

TMAC

团体标准

T/TMAC XXX-2026

普通国省干线公路基础设施轻量化 监测技术指南 (征求意见稿)

Technical Guidelines for Lightweight Monitoring of Infrastructure on
Ordinary National and Provincial Highways

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

中国技术市场协会

发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本规范实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本规范版权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本规范。第三方机构依据本规范开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲23号城乡大厦12层1217-1223

邮政编码：100036

电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn

电子信箱：136162004@qq.com

前 言

本指南按照《公路工程行业标准编写导则》（JTG1003-2023）的规定起草。

本指南在编制过程中，系统调研了普通国省干线公路桥梁、隧道和边坡的监测需求，分析总结了国内典型轻量化监测预警系统建设与运行经验，结合现行国家和行业标准要求编制而成。

本指南共9章，主要技术内容包括总则、术语和定义、基本规定、系统组成、监测内容、设置要求、技术要求、安装与维护、检验规则。

请注意本指南中的某些内容可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别专利的责任。

本指南由中国技术市场协会交通运输专业委员会提出，由中国技术市场协会归口。受中国技术市场协会委托，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责具体解释工作，请有关单位将问题与建议反馈至中交第一公路勘察设计研究院有限公司（地址：陕西省西安市高新区科技四路205号；联系电话：18591987324；电子邮箱：345782459@qq.com）。

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：西安中交土木科技有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则1

2 术语和定义 1

3 基本规定2

4 系统组成3

 4.1 系统架构 3

 4.2 建设要求 4

5 监测内容4

 5.1 监测指标 4

 5.2 预警阈值 5

6 设置要求5

 6.1 桥梁监测 6

 6.2 边坡监测 7

 6.3 隧道洞口仰坡监测8

 6.4 预警发布设备 9

7 技术要求9

 7.1 硬件部分 9

 7.2 软件部分12

 7.3 预警模型13

8 安装与维护13

 8.1 一般规定13

 8.2 基础施工14

 8.3 设备安装14

 8.4 安装记录15

 8.5 联调联试15

 8.6 运行维护16

9 检验规则16

9.1 设备检验16

9.2 设备验收17

9.3 过程管理17

1 总则

1.0.1 为提高公路基础设施的轻量化监测水平，统一工作方法与技术要求，确保监测工作安全适用、准确可靠、技术先进、经济合理，特制定本指南。

1.0.2 本指南适用于包含桥梁、边坡和隧道洞口仰坡在内的普通国省干线公路基础设施轻量化监测系统的设计、实施、数据管理和监测应用，该系统可用于日常运行监测、自然灾害监测等场景。

1.0.3 公路基础设施轻量化监测除应符合本指南的规定外，尚应符合有关法律法规及国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语和定义

2.0.1 国省干线 national and provincial Highways

国道与省道的统称，指由国家及省级规划建设、承担区域干线运输功能、连接重要城镇与交通枢纽的干线公路。

2.0.2 轻量化监测 lightweight Monitoring

通过布置低功耗、易安装、高集成的监测感知设备，选择公路基础设施安全与健康的主要表征指标物理量，进行连续自动测量、快速计算和挖掘分析，为用户提供实时安全预警、健康度评估、应急管理智能化服务的数字化技术。

2.0.3 监测指标 monitoring indicators

描述结构监测目标演变过程的直接或间接的可监测量，是监测目标的一种数值本征。

2.0.4 监测设备 monitoring facilities

用于实时监测桥梁、路基边坡、路面、隧道洞口边仰坡等状态，及时发现桥梁垮塌、路基边坡坍塌、隧道洞口边仰坡滑坡等公路突发灾害事件的设备及相关配套装置。

2.0.5 一体化采集 integrated collection

单个监测设备内部集成微控制单元、无线通信模块和电源控制模块，能直接对传感器信号进行采集、处理、传输。

2.0.6 预警阈值 exceedance threshold

对公路基础设施环境、作用、结构响应、结构变化、关键结构构件可能出现的各种级别的异常或风险，各监测点数据特征指标所设定的临界状态警戒值。

2.0.7 超限报警 over-limit alarming

监测数据的特征指标达到或超过阈值时，系统自动发出相应级别的警报，并启动预警措施。

3 基本规定

3.1.1 轻量化监测系统主要用于公路桥梁、路基边坡、隧道洞口边仰坡位置。

3.1.2 公路基础设施轻量化监测应符合“数据从简、设备从集、网络自组、部署从便”的技术要求，实现少指标、高集成、低功耗、小成本、易维护的监测目标。

3.1.3 桥梁轻量化监测重点场景包括但不限于：

- a) 整体或主要受力构件技术状况评定等级为三类或四类的公路桥梁；
- b) 服役年限超过 25 年且存在明显病害的桥梁；
- c) 重载交通或饱和交通桥梁；
- d) 存在船舶或者车辆撞击风险的桥梁；
- e) 加固改造桥梁；
- f) 曲线匝道或独柱墩桥梁；
- g) 检修困难的桥梁；
- h) 桥面附属设施易受损坏或桥下空间易遭侵占的桥梁；
- i) 多片梁结构体系桥梁。

