

T/JXEA

江西省工程师联合会团体标准

T/JXEA 362—2022

城市道路结构健康监测与评估技术规范

Technical specification for structural health monitoring and assessment of urban roads

（征求意见稿）

2026—XX—XX 发布

2026 - XX- XX 实施

江西省工程师联合会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 监测系统设计与布设	2
5.1 系统总体设计	2
5.2 监测内容确定	2
5.3 监测点位布设	2
5.4 设备选型与安装	3
6 监测作业实施要求	3
6.1 常规监测作业	3
6.2 专项监测作业	3
6.3 监测作业质量控制	3
6.4 作业安全管理	3
7 数据处理与分析	3
7.1 数据预处理	4
7.2 数据分析方法	4
7.3 数据质量评价	4
8 结构健康评估方法	4
8.1 评估依据与分类	4
8.2 评估指标体系	4
8.3 评估等级划分	4
8.4 评估报告编制	4
9 应急监测与处置	5
9.1 应急预警启动	5
9.2 应急监测实施	5
9.3 应急处置措施	5
10 监测成果管理与应用	5
10.1 成果资料管理	5
10.2 成果应用场景	5
10.3 成果共享与公开	5
附录 A(规范性)城市道路结构健康监测项目与要求一览表	7

前 言

本文件依据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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由***提出。

本文件由***归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

城市道路结构健康监测与评估技术规范

1 范围

本规范规定了城市道路结构健康监测与评估的通用技术要求、作业流程、管理规范与评价方法。本规范适用于城市范围内快速路、主干路、次干路、支路的路基、路面、附属结构（含检查井、雨水口、挡墙等）及道路地下空间的结构健康监测与评估工作；城市桥梁、隧道的连接道路段可参照本规范执行；公路与城市道路衔接段的监测评估可结合公路相关标准协同实施。本规范不适用于铁路、轨道交通专用道路及厂矿内部道路的结构健康监测与评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
GB 55011 城市道路交通工程项目规范
CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
CJJ 36 城镇道路养护技术规范
JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范
JGJ/T 334 建筑工程施工现场监测技术规范

3 术语和定义

3.1

城市道路结构健康监测 Urban road structural health monitoring

采用传感技术、检测设备、数字化手段等，对城市道路路基、路面、附属结构及周边环境的物理参数、结构响应、病害发展等进行连续或周期性采集、传输、记录的全过程作业，包括常规监测、专项监测和应急监测。[源自：GB 50982，3.1]

3.2

结构健康评估 Structural health assessment

基于监测数据、现场检测结果、道路工程资料，结合结构力学分析、病害演化规律，对城市道路结构的当前服役状态、损伤程度、安全等级及剩余使用寿命进行综合判定的过程。

3.3

预防性监测 Preventive monitoring

在道路结构未出现明显病害或安全隐患时，为掌握结构正常服役状态、识别潜在风险而开展的常态化监测工作。

3.4

专项监测 Special monitoring

针对道路结构特定部位（如高填方路基、软土地基路段、路面裂缝集中区）、特定病害（如地下空洞、路基沉降）或特定工况（如周边基坑施工、重载交通通行）开展的针对性监测工作。

