**团 体 标 准**

**露天煤矿边坡变形监测信息系统**

**技术要求**

（征求意见稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

 发布

目 次

[目 次 I](#_Toc22555)

[前   言 I](#_Toc17219)

[引 言 II](#_Toc2910)

[1 范围 3](#_Toc7430)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc22031)

[3 术语和定义 3](#_Toc7457)

[4 缩略语 5](#_Toc23589)

[5 基本要求 5](#_Toc9347)

[6 数据采集、传输与接入 5](#_Toc28965)

[6.1 一般规定 6](#_Toc30807)

[6.2 数据采集 6](#_Toc22517)

[6.3 数据接入 7](#_Toc11951)

[7 功能 8](#_Toc2608)

[7.1 一般规定 8](#_Toc22350)

[7.2 三维数字底板 8](#_Toc5378)

[7.3 实时数据监测 8](#_Toc24809)

[7.4 数据分析与可视化 9](#_Toc20894)

[8 预警判据与阈值 9](#_Toc6130)

[8.1 有量纲判据与阈值 9](#_Toc31374)

[8.2 无量纲判据与阈值 10](#_Toc29987)

[9 安装与调试 12](#_Toc5267)

[9.1 一般规定 12](#_Toc25958)

[9.2 安装要求 12](#_Toc3959)

[9.3 调试要求 12](#_Toc32211)

[10 运行与维护 13](#_Toc26241)

前   言

本标准按照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》的规则起草。

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。

本标准由中国地理信息产业协会提出并归口。

本标准起草单位：内蒙古高新科技控股有限责任公司、北京交通大学、中北通信息技术有限公司、电子科技大学、合肥工业大学。

本标准主要起草人：

引 言

为有效预防矿山企业中安全事故的发生，推动露天煤矿边坡监测技术的标准化和规范化，提升我国露天煤矿安全生产的整体水平，根据中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》（2023年第26号）、国家矿山安全监察局《关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知》（矿安〔2023〕119号），并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

为建立一套科学、有效的露天煤矿通导遥测边坡一体化监测系统，同时增强预警系统的针对性和实用性，在GB/T 37697和GB/T 37573的基础上对监测技术要求进行了扩展、细化。

露天煤矿边坡变形监测信息系统技术要求

1. 范围

本标准规定了露天煤矿边坡变形监测信息系统的术语和定义、缩略语、基本要求、数据采集及接入、功能、预警判据及阈值、安装及调试、运行及维护等内容。

本标准适用于露天煤矿边坡的变形监测、滑坡预测与预警、信息系统的设计与安装工作。

1. 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 50830 冶金矿山采矿设计规范

GB 50778 露天煤矿岩土工程勘察规范

GB/T 37697 露天煤矿边坡变形监测技术规范

AQ/T 2063 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范

DB21/T 3975 闭坑露天煤矿地质灾害治理边坡监测规范

DB13/T 5958 金属非金属露天矿山采场边坡安全监测技术规范

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* 1.

露天采场 open-pit

具有完整的生产系统，进行露天开采的场所。

* 1.

采场边坡 pit slope

露天采场内由台阶平盘和台阶坡面组成的总体。

* 1.

边坡变形监测 slope deformation monitoring

对边坡岩土体的位移（变化）量采用相应方法进行观测和分析的过程。

* 1.

监测网 monitoring network

为监测边坡体的变形，有基准点和工作基点组成的专用测量控制网。

* 1.

监测网参考系 monitoring network reference system

在监测网数据处理中通过对监测网点稳定情况分析而采用的平差模型系统。

* 1.

监测点 monitoring point

设置在边坡上能反映变形特征的工作基点。

* 1.

边坡变形分析 slope deformation analysis

根据变形监测资料，通过分析确定变形矢量、变形大小和因素的关系，找出变形规律和原因，判断变形对边坡岩土体的影响并做出变形预报等工作的总称。

* 1.

边坡变形阈值 slope prewarning value

在变形允许值范围内，根据边坡的变形敏感程度，以允许值一定比例计算的或直接给定的对边坡变形起警示作用的值。

* 1.

边坡稳定性评价 stability evaluation of slope

以定性分析为基础，以定量计算为手段，对边坡稳定状态进行验算和研判。

* 1.

