

山东半岛地质环境承载力评价指标体系构建及应用研究*

王奎峰^{1,2} 韩祥银^{1,2} 张太平^{1,2}

(1.山东省地质科学研究所,山东 济南 250013;2.国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室,
山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室,山东 济南 250013)

摘要 资源环境承载力研究是生态文明建设的重要组成部分,已经上升到国家战略地位。地质环境承载力评价是资源环境承载力研究的重要内容之一,也是可持续发展研究的重要方向。结合山东半岛地质环境现状和特点,将山东半岛地质环境承载力指标体系划分为水文地质环境、工程地质环境 and 环境地质问题 3 类一级指标,每类一级指标各选择其典型二级指标(共 12 项)构建地质环境承载力评价体系,采用层次分析法(AHP)确定各个评价指标的权重,采用综合加权指数方法,借助地理信息系统(GIS)空间分析及数据属性库管理相结合的方法对现阶段山东半岛地质环境承载力进行了评价。评价结果将山东半岛地质环境承载力划分为 4 个等级,并对每个等级区域做了分析说明,以期为推进生态文明建设及可持续发展提供科学依据。

关键词 地质环境承载力 空间分析 山东半岛 指标体系 层次分析法

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.09.006

The construction and application of the index system of geo-environmental carrying capacity in Shandong peninsula WANG Kuifeng^{1,2}, HAN Xiangyin^{1,2}, ZHANG Taiping^{1,2}. (1. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan Shandong 250013; 2. Shandong Key Laboratory of Geological Process and Resource Utilization in Metallic Minerals, Key Laboratory of Gold Mineralization Process and Resource Utilization, Ministry of Land and Resource, Jinan Shandong 250013)

Abstract: Resources and environment carrying capacity research is an important part of ecological civilization construction, it has risen to the status of a national strategy. Geo-environmental carrying capacity evaluation is an important part of resources and environment carrying capacity research, as well as an important research direction of sustainable development application. In this paper, the evaluation index system of geo-environmental carrying capacity of Shandong peninsula was established combining with actual conditions and characteristics, the evaluation index system was been divided into three primary indexes: hydrogeological environment, engineering environment, environmental geological problems, and the evaluation index system used 12 typical evaluation indexes as secondary indexes which were choose from the primary indexes, the weight of each evaluation index were determined by AHP, and weighted composite index method combined GIS spatial analysis with data attributes database management method were adopted to assess the geo-environment carrying capacity of Shandong peninsula at the present stage. The geo-environmental carrying capacity was decided into four grades. Based on the evaluation results and analysis of each rate area, this paper provide the scientific basis for the eco-civilization construction and sustainable development.

Keywords: geo-environmental carrying capacity; spatial analysis; Shandong peninsula; index system; AHP

资源环境承载力是指在一定的时期和一定的区域范围内,在维持区域资源结构符合持续发展需要、区域环境功能仍具有维持其稳态效应能力的条件下,区域资源环境系统所能承受人类各种社会经济活动的的能力。当前,开展资源环境承载力方面的工作已经上升到国家战略,十八届三中全会及 2014 年中央经济工作会议多次提到要将资源环境

承载力纳入到生态文明建设及城镇化布局中^[1-3]。资源环境承载力是一个包含了资源、环境要素的综合承载力概念。地质环境承载力(GECC)是指一定条件下地质环境所能承受人类活动的影响与改变的最大支持能力,是资源环境承载力研究中的重要环境要素组成部分;GECC 能反映人类活动与地质环境系统之间的协调程度,是人类可持续发展的重要

第一作者:王奎峰,男,1981 年生,博士,高级工程师,主要从事地质资源与地质环境方面的科研评价工作。

* 中国地质调查局综合科研项目(No.12120113007200)。

衡量标志之一^[4-5]。山东半岛是山东省和黄河流域经济社会发展的重要组成部分,主要包含青岛、烟台、威海、日照、潍坊 5 个地市。目前,有关该区域 GECC 方面的指标体系构建及应用评价工作还未开展。因此,笔者结合相关科研项目对该地区的 GECC 评价指标体系进行构建应用,以期能为该区域的生态文明建设及可持续发展提供参考依据。

