



中华人民共和国煤炭行业标准

MT/T 1183—2020

露天矿边坡稳定性分析及 岩移监测方法

The slope stability analysis and displacement monitoring
method of open-pit mine

2020-07-09 发布

2021-01-01 实施

国家煤矿安全监察局 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 露天煤矿边坡稳定性分析方法 3

5 露天煤矿边坡岩移监测方法 6

附录 A（资料性附录） 钻孔原始记录表 12

附录 B（资料性附录） 工程地质勘查孔位及工作量统计表 13

附录 C（资料性附录） 钻孔柱状图 14

附录 D（资料性附录） 地质剖面图 15

附录 E（资料性附录） 岩石力学试验成果统计表 16

附录 F（资料性附录） 滑动平衡原理 17

附录 G（资料性附录） 刚体极限平衡法分析 18

附录 H（资料性附录） 边坡稳定系数 F_s 21

附录 I（资料性附录） 边坡岩体地表位移监测成果曲线(示例) 23

附录 J（资料性附录） 边坡岩体地下位移监测成果曲线(示例) 25

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》进行编写。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国煤炭工业协会提出。

本标准由煤炭行业煤矿安全标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：煤科集团沈阳研究院有限公司、中煤平朔集团有限公司、神华准格尔能源有限责任公司。

本标准主要起草人：祖国林、王振伟、韩猛、缪海宾、纪玉石、刘晶辉、赵雪、朱新平、刘如成、刘峰、张勇、翟正江、胡存虎、王平亮。

本标准为首次发布。

露天矿边坡稳定性分析及 岩移监测方法

1 范围

本标准规定了露天煤矿边坡稳定性分析方法及边坡岩移监测方法。
本标准适用于露天煤矿边坡的稳定性分析与边坡岩移监测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 37573 露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50026 工程测量规范

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB 50175 露天煤矿工程质量验收规范

GB 50197 煤炭工业露天矿设计规范

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准

MT/T 675 露天煤矿边坡模拟试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

露天开采 open-pit mining

直接从地表揭露出煤炭或其他矿产并将其采出的作业。

3.2

露天煤矿 open-pit coal mine

从事露天开采的煤矿企业。

3.3

边坡 slope

岩体、土体在自然重力作用或人为作用下而形成一定倾斜度的临空面。

3.4

露天采场 open-pit

具有完整的生产系统,进行露天开采的场所。

3.5

采场边坡 open-pit slope

露天采场内由台阶平盘和台阶坡面组成的总体。

3.6

排土场 dump

堆放剥离物的场地。

3.7

排土场边坡 dump slope

排土场内由台阶平盘和台阶坡面组成的总体。

3.8

边坡稳定性分析 slope stability analysis

分析边坡岩体稳定程度的工作。

3.9

稳定边坡 slope stability

在工程运行期间,在自然条件或承受工程荷载下,边坡岩体不发生变形破坏,或虽发生变形,但其变形量在允许破坏极限以内的边坡。

3.10

失稳边坡 slope instability

已经或正在变形破坏的边坡。

3.11

可能失稳边坡 possible instability of the slope

承受工程荷载或自然条件改变后,可能发生变形破坏的边坡,或在稳定性评价中,稳定性指标小于规定安全指标的边坡。

3.12

滑坡 slope slide

边坡产生滑动、崩塌、倾倒等边坡破坏的现象。

3.13

滑坡模式 slide mode

露天矿边坡滑坡方式、类型。

3.14

破坏机理 failure mechanism

边坡发生滑动等失稳破坏的力学原理。

3.15

岩移 rock movement

岩体地表位移与地下位移的统称。

3.16

边坡岩移监测 the slope rock movement monitoring

采用测试手段对边坡岩体的移动进行测量。

3.17

边坡地表位移 slope surface displacement

边坡系统发生变形时,边坡岩体表面发生的移动。

3.18

边坡地下位移 slope underground displacement

边坡系统发生变形时,边坡岩体内部发生的移动。

4 露天煤矿边坡稳定性分析方法

4.1 一般规定

4.1.1 露天煤矿边坡分为采场边坡与排土场边坡；采场边坡分为非工作帮边坡、端帮边坡和工作帮边坡；排土场边坡分为外排土场边坡和内排土场边坡。内排土场边坡在实现内部排土的采场非工作帮或端帮一侧形成。

4.1.2 边坡稳定性分析工作应贯穿露天煤矿规划、设计、建设、生产、闭坑全过程。

4.1.3 露天煤矿开采规划应根据矿体围岩赋存与岩土性质进行边坡稳定性初步评价，给出最终边坡形状与边坡角的合理范围。

4.1.4 露天煤矿设计阶段应开展边坡稳定性全面分析研究，在工程地质与水文地质勘查、岩土物理力学性质试验、工程地质分区、井采采空区、边坡破坏模式分析等基础上对总体边坡进行稳定性定量分析，提出合理的边坡角和边坡形状。

4.1.5 露天煤矿建设阶段应对不稳定边坡区段的边坡补充勘察、试验、监测、稳定性评价与分析，提出相应的优化方案与滑坡防治措施。

4.1.6 露天煤矿生产阶段应对年度和长远采矿工程设计进行边坡稳定性验算。对非工作帮和端帮形成的到界边坡、可能出现失稳的端帮边坡、临近最终设计的工作帮边坡进行稳定性分析评价；对影响生产安全的不稳定边坡应采取防治措施，或修改采矿设计、边坡设计。

4.1.7 排土场边坡应随其形成和发展定期进行稳定性分析。对不稳定边坡应修改排土参数或采取防治措施；采场实施内部排土前，应进行内排土场基底岩层的工程地质、水文地质勘查及基底岩土与排弃物料的物理力学性质测定。

4.1.8 露天煤矿终采闭坑前应结合采场与排土场复垦方案，对到界边坡进行稳定性分析，提出终采边坡稳定防治措施。

4.1.9 露天煤矿边坡稳定性分析分为定性分析和定量分析。

4.1.10 定性分析方法包括历史分析法、工程地质类比法、边坡稳定性图解法等，分析成果应包括边坡破坏机理与滑坡模式。

4.1.11 定量分析方法包括刚性块体极限平衡分析法、应力应变分析法、概率分析法等。

4.1.12 边坡稳定性分析步骤：

- a) 边坡工程地质勘查；
- b) 边坡岩土体物理力学性质试验、岩体强度评价指标选取及岩体结构分析；
- c) 边坡变形破坏机理与滑坡模式分析；
- d) 边坡稳定性分析与评价；
- e) 边坡稳定控制措施与滑坡防治措施。

4.1.13 最终边坡角的确定宜采用极限平衡法进行计算；含水边坡应考虑水对边坡稳定性的影响，并进行含水率、水压敏感度分析。

4.1.14 边坡稳定系数的限值应符合 GB/T 37573 的相关规定。

4.2 边坡工程地质勘查

4.2.1 边坡工程地质勘查按 GB 50021 执行，本标准以露天煤矿生产阶段的边坡工程地质勘查为例编制，其他阶段参考执行。

4.2.2 边坡工程地质勘查内容：

- a) 组成边坡的岩体岩性、产状、构造、新构造运动、区域地质特性、岩层风化程度、水文地质特征；
- b) 矿区水文、气象、地震资料、开采中爆破等采矿工程活动情况；

