



中华人民共和国国家标准

GB/T 37697—2019

露天煤矿边坡变形监测技术规范

Technical specification for slope deformation monitoring of open pit mine

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

5 边坡变形监测技术 4

6 边坡监测成果分析 6

7 边坡监测成果应用 7

附录 A（资料性附录） 地表位移监测成果分析内容 8

附录 B（资料性附录） 边坡岩体地下位移监测成果分析及曲线 11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国煤炭工业协会提出并归口。

本标准起草单位：煤炭科学技术研究院有限公司、神华准格尔能源有限责任公司、云南省小龙潭矿务局、呼伦贝尔东明矿业有限责任公司、云南煤化工集团有限公司、云南先锋煤业开发有限公司、辽宁工程技术大学。

本标准主要起草人：李凤明、李伟、马明、张勇、刘玉凤、丁鑫品、李绍臣、芮昌龙、汪云川、曹兰柱、白润才、王振伟、周游、钟晓勇、王泽强、张镭、尚国安、艾畅、陈路良、古玉葵、周永利、赵汝辉、李正胜、曹芳智、刘博文、王维、闫杰、左岩、罗霄、魏真、张忠超、王俊、王志鹏、张鹏。

引 言

露天煤矿边坡变形监测是确保露天煤矿安全、高效、绿色生产,实现边坡变形、滑坡预警预报的重要技术组成部分。为进一步规范露天煤矿边坡监测工作,全面体现安全第一、预防为主、综合治理的思想,实现对滑坡危险的超前预控,以预防滑坡事故的发生造成巨大损失,特制定本标准。

露天煤矿边坡变形监测技术规范

1 范围

本标准规定了露天煤矿边坡变形监测的术语和定义、监测技术、设备、方法及布设原则、成果分析与应用。

本标准适用于露天煤矿采场边坡及排土场边坡岩土体的变形监测、滑坡预警与预报、检验边坡变形与滑坡防治措施的效果。

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 50026 工程测量规范
- GB 50197 煤炭工业露天矿设计规范
- GB 51214 煤炭工业露天矿边坡工程监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

露天采场 open-pit
具有完整的生产系统,进行露天开采的场所。

3.2

边坡 slope
岩、土体在自然作用或人为作用下形成的斜坡。

3.3

滑坡 slope slide
边坡上的岩土体沿地质弱面发生破坏向下运动的现象。

3.4

露井联采 open and underground mining
在同一区域或对相同煤层,采用露天和井工两种开采方法开采的模式。

3.5

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。

3.6

监测网 monitoring network
为监测边坡体的变形,由基准点和工作基点组成的专用测量控制网。

3.7

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。

3.8

基准点 datum point

在变形监测中,作为测定工作基点和监测点依据的稳定可靠点。

3.9

监测点 monitoring point

设置在边坡上能反映变形特征的工作基点。

3.10

监测周期 monitoring period

对监测点进行监测时,相邻两次监测的时间间隔。

3.11

近景摄影法 close-range photogrammetry method

通过摄影测量的方法,对近距离目标摄影以确定其外形、形态和几何位置的测量技术。

3.12

变形分析 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作出变形预报等工作的总称。

3.13

阈值 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。

4 一般要求

4.1 监测内容

边坡变形监测主要包括边坡岩土体地表位移监测、地下位移监测、裂缝监测等,当边坡变形受外界环境影响严重时,宜辅以相关环境监测,监测内容见表 1。

表 1 常见监测内容

序号	监测项目	监测内容/目的
1	裂缝监测	地表裂缝
2	位移监测	地表位移、地下(深部)位移
3	滑面监测	确定滑面
4	地表水监测	河、湖、水库水位
5	地下水监测	钻孔、井水位、泉水流量、孔隙水压力
6	应力监测	内部应力
7	声发射监测	岩石破裂
8	宏观变形迹象监测	裂缝扩展、建筑物变形、动物异常等各种异常现象

4.2 监测方案设计

监测方法、监测网和监测点的技术设计,应根据露天煤矿具体情况,并搜集与变形监测有关的测绘、地质、设计、气象等资料,根据相关资料或边坡稳定评价结果,进行监测网和监测点的方案设计。

4.3 边坡变形监测要求

4.3.1 露天煤矿应结合矿区大地测量基本控制网,设置变形监控站,大中型露天煤矿应建立长期性的边坡岩体地表变形监测线(网),以观测边坡变形状况,确定边坡不稳定区段。

