

试论区域生态地质环境质量评价的几个问题^{*}

——以珠江三角洲经济区为例

支兵发

(广东省地质调查院, 广东 广州 510080)

摘 要: 区域生态地质环境质量评价工作需从评价区生态地质环境条件、人类活动特点、生态环境地质问题系统分析入手, 结合社会经济发展需求, 建立具有地域特色、易于操作的评价指标体系, 选择可行的评价方法, 应用包括 GIS、RS 在内的评价技术与工作平台, 重视评价过程分析并强调评价结果的检验。以珠江三角洲经济区生态地质环境评价为例, 从区域生态适宜性与人居适宜性角度分别进行基于 GIS 的生态地质环境质量模糊综合评价, 获得了与调查结果基本一致的评价结果, 达到了为农林业优势发展空间的选择、泛都市空间拓展方向的确定提供宏观依据的预期目标。

关键词: 区域生态地质环境质量评价; 评价指标体系; 评价技术; 过程分析; 珠江三角洲经济区

中图分类号: X141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0059-06

区域生态地质环境质量评价是生态环境地质工作的目标任务之一。1999 年以来, 全国多个省区相继启动了 1:25 万生态环境地质调查试点项目。项目承担单位的有关省区地质调查院在生态地质环境质量评价的理论与方法方面开展了大量的调查研究工作, 取得了一批有意义的成果^[1]。由于不同地区生态地质环境条件与人类活动特点存在较大的差异, 同时, 各地社会经济发展需求也不完全相同, 从而在开展区域生态地质环境质量评价时, 往往“仁者见仁, 智者见智”。

生态地质环境质量评价是生态环境地质学的重要内容, 涉及到多学科、多层次、多方法的体系。生态地质环境质量不仅应作定性评价; 而且还要立足于定性判断进行半定量—定量评价。

1 生态地质环境质量与评价

近年来, 在生态环境地质调查研究工作中, 一些地学工作者往往把生态地质环境等同为生态环境, 把生态地质环境质量等同为生态环境质量。尽管从定义上很难准确地界定生态地质环境质量、生态环境质量, 但是生态地质环境质量并不等同于生态环境质量, 两者有着明显不同科学内涵。

生态地质环境为地球表层系统的组成部分,

是由两个既相互联系、相互作用、相互影响、相互制约又相对独立的子系统—地质环境与生态系统构成的, 不断接受来自人类活动系统的输入而发生变异并最终反作用于人类活动系统的复杂巨系统。它是人类赖以生存、发展的物质基础与活动空间, 具有自然与社会双重属性, 其发展演化以及质量优劣往往为人类活动的重要约束与依据。生态地质环境质量一方面反映生态地质环境组成要素之间相互作用的结果, 另一方面也反映人类经济—工程活动对其整体或组成要素的适宜程度, 既包含了其对人类活动的敏感度, 又包含了其状态品质的优劣, 就人们的认识而言具有高度的模糊不确定性。

广义上讲, 生态环境是以人类为中心来考察的, 是指与人类生存和发展关系极其密切的生物圈, 换言之, 生态环境是指人类的生物圈环境^[2]; 因而, 生态环境实际上是复杂的巨生态系统。狭义上讲, 生态环境涵义等同于人类外围的生态系统, 这适用于具体的研究。生态环境质量不仅反映了所研究的生态环境系统在自然条件下的宏观稳定性, 还体现了人类活动对生态环境整体及其组成要素的适宜程度。

这种把生态地质环境质量等同为生态环境质量的现象, 从表面来看是由于基本概念内涵辨析

^{*} 收稿日期: 2007-03-29

基金项目: 中国地质调查局国土资源调查项目(200012300104)

作者简介: 支兵发(1976-), 男, 广西全州人, 硕士, 工程师, 从事水工环地质大调查技术管理与研究工作. E-mail: jameszhi@263.net

