

ICS 07.060

P13

团 体 标 准

T/CERS 0090—2025

山区电网地质灾害监测预警技术要求

Technical requirements for monitoring and early warning of geological disasters in
mountain power grid

2025-08-27 发布

2025-08-27 实施

中国能源研究会 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 总体原则与总体要求	2
4.1 监测内容	2
4.2 监测分级	2
4.3 监测工作程序及监测方案设计	3
4.4 监测前期准备工作	3
5 监测手段与方法	4
5.1 一般规定	4
5.2 全站仪测量	4
5.3 水准测量	8
5.4 三角高程测量	10
5.5 GNSS 测量	10
5.6 在线变形监测系统	12
5.7 InSAR 监测	12
6 基准点布设	13
6.1 一般规定	13
6.2 位移基准点	13
6.3 沉降基准点	14
7 监测点布置	14
7.1 输电线路监测点布置	14
7.2 变电站监测点布置	15
7.3 配电网监测点布置	15
8 输变配地质灾害监测预警	15
8.1 滑坡变形监测预警	15
8.2 崩塌变形监测预警	18
8.3 泥石流变形监测预警	20
8.4 地表塌陷变形监测预警	21
附 录 A（规范性） 变形预警阈值建议表	26

前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

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。

本文件由中国能源研究会提出。

本文件由中国能源研究会标准工作办公室归口。

本文件起草单位：贵州电网有限责任公司电力科学研究院、中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司、武汉大学、中国地质大学（武汉）、中国地质环境监测院、南方电网数字电网科技（广东）有限公司、超高压输电公司贵阳局、南方电网科学研究院有限责任公司、贵州电网公司毕节供电局、中能国研（北京）信息通信科技有限公司、中能国研（北京）电力科学研究院。

本文件主要起草人：刘卓娅、邓松、赵健、欧阳广泽、张迅、叶华洋、甘小迎、刘丹丹、黄军凯、肖书舟、王得洪、徐静、毛吉成、吕明、王宏胜、陈佳胜、丁江桥、许超铃、何林、程政伟、张鸣之、冯振、张明、樊灵孟、鄂盛龙、陈远、卢操、吴瑀、梁志琴、黄慕夏。

本文件首次发布。本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国能源研究会。

相关意见反馈联系方式：中国能源研究会标准执行办公室(E-mail:cers@cers.org.cn; 电话:010-56284696)、中国能源研究会信息通信专业委员会标准工作委员会(E-mail:icc@cers.org.cn)。

山区电网地质灾害监测预警技术要求

1 范围

本文件规定了山区电网地质灾害的监测手段与方法、基准点布设、监测点布置、预警等技术要求。本文件适用于山区输电、变电和配电等电网设施在遭受滑坡、崩塌、泥石流、地表塌陷等山区地质灾害时的变形监测和预警。

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 44146-2024 基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范

GB 50026-2020 工程测量标准

GB 51044-2014 煤矿采空区岩土工程勘察规范

CJJ-T73-2019 卫星定位城市测量技术标准

DZ/T 0283-2015 地面沉降调查与监测规范

JGJ 8-2016 建筑变形测量规范

3 术语和定义

本文件术语和定义来源于现有的规范和工程总结，GB 50026-2020、DZ/T 0283-2015 中界定的以及下列术语和规定适用于本文件。

3.1

山区电网 mountainous power grid

位于山地、丘陵以及比较崎岖高原地貌的电力网络系统。电力网络系统由输电单元、变电单元和配电单元等组成。山区因地形复杂，气候多变，容易发生地质灾害，保证山区电力网络的安全稳定运行是一项重大挑战。

3.2

地质灾害 geological hazard

由于自然或人为因素引发的山体滑坡、崩塌、地表塌陷、泥石流等地质现象。

3.3

预警判据 warning criteria

预警判据是预警系统中用于判定风险是否触发警报的量化标准或逻辑规则，其核心功能是通过预设的阈值、模型或算法，将监测数据转化为可操作的预警信号。

3.4

监测点 monitoring point

布设在电线塔、基础、场地及上部结构的敏感位置上，用于反映目标物空间三维方向变化特征的测量点。

4 总体原则与总体要求

4.1 监测内容

4.1.1 进行地质灾害体输电、变电和配电设施本体及周边地表变形的现场巡视和调研。

4.1.2 确定地质灾害体输电、变电和配电设施本体及周边地表变形的监测内容，监测内容主要包含地表和输变配设施位移、应变、倾斜、裂缝、加速度和降雨量等监测，不同实施的地质灾害监测内容见表 1。

表 1 电网地质灾害监测内容

灾害类型	输电线路	变电站/地表	配电线路
滑坡	a、b、c、d、e、g	a、b、e、g	a、b、d、e、g
崩塌	b、d、e	b、d、e	b、d、e
泥石流	a、b、c、d、e、g	a、b、e	a、b、d、e
地表塌陷/沉降	b、c、d、e、f、g	b、d、e、f、g	b、d、e、f、g

注：a：降雨量监测；b：水平位移监测和沉降监测；c：应变监测；d：倾角监测；e：加速度监测；f：裂缝监测；g：水位监测。

4.1.3 监测的周期：在地质灾害工程刚发生或者发现时，应进行首次全面监测，作为后续对比分析的基础数据。监测频率相对较高，一般每周不少于 1 次。对于一般地质灾害，每月进行 1-2 次监测。若地质灾害趋于稳定且周边环境无明显变化，可适当延长监测周期至每季度 1 次。在雨季、冻融期等特殊时段，应加密监测，至少每周进行 1 次监测，以便及时掌握地质灾害在不利条件下的变化动态。当监测数据出现异常变化或接近预警值时，应立即加密监测频率，每天甚至每半天进行 1 次监测。

4.1.4 成果提交：定期提交监测报告，报告内容应包括监测概况（监测目的、范围、方法等）、监测数据及分析结果、边坡稳定性评价结论以及建议措施。

4.2 监测分级

4.2.1 地质灾害体输电、变电和配电设施本体及周边地表变形监测应根据地质灾害体的稳定状态及危害等级等因素，确定水平位移和沉降监测分级和监测点精度要求，其中监测点分级见表 2，监测点精度见表 3。

表 2 监测站(点)分级表

地质灾害体的稳定状态	危害对象等级		
	一级	二级	三级
不稳定	监测一级	监测一级	监测一级
欠稳定	监测一级	监测二级	监测二级
稳定	监测二级	监测三级	

表 3 分级对应精度指标以及预警标准范围

等级	监测点的平面中误差 (mm)	监测点高程中误差 (mm)	预警范围
监测一级	3.0	0.5	1、连续三次监测，变形速率持续增大，超过前次速率的 1.5 倍以上； 2、累计变形量达到了允许变形的量 75%； 3、人工建筑在工程设计时直接给定预警值；
监测二级	10	1.5	
监测三级	20	3.0	

注：变形监测点的高程中误差和点位中误差，是指相对于临近基准点的中误差。

4.2.2 降雨量监测、应变监测、倾角监测、加速度监测、裂缝监测和水位监测内容不划分等级。

4.3 监测工作程序及监测方案设计

4.3.1 监测工作程序应按照以下步骤进行

根据工程经验，一般的监测工作程序建议按照下列步骤进行：

- a) 现场踏勘，收集资料；
- b) 制订监测方案；
- c) 监测仪器、设备和元件的校准和标定，监测网点布设；
- d) 开展现场监测工作；
- e) 监测数据计算、整理、分析及信息反馈；
- f) 提交阶段性监测结果和报告；
- g) 现场监测工作完成后，提交完整的监测报告。

4.3.2 监测方案设计书应按照如下内容编制

根据工程经验，一般的监测方案设计书应包含以下内容：

- a) 任务来源；
- b) 监测目的及依据；
- c) 工程概况、工程地质条件、危害对象确定及监测分级；
- d) 监测内容；
- e) 基准点、工作基点、监测点布设与保护；
- f) 监测方法、监测周期、监测频率、监测设备选择及精度要求；
- g) 监测数据计算、整理、分析，信息反馈及提交成果的要求；
- h) 监测人员配备及专业要求；
- i) 管理制度。

4.4 监测前期准备工作

4.4.1 收集电网地质灾害的地质、气象水文、电网历史灾害情况和测量结果等相关资料。

4.4.2 进行现场踏勘，复核现场地质环境情况，确定监测项目现场实施的可行性。

4.4.3 对监测设备的选用、校定以及监测设备的联机调试。

4.4.4 在使用监测前，必须对监测设备的使用进行系统学习，保证操作人员能正确、安全的使用设备进行监测工作。

5 监测手段与方法

5.1 一般规定

5.1.1 电力变形监测项目，应根据所需测定的监测内容和监测等级划分，选择相应的一种或多种监测方法。对有特殊要求的变形测量项目，可同时选择多种观测方法相互校验。

表 4 监测手段和方法选择

序号	监测内容	监测手段
1	水平位移	GNSS 测量、全站仪测量、在线变形监测系统
2	沉降	水准测量、三角高程测量、GNSS 测量、InSAR 测量、在线变形监测系统
3	应变	在线变形监测系统
4	倾斜	倾角仪、水准测量、全站仪测量、在线变形监测系统
5	裂缝	在线变形监测系统
6	降雨量	在线变形监测系统
7	地下水位	在线变形监测系统
8	加速度	在线变形监测系统