4.3.2 对地质条件复杂的采场、排土场及可能发生滑坡等灾害的区段边坡宜采用地表、地下联合监测的方式进行观测。采用地表位移监测确定失稳边坡边界及变形方向、速率,采用地下位移监测确定不稳定带(滑带)深度、滑面位置、形态及滑坡体移动方向、速度,确定滑坡的规模,建立边坡监测预警与滑坡预报系统。

4.3.3 对露天煤矿建设、生产、终采过程中突然发生或将要发生边坡失稳破坏与滑坡的重要边坡,宜采用红外测距仪、地面位移伸长计、边坡监测雷达、卫星定位系统等仪器装备,进行连续、自动化、临滑监测、跟踪,实现滑坡预警预报。

4.3.4 水平位移、垂直位移监测网和监测点的精度应符合 GB 51214 的要求。

4.3.5 监测网参考系的选择,应根据监测网点的稳定情况确定。参考系的建立应符合下列要求:

- a) 当监测网点布置在地质条件较好的地区,点的稳定情况良好,或虽有位移,但其位移值相对于监测点位移监测值中的误差很小时,应选择其中最稳定的点作为起算点,建立固定参考系;
- b) 当一部分监测网点相对于另一部分是稳定时,应建立拟稳参考系;
- c) 当监测网点全部位于不稳定地区,且不稳定程度基本相同时,应建立重心参考系。

4.3.6 监测网的平差计算方法应与所建立的参考系相适应,并应符合下列要求:

- a) 当采用固定参考系时,应采用非秩亏网严密平差方法计算,每次计算要求使用相同的起算数据;
- b) 当采用拟稳参考系时,应采用拟稳平差方法计算,每次计算要求使用相同的拟稳点和相同的近似值;
- c) 当采用重心参考系时,应采用秩亏网平差方法计算,每次计算要求采用相同的点和相同的近似值。

4.3.7 监测网和监测点每次复测后,均应进行监测网、点的稳定性校验,若建立的参考系不符合监测网、点的稳定情况时,应重新选择参考系,并使用原监测数据重新平差计算监测网、点的稳定性。

4.3.8 露天煤矿临时边坡,可采用人工监测法;露天煤矿永久边坡,在地质条件较好、外界扰动较少的地段,可采用简易监测法进行人工监测;在地质条件一般、外界扰动较大的地段,宜采用设站监测、仪表监测;在地质条件较差、外界扰动大的地段,应采用远程自动监测结合人工监测,对边坡进行实时监测,及时预警。

4.3.9 已确定的监测点、监测线应测量并展绘到相应的图纸上。

监测点的监测周期,应根据监测体的变形范围、变形速率、监测精度、设施布置情况和工程地质条件等因素综合确定,宜以日、月、季度、年为周期进行监测;监测期间,应根据变形量的变化情况适当调整,当遇到下列情况之一时,应加大监测频率:

- a) 变形速率突然增大;
- b) 暴雨或持续降雨;
- c) 大药量爆破;
- d) 解冻期。

4.3.10 各期的变形监测,应满足下列要求:

- a) 采用相同的监测方法；
- b) 使用同一型号的仪器和设备；
- c) 记录相关的环境因素,包括温度、降水、水位等；
- d) 采用统一基准处理数据。

4.3.11 监测期间,应做好监测网或监测点的维护工作,当发生破坏时,应及时修复,并保持修复前后监测数据的连续性。若破坏点无法修复时,应新增监测点。

4.3.12 边坡变形监测分类及实施:

- a) 专门性、长期监测
滑坡规模大、无法治理的巨型滑坡,或受威胁对象重要,需要建立监测网,监测内容全面。
- b) 施工期边坡监测
实施治理工程的边坡,监测内容以裂缝和地表位移监测为主。边坡和滑坡监测区产生的地表裂缝监测,应符合下列要求:
 - 1) 裂缝应分条进行编号;
 - 2) 每条裂缝的起始端、拐点应在图中明确标记,设置监测点监测裂缝扩张情况,并采用表格进行记录;
 - 3) 裂缝的监测频率,视裂缝的发育情况而定,如采用人工监测手段,宜不小于1次/周,当裂缝变形速率增大时,应加大监测频率;
 - 4) 裂缝的位置、形状、宽度及其发展情况应及时测绘到监测点平面布置图上。
- c) 治理效果监测
实施治理工程的滑坡,监测内容以滑坡和治理工程的地表位移监测为主,针对滑坡治理工程等级,适时增加深部位移内容。

5 边坡变形监测技术

5.1 边坡变形监测点的布设

5.1.1 边坡变形监测范围包括露天矿采场、排土场及最终境界线之外地表的一定范围,监测点应布设在变形体和受其影响的地段,包括但不限于下列情况:

