

贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析

李瑞玲^{1,2}, 王世杰¹, 熊康宁³, 周德全³

(1. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 国家天文台月球与深空探测科学应用中心, 北京 100012; 3. 贵州师范大学 地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 喀斯特石漠化从本质上来讲是喀斯特地区的成土速率远小于水土流失的速率而造成的土地生产力的退化过程。坡度起伏决定着地表现代侵蚀作用的强弱,影响着水土流失的强度;坡度越大,地表物质的不稳定性就越强,土壤越容易遭受侵蚀而变薄。在前期工作中,构筑了贵州省岩溶地区 1:500 000 坡度分级图和石漠化分布图,对岩溶地区坡度图和石漠化图进行空间叠加分析,研究坡度与石漠化形成的相关关系。贵州省岩溶地区坡度主要集中于 10°~25°之间,不同程度石漠化分布最集中的地区是 >25°的坡地区;在坡度 >18°的地区,石漠化的发生率基本随着坡度的增大而增大,强度石漠化的表现尤为明显;<18°的坡地区石漠化程度主要以轻度和中度为主。

关键词: 石漠化; 坡度; 相关分析; 岩溶地区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2006)04—0082—05

中图分类号: P642.25

Correlation Between Rocky Desertification and Slope Degree in Karst Area of Guizhou

LI Rui-ling^{1,2}, WANG Shi-jie¹, XIONG Kang-ning³, ZHOU De-quan³

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China; 2. The National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China; 3. School of Geographical Land Biological Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Rocky desertification in the karst area is a land degradation process in nature where the rate of soil formation is lower than that of soil erosion. Slope degree affects the extent of soil erosion. The greater slope degree is, the more instable surface material is. The two maps of slope gradient and desertification distribution on a scale of 1:500 000 in Guizhou Province were overlapped and analyzed in order to discuss the correlation between slope degree and rocky desertification. It was found that slope degrees ranged mainly from 10° to 25°. Where slope degree was greater than 25°, the possibilities of the desertification occurrence at low, moderate or strong rate were all very high. In addition, the occurrence of rocky desertification increased as slope increased, especially where slope degree was greater than 18°, the trend toward strong rocky desertification was apparent. The desertification was mainly at low or moderate extent where slope degree was less than 18°. The reasons for the correlation between desertification and slope degree in this region were discussed preliminarily.

Keywords: rocky desertification; slope degree; correlation analysis; karst area

石漠化是在亚热带湿润地区脆弱的岩溶生态环境下,由于受人为因素的影响,导致土地生产力下降,土地变薄,地表逐渐呈现类似荒漠景观的土地退化过程^[1]。岩溶生态环境是一种非常活跃、非常敏感的生态环境。由于人类活动加剧,石漠化问题日益突出,成为制约西南地区经济发展的最大障碍,而且正在吞噬着西南地区民众的生存空间。随着对荒漠化研究的逐渐深入,许多学者已经充分肯定了水动力在荒漠化过程中的重要作用^[2],但我国西南岩溶地区土地石漠化因其发育具有明显的地域性,一直未能引

起国际社会的广泛关注。近年来西南地区石漠化问题已经引起了政府和学术界的广泛关注。国家“十五”计划中也明确提出“推进黔桂滇岩溶地区石漠化综合治理”,将石漠化研究提到了国家目标层面。

贵州省是西南岩溶石山地区石漠化分布面积最大,程度最严重的省份。前人对石漠化的成因机制、治理作了较为深入的研究^[3-4],但基本上以定性分析为主,定量研究明显不足,造成目前对于石漠化的形成动力及自然环境背景认识不足,在治理过程中不能因地制宜,极大地影响了治理成效和速度。

收稿日期:2005-12-14

资助项目:国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200);中科院支黔项目;中国科学院地球化学研究所领域前沿 A 类项目