不清所造成的,其实质反映了生态地质环境质量评价工作切入点把握的问题。理解生态地质环境质量的内涵,找准生态地质环境质量评价的切入点,有助于达到预期的评价效果。实践表明,生态地质环境质量综合评价实际上因社会经济发展需求不同需要先“分而治之”再进行优化整合区划,不然评价成果难以为决策部门、规划部门所用。

2 评价指标体系

无论采用什么方法进行区域生态地质环境质量评价,都需要建立一套可行的评价指标体系。区域生态地质环境质量评价因素的合理选取,评价指标体系的科学建立,是保证生态地质环境质量评价客观性、正确性的重要前提。区域生态地质环境质量评价指标涉及生态地质环境背景、生态环境地质问题与人类工程活动强度,要求反映评价目标的内涵,可操作性强,具有代表性,能较为客观地描述生态地质环境质量。

不同地区自然条件与社会条件有别,因此难以在不同地区获得统一的区域生态地质环境质量评价指标体系。例如西北内陆与东南沿海地区、粤北地区与粤西地区,要获得一致的评价指标体系是不现实的。长江上游安宁河流域与珠江三角洲经济区例子也说明了这一点^[3,4]。

此外,评价切入点不同,即使在同一研究区,生态地质环境质量评价指标体系也难以完全一致。以珠江三角洲经济区东部生态地质环境质量评价为例,在评价目标分析确定评价切入点的基础上,通过专家函询调查方法确定评价因素,将各因素进行分类,采用专家经验法进行指标筛选、优化,略去一般因素,剔除相关度较大的因素,选择重要或敏感因素,经过筛选、优化后确定评价指标,并采用专家打分法与统计分析法对指标进行分级量化,最终获得了从区域生态适宜性与人居适宜性角度的两个评价指标体系^①。

3 评价方法及评价技术

与地质环境质量评价比较而言,一些评价方法可以直接或移植应用于区域生态地质环境质量评

价,如因子叠加法、敏感因子分析法、信息量法、层次分析法、人工神经网络法和模糊综合评价法。鉴于不同地区生态地质环境条件复杂程度不一,人类活动空间范围、方式、强度有别以及生态环境地质问题发育规律不同,往往会出现一些方法在此处适用而在彼处不适用。因此,应在详细的定性研究工作和比较各种方法优缺点的基础上,对比选择区域生态地质环境质量评价方法。作者经过比较研究发现在珠江三角洲地区用模糊综合评价法进行生态地质环境质量评价是可行的,因子叠加法则不适用。

为了实现区域生态地质环境质量评价,可灵活应用具有强大栅格计算、空间分析、编程功能的 ARC/INFO,具有强大编图建库功能、可视化界面友好以及出图效果良好的 MAPGIS 以及具有各种专题信息提取功能的 ERDAS。若缺乏成熟的 GIS 评价系统,可先在 MAPGIS 平台上建库,经数据转换后在 ARC/INFO 的 GRID 模块中进行计算,再依据定性判断在 MAPGIS 平台上进行矢量化处理获得生态地质环境质量评价分区结果。ERDAS 提取的植被覆盖率等信息主要用于评价结果的验证。

4 评价指标权重

指标权重主要用以反映不同因素对评价对象的重要性程度,因此指标权重对于评价结果有着重要的影响。区域生态地质环境质量评价中,要特别重视指标权重的确定。

目前,已提出的有关定权方法很多,大致包括专家打分法、调查统计法、序列综合法、公式法、数理统计法、层次分析法、复杂度分析法 7 类^[5]。不同的方法有着其不同适用范围,调查研究程度的不同、数据类型与多少差别,成为定权方法选取的基本前提。施熙灿等所提出的基于层次分析的方法不失为一种较好的方法(表 1)^[6],只要在 Microsoft Excel 中输入判断矩阵以后即可得到相应评价指标的权重值 W_i 。表中判断矩阵右边的三列用于计算权重向量, M_i 为每一行的连乘积, \bar{w}_i 为 M_i 的 k 次方根,将 $\bar{w}_i = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_k)$ 归一化,则得权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_k)$ 。

