

公路路基路面长期性能观测站数据系统建设技术规范

Technical specification for data system construction of highway subgrade and pavement long-term performance observation station

地方标准信息服务平台

2023-02-27 发布

2023-03-27 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 数据的采集	3
4.1 数据的采集方式	3
4.2 数据采集设备	3
4.3 数据采集软件	4
4.4 数据采集格式及观测频度	4
5 数据的传输	6
5.1 传输系统设计要求	6
5.2 传输质量控制	7
6 数据的存储与管理	7
6.1 数据库构建要求	7
6.2 数据运行及安全管理	8
7 数据的处理	9
7.1 基本原则	9
7.2 数据预处理	9
7.3 数据后处理	9
8 观测站数据系统验收	10
8.1 数据传输系统验收	10
8.2 数据中心验收	10
8.3 观测系统总体验收	11
9 定期检查与维护	11
9.1 数据采集设备定期检查与维护	11
9.2 数据传输设备定期检查与维护	12
9.3 数据存储设备定期检查与维护	12
9.4 数据显示设备定期检查与维护	13
9.5 观测系统软件定期检查与维护	14
附录 A (资料性) 响应监测数据滤波压缩	15
附录 B (资料性) 响应关键信息提取分析	16
附录 C (资料性) 车辆横向偏移位置感知判别	17
附录 D (资料性) 车辆荷载移动速度感知处理	18
附录 E (资料性) 路面各层模量反算评估	20

附录 F（资料性）	公路路基路面性能评估	22
附录 G（规范性）	观测站数据系统验收记录表	26
附录 H（规范性）	定期检查与维护记录表	29

地方标准信息服务平台

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由内蒙古自治区交通运输厅提出并归口。

本文件主要起草单位：内蒙古自治区交通运输科学发展研究院、哈尔滨工业大学、中咨公路养护检测技术有限公司。

本文件主要起草人：董泽蛟、张洪伟、马宪永、王学营、赵楷文、刘恒、白亚杰、齐志鑫，刘磊、殷允飞、周涛、刘彦山、王跃山、曹丽萍、崔洪涛、樊拥民、于艳波、李瑞平、刘洪辉、董艳颖、全蔚闻、王彤旭，张冀雯、张宇杰、宋洪阳、郭晶晶。

地方标准信息服务平台

公路路基路面长期性能观测站数据 系统建设技术规范

1 范围

本文件规定了公路路基路面长期性能观测站数据系统建设的基本要求，包括数据的采集、数据的传输、数据的存储与管理、数据的处理、观测站数据系统验收以及定期检查与维护等技术要求。

本文件适用于公路建设与运营期间的路基路面长期性能观测站数据系统设计、搭建与应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15532 计算机软件测试规范

GB/T 18459 传感器主要静态性能指标计算方法

GB/T 19436.1 机械电气安全 电敏保护设备 第1部分：一般要求和试验

DL/T 593 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

JTG D50 公路沥青路面设计规范

YD/T 2319 数据设备用网络机柜

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

公路响应观测 highway 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公路内部结构响应及环境的变化，进而对公路力学行为、长期服役性能进行评估，为公路设计方法的完善、养护与管理决策的制定提供依据和指导。

3.2

观测频度 monitoring frequency

单位周期内测试被观测对象的次数。

3.3

BOTDR brillioun optical time domain reflectometer

布里渊散射光时域反射技术，通过探测光脉冲后向布里渊散射光功率或频移的时域分布，实现对温度或应变等的分布式传感。

3.4

集中采集 centralized data collection

数据采集设备空间集中且数据采集时间同步的一种数据采集方式。

3.5

分散采集 discrete data collection

数据采集设备空间分散且数据采集时间非同步的一种数据采集方式。

3.6

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。

3.7

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软硬件设备，通常由终端设备、网络互联设备和传输介质组成。

3.8

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。

3.9

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。

3.10

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。

3.11

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。

3.12

观测站数据系统 observation station data system

大量数据组成的数据集及其组织管理实体，用于采集、传输、存储管理以及处理公路路基路面长期性能监测信息。

3.13

观测系统硬件 hardware of monitoring system

用于环境与结构信息感知、采集、传输、存储和显示的所有实体部件和设备的统称。

3.14

观测系统软件 software of monitoring system

用于环境与结构信息感知、采集、传输、存储和显示以及结构响应分析、环境与结构信息显示的计算机指令集合。

4 数据的采集

4.1 数据的采集方式

应根据公路路基路面观测站的观测范围、测点的位置和数量、观测设备类型，合理设计数据采集方式，并满足下列要求：

- a) 测点及观测设备较少、观测范围较集中的观测站，宜采用集中采集的数据采集方式；
- b) 测点及观测设备较多、观测范围较分散的观测站，宜采用分散采集或混合采集的数据采集方式。