- c) 边坡稳定性、边坡变形与滑坡调查及分析;
- d) 岩体结构类型和工程地质分区。

4.2.3 边坡工程地质勘查步骤:

- a) 收集矿区相关地质、水文、气候等资料,包括勘探报告、钻孔资料、地质剖面图、位移监测资料等,确定边坡的岩体结构、组成及赋存形态;
- b) 确定边坡工程地质勘查方案;
- c) 边坡钻探应严格按照 GB 50021 的有关技术要求执行;
- d) 编制边坡工程地质勘查报告。

4.3 边坡岩土物理力学性质试验与岩体强度评价、指标选取

4.3.1 边坡岩土物理力学性质试验主要内容:

- a) 抗剪强度试验,包括岩样、原位岩体与散体岩土的直接剪切或三轴压缩抗剪强度试验;
- b) 岩土物理性质指标测定,包括液塑限测定、压缩、固结、贯入试验;
- c) 岩土试样抗压强度、点荷载强度、变形参数测定;
- d) 软岩或泥化层流变试验采用直剪流变仪测定长期强度及各种流变参数;
- e) 岩土不同含水量下的物理力学性质试验。

4.3.2 边坡岩土物理力学试验方法应以 GB/T 50123、GB/T 50266 为依据,结合露天煤矿边坡具体特点确定试验项目、内容。

4.3.3 岩体强度评价主要是确定边坡稳定分析采用的指标参数,结合露天煤矿边坡试验成果,选用适宜的岩体强度评价理论、滑坡反分析及岩土性质类比成果等,综合确定边坡各岩土体物理力学性质指标,特别是抗剪强度指标。

4.3.4 边坡模拟试验应根据边坡稳定分析需要,采用底摩擦模型法或相似材料模型法进行边坡模拟试验,确定边坡变形破坏和滑坡模式。试验方法按 MT/T 675 规定进行。

4.4 边坡变形破坏机理及滑坡模式分析

4.4.1 边坡变形破坏机理及滑坡模式应根据边坡工程地质勘查成果、边坡模型试验成果、历史滑坡分析与工程地质类比分析成果等定性分析得出。

4.4.2 边坡变形破坏形式有松弛张裂、滑动、崩塌、倾倒、蠕滑、剥落、流动等。露天煤矿边坡变形破坏可以是上述变形破坏形式的一种或多种结合。

4.4.3 边坡滑坡模式:

- a) 滑坡按滑体的岩性分为采场覆盖层滑坡、采场基岩滑坡、排土场滑坡;
- b) 采场滑坡按滑动面与层面的关系分为顺层滑坡、切层滑坡;排土场滑坡按滑动面位置分为基底以上排弃物料滑动、沿基底滑动、基底滑动;
- c) 按受力方式或破坏顺序分为牵引式滑坡、推动式滑坡;
- d) 按滑动面形式分为圆弧形、平面形、楔形、倾倒及组合变形破坏形态。

4.5 边坡稳定性分析与评价

4.5.1 分析与评价步骤

边坡稳定性分析与评价按以下步骤进行:

- a) 确定边坡体滑动面;
- b) 分析滑动面上的作用力及反作用力,建立平衡条件,求解合理边坡角或坡高;
- c) 边坡稳定性分析采用刚体极限平衡法为主、有限单元法等其他方法为辅。当边坡破坏机理复

杂时,宜结合数值分析法。

4.5.2 刚体极限平衡法

4.5.2.1 根据边坡工程地质勘查、岩土物理力学性质试验、模拟试验、边坡变形破坏机理与滑坡模式分析的成果,确定边坡破坏的可能边界范围、破坏的地质模型,并对滑体破坏趋势做出判断,按下列原则确定稳定性分析方法:

- a) 土质滑坡和较大规模的碎裂结构岩质边坡滑坡宜采用圆弧滑动法计算;
- b) 平面滑动的边坡滑坡宜采用顺层平面滑动法进行计算;
- c) 折线滑动的边坡滑坡宜采用折线滑动法进行计算。

4.5.2.2 圆弧滑动法。圆弧形滑坡是松散介质或包含多组产状各异的节理及风化破碎岩体中最常见的一种滑坡类型。

4.5.2.3 平面滑动法。顺层滑坡属于典型平面滑动,是露天煤矿中最为常见的滑动模式,特点是边坡岩体弱面顺边坡方向。

4.5.2.4 折线滑动法也叫传递系数法。折线滑动一般发生在工程地质条件复杂、岩层埋藏复杂、断裂构造复杂的露天煤矿中。如边坡岩体由两个或两个以上的弱面组成的一种滑坡类型。滑坡一般呈复合式滑动,折线滑动是其中一种。

4.5.2.5 其他滑动法包括楔形滑动、倾倒滑动等。按相应的滑动模式,求出相应的边坡稳定计算公式,可分别选用解析法、矢量法和图解法等稳定分析计算方法求解边坡稳定系数。

4.5.3 有限单元法

4.5.3.1 有限单元法适用于复杂的工程地质与地形条件,计算中需凝聚力 c 、内摩擦角 φ 、密度、弹性模量、泊松比及剪切模量等指标。

4.5.3.2 有限单元法计算步骤:

- a) 建立计算模型,确定边界条件;
- b) 确定外荷载的加载方式;
- c) 划分有限单元;
- d) 单元及节点分别编号,注意节点编号顺序;
- e) 计算边坡稳定系数 F_s 。

4.5.3.3 有限单元法计算框图如图 1 所示。

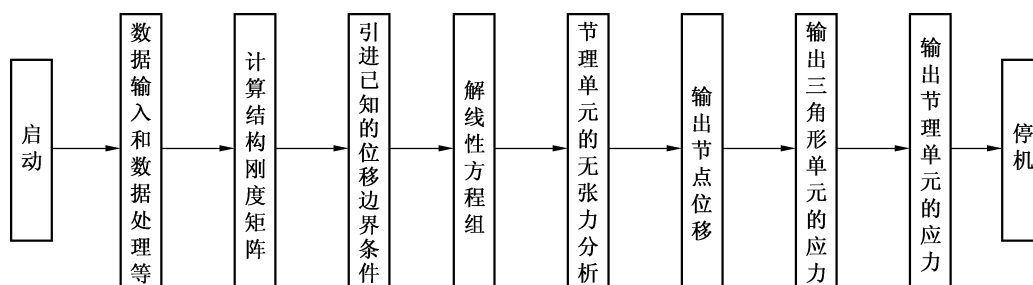


图 1 有限单元法计算框图

4.5.4 边坡稳定性分析与评价软件

4.5.4.1 常用的边坡稳定性分析计算软件有 GEO-slope、ANSYS、FLAC 等,国家或行业主管部门认证或推荐的软件优先采用。

4.5.4.2 边坡稳定性分析计算应按 4.2~4.4、4.5.4.1 进行分析计算。计算成果出现异常,应逐项复

核,加以修正后重新计算。

4.6 边坡稳定控制与滑坡防治

4.6.1 采场边坡稳定控制与滑坡防治主要措施:

- a) 削坡减重、压坡脚;
- b) 疏干排水,包括地表水和地下水;
- c) 优化开采,包括提前内排和边坡轮廓整形;
- d) 岩体加固,包括抗滑桩、锚索、锚杆、灌浆加固等;
- e) 综合加固,包括生物加固、工程加固和化学加固。

4.6.2 排土场边坡稳定控制与滑坡防治主要措施:

- a) 软弱基底处理,提高排土场基底强度;
- b) 削坡减重;
- c) 改进排土工艺,优化排弃方式;
- d) 地表水与地下水的疏干防渗;
- e) 提前实现内排。

5 露天煤矿边坡岩移监测方法

5.1 一般规定

5.1.1 边坡监测包括边坡岩体地表位移监测、地下位移监测、地下水监测、边坡岩体应力监测、地震或矿震及爆破震动监测等。

5.1.2 边坡监测范围包括露天煤矿采场、排土场及最终境界线之外 200 m 范围内。

5.1.3 边坡岩移监测应符合 GB 50175、GB 50197 的相关规定。

5.1.4 边坡监测应满足以下要求:

- a) 露天煤矿应结合矿区大地测量基本控制网,建立岩移永久性观测线网;
- b) 对地质条件复杂的采场、排土场及可能发生滑坡的区段边坡状态进行跟踪,定期观测并分析监测数据,编制监测报告;
- c) 边坡监测应贯穿建设、生产、闭坑全过程。

5.1.5 边坡监测阶段划分为三个不同的阶段:

- a) 第 1 阶段指露天煤矿建设阶段,主要采用大地测量网建立边坡地表位移监测系统;
- b) 第 2 阶段指露天煤矿生产阶段,宜采用地表位移监测、地下位移监测,也可考虑边坡雷达或其他监测手段。这一阶段的监测方法与手段要能满足自动化监测、临滑预警、滑坡预报的要求;
- c) 第 3 阶段指露天煤矿终采闭坑阶段,监测方法与手段应与闭坑环境治理、恢复、重建等统筹考虑。

5.1.6 边坡岩移监测工程精度要求:

- a) 边坡监测精度应符合表 1 规定;

表 1 露天煤矿边坡监测观测精度

水平位移网及位移点的精度要求		
等级	监测网相邻点点位中误差 mm	监测点点位中误差 mm
三等	±3	±6

表 1 露天煤矿边坡监测观测精度（续）

垂直位移网及位移点的精度要求		
等级	监测网相邻点高程中误差 mm	监测点高程中误差 mm
四等	±1	±4

- b) 边坡岩移观测精度要求：
- 1) 变形观测误差应小于实际变形值的 1/5~1/10，一般应在毫米级；
 - 2) 裂缝变化、深部位移观测误差不应大于 2 mm 或监测周期内平均变化量的 1/5。

5.2 边坡岩体地表位移监测

5.2.1 地表位移监测是在露天煤矿边坡上按设计的监测网线位置布置若干观测点或观测标桩，定期监测位移变化量。

5.2.2 地表位移宜采用以下分级监测：

- a) I 级监测是对边坡整体及境界线以外地表移动变形情况的全面监测；
 - 1) 监测点设计应根据地形通视条件，设置在地质构造复杂、地下水源丰富、边坡角大的区段和主要运输干线上；
 - 2) 监测点数量以控制住区域变形为宜；
 - 3) 监测周期应根据各采区采掘推进速度和季节等条件变化确定。
- b) II 级监测是在 I 级监测的基础上对初步探测出的不稳定区段进行重点监测。II 级监测应掌握不稳定区的边界范围、位移量和移动速度大小，并根据监测期移动速率变化，结合地质构造赋存状态分析其发展趋势，确定监测频率和周期。II 级监测点设计应考虑下列因素：
 - 1) 监测点及剖面应根据地质采矿条件和滑区范围确定。一般情况下，沿着预测滑动方向设计监测剖面，观测点间距离应根据露天煤矿坑深度、帮坡高度和平盘宽度确定；
 - 2) 境界外有重要工业设施和设备的地表应专门设线定期监测。监测点应沿平行边坡走向和垂直边坡走向布设成网格状。监测网由控制点和监测点组成，如图 2 所示；

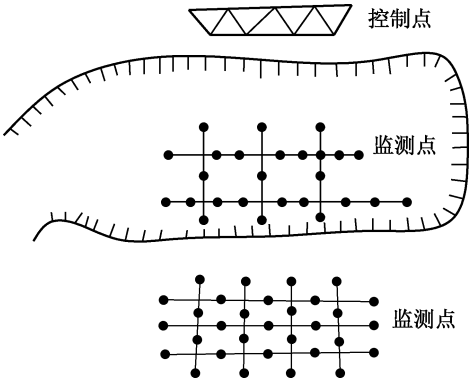


图 2 监测点的布设

- 3) 根据需要采用遥测方法进行监测。如选用边坡稳定性监测雷达实现实时连续自动遥测，并实现预警预报边坡变形破坏与滑坡。
- c) III 级监测是对 II 级监测中变形量较大，有可能发生破坏性滑动的边坡体进行实时监测。III 级监测宜用红外测距仪、地面位移伸长计、边坡雷达等仪器装备。

5.2.3 边坡地表位移监测点的结构与埋设技术要求：

- a) 监测点的结构可采用以下两类：一类是混凝土预制件或浇注式；另一类是钢管式，埋设时需要用混凝土浇灌；
- b) 埋设深度根据当地气候条件而定。在非冻土地区，测点的埋设深度不应小于 0.6 m。在冻土地区，测点的埋设深度一般应在冻结线 0.5 m 以下。当地表至冻结线 0.5 m 内有含水层时，一般应采用钢管式测点。埋设的测点应便于观测和保存。

5.2.4 边坡岩体地表位移监测应根据边坡变形状况对平面点位和高程同时进行监测：

- a) 平面点位测量方法主要有角交会法、边交会法、导线测量法、边角交会法；
- b) 高程测量方法主要有几何水准测量法、三角高程测量法、地面倾斜仪测量法。

5.2.5 地表位移监测主要仪器：

- a) 水准仪；
- b) GNSS 系统；
- c) 全站仪；
- d) 电磁波测距仪；
- e) 位移伸长计、沉降仪；
- f) 边坡雷达；
- g) 摄影测量；
- h) 测量机器人。

5.3 边坡岩体地下位移监测

5.3.1 地下位移监测通过钻探方式实现，钻孔应穿过不稳定岩层钻至稳定地层，结合边坡地下位移的具体情况选择测试仪器。

5.3.2 地下位移监测主要仪器：

- a) 钻孔测斜仪；
- b) 应变式位移传感器；
- c) 钻孔伸长计；
- d) 倒置摆；
- e) 沉降仪。

5.4 边坡岩体位移遥测系统

5.4.1 对边坡岩体位移进行遥测，应建立遥测站、分站及主测站。遥测站位于露天煤矿采场内，分站位于距各遥测站不远的集中点，一个分站可以管理较集中的若干遥测站，主测站则位于全矿的控制中心。

