沉降

隧道施工扰动围岩引起的地表沉降量。

3.10 桥面铺装

用沥青混凝土、水泥混凝土等材料铺装桥面板上的面层。

4. 公路基础设施传感监测要求

4.1 边坡监测

监测内容包括边坡变形、裂缝、倾斜、降雨量及地下水位等。

表 1 边坡监测内容及方式

监测内容	监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
应力监测	压力传感器	埋入	边坡内部
变形监测	位移传感器	埋入	面层、内部
环境监测	温度、湿度、位移传感器、加速度传感器	埋入	边坡内部
地下水监测	振弦式传感器、压力传感器、电阻率传感器	埋入	边坡内部
宏观变化监测	图像传感器、雷达传感器	悬挂	边坡周边

边坡地质灾害监测项目精度见附录一。

4.2 路基监测

对路基内部结构响应信息及环境信息进行监测，获取路基内部结构响应及环境变化。

表 2 路基监测内容及方式

监测内容	监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
应变	静态、动态应变传感器	埋入	面层、基层、路基内部
变形	位移传感器	埋入	面层、基层、路基内部
压力	压力传感器	埋入	面层、基层、路基内部
交通荷载	动态称重系统	表面切槽	路面表面及以下
温度	温度传感器	埋入	面层、基层、路基内部
湿度	湿度传感器、渗压计	埋入	面层、基层、路基内部

4.3 路面监测

对路面坑槽、裂缝、车辙、拥包等病害进行监测，获取路面健康状况信息。

表 3 路面监测内容及方式

监测内容	监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
裂缝	图像传感器	悬挂	外部车载
车辙			
坑槽			

4.4 桥梁监测

4.2.1 桥梁类型

表 4 桥梁类型

桥梁类型	包含结构类型
悬索桥	预应力混凝土悬索桥、钢箱梁悬索桥
斜拉桥	预应力混凝土斜拉桥、钢-混凝土组合梁斜拉桥、钢箱梁斜拉桥、钢桁架斜拉桥
梁式桥	空心板、实心板、T梁、I形梁、 π 梁、组合箱梁、等截面连续箱梁、变截面连续箱梁、T型刚构、连续刚构、钢板梁、钢箱梁、钢桁架、钢-混凝土组合梁
拱式桥	双曲拱、板拱、肋拱、箱形拱、刚架拱、桁架拱、拱式组合结构

4.2.2 桥梁监测内容

表 5 悬索桥监测内容

监测内容		监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	光纤传感器，热敏传感器，电容传感器	悬挂、植入	跨中位置，或特定监测点附近
	主梁内温度、湿度		植入	浅层、中层、深层
	主缆内温度、湿度		植入	界面层
	锚室内温度、湿度		植入	锚室内
	鞍罩内温度、湿度		植入	鞍罩内
	索塔内温度、湿度		植入	塔内监测点附近
结冰	桥面结冰、主缆结冰	图像传感器	悬挂	监测点位附近
车辆载荷	所有车道车重、轴重、轴数、车速	压力、薄膜、应变传感器，光纤传感器	植入	表层或中层
	所有车道车流量	压力传感器、光纤传感器、图像传感器	植入、悬挂	表层、中层及监测点附近
	所有车道的车辆空间分布视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
风速、风向、风压	桥面风速、风向	风速、风向传感器	悬挂	监测点附近
	塔顶风速、风向			
	主梁风压	差压传感器	悬挂	监测点附近
结构温度	混凝土或钢结构构件温度	接触式温度计、光纤传感器	贴装	表面或内部
	桥面铺装层温度		植入	中层或深层
外物撞击	桥墩加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	内部或表层
	视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
地震	桥岸地表场地加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	桥梁墩底、承台顶部、锚碇锚室或引桥桥台附近
	承台顶或桥墩底部加速度			
位移	主梁竖向位移	拉绳位移传感器、薄膜应变传感器、光纤传感器	植入、贴装	主跨跨中或特定监测点附近
	主梁横向位移			
	支座位移			主支座、伸缩缝附近

	梁端纵向位移			梁端面附近
	塔顶偏位			塔顶正上或侧面
	主缆偏位			缆端
转角	塔顶转角	倾角仪、转角传感器 (霍尔、磁阻、光电)	植入	监测点位置
	梁端水平转角			
	梁端竖向转角			
应变	主梁关键截面应变	贴片式应变传感器、 光纤传感器	贴装	端面或侧面
	索塔关键截面应变			
索力	吊索索力	液压传感器、磁通量 传感器、光纤传感器	植入、悬挂	索体受力位置
	锚跨索股力			
支座反力	支座反力	反力传感器	植入	支座与梁体界面
振动	主梁竖向振动加速度	光纤、平衡式、电容 式、压电式、磁电式 加速度传感器	植入、贴装	监测点位置内部或表面
	主梁横向振动加速度			
	主梁纵向振动加速度			
	塔顶水平双向振动加速 度			
	吊索振动加速度			监测点位置表面
基础冲刷	基础冲刷深度	激光测距传感器	悬挂	监测点位置附近上方
位移	锚碇位移	光纤位移传感器、激 光测距传感器	贴装、悬挂	重力锚锚体与前支墩角 点处、隧道锚前锚面处
裂缝	混凝土结构裂缝	图像传感器	悬挂式	待测结构附近
	钢结构裂缝			
腐蚀	墩身、承台混凝土氯离 子浓度	氯离子浓度传感器	植入	监测点位置混凝土保护 层内部
	墩身、承台混凝土氯离 子侵蚀深度			
断丝	吊索、主缆断丝	声发射传感器	贴装	锚头端或易断丝位置
螺栓状态	索夹螺杆紧固力、高强 螺栓紧固力、螺栓滑脱	压力环传感器、超声 应力传感器	贴装、悬挂	监测点位置或附近
索夹滑移	索夹滑移	位移传感器、图像传 感器	贴装、悬挂	监测点位置或附近