轻量化监测应与桥梁综合监管形成互补机制，定期将监测数据结果与桥梁检查、检测结果进行对比与分析，综合评估桥梁结构安全状态。

3.1.4 应根据基础设施结构的受力状态、风险评估、耐久性分析、关键典型病害统计、安全韧性提升和监测应用需求确定单体结构轻量化监测技术、构建轻量化系统、进行数据管理、开展监测应用。

3.1.5 公路基础设施结构轻量化技术宜积极采用北斗卫星导航、5G 移动通信、边缘计算、人工智能与大数据等新技术和新设备。

3.1.6 公路基础设施结构轻量化技术应分为系统设计、系统实施、系统试运行、系统验收、系统运维和监测数据应用阶段。

3.1.7 公路基础设施结构轻量化监测技术应自主可控、先进适用。

3.1.8 公路基础设施结构轻量化监测系统稳定可靠、经济实用、安全网联，便于维护和升级扩容。

3.1.9 轻量化监测信息化系统应与外部系统互联互通、数据共享，实时展示监测成果，应按照统一的数据标准与接口，实现与省部级平台的信息共享与业务协同。

3.1.10 对于新建公路的桥梁、隧道、边坡结构监测预警系统建设应纳入工程概预算，同步设计、同步施工、同步投入使用。对系统建设完成后，在结构运营中出现的病害或发现的关键风险点，可增设硬件设备进行针对性监测。

4 系统组成

4.1 系统架构

4.1.1 公路基础设施结构轻量化监测预警系统采用“基础数据层—服务层—业务功能层”三级轻量化架构，具有层级少、链路短、部署成本低等优势。总体架构见下图。

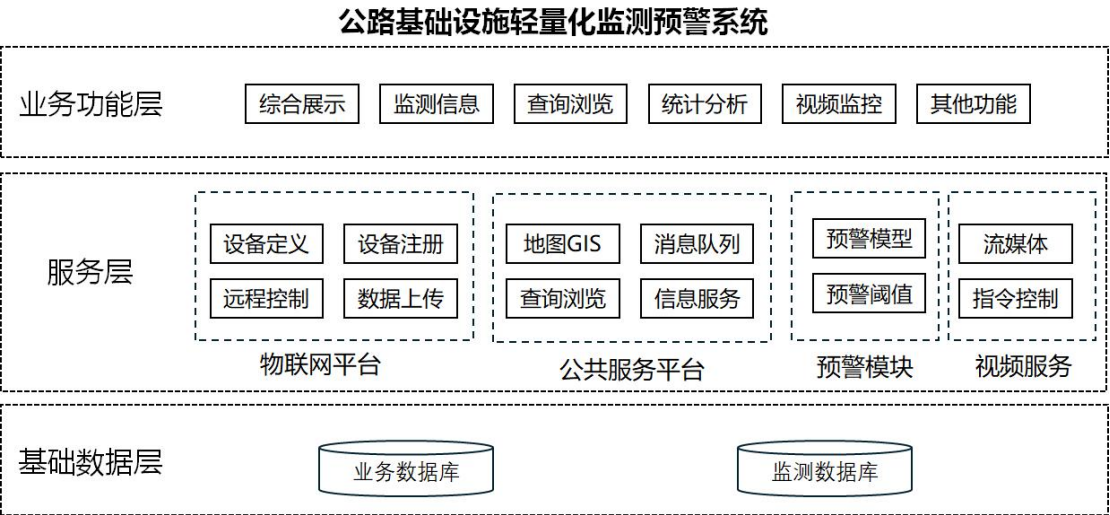


图 4.1 公路基础设施结构轻量化监测预警系统总体架构

4.1.2 基础数据层：主要包括监测业务数据、预警业务数据、监测数据，其中监测数据可通过物联网平台实时转发获取，监测业务数据、监测数据等可通过数据交换平台进行同级、跨级的双向实时动态地交换共享获取。

4.1.3 服务层：监测预警业务平台底层主要由物联网平台、公共服务平台、预警系统、视频服务平台等提供基础的业务支撑服务。业务平台可通过对基础业务支撑服务的封装，对外部提供 Web API 服务、功能组件以及第三方 API，便于业务平台内部进行功能扩展、第三方应用进行数据服务调用。

4.1.4 业务功能层：以 Web 界面形式将业务功能进行可视化展示并提供相应的业务功能操作，提供基于 Web 技术实现的数据检索、空间与数据可视化、数据分析等功能，平台应具备数据综合展示、监测管理、设备管理、查询浏览、统计分析、预警发布等基础功能模块。