- a) 地质不良段;
- b) 受地下水、地表水影响较大的地段;
- c) 场地内有重要建筑物、构筑物 and 运输枢纽区的地段;
- d) 受爆破影响严重的地段;
- e) 露井联采区域相关地段;
- f) 坡体下方具有采空区的地段;
- g) 有滑动迹象或正在进行滑坡治理的地段;
- h) 边坡评价欠稳定的地段。

5.1.2 基准点应布设在监测区外的稳定地段,数量宜以保证监测手段精度确定。

5.1.3 应沿边坡潜在的滑动方向或已发生的滑动方向和垂直滑动方向布设监测线,各监测线宜平行或正交,或成辐射线状;对主滑方向和滑动范围不明确的滑坡,监测网宜布设成放射形;在监测的边坡段和滑坡区域,至少应在其中部以及两侧边缘布设3条监测线,监测点应布设至滑动影响范围外一定距离,监测线间的距离根据现场实际情况确定,应相对均匀覆盖滑坡体范围。

5.1.4 监测点的间距应根据矿坑深度、台阶高度、平盘宽度、监测设备类型及监测范围确定。一般以50 m~100 m为宜,但每条监测线上不应少于3个监测点,台阶平盘上监测点的布置应考虑测量方便和

监测人员的安全。

5.1.5 地表变形监测点,宜采用有强制对中装置的墩标,困难地段也应设立固定照准标志。

5.2 边坡变形监测方法及设备

5.2.1 总则

监测方法与设备应根据监测对象、监测范围的具体特点确定。边坡监测手段主要分为简易监测法、设站监测法、仪表监测法、远程监测法。边坡监测方法主要分为裂缝监测、地表变形监测、地下变形监测以及影响因素相关的环境监测等。

5.2.2 裂缝监测

位置:滑坡后缘裂缝;

方法:简易裂缝监测桩直接测量、机械仪表测量、电子仪表测量;

常用仪器:钢尺、游标卡尺、测缝计、位移计(单点、多点)、伸缩计、收敛计。

5.2.3 地面(垂直、水平)位移监测

位置:滑坡表面关键点(监测点网格点、滑坡边界点)、滑坡前后缘外围稳定点呈网状分布;

方法:地面倾斜测量、大地测量方法、近景摄影、遥感技术、卫星定位技术、雷达监测、电测法、光纤测量、激光扫描等;

常用仪器:水准管、测斜仪、精密经纬仪、水准仪、全站仪、激光测距仪、测地机器人、陆地摄影、航空摄影、卫星定位系统、真实孔径雷达、合成孔径雷达、三维激光扫描仪、BOTDR 监测仪。

5.2.4 地下(深部)位移和滑面监测

位置:钻孔、竖井、平硐等滑坡断面、滑带(面);

方法:钻孔倾斜仪法、竖井测斜法、水平空测缝法、硐室测缝法、重锤法、沉降法、BOTDR、应变测量法等;

常用仪器:钻孔倾斜仪、BOTDR 测量仪、多点倒垂仪、位错计、多点位移计、井壁位移计、位移计、收敛计、伸缩仪、重锤、水平位错计、应变计。

5.2.5 应力监测

位置:滑坡内部;

内容:地应力监测、锚索应力监测、推力监测;

常用仪器:各种类型压力仪。

5.2.6 地下水、地表水监测

位置:滑坡区钻孔内、地下水出露点;

内容:水位、流量、水温、水质;

常用仪器:水位记录仪(自动/手动)、监测盅、水温计、水位标尺、渗流仪、测流仪、水质监测仪。

5.2.7 孔隙水压力监测

位置:滑坡区钻孔内滑带附近或不同软弱层附近;

常用仪器:各种类型孔隙水压力计。

6 边坡监测成果分析

6.1 监测成果处理要求

6.1.1 人工监测内业计算,应在监测工作完成后及时进行。

6.1.2 自动监测数据应结合数据处理软件,及时存储并处理。

6.2 监测网和监测点的平差

监测网和监测点的平差包括:

- a) 复查监测记录,发现问题及时解决;自动监测点数据异常,应及时进行现场复核。
- b) 监测数据校正包括以下方面:
 - 1) 电磁波测距仪的乘常数、加常数、周期误差、气象和倾斜改正;
 - 2) 水准尺的尺长、零点差改正。
- c) 验算水平位移监测网和垂直位移监测网诸条件自由项的限值是否符合要求,发现问题应及时解决。验算内容及其自由项限制的计算,应按 GB 50026 的有关规定执行。
- d) 人工监测应核对数据抄录是否正确。

