

# 深凹露天矿 GPS 边坡变形监测

苗胜军<sup>1,2)</sup> 蔡美峰<sup>1)</sup> 夏训清<sup>1)</sup> 刘 华<sup>1)</sup> 佟慧超<sup>1)</sup>

1) 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083 2) 北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083

**摘 要** 结合水厂铁矿边坡变形 GPS 监测, 围绕监测点的确定及监测网的优化设计进行了论述. 并以 6 个监测点的 9 次变形监测数据为依据, 结合现场情况及监测经验, 创建水平位移趋势玫瑰花图, 对监测结果进行简要分析. 监测结果与现场状况相吻合, 说明 GPS 完全能达到矿山变形监测的精度和要求.

**关键词** GPS 监测; 边坡变形; 监测网; 水平位移; 玫瑰花图

**分类号** TD325<sup>+</sup>.3

随着我国深凹露天矿开采深度的不断增加, 矿山边坡高度不断加大, 特别是近年来, 一些矿山采用并段靠帮工艺来提高最终边坡角, 边坡稳定性的控制和维护难度加大, 若不及时采取监测措施, 将严重威胁着矿山的生存和发展. 本文结合首钢矿业公司水厂铁矿露天边坡的实际情况, 采用 GPS 技术对该矿边坡不稳定部位进行实时监测<sup>[1]</sup>.

## 1 水厂铁矿 GPS 监测网的布设

### 1.1 监测点的确定

根据水厂铁矿边坡监测分级, 结合国家冶金矿山监测点布设依据和水厂铁矿边坡稳定性研究成果, 将分阶段逐步对水厂铁矿陆续到界的固定边坡, 通过多种监测手段, 采用两级网对边坡实施监测<sup>[2-3]</sup>.

I 级网: 用以控制整个边坡开挖扰动区, 为建立更细的监测网提供基本框架. 根据工程地质分区和有代表性边坡剖面的数值模拟分析结果, 拟在全采场布设 35 个监控点, 对边坡不稳定区进行重点监控, 监测点布设情况如图 1 所示.

II 级网: 根据 I 级网的监控结果, 使用全站仪、水准仪等常规仪器对需要重点监测的地段加密监测点, 以确定不稳定区的几何尺寸、破坏模式、变形的发展趋势.

### 1.2 监测网的设计

监测网设计过程中, 除以 GPS 网图形构成的

基本概念及设计原则为基准<sup>[4-5]</sup>, 还应着重考虑现场的监测条件.

如图 1 所示, 东帮 ( $G_1—G_6$ ) 与西排 ( $G_7—G_{14}$ ) 监测点由于障碍物方位角几乎截然相反, 如果同时在东帮与西排互相联结建网, 公共卫星数目较少, 测量效果差, 所以东帮和西排监测点单独布网, 并由基准点  $B_1, B_2$  连接. 最终形成如图 2

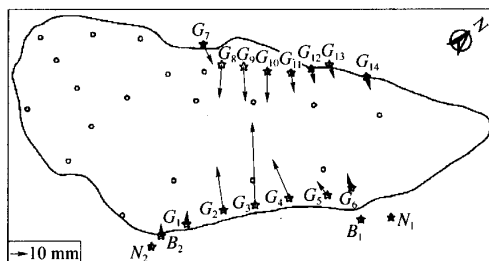


图 1 水厂铁矿 GPS 布点及水平位移矢量图

Fig.1 GPS monitoring points' distribution and level displacement vector

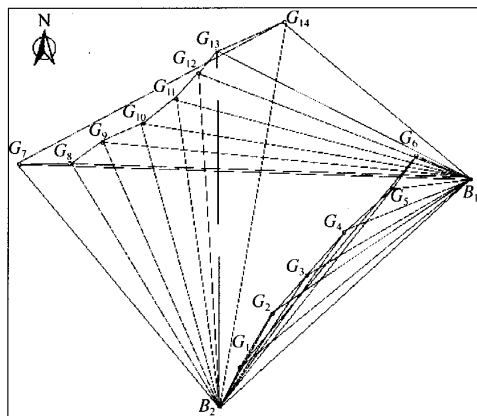


图 2 水厂铁矿一期 GPS 监测网形

Fig.2 GPS monitoring network in the first period

收稿日期: 2005-04-23 修回日期: 2005-06-09

基金项目: 国家“十五”科技攻关资助(No. 2004BA615A-05)

作者简介: 苗胜军(1979—), 男, 博士研究生; 蔡美峰(1943—), 男, 教授.

