CECSxxx-202x

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

内嵌感知系统智慧道路建设运维技术标准

Standard for Construction, Operation and Maintenance of Smart Highways with Embedded Sensing Systems

（征求意见稿）

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

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

内嵌感知系统智慧道路建设运维技术标准

Standard for Construction, Operation and Maintenance of Smart Highways with Embedded Sensing Systems

T/CECS G：XXXX-202X

征求意见稿

主编单位：中国交通建设集团有限公司

中交一公局集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

XXX 出版社

前 言

《内嵌感知系统智慧道路建设运维技术标准》（以下简称“标准”）根据中国工程建设标准化协会公路分会印发的《关于开展2025年第二批工程建设标准化协会标准（CECSG）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2025] 310号）的要求进行编制。标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分5章和1个附录，主要内容包括总则、术语、基本规定、布设与施工、运营与维护；附录A规定内嵌感知系统关键过程检查记录要求。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由中国交通建设集团有限公司、中交一公局集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送中国交通建设集团有限公司（地址：北京市西城区德胜门外大街85号，邮编：100032）。

主编单位：中国交通建设集团有限公司

中交一公局集团有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

征求意见稿

目 次

1 总则 1
2 术语 2
3 基本规定 3
4 布设与施工 5
4.1 施工准备与进场检查 5
4.2 测量定位与布设 6
4.3 固定与线路保护 7
4.4 摊铺施工 8
4.5 碾压施工 8
4.6 施工过程质量控制与异常处置 9
4.7 交工验收 10
5 运营与维护 13
5.1 一般规定 13
5.2 运行状况检查 13
5.3 运行状态评价 13
5.4 故障诊断与维护 14
附录 A 内嵌感知系统关键过程检查记录 16
本标准用词用语说明 17

征求意见稿

Contents

1 General provisions 1
2 Terms 2
3 Evaluation and rating 3
4 Layout and construction 5
4.1 Construction preparation and entry inspection 5
4.2 Survey positioning and layout 6
4.3 Fixation and route protection 7
4.4 Paving construction 8
4.5 Rolling construction 8
4.6 Construction process quality control and exception handling 9
4.7 Completion acceptance 10
5 Operation and maintenance 13
5.1 General requirements 13
5.2 Operational condition inspection 13
5.3 Operational state evaluation 13
5.4 Fault diagnosis and maintenance 14
Appendix A Key process inspection records for embedded sensing systems 16
Explanation of Terms and Phrases Used in This Standard 17

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范公路沥青路面结构内嵌式感知系统的布设、施工、运营和维护，提升智慧公路感知数据可靠性及系统长期服役能力，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、改扩建及养护工程中公路沥青路面结构内嵌式感知系统的建造与维护。

条文说明

本条规定的养护工程是指结合结构层翻修、加铺等工程，在新铺筑结构层施工过程中同步设置感知系统；在已成型路面钻孔、开槽后新增感知元件的施工工艺不在本标准规定范围内。既有系统在运营期的养护协同保护仍应执行第 5 章规定。

1.0.3 公路沥青路面结构内嵌式感知系统的建造与运维除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 内嵌感知系统 embedded sensing system

由内嵌式感知元件、连接与保护部件、数据采集设备、供电与通信设备及必要的数据接口等组成，集成设置于智慧公路沥青路面结构及其配套设施中，用于获取、传输和管理道路结构服役状态信息的系统。

2.0.2 内嵌式感知元件 embedded sensing element

嵌入公路沥青路面结构内部，用于直接感知应力、应变、温度、湿度、压力、振动等物理量，并将其转换为电信号、光信号或其他可采集信号的感知元件。

2.0.3 封装结构 encapsulation structure

为提高内嵌式感知元件在运输、安装、施工及运营过程中的抗压、抗剪、防水、耐高温和耐久性能，对感知元件本体及连接部位进行防护形成的结构。

2.0.4 系统存活率 system survival rate

在规定检查阶段，能够正常工作且输出数据符合该阶段判定要求的内嵌式感知元件数量占该阶段规定统计基数的百分比。

2.0.5 初始基线 initial baseline

内嵌式感知元件在规定阶段和测试条件下取得，用于后续输出变化、零点漂移、异常和失效判断的基准数据。

2.0.6 零点漂移 zero drift

在规定参考条件下，感知元件零输入时的输出值随时间发生变化的现象。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 内嵌感知系统应按设计文件施工。施工前应核对监测目标、监测参数、元件型号、数量、点位、层位、安装方向、线路及接口要求。