6.3 内业计算的数值取位要求

监测数据数值取位应符合 GB 50197 的要求。

6.4 预警模型

边坡变形监测数据的阈值或滑坡预警模型,宜结合监测手段、边坡工程的地质条件,根据露天煤矿生产和安全的实际需求设定,相关数据超出阈值,应及时发出预警信息。

6.5 监测项目的变形分析

6.5.1 变形分析宜包括下列内容:

- a) 监测数据的可靠性;
- b) 边坡的累计变形量和两相邻监测周期的相对变形量分析;
- c) 相关影响因素(荷载、水位水压、气象和地质等)的作用分析;
- d) 回归分析等。

6.5.2 监测成果图表应包括下列内容:

- a) 变形监测成果统计表(计算方法参见附录 A、附录 B);
- b) 监测点位置分布图;
- c) 平面位移矢量图和断面位移矢量图,水平位移曲线图和垂直位移曲线图;
- d) 岩土体深度位移曲线图;
- e) 监测点变形速率历时曲线。

6.5.3 定期编写监测报告,主要分为周报、月报、季报、年报等,当边坡变形有加大迹象时,宜缩短报告编制周期。

6.5.4 当发生滑坡后,应编写监测工作报告,其内容应包括:

- a) 滑坡发生的时间、地点和原因;
- b) 地表变形情况及对采剥工程和建筑物的危害程度;
- c) 监测资料的分析,并附滑落体平面图、断面图及移动和变形曲线图;
- d) 结论及滑坡处理意见。

7 边坡监测成果应用

边坡监测成果可应用在以下方面：

- a) 确定边坡所处的变形阶段；
- b) 确定边坡的滑面形态，为边坡稳定性计算提供参考；
- c) 结合露天矿山边坡的实际情况，选取相关参考阈值进行实时预警；
- d) 边坡变形特征下一阶段的预测；
- e) 验证欠稳定边坡的治理效果；
- f) 验证边坡稳定性评价的结论；
- g) 为边坡变形治理技术、方法、手段提供参考依据。

附 录 A
(资料性附录)
地表位移监测成果分析内容

表 A.1 为地表位移监测成果分析内容。

表 A.1 地表位移监测成果分析内容

区域	点号	水平位移 矢量值 mm	累计方位角 (°)	周期水平 位移变化量 mm	周期水平 位移速率 mm/d	累计垂直 位移量 mm	周期垂直位 移变化量 mm	周期垂直 位移速率 mm/d
		d_n	α_n	Δd_n	Δv_{xy}	H_n	ΔH_n	Δv_h

表 A.1 中垂直位移变化量、水平位移变化量和方位角的计算如下：

a) 垂直位移变化量的计算

监测点的周期垂直位移变化量(ΔH_n)和累计垂直位移量(H_n)按式(A.1)和式(A.2)计算：

$$\Delta H_n = h_n - h_{n-1} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$H_n = \sum_{j=1}^n \Delta H_j (n=1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

h_n, h_{n-1} ——分别为第 $n, n-1$ 监测周期的高程,单位为毫米(mm)；

ΔH_n ——为第 n 监测周期垂直位移变化量,单位为毫米(mm)；

H_n ——为第 n 监测周期的累计垂直位移量,单位为毫米(mm)。

b) 水平位移变化量的计算

X 向水平位移变化量(ΔX_n)与累计水平位移量(X_n)按式(A.3)和式(A.4)计算：

$$\Delta X_n = x_n - x_{n-1} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$X_n = \sum_{j=1}^n \Delta X_j (n=1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

x_n, x_{n-1} ——第 $n, n-1$ 监测周期的 X 向坐标,单位为毫米(mm)；

$\Delta X_n, X_n$ ——X 向第 n 监测周期的水平位移变化量与累计水平位移量,单位为毫米(mm)。

Y 向水平位移变化量(ΔY_n)与累计水平位移量(Y_n)按式(A.5)和式(A.6)计算：

$$\Delta Y_n = y_n - y_{n-1} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$Y_n = \sum_{j=1}^n \Delta Y_j (n=1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

y_n, y_{n-1} ——第 $n, n-1$ 监测周期的 Y 向坐标,单位为毫米(mm)；

$\Delta Y_n, Y_n$ ——Y 向第 n 监测周期的水平位移变化量与累计水平位移量,单位为毫米(mm)。

X、Y 平面内位移矢量当次值(Δd_n)与累计值(d_n)按式(A.7)和式(A.8)计算：

$$\Delta d_n = \sqrt{\Delta X_n^2 + \Delta Y_n^2} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$d_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