4.2 建设要求

- 4.2.1 监测预警系统整体遵循小型化、低投入、少土建、易运维建设原则，宜采用轻量化云平台架构，功能精简聚焦测点管理、数据存储、预警分发、养护报表；支持网页、手机小程序轻量化访问。
- 4.2.2 监测预警系统宜联网运行，加强业务协同，整合行业内外数据，提高研判水平，打通快速发布渠道，持续提高联网率、降低误报率。
- 4.2.3 监测预警系统应能将预警信息共享至养护路政巡查人员、公安部门，实现跨部门协同，注重人防、技防相结合，在人防的基础上加强技防，提升应用效果。
- 4.2.4 监测预警系统应具备信息系统远程驱动监测预警设施、监测设备直接驱动预警设施、人工现场驱动监测预警设施的能力，断网条件下监测设备应直接驱动预警设施实现预警发布。
- 4.2.5 监测预警系统应具备跨省、跨路段信息交互功能，应采用标准化通用数据协议，可对接既有公路养护管理平台。
- 4.2.6 监测预警系统应具备弹性扩容能力，新增测点即装即接，无需改造传输与平台硬件。
- 4.2.7 新建和改扩建公路时，如辨识确有较高自然灾害风险路段，应统筹考虑监测预警系统建设。

5 监测内容

5.1 监测指标

5.1.1 应综合考虑隐患点类型、承灾体、危害等级、宏观变形迹象、形成机理、稳定状态、发展趋势和现场实施条件等内容，合理确定监测对象、监测指标及测点布设，遵循“一点一策，指标精准”的原则，突出轻量化监测的针对性和经济性。公路基础设施轻量化监测指标宜包含以下项目：

表 5.1 监测场景及监测指标

监测场景	监测指标
桥梁	墩梁相对位移
	拱脚位移
	墩台倾角

	水位
路基边坡	边坡地表位移
	地表位移
	降雨量
	土壤含水率
隧道洞口 边仰坡滑 坡	洞口边仰坡地表位移
	降雨量
	土壤含水率

5.2 预警阈值

5.2.1 预警阈值应在公路边坡监测中进行重点研究分析，分析中应明确主控因素，根据主控因素进行预警，预警值可参考表 5.2-1~5.2-3，具体数值宜基于实际情况、监测内容历史统计值、设计值和规范容许值确定，并考虑基础设施的日常管养控制需求。

表 5.2-1 桥梁主要指标预警阈值建议值

序号	监测指标	预警阈值	
		累计值	变化速率
1	梁体倾角	达到最不利工况计算值	1°/min
2	墩梁相对位移	达到最不利工况计算值	5mm/min
3	墩台倾斜	达到设计值或一天内 10 次以上达到 0.8 倍设计值	0.5°/min
4	水位	达到最高设计洪水位	16mm/min
5	降雨量	100mm/3h	\

表 5.2-2 边坡主要指标预警阈值建议值

序号	监测指标		预警阈值	
			累计值（mm）	变化速率（mm/min）
1	地表位移	地表水平位移	30	10
		地表垂直位移	20	10
2	路面沉降		60	6
3	降雨量		100mm/3h	\

表 5.2-3 隧道洞口边仰坡主要指标预警阈值建议值

序号	监测指标		预警阈值	
			累计值（mm）	变化速率（mm/min）
1	地表位移	地表水平位移	30	10
2		地表垂直位移	20	10
3	降雨量		100mm/3h	\

6 设置要求

测点布设应把握环境、作用和结构风险的特征，兼顾代表性、经济性、可更换性，并考虑设备布设条件所受约束性。

6.1 桥梁监测

6.1.1 桥梁监测设备的配置应根据不同监测指标确定，并符合表 6.1 的规定。

表 6.1 桥梁轻量化监测设备		
监测指标	监测设备	配置要求
墩梁相对位移	振动、倾角一体化设备	●
	雷达	○
	分布式光纤检测器	○
	光纤光栅检测器	○
拱脚位移	振动、倾角一体化设备	●
墩台倾角	振动、倾角一体化设备	●
水位	水位计	●
桥梁垮塌	视频监测	●
	雷达	○
注：●为应选监测项，○为可选监测项。		

6.1.2 桥梁监测点位布设应符合下列规定：

- a) 梁桥的监测点宜布设在墩梁，拱桥的监测点应布设在拱桥拱脚。
- b) 监测点应布设在受水毁、滑坡、泥石流等影响范围内的桥跨。
- c) 振动、倾角一体化设备监测墩梁相对位移时宜在梁端或盖板等不受外力影响位置布设；监测拱脚位移时宜布设于拱座上、下游两侧。
- d) 采用雷达监测方式时，可选取稳定区域进行布设，保证雷达的监测范围能够覆盖桥梁关键结构部分，实现梁体、桥墩、桥台关键部位的立体式监测。
- e) 分布式光纤检测器的光纤传感器可利用公路既有通信光缆，信号解调仪可布设在桥梁就近的通信站。无通信光缆的可根据桥梁构件型式和被测点需求合理选择布设方案，保证可覆盖所需监测的墩梁。
- f) 光纤光栅检测器的光纤传感器可根据桥梁构件型式和被测点需求合理选择布设方案，保证可覆盖所需监测的墩梁。
- g) 水位计宜布设在桥梁背向水流方向的桥墩上。
- h) 视频监测应布设在桥梁的两侧桥头，保证桥梁整体运行情况在视频可视范围内，若设备无法满足监测需求时宜合理增加监控点数量。如桥梁在地质灾害影响区域内，宜合理增加视频监控点，保证可监测桥梁整体运行情况、影响桥梁安全的周边环境情况等相关区域。