表 6 斜拉桥监测内容

监测内容		监测传感器 (或仪 器)	安装方式	布置点位
温度、 湿度	桥址区环境温度、湿度	光纤传感器, 热敏传 感器, 电容传感器	悬挂、植入	跨中位置, 或特定监测 点附近
	主梁内温度、湿度		植入	浅层、中层、深层
	索塔锚固区温度、湿度		悬挂、植入	锚室内
雨量	降雨量	电容、红外散射、翻 斗雨量传感器	悬挂	监测点位置附近

结冰	桥面结冰、斜拉索结冰	超声波结冰传感器、图像传感器	贴装、悬挂	监测点位置附近
车辆载荷	所有车道车重、轴重、轴数、车速	压力、薄膜、应变传感器，光纤传感器	植入	表层或中层
	所有车道车流量	压力传感器、光纤传感器、图像传感器	植入、悬挂	表层、中层及监测点附近
	所有车道的车辆空间分布视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
风速、风向	桥面风速、风向	三向超声风速仪、机械式风速仪	悬挂	监测点附近
	塔顶风速、风向			
结构温度	混凝土或钢结构构件温度	接触式温度计、光纤传感器	贴装	表面或内部
	桥面铺装层温度		植入	中层或深层
外物撞击	桥墩加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	内部或表层
	视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
地震	桥岸地表场地加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	桥梁墩底、承台顶部、锚碇锚室或引桥桥台附近
	承台顶或桥墩底部加速度			
位移	主梁竖向位移	拉绳位移传感器、薄膜应变传感器、光纤传感器	植入、贴装	主跨跨中或特定监测点附近
	主梁横向位移			主支座、伸缩缝附近
	支座位移			梁端面附近
	梁端纵向位移			塔顶正上或侧面
	塔顶偏位			
转角	塔顶转角	转角传感器（霍尔、磁阻、光电）	植入	监测点位置
	梁端水平转角			
	梁端竖向转角			
应变	主梁关键截面应变	贴片式应变传感器、光纤传感器	贴装	端面或侧面
	索塔关键截面应变			
索力	斜拉索索力	液压传感器、磁通量传感器、光纤传感器	植入、悬挂	索体受力位置
支座反力	支座反力	反力传感器	植入	支座与梁体界面
振动	主梁竖向振动加速度	光纤、平衡式、电容式、压电式、磁电式加速度传感器	植入、贴装	监测点位置内部或表面
	主梁横向振动加速度			
	主梁纵向振动加速度			
	塔顶水平双向振动加速度			
	斜拉索振动加速度			监测点位置表面
基础冲刷	基础冲刷深度	激光测距传感器	悬挂	监测点位置附近上方
裂缝	混凝土结构裂缝	振弦式裂纹、导电涂膜、电阻式、长标距光纤传感器，图像传感器	贴装、悬挂	监测点结构表面、悬挂
	钢结构裂缝			

腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	氯离子浓度传感器	植入	监测点位置混凝土保护层内部
	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度			
预应力	体外预应力	预应力传感器	贴装	监测点位置界面
断丝	斜拉索断丝	声发射传感器	贴装	锚头端或易断丝位置
螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	压力环传感器、超声应力传感器	贴装、悬挂	监测点位置或附近

表 7 梁桥监测内容

监测内容		监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	光纤传感器，热敏传感器，电容传感器	悬挂、植入	跨中位置，或特定监测点附近
	主梁内温度、湿度		植入	浅层、中层、深层
结冰	桥面结冰	超声波结冰传感器、图像传感器	贴装、悬挂	监测点位置附近
车辆载荷	所有车道车重、轴重、轴数、车速	压力、薄膜、应变传感器，光纤传感器	植入	表层或中层
	所有车道车流量	压力传感器、光纤传感器、图像传感器	植入、悬挂	表层、中层及监测点附近
	所有车道的车辆空间分布视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
风速、风向	桥面风速、风向	风速、风向传感器	悬挂	监测点附近
结构温度	混凝土或钢结构构件温度	接触式温度计、光纤传感器	贴装	表面或内部
	桥面铺装层温度		植入	中层或深层
外物撞击	桥墩加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	内部或表层
	视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
地震	桥岸地表场地加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	桥梁墩底、承台顶部或引桥桥台附近
	承台顶或桥墩底部加速度			
位移	主梁竖向位移	拉绳位移传感器、薄膜应变传感器、光纤传感器	植入、贴装	主跨跨中或特点监测点附近
	支座位移			主支座、伸缩缝附近
	梁端纵向位移			梁端面附近
	高墩墩顶位移			墩顶正上或侧面
应变	主梁关键截面应变	贴片式应变传感器、光纤传感器	贴装	端面或侧面
支座反力	支座反力	反力传感器	植入	支座与梁体界面
振动	主梁竖向振动加速度	光纤、平衡式、电容式、压电式、磁电式加速度传感器	植入、贴装	监测点位置内部或表面
	主梁横向振动加速度			
	主梁纵向振动加速度			
	桥墩顶部纵向及横向振动加速度			

