

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 182—2026

金属矿地下开采岩层与地表移动变形监测 技术规范

Technical specification for the monitoring of strata and surface movement and
deformation in underground mining of metal mines

2026 - 07 - 05 发布

2026 - 07 - 06 实施

中关村绿色矿山产业联盟 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 总则 2

5 监测项目和监测频率 4

6 地表采动裂缝监测 4

7 地表移动变形监测 6

8 岩层深部位移监测 12

9 地表移动范围关键参数 14

10 监测报告 15

附 录 A （资料性） 监测项目和仪器选型 17

附 录 B （资料性） GNSS 测量手簿记录格式 19

附 录 C （资料性） 监测报告提纲 20

参 考 文 献 22

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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉大学、河南大学、贵州大学、中南大学、香港理工大学、武钢资源集团程潮矿业有限公司、武汉科技大学、中石化石油工程技术研究院有限公司、鞍山五矿陈台沟矿业有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、鲁中矿业有限公司、深圳飞马机器人股份有限公司。

本文件主要起草人：夏开宗、潘玉丛、张伟、杨括宇、王田龙、杜坤、庞汉松、肖波、郑先伟、梁万、赵国良、刘秀敏、沈明轩、彭胜、缪秀秀、郝风才、周志伟、宋许根、唐方元、赵双、马红军。

本文件为首次发布。

金属矿地下开采岩层与地表移动变形监测技术规范

1 范围

本文件规定了金属矿地下开采岩层与地表移动变形监测的总则、监测项目和监测频率、地表采动裂缝监测、地表移动变形监测、岩层深部位移监测、地表移动范围关键参数和监测报告等。

本文件适用于金属矿地下开采岩层和地表移动变形监测。

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 50497 建筑基坑工程监测技术标准
GB 50771 有色金属采矿设计规范
GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
GB/T 12898 国家三、四等水准测量规范
GB/T 18314 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范
GB/T 28588 全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范
GB/T 39610 倾斜数字航空摄影技术规程
KA/T 2063 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范
CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
DZ/T 0154 地面沉降测量规范
DZ/T 0283 地面沉降调查与监测规范
JGJ 8 建筑变形测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩层与地表移动 strata and surface movement

指地下开采扰动导致原岩应力平衡破坏并重分布，使覆岩发生弯曲下沉、断裂与垮落等变形破坏并逐步向上传递，最终在地表表现为下沉、水平移动及其相应的变形形态的动态变化过程。

3.2

变形监测 deformation monitoring

指采用多种测量技术手段通过定期重复测量矿山采空区上方岩层和地表变形现象（位移、沉降、隆起、倾斜、裂缝等），为岩层和地表防控、治理提供准确、可靠资料的各项监测工作。

3.3

下沉 subsidence

指地表在竖直方向上相对于其初始位置或参考位置发生的向下位移。

3.4

水平移动 horizontal movement

指地表在水平方向上相对于其初始位置或参考位置所发生的位移。

3.5

倾斜 slope

指地表相邻两点在竖直方向的相对移动量与两点间水平距离的比值。

3.6

曲率 curvature

指地表两相邻线段的倾斜差与两线段中点间水平距离的比值。

3.7

水平变形 horizontal deformation

指地表相邻两点的水平移动差值与两点间水平距离的比值。

3.8

工作基点 working reference point

指为便于现场变形观测作业而布设的测量点。

注：根据观测技术手段，主要可分为全站仪测量工作基点与三维激光扫描测量工作基点两类。

3.9

边界角 boundary angle

指在移动盆地主断面上，采空区边界与地表变形边界点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角。

3.10

移动角 movement angle

指在移动盆地主断面上，采空区边界与地表临界变形点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角。

3.11

陷落角 break angle

指在移动盆地主断面上，采空区边界与地表最外侧裂隙点或地表陷落临界变形点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角。

4 总则

4.1 工作内容

4.1.1 在矿体开采引起的影响范围内，应分别在岩层内部、地表处以及塌坑、裂缝带等位置建立相应的岩层与地表变形监测系统，监测内容应符合表 1 的规定。

表 1 监测内容

序号	监测项目	监测内容/指标
1	地表裂缝	张开/闭合、垂直位错及水平位错等。
2	塌坑等地表移动变形	水平位移、竖向位移等
3	岩层深部位移	沿钻孔轴向位移、垂直于钻孔轴向的横向位移等

4.1.2 采用简易或专业监测设备，按照规定的频率开展周期性的观测工作，测定监测点的地表三维位移或岩层深部位移。

4.1.3 处理和分析监测数据，阐明岩层及地表移动变形的空间分布特征和变化规律，评估岩层和地表稳定性，判断其变形发展趋势。

4.1.4 根据监测变形数据确定地表移动范围关键参数，提出矿区地表重要建（构）筑物与生态环境保护相应的防控措施建议。

4.1.5 编制监测成果报告，并形成相关图件及数据附表，按规定提交归档、备份并妥善保存。

4.2 监测流程和要求

4.2.1 监测工作流程应符合图 1 的规定。

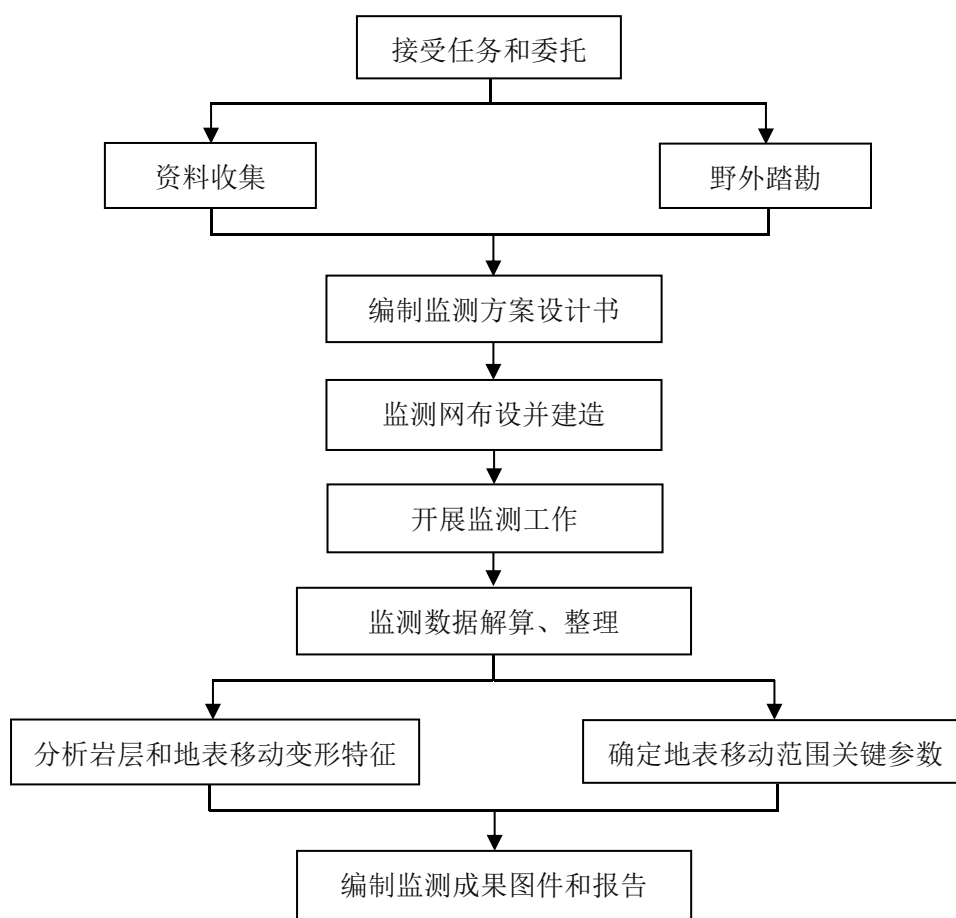


图 1 监测工作流程图

4.2.2 地表监测应在预计地表发生采动响应前开始。

4.2.3 资料收集应包括以下内容：

- a) 矿区采矿设计情况（包括建设初期设计情况）；
- b) 水文地质与工程地质条件；
- c) 已开采和未开采矿体情况；
- d) 地表塌陷和地裂缝发育情况；
- e) 已有岩层和地表移动变形监测成果；
- f) 矿床开采技术条件专项研究报告；
- g) 矿区需要保护的地表建（构）筑物等各类资料。