作者简介:李瑞玲(1975—),女(汉族),山西省五寨县人,博士,从事石漠化防治及 GIS 应用方面研究。E-mail:lrzg@sohu.com。

通过大量野外观察和室内研究发现,石漠化是诸多因素综合作用的结果,脆弱的生态地质环境是石漠化形成的地质基础。喀斯特石漠化从本质上来讲是岩溶地区的成土速率远小于水土流失的速率而造成的土地生产力的退化过程。坡度条件决定着地表现代侵蚀作用的强度,影响着水土流失的强度、土层厚度甚至土壤的肥力状况,也是地貌形态的一个表现方面。因此,地表坡度是石漠化形成中一个非常重要的影响因素。本文将贵州省岩溶地区坡度图和石漠化图用GIS进行空间叠加分析,从定量角度分析了坡度与石漠化之间的空间相关性,为后期的石漠化治理提供理论指导。

1 贵州省岩溶地区石漠化分布与坡度等级划分

在前期工作中,根据对贵州省石漠化土地特征的调查及贵州省遥感影像数据的特点,构筑完成了1:50万全省石漠化分布现状图^[5]。在贵州全省农业地貌图以及地形图的基础上^[6],完成了贵州省1:50万全省坡度分布图。

表1 贵州省岩溶地区喀斯特石漠化等级划分指标

等级	植被+土被/%	岩石裸露率/%	平均土厚/cm	农业利用价值
无明显石漠化	>70	<40	>20	宜加水保措施农用
轻度石漠化	35~50	>60	15	临界宜林牧
中度石漠化	20~35	>70	<10	难利用地
强度石漠化	<20	>80	<5	难利用或无利用价值

1.2 岩溶地区坡度等级划分

贵州省是全国惟一没有平原支撑的省份,坡度是地形因素中影响土壤侵蚀强弱的重要因素,直接影响着径流的冲刷能力,各种类型坡地的存在是诱发石漠化很重要的原因之一。根据坡地与水土流失关系以及岩溶地区的地貌特点,将贵州省喀斯特地区的坡度划为5个等级^[6]。

(1) 平缓坡。坡度在 10° 以下,有轻度片蚀作用,主要分布在盆地和浅丘中。

(2) 缓坡。坡度在 $10^{\circ}\sim 18^{\circ}$,土壤有轻度片蚀和沟蚀作用,主要分布于丘陵中,盆地中分布也较多。

(3) 缓陡坡。坡度在 $18^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间,水土流失较强,主要分布于浅切割低山和低中山区。

(4) 陡坡。坡度为 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$,水土流失比较严重,在低中山、高中山中分布面积都很广,在低山中的比例也较高。 25° 是农耕地的上限,在旱坡耕地中,大于 25° 的坡地水土流失最为严重。

1.1 土地石漠化分级及贵州省岩溶地区土地石漠化分布特点

根据大量的野外观察结合已有的石漠化研究资料,初步将石漠化划分为轻度、中度和强度3级(表1)。轻度石漠化景观上岩石裸露较明显,已不宜发展农业,可适当发展林牧业;中度石漠化岩石出露面积大,水土流失严重,土地利用类型上属于难利用地;强度以上石漠化地区基岩大面积出露,许多地方甚至已无土可流,土地基本失去利用价值,景观与裸地石山几乎没有区别^[5]。

对贵州省土地石漠化分布现状图的分析结果显示,贵州省轻度以上石漠化面积占到全省土地总面积的20.39%。从石漠化的空间分布来看,黔北和黔中石漠化多以轻度为主,中度和强度石漠化集中分布于水城—安顺—惠水—平塘一线以南的黔西南地区^[7],六盘水,安顺和黔南境内;尤其是黔南和黔西南境内,石漠化相当严重。这些分布区的地质背景有2个共同的特点,一是连续性灰岩分布面积较广,二是大都位于南北盘江流域和乌江上游一些先成的构造带上,地貌陡峻,侵蚀强烈。

