

季冻区高速公路基础设施监测技术规范

Technical specifications for expressway infrastructure monitoring
in seasonally frozen region

2024-11-27 发布

2024-12-27 实施

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 总体要求 1

5 监测方案编制 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 监测方案内容 2

6 监测设备 2

 6.1 设备选型 2

 6.2 设备安装、调试、维护 2

7 基础设施监测 3

 7.1 路基监测 3

 7.2 路面监测 6

 7.3 桥梁监测 6

 7.4 隧道监测 8

8 监测数据分析 9

 8.1 一般规定 10

 8.2 路基监测数据分析 10

 8.3 路面监测数据分析 10

 8.4 桥梁监测数据分析 10

 8.5 隧道监测数据分析 10

9 监测报告 10

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。

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。

本文件由吉林省高速公路集团有限公司提出。

本文件由吉林省交通运输厅归口并组织实施。

本文件起草单位：吉林省高速公路集团有限公司、北京诚达交通科技有限公司、交通运输部公路科学研究院、中路高科交通检测检验认证有限公司、北京网路智联科技有限公司、中公诚科（吉林）工程咨询有限公司、吉林省交通实业发展有限公司。

本文件主要起草人：郝晶祥、邵新怀、张宏伟、孙会、周旋、魏立伟、张亮、史永超、丁凯、阮蓬、李悦、李延明、杨云鹏、王海涛、吕也、杨久天、王永光、方彦明、张雷、方正鹏、仲崇波、汪林。

季冻区高速公路基础设施监测技术规范

1 范围

本文件规定了季冻区高速公路基础设施监测的总体要求、监测方案编制、监测设备、基础设施监测、监测数据分析、监测报告等内容。

本文件适用于季冻区高速公路基础设施（路基、路面、桥梁、隧道）新建、改(扩)建、在役阶段的监测工作。普通公路基础设施监测可参照执行。

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 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG/T D31-06 季节性冻土地区公路设计与施工技术规范
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

季冻区 `seasonal frozen region`

地表层土冬季冻结、夏季全部融化的土，称为季节性冻土，其所在地区称为季冻区。

3.2

高速公路基础设施监测 `expressway infrastructure monitoring`

指对高速公路结构、状态和性能进行实时检测，获取基础设施环境、作用、结构响应与结构变化定量数据的活动。

4 总体要求

- 4.1 季冻区高速公路基础设施监测宜采用新技术、新设备、新工艺和新材料。
- 4.2 应根据季冻区公路基础设施监测项目特点、设计要求、现场条件、监测措施等因素综合确定监测方法，同一监测点可选择不同监测方法相互验证。
- 4.3 基础设施监测断面和监测点应根据监测项目特点、工程规模、现场条件进行布设，且能够反映监测对象的整体状态。
- 4.4 同一基础设施不同监测内容的监测点宜布设在同一监测断面。

5 监测方案编制

5.1 一般规定

- 5.1.1 应根据季冻区地质、工程特点、气象及水文条件等因素编制高速公路基础设施监测方案。
- 5.1.2 应结合当地高速公路基础设施病害防治的相关要求和经验进行监测方案设计。
- 5.1.3 新建隧道监测应结合设计地勘资料、围岩等级及施工情况等资料动态制定监测方案。

5.2 监测方案内容

5.2.1 基础设施概况

应包括高速公路基础设施基本信息、结构技术数据、地理位置信息及以往监测、检查、维修、养护等背景调查，明确监测目的。

5.2.2 监测依据

应明确监测依据的相关标准及技术指南等文件名称。

5.2.3 监测位置、编号、记录

应明确高速公路基础设施的监测位置、编号及问题描述记录等内容。

5.2.4 监测内容

根据基础设施类型、内业资料及现场调查资料等分析确定的监测内容。

5.2.5 组织实施

应包括工作流程、监测顺序、人员和仪器设备的组织、监测过程中的交通组织和安全保障措施等。

6 监测设备

6.1 设备选型

- 6.1.1 应具有自动采集、数据无线传输、远程控制等功能。
- 6.1.2 应具备抗干扰能力，能适应严寒、高温、高湿、酸碱等恶劣条件。
- 6.1.3 应充分考虑设备安装的可操作性和维护的便捷性。
- 6.1.4 预埋在结构内部的传感器的使用寿命应不低于 20 年，附着安装在结构上的非埋入式传感器的使用寿命应不低于 5 年。
- 6.1.5 设备工作温度范围为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2 设备安装、调试、维护

