



T/CECS G XXXX: 2022

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路沥青路面响应监测技术规程

Technical specification for response monitoring of highway asphalt
pavement
(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路沥青路面响应监测技术规程

Technical specification for response monitoring of highway asphalt pavement

T/CECS G:

主编单位：哈尔滨工业大学

交通运输部公路科学研究所

山东省交通科学研究院

内蒙古自治区交通运输科学发展研究院

吉林省交通规划设计院

北京首都国际机场股份有限公司

黑龙江省交通投资集团有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2022 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展<2020 年第二批中国工程建设标准化协会标准制修订项目编制工作>的通知》（中建标公路[2020]150 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 11 章和 10 个附录，主要内容包括：总则、术语、监测站及监测内容、监测设备选择、监测设备布置、数据的采集、数据的传输、数据的存储与管理、数据的处理、监测系统验收、定期检查与维护等。

本规程由中国工程建设标准化协会公路工程委员会归口管理，由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送哈尔滨工业大学（地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路 73 号哈尔滨工业大学二校区交通学院 202 室；邮政编码：150090；电话：0451-86282116）。

主 编 单 位：哈尔滨工业大学

参 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

山东省交通科学研究院

内蒙古自治区交通运输科学发展研究院

吉林省交通规划设计院

北京首都国际机场股份有限公司

黑龙江省交通投资集团有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	监测站及监测内容	4
3.1	监测站选址	4
3.2	监测站房建设	5
3.3	监测内容	6
4	监测设备选择	8
4.1	一般规定	8
4.2	结构响应及交通荷载监测设备	10
4.3	结构内部环境监测设备	11
4.4	外界气象环境监测设备	12
5	监测设备布置	14
5.1	布置位置选取原则	14
5.2	设备安装原则	14
5.3	埋入式传感器安装工序	15
6	数据的采集	16
6.1	数据采集方式	16
6.2	数据采集设备	16
6.3	数据采集软件	19
6.4	数据采集格式及监测频度	20
7	数据的传输	24
7.1	传输系统设计要求	24
7.2	传输质量控制	25
8	数据的储存与管理	27
8.1	一般规定	27
8.2	数据库构建要求	27
8.3	数据运行及安全管理	30
9	数据的处理	32
9.1	基本原则	32
9.2	数据预处理设计	32
9.3	数据后处理设计	33
10	监测系统验收	35
10.1	传感器验收	35
10.2	监测站验收	35

10.3	数据传输系统验收.....	36
10.4	数据中心验收.....	37
10.5	监测系统总体验收.....	37
11	定期检查与维护.....	39
11.1	传感器定期检查与维护.....	39
11.2	数据采集设备定期检查与维护.....	40
11.3	数据传输设备定期检查与维护.....	41
11.4	数据存储设备定期检查与维护.....	43
11.5	数据显示设备定期检查与维护.....	44
11.6	监测系统软件定期检查与维护.....	45
附录 A	传感器布置案例.....	47
附录 B	监测站房建设图纸.....	50
附录 C	沥青路面响应监测数据滤波压缩.....	51
附录 D	沥青路面响应关键信息提取分析.....	52
附录 E	车辆横向偏移位置感知判别.....	53
附录 F	车辆荷载移动速度感知处理.....	54
附录 G	路面各层模量反算评估.....	56
附录 H	公路沥青路面性能评估.....	58
H.1	沥青混合料层疲劳开裂性能.....	58
H.2	无机结合料稳定层疲劳开裂性能.....	59
H.3	沥青混合料层永久变形量.....	60
附录 I	监测系统验收记录表.....	62
附录 J	定期检查与维护记录表.....	66
	本规程用词说明.....	69
	引用标准名录.....	70

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms.....	2
3	Monitoring Station and Monitoring Content.....	4
3.1	Site Selection of Monitoring Station	4
3.2	Construction of Monitoring Station House	5
3.3	Monitoring Content.....	6
4	Selection of Monitoring Equipment.....	8
4.1	General Provisions	8
4.2	Monitoring Equipment for Structural Response and Traffic Load.....	10
4.3	Monitoring Equipment for Internal Environment of Structure	11
4.4	Monitoring Equipment for External Meteorological Environment.....	12
5	Layout of Monitoring Equipment	14
5.1	Selection Principle of Layout Position.....	14
5.2	Installation Principle of Equipment.....	14
5.3	Installation Procedure of Embedded Sensor	15
6	Data Acquisition.....	16
6.1	Methods of Data Acquisition	16
6.2	Equipment of Data Acquisition	16
6.3	Software of Data Acquisition.....	19
6.4	Format of Data Acquisition and Monitoring Frequency	20
7	Data Transmission.....	24
7.1	Design Requirements of Transmission Systems	24
7.2	Control of Transmission Quality	25
8	Data Storage and Management	27
8.1	General Provisions	27
8.2	Construction Requirements of Database.....	27
8.3	Operation and Safety Management of Data	30
9	Data Processing.....	32
9.1	Basic Principle	32
9.2	Data Pre-Processing Design	32
9.3	Data Post-Processing Design	33
10	Acceptance of Monitoring System.....	35
10.1	Sensor Acceptance	35
10.2	Monitoring Station Checking and Acceptance.....	35

10.3	Data Transmission System Checking and Acceptance	36
10.4	Data Center Checking and Acceptance	37
10.5	Monitoring System Checking and Acceptance	37
11	Regular Inspection and Maintenance	39
11.1	Regular Inspection and Maintenance of Sensors.....	39
11.2	Regular Inspection and Maintenance of Data Acquisition Equipment.....	40
11.3	Regular Inspection and Maintenance of Data Transmission Equipment.....	41
11.4	Regular Inspection and Maintenance of Data Storage Equipment.....	43
11.5	Regular Inspection and Maintenance of Data Display Equipment.....	44
11.6	Regular Inspection and Maintenance of Monitoring System Software.....	45
Appendix A	Sensor Arrangement Case	47
Appendix B	Construction Drawings for Monitoring Station House	50
Appendix C	Filtering Compression for Monitoring Data of Asphalt Pavement Response.....	51
Appendix D	Extraction and Analysis for Key Information of asphalt pavement response.....	52
Appendix E	Determination of Vehicle Lateral Offset	53
Appendix F	Identification of Vehicle Load Moving Speed.....	54
Appendix G	Back-calculation of Pavement Modulus.....	56
Appendix H	Performance Evaluation of Asphalt Pavement	58
H.1	Fatigue Cracking Performance of Asphalt Mixture Layer	58
H.2	Fatigue Cracking Performance of Inorganic Binder Stabilized Layer	59
H.3	Permanent Deformation of Asphalt Mixture Layer.....	60
Appendix I	Acceptance Record Sheet for Monitoring System	62
Appendix J	Regular inspection and maintenance records.....	66
	Explanation of Wording in This Code.....	69
	List of Quoted Standards.....	70

1 总 则

1.0.1 为规范公路沥青路面响应监测系统的设计，提高公路沥青路面响应监测系统设计质量，充分发挥海量监测数据的潜在科学价值，为完善公路沥青路面结构与材料设计、提高公路养护与管理水平提供科学规范、准确可信的数据平台，制定本规程。

【条文说明】 沥青路面在重复的车辆荷载和复杂的自然环境作用下，服役水平逐渐下降，这不可避免的影响了行车安全性和舒适性。路面结构作为一个“黑箱”，其内部结构实际受力状态无法通过传统的外部测试手段获得；缺少路面内部实际应力应变场，也无法准确评价路面使用状况的衰减，所以寻求一种有效的方法来准确评价路面服役性能是必要的。

虽然国内外在路面健康监测方面开展了大量研究工作，取得了丰硕研究成果，但由于目前路面健康监测系统均是根据不同工程项目的需求和研究单位的工程经验独自建立的。在传感器选型、布设方法、数据采集、数据传输、数据存储与管理、数据处理方法等方面均不统一，难以保证不同工程项目监测数据的完整性和对照性。为规范公路沥青路面响应监测技术的应用标准，编制本标准。

1.0.2 本规程适用于在施工及服役期间的公路沥青路面响应监测系统设计，主要包括监测站及监测内容、监测设备选择、监测设备布置、数据的采集、数据的传输、数据的存储与管理、数据的处理、监测系统验收、定期检查与维护等技术要求。

【条文说明】 规定了本规程的适用范围，主要是适用于公路工程在施工及服役期间的沥青路面响应监测系统设计，以及概述了本规程包含的主要技术内容。

1.0.3 公路沥青路面响应监测系统的设计、建设、运营及验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】 公路沥青路面响应监测技术综合性强、技术性高、涉及范围广泛，因此在监测系统设计、实施过程中，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 沥青路面响应监测 asphalt pavement response monitoring

通过传感器测试技术，实时获取在交通荷载和外界气象环境作用下沥青路面内部结构响应及环境的变化，进而对沥青路面力学行为、长期服役性能进行评估，为沥青路面设计方法的完善、养护与管理决策的制定提供依据和指导。

2.0.2 监测站 monitor station

由传感器、数据采集/传输/存储设备、供电设备以及相关监测辅助设备硬件系统和数据采集软件、数据存储软件、数据分析软件等软件系统构成，对公路沥青路面结构进行长期服役性能监测的系统。

2.0.3 传感器 transducer/sensor

能感知被测物理量的变化，并按照一定规律转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

2.0.4 动态称重系统 weigh-in-motion system

由传感器、测试软件及电子仪器组成，可测量和分析接地轮胎的动态力学特性，以测算单辆运动车辆的轴重、轴型、总重和车速等参数的系统。

2.0.5 结构响应 structural response

公路结构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。

2.0.6 监测频度 monitoring frequency

指单位周期内测试被监测对象的次数。

2.0.7 集中采集 centralized data collection

数据采集设备集中且数据采集统一的一种数据采集方式。

2.0.8 分散采集 discrete data collection

数据采集设备分散且数据采集不统一的一种数据采集方式。

2.0.9 混合采集 hybrid data collection

数据采集设备包含集中式和分散式的一种数据采集方式。

2.0.10 数据传输系统 data transmission system

将传感器获取的各类数据传输到数据中心或用户终端的装备，通常由终端设备、网络互联设备和传输介质组成。

2.0.11 有线传输 wire transmission

在两个通信设备之间通过物理连接，将信号从一方传输到另一方的技术。

2.0.12 无线传输 wire transmission

在两个通信设备之间不使用任何物理连接，而是通过空间传输，将信号从一方传输到另一方的技术。

2.0.13 同步传输 synchronous transmission

发送方和接受方的时钟是统一的、字符与字符之间的传输是同步无间隔的数据传输方式。

2.0.14 异步传输 asynchronous transmission

不要求发送方和接收方的时钟完全一样，字符和字符间的传输是异步的数据传输方式。

征求意见稿

3 监测站及监测内容

3.1 监测站选址

3.1.1 监测站位置选取应考虑公路沥青路面的监测需求、场地条件、地域环境特点以及交通荷载状况等。对于特殊土地区，应考虑对特殊土的温度、水分及变形等信息的特殊监测需求。

【条文说明】根据交通运输部最新指南《公路路基路面长期性能科学观测网试点建设指南》要求，观测点应布置在具有代表性的典型路段，宜考虑公路项目所处的自然区划、气候环境、地理位置、地质条件、水文特征、交通荷载、结构类型、道路等级等因素综合确定。

3.1.2 监测站位置选取应考虑公路线形的影响，宜避免交叉路口、减速带、公路收费站等特殊交通运行状态位置。

【条文说明】公路线性形对于车辆的行驶模式、行驶速度等会造成显著影响，因此在进行监测站位置选取时，应考虑公路线形对监测数据的稳定性和代表性的不利影响。交叉路口处车辆会进行减速、转弯等特殊行驶模式，减速带车辆会进行减速且伴随一定程度的颠簸振动，车辆在途径公路收费站时，需要减速并停留一段时间，这些行驶行为会严重影响公路沥青路面响应监测数据的稳定性，造成波动性，数据具有较大的偶然误差，不利于后续的沥青路面性能分析及预测，因此宜避免选择交叉路口、减速带、公路收费站等特殊交通运行状态位置。

3.1.3 监测站位置选取应便于数据的采集和设施的维护，且不影响公路的正常使用与行车安全。

【条文说明】对于需要周期性人工采集的监测数据，相关数据采集技术人员将定期的频繁去往监测站进行数据采集，因此，监测站的位置应选取在便于数据采集的地点。另外，考虑到监测站的运营年限较久，在监测站运营期间可能发生设备故障、平台无法正常工作等情况，此时需要专业维修人员去往监测站点进行检测维修，因此，监测站的位置应选取在便于设施维护的地点。由于监测设备需要进行有线传输或者无线传输，受线缆长度及信号覆盖范围的限制，通常监测站位置选取在监测断面旁边，因此在选取位置时，应避免监测站遮挡车辆行驶的视线，不能影响公路的正常使用及行车安全。

3.1.4 监测站宜采用公路沿线配套供电设备等公共设施实现持续性供电，条件受限时，可采用太阳能供电，并配备不间断供电设备，以确保监测系统的长期、持续工作。

【条文说明】监测站在硬件配置方面，应具备稳定可靠的供电系统，条件允许下，

优先选择公路收费站等公共设施持续性供电，若所选路段周围无此类公共设施，可采用太阳能进行供电。无论采用何种方式，都应配备 UPS 不间断电源提供断电保护，以保障数据的有效稳定传输。

3.2 监测站房建设

3.2.1 监测站房建设应满足以下基本要求：

- 1 监测站房建设位置应选取监测断面就近边坡，与监测断面的距离宜小于 10 m。
- 2 监测站房面积应以保证工作人员的操作方便为原则，宜不小于 10 m²，室内温度应满足设备工作温度要求，应具有良好的防雷电和防电磁干扰能力。
- 3 在监测站房顶部设置用于固定气象传感器的气象杆或气象塔时，气象杆、气象塔与监测站房顶的垂直高度应大于 2 m，并且气象杆、气象塔和监测站房的建筑结构应能经受 10 级以上大风。
- 4 监测站房内应能够保证监测数据的稳定传输，网络应能够时刻稳定连接 4G 及以上信号。
- 5 监测站房应合理摆放数据采集、存储、传输、供电等设备，站房内应保持干净整洁。
- 6 监测站房中线缆、接插件以及各类配线设备的使用安装，应符合国家标准《综合布线系统工程验收规范》GB/T 50312-2016 的验收要求规定。
- 7 监测站房的外部构造形式不限于房屋结构，可依据公路工程现场实际情况选择龙门架等公路附属设施建设监测站。

【条文说明】监测站房的建设非常重要，对监测站房的建设规模、建设位置、功能设置、基本性能等提出了要求，这不仅有利于保证公路沥青路面响应监测系统平稳高效的运行，也为监测站的后期运营维护提供了场地。

本条第 1 款主要针对监测站房的建设位置提出，监测站房可采用模块化建设，以便于建设安装，建设位置距离监测断面的距离宜小于 10 m，该距离设置既能够减小传感器线缆引出长度，降低线缆埋设开槽对路面结构的影响，又能够有效保障数据传输信号的稳定可靠性。

本条第 2 款主要针对监测站房的房内基本条件要求提出，考虑到监测站房的存储要求及操作范围，建议建设面积大于 10 m²，且温度应满足设备存储要求，以防不利的温度条件导致设备发生损坏。

本条第 3 款主要针对气象环境监测站建设基本要求提出，根据《气象建设项目

竣工验收规范》QX/T 31—2018、《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012 等规定，为保证气象环境监测站能够准确获取公路外部气象环境数据，并且保持气象监测系统的安全运营，应使得气象杆、气象塔与监测站房顶的垂直高度应大于 2 m，并且气象杆、气象塔和监测站房的建筑结构应能经受 10 级以上大风。

本条第 4 款和第 5 款主要针对监测站房的功能设置，室内设备安装摆放要求提出，网络能够时刻稳定连接 4G 信号是保障数据稳定传输的基本要求，数据采集、存储、传输、供电等设备的合理整洁摆放，能够为后期监测设备的检测维修以及监测站房内部的运营管理提供便利，监测站房内部应保持清洁，定期进行清扫以及灰尘擦拭，以免灰尘堆积引起设备接口失效或监测设备损伤。

本条第 6 款主要针对线缆、接插件以及各类配线设备的使用安装要求提出，此方面的要求除应满足本款规定外，还应满足国家标准《综合布线系统工程验收规范》GB/T 50312-2016 的验收要求规定。本条第 7 款主要针对监测站房的外部构造形式提出，考虑到公路工程现场实际情况特点，对监测站房的外部构造形式不做严格限制，可根据实际情况选择调整。

3.3 监测内容

3.3.1 公路沥青路面响应监测内容应包括交通荷载信息、外界气象环境信息、沥青路面内部的结构响应信息及环境信息等，能够获取在交通荷载和外界气象环境作用下公路沥青路面内部结构响应及环境的变化。

【条文说明】本条主要是对公路沥青路面响应监测的内容进行了范围说明。根据交通运输部最新指南《公路路基路面长期性能科学观测网试点建设指南》要求，监测站监测内容应包括环境信息、荷载信息、结构响应信息。

3.3.2 为准确掌握公路沥青路面结构的长期性能，应根据公路工程实际监测需求，合理选择监测内容及方式。结构响应及交通荷载的监测内容及方式可按表 3.3.2-1 选择，结构内部环境监测内容及方式可按表 3.3.2-2 选择，外界气象环境监测内容及方式可按表 3.3.2-3 选择。

