

路面嵌入式加速度传感器安装
及核验技术规程

2025 - 01 - 08 发布

2025 - 04 - 08 实施

云南省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 封装 1

 4.1 封装设计原则 1

 4.2 封装材料与结构 2

 4.3 界面耦合设计 2

 4.4 线缆设计 3

5 布设 3

 5.1 水泥路面布设 3

 5.2 沥青路面布设 4

 5.3 线缆布设 4

6 安装 4

 6.1 新建水泥路面安装方法 4

 6.2 已建水泥路面安装方法 5

 6.3 新建沥青路面安装方法 5

 6.4 已建沥青路面安装方法 6

7 核验 6

 7.1 布设精度核验 6

 7.2 存活率核验 6

附录 A（资料性） 加速度传感器布设位置及性能核验表 8

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。

本文件由云南省交通运输厅提出。

本文件由云南省交通运输标准化技术委员会（YNTC13）归口。

本文件起草单位：清华大学、昭通市高速公路投资发展有限责任公司、北京科技大学、昭通昭阳绕城高速公路投资开发有限公司、云南省公路科学技术研究院、交通运输部公路科学研究所、保利长大工程有限公司。

本文件主要起草人：魏亚、杨碧宇、叶周景、赵勇、孟雄、刘川昆、闫闯、贾敬鹏、周晓华、李万恒、杨东来、李鹏飞、杨松立、李鹏鹏。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，本文件第6章的使用可能涉及发明专利《一种基于滑模摊铺的前置式传感器埋设方法》（专利号：ZL202210332757.5）。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构保证，他们同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施本文件时实施专利。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人：北京科技大学、清华大学、昭通昭阳绕城高速公路投资开发有限公司。

地址：北京市海淀区学院路30号。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

路面嵌入式加速度传感器安装 及核验技术规程

1 范围

本文件界定了路面嵌入式加速度传感器相关术语和定义，规定了路面嵌入式加速度传感器的封装、布设、安装、核验等技术要求。

本文件适用于水泥混凝土路面与沥青混凝土路面的嵌入式加速度传感器安装与核验。

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 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）
- JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术细则
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTJ 073.1 公路水泥混凝土路面养护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

路面嵌入式加速度传感器 road embedded acceleration sensor

完全嵌入于被监测路面结构内部，能够测量加速度的感知器件。

注：路面嵌入式加速度传感器通常由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和适配电路等部分组成。根据加速度传感器敏感元件的不同，主要类型包括电容式、电感式、应变式、压阻式、压电式等。

3.2

界面耦合强度 interface coupling strength

用于衡量嵌入式加速度传感器与其周围包裹密合材料相互作用的技术参数。

注：特指传感器在被嵌入路面后，与路面结构共同承载变形的协调能力，以及传感器同周围包裹密合材料界面之间的耦合程度，可体现为抗剪和抗拉强度。

3.3

单轴高精度加速度感知元件 uniaxial high-precision acceleration sensing component

基于微机电系统（MEMS）技术制造，专门用于在单一轴向上测量加速度变化的传感器。

注：通过将机械运动中的加速度信号转换为电信号，具有高分辨率和高灵敏度，能够精确检测微小的加速度变化。

4 封装

4.1 封装设计原则

- 4.1.1 加速度传感器封装设计应具备良好的防水抗压性能，防水性能不应低于 GB/T 4208-2017 中规定的 IPX8 等级，抗压性能不应低于 20 MPa。
- 4.1.2 加速度传感器封装设计应以传感器外壳与路面结构层协同变形设计为目标，考虑加速度传感器嵌入后对路面结构的局部应力集中，以及加速度传感器与周围结构的界面协调耦合。
- 4.1.3 加速度传感器线缆设计应遵循“细、少、韧”的原则，具备优良的抗弯拉、耐腐蚀、防水密封性能，宜使用水工观测电缆。
- 4.1.4 线缆与加速度传感器接头处设计应遵循“协同变形”的原则，宜对线缆和加速度传感器接头处进行保护处理。

4.2 封装材料与结构

- 4.2.1 加速度传感器封装材料模量应与路面材料模量相近，水泥路面可采用不锈钢封装，沥青路面可采用尼龙封装。
- 4.2.2 宜采用单轴高精度加速度感知元件，量程宜不小于 $\pm 2\text{ g}$ ，带宽范围宜为 $1\text{ Hz}\sim 200\text{ Hz}$ ，分辨率精度宜小于 0.5 mg ，工作温度范围宜为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.2.3 加速度传感器封装结构宜设计为圆柱体（见图 1），高径比宜控制在 0.5 至 1.0 之间，传感器封装的直径宜在 50 mm 以下。