3.0.2 内嵌感知系统的布设、固定和保护不得降低道路主体工程的承载能力、耐久性及压实度、平整度、结构层厚度等施工质量要求。

3.0.3 元件、线缆、接头及采集传输设备应与设计配置相符，并满足设计文件规定的目标服务期和施工环境要求。封装外观、系统连接及输出功能应通过进场检查确认，耐温、耐压和耐久性能应核查相应检测或验证资料。

条文说明

产品封装的耐高温和耐久性能不能通过现场外观检查直接判定，应结合检测资料及首件验证确认。测量温度范围与施工短时耐温能力分别核查，避免将运营期测温范围作为承受热拌混合料温度的依据。

3.0.4 施工单位应编制专项施工方案，明确与道路主体工程的工序衔接、元件安装、线路保护、检查节点和异常处置，并在施工前完成技术交底。

3.0.5 感知点位应采用唯一编号，建立点位、元件、线缆、接头、采集端口和数据通道的对应关系。无线元件应建立点位、设备标识和接收通道的对应关系。

条文说明

点位编号用于关联安装资料、采集通道与观测数据；元件更换后应保留原点位编号与新元件序列号的对应关系。数据关联方式参照《公路基础设施长期性能科学观测网 第 3 部分：数据汇交规范》JT/T 1504.3—2024 第 4 章和第 5 章的规定。

3.0.6 施工前应编制施工检验与验收参数表，逐项列明设计值、允许偏差或合格限值、检验方法、检验范围及判定依据。参数表应符合本标准的规定，并依据设计文件、适用产品技术文件及工程验证结果补充，经建设、设计、监理和施工等相关单位确认后执行。

条文说明

位置和方向允许偏差、构造尺寸及施工耐受条件与元件类型和路面结构有关，应在施工前形成可据以检查的参数表。本标准已规定的最低检验要求不应通过项目参数表降低，监测目标和设计性能的调整应履行设计确认程序。

征求意见稿

3.0.7　施工检验与验收参数表应包括元件量程及精度、施工耐温及耐压条件、布设位置及方向允许偏差、线路性能、信号稳定性、有效响应、各阶段存活率及交付功能要求。涉及监测目标或设计性能的补充和调整应履行设计确认程序。

3.0.8　采用的元件、固定方式、局部覆盖构造及摊铺碾压保护工艺应开展首件验证。验证应记录施工条件、主体工程质量、元件位置变化及施工前后输出；确认满足施工检验与验收参数表后方可推广施工。

3.0.9　施工过程检查和系统验收应保留原始数据、安装影像及处置记录。设备通电或线路导通结果应与元件响应检查结果分别记录。

3.0.10　常用监测参数的观测精度及采样要求应符合表 3.1 的规定，设计要求更高时应符合设计规定。静态或准静态监测采用的采样设置应符合设计监测目标，动态指标不得以静态采样设置代替。

表 3.1 常用监测参数的观测精度及采样要求

监测参数	最大允许误差	采样要求	核验依据
结构内部温度	±0.15 ℃	采集间隔不大于 10 min	JT/T 1504.2—2024
结构内部相对湿度	±3 个百分点	采集间隔不大于 10 min	JT/T 1504.2—2024
动态应力	±0.1% FS	采样频率不低于 2 000 Hz	JT/T 1504.2—2024
动态应变	±3 μ ε	采样频率不低于 2 000 Hz	JT/T 1504.2—2024