- 6.2.1 监测设备安装安全要求应符合 JTG F90 中的规定。
- 6.2.2 传感器、数据采集设备现场安装前应验定，安装后应进行校验，并定期检查或校准。
- 6.2.3 监测点应明确传感器的类型、数量、安装位置和方向，宜可更换。
- 6.2.4 对不可更换传感器的监测点，宜做冗余布设。
- 6.2.5 对基础设施关键部位或关键构件监测内容，宜布设校验点。
- 6.2.6 监测布设应不妨碍监测对象的正常工作，尽量减少对施工作业的不利影响。

- 6.2.7 监测指标初始值的设定，应取设备稳定后不少于 3 次监测数据的平均值。
- 6.2.8 对于地势较高、空旷易遭受雷击的区域，应做好数据采集系统防雷击措施。
- 6.2.9 工程实施和监测过程中应做好监测断面、监测点和监测仪器设备、元器件的保护工作。

7 基础设施监测

7.1 路基监测

7.1.1 路基主体监测

7.1.1.1 一般规定

- 7.1.1.1.1 应收集气象、地质、工程特性、水文特性、路面结构、路基病害及历史处治等资料。
- 7.1.1.1.2 监测钻孔应按照 JTG C20 中规定进行地质编录、取样与试验。
- 7.1.1.1.3 地质资料不足时，应按照 JTG C20 中规定开展地质勘察。

7.1.1.2 监测点布设

- 7.1.1.2.1 应布设在路基路床范围、填挖交界、斜坡地基路基坡脚等最不利位置。
- 7.1.1.2.2 水文地质条件复杂、地形变化较大、因季节变化影响较大的路段应加密监测断面和监测点。
- 7.1.1.2.3 在路基本体难以布设监测点的情况下，应在路肩及绿化带中布设沉降监测点。
- 7.1.1.2.4 路基出现新裂缝时，应及时增设监测点。

7.1.1.3 监测内容

- 7.1.1.3.1 力学响应监测内容应包括地基沉降、地基分层水平位移、路基内部土压力、路基顶面水平位移和竖向位移等。
- 7.1.1.3.2 温度和水环境监测内容应包括路基与天然地基温度、土体含水率、水位等。
- 7.1.1.3.3 气象监测内容应包括风速、风向、降雨量、空气温度、空气湿度、地面温度、蒸发量与大气压力等。

7.1.1.4 监测指标

7.1.1.4.1 力学响应监测

力学响应监测应符合表 1 的要求。

表1 力学响应监测要求

序号	监测内容	精度
1	地基沉降	≤2 mm
2	地基分层水平位移	≤2 mm
3	路基内部土压力	≤量程的±1%
4	路基顶面水平位移及竖向位移	≤2 mm

7.1.1.4.2 温度和水环境监测

7.1.1.4.2.1 温度监测

监测应采用稳定性好、耐低温的传感器。温度监测应符合表 2 的要求。

表2 温度监测要求

序号	要求	
1	测量范围	-60 ℃ ~+80 ℃
2	测量精度	±0.15 ℃

7.1.1.4.2.2 水分监测

水分监测应符合表 3 的要求。

表3 水分监测要求

序号	监测内容	要求	
1	含水量	测量精度	当体积含水量小于65 %时，测量精度为±6 %
2	孔隙水压力	测量范围	1 kPa~500 kPa
		测量精度	±0.5% F.S
3	路基水分	采集时长	≥0.35 s

7.1.1.4.3 气象监测

气象监测应采用自动气象仪，气象监测应符合表 4 的要求。

表4 气象监测要求

序号	气象要素	测量范围	精度
1	大气压力	450 hPa~1060 hPa	≤0.5 hPa
2	空气温度	-50 ℃~+80 ℃	≤0.2 ℃
3	空气湿度	5%~100%	≤5% RH
4	地面温度	-50 ℃~80 ℃	≤0.2 ℃
5	风向	0° ~360°	≤2°
6	风速	0 m/s~50 m/s	≤ (0.1+0.03 V) m/s
7	降雨量	0 mm~999.9 mm	≤0.4 mm
8	蒸发量	0 mm~1000 mm	≤0.2 mm

