

• 安全与环保 •

滑坡预测预报方法及判据初步探讨

张子祥 许雁超

(河北钢铁集团矿业有限公司庙沟铁矿, 河北 秦皇岛 066501)

摘要: 阐述了滑坡定量、定性预报模型及预报方法; 滑坡先兆判据判断等。

关键词: 滑坡; 预报; 模型

中图分类号: TD 324⁺. 2 文献标识码: A 文章编号: 1671—8550 (2013) 01—0043—04

续表 1

1 滑坡定量预报模型和方法

滑坡定量预报模型主要是随着数学的发展阶段而提出的相应的模型, 具体包括: 1) 确定性预报模型。把有关滑坡及其环境的各类参数用测定的量予以数值化, 用严格的推理方法, 特别是数学、物理方法, 进行精确分析, 得出明确的预报判断。此类模型预报可反映滑坡的物理实质, 多适用于滑坡或斜坡单体预测; 2) 统计预报模型。主要运用现代数理统计的各种统计方法和理论模型, 着重对现有滑坡及其地质环境因素和其外界作用因素关系的宏观调查与统计, 获得其统计规律, 并用于拟合不同滑坡的位移—时间曲线, 根据所建模型做外推进行预报; 3) 非线性预报模型。引用了对处理复杂问题比较有效的非线性科学理论而提出的滑坡预报模型。表 1 为具有代表性的滑坡定量预报模型和方法。

表 1 滑坡定量预报模型和方法总结

滑坡预报模型及方法	适用阶段	备 注
斋藤迪孝方法 HOCK 法 K·KAWAWURA 蠕变试验预报模型 福圈斜坡时间预报法	加速蠕 变阶段	以蠕变理论为基础, 建立了加速蠕变经验方程, 其精度受到一定的限制
蠕变样条联合模型	临滑 预报	以蠕变理论为基础考虑了外动力因素
滑体变形功率法	临滑 预报	以滑体变形功率作为时间预报参数
滑坡形变分析预报法	中短期 预报适	用于黄土滑坡
极限平衡法	长期 预报	

收稿日期: 2012—07—21

作者简介: 张子祥 (1967—), 男 (汉族), 河北香河人, 河北钢铁集团矿业有限公司庙沟铁矿党委书记, 副矿长, 工程师。

滑坡预报模型及方法	适用阶段	备 注
灰色 GM (1, 1) 模型 (传统 GM (1, 1) 模型、非等时距序列的 GM (1, 1) 模型、新陈代谢 GM (1, 1) 模型、优化 GM (1, 1) 模型、逐步迭代法 GM (1, 1) 模型等)	短临预报	模型预测精度取决于模型参数的取值, 优化 GM (1, 1) 模型也适用于滑坡的中长期预报, 逐步迭代法 GM (1, 1) 模型计算精度较高
生物生长模型 (Pearl 模型、Verhulst 模型、Verhulst 反函数模型) 曲线回归分析模型 多元非线性相关分析法	短临预报	在加速变形阶段预报精度较高
统计 预报 模型 指数平滑法 卡尔曼滤波法 时间序列预报模型 马尔科夫链预测 模糊数学方法 泊松旋回法 动态跟踪法	中短期 预报	多属趋势预报和跟踪预报, 当滑坡处于加速变形阶段时, 可以较准确地预报剧滑时间
斜坡蠕滑预报模型 (GMDH 预报法) 梯度—正弦模型 正交多项式最佳逼近模型		
灰色位移矢量角法	短期和 临滑预报	主要适用于堆积层滑坡
黄金分割法	中长期 预报	
BP 神经网络模型	中短期 预报	较适合于短期预报预报
协同预测模型	临滑预报	
滑坡预报的 BP—GA 混合算法	中短期 预报	联合模型预报精度较单个模型高
协同—分岔模型	临滑预报	
突变理论预报 (尖点 突变模型和灰色尖点 突变模型)	中短期 预报	
动态分维跟踪预报	中长期 预报	可跟踪预报斜坡的最短安全期
非线性动力学模型 位移动力学分析法	长期预报 长期预报	

2 滑坡定性预报模型和方法

实例检验结果表明, 尽管目前国内外学者已提出了上述数十个滑坡预测预报的理论模型, 但完全依靠滑坡定量预报模型并不能完全解决滑坡预报问题。所谓的“成功预报”, 大多只是根据临滑现象所作出的经验判断, 目前, 采用定量预报模型对滑坡所作出的预测预报几乎无一例外地都是一些事后检验, 到目前为止, 还没有一个滑坡是真正依靠定量预报成功的实例。究其原因, 由于各个滑坡体所处的环境条件、本身的结构特征等方法的差异, 使得滑坡体的变形演化规律具有极强的个性特征, 任何一个滑坡定量预报模型不可能适用于所有滑坡的预测预报, 仅能适用于某一类滑坡或某一演化阶段的预测预报, 而上述各滑坡定性预报模型究竟适用于哪种类型或哪个演化阶段的滑坡预报, 目前尚未调查清楚。这就导致人们在真正采用定量模型进行滑坡预报时具有较大的盲目性, 对于同一个滑坡, 采用不同的预报模型可能会得出千差万别的预测结果, 究竟哪些结果更接近真实, 目前尚无很好的判

