

CECS G

中国工程建设标准化协会标准

公路地质灾害风险监测预警 技术规程

Technical Specifications for Highway Geological Hazards Risk Monitoring
and Early Warning
(征求意见稿)

2025-××-××发布

2025-××-××实施

中国工程建设标准化协会 发布

目次

1 总则	1
2 术语和符号	1
2.1 术语	1
3 公路地质灾害分类与监测等级	2
3.1 一般规定	2
3.2 公路地质灾害分类与风险分级	3
3.3 公路地质灾害监测分级	4
3.4 公路地质灾害监测精度与频率	5
4 轻量化监测	6
4.1 一般规定	6
4.2 滑坡轻量化监测	7
4.3 崩塌落石轻量化监测	7
4.4 沉陷或塌陷轻量化监测	8
4.5 泥石流轻量化监测	8
5 专业监测	8
5.1 一般规定	8
5.2 滑坡专业监测	9
5.3 崩塌专业监测	9
5.4 沉陷或塌陷专业监测	10
5.5 泥石流专业监测	10
6 监测系统构成与要求	11
6.1 一般规定	11
6.2 现场监测设施要求	11
6.3 现场预警设施要求	12
7 预警方法与预警等级	13
7.1 一般规定	13
7.2 预警方法	13
7.3 预警信息发布	15
7.4 预警响应	15
7.5 数据分析与监测报告	16

附录 A17

附录 B19

公路地质灾害风险监测预警技术规程

1 总则

1.0.1 本规程适用于在役公路地质灾害监测预警工作，地质灾害类型包括崩塌、滑坡、泥石流、沉陷/塌陷。

1.0.2 监测预警应在地质灾害风险排查和分级基础上，坚持“安全第一、预防为主，分级分类、突出重点”的原则。

1.0.3 监测工作应建立风险点基本资料、现状基础上，明确每处风险点灾害类型、发生范围、形态特征、稳定性现状、诱发因素、发展趋势、影响区范围等。

1.0.4 监测系统应具备可靠性，适应现场工况条件，确保在发生险情时发挥监测预警作用。

1.0.5 监测数据应与预警设施联动，保证预警信息通过多种渠道发布并驱动现场预警装置。

1.0.6 监测预警工作应以防控风险为目标导向，先进性与实用性相结合、科学性与经济性相结合。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 公路地质灾害 Highway Geological Hazards

在公路沿线直接影响公路安全及运营的崩塌、滑坡、泥石流、路基沉陷/塌陷等地质灾害事件。

2.1.2 灾害风险 Disaster Risk

公路地质灾害事件发生的可能性，以及该事件对公路交通、经济、环境和生命健康造成潜在损失的综合评估。

2.1.3 风险等级 Risk Gradation

根据风险量化结果的等级划分，本规程采用四级划分方案。

2.1.4 地质灾害轻量化监测 Ubiquitous Monitoring

通过部署成本低、广泛适用的传感器、物联网设备及智能化技术，数量和精度满足基本监测需要的自动化监测。

2.1.5 专业监测 Professional Monitoring

由专业技术团队，采用高精度仪器、标准化流程及科学分析方法，对边坡等地质体进行系统性、连续性的数据采集、处理与评估预警工作。

2.1.6 地表位移 Surface Displacement

通过监测手段获取的岩土体在水平或垂直方向上的位置变化量，通常采用 GNSS、InSAR、裂缝计等技术手段进行测量，是表征边坡、路基等地质体变形趋势的指标。

2.1.7 深部位移 Deep Displacement

岩土体沿特定深度方向的位移量，通过钻孔测斜仪、固定式测斜管等设备监测，用于揭示地质灾害体内部变形特征及潜在滑动面位置，是评估深层地质稳定性的参数。

2.1.8 预警阈值 Warning Threshold

基于历史灾害数据、岩土力学理论模型及专家经验设定的监测参数临界值，当实时监测数据达到或超过该阈值时，系统自动触发分级预警信号，为灾害风险管控提供量化决策依据。

2.1.9 预警模型 Warning Model

以监测数据、地质环境参数及诱发因素（如降雨量、水位等）为输入变量，通过统计学、机器学习或物理力学方法构建的数学模型，用于动态计算灾害发生概率并输出预警等级或阈值触发状态。

