文章编号:1004-9045(2007)03-0281-06

暴雨灾害风险评估与区划的研究现状与进展

王 博[1,2], 崔春光[2,1], 彭 涛[2], 康志强[1], 赵晓玲[1]

(1.中国地质大学环境学院, 武汉 430074; 2.中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

摘 要:为暴雨灾害风险评估与区划研究需要,综合 20 年来国内外一些学者在灾害风险评估方面所取得的研究成果和相关文献资料,简要介绍了暴雨灾害风险区划的基本原理与技术路线;概述了暴雨灾害风险评估与区划的基本步骤;着重对暴雨灾害风险评价具有借鉴意义的模糊综合评判方法、灰色系统理论、信息量模型、人工神经网络方法等四种数学评价模型的适用性进行了分析;最后,指出未来暴雨灾害风险评估与区划研究工作的重点,一是优化暴雨灾害风险评估指标体系,二是合理选择暴雨灾害风险评估与区划的支持系统,三是完善暴雨灾害风险评估与区划的方法。

关键词:暴雨灾害;风险评估;影响因子;权重;评价模型

中图分类号:P426.616 X820.4 文献标识码:C

1 引言

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一,其中由暴雨引发的灾害占相当大的比重,因此针对暴雨灾害风险所开展的评估与区划研究及试验工作日益受到相关科技工作者和政府部门的重视。暴雨灾害风险区划中的有关成果,既可以为地区经济发展规划、农业产业结构优化和土地资源综合利用提供参考,也是政府部门制定防灾减灾规划的依据。其目的是对暴雨灾害的易发性、危险性和易损性等方面做出评价,在此基础上对暴雨灾害的风险进行相应的分区。暴雨灾害风险区划的具体步骤,一是选取评价因子及其因子量化,二是确定权重,三是建立数学评价模型,四是借助地理信息系统 GIS 对暴雨灾害风险进行分区。由于历史的原因,我国的自然灾害评估工作起步较晚,到目前为止我国比较系统的自然灾害评估仍是以地震为代表的地质灾害评估,其中最主要的研究方面是灾害危险评估和灾害损失评估。到 20 世纪 90 年代以后,包括暴风雪等在内的气象灾害评估才开始受到应有的重视。

近 10 多年来,国内不少学者或专业人员在暴雨灾害风险评估方面进行了尝试,并取得大量的成果。黄朝迎[1]通过分析暴雨洪水对公路交通的影响特点及类型,建立了公路路基水毁长度与农田受涝、成灾面积的统计模型;李凤琴[2]通过对宁夏历年暴雨、洪涝资料的研究,从其发生次数、出现时段等方面,研究了 50 年来暴雨洪涝灾害的发生规律及其对农业生产的影响;田心如,姜爱军[3,4]等根据江苏省 50 年来梅雨资料,采用数学统计方法,对江苏省梅雨及其灾害影响进行了分析评估;解以扬,韩素芹等[5]在分析天津市暴雨频次分布的基础上,根据天津市暴雨特点和汛期排水运作规则,利用天津市内涝灾害仿真模型,对不同类型的降水过程进行了数值模拟,并对暴雨引起内涝灾害的风险进行了初步的量化评估。此外,随着计算机技术的广泛应用,地理信息系统 GIS 以其强大的数据管理功能和空间分析功能[6]开始应用于气象灾害评估(包括暴雨灾害),徐向阳等[7]在探讨水旱灾害损失评估系统的构建时,不仅建立了水旱灾害损失评估数据库,还建立了相应的系统结构与功能及评估模块。由于暴雨灾害评价是一个复杂的地学多源信息综合分析过程,地学信息处理和综合分析模型十分复杂,采取传统手段模拟这一过程很难实现,运用 GIS 技术则可以较真实地再现空间地质实体,这也是 GIS 技术优于其它同类技术之处[8,9]。

本文综合近 20 年国内外学者在灾害风险评估方面取得的研究成果和相关文献资料,介绍了暴雨灾害风险评估与区划的基本原理与技术路线、基本步骤、评估方法的新进展,旨在为暴雨灾害风险评估与区划研究提供参考。