4.2 数据采集设备

4.2.1 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：

- a) 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；
- b) 模拟电压信号宜选用标准工业信号，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；
- c) 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。

4.2.2 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：

- a) 数据采集模块转换分辨力应满足传感器分辨率及观测要求，应符合 GB/T 18459 的规定；
- b) 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理和采集；
- c) 电信号应进行光电隔离，以增强抗干扰能力；
- d) 电阻类传感器应选用惠斯通电桥调理放大信号；
- e) 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。

4.2.3 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。

4.2.4 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、接地技术及屏蔽技术，以提高信噪比。

4.2.5 数据采集设备应避免设置在潮湿、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，保证在低高温、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 GB/T 19436.1 和 DL/T 593 的相关防护设计规定执行。

4.3 数据采集软件

4.3.1 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。

4.3.2 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。

4.3.3 应对传感器输出信号与采集传输设备运行状况进行观测和识别。

4.3.4 应能接受计算机传送观测参数调整的指令，并能进行相关的观测过程或观测数据处理参数的调整，并记录、备份相关的调整指令。

4.3.5 宜具备部分后端数据分析处理系统的功能，或留出便利的数据接口。

4.4 数据采集格式及观测频度

4.4.1 结合观测指标的技术特点，可选择实时观测或周期性观测的方式进行观测，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宜根据车速确定，应不小于 200 Hz，静态传感器的采集频率应不少于 1 次/10 min。

4.4.2 公路路基路面长期性能观测站数据应包括交通荷载信息、外界气象环境信息、路面内部结构响应及环境信息。

4.4.3 结构响应信息的各类观测指标及观测频度应满足表 1 要求，数据采集格式应满足表 2、表 3、表 4 的要求。

表1 结构响应信息观测指标及频度

观测指标	单位	观测频度	观测方式
应力	MPa	实时观测	自动观测
应变	$\mu\epsilon$	实时观测	自动观测
竖向总变形	mm	实时观测	自动观测

表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

4.4.4 交通荷载信息的各类观测指标及观测频度应满足表5要求，数据采集格式应满足表6的要求。

表5 交通荷载信息观测指标及频度

观测指标	单位	观测频度	观测方式
车辆轴载	t	实时观测	自动观测
轴型分布	-	实时观测	自动观测

表6 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

4.4.5 公路内部环境信息的各类观测指标及观测频度应满足表7要求，数据采集格式应满足表8、表9的要求。

表7 公路内部环境信息观测指标及频度

观测指标	单位	观测频度	观测方式
温度	℃	实时观测	自动观测
湿度	%	实时观测	自动观测

表8 结构温度数据采集格式

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

表9 结构湿度数据采集格式

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

4.4.6 外界气象环境信息的各类观测指标及观测频度应满足表10要求，数据采集格式应满足表11的要求。

表10 外界气象环境信息观测指标及频度

观测指标	单位	观测频度	观测方式
大气温度	℃	实时观测	自动观测
相对湿度	%	实时观测	自动观测
气压	hPa	实时观测	自动观测
风速	m/s	实时观测	自动观测
风向	°	实时观测	自动观测
雨量	mm	实时观测	自动观测
总辐射强度	W/m ²	实时观测	自动观测
日照强度	h/d	实时观测	自动观测
直接辐射强度	W/m ²	实时观测	自动观测

表11 外界气象环境数据采集格式

时间	时刻	大气温度	相对湿度	气压	风速	风向	雨量	总辐射强度	日照强度	直接辐射强度	紫外辐射强度
年/月/日	时/分/秒	℃	%	hPa	m/s	°	mm	W/m ²	h/d	W/m ²	W/m ²

5 数据的传输

5.1 传输系统设计要求

5.1.1 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：

- 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；
- 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。

5.1.2 要求高速传输的公路路基路面长期性能观测站，应采用同步传输，仅要求低速传输的公路路基路面长期性能观测站，可采用异步传输。

5.1.3 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：

- 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；
- 对于地形复杂、物理线路布设和维护困难的环境，宜在网络允许条件下优先采用无线传输方式；
- 需要构建临时传输网络的工程现场，宜采用无线传输方式；
- 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；