5.4.2 露天煤矿边坡监测的遥测系统通常由传感元件、信号调节、调制、信号传输、数据处理、显示和存储等部分组成。

5.4.3 遥测系统应实现计算机化，采用微机处理、存储数据探索 and 显示异常编写修改程序，检测遥测站传感器工作情况。当边坡出现险情时，计算机通过带接口装置的继电器可接通报警装置发出报警信号。

5.4.4 对于大型、特大型露天煤矿高陡岩石边坡或不稳定边坡，应选用移动式的边坡雷达进行非接触式无线遥测，位移测量精度可达 ± 0.1 mm，测量距离为 2 800 m~4 000 m。实现实时位移显示和监测，自动触发报警实现滑坡预报。

5.5 边坡岩移监测数据处理分析

5.5.1 地表位移监测数据处理分析

5.5.1.1 按照 GB 50026 规定进行数据处理分析，包括变形量或位移量计算、监测点移动、边坡岩体移

- 动、高程点位移动与否判别及开采境界外地表下沉分析、变形分析等。
- 5.5.1.2 监测点的移动分析应绘制走向位移变化曲线、倾向位移变化曲线。依据剖面上各个测点移动向量的矢量方向,推断该剖面上边坡岩体的滑动变形模式和近似的滑面形状。
- 5.5.1.3 监测点水平变形分析应遵循下列原则:
- a) 根据同一剖面上各个监测点之间的水平变形值,分析边坡岩体将产生滑动性破坏的起始位置、拉伸变形最大值点以及滑体切出位置;
 - b) 根据水平变形值分析和判断边坡体滑坡模式及滑面是否形成;
 - c) 根据水平变形值与时间的函数关系,进行滑动变形预测预报。
- 5.5.1.4 地表位移监测的各种参量计算及绘图工作应全部计算机化,程序框图如图 3 所示。

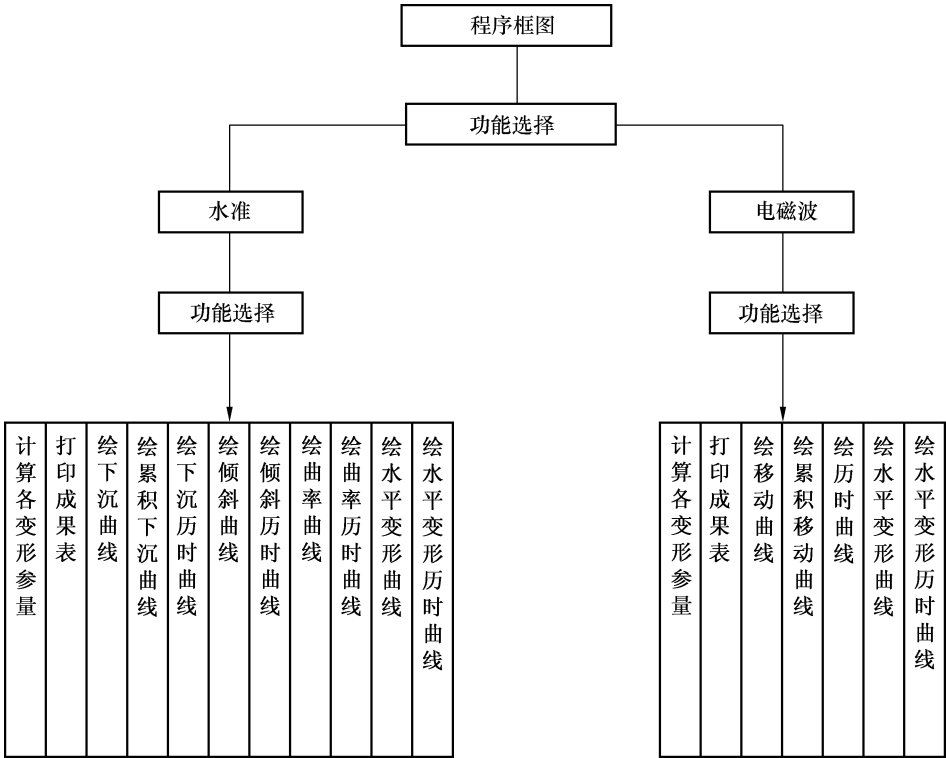


图 3 地表位移监测数据分析程序框图

5.5.2 地下位移监测数据处理分析

5.5.2.1 移动式测斜仪数据处理软件系统

移动式测斜仪数据处理软件系统以 PSH 型双向伺服加速度计式测斜仪为主,并兼容 MK3、SIN-CO-1000、BC 应变式等类型测斜仪。移动式钻孔测斜仪监测数据的计算处理程序归纳为:

- a) 采用式(1)、式(2)求某测试段的 X、Y 向的偏位值:
- $$X_{ij} = 1/2[(X_i^+) _j - (X_i^-) _j]$$

.....(1)
- $$Y_{ij} = 1/2[(Y_i^+) _j - (Y_i^-) _j]$$

.....(2)
- b) 采用式(3)、式(4)求某一高程相对于孔底或不动点的相对水平位移量:
- $$X_{nj} = \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

.....(3)
- $$Y_{nj} = \sum_{i=1}^n Y_{ij}$$

.....(4)
- c) 采用式(5)、式(6)求等高程的实际水平位移量:

$$\Delta X_{nj} = X_{nj} - X_{n1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta Y_{nj} = Y_{nj} - Y_{n1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

X_{ij} ——测试导槽管 X 方向偏移量，按实例方向分别取正负；

Y_{ij} ——测试导槽管 Y 方向偏移量，按实例方向分别取正负；

i ——测点数；

j ——监测的次第数；

X_{n1} ——测试导槽管 X 方向初始位移量；

Y_{n1} ——测试导槽管 Y 方向初始位移量。

d) 采用式(7)、式(8)求某一高程最大位移的方位角和位移量：

$$S_{ij} = (\Delta X_{nj}^2 + \Delta Y_{nj}^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$B_{ij} = T_{ij} + \tan(\Delta X_{nj} / \Delta Y_{nj}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