1 区域概况

山东半岛地处渤海、黄海之滨,特殊的地理位置,赋予了它特殊的地形地貌和地质结构。大地构造上属中朝准地台胶辽台隆。由于自然地理及地质环境条件、人为因素等影响,通过对以往地质调查资料和文献的分析,总结出本区存在的地质环境问题主要有地面沉降、地面塌陷、地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流、地下水超采漏斗、海(咸)水入侵,这些问题的存在对人类的生存、社会的发展有一定负面影响。

2 指标体系构建

2.1 指标选取

以往的一些地质环境相关研究^[6-7],评价指标往往涵盖内容太广泛,重点突出不够,而 GECC 本体的“地质”及“环境”要素考虑不全面,评价结果往往不切合实际甚至失真。构建 GECC 评价指标体系,主要是从地质环境的本体自然属性出发,突出地质和环境要素属性,在综合考虑研究区各种地质环境因子的基础上,本着科学性、易获性、主导性、定性定量相结合原则,从水文地质环境、工程地质环境与环境地质问题 3 个方面选取相应的评价指标,共计 12 项,具体指标体系见图 1。

2.2 指标权重确定

GECC 评价指标权重采用层次分析法(AHP)确定,首先对评价指标进行两两比较构造判断矩阵,GECC 的总权重判断矩阵见表 1。

表 1 A-B_j 总权重判断矩阵¹⁾

Table 1 A-B_j total weight judgment matrix

项目	B1	B2	B3	权重
B1	1	1	1	0.333 3
B2	1	1	1	0.333 3
B3	1	1	1	0.333 3

注:1)^j表示准则层的个数。

由表 1 可知,GECC 评价指标体系的总权重为 1.000 0,A-B_j 总权重判断矩阵最大特征根($\lambda_{\max}$)为 3.000 0,三阶判断矩阵一致性指标(CI)=0<0.1,满足一致性检验。

• 30 •

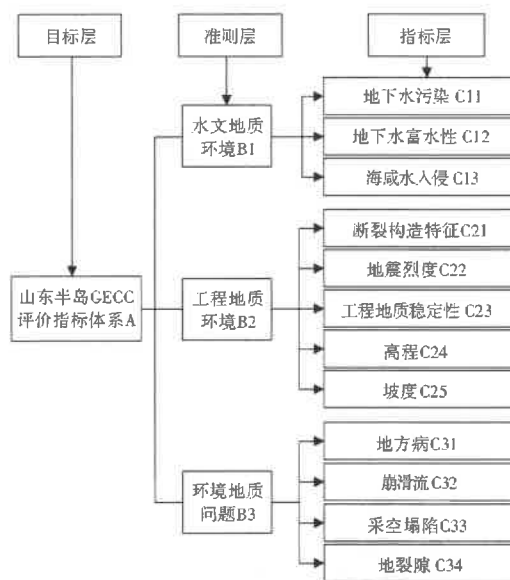


图 1 GECC 评价指标体系

Fig.1 Geo-environment carrying capacity evaluation index system

由表 1 可知,B1 对 GECC 的权重为 0.333 3,B1-C1_i 判断矩阵(见表 2)的 $\lambda_{\max}$ 为 3.053 7,三阶判断矩阵 CI=0.051 7<0.1,满足一致性检验。

表 2 B1-C1_i 判断矩阵¹⁾

Table 2 B1-C1_i weight judgment matrix

项目	C11	C12	C13	权重
C11	1	2	2	0.490 5
C12	1/2	1	2	0.311 9
C13	1/2	1/2	1	0.197 6

注:1)ⁱ表示准则层 B1 所选取的指标层个数。

由表 1 可知,B2 对 GECC 的权重为 0.333 3,B2-C2_k 判断矩阵(见表 3)的 $\lambda_{\max}$ 为 5.077 8,五阶判断矩阵 CI=0.017 4<0.1,满足一致性检验。

表 3 B2-C2_k 判断矩阵¹⁾

Table 3 B2-C2_k weight judgment matrix

项目	C21	C22	C23	C24	C25	权重
C21	1	1	2	2	2	0.281 0
C22	1	1	2	2	2	0.281 0
C23	1/2	1/2	1	2	2	0.190 5
C24	1/2	1/2	1/2	1	1	0.123 8
C25	1/2	1/2	1/2	1	1	0.123 8

