

万佳威,张勤军,石树静. 岩溶塌陷不确定性预测评价综述[J]. 中国岩溶, 2017, 36(6): 764-769.
DOI:10.11932/karst20170601

岩溶塌陷不确定性预测评价综述

万佳威, 张勤军, 石树静

(广西壮族自治区地质调查院, 南宁 530023)

摘要:文章梳理了岩溶塌陷不确定性预测评价的发展历程和最新进展,总结形成了预测评价的一般思路,认为评价时应立足于评价区的地质背景和实际塌陷情况,遵守“从定性到定量”的原则,按照评价区实际情况,依次完成影响因素分析、评价因子选取、评价模型构建3个步骤,并对如何完成好这3个步骤进行了详细阐述;还针对常用的模糊综合评价模型、灰色模糊综合评判模型、信息量模型、证据权模型、人工神经网络模型、支持向量机模型,在特点、核心步骤、优势、弊端4个方面进行了分类对比分析。文章认为目前国内的岩溶塌陷不确定性预测评价还存在较大滞后,仍有许多问题亟待解决。

关键词:岩溶塌陷;不确定性;预测评价;评价因子;评价模型

中图分类号:P642.26

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2017)06-0764-06

0 引言

岩溶塌陷是我国六大地质灾害之一,具有较强的隐蔽性和突发性,在岩溶区十分常见。它与人类活动紧密相连,威胁着国民经济建设和人民生命财产安全。根据记载,全国现已发生岩溶塌陷近1 600起,形成的塌陷坑超过40 000个,在广州、武汉等大中型城市密集分布,且存在逐年递增的趋势^[1]。

岩溶塌陷的预测评价作为塌陷研究中的关键一环,一直广受关注。为更好地实现灾害预测,专家学者们对不同地区、不同地点的岩溶塌陷进行了较多的研究、论证和总结,在形成机理、影响因素以及实时监测等方面均取得了一定进展^[2-4]。一般而言,岩溶塌陷的预测评价模型分为确定性和不确定性两种。前者以相关力学理论为基础,根据塌陷的形成机理建立起物理力学模型,推导出塌陷的确定性数学平衡表达式;后者则是根据塌陷影响因素和选定的数学模型的耦合结果,直接得出塌陷的可能性结论,具有不确定性。

由于岩溶塌陷形成条件十分复杂,不确定性预测

在生产实践中往往运用更广。它操作相对简单,普适性较强,能够进行大范围的空间预测评价,对塌陷预报研究和工程防治等均具有重要意义。但其在目前还处于探索和尝试阶段,尚未形成较为统一和系统的认识。基于此,本文对常用的岩溶塌陷不确定性预测评价进行梳理,对不同评价模型的特性、共性问题进行分析和总结,希望有助于其他研究人员在岩溶塌陷研究中顺利开展预测评价。

1 评价进展

上世纪80年代以前,岩溶塌陷不确定性预测评价以定性地质分析为主。但随着我国塌陷专项调查研究的铺开,各地针对该问题陆续进行了有益探索,逐步形成了地质分析—力学分析—数理分析相结合的半定量分析方法^[5]。如项式均等^[6]在桂林市和湖北大广山铁矿两地,运用逐步判别法对塌陷发生的可能性进行分类评判。上世纪90年代后,地理信息系统(GIS)技术飞速发展,其强大的空间分析功能极大推动了评价的定量化。如Magdalene和Alecander^[7]

基金项目:中国地质调查局项目(12120114022101,12120115047401);中国地质调查项目(DD20160254)

第一作者简介:万佳威(1991—),男,硕士研究生,助理工程师,主要从事岩溶地质灾害研究工作。E-mail:wjw199105@163.com。

收稿日期:2017-03-07

于 1995 年在美国的明尼苏达州对岩溶塌陷采用临近分析法进行空间预测,发现其具有集中分布性。之后,国际社会建立完善了以 GIS 技术为平台的地质灾害评价体系,雷明堂等率先将其应用于岩溶塌陷预测评价中,并研制开发了以 IDRISI 为基础的“岩溶塌陷综合预测评价系统”,取得了较好的效果^[8-9]。与此同时,刘希林等^[10]、张业成等^[11]、全望永等^[12]、贾秀梅等^[13]、贺玉龙等^[14]以统计学、运筹学、系统学等理论为基础,运用回归分析法、综合灾度法、模糊数学、灰色系统、人工神经网络(ANN)建立数学模型,完成了较多地质灾害预测评价工作。