4.2.4 野外踏勘应复核已有资料的准确性，并评估监测方案在现场的可行性。

4.2.5 监测设计书的编制应在系统分析矿体特征、采空区分布范围、设计的地表移动范围及岩层移动灾害特点和成因的基础上，结合具体监测目的、任务要求和测区条件进行。

4.2.6 监测网布设和建造过程中，应对监测点实施全过程质量检查与控制。

4.2.7 监测频率和周期应能系统反映岩层和地表移动的关键变化过程，并综合考虑单位时间内的变形量、变化特征、观测精度要求及外界因素的影响。

4.2.8 监测工作包括监测数据的采集、处理、分析与反馈，以及监测点和监测系统的运行与维护。

4.2.9 监测期间，应定期对基准点、工作基点、监测点、参考点以及标靶等构成的监测网进行巡视检查。发现异常时，应及时查明原因并处置。巡视检查重点核查以下内容：

- a) 监测网点的结构完好与稳固状态；
- b) 监测元器件的完整程度、工作状态及防护措施；
- c) 是否存在人为扰动、外力破坏等非变形因素导致的监测网点倾斜、沉降或位移；
- d) 监测网点周边环境状况，是否存在遮挡、干扰或影响测量与信号传输的障碍物。

- 4.2.10 监测期间，应按设计要求对地表进行巡查，内容包括：
- a) 地表塌陷坑的形成、扩展及其变化动态；
 - b) 地表裂缝出现、发展过程及扩展趋势；
 - c) 地表建（构）筑物是否发生开裂、变形或结构损坏；
 - d) 地表移动区外侧排水沟的完整性及其变化情况；
 - e) 山体是否存在滑坡、开裂等不稳定迹象。
- 4.2.11 监测成果报告应按合同要求提交，必要时补充提交日报、警报和专题报告等。
- 4.2.12 矿山闭坑后，判定岩层和地表移动已处于稳定状态时，可结束监测工作。

5 监测项目和监测频率

5.1 基本要求

- 5.1.1 监测项目应构成完整系统，全面反映岩层内部到地表的整个移动变形过程。各监测项目间应相互补充、验证。
- 5.1.2 监测频率的确定应综合考虑灾害类别、岩层与地表的稳定状态、可能受危害的建（构）筑物及自然条件等因素，满足岩层稳定性预测与灾害防治的要求，并预留充足的应急响应时间。

5.2 监测项目与仪器选型

- 5.2.1 监测项目包括地表裂缝监测、地表移动变形监测和岩层深部位移监测。
- 5.2.2 监测项目和仪器选型应按附录 A 确定。
- 5.2.3 监测项目可根据工程的重要性进行调整。每个矿山均应对地表移动变形进行监测，并同时获取地表水平位移与沉降位移。岩层深部位移监测和地裂缝监测，可根据工程的具体需求和重要性决定是否增加。

5.3 监测频率

- 5.3.1 初次观测时，应对整个监测网进行至少 2 次独立观测，取平均值作为稳定初始值。
- 5.3.2 初次观测结束后，后续的各类监测项目的监测频率应按表 2 确定。

表 2 各类监测项目的监测频率

监测项目	监测频率		
	地表移动初期	地表移动发展期	闭坑后阶段（无明显异常变形）
地表裂缝	1 次/2~3 个月	1 次/1~2 个月	1 次/4~6 个月
塌坑等地表移动变形	1 次/2~3 个月	1 次/1~2 个月	1 次/4~6 个月
岩层深部位移	1 次/2~3 个月	1 次/1~2 个月	1 次/4~6 个月

注：地表移动初期指自开始监测起至地表移动线（见 9.3 条）形成前的阶段。

- 5.3.3 当出现下列情况之一时，应提高监测频率。地表采动裂缝、地表移动变形和岩层深部位移宜加密监测至每月 1 次，必要时可每半月 1 次：
- a) 数据达到预警值；
 - b) 数据变化较大或者速率加快；
 - c) 汛期、雨季等特殊气候时期；
 - d) 地表出现大规模塌坑；
 - e) 塌坑周边地表存在明显的滑移。

6 地表采动裂缝监测

6.1 基本要求

- 6.1.1 裂缝变形监测包括张开/闭合量、垂直位错量及水平位错量。水平位错量主要指平行于裂缝走向的水平错动量。
- 6.1.2 裂缝变形监测方法应根据地裂缝的规模、变形量与速率，综合量程与精度确定，可选用简易观测法或专业观测法。
- 6.1.3 简易观测可采用钢尺、卷尺、游标卡尺等简便量测工具，对裂缝张开/闭合量等参数进行人工测量。
- 6.1.4 专业观测宜采用机械式、电测式及光纤光栅（FBG）裂缝计等专业监测仪器进行观测；必要时，可在矿区外缘潜在裂缝发育区布设分布式光纤传感监测系统，对隐伏裂缝进行连续监测与定位。
- 6.1.5 裂缝两侧监测标志的连线或传感器测杆轴线应垂直于裂缝走向布设。

6.2 简易监测

6.2.1 监测网布设

- 6.2.1.1 应根据裂缝的规模和发展性质确定监测断面，并将监测断面布设在裂缝的代表性部位。
- 6.2.1.2 规模和变形量较大的裂缝，应沿裂缝布设不少于 3 对监测点，在裂缝最宽处和两端部位各布置 1 对。
- 6.2.1.3 矿区地表最外侧等关键区域的裂缝，应布设不少于 1 对监测点，其中至少 1 对应布置在裂缝最宽处。

6.2.2 选点和埋设

- 6.2.2.1 监测点宜分别布设在裂缝两侧较为稳定的岩土体上，距裂缝边缘的水平距离不应小于 300 mm，埋入地下的深度不宜小于 600 mm。
- 6.2.2.2 基岩区可采用钻孔植入金属钩或钢钉作为监测点；土层区宜埋设混凝土桩或金属杆作为监测点，并用水泥砂浆或混凝土加固桩基。监测标志应安装稳固牢靠，并有清晰的端面、中心标志或固定接触点。土层区可预先在混凝土桩中埋设金属钩或带有十字丝的钢钉作为监测标志。

6.2.3 观测前准备

- 6.2.3.1 应确保监测仪器性能完好，并确认监测点稳固状况。
- 6.2.3.2 检查环境状况，确认监测点之间无遮挡物及其他干扰因素。

6.2.4 观测要求

- 6.2.4.1 应选用标准化的测量方法，保证每次观测的条件一致。
- 6.2.4.2 在对裂缝进行简易观测时，观测误差不应超过 2 mm，或不超过监测周期之内的平均变化值的 1/5，取两者中较大值。

6.2.5 数据处理

- 6.2.5.1 依据裂缝的编号或位置对数据进行分类整理，并录入电子数据库或电子表格。
- 6.2.5.2 计算本次与上次测量值的差值，得到单期变化量；计算本次测量值与初始值（或基准值）的差值，得到累计变化量，形成裂缝变形基础数据库。

6.3 专业监测

6.3.1 监测网布设

- 6.3.1.1 规模和变形量较大的裂缝区域，以及地表最外侧的关键裂缝区域，监测网布设应符合 6.2.1 条的规定。
- 6.3.1.2 在矿区最外侧潜在裂缝区，上下盘区域应布设不少于 2 条垂直矿体走向的监测剖面；矿体端部区域应布设不少于 1 条平行矿体走向的监测剖面。监测剖面长度宜控制在 60~100 m 之间。

6.3.2 选点和埋设

- 6.3.2.1 裂缝专业观测的安装与埋设应符合下列规定：
 - a) 各类裂缝计在安装时，应遵循“一侧固定、一侧联动”的原则，即仪器本体牢固地锚固在相对稳定的一侧，通过位移传递构件实现与变形侧的联动。