表 3.3.2-1 结构响应及交通荷载监测内容及方式

监测内容	监测设备	用途	安装方式	布设点位
应变	静态、动态应变传感器	结构疲劳、车辙分析	埋入式	面层、基层、路基内部
变形	位移传感器	结构沉降、变形分析	埋入式	面层、基层、路基内部
压力	压力传感器	结构受力分析	埋入式	面层、基层、路基内部
交通荷载	动态称重系统	车辆轴载、轴型分析	表面切槽式	路面表面及以下

表 3.3.2-2 结构内部环境监测内容及方式

监测内容	监测设备	用途	安装方式	布设点位
温度	温度传感器	结构内部温度梯度 及变化分析	埋入式	面层、基层、路基内部
湿度	湿度传感器、 渗压计	结构内部湿度及 孔隙水压力变化分析	埋入式	面层、基层、路基内部

表 3.3.2-3 外界气象环境监测内容及方式

监测内容	监测设备	用途	安装方式	布设点位
大气温度	气象百叶箱型 温度传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
大气湿度	气象百叶箱型 湿度传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
气压	气象百叶箱型 气压传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
风速	风速传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
风向	风向传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
雨量	雨量传感器	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
总辐射强度	太阳总辐射表	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
日照时数	全自动跟踪	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
直接辐射	太阳直接辐射表	气象信息分析	非埋入式	路侧区域
紫外辐射强度	紫外辐射表	气象信息分析	非埋入式	路侧区域

【条文说明】本条主要是对公路沥青路面响应监测内容中的交通荷载信息、外界气象环境信息、沥青路面内部的结构响应信息及环境信息的监测内容、监测设备、监测用途以及设备的安装方式和布设点位进行规定说明，考虑到不同的公路工程实际监测需求，可依据本条建议进行针对性的选择。

4 监测设备选择

4.1 一般规定

4.1.1 监测设备的选择应符合下列原则：

1 应根据公路沥青路面状态、施工特点以及项目经费条件，并结合公路沥青路面响应监测的目的和具体内容确定适宜的传感器类型和数量。

2 针对公路沥青路面不同层位的监测需求，应选用不同量程的传感器。

3 传感器在监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。

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

【条文说明】本条主要是针对公路沥青路面响应监测设备的选择原则提出，选择性能优秀、稳定性强、参数适合的监测设备，是满足沥青路面长期监测需求的硬件条件。

本条第1款主要是针对传感器类型及数量的选择提出建议，考虑到不同公路工程项目的结构特点及经济预算，建议根据实际公路工程监测需求进行选择。

本条第2款主要是针对传感器的量程选择提出，针对各结构层的监测需求，选择适宜量程的传感器，是提高监测数据准确性的有效举措。

本条第3款主要是针对传感器的基本性能提出，传感器应具有足够耐受性，能够在恶劣的工程施工及运营环境下满足公路长期性能监测需求。

本条第4款主要是针对数据采集设备性能提出，选择操作方便、稳定性好的数据采集设备，能够一定程度降低后期监测运营成本，根据传感器的类型及监测范围，选择合适精度范围的数据采集设备，是保障及提高监测数据精准性的必要条件。

4.1.2 监测设备的性能参数应符合下列要求：

1 传感器应具有良好且稳定的线性度，用于沥青路面响应监测的传感器应符合规范《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037-2022 规定的线性度要求。

2 传感器应具有良好且稳定的灵敏度、抗干扰能力及重复性，应严格控制监测数据的漂移。

3 为保证监测数据的准确性，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。

- 4 传感器的封装材料模量应与被测层位材料模量相近，具备良好的协同变形能力。
- 5 传感器的使用年限应满足公路沥青路面长期性能监测需求。
- 6 传感器出厂前应做好静、动态标定与校准以及疲劳试验测试、耐腐蚀性测试、耐高温测试等。

【条文说明】本条主要是针对公路沥青路面响应监测设备的性能参数提出，传感器具备优良的监测性能是保证监测数据精准的基本要求。

本条第1款主要针对传感器的线性度要求提出，线性度是描述传感器静态特性的一个重要指标，以被测输入量处于稳定状态为前提，在规定条件下，传感器校准曲线与拟合直线间的最大偏差（ ΔY_{max} ）与满量程输出（Y）的百分比，称为线性度（线性度又称为“非线性误差”），该值越小，表明线性特性越好。传感器的线性度要求除应满足本款规定外，还应满足标准《公路桥梁结构监测技术规范》的规定。

本条第2款主要针对传感器的灵敏度、重复性及抗干扰能力应满足的要求提出，其中，传感器的灵敏度是指在稳定工作状态下输出变化量与输入变化量的比值，通常希望传感器的灵敏度高，在满量程内是恒定的，即传感器的输入输出特性为直线。传感器的重复性是指在同一条件下、对同一被测量、沿着同一方向进行多次重复测量时，测量结果之间的差异程度。

本条第3款主要针对传感器的建议工作范围提出，根据实际工程项目经验知，传感器的测量范围在其满量程20%~80%，数据的测量准确性可以得到保证，最大工作状态超过满量程情况下，既无法测得准确响应结果，又可能导致传感器损坏。

本条第4款是针对传感器封装材料力学参数要求提出，封装材料与被测物模量相近，可以提高两者间的变形协调能力，既能够保证传感器测量的数值真实反应被测结构的实际响应规律，又可以避免由于传感器的埋入而破坏路面结构的整体性。

本条第5款是针对传感器的使用年限要求提出，考虑到公路工程中的传感器多采用埋入式安装方式，一旦埋入，更换难度较大，因此传感器的使用年限应满足公路沥青路面长期性能监测的需求。

本条第6款是针对传感器出厂前标定测试要求提出，传感器出厂前的标定工作是必备的，且应为用户提供准确的标定公式，供后期数据处理使用。出厂前做疲劳试验测试、耐腐蚀性测试、耐高温测试以及防燃烧防爆测试等，是判别传感器是否具有良好的稳定性和耐久性的评价标准。

4.2 结构响应及交通荷载监测设备

4.2.1 应变传感器：在公路沥青路面应变监测中，可采用电阻式应变传感器、振弦式应变传感器、光纤光栅式应变传感器、分布式光纤应变传感器。

1 各类应变传感器的性能应满足表 4.2.1 要求。

表 4.2.1 应变传感器性能要求

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

2 应变传感器应采用水平向或竖向布置方式，也可采用多个不同方向的应变传感器组成应变花的方式。其中，光纤光栅式应变传感器的环境适应性及机械性能应符合标准《土木工程用光纤光栅应变传感器》JG/T 422-2013 的规定。

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构应变监测中，应变传感器的可选类型及各类应变传感器应满足的性能要求提出。

本条第 1 款是结合公路沥青路面内部应变响应的变化范围及市面已有的应变传感器普遍性能，对各类应变传感器的监测内容、监测范围、工作温度、分辨力及精度提出要求。

本条第 2 款是考虑到实际公路工程监测时，可能对行车方向及道路横向以及沿深度方向均有监测分析需求，因此，可采用现阶段已有的应变花监测技术进行监测。光纤光栅式应变传感器的环境适应性及机械性能除应满足本款规定外，还应满足标准《土木工程用光纤光栅应变传感器》的规定。

4.2.2 位移传感器：在公路沥青路面位移监测中，可采用振弦式位移传感器或光纤光栅式位移传感器，各类位移传感器的性能应满足表 4.2.2 要求。

表 4.2.2 位移传感器性能要求

类别	监测内容	测量范围 (mm)	工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	分辨力	精度 (mm)
振弦式位移传感器	变形、沉降	≥ 100	-30~80	$\leq 0.5\% \text{ F.S}$	± 0.1 以内
光纤光栅式位移传感器	变形、沉降	≥ 100	-30~80	$\leq 0.1\% \text{ F.S}$	± 0.1 以内

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构位移监测中，位移传感器的可选

类型及各类位移传感器应满足的性能要求提出。结合公路沥青路面内部位移响应的变化范围及市面已有的位移传感器普遍性能，对各类位移传感器的监测内容、监测范围、工作温度、分辨力及精度提出要求。

4.2.3 压力传感器：在公路沥青路面压力监测中，可采用振弦式压力传感器或光纤光栅式压力传感器，各类压力传感器的性能应满足表 4.2.3 要求。

表 4.2.3 压力传感器性能要求

类别	监测内容	测量范围 (MPa)	工作温度 (°C)	分辨力	精度 (MPa)	承压盘直径 (mm) ¹
振弦式压力传感器	压应力	0~2	-30~80	≤0.1% F.S	±0.03 以内	≤250
光纤光栅式压力传感器 ²	压应力	0~2	-30~80	≤0.1% F.S	±0.05 以内	≤250

¹注：经专家论证也可采用非圆形承压盘。

²注：油压式、应变式皆可选择。

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构压力监测中，压力传感器的可选类型及各类压力传感器应满足的性能要求提出。结合公路沥青路面内部压力响应的变化范围及市面已有的压力传感器普遍性能，对各类压力传感器的监测内容、监测范围、工作温度、分辨力精度及外形尺寸提出要求。

4.2.4 动态称重系统：为获取车辆的轴载、轴型及速度等信息，应根据公路实际交通运营状况，合理选用动态称重系统，性能应满足如下要求：

1 动态称重系统布置尺寸应适配车道宽度，量程应根据所监测公路的最新车辆限载以及所规划的车辆限载综合确定，单轴测试量程宜大于限载车辆最大单轴轴重的 150 %。

2 动态称重系统应具备数据自动采集及处理功能，现场数据存储能力应大于两年。

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面交通荷载监测中，动态称重系统应满足的基本功能及参数性能要求提出。本条第 1 款主要是针对动态称重系统的布置尺寸及量程范围应满足的要求提出，监测量程宜大于限载车辆 150%，一是为了提高数据的监测准确性，二是考虑车辆超载情况的发生。

4.3 结构内部环境监测设备

4.3.1 温度传感器：在公路沥青路面温度监测中，可采用电阻式温度传感器、光纤光栅式温度传感器、分布式光纤温度传感器，各类温度传感器的性能应满足表 4.3.1 要求。

表 4.3.1 温度传感器性能要求

类别	监测内容	测量范围 (°C)	工作温度 (°C)	分辨力	精度 (°C)
电阻式温度传感器	温度	-30~80	-30~80	≤0.1% F.S	±0.1 以内
光纤光栅式温度传感器	温度	-30~80	-30~80	≤0.1% F.S	±0.1 以内
分布式光纤温度传感器	温度	-30~80	-30~80	≤0.5% F.S	±0.5 以内

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构内部温度环境监测中，温度传感器的可选类型及各类温度传感器应满足的性能要求提出。结合公路沥青路面内部温度的变化范围及市面已有的温度传感器普遍性能，对各类温度传感器的监测内容、监测范围、工作温度、分辨力及精度提出要求。

4.3.2 湿度传感器及渗压计：在公路沥青路面湿度监测中，可采用电阻式湿度传感器。在公路沥青路面结构渗压监测中，可采用振弦式渗压计、光纤光栅式渗压计。各类湿度传感器及渗压计的性能应满足表 4.3.2 要求。

表 4.3.2 湿度传感器及渗压计性能要求

类别	监测内容	测量范围	工作温度 (°C)	分辨力	精度
电阻式湿度传感器	含水率	0~100% RH	-30~80	≤0.2% RH	±1% RH 以内
振弦式渗压计	孔隙水压力	0~1 MPa	-30~80	≤0.1% F.S	±0.01 MPa 以内
光纤光栅式渗压计	孔隙水压力	0~1 MPa	-30~80	≤0.1% F.S	±0.01 MPa 以内

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构内部湿度环境及孔隙水压力监测中，湿度传感器和渗压计的可选类型及传感器应满足的性能要求提出。结合公路沥青路面内部湿度和孔隙水压力变化范围及市面已有的湿度传感器和渗压计普遍性能，对各类湿度传感器和渗压计的监测内容、监测范围、工作温度、分辨力及精度提出要求。

4.4 外界气象环境监测设备

4.4.1 公路外界气象环境监测设备应能同时测量大气温度、大气湿度、气压、风速、风向、雨量、辐射等诸多气象要素，各类气象监测设备的性能应满足表 4.4.1 要求。

表 4.4.1 外界气象环境监测设备性能要求

类别	监测内容	测量范围	分辨力	精度
温度传感器	大气温度 (°C)	-50~80	≤0.1%F.S	±0.2 以内
湿度传感器	相对湿度 (%)	5~100	≤1%F.S	±5 以内
气压传感器	气压 (hPa)	450~1060	≤0.01%F.S	±0.5 以内
风速传感器	风速 (m/s)	0~50	≤0.2%F.S	±0.2 以内
风向传感器	风向 (°)	0~360	≤1%F.S	±2 以内
雨量传感器	雨量 (mm)	0~999.9	≤0.01%F.S	±0.4 以内

太阳总辐射表	总辐射强度 (W/m ²)	0~2000	≤0.1 % FS	±2 以内
全自动跟踪	日照强度 (h/d)	0~24	≤0.3 % FS	±0.2 以内
太阳直接辐射表	直接辐射强度 (W/m ²)	0~2000	≤0.1 % FS	±2 以内
紫外辐射表	紫外辐射强度 (W/m ²)	0~100	≤0.1% FS	±1 以内

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面外界气象环境监测中，应监测的气象指标内容以及所对应的气象监测设备性能要求提出。直接辐射表应与太阳跟踪器或全自动跟踪架构成成套仪器实现对直接辐射的观测。

征求意见稿

5 监测设备布置

5.1 布置位置选取原则

5.1.1 传感器的布置位置选取应符合以下原则：

- 1 应满足公路沥青路面性能评估要求，遵循“代表性、实用性、经济性、低扰动”的选取原则。
- 2 应考虑公路沥青路面主要设计指标布置各类传感器，且宜在结构响应最不利处布置。
- 3 各层位同类别传感器应不少于 2 个。
- 4 测得的数据应对公路沥青路面结构的静力、动力参数和环境变化较为敏感。
- 5 测得的数据应能充分准确地反映公路沥青路面的静、动力特性。

【条文说明】本条主要是针对传感器的布置位置选取原则提出，传感器布置位置的合理选取是准确获取沥青路面结构响应关键性信息的重要环节，且合理选取传感器布置位置能够节约成本，降低设备埋入对路面结构整体性的影响。

本条第 1 款和第 2 款主要是针对传感器的埋设位置代表性提出，沥青路面结构响应最不利处是最频繁发生结构破坏的位置，将传感器埋设于此位置，能够为沥青路面在整个运营过程中的脆弱性预警提供有力数据支撑，同时埋设于代表性位置可以节省传感器埋入量，节约成本，满足经济性需求。

本条第 3 款主要是针对传感器可能发生的损伤失效情况提出，在各层位布置 2 个及以上数量的同类型传感器可以有效解决上述问题，若其中某个传感器损伤，则其他传感器可以作为备份继续进行有效监测。

本条第 4 款和第 5 款主要是针对传感器布设位置所能获取的数据特性要求提出，传感器应能够灵敏感知公路结构的静、动力参数和环境条件变化，从而为公路结构的养护决策及路面病害预防提供理论分析基础。

5.2 设备安装原则

5.2.1 埋入式传感器的安装应符合以下原则：

- 1 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；
- 2 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沥青路面的损伤；
- 3 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，尽量减少对沥青路面

的损伤，埋设完工后应立即做好填补等防护措施。

【条文说明】本条主要是针对埋入式传感器的安装原则提出。针对新建及改扩建的公路工程，传感器的埋设应随工程施工同步进行，即在各层结构摊铺碾压前，将传感器安装布置于所需位置处，随后进行结构层的摊铺碾压，这种方式能够有效降低传感器埋入对路面结构整体性的不利影响。针对既有的公路工程，首先在路面结构上开槽钻孔，然后将传感器埋入结构。埋入式安装的传感器相对于非埋入式的传感器而言，可靠性更高，耐久性更好，但是后期管理维护难度大。

5.2.2 非埋入式传感器的安装应符合以下原则：

- 1 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。
- 2 外界气象环境监测设备应由专业安装人员现场安装。
- 3 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。

【条文说明】本条主要是针对非埋入式传感器的安装原则提出。

本条第2款是针对气象监测设备的安装原则提出，考虑到气象监测设备的布设特殊性及其精密性，应由专业安装人员进行现场安装。

本条第3款是针对传感器的线缆布设原则提出，为避免机械伤害和介质腐蚀，线缆宜使用线管或线槽进行地下掩埋，不得架空或地面明敷。

5.3 埋入式传感器安装工序

5.3.1 埋入式传感器的现场安装应参照以下工序：

- 1 初步定位：根据监测站的具体选址，明确传感器线缆走向，初步喷漆定位。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 导线绑扎：整理绑扎传感器线缆，可采用自锁式尼龙绳等。
- 5 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；
- 6 记录保护：准确记录传感器埋设位置及编号，应在监测断面附近设立警示标志或标牌。

【条文说明】本条主要是针对埋入式传感器的安装工序给出建议。专业人员结合现场实际布设经验，总结得到的传感器现场安装埋设流程，可为用户提供操作指导。

6 数据的采集

6.1 数据采集方式

6.1.1 应根据公路的监测范围、测点的位置和数量、监测设备类型，合理设计数据采集方式，并满足下列要求：

- 1 测点及监测设备较少、监测范围较集中的公路，宜采用集中采集的数据采集方式。
- 2 测点及监测设备较多、监测范围较分散的公路，宜采用分散采集或混合采集的数据采集方式。

