

DOI: 10.12401/j.nwg.2022002

地学视角下济南市资源环境承载力评价

马雪莹^{1,2}, 张海林^{1,2,*}, 李波^{1,2}, 关琴^{1,2}, 姜晓芬^{1,2}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队 (山东省地矿工程勘察院), 山东 济南 250014;

2. 山东省地下水环境保护与修复工程技术研究中心, 山东 济南 250014)

摘要: 济南作为黄河流域高质量发展的中心城市, 大规模的基础建设和资源消耗, 导致经济发展与资源环境之间的矛盾加剧, 对济南市资源环境进行承载潜力评价尤为重要。笔者从地学角度出发, 综合考虑承载本底和承载状态, 建立地质环境、地下水资源、矿产资源的承载潜力的评价指标体系, 利用 AHP 和 Arcgis10 空间分析功能对济南市地质资源环境承载力进行评价, 最后得出地质资源环境承载力评价结果。结果表明: 济南市地质资源环境承载力等级绝大部分在中等以上, 地质环境承载力整体较好, 地下水资源承载力整体不高, 地下水资源紧缺; 各区县矿产资源承载力差异较大。

关键词: 地质资源环境; 承载力; 承载本底; 承载状态; 济南市

中图分类号: P66; X821

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0337-08

Evaluation on Resources and Environment Carrying Capacity in Jinan under the Geosciences Perspective

MA Xueying^{1,2}, ZHANG Hailin^{1,2,*}, LI Bo^{1,2}, GUAN Qin^{1,2}, JIANG Xiaofen^{1,2}

(1. 801 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan 250014,

Shandong, China; 2. Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and

Remediation on Groundwater, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: As the central city of high-quality development in the Yellow River Basin, Jinan's large-scale infrastructure construction and resource consumption aggravate the contradiction between economic development and resources and environment. Therefore, it is particularly important to evaluate the carrying potential of resources and environment in Jinan. From learning perspective, this paper considers carrying background and carrying condition, establishing geological environment, groundwater resources, mineral resources carry potential evaluation index system, using AHP and Arcgis10 spatial analysis function of Jinan geological resource environmental carrying capacity evaluation, the evaluation result is concluded that geological resource environmental bearing capacity. The results show that: most of the geological resources and environment carrying capacity in Jinan are

收稿日期: 2021-08-11; 修回日期: 2022-03-09; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 山东省地矿局科技创新项目“山东省地下水资源与环境动态演变机制与调控”(KY201932), 山东省地矿局局控地质勘查项目“山东省资源环境承载力评价”(HJ201915)和“济南市资源环境承载力评价”(HJ201916)联合资助。

作者简介: 马雪莹(1989-), 女, 工程师, 从事水文地质与环境地质工作。E-mail: 504258277@qq.com。

* 通讯作者: 张海林(1980-), 女, 正高级工程师, 主要从事水工环地质研究工作。E-mail: zhanghailin1980@126.com。

above medium level, the overall geological environment carrying capacity is good, the overall groundwater resources carrying capacity is not high, groundwater resources are in short supply.

Keywords: geological resources and environment; bearing capacity; carrying background; carrying status; Ji'nan City

资源环境条件是一个地区经济社会发展的重要基础,随着数十年来社会、经济的迅速发展,资源短缺和环境污染问题日益严重,资源环境与发展之间的矛盾愈发突出,对资源环境进行承载潜力评价尤为重要(周伟等, 2016; 王秦等, 2020)。资源环境承载力是指在一定的时期和一定的地域空间内,自然资源环境不受危害并维系良好生态系统前提下,资源禀赋和环境容量所能承载的人类各种社会经济活动的总和,是实现区域经济、社会、环境协调发展的支撑基础,是对资源开发强度与环境承载能力之间是否协调进行判断的一个重要标志(岳文泽等, 2018; 刘金花等, 2019; 王念秦等, 2019; 张茂省等, 2019)。近年来,国内外学者在资源环境承载力评价方面作了一系列研究,王雪军等(2013)基于 GIS 对赣州市资源环境承载力进行了评价;王立东等(2015)从地质方面对黄河三角洲地区进行资源环境承载力评价。武凤阳等(2016)运用 TOPSIS 和熵值法评价了贵州省资源环境承载力状况。笔者拟从地学角度出发结合了地质环境、地下水资源、矿产资源各要素的承载本底和承载状态对济南市资源环境承载力进行评价,全面反映了资源环境的一个变化过程,提出了济南市国土资源开发利用和可持续发展的建议,以期对国土资源开发利用提供更可靠的技术支撑。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