- b) 机械式裂缝计安装时,表体或者主机牢固固定在相对稳定一侧;百分表或千分表式裂缝计的测头(测杆)应与变形侧结构的表面紧密贴合;钢丝牵引式且量程较大的裂缝计的钢丝牵引端应与变形侧结构可靠连接,并维持张力。
 - c) 电测式裂缝计(振弦型、电阻应变型、LVDT型)安装时,应把传感器基座或壳体固定在相对稳固的一侧,位移传递构件(测杆、拉杆、钢丝等)借助万向接头等与变形侧连接。MEMS裂缝计,宜跨越裂缝整体布置,两端稳固地锚固在裂缝两侧岩土体或结构表面。
 - d) 光纤光栅(FBG)裂缝计宜跨缝布置,两端应牢固地锚固在裂缝两侧相对稳固的基面(基岩/混凝土等相对稳固的结构表面),并施加适量预拉力。光纤引出部分应沿基面固定并采取相应的防护举措。
 - e) 锚固方式:基岩区可选用膨胀螺栓或化学锚栓把传感器基座、支座或固定端稳固地锚固到预钻孔岩体或混凝土结构基面上;土层区应在现场浇筑混凝土桩或者设置预制混凝土基础块,并把传感器基座、支座或固定端可靠地植入其中或者锚固其内。
- 6.3.2.2 分布式光纤传感裂缝监测的安装应符合下列规定:
- a) 基岩区安装:可先对安装面加以清理并打磨至平整状态,并沿着监测路径开凿浅槽;然后把传感光缆用环氧树脂进行粘贴或通过锚固点将其分段固定在槽内,并用水泥砂浆进行回填操作。
 - b) 土体区安装:可采用混凝土桩或连续梁作为传力基床,并将光缆沿基床铺设。
- 6.3.3 观测前准备
- 6.3.3.1 应对各类裂缝计进行检查,内容包括:
- a) 检查表体、传感器基座及支架的安装和牢固情况;检查测杆、钢丝或光纤引出段的连接状况,确定不存在明显松动、卡阻以及外力干扰。
 - b) 检查电源、传感器及电缆的完好状态,确认数据采集系统的通道配置、量程、采样频率和时间设置都符合监测方案的要求。
 - c) 对需基准读数的仪器,应进行零点检查,并根据实际需要开展现场标定,确认其读数已经处于稳定的状态之后,才能正式开展观测。
- 6.3.3.2 应检查现场环境状况,确认无强电磁干扰、温度剧烈波动等明显的干扰因素。
- 6.3.4 观测要求
- 6.3.4.1 数据采集频率应当依据裂缝变形状态设定。当裂缝处于稳定期时,可以采取定时采集的方式,如1天采集1次或每周采集1次。当裂缝处于活动期时,应当提高采集频率,如每小时采集1次或更高的频次,或采用连续实时采集的模式。
- 6.3.4.2 应定期开展人工比测,使用游标卡尺等简易测量工具核对自动监测仪的观测结果,验证自动监测系统的可靠性。
- 6.3.5 数据处理
- 6.3.5.1 应对导入及转换处理后的数据进行初步的校验,检查数据的完整性及合理性,剔除明显异常或无效数据。
- 6.3.5.2 依据编号或者位置对数据进行分类归档,构建裂缝变形的基础数据库。
- 6.3.5.3 分布式光纤监测应将采集的光信号准确解译为沿光纤的连续应变分布数据。
- 6.4 数据分析
- 6.4.1 依据监测数据库绘制裂缝位移或者速率与时间的关系曲线,对比不同时期所获取的数据,分析裂缝的动态发展趋势。
- 6.4.2 依据光纤传感应变数据,分析沿线应变分布及变化特征,定位隐伏裂缝位置,判定裂缝的宽度及变化速率,揭示裂缝动态发展的时空变化规律,确定地表最外侧裂缝的具体位置,绘制裂缝边界分布图。

7 地表移动变形监测

7.1 基本要求

- 7.1.1 地表移动变形监测应覆盖塌坑区及周边区域，塌坑区主要监测竖向位移（沉降），塌坑周边区域监测竖向位移和水平位移。
- 7.1.2 塌坑区域的地表变形宜采用激光雷达扫描以及无人机倾斜摄影等非接触式技术监测。
- 7.1.3 监测网的布设需要综合考虑矿体分布情况、围岩地质条件、变形特征、可能产生的影响范围，以及地形地貌状况、通视条件和施测的相关要求。
- 7.1.4 应沿矿体走向以及倾向的方向布设观测线。关键建（构）筑物区域以及较为敏感的部位，还应布设高精度水准精密观测网。
- 7.1.5 监测方法的选择需综合考虑精度要求、环境条件及变形速率等，并且要参照附录 A 中所列出的技术特点确定。
- 7.1.6 全球导航卫星系统（GNSS）监测，宜采用静态测量技术。激光雷达扫描监测可采用地面三维激光扫描仪及机载激光雷达扫描仪。
- 7.1.7 在监测期间，应对各类测量基准点、工作基点、参考点及像控点进行下列工作：
- 稳定性评估：根据监测数据确认其是否仍处于稳定区域，未受地表移动变形影响；
 - 坐标校核：定期（宜每年不少于两次）对其坐标进行复测与校验。

7.2 GNSS 监测

7.2.1 监测网点布设

- 7.2.1.1 监测点布设应符合下列规定：
- 观测线位置及条数：通常在预计移动盆地的走向以及倾向主断面上，各自设置一条观测线。若采空区走向长度超出 $1.4H_0 + 50\text{ m}$ （ H_0 为平均采深），可沿倾向方向增设多条观测线，且这些新增观测线之间的距离不小于 50 m。
 - 观测线长度：应超出地表移动变形预计边界线范围，并超出预计边界线 30 m 至 50 m，可依据监测所得的实际边界线范围及时对观测线长度进行调整。
 - 测点间距：应符合表 3 的规定，并在移动盆地边缘附近进行加密。

表3 观测点间距

开采深度/m	观测点间距/m	开采深度/m	观测点间距/m
<50	5	200~300	20
50~100	10	300~400	25
100~200	15	>400	30

- 7.2.1.2 基准点布设应符合下列规定：
- 矿区上盘、下盘及两端部宜各设置 1 个基准点；当矿区范围较大时，可在上盘和下盘分别增设 1~2 个基准点。
 - 应选在长期稳定、不受采动和其他外界扰动影响的位置，设于监测网外，其距最近监测点的水平距离宜为 100~150 m。

7.2.2 选点和埋设

- 7.2.2.1 GNSS 监测点和基准点选点作业应符合 GB/T 18314 中的规定。
- 7.2.2.2 监测点采用混凝土标石，埋设应符合下列规定：
- 标石基底应埋置于原状土层内，埋深不宜小于 0.60 m。标石顶端宜高出地面 50 mm~100 mm。标石中心应埋设铜或不锈钢材质的监测中心标志，中心应刻清晰、精细的十字线。
 - 冻土地区，混凝土标石基底应埋置于最大冻土深度线以下至少 0.50 m。标石外露部分以下至最大冻土深度线范围内，宜设置厚度不小于 0.60 m 的粗砂、砾石等非冻胀性回填层。
 - 混凝土标石可现场浇筑或预制后现场埋设。埋设后需经过稳定期：在一般地区，应经历一个雨季；季节性冻土地区，还应经历一个完整的冻融周期。其他标石埋设后的稳定期要求应符合 GB/T 18314 中的规定。
- 7.2.2.3 GNSS 基准点采用混凝土观测墩，埋设应符合下列规定：
- 墩体基底应埋置于原状土层内，埋深不宜小于 1.20 m，墩体高度不宜低于 1.50 m。
 - 观测墩顶部应整平，并预埋强制对中装置，其对中误差不应大于 0.5 mm。

7.2.3 观测前准备

7.2.3.1 接收机应按产品说明书进行预热和静置。观测架设流程应符合 GB/T 18314 的规定。

7.2.3.2 天线高应在测前、测中和测后各量测一次，方法及要求应符合附录 B 的规定。三次量测的最大互差不应大于 2.0 mm；满足限差时，取平均值作为天线高最终结果；超限时，应重测。

7.2.4 观测要求

7.2.4.1 宜以完整测线为基本作业单元。作业前应编制观测作业计划，并按“完成一条测线后方可开展下一条测线”的顺序组织实施。

7.2.4.2 每次监测时宜同时架设不少于 2 个基准站；为提高监测效率，流动站数量宜不少于 3 台。

7.2.4.3 GNSS 变形监测网按用途和精度分为 A、B、C、D、E 五个等级。A 级 GNSS 网的观测要求应符合 GB/T 28588 中的有关规定；B、C、D、E 级 GNSS 网观测的基本技术规定应符合 GB/T 18314 中的相关要求。

7.2.5 数据处理

7.2.5.1 将原始的观测数据导入后处理软件，输入天线的高度，正确选择天线的类型及量高方式（垂直量高或倾斜量高）。

7.2.5.2 进行基线处理：应对卫星截止高度角进行设置，同时选择星历类型（精密星历或广播星历），并需确定解算模式。应对每一条基线展开质量检核，重点检查比率、参考方差以及均方根误差。

7.2.5.3 进行网平差：平差前应将坐标系设定成当地工程坐标系，导入基准点坐标作为约束。平差后，检查单位权误差（UWE）及基准点残差。若出现异常，应查明原因，必要时进行外业复测或内业调整。