(5) 极陡坡。坡度在 35° 以上,分布在低中山、深切割高中山和深切割低山区。土层瘠薄,一旦水土流失极易形成石漠化。

为了方便计算机表示和识别,每个坡度等级分别用不同的代码表示(表2)。根据坡度的大小,平缓坡、缓坡、缓陡坡、陡坡和极陡坡5个级别分别用代码1~5表示。贵州省岩溶地区地表坡度基本集中于 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之间,以 $18^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的缓陡坡地所占比例最大,占了岩溶区总面积的28.04%,其次是缓坡,占到25.04%。 $>25^{\circ}$ 的陡坡地比例占了岩溶地区总面积的近30%,这些地区在暴雨集中的季节水土流失相当严重。

表2 贵州省岩溶地区地面坡度比例及代码

坡度等级	$<10^{\circ}$	$10^{\circ}\sim 18^{\circ}$	$18^{\circ}\sim 25^{\circ}$	$25^{\circ}\sim 35^{\circ}$	$\geq 35^{\circ}$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
比例/%	17.16	25.04	28.04	21.37	8.39

全省岩溶地区极陡坡地最为集中的是黔南地区,极陡坡大部分都分布在这些地区深切河谷的两侧。陡坡也集中于黔南以及黔西南地区。

2 坡度与土地石漠化的空间相关分析

2.1 不同级别坡度区石漠化的分布

各类级别的坡地区石漠化土地所占的比例变化较小(表 3),石漠化比例最大的是坡度 $>35^{\circ}$ 的地区,石漠化面积占到该类坡地区总面积的 35% 以上;其次是陡坡区,占到区内总面积的 29% 以上;比例最小的是平缓坡区;在其它坡地区石漠化比例达到 25% 以上。在各坡度等级中,基本上坡度越大,石漠化所占的比例也越大。

表 3 贵州省岩溶地区不同级别坡地中石漠化比例

坡度级别	1	2	3	4	5
石漠化比例/%	25.85	27.29	26.60	29.08	35.30

从各级别坡地区不同程度石漠化的比例图(图 1)可以看出,各类型坡地中石漠化程度主要以轻度为主,但中强度石漠化也相当严重。陡坡和极陡坡区中度和强度石漠化比例最高,平缓坡和缓坡中石漠化主要以轻度和中度为主,强度石漠化比例较小。为了使各种统计结果及石漠化与坡度之间的相关性更少受到不同等级坡度类型分布面积的影响,我们采用不同级别坡地类型区石漠化的发生率来说明各级坡度区石漠化的分布情况和程度。不同级别坡度区石漠化发生率为各级别坡地类型中不同程度石漠化面积与相应的坡地区总面积之比。

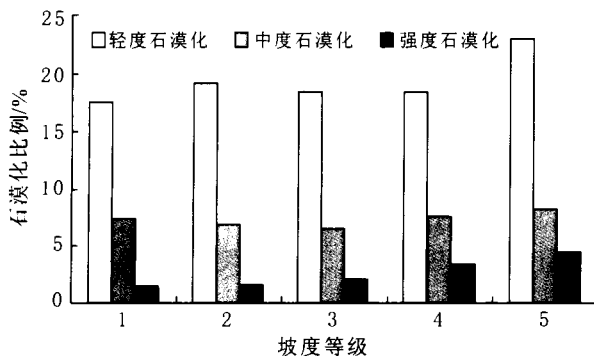


图 1 贵州省各级别坡度区不同程度石漠化比例

比较各级别坡度中不同程度石漠化的发生率(图 2), 35° 以上的坡地无论轻、中、强度石漠化发生率都非常高,而且远高于其它几级坡地中。轻度石漠化发生率在极陡坡区和缓坡区最高,其它几级坡地中变化比较平缓。中度石漠化发生率最高的是 25° 以上的

陡坡区,在平缓坡区发生率也较高, $18^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的坡地中石漠化发生率偏低。

但总体来说中度石漠化发生率在各级坡度区中变化幅度相对较小。在不同级别坡地区强度石漠化发生率随坡度的增大石漠化发生率也增大,在坡度 $>18^{\circ}$ 的坡地区增长迅速。可以说,陡坡地区是强度石漠化最容易发生的地区。根据对典型岩溶区土壤侵蚀与坡度关系的研究^[8],岩溶区土壤侵蚀发生的比例以 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 为界,在坡度为 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的地区,随着坡度的增大土壤侵蚀发生的比例增大; 25° 以上的坡地区土壤侵蚀发生的比例下降。 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的坡度所面临的土壤侵蚀最为严重。