注：FS 表示测量通道的满量程。应在规定标定或校准条件下核验精度；相对湿度的误差以百分数的绝对差表示，材料含水率不适用该相对湿度限值。

条文说明

本条采用《公路基础设施长期性能科学观测网 第 2 部分：观测规范》JT/T 1504.2—2024 表 3 及表 8 中沥青混凝土路面相应指标的观测精度和采样要求。表中精度为测量通道的核验要求，不替代元件埋设耦合状态及现场有效响应检查。相对湿度与材料质量含水率、体积含水率是不同测量量，采用后两者时应另按设计规定校验。

4 布设与施工

4.1 施工准备与进场检查

4.1.1 施工前应根据设计文件和道路主体工程施工组织编制专项施工方案，明确安装时机、施工顺序、作业人员、安装工具、测试设备及质量控制要求，并完成技术交底。

4.1.2 应逐只核对元件编号、型号、数量、外观、封装、线缆接头及有效标定资料；采集传输、供电和通信设备应按设计配置逐台核对。进场检验项目、方法及范围应符合表 4.1 的规定。

表 4.1 进场检验项目

项目	检验方法	检验范围	合格要求
资料及标识	核对设计配置、出厂及标定资料	每只元件、每台设备	资料与实物一致，编号可追溯
外观及连接	目测外观、封装及接头，核对接线	每只元件及每条线路	封装完整，接头无松动破损
输出及通道	连接采集设备，核对初始输出及标定系数	全部拟用采集通道	符合确认后的参数表
性能复核	按适用产品检测方法或标定方法检验	按确认后的参数表实施	量程、精度符合表 3.0.10 及设计要求；耐温、耐压满足施工条件

条文说明

埋入式元件施工后难以直接更换，因此采用全部校验，采集及供电设备逐台检查。该要求参考《公路路基路面长期性能科学观测点建设指南》DB37/T 4816—2025 第 6.1.1、6.1.2 及 6.1.4 条；性能核验按表 3.1 和适用标定方法执行。

4.1.3 元件安装前应接入配套采集设备，逐只校验并核对采集参数、标定系数和初始输出。缺少有效标定资料、超过适用有效期或检查异常的元件，应完成标定或校准并复核合格后使用。

4.1.4 元件和设备经进场检验合格后方可安装；维修或更换的元件和设备应重新检验，并记录处置结果。

4.1.5　应清扫安装区域，清除松散颗粒、积水和油污，修整影响元件就位的局部缺陷，复核安装面高程，并设置临时保护标识。

4.2　测量定位与布设

4.2.1　应采用满足设计测量精度的设备，放样并标识点位坐标、安装高程、方向及线缆走向。各点位的平面位置、埋深及方向应与设计文件一致。

4.2.2　应变元件应按设计测量方向布设；应力及压力元件应核对受力面朝向；温度及湿度元件应按设计层位安装。元件敏感部位应与被测材料保持设计要求的接触或耦合状态。

条文说明

应变元件的测量轴、压力元件的受力面及温湿度元件的感测部位应分别核对。布设形式和层位按设计实施，可参考 JT/T 1504.1—2024 附录 B 及 DB37/T 4816—2025 附录 A 中相应路面结构的布设示例，不将路基、水泥路面或桥面铺装布设示例直接用于本标准对象。

4.2.3　层底元件应在下承层完成整平和检查后安装，元件应平稳就位，避免悬空及局部硬点；需要设置垫料时，应采用与所在结构层相适应且经首件验证的材料及构造。

4.2.4　层中元件应在设计确定的分层施工界面达到安装高程后定位、固定和测试，再完成后续铺筑。分层厚度、工序间隔及层间处理应满足主体工程施工质量要求，不得为安装元件擅自将单层铺筑改为分层铺筑。