【条文说明】本条主要规定了数据采集方式应根据公路工程的监测范围、测点位置及数量以及监测设备类型等因素确定。根据实际监测需求，监测站可能包含多个监测断面。若监测断面距离近，监测范围较集中，可以采用集中采集方式，即建立一个监测站房采集即可；若监测设备较多，监测断面彼此距离较远，建立一个监测站房进行集中采集难度较大，则可根据监测断面实际情况采用分散采集或混合采集的数据采集方式。

6.2 数据采集设备

6.2.1 数据采集设备应根据传感器输出信号类型、信号传输方式、信号调理设备类型及供电需求等条件进行选型，并满足下列要求：

- 1 数字信号宜选用基于RS485、CAN、Modbus TCP或UDP等数据采集设备，并根据采样频率、数据传输率、传输距离进行选型。
- 2 模拟电压信号宜选用4 mA~20 mA和-5 V~5 V等标准工业信号，选用基于PCI、PXI等技术的数据采集设备，并根据输入范围、总采样频率、采样通道、分辨力、精度与数据传输率进行选型，也可选用在传感器端进行模数转换。
- 3 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、采样通道与采样频率进行选型。

【条文说明】本条主要规定了数据采集设备的选型原则。数据采集设备应根据传感器的相关信号形式进行选择，针对不同的信号形式（数字信号、模拟电压信号、光信号），规定了相应的选型依据。

6.2.2 数据采集设备应根据传感器输出信号类型选择合适的信号调理装置，应考虑与后续数据传输与管理接口的兼容性，并满足下列要求：

1 数据采集模块转换分辨力应满足传感器分辨率及监测要求，应符合标准《传感器主要静态性能指标计算方法》GB/T 18459的规定。

2 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理和采集。

3 电信号应进行光电隔离，以增强抗干扰能力。

4 电阻类传感器应选用惠斯通电桥调理放大信号。

5 静态模拟信号可选用多路模拟开关和采样保持器进行多路信号依次采集，动态信号应选用抗混滤波器进行滤波和降噪。

【条文说明】本条主要是针对如何为数据采集设备选择合适的信号调理装置要求提出。信号调理装置是执行数据采集过程的仪器，其目的是将采集信号放大并转换成易于识别并兼容数据采集或机器控制的形式。数据采集模块转换分辨力除应满足本款规定外，还应满足标准《传感器主要静态性能指标计算方法》的规定。

6.2.3 宜选用具有自动校准功能的数据采集硬件，对于无自动校准功能的数据采集硬件应根据设备说明定期进行外校准。

【条文说明】本条主要规定了数据采集硬件的选型原则。受施工、环境等外界因素的影响，数据采集硬件的部分参数可能会发生变化，导致监测到的数据无法保证最优，因此宜选用具有自动校准功能的数据采集硬件。若条件受限，也应定期进行外校准，以保证测量准确性。

6.2.4 数据采集设备应考虑抗干扰措施，包括串模干扰抑制、共模干扰抑制以及接地技术、屏蔽技术，以提高信噪比。

【条文说明】本条主要规定了数据采集硬件的抗干扰措施要求。考虑公路工程环境的复杂性，数据采集设备应具有优良的抗干扰能力，本条给出了建议性指标技术，有利于提高信噪比，保证数据监测的稳定性。

6.2.5 数据采集设备不应设置在潮湿、有静电和磁场环境中，信号采集仪器应有不间断电源保障，并应采用一定的防护措施，保证在高低温、冲击、振动、电磁干扰、潮湿等恶劣环境中正常工作，应便于维护及更换，并按照《机械电气安全 电敏保护设备 第1部分：一般要求和试验》GB/T 19436.1-2013 和《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》DL/T 593-2016 的相关防护设计要求执行。

【条文说明】本条主要规定了数据采集设备的存放及工作环境要求。为保证数据采集设备的耐久性及稳定性，该条对数据采集设备的存储环境、工作条件、防护措施

等提出了明确要求。数据采集设备的防护设计除应满足本款规定外，还应满足标准《机械电气安全 电敏保护设备 第1部分：一般要求和试验》和《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》的规定。

6.2.6 电阻式传感器数据采集仪的技术指标应满足表 6.2.6 要求。

表 6.2.6 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 (kΩ)	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: ≤0.1 Ω

【条文说明】本条主要规定了在数据采集设备选型时，电阻式传感器数据采集仪的技术应满足的要求。

6.2.7 振弦式传感器数据采集仪的技术指标应满足表 6.2.7 要求。

表 6.2.7 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: ≤0.1 Hz	分辨力	频率: ≤0.01 Hz
	温度: ≤0.5 °C		温度: ≤0.1 °C

【条文说明】本条主要规定了在数据采集设备选型时，振弦式传感器数据采集仪的技术应满足的要求。

6.2.8 光纤光栅解调仪的光学指标特性应满足表 6.2.8-1 要求, 电气特性应满足表 6.2.8-2 要求, 机械特性应满足表 6.2.8-3 要求。

表 6.2.8-1 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 (pm)	5	重复性 (pm)	2
应变精度 (με)	±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 6.2.8-2 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	35~50 W

表 6.2.8-3 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)

【条文说明】本条主要规定了在数据采集设备选型时，光纤光栅解调仪的光学指标特性、电气特性以及机械特性应满足的技术要求。

6.2.9 BOTDA 分布式光纤解调仪技术指标应满足表 6.2.9 要求。

表 6.2.9 BOTDA 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 ($\mu\epsilon$)	-15000~15000	工作湿度 (%)	<80 (无凝结)
测量精度 ($\mu\epsilon$)	± 30 以内	储存湿度 (%)	<95 (无凝结)

【条文说明】本条主要规定了在数据采集设备选型时，BOTDA 分布式光纤解调仪应满足的技术指标要求。

6.2.10 BOTDR 分布式光纤解调仪技术指标应满足表 6.2.10 要求。

表 6.2.10 BOTDR 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)	≥ 5	扫频范围 (GHz)	≥ 10
脉冲宽度 (ns)	≥ 10	工作温度 (°C)	0~40
空间分辨率 (m)	≤ 20	储存温度 (°C)	-20~60
测量范围 ($\mu\epsilon$)	-15000~15000	工作湿度 (%)	<80 (无凝结)
测量精度 ($\mu\epsilon$)	± 30 以内	储存湿度 (%)	<95 (无凝结)

【条文说明】本条主要规定了在数据采集设备选型时，BOTDR 分布式光纤解调仪应满足的技术指标要求。

6.3 数据采集软件

6.3.1 应具备传感器数据实时采集、自动存储、缓存管理、及时反馈、自动传输功能。

【条文说明】本条主要规定了数据采集软件应满足的基本功能要求。

6.3.2 应具备与数据库系统和数据分析软件进行稳定和可靠通信、远程或本地便捷更改设备配置、通过标签数据库或本地配置文件进行信息读取的功能。

【条文说明】本条主要规定了数据采集软件应满足的基本性能要求。

6.3.3 应能对传感器输出信号与采集传输设备运行状况进行监控和识别。

【条文说明】本条主要规定了数据采集软件应满足的基本性能要求。

6.3.4 应能接受计算机传送监测参数调整的指令，并能进行相关的监测过程或监测数据处理参数的调整，并记录、备份相关的调整指令。

【条文说明】本条主要规定了数据采集软件应满足的基本性能要求。考虑到用户对数据采集需求可能会发生改变，因此需要修改数据采集频率或信号类型，这要求数据采集软件应具备便捷更改设备配置的性能。

6.3.5 宜具备部分后端数据分析处理功能，或留出便利的数据接口。

【条文说明】本条主要规定了数据采集软件应满足的后期运营及数据处理要求。

6.4 数据采集格式及监测频度

6.4.1 结合监测指标的技术特点，可选择实时监测或周期性监测的方式进行监测，采用动、静态传感器，实现实时、自动采集，其中动态传感器的采集频率应 ≥ 200 Hz，静态传感器的采集频率应 ≥ 1 次/10 min。

【条文说明】根据交通运输部最新指南《公路路基路面长期性能科学观测网试点建设指南》要求，根据观测或研究需要，结合观测指标的技术特点，可选择周期性观测或实时观测的方式进行观测，采用动、静态传感器，实现实时、自动监测，其中动态传感器的采集频率为 2000Hz，静态传感器的采集频率不小于 1 次/10min。

6.4.2 公路沥青路面响应监测数据应包括交通荷载信息、外界气象环境信息、沥青路面内部结构响应信息及环境信息。

【条文说明】根据交通运输部最新指南《公路路基路面长期性能科学观测网试点建设指南》要求，观测内容一般应包括：环境信息、荷载信息、结构响应信息。

6.4.3 结构响应信息的各类监测指标及监测频度宜满足表 6.4.3-1 要求，数据采集格式宜满足表 6.4.3-2~表 6.4.3-4 的要求。

表 6.4.3-1 结构响应信息监测指标及频度

监测指标	单位	监测频度	监测方式
应力	MPa	实时监测	自动监测
应变	$\mu\epsilon$	实时监测	自动监测
竖向变形	mm	实时监测	自动监测

表 6.4.3-2 应力数据采集格式

时间	时刻	应力传感器编号	与路表距离	结构层位	应力
年/月/日	时/分/秒	-	m	-	MPa

表 6.4.3-3 应变数据采集格式

时间	时刻	应变传感器编号	与路表距离	结构层位	应变
年/月/日	时/分/秒	-	m	-	$\mu\epsilon$

表 6.4.3-4 竖向变形数据采集格式

时间	时刻	位移传感器编号	与路表距离	结构层位	竖向变形
年/月/日	时/分/秒	-	m	-	mm

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面结构响应监测中，路面结构内部响应信息的监测指标及监测频度应满足的要求提出规定，并提出规定的公路沥青路面结构内部响应数据采集格式。

6.4.4 交通荷载信息的各类监测指标及监测频度宜满足表 6.4.4-1 要求，数据采集格式宜满足表 6.4.4-2 和表 6.4.4-3 的要求。

表 6.4.4-1 交通荷载信息监测指标及频度

监测指标	单位	监测频度	监测方式
车辆轴载	t	实时监测	自动监测
轴型分布	-	实时监测	自动监测
接地压力	MPa	周期性监测	人工监测

表 6.4.4-2 车辆轴载及轴型分布数据采集格式

时间	时刻	轴型分布	轴重							
			第1轴	第2轴	第3轴	第4轴	第5轴	第6轴	第7轴	第8轴
年/月/日	时/分/秒	-	t	t	t	t	t	t	t	t

表 6.4.4-3 接地压力数据采集格式

时间	时刻	轴型分布	轴重

			第1轴	第2轴	第3轴	第4轴	第5轴	第6轴	第7轴	第8轴
年/月/日	时/分/秒	-	MPa							

【条文说明】本条主要是针对在公路交通荷载信息监测中，交通荷载信息的监测指标及监测频度应满足的要求提出规定，并提出规定的交通荷载信息数据采集格式。

6.4.5 沥青路面内部环境信息的各类监测指标及监测频度宜满足表 6.4.5-1 要求，数据采集格式宜满足表 6.4.5-2 和表 6.4.5-3 的要求。

表 6.4.5-1 沥青路面内部环境信息监测指标及频度

监测指标	单位	监测频度	监测方式
温度	℃	实时监测	自动监测
湿度	%	实时监测	自动监测

表 6.4.5-2 沥青路面温度数据采集格式

时间	时刻	温度传感器编号	与路表距离	结构层位	应力
年/月/日	时/分/秒	-	m	-	℃

表 6.4.5-3 沥青路面湿度数据采集格式

时间	时刻	湿度传感器编号	与路表距离	结构层位	应力
年/月/日	时/分/秒	-	m	-	%

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面内部环境信息监测中，沥青路面内部环境信息的监测指标及监测频度应满足的要求提出规定，并提出规定的沥青路面内部环境信息数据采集格式。

6.4.6 外界气象环境信息的各类监测指标及监测频度宜满足表 6.4.6-1 要求，数据采集格式宜满足表 6.4.6-2 的要求。

表 6.4.6-1 外界气象环境信息监测指标及频度

监测指标	单位	监测频度	监测方式
大气温度	℃	实时监测	自动监测
大气湿度	%	实时监测	自动监测
降雨量	mm	实时监测	自动监测
风速	m/s	实时监测	自动监测
风向	°	实时监测	自动监测
总辐射强度	W/m ²	实时监测	自动监测

日照时数	h/d	实时监测	自动监测
直接辐射强度	W/m ²	实时监测	自动监测
紫外辐射强度	W/m ²	实时监测	自动监测

表 6.4.6-2 公路气象环境数据采集格式

时间	时刻	温度	湿度	降雨量	风速	风向	总辐射强度	日照时数	直接辐射强度	紫外辐射强度
年/月/日	时/分/秒	℃	%	mm	m/s	°	W/m ²	h/d	W/m ²	W/m ²

【条文说明】本条主要是针对在公路沥青路面外界气象环境信息监测中，外界气象环境信息的监测指标及监测频度应满足的要求提出规定，并提出规定的外界气象环境信息数据采集格式。

征求意见稿

7 数据的传输

7.1 传输系统设计要求

7.1.1 数据传输系统应具有对来自数据采集系统的各种数据予以接收、处理、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，并满足下列要求：

- 1 当历史数据平均值有效数字不统一时，应与最多有效数字位数的情况一致。
- 2 采集得到的数据和历史数据的差值应在一定范围内，可根据具体情况设置阈值，当超过阈值时，应检查系统的运行状态。

【条文说明】本条主要是针对数据传输系统对数据的传输性能提出要求。

本条第1款的提出是为了保证监测数据的精确性，规定有效数字应与最多有效数字位数一致。

本条第2款规定了数据阈值的设置要求，以便于用户及时获知数据采集状态，以便及时处理异常情况，保证数据稳定精准传输。

7.1.2 要求高速传输的公路沥青路面响应监测系统，应采用同步传输；仅要求低速传输的公路沥青路面响应监测系统，可采用异步传输。

【条文说明】本条主要是针对数据传输方式的选择提出要求。数据传输方式的选择应根据公路工程现场实际情况，包括工程进度、工程各阶段等现场情况选择性选择。同步传输它是一种在发射端发送一个抑制载波的双边带信号，而在接收端恢复载波，再进行检波的通信方式，因为恢复的载波与被接收的信号载波同频同相，故称为同步传输。异步传输它在发送字符时，所发送的字符之间的时间间隔可以是任意的，接收端必须时刻做好接收的准备，发送端可以在任意时刻开始发送字符，因此必须在每一个字符的开始和结束的地方加上标志，即加上开始位和停止位，以便使接收端能够正确地将每一个字符接收下来。

7.1.3 数据传输系统应坚持因地制宜原则，综合考虑数据传输距离、公路工程各阶段施工特征和工程现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素，灵活选取合适的数据传输方式：

- 1 当公路工程现场存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下，应采取有效的电磁屏蔽措施，当无法实施电磁屏蔽时，应采用有线传输方式。
- 2 对于地形复杂、物理线路布设和维护困难的环境，宜采用无线传输方式。
- 3 需要构建临时传输网络的工程现场，宜采用无线传输方式。

4 根据工程需要,可选用一种或多种传输方式进行组合使用,在条件允许时,应优先采用有线传输方式。

5 采用有线传输数据时,宜利用已有的光纤通信网或部门局域互联网等数据传输线路,设置必要的中继器或转发器,选取适当的传输介质,同时应以现场数据采集器的接口为基础,以增加最少的接口转换器为原则,选取适当的接口类型。

6 采用无线传输数据时,应根据公路工程现场营运的网络、成本和现场实际情况选择合适的无线传输方式。

【条文说明】本条主要是针对数据传输方式的设计提出要求。应坚持因地制宜的原则,即要了解公路工程场地现场的各种条件,充分考虑到工程过程中可能遇到的各种问题,灵活选取合适的方式。根据工程各阶段施工特点和需要组建临时通信网络的,尽量选择无线传输方式,便于布设和维护。

本条第5款主要是针对有线传输的设计要求提出规定及建议。有线传输是指两个通信设备之间使用物理连接,将信号从一方传到另一方,常用的介质有双绞线、同轴电缆和光缆等。为提高系统可靠性,在选取传输介质时要充分利用现有条件,并以增设最少的中继器和转发器为原则,同时选取数据转换接口时也应以增加最少转换器为原则。

本条第6款主要是针对无线传输的设计要求提出规定及建议。无线传输是指两个通信设备之间不使用任何物理连接,将信号通过空间传输的一种技术,通常可分为无线广域通信网和无线局域通信网两种方式。

7.1.4 数据传输系统应设置数据备份机制,以保证在传输线路故障时数据的完整性和可靠性:

- 1 数据采集站应至少保存最近7天的监测数据做备份。
- 2 数据存储介质应根据公路沥青路面响应监测系统每天接收的数据量选取。

【条文说明】本条主要是针对数据传输系统备份机制的设计提出要求。为保证数据传输线路故障时监测数据的完整性和可靠性,应设计数据备份机制。

本条第1款主要是针对数据采集站的备份时间提出规定,数据发送端应保存一定时长的监测数据作为备份,具体时长应大于故障发生后维护人员现场处理的时间。

本条第2款主要是针对数据存储介质的选取提出规定,数据存储介质设置可采用双卡槽的方式,以便于在对存储介质数据进行读取时保证连续监测。

7.2 传输质量控制

7.2.1 应根据数据采集系统前端传感器单位时间采集数据量大小，结合设计的传输实际通信能力，对数据进行分包处理，以包、帧为单位实时传输。

【条文说明】本条主要是针对数据传输质量控制提出规定。结构监测涉及的传感器种类繁多、数量庞大，存在海量数据的传输问题。若将海量数据整体传输必然导致可靠性下降，为此可将数据进行分包处理，以“包”为单位实时传输。