2 暴雨灾害风险区划的基本原理与技术路线

暴雨灾害风险区划是建立在暴雨灾害风险评估

收稿日期:2007-07-02;定稿日期:2007-07-24

基金项目:中国气象局武汉暴雨所开放基金项目“基于 GIS 技术的区域暴雨灾害风险评估”(0615)、科技部公益研究专项“基于 GIS 的暴雨诱发地质灾害分析预警系统”(2004DIB3J117)共同资助

作者简介:王博,男,1982 年生,硕士研究生,主要从事环境评价和灾害评估方法及应用研究.E-mail:leishenwb@163.com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基础上的工作，暴雨灾害评估技术决定暴雨灾害风险区划的质量和效果。目前，在暴雨灾害风险区划中应用较为广泛的是 GIS 技术[10-12]。其基本原理是，首先，依照传统理论与方法确定评价因子体系；其次，采用数学方法，对评价因子加以量化并赋以权值，同时，利用 GIS 中的 GRID 模块对参评因子进行栅格化，形成可用于叠加分析的专题图层(如坡度图、降雨量图等)，根据各因子在暴雨灾害发生发育中所起作用大小，构造初始 GIS 评价模型；第三，利用 GIS 的数据处理和空间叠加分析功能，将各评价因子的专题图层进行综合空间叠加分析，形成新的综合评价图以及新图层中每个评价单元的综合评价权值；最后，依据层次分析法、模糊数学综合评判法或信息量法等，建立适当的数学模型，实现暴雨灾害的易发性、危险性和易损性等方面的评价并对其进行相应分区。其技术路线如图 1 所示。

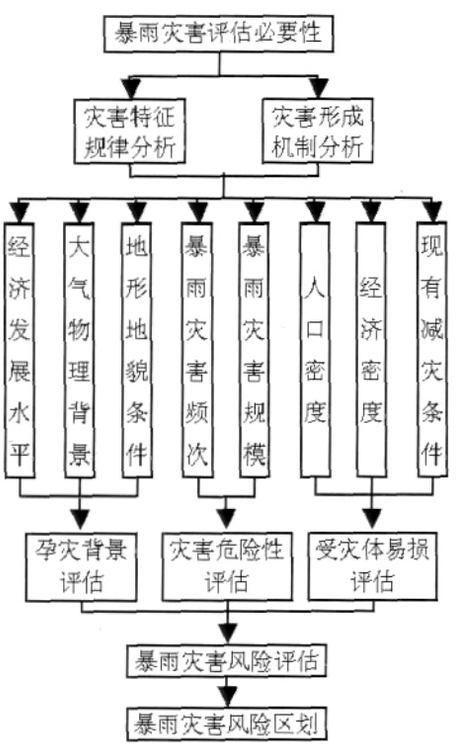

图 1 暴雨灾害评估与区划的技术路线

3 暴雨灾害风险评估与区划的方法

3.1 暴雨灾害风险评估与区划的基本步骤

3.1.1 评价因子的选取及其量化分级

分析暴雨灾害的影响因素、选择评价因子并对其分级量化是开展暴雨灾害风险评估与区划的第一步。在对某一具体地区的暴雨灾害风险进行分析评价时，参与评价的因子必须经过合理筛选。其筛选原则，一是因地制宜，了解研究区域暴雨灾害的发生规律与特点；二是选择引起暴雨灾害的主要控制因子；三是尽量选择易于量化分级的因子。其筛选方法是，利用 GIS 技术平台强大的空间分析功能，将致灾因素与暴雨灾害分布进行相关分析，例如可挑选影响滑坡灾害体分布及其稳定性的主要因素地层岩性、地形地貌、地质构造、地下水、降雨作为评价因子。在评价因子确定之后，还需要结合灾害危险性分类标准(其危险性分类包括无危险、低危险、中危险和高危险四个等级)，并根据有关规范、标准、条例和经验，对影响灾害危险性的因子进行分级量化和划分等级，并给这些因子赋予权重[13]。