万方数据

所示网形。此网每一观测周期共 16 个观测时段, 48 条独立基线。

2 GPS 监测结果及分析

水厂铁矿 GPS 一期监测网, 2004 年 3 月布设完毕后, 至 2005 年 1 月共监测 9 次, 水平位移变化矢量如图 1 所示。现以东帮  $G_2, G_3, G_4$  及西排

$G_8, G_9, G_{10}$  为例, 简要介绍监测成果。

2.1 现场监测结果

GPS 监测系统采用 WGS-84 坐标系, 而水厂铁矿在生产和建设过程中一直沿用北京 54 坐标系, 为了和现场常规测量及绘图相结合, 需要进行坐标体系的转换。表 1 为监测点在 WGS-84 和北京 54 坐标系下的监测成果<sup>[4,6]</sup>。

表 1 WGS-84 和北京 54 坐标系下监测结果  
Table 1 Monitoring result under WGS-84 and BJ-54 coordinates

点号	WGS-84 坐标系下监测成果(BLH)			水厂北京 54 坐标系下监测成果(NEH)			中误差/mm		
	纬度	经度	椭球高/m	N/m	E/m	H/m	S(N)	S(E)	S(H)
G <sub>2</sub>	40°08'31.090 74"N	118°34'05.499 58"E	101.331 2	4 445 370.947 6	505 811.398 2	102.571 8	0.4	0.3	1.0
G <sub>3</sub>	40°08'36.264 83"N	118°34'10.136 08"E	97.440 7	4 445 530.623 4	505 921.027 3	98.674 2	0.4	0.3	0.9
G <sub>4</sub>	40°08'41.952 69"N	118°34'15.268 79"E	81.477 6	4 445 706.157 4	506 042.384 9	82.703 2	0.7	0.5	1.4
G <sub>8</sub>	40°08'51.355 89"N	118°33'38.015 86"E	106.816 6	4 445 995.539 7	505 160.385 1	108.077 5	0.6	0.4	1.1
G <sub>9</sub>	40°08'54.190 30"N	118°33'42.416 34"E	107.582 7	4 446 083.036 9	505 264.482 8	108.837 7	0.5	0.4	1.1
G <sub>10</sub>	40°08'56.848 11"N	118°33'47.867 50"E	105.406 9	4 446 165.105 9	505 393.450 5	106.655 0	0.5	0.4	1.1