2.1.10 预警等级 Warning Level

根据地质灾害演化阶段和风险紧迫性划分的预警响应级别，通常采用蓝、黄、橙、红四色标示，对应不同级别的应急处置措施和工程干预要求。

3 公路地质灾害分类与监测等级

3.1 一般规定

3.1.1 根据交通运输部《自然灾害综合风险公路承灾体普查技术指南》和《进一步提升高速公路防灾抗灾能力设计回溯工作方案》等，将地质灾害风险路段分为高、较高、一般、低四

个等级，并应根据实际对风险等级进行动态更新。

3.1.2 较高以上地质灾害风险路段宜开展监测预警工作，其他地质灾害风险路段根据防灾减灾需求可开展监测预警工作。

3.1.3 监测预警应与其他防灾减灾措施形成互补，在监测风险路段选择时，宜与工程治理方案比选。

3.1.4 监测等级划分为轻量化监测和专业监测两类，应根据风险等级、治理计划、灾害特征等，确定监测等级。通过工程治理措施降低灾害风险的路段，按降低后的风险等级对待。

3.1.5 监测方案应根据地质灾害发生可能性、发育特征、规模、影响公路方式等，获得地质灾害前兆和发展趋势信息，重点预防突发事件。

3.1.6 选择技术成熟可靠、兼顾科学性和经济适用性的监测方法和设备。

3.2 公路地质灾害分类与风险分级

3.2.1 根据公路地质灾害破坏时的运动方式划分为：崩塌、滑坡、泥石流、沉陷或塌陷。

3.2.2 本规程灾害可能性是指未来 3 年发生的概率，应按表 3.2-1 划分等级。

表 3.2-1 地质灾害可能性等级划分

可能性等级	极高	高	中	低
概率%	≥ 70	50~70	30~50	< 30

3.2.3 本规程灾害危害性等级应根据可能造成的直接损失或交通影响程度，按表 3.2-2 采取“就高不就低”原则划分。

表 3.2-2 地质灾害危害性等级划分

危害性等级	极严重	严重	中等	轻微
直接损失（万元）	≥ 500	100~500	10~100	< 10
交通影响	高速公路中断 6 小时以上；普通公路中断 12 小时以上，或便道通行 3 天以上	高速公路中断 2 小时以上；普通公路中断 6~12 小时，或便道通行 1~3 天	高速公路中断 1 小时以上；普通公路中断 6 小时以内，或便道通行 1 天以内	不中断交通，高速公路影响 1 个行车道、普通公路半幅通行 6 小时以内
注：可根据影响路段的重要性、路产等调整危害等级。				

3.2.4 风险等级采用可能性和危害性两因子模型、重视灾害危害性的四级划分方案：一级

(高风险)，二级（较高风险），三级（一般风险），四级（低风险）。风险等级划分见表 3.2-3。

表 3.2-3 地质灾害风险等级划分

危害性 可能性	极严重	严重	中等	轻微
极高	—	—	二	二
高	—	二	二	三
中	二	二	三	四
低	二	三	四	四

3.3 公路地质灾害监测分级

3.3.1 按照监测目的、技术要求、投资，将监测分为轻量化监测和专业监测。

3.3.2 监测等级宜按风险等级划分，见表 3.3-1。

表 3.3-1 监测等级划分

灾害类型 风险等级	崩塌	滑坡	沉陷/塌陷	泥石流
一	专业监测	专业监测	专业监测	专业监测
二	轻量化监测	专业监测	轻量化监测	轻量化监测
三	轻量化监测	轻量化监测	轻量化监测	轻量化监测

注：根据风险点的社会影响、治理计划等因素，可适当调整监测等级。

3.3.3 监测内容应根据监测等级、灾害类型、发生可能性、变形破坏特征等，按照本规程 3.3.4 ~ 3.3.7 要求选择。

3.3.4 公路滑坡风险监测内容应主要包括地表位移/变形、深部位移、结构应力/拉力、降雨量，以及宏观变形迹象、路况，监测内容见表 3.3-2。

表 3.3-2 公路滑坡风险监测内容

监测项目		监测等级	
		专业监测	轻量化监测
变形监测	地表绝对位移	●	◎
	相对位移/裂缝宽度	●	●
	深部位移	◎	⊙
	结构物倾斜	●	◎
影响因素监测	降水量	◎	⊙
	土体含水率/地下水位	◎	⊙
视频监控	宏观变形迹象、路况	●	◎

