

滑坡灾害预测模型对比分析^①

吴树仁 陈庆宣

(中国地质科学院地质力学研究所)

汪稔 郭见扬

(中国科学院武汉岩土力学研究所)

滑坡灾害预测研究,自 80 年代以来取得了长足进展,无论是空间预测、时间预测,还是时空预测,均已进入多种半定量—定量预测模型共存,确定性模型、统计模型和灰色模型共同发展的阶段。特别是近几年人工智能预测模型和非线性预测模型的发展,给滑坡灾害预测研究带来了新的挑战和新的希望。因此,从理论方法上对不同类型的预测模型进行对比分析,优化选择反映滑坡灾害系统本质规律和学科发展方向的预测模型,有利于滑坡预测学的发展。本文试图对目前滑坡灾害模型进行对比分析。

1. 确定性预测模型,或称“白箱”模型

建立在牛顿范式基础之上的经典预测科学,通常把预测对象(滑坡)看成是线性的、可解析表达的、平衡态的、规则的、确定的和可严格逻辑分析的简单系统。并在简化分析滑坡边界条件和结构要素的基础上,把有关滑坡环境的各类参数用测定的量或线性变化的量予以数值化,进而运用刚体极限平衡理论或改进的极限平衡理论,建立确定的数学表达式,预测滑坡的动态过程。这类预测模型的本质特征是:预测方程和变量都是线性确定的。如斜坡稳定性系统算法(条分法、推动传递法)。这种模型反应了滑坡过程的某些物理实质,为广大工程设计人员所熟知和大量采用,具有一定战术意义。多适用于单体滑坡(斜坡)的预测评价,而不适合于大面积的区域预测。虽然在具体的(特别是早期的)工程实例中,也起到了一定的作用,但是随着滑坡灾害复杂性现象的不断揭示,这种简单处理问题的方法逐渐暴露出很多缺陷,在逼近滑坡灾害的真实性和预测灾害的未来动态方面总显得不尽人意。因此,至 70 年代后期,这类模型逐渐被破坏概率模型和其它统计模型所取代。

2. 统计预测模型,又称“黑箱”模型

建立在统计物理基础上的滑坡预测理论,把滑坡灾害系统看作为不确定的随机事件,具有偶然的灾变性。因此,从概率统计分析角度揭示滑坡灾害的规律,建立预测模型。其重点在于:对现有滑坡及其类似不稳定现象所处地质环境条件和影响因素进行统计分析,并在解释统计规律的基础上,建立拟合模型,预测滑坡的时空规律。如多元回归模型、聚类模型、系统模型等。这些模型要求统计样本越多越好,并可在不断统计新资料的基础上,修改完善预测模型。因此,这类模型的本质特征是:预测模型和变量都是不确定的、随机的,通过统计概率确定。这类模型在一定程度上反应了滑坡灾害系统的某些共同特征和规律,因此,在区域滑坡灾害预测方

^① 中国科学院山地灾害基金资助项目部分成果

面有所成效。但是,它忽视了滑坡复杂多变的个性特征,特别是在抽样统计过程中,人为影响因素较大(认识程度的差异),因而往往在关键事例上只能起到事后修改验证的作用。另一方面,它要求统计样本量大,耗时耗资量也较大。

3. 灰色模型

80年代以来,随着邓聚龙先生《灰色控制系统》研究的发展和推广,滑坡灾害的灰色预测模型不仅确定了它与前述“白箱”模型和“黑箱”模型相鼎立的地位,而且有逐渐取而代之的趋势。从形式和内容上分析,灰色模型是介于上述两类之间的一种预测方法。从实质上分析,这类模型的预测方程多为确定性的(或近于确定性的),只是其预测参数和因子是用概率统计方法来确定,而不是用确定性的测试或计算求得。因此,它与统计模型本质区别是,不因统计样本的不断增加而修改预测模型本身;但可依据统计资料来拟合建立(确定性)预测方程和修改变量和参数,这与统计类型相类似。其典型代表有:破坏概率模型、泊松旋回模型、模糊数学模型、信息模型(综合模型和逻辑信息模型)、灰色系统模型等。这类模型的预测方程通常较简单(如信息模型和灰色模型等),没有复杂的数理推导,易于推广普及;而且在统计样品过程中,更注重于统计样品的质量。因此,预测效果较好,发展也较快,既适合于单体滑坡的时间预测,也适合于滑坡灾害的空间预测,故已成为目前滑坡时、空预测研究中的主导模型。

4. 人工智能模型—滑坡专家系统

滑坡灾害预测专家系统,目前还只是起步阶段。但是这种以人工智能的基本概念——符号系统和信息处理为基础所建立的人脑机理的新模型,强调专家知识本身解决问题的功能,而不仅仅用公式推理方法。特别是对那些还没有出现在出版物中的专门性知识,包括直观推断的经验、头脑中一晃而过的猜测及解决问题的途径,以及不完善或不完整的数据和资料等进行系统的开发整理,建立滑坡灾害预测领域的专家知识库。然后根据不同尺度的滑坡预测问题进行逐步专访推理获得答案,达到时、空预测的目的。尽管滑坡灾害的人工智能预测,面临着专家知识获取、储存、表达和演绎等方面的概念化和智能化问题,使其举步艰难。但随着计算机技术的发展,这种预测方法前景光明。

5. 滑坡灾害非线性预测模型

最近20年发展起来的非线性科学给复杂地质灾害(滑坡)系统的预测研究注入了新的活力,它从共性和普遍性角度探讨滑坡系统的非线性行为,揭示滑坡系统从简单(边坡蠕变)到复杂,从无序到有序的动态演化过程中的确定性与随机性、必然性与偶然性之间的关系。首次把预测理论中的确定论和概率论两套对立的预测观有机地联系在一起。深化了关于必然性与偶然性、局部与整体、有限与无限、简单与复杂等哲学范畴内的基本概念的认识。使滑坡灾害时、空预测过程中建立有随机事件影响的确定性预测方程或受偶然性支配的预测模型成为可能。比如,从必然性决定的确定性方程入手,提炼其共性特征的控制变量(如应力、应变、微移、物性、滑动带状态、边界条件等),进行规一化处理,充分考虑不稳定涨落(如应力、位移的局部放大)和外部噪声(振动、暴雨、人类活动)等的随机干扰,建立由信息熵和有序度反映的滑坡灾害系统动态演化模型比如协同信息模型,滑坡尖变点模型等,或从滑坡灾害系统时、空结构的稳定性分析方面,建立结构失稳预测模型,开辟滑坡灾害预测的新途径。

综上所述,滑坡灾害预测已进入了多类多种预测模型并存发展阶段。无论是理论分析,还是实践检验,灰色预测模型均已趋于成熟,故已成为目前滑坡灾害预测的主导模型,并具有广泛的应用前景。而人工智能模型和非线性预测模型还处于起步阶段,虽然发展前景乐观,但面临众多复杂而富有挑战性的难题,将有一个发展完善过程。