基础冲刷	基础冲刷深度	激光测距传感器	悬挂	监测点位置附近上方
桥墩沉降	桥墩竖向位移	水准仪、全站仪、光纤传感器	贴装式、悬挂式	墩体表面
裂缝	混凝土结构裂缝	振弦式裂纹、导电涂膜、电阻式、长标距光纤传感器, 图像传感器	贴装、悬挂	监测点结构表面、悬挂
	钢结构裂缝			
腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	氯离子浓度传感器	植入	监测点位置混凝土保护层内部
	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度			
预应力	体外预应力	预应力传感器	贴装	监测点位置界面
螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	压力环传感器、超声应力传感器	贴装式、悬挂式	监测点位置或附近

表 8 拱桥监测内容

监测内容		监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	光纤传感器, 热敏传感器, 电容传感器	悬挂、植入	跨中位置, 或特定监测点附近
	主拱内温度、湿度		悬挂、植入	拱体内
结冰	桥面结冰、吊杆结冰	超声波结冰传感器、图像传感器	贴装、悬挂	监测点位置附近
车辆载荷	所有车道车重、轴重、轴数、车速	压力、薄膜、应变传感器, 光纤传感器	植入	表层或中层
	所有车道车流量	压力传感器、光纤传感器、图像传感器	植入、悬挂	表层、中层及监测点附近
	所有车道的车辆空间分布视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
风速、风向	桥面风速、风向	风速、风向传感器	悬挂	监测点附近
	拱顶风速、风向			
结构温度	混凝土或钢结构构件温度	接触式温度计、光纤传感器	贴装	表面或内部
	桥面铺装层温度		植入	中层或深层
外物撞击	桥墩加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	内部或表层
	视频图像	图像传感器	悬挂	监测点附近
地震	桥岸地表场地加速度	振弦式加速度计、光纤加速度计	植入、贴装	桥梁墩底、承台顶部或引桥桥台附近
	承台顶或桥墩底部加速度			
位移	主梁竖向位移	拉绳位移传感器、薄膜应变传感器、光纤传感器	植入、贴装	主跨跨中或特点监测点附近
	主梁横向位移			
	支座位移			主支座、伸缩缝附近
	梁端纵向位移			梁端面附近
	拱顶位移			拱顶侧面、内部

应变	主梁关键截面应变	贴片式应变传感器、光纤传感器	贴装	端面或侧面
	主拱关键截面应变			
支座反力	支座反力	反力传感器	植入	支座与梁体界面
振动	主梁竖向振动加速度	光纤、平衡式、电容式、压电式、磁电式加速度传感器	植入、贴装	监测点位置内部或表面
	主梁横向振动加速度			
	主梁纵向振动加速度			
	主拱振动加速度			
基础冲刷	基础冲刷深度	激光测距传感器	悬挂	监测点位置附近上方
位移	拱脚位移	光纤传感器、全站仪	贴装、悬挂	拱脚结构表面、附近
裂缝	混凝土结构裂缝	振弦式裂纹、导电涂膜、电阻式、长标距光纤传感器，图像传感器	贴装、悬挂	监测点结构表面、悬挂
	钢结构裂缝			
腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	氯离子浓度传感器	植入	监测点位置混凝土保护层内部
	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度			
螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	压力环传感器、超声应力传感器	贴装、悬挂	待监测螺栓部位

4.5 隧道监测

表 9 隧道监测内容

监测内容	监测传感器（或仪器）	安装方式	布置点位
周边结构	罗盘仪、图像传感器、激光测距传感器	悬挂、贴装	隧道出入口附近
拱顶下沉	光纤传感器、水准仪、全站仪	悬挂、贴装	拱顶表面
周边位移	光纤传感器、全站仪	悬挂、贴装、埋入	监测结构表面、浅层、深层
地表沉降	光纤传感器、磁致伸缩传感器	贴装、悬挂	监测点附近、地表浅层
拱脚下沉	水准仪、全站仪、光纤传感器	贴装、悬挂	拱脚表面
围岩压力	压力盒、光纤传感器	埋入	围岩底部
拱架内力及外力	钢筋计、应变计、光纤传感器	埋入	拱架中层
支护与衬砌间接接触压力	压力盒、光纤传感器	埋入	支护与衬砌接触界面
锚杆轴力	钢筋计	埋入	浅层
围岩内部位移	单点、多点位移计，光纤传感器	埋入	深层
爆破振动	爆破测振仪	贴装	表面
孔隙水压力	水压计	埋入	随孔隙深度
水流量	堰槽、流量计	埋入	随水流通道