3.1.2 权重的确定

暴雨灾害风险评估与区划涉及很多因子，各因子贡献大小有所不同，因此为了反映不同因子的重要性，就要对各因子的轻重、作用程度进行权衡，以确定其权重。由于在重要与非重要之间无明确分界，两者差异中间是一个量变到质变的连续变化过程。要解决的主要问题是确定各评价因子的权重量化问题。评价因子的权重是反映相对某个评价标准等级而言的重要程度的数值，因此求权重值的过程就是对不同因子间重要性程度分析的过程。由于问题的复杂性，必须综合多方面的指标进行分析。在评价中不能出现由于对研究对象分析不够，而过分地相信定权的数学模型，反而使权重不尽合理。所以，一个切实可行的定权数学模型只有建立在深刻认识地质环境与暴雨灾害系统构成、占有大量实际资料数据、掌握实际问题变化规律等的基础上，才能从实际系统中抽象出反映实际变化过程的概念模型。换句话说，定权模型包含两方面的含义：一是定性分析；二是定量取值，以定性与定量相结合决定权重，以定性分析结果作为约束形成定权模型框架。

在暴雨灾害风险评估与区划中，评价因子权重的合理性无疑会影响评价结果的准确性、科学性。权重的确定方法有主观赋权法和客观赋权法两种。目前，暴雨灾害风险评价中用来确定权重的方法主要有专家评分、AHP 层次分析、因子分析、特尔菲咨询、灰色关联分析、证据权重、统计调查法、序列综合法、隶属函数法等[14,15]。专家评分法需要进行主观赋权，因专家受专业知识领域限制及对于某一具体问题认识上存在局限，往往导致赋权结果出现一定偏差。尽管如此，专家评分法仍是目前应用较多的赋权方法，它实际上是经验估计法与意义推求法的综合，即由少数专家直接根据经验并考虑评价观点后确定权重。虽然这种直接由人给出权重的方法具有一定的主观性，但由于地质环境与暴雨灾害影响因素的复杂性和因素边界的模糊性、不确定性，这种经验判断得出的结论有时也

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

较可靠。正是因为主观赋权具有较大的随意性,才出现了模糊综合评判、AHP 层次分析法等客观赋权方法和技术,而在客观赋权的数理统计法中所需数据较多且数据处理复杂、运算量大,一般较少应用。某一单纯确定权重的方法要么主观性太强,要么过于依赖数学模型,得出的权重值不免片面。将两类赋权法结合,可弥补单一赋权法的不足,使主观与客观、定性与定量趋于合理。

3.2 数学评价模型的建立

暴雨灾害风险区划是在风险评估的基础上展开的,对于如何评价暴雨灾害风险,尽管近年来有不少学者和研究机构提出过一些方法,但迄今为止尚未形成统一的单灾种或区域暴雨灾害的综合评价方法。为此,对目前常用的地质灾害或其他自然灾害的数学评价模型进行了介绍,以供相关专业技术人员在今后的暴雨灾害风险评价中加以借鉴。

3.2.1 模糊综合评判方法

模糊综合评判方法是对受多种因素影响的现象或事物进行总的评价,即根据所给条件对所有评判对象都赋予一个评判指标,然后择优选择。在灾害评估中采用模糊综合评判方法,其优点是可以将本来模糊的、主观性很大的定性评估转变为定量评判,其思路清晰、评判结果直观,且能满足灾害评估的精度要求。该方法在山地灾害多发区段路线方案、水文地质灾害危险性等评估中应用较多。如包惠明[16]等根据山区灾害多发区段线路方案优选问题具有多因素性和模糊性的特点,在建立多级模糊综合评价因子体系的基础上,采用层次分析法合理确定路线方案中各影响因素及其各子因素的权重,运用模糊数学理论建立了山区灾害多发区段路线方案的二级模糊综合评选的数学模型,提高了山区灾害多发区段路线方案评选的客观性和科学性,并以山地灾害多发的迫隆藏布流域段为实例进行了研究, 证明了这种方法的合理性和有效性。邱向荣[17]等根据建设用地地质灾害危险性评估的特点,由影响公路边坡危险性的主要因素组建成两层次指标体系,利用模糊综合评判方法建立边坡危险性预测模型,并通过实例说明其评估结果可以满足地质灾害评估精度要求。