综上所述石漠化与坡度的关系分析可以看出,土壤侵蚀最严重的坡度区石漠化的程度和范围不比其它坡地区严重,在 $>25^{\circ}$ 的坡度区土壤侵蚀量虽然有所下降,但石漠化的分布和程度却呈加剧的趋势,而且在土壤侵蚀比较小的缓坡区也有中度石漠化发生。这也说明岩溶地区土壤亏损的负增长过程并不完全依赖于水土流失的速率,石漠化是多种因素综合作用的结果。

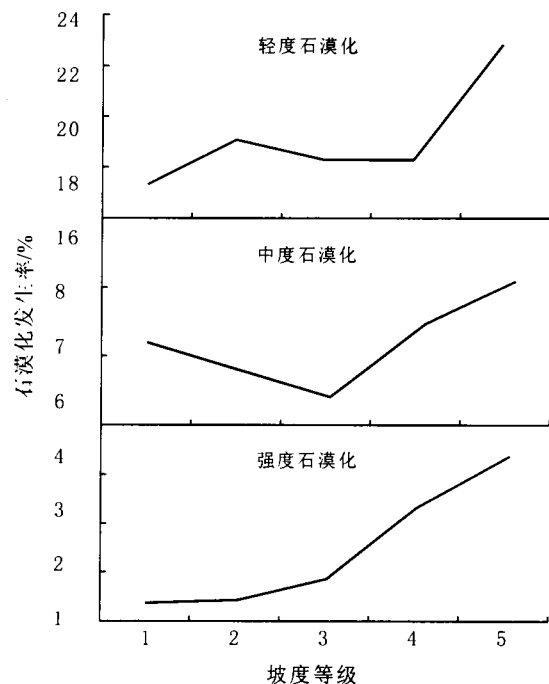


图 2 贵州省岩溶地区不同坡度石漠化发生率

2.2 石漠化发生区坡度的情况

从石漠化发生区各级别坡度的组成来看(表 4),石漠化发生区坡度以陡坡为主。岩溶区近 60% 的石漠化发生在坡度 $>25^{\circ}$ 的陡坡区。且坡度越陡,在石

漠化区所占比例越大,也从一个侧面说明坡度越陡的地区发生石漠化的潜在危险性也越大。

表4 石漠化发生区不同级别坡度组成

坡度级别	1	2	3	4	5
比例/%	6.67	13.33	20.00	26.67	33.33

不同程度石漠化发生区地面坡度组成也不相同(图3),轻度石漠化区坡度主要以缓坡和缓陡坡为主,二者占到轻度石漠化发生区总面积的1/2以上,平缓坡和极陡坡比例较小。中度石漠化发生区也以这2种坡度占优势,但其它坡度区比例明显有所增加,各级别坡度区在中度石漠化区分布相对比较均匀。强度石漠化区与前两类区明显不同,区内地面坡度以陡坡区所占比例最大,比例超过了区域总面积的30%,极陡坡区的比例也较前两者明显增多。虽然不同程度石漠化发生区坡度的组成情况与各级别坡地区在全省的分布情况有关,但从石漠化发生区各级别坡地的比例还是可以明显看出,随着石漠化程度的加重,陡坡区和极陡坡区的比例明显增高。

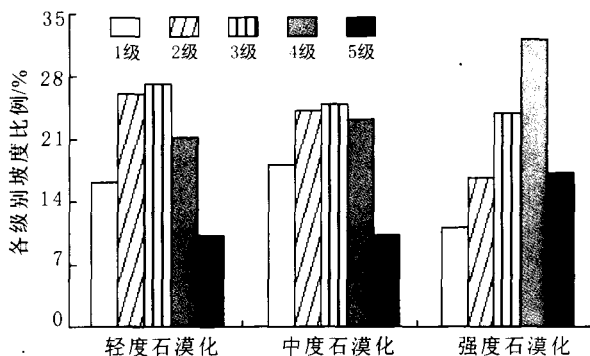


图3 贵州省石漠化等级

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 通过以上的分析可以看出,在不同级别的坡地分布区, $>25^{\circ}$ 的陡坡地对石漠化的影响最明显。 $>25^{\circ}$ 的坡地区轻、中、强度石漠化的发生率都很高。