注:1)^k表示准则层 B2 所选取的指标层个数。

由表 1 可知,B3 对 GECC 的权重为 0.333 3,B3-C3_l 判断矩阵(见表 4)的 $\lambda_{\max}$ 为 4.060 6,四阶判断矩阵 CI=0.017 4<0.1,满足一致性检验。

表 4 B3-C3_l 判断矩阵¹⁾

Table 4 B3-C3_l weight judgment matrix

项目	C31	C32	C33	C34	权重
C31	1	1	2	2	0.337 3
C32	1	1	1	2	0.281 7
C33	1/2	1	1	2	0.240 1
C34	1/2	1/2	1/2	1	0.140 9

注:1)^l表示准则层 B3 所选取的指标层个数。

表 5 GECC 评价指标及等级标准赋值
Table 5 Evaluation index system scale and index weight of geo-environmental carrying capacity

评价指标	不同指标等级标准赋值					权重
	1	2	3	4	5	
地下水水质等级	极差	较差	较好	良好	优良	0.163 3
地下水开采模数/(万 m ³ ·a ⁻¹ ·km ⁻²)	≤5	5~20	20~30	30~50	>50	0.104 0
海(咸)水入侵	严重	轻		无		0.065 9
工程地质稳定性	不稳定	较不稳定	基本稳定	较稳定	稳定	0.063 5
断裂发育(断裂缓冲距离)/km	密集	较密集	较少	很少	无	0.093 7
地震烈度等级	≤2	2~4	4~8	8~12	>12	0.093 7
高程/m	≥700	500~700	300~500	100~300	<100	0.041 3
坡度/(°)	≥25	15~25	8~15	3~8	0~3	0.041 3
地方病	严重	轻		无		0.112 4
崩滑流塌	有			无		0.093 9
地裂缝	有			无		0.047 0
采空塌陷	有			无		0.080 0

断矩阵 $CI=0.022\ 7<0.1$, 满足一致性检验。

综上可见,各判断矩阵的平均随机一致性指标 CR 的计算结果均小于 0.1,说明各判断矩阵均具有良好的一致性,得出的总权重和各子系统权重的分配是合理的。

2.3 指标等级赋值

按照山东半岛地质环境具体特征及相关标准规范对评价指标进行分级赋值(见表 5)。

3 评价方法与过程

3.1 评价方法

采用综合加权指数方法和地理信息系统(GIS)空间分析数字地面模型(DTM)及属性数据库赋值挂接来进行山东半岛 GECC 的评价。GECC 指数是综合水文地质、工程地质、环境地质 3 个子系统所对应的评价指标质量指数的合成,综合加权指数数学模型如下:

$$A=b'B+c'C+\dots+m'M \quad (1)$$

式中: A 为 GECC 指数; B 、 C 、 $\dots$ 、 M 分别为地下水污染、地下水富水性、海咸水入侵等评价指标的因子赋值; b' 、 c' 、 $\dots$ 、 m' 分别为地下水污染、地下水富水性、海咸水入侵等评价指标的权重。

3.2 评价过程

(1) 评价单元划分

采用基于 MapGIS 的网格剖分,对研究区进行 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 的格网单元划分,将整个山东半岛共划分出 689 个评价单元,然后利用 GIS 的拓扑造区功能生成评价单元的区文件图层(见图 2)。

(2) 评价单元图层编辑及属性赋值

利用 MapGIS 的属性标注的功能,对每个评价单元的区文件图层按照 ID 号赋予唯一编号,然后

用 MapGIS 编辑评价单元图层属性,属性包括断裂发育、工程地质稳定性、地震烈度等级等 12 个指标。评价单元的属性赋值主要是根据指标等级赋值。然后,提取评价单元区文件图层的 ID 及各属性值,生成“label 点文件”(见图 3),以方便下一步的 GECC 计算及区划工作。

(3) 评价单元 GECC 计算

在 MapGIS 属性库管理模块中打开“label 点文件”,增加 GECC 这一属性指标,字段类型为“双精度型”,利用公式计算每个评价单元的 GECC 指数,见图 4。