别方法。基于此原因, 国内外学者开始重视对滑坡宏观变形破坏迹象以及滑坡前兆信息的研究, 并倡导将斜坡变形破坏的宏观信息与滑坡监测的资料有机地结合起来, 将定量预报与定性预报有机结合的综合预报方法。

滑坡定性预报模型是以滑坡开始变形直至最终破坏过程中所表现出来的各种前兆、迹象等为依据, 以模糊评判、加权平均等法为主建立的与各类滑坡特征相适应的预报模型。一般滑坡的变形演化过程可分为缓慢蠕动、匀速蠕滑、加速蠕滑和急剧变形 4 个阶段。根据宏观变形破坏迹象, 可定性识别滑坡所处的变形演化阶段。实例研究结果表明, 滑坡滑动前一般都会表现出明显的宏观变形破坏迹象, 如地表变形, 包括滑坡后缘的张裂缝、错台、沉陷、滑体两侧的剪切裂缝、羽状裂缝、前缘的鼓张裂缝、放射状裂缝等; 地物变形, 包括滑坡体上建筑物开裂、道路错断、滑坡剪出口形成和贯通导致前缘土体松弛、坍塌或局部滑动、树木倾斜等, 见如表 2。

此外, 在滑坡的临滑阶段还会表现出明显的前

表 2 新滩滑坡各演化阶段的宏观变形破坏迹象

预报判据	I: 缓慢变形阶段 (1979 年 8 月以前)	II: 匀速变形阶段 (1979. 8~1982. 7)	III: 加速变形阶段 (1982. 7~1985. 5 月上旬)	IV: 急剧变形阶段 (1985. 5 月中旬~6. 11)
裂缝	主滑区地表局部出现近南北向长大裂缝	雨期原地表裂缝复活, 有新的扩展变形迹象	滑体后缘及两侧出现羽状张裂缝, 并逐渐扩展, 趋于连通, 呈现整体滑移的边界条件	裂缝形成弧形拉裂圈, 并急剧加长、增宽、下沉、新裂缝不断产生
隆起与沉陷	无明显隆起与沉陷现象	滑体局部有小的隆起与沉陷变形	滑体后部拉张下沉, 前缘坡脚出现剪胀异常	滑体后部急剧下沉, 前缘出现鼓包, 路面隆起
崩塌	滑体后缘、西侧上方的危岩体时有小崩塌	滑体后缘广家崖逐年崩塌加载, 量达 160 万 m^3 , 前缘陡坎有小规模崩滑发生	雨期滑体前缘小崩塌现象时有发生	滑体后部大幅度沉陷, 前缘崩滑日夜不断, 频次渐高, 规模渐大
变形量	变形微弱, 月变形率 < 10 mm, 坡体呈现向下蠕动趋势	变形量逐渐增大, 月变形速率为 10~50 mm, 近似匀速运动	变形量显著增大, 月变形速率为 50~100 mm, 蠕变曲线变化呈不可逆的增值现象, 位移矢量角发生显著变化	变形量急剧增大, 位移处于峰值, 月变形速率 > 100 mm 或更大, 蠕变曲线出现拐点, 斜率变化突增变陡, 趋于 90°
变形量与降雨关系	变形量与降雨关系不明显	当月降雨量 > 200 mm 时, 变形出现突变, 且有滞后现象	当月降雨量 < 200 mm 时, 乃出现突变, 且有滞后期缩短	变形与降雨近于同步
地下水动态	滑体内地下水无明显异常变化	滑体内地下水较正常值高, 泉水流量增大或减小	滑体内地下水位维持高水位, 泉水冒砂变浑, 流量大幅度增大或减小, 主滑区坡脚泉水干枯	滑体剪出口附近水位升降异常, 湿地面积突然增大, 剪破日甚一日, 率先发生 70 万 m^3 滑坡
其它	滑体后缘广家崖和西侧黄岩逐年崩塌加载堆积, 促使斜坡开始蠕动变形	1982 年 3~5 月, 主滑区姜家坡陡岩坍塌 3 万 m^3 土石	主滑区坡体上树木南倾, 前缘率先出现崩滑体, 伴有小崩、小滑产生	出现地微动、地声、地热及经纬仪气泡整置不平异常