应用好模糊综合评判法的关键,一是确保评判因素选取具有代表性;二是确保评判因素的权重、单因素评判及模糊合成模型的选择科学合理。

3.3.2 灰色系统理论

灰色系统理论主要用于系统外部信息明确但内部规律不确定或数据信息不全等信息不完备的系统,该理论方法可以用来解决一些其它方法不能解决的贫信息问题。唐红梅等[18]对重庆市万州区基础条件和外界条件进行分析,遴选出灾害体、地表坡度、森林植被、水文地质、岩性、地表高程和库水位 7 个滑坡、危岩地质灾害的影响因子,应用灰色聚类法,分析计算了各影响因素与各灾害危险等级的白化函数,并最终确定了各评价单元的聚类向量,揭示了地质灾害危险性与各影响因素之间的相互关系。刘伟东等[19]针对 20 年北京地区发生的 19 次大风和暴雨灾害个例, 应用灰色关联度方法,对该地区同期的大风和暴雨灾害所造成的经济损失进行评估,结果表明,该方法能够对不同气象灾害和同一级别气象灾害灾情差异尺度做出比较。由此可知,灰色系统理论及其有关方法的适用领域还是较宽的,无疑也可应用到暴雨灾害风险评估与区划之中。

3.3.3 信息量模型

信息量模型用于暴雨灾害风险评估与区划,主要表现在对暴雨灾害的空间区划上。其主要思路是通过对已知的变形或破坏区域的现实情况及相关信息进行分析,把各种影响区域稳定性因素的实测值转化为反映区域稳定性的信息量值。但信息量模型在地质灾害风险评估与区划中的应用更为常见,邢秋菊[20]等以万州滑坡地质灾害为例,将滑坡风险评价中的各种因子作归一化处理后转换成相同分辨率的定量数据,根据特定模型进行运算,得到风险评价图,利用逻辑回归分析法,进行滑坡地质灾害危险性评价。陈亮[21]等以浙江省仙居县地质灾害调查与区划项目为例,在信息论原理的基础上, 建立地质灾害区划信息分析系统,进而提出基于信息量模型的多因素分析的地质灾害预测区划方法。阮沈勇[22]等探讨了信息量模型与 GIS 结合进行地质灾害危险性区划的方法及基本程序,并开发出相应的 GIS 空间扩展分析模块。可见,采用信息量模型,可较好地解决影响因素众多且难以量化的灾害自然条件定量评价问题。尽管信息量模型在暴雨灾害风险评估与区划方面的应用尚未见诸文献报道,但该模型对处理暴雨灾害风险评估与区划中的定量评价问题无疑有着参考借鉴价值。

3.3.4 人工神经网络方法

相对于其他灾害危险性预测评价方法,人工神经网络方法能够在完全不知道变量和自变量之间确切函数关系式的情况下较好地实现各参数之间的非线性映射,从实例样本中提取特征、获得知识,并通过使用残缺不全的或模糊随机的信息进行不确定性推理和预测。如李长江等[23]根据基本覆盖浙江全省雨量观测站日降雨量数据和同期有明确日期、位置记录的滑坡(泥石流)灾害数据,通过对地质构造、地层岩性、地

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

形、地貌、土壤类型、土地利用类型、人口分布、降雨量分布、已知滑坡灾害点分布等资料的综合分析，利用神经网络的自学习功能，建立区域地质灾害危险度等级与各影响因素之间复杂的非线性关系，从而实现了对区域群发性滑坡灾害概率的预测。吕远强等[24]尝试运用改进的神经网络 BP 模型对区域地质灾害危险性预测进行评价研究，结果表明，运用人工神经网络方法对区域地质灾害风险评估相对常用方法更准确、更可靠。人工神经网络模型具有很强的通用性，对于不同的灾害(当然包括暴雨灾害)危险性程度分级标准及更多的评判指标可很方便地建立相应的 BP 预测模型。所以，人工神经网络法在暴雨灾害风险评估中具有良好应用前景和较大推广价值。