- e) 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;
 - f) 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。
- 5.1.4 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:
- a) 数据采集站应至少保存最近 30 d 的观测数据做备份,宜根据工程现场条件及观测需求适当的延长数据备份时长;
 - b) 数据存储介质应根据公路沥青路面响应观测系统每天接收的数据量选取。

5.2 传输质量控制

5.2.1 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,结合设计的传输通信能力,对数据进行分包处理,以包、帧为单位实时传输。

5.2.2 开发的相应数据传输软件在设计中应采用应答模式,并且引入检校-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:

- a) 数据包应加入开始位及结束位;
- b) 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;
- c) 在每个数据段前应加入标识信息;
- d) 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。

5.2.3 应设计校验机制,在传送和接收两方都对数据进行确认:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 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。

6 数据的存储与管理

6.1 数据库构建要求

6.1.1 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,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。

6.1.2 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。

6.1.3 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。

6.1.4 数据库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。数据管理软件应能对所有观测项目、观测站设备或指定观测项目、观测站设备的观测数据在限定时间段进行回放追溯。

6.1.5 数据库应模块化架构,可对公路结构基本信息、观测系统信息和观测数据信息进行分层、分类存储和管理,宜包括公路结构基本信息子数据库、观测系统信息子数据库、观测数据子数据库和分析报表子数据库等:

- a) 公路结构基本信息子数据库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;

- b) 观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；
- c) 观测数据子数据库应存储和管理观测系统所观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；
- d) 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。

6.1.6 数据库应建立在清晰、简明、标准化的数据元上，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。

6.1.7 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。

6.1.8 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：

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

6.1.9 系统交互方式可采用人机交互、观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：

- a) 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；
- b) 观测系统可通过数据传输与控制系统将观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；
- c) 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。

6.2 数据运行及安全管理

6.2.1 数据库的工作环境应满足下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 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。

6.2.2 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。

6.2.3 数据库的维护应符合下列规定：

- a) 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，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；
- b) 数据库管理员应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；

- c) 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；
 - d) 数据库管理员应借助数据库管理系统的系统性能观测工具，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，需要通过调整参数来进一步改进数据库性能；
 - e) 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。
- 6.2.4 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：
- a) 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；
 - b) 应装备防病毒软件，并采取数据的装载、传输检查等措施；
 - c) 应通过控制网络的安全性措施来提高数据的安全性；
 - d) 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。

7 数据的处理

7.1 基本原则

- 7.1.1 应对采集的数据进行适当的处理，包括数据的预处理和后处理。
- 7.1.2 数据处理软件应能实现数据预处理和后处理功能。
- 7.1.3 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。
- 7.1.4 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。
- 7.1.5 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，宜仅存储满足观测要求、具备分析价值的数据库。

7.2 数据预处理

- 7.2.1 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。
- 7.2.2 应正确判断异常数据是由结构状态变化引起还是观测系统自身异常引起，应剔除由观测系统自身引起的异常数据。
- 7.2.3 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。
- 7.2.4 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。静态观测宜采用数据求平均值处理方法进行滤波降噪，动态观测应在各级硬件设备终端、上位机软件中设置数字滤波器。
- 7.2.5 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，且应不影响频谱分析的精度。
- 7.2.6 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。
- 7.2.7 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。
- 7.2.8 公路路基路面响应观测数据的滤波降噪、数据压缩等处理方法见附录 A。

7.3 数据后处理

- 7.3.1 需要进行频谱分析的数据，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。

7.3.2 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。

7.3.3 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。

7.3.4 基于经过预处理后的公路路基路面响应观测数据，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，具体方法见附录 B。

7.3.5 结合优化的传感器布设方案，依据公路路基路面响应观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见附录 C。

7.3.6 结合优化的传感器布设方案，依据公路路面响应观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见附录 D。

7.3.7 结合优化的传感器布设方案，依据公路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见附录 E。

7.3.8 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参见附录 F。

8 观测站数据系统验收

8.1 数据传输系统验收

8.1.1 数据传输系统的验收宜在系统安装完成后 7 d 内进行。

8.1.2 所有线缆和数据传输设备均应进行连通性检验。

8.1.3 数据传输系统的验收应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 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%；
- e) 数据传输系统的安装信息档案应内容完整且数据准确。