边坡稳定安全系数 safety factor of slope stability

表征边坡稳定程度的指标，是抗滑力和滑动力之比或抗滑力矩和滑动力矩之比。

* 1.

远程监测系统 remote monitoring system

采用远程监控手段，通过软件进行数据分析、处理并实现网络远程数据交互，为现场质量、安全及综合管理提供辅助监管的系统。由信息采集系统、信息传输系统和信息管理系统(监控中心)构成。

* 1.

地理位置定位系统 GNSS system for geographical position

结合卫星定位系统技术、无线通信技术、图像处理技术及地理信息系统(GIS)技术，实现定位、授时、导航等功能的远程实时监控系统。国内使用的卫星定位系统，主要为全球定位系统（Golobal Positioning System）和中国北斗卫星导航系统（BDS一BeiDou Navigation Satellite System）。

* 1.

遥感监测 remote sensing monitoring

通过航空或卫星等收集环境的电磁波信息对远离的环境目标进行监测识别环境质量状况。

遥瞬时位移量 remote instantaneous displacement

在某一特定时间点上，监测点相对于初始位置的位移变化量。

累计时位移量 cumulative displacement

在一定时间段内，监测点相对于初始位置的总位移变化量，是瞬时位移量的累加值。

瞬时位移面积 instantaneous displacement area

在某一特定时间点上，监测区域内所有监测点的瞬时位移量构成的面积。

边坡形变瞬时速率 slope instantaneous rate

在某一特定时刻，边坡表面或内部结构发生的位移变化量与时间间隔的比值。

边坡预测位移量 slope predicted displacement

基于历史数据、当前监测信息和模型分析，对未来某一时间段内边坡可能发生的位移变化进行估算的数值。

1. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BDS：北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System）

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System)

GPS：全球定位系统（Global Positioning System）

GIS：地理信息系统（Geographic Information System）

1. 基本规定

5.0.1 采用通导遥测边坡一体化监测系统（下文简称“边坡监测系统”）时，应遵循实用、先进、经济和环保的设计原则。

5.0.2 监测对象应包括露天煤矿边坡及排土场。

5.0.3 当边坡监测系统采用新边坡场景、新技术、新材料、新设备时，应对其可靠性和精度等进行验证，并满足工程需求。

5.0.4 边坡监测系统的使用方应制定边坡监测系统管理制度，确保边坡稳定性预警的响应工作有序高效进行。

5.0.5 边坡监测系统的使用方应定期对边坡监测系统采取标定等措施，以减小误差，控制偶然误差，保证精度和准度满足要求。

5.0.6 边坡监测系统应进行定期维护，并制订完善的管理制度。

5.0.7 依据GB/T 37697、AQT 2063的相关规定，预警等级划分关键因素包括边坡表面位移、边坡内部位移、裂缝、采动应力、爆破震动、水文气象等因素。

5.0.8 边坡监测预警等级应按如下要求划分为四级。

表 5.0.8 边坡监测预警等级要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 颜色标识 | 等级描述 |
| Ⅰ级 | 红 | 短时间内滑坡可能性非常大，极易造成人员伤亡的应定为Ⅰ级红色预警 |
| Ⅱ级 | 橙 | 短时间内滑坡可能性大，容易造成人员伤亡的应定为Ⅱ级橙色预警 |
| Ⅲ级 | 黄 | 滑坡可能性较大，可能造成人员伤亡的应定为Ⅲ级黄色预警 |
| Ⅳ级 | 蓝 | 有滑坡可能性且影响正常生产的应定为Ⅳ级蓝色预警 |

5.0.9 边坡监测预警等级划分具体阈值应考虑边坡工程安全等级、边坡工程监测阶段划分以及露天煤矿边坡工程监测工作等级，具体等级划分应符合GB 50830、GB50778、AQT 2063、DB21/T 3975规定。