5.1.2 根据监测对象、内容对监测手段和方法进行详细技术设计。

5.2 全站仪测量

5.2.1 全站仪边角测量法可用于位移基准点网观测及基准点与工作基站间的联测；全站仪小角法、极坐标法、前方交会法和自由设站法可用于监测点的位移监测；全站仪自动监测系统可用于基础、塔材、导线、地质环境等变形监测，以及监测点数量多，作业环境差的变电、输电线路铁塔变形监测项目。

5.2.2 位移观测所用全站仪的标称精度应符合表 5 的规定。

表 5 全站仪标称精度要求

位移观测等级	一测回水平方向标准差 (")	测距中误差 (mm)
一等	≤ 0.5	$\leq (1\text{mm}+1\text{ppm})$
二等	≤ 1.0	$\leq (1\text{mm}+2\text{ppm})$
三等	≤ 2.0	$\leq (2\text{mm}+2\text{ppm})$
四等	≤ 2.0	$\leq (2\text{mm}+2\text{ppm})$

5.2.3 当采用全站仪边角测量法进行位移基准点网观测及基准点与工作基站间联测时应符合以下规定：

- 基准点及工作基站点组成的多边形网，网的边长应符合表 6 的规定；
- 应在各基准点、工作基站点上设站观测，观测应边角同测；
- 视线高度及离开障碍物的间距宜大过 1.3m。

表 6 基准点及工作基站点网边长要求

位移观测等级	边长 (m)
一等	≤300
二等	≤500
三等	≤800
四等	≤1000

5.2.4 全站仪水平角观测应采用方向观测法，测回数应符合表 7 的规定。观测限差应符合表 8 的规定。

表 7 水平角观测测回数

全站仪测角标称精度	位移观测等级			
	一等	二等	三等	四等
0.5''	4	2	1	1
1''	—	4	2	1
2''	—	—	4	2

表 8 水平角观测限差

全站仪测角标称精度	半测回归零差限差 (")	一测回内 2C 互差限差 (")	同一方向各测回互差限差 (")
0.5''	3	5	3
1''	6	9	6
2''	8	13	9

5.2.5 观测应在通视良好、成像清晰稳定时进行。晴天的日出、日落前后和太阳中天前后不宜观测。作业中仪器不得受阳光直接照射，当气泡偏离超过一格时，应在测回间重新整置仪器。当视线靠近吸热或放热强烈的地形地物时，应选择阴天或有风但不影响仪器稳定的时间进行观测。

5.2.6 每站观测中，宜避免二次调焦。当观测方向的边长悬殊较大需调焦时，宜采用正倒镜同时观测法，该方向的 2C 值可不参与互差计算。对于大倾角方向的观测，水平气泡偏移不应超过一格。

5.2.7 当水平角观测成果超出限差时，应按下列规定进行重测：

- a) 当 2C 互差或各测回互差超限时，应重测超限方向，并联测零方向；
- b) 当归零差或零方向的 2C 互差超限时，应重测该测回；
- c) 一测回中，当重测方向数超过所测方向总数的 1/3 时，应重测该测回；
- d) 一个测站上，当重测的方向测回数超过全部方向测回总数的 1/3 时，应重测该测站所有方向。

5.2.8 全站仪距离观测应符合下列规定：

- a) 一等位移观测，距离应往返各观测 4 个测回；二等、三等、四等位移观测，距离应往返各观测 2 个测回。每测回应照准目标 1 次、读数 4 次。有关技术要求应符合表 7 的规定，其中往

返测观测值较差应将斜距化算到同一水平面上方可比较；

- b) 测距应在成像清晰、气象条件稳定时进行。阴天、有微风时可全天观测；晴天最佳观测时间宜为日出后 1 小时和日落前 1 小时；雷雨前后、大雾、大风、雨、雪天和大气透明度很差时，不应进行观测；
- c) 晴天作业时，应对全站仪和反光镜打伞遮阳，严禁将仪器照准头对准太阳；
- d) 观测时的气象数据测定，应采用经检定合格的温度计和气压计。气象数据应在每边观测始末时在两端进行测定，取其算术平均值；
- e) 测距边两端点的高差，对一等、二等观测可采用四等水准测量或三等三角高程测量方法测定；对三等、四等观测可采用四等三角高程测量方法测定；
- f) 测距边归算到水平距离时，应在观测的斜距中加入气象改正和仪器加常数、乘常数、周期误差改正，并化算到同一水平面上；
- g) 当距离观测成果超限时，应按下列规定进行重测：
 - 1) 当一测回读数间较差超限时，应重测该测回；
 - 2) 当测回间较差超限时，可加测 2 个测回，去掉其中最大、最小测回观测值后再进行比较，如仍超限，应重测该边的所有测回；
 - 3) 往返测较差超限时应分析原因，重测单方向的距离。如重测后仍超限，应程测往返两方向的距离。

表 9 距离观测技术要求

全站仪测角标称精度	一测回读数间较差限差 (mm)	测回间较差限差 (mm)	往返较差限差 (mm)	气象数据测定最小度数	
				温度 (°C)	气压 (mmHg)
1mm+1ppm	3	4.0	6.0	0.2	0.5
1mm+2ppm	4	5.5	8.0	0.2	0.5
2mm+2ppm	5	7.0	10.0	0.2	0.5

5.2.9 当全站仪小角法测定某个方向上的水平位移时，应符合以下规定：

- a) 应垂直于所测位移方向布设视准线，并应以工作基点作为测站点；
- b) 测站点与监测点之间的距离应符合表 10 的规定；

表 10 全站仪小角法观测距离要求 (m)

全站仪测角标称精度	位移观测等级			
	一等	二等	三等	四等
0.5"	≤300	≤500	≤800	≤1000
1"	—	≤300	≤500	≤800
2"	—	—	≤300	≤500

- c) 监测点偏离视准线的角度不应超过 30'；
- d) 每期观测时，利用全站仪观测各监测点的小角值，观测不应少于 1 测回；
- e) 监测点偏离视准线的垂直距离 d 应按下式计算。

$$d = \alpha / \rho \cdot D \quad (1)$$

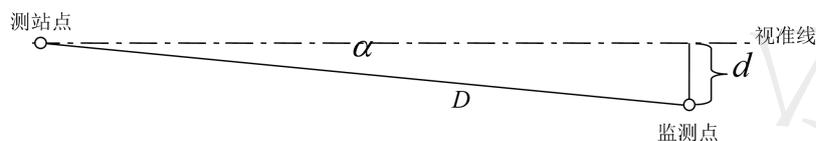


图 1 小角法示意图

式中：

α ——偏角(″)；

D ——从测站点到观测点的距离(m)；

ρ ——常数，其值为 206265″。

5.2.10 当采用全站仪极坐标法进行位移观测时，应符合下列规定：

- a) 测站点于监测点之间的距离宜符合表 11 的规定；
- b) 边长和角度观测回数应符合表 12 的规定。

表 11 全站仪观测距离长度要求 (m)

全站仪标称精度	位移观测等级			
	一等	二等	三等	四等
0.5″ 1mm+1ppm	≤300	≤500	≤800	≤1200
1″ 1mm+1ppm	—	≤300	≤500	≤800
2″ 2mm+2ppm	—	—	≤300	≤500

表 12 全站仪观测测回数

全站仪标称精度	位移观测等级			
	一等	二等	三等	四等
0.5″ 1mm+1ppm	2	1	1	1
1″ 1mm+1ppm	—	2	1	1
2″ 2mm+2ppm	—	—	2	1

5.2.11 当采用全站仪前方交会法进行位移观测时，应符合下列规定：

- a) 应选择合适的测站位置，使各测点与其之间形成的交会角在 60°~120° 之间。测站点与监测点之间的距离宜符合本规范表 11 的规定；
- b) 水平角、距离观测测回数应符合本规范表 12 的规定；
- c) 当采用边角交会时，应在 2 个测站上测定各监测点的水平角和水平距离；
- d) 当仅采用测角或测边交会时，应至少在 3 个测站点上测定各监测点的水平角或水平距离。

5.2.12 当采用全站仪自由设站法进行位移观测时，应符合下列规定：

- a) 设站点应与 3 个基准点或工作基点通视，且该部分基准点或工作基点的平面分布范围应大于

90, 设站点与监测点之间的距离宜符合本规范表 11 的规定;

b) 所观测的监测点中, 至少有 2 个点应在其他测站同期观测, 3 宜边角同测。水平角和距离观测测回数应符合本规范表 12 的规定。

5.2.13 当采用全站仪自动监测系统变形测量时, 应符合下列规定:

- a) 自动化数据采集的仪器设备应安装牢固, 并不应影响监测对象的安全运营。使用期间应定期维护设备, 发现性能异常时应及时修复;
- b) 全站仪的自动照准应稳定、有效, 单点单次照准时间不宜大于 10s;
- c) 应根据观测精度要求、全站仪精度等级、监测点到仪器测站点的视线长度, 进行观测方法设计和精度估算。每点每次观测的测回数宜符合本规范表 12 的规定;
- d) 后台控制程序应能按预定顺序逐点观测, 数据不正常时应能补测, 并应根据指令增加观测;
- e) 多台全站仪联合组网观测时, 相邻测站应有重叠的观测目标;
- f) 每期观测时均应进行基准点联测、稳定性判断和观测精度评定, 然后再进行监测点数据计算。

5.3 水准测量

5.3.1 当采用水准测量进行沉降观测时, 所用仪器型号和标尺应符合表 13 的规定。

表 13 水准仪型号和标尺类型

等级	水准仪型号	标尺类型
一等	DS05	因瓦斯条码标尺
二等	DS05	因瓦斯条码标尺、玻璃钢条码标尺
	DS1	因瓦斯条码标尺
三等	DS05、DS1	因瓦斯条码标尺、玻璃钢条码标尺
	DS3	玻璃钢条码标尺
四等	DS1	因瓦斯条码标尺、玻璃钢条码标尺
	DS3	玻璃钢条码标尺

5.3.2 水准测量的作业方法应符合表 14 的规定。

表 14 沉降观测作业方式

沉降观测等级	基准点测量、工作基点联测及首期沉降观测			其他各期沉降观测			观测顺序
	DS05 型仪器	DS1 型仪器	DS3 型仪器	DS05 型仪器	DS1 型仪器	DS3 型仪器	
一等	往返测	—	—	往返测或单程双测站	—	—	奇数站: 后-前-前-后
							偶数站: 前-后-后-前
二等	往返测	往返测或单程双测站	—	单程观测	单程双测站	—	奇数站: 后-前-前-后
							偶数站: 前-后-后-前
三等	单程双测站	单程双测站	往返测或单程双测站	单程观测	单程观测	单程双测站	后-前-前-后
四等	—	单程双测站	往返测或单程双测站	—	单程观测	单程双测站	后-后-前-前

5.3.3 水准测量观测视线长度、前后视距差、视线高度及重复观测次数应符合表 15 的规定。

表 15 数字水准仪观察要求

沉降观测等级	视线长度(m)	前后视距差(m)	前后视距差累积(m)	视线高度(m)	重复观测次数(次)
一等	≥4 且 ≤30	≤1.0	≤3.0	≥0.65	≥3
二等	≥3 且 ≤50	≤1.5	≤5.0	≥0.55	≥2
三等	≥3 且 ≤75	≤2.0	≤6.0	≥0.45	≥2
四等	≥3 且 ≤100	≤3.0	≤10.0	≥0.35	≥2

注 1: 在室内作业时, 视线高度不受本表的限制。
注 2: 当采用光学水准仪时, 观测要求应满足表中各项要求。

5.3.4 每期观测开始前, 应测定数字水准仪的 i 角。当其值对一等、二等沉降观测超过 $15''$, 对三等、四等沉降观测超过 $20''$ 时, 应停止使用, 立即送检。当观测成果出现异常, 经分析可能与仪器有关时, 应及时对仪器进行检验。

5.3.5 水准测量作业应符合下列规定:

- 应在标尺分划线成像清晰和稳定的条件下进行观测, 不得在日出后或日落前约半小时、太阳中天前后、风力大于四级、气温突变时以及标尺分划线的成像跳动而难以照准时进行观测, 阴天可全天观测;
- 观测前半小时, 应将数字水准仪置于露天阴影下, 使仪器与外界气温趋于一致。观测前, 应进行不少于 20 次单次测量的预热。晴天观测时, 应使用测伞遮蔽阳光;
- 应避免望远镜直接对着太阳, 并应避免观测视线被遮挡。仪器应在其生产厂家规定的温度范围内工作。当遇临时振动影响时, 应暂停作业。当长时间受振动影响时, 应增加重复测量次数;
- 各期观测过程中, 当发现相邻监测点高差变动异常或附近地面、建筑基础和墙体出现裂缝时, 应进行记录。

5.3.6 观测成果的重测和取舍应符合下列规定:

- 凡超出本规范表 15 规定限差的成果, 均应在分析原因的基础上进行重测。当测站观测限差超限时, 对在本站观测时发现的, 应立即重测; 当迁站后发现超限时, 应从稳固可靠的点开始重测;
- 当测段往返测高差较差超限时应先对可靠性小的往测或返测测段进行重测, 并应符合下列规定:
 - 当重测的高差与同方向原测高差的不符值大于往返测高差不符值的限差, 但与另一单程的高差不符值未超出限差时, 可取用重测结果;
 - 当同方向两高差的不符值未超出限差, 且其算术平均值与另一单程原测高差的不符值亦不超出限差时, 可取同方向两高差算术平均值作为该单程的高差;
 - 当重测高差或同方向两高差算术平均值与另一单程高差的不符值超出限差时, 应重测另一单程;
 - 当出现同向不超限但异向超限时, 若同方向高差不符值小于限差的 $1/2$, 可取原测的往返高差算术平均值作为往测结果, 取重测的往返高差算术平均值作为返测结果。
- 单程双测站所测高差较差超限时, 可只重测一个单线, 应与原测结果中符合限差的各单线取算术平均值采用。若重测结果与原测结果均符合限差时, 可取三个单线的算术平均值。当重测结果与原测两个单线结果均超限时, 应再重测一个单线;

- d) 当线路往返测高差较差、附和路线或环线闭合差超限时，应对路线上可靠性小的测段进行重测。

5.4 三角高程测量

基于全站仪的三角高程测量可用于三等、四等沉降测量观测。三角高程测量应采用中间设站观测方式，所用全站仪的标称精度应符合表 16 的规定，并采用高低棱镜组及配件。

表 16 三角高程测量所用全站仪标称精度要求

沉降观测等级	一测回水平方向标准差 (")	测距中误差 (mm)
三等	≤ 1.0	$\leq (1\text{mm}+1\text{ppm})$
四等	≤ 2.0	$\leq (2\text{mm}+2\text{ppm})$

5.5 GNSS 测量

5.5.1 GNSS 测量方法可用于二等、三等和四等位移观测。对二等观测，应采用静态测量模式；对三等、四等观测，可采用静态测量模式或动态测量模式。对日照、风振等变形测量，应采用动态测量模式。

5.5.2 卫星导航定位测量设备的选用应符合表 17 的规定。

表 17 卫星导航定位测量设备的选用

位移观测等级		二等	三、四等
静态测量	接收机类型	双频	双频或单频
	标静态测量	$\leq (3\text{mm}+1\text{ppm})$	$\leq (5\text{mm}+1\text{ppm})$
动态测量	接收机类型	—	双频
	标静态测量	—	$\leq (5\text{mm}+1\text{ppm})$
	基准站接收天线	—	扼流圈天线
	标称动态精度	—	$\leq (10\text{mm}+1\text{ppm})$

5.5.3 卫星导航定位测量接收设备的检定、检验应符合现行行业标准《卫星定位城市测量技术标准》CJJ/T73 的规定，并应符合下列要求：

- 新购置的接收设备应进行全面检验后方可使用，检验内容应包括一般检验、常规检验、通电检验和实测检验；
- 每期变形测量作业前，应对所用接收设备进行实测检验；
- 当接收机或天线受到强烈撞击后，或更新接收机部件及更新天线与接收机的匹配关系后，应按新购置设备做全面检验。

5.5.4 采用卫星导航定位测量进行变形测量作业，其点位选择应符合下列规定

- 视场内障碍物的高度角不宜超过 15° ；
- 离电视台、电台、微波站等大功率无线电发射源的距离不应小于 200m，离高压输电线和微波无线电信号传输通道的距离不应小于 50m，附近不应有强烈反射卫星信号的大面积水域、大型建筑以及热源等；

- c) 通视条件好, 应便于采用全站仪等手段进行后续测量作业。
- 5.5.5 卫星导航定位测量静态测量作业应符合下列规定:
- 静态测量作业的基本技术要求应符合表 18 的规定;
 - 对二等位移测量, 应采用零相位天线, 削弱多路径误差, 并采用强制对中器安置接收机天线, 对中误差不应大于 0.5mm, 天线应统一指向正北;
 - 作业中应按规定的时间计划进行观测;
 - 经检查接收机电源电缆和天线等各项连接无误后, 方可开机;
 - 开机后经检验有关指示灯与仪表显示正常后, 方可进行自测试及输入测站名、时段等控制信息;
 - 接收机启动前与作业过程中, 应填写测量手簿中的记录项目;
 - 观测开始、结束时, 应分别量测 1 次天线高, 两次较差不应大于 3mm, 并应取其算术平均值作为天线高;
 - 观测期间, 应防止接收设备振颤并应防止人员和其他物体碰撞天线或阻挡信号;
 - 观测期间, 不得在天线附近使用电台、对讲机和手机等无线电通信设备;
 - 作业时, 接收机应避免阳光直接照射。雷雨天气时, 应关机停测, 并应卸下天线以防雷击;
 - 作业过程中, 不得进行接收机关闭又重新启动、自测试、改变卫星截止高度角、改变数据采样间隔操作、改变天线位置和按动关闭文件和删除文件功能键等操作;
 - 对二等位移测量, 宜采用高精度解算软件和精密星历进行数据处理; 对三等或四等位移测量, 可采用商用软件和预报星历进行数据处理;
 - 观测数据的处理和质量检查应符合现行国家标准《工程测量标准》GB50026 的规定。同一时段观测值的数据采用率宜大于 85%。