7.1.2 边坡监测

7.1.2.1 一般规定

- 7.1.2.1.1 应收集气象、水文、工程地质环境背景、工程设计、施工进度情况及变形历史与现状等资料。
- 7.1.2.1.2 应及时了解和掌握边坡在长期交通运营过程中位移活动动态。
- 7.1.2.1.3 应以边坡岩体整体稳定性监测为主，兼顾局部滑动楔体稳定性监测。
- 7.1.2.1.4 应实现边坡的位移（水平和竖向）、水文、环境等参数变化监测。
- 7.1.2.1.5 连续降雨、暴雨等不利条件或监测数据异常时，应加密监测频率。

7.1.2.2 监测点布设

- 7.1.2.2.1 应根据边坡等级、支护结构等因素综合确定监测点位。
- 7.1.2.2.2 应布设在支护结构受力较大及能表征边坡安全状态和周边环境影响的部位。

7.1.2.2.3 易出现落石、泥石流等地质灾害且不宜采用接触式传感设备进行监测的边坡，可补充雷达等监测设备。

7.1.2.2.4 应选取不易发生位移的点位设置监测基准点。

7.1.2.3 监测内容

应包括监测点处的位移（水平和竖向）、滑移、雨量、水位等。

7.1.2.4 监测指标

7.1.2.4.1 位移监测

位移监测应符合表 5 中的要求。

表5 位移监测要求

序号	要求	
1	土质边坡位移量程	0 mm~200 mm
2	石质边坡位移量程	0 mm~500 mm
3	精度	≤0.2 mm

7.1.2.4.2 滑移监测

滑移监测应符合表 6 的要求。

表6 滑移监测要求

序号	要求	
1	量程	-30 °~30 °
2	分辨率	0.03/500 mm
3	系统总精度	≤5 mm/30 m

7.1.2.4.3 雨量监测

雨量监测应符合表 7 的要求。

表7 雨量指标要求

序号	要求	
1	量程	0 mm ~450 mm
2	精度	≤20 mm

7.1.2.4.4 水位监测

水位监测应符合表 8 的要求。

表8 水位监测要求

序号	要求	
1	范围	监测点历史最高水位+0.5 m
2	测量精度	≤10 mm

7.2 路面监测

7.2.1 一般规定

- 7.2.1.1 应收集气象、水文、车辆荷载、工程设计信息、通车时间及历史养护等资料。
- 7.2.1.2 宜采用加速加载设备，对沥青路面进行全寿命周期内模拟荷载和环境变化的加速加载测试，利用传感监测系统，分析路面性能指标变化规律，预估路面使用寿命。

7.2.2 监测点布设

- 7.2.2.1 应布设在路面受力关键特征区域最不利位置上。
- 7.2.2.2 应避免被施工或者其他人为破坏，保证监测周期内可以持续使用。
- 7.2.2.3 路面出现新裂缝时，应及时增设监测点。

7.2.3 监测内容

- 7.2.3.1 水平应变监测内容应包括沥青层底部、基层底面水平应变。
- 7.2.3.2 竖向应变监测内容应包括中面层竖向应变、路基顶面竖向应变等。
- 7.2.3.3 温度场监测内容应包括沥青层的温度。

7.2.4 监测指标

7.2.4.1 水平应变监测

水平应变监测应符合表 9 的要求

表9 水平应变监测要求

序号	要求	
1	测量范围	-1500 $\mu\epsilon$ ~5000 $\mu\epsilon$
2	测量精度	$\leq 65 \mu\epsilon$

7.2.4.2 竖向应变监测

竖向应变监测应符合表 10 的要求。

表10 竖向应变监测要求

序号	要求	
1	测量范围	-1500 $\mu\epsilon$ ~1500 $\mu\epsilon$
2	测量精度	$\leq 15 \mu\epsilon$

7.2.4.3 温度监测

温度监测应符合表 2 的要求。

7.3 桥梁监测

7.3.1 一般规定

- 桥梁监测应符合JT/T 1037中的规定，还应符合下列要求：
- a) 资料收集应包含水文、气象、桥梁载荷、桥梁设计、施工监控、竣工交付、检查报告、养护记录等；

- b) 新建桥梁的监测方案设计宜与桥梁主体结构设计同步进行，实施宜与桥梁施工同步进行；监测方案宜兼顾施工监控和成桥荷载试验的功能要求；
- c) 在役桥梁的监测方案设计宜与桥梁巡检和养护管理相结合；
- d) 监测指标应根据桥梁的运营环境、结构特点、结构危险性分析、结构病害、结构设计及监测功能综合确定；
- e) 不易抵近的桥梁宜采用视频监测技术。