7.2.2 开发的相应数据传输软件在设计中应采用应答模式，并引入检校-重发-补发机制进行误码控制，数据包设计宜满足下列格式要求：

- 1 数据包应加入开始位及结束位。
- 2 在每组数据的开头和结束位置，应加入控制参数信息，定义请求发送包和文件结束包。
- 3 在每个数据段前应加入标识信息。
- 4 传输数据应进行校验，可采用奇偶校验或循环冗余校验，并将校验码加入数据段后的校验位。

【条文说明】本条主要是针对数据传输软件的模式及功能设置提出要求。采用“包”为单位传输机制后，为避免数据传输过程中因电源、信号中断或干扰造成的“包”丢失现象，应引入应答模式，具体设置可采用校验-重发-补发机制进行误码控制，以保证数据的可靠性和完整性。

7.2.3 应设计校验机制，在传送和接收两方都对数据进行确认：

- 1 当数据通道发生故障而中断，在故障排除后，数据传输系统应具有补发功能，将中断时间段内所有数据发送到接收端。
- 2 对于数据传输系统的应答、重发和补发模块应设置时限，避免因应答等待、重发及补发影响正常数据发送，宜利用数据通道空闲时段完成补发数据传输。
- 3 数据传输系统设计时应根据实际情况制定应对特殊突发情况的应急预案。

【条文说明】本条主要是针对数据传输校验机制提出要求。

8 数据的储存与管理

8.1 一般规定

8.1.1 数据管理应实现数据归档、生成报告、快速显示和高效存储的管理功能。

【条文说明】本条主要是针对数据管理功能提出规定要求。

8.1.2 数据管理软件应能对所有监测项目、监测站设备或指定监测项目、监测站设备的监测数据在限定时间段进行回放追溯。

【条文说明】本条主要是针对数据管理软件的数据回放功能提出规定要求。

8.1.3 原始监测数据应定期存储、备份存档，后处理数据宜保持不少于 3 个月在线存储，经统计分析的数据应专项存储，每季度或每年数据分析后宜存储某一段或某几段典型数据。

【条文说明】本条主要是针对数据存储时间提出规定要求。

8.1.4 数据报告报表应提供月报、季报、年报和特殊事件后的专项报告等，报告报表应导出办公系统易于调用的通用文档格式。

【条文说明】本条主要是针对数据报告报表内容及格式提出规定要求。

8.2 数据库构建要求

8.2.1 数据库应将采集系统收集到的实时数据和历史数据，提供给数据处理系统进行处理，并提供评估系统对数据进行分析，最终将处理及分析结果进行保存以便查询。

【条文说明】本条主要是针对数据库对实时数据和历史数据的处理提出规定要求。

8.2.2 数据库设计应遵循数据库系统的可靠性、先进性、开放性、可扩展性、标准性和经济性的基本原则，应保证数据的共享性、数据结构的整体性、数据库系统与应用系统的统一性。

【条文说明】本条主要是针对数据库设计应满足的基本性能要求提出规定。数据库设计是建立数据库及其应用系统的核心技术，它是指利用现有的数据库管理系统，构造最优的数据模式，建立可用的数据库及应用系统，以便能够更有效的存储、管理和利用数据，满足用户的应用需求。可靠性是指数据库软件产品成熟，具有可靠的技术支持，确保系统稳定运行。先进性是指数据库软件产品采用最新、最成熟和有生命力的技术，以保证一定时期内不被淘汰。开放性是指数据库软件产品容易与其他数据库协作，由于各种软硬件平台日趋多样化，为了满足各种不同平台系统的要求，应用软件的设计应遵循开放系统的原则。可扩展性是指数据库软件产品能满

足监测系统扩容的要求,便于必要时进行数据库升级并能够根据需要扩展新的功能。标准性是指数据库软件产品遵循公共的国际技术标准,以方便今后的升级维护。经济性是指数据库软件产品有良好的性价比。数据共享是值系统所有用户可同时访问数据库中的数据,数据库的设计强调多种应用、多用户共建共用,共享数据服务。数据库存储、管理和操作的对象是海量的数据,进行系统数据库设计是需要根据传感器数量、采样频率、监测时间等因素估计数据库的容量,保证数据有效的存储和使用,从整体上考虑系统设计的合理性。

8.2.3 数据库系统在使用时应支持在线实时数据处理分析、离线数据处理分析以及两种工作方式的混合模式,应符合标准《结构健康监测系统设计标准》CECS 333:2012 的处理要求规定。

【条文说明】本条主要是针对数据库系统的数据处理分析提出规定。在线实时数据处理包括对实时采集的数据进行处理和分析,用户处于在线工作状态。离线数据处理分析则主要是对某一时段以前的存档数据进行处理和分析。

8.2.4 数据库应模块化架构,可对公路沥青路面基本信息、监测系统信息和监测数据信息进行分层、分类存储和管理,宜包括公路沥青路面基本信息子数据库、监测系统信息子数据库、监测数据子数据库和分析报表子数据库等:

1 公路沥青路面基本信息应存储和管理公路等级、路面设计资料、路面材料与结构信息、施工及养护信息等。

2 监测系统信息子数据库应存储和管理传感器、数据采集和传输设备、数据存储和管理设备及相应软件等信息,包括传感器参数、设备名称、设备参数、设备功能、设备安装位置、安装时间、采样频率、运行状态、维修次数等。

3 监测数据子数据库应存储和管理监测系统所监测的所有变量的时程数据,包括外界气象环境信息、交通荷载信息、结构响应信息、结构内部环境信息等原始数据和经过数理统计得到的统计分析数据。

4 分析报表子数据库应存储和管理经过数据预处理和后处理得到的分析结果。

【条文说明】本条主要是针对数据库的架构进行规定要求。数据库采用模块化架构,能够便于数据的分层分类处理,针对公路沥青路面响应监测需求,数据库架构应包括公路沥青路面基本信息子数据库、监测系统信息子数据库、监测数据子数据库和分析报表子数据库。本条对各子数据库的内容提出规定。

8.2.5 数据库应建立在清晰、简明、标准化的数据源上,保证用户方便、快捷、准确的检索到

所需信息，查询的响应级别应为秒级，分析结果及可视化方面应能满足实际使用的要求。

【条文说明】本条主要是针对数据库的建立提出要求。数据源是最小的不可再分的信息单位，是一类数据的总称，是对数据对象的抽象。

8.2.6 选择数据库管理系统时，宜选择具备海量数据高效管理机制、异常情况下容错功能及系统恢复能力的系统，异常情况下的容错功能可按下列内容进行评价：

- 1 有无操作系统故障、网络故障硬件的容错功能。
- 2 有无磁盘镜像处理的容错功能。
- 3 有无应用软件异常情况的容错功能。

【条文说明】本条主要是针对数据库的管理系统建设提出要求，对异常情况下的容错功能提出评价指标。

8.2.7 系统交互方式可采用人机交互、监测系统与数据库系统交互，也可为分布式环境下的协作交互，系统交互应符合下列规定：

- 1 人机交互系统应具有友好的、符合专业操作习惯的用户界面。
- 2 监测系统可通过数据传输与控制系统将监测数据存储到数据库系统中，也可从数据库中请求和提取需要处理和分析的数据，处理分析完的相关信息应存储在数据库系统中，以便系统能够进一步进行深入分析和评估。
- 3 在分布式环境下，可通过数据的分片等技术将系统数据进行分布存储。

【条文说明】本条主要是针对数据库的系统交互方式提出规定。交互系统按照应用交互要求自上而下可以分为三个层面：应用层（表现层）、逻辑层和模型层（数据存储层），表现层主要是人机交互，体现的是用户与系统之间的互动；逻辑层包括监测系统和数据系统之间的交互，体现对采集数据的处理逻辑和建立于各种数据模型之上的业务逻辑；模型层主要体现与系统建立的数据模型，包括数据库中存储的各种数据信息模式以及各种分析、评估模型等。

本条第1款主要是针对用户界面设置提出规定。人机交互要充分考虑用户的使用习惯和感受。系统设计和实现时要界定哪些信息应由用户输入，尽量避免因为人为因素造成的数据输入错误和操作错误。在出现各种人为输入异常时系统要具有出错提醒、容错的能力，并建议系统能够给用户实时的智能帮助信息。

本条第2款主要是针对监测系统与数据库间的交互方式提出规定。数据库管理系统利用自身的管理和处理功能为监测系统提供相应的信息服务。为确保采集数据

正确送达并储存，数据传输系统和数据库系统之间需要采用一定的数据报文协议进行通信，协议要包含传感器自身的标识信息、监测数据信息、校验信息和应答信息等。如果采集的信息不能够正确送达，监测系统根据接收的内容可以要求数据传输系统再次发送之前缓存的信息，正确接收后，监测系统要向数据传输系统发送应答信息。

本条第3款主要是针对分布式数据库间的交互方式提出规定。分布式数据库之间的协作交互要求系统实现时充分利用商业数据库管理系统所支持的分布式数据管理能力，实现系统数据存储的用户透明性、系统业务的协作性。

8.3 数据运行及安全管理

8.3.1 数据库的工作环境应满足下列要求：

1 数据库管理系统应处于安全的物理环境，对数据库管理系统资源的处理应限定在一些可控制的访问设备内，防止未授权的访问，系统硬件及软件应受到保护以免未授权用户的物理修改。

2 应有一个或多个能胜任的授权用户来管理数据库管理系统和它所包含信息的安全。管理员应经过一定培训，以便能正确有效的建立和维护系统安全，被授权的管理员应严格遵从管理要求进行操作，不会蓄意破坏数据库管理系统，不会蓄意违反操作规程。

3 数据库管理系统应在系统管理员的配置下正常运行，用户可通过网络远程访问和使用数据库管理系统。

4 应将用户的权限分为数据的版权（拥有权）、修改权、更新权以及数据的使用权和分发权等。

【条文说明】本条主要是针对数据库的工作环境提出规定。

8.3.2 在应用程序调试完成后，应对数据库进行试运行操作，包括功能测试和性能测试，试运行操作期间，应做好数据库的备份和恢复工作。

【条文说明】本条主要是针对数据库的试运行操作提出规定。功能测试包括实运行应用程序，执行各类数据库操作，检验各种功能是否正确无误，是否满足设计要求。性能测试包括测量系统的性能指标，检验是否符合设计指标。在数据库试运行阶段，由于系统还不稳定，软硬件故障随时都可能发生，因此应做好数据库的备份和恢复工作。

8.3.3 数据库的维护应符合下列规定：

1 数据库管理员应针对不同的应用要求制定不同的数据备份计划，定期对数据库和日志文件进行备份，以保证一旦发生故障，能利用数据库备份和日志文件备份，尽快将数据库恢复到一致性状态，并尽可能减少数据库的丢失。

2 数据库管理员应根据用户的实际需要授予其不同的操作权限，在数据库运行过程中，宜根据环境的变化适当调整原有的安全性和完整性控制，以满足用户要求。

3 数据库管理员应借助数据库管理系统的系统性能监测工具，来监督系统运行状态，判断当前系统是否处于最佳运行状态，否则，需要通过调整某些参数来进一步改进数据库性能。

4 数据库管理员在必要时应借助数据库管理系统提供的实用程序对数据库进行重新组织和构造。

【条文说明】本条主要是针对数据库的维护提出规定。在数据库运行一段时间后，由于数据记录的不断增、删、改，会使数据库的物理存储变坏，从而降低数据库存储空间利用率和数据的存取效率，使数据库性能下降；这时数据库管理员应借助数据库管理系统提供的实用程序对数据库进行重新组织或部分重组。同样，随着数据库的应用环境的变化，可能会导致实体或对象发生变化，从而不得不适当调整数据库的模式，这时数据库管理员需要对数据库进行重新构造。

8.3.4 在数据的安全管理中，应注意数据的防护及保密，并满足下列要求：

1 在数据传输时，应对数据进行加密和解密处理，确保数据的安全性和准确性。

2 应装备防病毒软件，并采取数据的装载、传输检查等措施。

3 应通过控制网络的安全性措施来提高数据的安全性。

4 应遵照国家和行业相关的数据保密规定，严格执行数据的保密工作，对需要保密的数据应实行物理上和公共网络的隔离。

【条文说明】本条主要是针对数据库的安全管理提出规定。

9 数据的处理

9.1 基本原则

9.1.1 应对采集的数据进行适当的数据处理，包括数据的预处理和后处理。

【条文说明】本条规定了数据处理应包含的内容。

9.1.2 数据处理软件应能实现数据预处理和后处理功能。

【条文说明】本条规定了数据处理软件应能实现的功能。

9.1.3 数据处理软件应能实现数据备份、清除以及故障恢复等功能，其中故障恢复功能兼具手动操作控制功能，其他功能子模块应能自动调用。

【条文说明】本条进一步详细规定了数据处理软件应具备的功能。

9.1.4 数据处理软件应具备告警功能，应设置数据异常阈值及系统自身状态评估机制，及时告警数据异常及系统运行异常，采用告警应对措施时，应尽量保证系统的正常工作。

【条文说明】本条进一步详细规定了数据处理软件应具备的评估告警功能。

9.1.5 应针对不同数据分析的目的，设置各类分析阈值，对经过处理的数据还应加以存储准则判断，宜仅存储满足监测要求、具备分析价值的数据库。

【条文说明】本条进一步详细规定了数据处理系统应采用的阈值分析设置。

9.2 数据预处理设计

9.2.1 数据预处理功能应包括异常数据处理、系统误差处理，偶然误差处理、滤波降噪处理、截取处理、数据压缩处理及多源数据融合处理等。

【条文说明】本条规定了数据预处理应包含的内容。

9.2.2 应正确判断异常数据是由结构状态变化引起还是监测系统自身异常引起，应剔除由监测系统自身引起的异常数据。

【条文说明】本条主要是针对异常数据的处理提出要求。对短时间内频繁发生的异常数据进行关注，根据实际情况，要求现场技术人员查看现场状况、检查传感器的工作状态以及相应传输线路和数据采集硬件的工作状态，并在预处理是，剔除由监测系统自身引起的异常数据。

9.2.3 宜采用修正仪器方式消除系统误差，宜采用平均值法消除偶然误差。

【条文说明】本条主要是针对系统误差的消除提出规定。消除误差，保证监测数据

的准确可靠。

9.2.4 应对含噪信号进行滤波降噪处理，提高信息的信噪比，包括平均值法、低通滤波、高通滤波、带通滤波等，宜根据数据类型选用合适的滤波方法。静态监测宜采用数据求平均值处理方法进行滤波降噪，动态监测应在各级硬件设备终端、上位机软件中设置数字滤波器。

【条文说明】本条主要是针对数据的降噪滤波处理提出规定，提出了建议的滤波降噪方法，应根据数据的实际情况针对性选用。

9.2.5 截取处理应截选离散非时限信号的有限时长内的数据样本进行处理，且不应影响频谱分析的精度。

【条文说明】本条提出了数据截取处理的规定要求。

9.2.6 应对采集数据进行压缩处理，减少数据库存储空间，提高传输、存储及处理效率。

【条文说明】本条提出了数据压缩处理的规定要求。

9.2.7 宜根据实际工程分析需要，将所获得数据进行数据格式转换处理，并对数据进行融合处理，对综合性信息进行统一评价。

【条文说明】本条提出了数据格式转换的规定要求。

9.2.8 公路沥青路面响应监测数据的滤波降噪、数据压缩等处理方法可参考附录 C。

【条文说明】本条提出了建议性的监测数据滤波降噪、数据压缩处理等方法，具体方法以附录的形式提供。

9.3 数据后处理设计

9.3.1 需要进行频谱分析的数据，在信号截断处理应考虑被分析信号的性质与处理要求，减少截断对谱分析精度的影响，应选择合适的窗函数。

【条文说明】本条提出了数据频谱分析的规定要求。

9.3.2 需要进行时域分析的数据，宜根据数据时间先后顺序进行时域变化，宜利用自相关函数检验数据相关性，并检验混于随机噪声中的周期信号。

【条文说明】本条提出了数据时域分析的规定要求。

9.3.3 对于平稳信号宜采用离散傅立叶变换的频谱分析方法，非平稳信号宜采用时频域信号处理分析的方法或具有相对计算精度的数据处理方法。

【条文说明】本条提出了数据频域分析的规定要求

9.3.4 基于经过预处理后的沥青路面响应监测数据，应根据长期性能分析的需要提取关键信息，包括结构响应数据的时程曲线特征点（波峰、波谷、响应时间）及与之对应的荷载与环境信息，

并分析结构响应的衰变规律，具体方法可参考附录 D。

【条文说明】本条提出了建议性的沥青路面响应监测数据的关键信息提取方法，具体方法以附录的形式提供。

9.3.5 结合优化的传感器布设方案，依据沥青路面响应监测数据时程曲线的幅值，可感知判别车辆横向偏移位置，具体计算公式及方法可参考附录 E。

【条文说明】本条提出了建议性的车辆横向偏移位置感知判别方法，具体方法以附录的形式提供。

9.3.5 结合优化的传感器布设方案，依据沥青路面响应监测数据时程曲线的幅值及对应时间，可计算分析车辆荷载移动速度，具体计算公式及方法可参考附录 F。

【条文说明】本条提出了建议性的车辆荷载移动速度计算分析方法，具体方法以附录的形式提供。

9.3.6 结合优化的传感器布设方案，依据沥青路面响应时程曲线的幅值、车辆横向偏移位置、车辆移动速度、车辆轴型及轴重等信息，可进行路面各层模量的反算评估，具体的计算方法及流程可参考附录 G。