3.3.5 其他一些新兴评价模型

近一二十年来，在自然灾害风险评估与区划中出现了一些应用前景较好的新兴的数学评价模型，可供暴雨灾害风险评估与区划参考借鉴的数学评价模型主要有以下几种。

⑴证据权重法(Weights of Evidence)。此法由 Agterberg 等[25,26]和 Bonham Carter 等[27,28]在 20 世纪 80 年代末期提出，它具有易于编程、对证据因子权重解释通俗易懂、证据因子处理简单、计算结果直观明了等优点，早期主要应用于基于 GIS 的矿产资源评价，后来其使用领域越来越广泛，是一种具有较大发展潜力的基于 GIS 的暴雨灾害评价数据驱动型方法。

⑵可拓学方法。可拓学是以蔡文研究员为首的我国学者创立的一门新的横断学科，该学科启动于 1976 年，以 1983 年发表的学术论文《可拓集合与不相容问题》为标志，其理论体系和知识结构初步建立[29]。可拓学解决实际矛盾问题的方法就是物元理论模型，它是描述事物基本元的物元概念与性质、定性与定量相结合的一种数学模型，其主要用来研究物元关系和可拓性及物元变换规律，提供描述事物变化与矛盾转化的形式化语言。物元的提出，使解决矛盾问题的着眼点从只研究数量关系（或空间形式）的数学模型转向事物、特征和量值相结合的物元构成模型。在物元模型中，当不考虑事物和特征的变化时，其模型便是数学模型。在解决实际问题时，物元模型是解决矛盾问题的基本模型[30]。

应当看到，暴雨灾害风险评估问题实际上也是科研实践活动中的一个矛盾问题。至于如何将可拓学与物元理论应用于暴雨灾害风险评估领域，构建可拓物元综合评判模型，开展暴雨灾害风险评估，无疑是一个值得深入探讨的、有重大现实意义的课题。吴益平、唐辉明等[31]应用物元理论，提出了滑坡灾害风险预测物元综合评判基本流程，以危险性预测为例讨论了物元集合建立、等级关联度确定等关键技术问题，还建立了滑坡灾害风险综合评判物元模型，并将其应用于三峡水库蓄水条件下巴东新县城滑坡灾害风险评价，以此证明物元模型在区域灾害风险预测中具有应用可行性。

此外，相关的新兴数学评价模型还有多层栅格数据复合叠置分析法、遗传算法等。多层栅格数据复合叠置分析法是近些年伴随 GIS 技术兴起而产生的，自其产生后发展迅速、应用越来越广。该分析法因其利用了 GIS 强大的空间分析功能，对综合研究影响暴雨灾害的各种信息从而实现对暴雨灾害风险的评估特别实用。遗传算法由 Holland 教授于 1962 年首次提出，是一种基于概率的全局优化算法，早期多用于优化、搜索、机器学习等方面，现在已有人将其成功地应用于灾害预测和灾情评估领域[32]。

4 展望

从暴雨灾害风险评估与区划的研究现状来看，要真正发挥其在地区经济发展规划、农业产业结构优化和土地资源综合利用等领域的作用，无论是在理论研究方面还是在业务应用方面，还有一些技术问题需要研究、一些具体工作需要跟进。根据瞄准前沿、科学规划、抓住关键、逐一突破的原则，其研究和工作的重点主要应集中在以下三个方面。

⑴优化暴雨灾害风险评估指标体系。国内的暴雨灾害风险评估与区划研究应用工作起步较晚，其相关的应用理论和技术还很不成熟。尽管国内许多专家学者在此方面做了大量工作，也取得一些成果，但可操作性强的暴雨灾害风险评估与区划系统较少。从开展这项工作的实际来看，提高暴雨灾害风险评估与区划水平，需要解决的问题很多，如证据权重法依赖于某一区域暴雨灾害资料积累，该区域的资料积累越丰富，应用此方法开展区划的效果就越好，但关键问题在于不断优化暴雨灾害风险评估指标体系。为此，一方面要加强暴雨灾害形成机理及其研究趋势研究，另一方面要不断总结、提炼、完善区域地质条件评价与分析方法，才能保证评估具有科学性和合理性，并建立统一的、操作性强、适用面广的暴雨灾害风险评估指标体系。