7.3.2 监测点布设

- 7.3.2.1 应根据环境、作用、结构响应和结构变化的特征，考虑设备布设条件所受约束性，并符合下列要求：
- a) 应满足数据分析和应用的需要；
 - b) 宜优化信号传输方式，提高信噪比和数据质量；
 - c) 宜考虑数量冗余，满足系统稳定可靠和升级改造的需要；
 - d) 位置及安装方式应不损害桥梁主体结构。

7.3.2.2 温湿度传感器应安装在需要测量的监测断面，安装位置应在便于安装、调试、维护。

7.3.3 监测内容

- 7.3.3.1 环境监测内容应包括温湿度监测。
- 7.3.3.2 作用监测内容应包括荷载监测、风速风向监测。
- 7.3.3.3 结构响应监测内容应包括变形和位移监测、振动监测、应变监测。

7.3.4 监测指标

7.3.4.1 环境监测

7.3.4.1.1 温湿度监测应符合表 11 的要求。

表11 温湿度监测要求

序号	要求	
1	温度测量范围	-60 ℃ ~80 ℃
2	温度最大允许误差	±0.4 ℃
3	湿度测量范围	0 RH~100% RH
4	湿度最大允许误差	±3.0% RH

7.3.4.2 作用监测

7.3.4.2.1 荷载监测宜采用动态称重方法，荷载监测应符合表 12 的要求。

表12 荷载监测要求

序号	要求	
1	量程	根据桥梁车辆限载重以及预估车辆荷载载重综合确定
2	单轴监测量程	≥2 倍限载车辆轴重
3	现场数据存储能力	≥90 d

7.3.4.2.2 风速风向监测应符合表 13 的要求。

表13 风速风向监测要求

序号	要求	
1	量程	≥ 1.2 倍桥梁设计风速
2	风速误差	± 0.3 m/s
3	风向误差	$\pm 3^\circ$

7.3.4.3 结构响应监测

7.3.4.3.1 变形和位移监测应符合表 14 的要求。

表14 变形和位移监测要求

序号	类别	要求	
1	变形监测	量程	0 mm~1000 mm
		精度	≤ 1 mm
2	位移监测	量程	≥ 200 mm
		精度	≤ 2 mm

7.3.4.3.2 振动监测应符合 GB 50982 中的规定，宜采用加速监测方法，并符合表 15 要求。

表15 振动监测要求

序号	要求	
1	测量范围	-20 g~ 20 g
2	横向灵敏度	$< 5\%$
3	频率响应范围	0 Hz~1000 Hz

7.3.4.3.3 应变监测应符合 GB 50982 中的规定，并符合表 16 的要求。

表16 应变监测要求

序号	类别	要求	
1	静应变监测	量程	$\geq 1000\ \mu\epsilon$ ，且 ≥ 1.2 倍预计范围
		精度	$\leq 1\ \mu\epsilon$
2	动态应变监测	量程	$\geq 1000\ \mu\epsilon$ ，且 ≥ 2 倍预计范围
		精度	$\leq 1\ \mu\epsilon$

7.4 隧道监测

7.4.1 一般规定

7.4.1.1 应收集隧道设计、施工、病害及历史养护等资料。

7.4.1.2 监测指标应综合考虑隧道病害和缺陷治理及通行安全要求等因素。

7.4.2 监测点布设

7.4.2.1 宜按照物探低阻异常区选择监测断面，并考虑围岩、施工方法和支护参数变化等因素。

7.4.2.2 应在拱顶、拱腰和边墙位置布设应力和变形监测点。

7.4.2.3 温度场监测点布设应符合以下要求：

- a) 隧道口纵向温度场监测点布设在拱腰位置，径向温度场监测点布设在拱顶和拱腰的防火板表面、衬砌表面、防水板表面及围岩表面；
 - b) 排水系统温度场监测点布设在隧道中心排水沟、保温出水口和环形排水管拱脚的温度最低处。
- 7.4.2.4 湿度监测点宜布设在水分丰富区域的边墙拱脚。
- 7.4.2.5 应在以下区段增加监测断面：
- a) 围岩级别变化区段；
 - b) 偏压等地质条件复杂区段；
 - c) 施工方案和支护参数发生变更的区段；
 - d) 隧道出现过塌方、涌水突泥等区段。