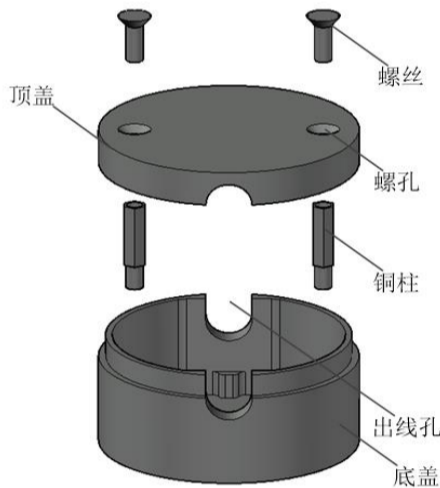


图1 加速度传感器封装设计示意图

4.3 界面耦合设计

- 4.3.1 安装前应分别使用环氧树脂和细砂对加速度传感器封装外壳表面进行涂抹作为层间界面。传感器表面环氧胶砂剖面示意图见图 2。

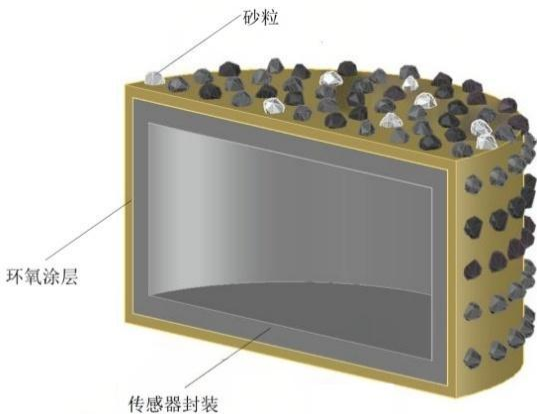


图2 传感器表面环氧胶砂剖面示意图

- 4.3.2 应采用耐 200 ℃ 高温的环氧树脂涂覆加速度传感器，涂覆厚度宜控制在 1 mm~2 mm。
- 4.3.3 应在环氧树脂涂覆加速传感器后，立刻在表面均匀撒布洁净的砂粒（砂砾粒径宜为 1.18 mm~2.36 mm），撒布量宜控制为 0.05 g/cm² ~ 0.10 g/cm²。
- 4.3.4 封装的环氧树脂材料在完全固化后，其抗剪与抗拉强度均宜大于 1 MPa。

4.4 线缆设计

- 4.4.1 线缆材料宜选用聚四氟乙烯（PTFE），或其他具有良好耐温性、耐化学性和耐磨性材质，线缆外径宜小于 5 mm。
- 4.4.2 可采用套管对线缆进行保护，套管材质宜选用 304 不锈钢波纹管。套管外径应略大于所保护线缆的外径。
- 4.4.3 应对线缆接头区域完全包覆，宜采用环氧树脂类或聚氨酯类材料。
- 4.4.4 宜通过单条线缆串联多个加速度传感器，以减少嵌入的线缆数量。

5 布设

5.1 水泥路面布设

5.1.1 在平面位置上，用于水泥路面结构健康监测的加速度传感器应考虑在板角进行布设，点位宜位于轮迹带区域，且与路面板短边的垂直距离宜在 50 cm~100 cm 之间。布设示意图见图 3 a)。