(2) $<18^{\circ}$ 的坡地区石漠化程度主要以轻度和中度为主;在坡度 $>18^{\circ}$ 的地区,石漠化的发生率基本都随着坡度的增大而增大,这种规律在强度石漠化中表现尤为明显。

陡坡地区石漠化严重与岩溶区的成土特征和不同坡度区的土层厚度有很大关系。碳酸盐岩风化残积而成的喀斯特土,质地黏重,通透性差,土壤结构密实,具强烈胀缩性,脱水则干裂成柱状,使抗蚀性下

降;土层薄且与母岩接触界面分明,极易分离流失^[9],土表易形成径流。在地形比较平缓的地方,地表径流流速缓慢,下渗量大,有利于喀斯特发育,提供成壤的溶蚀残余物也较多,流失量少,土层较深厚。反之,地形坡度大,径流流速快,成壤溶蚀残余物少,流失量也大,土层较浅薄^[10]。坡面土壤的稳定性随坡面坡度的增加而减弱。贵州省又处于亚热带湿润气候区,降雨量多且暴雨集中。因此,坡度大的地区土层很难保存,长期的冲刷再加上人为因素的破坏极易造成基岩裸露的石漠景观。此外,坡度较大的地区土壤入渗量减少,土壤中水含量低下,限制了坡面上植被的生长,而植被是保持水土的基本条件。坡地在长期暴雨冲刷下,植被和土被覆盖率都很低。

对不同级别坡度内石漠化发生区的地貌类型进行研究,强度石漠化发生区坡度 $<18^{\circ}$ 的坡地内地貌类型大部分都是各种类型的丘陵和盆地,在浅切割的低山和中低山中也有部分分布。中度石漠化发生区坡度 $<18^{\circ}$ 的坡地内地貌类型也基本都是盆地和浅丘,其它地貌类型很少。贵州省岩溶地区洼地和盆地相对较少,这些地区多为人口密度较大的分布区,人类活动对周围的自然环境压力大。由于过度垦殖,放牧以及不合理的农垦方式造成的水土流失非常严重。野外的观察也发现,土粒的侵蚀主要发生在盆地或洼地的坡面与坝地之间^[11]。

因此,人类活动造成的水土流失可能是这些地区强度石漠化很高的一个原因。坡度在 $18^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 时,强度石漠化基本发生在浅切割的低山和低中山中。 $>35^{\circ}$ 的坡地区强度石漠化发生区大部分是深切割的低中山和高中山。对岩溶区土壤侵蚀特征的研究也表明岩溶地区土壤侵蚀是与第四纪生态环境的演变、与土地利用景观演化紧密联系的^[12],现代侵蚀是自然和人为加速侵蚀的综合作用过程。森林砍伐导致岩溶环境广泛分布的土层在相对短时期内的侵蚀。

从以上分析可以看出,坡度增大引起的水土流失是石漠化形成的一个原因,而人类活动对坡面上土壤、植被以及坡面生态系统的破坏也是石漠化过程中极其重要的因素。

3.2 坡度与石漠化相关性在石漠化治理中的作用

坡度与石漠化的这些空间相关关系可以为石漠化治理提供理论指导和借鉴。

首先,坡度 $>25^{\circ}$ 的陡坡区石漠化程度严重,土层瘠薄。前人对坡度与水土流失关系的研究表明^[13],坡面土壤的不稳定性与坡度的大小成正比,坡度愈大,土体的不稳定性愈强,在外力作用下发生下移的可能性愈大,这一点在人为干扰较大的坡耕地上表现