注：表中符号●表示应监测；◎表示宜监测；⊙表示可监测。

3.3.5 公路崩塌监测应服务于公路交通安全，以危岩体为主要监测对象。监测内容主要包

括危岩体位移及倾斜、裂缝宽度、落石及路况，监测内容见表 3.3-3。

表 3.3-3 公路崩塌风险监测内容

监测项目		监测等级	
		专业监测	轻量化监测
变形监测	地表绝对位移	⊙	⊙
	相对位移/裂缝宽度	●	⊙
	倾斜角度	●	⊙
AI视频监控	落石、路况	●	●

注：表中符号●表示应监测；⊙表示宜监测；⊙表示可监测。

3.3.6 公路沉陷/塌陷风险监测内容应主要包括路基沉降、地表位移、降雨量，以及宏观变形迹象、路况，监测内容见表 3.3-4。

表 3.3-4 公路沉陷/塌陷风险监测内容

监测项目		监测等级	
		专业监测	轻量化监测
变形监测	路基沉降量	●	●
	地表位移	●	⊙
影响因素监测	降水量	●	⊙
	土体含水率	⊙	⊙
AI视频监控	宏观变形迹象、塌陷事件	●	⊙

注：表中符号●表示应监测；⊙表示宜监测；⊙表示可监测。

3.3.7 公路泥石流风险监测内容应主要泥/水位、降雨量，以及宏观变形迹象、路况，监测内容见表 3.3-5。

表 3.3-5 公路泥石流风险监测内容

监测项目		监测等级	
		专业监测	轻量化监测
指标监测	泥/水位	●	●
	降水量	●	⊙
	土壤含水率	⊙	⊙
AI视频监控	堆积物、路况	●	⊙

注：表中符号●表示应监测；⊙表示宜监测；⊙表示可监测。

3.4 公路地质灾害监测精度与频率

3.4.1 各监测方法的精度应符合表 3.4-1 的要求。

表 3.4-1 公路地质灾害风险监测精度

监测内容		监测方法	精度要求	
			专业监测	轻量化监测
变形监测	地表绝对位移	自动全站仪	3mm	10mm
		卫星定位 GNSS	水平方向 2.5mm 垂直方向 5.0mm	水平方向 2.5mm 垂直方向 5.0mm
	裂缝相对位移	位移计	0.1mm	1mm
	深部位移	测斜仪	0.05mm / m	0.5mm / m
	结构物倾斜	倾角计	0.1°	0.5°
影响因素监测	降水量	雨量计	0.2mm	—
	水位	水位计	10mm	—
视频监控	宏观迹象、路况	云台摄像头	图形流畅和清晰	图形流畅和清晰
注：其他监测方法参考本表精度要求。				

3.4.2 自动化监测采样频率宜为实时连续采样，监测数据发送和存储频率不低于表 3.4-2 要求。

表 3.4-2 公路地质灾害风险监测频率

监测内容		监测方法	频率要求	
			专业监测	轻量化监测
变形监测	地表绝对位移	自动全站仪	30min	
		卫星定位 GNSS	30min	1h
	裂缝相对位移	位移计	10min	30min
	深部位移	测斜仪	30min	1h
	结构物倾斜	倾角计	10min	30min
影响因素监测	降水量	雨量计	10min	30min
	水位	水位计	30min	1h
视频监控	宏观迹象、路况	云台摄像头	连续	连续
注：其他监测方法参考本表要求。				

3.4.3 当监测系统发出橙色、红色预警时，应根据数据分析需要提高监测频率。

4 轻量化监测

4.1 一般规定

4.1.1 轻量化监测应选择能表征灾害发展动态显著特征参数为主要监测内容，反映长期变化趋势和缓慢影响因素的指标作为辅助监测内容。

4.1.2 应选择技术成熟可靠、操作简单易行的监测方法。

4.1.3 应选择数据稳定、维护简便、具有物联网功能、可独立设置阈值的传感器。

4.1.4 应在关键部位、敏感部位布设传感器。

条文说明：轻量化监测主要获得用于预警的关键数据，不要求反映地质灾害的形成机理、长期发展趋势。在点位布设时，应在分析地质灾害特点的基础上，考虑在关键时刻发挥作用的点位。