3.5

应急监测 Emergency monitoring

在道路结构出现突发病害（如路面塌陷、大面积裂缝）、遭遇自然灾害（如地震、暴雨、地质灾害）或突发公共事件后，为掌握结构损伤动态、评估安全风险而开展的紧急监测工作。

3.6

关键监测点 Key monitoring points

指道路结构中受力复杂、易发生病害、对整体安全起决定性作用的监测位置，如路基沉降观测点、路面裂缝监测点、地下空洞探测点、挡墙位移监测点等。

3.7

结构响应 Structural response

道路结构在交通荷载、环境荷载（温度、湿度、地下水）及外部扰动（施工、地质变化）作用下产生的变形、应力、应变、位移等物理变化。

3.8

病害预警等级 Disease warning level

根据道路结构损伤程度、发展速度及安全风险，划分的预警级别，一般分为四级：蓝色（一般）、黄色（较重）、橙色（严重）、红色（特别严重）。

4 总则

城市道路产权单位、运营管理单位或其委托的具备相应资质的监测机构是道路结构健康监测与评估工作的责任主体，应建立健全监测管理制度，配备专业人员和设备，确保监测评估工作责任到人、落实到位。监测与评估工作应遵循科学布设、精准监测、数据真实、客观评估、及时预警、科学应用的原则，结合道路等级、服役年限、交通状况、地质条件等因素，制定个性化监测评估方案，并根据结构状态变化动态调整。监测系统的设计、布设及设备选型应符合国家现行标准要求，优先选用数字化、智能化、自动化监测设备，实现数据的实时采集、传输和分析；监测设备应定期校准、维护，确保监测精度。结构健康评估应结合监测数据、现场检测、工程勘察资料、养护历史等多源信息，采用定性与定量相结合、现场分析与数值模拟相结合的方法，确保评估结果的科学性和准确性。应建立道路结构健康监测预警体系，对监测数据异常及病害发展趋势及时发出预警，并制定相应的处置预案；预警信息应及时报送城市道路管理、交通管理等相关管理部门。所有从事监测评估工作的技术人员应接受专业培训，掌握道路工程、监测技术、数据分析、结构评估等相关知识和操作技能，考核合格后方可上岗。监测与评估工作应注重绿色环保，避免监测作业对城市交通、公众生活及周边环境造成不利影响。[源自：GB 55011，5.1]

5 监测系统设计与布设

5.1 系统总体设计

城市道路结构健康监测系统应包括感知层、传输层、数据层、分析层四大模块，实现监测数据的采集、传输、存储、分析、评估及预警的全流程闭环管理。感知层由各类监测传感器、检测设备组成，负责采集道路结构的物理参数和结构响应；传输层采用无线通信（5G、LoRa、NB-IoT）或有线通信方式，实现数据的实时传输；数据层建立道路结构健康监测数据库，存储监测数据、工程资料、检测报告等信息；分析层通过数据分析软件、数值模拟模型，实现数据处理、结构评估和病害预警。监测系统应具备兼容性、扩展性、稳定性，支持不同类型监测设备的接入，可根据道路结构状态变化增加监测点位或拓展监测功能。

5.2 监测内容确定

常规监测内容应包括：路基沉降、路面高程变化、路面裂缝（宽度、长度、深度）、路面平整度、地下水位、交通荷载（轴重、车流量）、环境温度与湿度。专项监测内容应根据道路特点和潜在风险确定，包括：软土地基路段的路基水平位移、高填方路基的边坡稳定性、道路地下空间的空洞探测、重载交通路段的路面应力应变、周边施工影响区的结构变形、挡墙及边坡的位移与沉降。应急监测内容应根据突发情况确定，包括：路面塌陷区的周边变形、裂缝发展速度、地下空洞扩展范围、自然灾害后的结构损伤程度。

5.3 监测点位布设

监测点位布设应遵循重点突出、均匀分布、便于监测、长期稳定的原则，结合道路平纵横断面、地质条件、病害分布、交通状况等因素综合确定。快速路、主干路等交通

繁忙路段，监测点位密度应不低于50米/个；次干路、支路监测点位密度应不低于100米/个；病害集中区、高风险路段应加密布设监测点位，密度不低于20米/个。关键监测点应布设在：道路交叉口、高填方路基段、软土地基段、地下管线密集区、周边施工影响区、路面裂缝集中区、检查井周边、挡墙及边坡顶部等位置。监测点位应设置明显、耐久的标识，标注点位编号、监测内容、布设时间等信息；监测点位应采取防护措施，避免被车辆、行人或施工活动破坏。[源自：CJJ 36，5.3]