- i) 设备选型应明确传感器的类型。对不可更换的监测设备，宜做冗余布设。
- ### 6.2 边坡监测
- 6.2.1 边坡监测设备的配置应根据不同监测指标确定，并符合表 6.2 的规定。
- 表 6.2 边坡轻量化监测设备

监测指标	监测设备	配置要求
边坡地表位移	振动、倾角一体化设备	●
	GNSS 一体化设备	○
	裂缝计	○
	雷达	○
	分布式光纤检测器	○
	光纤光栅检测器	○
路面沉降	振动、倾角一体化设备	●
	静力水准仪	○
降雨量	雨量计	●
含水率	土壤温湿度计	●
路基边坡坍塌	视频监控	●
	雷达	○

注：●为应选监测项，○为可选监测项。
- 6.2.2 边坡监测点位布设应符合下列规定：
- a) 监测断面应根据边坡类型、形态特征、边界条件、物质组成、近期变形特征、发育阶段、影响因素及形成机制、破坏模式及其危险性等，选择明显变化因素和主要控制因素为监测内容，选择明显变形区段和关键块体为监测部位。
- b) 监测断面宜优先考虑十字形，纵断面应与主要变形方向一致或相近，有两个或两个以上变形方向时，可根据监测需求扩展为“卅”字形、“卅”字形、“井”字形、“丰”字形或放射状等形式。
- c) 监测边坡地表位移时，振动、倾角一体化设备监测点位应根据监测断面设计，布设在断面线上或断面线两侧强烈变形区。
- d) GNSS 一体化设备可参考振动、倾角一体化设备布设，结合边坡情况适当减少布设密度。
- e) 雷达可布设在边坡附近稳定区域，保证雷达的监测范围能够覆盖整个边坡。
- f) 分布式光纤检测器、光纤光栅检测器的光纤传感器可根据边坡结构特性和被测点需求合理选择布设方案，可采用 S 形敷设保证覆盖整个坡面。
- g) 监测路面沉降的振动、倾角一体化设备或静力水准仪可布设在路肩等不影响交通通行的位置。

- h) 雨量计可布设在边坡外围相对稳定、平坦且空旷位置，雨量计上侧不应有遮挡。
- i) 土壤温湿度计可布设于滑坡影响范围外的相对稳定位置。
- j) 视频监控点应布设在边坡周边稳定区域，监控范围覆盖主要坡面，若单一设备无法满足监测需求，宜合理增加监测点数量。
- k) 设备选型应明确传感器的类型。对不可更换的监测设备，宜做冗余布设。

6.3 隧道洞口仰坡监测

6.3.1 隧道洞口边仰坡监测设备的配置应根据不同监测指标确定，并符合表 6.3 的规定。

表 6.3 隧道洞口仰坡轻量化监测设备		
监测指标	监测设备	配置要求
洞口边仰坡地表位移	振动、倾角一体化设备	●
	GNSS 一体化设备	○
	雷达	○
	分布式光纤检测器	○
	光纤光栅检测器	○
降雨量	雨量计	●
含水率	土壤温湿度计	●
洞口边仰坡滑坡	视频监控	●
	雷达	○
注：●为应选监测项，○为可选监测项。		

6.3.2 隧道洞口边仰坡监测点位布设应符合下列规定：

- a) 监测隧道洞口边仰坡地表位移时，振动、倾角一体化设备监测点位应根据监测断面设计，布设在断面线上或断面线两侧强烈变形区。仰坡中心监测点应布设在隧道轴线正上方地表位置，其他监测点自中心监测点由密至疏向两端布设。
- b) GNSS 一体化设备可参考振动、倾角一体化设备布设，结合现场情况适当减少布设密度。
- c) 雷达可布设在隧道洞口前，监控范围覆盖主要坡面。
- d) 分布式光纤检测器、光纤光栅检测器的光纤传感器可根据边仰坡结构特性和被测点需求合理选择布设方案，可采用 S 形敷设保证覆盖整个坡面。
- e) 雨量计可布设在隧道洞口外相对稳定、平坦且空旷位置，雨量计上侧不应有遮挡。

- f) 土壤温湿度计宜布设于隧道洞口外的相对稳定位置。
- g) 视频监控应布设在隧道洞口前，可与雷达同点布设，保证目标边仰坡在视频监控最远距离范围内。
- h) 设备选型应明确传感器的类型。对不可更换的监测设备，宜做冗余布设。