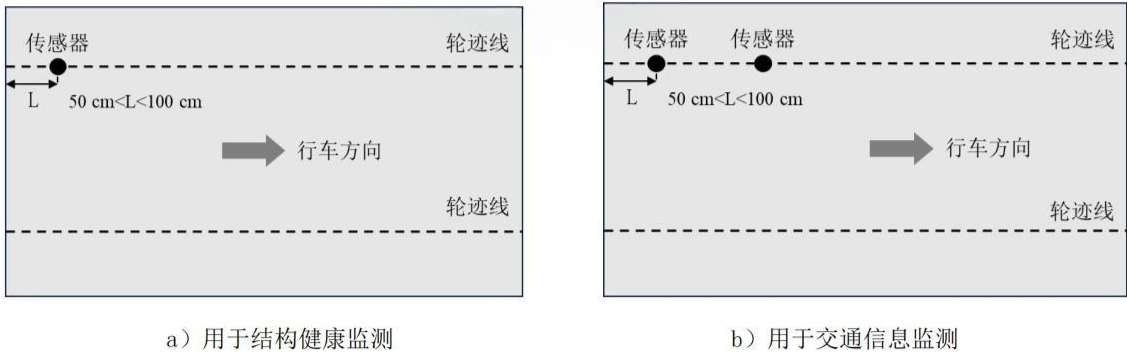


图3 水泥路面加速度传感器布设示意图

5.1.2 在平面位置上,用于水泥路面交通信息监测的加速度传感器应考虑在板角和板边进行布设,点位宜位于轮迹带区域,且板角点位与路面板短边的垂直距离宜在 50 cm~100 cm 之间。布设示意图见图 3 b)。

5.1.3 在布设深度上,用于水泥路面结构健康监测和交通信息监测的加速度传感器应布设于水泥混凝土路面 1/2 厚度处。

5.2 沥青路面布设

5.2.1 在平面位置上,用于沥青路面结构健康监测的加速度传感器应考虑沿路面横断面横向均匀布设,点位宜位于轮迹带区域,布设间距不宜超过 50 cm。布设示意图见图 4 a)。

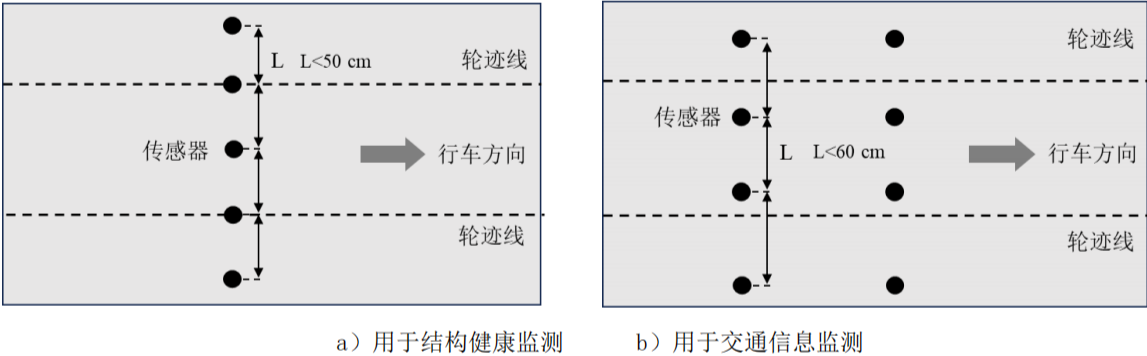


图4 沥青路面加速度传感器布设示意图

5.2.2 在平面位置上,用于沥青路面交通信息监测的加速度传感器应考虑沿路面横断面横向均匀布设,布设间距不宜超过 60 cm,布设列数宜为 2 列。布设示意图见图 4 b)。