5.4 设备选型与安装

监测设备应选用符合国家现行标准的产品，具备精度高、稳定性好、抗干扰能力强、适应户外环境的特点；自动化监测设备应具备数据自动采集、存储、传输及异常报警功能。路基沉降监测可选用水准仪、全站仪、GNSS接收机、沉降计等设备；路面裂缝监测可选用裂缝测宽仪、视觉识别监测系统等设备；地下空洞探测可选用探地雷达、三维激光扫描设备等；交通荷载监测可选用称重传感器、车流量监测仪等设备。监测设备的安装应符合产品说明书及现行标准要求，安装过程中应减少对道路结构和正常交通的影响；传感器安装应做到定位准确、固定牢固，与结构表面紧密贴合，确保监测数据的真实性。监测设备安装完成后，应进行现场校准和调试，连续试运行72小时以上，数据稳定后方可正式投入使用。

6 监测作业实施要求

6.1 常规监测作业

常规监测应根据道路等级确定监测频率：快速路、主干路应实行实时自动化监测或每日监测；次干路应每3日监测1次；支路应每周监测1次；汛期、雨季、冬季冰冻期等特殊环境下，应适当提高监测频率。人工巡检应作为常规监测的补充，每月至少开展1次全面巡检，重点检查路面裂缝、坑槽、沉陷、检查井松动、挡墙开裂等表观病害，做好巡检记录并拍摄影像资料。常规监测数据应及时传输至监测数据库，做到数据采集无遗漏、传输无延迟；发现数据异常时，应立即复核监测数据，检查监测设备是否正常。[源自：JT/T 1037，6.1]

6.2 专项监测作业

专项监测应根据监测目标制定详细的作业方案，明确监测内容、点位、频率、方法及人员职责；监测频率应根据病害发展速度和结构状态确定，可采取每日1次至每小时1次的连续监测。地下空洞探测应采用探地雷达等无损检测手段，探测深度应覆盖道路路基及地下0-3米范围，对探测发现的疑似空洞区域，应采用钻孔验证等方法进一步确认。周边施工影响区的监测应与施工进度同步，施工前应采集初始基准数据，施工过程中实时监测结构变形，施工完成后应继续监测不少于3个月，确认结构变形稳定后方可终止专项监测。

6.3 监测作业质量控制

监测作业前，应检查监测设备的校准状态、运行情况，确保设备正常；监测人员应严格按照作业方案 and 操作规程开展工作。监测数据应采用双人校核制度，一人采集、一人复核，确保数据的准确性和真实性；原始监测数据应如实记录，不得随意修改、删减。监测过程中应做好现场作业记录，包括监测时间、点位、设备、数据、环境条件、作业人员等信息，并签署确认。遇恶劣天气（如暴雨、台风、暴雪）、设备故障、交通中断等情况，应暂停监测作业，待条件恢复后及时补测；因特殊情况无法按计划监测的，应及时上报责任主体并说明原因。

6.4 作业安全管理

监测作业应遵守城市交通管理规定，在作业区域设置明显的警示标志和防护设施，安排专人指挥交通，避免发生交通事故。监测人员应穿戴反光背心、安全帽等劳动防护用品；在高速公路、快速路等交通繁忙路段作业时，应采取封闭车道、分时段作业等措施，确保作业人员安全。高空作业、地下作业等特殊监测作业，应制定专项安全预案，落实安全防护措施；作业过程中应有专人监护，严禁违规操作。

7 数据处理与分析

7.1 数据预处理

监测数据传输至数据层后，应及时进行预处理，包括数据清洗、异常值剔除、缺失值补全、数据标准化等操作。采用统计学方法识别异常数据，对因设备故障、环境干扰、人为操作失误等导致的异常值，应予以剔除并记录原因；对缺失数据，应根据相邻监测点数据、历史数据采用插值法、拟合模型等方法进行补全。预处理后的监测数据应按统一格式存储，包括原始数据、处理后数据、数据处理记录等，确保数据的可追溯性。
[源自：JGJ/T 334，7.1]