8.1.4 数据传输系统的验收按照附录 G 中表 G.1 和表 G.2 的格式进行记录和汇总。

8.2 数据中心验收

8.2.1 数据中心的验收宜在数据中心观测平台搭建完成后 7 d 内进行。

8.2.2 数据中心内部的所有设备均应进行检验，合格率应 100%。

8.2.3 数据中心的验收应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 引出线缆和插接接头的保护措施应符合标准 YD/T 2319 的安装要求规定；

- d) 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%；
- e) 数据中心的安装信息档案应内容完整且数据准确。

8.2.4 数据中心的验收按照附录 G 中表 G.3 和表 G.4 的格式进行记录和汇总。

8.3 观测系统总体验收

8.3.1 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。

8.3.2 观测系统总体验收主要对系统性能进行验收，宜在观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，无相关规定时不应少于 3 个月，系统软件的调试验收应符合标准 GB/T 15532 的规定。

8.3.3 观测系统试运行情况按照附录 G 中表 G.5 的格式记录，试运行结果应符合下列规定：

- a) 观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；
- b) 观测系统的无故障工作时间不应小于 95% 预定使用时间；
- c) 观测数据的完整率不应小于 95%；
- d) 观测数据采集、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。

9 定期检查与维护

9.1 数据采集设备定期检查与维护

9.1.1 数据采集设备的外观检查应包括：

- a) 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、防尘及防冰冻措施；
- b) 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；
- c) 检查观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。

9.1.2 数据采集设备的性能检查应包括：

- a) 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；
- b) 检查数据采集设备能否稳定采集到观测数据，并检查观测数据是否合理；
- c) 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。

9.1.3 数据采集设备的运行操作管理应满足下列规定：

- a) 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；
- b) 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。

9.1.4 数据采集设备的运行维护管理应满足下列规定：

- a) 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；

- b) 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；
- c) 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，在寒冷季节，宜增设保温装置及增加检查频率，避免数据采集中断；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 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。

9.1.5 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H中表H.1进行记录。

9.2 数据传输设备定期检查与维护

9.2.1 数据传输设备的外观检查应满足下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 数据传输设备的保护装置应无破损、锈蚀和变形。

9.2.2 数据传输设备的性能检查应满足下列规定：

- a) 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℃～35℃范围，相对湿度宜在20%～80%范围内；
- b) 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。

9.2.3 数据传输设备的运行操作管理应满足下列规定：

- a) 应对登录操作系统的用户进行身份标识和鉴别；
- b) 严格按照数据传输设备使用说明进行操作，确保设备安全和有效运行。

9.2.4 数据传输设备的运行维护管理应满足下列规定：

- a) 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查日志；
- b) 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；
- c) 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，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；
- d) 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。

9.2.5 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H中表H.2进行记录。

9.3 数据存储设备定期检查与维护

9.3.1 数据存储设备的外观检查应包括：

- a) 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；
- b) 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。

9.3.2 数据存储设备的性能检查应包括：

- a) 存储设备宜通过定期查询历史观测数据是否完整，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；
- b) 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；
- c) 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。

9.3.3 数据存储设备的保养与维护应满足下列规定：

- a) 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；
- b) 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%；
- c) 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；
- d) 数据存储设备出现人为或自然灾害引起无法修复的故障、无法满足观测数据实时存储需求时，应对设备进行升级或替换；
- e) 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。

9.3.4 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 H 中表 H.3 进行记录。

9.4 数据显示设备定期检查与维护

9.4.1 数据显示设备包括位于观测中心的显示大屏和观测系统显示设备，以及位于数据采集站的工控机显示设备。

9.4.2 数据显示设备的外观检查应包括：

- a) 显示设备的外壳是否存在裂缝、孔洞等破坏；
- b) 显示屏表面是否存在划痕、裂缝等破坏；
- c) 显示设备的各功能按键是否存在破损、掉落等破坏；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 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。

9.4.3 数据显示设备的性能检查应包括：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 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，在进行设备调试。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。

9.4.4 数据显示设备的保养与维护应满足下列规定：

- a) 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，观测中心的显示设备应进行室内温湿度调节；
- b) 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；
- c) 显示设备宜定期关机休息，避免连续长期工作；
- d) 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；
- e) 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应由专业技术人员操作。

9.4.5 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H中表H.4进行记录。

9.5 观测系统软件定期检查与维护

9.5.1 观测系统软件的外观及性能检查应满足下列规定：

- a) 观测系统软件图标应正常，双击后应能正常打开程序并运行；
- b) 程序界面不应出现乱码、花屏等现象；
- c) 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；
- d) 应对所有来自数据采集系统的观测数据进行选择、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。