2.2 监测点位移变化趋势分析

根据 9 次监测结果, 得到监测点北、东向和高

程的位移变化曲线, 如图 3 所示。累积位移量及方位角见表 2。监测点水平位移速度采用最小二

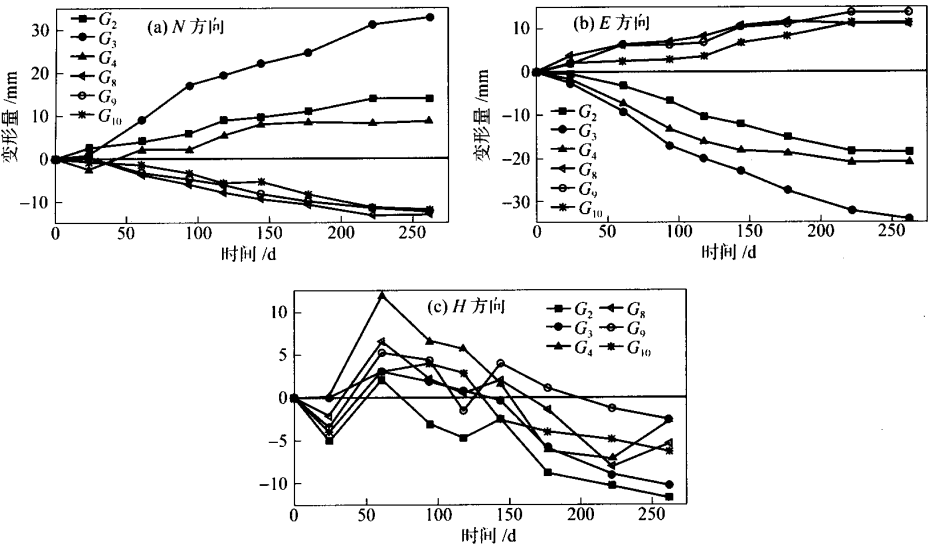


图 3 位移变化曲线图  
Fig.3 Curved lines of displacement

表 2 监测点位移和速度变化量  
Table 2 Displacement and level velocity of the three points

点号	$\Delta N/mm$	$\Delta E/mm$	$\Delta H/mm$	$\Delta S/mm$	方位角/(°)	$V_{5-7}/(mm \cdot 月^{-1})$	$V_{8-10}/(mm \cdot 月^{-1})$	$V_{11-1}/(mm \cdot 月^{-1})$
G <sub>2</sub>	13.97	-18.71	-11.72	23.35	306.7	3.17	3.61	1.27
G <sub>3</sub>	32.85	-34.15	-10.30	47.39	313.9	8.14	4.87	3.24
G <sub>4</sub>	8.69	-20.87	-2.79	22.61	292.6	5.39	2.94	0.83
G <sub>8</sub>	-13.13	11.16	-5.34	17.23	139.6	3.44	2.44	0.83
G <sub>9</sub>	-12.43	13.64	-5.88	18.45	132.3	2.95	2.72	1.17
G <sub>10</sub>	-11.99	11.38	-1.09	16.53	136.5	1.62	3.26	1.41

乘法计算,结果如表 2 和图 4 所示。

### 2.3 水平位移趋势玫瑰花图

露天开挖引起的岩体移动一般指向矿坑开挖方向<sup>[7-8]</sup>,结合这一特点,笔者首创水平位移趋势玫瑰花图,如图 5,更形象地反映了监测点位移变化范围及总体趋势。随着监测数据的积累,此玫瑰花图还可以反映各月监测点的位移趋势。

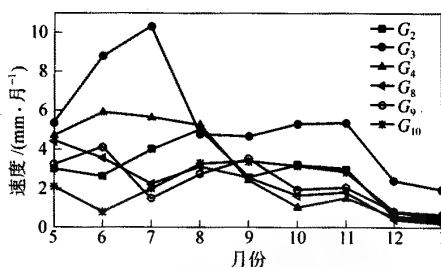


图 4 水平位移速度曲线图

Fig. 4 Curved lines of level displacement velocity

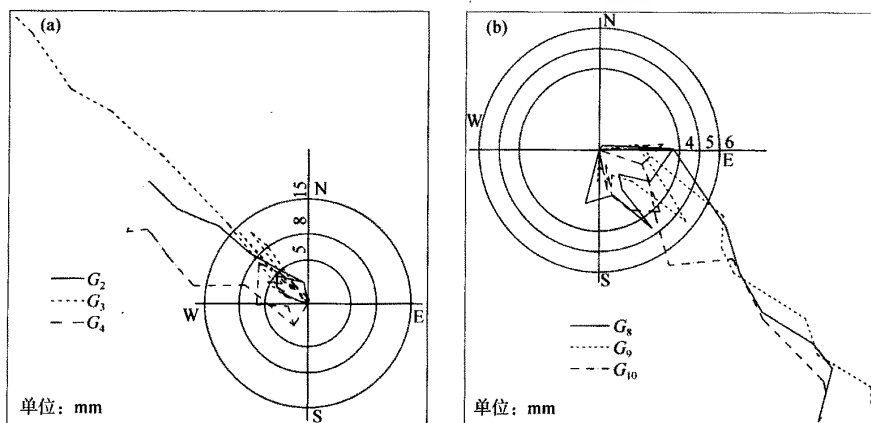


图 5 水平位移趋势玫瑰花图

Fig. 5 Rose diagrams in level displacement direction

### 2.4 监测结果分析

从 9 次监测数据可以得出如下结论:

(1) 由表 1 及图 1 可知,除监测点  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$  变形量较大,其他监测点变形量较小,所在区域边坡稳定性较好;

(2) 从图 1 和图 3 可以看出,14 个监测点的水平位移向量方向和边坡面倾向基本一致,均指向矿坑开挖方向,而垂直方向上整体有向下运动趋势,符合露天开挖引起的岩体移动的一般规律<sup>[9]</sup>;

(3) 由表 2 得知,  $G_3$  点的水平位移偏移量及变形速度均为最大,其水平位移速度 7 月最大,而现场  $G_3$  点下方 34~80 m 台阶 6, 7 月份出现局部岩体滑落,后期亦出现零星滚落,这方面是十分吻合的。