【条文说明】本条提出了建议性的路面各层模量的反算评估方法，具体方法以附录的形式提供。

9.3.7 依据路面各层底力学响应时程曲线的幅值、路面内部温度、各层厚度、公路所在地区气候等信息，并结合路面各层模量的反算评估结果，可进行沥青路面的疲劳性能评估。依据沥青层力学响应时程曲线的幅值、沥青混合料层温度、沥青混合料层厚度、沥青混合料车辙试验永久变形量、公路所在地区气候等信息，可进行沥青混合料层永久变形量评估，具体的计算分析方法及流程可参考附录 H。

【条文说明】本条提出了建议性的沥青路面的疲劳性能评估及沥青混合料层永久变形量评估方法，具体方法以附录的形式提供。

10 监测系统验收

10.1 传感器验收

10.1.1 传感器的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。

【条文说明】本条规定了传感器验收的内容及验收的时间节点。

10.1.2 施工前传感器的抽检率应符合下列规定：

- 1 对于非埋入式传感器，每类传感器的抽检率不应小于50%且不得少于1个。
- 2 对于埋入式传感器，应对所有传感器进行检验。

【条文说明】本条提出了传感器验收的抽检率规定。针对不同布设形式的传感器，提出了具体的抽检率要求。表面粘贴且可更换的，可采用全部检验，若数量过多，也可采用抽检验收方式，因为后期若出现问题，可修复性强。埋入式的传感器，一旦埋入，更换难度巨大，因此，必须对所有的此类传感器进行检查验收。

10.1.3 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。

【条文说明】本条提出了传感器在施工安装前的检查验收规定。

10.1.4 施工后传感器的安装质量验收应符合下列规定：

- 1 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。
- 2 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。
- 3 传感器的安装信息档案应内容完整且数据准确。
- 4 外界气象环境监测测设备应按照QX/T 118-2020及QX/T 31-2018要求进行验收。

【条文说明】本条提出了传感器在施工安装后的检查验收规定。

10.1.5 传感器系统的验收宜按照本标准附录I中表I.0.1和表I.0.2的样式进行记录与汇总。

【条文说明】本条规定了传感器系统的验收记录格式，具体格式以附录的形式提供。

10.2 监测站验收

10.2.1 数据采集设备的验收应在设备安装完成后7天内进行。

【条文说明】本条规定了监测站验收的时间节点。

10.2.2 数据采集设备的验收应符合下列规定：

- 1 数据采集设备的硬件数量、型号、规格应符合要求，部件完整。
- 2 数据采集设备的外观应无明显的破损、变形、划痕、剥落和锈蚀现象，设备表面应设有信息完整、准确的固定标识。
- 3 每类数据采集设备的抽检率不得小于50%，且不得少于1台。出现抽检不合格设备应予以更换，并检测及保证剩余数据采集设备合格率100%。
- 4 数据采集设备的软件应能够正常稳定的运行。
- 5 数据采集设备的安装信息档案应内容完整且数据准确。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的验收内容及要求。

10.2.3 数据采集设备在交付前，应有三个月以上的数据采集试用期，应组织相关专业部门验收，形成完善的交付手续。

【条文说明】本条规定了数据采集设备交付前的试运行验收要求。

10.2.4 监测站房工程质量验收应符合下列规定：

- 1 监测站房应设置合格的排水设施，防止雨水蓄积，并注意保护墙体。
- 2 监测站房应干净整洁，设备摆放合理，应留有足够的空间，便于后期工作人员检查维护。
- 3 监测站房应满足严酷野外工作条件，应配置必要的通信、电力、稳压以及避雷设备。

【条文说明】本条规定了监测站房的工程质量验收要求。

10.2.5 监测站的验收宜按照本标准附录 I 中表 I.0.3~表 I.0.5 的格式进行记录和汇总。

【条文说明】本条规定了监测站的验收记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

10.3 数据传输系统验收

10.3.1 数据传输系统的验收宜在系统安装完成后 7 天内进行。

【条文说明】本条规定了数据传输系统验收的时间节点。

10.3.2 所有线缆和数据传输设备均应进行连通性检验，线缆的敷设应符合《结构健康监测监测系统施工及验收标准》TCECS 765-2020 的规定。

【条文说明】本条规定了线缆和数据传输设备的验收要求，除应满足本条规定，还应满足标准《结构健康监测监测系统施工及验收标准》的规定要求。

10.3.3 数据传输系统的验收应符合下列规定：

- 1 线缆和数据传输设备的类型、型号和数量应符合设计文件的要求。

2 线缆和数据传输设备的外观应无明显的破损、变形、划痕、剥落和锈蚀现象，且线缆两端、拐弯处、交叉处应设有信息完整准确的固定标识。

3 电缆和数据信号线应分隔敷设，在同一公路内的强弱电缆应采取隔离措施。

4 线缆和数据传输设备的功能应正常，数据传输应稳定可靠且响应延迟时间应满足设计要求，抽检合格率应为100%。

5 数据传输系统的安装信息档案应内容完整且数据准确。

【条文说明】本条规定了数据传输系统的验收要求。

10.3.4 数据传输系统的验收宜按照本标准附录 I 中表 I.0.6 和表 I.0.7 的格式进行记录和汇总。

【条文说明】本条规定了数据传输系统的验收记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

10.4 数据中心验收

10.4.1 数据中心的验收宜在数据中心监测平台搭建完成后 7 天内进行。

【条文说明】本条规定了数据中心验收的时间节点。

10.4.2 数据中心内部的所有设备均应进行检验，合格率应 100%：

【条文说明】本条规定了数据中心内部设备验收数量及合格率要求。

10.4.3 数据中心的验收应符合下列规定：

1 工作站、显示大屏幕和电源的类型、型号和数量应满足设计文件要求。

2 工作站、显示大屏幕和电源的外观应无明显破损、变形、划痕、剥落和锈蚀现象，应设有信息完整准确的固定标识。

3 引出线缆和插接接头的保护措施应符合《数据设备用网络机柜》YD/T 2319-2020的安装要求规定。

4 工作站、显示大屏幕、电源和软件功能应正常，抽检合格率应100%。

5 数据中心的安装信息档案应内容完整且数据准确。

【条文说明】本条规定了数据中心的验收内容及要求。

10.4.4 数据中心的验收宜按照本标准附录 I 中表 I.0.8 和表 I.0.9 的格式进行记录和汇总。

【条文说明】本条规定了数据中心的验收记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

10.5 监测系统总体验收

10.5.1 总体验收应在各分部验收工作全部完成后开展，总体验收不合格的项目，应在整改完毕后再次组织验收。

【条文说明】本条规定了监测系统总体验收的时间节点及验收要求。

10.5.2 监测系统总体验收主要对系统性能进行验收，宜在监测系统试运行结束后进行，试运行的时长应符合设计文件规定，无相关规定时不得少于 3 个月，系统软件的调试验收应符合标准《计算机软件测试规范》GB/T 15532-2008 的规定。

【条文说明】本条规定了监测系统总体的验收内容，宜在监测系统试运行结束进行，即该部分验收目的是确保监测系统能够可靠稳定的进行监测工作。

10.5.3 监测系统试运行情况宜按本标准附录 I 中表 I.0.10 的格式记录，试运行结果应符合下列规定：

1 监测系统软件功能应符合设计文件的规定，当无相关规定时应具备数据采集、存储、下载、读取、分析、显示和报表功能。

2 监测系统的无故障工作时间不应小于95%预定使用时间。

3 监测数据的完整率不应小于95%。

4 监测数据采集、传输和存储的同步性应符合设计文件的规定，当无相关规定时动态采集的同步时差应小于10 ms，静态采集的同步时差应小于30 ms。

【条文说明】本条规定了监测系统总体试运行情况的验收要求，包括应具备的功能、稳定工作时间、数据完整率以及数据采集时差等。

11 定期检查与维护

11.1 传感器定期检查与维护

11.1.1 传感器的性能检查应符合以下规定：

1 传感器的性能检查应包括物理性能检查和工作性能检查。

2 传感器的物理性能检查应包括：检查传感器外露线缆和接口是否有损伤、老化及污渍等现象，并及时处理。检查非埋入式传感器或传感设备是否完好，并采取必要措施保证其正常运行。

3 传感器工作性能检查应包括传感器的精度、线性度、迟滞、重复性和灵敏度。

【条文说明】本条规定了传感器的性能检查要求。

精度：精度反映的是仪表误差的大小。根据仪表测量所允许的最大绝对误差来计算出仪表的精度等级，不同类型的传感器按照不同的精度要求维护或更新传感器。

线性度：线性度是指传感器的实际输入输出特性曲线对于理想线性输入输出特性的接近或偏离程度。其用实际的输入输出特性曲线对理想输入输出特性曲线的最大偏差量与满量程输出值的百分比来表示。

迟滞性：亦称滞后量、滞后或回程误差，表征传感器在全量程范围内，输入量由小到大（正行程）或由大到小（反行程）两者静态特性不一致的程度。迟滞误差在数值上用各标定点中正反行程输出平均值之间的最大偏差与满量程输出值之比的百分率表示。

重复性：重复性表示传感器在同一工作条件下，按同一方向作全量程多次（最少3次）测量时，对于同一个激励量其测量结果的不一致程度。

灵敏度：灵敏度是传感器在静态条件下输出量的变化和与之相对应的输入量的比值。理想的静态测量传感器应具有单调、线性的输入输出特性，其斜率为常数。在这种情况下，传感器的灵敏度就等于特性曲线的斜率。

11.1.2 传感器的保养与维护应满足下列规定：

1 在腐蚀性较高的环境下，如潮湿、酸性环境，传感器应做好抗腐蚀措施和密闭性防护。

2 在电磁场环境下，应对传感器的屏蔽性进行严格检查，保证其具有良好的抗电磁干扰能力。

3 应根据公路工程现场情况采取相应的防风、防雨雪、防雷、防尘、防晒和防强烈振动等措施，防雷接地应符合标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012。

4 应根据季节变化采取相应的防护措施，防止雨水、高温、高湿、辐射和冰冻等对传感器及其线缆、接口等损坏。

【条文说明】本条规定了传感器的日常保养与维护要求。

11.1.3 传感器的定期检查频率应不小于 2 次/年，传感器的性能检查、保养与维护管理应按照附录 J 中表 J.0.1 进行记录。

【条文说明】本条规定了传感器的定期检查频率要求及日常检查与维护记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

11.2 数据采集设备定期检查与维护

11.2.1 数据采集设备的外观检查应满足下列规定：

1 数据采集设备在野外运行环境时，应检查数据采集设备是否受阳光照射，是否做好防水、防潮、防风及防尘措施。

2 检查保护装置外观是否有潮湿、腐蚀、人为破坏等情况，并检查保护装置是否牢固。

3 检查监测站房内环境是否清洁。应根据数据采集设备使用要求，保证站房内温度和湿度在允许范围内，杜绝站房内存有食物、纸屑和积灰等。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的外观检查要求。

11.2.2 数据采集设备的性能检查应满足下列规定：

1 检查数据采集设备能否正常开机及运行，检查数据采集设备内置电源或外接电源是否工作正常。

2 检查数据采集设备能否稳定采集到监测数据，并检查监测数据是否合理。

3 检查数据采集设备的通讯是否正常，检查通讯软件的通讯格式设置，检查通讯硬件是否正常，包括连接线、输入及输出端口是否连接可靠。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的性能检查要求。

11.2.3 数据采集设备的运行操作管理应满足下列规定：

1 在对数据采集设备进行操作时，应先断电再进行相应的操作，严禁带电操作，防止数据采集设备受损。

2 在对数据采集设备进行拆卸和重新安装操作时,应对数据采集设备安装位置和通道进行记录,重新安装时应确保与记录情况保持一致,防止安装错误,并应对拆卸和重新安装操作情况留存详细记录备查,宜辅以影像记录。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的运行操作管理要求。

11.2.4 数据采集设备的运行维护管理应满足下列规定:

1 数据采集设备应根据采集界面便利性、数据存储可靠性、远程传输稳定性、系统集成综合性等需求,进行数据采集设备的不定期软件系统升级。

2 当数据采集设备超出设备出厂使用寿命年限、出现人为或自然灾害引起无法修复的故障、无法满足前端传感器数据采集、无法满足系统集成功能需求时,应对数据采集设备进行设备修复升级或设备替换。

3 对于内置电池的数据采集设备,应按照数据采集设备操作手册进行定期充电或电池更换,避免数据采集中断。

4 应对数据采集设备的机壳和面板做定期的清洁,野外运行环境的数据采集设备应增加定期清洁次数。

5 对数据采集设备清洁时应注意:避免使用任何类型的溶剂,避免任何类型碎屑贴附于数据采集设备,避免液体进入数据采集设备面板或插座端内部。

6 应定期清洁保护装置,保护装置不牢固或无法满足对数据采集设备进行保护作用时,应对保护装置进行替换。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的运行维护管理要求。

11.2.5 数据采集设备的定期检查频率应不小于2次/年,数据采集设备的外观检查、性能检查、运行操作管理及运行维护管理应按照附录J中表J.0.2进行记录。

【条文说明】本条规定了数据采集设备的定期检查频率要求及日常检查与维护记录格式要求,具体格式以附录的形式提供。

11.3 数据传输设备定期检查与维护

11.3.1 数据传输设备的外观检查应满足下列规定:

1 数据传输设备的检查应包括数据传输终端设备,数据传输互联设备和数据传输介质设备的检查,外观应无破损,清洁干燥,且网络应保持连接正常。

2 数据传输互联设备与数据传输终端设备的连接设备应无破损,并连接正常。

3 数据传输终端设备、互联设备和传输介质的标签应清晰耐磨。

4 数据传输设备的保护装置应无破损、锈蚀和变形。

【条文说明】本条规定了数据传输设备的外观检查要求。数据传输设备，包括数据传输终端设备，数据传输互联设备、数据传输介质设备。数据传输终端设备是指数据传输中一端或另一端的设备，包括计算机显示终端设备或其他终端设备。数据传输互联设备是指数据传输过程中实现一种网络与另一种网络互访与通信的设备，主要设备有中继器、集线器、网桥、路由器等。数据传输介质设备分为有线传输介质和无线传输介质两大类。其中，有线传输介质设备是指在两个通信设备之间实现的物理连接部分，主要有双绞线、同轴电缆和光纤。

11.3.2 数据传输设备的性能检查应满足下列规定：

1 数据传输设备所运行的环境温度、相对湿度应满足设备正常使用要求，工作温度宜在10°C~35°C范围，相对湿度宜在20%~80%范围内。

2 数据传输设备运行环境中的空气含尘浓度，在静态条件下测试，直径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的尘粒浓度应不超过18000粒/升。

3 数据传输设备环境无线电干扰场强不应大于130 dB，环境磁场场强不应大于30 A/m。

4 数据传输终端设备的网络连接正常，网络故障及告警信息应及时处理。

【条文说明】本条规定了数据传输设备的性能检查要求。

11.3.3 数据传输设备的运行操作管理应满足下列规定：

1 应对登录操作系统的用户进行身份标识和鉴别。

2 严格按照数据传输设备使用说明进行运行操作，确保设备安全和有效运行。

【条文说明】本条规定了数据传输设备的运行操作管理要求。

11.3.4 数据传输设备的运行维护管理应满足下列规定：

1 应指定专门的部门或人员对数据传输设备的运行环境温度、湿度和含尘度进行采集，并及时准确填写定期检测日志。

2 对数据传输设备等进行管理和维护后，应及时准确填写定期检查日志，并记录设备维护情况。

3 应指定人员对数据传输设备异常原因进行分析和处理，并应通知专业人员进行数据通讯测试，确定原因，对异常设备进行维护或者更换，做好数据传输异常的时间、处理过程、处理结果和异常原因分析等的详细记录，准确填写数据传输异常情况登记表。

4 数据传输设备的保护装置应满足相应的防水和抗压要求，对于不满足防水和抗压要求，以及出现破损、锈蚀、变形等缺损的保护装置应及时维护或更换。

【条文说明】本条规定了数据传输设备的运行维护管理要求。

11.3.5 数据传输设备的定期检查频率应不小于2次/年，数据传输设备的外观检查、性能检查、运行操作管理及运行维护管理应按照附录J中表J.0.3进行记录。

【条文说明】本条规定了数据传输设备的定期检查频率要求及日常检查与维护记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

11.4 数据存储设备定期检查与维护

11.4.1 数据存储设备的外观检查应满足下列规定：

1 数据存储设备及其附属设备的外观检查应包括检查设备表面是否破损、机身是否清洁、金属部件是否发生锈蚀、设备有无积水、设备运行过程中是否存在过热或烧损融化现象，设备运行是否有异响或异常振动。

2 应检查存储设备输入和输出端接口是否出现接线松动或脱落等导致接触不良的情况。

【条文说明】本条规定了数据存储设备的外观检查要求。数据存储设备按照存储方式可分为电能式、磁能式、光学式、磁光式等几种类型。结构健康监测系统通常采用磁能方式存储设备进行监测数据的存储和备份。数据存储设备根据使用需要可配备多种附属设备，包括温控设备、不间断电源等。

11.4.2 数据存储设备的性能检查应满足下列规定：

1 存储设备宜通过定期查询历史监测数据是否完整，有无数据存储丢包状况，以此判断存储设备是否具备正常工作性能。

2 当采用磁盘阵列作为数据存储设备时，应检查存储设备的磁盘阵列是否正常，包括存储指示灯有无警告、控制器指示灯有无警告、控制器电池有无故障、磁盘柜电源状态有无异常、网口是否正常发光、存储连接是否有冗余。