以此为基础,国内众多专家学者针对岩溶塌陷的不确定性预测评价模型不断调试和改进。陈学军等^[15-16]在评价中将 GIS 技术与模糊数学评价模型有机结合;包惠明和胡长顺^[17]提出模糊数学评判模型中宜有分级思维;胡瑞林等^[18]采用鱼骨模型对唐山岩溶塌陷区进行风险评估;邱向荣^[19]按照影响因素与灾害危险性之间的模糊关系以及信息的不充分程度,建立了灰色模糊综合评判模型;刘江龙等^[20]建立了信息量法模型,应用 ArcGIS 软件对广州主城区进行塌陷危险性评价;赖永标和乔春生^[21]基于支持向量机(SVM)方法,运用 Matlab 软件进行编程运算并完成了易发性评判;蒙彦等^[22]发现岩溶塌陷的监测数据呈“S”特征,在灰色系统中更适宜 Verhulst 模型;赵增玉等^[23]以 GIS 为平台建立了二值证据权(Wofe)模型,在杭州西湖周边进行了塌陷危险性区划;黄仁东等^[24]基于 Fisher 判别法(FDA),运用 SPSS 软件进行塌陷判别预测,并与 ANN 法、SVM 法预测结果进行了对比;潘健等^[25]建立岩溶塌陷层次递阶结构模型,以伯努利试验进行广州白云区塌陷概率计算;邵良杉和徐波^[26]建立基于主成分分析法(KPCA)的 SVM 塌陷预测模型,并与 ANN 模型和 FDA 模型进行了比较。与国内相比,国外学者^[27-30]近年来多致力于塌陷信息的搜集与读取,主要利用“3S 技术”建立塌陷数据库并生成数字高程模型(DEM)和数字地面模型(DTM),进而对塌陷进行评价预测。

2 评价思路

岩溶塌陷的形成演化离不开“岩—土—水”之间的相互作用,这一作用既受评价区自身条件的控制,也受外界因素的影响。而不确定性预测评价的核心问题就在于针对这些不同类型、不同层次的影响因素

如何进行妥善准确的综合处理。

为此,本文对当前应用较多、效果较好的预测评价方法进行了总结,形成了评价的一般思路。如图 1 所示,进行评价时应以评价区的地质背景和实际塌陷情况为基础,按照“从定性到定量”的原则,依次完成影响因素分析、评价因子选取、评价模型构建 3 个步骤,通过半定量分析方法得到评价结果。得到结果后还应进行检查,将其与实际情况进行对照,如不相符则须分析问题原因并进行调试,重新进行评价模型构建。

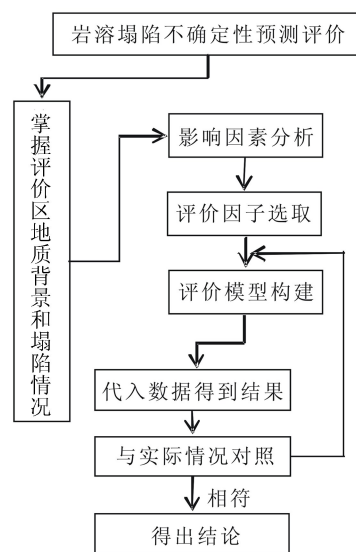


图 1 岩溶塌陷不确定性预测评价思路图

Fig. 1 Mind map of uncertainty assessment on karst collapse prediction

2.1 影响因素分析

影响因素分析是预测评价的重要基石,对选好用好评价因子具有直接指导作用。由于不同地区的地质背景、岩溶发育、气象条件、人类活动等情况存在一定差异,导致各地区影响塌陷形成的主控因素也不尽相同。因此评价者应针对评价区实际,全面客观地对各影响因素按不同类别进行单因素分析。

结合前人研究成果^[31],众多的影响因素可大致归纳为 5 大类,分别为基岩因素、盖层因素、地下水因素以及自然因素和人类活动因素。其中基岩因素包括基岩岩性、岩溶发育强度、岩溶发育深度等;盖层因素包括盖层厚度、盖层类型和结构、土的性状等;地下水因素包括地下水类型、富水性、水位埋深、地下水动力条件、水位波动因素等。自然因素包括在降雨、干旱以及地震、活动断裂等,人类活动因素包括抽排地下水、爆破、地面堆载、工程施工等。