S_{ij} ——最大位移量；

B_{ij} ——最大位移方位角；

i ——测点数；

j ——监测的次第数。

移动式钻孔测斜仪数据处理分析软件程序如图 4 所示。

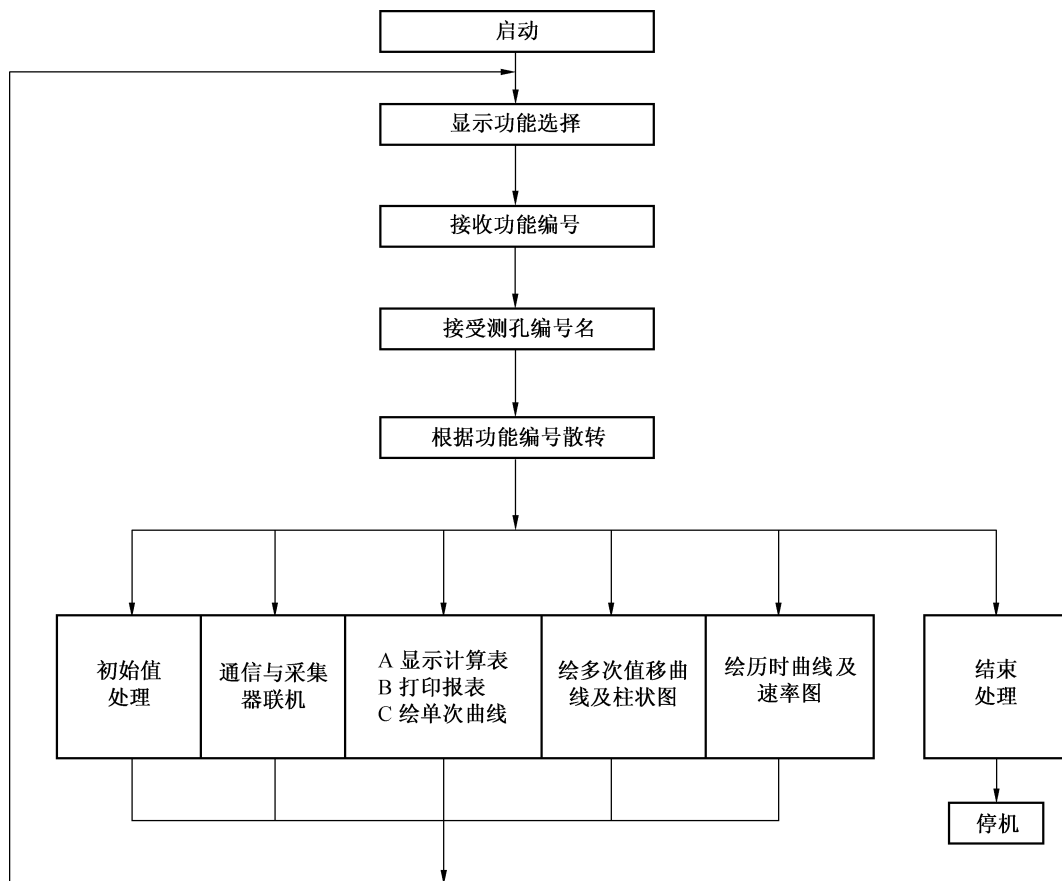


图 4 移动式钻孔测斜仪数据处理软件程序图

5.5.2.2 智能测录仪

采用智能测斜仪实现数据监测、采集、存储、处理、传输全过程自动化。智能测录仪与 PSH 双向伺服加速度计式钻孔测斜仪相配套,完成现场监测数据的采集、转换、存储记录功能,并在监测中心站内与上位机联机通信,把记录信息传输到计算机系统,进行数据处理。

5.5.3 边坡岩移监测成果

5.5.3.1 边坡岩移监测应有每次监测原始记录,并及时进行监测数据计算和整理。

5.5.3.2 边坡岩移监测成果主要是监测地表、地下位移或位移速度与时间的关系。每次监测后应及时对监测数据进行分析,绘制时程曲线,并及时报送有关部门,情况紧急时应做出临灾预报。

5.5.3.3 监测工作完成一个阶段后应及时编写、提交报告。监测报告包括监测分析总结、监测点位布置图、观测成果表、位移矢量图、变化时程曲线、监测仪器检定资料及其他必要的附图附件。

附件格式和形式参见附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附录 J。

附 录 A
(资料性附录)
钻孔原始记录表

表 A.1 给出钻孔原始记录表的内容和形式。

表 A.1 钻孔原始记录表

项目(矿区)名称					工程编号				第 页		
层号	起		止		分层	分层	换层	分层	岩矿石 名称	地质描述	备注
	回次号	岩芯长 m	回次号	岩芯长 m	采取率 %	进尺 m	孔深 m	真厚度 m			
记录人					日期				检查人		日期

附 录 B

(资料性附录)

工程地质勘查孔位及工作量统计表

表 B.1 给出工程地质勘查孔位及工作量统计表参考形式。

表 B.1 工程地质勘查孔位及工作量统计表

孔号	孔口坐标			钻探量 m				备注
	X	Y	Z	排弃物	黄土	基岩	合计	
总计	总进尺：							

附 录 C
(资料性附录)
钻孔柱状图

图 C.1 给出工程地质钻孔综合柱状图参考形式。

钻孔编号				终孔深度				钻孔位置			
开孔日期				初见水位				孔口坐标			
终孔日期				终孔水位				钻探单位			
层次	地质年代	层厚	孔深	图例	名称	地质描述		取样深度	备注		
						性状					

记录

制图

审核

图名

图 C.1 工程地质钻孔综合柱状图

附 录 D
(资料性附录)
地 质 剖 面 图

图 D. 1 给出地质剖面图参考形式。

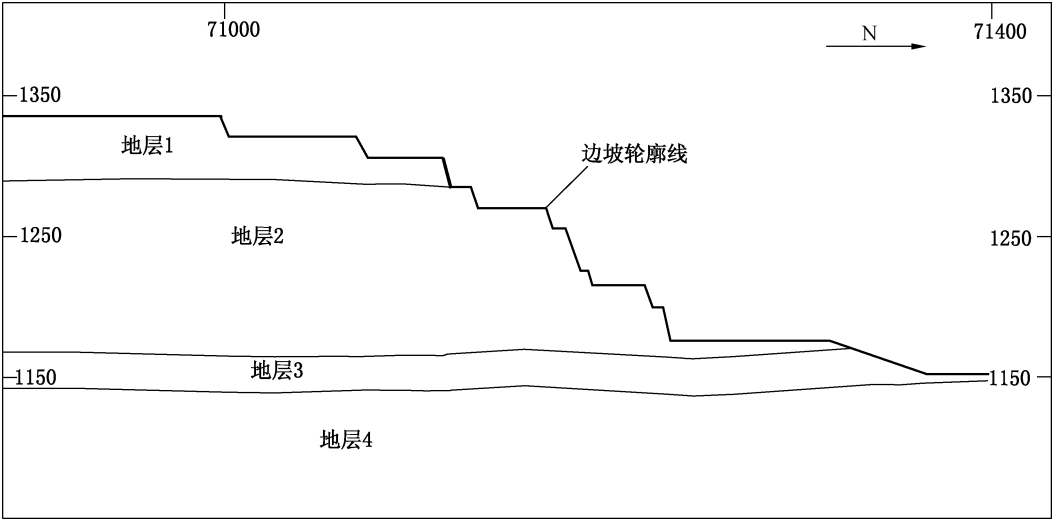


图 D. 1 地质剖面图

附 录 E
(资料性附录)
岩石力学试验成果统计表

表 E.1 为岩石力学试验成果统计表的形式要求。

表 E.1 岩石力学试验成果统计表

序号	岩石名称	抗剪强度		含水量 W %	密度 ρ g/cm ³	比重 γ	抗压强度 p MPa	变性参数		点荷载强度 I_s MPa	液限 W_L %	塑限 W_p %	备注
		凝聚力 c kPa	内摩擦角 ϕ (°)					弹性模量 E MPa	泊松比 μ				