4.1.5 轻量化监测技术和传感器可根据附表 A 选用。

4.2 滑坡轻量化监测

4.2.1 轻量化滑坡监测内容应以地表位移为主，结构物变形监测、视频监测为辅。

4.2.2 轻量化滑坡监测宜采取“一”、“十”、“川”字型布设监测断面，监测点数量宜“少而精”。

4.2.3 当地表有张拉裂缝、错缝，应在主要裂缝上布设不少于 2 套裂缝宽度动态监测设备。

4.2.4 在坡度大于 1 : 0.75 部位可布设倾角计监测地表变形。

4.2.5 在滑坡牵引段的潜在裂缝发展部位安装量程不小于 2m 的拉线位移计，或者安装 GNSS 监测设备。

4.2.6 对于推移式滑坡，应在后缘张拉裂缝上布设裂缝监测设备，宜在中上部布设 GNSS 监测设备。

4.2.7 当边坡已有支挡结构物，宜监测主要支挡结构的倾斜变形。

4.2.8 当地下水丰富，可监测地下水位。

4.2.9 视频监测主要监测路面状况，宜具备滑坡堆积路面或路面塌陷的智能识别功能。

4.3 崩塌落石轻量化监测

4.3.1 轻量化崩塌落石监测内容应以控制性裂缝宽度、危岩变形、路面落石智能识别为主。

4.3.2 轻量化崩塌监测宜根据潜在崩塌岩体位置选择传感器安装位置，可不构成监测网格。

4.3.3 当危岩体与母体间有张性裂缝，应在主要裂缝上布设不少于 2 套裂缝宽度监测设备。

4.3.4 在主要危岩体上宜布设倾角计监测危岩体变形。

4.3.5 对于挂网防护的边坡，宜在防护网上安装振动/倾角监测设备。

4.3.6 对于岩土极易崩落并且需安装设备的部位，应清理坡面后再实施安装。

4.3.7 当落石风险路段的危石位置具有不确定性时，宜安装智能落石监测装置监测路面落石。

4.3.8 视频监控主要监测受影响路面状况，应具备智能识别路面落石、崩塌堆积的功能。

4.4 沉陷或塌陷轻量化监测

4.4.1 沉陷轻量化监测内容应以路基沉降量为主，地表位移、降雨量、视频监控为辅。

4.4.2 轻量化沉陷监测宜采取“一”、“十”字型布设监测断面，监测点宜沿路肩外侧布设。

4.4.3 当存在路基滑移特征时，宜监测地表位移。

4.4.4 当路基受地下水影响明显时，宜在垂直路线的断面上监测孔隙水压力或地下水位。

4.4.5 雨季沉降加剧的路段，宜监测降雨量。

4.4.6 对于陡坡路堤、高路堤、采空区，宜采用视频监控等方法监测公路垮塌、塌陷事件。

4.4.7 公路范围采空区塌陷的监测方法可根据采空区分布范围、变形特征进行选择，以地表变形、下沉为主要监测内容。

4.4.8 采空区塌陷的监测设备应重点监测突发塌陷事件。

4.5 泥石流轻量化监测

4.5.1 轻量化泥石流监测内容应以泥/水位为主，降雨量、视频监控为辅。

4.5.2 泥位/水位监测设备应安装在公路上游 100m 以上、泥石流流通区河道岸边，并确保在不同洪水条件下监测到水位或泥位标高。流通区超过 200m 的，宜安装 2 套泥位/水位监测设备。

4.5.3 当风险路段位于泥石流堆积区，宜在路侧安装智能视频监控装置。

4.5.4 降雨量监测设备应安装在开阔、无遮挡、稳定的地段，可布置在风险路段之外。

5 专业监测

5.1 一般规定

5.1.1 专业监测的监测内容宜全面反映边坡或路基动态变化趋势和主要影响因素，同时能

够在突发地质灾害时及时预警。

5.1.2 专业监测的监测断面和监测点应构成网格化，覆盖潜在地质灾害变形破坏范围，在主要断面加大监测点密度。

5.1.3 专业监测宜选择稳定、耐久、运行成本合理的监测方法，并考虑监测设备的维护、换新容易操作。

5.1.4 专业监测技术和传感器可根据附表 B 选用。

5.2 滑坡专业监测

5.2.1 滑坡专业监测内容应以地表位移为主，结构物变形监测、视频监控为辅。

5.2.2 滑坡专业监测宜网格化布设监测断面，监测点数量以“全面覆盖、地表地下结合”为原则，掌握滑坡体的动态发展趋势。纵、横向监测断面线宜构成“井”“川”“卅”“田”等字型监测网格，监测点宜布设在监测断面上。