1. 数据采集、传输与接入
	1. 一般规定

数据采集应确保所得数据与实际情况一致并确保所需信息的完整性。

数据采集应确保在适当的时间进行，以反映真实的状态和趋势。

采集的数据应易于存储、查阅和共享，在保证数据隐私和安全的前提下，确保数据可以方便地供相关人员使用。

数据采集过程应保证长期运行的稳定性，避免由于设备故障、系统崩溃等问题导致数据丢失或错误。

边坡监测系统的使用方应采取妥善措施对采集数据进行存储，防止数据丢失、泄露或损坏。

数据采集系统应具备可扩展性，能够适应预设时间内数据量的增长。

数据采集系统应持续监控数据质量，采集人应及时发现和修正数据问题，确保数据始终符合采集的标准和要求。

数据接入应符合下列要求：

1. 对接入的数据进行校验，确保其有效性和准确性；
2. 在数据请求过程中，若接口调用超时或失败，应具备及时发送失败或重试提示的功能；
3. 需要处理大量数据时，应设计批量数据接入机制，减少单次请求的数据量，降低网络带宽压力；

采集过程中对涉密信息应具有严格保密措施，包括：

1. 数据采集要遵守相关的法律法规和标准，尤其是在涉及敏感数据，如个人隐私数据时；
2. 应明确告知用户收集数据的范围、收集数据的方式、收集目的及数据的使用方式；
3. 数据采集应获得用户许可，且应允许用户随时改变许可；
4. 应提供数据访问权及删除权，且数据应具备可移植性；
5. 数据采集者应采取适当的技术措施来保护数据安全。

数据采集过程中应符合相关的法律法规及标准的规定，包括：

1. 采集的数据应限于实现特定目的所必需的最低限度，不得过度收集；
2. 数据跨境传输时应同时遵循数据传入方与传出方所属地的相关规定。
	1. 数据采集

雷达应布设在露天煤矿采场和排土场边坡，并应满足下列要求：

1. 安装位置应与观测目标保持通视，距离目标边坡的最远距离不宜大于4000米、水平监测范围覆盖角度不宜大于120°；
2. 宜选择在地势相对较高的地区，并应避开地震带、洪涝区、地质灾害多发区；
3. 宜选择周边空旷的地区，探测要求的范围内不宜有影响探测效果的障碍物；
4. 雷达监测站不得影响周边既有合法设施的运行；
5. 雷达监测站站址的电磁环境应满足雷达正常工作的需要；
6. 雷达监测站宜与变电站、电气化铁道、公路、高压输(配)电线以及其他具有电气干扰源的设施保持安全距尝；
7. 雷达监测站应远离强噪声源、强振动源；
8. 雷达监测站应避开烟雾源、粉尘源和有害气体源，避开生产或存储具有腐蚀性、易燃易爆物质的场所；
9. 雷达监测站场地宜选择在便于供电、供水、交通和通信的地点。

雷达原始数据采集格式应为Raw Data，应包括图像主文件、头文件（包含元数据信息）和引导文件（用于数据导入和处理）。

雷达数据传输应采用Http的传输方式，宜使用Token进行验证有效性，所有接口应在帧头中传输Token参数。

GNSS数据采集应采用RINEX格式，RINEX文件结构应包括：

1. 观测数据文件应采用.obs格式，内容应包括：记录时间、卫星编号、伪距、载波相位、信号强度等各类测量数据；
2. 导航电文文件应采用.nav格式，内容应包括：卫星的星历信息，用于后续的轨道计算；
3. 气象文件应采用.met格式，内容应包括：温度、气压等环境参数；
4. 观测量应包括：时间、卫星编号、伪距、载波相位、信号强度等；
5. 时间应采用UTC单位，RINEX格式示例如下。

2.11 OBSERVATION DATA M(MM/DD/YY) 13:15:05 UTC

0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.0000000

4.0000000 1.0000000 5.0000000 6.0000000

1 31 4.5000000 9.2000000 10.2000000 16.3

图6.2.4 RINEX格式示例

GNSS数据采集应采用UBX协议和USB接口进行数据传输。

无人机采集的数据内容宜包括图像数据、视频数据、传感器数据等。数据格式应满足下列要求：

表 6.2.6 数据格式要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据类型 | 图像数据 | 视频数据 | 遥感数据 | 传感器数据 | 飞行日志数据 | 地图与路径数据 | 三维建模与点云数据 |
| 数据格式 | JPEC | MP4 | GeoTIFF | CSV | CSV | GPX | PLY |
| 格式后缀 | .jpg | .mp4 | .tif | .csv | .csv | .gpx | .ply |

无人机应通过MAVLink协议和Wireless Fidelity（无线保真）接口进行数据实时传输。

气象数据应采用CSV格式存储与传输。

时间，温度，湿度（%），风速（m/s)