9.5.2 观测系统软件的维护应满足下列规定：

- a) 不应随意删除或修改软件，应防止误删或错删等情况；
- b) 应定期对系统进行备份，并对重要数据加强备份保护；
- c) 计算机出现故障时，应首先查杀计算机内存和硬盘病毒；
- d) 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；
- e) 应对注册账号和密码妥善保管，不应随意泄露给其他人员。

9.5.3 观测系统软件的定期检查频率应不小于2次/年。

附录 A

(资料性)

响应监测数据滤波压缩

A.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进行计算处理，具体计算公式如式(A.1)所示。

$$x_{ave} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (s + d_i) = s + \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (d_i) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

x_{ave} —— 移动平均滤波后提取结果；

x_i —— 原始连续采集观测数据；

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去除，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。

A.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($1 \times n$ 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(A.2)确定，将小于阈值的小波系数置为0，构造出稀疏矩阵($1 \times v$ 的矩阵，其中 v 远小于 n)。

$$\delta = \hat{\sigma} \sqrt{2 \ln n} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

δ —— 阈值；

$\hat{\sigma}$ —— 噪声水平；

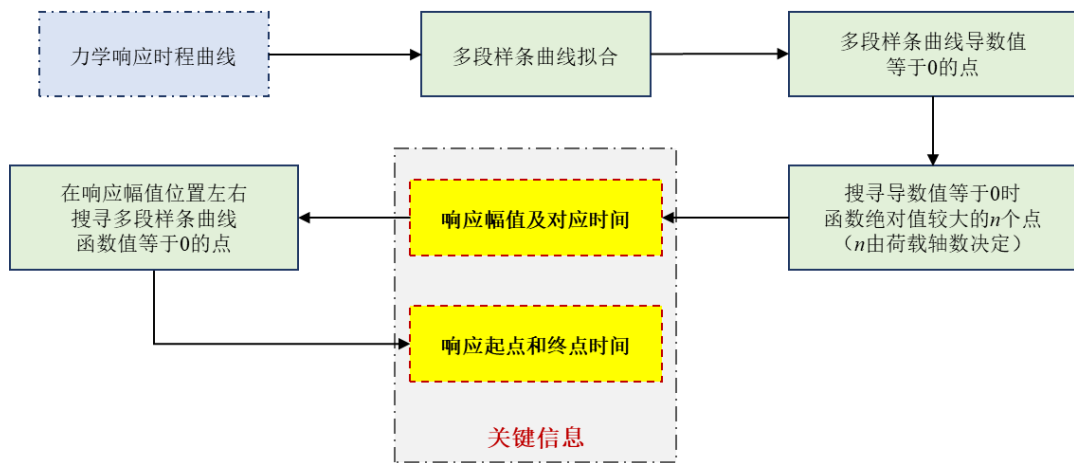
n —— 信号长度。

- 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 B
(资料性)
响应关键信息提取分析

B.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。

B.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 B.1 所示。

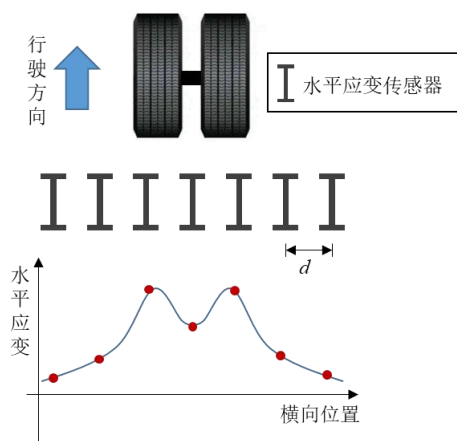


图B.1 力学响应关键信息提取方法示意图

地方标准信息服务平台

附录 C
(资料性)
车辆横向偏移位置感知判别

C.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 C.1 所示。



图C.1 车辆横向偏移位置感知示意图

C.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。

C.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。

地方标准信息服务平台

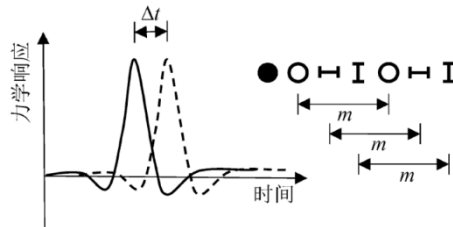
附录 D

(资料性)

车辆荷载移动速度感知处理

D.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，应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或信号相关方法的移动速度感知方法。

D.2 时间差方法感知荷载移动速度的示意图如图 D.1 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(D.1)所示。