表 18 静态测量基本技术要求

位移观测等级	二等	三等	四等
有效观测卫星数	≥ 5	≥ 5	≥ 4
卫星截止高度角 ($^{\circ}$)	≥ 15	≥ 15	≥ 15
观测时段长度 (min)	≥ 30	≥ 20	≥ 15
数据采样间隔 (s)	10~30	10~30	10~30
位置精度因子 (PDOP)	≤ 5	≤ 5	≤ 5

- 5.5.6 卫星导航定位测量动态测量作业应符合下列规定:
- 动态变形测量应建立由参考点站、监测点站、通信网络和数据处理分析系统组成的卫星导航定位测量动态变形监测系统;
 - 动态变形监测系统应至少设置 1 个参考点站, 必要时可增加 1 个参考点站;
 - 参考点站应选在变形区域影响范围之外, 距变形监测点的距离不应超过 3km;
 - 参考点站宜直接设置在位移基准点上。当位移基准点不能作为参考点站时, 应设置位移工作基点, 并将其作为动态变形监测系统的参考点站;
 - 对高频次或变化敏感的监测点, 应一个天线配置一台接收机, 接收机应具备 1Hz 以上的数据输出能力; 对变化缓慢的变形监测点, 可多个天线配置一台接收机;
 - 参考点站和监测点站应与数据处理分析系统通过通信网络进行连通, 并应保证数据实时传输。

5.6 在线变形监测系统

5.6.1 在线变形监测系统应具有 24 小时实时监测、数据采集、数据传输、数据信息化管理、报表推送发布、变形趋势分析和分级预警等功能。

5.6.2 在线变形监测系统由变形监测传感器、采集传输装置及其配套的数据分析处理软件等组成。

5.6.3 变形监测传感器的分类及其适用范围符合表 19 规定。

表 19 传感器种类及其适用监测内容

序号	传感器种类	适用监测内容
1	卫星定位系统、全自动全站仪、激光位移传感器	水平位移、竖向位移
2	应变仪	应力、应变
3	倾角仪、静力水准仪	倾斜
4	裂缝计	裂缝
5	雨量计	降雨量
6	水位监测仪	地表水位及地下水位

5.6.4 在线监测过程中应增加人工测量方法对监测成果进行复核，确保在线监测数据准确可靠。

5.6.5 在线变形监测系统应根据变形监测内容、精度要求和现场条件等选择变形监测传感器种类。

5.6.6 采集传输装置应具有现场网络数据通信和远程通信功能。数据传输方式选择应符合下列要求：

- a) 现场数据通信可采用电缆、光纤和无线传输形式；
- b) 远程数据通信宜采用无线互联网形式；
- c) 具备安全防护功能，确保网络安全运行。

5.6.7 数据分析处理软件应对监测数据进行管理、查询、分析等操作，对数据异常及故障进行显示和报警，包含下列主要功能：

- a) 管理功能包括工程用户管理、工程文档管理、监测信息管理、自动化运行管理、监测数据管理等；
- b) 查询功能包括测点信息查询、监测断面查询、单元配置查询、单元状态查询、监测数据查询、监控指标查询；
- c) 分析功能包括统计模型分析、监控指标分析、监测数据评判、相关图分析、分布图分析、直观分布图等；
- d) 输出功能包括数据曲线、数据报表输出、发布；
- e) 功能预警能多级预警；
- f) 数据备份功能。

5.7 InSAR 监测

5.7.1 SAR 数据及其相关数据的选择应符合 DZ/T 0283-2015 《地面沉降调查与监测规范》的规定，并应符合下列要求：

- a) SAR 数据空间范围应大于电力变形监测项目空间范围；
- b) SAR 数据和 DEM 数据空间分辨率接近，若不能获取高空间分辨率 DEM 数据时可使用 SRTM DEM 等中等分辨率数据；
- c) 收集电力变形监测项目空间范围内历史测量资料、历史地质灾害调查资料、历史地震现场调

查资料和历史地下水和矿产资源开采情况资料等。

5.7.2 InSAR 数据处理应符合现行国家标准 GB/T 44146-2024 《基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范》的规定，并应符合以下要求：

- a) 当形变量大于或等于 0.02 m 时，宜使用 D-InSAR 方法；如有多期 SAR 数据，亦可选择 PS-InSAR、SBAS-InSAR 或 Stacking-InSAR 方法；
- b) 如有多期 SAR 数据，并且区域植被覆盖度高时，宜使用 CR-InSAR 方法，CR-InSAR 方法处理应符合 DZ/T 0283-2015 《地面沉降调查与监测规范》的规定。

5.7.3 InSAR 监测成果应进行质量检查和真实性检验，并符合国家标准 GB/T 44146-2024 《基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范》的规定。

6 基准点布设

6.1 一般规定

6.1.1 变形监测的基准点应由地质专业工程师现场指定，设置在变形影响范围外且位置稳定、易于长期保存的地方，宜避开高压线。

6.1.2 基准点应埋设标石或标志，且应在埋设达到稳定后方可开始进行变形监测。稳定期应根据观测要求与地质条件确定，不宜少于 7d。

6.1.3 基准点应每期检测、定期复测，并应符合下列规定：

- a) 基准点复测周期应视其所在位置的稳定情况确定，宜每季度或每半年复测 1 次；
- b) 当某期检测发现基准点有可能变动时，应立即进行复测；
- c) 当某期变形测量中多数监测点观测成果出现异常，或当地测区受到地震、洪水、爆破等外界因素影响时，应立即进行复测；
- d) 复测后，按《建筑变形测量规范》JGJ 8-2016 中 5.4 节规定对基准点的稳定性进行分析。

6.1.4 基准点可分为沉降基准点和位移基准点。当需同时测定建筑的沉降和位移或三维变形时，宜设置同时满足沉降基准点和位移基准点布设要求的基准点。

6.1.5 当基准点与所测电力设施距离较远致使变形测量作业不方便时，宜设置工作基点，并应符合下列规定：

- a) 工作基点应设在相对稳定且便于进行作业的地方，并应设置相应的标志；
- b) 每期变形测量作业开始时，应先将工作基点与基准点进行联测，再利用工作基点对监测点进行观测。

6.1.6 基准点测量及基准点与工作基点之间联测的精度等级，对四等变形测量，应采用三等沉降或位移观测精度；对其他等级变形测量，不应低于所选沉降或位移观测精度等级。

6.2 位移基准点

6.2.1 位移观测基准点的设置应符合下列规定：

- a) 对水平位移监测，应设置平面基准点。对于一等监测，基准点数不应少于 4 个，对其他等级不应少于 3 个；
- b) 对倾斜观测、挠度观测、收敛变形观测或裂缝观测，可不设置基准点。