的尤为突出^[14]。但由于贵州省地少人多,陡坡耕地大量存在, > 25° 陡坡地占全省耕地总面积的 13.14%。前人的研究也证实,在其它条件相同的情况下,坡耕地上的水土流失强度与坡度成指数相关关系。陡坡地叠加了人类活动的影响之后,水土流失也更为强烈。这些地区应退耕还林,可以发展林草业种植保持水土,但应尽量减少经济林,以免造成进一步破坏。坡度在 35° 以上的地区要封山育林。

其次,坡度 < 18° 的地区是岩溶山区土层相对较厚的地区,也是人类活动集中的地区,平缓坡区的轻、中度石漠化的比例也相当高。这些地区是当前水土保持工作的重点,应合理配置农林牧业生产。平缓坡区和缓坡区是农业集中区,发展农业时应尽量避免顺坡垦殖和单一作物种植等方式,提高土地生产率。缓坡区应大力增加经果林的种植面积,加大林牧业的比例,减少过度垦殖造成的土壤流失。缓陡坡区是土壤最易流失的地区,对不同坡度下土壤冲刷量的实验研究表明,坡度在 18° 以下时,土壤冲刷量随坡度增加而增加,但趋势很平缓;当坡度超过 18° 时,冲刷量随坡度急剧增加^[13]。这些地区应加大林草业的发展力度,避免单一发展农业造成水土流失。

[参 考 文 献]

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101—104.
[2] 朱震达, 崔书红. 中国南方的土地荒漠化问题[J]. 中国

- 沙漠, 1996, 16(4): 331—337.
[3] 张殿发, 王世杰, 周德全, 等. 土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制——以贵州省喀斯特山区为例[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 6—10.
[4] 周忠发. 遥感和 GIS 技术在贵州喀斯特地区土地石漠化研究中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 52—54.
[5] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 26—29.
[6] 《贵州省农业地貌区划》编写组. 贵州省农业地貌区划[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989. 1—212.
[7] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314—320.
[8] 吴秀芹, 蔡运龙, 蒙吉军. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究——以贵州省关岭县石板桥流域为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 46—48.
[9] 陈晓平. 喀斯特山区环境土壤侵蚀特性的分析研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 31—36.
[10] 胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究[J]. 地理学报, 1999, 54(4): 347—356.
[11] 甘露, 万国江, 梁小兵, 等. 贵州岩溶荒漠化成因及其防治[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 69—74.
[12] 李阳兵, 王世杰, 李瑞玲. 岩溶生态系统的土壤[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 434—438.
[13] 靳长兴. 坡度在坡面侵蚀中的作用[J]. 地理研究, 1996, 15(3): 57—63.
[14] 陈法扬. 不同坡度对土壤冲刷量影响的实验[J]. 中国水土保持, 1985(2): 18—19.

(上接第 73 页)

从表 2 中可以看出,模糊物元法和综合评判法两者评价结果基本相同。由于 2 种算法对 3 地区和 5 地区计算结果的值均相差不大,会存在局部分析上的误差。而从实际项目投资决策结果为 1 地区来看,基于均方差的模糊物元分析模型计算结果是合理的,其应用效果也较令人满意。

4 结 语

将基于均方差法的模糊物元模型应用于黄河流域节水灌溉项目决策中,统筹考虑定性与定量指标,可以有效地解决评价指标选择和评价标准确定存在的模糊性。

采用均方差法计算指标的权重,该方法计算简单,结果合理,而且能够避免权重计算的主观性。通过在黄河流域节灌工程项目决策中的应用,效果令人

满意,可提高决策的合理性、科学性,具有一定的推广应用价值。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡文. 物元模型及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
[2] 李祚泳, 邓新民. 自然灾害的物元分析灾情评价模型初探[J]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 28—33.
[3] 张斌, 雍歧东, 肖芳淳. 模糊物元分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
[4] 曾国熙. 流域水资源配置合理性评价研究[D]. 四川大学硕士论文, 2004.
[5] 严乐军. 模糊综合评判法在节水灌溉项目投资决策中的应用[J]. 节水灌溉, 2000(4): 11—13.
[6] 潘峰, 梁川, 王立坤, 等. 基于 AHP 的模糊物元模型在节水灌溉工程评标中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2002(10): 6—9.