图D.1 时间差方法示意图

$$v = \frac{1}{3}m \cdot \left(\frac{1}{\Delta t_1} + \frac{1}{\Delta t_2} + \frac{1}{\Delta t_3} \right) \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- v —— 2 个同类别传感器的纵向距离 (m)；
- m —— 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 (s)；
- Δt_1 —— 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 (s)；
- Δt_2 —— 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 (s)。
- Δt_3 —— 车辆荷载移动速度 (m/s)。

D.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(D.2)。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。

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

式中：

- l —— 2 个信号之间的时移。若 l 为正，相对于向右移动了 1 个样本；反之，若 l 为负，相对于向左移动了 1 个样本。

D.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，可广泛用于海量观测数据处理分析。

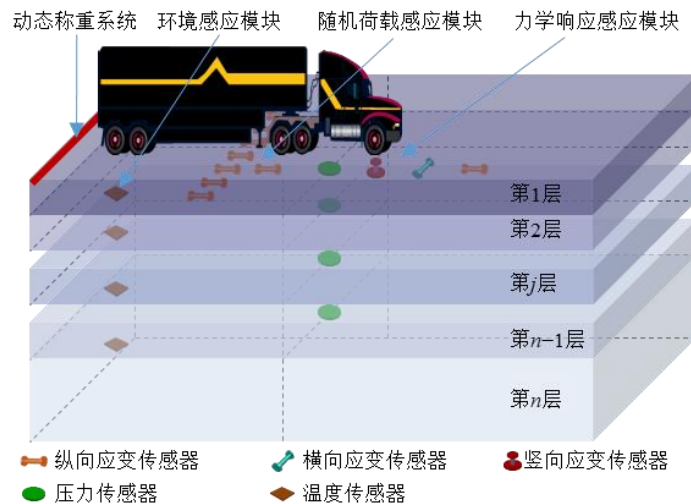
地方标准信息服务平台

附录 E

(资料性)

路面各层模量反算评估

E.1 依据公路路面响应观测数据实现路面各层模量评估时,可结合实际观测需求及现场布设条件,采用图 E.1 所推荐的传感器布设方案。在路面的各层层底均布置 1 个压力传感器来观测竖向应力,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)来观测应变,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(参见附录 C 和附录 D),并配置动态称重系统,以获取车辆轴型及轴重等信息。

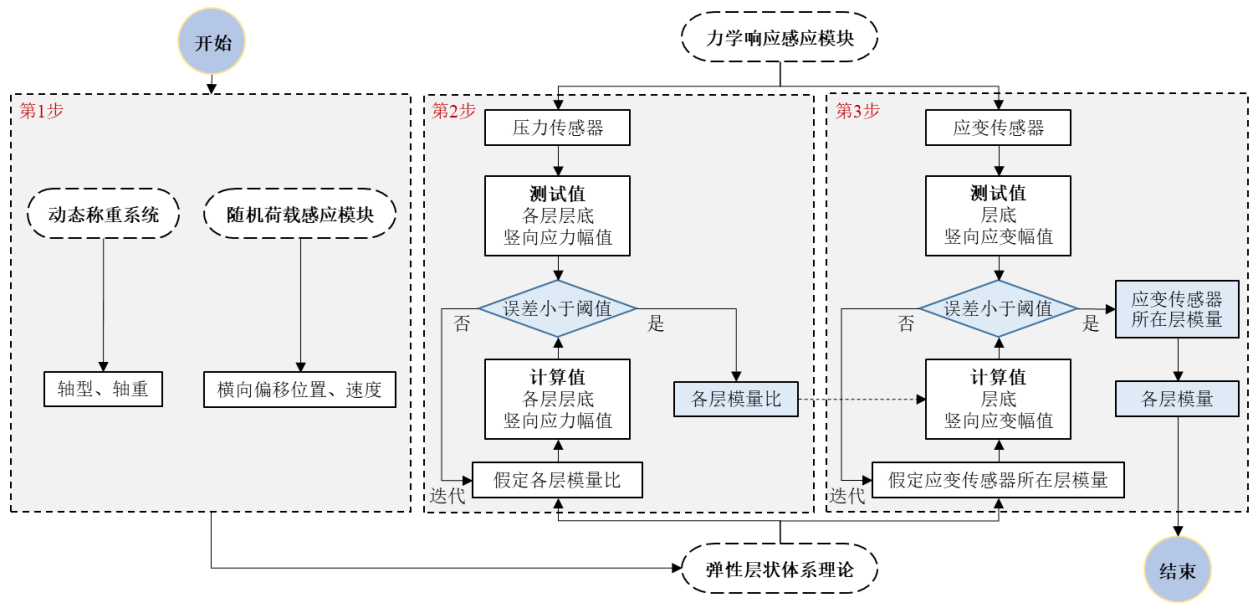


图E.1 传感器布置方案示意图

E.2 路面各层模量反算评估流程如图 E.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。路面各层模量反算评估流程分为 3 步:

- 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;
- 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,通过迭代计算获取各层模量比;
- 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,通过迭代计算获取该结构层模量。由此路面各层模量均可反算得到。

E.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。



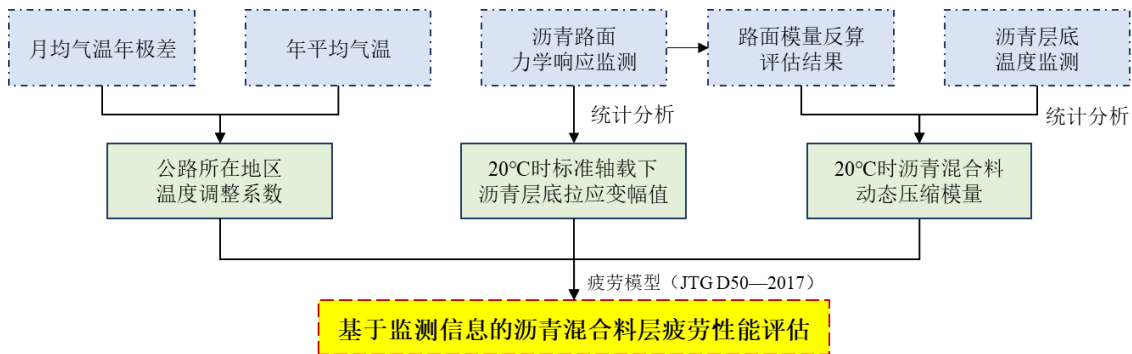
图E.2 多层弹性体系解耦模量反演流程图

地方标准信息服务平台

附 录 F
(资料性)
公路路基路面性能评估

F.1 公路路基路面性能评估

F.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F.1所示。



图F.1 沥青混合料层疲劳性能评估流程图

F.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(F.1)所示。

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

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 F.1 取值；
- k_a —— 季节性冻土地区调整系数，按表 F.2 内插法确定；
- k_b —— 疲劳加载模式系数，按式(F.2)计算；

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

式中：

- E_a —— 沥青混合料 20 °C 的动态压缩模量(MPa)；
- 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 JTG D50 要求计算；
- ε_a —— 沥青混合料层层底拉应变(10^{-6})。

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

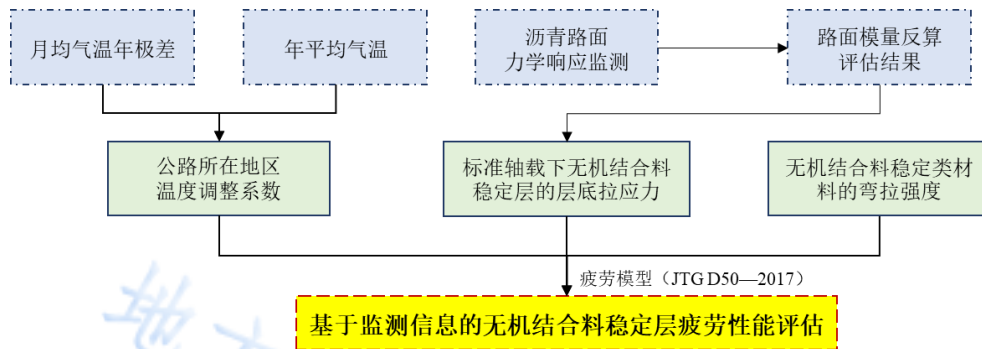
表F.2 季节性冻土冻区调整系数

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

F.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。

F.2 无机结合料稳定层疲劳开裂性能

F.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F.2所示。



图F.2 无机结合料稳定层疲劳性能评估流程图

F.2.2 无机结合料稳定层疲劳性能评估流程图

$$N_{f2} = k_a k_{T2}^{-1} 10^{\frac{a-b\sigma_i}{R_s} + k_c - 0.57\beta} \dots\dots\dots (F.3)$$