2.2 评价因子选取

评价因子的选取是正式评价的第一步。由于不同评价区一般存在区域条件差异和精度需求差异,所以评价人员须因地制宜,从塌陷的影响因素分析出发,按实际情况和评价精度要求分层选取合适的评价指标。根据评价的实际需要,可将塌陷预测评价分成区域评价、地区评价和场地评价三个层次^[6,32]。

2.2.1 区域评价

区域评价的比例尺一般为 1:50 万~1:200 万,岩溶发育深度、盖层厚度、地下水埋深等因素往往变化大且数据少,此时宜对已有数据进行分类合并处理。在资料缺乏的情况下还应抓住影响因素的综合表征,从宏观角度选取评价因子。如以岩溶地貌来反映岩溶发育情况、以构造复杂程度来反映区域稳定情况、以岩溶塌陷的实际规模和强度来反映区块的塌陷易发程度等。

该层次常选取的评价因子为地貌、构造、岩溶发育程度、覆盖层类型及厚度范围、地下水类型及富水性、岩溶塌陷现状、气象条件、人类活动程度等。

2.2.2 地区评价

地区评价的比例尺一般为 1:2.5 万~1:5 万,此时通常已经历了详查阶段,获得有一定的调查、钻孔、试验资料,这些资料作为反映影响因素的参数指标,在数据相对丰富的情况下常被直接选为评价因子。这一层次的评价因子较多,各因子之间的从属性或关联性相对突出,宜分类分级进行评价。

该层次常选取的评价因子主要有 5 类,分别为基岩条件类、盖层条件类、地下水条件类、人为条件类以及塌陷现状。基岩条件类包括岩溶发育强度、岩溶发育深度或岩性、岩溶形态、见洞率、线岩溶率等;盖层条件包括土层厚度、土层结构、盖层底部的土体性状等;地下水条件包括水位埋深、水位变幅、水位变频、地下水位与基岩面关系、径流强度等;人为条件包括地下水开采量、距开采井距离、振动强度等;塌陷现状包括塌陷密度、塌陷影响面积、塌陷稳定性等。

2.2.3 场地评价

场地评价的比例尺一般为 1:1 000~1:10 000。该阶段的评价目标不仅在于空间预测,还应面向时间预报。为使评价结果更加准确、精细、实用,并能直接助力工程选址和生生活红线的划定,这一阶段的评价宜置于塌陷数值模拟之后^[33]。

该阶段常选取的评价因子主要包括各类影响因素的具体反映指标,如岩溶发育指标、盖层抗塌能力

参数、水动力临界指标、地下水动态变化参数以及降雨量和人类活动参数等。

2.3 评价模型构建

评价模型的选择和建立在整个评价过程中具有决定意义。当前预测评价模型常采用模糊综合评价、灰色系统、人工神经网络、支持向量机等方法,它们在模型构建过程中各有差异,对资料数据的处理手段也大不相同,皆存在自身独特的优劣性和适宜性。

在评价模型构建过程中,各种数据分析工具发挥独特优势,使预测评价结果更加准确实用^[34-36]。譬如在以模糊综合评价为代表的众多半经验评价模型中,常需人为计算确定各评价因子的权重,这时往往需要层次分析法等决策方法从旁协助。而 GIS 技术经过长时间的发展,其空间叠加分析、空间不确定性分析、空间相关分析等功能在塌陷空间预测中现已占据重要地位。

为利于定性评价因子、区间型评价因子的有效使用,评价模型构建过程中常进行评价指标分级处理。按照资料的详实程度以及评价需求,岩溶塌陷易发程度多分为 2 个、3 个或 5 个等级。其中 2 级评价主要适用场地评价,3 级或 5 级评价适用区域评价和地区评价。仅考虑单因子的致塌效应,评价指标以该易发程度进行对应分级。由于不同地区的岩溶发育特征往往存在较大差异,各地的因子分级指标应因地制宜而不宜照搬。以桂林市区为例,在选取 5 类 13 项因子后,单因子评价指标常进行如下分级处理(表 1)。分级结束后,人工神经网络、支持向量机等方法还须使各因子的评价指标居于同一尺度,人为进行无量纲化处理,常用手段有求倒数、取对数等。