(4) GECC 区划

采用 GIS 空间分析的 DTM 功能来进行 GECC 的区划。在 DTM 分析功能板块打开带有各指标属性值的“label 点文件”,进行“点数据高程点提取”,提取对象为上一步骤计算得到的 GECC 指数。然后选择“Tin 模型-快速生成三角剖分网”,经过人工整理三角剖分网后形成优化好的评价区三角剖分网格。通过 DTM 的追踪生成等值线功能对山东半岛地区的 GECC 进行自动分区。

3.3 评价结果

本次评价采用了自然断点法,将 GECC 分析结果分为 4 级:GECC 指数 >4.25 时,为 GECC 强区;GECC 指数介于 $3.25\sim 4.25$ 时,为 GECC 较强区;GECC 指数介于 $2.50\sim 3.25$ 时,为 GECC 一般区;GECC 指数介于 $1.00\sim 2.50$ 时,为 GECC 较弱区。最后设置好线参数,注记图形要素,经过人工删减、合并,得出山东半岛 GECC 评价区划图(见图 5)。

GECC 强区:分布范围极小,主要分布在胶莱盆地以东乳山南及海阳北沿海一带。该地区地形相对起伏较小,处在地震烈度 6 度区域,工程地质条件较

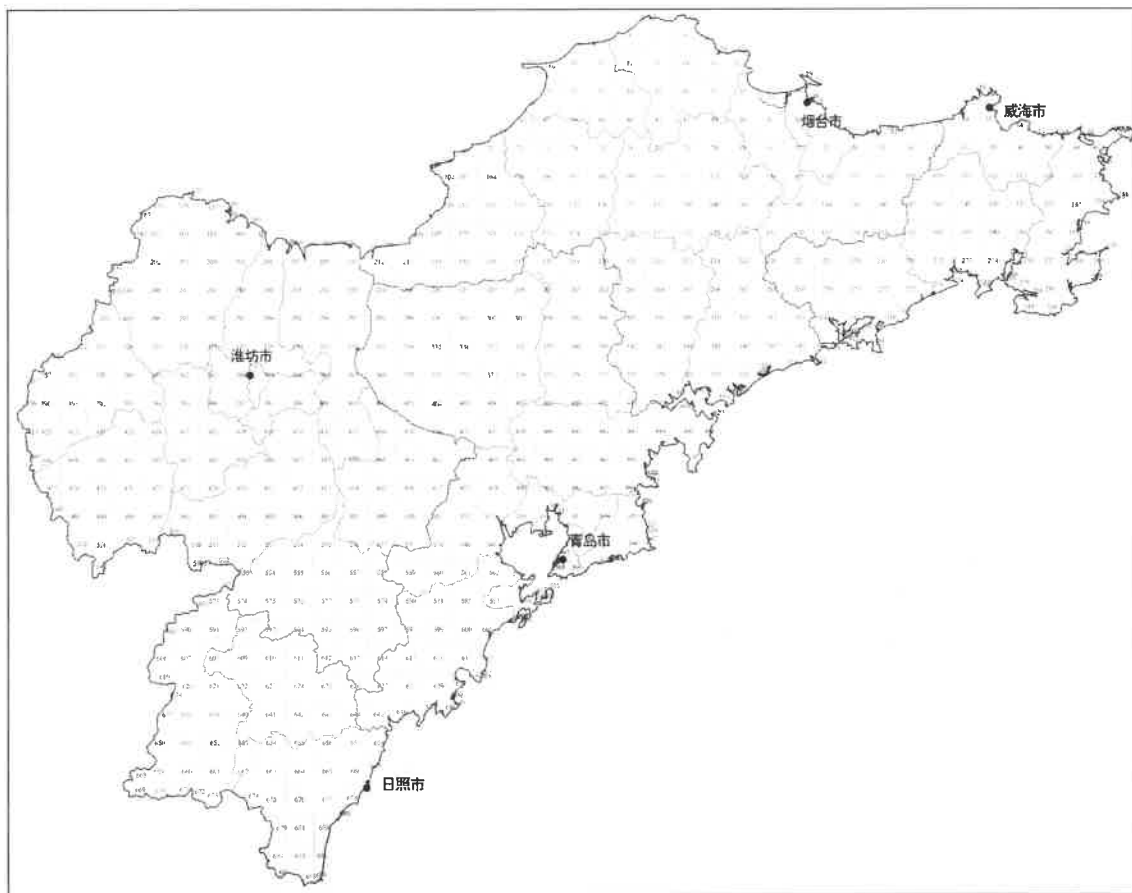


图 2 山东半岛 GECC 评价单元划分网格

Fig.2 Geo-environmental carrying capacity evaluation and division of Shandong peninsula