地表形变	水准仪、全站仪、光纤传感器	悬挂、贴装	监测点附近、表层
------	---------------	-------	----------

5. 传感器技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 传感器选择原则

a) 针对公路路基路面、桥梁、隧道的不同监测需求，选用不同类型和量程的传感器进行监测；

b) 传感器在观测期间应具有良好的稳定性和抗干扰能力，采集信号的信噪比应满足实际工程需要；

c) 根据传感器类型，选择操作方便、稳定性好且精度合适的数据采集设备，保证观测数据的准确性。

5.1.2 传感器性能参数应符合下列要求：

a) 传感器应具有良好且稳定的线性度，用于路基路面结构响应观测的传感器应满足 JT/T 1037 规定的线性度要求；

b) 传感器应具有良好且稳定的灵敏度、抗干扰能力及重复性，应严格控制观测数据的漂移；

c) 为保证观测数据的准确性，传感器的工作范围宜为满量程的 20%~80%，且最大工作状态不应超过满量程；

d) 应根据观测内容和传感器类型选择合适的采样参数，对结构的动态响应观测时，传感器的采样频率应大于等于 200 Hz；

e) 不同类型传感器的供电方式应根据实际情况和观测要求确定；

f) 传感器的使用年限应满足路基路面长期性能观测需求；

g) 传感器出厂前应做好静态、动态标定与校准。

5.2 传感器技术要求

5.2.1 环境传感器技术要求

环境监测传感器主要包括温湿度仪、雨量计、结冰传感器、风速仪、地震传感器等，应满足如下技术要求：

表 15 温湿度仪技术要求

项目	技术要求
----	------

测量范围 (相对湿度)	0~100%RH
测量误差 (相对湿度)	≤±2% RH (在 20℃条件下)
测量范围 (温度)	-40℃~+60℃
误差 (温度)	≤±0.5℃
分辨力(温度)	≤0.1℃

表 16 雨量计技术要求

项目	技术要求
分辨力	≤0.1mm
误差	≤2% (降雨强度≤25mm/h) ≤3% (25mm/h<降雨强度≤50mm/h)

表 17 超声波结冰传感器技术要求

项目	技术指标
结冰监测量程	0.2mm~10mm
误差	<1mm
工作温度	-40℃~85℃
工作湿度	0~100%RH

表 18 超声波风速仪技术要求

项目	技术要求
测量参数	三个 (或两个) 正交方向的风速和风向
风速	测量范围: 0~40m/s; 分辨力≤0.1m/s
风向	水平测量范围: 0~360° 俯仰测量范围: -60°~+60° 分辨力≤0.1° 误差≤±2° (1-30m/s), ±5° (30-40m/s)

表 19 机械式风速仪技术要求

项目	技术要求
测量参数	水平风速、风向
风速	测量范围: 0~100m/s 误差≤±0.3m/s
风向	测量范围: 0~360° 误差≤±3°

表 20 地震传感器技术要求

项目	技术要求
测量范围	$> \pm 2g$ (XYZ 三个方向, 可定制)
误差	$\leq 1\%$
灵敏度	$\geq 2.5V/g$ (可定制)
横向灵敏度比	$\leq 1\%$
频率响应	0~80Hz
动态范围	$\geq 120dB$

5.2.2 动态称重系统

进行车辆轴载、轴型及速度信息监测, 应根据公路交通运营实际状况, 合理选用动态称重系统, 性能应满足如下要求:

表 21 动态称重系统的技术要求

项目	技术要求
整车称重误差	$\leq 15\%$
荷载能力 (单轴)	≥ 15 吨
过载能力 (单轴)	$\geq 200\%$
车速范围	5~200km/h
车速误差	$\leq +2km/h$
车流量统计准确性	$\geq 95\%$
尺寸	适配车道宽度
量程	根据车辆限载规定
数据采集及处理模式	自动
现场数据存储期限	≥ 24 个月

5.2.3 位移传感器

在公路基础设施位移监测中, 针对不同类型的直线位移、角位移监测要求, 可选用拉线式位移传感器、磁致伸缩式位移传感器、振弦式裂缝传感器、微波雷达挠度仪、光纤光栅式位移传感器等及全球导航卫星系统 (GNSS), 各品类性能要求分别如下:

表 22 拉线式位移传感器技术要求

项目	技术要求
量程	1000mm（根据伸缩缝设计量程可定制）
线性度	±0.1% FS
重复性	±0.01 % FS

表 23 磁致伸缩位移传感器技术要求

项目	技术要求
测量范围	2000mm（根据伸缩缝设计量程和支座大小可定制）
线性度	<0.05% F. S
重复性	<0.02 % F. S

表 24 振弦式裂缝传感器技术要求

项目	技术要求
量程	5mm
误差	±0.01mm
分辨力	0.001mm

表 25 微波雷达挠度仪的技术要求

项目	技术要求
探测范围	200m（可定制）
测量误差	≤0.1mm

表 26 双向倾角仪的技术要求

项目	技术要求
标准量程	±5°
分辨力	0.01°
误差	≤0.02°
温度范围	-40~+80℃
使用寿命	8 年

表 27 静力水准仪的技术要求

项 目	技术要求
测量范围	0~2000mm (可定制)
分辨力	≤0.025%
误差	≤0.1%
使用寿命	8 年

表 28 光电图像位移计的技术要求

项 目	技术要求		
监测距离	0.1~500m (可定制)		
同时监测点数	任意设定, 可见即可测		
测量误差	监测距离	位移范围	最大示值误差
	10m	1~50mm	±0.1mm
	50m	1~50mm	±0.5mm
	300m	1~50mm	±5mm