本次评价区范围是济南市(除莱芜区、钢城区)10 个行政区,面积 7 998 km²。济南市南依泰山,北跨黄河,地势南高北低,地形差异较大,分为北部黄河冲积平原区、中部山前平原带、南部中低山丘陵带,整体呈现“南山北原、玉带环绕”的地理格局。济南市自然资源门类多、分布广,主要包括林木资源、矿产资源、水资源等,山前地带蕴藏着丰富的煤矿、铁矿、石灰岩矿等矿产资源,同时济南市地质环境问题也比较突出,主要体现在南部山区崩滑流地质灾害、山前煤矿-铁矿开采区的采空塌陷、岩溶塌陷和地下水污

染等方面。

1.2 数据来源

空间数据来源于济南市国土及其他政府部门,地质环境数据来源于山东省地质矿产勘察开发局八〇一水文地质工程地质大队组织实施的山东省环境地质综合调查研究项目以及济南市地质灾害排查项目。水资源数据来源于政府部门公布的水资源公报,矿产资源数据来源于济南市矿产资源总体规划(2016~2020 年)。

2 评价指标体系和评价方法

2.1 评价指标体系的建立

资源环境承载力是一个动态过程,从承载本底和承载状态 2 个方面综合考虑对资源环境承载力进行评价(于洋等, 2018; 丁月清等, 2019)。笔者根据国土资源环境承载力评价要求,结合济南市现状,选取地质环境、地下水资源、矿产资源 3 个方面进行研究评价,按承载本底评价、承载状态评价选取评价指标,构建评价指标体系(牛方曲等, 2018; 李念春等, 2021)。地质环境承载力评价分为地质环境安全类和农业生态环境类,评价指标为可连续获取的量化指标。根据济南市矿产资源种类和分布情况,选取主要矿种作为评价因子,结合评价矿种资源特点选取评价指标(白莹等, 2020)(表 1)。

2.2 评价方法

2.2.1 地质环境承载本底和承载状态评价

采用综合指数法,进行地质环境本底和状态评价。

$$R = \sum_{i=1}^n w_i \times r_i \quad (1)$$

式中, R 为地质环境承载本底(状态)分值; r_i 为评价因子分值; w_i 为评价因子权重。

承载本底评价有断裂活动性、构造稳定性等 10 个评价因子,承载状态有地面沉降现状、崩滑流风险性、土壤盐渍化等 7 个评价因子。表 2 中地震动峰值加速度根据中国地震动参数区划图(据 GB 18307-2015 划分)来确定,各类地质灾害的本底评价依据它

表 1 地质资源环境承载力评价指标体系表

Tab. 1 Evaluation index system of geological resources and environmental carrying capacity

环境类型	因子类型	评价因子	本底评价指标	状态评价指标
地质环境	地质环境安全类	构造稳定性	断裂活动性、地震动峰值加速度	-
		地面沉降	地面累计沉降量、地裂缝发育程度	区域地面沉降速率、沉降中心地面沉降速率
		崩滑流	崩滑流易发程度	崩滑流风险性
		岩溶塌陷	岩溶塌陷易发程度、岩溶塌陷发育程度	岩溶塌陷风险性
		采空塌陷	采空塌陷易发程度	采空塌陷风险性
	农业生态环境类	损毁土地	-	损毁土地程度
		盐渍化	土地盐渍化敏感性	土地盐渍化程度
		土地质量地球化学	土壤质量地球化学背景等级	土壤质量地球化学等级
地下水资源	-	-	地下水资源可开采模数	地下水资源开采程度
矿产资源	-	-	资源可利用占比	矿业开发指数

表 2 地质环境承载本底评价因子赋值表

Tab. 2 Assignment table of geological environment bearing background evaluation factors

评价因子	指标	赋值				
		1	2	3	4	5
断裂活动性	与活动断裂距离(m)	0~30	30~100	100~200	200~400	>400
构造稳定性	地震动峰值加速度	≥0.30	0.20	0.15	0.10	≤0.05
地面沉降	地面沉降累计沉降量(mm)	≥1 600	800~1 600	200~800	100~200	<100
地裂缝	地裂缝发育程度	强		中		弱
崩滑流	崩滑流易发程度	极高易发	高易发	中易发	低易发	不易发
岩溶塌陷	岩溶塌陷易发程度	极高易发	高易发	中易发	低易发	不易发
岩溶发育	岩溶发育程度	强		中		弱
采空塌陷	采空地陷易发程度	强		中		弱
土壤盐渍化	盐渍化敏感性	极敏感	高度敏感	中度敏感	轻度敏感	不敏感
土壤地球化学质量	土壤地球化学质量等级	1等	2等	3等	4等	5等