$\Delta X_n, \Delta Y_n$ ——X、Y 向第 n 监测周期的水平位移变化量,单位为毫米(mm)；

$\Delta d_n, d_n$ ——第 n 监测周期的水平位移变化量和水平位移矢量值,单位为毫米(mm)。

c) 方位角的计算

X、Y 平面内位移矢量与 X 轴夹角当次值($\Delta \alpha_n$)与累计值(α_n)按式(A.9)和式(A.10)计算：

$$\Delta \alpha_n = \arctg\left(\frac{\Delta Y_n}{\Delta X_n}\right) \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\alpha_n = \arctg\left(\frac{Y_n}{X_n}\right) \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

d) 位移速率计算

周期水平位移速率 Δv_{xy} 与周期垂直位移速率 Δv_h 按式(A.11)和式(A.12)计算：

$$\Delta v_{xy} = \Delta d_n / T \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\Delta v_h = \Delta H_n / T \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

Δv_{xy} 、 Δv_h ——XY 平面内、垂直方向第 n 监测周期的水平位移速率、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)。

附录 B
(资料性附录)

边坡岩体地下位移监测成果分析及曲线

以露天矿最常用的边坡地下位移监测-钻孔测斜仪监测数据处理分析方法为例。

其基本工作原理是通过在岩体中打钻孔,并在钻孔中安装专用测试导槽来进行的。当边坡岩体变形时,埋设在边坡岩体中的测试导槽管即感受到边坡岩体的变形,岩体变形使测试导槽管产生与岩体变形相对应的弯曲变形,可通过导槽管各段的倾角变化(或水平位移)反映出来,如图 B.1 所示。

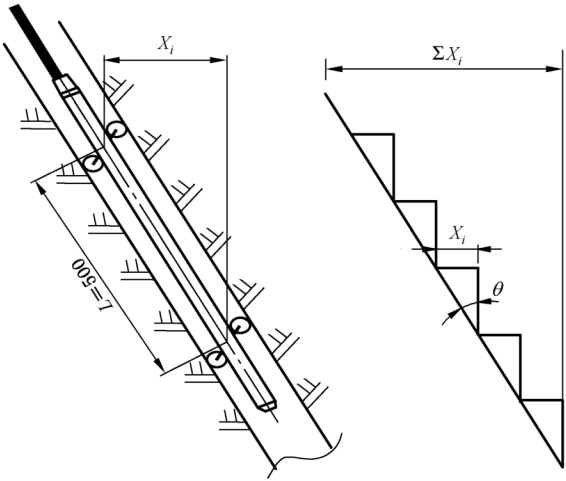


图 B.1 测斜仪测试原理

假设测试导槽管随岩体变形后与垂直线形成倾角 θ 。测斜仪可测出倾角 θ 的大小,即可由每段倾角 θ 算出测试该段的水平位移量 X_i 。 X_i 按式(B.1)计算:

$$X_i = L \sin \theta_i \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

L ——测斜仪两对导轮中心距,一般为 0.5 m。

整个测试导槽管的弯曲变化量,可根据测试电缆上的长度标记由下而上每隔 0.5 m 时测试导槽管分段进行,然后由各段变化量迭加计算求出,孔口相对于固定在稳定岩层中的原点 O(不动点)的总水平位移按式(B.2)计算:

$$\sum X_i = \sum_{i=1}^n L \sin \theta_i \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

边坡某层岩体对应测试导槽管某测试段相对于原点 O 的水平位移量即为该段以下各小段水平位移之和。

数据处理时规定岩层主移动方向(一般为矿坑临空面方向,即测试时传感器探头上导轮指向的方向)为 A+或 A0,相反方向为 A-或 A180,垂直 A 向的方向为 B 向,A0 逆时针 90°方向为 B+或 B0,B0 反向为 B-或 B180。

双向测斜仪对 A 向、B 向导槽分别测试正、反两组数据,即 A_{ij+} (亦记 A0)、 A_{ij-} (亦记 A180)、 B_{ij+} (亦记 B0)、 B_{ij-} (亦记 B180)。数据检查的目的是检查测值是否有误。这里是指读数、记录、电缆提升三者配合不当造成读数错误,或是测斜仪导轮在管内跳槽引起测值有误。检查的方法是利用 A 向、B 向正反方向测值之和,即 $A_+ + A_-$ 及 $B_+ + B_-$ 的值是否各在其传感器标定的常数附近。若是,测值有效;若不是,应即时找原因,更正记录。若属跳槽,各段的和值很乱,需要重新测试。