6.4 预警发布设备

- 6.4.1 预警发布设备可根据灾害风险点位置及影响范围分区布设，重点普通公路预警设施可根据距风险点距离按点位布设。
- 6.4.2 预警发布设备布设区域应包括灾害风险路段、阻拦区和告警区，可参考《公路自然灾害监测预警系统技术指南（试行）》。

7 技术要求

7.1 硬件部分

7.1.1 监测设备应符合下列规定：

- a) 监测设备应适应监测点位的监测需求。
- b) 监测设备应遵循轻量化设计理念，兼顾现场快速布设、长期无人值守运行、多参量一体化采集需求，整体具备低功耗、易安装、高集成核心特性，适配普通国省干线公路基础设施常态化监测场景。
- c) 监测设备应满足一体化采集要求，即设备内部集成微控制单元、无线通信模块和电源控制模块，能直接对传感器信号进行采集、处理、传输。
- d) 设备选型应满足监测量程、分辨力、精度、灵敏度、长期稳定性、环境适应性等要求，能在-20℃~60℃的温度范围内稳定工作。
- e) 监测设备的防护等级应符合 GB/T4208 的相关规定。可能被水淹没的设备，防护等级应达到 IP68，户外安装设备的防护等级应不低于 IP65。

表 7.1-1 监测设备技术参数要求

监测指标	监测设备	指标参数
------	------	------

墩梁相对位移、拱脚位移、隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移、墩台倾角	振动、倾角一体化设备	角度范围不小于 $\pm 60^\circ$ 、精度不低于 0.5° ，振动精度不低于 0.1mg ，连续采样时频率不低于 1Hz
隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移	GNSS 一体化设备	静态精度水平优于 $\pm 5\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$ ，高程优于 $\pm 10\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$ ，连续采样时频率不低于 1Hz
墩梁相对位移、拱脚位移、隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移	拉线式位移计	量程不少于 500mm ，分辨率不低于 5mm ，连续采样时频率不低于 1Hz
水位	水位计	精度不低于 $\pm 1\%\text{FS}$ ，连续采样时频率不低于 1Hz
降雨量	雨量计	精度不低于 2mm ，连续采样时频率不低于 1 次/ 10min
土壤含水率	土壤温湿度计	精度不低于 3% ，量程范围 $0\% \sim 100\%$ ，连续采样时频率不低于 1Hz
墩梁相对位移、隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移	雷达	形变测量精度不低于 1mm ，连续采样时频率不低于 1Hz
墩梁相对位移、隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移	分布式光纤检测器	光功率损耗监测精度 0.1dB ，光功率损耗监测范围 $0 \sim 20\text{dB}$ ，连续采样时频率不低于 1Hz
墩梁相对位移、隧道洞口边仰坡地表位移、边坡地表位移	光纤光栅检测器	光栅反射率一致性优于 5dB ，测量精度 $\pm 4\mu\epsilon$ ，连续采样时频率不低于 1Hz

7.1.2 监测设备的通信传输应符合下列规定：

- a) 数据采集与传输系统应具备自动采集和远程传输功能，并可实现远程配置和调整。
- b) 数据采集宜选用连续采集，必要时可选用触发采集、定时采集等方式。采样频率应满足实时报警、数据应用的要求。
- c) 监测设备向路段级信息系统传输时宜采用现有光纤专网有线传输，无专网接入条件时可采用4G/5G无线网络传输。
- d) 轻量化监测宜采用独立、安全的数据链路与存储资源，并宜通过防火墙、安全隔离、加密传输等措施保障数据采集与存储安全。

7.1.3 监测设备的供电应符合下列规定：

- a) 采用市电供电时，应具备不少于 4h 不间断应急供电能力。
- b) 采用太阳能供电时，电池容量应不低于连续 7 天无日照情况下监测设备正常运行的需求。

- c) 感知模块与数据采集网关分离式监测设备的感知模块应自带电池，电池供电能力应不低于 2 年。
- d) 感知、通信、供电一体式监测设备的电池供电能力应不低于 2 年。

7.1.4 预警设备应符合下列规定：

- a) 告警设施包含有线广播、调频广播等声音告警设施，爆闪灯、照明设施、激光灯等光电告警设施，情报板、简易文字提示屏、静态提示标志等文字告警设施。
- b) 阻拦设施包含道路交通信号灯、路侧可变车道控制标志及电动栏杆等设施。
- c) 预警设施分类及功能技术要求宜符合表 7.1-2 的规定，在工程实施中可选择单一类型设备或多类型组合设备。