6.2.2 根据位移观测现场作业的需要，可设置若干位移工作基点。位移工作基点应与位移基准点进行组网和联测。

6.2.3 位移基准点、工作基点的位置除应满足本规范第 6.1 节的要求外，尚应符合下列规定：

- a) 应便于埋设标石或建造观测墩；
- b) 应便于安置仪器设备；

- c) 应便于观测人员作业;
 - d) 若采用卫星导航定位测量方法观测,应符合本规范 5.5 的规定。
- 6.2.4 位移基准点、工作基点标志的型式及埋设符合下列规定:
- a) 对特等和一等位移观测的基准点及工作基点,应建造具有强制对中装置的观测墩或埋设专门观测标石。强制对中装置的对中误差不应超过 0.1mm;
 - b) 照准标志应具有明显的几何中心或轴线,并应符合图像反差大、图案对称、相位差小和本身不变形等要求。应根据点位不同情况,选择重力平衡球式标、旋入式杆状标、直插式觇牌、屋顶标和墙上标等型式的标志。
- 6.2.5 位移基准点的测量可采用全站仪边角测量或卫星导航定位测量等方法。当需测定三维坐标时,可采用卫星导航定位测量方法,或采用全站仪边角测量、水准测量或三角高程测量组合方法。位移工作基点的测量可采用全站仪边角测量、边角后方交会以及卫星导航定位测量等方法。
- ### 6.3 沉降基准点
- 6.3.1 沉降观测应设置沉降基准点。对于一等、特等沉降观测,基准点数不应少于 4 个,其他等级沉降观测,基准点不应少于 3 个。基准点之间应形成闭合环。
- 6.3.2 沉降基准点的点位选择应符合下列规定:
- a) 基准点应避开交通主干道主路、地下管线、仓库堆栈、水源地、河岸、松软填土、滑坡地段、机械振动区以及其他可能使标识、标志易遭腐蚀和破坏的地方;
 - b) 密集建筑区内,基准点与待测建筑的距离应大于该建筑基础最大深度的 2 倍;
 - c) 二等、三等和四等沉降观测,基准点可选择在满足前述距离要求的其他稳固的建筑上。
- 6.3.3 沉降工作基点可根据作业需要设置,并应符合下列规定:
- a) 工作基点与基准点之间宜便于采用水准测量方法进行联测;
 - b) 当采用三角高程测量方法进行联测时,相关各点周围的环境条件宜相近;
 - c) 当采用连通管式静力水准测量方法进行沉降观测时,工作基点宜与沉降监测点设在同一高程面上,偏差不应超过 10mm。当不能满足这一要求时,应在不同高程面上设置上下位置垂直对应的辅助点传递高程。
- 6.3.4 沉降基准点和工作基点标石、标志的选型及埋设应符合下列规定:
- a) 基准点的标石应埋设在基岩层或原状土层中,在冻土地地区,应埋至当地冻土线 0.5m 以下。根据点位所在位置的地质条件,可选埋基岩水准基点标石、深埋双金属管水准基点标石、深埋钢管水准基点标石或混凝土基本水准标石。在基岩壁或稳固的建筑上,可埋设墙上水准标志;
 - b) 工作基点的标石可根据现场条件选用浅埋钢管水准标石、混凝土普通水准标石或墙上水准标志。
- 6.3.5 沉降基准点观测宜采用水准测量。对三等或四等沉降观测的基准点观测,当不便采用水准测量时,可采用三角高程测量方法。

7 监测点布置

7.1 输电线路监测点布置

- 7.1.1 杆塔变形监测应进行沉降、倾斜和水平位移监测,并符合下列规定:
- a) 沉降监测应测定杆塔沉降量、沉降差以及沉降速率,倾斜度应根据监测点沉降差值及两点间距离计算求得,并需要根据判定倾斜方向;
 - b) 预应力混凝土基础应进行水平位移监测。

7.1.2 监测点的布设应符合下列规定：

- a) 监测点布设应能充分反映杆塔基础变形特征，应考虑杆塔结构和地质结构特点。在大跨度跨越杆塔等杆塔结构特殊、边坡或采空区附近等地质结构复杂区域，应加密布点；
- b) 角钢塔和钢管塔的每个塔腿基础应布设监测点；
- c) 钢管杆监测点应布设在基础轴线相交的对称位置上，点数不应少于4个；
- d) 倾斜、挠度观测，角钢塔和钢管塔特征点宜选择在横切面位置，钢管杆特征点宜选择在法兰处；
- e) 横担歪斜度观测特征点宜选择绝缘子串挂点或横担端点处；
- f) 位移和沉降监测采用全站仪测量时，位移监测点和沉降监测点宜同点布设。

7.1.3 过河、穿铁路隧道段、地质分层界面处、工程活动频繁附近应布设电缆隧道及地下管线监测点。

7.2 变电站监测点布置

7.2.1 变电站变形监测应进行沉降、倾斜和水平位移监测，并符合下列规定：

- a) 站区监测点布设应考虑是否带电等安全情况，在满足条件的情况下布置监测点；
- b) 已经发生变形、变形较大区域的主要设备上布置监测点；
- c) 对于变形破坏区域不在变电站内部的，根据变形破坏的特征，变形破坏区域边缘靠近变电站；一侧布置监测点，监测点连线范围能全部包含变电站可能受影响的边界；
- d) 在填挖交界、软弱地基等地质薄弱区和站区围墙及边坡等地质灾害防护区布设监测点；
- e) 在主变压器基础、高压开关站架构等基础及设施的角点、中点、伸缩缝两侧、高度/跨度变化点等能反映结构建筑整体和局部变形的关键位置布设监测点。

7.2.2 监测点的布设应符合下列规定：

- a) 监测点应设置稳固的结构，确保与监测主体牢固结合，并能有效传递变形。建筑基础上的监测点宜采用埋入式铆钉或钻孔植入标志；地面监测点应设置混凝土墩或钢管，并埋至原状土或稳定土层。所有监测点应具有明显的中心标志，便于精确观测。
- b) 监测点的标识与保护，每个监测点应进行唯一性编号，并设置醒目的标识牌。标识信息应清晰、耐久。同时，应采取必要的防护措施，防止监测点因车辆碾压、人为活动或意外碰撞而损坏或失效。对关键设备上的监测点，应设立警示标识。

7.3 配电网监测点布置

7.3.1 配电网杆塔变形监测应进行沉降、倾斜和水平位移监测，应符合本规范 7.1.1 规定。

7.3.2 监测点的布设应符合下列规定：

- a) 应符合本规范 7.1.2 节 a)、e)、f) 条规定；
- b) 单电线杆监测点应布设在杆顶、基座与杆底连接处和电线连接处；
- c) 在配电网设施周边进行频繁工程活动的区域布设监测点；
- d) 在城市核心区、重要供电关键节点处构架，应加密布设。

8 输变配地质灾害监测预警

8.1 滑坡变形监测预警

8.1.1 一般规定

8.1.1.1 滑坡监测的内容，分为变形监测、相关因素监测、宏观前兆监测。

8.1.1.2 滑坡变形监测方案必须基于对滑坡进行详细勘测、对滑坡潜在破坏模式进行分析的基础上进

行布置，充分考虑滑坡潜在破坏模式来部署监测分案。

8.1.1.3 滑坡变形监测，一般包括位移监测和倾斜监测，以及与变形有关的物理量监测。

- a) 位移监测。分为地表的和地下（钻孔）的绝对位移监测和相对位移监测；
 - 1) 绝对位移监测。监测滑坡的三维（X、Y、Z）位移量、位移方向与位移速率。
 - 2) 相对位移监测。监测滑坡重点变形部位裂缝、崩滑面（带）等两侧点与点之间的相对位移量，包括张开、闭合、错动、抬升、下沉等。
- b) 倾斜监测。分为地表倾斜和杆塔倾斜监测，监测滑坡的角变位与倾倒、倾摆变形及切层蠕滑；
- c) 与滑坡变形有关的物理量监测。一般包括地应力、推力监测和地声、地温监测等。

8.1.1.4 滑坡形成和变形相关因素监测。一般包括下列内容：

- a) 地表水动态。包括与滑坡形成和活动有关的地表水的水位、流量、含沙量等动态变化，以及地表水冲蚀情况和冲蚀作用对滑坡的影响，分析地表水动态变化与滑坡内地下水补给、径流、排泄的关系，进行地表水与滑坡形成与稳定性的相关分析；
- b) 地下水动态。包括滑坡范围内钻孔、井、洞、坑、盲沟等地下水的水位、水压、水量、水温、水质等动态变化，泉水的流量、水温、水质等动态变化，土体含水量等的动态变化。分析地下水补给、径流、排泄及其与地表水、大气降水的关系，进行地下水与滑坡形成与稳定性的相关分析；
- c) 气象变化。包括降雨量、降雪量、融雪量、气温等，进行降水等与滑坡形成与稳定性的相关分析；
- d) 地震活动。监测或收集附近及外围地震活动情况，分析地震对滑坡形成与稳定性的影响；
- e) 人类活动情况。主要是与滑坡的形成、活动有关的人类工程活动，包括洞掘、削坡、加载、爆破、振动，以及高山湖、水流或渠道渗漏、溃决等，据以分析其对滑坡形成与稳定性的影响。

8.1.1.5 滑坡变形破坏前兆监测与观察。一般包含下列内容：

- a) 宏观形变。包括对边缘变形破坏前常常出现的地表裂缝和前缘岩土体局部坍塌、鼓胀、剪出，以及建筑的破坏等。测量其产出部位、变形量及其变形速率；
- b) 动物异常观察。观察滑坡变形破坏前其上动物（鸡、狗、牛羊等）常常出现的异常活动现象；
- c) 地表水和地下水宏观异常，监测滑坡地段地表水、地下水水位突变（上升或下降）或水量突变（增大或减小），泉水突然消失、增大、浑浊、突然出现新泉等。

8.1.1.6 滑坡进行绝对位移、相对位移、宏观变形前兆监测与观察和主要相关因素监测。监测的具体内容应根据滑坡特点，有针对性的确定。

8.1.1.7 对于滑坡附近的输变配设施进行监测，监测输变配设施的倾斜、位移、设施关键杆件变形等情况应符合以下规定：

- a) 倾斜监测。对输变配设施的倾斜情况进行监测，防止因滑坡的发生导致输变配设施倾倒；
- b) 位移监测。对输变配设施的地表位移情况进行监测；
- c) 设施杆件。对输变配设施的重点部位的杆件进行应力、应变监测，防止因滑坡导致关键部位受力变形过大导致设施变形破坏。