3 对配备有不间断电源的数据存储设备，应检查不间断电源的工作情况，检查项目应包括不间断电源指示灯是否正常、是否能够正常启动。此外，还应检查市电和停电时不间断电源主机输入和输出电压、输出频率以及零-地电压是否符合产品使用标准。停电且不间断电源电量少于10%时，数据存储设备应及时关机，以免损坏数据存储设备。

【条文说明】本条规定了数据存储设备的性能检查要求。其中，磁盘阵列是由多个

独立的磁盘组合而成的一个大容量的磁盘组，其具有较高的数据传输速率以及数据检验容错功能，越来越多地被应用到结构健康监测系统。

11.4.3 数据存储设备的保养与维护应满足下列规定：

1 保养与维护周期内应定期对数据存储设备进行定期除尘、除湿，其中相对湿度应控制在30%~80%，还应对电源线、数据线接口污渍进行清理。

2 应定期对存储设备剩余磁盘空间进行检查，应确保磁盘剩余空间不小于总容量的20%。

3 对于配有温控设备的数据存储设备，温控设备宜每隔4个月更换1次空调器风扇启动电容，确保夏天时温控设备正常工作。

4 数据存储设备出现人为或自然灾害引起无法修复的故障、无法满足监测数据实时存储需求时，应对设备进行升级或替换。

5 对配备有不间断电源的存储设备，应按照产品使用说明定期对不间断电源进行充放电。

【条文说明】本条规定了数据存储设备的保养与维护要求。对数据存储设备进行清洁时禁止使用强腐蚀物或强化学物质，可用干净的纱布沾上中性洗涤剂擦拭。

11.4.4 数据存储设备的定期检查频率应不小于2次/年，数据存储设备的外观检查、性能检查、保养与维护应按照附录J中表J.0.4进行记录。

【条文说明】本条规定了数据存储设备的定期检查频率要求及日常检查与维护记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

11.5 数据显示设备定期检查与维护

11.5.1 数据显示设备包括位于数据中心的显示大屏幕和监测系统显示设备，以及位于数据采集站的工控机显示设备。

【条文说明】本条说明了数据显示设备所包含的内容。

11.5.2 数据显示设备的外观检查应满足下列规定：

1 显示设备的外壳是否存在裂缝、孔洞等破坏。

2 显示屏表面是否存在划痕、裂缝等破坏。

3 显示设备的各功能按键是否存在破损、掉落等破坏。

4 显示设备的连接插口及插头是否存在堵塞、弯曲、掉落等病害。

5 显示设备的供电线路、视频传输线路等连接线是否存在老化、破损等病害。

6 用于固定显示设备的支架及螺栓是否存在锈蚀、松动等破坏。

【条文说明】本条规定了数据显示设备的外观检查要求。

11.5.3 数据显示设备的性能检查应满足下列规定：

- 1 显示设备工作时是否存在图像显示失真以及色彩、明暗显示异常等问题。
- 2 应定期进行不同画面的调取等操作查看显示屏是否能正常显示。
- 3 应定期使用功能键对设备进行调试，检验显示设备的功能键是否能正常工作。
- 4 新安装或更换的显示器，应先检查设备显卡和驱动程序是否安装正常，再进行设备调试，

对于不常用的显示屏，应每月开机一次，检验设备是否可以正常工作。

【条文说明】本条规定了数据显示设备的性能检查要求。性能检查的目的在于检验结构健康监测系统所用的数据显示设备是否满足预设功能的要求，是否可以正常显示视频监控系统的监控画面以及系统采集的结构状态监测信息。

11.5.4 数据显示设备的保养与维护应满足下列规定：

- 1 显示设备的摆放位置应远离高压线等强磁场，应避免阳光直射，设备所处环境应进行温湿度控制，数据中心的显示设备应进行室内温湿度调节。
- 2 显示屏表面以及相关线路应当进行定期除尘，可采用酒精等中性液体擦拭或采用吸尘器吸出。
- 3 显示设备宜定期关机休息，避免连续长期工作。
- 4 对于发现的划痕、破洞、按键掉落等局部破损应当及时予以维修，发现显示设备显示不正常时候，应及时关闭设备，并通知专业技术人员进行检查。
- 5 发现显示设备有冒烟等异常现象时，需立即关闭电源，各个显示器内部线路及部件的更换必须由专业技术人员操作。

【条文说明】本条规定了数据显示设备的保养与维护要求。保养与维护的目的在于保证服役期过程中结构健康监测系统所用的数据显示设备能够完成预设功能，保障显示设备正常显示视频监控系统的监控画面以及系统采集的结构状态监测信息。

11.5.5 数据显示设备的定期检查频率应不小于2次/年，数据显示设备的外观检查、性能检查、保养与维护应按照附录J中表J.0.5进行记录。

【条文说明】本条规定了数据显示设备的定期检查频率要求及日常检查与维护记录格式要求，具体格式以附录的形式提供。

11.6 监测系统软件定期检查与维护

11.6.1 监测系统软件的外观及性能检查应满足下列规定：

- 1 监测系统软件图标应正常，双击后应能正常打开程序并运行。
- 2 程序界面不应出现乱码、花屏等现象。
- 3 应对传感器系统和数据采集系统的运行进行控制和管理，检查系统控制功能是否正常。
- 4 应对所有来自数据采集系统的监测数据进行选择、处理、分析和显示，并生成管理系统数据库，检查数据处理功能是否正常。

【条文说明】本条规定了监测系统软件的外观及性能检查要求，包括程序界面是否清晰、系统控制功能是否正常、数据处理界面及功能是否稳定。

11.6.2 监测系统软件的维护应满足下列规定：

- 1 不应随意删除或修改软件，应防止误删或错删等情况。
- 2 应定期对系统进行备份，并对重要数据加强备份保护。
- 3 计算机出现故障时，应首先查杀计算机内存和硬盘病毒。
- 4 应检查应用软件与计算机系统内其他软件是否匹配，并删除或修改可能导致兼容性问题的软件。
- 5 应对注册账号和密码妥善保管，不应随意泄露给其他人员。

【条文说明】本条规定了监测系统软件的维护要求，主要为了规范操作者的操作行为，确保计算机软件的可靠稳定运行，并应做好相关的安全保密设置。

附录 A 传感器布置案例

A.0.1 按照典型的半刚性基层沥青路面结构，本文件提供了资料性传感器布置案例。具体布置方案如图 A.1 所示，电阻式传感器、振弦式传感器、光纤光栅式传感器等点式传感器均适用于本方案，传感器布置方案如图 A.0.1 所示。

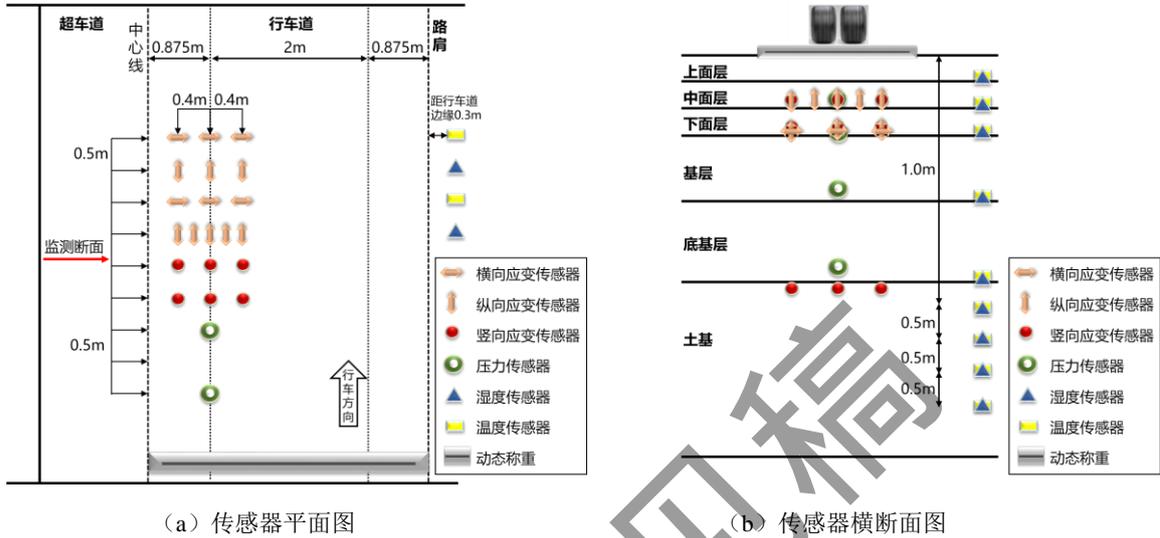


图 A.0.1 传感器布置图

A.0.2 温度传感器的布置方案为：各层层底纵向间隔 1 m 布置 2 个温度传感器，布置于距离行车道外边缘 0.3 m 的硬路肩位置处。土基内布置 8 个，选择 4 个深度，距路表分别为 1 m、1.5 m、2 m 和 2.5 m，具体如图 A.0.2 所示。

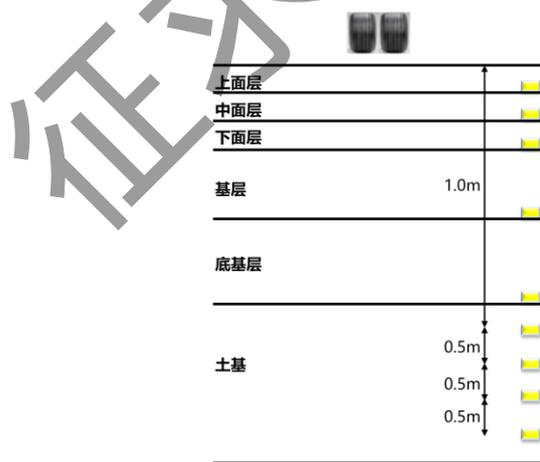


图 A.0.2 温度传感器布置图

A.0.3 湿度传感器的布置方案为：布置于距离行车道外边缘 0.3 m 的硬路肩位置处。土基内布置 8 个，选择 4 个深度，距路表分别为 1m、1.5m、2m 和 2.5m，具体如图 A.0.3 所示。

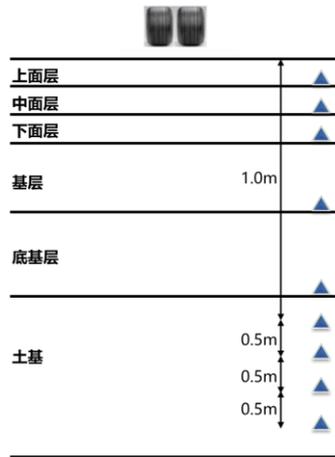


图 A.0.3 湿度传感器布置图

A.0.4 压力传感器的布置方案为：除上面层外，在轮迹带位置处，各层层底纵向间隔 1 m 布置 2 个压力传感器，用于路面各层层底压力测量，具体如图 A.0.4 所示。



图 A.0.4 压力传感器布置图

A.0.5 水平应变传感器的布置方案为：在下面层层底，布置 6 个纵向水平应变传感器和 6 个横向水平应变传感器。传感器在轮迹带位置左右对称布置。布置 4 排，依次为纵向、横向、纵向和横向；每排布置 3 个；传感器横向间隔 0.4 m、纵向间隔 0.5 m；形成水平向应变测试矩阵，用于路面纵向、横向应变测量。在中面层层底，在轮迹带位置左右对称布置 5 个纵向水平应变传感器；传感器横向间隔 0.2m、纵向间隔 0.5 m，用于路面纵向应变测量和行车荷载横向偏移判定。具体如图 A.0.5 所示。

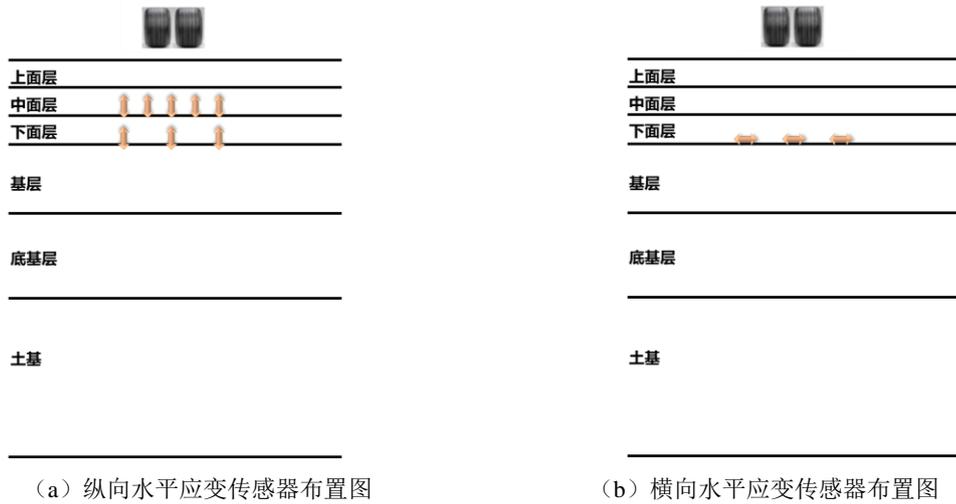


图 A.0.5 水平应变传感器布置图

A.0.6 竖向应变传感器的布置方案为：在中面层和下面层层底，分别布置 6 个竖向应变传感器。传感器在轮迹带位置左右对称布置，布置 2 排，每排布置 3 个，传感器横向中心间隔 0.4 m，纵向间隔 0.5 m。在路基层顶，布置 3 个竖向应变传感器。传感器在轮迹带位置左右对称布置，布置 1 排，传感器横向中心间隔 0.4 m，具体如图 A.0.6 所示。

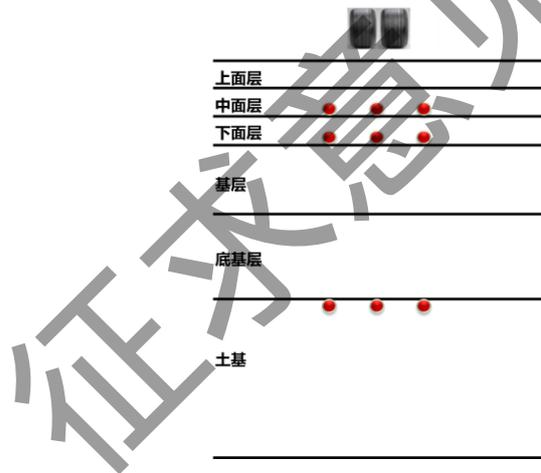


图 A.0.6 竖向应变传感器布置图

A.0.7 动态称重系统的布置方案为：在结构上面层顶部，距离应变传感器测试矩阵 4~5 m，垂直于车辆行驶方向单车道布置，用于车辆轴重、轴型及车速的测量。

附录 B 监测站房建设图纸

B.0.1 监测站房正视图如图 B.0.1 所示。

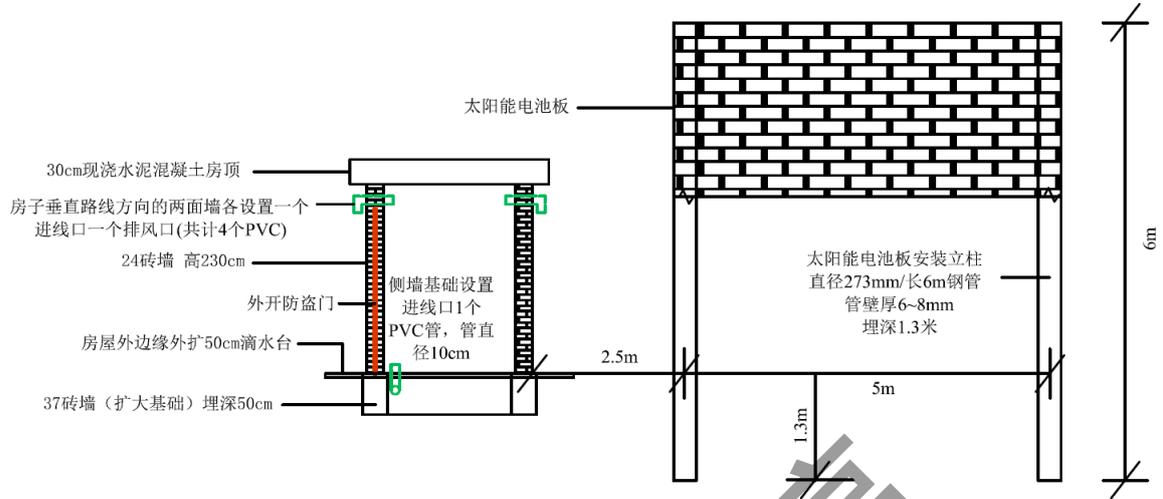


图 B.0.1 监测站房正视图

B.0.2 监测站房俯视图如图 B.0.2 所示。

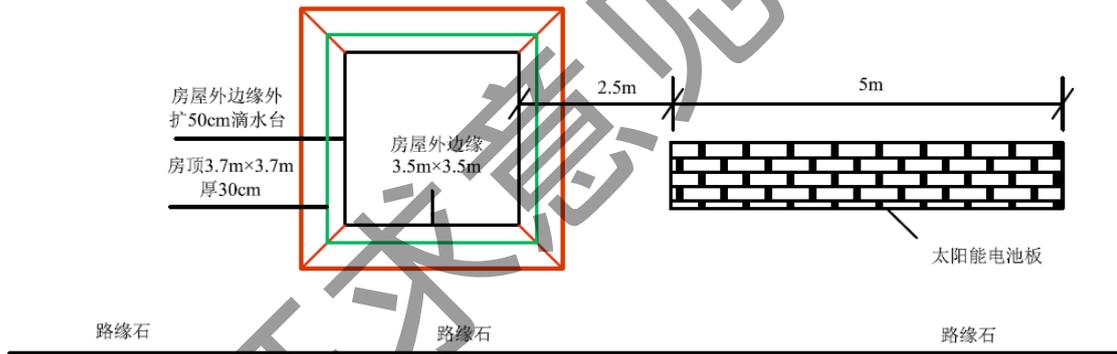


图 B.0.2 监测站房俯视图

B.0.3 监测站房左视图如图 B.0.3 所示。

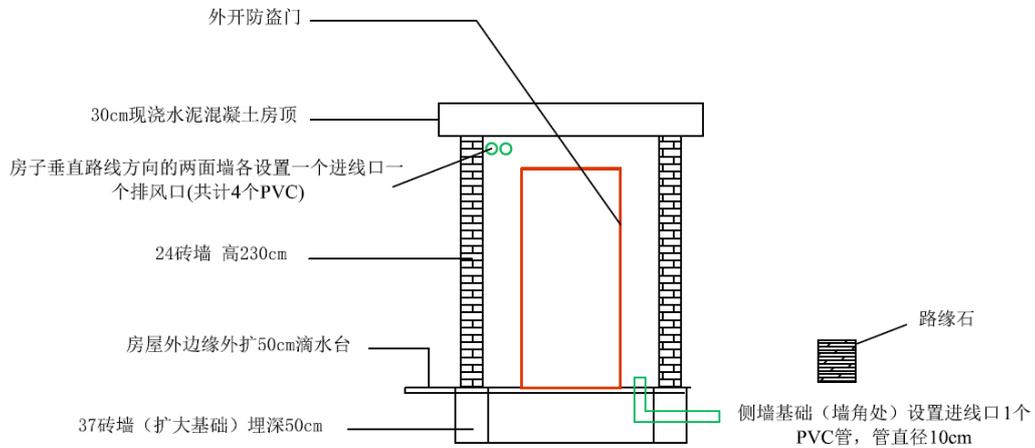


图 B.0.3 监测房左视图

附录 C 沥青路面响应监测数据滤波压缩

C.0.1 对于连续采集的监测数据，主要包含：(a) 车辆荷载作用下的力学响应；(b) 受温度影响的漂移基线。其中受温度影响的漂移基线是无用信息，可采用移动平均滤波去除，具体方法如下：