⑵合理选择暴雨灾害风险评估与区划的支持系统。暴雨灾害风险评估与区划工作涉及的层次多、因素多、问题多，既包含有空间信息，也包括时间动态变化信息。做好暴雨灾害风险评估与区划，不可忽视对暴雨灾害风险评估与区划支持系统的合理选择。专家

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系统、GIS、决策支持系统等都可用来作为暴雨灾害风险评估与区划的支持系统, 但 GIS 以其支持空间信息数字化获取、管理, 体现区域定量与空间分析有机结合, 提供高效、高精度、定量化空间分析和过程模拟预测的优势, 应成为暴雨灾害风险评估与区划支持系统的首选。

⑶完善暴雨灾害风险评估与区划的方法。常用的灾害评价与区划方法有两种: 一是基于专家经验的知识驱动型方法; 二是基于数理统计学的数据驱动型方法。前者对于影响灾害发生的评价因子的分级以及权重的确定多依赖于专家的经验, 具有主观性和不确定性; 后者根据已发生灾害的历史调查数据以及影响灾害发生的孕灾环境因子资料, 对评价因子进行分级并确定权重, 但这种方法太过繁琐, 还存在实用性较差、应用范围较窄的缺陷。如何通过整合这两种方法来取长补短, 充分发挥其优点又尽量摒弃其不足, 是一个有待长期研究的课题。

为了在上述重点研究和工作方面取得预期成效, 当务之急是精心组织、积极行动, 可采取的措施有三: 一是实施典型暴雨灾害灾种和重灾地区的调查研究, 收集山洪和滑坡、泥石流的大气环流背景与地质环境和灾害特征信息, 建立和完善地质环境和地质灾害数据库; 二是建立包括暴雨灾害监测、预警、管理、救灾等多层面的综合评估系统; 三是促进灾害评价的定性与定量紧密结合, 并以定性分析作为约束来形成定量分析的框架。

参考文献:

[1] 黄朝迎,张清.暴雨洪水灾害对公路交通的影响[J].气象,2000,26(9): 12- 15.

[2] 李凤琴.宁夏暴雨洪涝的调查分析[J].宁夏农林科技,2004(5):54- 56.

[3] 田心如,姜爱军,高苹,等.江苏省典型年梅雨洪涝灾害对比分析[J].自然灾害学报,2005,14(5):8- 13.

[4] 田心如,姜爱军,高苹,等.江苏省梅雨及其灾害影响评估分析[J].灾害学,2004,19(1):40- 45.

[5] 解以扬,韩素芹,由立宏,等.天津市暴雨内涝灾害风险分析[J].气象科学,2004,24(3):342- 349.

[6] 吴信才.地理信息系统的基本技术与发展动态[J].中国地质大学学报,1998,23(4):229- 333.

[7] 徐向阳,刘俊.水旱灾害损失评估系统[J].灾害学,1999,14(1):1- 5.

[8] 黄杏元,马劲松,汤勤.地理信息系统概论(修订版)[M].北京:高等教育出版社,2001:2- 4.

[9] 吴信才.MAPGIS 地理信息系统[M].北京:电子工业出版社,2006:2- 6.

[10] 罗晓梅.GIS 技术在暴雨泥石流减灾预报中的运用[J].山地学报,1998, 16(1):73- 76.

[11] 陈百炼,杨胜元,杨森林,等.基于 GIS 的地质灾害气象预警方法初探[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(4):93- 96.

[12] 唐川,朱静.基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J].地理学报,2005,60(1): 87- 94.

[13] 李端有,王志旺.滑坡危险度区划研究初探[J].长江科学院院报,2005, 22(4):41- 44.