7.2.5.4 处理完成后，从输出报表中提取各监测点在指定坐标系下的坐标及其精度信息，计算每个点的水平和垂直位移量，作为后续分析的基础数据集。

7.2.5.5 其他外业成果记录和数据处理应符合 GB/T 18314 中的有关规定。

7.3 水准监测

7.3.1 监测网点布设

7.3.1.1 水准测线的布设应按 7.2.1.1 条 GNSS 测线布设的要求执行。

7.3.1.2 在矿区上盘、下盘以及端部测线的外侧应布设基准点，且每一个区域不少于 3 个。基准点应位于监测网之外的稳定安全地带，且与距离最近监测点的水平距离宜为 100 m 至 150 m。

7.3.2 选点和埋设

7.3.2.1 监测点与基准点的选点作业应符合 DZ/T 0283 中的有关规定。

7.3.2.2 监测点和基准点宜采用混凝土标石，其埋设应符合 7.2.2.2 条的规定。

7.3.3 观测前准备

7.3.3.1 作业地点位于道路周边时，应设置醒目的警示标志，作业人员应穿戴反光背心等安全防护服。

7.3.3.2 应仔细检查所有监测测点标志，确认标志完好、位置明确。

7.3.3.3 应仔细检查水准仪、三脚架、水准尺（包括尺垫及其半球形测头）等相关设备，还应重点核查各接触面有无出现磨损情况或者存在松动现象，确保水准仪三脚架稳固可靠。

7.3.3.4 其他观测前准备工作应符合 DZ/T 0154 中的规定。

7.3.4 观测要求

7.3.4.1 观测工作宜以“测线区域”和“关键建（构）筑物区域”为基本作业单元，完成一个作业单元后方可开展下一作业单元。若测线区域被塌陷区分割，则上盘与下盘的测线应分别布设为独立的闭合环。

7.3.4.2 水准测量等级应根据监测对象的重要性确定：关键建（构）筑物区域应采用一、二等水准测量；其他测线区域可根据实际精度要求，在一～四等水准测量中选取相应等级。

7.3.4.3 水准观测的技术要求应符合 GB/T 12897 和 GB/T 12898 中的规定。

7.3.4.4 往返测高差不符值、环闭合差、检测高差之差的限差、测站观测限差等应符合 GB/T 12897 和 GB/T 12898 中的规定。

7.3.5 数据处理

7.3.5.1 将外业观测数据导入内业处理软件，在软件中核对测站编号、点号、观测时间、前后视距等关键信息；对非观测值的记录错误（如点号笔误），应在软件中予以说明并更正，但不应修改原始观测读数。

7.3.5.2 应利用内业软件对观测数据进行高差计算、闭合差检核和平差处理，求取各测点高程；复核无误后，生成并导出高程成果表及相关报告。

7.3.5.3 以基准期或上一监测期高程为参考，计算各监测点的单次及累计沉降位移值，形成基础数据集。

7.3.5.4 其他外业成果记录和数据处理应符合 GB/T 12897 和 GB/T 12898 中的规定。

7.4 全站仪监测

7.4.1 监测网点布设

7.4.1.1 全站仪监测点测线的布设可参照 7.2.1.1 的要求执行。

7.4.1.2 在矿区上盘、下盘测线及端部测线外侧均应布设基准点，每个区域设置的基准点数量不应少于 3 个。基准点应位于监测网外的安全稳定地带，其距最近监测点的水平距离宜为 100 m~150 m。

7.4.1.3 每条测线宜布设 1~2 个工作基点，工作基点数量应根据测量范围和监测点通视条件确定。工作基点宜布设在通视良好且相对稳定的位置，必要时可布设在变形区边缘，并加强稳定性检核。

7.4.2 选点和埋设

7.4.2.1 基准点、工作基点和监测点之间应保持良好通视，观测视线应开阔、无遮挡，并尽量避免强光直射及镜面反射等不利于照准和测距的环境光干扰。

7.4.2.2 监测点和工作基点宜采用混凝土标石，其埋设要求应符合 7.2.2.2 条的规定。

7.4.2.3 基准点宜采用混凝土观测墩，其埋设要求应符合 7.2.2.3 条的规定，照准标志的型式应符合 JGJ 8 中的规定，并应通过基座与观测墩可靠连接。

7.4.3 观测前准备

7.4.3.1 应校核棱镜常数设置，清洁棱镜镜面，并检查棱镜（或棱镜架）在基准点观测墩上的安装是否牢固、无晃动。

7.4.3.2 仪器高和棱镜高均应在观测前、观测后各量测一次，且两次量测应相互独立。两次量测值之差不应大于 2.0 mm；在限差范围内时，取两次量测值的算术平均作为该测站的最终仪器高或棱镜高结果；当差值超限时，作废该测站的高程观测成果并重新进行观测。

7.4.4 观测要求

7.4.4.1 监测宜采用“基准点—工作基点—监测点”分级控制模式。每一监测期应以稳定基准点网为控制，采用自由设站法结合后方交会解算本期工作基点的三维坐标，再以工作基点为测站，采用极坐标法或边角测量法观测各监测点。

7.4.4.2 可采用前方交会法对关键部位监测点进行检核观测，或在工作基点与监测点之间局部不通视时作为补充测量方法。

7.4.4.3 位移观测所用全站仪的标称精度应符合 JGJ 8 相关要求。

7.4.4.4 当采用全站仪边角测量法进行基准点与工作基点间联测时，基准点和工作基点宜组成多边形控制网，控制网的边长应符合 JGJ 8 相关要求。

7.4.4.5 当采用全站仪极坐标法或前方交会法进行位移观测时，其观测要求应符合 JGJ 8 相关要求。

7.4.5 数据处理

7.4.5.1 依据测站信息（坐标、方位角）和观测值（水平角、竖直角及斜距等），综合棱镜常数、气象改正等各项改正因子，经计算与解算得出各个监测点的平面坐标（X、Y）以及高程（H）。

7.4.5.2 应将全站仪中经过解算所得的监测点坐标成果导出成通用的数据格式，如 CSV、TXT、DXF 等。导出前，应仔细核对点号、编码、X、Y、H 等数据列之间的对应关系，避免出现数据错位或数据遗漏情况。

7.4.5.3 将软件里所展绘的各个点位和野外测绘草图仔细比对，认真核查点号、地物属性以及几何关系等各项内容是否有误，发现任何异常时，应及时调查并更正。

7.4.5.4 计算各个监测点相对基准期或上一监测期的水平位移量以及垂直位移量（沉降量），形成可靠的位移基础数据集。

7.5 激光雷达扫描监测

7.5.1 监测网点布设

7.5.1.1 激光雷达扫描监测点测线的布设宜参照 7.2.1.1 的要求执行。

7.5.1.2 激光雷达扫描时应布设参考点，包括检验点和转换点，并应符合下列规定：

- a) 检验点数量不应少于 5 个，并应确保在矿区上盘、下盘及两端部均有分布；
- b) 转换点数量不应少于 3 个（采用绝对拼接的地面三维激光扫描方法时可不另设转换点）。

7.5.1.3 当采用标靶拼接法进行地面三维激光扫描时，应布设用于站间拼接的标靶，其数量应根据实际测站数量和扫描范围合理确定，但不应少于 3 个。

7.5.1.4 地面三维激光扫描仪进行测量时，每个测站处宜布设 1~2 个工作基点；当采用绝对拼接地面三维激光扫描方法时，每个测站处还应布设 1~2 个后视基准点。

7.5.1.5 参考点、拼接标靶、工作基点和基准点应布设于矿区范围内稳定、通视良好的安全地带，其距最近监测点的水平距离宜为 100 m~150 m。

7.5.2 选点和埋设

7.5.2.1 后视基准点、工作基点以及参考点在进行选点作业时应遵循 GB/T 18314 的规定。

7.5.2.2 监测点选点应保证与地面三维激光扫描仪之间良好通视，视线开阔且无遮挡。

7.5.2.3 拼接标靶应布设在相邻测站重叠区域内，确保空间三维分布均匀，避免共面或共线。

7.5.2.4 所有监测点、参考点、拼接标靶、工作基点及后视基准点，均应设置混凝土观测墩，埋设应遵循第 7.2.2.3 条的规定。

7.5.2.5 监测点、参考点以及拼接标靶应采用配套的专用标靶（如球形标靶、平面标靶等），具体应符合下列规定：

- a) 标靶应布设在稳固的观测墩上，平面或球形标靶应通过基座与观测墩可靠连接。
- b) 所有标靶应布设牢固，宜采用遮光、防水材料进行保护，观测结束后应及时遮盖。
- c) 当激光雷达采用平面标靶时，激光束与靶面的入射角不宜大于 50°。