1 将车辆荷载作用下力学响应视为噪声，应用移动平均滤波提取受温度影响的漂移基线。可按移动平均滤波公式 (C.0.1) 进行计算处理。

$$x_{ave} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (s + d_i) = s + \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (d_i) \quad (\text{C.0.1})$$

式中 x_{ave} —— 移动平均滤波后提取结果；

x_i —— 原始连续采集监测数据；

s —— 受温度影响的漂移基线；

d_i —— 噪声。

2 将移动平均滤波后提取结果从原始数据中除去，再根据传感器标定公式，得到除去漂移基线的车辆荷载作用下力学响应。

C.0.2 对于已去除漂移基线的路面力学响应数据，可利用小波压缩方法，将其变换到小波域，减小数据所占的存储空间，达到数据压缩目的，具体方法如下：

1 应用小波基分解路面力学响应数据 (1 面 n 的矩阵)，小波分解层数为 3 层。

2 在小波分解后，选取合适的阈值，阈值大小可按照式 (C.0.2) 确定，将小于阈值的小波系数置为 0，构造出稀疏矩阵 (1 构 v 的矩阵，其中 v 远小于 n)。

$$\delta = \hat{\sigma} \sqrt{2 \ln n} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 δ —— 阈值；

$\hat{\sigma}$ —— 噪声水平；

n —— 信号长度。

3 存储稀疏矩阵中非 0 项的数值大小和对应位置 ($2 \times v$ 的矩阵)，实现路面力学响应数据的压缩。在后续分析中，路面力学响应数据也可以从 $2 \times v$ 的矩阵，通过小波逆变换重构。

附录 D 沥青路面响应关键信息提取分析

D.0.1 为完整描述车辆荷载作用下路面力学响应时程曲线，应提取路面力学响应的起点时间、终点时间、响应幅值及对应时间等关键信息。

D.0.2 为便于提取关键信息，可采用函数型数据分析方法，利用多段样条曲线将路面力学响应时程曲线拟合成连续函数，并通过求取多段样条曲线导数为 0 的点以及多段样条曲线函数值为 0 的点，分别确定响应幅值及对应时间和位置以及响应起终点时间。具体的分析流程如图 D.0.2 所示。

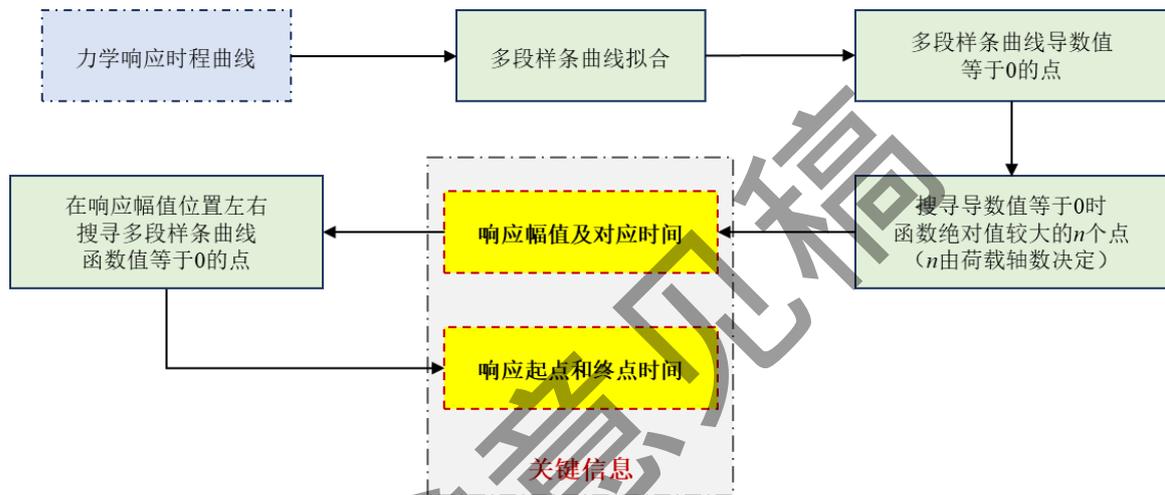


图 D.0.2 路面力学响应关键信息提取方法示意图

附录 E 车辆横向偏移位置感知判别

E.0.1 根据路面同层位不同横向位置的水平应变传感器时程曲线数据，可实现对车辆横向偏移位置信息的感知判别，原理如图 E.0.1 所示。

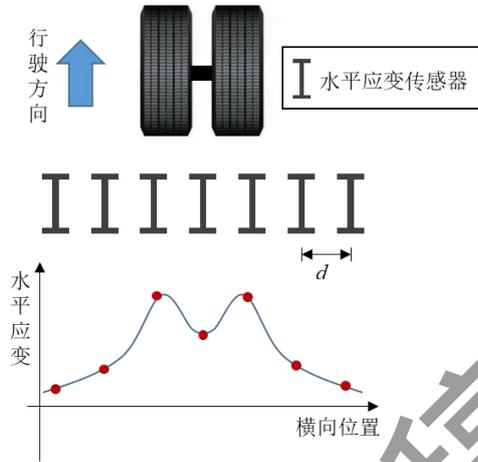


图 E.0.1 车辆横向偏移位置感知示意图

E.0.2 通过同层位不同横向位置水平应变传感器时程曲线幅值，绘制水平应变横向空间分布曲线；水平应变横向空间分布曲线最大值位置即为车辆横向偏移位置。

E.0.3 为准确获取车辆横向偏移位置信息，水平应变传感器的横向布置间距 d 应满足采样定理要求，即通过水平应变传感器获取的数据应能完整描绘的实际车辆荷载作用下路面水平应变横向空间分布，而不发生信号混叠。

附录 F 车辆荷载移动速度感知处理

F.0.1 车辆荷载移动速度是影响路面力学响应的重要因素，为了分析公路结构的长期性能演变规律，必须准确获取车辆荷载的移动速度。可根据实际情况，选取基于时间差方法的移动速度感知方法或基于信号相关方法的移动速度感知方法。

F.0.2 时间差方法感知荷载移动速度的示意图如图 F.0.2 所示，其根据相同横向位置的 2 个同类别传感器的纵向距离及这 2 个传感器力学响应时程曲线出现幅值的时间差来确定车辆荷载移动速度。为了提高速度计算结果的准确性，采用多组计算结果取平均值以减小误差，具体计算公式如式 (F.0.2) 所示。

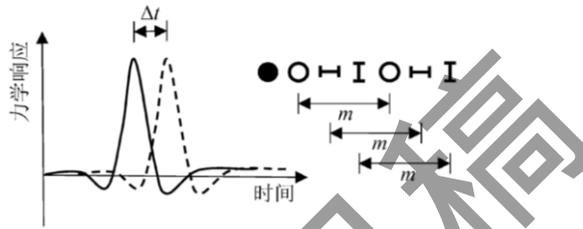


图 E.0.2 时间差方法示意图

$$v = \frac{1}{3} m \cdot \left(\frac{1}{\Delta t_1} + \frac{1}{\Delta t_2} + \frac{1}{\Delta t_3} \right) \quad (\text{F.0.2})$$

式中

- m —— 2 个同类别传感器的纵向距离；
- Δt_1 —— 2 个竖向应变传感器力学响应时程曲线出现峰值的时间差；
- Δt_2 —— 2 个纵向应变传感器力学响应时程曲线出现峰值的时间差；
- Δt_3 —— 2 个横向应变传感器力学响应时程曲线出现峰值的时间差。
- v —— 车辆荷载移动速度

F.0.3 在信号处理中，通常通过一个或多个信号与参考信号进行比较，来探讨信号之间的相似性，并从中提取额外的信息，该方法为信号相关方法。对于能量信号 $x[n]$ 和 $y[n]$ ，它们之间的互相关序列 $r_{xy}[l]$ 可以表示为式 (F.0.3)。由此，可以根据 2 个信号之间的时移以及这 2 个信号所对应传感器的纵向距离，确定车辆荷载移动速度。

$$r_{xy}[l] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]y[n-l] \quad l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (\text{F.0.3})$$

式中

- l —— 2 个信号之间的时移。若 l 为正， $y[n]$ 相对于 $x[n]$ 向右移动了 l 个样本；反之，若 l 为负， $y[n]$ 相对于 $x[n]$ 向左移动了 l 个样本。

F.0.4 时间差方法中，若信号噪声存在时，力学响应峰值时间不易获取，而信号相关方法考虑 2 个相同传感器的力学响应时程曲线的整体相似性，可以轻易得出其中一个时程曲线相对另一

个时程曲线的延迟时间，便于编程批量计算，可广泛用于海量监测数据处理分析。

征求意见稿

附录 G 路面各层模量反算评估

G.0.1 依据路面响应监测数据实现路面各层模量评估时，可结合实际监测需求及现场布设条件，采用图 G.0.1 所推荐的传感器布设方案。在沥青路面的各层层底均布置 1 个压力传感器来监测竖向应力，在其中任意一层层底布置 1 个应变传感器（横向、纵向、竖向均可）来监测应变，作为力学响应感应模块；在各层层底布设温度传感器作为路面环境感应模块；在其中任意一层层底布设水平应变传感器矩阵作为随机荷载感应模块，实现对随机荷载横向偏移位置和速度的识别（参考附录 E 和附录 F）；并配置动态称重系统，以获取车辆轴型及轴重等信息。

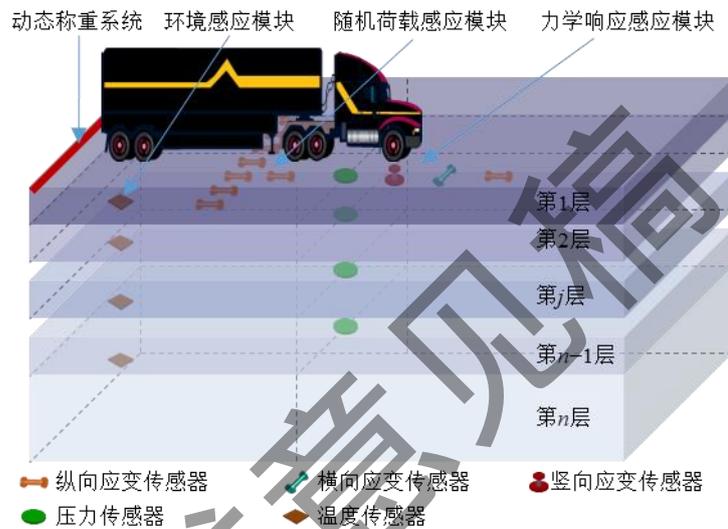


图 G.0.1 传感器布置方案示意图

G.0.2 路面各层模量反算评估流程如图 G.0.2 所示。根据弹性层状体系理论，对于给定沥青路面结构和荷载条件，各层层底的竖向应力只与各层之间的模量比相关；而各层层底的三向应变不仅与各层之间的模量比相关，而且与所在层的模量相关。因此，路面各层模量反算评估流程分为 3 步：（1）利用动态称重系统和随机荷载感应模块，获取车辆荷载的轴型、轴重、横向偏移位置、速度等信息；（2）假定各层模量比，利用力学响应感应模块中的压力传感器，获取各层层底竖向应力幅值，并基于弹性层状体系理论，以测试得到的各层层底竖向应力幅值与理论计算得到的各层层底竖向应力幅值相一致为准则，不断迭代计算，以获取各层模量比；（3）假定力学响应感应模块中布置应变传感器的结构层模量，利用应变传感器获取应变幅值，并基于弹性层状体系理论，以测试得到的应变幅值与理论计算得到的应变幅值相一致为准则，不断迭代计算，以获取该结构层模量。由此路面各层模量均可反算得到。

G.0.3 利用随机荷载感应模块识别得到的车速和路面环境感应模块测试得到的沥青层温度，结合反算得到的沥青层模量，可进一步分析沥青层的黏弹特性。

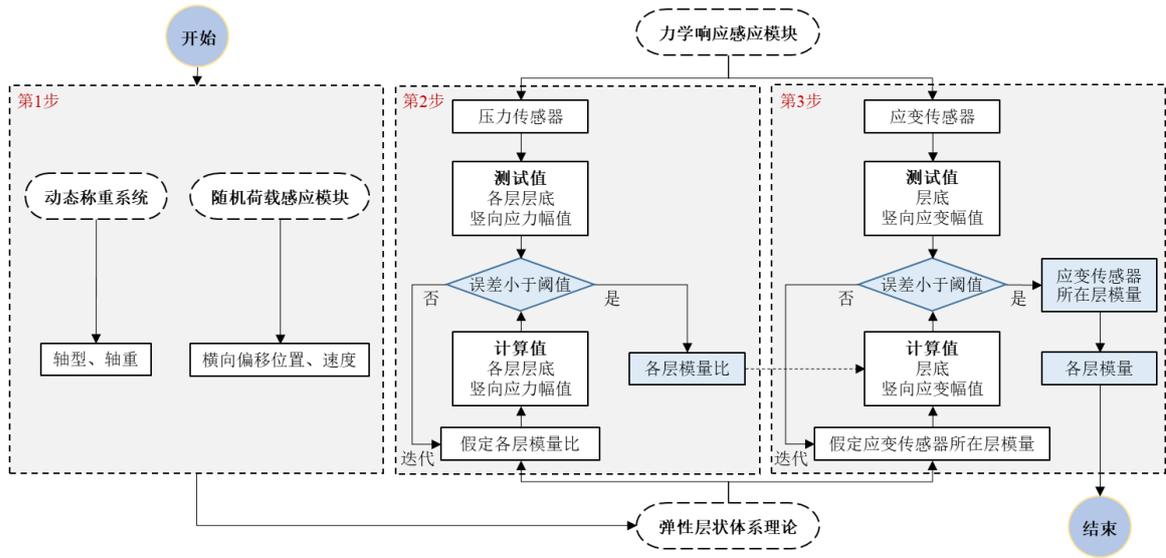


图 G.0.2 多层弹性体系解耦模量反演流程图

征求意见稿

附录 H 公路沥青路面性能评估

H.1 沥青混合料层疲劳开裂性能

H.1.1 基于公路沥青路面响应监测数据，结合公路沥青混合料层疲劳寿命评估模型对沥青混合料层疲劳性能进行评估，计算流程图如图 H.1.1 所示。

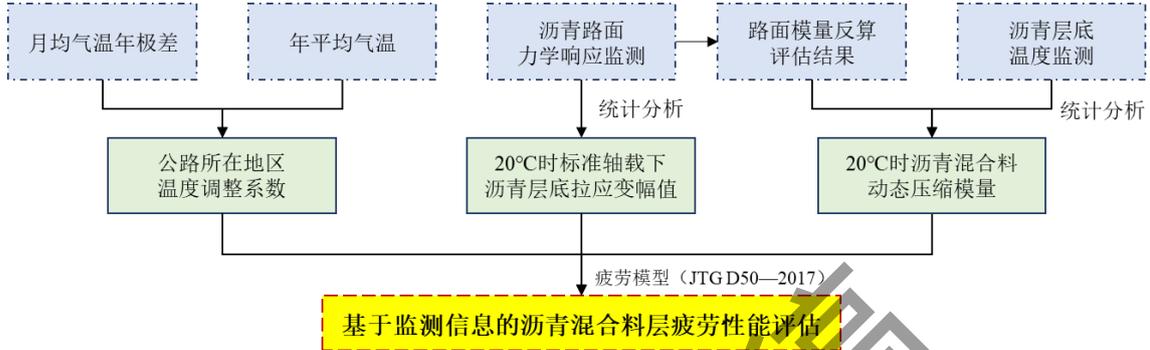


图 H.1.1 沥青混合料层疲劳性能评估流程图

H.1.2 沥青混合料层疲劳寿命评估模型的具体计算公式如式 (H.1.2-1) 所示。

$$N_{f1} = 6.32 \times 10^{15.96 - 0.29\beta} k_a k_b k_{T1}^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon_a} \right)^{3.97} \left(\frac{1}{E_a} \right)^{1.58} (VFA)^{2.72} \quad (\text{H.1.2-1})$$