图 3 评价单元 label 点属性赋值示意界面

Fig.3 Evaluation unit label attribute assignment diagram

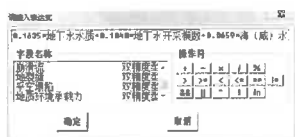


图 4 山东半岛 GECC 综合值计算示意界面

Fig.4 Geo-environmental carrying capacity evaluation calculation diagram of Shandong peninsula

好,属于大泽山昆嵛山变质岩侵入岩等稳定亚区。地下水以碎屑岩孔隙裂隙水、岩浆岩类裂隙及孔洞裂隙水为主,富水性较好,地下水位埋深小于 10 m,水质达到优良标准。该区地质环境条件较好,水土环境较好,无地方病及崩滑流、地面塌陷等地质灾害点分布。

GECC 较强区:分布范围较零散,面积约占整个

半岛区域的 10% 左右。主要分布在沂沭断裂带东南部、胶莱盆地的大部分区域,潍坊市西部青州、昌乐地区、莱西市及文登市等地零星分布。该等级分布区地形坡度起伏不大,地震烈度带处于 6~7 度,工程地质稳定性较好,处于胶莱平原冲洪积层及碎屑岩等稳定-较不稳定区、莱阳—即墨碎屑岩喷出岩工程地质稳定亚区和大泽山昆嵛山变质岩侵入岩稳定亚区。该区地下水为松散岩类孔隙水及基岩裂隙水,富水性较好,地下水质量属优良水。

GECC 一般区:该区分布范围最广,面积约占整个半岛区域的 60%。在山东半岛五地市均有分布,威海市除荣成西南部及文登南、烟台市除龙口南部、栖霞东、青岛市除平度西北部外,大部分都为 GECC 一般区。该等级地区工程地质条件不均衡,大部分地区处于地震 6 度带,少数地区位于沂沭断裂带上,工程地质条件较差,属于地震 8 度带。部分地区水环境条件较差,尤其是胶州市北部地区和胶莱河北部流域受海水入侵的影响,水质不达标,属于极差水,受地下水水质及其他因素影响,地区分布有高氟地下水轻地氟