(4) 按以往的降水记录,6~9 月是每年降雨量最大的时期,也是滑坡最频繁的时期,而监测数据也显示(见表 2 及图 4),这段时间的位移变化量及变化速度相对都比较大,所以在此期间应缩短监测周期,加强对边坡变形的监控力度<sup>[10]</sup>。

## 3 结论

从监测结果可见,水平面  $N$ ,  $E$  向中误差均在 0.7 mm 以下,高程  $H$  向中误差也在 1.4 mm 范围内,表明 GPS 中误差小,测量精度高,完全能达到矿山变形监测的精度和要求<sup>[8]</sup>。另外,通过现场监测还体会到在矿山应用中 GPS 相对其他常规仪器具有监测时间短、监测范围广、测站间无需通视,可提供三维坐标,操作简便,全天候作业等优势。当然,随着监测数据的积累,在继续对水厂铁矿边坡的不稳定部位进行动态监测的同时,还将建立预报模型,进行滑坡预报研究。

### 参考文献

- [1] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程. 北京: 科学出版社, 2002
- [2] 李军财. 深凹露天矿边坡稳定性分析及其控制综合技术研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2005
- [3] 李长洪,蔡美峰,李军财. 大型露天矿山边坡岩体结构与破坏模式分析. 中国矿业, 2004, 13(2): 48
- [4] 李天文. GPS 原理及应用. 北京: 科学出版社, 2003
- [5] Zhu W, Wang X, Cheng Z, et al. Crustal motion of Chinese

- mainland monitored by GPS. *Sci China Ser D*, 2000, 43(4): 394
- [6] Remondi B. Pseudo-kinematic GPS results using the ambiguity function method. *Navigation*, 1991, 38(1):17
- [7] 徐开礼. 构造地质学. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004
- [8] 加拿大矿物和能源技术中心. 边坡工程手册. 北京: 冶金工业出版社, 1984
- [9] Wang Q, Zhang P Z, Jeffery T, et al. Present day crustal deformation in China constrained by global position system measurements. *Science*, 2001, 294:574
- [10] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003

## GPS monitoring of high slope deformation in open pit mines

MIAO Shengjun<sup>1,2)</sup>, CAI Meifeng<sup>1)</sup>, XIA Xunqing<sup>1)</sup>, LIU Hua<sup>1)</sup>, TONG Huichao<sup>1)</sup>

1) Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) The Key Laboratory for High-Efficient Mining and Safety of Metal Mines, the Ministry of Education of China, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

**ABSTRACT** Through GPS monitoring in Shuichang iron mine, the location of monitoring points and the optimizing design of monitoring network were discussed. Based on 9 phases monitoring data of 6 monitoring points and field monitoring experience, rose diagrams in level displacement direction were mapped. The monitored result accords with the actual state of the mine. Compared with other ordinary monitoring instruments, GPS monitoring can satisfy the precision of an open pit mine's slope deformation monitoring completely.

**KEY WORDS** GPS monitoring; slope deformation; monitoring network; horizontal displacement; rose diagram

作者: [苗胜军](#), [蔡美峰](#), [夏训清](#), [刘华](#), [佟慧超](#), [MIAO Shengjun](#), [CAI Meifeng](#), [XIA Xunqing](#), [LIU Hua](#), [TONG Huichao](#)

作者单位: [苗胜军, MIAO Shengjun \(北京科技大学土木与环境工程学院, 北京, 100083; 北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京, 100083\)](#), [蔡美峰, 夏训清, 刘华, 佟慧超, CAI Meifeng, XIA Xunqing, LIU Hua, TONG Huichao \(北京科技大学土木与环境工程学院, 北京, 100083\)](#)

刊名: [北京科技大学学报](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY BEIJING](#)

年, 卷(期): 2006, 28(6)