的易发程度来确定, 各类地质灾害的风险性依据《地质灾害危险性评估技术规范》来确定, 主要考虑了地质灾害所造成的人口及经济财产损失。地面沉降的承载状态根据区域地面沉降速率和沉降中心地面沉降速率, 采用就劣原则确定地面沉降的承载状态。对各评价因子进行分级赋值(表 2, 表 3), 然后利用层次分析法计算各指标权重, 最后加权求和获得地质环境承载本底和状态评价, 承载本底根据分值>4.75、4.5~4.75、3~4.5、1~3、<1 分为高、较高、中、较低、低 5 个等级, 承载状态根据分值>4.5、2~4.5、<2 分为盈余、均衡、超载 3 个等级。

表 3 地质环境承载状态评价因子赋值表

Tab. 3 Evaluation factor assignment table of geological environment bearing state

指标	赋值		
	1	3	5
地面沉降承载状态等级	低	中	高
崩滑流风险性	高	中	低
岩溶塌陷风险性	高	中	低
采空塌陷风险性	高	中	低
损毁土地程度	3级	2级	1级
盐渍化程度	重度	中度	轻度
土壤地球化学质量	恶劣	中等	良好

2.2.2 地下水资源承载本底和承载状态评价

从济南市水资源的丰富程度来分析,地下水资源承载力本底采用地下水资源补给模数指标来体现,分级标准见表 4。承载状态采用地下水资源开采程度来体现,地下水资源开采程度是指地下水开发利用量与地下水可开采资源量之比,0~70%为盈余,70%~100%为均衡,大于 100%为超载。考虑水资源可持续开发利用,水资源承载状态需用地下水位降幅、地下水质量及地表水水功能区达标率 3 个指标进行修正评价。对于地下水降幅低于临界值的面积占比,地下水质量劣于Ⅲ类区,水功能区未达标的区域进行地下水资源状态评价修正。

2.2.3 矿产资源承载本底和状态评价

根据国土资源环境承载力评价技术要求(国土资源

表 4 地下水资源承载本底评价分级标准表

Tab. 4 Classification standard for background evaluation of groundwater resources carrying capacity

等级	高	较高	中	较低	低
地下水资源模数 (万 m ³ /km ² ·a)	≥20	15~20	10~15	5~10	<5

部办公厅,2016)结合济南市矿产资源种类和分布情况,选取煤炭、铁矿、水泥用灰岩作为评价因子。承载本底通过资源可利用量占比指标来实现(表 5),资源可利用量占比计算公式如下:

$$P_{ro} = \frac{R_i}{R_T} \times 100\%$$
 (2)

式中, P_{ro} 为资源可利用量占比; R_i 为县域某种矿产的资源保有量; R_T 为地市该类矿产资源的资源保有量。

表 5 矿产资源承载本底分级标准表

Tab. 5 Classification standard for carrying background of mineral resources

承载本底等级		高	较高	中	较低	低
资源可利用量占比	煤炭	≥4%	3%, 4%	0.4%, 3%	0.1%, 0.4%	≤0.1%
	铁矿	≥7%	2.25%, 7%	0.7%, 2.25%	0.15%, 0.7%	≤0.15%
	水泥用灰岩	≥35%	25%, 35%	15%, 25%	5%, 15%	≤5%

矿产资源承载状态评价利用一个综合指标(矿业开发指数,MDI)反映评价区域上可利用矿产资源适宜开发的整体状况。包括矿业对当地 GDP 的贡献程度(E_m),因矿业而带动的就业情况(J_m),矿业开发破坏的总面积占比(I_{mdb}),废物排放总和(T_{pdq})等 4 个方面。根据综合评价求取矿业开发指数(MDI), $MDI \geq 75$ 为盈余,50~75为均衡,<50为超载。

$$MDI = 0.2E_m + 0.3J_m + 0.25(100 - I_{mdb}) + 0.25(100 - T_{pdq})$$
 (3)

2.2.4 地质资源环境承载力综合评价

构建由承载本底和承载状态评价等级组成的判断矩阵(表 6),判定各要素承载能力等级,对各要素承载力进行分级赋值,利用层次分析法确定各要素承载

能力的权重,最后加权求和获得地质资源环境承载力评价价值,经专家会商得出承载能力分级标准(表 7),根据分级标准进行承载力分级。

表 7 地质资源环境承载力分级标准表

Tab. 7 Classification standard of geological resources and environmental carrying capacity

地质资源环境 承载力分级	强	较强	中	较弱	弱
值域	≥4.5	3.5~4.5	2.5~3.5	1.5~2.5	<1.5

表 6 各要素承载力分级表

Tab. 6 Classification table of bearing capacity of each element

承载力等级		本底评价等级				
		高	较高	中	较低	低
状态评价 等级	盈余	强	较强	中	较弱	弱
	均衡	较强	中	较弱	弱	弱
	超载	中	较弱	弱	弱	弱