7.5.2.6 后视基准点标志的型式应当遵循 JGJ 8 中的规定，且该标志应借助强制对中基座与观测墩实现稳固可靠的连接。

7.5.3 观测前准备

7.5.3.1 基于机载激光雷达扫描的观测前准备：

- a) 应对飞行平台（无人机等）的运行状况进行检查，保证其动力系统、电源系统以及通信系统等都处于正常运行状态，同时还要确认机载激光雷达和 POS（GNSS/IMU 集成定位定姿系统）的集成状态良好，并完成时间同步以及系统标定工作。
- b) 应依据监测区域实际范围、地形条件以及变形监测精度要求对飞行航线进行合理规划并完成上传操作。并结合空间分辨率以及覆盖质量要求，对激光扫描参数（如点云密度、扫描频率还有扫描线重叠度等）以及飞行参数（如飞行高度与飞行速度等）进行合理设置。

7.5.3.2 基于地面三维激光扫描的观测前准备：

- a) 当地面三维激光扫描仪架设在设有强制对中装置的永久性观测墩基准点上作业时，观测前要求进行整平和开机自检。
- b) 对扫描仪仪器高的量测应遵循“测前、测中、测后”三次量测的原则。三次量测值的最大互差不应大于 2.0 mm；在满足限差要求时，应取三次量测值的平均值作为仪器高的最终结果；若互差超限，则该测站应予以重测。
- c) 其他地面三维激光扫描仪观测前准备工作应符合 JGJ 8 中的规定。

7.5.4 观测要求

7.5.4.1 利用地面激光扫描测量可开展四等沉降观测以及三等、四等位移观测。采用的激光扫描仪的性能状况以及观测要求应遵循 JGJ 8 中的相关规定。

7.5.4.2 地面三维激光扫描一般需设置多个测站，测站的数量应依据矿区地表的复杂程度、监测范围大小、预期的扫描精度以及现场的遮挡情况综合确定，且需确保扫描范围能够充分重叠，尽可能防止点云出现明显的空洞和盲区。

7.5.4.3 选择地面三维激光扫描的拼接方法时，需考虑精度要求以及现场的实际条件。对监测范围较广和精度要求较高的工作场区而言，适宜采用绝对拼接方法。

7.5.4.4 采用绝对拼接方法进行地面三维激光扫描时，应符合下列规定：

- a) 正式扫描前，应借助十字丝或视准系统照准本测站的后视基准点标志。
- b) 应利用 GNSS 等技术手段获取工作基点和后视基准点的精确三维坐标，并将各测站点云转换到同一坐标系中，按统一坐标约束进行绝对拼接。

7.5.4.5 在采用机载激光雷达扫描和基于相对拼接方法的地面三维激光扫描时，应在测区内布设多个地面检验点，检验点应采用高精度 GNSS 静态观测技术进行测量。

7.5.4.6 机载激光雷达进行扫描作业时，还应在测区附近架设地面 GNSS 基准站。飞行结束后，通过联合处理机载与地面基准站的 GNSS 观测数据，提高飞行轨迹解算精度。

7.5.4.7 其他地面三维激光扫描测量作业应符合 JGJ 8 中的规定。

7.5.5 数据处理

7.5.5.1 机载激光雷达数据解算与点云生成：在测区附近架设 GNSS 基准站，并对机载 GNSS 与 IMU（惯性测量单元）观测数据进行联合处理，解算飞行期间各观测时刻的三维位置和姿态轨迹。将该轨迹与机载激光测距数据结合，可生成带有真实地理坐标的原始机载三维激光点云；随后通过点云分类与滤波处理，分离地面点与非地面点。

7.5.5.2 地面扫描数据配准与拼接：将数据导入内业处理软件，获取各测站点云并进行预处理，包括剔除明显飞点噪声、过滤冗余数据等；随后根据选用的相对拼接方法和绝对拼接方法，对各测站点云进行精确配准与拼接，形成统一坐标系下的完整三维点云数据。

7.5.5.3 点云（机载/地面）后处理与建模：在完整点云数据基础上进一步后处理，包括精细剔除残余噪声、按对象对点云进行分类与提取，并根据需要生成可供其他专业软件调用的三维地形或构筑物模型成果。

7.5.5.4 监测点（机载/地面）三维坐标提取：在处理完成的三维点云及其构建的三维模型中，准确识别各监测点位置并提取其三维坐标；采用标靶观测的，应以标靶中心为提取坐标的位置。

7.5.5.5 监测点变形量计算：以基准期或上一监测期的监测点坐标为参考，计算各监测点的单期及累计水平位移量和垂直位移量（沉降量）。

7.6 无人机倾斜摄影监测

7.6.1 监测网点布设

7.6.1.1 监测点测线的布设应按 7.2.1.1 的要求执行。

7.6.1.2 应在预测变形影响范围以外的安全稳定地带布设参考点和像控点，其距最近监测点的水平距离宜为 100 m~150 m。参考点的数量及作用应符合 7.5.1.2 条的规定。每条测线应布设不少于 2 个像控点，并分别布设于测线两端。

7.6.2 选点和埋设

7.6.2.1 监测点选取时，应确保通视条件良好，视线开阔且无遮挡，同时还需减少环境光的干扰。

7.6.2.2 参考点和像控点的选点作业应符合 GB/T 18314 中的规定。

7.6.2.3 监测点、参考点以及像控点都应选用混凝土观测墩，埋设要求应遵循 7.2.2.3 的规定。

7.6.2.4 监测点、参考点及像控点应采用配套的专用标靶（球形标靶或者平面标靶），布设和安装要求应依照 7.5.2.5 条规定。

7.6.3 观测前准备

7.6.3.1 需依据测区范围提前向空管部门申请飞行空域许可，并获取计划飞行日期对应的气象相关资料，保障作业条件满足安全飞行要求。

7.6.3.2 应根据任务精度要求和地形条件，设计飞行高度、飞行速度以及航向和旁向重叠度。

7.6.3.3 检查地形状况、净空条件以及主要地物的分布情况，重点识别高压线等存在安全风险的因素并加以规避。

7.6.4 观测要求

7.6.4.1 无人机相对航高通常不宜超过 1500 m，其最大值不应超过 2000 m，在雨天、雪天或者风速超出无人机安全飞行允许的风速等恶劣气象状况下，禁止开展航摄影像采集工作。

7.6.4.2 在陡峭山区和高层建筑物密集区，宜将航摄时间安排在当地正午前后各 1 h 内。航摄时间、影像重叠度要求、飞行质量要求和影像质量要求应符合 GB/T 39610 和 CH/T 3005 中的规定。

7.6.4.3 地面像控点的三维坐标应采用 GNSS 或全站仪进行精确测量，其精度等级应高于最终模型精度等级至少一个等级。

7.6.4.4 每次飞行降落后，应对所采集的影像进行检查，确认影像中是否出现漏拍、模糊不清、过曝或者欠曝等各类问题，并检查 POS 数据的完整性。发现问题，应及时补飞，保证外业数据的可靠性。

7.6.5 数据处理

7.6.5.1 IMU/GNSS 数据处理要求应符合 GB/T 39610 中的规定。

7.6.5.2 对影像及 POS 数据进行初步检查整理，剔除不合格影像，依照 POS 信息给每一张影像赋予高精度的初始外方位元素。

7.6.5.3 应通过自动匹配连接点，引入像控点精确坐标，运用光束法区域网平差对所有影像的高精度外方位元素以及加密点坐标开展优化解算，构建影像之间的几何模型。

7.6.5.4 在空三加密成果上，通过密集匹配生成高密度的三维点云，构建带有真实纹理的三角网模型；经过模型优化及纹理修饰形成高质量实景三维模型。

7.6.5.5 利用检验点对实景三维模型进行精度验证，检查模型的几何精度和纹理质量。根据需求，输出 DSM（数字表面模型）、实景三维模型。

7.6.5.6 在输出的高精度实景三维模型中准确识别各监测点标靶，并以标靶中心为取点位置提取监测点的三维坐标。

7.6.5.7 把基准期或上一监测期所测监测点坐标作为参考，计算各个监测点单期以及累计水平位移量和垂直位移量。

7.7 数据分析

7.7.1 对同一监测区域，若运用多种监测技术或者不同监测方法获取监测数据，应将各类数据成果相互进行交叉比对及验证。依据验证结果对其中出现的异常数据进行修正。

7.7.2 绘制各个监测点的位移（或者速率）与时间之间的关系曲线，直观反映各监测点变形所呈现出的时空变化规律。

7.7.3 绘制各监测测线对应的曲率、倾斜以及水平变形分布图，作为评估地表出现弯曲开裂风险的依据，并确定拉张或者压缩破坏的具体区域。

7.7.4 利用专业分析软件生成水平位移、沉降位移及其速率等值线图 and 水平位移矢量图，直观呈现变形场在空间上的分布特点，识别出变形集中区域以及最大变形区域。