附 录 F
(资料性附录)
滑动平衡原理

滑动平衡原理的基本假设条件及力学原理如下：

- a) 将整个滑体或其局部假设为刚性体,即不考虑其变形,只考虑滑体沿滑面的位移;
- b) 边坡滑动是剪切变形,岩体的强度条件遵守莫尔—库仑定律,即 $\tau = \sigma \tan \varphi + c$ 。式中 τ 及 σ 为作用于滑面的剪应力及正应力, c 及 φ 为滑面的抗剪强度指标,即凝聚力及内摩擦角。岩体的抗拉强度一般忽略不计;
- c) 滑体在滑面上的平衡条件,采用滑块原理,应符合式(F. 1)和图 F. 1。

$$W + T + N = 0 \quad \dots\dots\dots (F. 1)$$

式中:

W ——滑块重力;
 T ——摩擦阻力;
 N ——基岩反作用力。

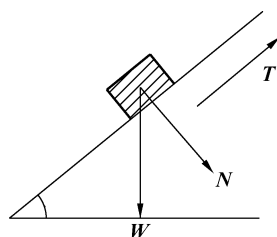


图 F. 1 滑动平衡原理

建立滑体的平衡条件有以下三种方法：

- a) 整体极限平衡法,即按整个滑体建立平衡方程。多用于规则形状的滑体,如平面滑面及圆弧滑面等;
- b) 条带平衡法,即将滑体分为一定宽度的条带,逐条建立平衡条件,而后再叠加,得出整体稳定条件。此法用于不规则形态的滑体;
- c) 极限应力法,即边坡一定区域内各质点的应力均满足极限平衡条件,按此原则设计边坡。

附 录 G
(资料性附录)
刚体极限平衡法分析

G.1 圆弧滑动法

滑坡具有圆弧形滑动面,稳定系数可按式(G.1)~式(G.7)计算:

$$F_s = \sum R_i / \sum T_i \quad \text{..... (G. 1)}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad \text{..... (G. 2)}$$

$$T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \quad \text{..... (G. 3)}$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \quad \text{..... (G. 4)}$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i \quad \text{..... (G. 5)}$$

$$P_{wi} = \gamma_{wi} V_{id} \quad \text{..... (G. 6)}$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad \text{..... (G. 7)}$$

式中:

F_s ——边坡稳定系数;

R_i ——滑坡体抗滑力,单位为千牛每米(kN/m);

T_i ——滑坡体下滑力,单位为千牛每米(kN/m);

N_i ——滑坡体在滑动面法线上的反作用力,单位为千牛每米(kN/m);

c_i ——滑面凝聚力标准值,单位为千帕(kPa);

φ_i ——滑带土的内摩擦角标准值,单位为度(°);

l_i ——滑动面长度,单位为米(m);

α_i ——滑坡体地下水流线平均倾角,取浸润线倾角与滑面倾角平均值,单位为度(°);

W_i ——滑坡体自重与建筑等地面荷载之和,单位为千牛每米(kN/m);

P_{wi} ——滑坡体单位宽度的渗透压力,作用方向为 α_i 方向,单位为千牛每米(kN/m);

V_{iu} ——滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以上体积,单位为立方米每米(m³/m);

V_{id} ——滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以下体积,单位为立方米每米(m³/m);

F_i ——滑坡体所受地面荷载,单位为千牛(kN);

θ_i ——滑面倾角,单位为度(°)。

G.2 平面滑动法

采用平面滑动法时,滑坡稳定性按以下规定计算:

a) 对土质滑坡和岩体破碎的岩质滑坡,按式(G.8)~式(G.13)计算:

$$F_s = R/T \quad \text{..... (G. 8)}$$

$$R = N \tan \varphi + c l \quad \text{..... (G. 9)}$$

$$T = W \sin \theta + P_w \cos(\alpha - \theta) \quad \text{..... (G. 10)}$$

$$N = W \cos \theta + P_w \sin(\alpha - \theta) \quad \text{..... (G. 11)}$$

$$W = V_u \gamma + V_d \gamma' + F \quad \text{..... (G. 12)}$$

$$P_w = \gamma_{wi} V_d \quad \text{..... (G. 13)}$$

b) 对岩体完整或比较完整的岩质滑坡,按式(G. 8)、式(G. 9)、式(G. 14)、式(G. 18)计算:

$$T=W\sin\theta+V\cos\theta \quad \dots\dots\dots(\text{G. 14})$$

$$N=W\cos\theta-V\sin\theta-U \quad \dots\dots\dots(\text{G. 15})$$

$$W=V_u\gamma+V_d\gamma_{\text{sat}}+F \quad \dots\dots\dots(\text{G. 16})$$

$$V=\gamma_w h_w^2/2 \quad \dots\dots\dots(\text{G. 17})$$

$$V=\gamma_w l h_w/2 \quad \dots\dots\dots(\text{G. 18})$$

式中:

V ——后缘裂隙水压力,单位为千牛每米(kN/m);

U ——滑面水压力,单位为千牛每米(kN/m);

h_w ——裂隙充水高度,单位为米(m)。

G. 3 折线滑动法

折线滑动法计算应符合图 G. 1,采用式(G. 19)~式(G. 28)计算:

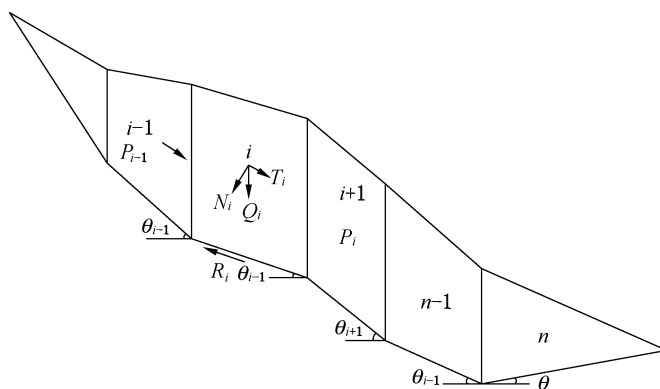


图 G. 1 折线滑动法计算说明图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + T_n} \quad \dots\dots\dots(\text{G. 19})$$

$$\Psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - sGn(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan\varphi_{i+1} \quad \dots\dots\dots(\text{G. 20})$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j = \Psi_i \cdot \Psi_{i+1} \cdot \Psi_{i+2} \cdots \Psi_{n-1} \quad \dots\dots\dots(\text{G. 21})$$

$$R_i = N_i \tan\varphi_i + c_i l_i \quad \dots\dots\dots(\text{G. 22})$$

$$T_i = W_i sGn\theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \quad \dots\dots\dots(\text{G. 23})$$

$$N_i = W_i \cos\theta_i + P_{wi} sGn(\alpha_i - \theta_i) \quad \dots\dots\dots(\text{G. 24})$$

$$W_i = V_{iu}\gamma + V_{id}\gamma' + F_i \quad \dots\dots\dots(\text{G. 25})$$

$$P_{wi} = \gamma_w V_{id} \quad \dots\dots\dots(\text{G. 26})$$

$$i = sGn | \alpha_i | \quad \dots\dots\dots(\text{G. 27})$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad \dots\dots\dots(\text{G. 28})$$