① 广东省地质调查院,珠江三角洲经济区东部 1:25 万生态环境地质调查报告,2002。

表 1 基于层次分析的权重求取过程表

判断矩阵							权重
	A_1	A_2	\cdots	A_k	M_i	$\overline{w_i}$	W_i
A_1	a_{11}	a_{12}	\cdots	a_{1k}	M_1	$\overline{w_1}$	W_1
A_2	a_{21}	a_{22}	\cdots	a_{2k}	M_2	$\overline{w_2}$	W_2
\cdots	\cdots	\cdots	\cdots	\cdots	\cdots	\cdots	\cdots
A_k	a_{k1}	a_{k2}	\cdots	a_{kk}	M_k	$\overline{w_k}$	W_k

表 2 平均随机一致性指标值

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

注: m 为矩阵阶数.

5 结果检验与过程分析

由于区域生态地质环境质量评价是一项系统性的工作,即使技术路线正确,技术方法可行,也难保评价结果跟调查结果吻合,因此在获得评价结果之后,要特别强调对评价结果的检验。就目前而言,区域生态地质环境质量评价结果的检验主要依靠专家经验与定性判断。例如从生态适宜性角度获得的评价结果,可用植被覆盖率来检验;从人居适宜性角度获得的评价结果,可用已发生态环境地质问题(含地质灾害)分布与危害情况来检验。

通常经评价结果检验后与调查结果出入较大而区域生态地质环境质量评价工作往往需要多次反复,因而需要重视评价过程分析,从细节上突破,以减少重复工作量。例如,选择模糊综合评价法进行区域生态地质环境质量评价,由于尚无完善的隶属函数构造方法,目前仍停留在靠经验确定阶段^[4],在隶属函数构造这一环节就应该予以相当的重视。

6 实 例

珠江三角洲经济区为生态地质环境的过渡带和敏感带,地层发育齐全,第四纪地层广布,新构造运动活跃,地貌类型多样,土壤种类繁多,

由该方法获得的权重分配的合理性需进行平均随机一致性检验。检验方法是:在计算判断矩阵的最大特征值后计算一致性指标 CI ,在表 2 中查得 RI ,然后求取一致性比率 $CR = CI/RI$; $CR < 0.1$ 时表明权数分配符合一致性要求,所得到的权重是可接受的。

资源丰富而分布不均;人口密集,城市化进程迅猛,人类活动多样而频繁,耕地面积日趋减少。生态地质环境质量评价区为珠江三角洲经济区东部,地理坐标为 $113^{\circ}29'06'' \sim 115^{\circ}25'03''E$, $22^{\circ}00'00'' \sim 23^{\circ}41'15''N$ 。

在把握生态地质环境质量内涵的基础上,基于社会经济发展需求、生态地质环境特征、人类活动特点、生态环境地质问题等方面的分析,从区域生态适宜性与人居适宜性角度进行基于 GIS 的生态地质环境质量模糊综合评价。评价过程如下,在评价过程中在细节问题特别给予了重视,如隶属函数的构造和指标权重的确定。

(1) 建立生态地质环境质量评价等级集 $C = \{C_1, C_2, \cdots, C_5\}$ 与指标集 $F = \{f_1, f_2, \cdots, f_k\}$ 。

(2) 在 MAPGIS 平台上对评价因素进行数字化并赋属性,建立数据库。

(3) 进行数据转换(*.wp[或 *.wl, *.wt] \rightarrow *.shp 或[*.E00 \rightarrow Coverage] \rightarrow *.grd),以用于后续计算。其中高程与坡度需要先建立高程 TIN 模型(亦可在 ARCVIEW 中生成),再生成 grid 文件。

(4) 为简化计算又不失评价的正确性,从区域生态适宜性与人居适宜性的角度生态地质环境质量定性评价指标的隶属函数取 0 或 1,而定量评价指标则用线性插值待定系数法构造统一的隶属函数 r_{ij} (对应的 f_{ij} 取值分别见表 3 与表 4)。

表 3 评价指标分级临界值表(区域生态适宜性角度)