边坡岩体地下位移监测数据计算如下：

a) 参数计算方法

某次导槽管每段的偏位值见式(B.3)、式(B.4)：

$$A_{ij} = (A_{ij+} - A_{ij-}) / 100 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$B_{ij} = (B_{ij+} - B_{ij-}) / 100 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

i ——测点序号(从孔底至孔口)；

j ——监测次数。

某测点相对首次监测值的水平偏位值见式(B.5)、式(B.6)：

$$\Delta A_{ij} = A_{ij} - A_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\Delta B_{ij} = B_{ij} - B_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

某测点相对底部为不动点的相对水平偏位值见式(B.7)、式(B.8)：

$$\sum A_{ij} = \sum_{i=1}^n A_{ij} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

$$\sum B_{ij} = \sum_{i=1}^n B_{ij} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

某高程的水平位移见式(B.9)、式(B.10)：

$$\Delta A_{ij} = \sum A_{ij} - \sum A_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

$$\Delta B_{ij} = \sum B_{ij} - \sum B_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

某高程的水平位移合矢量见式(B.11)：

$$S = \sqrt{\Delta A_{ij}^2 + \Delta B_{ij}^2} \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

某高程水平位移方位见式(B.12)：

$$\beta = \text{tg}^{-1}(\Delta B_{ij} / \Delta A_{ij}) \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

b) 深度变形值的计算

描述监测孔不同深度段监测管倾斜变形特征。变形值计算见式(B.13)、式(B.14)：

$$\Delta A_{ij} = A_{ij} - A_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.13)$$

$$\Delta B_{ij} = B_{ij} - B_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.14)$$