引用次数: 4次

## 参考文献(10条)

1. [蔡美峰, 何满潮, 刘东燕](#) [岩石力学与工程](#) 2002
2. [李军财](#) [深凹露天矿边坡稳定性分析及其控制综合技术研究](#)[学位论文] 2005
3. [李长洪, 蔡美峰, 李军财](#) [大型露天矿山边坡岩体结构与破坏模式分析](#)[期刊论文]-[中国矿业](#) 2004(2)
4. [李天文](#) [GPS原理及应用](#) 2003
5. [ZHU Wenyao, WANG Xiaoya, CHENG Zongyi, XIONG Yongqin, ZHANG Qiang, YE Shuhua, MA Zongjin, CHEN Junyong, XU Houze, WEI Ziqing, LAI Xi'an, LIU Jingnan, JIN Biaoren, REN Jinwei, WANG Qi](#) [Crustal motion of Chinese mainland monitored by GPS](#)[期刊论文]-[中国科学D辑\(英文版\)](#) 2000(4)
6. [Remondi B](#) [Pseudo-kinematic GPS results using the ambiguity function met hod](#) 1991(1)
7. [徐开礼](#) [构造地质学](#) 2004
8. [加拿大矿物和能源技术中心](#) [边坡工程手册](#) 1984
9. [Wang Q, Zhang P Z, Jeffery T](#) [Present day crustal deformation in China constrained by global position system measurements](#) 2001
10. [殷坤龙](#) [滑坡灾害预测预报](#) 2003

## 相似文献(9条)

1. 期刊论文 [苗胜军, 蔡美峰, 张丽英, 关晓峰, Miao Shengjun, Cai Meifeng, Zhang Liying, Guan Xiaofeng](#) [水厂铁矿边坡变形GPS监测及数据处理 -金属矿山](#)2005(4)  
结合水厂铁矿边坡变形GPS监测, 围绕监测系统配置、监测点布设、监测网的设计以及卫星预测、坐标转换、数据处理等进行论述, 并以3个监测点的5次变形监测结果为依据, 结合现场情况及监测经验, 对监测结果进行简要分析, 证明GPS完全能达到矿山变形监测的精度和要求. 结果显示水平方向总位移量和位移运动速度最大值均出现在G3点, 分别为23.0和8.4 mm/月(7月), 这与现场状况相吻合. 最后概括出GPS相对其它常规仪器在矿山变形监测应用中的优势.
2. 学位论文 [苗胜军](#) [复杂岩体边坡变形与失稳预测研究](#) 2005  
本文结合国家“十五”科技攻关项目课题“大型深凹露天矿高效运输系统及强化开采技术研究”, 以首钢水厂铁矿北区采场复杂岩体边坡为研究对象, 充分考虑边坡赋存的复杂地质环境条件对边坡工程的控制作用, 将复杂岩体边坡的破坏模式、稳定性分析、边坡动态位移监测、边坡变形预测及失稳预报等问题有机地组成一个研究链, 采用工程勘察、理论分析、试验测试、数值模拟、现场监测、人工智能等多种分析研究方法, 从基础理论和工程实践两方面对复杂岩体边坡变形失稳的动态变化规律进行了全面分析研究, 主要内容和成果包括:  
1) 通过工程地质调查, 对水厂铁矿北区采场区域复杂地质环境、矿体地质、边坡岩组、岩性分布及构造特征、岩体结构面的分布规律、主要的破坏模式等进行了深入分析研究;  
2) 以试验为基础, 采用地质强度指标(GSI)和非线性Hoek-Brown破坏准则确定边坡岩体的宏观力学参数;  
3) 采用FLAC二维有限差分计算程序, 对北区采场上盘21#勘探线所在剖面边坡开挖过程进行了渗流-应力耦合分析, 对边坡开挖过程中应力场、位移场、渗流场和破坏场进行了系统和全面的计算模拟, 对复杂岩体边坡变形机制与规律以及破坏机理进行研究;  
4) 针对露天矿复杂岩体边坡的变形特点, 研究了多台GPS接收机同时观测静态差分解算方法, 提出了适合于露天矿这种小范围的GPS短基线测角伪距观测方程及其线性化;  
5) 通过对边坡工程地质勘察、地质力学资料的分析, 对水厂铁矿边坡变形监测进行分级, 提出了覆盖整个采区的GPS边坡变形动态监测控制网, 并对控制网的优化设计、布设、监测方式及首期和终期网形结构特点进行了分析研究, 提出采用GPS和其它常规仪器相结合的测量技术, 对边坡的稳定性进行监控;  
6) 对GPS控制网的星历预报、基线向量解算、网平差结果及其残差不确定度进行了细致分析研究, 结合现场开挖和GPS控制网动态监测数据对水厂铁矿边坡变形位移、速度和趋势以及GPS系统在矿山边坡变形监测中的应用进行了全面分析, 提出了适合于描述边坡变形的水平位移趋势等密图;  
7) 分析了影响边坡变形的敏感性因子, 结合现场GPS变形监测数据, 利用改进的BP神经网络的自组织、自学习、强容错性和较强的非线性动态数据处理能力, 建立基于BP神经网络的边坡变形非线性预测模型, 为复杂岩体边坡变形预测由定性到定量提供了一个较为有效的方法, 并验证了该预测模型的精度和可靠性;  
8) 根据水厂铁矿北区采场上盘滑坡监测数据和“斋藤法”蠕变理论, 提出了临近滑坡但未滑落部位边坡变形改进的“斋藤法”曲线和变形发展4阶段, 推导了改进的“斋藤法”变形、速率、加速度曲线方程及失稳预报时间模型, 并建立了基于位移信息的Verhulst灰色模型以确定失稳预报时间模型的参数, 验证了改进的“斋藤法”的可靠性及精度。