2024-11-12 10:00, 22.3,55,3.2

2024-11-12 11:00, 23.1,53,3.5

2024-11-12 12:00, 24.0,50,3.8

图6.2.8 CSV格式示例

应采用Open\_Weather\_Map API接口进行实时或历史天气数据的获取。

气象数据应采用BUFR协议进行传输与交换。

* 1. 数据传输
		1. 静态基础信息应通过API接入。
		2. 雷达设备及监测数据接入应满足下列要求：
1. 雷达设备基础数据应包括露天矿山名称、露天矿山编号、露天矿山类型、露天矿山地址、矿区范围、监管主体编号等；
2. 雷达监测数据包含边坡雷达监测数据；
3. 接入方式应为文本方式、数据库方式、消息队列方式三种；
4. 雷达设备基础数据产生变动后应立即更新。
	* 1. GNSS设备及监测数据应按照RINEX文件格式通过UBX协议和USB接口进行数据传输。
		2. 无人机数据应按照前文叙述格式通过MAVLink协议和Wi-Fi接口进行数据传输。
		3. 气象数据应按照CSV格式通过BUFR协议和Open Weather Map API接口进行数据传输。
	1. 数据接入

静态基础信息应通过API接入。

雷达设备及监测数据接入应满足下列要求：

1. 雷达设备基础数据应包括露天矿山名称、露天矿山编号、露天矿山类型、露天矿山地址、矿区范围、监管主体编号等；
2. 雷达监测数据包含边坡雷达监测数据；
3. 接入方式应为文本方式、数据库方式、消息队列方式三种；
4. 雷达设备基础数据产生变动后应立即更新。

GNSS设备及监测数据应按照RINEX文件格式通过UBX协议和USB接口进行数据传输。

无人机数据应按照前文叙述格式通过MAVLink协议和Wi-Fi接口进行数据传输。

气象数据应按照CSV格式通过BUFR协议和Open Weather Map API接口进行数据传输。

1. 功能
	1. 一般规定

边坡监测系统应能满足对全天时全天候实时各项监测数据的准确采集，功能应具备稳定性及安全性。

边坡形变及边坡智能算法预警应实时上报，具备对监测数据深度分析并直观展示相应数据的功能，易于用户操作管理与远程维护。

边坡监测系统应实现边坡监测站具有图形显示、接收机设置、监控站参数设置、监测数据存储、报警等功能。

* 1. 三维数字底板

数字孪生的三维底板应以矿坑为物理单元，时空数据为底板、矿坑为核心，对边坡全要素监测、形变全过程的数字化映射，实现与物理单元同步仿真运行、虚实交互、选代优化，支撑精准化决策。

三维数字底板应有可视化交互、人机交互、孪生推演、反向操控等功能。

数字孪生三维数字底板应满足以下基本要求：

表 7.2.3数字孪生三维数字底板要求

|  |  |
| --- | --- |
| **格式** | **OSGB** |
| 坐标系统 | CGCS2000坐标系 |
| 高程基准 | 1985国家高程基准 |
| 空间分辨率 | 5cm |

* 1. 实时数据监测

实时气象要素监测通过高精度传感器对边坡气象信息的实时监测，确保获取可靠的气象数据。

矿区与设备监测应满足以下要求：

1. 矿区应确认需监测的采场和排土场边坡作为监测对象；
2. 矿区应维护雷达监测点地基稳定，并远离电磁干扰区和雷击区；
3. 监测设备基本信息应包括监测设备的运行状态、关键技术参数、位置信息等。
4. 雷达设备应满足监测精度优于1mm；距离向分辨率不大于0.5m，方位向分辨率不大于10mrad（毫弧度）；设备年度在线率不低于90%。

边坡安全实时监测应满足下列要求：

1. 设备应能进行7×24小时不间断观测，并支持各种主流品牌的单双频接收机混合监控；
2. 应采用C/S和B/S混合架构，可以进行远程监控和访问。监控软件应实现各个监控站的实时差分定位，并具有图形显示、接收机设置、设备参数设置、监测数据存储、报警等功能。
	1. 数据分析与可视化

形变数据分析与可视化应以边坡监测系统的三维数字底板信息为依据，具备缩放、旋转等操作清晰查看各类监测数据、设备状态信息、形变预警分析等功能，形变数据应以仪表盘、地图、雷达扫描成像等形式直观呈现。