表 29 GNSS 接收机技术要求

项目	技术要求
动态测量误差	水平方向: ≤10mm+ 1ppm
	垂直方向: ≤20mm+ 1ppm
静态测量误差	水平方向: ≤3mm+0.5ppm
	垂直方向: ≤5mm+0.5ppm

5.2.4 应变传感器技术要求

在公路、桥梁、隧道的应变观测中, 可采用光纤光栅式应变传感器、分布式光纤应变传感器、电阻式应变传感器和振弦式应变传感器, 性能要求如下:

表 30 应变传感器性能要求

类别	观测内容	测量范围 $\mu \epsilon$	工作温度 $^{\circ} C$	分辨力	精度 $\mu \epsilon$
光纤光栅式应变传感器	水平应变	-1500~1500	-30~80	≤0.1% F.S	±3以内
	竖向应变	-1500~0	-30~80	≤0.1% F.S	±3以内
分布式光纤应变传感器	水平应变	-10000~10000	-30~80	≤0.1% F.S	±30以内
电阻式应变传感器	水平应变	-1500~1500	-30~80	≤0.5% F.S	±3以内
	竖向应变	-1500~0	-30~80	≤0.5% F.S	±3以内
振弦式应变传感器	水平应变	-1500~1500	-30~80	≤0.5% F.S	±3以内

表 31 用于应力分析的电阻应变计单项技术指标

工作特性	说 明		级 别			
			A	B	C	
应变计电阻	对平均值的允差	单栅	±%	0.3	0.5	0.8
		双栅		0.7	1.0	1.5
		多栅		0.8	1.0	1.5
	对标称值的偏差		±%	1.0	1.5	2.0
灵敏系数	对平均值的分散		±%	1	2	3
机械滞后	室温下的机械滞后		μm/m	3	5	8
	极限工作温度下的机械滞后		μm/m	10	20	30
蠕变	室温下的蠕变		μm/m	3	5	10
	极限工作温度下的蠕变		μm/m	20	30	50
横向效应系数	室温下的横向效应系数		±%	0.6	1	2
灵敏系数的温度系数	工作温度范围内的平均变化		±%/100 °C	1	2	3
	每一温度下灵敏系数对平均值的分散		±%	3	4	6
热输出	平均热输出系数		(μm/m)/°C	1.5	2	4
	对平均热输出的分散		± μm/m	60	100	200
漂移	室温下的漂移		μm/m	1	3	5
	极限工作温度下的漂移		μm/m	10	25	50
热滞后	每一工作温度下		μm/m	15	30	50
绝缘电阻	室温下的绝缘电阻		MΩ	10	2×10 ³	10 ³
	极限工作温度下的绝缘电阻		MΩ	10	5	2
应变极限	室温下的应变极限		μm/m	2×10 ⁴	10	8×10 ³
	极限工作温度下应变极限		μm/m	8×10 ³	5×10 ³	3×10 ³
疲劳寿命	室温下的疲劳寿命		循环次数	107	10 ⁶	105
	极限工作温度下的疲劳寿命					
瞬时热输出	根据用户需要, 测试并给出应变计平均瞬时热输出数据或曲线					

5.2.5 压力传感器

在公路基础设施压力监测中, 可采用各类压阻式、压电式压力传感器, 性能要求如下:

表 32 压力传感器总体技术要求

项 目	技术要求
测量范围	0~6m 水柱 (可定制)
误差	≤0.1%
过压影响	≤0.025%FSR/16MPa
稳定性	≤0.1% FSR/60 个月
使用寿命	8 年

对螺栓紧固监测应用的压力环传感器, 性能要求如下:

表 33 压力环传感器技术要求

项目	技术要求
量程	200kN
灵敏度	0.1kN
误差	0.2%FS

5.2.6 加速度传感器技术要求

公路基础设施加速度监测中,可根据具体使用环境和量程选用电容、电感、应变、压阻、压电等各式加速度传感器,总体技术要求如下:

表34 加速度传感器的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-2g~+2g (可定制)
分辨力	$\leq 1\mu g$
误差	$\leq 1\%$
灵敏度	$\geq 2.5V/g$ (可定制)
横向灵敏度比	$\leq 1\%$
频率响应	0~120 Hz
动态范围	$\geq 120dB$

5.2.7 路面损坏状态监测

路面损坏状态监测主要采用车载图像传感器及配套图像识别软件组成移动监测系统,主要组成结构及性能要求如下:

表35 路面损坏状态监测系统组成

组成结构名称	性能要求
核心处理平台	内存大于等于 32 GB, 存储大于等于 1000 GB, CPU 性能大于等于 8-core、64-bit
定位装置	采用高精度的多系统多频率定位板卡, 支持北斗、GPS、GLONASS 等定位, 定位精度小于等于 5 m 定位精度
电源模块	采用电源适配器, 规格为交流输入电压 220 V、频率 50Hz ~60Hz、电流 1.6 A, 直流输出电压 19 V、电流 3.42 A
存储装置	SATA 接口, 存储应大于等于 1 TB, 读写速度大于等于 520 MB/s
多源接口	配置多源线缆接口, 保证组件各接口方便和外部进行信号传输, 对应每个接口下面设计应有相应的文字标识, 便于使用识别

a) 地理位置信息应采用卫星导航定位系统装置采集, 测点平面定位允许误差小于等于

5m, 且能根据地理位置信息以及车速, 计算里程信息;