表 7.1-2 预警设施分类及功能技术要求

预警设施分类		功能技术要求
声音告警设施	有线广播	有线广播包含强声广播和定向广播。强声广播额定功率不低于 300W，最大声压级@1 米不低于 125dB。定向广播额定功率不低于 150W，最大声压级@1 米不低于 135dB，波束宽度（HxV）为 15°x30°2kHz/-3dB。两种广播在最大声压级持续工作时间不低于 4h（最大声压级衰减不大于 3dB）。
	爆闪灯	具有红蓝发光二极管主动发光、交替高频闪烁的警示功能，其中红色和蓝色发光体各两组，每组应为尺寸相同的矩形，每组尺寸不低于 15 厘米×15 厘米，亮度不低于 5000 坎德拉每平方米，闪烁频率不低于 5 赫兹，红蓝交替闪烁时长比为 1:1。
光电告警设施	照明设施	道路照明平均亮度 1.5 坎德拉每平方米，照明总均匀度最小值为 0.4，纵向均匀度最小值为 0.7，眩光限值增量最大初始值为 10，环境比最小值为 0.5。
	激光灯	具有远程联动控制功能，紧急情况下光源可按照一定角度向来车方向照射。
文字告警设施	情报板	满足《高速公路 LED 可变信息标志》（GB23828-2023）等相关规范要求
	简易文字提示屏	通过发光二极管黄色灯珠组成“停”字，字高不小于 30 厘米，爆闪警示功能启动后，文字应常亮，亮度不低于 5000 坎德拉每平方米。
	ETC 路侧设施	ETC 路侧设施发布预警信息应满足《公路电子不停车收费车路协同拓展应用技术规范》（JTG/T6520-2024）等相关规范要求。
	交通标志牌	满足《道路交通标志和标线》（GB5768）等相关规范要求。
阻拦设施	道路交通信号灯	具有远程联动控制功能，指数指标满足《道路交通信号灯设置与安装规范》（GB14886-2016）的要求。
	路侧可变车道控制标志	充分利用现有门架进行安装，可对现有情报板、指示标志进行局部改造调整，使其具备警示功能。

	电动栏杆	具有远程联动控制功能，可采用旋转短杆或长杆的方式，紧急情况下通过旋转对车辆进行阻拦，阻拦车辆进入风险路段。
--	------	---

7.2 软件部分

7.2.1 监测预警信息系统应具备分析处理、审核判断、超限报警、协调调度等功能。

7.2.2 分析处理应包括数据接入、数据融合分析功能，数据接入功能具备接入监测预警设施实时上报数据和多源数据的能力，并应具备良好的扩展性和适配性，能够针对新增设备或新增其他系统数据接口进行快速扩展；数据融合分析功能应具备监测设备数据之间、多源数据与监测预警系统数据之间的融合分析能力。

7.2.3 监测预警数据格式可参考交通运输部《公路自然灾害监测预警系统技术指南（试行）》附录 A、附录 B。

7.2.4 审核判断应包括自动审核判断和人工审核判断功能，其中，自动审核判断功能应通过配置接入数据综合阈值策略，当监测数据达到或超过阈值时，可根据策略触发预警发布，并立刻启动人工审核判断，根据判断结果调整预警发布策略；人工审核判断功能应基于监测设备发出的自动预警数据，人工通过视频监控远程或现场核查等方式，对公路自然灾害实际发生情况进行分析，当发生公路自然灾害时，人工触发预警发布。预警发布应具备自动启动、人工启动、一键启动预警设施的能力。

7.2.5 协调调度应具备协同上下级系统、跨部门快速处置的能力，通知相关养护、路政巡查人员现场处置，协同公安等部门的协同处置能力。

7.2.6 监测预警信息系统应具备实时或定期向上级系统报送本级汇聚的监测信息、预警信息以及预警设施控制信息等功能。

7.2.7 监测预警信息系统应能进行软件迭代升级，确保安全稳定运行。

7.2.8 监测预警信息系统宜具备移动应用能力，监测预警移动终端 APP 应符合下列规定：

- a) 支持查看监测预警数据。
- b) 支持对预警数据的人工审核与判断，并具备预警发布的功能。
- c) 支持对告警阻拦设施的直接预警发布，可实现预警的启动或停止。
- d) 支持根据不同角色接收监测预警处置任务，并具备文字描述和拍照上传的功能，用于任务反馈和信息采集。

e) 支持与有线对讲、有线广播等音视频设备的协同控制能力，用于指挥调度。

7.2.9 监测数据存储方式应根据采集模式和应用需求，采取分层分类方式进行存储与管理，存储方式宜分为现场存储、云存储和转移离线存储。

7.3 预警模型

7.3.1 预警依据

预警判据主要包括降雨判据、变形判据和临灾前兆异常判据等。

- a) 降雨判据包括日降雨量、累积降雨量、有效降雨量、变形量—降雨关系等；
- b) 变形判据包括变形量、变形速率等；
- c) 临灾前兆异常判据包括变形特征、裂缝组合及变形发展特征等。

7.3.2 预警分级

预警级别分为一级、二级、三级、四级，分别对应风险极高、风险高、风险较高和风险一般等不同程度，依次用红色、橙色、黄色、蓝色标识。一级为最高级别。预警分级的划分应当参考 5.2 节中预警阈值参考值，并结合现场实际情况进行划分。