8.1.2 变形破坏预警预报

8.1.2.1 分级分主次确定滑坡变形破坏的预报对象。监测对象可以是但不一定全是主要预报对象，尤其是对大型滑坡或崩滑群。一般情况下，主要预报对象是：

- a) 变形速率大的地段或块体；
- b) 产生严重危害的地段或块体；
- c) 对整个滑坡的稳定性起关键作用的地段或块体；

- d) 对整个滑坡的变形破坏具有代表性的地段或块体；
- e) 输变配设施产生较大应力、变形。
- 8.1.2.2 正确确定滑坡灾害范围。
- a) 滑坡自身的范围；
- b) 滑坡运动所达到的范围；
- c) 滑坡所造成的次生灾害（如涌浪、堵江、堵河、堵渠和在暴雨条件下滑坡、崩塌迅速转化为泥石流等）的危害范围；
- d) 地震、暴雨等其他灾害条件下放大效应所波及的范围。
- 8.1.2.3 确定灾害范围时，应考虑下列条件：
- a) 滑坡运动的规模、范围、形式和方向；
- b) 滑坡运动场所内的地形、地貌、地质及水文条件；
- c) 滑坡的运动速度和加速度，在峡谷区产生气垫浮托效应、折射回弹及多冲程的可能性；
- d) 次生灾害产生的可能性和波及的范围。对于涌浪、堵江、堵河、堵渠等，应对不同水位、流量条件下不同崩滑规模（土石体积）、运动速度所产生的灾害进行分析。
- 8.1.2.4 滑坡变形破坏预报等级，按时间分为：预测级、预报级、警报级。各等级内容见表 20。

表 20 滑坡预报等级表

预报等级	时间	空间	方法	指标	手段	预防措施
中长期预报 (预测级)	1 年以上	区域, 单体	调查评价	危险程度	危险程度区划和数据库	防治工程或搬迁
短期预报 (预报级)	1 年~几天	少量区域, 主要单体	调查评价 与监测	临界值	1.区域自然、地貌、地质、社会 因素分析; 2.变形位移监测	抢险应急工程或 常规紧急避难
临灾预报 (警报级)	几天以内	单体	监测	警戒值	1.变形位移监测和地声等物理量 监测; 2.宏观变形监测; 3.气象、水文与地质等相关因素 监测	紧急避难

- 8.1.2.5 区域性滑坡变形破坏预报，主要进行预测级和部分预报级预报。宜在每年雨季前进行巡查并进行稳定性评价，提出预报报告。
- 8.1.2.6 单体滑坡变形破坏预报，应合理选择预报参数。一般情况下：
- a) 短临前兆参数是首要的预报参数，是准确预报滑坡变形破坏的参数；
- b) 多维位移监测数据，是滑坡变形破坏预报的最基本参数，其中绝对位移数据是预报模型所必须的参数；
- c) 倾斜监测数据，是滑坡变形破坏预报的重要参数之一；
- d) 地声监测数据，是岩质滑坡变形破坏的重要参数之一，具有较短的时效性和较高的有效性；
- e) 地应力、滑坡推力、地温及地下水监测数据，均是滑坡变形破坏表征的预报参数；
- f) 应结合实际监测内容和方法选取预报参数，进行多参数综合评判和预报，以提高预报的准确性。
- 8.1.2.7 滑坡变形破坏预报模型的建立和预报判据的确定，应遵循如下原则和方法：
- a) 在地质模型和实施的监测内容、方法的基础上，选择建立适宜的、有效的监测预报模型；
- b) 在进行滑坡变形破坏预报时，宜建立类比分析、因果分析、统计分析等模型，进行多参数、多模型的综合评判提高预报的准确性；
- c) 预报模型建立以后，应利用已经发生过的相似的滑坡、崩塌的监测资料，进行反演分析，检

验模型的有效性，并初步确定相应的预报判据；

d) 预报模型与预报判据均应由主管部门或单位组织专家评审、鉴定。

8.2 崩塌变形监测预警

8.2.1 一般规定

8.2.1.1 由于崩塌可分为四类，滑移式崩塌、坠落式崩塌、鼓胀式崩塌、拉裂式崩塌，由于不同崩塌类型对输变电铁塔造成影响有所不同，故需要对不同崩塌类型进行不同手段进行监测。

8.2.1.2 由于崩塌一般都是突然发生的，故对崩塌的监测要求为高精度、高频率。

8.2.1.3 由于崩塌发生，会对崩塌沿线造成一定损伤，且发生迅速、范围较广，故对崩塌灾害点主要以在线监测为主，人工巡视为辅。

8.2.1.4 由于崩塌发生的突然与突发性，监测阈值应设置较小，不应过大。

8.2.1.5 随着崩塌体变形情况的增加，应适当增加监测频次。

- a) 对于输变配设施位于山顶上，崩塌对其造成的影响通常为危岩体崩塌后，造成输变配设施基础脱空，从而影响输变配设施的安全；
- b) 对于输变配设施位于山腰中，主要遭受崩塌的影响为崩塌体在崩塌的过程中，可能砸中输变配设施，从而影响输变配设施的安全运行；
- c) 对于输变配设施位于山脚，主要遭受崩塌体的影响为崩塌体在崩塌的过程中，可能砸中输变配设施，以及崩塌体在山脚堆积，可能造成二次灾害，对输变配设施造成影响。

8.2.2 监测重点内容

根据输变配设施与崩塌体位置关系的不同，监测的主体有所差异，对于输变配设施位于山顶的，主要监测崩塌发生的可能性，对于输变配设施位于山腰的，主要监测崩塌体崩塌后，崩塌范围以及路径，是否对输变配设施塔造成影响。对于崩塌体位于山脚的，主要监测崩塌体移动路径以及山脚堆积范围。

8.2.3 监测内容

- a) 监测对于输变配设施受威胁的危岩体位移变化情况；
- b) 监测崩塌体在移动过程中滑移范围，滑移路径等；
- c) 监测崩塌体周围降雨量、土壤含水量等；
- d) 监测危岩体周围裂缝发育情况；
- e) 监测崩塌体在山脚堆积情况，防止二次灾害的发生。

8.2.4 监测精度

- a) 危岩体裂缝变化精度为 2mm；
- b) 崩塌体沉降、位移变化精度为 2mm；
- c) 降雨量、土壤含水量精度应为 1mL。

8.2.5 监测流程

- a) 先采用人工、无人机巡线等方式对可能造成崩塌的地质灾害点进行巡查，先大致确定崩塌体范围以及崩塌路径，以及初步预估崩塌发生的可能性大小；
- b) 对可能发生崩塌的崩塌体先采用简易观测、无人机核实以及三维激光扫描的方式进行核实崩塌体发育情况。再次核实崩塌范围以及重点崩塌区域；
- c) 采用空天地一体监测技术对崩塌进行监测。重点监测裂缝发育情况、降雨土壤含水情况，并进一步核实对输电线路运行的威胁情况。

8.2.6 监测方案

8.2.6.1 简易观测

- a) 由于监测对象的特殊性、时效性，除采用常规监测手段外，应在保证监测人员安全及不影响监测对象稳定性的前提下，采取简易的监测手段迅速开展监测工作；
- b) 在崩塌体上的裂缝两侧或崩塌体边界插筋（木筋、钢筋等）、埋桩（混凝土桩、石桩等）或标记，用钢卷尺量测其变形情况；
- c) 在崩塌表面或地形适合部位吊设垂锤，监测其角度及距离标志物变形情况；
- d) 对危岩块体进行编号，并用油漆标记，人工观察其位移情况。对于已掉落的危岩块体，查找编号，并详细记录掉落位置；
- e) 简易监测方法可结合电路接触器实现自动报警，即按预测的预警临界值、预警警戒值，沿滑面、裂缝安装电路接触点，当位移超过该点时，电路接通，立即发出预警和警报。

8.2.6.2 自动化监测

- a) 采用无人机对现场进行简易观测，采用定点拍照，每次对固定点进行观测，观测崩塌体裂缝发育情况；
- b) 采用三维激光扫描技术对危岩体及崩塌体进行三维激光扫描，观测危岩体及崩塌体变化、位移情况。同时避免人为巡查时对人造成危险；
- c) 地表采用重力加速度计、建立位移观测等方式，对危岩体、崩塌体进行位移监测。

8.2.6.3 其他相关监测

- a) 采用雨量计测量降雨量大小；
- b) 采用土壤含水量计测量土壤中含水量变化情况。

8.2.7 监测资料分析与预测

8.2.7.1 资料分析

- a) 每次无人机定点拍照，观测裂缝发育情况，若裂缝无明显发育情况，则需持续观测即可。若肉眼可见裂缝发育，则需要增加观测频次，同时结合在线监测数据进行分析；
- b) 三维激光扫描，观测得到数据若裂缝无明显发育情况，则需持续观测即可。若裂缝数据持续增大，则需要加强监测频次。若观测到裂缝突增，则需要对崩塌路径上的输电设施进行预警；
- c) 对重力加速度计数据进行分析，观测崩塌发生过程，并实时预测灾害发生情况以及二次灾害发生可能性；
- d) 若观测到降雨量突增，土壤中含水量持续增大，则需要加强观测频次。