条文说明

层中安装应依托设计确定的施工界面实施，控制连续铺筑和层间连接，避免为埋设元件形成非设计施工接缝。

4.2.5　层顶元件应按设计安装构造定位；采用预留安装槽或安装空间时，应控制其形状、尺寸及高程，完成就位、填实和固定后检查层间连接条件。

4.2.6　元件固定后应逐点复核位置、高程、方向及编号，并记录实测值和影像。位置或方向超出允许偏差时，应在局部覆盖前调整并复检。

4.2.7　确需改变设计点位、层位或线路时，应履行设计变更程序；变更确认后方可实施，并同步更新图纸、台账和通道配置。

4.3 固定与线路保护

4.3.1 元件应采用与其构造相适应的粘结、支架或钉固方式固定。固定部位应避开敏感部位及线缆，固定后应复核就位状态，防止后续覆盖及铺筑引起位移、翻转。

4.3.2 元件周围应采用与所在结构层相同材料及施工配合比进行填实和局部覆盖。需采用专用填料时，应经相容性、变形协调性及输出响应验证，并经设计确认后使用。

条文说明

覆盖和填补材料既承担施工保护作用，也影响荷载及变形传递。专用填料应验证与路面材料的相容性和变形协调性，防止保护构造改变待测局部结构响应。

4.3.3 局部覆盖应分次布料和整平，避免粗集料直接冲击元件或造成悬空。覆盖厚度、压实工具和作业方法应按首件验证结果实施，并保持后续结构层厚度和压实质量。

4.3.4 线缆应按设计线路分组引出至路侧采集设施，在线缆两端、接头及分支位置设置标识。采用沟槽或保护管时，其尺寸、填补材料和保护构造应按专项施工方案实施，并经首件验证。

4.3.5 模拟电信号传输线路应采用具备抗干扰屏蔽层的线缆，并按设备要求接地；信号线与电源线应分开布放，线路走向应避开干扰源。线缆应留有安装和温度变形所需余量，弯曲半径及接头做法应满足适用产品要求。

条文说明

模拟信号屏蔽及信号线与电源线分开布放的要求，参考 DB37/T 4816—2025 第 5.2.7 及 6.1.2 条。光纤和无线传输按其各自技术特性检查，不套用模拟电信号线路的导通判定。

4.3.6 线缆和引出处应设置抗拉、防剪切及密封措施。保护管应能承受相应施工作用；接头应固定在设计位置，避免承受拉力及局部挤压。

4.3.7 无线元件应在安装后、局部覆盖后及结构层成型后分别核对设备标识、接收位置、通信状态和数据对应关系。通信检查应采用实际配套接收设备，并保留测试条件及结果。

4.3.8　临时防护板、缓冲垫等应明确设置和撤除时机；永久保留的保护构造应符合设计要求，不得造成局部欠压实、层间脱空或结构不连续。

4.4　摊铺施工

4.4.1　沥青面层的一般摊铺施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的规定，基层和底基层的一般摊铺施工应符合现行《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的规定。