5.2.3 当地表有张拉裂缝、错缝，应在主要裂缝上布设不少于 3 套裂缝宽度动态监测设备。

5.2.4 在勘察或分析的基础上，深部位移监测的钻孔深度应低于滑面以下 5m。当地下水丰富，可结合深部位移监测孔监测地下水位。

5.2.5 相对位移监测与 GNSS 绝对位移监测互补，GNSS 监测用于监测整体滑坡的长期发展趋势，相对位移监测用于监测滑坡重要部位的临灾变形。

5.2.6 土质、类土质滑坡监测以地表位移监测为主，对于大型坚硬岩石边坡滑坡可位移监测与应力监测结合。

5.2.7 当边坡已有支挡结构物时，宜监测主要支挡结构的倾斜变形。

5.2.8 当边坡处置增设锚杆或锚索时，宜同步安装锚杆或锚索拉力监测设备。

5.2.9 视频监控主要监测路面状况，宜具备滑坡堆积路面或路面塌陷的智能识别功能。

5.3 崩塌专业监测

5.3.1 崩塌专业监测内容应以掌握动态发展趋势、获得临灾特征为原则。

5.3.2 崩塌专业监测宜根据潜在崩塌范围、现状变形等灾害特征选择监测断面和布设监测点，构成监测网格，监测网格可以不规则、不均匀。监测点宜在监测断面线 10m 以内。

5.3.3 当危岩体与母体间有张性裂缝，应在主要裂缝上布设不少于 3 套裂缝宽度监测设备。

5.3.4 在主要危岩体上宜采取倾角计等方法监测危岩体变形。

5.3.5 对于挂网防护的边坡，宜在防护网上安装振动/倾角监测设备。

5.3.6 对于岩土极易崩落并且需安装设备的部位，应清理坡面后再实施安装。

5.3.7 需采用锚固加固的边坡，宜结合施工安装锚杆/锚索拉力监测设备。

5.3.8 视频监控主要监测受影响路面状况，应具备智能识别路面落石、崩塌堆积的功能。

5.4 沉陷或塌陷专业监测

5.4.1 沉陷专业监测内容应以地表沉降、位移为主，地下水、降雨量、视频监控为辅。

5.4.2 沉陷专业监测宜采取“井”“川”“卅”等字型监测网，监测点宜布设在监测断面上。

5.4.3 当路基受地下水影响明显时，宜在垂直路线的断面上监测孔隙水压力或地下水位。

5.4.4 沉降变形深度大于 15m 的，宜监测分层沉降。

5.4.5 雨季沉降加剧的路段，宜监测降雨量。

5.4.6 有支挡结构物时，宜监测支挡结构物倾斜。

5.4.7 对于陡坡路堤、高路堤、采空区，宜采用视频监控等方法监测公路垮塌、塌陷事件。

5.4.8 公路范围采空区塌陷的监测方法可根据采空区分布范围、变形特征进行选择，以地表变形、下沉为主要监测内容，监测设备布置宜构成网格。

5.5 泥石流专业监测

5.5.1 泥石流专业监测内容应以泥/水位为主，降雨量、视频监控为辅。

5.5.2 泥位/水位监测设备应安装在公路上游 100m 以上、泥石流流通区河道岸边，并确保在不同洪水条件下监测到水位或泥位标高。流通区超过 200m 的，宜安装 3 套泥位/水位监测设备。

5.5.3 当风险路段位于泥石流堆积区，宜在路侧安装智能视频监控装置。

5.5.4 降雨量监测设备应安装在开阔、无遮挡、稳定的地段，可布置在风险路段之外。

6 监测系统构成与要求

6.1 一般规定

6.1.1 监测预警信息系统应具备数据接入、查询显示、分析处理、审核判断、预警发布等功能。

6.1.2 数据接入功能应具备接入监测预警设施实时上报数据，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扩展与调整。