8.2.7.2 预测

- a) 根据简易观测情况，推测崩塌发生可能性，并调查发育范围；
- b) 结合地形地貌、崩塌范围，预测崩塌崩解滑移路径；
- c) 利用无人机和三维激光扫描技术，获得裂缝发育情况和崩塌体变形情况的数据。基于这些数据，推测出崩塌体崩塌发生的具体时间；
- d) 根据雨量计、土壤含水率计测量降雨、土壤中含水情况。进一步预测崩塌体崩塌发生情况；
- e) 根据崩塌体范围、裂缝深度等，推测崩塌体崩解方量，以及山脚堆积情况，并预测是否会发生二次地质灾害情况。

8.2.8 监测预警

8.2.8.1 预警对象

分级分主次确定崩塌变形破坏的预警对象。对以下对象应重点预警：

- a) 裂缝变形速率大的地段或块体；

- b) 对输变铁塔以及导线产生严重危害的地段或块体；
- c) 对崩塌的稳定性起关键作用的地段或块体；
- d) 对整个崩塌的变形破坏具有代表性的地段或块体；
- e) 可能造成二次地质灾害的区域。

8.2.8.2 预警等级

崩塌预警分为两个等级，即警示级（黄色预警）与警报级（红色预警）。

- a) 警示级（黄色预警）：当降雨量达到暴雨及暴雨级别以上或连续降雨时长达到 48 小时及以上时，上部岩体拉张裂隙突然产生变形，观测到裂缝明显持续增大，即进入警示级，可对崩塌体进行重点监测；
- b) 警报级（红色预警）：如监测到崩塌体发生连续大形变等，上部岩体拉张裂隙不断扩展、加宽，速度突增，小型坠落不断发生时，应向有关部门发出警报，该崩塌体有可能随时出现险情。并对输电设施采取紧急停电避险措施；

8.2.8.3 崩塌危险区内人员已撤离或崩塌已完成、危岩（土）体已稳定后应解除预警，经过相关专业技术人员确认后，应急监测工作也可随之结束，并恢复带电。

8.3 泥石流变形监测预警

8.3.1 一般规定

- 8.3.1.1 泥石流变形监测预警系统应满足高精度、高灵敏度、持久稳定的工作要求。
- 8.3.1.2 监测系统应具备远程监控和数据传输功能，以确保数据实时性和预警的及时性。
- 8.3.1.3 监测设备应设计为防水、防尘和抗震，以适应泥石流灾害多发区域的恶劣环境。

8.3.2 监测内容

- 8.3.2.1 雨量指标：降雨是引发泥石流的主要因素之一，应实时监测降雨量及其变化情况，并设置相应阈值进行预警。
- 8.3.2.2 水位指标：水位变化也是引发泥石流的重要因素，应实时监测河流水位及其变化情况，超过阈值时发出警报。
- 8.3.2.3 斜坡变形指标：泥石流发生前常伴随山体变形，通过倾斜仪等设备监测山体变形情况，超过一定阈值时发出警报。
- 8.3.2.4 地下水位指标：地下水位的变化与泥石流发生有关，应实时监测地下水位的变化情况，并设置预警阈值。
- 8.3.2.5 温度指标：山体温度的降低可能与降水相伴，进而可能引发泥石流，应实时监测山体温度的变化情况。

8.3.3 监测精度

- 8.3.3.1 监测系统应确保数据的准确性和可靠性，以满足预警的精度要求。
- 8.3.3.2 具体精度要求应根据不同地区的地质条件、历史数据等因素进行设定和优化。

8.3.4 监测流程

- 8.3.4.1 布设监测点：在泥石流形成区、流通区和堆积区布设不同类型的监测点，如雨量计、水位计、倾斜仪等。
- 8.3.4.2 数据采集：通过监测设备实时采集各类数据，如降雨量、水位、斜坡变形等。
- 8.3.4.3 数据传输：将采集到的数据传输至数据中心或远程终端进行存储和分析。
- 8.3.4.4 数据分析：对采集到的数据进行统计分析，判断泥石流发生的可能性，并设置预警阈值。

8.3.4.5 预警发布：当数据达到或超过预警阈值时，通过远程报警技术向受威胁人群发布预警信息。

8.3.5 监测方案

8.3.5.1 根据不同地区的地质条件、历史数据、潜在泥石流成灾模式分析等因素，制定适合当地的监测方案。泥石流监测方案因在充分考虑地形地貌、地质条件、气象水文、人类活动等因素的基础上，分析泥石流的成因，编制有针对性的监测方案。

8.3.5.2 方案应包括监测点的布设位置、监测设备的选型、数据采集和传输方式、数据分析方法等内容。

8.3.6 监测预警

8.3.6.1 预警系统应基于实时监测数据进行分析和判断，当数据达到或超过预设的预警阈值时，自动触发预警机制。

8.3.6.2 预警信息应包括泥石流灾害的等级、可能影响的区域、预计发生时间等关键信息，以便受威胁人群及时采取应对措施。

8.4 地表塌陷变形监测预警

8.4.1 一般规定

山区输配变地表塌陷地质灾害主要是岩溶塌陷、采空区塌陷以及滑坡导致的。滑坡导致的地表塌陷监测预警与滑坡灾害监测预警相同，在输配变设施建设过程中，通常避免岩溶塌陷区，故本节条文仅针对采空区塌陷造成的输电线路地表塌陷地质灾害的监测预警。

8.4.2 监测内容和范围

8.4.2.1 输配变设施采空区监测应查明地表变形特征、基本规律和发展趋势。

8.4.2.2 输配变设施采空区监测点应根据煤层开采深度、开采方式、地层特征、采空区特征和输配变设施铁塔建设需要等布设。下列情况应进行采空区地表变形监测：

- a) 缺乏资料且勘探难以查明采空区的变形特征时；
- b) 为判断采空区移动变形对输配变设施的影响和评价采空区治理效果时；
- c) 对新采、复采的已建铁塔，应进行采空区变形跟踪监测；
- d) 对于重要输电工程及有特殊要求的采空区应开展地表长期变形监测；
- e) 不稳定采空区上的输配变设施；
- f) 基本稳定采空区上的重要输配变设施。

8.4.2.3 输配变设施采空区变形监测内容应包括地表水平位移、地表垂直位移、地表裂缝监测及塔基倾斜监测、深部位移监测等。

8.4.2.4 采空区地表变形可采用多种方法进行监测，数据应相互校核验证综合分析。

8.4.2.5 基准点应布置在不受采空区影响的稳定区域内。

8.4.2.6 采空区变形监测点的埋设、精度要求、基准点设置等，除应符合本规范的有关规定外，还应符合现行国家标准《工程测量标准》GB50026 的相关规定。

8.4.2.7 输配变设施采空区变形监测应充分收集输配变设施经过区域的地质采矿资料，分析研究矿体及围岩赋存条件、水文地质条件、地下开采活动、地下水抽采状况等，合理判定并划分采空变形区、未开采区。

8.4.2.8 输配变设施采空变形监测应考虑监测目的、地质及采矿条件、输电电压等级、塔基稳定状态等因素，制定合理的技术方案。

8.4.2.9 输配变设施采空塌陷监测范围应根据保护对象、围护带宽度、岩（土）层埋深、移动角等参

数计算确定。

8.4.2.10 输配变设施采空塌陷监测等级应按表 21 划分，输配变设施采空塌陷规模应按表 22 划分。

表 21 输配变设施采空塌陷监测等级划分

监测等级	一级	二级	三级
规模	大	中	小
稳定性	不稳定	基本稳定	稳定
输电工程电压等级	500kV 及以上	220kV~500kV	110kV 及以下

注 1: 采空塌陷稳定性等级划分可依照《煤矿采空区岩土工程勘察规范》(GB51044) 确定。
注 2: 凡未列入本表的输电工程, 可以依据其重要性类比其等级归属。对于不易确定者, 可以进行专门论证审定。

表 22 输配变设施采空塌陷规模划分

规模等级	采空塌陷面积/km ²	采高/m
大	>0.5	>7
中	0.1~0.5	3~7
小	<0.1	<3

注: 根据采空塌陷面积及采高对采空塌陷规模划分时, 遵循就高不就低原则。

8.4.2.11 采空塌陷塔基变形监测时, 应充分考虑采空塌陷稳定状态, 结合塔基类型与地基基础形式, 构建采空塌陷与地表塔基一体化监测系统。变形监测系统应同时满足采空塌陷变形监测与地表塔基沉降监测技术要求。

8.4.2.12 在经济、技术条件具备的情况下, 宜采用数据自动化采集与实时在线监测预警技术。

8.4.2.13 监测周期及频率应符合以下要求:

- a) 新建矿区(山)首采工作面地表变形监测基准点与工作基点联测后, 应对监测点进行 2 次全面监测, 之后每 30d~90d 监测 1 次。当监测点下沉值达到 50mm~100mm 时, 应进行采动后首次全面监测。活跃期内, 监测次数不少于 4 次。当 180d 内累计下沉值小于 30mm 时, 可停止监测;
- b) 除新建矿区(山)首采工作面之外的采空塌陷监测, 宜从勘察阶段开始至输电工程竣工验收后 1~2 年, 或经监测资料分析确认采空塌陷处于稳定状态且对输电工程无影响时, 可终止监测。