指 标	代号	分级临界值标准					备 注
		质量好 (C_1)	质量较好 (C_2)	质量中等 (C_3)	质量较差 (C_4)	质量差 (C_5)	
坡度	f_1	8	12	18	25	35	度($^{\circ}$)
单位面积地下水资源量	f_2	1 500	1 300	1 100	900	700	$m^3/(d \cdot km^2)$
人口密度	f_3	150	300	600	800	950	人/ km^2
地质灾害易发程度	f_4	不易发	较低	中等	较高	高	
高程	f_5	50	80	150	350	750	m
土壤肥分综合指数	f_6	0.75	0.58	0.46	0.38	0.29	
土壤重金属污染指数	f_7	0.13	0.35	0.50	0.70	0.80	

注: $j = 1, 2, \cdots, 5$ 分别对应 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 。

表 4 人居适宜性角度下评价指标分级临界值表

指 标	代号	分级临界值标准					备 注
		质量好 (C ₁)	质量较好 (C ₂)	质量中等 (C ₃)	质量较差 (C ₄)	质量差 (C ₅)	
坡度	<i>f</i> ₁	3	5	8	12	15	度(°)
人均地下水资源量	<i>f</i> ₂	10.00	6.00	3.50	2.00	1.00	m ³ /d·人
地质灾害易发程度	<i>f</i> ₃	不易发	较低	中等	较高	高	
人口密度	<i>f</i> ₄	300	500	750	900	1 200	人/km ²
区域地壳稳定性	<i>f</i> ₅	稳定	基本稳定		次不稳定		
中高层建筑持力层埋深	<i>f</i> ₆	0~10	10~20	20~30	30~40	>40	m

注: *j* = 1, 2, …, 5 分别对应 C₁、C₂、C₃、C₄、C₅。

对 $\forall i = 1, 2, \dots, k(k=7[\text{区域生态适宜性的角度}] \text{ 或 } 6[\text{人居适宜性的角度}])$ 而言, 若 *f_{ij}* 递增, 当 *j* = 1 时,

$$r_{i,1} = \begin{cases} 1, & x \leq f_{i,1}; \\ \frac{x - f_{i,1}}{f_{i,2} - f_{i,1}}, & f_{i,1} < x < f_{i,2}; \\ 0, & x \geq f_{i,2}。 \end{cases} \quad (1)$$

当 *j* = 2, 3, 4 时,

$$r_{i,j} = \begin{cases} 0, & x \leq f_{i,j-1}; \\ \frac{x - f_{i,j-1}}{f_{i,j} - f_{i,j-1}}, & f_{i,j-1} < x \leq f_{i,j}; \\ \frac{x - f_{i,j}}{f_{i,j+1} - f_{i,j}}, & f_{i,j} < x \leq f_{i,j+1}; \\ 0, & x > f_{i,j+1}。 \end{cases} \quad (2)$$

当 *j* = 5 时,

$$r_{i,5} = \begin{cases} 0, & x \leq f_{i,k-1}; \\ \frac{x - f_{i,k-1}}{f_{i,k} - f_{i,k-1}}, & f_{i,k-1} < x < f_{i,k}; \\ 1, & x \geq f_{i,k}。 \end{cases} \quad (3)$$

若 *f_{ij}* 递减, 则式(3)与式(1)调换求取 *r_{ij}*。在 ARC/INFO 的 GRID 模块中, 考虑到实际评价中栅格繁多的特点, 对每一评价指标, 在计算每一单元(栅格)隶属度时, 将其值 *R* 直接保存在 ARC/INFO 图形文件属性中, 直接用于评价模型的运算。

(5) 按施熙灿, 等^[6]所提出的基于层次分析的方法确定各指标的权重。所求得的权重分别如表 5、表 6。

(6) 评价模型建立与运算。利用 ARC/INFO 中 GRID 模块基于栅格的计算功能, 将研究区划分评价单元, 在每个栅格中利用前述所求得的 *W* 和 *R*, 进行模型 *B* = *W* * *R* 的运算。实际操作中, 不提取任何栅格单元的属性值, 而在整个研究区内同时对各评价单元做大型矩阵运算来实现每一评价单元逐一求解的模型。在得到各评价等级的隶