表 3 滑坡的各种预报判据

判据名称	判据值或范围	适用条件	备 注
稳定性系数 (K)	$K \leq 1$	长期预报	
可靠概率 (P_s)	$P_s \leq 95\%$	长期预报	
声发射参数	$K = A_0/A \leq 1$	长期预报	A_0 为岩土破坏时声发射记数最大值; A 为实际观测值
塑性应变 ϵ_p^t	$\epsilon_p^t \rightarrow \infty$	小变形滑坡 中长期预报	滑面或滑带上所有点的塑性应变均趋于无穷大
塑性应变率 $d\epsilon_p^t/dt$	$d\epsilon_p^t/dt \rightarrow \infty$	小变形滑坡 中长期预报	滑面或滑带上所有点的塑性应变率均趋于无穷大
变形速率 V_f	$V_f \rightarrow V_{Cr}$	中长期预报	不同类型的滑坡发生前, 其临界变形速率 V_{Cr} 从 0.1 ~ 1 000 mm/d 不等, 差别较大
位移加速度 α	$\alpha \geq 0$	临滑预报	加速度值应取一定时间段的持续值
蠕变曲线切线角 (α)	$\alpha \geq 70^\circ$	临滑预报	黄土滑坡 α 在 $89^\circ \sim 89.5^\circ$ 为滑坡发生危险段
位移矢量角	突然增大或减小	临滑预报	堆积层滑坡位移矢量角锐减
分维值 (D)	1	中长期预报	D 趋近于 1 意味着滑坡发生
分叉集方程判据 (D)	0	临滑预报	D 趋近于 0 意味着滑坡发生
蠕变曲线切线角 和位移矢量角	$\alpha \geq 70^\circ$ 且位移矢量角突然 增大或减小	临滑预报	新滩滑坡变形曲线的斜率为 74° , 位移矢量角显著变化, 锐减至 5°
双 参数 判据 位移速率和位移 矢量角	位移速率不断增大或超过 临界值, 位移矢量角显著 变化	堆积层滑坡临滑预报	

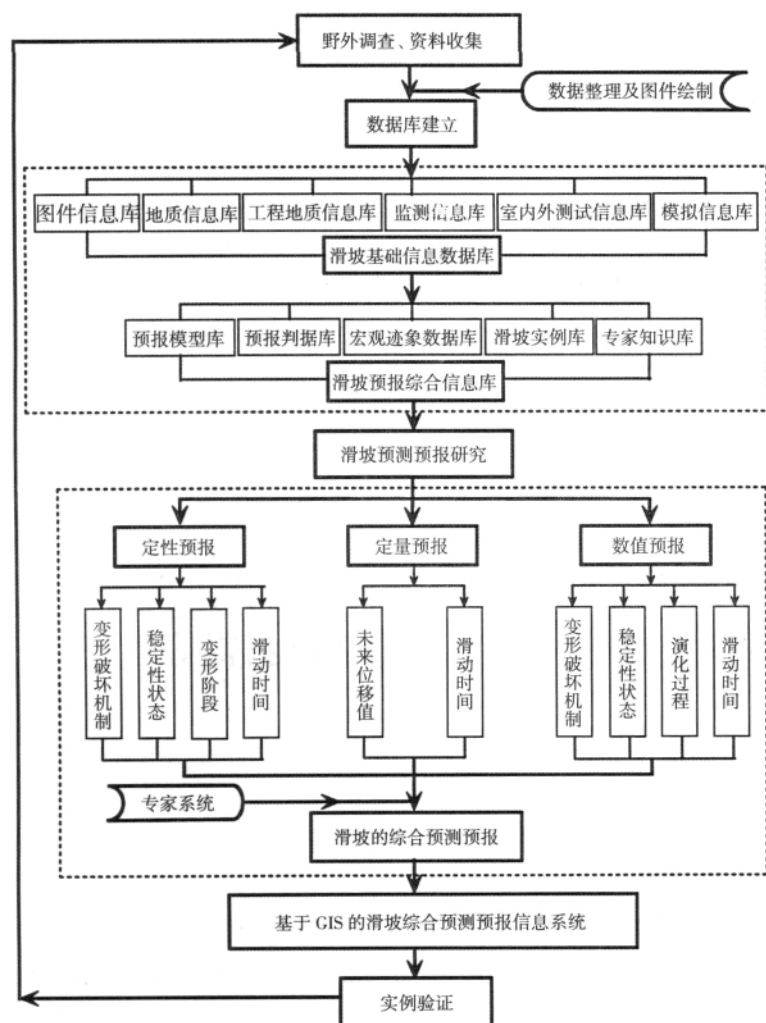


图 1 滑坡综合信息预报技术路线框图

兆异常。主要为变形异常(滑坡、崩塌发生前数天或数小时,一般会伴随间断的小规模崩滑、滚石、坠石。坡体后缘裂缝加速张开、闭合、陷落、前缘隆起、鼓胀等)。地下水异常(滑坡体及前缘泉点数目增加或减少,水位跃变,水质、水量、水温、水的颜色发生变化等)。动物异常(蛇、鼠出洞,鱼群聚集,鸡飞、犬吠等)。地声(岩土体移动、破裂、摩擦发出的声响、建筑物倒塌、滚石发出的声响等)。地气(滑坡区冒出的有味或无味的热气等)。