7.7.5 绘制多个不同期次的变形边界扩展图，揭示矿区变形范围的动态变化过程，掌握变形边界随时间的扩展规律。

8 岩层深部位移监测

8.1 基本要求

8.1.1 岩层深部位移监测主要针对采空区顶部及矿体上下盘岩层开展。采空区顶部以竖向位移（沉降）监测为主；矿体上下盘区域则应同时监测深部水平位移和竖向位移。

8.1.2 岩层深部水平位移宜采用钻孔测斜仪进行监测，分为活动式和固定式两类。

8.1.3 岩层深部竖向位移宜采用钻孔轴向位移监测仪进行监测，其监测仪器类型主要包括多点位移计、滑动测微计和光纤传感技术（如 FBG、BOTDA 等）。

8.1.4 深部位移钻孔观测线宜沿矿体走向及倾向布置；关键的建（构）筑物区域以及较为敏感的区域，应

合理加密监测点布置，并且实施重点监测。

8.2 钻孔测斜监测

8.2.1 监测网布设

8.2.1.1 钻孔测斜观测线宜布置在预计地表移动盆地主断面上，通常沿矿体走向及倾向分别设置 1 条；若预计采空区走向长度偏大，可在主断面的左右两侧分别增设 1 条沿倾向的观测线。

8.2.1.2 观测线的长度应能够覆盖预计地表移动变形边界线范围，并且依据实际需求还可向外延伸 30 m~50 m。

8.2.1.3 每条观测线的上盘以及下盘应分别布置不少于 2 个钻孔测斜测点，其中至少有 1 个测点布置在预计变形边界线的周边区域，另 1 个测点布置在预计移动线位置的附近区域（关于移动线位置的具体定义可参照 9.3 条相关内容）。

8.2.2 选点和埋设

8.2.2.1 选点时，需综合考虑施工可达性以及长期安全状况，并且兼顾供电、通信和数据采集系统等相关配套设施的布置条件。

8.2.2.2 采用钻孔测斜仪进行监测前，应在竖向钻孔中预埋测斜管。

8.2.2.3 固定式钻孔测斜仪完成测斜管安装之后，应将传感器（MEMS、振弦式或电阻式等）借助环形支架等固定装置稳固安装到测斜管内壁，并合理确定传感器间距。

8.2.2.4 孔口宜浇筑混凝土基座，并安装坚固、防水性良好的保护箱（或保护墩），加装锁具和清晰标识。

8.2.2.5 其他埋设要求应符合 GB 50497 的规定。

8.2.3 观测前准备

8.2.3.1 应检查传感器、数据采集系统以及通信系统的工作状况，确保设备正常运转；正确连接传感器和数据采集系统，开展联调测试，核实数据传输是否顺畅。

8.2.3.2 应对设备的环境适应性（温度、湿度、防水、防尘等级）展开核查，确认符合现场工况和长期监测需求。

8.2.4 观测要求

8.2.4.1 活动式钻孔测斜监测技术应符合下列规定：

- a) 将测斜仪探头放进钻孔时，确保探头导向轮沿测斜管导向槽上下平稳且均匀地移动，维持探头轴线和测斜管轴线基本处于一致的状态，避免晃动或受力不均。
- b) 应采用双向观测。先按照 A 导向从孔底朝孔口方向进行测量工作，之后把探头旋转 180°，再依据 B 导向仍旧从孔底向孔口的方向重复测量。

8.2.4.2 固定式钻孔测斜监测频次需依据监测对象的重要程度、变形速率以及所处监测阶段等因素综合确定，宜定期开展数据采集工作，确保监测数据时效性与连续性。

8.2.4.3 在所有安装与锚固工序完成且注浆材料强度达到设计要求后，方可进行首次观测。首次观测宜连续进行 2~3 次，当各次观测成果的差值满足仪器精度要求时，取平均值作为本孔的初始基准值。

8.2.5 数据处理

8.2.5.1 应将测斜仪外业观测数据由采集设备导出并导入内业处理软件，逐项核对孔号、测点深度、导向标记或传感器编号、采样时间及监测频率等信息，检查是否存在漏测、重测、缺测或通信中断等情况；点号、备注等非观测值类记录错误，可在软件中更正并加注说明，原始观测读数应保持不变。

8.2.5.2 利用内业软件对各测点（传感节点）的观测数据开展质量检查与预处理，识别并剔除明显异常值。对活动式测斜仪 A、B 导向的双向观测资料应进行配对组合处理；对固定式测斜仪数据宜实施噪声滤波以及零点和温度漂移修正。

8.2.5.3 在预处理基础上，通过相邻测点、相邻时段对比检查两类测斜数据的变化幅度和变化趋势，分析位移曲线的连续性与平滑性，结合现场情况，判断数据是否合理，及时识别疑似异常时段或异常测段并进行回溯核查。

8.2.5.4 以首次稳定观测期的观测值为基准,按测点和观测期计算各期相对位移量测值,形成用于孔内位移计算和变形分析的基础数据成果。

8.3 轴向位移监测

8.3.1 监测网布设

8.3.1.1 轴向位移监测观测线的布设(位置、条数及长度)应按 8.2.1.1 和 8.2.1.2 的要求执行。

8.3.1.2 各观测线上、下盘钻孔测点的布设应符合 8.2.1.3 条钻孔测斜测点布设的有关要求;在地表尚未塌陷前,每条观测线宜在采空区上方地表的观测线中心位置布设 1 个轴向位移钻孔测点。

8.3.2 选点和埋设

8.3.2.1 选点应按 8.2.2.1 的规定执行。

8.3.2.2 多点位移计应在地面完成锚固器、测量杆以及护管的整体组装和检查,确认各个连接处、密封部位和标识无误后,把组装完成的量测单元放至设计深度,不应与孔壁出现剧烈碰撞或者卡阻的情况。

8.3.2.3 滑动测微计应使用带有定位键耦合器的专用 PVC 测管,在安装时要确保各个导槽能够对齐且连接牢固可靠。在下管期间应维持平稳,避免扭转和强行弯折。

8.3.2.4 光纤传感监测宜选用铠装传感光缆。在孔口及孔底处应预留适当余量且盘绕成缓冲环。关键岩层或重要部位可采用 U 型或者环绕式的布设方式。

8.3.2.5 孔内回填均应采用反向注浆法,监测孔的孔口均应统一设置保护结构,其要求应符合 8.2.2.4 条的规定。

8.3.3 观测前准备

8.3.3.1 应符合 8.2.3 的规定。

8.3.3.2 滑动测微计正式开展观测之前,需人工手动操作,让测头在整个行程范围内来回滑动,检查测管内壁是否光滑,导槽是否连续对中,是否存在卡阻或异物。

8.3.4 观测要求

8.3.4.1 使用多点位移计以及滑动测微计观测时,应依照规定的测点顺序和读数间距依次实施量测工作。滑动测头(探头)在移动过程中应保持平稳且连续的状态,避免冲击和卡阻。

8.3.4.2 光纤观测时,需依据监测目标及变形速率合理控制采样间距和积分时间,避免频繁地拔插接头及过度弯折光缆,以降低信号衰减及机械损伤。

8.3.4.3 监测频率方面的设置以及初次读数的要求应遵循 8.2.4.2 和 8.2.4.3 的规定。

8.3.5 数据处理

8.3.5.1 多点位移计以及滑动测微计所获取的观测数据,应通过计算相邻测点(测段)的位移差得到各层间的相对位移,并选定某一参考测点作为零位,计算各测点的累计位移。

8.3.5.2 其他数据处理要求应符合 8.2.5 条的规定。

8.4 数据分析

8.4.1 依据钻孔测斜监测成果绘制深度与水平位移之间的关系曲线,通过分析曲线上位移突变带以及曲线拐点的具体位置与范围,识别出潜在的滑动面和变形集中的区域,最终判定岩层侧向变形呈现的模式。