b) 相机距离地面高度 2 m, 误差 ± 0.05 m, 相机带有平衡性调节装置, 相机与竖直方向夹角 30° , 误差 $\pm 1^\circ$;

c) 路面损坏状态采集装置安装在车辆顶面后方中间位置拍摄路面图像, 路面图像应用纵向连续的检测方式, 检测宽度 3 m~4 m, 单幅图像纵向长度 2.5 m~3 m;

d) 裂缝宽度识别精度 2 mm, 测量误差 $\pm 20\%$ mm; 坑槽识别精度 0.01 m², 误差小于 10%; 病害定位误差 ± 5 m;

e) 图像像素应大于等于 3000 \times 4096;

f) 平整度采集装置为加速度传感器, 加速度传感器采集频率应大于等于 500 Hz;

g) 检测位置为左轮与右轮迹带中心线, 最大检测能力(国际平整度指数 IRI)应大于等于 10 m/km。

h) 路面损坏状态监测系统控制系统组成如下:

i) 数据处理分析软件

数据处理分析软件应具有数据导入、图像识别分析(病害标注)、日志生成及病害图绘制, 能根据识别结果进行路况评价, 对裂缝、坑槽等病害以及修补识别率大于等于 90%。

5.3 数据采集设备

5.3.1 设备选型

数据采集设备应根据传感器输出信号类型、匹配性、兼容性、精度和分辨力等要求进行选型, 并满足下列要求:

a) 数据采集模块转换分辨力应满足传感器分辨力及观测要求;

b) 光信号数据采集应采用专门的光纤解调设备, 应根据波长范围、通道数及采样频率进行选型;

c) 电阻类传感器应选用惠斯通电桥调理放大信号;

d) 电信号应进行光电隔离, 以增强抗干扰能力。

5.3.2 重点采集仪器

a) 光纤光栅解调仪

光纤光栅解调仪的光学指标特性应满足表 36 要求, 电气特性应满足表 37 要求, 机械特性应满足表 38 要求。

表 36 光纤光栅解调仪光学指标特性

指标	要求	指标	要求
光学通道数	1~128	波长变化范围(nm)	≥40
稳定性(μm)	5	重复性(μm)	2
应变精度(μ ε)	±3以内	温度精度(°C)	±1以内
动态范围(dB)	>25	扫描频率(Hz)	1~5000
光学接头	FC/APC或LC/APC		

表 37 光纤光栅解调仪电气特性

指标	要求
电源供应	7~36 VDC(含100 ~240 VAC)
数据传输接口	以太网、USB等
功率	35 W~50 W

表 38 光纤光栅解调仪机械特性

指标	要求	指标	要求
工作温度(°C)	-20~50	工作湿度(%)	<80(无凝结)
储存温度(°C)	-20~60	储存湿度(%)	<95(无凝结)

b) 分布式光纤解调仪

分布式光纤解调仪技术指标应满足表 39 要求。

表 39 分布式光纤解调仪技术指标要求

指标	要求	指标	要求
传感距离(km)	≥2	扫频范围(GHz)	≥10
空间分辨率(m)	≤2	工作温度(°C)	0~40
采样分辨率(m)	≤0.5	储存温度(°C)	-20~60
测量范围(μ ε)	-15000~15000	工作相对湿度(%RH)	<80(无凝结)
测量精度(μ ε)	±30以内	储存相对湿度(%RH)	<95(无凝结)

c) 电阻式传感器数据采集仪

电阻式传感器数据采集仪的技术指标应满足表 40 要求。

表 40 电阻式传感器数据采集仪技术指标要求

指标	要求	指标	要求
通道数	≥16	工作温度(°C)	-30~70
测量范围(kQ)	0~10	数据存储容量(MB)	≥128
采样频率(Hz)	1~2000	防护等级	IP54
测量精度	电阻比: ≤0.0001	分辨力	电阻比: ≤0.00001
	电阻值: ≤10 Ω		电阻值: ≤0.12

d) 振弦式传感器数据采集仪

振弦式传感器数据采集仪的技术指标应满足表 42 要求。

表 42 振弦式传感器数据采集仪技术指标要求

指标	要求	指标	要求
通道数	≥16	工作温度(°C)	-30~70
测量范围(Hz)	400~5000	工作湿度(% RH)	0~95
采样频率(Hz)	≥100	防护等级	IP66
测量精度	频率: ≤0.1Hz	分辨力	频率: ≤0.01Hz
	温度: ≤0.5°C		温度 <0.1%

5.3.3 采样频率要求

根据不同监测内容和监测场景，对采样频率一般要求如下：

表 36 环境监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
温度	1/600Hz
湿度	1/600Hz
雨量	1/60Hz
结冰	在线: 25FPS

表 37 作用监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
车辆荷载	动态称重设备: 触发采集; 视频: 25FPS
风速风向	超声风速仪: 10Hz 机械式风速仪: 1Hz
风压	10Hz
结构温度	1/600Hz
船舶撞击	触发采集加速度: 50Hz
地震	视频: 25FPS
	触发采集加速度: 50Hz

表 38 结构响应监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
------	------

位移	动位移：20Hz 静位移：1Hz
转角	1Hz
应变	动应变：10Hz 静应变：1/600Hz
索力	压力传感器：1Hz 加速度传感器：50Hz 电磁弹式传感器：1/3600Hz
支座反力	1Hz
振动	20Hz