3 滑坡预报判据

除滑坡预报模型外,滑坡预报研究的另一重要方面是预报判据。滑坡预报判据是指用于判定斜坡体进入临界失稳状态的指标。根据文献资料,目前,国内外学者已提出了 10 余种滑坡预报判据,见表 3。

4 滑坡的综合信息预报

由于滑坡地质灾害的成因机理、形成条件、诱发因素等的复杂性、多样性以及其变化的随机性、非线性,

完全从定量或定性的角度准确地预测预报滑坡的发生时间均非常困难。因此,要想实现滑坡的准确预报,必须既要注重滑坡的共性特征,掌握斜坡演化的一般规律,又要注重滑坡的个性特征,研究滑坡体形成的基本条件、地质结构、成因机理、演化阶段即稳定性状况;将监测资料为依据的定量预报与以宏观变形破坏迹象和前兆异常为依据的定性预报有机结合,从而实现滑坡的综合信息预报。欲真正实现滑坡的综合信息预报,首先必须借助于 GIS 手段将与滑坡预测预报相关的各种信息进行科学合理地管理;同时滑坡的综合预报,既涉及到定量信息(如各种监测数据),也涉及到定性信息(如滑坡体的工程地质环境条件和影响因素、宏观变形破坏迹象、前兆信息等),要充分利用这两类信息实现综合决策和判断,也必须借助于专家系统的思路和技术手段,见图 1。

从图 1 可以看出,滑坡综合信息预报的第一步是建立与滑坡预报密切相关的信息库,信息库包括两大类:1)与被预报的斜坡体直接相关的个性特征,如基本地质信息、监测测试信息及数值物理模拟信息等,通过这些信息,可以掌握被预报斜坡体

的工程地质环境条件、成因机制、变形演化基本情况;2)滑坡预测预报所需要的共性特征,如通过大量文献资料归纳总结的具有一定普遍性和参考借鉴意义的信息(滑坡实例库、专家知识库、宏观变形破坏迹象库等)以及为滑坡预报提供的预报模型库、预报判据库等。依据上述信息,便可以根据监测资料,采用定量预报模型对滑坡未来的位移和具体发生时间进行预测;根据坡体基本值的资料、宏观变形迹象和前兆信息,采用定性预报和 GMD 预报方法,判断坡体变形破坏的成因机制、变形演化阶段、目前的稳定性状况,推测发生失稳破坏的大体时间。在此基础上,借助于专家系统的思路 and 手段,对滑坡体的现状作出综合判断。

参考文献:

- [1] 张子祥,许雁超. 庙沟铁矿东排土场存在问题及再治理措施研究[J].《矿业工程》,2012(3):48~50.
- [2] 许雁超,韩跃飞. 庙沟铁矿环境治理实践[J].《金属矿山》(增刊),2010:237~238.
- [3] 孙玉科,杨志法,丁恩保等. 中国露天矿边坡稳定性研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1999.
- [4] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报[M]. 北京:中国地质大学出版社,2004.

Landslide prediction & forecast method and data for assessing landslide

ZHANG Zixiang, XU Yanchao

(Miaogou Iron Ore Mine of Hebei Iron & Steel Group Corporation, Qinhuangdao 066501, China)

Abstract: The landslide quantitative & qualitative forecast model and method and the assessment of premonition data for landslide are explained.

Key words: landslide; forecast; model

中冶北方包钢固阳矿山 240 万 t/a 球团项目回访获得好评

2012 年 11 月 23 日,由中冶北方工程技术有限公司副总经理汪立中、总设计师、工艺、电气等专业相关人员组成的团队,对包钢固阳矿山公司(包钢集团的全资子公司)240 万 t/a 链算机一回转窑球团工程进行了项目回访,项目生产满足设计要求,获得业主好评。

经过中冶北方现场服务人员与甲方、施工、监理等单位的共同努力,2012 年 10 月初投产后迅速实现达产,项目日达产 7 300 t 以上,是包钢“达产早,见效快”的项目设计典范。

包钢固阳矿山 240 万 t/a 球团项目原料条件复杂、铁料熔点低、煤质差,要求设计整体工艺适应性较强。在设计周期中,各专业技术人员夜以继日,克服时间紧、难度大的困难,积极配合现场的施工进度。该工程设计水平、现场服务质量,特别是项目顺利投产并迅速达产的良好效果,均得到业主的一致好评。