3. 学位论文 [刘华](#) [水厂铁矿西排高陡边坡GPS监测及稳定性影响因素敏感性分析](#) 2007

本文以水厂铁矿北区采场的西排高陡边坡为研究对象。分析了GPS静态相对定位技术在水厂铁矿西排高陡边坡变形监测中的应用,结合GPS监测西排7个监测点变形的实测数据,采用插值方法及MATLAB程序设计,实现了西排边坡地表位移场的模拟,应用FLAC二维有限差分计算软件,进行了西排边坡稳定性影响因素敏感性分析。主要内容如下:

(1) 水厂铁矿西排高陡边坡GPS监测的应用和分析。通过分析比较边坡稳定监测方法,选择GPS静态相对定位技术进行边坡变形监测,并在水厂铁矿北区采场建立GPS边坡变形监测网;结合现场GPS监测的实施,简单分析了现场数据收集的主要操作及注意事项,以及监测数据的数据处理方法。通过数据分析找出西排边坡应重点监测的区域,即G8、G9和G10所在区域,该区域曾出现过滑坡破坏。对监测数据进行精度分析时,水平方向(N方向和E方向)的精度为0.3~0.7mm,垂直方向(H方向)的精度0.9~1.3mm,完全满足矿山边坡变形监测的精度要求。

(2) 水厂铁矿西排边坡地表位移场的建立。通过比较各类插值法的优缺点,选出最为符合现场地形特点的两种插值方法,即双线性多项式内插法和多面函数法。结合水厂铁矿西排GPS监测点变形的实测值,将边坡地表位移场分成N、E、H三个方向的位移场,运用MATLAB计算程序,在三个方向上都应用这两种插值方法,得到两个不同的位移场方程。比较这两个位移场方程的均方根差(RMSE),得到了各个方向最佳位移场方程。

(3) 水厂铁矿西排边坡稳定性影响因素敏感性分析。分析影响高陡边坡稳定性的各个因素,从中选出7个主要影响因素来作敏感性分析,并选择最大水平位移u作为敏感性分析对象。通过变化各影响因素值,选择西排边坡中的II-2工程地质剖面,应用FLAC二维有限差分计算软件进行计算,得到相应的最大水平位移u值,进而得出各影响因素与最大水平位移u值之间的关系,分析出各影响因素的敏感性大小。

4. 期刊论文 [李艳](#) [王润生](#) [刘志中](#) [Li Yan](#) [Wang Runsheng](#) [Liu Zhizhong](#) [基于GPS和回归分析的露天铁矿边坡稳定评价-金属矿山](#)2008(6)

随着露天开采的延伸,高陡边坡给矿山带来严重威胁,结合河北某铁矿边坡变形GPS监测及对监测数据进行回归分析处理,建立露天转地下开采矿山的边坡动态监控系统及边坡稳定的评价方法,初步掌握不稳定边坡的移动规律。从而解决在露天转地下开采过渡中出现的边坡稳定性问题,并为解决相关的方法设计、参数设置、技术措施以及后期边坡控制治理提供可靠的依据,确保矿山从露天开采向地下开采顺利过渡,保持矿山的稳定而长期发展。

5. 学位论文 [夏训清](#) [高陡边坡综合治理技术及其GPS变形监测研究](#) 2006

本文以水厂铁矿北区采场高陡边坡为研究对象,首先对水厂铁矿滑坡带岩体的风化程度进行了研究;在分析了滑带岩土力学指标和滑坡区边坡稳定性的基础上,提出了边坡的综合治理方案;同时,在水厂露天铁矿北区采场采用GPS静态相对定位技术对其高陡边坡进行了变形监测。