式中:

F_s ——边坡稳定系数;

Ψ_j ——传递系数;

R_i ——第 i 计算条块滑坡体抗滑力,单位为千牛每米(kN/m);

- T_i ——第 i 计算条块滑坡体下滑力,单位为千牛每米(kN/m);
 N_i ——第 i 计算条块滑坡体在滑动面法线上的反作用力,单位为千牛每米(kN/m);
 c_i ——第 i 计算条块滑动面上岩土体的凝结强度标准值,单位为千帕(kPa);
 φ_i ——第 i 计算条块滑带土的内摩擦角标准值,单位为度($^{\circ}$);
 l_i ——第 i 计算条块滑动面长度,单位为米(m);
 α_i ——第 i 计算条块滑坡体地下水流线平均倾角,一般情况下取浸润线倾角与滑面倾角平均值,反倾时取负值,单位为度($^{\circ}$);
 W_i ——第 i 计算条块滑坡体自重与建筑等地面荷载之和,单位为千牛每米(kN/m);
 θ_i ——第 i 计算条块滑面倾角,反倾时取负值,单位为度($^{\circ}$);
 P_{wi} ——第 i 计算条块滑坡体单位宽度的渗透压力,作用方向为 α_i 方向,单位为千牛每米(kN/m);
 i ——地下水渗透坡降;
 γ_w ——水的容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);
 V_{iu} ——滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以上体积,单位为立方米每米(m³/m);
 V_{id} ——滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以下体积,单位为立方米每米(m³/m);
 γ ——岩土体的天然容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);
 γ' ——岩土体的浮容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);
 γ_{sat} ——岩土体的饱和容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);
 F_i ——第 i 计算条块滑坡体所受地面荷载,单位为千牛(kN)。

附录 H

(资料性附录)

边坡稳定系数 F_s

边坡稳定性系数的计算,通常要考虑原始地形对边坡开挖的影响,因此各单元的应力要计算两次,具体过程为:

- 1) 计算开挖前自然剖面在岩体自重作用下引起的初应力场;
- 2) 利用求挖去部分的边界单元初应力场,求出挖去部分的岩石对于开挖边界的作用力,并以该力为边界力,容重为零,再解一次弹性问题,得到单元的应力,根据叠加原理总应力为:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 \quad \dots\dots\dots (\text{H. 1})$$

- 3) 据单元的 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} 值,采用式(H. 2)和式(H. 3)计算某个单元的最大、最小主应力 σ_1 、 σ_2 及主应力方向值,并绘制应力等值线图。

$$\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots (\text{H. 2})$$

$$\tan 2\theta = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y) \quad \dots\dots\dots (\text{H. 3})$$

- 4) 两种计算 F_s 的方法:

第一种:按各单元的 σ_1 、 σ_2 及给定的 c 、 φ 值,用式(H. 4)计算各单元的 F_s 系数:

$$F_s = \frac{\sqrt{(c + \sigma_1 \tan \varphi)(c + \sigma_2 \tan \varphi)}}{(\sigma_1 - \sigma_2)/2} \quad \dots\dots\dots (\text{H. 4})$$

在边坡内部做出 F_s 的等值线图,此法的缺点是不能按特定的潜在滑动面计算 F_s 系数,也无法与极限平衡法比较。

第二种:按潜在面上的有关单元的 σ_1 、 σ_2 及 θ 值,用式(H. 5)~式(H. 8)计算该面上各分段的 σ_n 、 τ_n 值:

$$\sigma_n = \sigma_x \cos^2 \varphi + \sigma_y \sin^2 \varphi + \tau_{xy} \sin 2\varphi \quad \dots\dots\dots (\text{H. 5})$$

$$\tau_n = (\sigma_x - \sigma_y)/2 \cdot \sin 2\varphi + \tau_{xy} \cos 2\varphi \quad \dots\dots\dots (\text{H. 6})$$

式中:

φ ——潜在滑动面与 x 轴的夹角,应符合图 H. 1 所示。

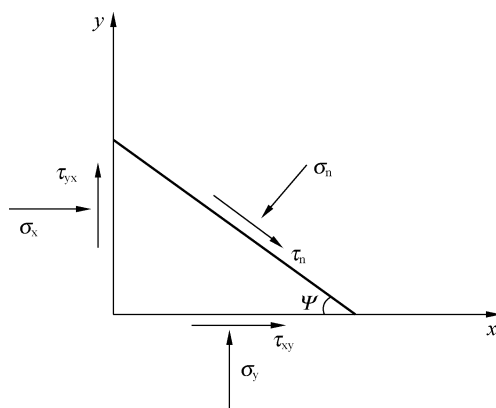


图 H. 1 潜在滑动面与 x 轴的夹角

当 $\sigma_x = \sigma_1$ 、 $\sigma_y = \sigma_2$ 时:

$$\sigma_n = \sigma_1^2 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi \quad \dots\dots\dots (\text{H. 7})$$

$$\tau_n = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \varphi \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (\text{H. 8})$$

由于总体滑动面上 l 上的安全系数等于各分段面 dl 上抗剪强度与剪应力之和的比,用式(H. 9)计算 F_s 系数:

$$F_s = \frac{\int_0^1 f \sigma_n dl + \int_0^1 c dl}{\int_0^1 \tau dl} \quad \dots\dots\dots (\text{H. 9})$$

附 录 I
(资料性附录)

边坡岩体地表位移监测成果曲线(示例)