在对边坡位移进行预测时，雷达点的布设应涵盖边坡不同位置。

边坡监测系统应根据布置在边坡不同位置的各雷达点所采集到的数据判断边坡状态。

所获取的影像应保证三维数字底板基本要求，影像数据应覆盖矿区的所有区域及周边状况，形成时间序列数据，应具备不同时间节点边坡要素的对比功能。

边坡监测系统宜具备自动生成形变月度、季度、年度监测报告的功能。报告应包括监测形变报警分析、形变数据分析等内容。

边坡监测系统应能满足与相关管理部门对系统对接的要求。

1. 预警判据与阈值
	1. 有量纲判据与阈值

边坡形变瞬时位移量应以毫米（mm）为单位进行测量，瞬时位移量$ Δd$应按下式计算：

$d=\sqrt{(x\_{2}−x\_{1})^{2}+(y\_{2}−y\_{1})^{2}+(z\_{2}−z\_{1})^{2}}$ （式8.1.1）

式中：

$\left(x\_{1},y\_{1},z\_{1}\right) —$ 监测点在初始时间$的$坐标；

$(x\_{2},y\_{2},z\_{2}) —$ 监测点在终止时间$的$坐标。

边坡形变累计位移量应以毫米（mm）为单位进行测量，累计位移量$D$应按下式计算：

$D=\sum\_{i=1}^{n}Δd\_{i}$ （式8.1.2）

式中：

$Δd\_{1},Δd\_{2},…,Δd\_{n}$​$ — $在以$t\_{0}为起点t\_{n}为终点$的时间段内监测点的瞬时位移量。

边坡形变累瞬时位移面积（皮克定理）以平方米（m²）为单位进行测量，将相邻的监测点按2米的距离进行聚簇，形成多个区域，对于每个聚簇区域，计算其覆盖的面积。最后将所有聚簇区域的面积累加，得到瞬时位移面积。瞬时位移面积A应按下式计算：

$A=\sum\_{j=1}^{M}A\_{j}$ （式8.1.3）

式中：

$A\_{j}$ — 第$j$个聚簇区域的面积；

$M$ —聚簇区域的个数；

 $\left(x\_{i},y\_{i}\right)$ — 监测区域内$N$个活跃点第i个点的坐标。

边坡形变瞬时速率应以毫米/天（mm/d）为单位进行测量，应按下式计算：

$∆v\_{xy}={∆d\_{n}}/{T}$ （式8.1.4-1）

$∆v\_{ℎ}={∆H\_{n}}/{T}$ （式8.1.4-2）

式中：

$∆v\_{xy} — XY$平面内、垂直方向上第$n$监测周期的水平位移速率，单位为毫米每天(mm/d)；

$∆v\_{h} — XY$平面内、垂直方向上第$n$监测周期的垂直位移速率，单位为毫米每天(mm/d)；

$T$ — 第$n$监测周期的时间间隔，单位为天(d)。

边坡形变瞬时速率在计算时应满足下列要求：

1. 对于高度较高和坡度较大边坡，预警阈值应相应提高；
2. 边坡岩土体的强度、变形模量、含水率等物理力学性质，直接影响边坡的稳定性，应根据岩土体性质确定合理的预警阈值；
3. 确定预警阈值时，应考虑断层、节理、裂隙等地质构造的影响。

测位移量应以毫米/天（mm/d）为单位进行测量，应按下式计算：

$∆pv\_{xy}=f(T\_{p},ℎv\_{xy})$ （式8.1.6-1）

$∆pv\_{ℎ}=f(T\_{p},ℎv\_{ℎ})$ （式8.1.6-2）

式中：

依据预测位移量确定边坡预警等级，周期水平预测位移量$∆pv\_{xy}$与周期垂直

$hv\_{xy} — XY$平面内、垂直方向上第$n$监测周期的历史水平位移速率，单位为毫米每天(mm/d)；

$hv\_{h} — XY$平面内、垂直方向上第$n$监测周期的历史垂直位移速率，单位为毫米每天(mm/d)；

$T\_{p} — $第$n+1$预测周期的时间间隔，单位为天(d)；

$f — $位移量预测函数。

将预测位移量作为预警依据时，预测值应达到精准度要求，精准度阈值应满足具体边坡工程实际要求；应综合考虑历史累计位移量、瞬时位移量和预测位移量，结合实时性预警与前瞻式预警。