3 常用评价模型对比

近年常用且效果较好的评价模型主要可分为 3 类,分别为半经验模型、统计模型和机器学习模型。其中半经验模型包括模糊综合评价模型、灰色模糊综合评判模型等,统计模型包括信息量模型、证据权模型等,机器学习模型包括人工神经网络模型、支持向量机模型等。不同类别的评价模型理论基础迥异,分析处理资料数据的角度也各有侧重,评价结论普遍存在不一致性,故评价人员须谨慎挑选。

各评价模型现均得到大量应用,其理论依据及具体运算过程本文不再赘述,仅对其特点、核心步骤、优势、弊端进行对比分析,结果见表 2。

表 1 评价因子分级标准^[15-16,24,37-38]

Table 1 Standard on classification of evaluation factors^[15-16,24,37-38]

因子类别	因子	级别				
		1	2	3	4	5
		稳定	基本稳定	次稳定	易塌	极易塌
基岩条件	岩石地层	非可溶岩	东岗岭组、大塘组	岩关阶	桂林组	东村组、融县组
	岩溶发育程度	不发育	弱发育	中等发育	较强发育	强发育
盖层条件	土层厚度/m	>30 或 0	20~30	10~20	5~10	<5 但≠0
	土层结构	无	单层	双层	多层	混杂
	盖层底部土层岩性	无	砂砾石	粘性土	粉土	砂土、淤泥
	盖层底部土层液性指数	坚硬或无	硬塑	可塑	软塑	流塑
地下水条件	地下水位与基岩面垂距/m	>15	10~15	5~10	2.5~5	<2.5
	年水位变幅/m	<0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2	>2
	地下水径流强度	弱	较弱	中等	较强	强
人为因素	距抽水井距离/m	>500	200~500	100~200	30~100	<30
	抽水强度/m ³ ·d ⁻¹	<300	300~500	500~1 000	1 000~1 500	>1 500
	振动强度	无	轻微	中等	较强	强
塌陷现状	塌陷密度/个·km ⁻²	0	<1	1~2	3~5	>5

表 2 常用评价模型对比^[39-42]

Table 2 Comparison of common evaluation models^[39-42]

类型	名称	特点	核心步骤	优势	弊端
半经验模型	模糊综合评价模型	专家经验穿插于评价始终,在资料数据较少时亦适用	1. 选取隶属函数,计算模糊子集 2. 划分或计算权重,行成权矩阵 3. 合成模糊子集与权矩阵,获得模糊综合评判集,得出评价结果	解决评价因子分级界限模糊的问题	隶属函数的确定存在困难
	灰色模糊综合评判模型		1. 确定因子信息量的不充分程度和隶属函数,确定单因素灰色模糊矩阵 2. 划分或计算权重,形成权矩阵 3. 合成灰色模糊矩阵和权矩阵,获得综合评判集并计算范数,得出评价结果	增加灰色信息和灰度评价,评价结果更具可信度	未解决隶属函数的确定困难问题
统计模型	信息量模型	依靠 GIS 软件将统计结果外推,需要大样本	1. 选取评价变量,栅格化空间图层,提取各单元评价指标 2. 叠合塌陷分布图和各评价因子图,空间分析,计算各变量的信息量,建立总信息量方程 3. 利用方程对评价单元求解,按总信息量分级获得评价结果	相对客观,充分利用资料数据	不适用小样本
	证据权模型		计算先验概率,以评价指标各等级分类划分证据,生成证据因子图层并栅格化 求取各评价单元内证据层正负权重、对比值及标准化对比值 显著性检验和独立性检验 计算后验概率获得评价结果	相对客观	要求各因子层独立,数据常需二值化导致损失,不适用小样本
机器学习模型	人工神经网络模型	依托计算机程序,对学习样本提炼客观规律,再以此对其他同属性对象进行评价	1. 初始化权值和阈值 2. 提供学习样本,计算实际输出以及其与期望值之间的误差 3. 调整权值和阈值,进行迭代直至误差满足要求	容错能力强,资料数据的局部错误不影响整体判断	需要大量学习样本,但过量样本又易陷入维数灾难,收敛较难
	支持向量机模型		1. 设定阈值标准 2. 提供学习样本,测试选取核函数、损失函数和惩罚参数 3. 计算误差,如误差过大输入检验样本进行调试	精度相对较高、人为干预较少,适用小样本	核函数的选择存在困难