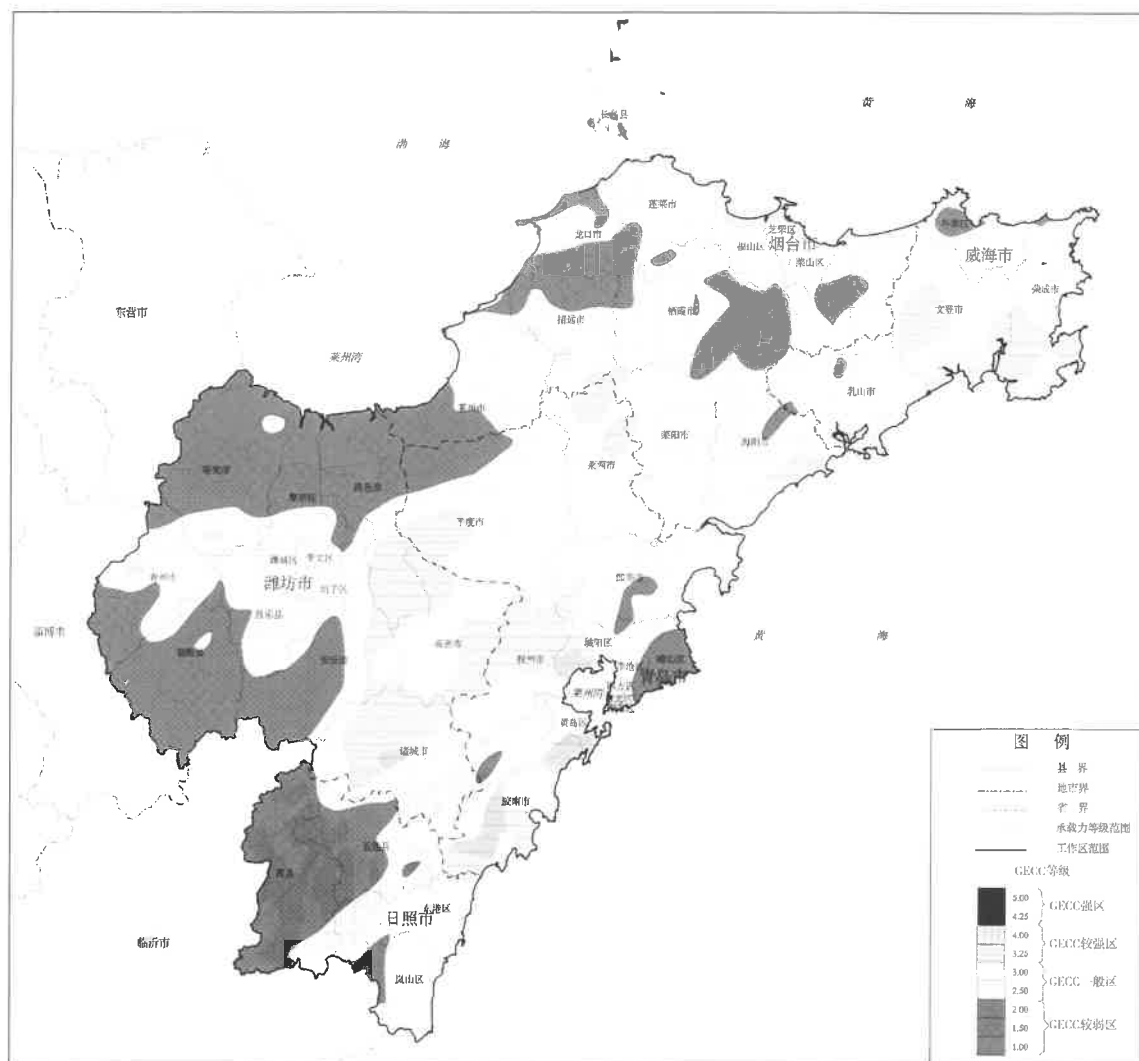


图5 山东半岛 GECC 评价区划图

Fig.5 Geo-environmental carrying capacity evaluation and division of Shandong peninsula

病和克山病。

GECC 较弱区:该区分布范围相对集中,面积约占整个半岛区域的 25%。主要分布于沂沭断裂带、日照西部五莲山区、临朐西南五井及龙口、招远等断裂构造密集区域及潍北靠近莱州湾的大片地区。断裂带密集区域大部分区域地形地势以低山丘陵为主,尤其是日照和招远范围内,坡度达到 5 级($>25^\circ$)。招远市、龙口范围内则受地方采矿作业影响,分布有地裂缝、地面采空塌陷区。潍北靠近莱州湾的大片地区,属于潍北冲海积平原及寿光山前冲洪积地质不稳定亚区,地震烈度 7~8 度,地壳稳定性较差。昌邑市受采矿影响,出现局部采空塌陷。

4 分析与讨论

(1) 山东半岛是东部沿海的重要区域,也是山东

省的区域经济和文化中心,通过借鉴参考前人相关研究经验,基于地质环境本体属性,从水文地质环境、工程地质环境、环境地质问题 3 个方面选取 12 项具体指标建立 GECC 评价指标体系。

(2) 运用 AHP 确定了评价指标体系的权重,结合 GIS 空间属性库管理及拓扑功能模块,运用综合加权指数方法对山东半岛 GECC 进行了评价区划工作,大大减少了人为误差,提高了计算效率和精度,评价结果更加科学性。

(3) 在评价指标体系的构建上,由于资料欠缺的原因,可能指标涵盖不够全面,同时考虑到地质环境是一个人地互馈的相关系统,在指标选取上,体现人类工程经济活动等方面的一些反馈指标欠缺,这些力求在后续的研究中不断补充完善和深化。

(下转第 38 页)