边坡岩体地表位移监测成果曲线为测点位移历时曲线与测点位移速度历时曲线。
图 I. 1 所示为边坡岩体地表位移监测成果曲线示例。

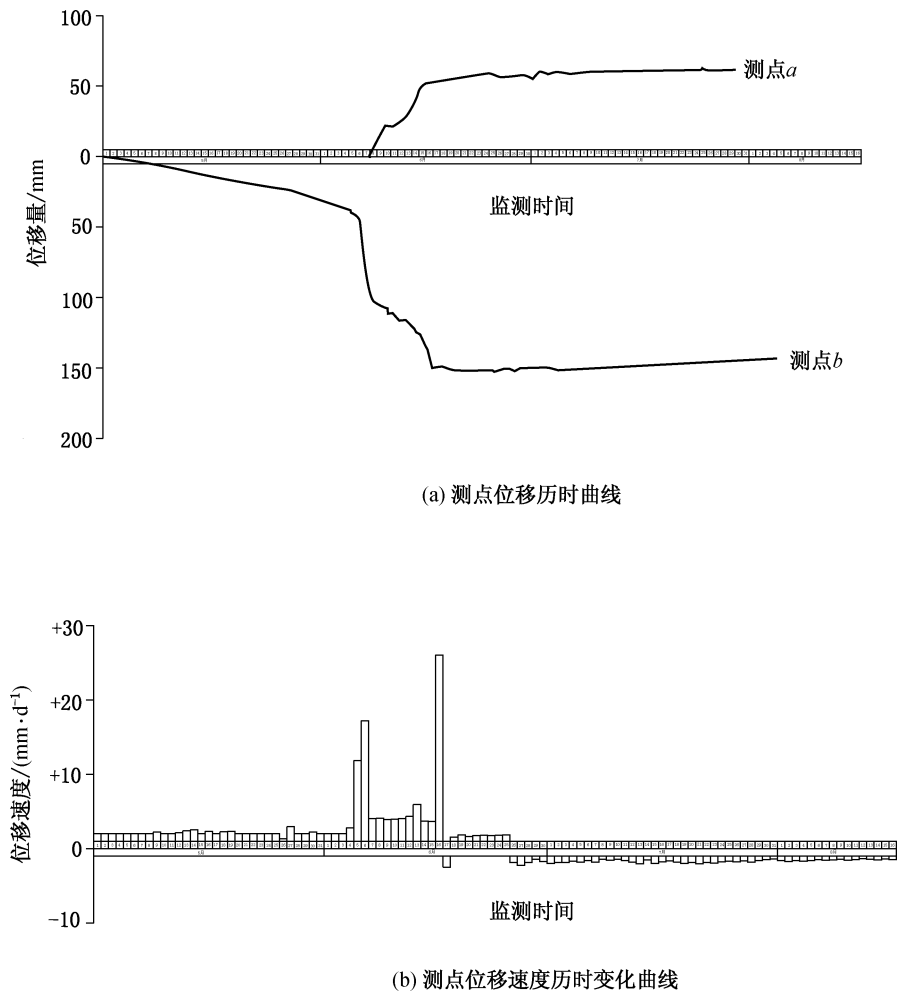


图 I. 1 边坡岩体地表位移监测成果曲线

图 I. 2 所示为边坡岩体水平位移监测成果曲线示例。

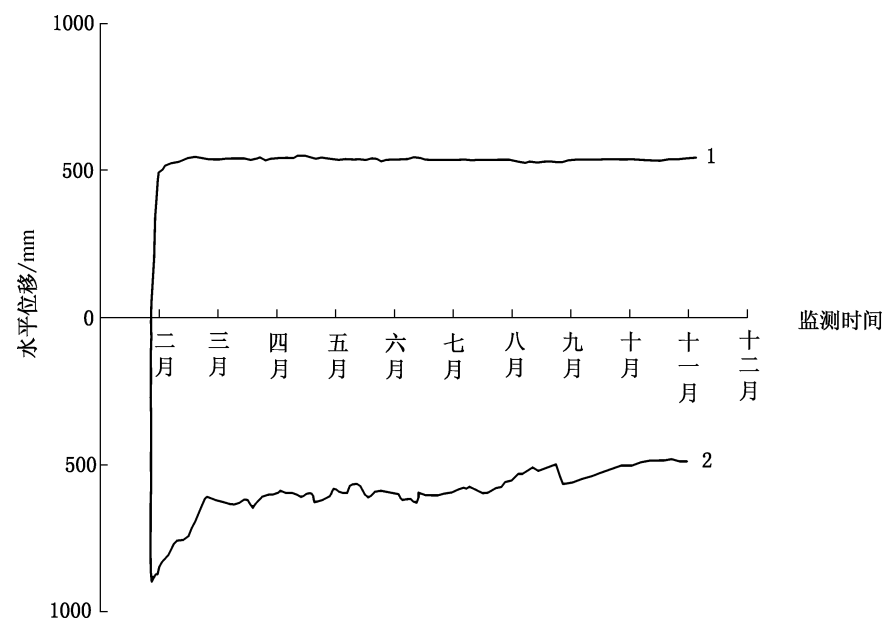


图 1.2 边坡岩体水平位移历时曲线

附 录 J
(资料性附录)
边坡岩体地下位移监测成果曲线(示例)

图 J. 1 所示为边坡岩体钻孔地下位移监测成果曲线示例。

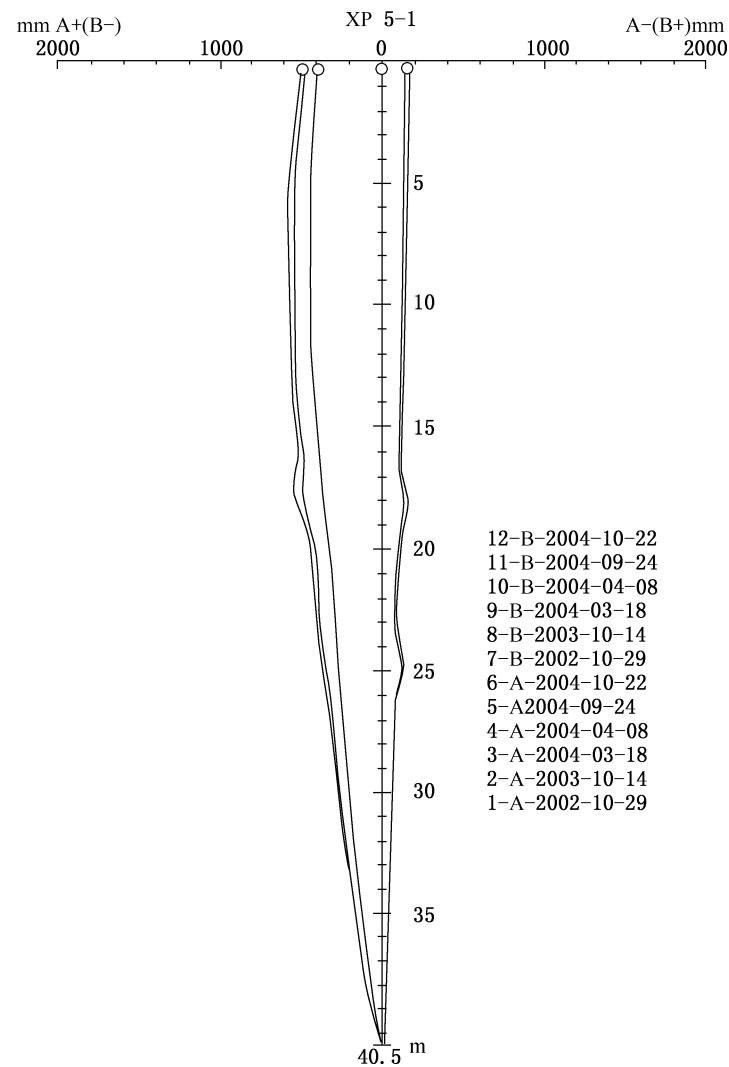


图 J. 1 边坡岩体钻孔地下位移曲线

中 华 人 民 共 和 国 煤 炭
行 业 标 准
露天矿边坡稳定性分析及
岩移监测方法
MT/T 1183—2020

*
应急管理出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京建宏印刷有限公司 印刷
全国新华书店 经销

MT/T 1183—2020

*
开本 880mm×1230mm 1/16 印张 2
字数 48 千字
2020 年 11 月第 1 版 2020 年 11 月第 1 次印刷
15 5020 • 1545

社内编号 20201511 定价 30.00 元
版权所有 违者必究
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换