表 39 结构变化监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
基础冲刷	在线：1MHz 离线：每年 1 次~2 次
锚碇位移、拱脚位移、桥墩沉降	在线：1/3600Hz 离线：每年 1 次~2 次
裂缝	动态：10Hz 静态：1/3600Hz 图像：每周 1 次
腐蚀	在线：1/3600Hz 离线：每年 1 次~2 次
体外预应力	在线：1/3600Hz 离线：每年 3 次~4 次
断丝	触发采集：2MHz
螺栓状态	在线：1Hz 图像：每周 1 次 离线：每年 1 次~2 次
索夹滑移	在线：1Hz 图像：每周 1 次 离线：每年 1 次~2 次

6. 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验环境

除另有规定外，应在下列标准大气条件下进行测量和试验：

温度：-45℃~75℃

相对湿度：15%~85%RH

大气压力：试验场所气压

6.1.2 试验准备

将被测传感器的电源、读数装置和满足测量精度要求的流量发生装置，按照产品规定的流量系统图和电路图连接好，接通电源，预热 10min 后开始试验。

6.1.3 外观连接检查

除详细规范有要求外，应使用下列方法之一进行外观检查：

a) 用目测检查：

操作者应具备正常视力和颜色分辨力，并选择在有利的观察距离和适当的照度下进行。

b) 用放大镜检查：

如传感器详细规范中有规定时，可使用放大镜进行检查。

6.1.4 外形、安装尺寸及方式

应使用下述适当量具进行传感器的外形、安装尺寸和方式检查：

a) 卡尺、千分尺及千分表；

b) 标准规、标准量仪；

c) 具有适当线性放大倍数的投影仪；

d) 测量显微镜、三坐标测量仪或精度与其相当的测量仪器。

6.1.5 电气连接

传感器供电状态下，使用万用表或专用电气测试设备检查。

6.1.6 防护等级（适用时）

依据产品技术条件（详细规范）规定，确认传感器防护等级；

按 GB/T 4208-2017 规定的方法进行相应等级的防水试验；

按 GB/T 4208-2017 规定的方法进行相应等级的防尘试验；

试验后检查传感器的功能性能是否正常。

6.2 电气性能试验

6.2.1 绝缘电阻

在被试传感器不施加激励电源条件下，用绝缘电阻测试仪或相应仪表给传感器施加规定的直流电压，测出传感器引出端与壳体之间的绝缘电阻（包括插头座和引出线）。

6.2.2 绝缘强度

在被试传感器不施加激励电源条件下，用绝缘强度试验仪或相应仪表给传感器引出端与壳体之间施加 50Hz 的规定交流电压，在规定的时间内应无击穿或飞弧现象。

6.3 性能试验

将被测传感器的电源、读数装置、校准系统,按照产品规定的系统安装图和电路图连接,接通电源,预热 10min 后开展传感器的性能试验(以下简称试验装置)。

具体试验步骤:

——调好试验装置,在包括传感器测量上、下限的全量程范围内选择均匀分布的 5 个试验点(推荐 q_{min} , q_t , $0.5 q_{max}$, $0.75 q_{max}$, q_{max})进行,测量对应的传感器输出,并且重复 3 次或 3 次以上的上下校准循环。

——记录试验数据,计算性能指标。

6.3.1 零点输出

当输入载荷为零时,传感器的输出值为零点输出。

6.3.2 测量范围

传感器测量上、下限值为传感器的测量范围。

6.3.3 准确度

被试传感器的测量结果与(约定)真值间的一致程度为准确度,采用最大允许误差表示。

6.3.4 重复性

在所有下述条件(相同测量方法、相同观测者、相同测量仪器、相同地点、相同使用条件和在短时期内的重复)下,对同一被测量进行多次连续测量所得结果之间的一致性为重复性。

6.3.5 灵敏度(适用时)

传感器输出量的增量与相应的输入量增量之比为灵敏度(S)。

6.4 稳定性试验

6.4.1 零点漂移

传感器通电预热到规定时间(min)后,读取零点输出值;然后每隔规定时间(min)记录一次零点示值,从开始记录起连续进行的时间不应少于 2h。

传感器的零点漂移用零点漂移考核期内零点示值的最大差值对满量程输出的百分比,按式(1)计算:

$$d_z = \frac{|\Delta Y_{LO}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.)$$

式中:

d_z ——传感器零点漂移考核期内零点漂移;

$|\Delta Y_{LO}|_{\max}$ ——传感器零点漂移考核期内零点示值的最大差值;

Y_{FS} ——传感器的满量程输出值；

6.4.2 零点长期稳定性（适用时）

在规定的期间（月）内，零点输出值的最大差值对满量程输出的百分比为零点长期稳定性。按式（2）计算：

$$d_z = \frac{|\Delta Y_0|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (2.)$$

式中：

d_z ——传感器稳定性检定周期内零点漂移；

$|\Delta Y_0|_{\max}$ ——传感器稳定性检定周期内零点示值的最大差值；

Y_{FS} ——传感器的满量程输出值；

6.4.3 温度漂移（适用时）

在规定的全温区工作范围内，传感器的准确度漂移。

在规定的工作范围内，取 3-5 个温度工作点，开展传感器的性能试验，计算每个测试温度点下传感器的最大示值误差，全温区范围内传感器最大示值误差的最大值，即为传感器温度漂移。