8.4.2 依据轴向位移或应变监测成果,分析位移或者应变在不同深度方向上的分布特性,识别出主要压缩带、拉伸带以及剪切带等。

8.4.3 将测斜仪所获得的水平位移变化特征同轴向位移监测结果以及其他有关地表变形监测成果相互对比和验证,综合对岩层的整体稳定性和变形破坏特征进行评估。

9 地表移动范围关键参数

9.1 基本要求

9.1.1 为评价金属矿地表建(构)筑物的安全性并制定合理保护措施,应确定地表移动范围的关键参数,

通常包括边界角、移动角和陷落角等。

9.1.2 依据确定的地表移动范围关键参数，可开展矿区建（构）筑物受采动影响分析和安全性评价，并为矿体开采方案优化提供依据。

9.2 边界角确定

9.2.1 边界角是指在移动盆地主断面上，采空区边界与地表变形边界点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角。

9.2.2 在金属矿中，变形边界位置的水平位移通常大于竖向沉降位移，边界点一般可按水平位移达到 10 mm 时确定。

9.2.3 在整个变形区域内，将变形值等于变形边界控制值的各地表点连成曲线，即为地表变形边界线。

9.3 移动角确定

9.3.1 移动角是指在移动盆地主断面上，采空区边界与地表临界变形点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角。本条所述临界变形值，是指在无需维修的条件下，建筑物、构筑物仍能保持正常使用所允许的地表最大变形值。

9.3.2 应从分别按 T 、 ε 和 k 三类临界变形值确定的移动角中，选取最小值作为矿区的移动角。

9.3.3 建筑物、构筑物正常使用所允许的地表变形值，应符合表 4 的规定；表中地表建（构）筑物的保护等级划分可参照 GB 50771 中的规定。

表 4 建筑物、构筑物位移与变形的允许值

建（构）筑物保护等级	倾斜 T (mm/m)	曲率 k ($10^{-3}/m$)	水平变形 ε (mm/m)
I	± 3	± 0.2	± 2
II	± 6	± 0.4	± 4
III	± 10	± 0.6	± 6
IV	± 10	± 0.6	± 6

9.3.4 在整个变形区域内，将变形值等于所选用于确定矿区移动角的临界变形值的各地表点连成曲线，即为地表移动线。

9.4 陷落角确定

9.4.1 陷落角是指采空区边界与其上方地表最外侧裂缝点连线，在采空区外侧与水平线所成的夹角。采空区上方地表最外侧裂缝的位置，应根据第 6.4 条地表采动裂缝监测成果予以确定。

9.4.2 陷落角亦可采用采空区边界与地表陷落临界变形点连线在采空区外侧与水平线所成的夹角确定。陷落临界变形点是指其变形值达到式（1）中任一临界变形条件的地表点，并应从分别按 T 、 ε 和 k 三类临界变形值确定的陷落角中，选取最小值作为矿区的陷落角。

$$T = 10 \text{ mm/m}, \quad \varepsilon = 6 \text{ mm/m}, \quad k = 0.6 \times 10^{-3} / m \tag{1}$$

式中：

T ——地表倾斜，是指相邻两点在竖直方向的相对移动量与两点间水平距离的比值；

ε ——地表水平变形，是指相邻两点的水平移动差值与两点间水平距离的比值；

k ——地表曲率变形，是指两相邻线段的倾斜差与两线段中点间水平距离的比值。

9.4.3 在整个变形区域内，将变形值等于所选用于确定矿区陷落角的临界变形值的各地表点连成曲线，即为地表陷落线。

10 监测报告

10.1 基本要求

10.1.1 各类成果都应以真实、完整的原始监测资料为基础，确保数据来源可靠、处理方法合理、计算结果正确。

10.1.2 监测成果所采用的坐标、高程系统以及时间基准应保持统一，且在成果中明确说明；量和单位的选用与表示都应遵循国家现有施行的相关标准及规范。

10.1.3 监测成果的提交形式包括文字报告及附件（如图件、数据表格等），并应同时具备纸质文件以及电子文件，其格式、具体份数和提交的时间限制等应遵循合同或委托文件的约定。

10.1.4 其他监测资料整编与分析要求可参照 KA/T 2063 中有关规定。

10.2 成果报告编制

10.2.1 监测报告应当包括监测的重点及主要结论和建议。文字报告的提纲可参考附录 C，并依据工程的实际状况做出适当的增补或删减。

10.2.2 依据监测成果，结合矿区工程地质、水文地质条件以及矿体的开采情况，分析和阐明矿区地表以及深部岩层移动变形的空间分布特性、时间演变规律以及未来的发展趋势。

10.2.3 依照确定的地表移动范围关键参数（移动线、移动角等），提出建（构）筑物和工程设施的防控与风险管控方面的措施和建议。

10.2.4 应对矿区潜在灾害风险开展综合性的评估（如地表塌陷），做好相关预案，并提出监测体系和采矿方案优化方面的相应建议。

10.3 成果图件提交

10.3.1 成果图件包括监测点布置图、地裂缝监测成果图、地表移动变形监测成果图、岩层深部位移监测成果图以及地表移动分区图。各类图件图面清晰可辨、各项要素完整。

10.3.2 监测点分布图包括地裂缝监测网布置图、地表移动变形监测网布置图以及岩层深部位移监测网布置图。

10.3.3 地裂缝监测成果图主要包括监测点累计位移或速率随时间关系曲线图以及地表最外侧裂缝的分布图等。

10.3.4 地表移动变形监测成果图包括监测点累计位移或速率随时间变化曲线图，监测测线曲率、倾斜以及水平变形空间分布图，水平位移与沉降位移及其速率等值线图，水平位移矢量图。

10.3.5 岩层深部位移监测成果图包括深度—水平位移曲线以及轴向位移（或应变）随钻孔深度变化曲线图。

10.3.6 地表移动分区图包括边界线、移动线和陷落线的平面分布图，主断面上的岩层移动角、陷落角和边界角的分布图，以及多期监测的边界线、移动线和陷落线以及主断面上岩层移动角、陷落角和边界角扩展对比图。

10.3.7 各类监测点布置图、监测成果等值线图、矢量图、分布图及相应扩展对比图，宜采用 1:10000 或 1:5000 比例尺，且所有图件的图例（包括颜色、符号、线型等）应统一。

10.4 资料存储

10.4.1 各类原始纸质资料（现场观测记录表、原始图件等），应当依据监测项目的不同以及时间顺序及时分类整理，并进行编号、编目和规范存档。

10.4.2 在保存纸质资料的同时，应同步建立监测数据库，采用统一的数据格式以及编码规则，对各个阶段的监测原始数据和处理成果实施电子化的管理模式。

10.4.3 监测数据库应包括监测点的基本信息（坐标、高程以及类型等）、历次监测所获取的原始数据、内业软件处理之后的成果以及相关的图表成果，同时要记载数据更新的具体时间以及负责的相关人员。

10.4.4 项目完成后，应将监测成果中间报告、总报告、合同文件及与委托方往来文件等项目管理类资料，按有关档案管理规定统一归档管理，并与监测数据库等技术资料一并妥善保管。

附 录 A
(资料性)
监测项目和仪器选型

A.1 监测项目和仪器选型见表 A.1

表 A.1 监测项目和仪器选型

监测项目	监测仪器		监测内容/指标	技术特点
地表裂缝	简易式观测仪	钢尺/卷尺	张开/闭合	精度较低（通常为 1 mm），但操作极其简便，测量速度快。
		游标卡尺	张开/闭合	精度高（可达 0.02~0.1 mm），使用方便，测量快捷。
	机械式裂缝计	钢丝牵引式大量程裂缝计	张开/闭合	其量程可以从几十厘米到几十米甚至上百米，安装简便；但易受外界干扰。
		百分表/千分表式裂缝计	三向布设时可测量张开/闭合、水平位错和垂直位错	量程可达 100 mm，性能稳定，精度极高（百分表 0.01 mm；千分表 0.001 mm）。
	电测式传感器类裂缝计	振弦式裂缝计	张开/闭合	量程可达 500 mm，性能稳定，精度高（0.01 mm），抗干扰能力强；传输距离长，适于长期自动监测。
		电阻式裂缝计	张开/闭合	量程可达 200 mm，测量精度通常为满量程的 0.05%~0.1%，输出信号强、测量电路简单；但对温度和湿度较为敏感，长期稳定性略逊于振弦式。
		差动变压器式（LVDT）裂缝计	张开/闭合	量程可在 2.5~500 mm 范围内选择，测量分辨率可达 0.001 mm，线性范围广、寿命长。
		MEMS（微机电系统）传感器裂缝计	可测量张开/闭合、水平位错和垂直位错	量程主要在±2~±50 mm 之间，体积小、便于安装、可批量布设，适合物联网监测；但易受环境干扰。
	光纤传感类裂缝监测技术	光纤光栅（FBG）裂缝计	张开/闭合	量程可达 300 mm，高精度、抗干扰、耐腐蚀；可实现一根光纤串联多个传感器。
		分布式光纤传感裂缝监测系统（BOTDA/BOTDR 等）	全线应变	监测长度可达数百米至数千米，无需预先知道裂缝位置，可实现“线”监测，能发现隐伏裂缝，监测范围大。