4.4.2　摊铺前应检查元件固定、局部覆盖、线路保护及标识，完成局部覆盖后的通道检查；经检查合格后方可实施上覆结构层摊铺。

4.4.3　摊铺温度应同时满足道路材料施工要求及元件、接头和线缆经验证的耐温条件。两者不能同时满足时，应调整元件配置或保护构造并重新验证。

4.4.4　卸料和布料应避开未完成覆盖保护的元件及线路，人工辅助整平应使用不会直接碰撞、拖拽元件和线缆的工具。摊铺设备通过时应按验证后的路径和作业方式连续施工。

4.4.5　应监测或检查摊铺过程中通道状态和输出变化。摊铺完成后的检查应与碾压组织衔接，采用远程采集或其他不影响压实温度和作业连续性的方法实施。

条文说明

热拌沥青混合料摊铺后的检查应与压实温度控制衔接，可利用远程通道检查或连续记录判断异常，不应为完成单独检查造成混合料失温。

4.5　碾压施工

4.5.1　碾压设备、温度、速度和遍数应符合相应路面施工标准及施工方案，并满足主体工程压实质量要求。元件区域的工艺应通过首件验证，确认元件保护及压实效果后实施。

4.5.2　初压前应检查元件区域局部覆盖和线路保护状态；初压应按首件确定的设备、行驶路径和作业参数进行，避免元件及接头承受未经覆盖材料传递的直接作用。

征求意见稿

4.5.3　复压应采用验证后的振动或其他压实工艺，并记录设备、速度、振幅、频率和遍数。元件区域应按验证结果控制压实作业，不得通过减少必要碾压作业降低压实质量。

4.5.4　终压应按验证后的工艺消除轮迹、完成成型；元件和线缆区域不得急转向、突然变速或长时间停机。

4.5.5　碾压完成后应记录元件输出和通道状态，并结合检测时的温度及荷载条件与前阶段数据比较；发现异常时，应按第 4.6 节排查和处置。

4.6　施工过程质量控制与异常处置

4.6.1　施工过程质量控制应检查元件安装及系统功能，检查阶段、项目、方法和范围应符合表 4.2 的规定。各阶段结果应按第 3.0.6 条确认后的参数表判定，并形成附录 A 规定的记录。

表 4.2　施工过程检查

阶段	检查项目与方法	检查范围	判定依据
安装固定后、局部覆盖前	测量位置及方向；检查固定、连接与初始输出	全部点位和对应通道	设计位置及允许偏差；初始输出限值
局部覆盖后、摊铺前	核对局部覆盖构造；采集输出及通信状态	全部点位和对应通道	首件构造及确认后的参数表
摊铺后	采集通道、输出及异常记录；记录温度条件	全部拟交付通道	该阶段输出及存活率要求
碾压后	采集输出；检查外露线路和接头；分类排查异常	全部拟交付通道	该阶段输出及存活率要求
施工质量验收	档案核对、通道联调及具备条件后的响应试验	全部拟交付点位、通道及设备	表 4.3 及确认后的参数表

4.6.2　各阶段应分别记录应检数量、实检数量、正常工作元件数量、失效点位及系统存活率。施工阶段存活率应以交工范围内经进场检查合格并投入安装的元件总数为统计基数，分子为相应阶段正常工作且输出符合该阶段要求的

元件数量；替换元件按原设计点位计数，不得重复计入。设计变更新增或取消点位时，应记录统计范围和基数变化，保持各阶段结果可追溯。

条文说明

系统存活率按正常工作元件数量与规定统计基数计算，并乘以100%。施工阶段采用投入安装的元件总数作为基数，可避免剔除失效点位后造成统计结果虚高；替换和设计变更应保留逐点记录。

4.6.3　元件输出应结合测量时的温度、荷载及采集参数进行比较。线路导通或设备在线不能单独作为力学响应元件有效工作的判据；响应检查应在具备安全加载和不损坏结构层的条件下实施。

4.6.4　异常应依次核对采集配置、供电通信、可检查线路接头及元件状态，并分类记录原因。未覆盖元件可调整、维修或更换；已覆盖元件应先进行非开挖排查。

4.6.5　处置完成后应复检并记录结果。影响后续安装质量或监测功能的异常应在相关工序继续前完成处置；涉及已成型结构开挖或监测配置变更的，应经建设、设计等相关单位确认后实施。

4.7　交工验收

4.7.1　建设单位应结合所属工程交工验收安排组织内嵌感知系统施工质量验收，核查设计文件、施工记录、检测结果及异常处置资料。验收前应完成系统联调和试运行，并形成运行记录。

条文说明

系统交工检查与公路工程验收组织相衔接。属于长期性能科学观测网建设任务的，还应执行JT/T 1504.1—2024第9章规定的试运营和观测网验收要求，系统施工交付不能替代观测网专项验收。

4.7.2　交工验收应按表4.3实施。元件类型、型号、数量及标识应与设计一致，全部元件、采集设备及供电设备应进行检查。系统存活率不应低于90%，且应满足设计监测功能；设计规定的存活率更高时，应符合设计要求。其他验收限值及允许偏差应采用施工前确认的参数表，涉及设计性能的调整应采用经确认的设计文件。