6.1.3 查询显示功能应可以查询所需时段传感器实时、历史数据，并显示数据曲线；系统实时显示监测设备、预警设备在线情况。

6.1.4 数据分析处理功能应具备监测设施数据之间、多源数据与监测预警系统数据之间的融合分析能力。

6.1.5 审核判断应包括自动审核判断和人工审核判断功能。自动审核判断功能应通过设置阈值，当监测数据达到预警条件时，可根据策略触发预警；并立刻启动人工审核判断，根据判断结果维持、修正或停止预警发布。

6.1.6 预警发布应具备自动启动、人工启动能力。应具备预警设施启动、状态查询、调整、撤销等功能。

6.1.7 监测预警信息系统的移动终端 APP 应支持查看监测数据和预警信息。

6.2 现场监测设施要求

6.2.1 基准点和基站应远离变形区，并定期校核坐标。

6.2.2 GNSS 设备应支持多星座信号以增强稳定性，避开遮挡物，并设置防雷接地装置。

6.2.3 拉线位移计量程需覆盖潜在变形范围（如 0-2.0m），分辨率 $\leq 0.1\text{mm}$ ，具备温度补偿功能以适应环境变化，拉线张紧力需均匀，避免因松弛导致数据失真。

6.2.4 倾角计测量范围 $\pm 30^\circ$ ，防护等级 IP67 以上，适应高湿度、高盐雾环境。安装面需平整，与监测结构或岩石刚性连接。

6.2.5 土压力计/锚索计量程应根据设计荷载确定，非线性误差 $\leq 1\% \text{FS}$ ，长期稳定性年漂移 $< 0.5\% \text{FS}$ 。

6.2.6 设备需满足宽温工作范围（-20℃~+60℃），并具备防雷、防电磁干扰。

6.2.7 优先采用太阳能供电系统，配备锂亚电池作为备用电源，确保阴雨天气下持续工作≥30天。高寒地区需选用低温电池（如-40℃适用），并配置加热模块防止电池性能衰减。

6.2.8 设备需支持低功耗模式，动态调整采样频率（常规模式1次/小时，预警模式1次/分钟）

6.2.9 现场主用4G/5G网络，同时应采用物联网自组网技术，在公网信号中断时可由现场监测设备启动预警装置。

6.2.10 设备需支持断电/断网自动重启功能。

6.2.11 监测设备支持远程固件升级及故障诊断。

6.2.12 应对现场设备定期检查，重点检查供电、通信模块及传感器稳定性。

6.3 现场预警设施要求

6.3.1 预警设施包括靠警设施和拦阻设施，其布置和要求应按交通运输部《公路自然灾害监测预警系统技术指南（试行）》执行。

6.3.2 弯道、隧道口等视线盲区需增设爆闪灯，安装高度为路侧1.5~2米，避免被植被遮挡。

6.3.3 长直线路段按200~500米间距布设，确保驾驶员在5~10秒反应时间内可见预警信号。

6.3.4 在应急避险车道、临时停车带入口处安装联动式声光装置，与监测数据实时同步触发。

6.3.5 对地质灾害专业监测点，需在同一位置设置双套独立供电的预警装置，主备系统切换时间≤5秒。

6.3.6 多雾、多雨地区加密爆闪灯布设，数量增加30%~50%；夜间车流量低的路段可适当减少声光装置密度。

6.3.7 预警设施防护等级应采用IP67及以上，-20℃~60℃温域工作，抗风等级≥10级。

6.3.8 预警设施供电应具备主电源（市电/太阳能）+蓄电池备份（续航≥72小时），断电自动切换。

6.3.9 预警设施通信应支持4G/5G与物联网双通道传输，断网时应依托本地传感器自主触

发预警。

6.3.10 预警设施每季度人工现场检修，故障响应时间≤2 小时。

7 预警方法与预警等级

7.1 一般规定

7.1.1 预警划分为黄色、橙色、红色三个等级，各预警信息基本含义见表 7.1-1。

表 7.1-1 预警等级及基本含义

	黄色	橙色	红色
危险等级	中等危险	高危险	极危险
发生时间	1-3 个月内	10-30 天内	1-10 天内
应急响应	现场调查，加强监测， 可以处置的消除危险	现场调查，专家研判， 临时管控，进行必要的 处置	管控交通，必要时警戒，应 急监测，应急处置和抢险