7.4.3 监测内容

隧道监测内容应包括二衬位移、二衬变形、二衬裂缝、温湿度监测。

7.4.4 监测指标

7.4.4.1 二衬位移监测

二衬位移监测应符合表 17 的要求。

表17 二衬位移监测要求

序号	要求	
1	量程	0.5 m~30 m
2	精度	≤1.5 mm

7.4.4.2 二衬变形监测

7.4.4.2.1 二衬变形监测应符合表 18 的要求。

表18 二衬变形监测要求

序号	要求	
1	应变测量精度	≤0.5%
2	监测位置偏移量	≤30 mm
3	安装偏移角	≤2 °

7.4.4.2.2 二衬裂缝监测应符合表 19 的要求。

表19 二衬裂缝监测要求

序号	要求	
1	量程	≥25 mm
2	精度	≤0.1 mm

7.4.4.3 温湿度监测

温湿度监测应符合表 11 的要求。

8 监测数据分析

8.1 一般规定

- 8.1.1 应进行监测数据结构设计，并能按分类、分项、分组、编码、时间进行检索。
- 8.1.2 应进行监测数据校核，去除异常数据。
- 8.1.3 宜根据传感器状态标志判断监测数据可信度。
- 8.1.4 应对高频连续监测数据进行处理及存储，并定期转存或备份。
- 8.1.5 应对监测数据进行编录、整理和统计分析。
- 8.1.6 宜根据监测内容的特征确定数据分析样本时长。

8.2 路基监测数据分析

- 8.2.1 应根据路基主体安全评价要求、监测指标类型及监测数据特点，选择适宜的分析模型与方法。
- 8.2.2 多种问题并存的路段，宜根据预测数据采用常用的模糊综合评价方法进行分析。
- 8.2.3 应通过绘制沉降曲线和变形图直观反映路基的沉降情况。
- 8.2.4 应根据变形监测、应力监测、水文气象监测和人工巡查等监测数据进行分析。
- 8.2.5 应根据各监测物理量的大小、变化规律、趋势等特征，进行监测数据综合分析。

8.3 路面监测数据分析

- 8.3.1 宜结合高速公路入口称重信息，提高监测断面车辆荷载数据精度。
- 8.3.2 应考虑路基性能变化和路面表面温度、水分、荷载共同作用下的性能演化规律。
- 8.3.3 应从时间、空间及路面历史数据三个角度对比，全面分析路面监测数据的演化趋势。

8.4 桥梁监测数据分析

- 8.4.1 桥梁监测数据分析应符合 JT/T 1037 中的规定，还应符合下列要求：
 - a) 宜采用机器学习或其他可靠方法，分析不同类型监测内容之间、相同类型监测内容之间数据相关性；
 - b) 监测数据宜结合以往桥梁监测、检查、维修、养护数据进行分析。

8.5 隧道监测数据分析

- 8.5.1 应对结构响应、温度、湿度、变形等数据进行变形和变形速率分析、相关性分析等特殊分析。
- 8.5.2 应采用数学模型预测变形值，与累计变形量控制基准值比较，计算变形速率与其控制基准值进行比较，绘制时态曲线，判断发展态势所处阶段。

9 监测报告

- 9.1 监测报告应提供监测成果，必要时可召开专家评审会论证监测成果及结论。
- 9.2 监测报告应包括但不限于下列内容：
 - a) 概述和目的：应包含监测时间段、报告基本目的和要求等内容；
 - b) 基础信息：应包含高速公路的位置、长度、类型，建设年代和历史背景、设计和施工规范等内容；
 - c) 监测方法和工具：应包括使用的技术和工具、数据采集的频率和精度等内容；
 - d) 监测状态分析：应根据监测内容的完整性，分析监测状态；
 - e) 问题及缺陷记录：应详细记录监测所发现的问题和缺陷，宜给出超限情况的定量说明；
 - f) 比较分析：应与前次监测结果进行比较，宜对各类问题的发展趋势进行分析；

- g) 维护和修复建议：应针对所发现的问题提出具体维护或修复建议，宜对问题严重程度划分优先级；
 - h) 推荐监测计划：应推荐下一次监测分析报告时间，可提供监测改进建议；
 - i) 附录和补充材料：宜包括图表、照片、视频、技术细节等资料。
-