- a) 红色预警（警报级）：灾害发生的可能性很大，各种短临前兆特征显著，主要监测数据到达预警阈值，在数小时大规模发生的概率很大；
- b) 橙色预警（警戒级）：灾害发生的可能性大，有一定的宏观前兆特征，主要监测数据到达预警阈值的 0.8 倍，在几天内大规模发生的概率大；
- c) 黄色预警（警示级）：灾害发生的可能性较大，具有明显的变形特征，主要监测数据到达预警阈值的 0.6 倍，在数周内大规模发生的概率较大；
- d) 蓝色预警（注意级）：灾害发生的可能性小，监测数据表现有一定变化。

8 安装与维护

8.1 一般规定

- 8.1.1 设备安装应保证安全、符合设备采集原理及条件。
- 8.1.2 设备安装应考虑复用性。
- 8.1.3 设备安装应稳固、美观。

8.1.4 设备维护方法应简单易推广，维护工作应做到准时、及时、长时。

8.2 基础施工

8.2.1 采用地埋件安装立杆，应保持水平，上端与立杆法兰盘应可靠连接。预制件可选用钢筋混凝土基础，上端为地脚螺栓螺纹，下端为防拔结构；在保证稳定性前提下，可采用预埋箱、地插胀杆等绿色安装方式。

8.2.2 采用混凝土现场浇筑安装立杆，地面以上立杆高度 2m 时混凝土底座长×宽×深不小于 500mm×500mm×600mm，地面以上立杆高度 3m 时混凝土底座长×宽×深不小于 600mm×600mm×800mm，地面以上立杆高度 5—6m 时混凝土底座长×宽×深不小于 800mm×800mm×1000mm，且基础露出地面高度不小于 200mm。混凝土基础位于冻土层上时，墩体重心原则上应位于冻土层以下不少于 0.5m。混凝土基础位于居民屋顶上时，地面以上立杆高度不大于 1.5m，防止发生倾覆。相关施工质量控制及技术要求应按照 GB 50204 进行。

8.2.3 对于地插胀杆式安装方法，应保证钻孔直径不小于胀杆直径，地插部分长度不小于 600mm，地插深度不小于 600mm。并采用原位土和泥浆填充空隙，保证设备安装稳定。胀杆位于冻土层上时，胀杆应插入冻土层以下不少于 0.5m。

8.2.4 采用悬挂安装的设备，应配备设备安装背板，并用不少于 3 颗膨胀螺钉固定。

8.2.5 安装避雷措施的设备，基础施工时应预先埋入接地电极。

8.2.6 基础施工属隐蔽工程，应按施工流程做好影像记录以备查验。

8.2.7 监测点位基础稳定后开展监测工作，此后监测数据有效。

8.2.8 自建 CORS 组网基准站观测墩一般为钢筋混凝土结构，依据基准站建站地理、地质环境，观测墩可分为屋顶观测墩、土层观测墩和基岩观测墩，观测墩的建造要求如下：

- a) 屋顶观测墩所在建筑物应为钢筋混凝土框架结构，观测墩长宽高尺寸不低于 1000mm×1000mm×300mm，墩体应位于房屋承重柱、梁上，与屋顶面接合处应做好防水处理；
- b) 土层观测墩，墩体地下埋深应不小于 1m(冻土层上，墩体重心应位于冻土层以下不少于 0.5m)；
- c) 基岩观测墩，内部钢筋与基岩紧密浇筑，浇筑深度应不小于 0.5m。

8.3 设备安装

8.3.1 应依照监测设计方案，将传感器安装在指定位置。

8.3.2 雨量计立杆高度不低于 2m，安装完成后应检查承水器口、压敏（电）感应区是否水平，雨量计承雨器口、承雨面的安装高度选定后，不得随意变动，以保持历年降雨量观测高度的一致性和降雨记录的可比性。

8.3.3 独立供电系统 GNSS 立杆直径 $\geq 140\text{mm}$ ，管壁厚度 $\geq 3\text{mm}$ ，立杆高度不低于 2m。集成供电系统的一体化 GNSS，立杆直径 $\geq 110\text{mm}$ ，管壁厚度 $\geq 3\text{mm}$ ，立杆高度不低于 2m。

8.3.4 拉线式位移计在灾害体主裂缝位置应尽可能垂直跨缝安装，拉绳应通过保护管或地埋安装进行保护，激光式裂缝计标靶应固定，且标靶面积不小于 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。

8.3.5 倾角计、加速度计等应将传感器埋入浅层或固定在灾害体表面或水泥台上。

8.3.6 含水率计安装时，应选择土层较厚且碎石较少的区域安装，土层厚度一般不小于 1m；安装点位附近有裂缝时，应保持 1m 以上的直线距离；安装后含水率计周边 50cm 范围内若新生裂缝，需要及时更换点位，以避免数据异常。