7.1.2 应根据宏观变形等前兆迹象、监测数据阈值、多源数据融合模型等方法作出预警等级判断。

7.1.3 当通过视频、雷达、光纤等手段检测到发生了灾害，或人工巡查发现、群众报告发生了灾害，应直接启动红色预警。

7.1.4 监测数据分析应剔除错误数据，预警模型运行应在数据处理基础上，采取反映灾害发展状态的指标。

7.1.5 应根据监测数据研究分析预警方法的合理性、可靠性，并进行动态调整。

7.1.6 应建立人工核实研判机制，根据实际情况解除、维持、调整预警状态等级。

7.2 预警方法

7.2.1 监测系统上线试运行 1 个月内可采用表 7.2-1 设置预警阈值，并应根据地质体条件、监测数据动态研究调整阈值。

表 7.2-1 监测数据阈值

	黄色	橙色	红色
滑坡	地表位移：5~6 mm/d 滑面累积位移：5~6mm 支挡结构物倾斜：±0.5° 降雨量：24h 降雨量 80mm	地表位移：7~10 mm/d 滑面累积位移：7~10mm 支挡结构物倾斜：±1.0° 降雨量：24h 降雨量 100mm	地表位移：>10mm/d 滑面累积位移：>10mm 支挡结构物倾斜：超过±1.5°
崩塌	地表位移：2~4 mm/d 裂缝宽度：2~4 mm/d 岩体倾斜：±0.5° 锚固拉力变化 10KN	地表位移：4~6 mm/d 裂缝宽度：4~6 mm/d 岩体倾斜：±1.0° 锚固拉力变化 30KN	地表位移：>6 mm/d 裂缝宽度：>6 mm/d 岩体倾斜：±1.5° 锚固拉力变化>30KN
沉陷/塌陷	地表位移：5~6 mm/d 累积沉降量：20mm 支挡结构物倾斜：±0.5° 降雨量：24h 降雨量 80mm	地表位移：7~10 mm/d 累积沉降量：50mm 支挡结构物倾斜：±1.0° 降雨量：24h 降雨量 100mm	地表位移：>10mm/d 累积沉降：>100mm 支挡结构物倾斜：超过±1.5°
泥石流	泥/水位：河槽深度 80%	泥/水位：河槽深度 90%	泥/水位：河槽深度 100%

7.2.2 巡查发现的地质灾害宏观前兆可作为预警判据，宏观前兆包括但不限于下列情况：

- (1) 新增地表裂缝或裂缝明显增长、加宽。
- (2) 坡面掉落土块、石块。
- (3) 坡面树木倾斜。
- (4) 结构物开裂、倾斜、错缝。
- (5) 坡面突然增加出水点。
- (6) 路面 V 字型裂缝。
- (7) 沟道明显涨水、混浊。

7.2.3 强降雨、地震等诱发因素可作为预警判据，预警等级参照气象、地震部门发布信息确定预警等级。

7.2.4 可采用但不限于表 7.2-2 的参数建立预警模型。

表 7.2-2 预警模型参数

	参 数		
滑坡	切线角	日变化速率	地下水位增量
崩塌	累积位移	小时变化速率	频率
沉陷/塌陷	切线角	日变化速率	地下水位增量
泥石流	泥/水位	降雨量	

7.2.5 当采用人工智能建立预警模型时，应对地质灾害进行分类，结合专业知识对训练样本数据进行标识，检验模型精度达到 80%方可实际应用。

7.3 预警信息发布

7.3.1 当达到本规程 7.1.3 规定的预警条件，监测系统应自动发布预警信息。

7.3.2 当监测数据达到本规程 7.2.1、7.2.4、7.2.5 的黄色、橙色预警条件，监测系统自动发布预警信息。当监测数据达到本规程 7.2.1、7.2.4、7.2.5 的红色预警条件，经审核确认后发布预警信息。

7.3.3 当达到本规程 7.2.2、7.2.3 预警条件，通过监测系统发布预警信息。

7.3.4 预警信息内容应包含位置信息、事件类型、预警等级、驾驶建议。

7.3.5 应多渠道发布预警信息，包括但不限于：电子显示屏、短信、导航用户端、现场声光预警装置。预警信息报送对象应包括地方交通主管部门、路段管养单位及其上级管理单位、技术支撑单位、监测责任人等。