降雨量监测应满足下列要求：

1. 预警依据内容为规定时间内的大气降雨量；
2. 降雨量采集点布置应根据采场周边地形条件，在空旷、平坦，不应受突变地形、树木和建筑物以及烟尘的影响处布置，并方便检查和维护；
3. 降雨量监测方法按照SL21要求；
4. 根据DB13/T 5958，露天矿山应根据降雨量监测结果结合天气预报对灾害天气进行预警。根据气象部门气象预警等级及设计频率暴雨量，预警阈值应符合设计文件规定并符合下列要求：

表8.1.8 降雨量预警阈值

|  |  |
| --- | --- |
| **分类** | **要求** |
| 一级预警阈值 | 3h内降雨量将达100mm以上，或者已达100mm以上且降雨可能持续 |
| 二级预警阈值 | 3h内降雨量将达50mm以上，或者已达50mm以上且降雨可能持续 |
| 三级预警阈值 | 6h内降雨量将达50mm以上，或者已达50mm以上且降雨可能持续 |
| 四级预警阈值 | 12h内降雨量将达50mm以上，或者已达50mm以上且降雨可能持续 |

* 1. 无量纲判据与阈值

边坡雷达某一监测周期内的真实位移量为Sr，那么边坡雷达获取到的监测单元位移量 Sc应按下式计算：

 （式8.2.1）

式中：

Sr — 真实位移量；

θ— 台阶坡面角，单位为度（°）；

α— 监测单元真实位移方向与水平面的夹角，单位为度（°）；

β— 雷达波的俯仰角，单位为度（°）。

雷达获取该监测周期内的边坡变形速率vc，应按下式计算：

 （式8.2.2）

式中：

θ— 台阶坡面角，单位为度（°）；

α— 监测单元真实位移方向与水平面的夹角，单位为度（°）；

β— 雷达波的俯仰角，单位为度（°）；

φ— 雷达波的水平角（正射时为 0°），单位为度（°）；

t —雷达的监测周期，单位为小时（h）。

切线角预警判据应按下式计算：

 （式8.2.3）

式中：

T — 变换后与时间相同量纲的纵坐标值，单位为天/d；

S — 边坡变形累计位移量，单位为毫米/mm；

v0 —边坡变形匀速阶段的变形速率，单位为mm·d-1。

变形无量纲阈值应满足下列要求：

1. 将T-t曲线中的滑坡加速阶段T2-T6等分为三段T2-T4、T4-T5、T5-T6，再进一步将初加速阶段T2-T4等分两段为T2-T3和T3-T4，以此确定该边坡历史滑坡加速阶段的四个子阶段以及各阶段的关键切线角γ0、γ1、γ2、γ3。



图 8.2.4 滑坡加速阶段的T-t曲线及其子阶段划分

1. 根据边坡现状变形的S-t曲线，确定匀速阶段的平均速率vs，之后通过关键切线角正切值倍数法计算出各阶段的变形速率v，作为边坡监测的变形速率预警阈值。如果边坡变形未明显进入匀速阶段，则应结合S-t曲线的变化趋势，随边坡变形发育时间动态调整vs，以提高预警效果。变形速率vi应按下式计算：

 （式8.2.4）

式中：

vi — 边坡变形速率预警阈值，单位为mm·d-1；

vs — 现状边坡匀速变形阶段的平均速率，单位为mm·d-1；

γi — 历史滑坡 T-t 曲线加速变形各子阶段的关键切线角。

1. 建立边坡相似模型并模拟滑坡过程，得到滑体的累计位移量-时间曲线，进而确定加速变形子阶段的关键切线角 γi 以及变形速率阈值。确定露天矿边坡预警体系中监测的变形速率预警阈值，如下表：

表 8.2.4 边坡变形速率预警阈值

|  |  |
| --- | --- |
| **预警等级** | **预警阈值/ mm·d-1** |
| Ⅳ级蓝色预警 |  |
| Ⅲ级黄色预警 |  |
| Ⅱ级橙色预警 |  |
| Ⅰ级红色预警 |  |