6.5 环境性能试验

6.5.1 额定工作低温试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.1 规定的试验方法执行。

6.5.2 低温储存试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.3 规定的试验方法执行。

6.5.3 额定工作高温试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.3 规定的试验方法执行。

6.5.4 高温储存试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.4 规定的试验方法执行。

6.5.5 额定工作湿热试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.5 规定的试验方法执行。

6.5.6 湿热储存试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.6 规定的试验方法执行。

6.5.7 振动试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.7 规定的试验方法执行。

6.5.8 碰撞试验

按 GB/T 14710-2009 中 11.8 规定的试验方法执行。

6.5.9 电磁兼容性（适用时）

电磁兼容性试验仅适用于产品设计定型时的型式试验。试验样品数量可单独规定。

产品技术条件（详细规范）应参照 YY9706.102-2021 规定的电磁兼容要求，结合传感器使用场合、环境条件、可靠性程度等综合因素，确定抗扰度试验项目和严酷度等级。

具体试验开展按照 YY9706.102-2021 中规定的试验方法执行。

6.6 可靠性试验

按 GB/T 5080.1-2012 可靠性试验开展传感器的 MTBF（平均无故障时间）测试。

7. 传感器安装与验收

7.1 安装原则

7.1.1 埋入式传感器的安装应符合以下原则：

- a) 应根据公路工程现场实际条件，合理选用传感器埋设、布线及组网方式；
- b) 对于新建、改扩建公路工程，传感器的埋设应与施工同步进行，尽量减少对施工组织的干扰及对路基路面的损伤；
- c) 对于既有公路工程，传感器的埋设应采用开槽、钻孔等埋设方式，尽量减少对路基路面的损伤，埋设完工后应立即做好填补等防护措施。

7.1.2 非埋入式传感器的安装应符合以下原则：

- a) 安装过程中应考虑其后期可维护性，应预留足够的接口，便于传感器的维护、更换；
- b) 外界气象环境观测设备应由专业安装人员现场安装；
- c) 传感器的线缆应采用线管或线槽保护，宜地下掩埋并做好防护，不宜架空。

7.2 埋入式传感器安装工序

埋入式传感器的现场安装应参照以下工序：

- a) 初步定位：根据观测站的具体选址，明确传感器线缆走向，初步喷漆定位；
- b) 挖槽及精准定位：根据传感器的形状及大小开挖相应尺寸的坑槽，清理坑槽内石块等杂物，保证导线走向的平顺性；挖槽结束后，应用全站仪等高精度测量设备精准定位并记录；
- c) 传感器安装：用细料铺平并夯实坑槽底部，放置传感器时应利用水平尺等调平；
- d) 导线绑扎：整理绑扎传感器线缆，可采用自锁式尼龙绳等；
- e) 摊铺碾压：原材料回填坑槽后可进行正常的摊铺工序，压路机作用于传感器附近时宜关闭振动，以防损坏传感器；
- f) 记录保护：准确记录传感器埋设位置及编号，应在观测断面附近设立警示标志或标牌。

7.3 传感器检查与验收

传感器验收包括施工前的出厂质量抽检和施工后的安装质量验收。施工后的安装质量验收应在施工完成后 7 天内进行。

7.3.1 抽检规定

施工前传感器的抽检率应符合下列规定：

- a) 对于非埋入式传感器，每类传感器的抽检率不应小于 50%且不应少于 1 个；

b) 对于埋入式传感器，应对所有传感器进行检验。

7.3.2 施工前检查

施工前应检查传感器的类型、型号、数量及标识，应符合设计文件的规定。传感器的外观应无明显的破损、变形、划痕、剥落和锈蚀现象，传感器表面或其线缆上应设有信息完整、清晰的固定标识。

7.3.3 验收规定

施工后传感器的安装质量验收应符合下列规定：

- a) 传感器的安装角度、位置、引出线缆和插接接头的保护措施应符合安装要求，条件允许时可采用探地雷达对埋入式传感器的埋设位置进行校验；
- b) 传感器应处于正常的工作状态，初始数据合理，否则按不成活计；
- c) 传感器的安装信息档案应内容完整且数据准确；
- d) 外界气象环境观测设备应按照 QX/T 118 及 QX/T 31 要求进行验收。

附录 A

附表 1 边坡地质灾害监测项目与精度

监测项目		监测级别		
		一级	二级	三级
应力监测	岩土应力	○	○	○
	支挡结构物应力	○	○	○
	锚索应力	□	△	○
变形监测	地表位移	□	□	○
	支挡结构物位移	□	△	○
	深部位移	□	△	○
	裂缝	□	□	□
	倾斜	□	△	○
环境监测	温度	△	△	○
	湿度	□	△	○
	降雨量	□	○	○
	振动	○	○	○
地下水监测	地下水位	□	○	○
	土壤含水率	○	○	○
	孔隙水压力	○	○	○
宏观变化	图像与视频	△	○	○

注：1. □-应做，△-宜做，○-选做；

2. 应做-为正常情况下应进行监测的测项，宜做-为宜进行监测的测项，选做-为有条件进行选测的测项；

3. 边坡工程安全等级的确定应符合现行 GB 50330 的有关规定。