本文的主要内容如下:

1) 边坡岩体风化是水厂铁矿北区采场滑坡的重要原因之一。本文将岩体风化程度分为4个等级,选取了4类18项评价岩体风化程度的指标,采用模糊数学与权重方法相结合,建立了岩体风化程度等级的二级模糊综合评判模型。根据水厂铁矿滑带岩土体的各实际参数,通过该模型,评价了滑带岩土体的风化程度。

2) 利用SLOPE/W程序,分别采用Bishop法,Fellenius法,Janbu法和General limit equilibrium (GLE)法对边坡进行了极限平衡稳定性综合分析。结合滑坡的现场条件,提出了清坡、削坡+喷锚网坡面防护+预应力锚索+抗滑桩+边坡排水系统的边坡综合治理方案。根据工程类比法,通过设计,分析,修改的设计过程,对预应力锚索、抗滑桩的各参数进行了优化设计。

3) 将GPS测量引入到边坡变形监测中来,建立了覆盖水厂铁矿北区采场的GPS边坡变形监测控制网。对GPS监测控制网的布置及其监测方式进行了优化设计。结合水厂铁矿的监测实践,对GPS控制网的星历预报、基线向量解算、网平差等数据处理过程及其解算精度进行了阐述和分析。GPS变形监测成果表明,GPS监测的精度能满足矿山边坡变形监测的要求,所得成果也与边坡的实际情况较为吻合。

6. 期刊论文 [夏训清](#) [苗胜军](#) [蔡美峰](#) [喻林](#) [Xia Xunqing](#) [Miao Shengjun](#) [Cai Meifeng](#) [Yu Lin](#) [GPS边坡变形监测数据处理与精度分析-中国矿业](#)2006, 15(1)

GPS定位技术的发展为露天矿的边坡变形监测提供了一种简便可靠的手段。水厂露天铁矿采用GPS静态相对定位技术对其高陡边坡变形进行了监测。本文结合水厂铁矿的监测实践,对GPS静态相对定位技术用于变形监测的数据处理过程及其精度进行了阐述和分析。实践表明,GPS监测具有很好的可靠性,与传统的监测手段相比,其可操作性更强,精度更高,值得在边坡变形监测领域中推广使用。

7. 学位论文 [王利](#) [公路边坡监测理论与GPS一机多天线系统研究](#) 2006

公路边坡是危害最为严重的主要地质灾害之一,为了减少公路边坡灾害对人民生命财产安全造成的损失,必须对公路边坡灾害进行变形监测和预报。

变形监测方法多种多样,已从简单的人工法发展到了目前的高精度仪器测定法,如GPS、TDR和测量机器人等,这些方法也已广泛应用于公路崩塌、滑坡等灾害的监测与预报。为了寻求适合于公路边坡变形监测的技术和方法,本文从分析公路边坡的变形机理入手,研究了公路边坡变形监测的有关理论与方法,并重点研究了目前在变形监测中应用较为广泛的GPS技术及其特点。在高精度边坡变形监测中,由于GPS设备的昂贵费用,极大地限制了GPS技术的应用;而且只用少量的GPS接收机,也无法在监测过程中获得变形体整体的、连续的变形信息。因此,为了降低GPS监测系统的成本,实现对变形体的连续监测和准确预报,本文还系统地研究了适用于公路边坡监测的GPS一机多天线变形监测系统,包括其工作原理、系统构成、数据传输及有关的数据处理和变形预测理论等内容。

围绕这一主题,论文的主要内容和创新点可概括如下:

(1) 对公路边坡地质灾害的变形机理、产生原因、破坏模式、防治措施,以及公路边坡变形监测的方法、技术和仪器进行了分析、对比和研究,重点研究目前用GPS技术进行公路边坡变形监测的两种主要模式的优缺点,总结了公路边坡变形监测方法、技术和仪器的优选原则。

(2) 结合两次用GPS一机多天线技术监测公路边坡变形的试验,研究了GPS一机多天线监测系统的组成、GPS一机多天线技术在公路边坡灾害监测中的可行性和GPS一机多天线监测系统的支撑技术,设计出了一套适用于公路边坡地质灾害监测的GPS一机多天线自动化变形监测系统。