1. 安装与调试
	1. 一般规定

安装前应选择合适的场地，硬件、软件应保证质量合格、版本正确。

宜配备专业技术人员现场提供安装与设备调试等工作。

矿方应做好系统隐患排查及防水防漏电等保护措施，确保实现稳定可靠的监测功能。

* 1. 安装要求

数据采集系统安装应满足下列要求：

1. 确保数据采集设备符合版本或系统要求，且全部经过检测并能够正常运转；
2. 应将硬件、软件等全部装置于合适位置内，安装好后宜进行数据采集测试，查看采集到的各项数据是否达到要求，针对问题点调整优化，直到系统稳定。

信息传输系统安装应满足下列要求：

1. 宜选择视野开阔、周边无大型遮挡物的场地，保证卫星信号良好接收；
2. 通信网络含4G、5G及卫星通信安装应选择距离基站较近的地带，保证信号覆盖能力及传输速率满足监测数据的需要；
3. 宜采用工业级通讯协议TCP/IP协议，实现无人值守及远程控制。

系统开发单位应在软件安装工作完成后，应对软件接口、数据采集、传输、存取、稳定性等进行调试，调试过程中发现的问题及处理方法和结果应做相应的记录。

* 1. 调试要求

数据采集系统调试应包括数据采集系统的全部功能。

信息传输系统调试应在不同位置检测信号强度，评估信号覆盖效果，验证通信设备的IP地址、子网掩码等相关参数的设置是否正确且互相匹配。

信息管理系统调试应满足下列要求：

1. 应保证系统的设计与开发的质量和可靠性；
2. 宜验证系统各模块的准确性以及是否满足用户的需求；
3. 分析系统存在的缺陷，为修复和预防缺陷提供建议；
4. 应通过对测试结果的分析，对软件质量进行评价；
5. 分析测试的过程应包括产品、资源、信息、评估测试的执行。
6. 运行与维护

10.0.1 边坡监测系统应满足下列要求：

1. 系统运营管理应由经过培训的专职管理人员负责，并对系统功能进行日常检测，及时掌握系统的运行状况；
2. 系统运营过程发现硬件失效时应对失效硬件进行及时更换，避免对监测及预警产生延误；
3. 系统运营中发现软件缺陷应进行及时修补完善。

10.0.2 监测资料分析与应用应满足下列要求：

1. 监测数据取得后应及时校对、整理、分析，发现异常现象应查找原因，必要时就应进行人工复测；
2. 露天煤矿边坡经稳定性评估濒临滑塌时应满足相关管理规定，并及时通报业主单位；
3. 应根据监测成果提出工程对策与建议等；
4. 应结合勘察、设计和施工资料进行监测资料整理与分析；
5. 对每种原始监测数据应通过检查指标变化幅度，检查指标变化规律、不同监测项目对比，与加载和环境变化关联等手段判断监测仪器的性能是否稳定、正常，检查监测数据的合理性、可靠性。

10.0.3 三维数字底板更新应满足下列要求：

1. 雷达扫描的覆盖范围内地物的变化宜通过重新采集来反映到倾斜摄影模型；
2. 三维数字底板更新频率宜根据煤矿开采进程三个月或六个月更新一次；
3. 三维数字底板几何精度和纹理质量应与7.2.2中要求一致。

10.0.4 预警阈值更新应满足下列要求：

1. 预警阈值宜每6个月确认一次；
2. 矿区地质勘探、温度、湿度、风力、风向、风速监测、边坡设计等信息发生变化时，预警阈值宜及时调整更新；
3. 边坡监测系统研发方应在阈值更新后，对监测设备进行重新校准，确保监测数据的准确性。

10.0.5 位移预测算法应按需更新。

参考文献

[1] GB 50830-2013 冶金矿山采矿设计规范

[2] GB 50778-2012 露天煤矿岩土工程勘察规范

[3] GB/T 37697-2019 露天煤矿边坡变形监测技术规范

[4] GB/T 37573-2019 露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范

[5] AQ/T 2063-2018 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范

[6] DB21/T 3975-2024 闭坑露天煤矿地质灾害治理边坡监测规范

[7] DB13/T 5958-2024 金属非金属露天矿山采场边坡安全监测技术规范

[8] DB37/T 5192-2021 路基边坡变形远程监测预警系统技术标准

[9] DBJ/15-158-2019 地基基础检测与监测远程监控技术规程