表 4.3 施工质量验收项目

项目	方法及范围	合格要求
点位及安装	逐点核查安装前后测量记录及影像	实测位置、层位和方向符合设计及允许偏差
固定及线路	核查隐蔽记录，逐条检查可见线路、接头和标识	构造符合确认方案，线路及通道对应正确
采集与传输	逐通道联调采集、存储、时间同步及传输	各通道功能满足确认后的参数表
有效响应	按元件类型实施加载或环境比对，覆盖全部拟交付点位	观测精度符合表 3.0.10，现场有效响应及数据质量符合确认后的参数表
存活率及监测功能	按设计监测任务逐项核对，统计各阶段及验收有效数量	交工存活率不低于 90%，且满足设计监测功能；设计要求更高时按设计执行
资料	逐项核查交付资料及不符合项复验记录	资料完整、可追溯，不符合项已处置

条文说明

90%的存活率最低要求参考 JT/T 1504.1—2024 第 6.1.2 条，并结合本标准施工交付阶段明确统计基数和有效输出要求。存活率合格不代表设计监测功能必然满足，不能以总数量达标替代对设计规定关键监测功能的检查。

4.7.3　力学响应检查应在路面具备试验条件后进行，采用轴载、轮迹和车速可记录的试验车辆，采集并保存元件响应及同期温度数据。试验工况、采样设置和有效重复次数应按确认后的试验方案实施。应核对车辆通过时刻与响应时刻、响应方向及变化趋势，检查量程溢出、持续断线和异常噪声；仅有设备在线或固定数值输出的，不应判为响应检查合格。

4.7.4　温度元件应采用有效标定资料及适用的温度比对方法核验；测量通道的温度和相对湿度精度应符合表 3.1 的规定。湿度元件应结合标定资料、所在材料及环境条件核验输出。环境元件的参考值和比对条件应与被测对象相适应，埋设后的材料湿度不得直接与空气相对湿度比较。

条文说明

温度比对应考虑参考设备精度、感测位置和温度稳定条件。已埋设湿度元件不宜直接与

不同介质或不同位置的空气湿度值比较，应结合标定和材料条件确认。

4.7.5　验收发现不符合项时，应形成点位清单、原因分析、处置措施及复验结果。设计监测功能满足要求且各验收项目合格后，方可办理系统交付。

4.7.6　交付资料应包括竣工图、设备及点位台账、施工检验与验收参数表、标定资料、首件记录、过程检查、原始测试数据、验收结果、异常处置及初始基线，并移交运营维护单位。

征求意见稿

5 运营与维护

5.1 一般规定

5.1.1 内嵌感知系统运营维护应明确目标服务年限和责任主体及相关的职责要求，并制定专门的运营维护方案。

5.1.2 运营维护方案应包含巡检对象、异常报告、故障诊断、维修或更换、功能替代、复测恢复和资料归档等内容。

5.1.3 运营维护宜结合现场巡检与远程监控，实现系统状态日常检查和故障快速响应。

5.1.4 应加强系统的保护，养护等作业应制定避让、临时保护、迁改、替代监测或同步更新方案，不得在未核实埋设信息的情况下铣刨、开槽或钻芯等作业。

5.1.5 应加强系统运营维护记录，内容包括点位与线路、初始基线、阶段检查、故障维护、设备更新、数据质量等记录。

5.2 运行状况检查

5.2.1 检查内容应包括感知元件数据状态、部件外观、采集传输硬件、软件及配套设备运行状况等。

5.2.2 检查频次应根据监测点重要性、设备可靠性、环境条件、历史故障及项目运维要求确定，可设置固定周期检查，并在极端天气、道路维修、设备告警或数据持续异常后开展专项检查。

5.2.3 故障专项排查应进行逐级检查，获取故障的精准定位，对可能影响系统或道路运行的数据异常应及时报告。

5.3 运行状态评价

5.3.1 运行状态应根据系统存活率、数据完整率、数据合理性、通信在线状态、零漂变化、噪声水平、异常事件比例及维护响应情况进行综合评价。

5.3.2 评价标准应依据设计文件、产品检测、室内试验、工程验证及交工初始基线确定。

5.3.3　评价结果分为正常、一般和失效三个等级：

1 正常：关键监测功能可实现，主要运行和数据质量指标满足阈值要求，接口、线缆、采集与传输状态稳定；

2 一般：系统仍可完成主要监测任务，但部分指标接近预警阈值，或存在局部点位、接口、线缆、采集或传输异常；

3 失效：关键监测功能无法实现，部分指标超过预警阈值，或关键点位持续无法采集有效数据、数据质量持续不满足使用要求、传输长期中断等。

5.4　故障诊断与维护

5.4.1　故障诊断与维护流程按“异常确认—数据与配置复核—供电/通信/采集设备检查—线缆与接头检查—感知元件状态判断—维修、更换或功能替代—复测确认—档案记录”进行。