属度后, 就可在 GRID 模块中利用 AML 语言编程计算求取各评价单元最大隶属度, 从而确定出评价单元所属的评价等级。

表 5 评价指标权重分配表
(区域生态适宜性角度)

指 标	权重(<i>W_i</i>)
坡度	0.18
单位面积地下水资源量	0.15
人口密度	0.15
地质灾害易发程度	0.25
高程	0.12
土壤肥分综合指数	0.10
土壤重金属污染指数	0.05

表 6 评价指标权重分配表
(人居适宜性角度)

指 标	权重(<i>W_i</i>)
坡度	0.22
人均地下水资源量	0.15
地质灾害易发程度	0.30
人口密度	0.18
区域地壳稳定性	0.10
中高层建筑持力层埋深	0.05

对各评价单元, 各等级隶属度按如下公式计算:

$$r_j = \sum_{i=1}^k W_i r_{ij}, (j = 1, 2, \dots, 5)。 \quad (4)$$

经过后处理便可获得评价结果(图 1)。利用 GIS 的空间分析功能(双属性分类统计)求得, 从区域生态适宜性的角度, 评价区生态地质环境质量属于好的面积占全区的 41.26%, 较好的占 29.07%, 中等的占 18.66%, 而生态地质环境质量属于较差与差的则分别占全区 2.69%、5.41%。从人居适宜性角度所获得的生态地质环境质量结果表明, 评价区 45.68% 的地段生态地质环境质量为中等以上。从好到差 5 个级别的生态地质环境质量区在研究区中分别占 3.69%、7.06%、34.93%、