4 问题与展望

由于过去对评价方法缺乏全面系统的总结,导致岩溶塌陷预测评价长期发展缓慢,现已明显滞后于其他领域。如矿产资源预测评价中,已对证据权模型进行了扩展修正,不仅避免了连续数据二值化时造成的信息损失^[43],还较大削弱了因子层非独立性造成的影响^[44],而塌陷评价中则未见相关报道。因此在当前塌陷预测评价中,许多过去存在的问题现在依然存在并且日益突出,如评价方法单一、人为影响过多、评价因子忽视相关性和从属性、评价模型不考虑适用性、数学模型忽略地质框架等。

为解决上述问题,提高岩溶塌陷预测评价的真实性、准确性和实用性,算法优化、操作简化、评价模型集成、计算机评价支持系统开发以及时间动态评价等方面均将作为今后评价方法研究的重点。

参考文献

- [1] 雷明堂. 我国重点地区岩溶塌陷调查取得可喜进展[N]. 地质调查报, 2014-3-10(三版).
- [2] 金晓文, 陈植华, 曾斌, 等. 岩溶塌陷机理定量研究的初步思考[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 437-446.
- [3] 赵博超, 朱蓓, 王弘元, 等. 浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 515-521.
- [4] 李海涛, 陈邦松, 杨雪, 等. 岩溶塌陷检测内容及方法概述[J]. 工程地质学报, 2015, 23(1): 126-134.
- [5] 雷明堂, 项式均. 近 20 年来中国岩溶塌陷研究回顾[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(增刊): 1-5.
- [6] 项式均, 廖如松, 陈健. 岩溶塌陷灾害的预测和评价[J]. 地质灾害与防治, 1990, 1(1): 54-66.
- [7] Magdalene S, Alecander E C. Sinkhole distribution in Winona County, Minnersota, revisited [J]. Karst Geohazards, 1995: 43-51.
- [8] 雷明堂, 蒋小珍. 岩溶塌陷研究现状、发展趋势及其支撑技术方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(3): 1-6.
- [9] 雷明堂, 蒋小珍, 李瑜. 岩溶塌陷综合预测评价的理论与方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(增刊): 38-42.
- [10] 刘希林, 张松林, 唐川. 泥石流危险区划中相对分布密度的数学模型[J]. 灾害学, 1992, 7(3): 8-13.
- [11] 张业成, 张春山, 张梁. 中国地质灾害系统层次分析与综合灾度计算[J]. 中国地质科学院院报, 1993(Z1): 139-154.
- [12] 全望永, 方星. 铜陵小街地区岩溶塌陷模糊综合评判[J]. 中国岩溶, 1992, 11(4): 297-306.
- [13] 贾秀梅, 周骏业, 董玉良, 等. 灰色系统理论在岩溶地面塌陷分析预测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(S1): 113-117.
- [14] 贺玉龙, 杨立中, 黄涛. 人工神经网络在岩溶塌陷预测中的应用研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999(4): 86-90.
- [15] 陈学军, 陈植华, 陈先华, 等. 桂林市西城区岩溶塌陷模糊层次综合预测[J]. 桂林理工大学学报, 2000, 20(2): 112-116.
- [16] 陈学军, 罗元华. GIS 支持下的岩溶塌陷危险性评价[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(4): 15-18.
- [17] 包惠明, 胡长顺. 岩溶塌陷两级模糊综合评判[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(3): 49-52.
- [18] 胡瑞林, 王思敬, 李焯芬, 等. 唐山市岩溶塌陷区域风险评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 180-189.
- [19] 邱向荣. 岩溶塌陷稳定性的灰色模糊综合评判[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(4): 58-61.
- [20] 刘江龙, 刘文剑, 吴湘滨, 等. 基于 GIS 广州市主城区地面塌陷危险性评价[J]. 工程地质学报, 2007, 15(5): 630-634.
- [21] 赖永标, 乔春生. 基于支持向量机岩溶塌陷的智能预测模型[J]. 北京交通大学学报, 2008, 32(1): 36-39.
- [22] 蒙彦, 黄健民, 雷明堂, 等. 基于灰色 Verhulst 模型的岩溶塌陷定量预报预测方法[J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 17-22.
- [23] 赵增玉, 潘懋, 梁河. 二值证据权(Wofe)模型岩溶塌陷区划研究[J]. 北京大学学报自然科学版, 2010, 46(4): 594-600.
- [24] 黄仁东, 韩明, 张小军, 等. 基于 Fisher 判别法岩溶塌陷倾向性等级分类预测[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(9): 70-76.
- [25] 潘健, 周森, 林培源, 等. 广州市白云区岩溶塌陷风险初探[J]. 岩土力学, 2013(9): 2589-2600.
- [26] 邵良杉, 徐波. 岩溶塌陷倾向性等级的 KPCA-SVM 预测模型[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(3): 60-65.
- [27] Bauer C. Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data[J]. Geomorphology, 2015(250): 78-88.
- [28] Galve J P, Castañeda C, Gutiérrez F, et al. Assessing sinkhole activity in the Ebro Valley mantled evaporite karst using advanced DInSAR[J]. Geomorphology, 2015(229): 30-44.
- [29] Wu Q, Deng C, Chen Z. Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models[J]. Geomorphology, 2016(266): 1-10.
- [30] Siska P P, Goovaerts P, Hung I K. Evaluating susceptibility of karst dolines (sinkholes) for collapse in Sango, Tennessee, USA. [J]. Progress in Physical Geography, 2016, 40(4): 579-597.
- [31] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆重庆出版社, 1988: 228-248.
- [32] 戴建玲, 雷明堂, 蒋小珍. 线性工程岩溶塌陷危险性评价研究[J]. 中国岩溶, 2012, 31(3): 296-302.
- [33] 刘秀敏, 陈从新, 沈强, 等. 覆盖型岩溶塌陷的空间预测与评价[J]. 岩土力学, 2011, 32(9): 2785-2790.
- [34] 武运泊, 王运生, 曹文正. 基于 AHP-模糊综合评判的岩溶塌陷危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(1): 43-48.
- [35] 潘宗源, 贾龙, 刘宝臣. 基于 AHP 和 ArcGIS 技术的岩溶塌陷风险评价: 以遵义永乐镇为例[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(3): 464-470.