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 JTG D50 要求计算；
- a, b —— 疲劳试验回归参数，按表 F.3 取值；
- σ_i —— 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(F.4)计算。

$$k_c = c_1 e^{c_2(h_u+h_b)} + c_3 \dots\dots\dots (F. 4)$$

式中：

c_1, c_2, c_3 —— 参数，按表 F. 4 取值；

h_b —— 计算点以上无机结合料稳定层厚度(mm)。

表F.3 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

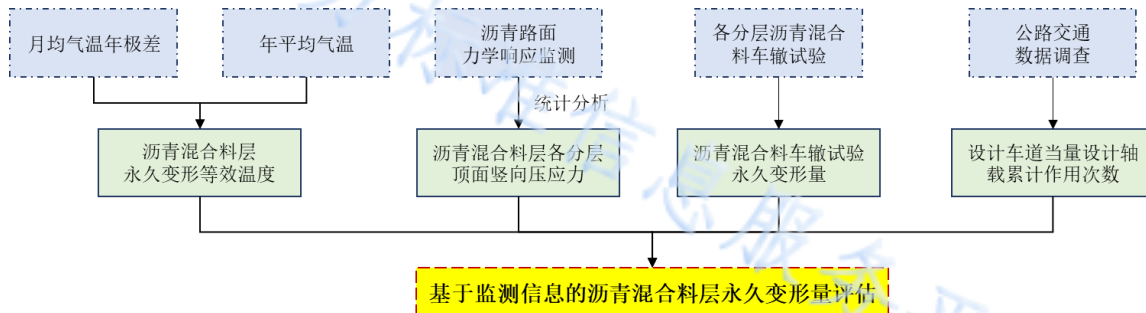
表F.4 现场综合修正系数 k_c 相关参数

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

F. 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。

F. 3 沥青混合料层永久变形量

F. 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F. 3所示。



图F.3 沥青混合料层永久变形量评估流程图

F. 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(F. 5)所示。

$$\begin{cases} R_a = \sum_{i=1}^n R_{ai} \\ R_{ai} = 2.31 \times 10^{-8} k_{Ri} T_{pef}^{2.93} P_i^{1.8} N_{e3}^{0.48} (h_i / h_0) R_{0i} \end{cases} \dots\dots\dots (F. 5)$$

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 JTG D50 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 0.7 MPa，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(F.6)计算。

$$\begin{cases} k_{Ri} = (d_1 + d_2 \cdot z_i) \cdot 0.9731^{z_i} & \dots\dots\dots (F.6) \\ d_1 = -1.35 \times 10^{-4} h_a^2 + 8.18 \times 10^{-2} h_a - 14.5 \\ d_2 = 8.78 \times 10^{-7} h_a^2 - 1.5 \times 10^{-3} h_a + 0.9 \end{cases}$$

式中：

z_i —— 沥青混合料层第 i 分层深度(mm)，第一分层取为 15 mm，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)。

F.3.3 基于观测数据，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，并进行逐年累加，得到逐年的沥青混合料层永久变形量。

地方标准信息服务平台

附 录 G

(规范性)

观测站数据系统验收记录表

G.1 单根线缆或单个传输设备验收情况宜按照表 G.1 的样式进行记录。

表G.1 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

G.2 单线缆和数据传输设备分类验收情况宜按照表 G.2 的样式进行记录。

表G.2 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

G.3 单数据中心设备验收情况宜按照表 G.3 的样式进行记录。

表G.3 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

G.4 数据中心设备分类验收情况宜按照表 G.4 的样式进行记录。

表G.4 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

G.5 观测系统试运行情况宜按照表 G.5 的样式进行记录。

表G.5 观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<30 ms 动态<10 ms	<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

地方标准信息服务平台

附 录 H
(规范性)
定期检查与维护记录表

H.1 数据采集设备定期检查与维护情况宜按照表 H.1 的样式进行记录。

表H.1 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
温度控制情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
湿度控制情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
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		
虫鼠情况	<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		
开机情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
采集情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常		
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、市电时电量是否充足、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：

起止时间：

年 月 日

H.2 数据传输设备定期检查与维护情况宜按照表 H.2 的样式进行记录。

表H.2 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：

起止时间：

年 月 日

H.3 数据存储设备定期检查与维护情况宜按照表 H.3 的样式进行记录。

表H.3 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（ $\geq 20\%$ ）	<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：

起止时间：

年 月 日

H.4 数据显示设备定期检查与维护情况宜按照表 H.4 的样式进行记录。

表H.4 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：

起止时间：

年 月 日

地方标准信息服务平台