36.33% 和 15.08%。分别用植被覆盖率与已发生的生态环境地质问题(含地质灾害)分布、危害情况来检验评价结果, 表明评价结果与调查结果基本

吻合, 达到了为农林业优势发展空间的选择、泛都市空间拓展方向的确定提供宏观依据的预期目标。

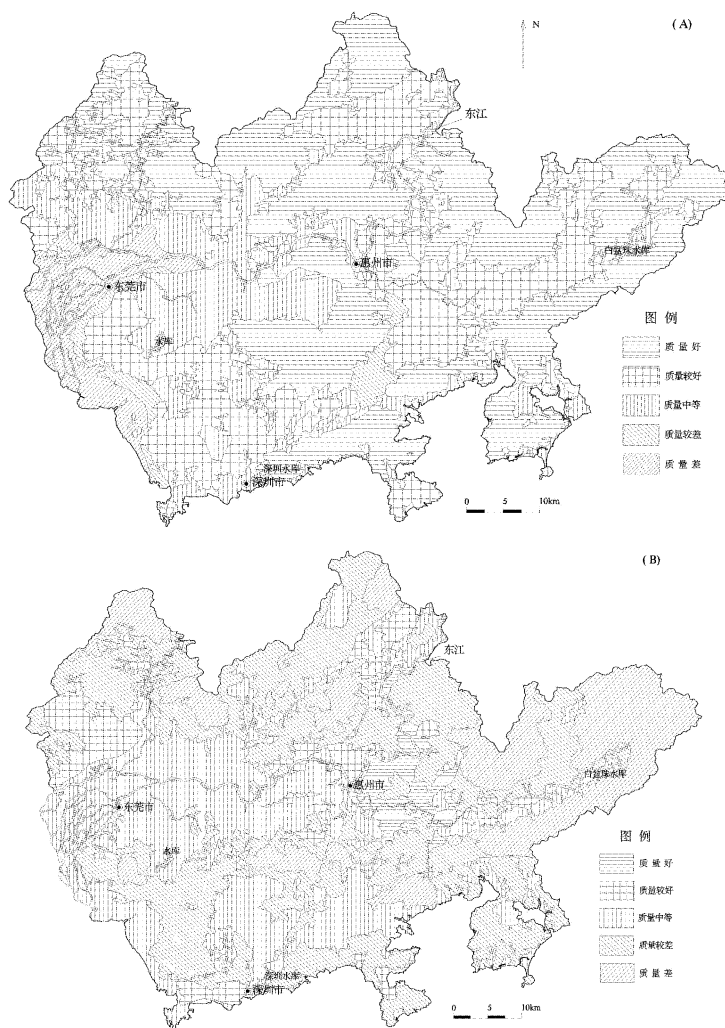


图1 珠江三角洲经济区东部基于 GIS 的生态地质环境质量评价结果图
A. 从区域生态适宜性角度获得的评价结果; B. 从人居适宜性角度获得的评价结果

7 结语

区域生态地质环境质量评价是生态环境地质工作的目标任务之一与生态环境地质学的重要内容。围绕如何有效地开展区域生态地质环境质量评价的一些问题进行探讨, 有着积极的理论与现实意义。区域生态地质环境质量评价工作需从评价区生态地质环境条件、人类活动特点、生态环境地质问题系统分析入手, 结合社会经济发展需求, 寻求切入点; 科学建立易于操作、具有地域特色的评价指标体系, 因地选择可行的评价方法, 获取可信的指标权重, 并灵活应用包括 GIS、RS 在内的评价技术与工作平台; 重视评价过程分析

并强调评价结果的检验。

珠江三角洲经济区生态地质环境评价实例中, 从区域生态适宜性与人居适宜性角度分别进行基于 GIS 的生态地质环境质量模糊综合评价, 获得了与调查结果基本吻合的评价结果, 达到了为农林业优势发展空间的选择、泛都市空间拓展方向的确定提供宏观依据的预期目标。

致谢: 承蒙韩国庆北国立大学丁国平博士在评价技术方面提供帮助, 中国地质大学环境学院蔡鹤生教授审阅初稿并提出修改建议, 谨表衷心谢忱!

参考文献:

- [1] 韩再生. 生态环境地质调查与展望[C]//生态环境地质调查论文集. 北京: 地质出版社, 2003: 10-18.

- [2] 毛文永. 生态环境影响评价概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 28.
- [3] 许向宁, 王文俊, 李胜伟, 等. 长江上游安宁河流域生态环境地质调查与评价方法[C]//生态环境地质调查论文集. 北京: 地质出版社, 2003: 55-73.
- [4] 支兵发, 卢耀东, 陈慧川, 等. 三角洲地区的生态环境地质调查评价方法[C]//生态环境地质论文集. 北京: 地质出版社, 2003: 262-272.
- [5] 周爱国, 蔡鹤生. 地质环境质量评价的理论与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998: 60-69.
- [6] 施熙灿, 刘宇琼, 林贤忠, 等. 用模糊综合评价法优选城市防洪标准[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(3): 6-13.
- [7] 彭祖赠, 孙韞玉. 模糊(Fuzzy)数学及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 153.

Some Issues on Regional Eco-geo-environmental Quality Evaluation ——Taking the Pearl River Delta Economic Zone as an Example

Zhi Bingfa

(Guangdong Geological Survey, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Regional eco-geo-environmental quality evaluation (REQE) is an important part of eco-environmental work. This paper discusses the major issues regarding to how to effectively implement REQE. It is believed that the effectual implementation of REQE needs to look for cut-in points based on the systematic analysis of eco-geo-environment, human activities and eco-environmental problems and the consideration of societal and economic demands, to scientifically establish characteristic index system suitable for easy evaluation, to select feasible method, to get convincing weights for each indicator and to flexibly apply evaluation techniques including GIS and RS, to attach importance to process analysis and to emphasize on verification of evaluation results. GIS-based eco-geo-environmental fuzzy comprehensive evaluation was carried out respectively in terms of regional eco-suitability and housing suitability in the case study of eastern Pearl River Delta Economic Zone. The evaluation outcomes on the whole fitted the field results. The objectives were reached to provide macroscopic bases for selection of favorable spaces for agriculture and forestry and for expansion of pan-metropolis.

Key words: REQE, evaluation index system; evaluation technique; process analysis; Pearl River Delta Economic Zone