7.3.6 根据监测数据发展趋势，或经现场调查认定灾害危险性降低，可以降低预警等级或解除预警。

7.4 预警响应

7.4.1 黄色预警发出后，技术支撑单位应加强监测数据分析，必要时到现场核查并加强分析研判；养护人员应加强对现场巡查监测，根据现场情况设置警示墩等，并将有关情况及时上报。

7.4.2 橙色预警发出后，养管人员及时到现场临时管控交通，并对宏观迹象进行巡查监测；技术支撑单位应第一时间分析监测数据、发展趋势，并提交预警快报；养管单位会同技术支撑单位前往现场进一步核查，将有关情况反馈至当地交通主管部门。

7.4.3 红色预警发出后启动应急预案，养管人员及时到现场设置安全警示标志管控交通，技术支撑单位第一时间分析监测数据，并向路段管养单位发送预警快报，开展临灾预警；管养单位会同相关专家前往现场研判，视情况采取车辆疏散、路线封锁等安全控制措施，并采取必要措施排除险情；当地交通主管部门会同相关单位及时前往现场进一步调查处置。

7.4.4 橙色或红色预警发出后，经现场核查确认，必要时当地交通主管部门与气象、自然

资源、水利、应急管理等相关部門协调联动，做到精准预警和快速响应。控制信号下发至前端预警管控设备，启动现场情报板、广播及爆闪警示装置等警示设备。

7.5 数据分析与监测报告

7.5.1 监测数据动态分析应包括以下内容：

- (1) 各监测参数随时间的变化趋势，结合宏观迹象分析地质灾害体变形发展动态；
- (2) 各监测参数特征值变化的规律性，分析监测参数的累积变化总量、速率、方差等指标；
- (3) 不同监测参数之间相关关系变化的规律性，分析降雨、地下水、工程活动等因素对地质灾害体变形的影响。

7.5.2 进行趋势预测或用于预警模型时，应对监测数据序列进行插补、剔除、平滑、滤波等处理，以降低误差影响。

7.5.3 可采用移动平均、指数平滑、时间序列等方法预测短期变形发展趋势，预测时长不超过 10 天。

7.5.4 阶段性监测报告宜以简报形式按月编写，报告应对监测数据进行整理、分析，做出监测数据时程曲线，并对监测数据或曲线进行综合分析，结合现场情况给出危险状态的结论，提出下一步监测、养护、运营管理方面的建议。

7.5.5 年度监测报告应全面准确，突出重点，反映规律，结论明确。

7.5.6 监测项目服务期满后应编写监测总报告。

7.5.7 监测报告大纲宜采用本规程附录 B。

附录 A

(规范性附录)

自动化监测方案编写提纲

1. 前言

1.1 项目概况

1.2 监测目的

1.3 编制原则

1.4 编制依据

2 监测设计及内容

2.1 监测布设原则

2.2 监测设计

2.3 监测周期与频率

2.4 监测布置方案

2.5 设备选型

2.6 监测系统功能

3 设备安装

3.1 GNSS 施工安装

3.2 深部测斜孔施工安装

3.3 雨量计安装

3.4 云台摄像头安装

3.5 预警装置安装

3.6 基础浇筑及立杆安装

4 监测预警及响应措施

4.1 总体要求

4.2 预警方法

4.3 监测预警等级

4.4 预警响应措施

4.5 预警等级调整

5 维护方案

5.1 设备维护

5.2 系统维护

6 提交的成果资料

6.1 提交方式

6.2 成果报告内容

6.3 提交时间

7. 工程数量及预算

7.1 工程数量

7.2 费用预算

附录 B

(规范性附录)
监测报告编写提纲

1. 前言

1.1 项目背景

1.2 目的和任务

1.3 编制依据

2. 监测方案概况

2.1 监测级别

2.2 监测内容、监测方法

2.3 监测设备布设

2.4 监测期和监测频率

3. 监测数据分析

分析各类设备监测数据基本规律，反映边坡的状态特征。

4. 预警情况及分析

说明监测系统发出预警的原因，现场情况，处理过程，预警方案的调整。

5. 边坡稳定性动态评估

根据基础资料和监测成果，结合降雨等影响因素变化，分析边坡稳定状态，预测边坡发展变化趋势。

6. 结论与建议

根据监测预警结果，给出边坡安全状态结论，并提出养护管理和交通管理的建议。