5.2.3 在布设深度上,加速度传感器宜布设于各面层底部。

5.3 线缆布设

5.3.1 线缆布设前,应根据规划的线缆布设路径进行开槽,开槽大小和深度取决于线缆的外径,宜采用深 0.5 cm、宽 1 cm 的浅槽。

5.3.2 线缆布设时,应避免锐角弯曲,应对线缆进行限位固定。

5.3.3 线缆引出时,宜将所有加速度传感器线缆由同一侧集中引出。

5.3.4 线缆布设完成后,应对线缆位置在路侧进行标记。

6 安装

6.1 新建水泥路面安装方法

6.1.1 加速度传感器采用预嵌入安装方法。在水泥路面摊铺前将加速度传感器嵌入需要监测的点位,确保加速度传感器及连接线缆完好。

6.1.2 宜设计固定支架,保持加速度传感器在滑模摊铺过程中位置准确,支架可采用多根钢筋组合制作。

6.1.3 加速度传感器固定支架可根据监测需求设计为单体式或串联式(见图 5)。串联式支架连接杆应采用刚性连接。

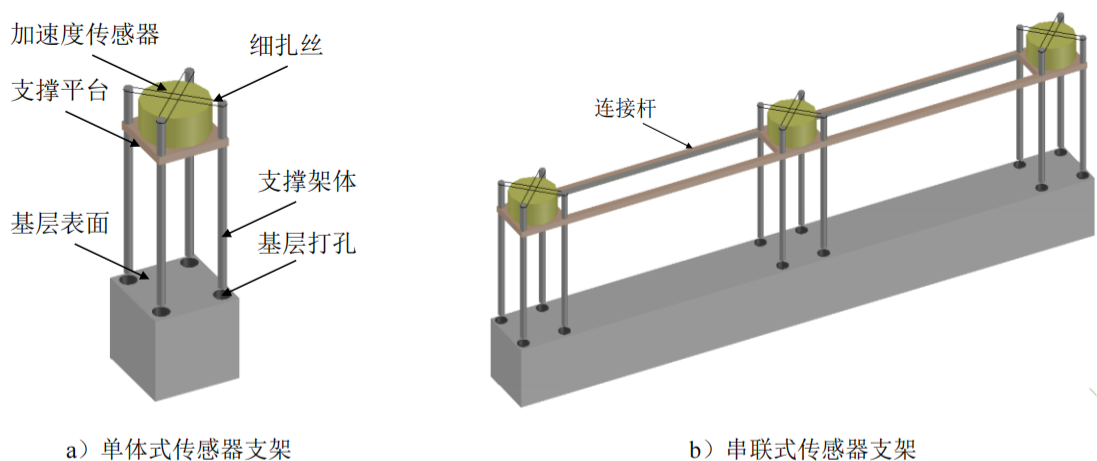


图5 加速度传感器固定支架

- 6.1.4 宜对加速度传感器的安装位置进行精准定位。
- 6.1.5 应对支架进行固定，可在加速度传感器预安装点位的路面基层打孔，孔径应略大于传感器支架的钢筋直径。应对加速度传感器进行固定，可采用细扎丝对加速度传感器进行竖向限位。
- 6.1.6 应将线缆布设于下承层浅槽内，防止滑模摊铺机履带在移动过程中破坏线缆。
- 6.1.7 在滑模摊铺机接近加速度传感器安装位置前，应人工均匀填充传感器及其固定支架周围的混凝土，防止在后续摊铺操作中因混凝土的不均匀倾倒而引起支架的倾斜或变形。
- 6.1.8 当滑模摊铺机前端进料滚轴接近加速度传感器安装位置时，操作人员应关注滚轴高度，避免振捣棒触碰到加速度传感器。安装示意图见图 6。

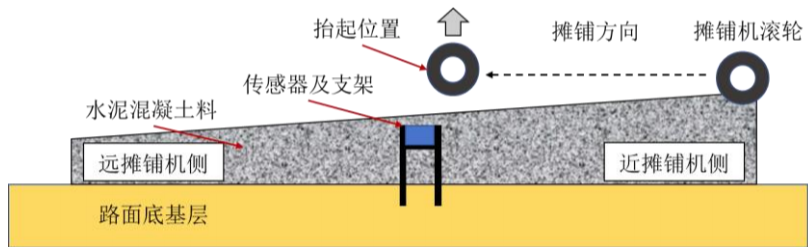


图6 滑模摊铺与加速度传感器安装示意图

- 6.1.9 滑模摊铺过程中应确保混凝土的持续供给，防止由于混凝土短缺导致在传感器安装位置处出现重复摊铺或机械停机等情况。
- 6.1.10 除本文件要求外，新建水泥混凝土路面施工还应符合 JTG/T F30 的规定。
- 6.2 已建水泥路面安装方法
- 6.2.1 应采用钻孔的方式进行嵌入安装，钻孔孔径应略大于加速度传感器直径，钻孔深度应略大于加速度传感器安装深度，以能放入加速度传感器为宜。
- 6.2.2 孔洞底部应使用环氧砂浆找平，保持孔洞内部干燥和清洁。
- 6.2.3 宜采用免打孔可伸缩支架置于孔洞中，水平固定至加速度传感器安装位置处。
- 6.2.4 应在嵌入后的加速度传感器顶部采用早强型且强度等级高于原路面混凝土等级的材料进行回填，或使用无收缩改性环氧砂浆填补孔洞。在回填材料强度达到设计强度的 80%后，方可开放交通。
- 6.2.5 除本文件要求外，已建水泥混凝土路面修补材料应符合 JTJ 073.1 的规定。