5.4.2　当出现数据中断、突变、持续漂移或明显异常时，应优先复核时间同步、通道配置、供电、通信和采集设备状态。

5.4.3　对可外部维护的采集终端、通信模块、供电设备、接口、接头及外露线缆，应通过清洁、紧固、重新密封、修复、重新连接或更换等措施复核故障情况。

5.4.4　对埋设于路面结构内部的感知元件，应结合初始基线、相邻或冗余点位、交通荷载和环境响应等信息判断其故障原因。

5.4.5　采集、供电或通信设备维修、更换后，应进行功能测试、时钟同步、通信测试和数据连续性检查；设备参数或通道配置发生变化时，应保留变更记录。

5.4.6　线缆或接头出现松动、进水、破损、断路或接触不良时，应在保证道路安全和系统停机条件满足要求后进行修复、重新密封或更换；处置完成后应核对线路编号、采集通道和点位编号的一致性。

5.4.7　对确认失效且短期内无法维修或更换的内部感知元件，可采取冗余点位和功能替代、模型修正、提高其他点位复核频次等措施维持监测功能。对无法进行冗余点位和功能替代的关键监测点，可结合后续道路养护、维修或改扩建工程统筹实施更换。

5.4.8　感知元件、采集通道或关键配套设备维修、更换后，应进行复测并与原初始基线及历史数据进行对比。因设备更换导致输出基准发生变化时，应建立新的基线，并记录新旧数据的衔接关系。

征求意见稿

附录 A　内嵌感知系统关键过程检查记录

A.0.1　内嵌感知系统建造与运维宜按表 A.0.1 建立关键过程检查记录；项目可结合系统规模和监测任务增加检查项目。

表A.1　关键过程检查记录项目

阶段	检查重点	主要记录内容	异常处置要求
进场/安装前	资料、型号、性能、封装、线缆接头、通断和采集设备	唯一编号、产品及标定资料、初始读数、检查人员和时间	不合格设备隔离；维修/更换并复测
定位放样	点位、层位、高程、方向、线路	坐标、埋深、方向、线路编号、设计/变更依据	偏差超限时按变更程序处理
安装后/覆盖前	固定、封装、线缆保护、初始状态	点位照片、连接关系、基线数据、功能状态	异常定位并处理，合格后方可覆盖
摊铺后	位移、冲击/高温影响、信号稳定性	阶段数据、阶段存活率、异常点位和原因	异常处置后方可进入后续工序
碾压后	压振影响、线缆接头状态、数据变化	阶段数据、阶段存活率、与前期基线对比	区分本体/线路/采集/通信故障并处置
交工验收	功能、位置档案、接口、采集传输、数据与资料	验收结果、初始基线、竣工图和台账	形成不合格项清单、整改及复验记录
运营/养护前后	运行数据、可维护部件、感知元件异常及养护冲突风险	巡检、故障诊断、维修、养护保护及更新记录	完成维修/更换/功能替代/迁改并复测，更新相关档案
故障维修/设备更新后	故障消除、点位—通道对应、时钟同步、数据连续性	维修/更换部件、处置过程、复测结果、更新后的基线或配置	复测不合格时转入进一步诊断或功能替代，不得直接恢复正常状态

本标准用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法:

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)表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法:

1)在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业和中国工程建设标准化协会标准现行有关标准的规定”；

2)在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”；

3)当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本标准第×章的有关规定”、“应符合本标准第×.×节的有关规定”、“应符合本标准第×.×.×条的有关规定”或“应按第×.×.×条的有关规定执行”。

征求意见稿