表 A.1 监测项目和仪器选型（续）

监测项目	监测仪器		监测内容/指标	技术特点
塌坑等地表移动变形	大地测量技术	全站仪	水平位移和竖向位移	精度可达毫米级；但受通视条件和天气影响，人工测量效率较低。
		水准仪	竖向位移	精度非常高（可达亚毫米级，如 0.3~0.5 mm/1 km 往返），但效率较低，需要逐站测量。
		GNSS（全球导航卫星系统，如 GPS、北斗等）	水平位移和竖向位移	全天候，可实现自动化实时监测，适合大范围、长距离监测；精度达毫米级，但竖向精度通常略低于水平精度。
	摄影测量技术	主要为无人机倾斜摄影测量	地表三维形态，水平位移和竖向位移	精度一般为厘米级，作业效率高、覆盖范围广、成本较低，非接触测量；但受天气和环境制约。
	遥感测量技术	激光雷达扫描仪（主要为三维激光扫描仪和机载激光雷达扫描仪）	地表三维形态，水平位移和竖向位移	在规范作业条件下，地面三维激光扫描测量的点云精度一般可达毫米级；机载激光雷达扫描获取的点云精度通常为厘米级。该类技术数据量大、信息全面，属非接触式测量手段，但易受天气和现场环境条件影响，且设备及数据处理成本较高。
岩层深部位移	钻孔测斜仪	活动式测斜仪	水平位移	定期在测斜管内逐段（如 0.5 m 间隔）测量，精度高；需人工操作，非连续监测。
		固定式测斜仪		将传感器（MEMS、振弦式、电阻式、LVDT 等）固定于管内，可实现自动化、实时监测，但成本较高，测点间距固定。
	轴向位移监测仪	多点位移计	轴向位移	通过连接杆或钢丝，将钻孔内不同深度锚固点的位移传递至孔口测量装置。它可采用百分表进行人工读数，也可连接 LVDT 或振弦式传感器实现自动采集。该仪器精度高、可靠性好，适用于监测各锚固点所在位置地层的相对位移或差异沉降。
		滑动测微计		精度高，通过滑动探头测量测管球座间距，可获得沿整个钻孔深度连续的竖向位移（沉降/隆起）剖面，并能精确确定位移发生的深度与大小。
		光纤传感技术（FBG、BOTDA/BOTDR 等）		FBG 通过串联的光栅传感器进行准分布式点式测量；BOTDA/BOTDR 利用布里渊散射进行真正分布式连续测量，整根光纤即为传感器。两者均可实现自动化监测，其中 BOTDA/BOTDR 尤其适合大范围、长距离的全面扫描，而 FBG 更侧重于关键点的高精度测量。

附 录 B
(资料性)
GNSS 测量手簿记录格式

B.1 GNSS测量手簿记录格式见表B.1

表B.1 GNSS测量手簿记录格式

点号			点名		图幅编号	
观测记录员			观测日期		时段号	
接收机型号及编号			天线类型及编号		存储介质类型及编号	
原始观测数据文件名			Rinex 格式数据文件名		备份存储介质类型及编号	
近似纬度		° ′ ″ N	近似经度	° ′ ″ E	近似高程	m
采样间隔		s	开始记录时间	h min	结束记录时间	h min
天线高测定			天线高测定方法及略图		点位略图	
测前： 测中： 测后： 测定值__m __m __m 修正值__m __m __m 天线高 __m __m __m 测前、测中和测后平均值__ m						
时间			跟踪卫星数		PDOP	
记 事						
注1：记载有效观测卫星数、PDOP值等，B级每4h记录一次，C级每2h记录一次，D、E级观测开始与结束时各记录一次； 注2：修正值是对测定值进行修正后的结果，天线高可以是测定值或修正值之一。如果没有对测定值进行修改，则天线高就是测定值；如果对天线高进行了修正，那么它就是修正值。						

附 录 C
（资料性）
监测报告提纲

C.1 前言

本部分宜简要说明项目来源和背景，阐明监测目的、任务及监测服务年限，列出主要编制依据（相关法律法规、技术标准以及设计文件和生产技术资料等）。

C.2 矿区概况

- a) 矿区区域位置及自然地理概况。
- b) 矿区工程地质条件（围岩岩性情况、围岩结构面发育特征、断层构造特征以及地应力特征等）。
- c) 矿区水文地质条件（地下水赋存形式、地下水补给来源等）。
- d) 矿体分布与采矿情况（包括矿体产状和分布特征、采矿权状况及采矿方法等）。
- e) 矿区地表建（构）筑物及周边环境条件。

C.3 监测网建设与监测方案

- a) 监测项目及对应的监测指标。
- b) 监测方法和技术路线。
- c) 监测网布设原则及监测点分布情况。
- d) 监测设备及系统组成与精度等级。
- e) 监测周期、频次安排。

C.4 监测实施与成果概况

- a) 各阶段监测实施情况（观测时间、现场条件及异常情况记录等）。
- b) 监测数据预处理和质量控制（外业检查、内业审核、异常值处理等）。
- c) 监测成果汇总（详细成果列于附表和附图）。

C.5 监测成果分析

- a) 地表采动裂缝监测成果分析。
- b) 地表移动变形监测成果分析。
- c) 岩层深部位移监测成果分析。
- d) 多源监测成果的综合分析与相互验证，形成对矿区岩层和地表整体变形与稳定性的综合评价。

C.6 地表变形扩展分析

- a) 边界线及边界角扩展特征分析。
- b) 移动线及移动角扩展特征分析。
- c) 陷落线及陷落角扩展特征分析。
- d) 分析岩层和地表变形扩展与地下矿体开采之间的相互关系，明确地下开采对岩层和地表扩展变形的影响规律。

C.7 关键建（构）筑物区域监测成果分析

- a) 关键建（构）筑物区域地表变形特征（测点变形特征、移动线和边界线分布特征等）。

- b) 关键建（构）筑物区域深部岩层变形特征。
- c) 关键建（构）筑物稳定状况评估及风险分级评价。

C.8 结论和建议

对矿区地表以及深部岩层的变形特征进行系统归纳总结，同时阐明边界线、移动线、陷落线等关键参数的分布特点，确定矿区关键建（构）筑物的稳定性状况，并且提出针对地表移动后续监测、治理以及保护方面的措施建议。

C.9 附表和附图

- a) 附表：监测数据成果表及必要的统计汇总表。
- b) 附图：包括第 10.3 条规定的各类成果图件及其他必要的示意图和辅助图件。

参 考 文 献

- [1] DG/TJ 08-2051 (J 11371) 地面沉降监测与防治技术标准[S]. 上海: 上海市住房和城乡建设管理委员会, 2021.
 - [2] T/CAGHP 008 地裂缝地质灾害监测规范[S]. 北京: 中国地质灾害防治工程行业协会, 2018.
 - [3] T/CAGHP 014 地质灾害地表变形监测技术规程[S]. 北京: 中国地质灾害防治工程行业协会, 2018.
 - [4] T/CAGHP 046 地质灾害地下变形监测技术规程[S]. 北京: 中国地质灾害防治工程行业协会, 2018.
 - [5] T/CAGHP 052 地质灾害深部位移监测技术规程[S]. 北京: 中国地质灾害防治工程行业协会, 2018.
 - [6] 何国清, 杨伦, 凌庚娣, 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
 - [7] 钱鸣高, 许家林, 王家臣, 等. 矿山压力与岩层控制 (第3版) [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2021.
 - [8] 古德生, 赵文, 陈从新. 采矿手册 (第二卷 矿山岩体力学) [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2023.
 - [9] 王运敏. 现代采矿手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
 - [10] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 国家铁路局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
 - [11] 庞汉松. 基于监测数据的分段崩落法采矿地表变形分析与建筑物损坏评估方法[硕士学位论文][D]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2020.
 - [12] 程关文, 陈从新, 沈强, 等. 程潮铁矿地下开采引起岩层移动机制初探[J]. 岩土力学, 2014, 35 (5): 1421-1429.
-