

# Brief Talk on the Method of Slope Displacement Monitoring and Situation Prediction

Jiaming Xiang

Chongqing Jiaotong University, 400074, China

**Abstract:** With the vast territory and rapid economic development, China will be continuously in the state of road construction and operation. At the same time, the geological environment of China is diverse and complex, and the construction and operation of roads face different risks. This article reviews the development process of slope displacement monitoring and slope situation forecasting methods, describes the main problems in slope situation forecasting at this stage, and prospects the development trend of slope situation forecasting.

**Keywords:** Slope situation; Displacement monitoring; Slope; Forecast

## 浅谈边坡位移监测及态势预测方法

向佳铭

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

**摘要:** 中国幅员辽阔, 经济发展迅速, 将会长期处于道路建设及运营阶段。同时中国地质环境复杂多样, 道路建设运营面临着不同风险。本文对边坡位移监测及边坡态势预测方法研究发展过程进行综述, 对边坡态势预测现阶段存在的主要问题进行了阐述, 对边坡态势预测的发展趋势进行了展望。

**关键词:** 集边坡态势; 位移监测; 边坡滑坡; 预测预报

### 1 引言

截至 2019 年, 中国公路总里程达到 484.65 万公里、其中高速公路达 14.3 万公里。同时中国也是世界上遭受自然灾害危害最严重的国家之一, 疆域辽阔, 公路建设及运营不可避免会遇到各类复杂的地质环境, 公路沿线存在着多种地质灾害风险。据《全国地质灾害通报(2018)》, 全国共发生 2966 起地质灾害, 其中 55%为滑坡(1631 起)、28.9%为崩塌(858 起)、11.4%为泥石流(339 起), 分布在全国 29 个省(自治区、直辖市), 造成直接经济损失 14.7 亿元, 伤亡超 170 人。随着中国经济继续发展, 道路建设持续推进, 边坡灾害给社会带来的危害性也在继续增大。然而, 关于边坡滑坡时间的预测一直是国内外岩石力学及工程地质等各学科领域的专家及学者关心的热点和难点。为了达到良好的防灾减灾目的, 对高边坡等潜在危险边坡进行监测及其态势预测有明确的认识具有重要的现实意义。

### 2 边坡监测技术

自 20 世纪 30 年代开始, 美国就已把位移监测手段应用在岩土工程领域。此阶段的边坡位移监测主要通过人工利用皮尺等工具进行简易的测量完成。到 20 世纪 40 年代, 出现了较完善的边坡监测系统。这时期对边坡的位移观测主要通过光学或电学的测量仪器。第三届国际土力学和基础工程会议(1953)上, 有学者对滑坡与边坡稳定做了报告。前苏联学者叶米里扬诺娃(1956)撰写《滑坡观测技术指南》对滑坡位移原理和方法进行了总结。自 1960 年以来, 西方发达国家相继对边坡滑坡灾害监测预报技术展开研究, 提高了防灾减灾的水平。美国、西欧等国家利用 GPS 及遥感等手段, 对数据的采集、传输、存储、处理等过程实现了自动化, 可对崩滑流等地灾进行实时的监测和预报。到 21 世纪, 随着传感器技术、计算机技术和无线通信技术的发展, 边坡安全监测技术也取得了较大进步, 各种新式的监测设备被应用于边坡监测中, 由原来的简易监测手段逐渐向智能化监测方向发展, 对监测数据的处理和分析也由原来的人工计算向自动化云计算发展, 以达到自动预警、实时监测和安全性动态分析。同时基于物联网的发展, 结合无线传感技

术、无线通信技术及云计算,将边坡安全监测技术向全天候、低成本、大范围、智能化和高精度的方向发展。

我国在边坡安全监测和预测领域虽然起步较迟,但近年随着我国飞速发展,边坡安全监测技术领域也有了迅猛发展。目前,国内边坡监测的技术已经从人工皮尺简易监测阶段发展到仪器监测阶段,正向自动化、高精度及远程监测系统方面快速发展。上世纪70年代,我国已经开始使用光学测量仪器进行边坡表面位移监测。陆业海(1995)将空间测量技术用于研究三峡库区的新滩岩崩区。2001年我国首先在三峡库区、四川雅安等地区开展边坡监测,随后扩展到云南、山西、福建、四川等省份。随计算机技术与电子技术的发展,监测方法和设备不断完善,监测内容也更加多元化。尤其是GPS、GIS、RS、InSAR、GNSS、三维激光扫描等多种监测方法的出现,使得边坡监测技术向高精度、自动化的方向有了进一步发展。监测技术的进展主要体现在监测方法及监测仪器两个方面。周平根(2004)把边坡监测按照监测内容或监测对象分为了:地表绝对位移和相对位移监测、深部位移监测、物理场监测、地下水监测、外部触发因素监测等[4]。地表绝对位移监测主要是使用经纬仪、水准仪、红外测距仪、激光仪、全站仪等借助大地测量法测得崩滑体在不同时刻的三维坐标。地表相对位移监测是通过振弦位移计、电阻式位移计、裂缝计、变位计、收敛计、大量程位移计等测量研究区点与点之间相对位移的一种监测方法。近年来,地表位移监测无论是在调查技术还是监测仪器方面发展都较迅速而且已经达到了很高的水平。随着传感器和仪器仪表等技术的快速发展,专用的边坡监测仪器逐步发展起来,并经过不断完善,已经形成了功能较为齐全的独立监测系统。在建立监测系统的基础上,建立数据的管理和储存系统,实现了对监测成果、人员和仪器等相关信息的存储和管理。