8.4 安装记录

8.4.1 设备进场安装前，应组织设备、辅助材料现场验收并填表。

8.4.2 安装记录应包括监测点位信息、基础施工、安装调试步骤、过程影像记录等内容。

8.4.3 监测点位信息应包括灾害点名称、编号、经纬度、施工过程图、施工单位等信息。

8.4.4 基础施工应包括施工条件、基础尺寸、施工时间等内容。

8.4.5 对安装过程进行拍照记录填表，照片主要包括施工前（监测点位裂缝分布、地形地貌）、施工中（基础施工、设备安装、设备调试）、安装完成后设备整体等关键环节。

8.5 联调联试

8.5.1 对所有外接连接线（电源线、数据线）进行检查，确保电源线正负极连接正确。

8.5.2 连接太阳能电池板与充电控制器线缆，检测太阳能充电控制器负载端输出电压。

8.5.3 依次连接传感器、电源、太阳能电池板控制器、天线与主机线缆等。

8.5.4 检查数据采集、传输通信情况，查看远程客户端是否收到测试数据及收到的测试时间、数据量，并检查分析测试数据的合理性。

8.5.5 应依次检查传感器、供电电源、传输天线，确保数据传输正常。

8.5.6 信息送达调试。包括预警信息下发测试、预警喇叭现场远程唤醒测试、采集频率动态调整测试等。

8.6 运行维护

8.6.1 系统通过验收后，应建立健全运行管理与维护机制，保障系统持续、稳定、正常运行。

8.6.2 系统维护内容包含软硬件的日常维护、定期维护、故障维护、应急维护和原位校准工作。

8.6.3 日常检查：硬件应结合基础设施日常巡查工作开展；软件宜每周 1 次。

8.6.4 定期维护应满足下列要求：

a) 硬件设备宜不低于每季度 1 次，维护单位应对设备进行全面检测和保养，对监测设备、采集设备等外观完好性进行检查，对设备及防护罩的固定情况以及传感器、采集设备与传输线路的接头紧固情况进行检查；检查设备运行状态，核查错误记录，排除潜在隐患，以确保正常稳定地监测；

b) 软件定期维护：宜不低于每年进行 1 次，主要包括软件系统时间同步检查、磁盘存储空间检查及清理、数据库异地备份及软件运行日志检查等，对于有配置参数修改或更正的维护操作，应提前做好备份，维护完成后应做好日志记录。

8.6.5 故障维护：出现故障的软硬件应及时进行故障判断、维修、更换等，并采取相应的措施避免同一故障再次出现。

8.6.6 应急维护应满足下列要求：

a) 出现故障的设备应及时进行故障判断、维修、更换等，并采取相应的措施避免同一故障再次出现；

b) 当出现软件模块崩溃、功能异常、数据失常和设备大面积断线等情况时，应及时进行故障判断、维修、更换等，应急维护响应时间原则上不超过 72 小时。

8.6.7 监测设备宜定期进行原位校准，校准工作宜结合设备测量原理、安装工况及产品技术说明，通过高精度设备比对、标准源激励、转化量等效测量等方法实施。

9 检验规则

9.1 设备检验

9.1.1 监测设备应由具有法定测试资质的机构认定或主管部门测试认证。

9.1.2 提交检测的产品应处于包装状态，包装箱牢固，应有防潮、防振等措施。

9.1.3 提交检测的产品应具有铭牌，应标志以下信息：

a) 制造单位；b) 产品名称、型号；c) 出厂编号；d) 出厂日期。

9.1.4 根据实际应用情况，结合不同类型设备，进行以下 12 项试验项目检测：

a) 高温；b) 低温；c) 湿热交变；d) 盐雾；e) 模拟运输振动；f) 跌落；g) 雷击浪涌；h) 静电放电；i) 待机功耗；j) 工作功耗；k) IP 防水；l) 数据通信规约测试。

9.2 设备验收

9.2.1 对照监测设计方案，应重点检查监测设备类型、数量、安装位置及方式等是否符合设计要求。

9.2.2 检查监测设备工作状态，各部分组件安装是否齐全。

9.2.3 检查监测设备安装记录表、资料归档、后续维护人员等信息。

9.2.4 检查监测设备监测数据库，查看监测数据的实时性、准确性及完整性。

9.2.5 明确监测设备服务周期，确保后期运行正常及维护及时到位。

9.3 过程管理

9.3.1 建设阶段，可引入监理制度，确保施工质量。包括踏勘选点、方案设计、招标采购、安装实施与并网运行等重点任务：

a) 踏勘选点阶段需完成监测方案设计，并编制设计方案提纲；

b) 监测设备及辅材运抵现场后及时组织验收并填写验收记录表；

c) 监测设备安装完成后及时填写安装记录表；

d) 设备安装验收通过后，及时在监测预警系统设置预警阈值和预警模型，应确保监测数据正常上传监测预警系统，包括现场监测设备及位置系统显示是否准确、监测数据回传是否正常、预警指令下发是否通畅等；

e) 监测设备并网运行一段时间后，及时填写布设竣工报告。

9.3.2 运行阶段，包括运行维护、预警实施与成果总结等重点任务：

a) 监测设备出现故障后，要及时维护，并填写维护记录表；

b) 监测设备发出预警信息后，要及时分级处置；

c) 项目约定服务期结束后，及时编制成果报告。