7.2 数据分析方法

采用趋势分析、对比分析、相关性分析等统计方法，分析监测数据的变化规律，识别结构响应与交通荷载、环境因素、施工活动等的相关性。对路基沉降、路面变形等累计变化量，应结合道路结构设计要求和规范限值，分析其发展趋势；对路面裂缝、地下空洞等病害，应分析其发展速度和扩展范围。采用数值模拟方法（如有限元分析、离散元分析），建立道路结构力学模型，结合监测数据模拟结构受力状态，预测结构损伤发展趋势和剩余使用寿命。利用人工智能、大数据分析技术，构建道路结构健康监测预警模型，实现对病害的智能识别、分级预警和趋势预测。

7.3 数据质量评价

定期对监测数据质量进行评价，评价指标包括数据完整性、准确性、及时性、一致性。数据完整性应达到95%以上，缺失数据应及时补全；数据准确性应符合监测设备精度要求，误差应控制在规范允许范围内；数据传输应做到实时性，延迟时间不超过30分钟；同一监测点位的不同设备监测数据应保持一致，偏差应控制在5%以内。对数据质量不达标的，应分析原因并采取整改措施，包括校准监测设备、优化监测方案、加强人员培训等。

8 结构健康评估方法

8.1 评估依据与分类

城市道路结构健康评估应以本规范、国家现行相关标准、监测数据、现场检测结果、工程勘察资料、养护历史等为依据。结构健康评估分为日常评估、定期评估和专项评估：日常评估基于实时监测数据，每日开展；定期评估结合常规监测和人工巡检结果，每季度开展1次全面评估；专项评估针对突发病害、特殊工况或预警信息，及时开展针对性评估。

8.2 评估指标体系

建立城市道路结构健康评估指标体系，分为路基指标、路面指标、附属结构指标、环境影响指标四大类，每类指标分为定量指标和定性指标。定量指标包括：路基沉降量、水平位移量、路面裂缝宽度/长度、路面平整度指数、地下水位埋深、交通荷载等级等，各指标应明确规范限值和预警阈值。定性指标包括：路面表观病害程度、挡墙开裂状态、检查井松动情况、周边施工影响程度等，采用分级评分方式进行评价（优、良、中、差）。

8.3 评估等级划分

根据评估指标的综合评分，将城市道路结构健康状况划分为四个等级：

一级（健康）：结构各项指标均符合规范要求，无明显病害，结构服役状态良好，无需采取养护措施；

二级（基本健康）：结构个别指标接近规范限值，存在轻微表观病害，病害发展缓慢，需开展预防性养护；

三级（亚健康）：结构多项指标超过规范限值，存在明显病害，病害有发展趋势，需开展专项养护和加固处理；

四级（不健康）：结构核心指标严重超过规范限值，存在严重病害或安全隐患，随时可能发生结构损坏，需立即采取封闭交通、应急处置措施。

8.4 评估报告编制

每次评估完成后，应编制《城市道路结构健康评估报告》，报告应包括工程概况、监测工作概况、数据处理与分析结果、结构健康状况评价、病害原因分析、风险预警等

级、养护建议及处置措施等内容。评估报告应附监测数据统计表、病害分布图、现场影像资料、数值模拟结果等附件；报告应由专业技术人员编制，技术负责人审核，责任主体盖章确认。

9 应急监测与处置

9.1 应急预警启动

当出现下列情况时，应立即启动应急监测和预警机制：

监测数据出现突变，结构变形、病害发展速度超过预警阈值；

道路结构出现突发病害，如路面塌陷、大面积裂缝、挡墙垮塌等；

遭遇地震、暴雨、洪水、地质灾害等自然灾害，可能影响道路结构安全；

周边突发工程事故，如基坑坍塌、地下管线破裂，可能危及道路结构。

9.2 应急监测实施

应急监测应组建专项工作小组，制定应急监测方案，加密监测点位、提高监测频率，实行24小时连续监测，实时掌握结构损伤动态。应急监测应优先采用自动化、便携式监测设备，快速采集数据并实时分析；对路面塌陷、空洞等病害，应立即开展现场探测，确定病害范围和损伤程度。应急监测数据应实时报送相关部门，为应急处置决策提供数据支撑。