6.3 新建沥青路面安装方法

6.3.1 在路面结构层（基层、下面层或中面层）施工完成后，上一层路面结构层施工开始前，应按传感器布设位置对该层进行开槽并安装传感器。安装示意图见图 7。

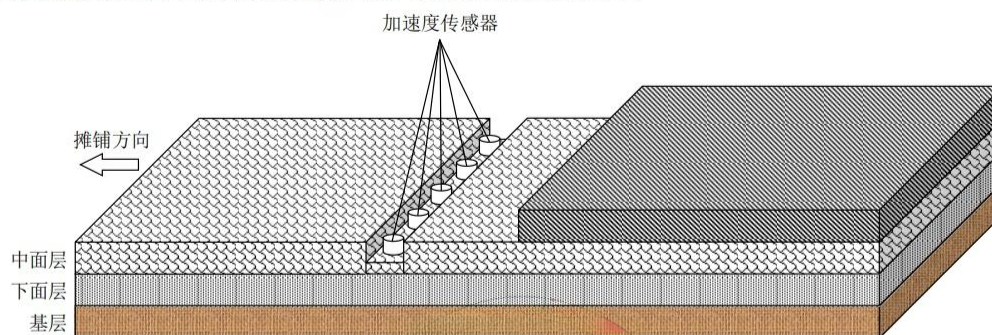


图7 沥青路面开槽安装加速度传感器示意图（以中面层为例）

6.3.2 加速度传感器固定完成后，应采用摊铺层沥青混合料中的细砂回填沟槽，所覆盖的混合料应适当高出槽面。

6.3.3 宜采用小型平板夯实机对回填的沥青混合料细砂进行压实。

6.3.4 按照沥青路面摊铺流程，完成上一层路面结构层的摊铺。

6.3.5 除本文件要求外，新建沥青混凝土路面施工还应符合 JTG F40 的规定。

6.4 已建沥青路面安装方法

6.4.1 应采用钻孔的方式进行嵌入安装，钻孔孔径应略大于加速度传感器直径，钻孔深度应略大于加速度传感器安装深度，以能放入加速度传感器为宜。

6.4.2 孔洞底部应使用沥青细砂回填压实、找平，保持孔洞内部干燥和清洁。

6.4.3 将加速度传感器安装后，宜采用相同级配的沥青混凝土对孔洞进行回填与压实。

6.4.4 除本文件要求外，已建沥青混凝土路面修补材料应符合 JTG F40 的规定。

7 核验

7.1 布设精度核验

7.1.1 加速度传感器安装前，宜使用高精度载波相位差分定位仪（RTK）或激光测距仪确定和记录传感器设计安装位置及深度。

7.1.2 加速度传感器安装完成后，可采用探地雷达（GPR）对传感器安装区域进行扫描，确定传感器的实际安装位置及布设深度。GPR 扫描的分辨率应不低于 0.5 cm。

7.1.3 应记录加速度传感器设计安装和实际安装的位置及深度，并计算每个传感器的纵向、横向及竖向位置偏差，偏差应在 ± 10 mm 以内，宜记录传感器布设情况，并填写《加速度传感器布设位置核验表》（见附录 A 表 A.1）。若偏差较大，应根据传感器位置偏差，重新调整传感器的布设方案。

7.2 存活率核验

7.2.1 加速度传感器安装完成后，应开展传感器电阻值测量，与设计电阻值进行对比，确保测量的电阻值误差在 5% 以内。

7.2.2 加速度传感器安装完成后，应使用数据采集仪进行加速度信号的传输检验，确保信号正常。

7.2.3 加速度传感器安装完成后，宜在传感器正上方采用锤击法判断传感器是否存活且处于正常工作状态。若采集仪中响应信号对应频率和激励频率相近，则传感器存活且处于正常工作状态。

7.2.4 在路面达到通车条件一个月后，应进行加速度传感器静态信号的采集。

7.2.5 在无车载工况下对加速度传感器的采样率、噪声水平和静态输出水平进行测试，应将测试结果与传感器的出厂参数进行对比核验，确保性能参数在允许的偏差范围内，偏差宜控制在 $\pm 5\%$ 以内。宜记录传感器性能核验情况，并填写《加速度传感器性能核验表》（见附录 A 表 A.2）。

7.2.6 应将测试过程、结果和分析编制成详细的核验报告，报告中应包含测试日期、测试人员、测试工况、测试设备、测试方法、数据分析方法以及性能判定结果。