按式(B.13)、式(B.14)计算得到的典型深度变形曲线图如图 B.2 所示。

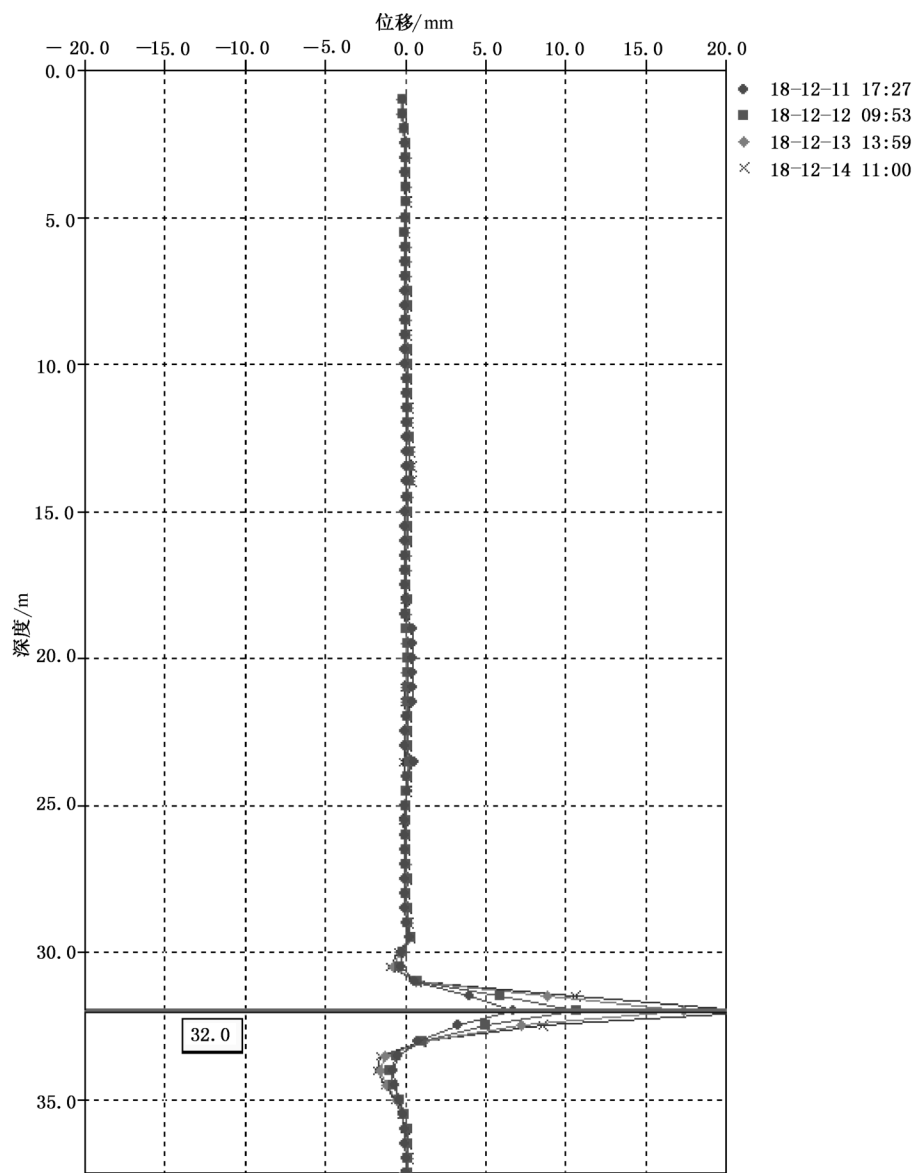


图 B.2 典型的深度变形曲线图

c) 深度位移值的计算

描述钻孔各累计深度位移变化特征。累计位移值计算见式(B.15)、式(B.16)：

$$\Delta A_{ij} = \sum A_{ij} - \sum A_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.15)$$