9.3 应急处置措施

根据应急监测和评估结果，采取相应的应急处置措施：

蓝色、黄色预警：设置交通警示标志，限制重载车辆通行，加强现场巡查，制定养护处置方案；

橙色预警：局部封闭道路，实行交通管制，立即开展专项养护和加固处理；

红色预警：全面封闭道路，禁止所有车辆和行人通行，组织专业队伍开展应急抢修，及时消除安全隐患。

应急处置完成后，应继续开展应急监测不少于7天，确认结构状态稳定后，方可降低预警等级或解除预警；同时对处置效果进行评估，编制应急处置报告。

10 监测成果管理与应用

10.1 成果资料管理

建立城市道路结构健康监测成果资料管理制度，对监测方案、原始数据、处理后数据、分析报告、评估报告、应急处置报告等资料进行统一归档管理。成果资料应采用纸质档案+电子档案双套制存储，电子档案应建立备份系统，防止数据丢失；档案资料应标注清晰、分类有序，便于查询和使用。监测成果资料的保存期限应不少于道路的剩余服役年限；对已报废的道路，资料保存期限应不少于5年。

10.2 成果应用场景

养护决策：将结构健康评估结果作为城市道路养护计划制定、养护资金分配、养护措施选择的重要依据，实现精准养护、科学养护。

工程改造：为城市道路改扩建、大中修工程提供结构现状数据，指导工程设计和施工方案制定。

规划设计：为新建城市道路工程提供地质条件、交通荷载、病害规律等基础数据，优化道路结构设计方案，提高工程耐久性。

应急管理：为城市道路突发安全事件的应急处置、交通管控提供数据支撑，提升应急处置效率。

行业研究：为城市道路工程技术研究、病害防治技术研发、监测设备创新提供数据积累和实践依据。

10.3 成果共享与公开

建立城市道路结构健康监测成果共享机制，实现与城市道路管理、交通管理、应急管理、规划建设等部门的数据共享，提升城市基础设施协同管理水平。定期向社会公开

城市道路结构健康状况信息，包括道路安全等级、养护进展、交通管控措施等，保障公众的知情权和出行安全。

附录 A
(规范性)
城市道路结构健康监测项目与要求一览表

表 A 1 城市道路结构健康监测项目与要求一览表

监测类别	监测对象	监测参数 (结构响应)	监测方法	监测频率	预警等级
预防性监测	路基	沉降量、差异沉降	水准测量、静力水准仪、北斗/GNSS	1 次/季度	蓝色、黄色
预防性监测	路面	平整度、裂缝宽度/长度、车辙深度	三维激光扫描、无人机巡检、自动弯沉仪	1 次/季度	蓝色、黄色
预防性监测	附属结构 (挡墙、护坡)	水平位移、倾斜度、裂缝	测斜仪、位移计、振弦式裂缝计	1 次/半年	蓝色
专项监测	高填方/软基路段	深层沉降、孔隙水压力、土压力	分层沉降仪、孔压计、土压力盒	1 次/周(施工期); 1 次/月(运营期)	黄色、橙色
专项监测	地下空洞/脱空	探地雷达反射图像、介电常数	探地雷达(GPR)、瞬态面波法	按需(每季度或雨后)	橙色、红色
专项监测	重载交通/周边施工	动应变、动挠度、振动加速度	动态应变计、加速度计、视频位移计	实时或 1 次/天	黄色、橙色
应急监测	路面塌陷/大面积裂缝	塌陷范围、裂缝发展速率、深部位移	自动化全站仪、测缝计、测斜链	实时或 1 次/小时	红色
应急监测	自然灾害后(地震、暴雨)	路基含水量、边坡稳定系数、结构变形	湿度传感器、GNSS、边坡雷达	1 次/2 小时	橙色、红色