(3) 对GPS一机多天线监测系统的定位算法进行了研究,特别对GPS单历元定位算法及其在公路边坡变形监测中的应用进行了深入研究,建立了一套适用于公路边坡变形监测的GPS单历元算法,从而有效地避免了“整周模糊度的求解”和“周跳的探测与修复”等问题,解决了GPS一机多天线监测系统中的关键数据处理问题。

(4) 结合水门沟滑坡的GPS变形监测资料,在研究卡尔曼滤波和动态灰色预测模型的基础上,提出了一种基于滤波算法的动态灰色预测模型,并将这三种方法应用于公路边坡变形的动态跟踪预测中,取得了较好的效果。

(5) 结合边坡变形的力学机理,研究了基于位移动力学分析法的边坡变形预测方法,并介绍了用位移动力学分析法进行公路边坡变形预测的研究方向。

8. 学位论文 [赵静波](#) [高陡岩质边坡失稳预测预报理论研究与应用](#) 2005

岩土体介质的含有大量节理、裂隙等地质结构面的非连续体,因此,岩土体特性具有非均质、各向异性和非线性;同时受地下水和工程活动的影响,使得岩体工程特性更加复杂多变,给稳定性分析和失稳预测带来很大困难。岩体工程设计和分析在很大程度上仍依赖工程经验或半经验分析方法。随着监测技术的发展和数值分析方法的提高,集工程经验、现场监测与数值分析于一体的综合分析理论与方法已经越来越受到重视和发展,尤其对于高陡岩石边坡,综合分析方法是提高边坡稳定性分析的可靠性以及准确失稳预测的重要手段。本文结合“厂坝露天转并下阶段滑坡监测及对井下开采影响与对策”研究课题,采用工程地质研究、现场监测技术、数值分析方法、灰色预测理论和人工智能等手段进行综合分析,将工程经验、理论分析与现场监测相结合,系统地分析了复杂边坡稳定性影响因素,研究边坡变形失稳的影响因素以及渐进发展过程,结合边坡宏观现象研究,进行边坡的失稳从时间和空间、从静态到动态的预报研究,首次实现了高陡矿山边坡的变形监测、理论分析和工程经验集于一体的综合预测预报技术。在研究中,通过矿山工程地质研究,揭示了边坡岩体的地质结构和影响因素,建立了边坡岩体的地质模型,并进行数值仿真分析,揭示变形破坏机理和失稳模式,为边坡的稳定分析和失稳预测提供可靠的理论依据。同时采用GPS监测技术,进行了边坡岩体变形监测与预测,并通过对预测方法的研究,提出并采用了季节性划分时间间隔的时间数据序列灰色预测模型,使预测效果显著提高;并对人工智能神经网络学习进行改进,提高了神经网络收敛速度与效果,基于此开发了智能型神经网络边坡宏观预测预报系统。通过对各种技术与方法的结合与综合研究,形成了综合预测预报理论方法,并应用于厂坝露天矿边坡稳定性预测预报,预测结果与矿山实际变形情况较吻合,为矿山生产决策提供了重要的理论依据,对工程决策具有重要的经济价值和指导意义,也为其他边坡工程的稳定性预测研究提供重要的借鉴价值。

9. 期刊论文 [聂喜君](#) [荆磊](#) [吴海军](#) [NIE Xijun](#) [JING Lei](#) [WU Haijun](#) [用GPS卫星定位技术进行露天矿边坡监测-霍林河露天矿边坡变形监测试验-内蒙古煤炭经济](#)2005(3)

本文重点叙述用GPS静态相对定位技术进行边坡监测的具体方法。实践证明了用GPS定位技术进行边坡监测的优越性并得出了一些有关的结论。

#### 引证文献(3条)

1. [唐杰军](#), [汪亦显](#) [GPS在山区滑坡变形监测中的应用](#) [期刊论文] - [防灾减灾工程学报](#) 2009 (1)
2. [张春雷](#), [刘学军](#) [GPS技术在露天矿中的应用](#) [期刊论文] - [江西有色金属](#) 2008 (4)
3. [刘华](#), [苗胜军](#), [钱洪涛](#), [焦国强](#), [王廷俊](#), [阎冬](#), [丁敏](#) [GPS在水厂铁矿边坡稳定性监测中的应用](#) [期刊论文] - [露天采矿技术](#) 2007 (01)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_bjkjdxxb200606002.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_bjkjdxxb200606002.aspx)

下载时间: 2009年10月18日