$$\Delta B_{ij} = \sum B_{ij} - \sum B_{i1} \quad \dots\dots\dots (B.16)$$

按式(B.15)、式(B.16)计算得到的典型深度位移曲线图如图 B.3 所示。

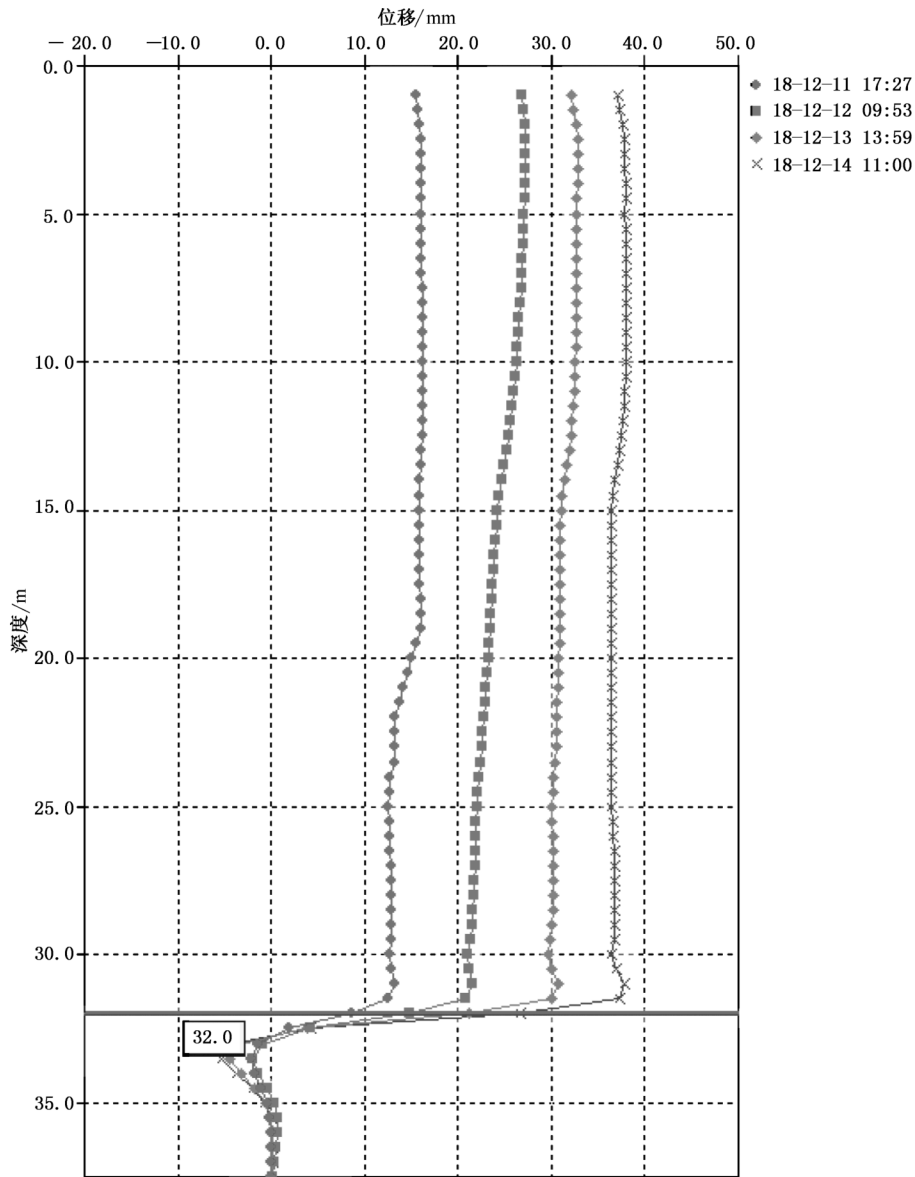


图 B.3 典型的深度位移曲线图

d) 深度位移速度值的计算

描述钻孔不同深度位移速度特征。深度位移速度值的计算见式(B.17)、式(B.18)：

$$\Delta VA_{ij} = \Delta A_{ij} / T \quad \dots\dots\dots (B.17)$$

$$\Delta VB_{ij} = \Delta B_{ij} / T \quad \dots\dots\dots (B.18)$$

式中：

T ——第 j 监测周期的时间间隔,单位为天(d)。

按式(B.17)、式(B.18)计算得到的典型深度位移速度历时曲线图如图 B.4 所示。

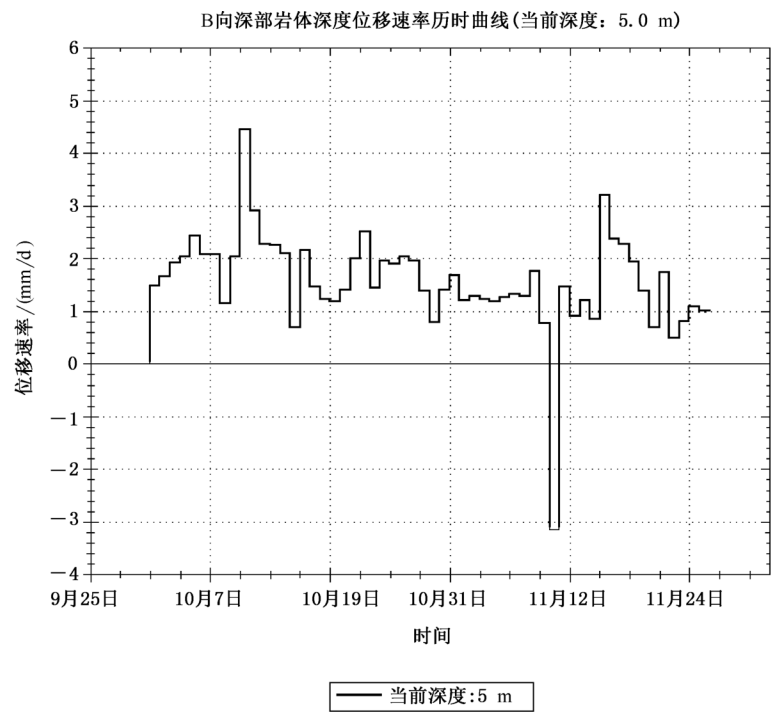


图 B.4 典型深度位移速度历时曲线图

边坡破坏类型的确定:

主要采用深度位移曲线图进行判断。理论上讲,一般滑面位置在深度位移曲线图相邻一对正负曲率最大点之间;如为多滑面或滑带,将出现几对正负曲率极大值点。深度位移曲线图反映了岩体内部不同深度范围岩体应力变化过程和变形特征。依据深度位移曲线图可确定边坡变形破坏类型和特征,并可确定滑动面或滑动带的位置以及滑动规模。典型的边坡破坏类型特征图如图 B.5 所示。

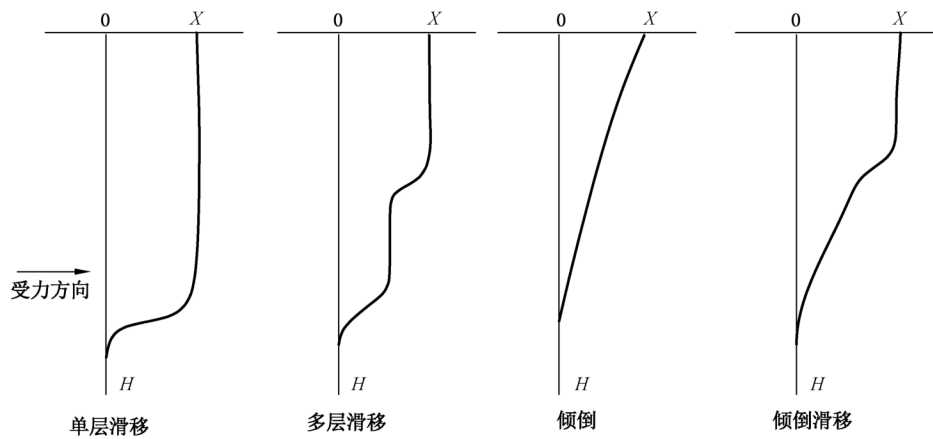


图 B.5 典型的边坡破坏类型特征图