8.4.2.15 采空区塌陷(不均匀沉降)监测网(点)布设

- a) 采空区塌陷(不均匀沉降)巷道监测: 主要为地表变形监测, 同时应充分利用现有巷道等开展监测工作;
- b) 采空区塌陷(不均匀沉降)地表变形监测内容应包括地表下沉值、地表水平位移值、地表裂缝(台阶)及建(构)筑物变形等;
- c) 基准点应布置在不受采空塌陷(不均匀沉降)影响的稳定区域内。冻土地区控制点基底应在冰冻线以下不小于 0.5m 处;
- d) 观测线宜平行和垂直于工作面, 数量不宜少于 2 条, 走向观测线宜设在移动盆地主断面位置,

长度宜大于地表移动变形的预计范围。观测线长度确定所采用的移动角应采用矿区已求得的角度值；当矿区无角值参数时，可参考地质、采矿条件相似的矿区选用；

- e) 利用现有巷道，通过钻探快速成孔，数量不宜少于 2 个断面，包括多点位移计监测、收敛计监测、顶板沉降监测、应力监测。

8.4.3 监测仪器

8.4.3.1 地表变形监测应根据监测等级及精度选择合适的仪器。

8.4.3.2 地形地貌复杂、人工监测存在安全风险时，宜安装自动化监测仪器。

8.4.4 监测技术要求

8.4.4.1 监测过程中，应确保监测人员及监测仪器的安全。

8.4.4.2 对同一监测项目，宜符合下列要求：

- a) 采用相同的监测方法和监测路线；
- b) 使用同一监测仪器和设备；
- c) 固定监测人员；
- d) 在基本相同的环境和条件下工作。

8.4.4.3 监测项目及方法可按表 23 确定。

表 23 监测项目及方法

项目	监测方法
水平位移监测	三角网、极坐标法、交会法、GNSS 测量、激光准直法等
垂直位移监测	水准测量、三角高程测量等
塔基倾斜测量	经纬仪投点法
裂缝监测	精密测距、伸缩仪、测缝计、位移计等

8.4.4.4 水平位移监测可根据监测要求及监测环境选择下列方法：

- a) 测量特定方向上的水平位移时，宜采用视准线法、小角度法；
- b) 测量任意方向上的水平位移时，可采用前方交会法、后方交会法、边角交会法、极坐标法、电磁波测距导线法等；
- c) 当工作基点与监测点无法通视或距离较远时，可采用 GNSS 测量法。

8.4.4.5 视准线法测量水平位移应符合下列规定：

- a) 适用于直线边的水平位移监测，监测仪器应架设在变形区外，且测站与基准点、工作基点及监测点不宜太远；
- b) 基准点、工作基点及监测点偏离基准线的距离不应大于 20mm，并应测量活动觇牌的零位差。

8.4.4.6 小角度法测量水平位移应符合下列规定：

- a) 适用于不在同一直线上或分布不规则的基准点、工作基点及监测点；
- b) 仪器应架设在监测区外，且测站点与监测点不宜太远，起始方向与工作基点到基准点、工作基点及监测点的夹角宜小于 5°。

8.4.4.7 交会法及极坐标法测量水平位移应符合下列规定：

- a) 测角交会法宜采用三点交会法、交会角应在 30°~150°之间，基线边长不大于 600m；
- b) 边角交会法、导线测量法、极坐标法进行水平位移监测时，边长不得大于 1000m，其误差可

按误差理论公式估算监测精度。

- 8.4.4.8 GNSS 测量水平位移应符合下列规定：
- GNSS 测量法宜将基准点、工作基点及监测点布设成网，长短边相差不宜太悬殊；
 - GNSS 监测时应与基准点组网联测，统一平差计算；
 - GNSS 测量法采用 GNSS 网最弱边相对中误差来评定测量精度。
- 8.4.4.9 水平位移监测点可设置强制对中装置，或采用精密的光学对中装置，对中误差不宜大于 0.5mm。
- 8.4.4.10 垂直位移监测可采用几何水准、液体静力水准、电磁波测距三角高程导线或 GNSS 高程测量等方法。各垂直位移监测点与水准基准点或工作基点应组成闭合环路或符合水准路线进行平差计算。
- 8.4.4.11 垂直位移监测仪器选用应符合下列规定：
- 二级监测项目宜使用不低于 DS05 型水准仪和钢制水准标尺、钢制条码尺。水准仪视准轴与水准管轴的夹角 i 不超过 $\pm 10''$ ；
 - 三级监测项目可使用不低于 DS1 型水准仪和红、黑双面木标尺，或采用全站仪三角高程测量方法，视准轴与水准管轴的夹角 i 不超过 $\pm 15''$ ；
 - 精度要求不高的大面积竖向位移监测，可使用经过大地水准面精化后的 GNSS 拟合高程测量仪器。
- 8.4.4.12 监测项目初始值应在监测标志埋设完成并稳固后测量，取至少 2 次独立、连续监测值的平均值。

8.4.5 监测成果报告

- 8.4.5.1 每次观测工作结束后，应完成下列工作，并应定期提交监测成果阶段报告：
- 检查所有原始记录，对观测数据进行平差计算和处理；
 - 计算各观测点的下沉值 W 、水平移动值 U 、倾斜值 i 、曲率值 i ；水平变形值 ϵ 、下沉速率 V_w 等各种移动变形量；
 - 绘制水平变形、水平移动、曲率、倾斜、下沉等各种移动变形曲线，绘制比例尺应根据具体情况确定，以在地质断面图上能清楚地表示为宜。
- 8.4.5.2 当变形监测任务全部完成后，应提交综合技术成果报告，综合技术成果报告应包括下列内容：
- 项目概况，应包括项目来源、观测目的和要求、测区地理位置及周边环境、工程地质条件、项目起止时间、完成工作量等；
 - 作业过程及技术方法，应包括变形测量作业依据的技术标准，采用的仪器设备及其检校情况，基准点及观测点布设情况，变形测量精度，作业方法及数据处理方法，变形测量周期等；
 - 变形监测数据统计与分析，求取地表移动和变形的参数；
 - 绘制水平变形、水平移动、曲率、倾斜、下沉等各种移动变形曲线，进行变形区（中间区、内边缘区、外边缘区）划分，绘制比例尺应根据具体情况确定，以在地质断面图上能清楚地表示为宜；
 - 变形测量过程中出现的变形异常和作业中发生的特殊情况等；
 - 结论与建议；
 - 附图附表应包括基准点及观测点平面布置图，反映采矿、地质条件等与变形过程间关系的各种图表等。

8.4.6 监测预警

- 8.4.6.1 地表塌陷（不均匀沉降）灾害预警判据是指用于判定特定区域发生地表塌陷（不均匀沉降）可能性的指标，常用的预警判据见表 24。

表 24 地表塌陷（不均匀沉降）灾害预警判据

序号	判据名称	判据值	适用条件
1	变形	变形增大	
2	受力	受力有明显变化	
3	孔隙水压力、岩溶管道、裂隙水压力	岩溶管道、裂隙水压力变化值大于基岩面上覆土体的渗透变形临界值	第四系地下水（地表水体）与岩溶地下水水力联系紧密
4	地下水位	从基岩面以上降到基岩面以下	
5	降雨量	日降雨量大于年平均降雨量的 1/4~1/3	极端气候
6	地震或震动	有明显沉降变形现象	有震感地区或周围有爆破施工
7	沉降变形 裂缝变形	变化增大	
8	地下水含砂量	增大	可取地下水样区域
9	新塌陷坑形成	数量增加	
10	杆塔变形	杆塔基础发生沉降或水平位移、塔身倾斜、产生应变	
11	电气设备受到影响	导线弧垂偏移、导线张力增大或松弛、绝缘子偏移	

8.4.6.2 地表塌陷（不均匀沉降）预警分为两个等级，即警戒级（黄色预警）与警报级（红色预警）。

- a) 警戒级（黄色预警）：当地下空洞区上覆盖层岩土体出现变形失稳迹象时，即为警戒级；
- b) 警报级（红色预警）：当发现或判别形变、坍塌有明显加剧趋势，即进入警报级。

8.4.6.3 塌陷（不均匀沉降）地质灾害险情或灾情已消除或得到有效控制后，经过专家组技术会商确认后，并报有关管理部门同意，应解除警报，应急监测工作随之结束。

附录 A
(规范性)
变形预警阈值建议表

表 A.1 变形预警阈值建议表

变形预警阈值

预警级别	沉降绝对值累计量 (mm)	位移速率绝对值 (mm/d)	地表倾斜率	预报时间
			(%)	
红色	[800,+∞)	[20,+∞)	[2,+∞)	临崩预报 (预警)
黄色	[300, 800)	[3,20)	[0,2)	中期预报