式中

N_{f1} —— 沥青混合料层疲劳开裂寿命 (轴次);

β —— 目标可靠指标, 根据公路等级按表 H.0.2-1 取值;

k_a —— 季节性冻土地区调整系数, 按表 H.0.2-2 内插法确定;

k_b —— 疲劳加载模式系数, 按式(H.0.2-2)计算;

$$k_b = \left[\frac{1 + 0.3E_a^{0.43} (VFA)^{-0.85} e^{0.024h_a - 5.41}}{1 + e^{0.024h_a - 5.41}} \right]^{3.33} \quad (\text{H.0.2-2})$$

E_a —— 沥青混合料 20 合时的动态压缩模量;

VFA —— 沥青混合料的沥青饱和度(%);

h_a —— 沥青混合料层厚度 (mm);

k_{T1} —— 温度调整系数, 应符合《公路沥青路面设计规范》 JTG D50 符合《公路的规范要求计算;

ε_a —— 沥青混合料层层底拉应变 (10^{-6})。

表 H.1.2-1 目标可靠度和目标可靠指标

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
------	------	------	------	------	------

目标可靠度 (%)	95	90	85	80	70
目标可靠指标 β	1.65	1.28	1.04	0.84	0.52

表 H.1.2-2 季节性冻土冻区调整系数

冻区	重冻区	中冻区	轻冻区	其他地区
冻结指数 F ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)	$\geq^{\circ}\text{C}$ 指数土	2000 ~ 800	800 ~ 50	≤ 00
k_a	0.60 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80	0.80 ~ 1.00	1.00

H.1.3 假定在每一服役年内路面状况基本不变，通过计算每年当量设计轴载累计作用次数与基于每年监测数据获得的沥青混合料层疲劳寿命的比值，确定每年的疲劳损伤度；再通过逐年疲劳损伤度的累加，得到逐年的累积疲劳损伤度。

H.2 无机结合料稳定层疲劳开裂性能

H.2.1 基于公路沥青路面响应监测数据，结合公路无机结合料稳定层疲劳寿命评估模型对无机结合料稳定层疲劳性能进行评估，计算流程图如图 H.2.1 所示。

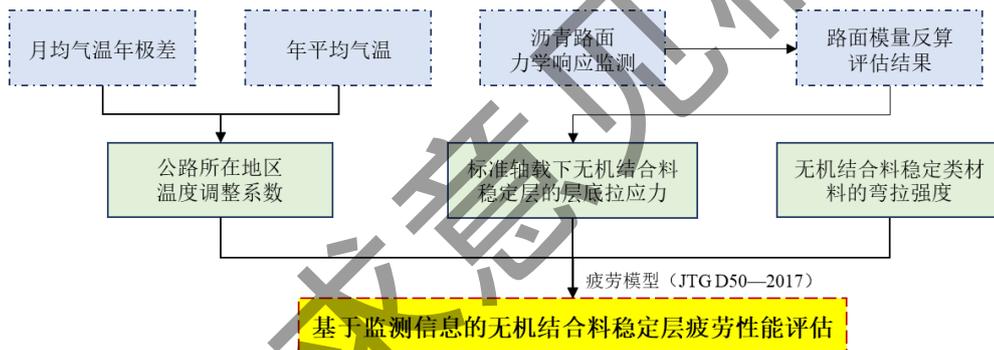


图 H.2.1 无机结合料稳定层疲劳性能评估流程图

H.2.2 无机结合料稳定层疲劳寿命预估模型的具体计算公式如式 (H.2.2-1) 所示。

$$N_{f2} = k_a k_{T2}^{-1} 10^{\frac{a-b\sigma_t}{R_s} + k_c - 0.57\beta} \quad (\text{H.2.2-1})$$

式中 N_{f2} —— 无机结合料稳定层疲劳开裂寿命 (轴次)；

R_s —— 无机结合料稳定类材料的弯拉强度；

k_{T2} —— 温度调整系数，应符合《公路沥青路面设计规范》 JTG D50 符合《公路的规范要求计算；

a, b —— 疲劳试验回归参数，按表 H.2.2-1 取值；

σ_t —— 无机结合料稳定层层底拉应力 (MPa)。

k_c —— 现场综合修正系数，按式(H.2.2-2)计算；

$$k_c = c_1 e^{c_2(h_a + h_b)} + c_3 \quad (\text{H.2.2-2})$$

c_1, c_2, c_3 —— 参数，按 H.2.2-2 取值；

h_b —— 计算点以上无机结合料稳定层厚度 (mm)；

表 H.2.2-1 无机结合料稳定层疲劳性能评估模型参数

材料类型	a	b
无机结合料稳定粒料	13.24	12.52
无机结合料稳定土	12.18	12.79

表 H.2.2-2 现场综合修正系数 k_c 相关参数

材料类型	新建路面结构层或改建工程既有路面结构层		改建工程加铺层	
	无机结合料稳定粒料	无机结合料稳定土	无机结合料稳定粒料	无机结合料稳定土
C_1	14.0	35.0	18.5	21.0
C_2	-0.0076	-0.0156	-0.01	-0.0125
C_3	-1.47	-0.83	-1.32	-0.82

H.2.3 假定在每一服役年内路面状况基本不变，通过计算每年当量设计轴载累计作用次数与基于每年监测数据获得的无机结合料稳定层疲劳寿命的比值，确定每年的疲劳损伤度；再通过逐年疲劳损伤度的累加，得到逐年的累积疲劳损伤度。

H.3 沥青混合料层永久变形量

H.3.1 基于公路沥青路面响应监测数据，结合公路沥青混合料层永久变形量评估模型对沥青混合料层永久变形量进行预估，计算流程图如图 H.3.1 所示。

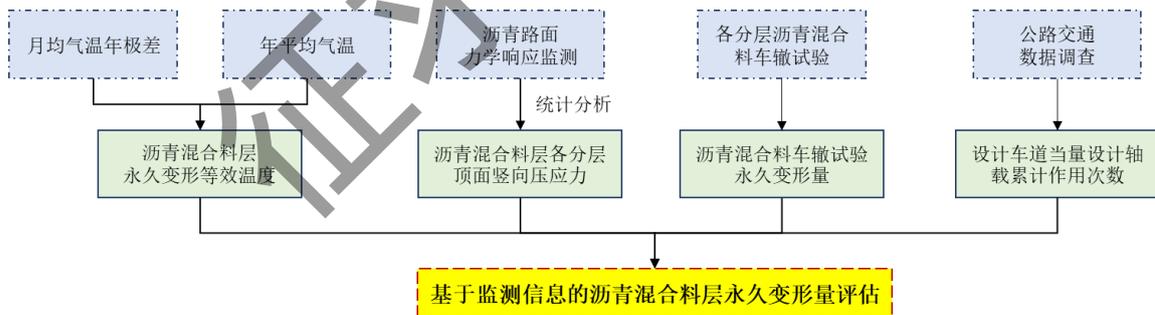


图 H.3.1 沥青混合料层永久变形量评估流程图

H.3.2 沥青混合料层永久变形量评估模型的具体计算公式如式 (H.2.3-1) 所示。

$$\begin{cases} R_a = \sum_{i=1}^n R_{ai} \\ R_{ai} = 2.31 \times 10^{-8} k_{Ri} T_{pef}^{2.93} p_i^{1.8} N_{e3}^{0.48} (h_i / h_0) R_{0i} \end{cases} \quad (\text{H.2.3-1})$$

式中 R_a —— 沥青混合料层永久变形量 (mm)；

- R_{ai} —— 第 i 分层永久变形量 (mm);
- n —— 分层数;
- T_{pef} —— 沥青混合料层永久变形等效温度 (°C), 应符合《公路沥青路面设计规范》 JTG D50 沥青路面设的规范要求计算;
- N_{e3} —— 设计车道上每年当量设计轴载累计作用次数;
- h_i —— 第 i 分层厚度 (mm);
- h_0 —— 车辙试验试件的厚度;
- R_{0i} —— 第 i 分层沥青混合料在试验温度为 60°C, 压强为 0.7MPa, 加载次数为 2520 次时, 车辙试验永久变形量;
- k_{Ri} —— 综合修正系数, 按式(H.2.3-2)计算;

$$\begin{cases} k_{Ri} = (d_1 + d_2 \cdot z_i) \cdot 0.9731^{z_i} \\ d_1 = -1.35 \times 10^{-4} h_a^2 + 8.18 \times 10^{-2} h_a - 14.5 \\ d_2 = 8.78 \times 10^{-7} h_a^2 - 1.5 \times 10^{-3} h_a + 0.9 \end{cases} \quad (\text{H.2.3-2})$$

- z_i —— 沥青混合料层第 i 分层深度 (mm), 第一分层取为 15mm, 其他分层为路表距离分层中心的深度;
- p_i —— 沥青混合料层第 i 分层顶面竖向压应力 (MPa);

H.3.3 基于监测数据, 计算每年当量设计轴载累计作用次数下沥青混合料层永久变形量; 并进行再逐年累加, 得到逐年的沥青混合料层永久变形量。

附录 I 监测系统验收记录表

I.0.1 单个传感器验收宜按照表 I.0.1 的样式进行记录。

表 I.0.1 单个传感器验收记录表

序号	检查项目	是否满足要求	问题描述
1	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
2	型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
3	外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
4	安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
5	性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
6	标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
7	安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
...

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

I.0.2 传感器分类验收宜按照表 I.0.2 的样式进行汇总记录。

表 I.0.2 传感器分类验收记录表

序号	传感器类型	安装数量(个)	抽检数量(个)	抽检合格率(%)	问题描述
1	类型1				
2	类型2				
...	...				

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

I.0.3 单个数据采集设备验收情况宜按照表 I.0.3 的样式进行记录。

表 I.0.3 单个数据采集设备验收记录表

序号	检查项目	是否满足要求	问题描述
1	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
2	型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
3	外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
4	安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
5	性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
6	标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
7	安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
...

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

I.0.4 数据采集设备分类验收情况宜按照表 I.0.4 的样式进行汇总记录。

表 I.0.4 数据采集设备分类验收记录表

序号	数据采集设备类型	安装数量 (个)	抽检数量 (个)	抽检合格率 (%)	问题描述
1	类型1				
2	类型2				
...	...				

验收负责人: 验收人: 记录人: 复核人: 年 月 日

I.0.5 监测站房工程质量验收情况宜按照表 I.0.5 的样式进行记录。

表 I.0.5 监测站房工程质量验收记录表

序号	检查项目	是否满足要求	问题描述
1	排水设施	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
2	设备摆放	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
3	人员操作空间	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
4	通信	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
5	电力	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
6	避雷等安全设置	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
...

验收负责人: 验收人: 记录人: 复核人: 年 月 日

I.0.6 单根线缆或单个传输设备验收情况宜按照表 I.0.6 的样式进行记录。

表 I.0.6 单根线缆或单个数据传输设备验收记录表

序号	检查项目	是否满足要求	问题描述
1	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
2	型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
3	外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
4	安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
5	性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
6	标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
7	安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
...

验收负责人: 验收人: 记录人: 复核人: 年 月 日

I.0.7 线缆和数据传输设备分类验收情况宜按照表 I.0.7 的样式进行汇总记录。

表 I.0.7 线缆和数据传输设备分类验收记录表

序号	线缆/设备类型	安装数量 (个)	抽检数量 (个)	抽检合格率 (%)	问题描述
1	类型1				
2	类型2				
...	...				

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

I.0.8 数据中心设备验收情况宜按照表 I.0.8 的样式进行记录。

表 I.0.8 数据中心设备验收记录表

序号	验收对象	检查项目	是否满足要求	问题描述
1	工作站	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		数量	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
2	显示大屏幕	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		数量	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
3	电源	编号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		型号	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		数量	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		外观	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		性能	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		标识牌	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		安装信息档案	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

I.0.9 数据中心设备分类验收情况宜按照表 I.0.9 的样式进行汇总记录。

表 I.0.9 数据中心设备分类验收记录表

序号	数据中心设备类型	安装数量 (个)	抽检数量 (个)	抽检合格率 (%)	问题描述
1	类型1				
2	类型2				
...	...				

验收负责人: 验收人: 记录人: 复核人: 年 月 日

I.0.10 监测系统试运行情况宜按照表 I.0.10 的样式进行记录。

表 I.0.10 监测系统试运行情况记录表

检查项目类型	检查项目	要求	是否满足要求	问题描述
试运行时长	起: _年_月_日_时_分 止: _年_月_日_时_分	≥3个月	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
功能和性能	功能完整性	满足要求	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
	系统稳定性	≥95%	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
	数据完整率	≥95%	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
	数据同步性	静态<30ms 动态<10ms	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	

验收负责人: 验收人: 记录人: 复核人: 年 月 日

附录 J 定期检查与维护记录表

J.0.1 传感器定期检查与维护情况宜按照表 J.0.1 的样式进行记录。

表 J.0.1 传感器定期检查与维护记录表

定期检查项目	结论	设备名称与编号	存在问题及维护情况
传感器清洁情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器及接口锈蚀情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器安装是否牢固	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器及连接线、接口是否破损	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
保护装置密封情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
保护装置锈蚀破损情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器工作环境是否满足要求	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器精度、线性度、迟滞、重复性和灵敏度是否满足要求	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		

巡检周期：六个月

操作者：

时间：

年 月 日

J.0.2 数据采集设备定期检查与维护情况宜按照表 J.0.2 的样式进行记录。

表 J.0.2 数据采集设备定期检查与维护记录表

定期检查项目	结论	设备名称与编号	存在问题及维护情况
温度、湿度控制情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备清洁情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备锈蚀、积水情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备是否有异响	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备是否存在过热或烧损现象	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
是否有风从设备吹出	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备物理外观（物理撞击）	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备开机情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
数据采集情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
数据通讯情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
电源是否工作（能否正常启动、指示灯是否正常、电池供电时电量是否充足、充放电是否满足要求）	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		

巡检周期：六个月

操作者：

时间：

年 月 日

J.0.3 数据传输设备定期检查与维护情况宜按照表 J.0.3 的样式进行记录。

表 J.0.3 数据传输设备定期检查与维护记录表

定期检查项目	结论	设备名称与编号	存在问题及维护情况
线缆是否损伤	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
线缆是否老化	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
线缆有无异常升温	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
线缆有无异味现象	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
传感器与线连接松动情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
线捆绑是否松动	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
线缆两端标签是否清晰	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
网线是否松动	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
网络日志是否异常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
数据传输设备是否漏电	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
数据传输设备保护装置是否破 损、锈蚀变形	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		

巡检周期：六个月

操作者：

时间：

年 月 日

J.0.4 数据存储设备定期检查与维护情况宜按照表 J.0.4 的样式进行记录。

表 J.0.4 数据存储设备定期检查与维护记录表

定期检查项目	结论	设备名称与编号	存在问题及维护情况
清洁情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
锈蚀情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
积水情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
是否有异响	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
过热或烧损融化现象	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
是否有风从设备吹出	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
物理外观（物理撞击）	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
电池、电源、风扇模块 是否正常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
磁盘剩余空间情况（≥20%）	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
存储丢包情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
磁盘阵列或机箱是否正常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		

巡检周期：六个月

操作者：

时间：

年 月 日

J.0.5 数据显示设备定期检查与维护情况宜按照表 J.0.5 的样式进行记录。

表 J.0.5 数据显示设备定期检查与维护记录表

定期检查项目	结论	设备名称与编号	存在问题及维护情况
显示屏幕是否正常显示	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
监控画面显示是否正常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
监控画面是否减少	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
外观是否有破损	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
视频传输线路是否破损	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
供电线路是否破损	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
功能按键是否正常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
设备插口是否完好	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
备用部件是否完好	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
防护外壳是否完好	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
辐射防护装置是否完好	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		

巡检周期：六个月

操作者：

时间：

年 月 日

征求意见稿

本规程用词说明

1 为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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

征求意见稿

引用标准名录

- 1 《传感器主要静态性能指标计算方法》 GB/T 18459-2001
- 2 《计算机软件测试规范》 GB/T 15532-2008
- 3 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》 GB 50343-2012
- 4 《机械电气安全 电敏保护设备 第1部分：一般要求和试验》 GB/T 19436.1-2013
- 5 《综合布线系统工程验收规范》 GB/T 50312-2016
- 6 《公路桥梁结构监测技术规范》 JT/T 1037-2022
- 7 《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》 DL/T 593-2016
- 8 《结构健康监测系统设计标准》 CECS 333:2012
- 9 《结构健康监测系统施工及验收标准》 T/CECS 765-2020
- 10 《土木工程用光纤光栅应变传感器》 JG/T 422—2013
- 11 《数据设备用网络机柜》 YD/T 2319—2020
- 12 《气象建设项目竣工验收规范》 QX/T 31-2018
- 13 《公路沥青路面设计规范》 JTG D50-2017

征求意见稿