[14] 樊运晓,罗云,陈庆寿.区域承灾体脆弱性评价因子体系研究[J].现代地质,2001,15(1):113- 116.

[15] 李景宜,周旗,严瑞.国民灾害感知能力测评指标体系研究[J].自然灾害学报,2002,11(4):129- 134.

[16] 包惠明.岩溶塌陷两级模糊综合评判[J].水文地质工程地质,2001(3): 49- 52.

[17] 邱向荣,袁仁茂,许伟文.公路边坡灾害危险性预测模糊综合评判法[J].水土保持研究,2003,10(3):26- 28,36.

[18] 唐红梅,林孝松,陈洪凯,等.重庆万州区地质灾害危险性分区及评价[J].中国地质灾害与防治学报.2004,15(3):1- 5.

[19] 刘伟东,扈海波,程丛兰,等.灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[C]//中国气象学会.2006 年年会 "灾害性天气系统的活动及其预报技术 "分会场论文集.成都:气象出版社, 2006:1894- 1898.

[20] 邢秋菊,赵纯勇,高克昌,等.基于 GIS 的滑坡危险性逻辑回归评价研究[J].地理与地理信息科学,2004(3):49- 51.

[21] 陈亮,曹恺.信息量模型在县市地质灾害调查与区划中的应用[J].西部探矿工程,2003(12):170- 172.

[22] 阮沈勇,黄润秋.基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J].成都理工学院学报,2001(1):89- 92.

[23] 李长江,麻土华,朱兴盛.基于 GIS 和人工神经网络的滑坡灾害概率预报系统[C]//2006 年浙江省地质学会学术交流会论文集.杭州:地质出版社,2006:60- 68.

[24] 吕远强,林杜军,罗伟强.基于人工神经网络的区域地质灾害危险性预测评价[J].中国地质灾害与防治学报,2007(1):95- 98,114.

[25] Agterberg F P. Computer programs for mineral exploration [J]. Science, 1989, 245: 76- 81.

[26] Agterberg F P, Bonham- Carter G F, Wright D F. Statistical pattern integration for mineral exploration [M] // Gaal G, Merriam D F, et al. Computer Applications in Resource Exploration and Assessment for Minerals and Petroleum. Pergamon, Oxford, 1990.

[27] Bonham- Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia [J]. Photogrammetry and Remote Sensing, 1988, 54: 1585- 1592.

[28] Bonham- Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Weights of evidence modeling: a new app- roach to mapping mineral potential [C] // Bonham- Carter G F, Agterberg F P. Statistical Applications in the Earth Sciences. Geological Survey of Canada, 1989: 171- 183.

[29] 蔡文.可拓集合和不相容问题[J].科学探索学报,1983 (1):83- 97.

[30] 蔡文,杨春燕,何斌.可拓逻辑初步[M].北京:科学出版社,2004:20- 48.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[31] 吴益平,唐辉明,殷坤龙.物元模型在滑坡灾害风险预测中的应用[J].地质科技情报,2003,22(4):96-100.

[32] 李新运,郑新奇,杨志恒.基于遗传算法的自然灾害预测方法研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2004,35(1):89-94.

Advance and the Status of the Research on Rainstorm Disaster Assessment and Regionalization

WANG Bo[1,2], CUI Chun-guang[2,1], PENG Tao[2], KANG Zhi-qiang[1], ZHAO Xiao-ling[1]

(1.School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074;
2. Institute of Wuhan Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: For the research of rainstorm disaster risk assessment and zoning, based on the related productions by the scientists in the world during the past 20 years, the fundamental and technique of rainstorm disaster risk zoning are presentated as well as its process. As the good reference models, Four methods, which are Vague Comprehensive Judging Method, Grey Systems Theory, Information Content Model and Artificial Neural Network Method, were described and analysed in their applicability. The further work was suggested on optimizing the rainstorm disaster risk evaluation index system, chosing the reasonable support system for rainstorm disaster risk assessment and division, and improving the technique of the rainstorm disaster risk assessment and zoning.

Key words: Rainstorm disaster; Risk assessment; Impact factors; Weights; Assessment model

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net