### 3 边坡安全态势预测方法

边坡安全态势预测的核心是预测模型和预测判据的选取,合适的预测模型与判据组合才能得到较为理想的预测结果。

#### 3.1 国内外研究现状

目前边坡安全态势预测判据有很多类,其中以位

移研究最为突出,因为边坡稳定状态最直接的反映即为位移,并且位移变形量测方法较为简单,所以它在工程实践中越来越引起人们的重视。边坡形变预测的方法研究历史已有半个多世纪,国内外学者提出了许多经典的理论和方法,以其出现的时间可将其划分为三个阶段:

第一阶段为20世纪60至70年代,此阶段主要为定性判断,通过观察边坡的宏观变形现象,结合前兆特征进行主观判断,辅以简单的监测手段,预测结果建立在定性分析的结果上。日本学者斋藤迪孝在经验预测的方法上做出了杰出贡献,他以土体蠕变理论为基础,将土体蠕变分为了减速、匀速和加速三个阶段,结合大量室内实验,提出了匀速和加速阶段以应变速率为基本参数的预测经验公式,认为在匀速蠕变阶段,各时刻的应变速率与该时刻距破坏时刻的对数成反比,计算公式为:

$$\lg t_r = 2.33 - 0.916 \times \lg \varepsilon \pm 0.59 \quad (1)$$

在加速蠕变阶段,去期间变形量相等的  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  三个时间来计算最后破坏的时间,计算公式为:

$$t_r = t_1 + \frac{(t_2 - t_1)^2 / 2}{(t_2 - t_1) - (t_3 - t_1) / 2} \quad (2)$$

其中  $t_r$  为边坡最终破坏时间[7]。

第二阶段是为20世纪80至90年代,此阶段为边坡变形预测研究的快速发展阶段。边坡的变形预测运用了大量的不断发展成熟的现代数学理论。诞生了数理统计、黄金分割法、Verhulst 生物生长模型、灰色系统理论及模糊数学等以监测数据为基础的统计分析模型。

第三阶段为20世纪90年代至今,随着系统科学及计算机科学的迅猛发展,边坡变形预测的方法日趋成熟。在这个阶段学者们认识到了边坡系统的开放性,引入了非线性科学理论对边坡形变预测进行研究,并提出了基于状态变量摩擦定律的非线性动力学模型、多参数预报模型及人工神经网络模型等模型。

目前,在信息将成为第一生产要素的时代,信息融合也被应用在边坡安全态势预测方面,边坡的表面位移、深部位移、实时雨量等多元信息融合技术是目前研究的热点。张菖(2017)构建了以BIM滑坡地质灾害模型为基础的云计算框架,结合边坡的多种监测数据和有限元分析手段,实现了地质灾害多源监测数据的快速集成、分析和反馈,提高了地质灾害预警的时效性[9]。

### 3.2 现阶段存在问题

现阶段边坡安全态势的预测取得了许多成就，但边坡安全态势预测仍存在以不足之处：

边坡滑坡是由复杂影响因素致使，具有较多不确定性因素，边坡变形进程、变形特性及破坏方式复杂多变，大幅提高了预报难度系数。

人们对边坡危险因素的识别不足以及受到经费限制，大力发展边坡灾害的时间预测而忽视了空间预测。

对于同一边坡，选取相同的位移监测数据（时间序列），采用不同的预测模型，会得到不同的预测结果；若选取不同时段测得的监测数据，采用相同预测模型，也会得到不同的预测结果。各模型的适用范围尚未明确。

### 4 结语

自上世纪 30 年代以来，边坡的安全监控及态势预测取得了巨大的成就，在保证道路建设及运营阶段建设者及使用者的生命财产安全起到了不可磨灭的作用。表面位移作为边坡运动最直观的参数并具有易于量测的优点，作为主要判据能使预测结果更加合理。

但边坡作为不确定性和复杂性系统，其安全态势的预测一直是研究热点与难点，且不同预测模型的适用范围也尚未明确。边坡灾害的发生受诸多的因素影响，不同边坡背景复杂，边坡安全态势的预测正朝着多元信息融合技术方向发展，不同预测模型及多源信息的组合使用将是边坡安全态势预测的研究热点。

### References (参考文献)

- [1] Qin Dailun, Li Jianfeng. The feasibility study of gps displacement monitoring in the slope geological disaster survey. *Advanced Materials Research*. 2013, 671-674, 2087-2090.
- [2] Peng M., Li X.Y., Li D.Q., et al. Slope safety evaluation by integrating multi-source monitoring information. *Structural Safety*. 2014, 49, 65-74.
- [3] Jin H.Y. Research on comprehensive evaluation methods of monitoring and early-warning for rock slope. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*. 2011, 28(1), 29-103.
- [4] 周平根. 滑坡监测的指标体系与技术方法. *地质力学学报*. 2014, 01, 19-26.
- [5] 董文文, 朱鸿鹄, 孙义杰. 边坡变形监测技术现状及新进展. *工程地质学报*. 2016, 24(6), 1088-1095.
- [6] 谢振华. 基于 BP 神经网络的矿山排土场滑坡预警模型. *金属矿山*. 2017, (06), 166-169.
- [7] 许青青. 滑坡预测预报模型比较分析. 哈尔滨工程大学, 2011.
- [8] 庞恒茂. 边坡监测中多源信息融合技术研究. 沈阳航空航天大学. 2013.
- [9] 张菖, 陈志文, 韦猛. 基于 BIM 的三维滑坡地质灾害监测方法及应. *成都理工大学学报(自然科学版)*. 2017, 44(3), 377-384.