- [36] 胡成,陈植华,陈学军.基于ANN与GIS技术的区域岩溶塌陷稳定性预测:以桂林西城区为例[J],2003,28(5):557-562.
- [37] 肖明贵.桂林市岩溶塌陷形成机制与危险性预测[D].长春:吉林大学,2005:115-139.
- [38] 朱寿增,周健红,陈学军.桂林市西城区岩溶塌陷形成条件及主要影响因素[J].桂林理工大学学报,2000,20(2):100-105.
- [39] 陈玉,蔺启忠,王钦军.区域地质灾害评价模型综述[J].防灾科技学院学报,2010,12(4):42-45.
- [40] 陈衍泰,陈国宏,李美娟.综合评价方法分类及研究进展[J].管理科学学报,2004,7(2):69-79.
- [41] 刘思峰,杨英杰,吴利丰.灰色系统理论及其应用[M].科学出版社,2014.
- [42] 陈凯,朱钰.机器学习及其相关算法综述[J].统计与信息论坛,2007,22(5):105-112.
- [43] 浦路平,赵鹏大,胡光道,等. GIS 矿产资源评价中统一使用连续数据和离散数据的扩展证据权模型[J].地质科技情报,2008,27(6):102-106.
- [44] 张生元,成秋明,张素萍,等.加权证据权模型和逐步证据权模型及其在个旧锡铜矿产资源预测中的应用[J].地球科学:中国地质大学学报,2009,34(2):281-286.

Overview of uncertainty assessment on karst collapse prediction

WAN Jiawei, ZHANG Qinjun, SHI Shujing

(Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Geology Survey, Nanning, Guangxi 530023, China)

Abstract This paper reviews the development and the most recent progress of the uncertainty assessment on karst collapse prediction and summarizes the general approach of assessment. It is indicated that the assessment must be based on the geological background and actual condition in the evaluation area and the methodology of "from qualitative to quantitative" should be followed. The general approach consists of 3 steps, including analyzing the influencing factors, selecting evaluation components and then constructing the evaluation model. This paper also elaborates on how to implement these steps. In this paper, comparative analysis on features, core steps, advantages, disadvantages among fuzzy model, grey-fuzzy model, information model, weights of evidence model, ANN model, SVM model are conducted, which provides a reference for model selection. Further more, it is pointed out that in the current uncertainty assessment on karst collapse prediction in China is very behind, which caused many problems in this field.

Key words karst collapse, uncertainty assessment, prediction, evaluation factor, evaluation model

(编辑 张玲)