3 评价过程

济南市北部地处华北平原地面沉降区的东南边缘,如商河县南部及以西地区、章丘区水寨镇均出现了地面沉降现象。南部低山丘陵区多为变质岩、石灰岩裸露区,崩滑流等地质灾害易发,但地质灾害的风险性整体较低。济南市活动断裂较多,地震活动较频繁,地震动峰值加速度为 0.05~0.10g。土壤质量地球化学等级大部分区域为优质和良好(图 1)。综合分析各评价因子,得出地质环境承载本底和承载状态等级。

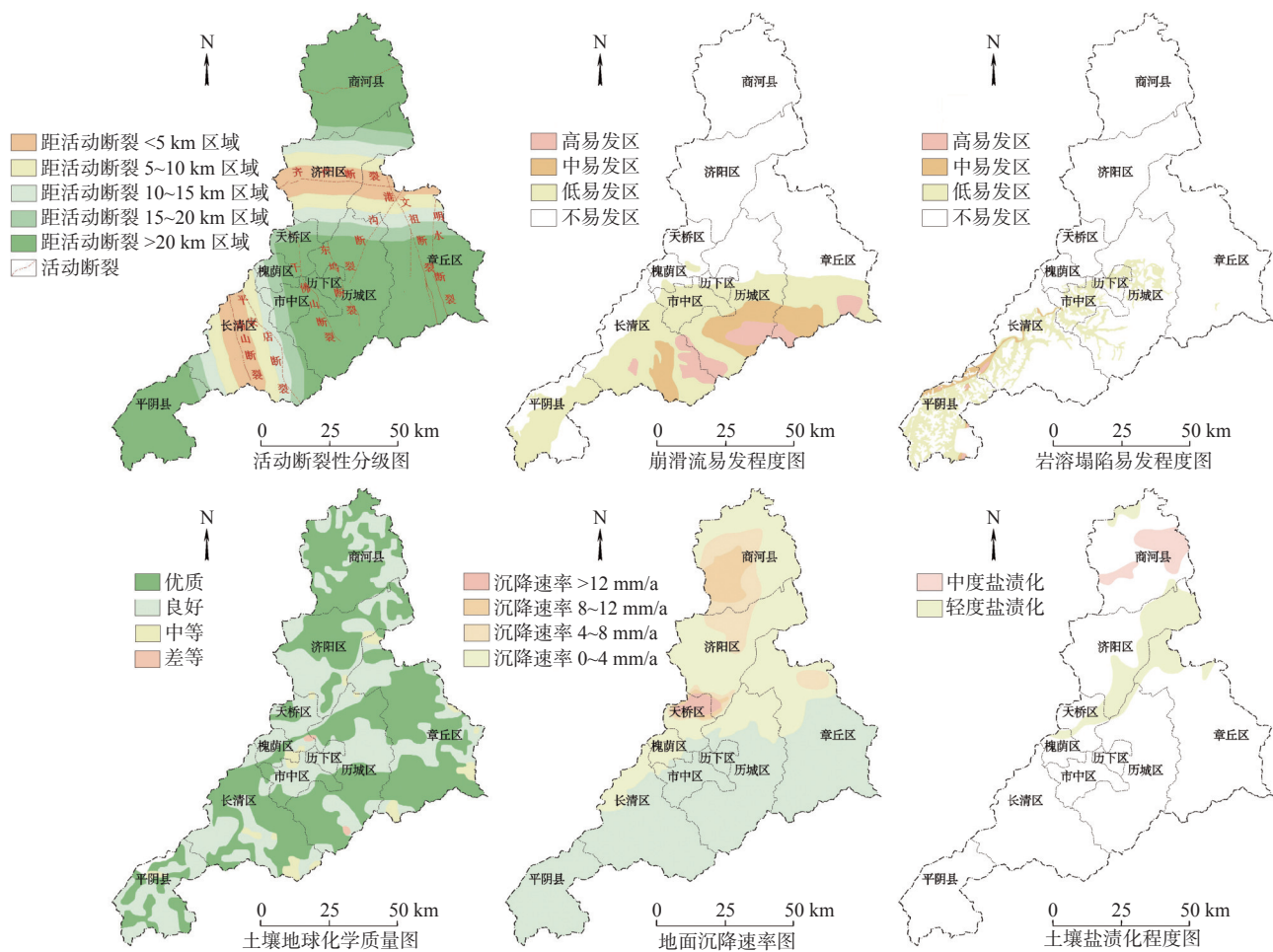


图1 地质环境承载力评价要素图

Fig. 1 Evaluation elements of geological environment carrying capacity

济南市地下水资源空间分布不均。南部岩溶分布区地下水资源较丰富,地下水资源模数一般大于 $20 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$; 山前平原及北部黄河冲积平原区,地下水资源模数一般为 $15 \sim 20 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$; 南部新太古代地层及侵入岩分布区,地下水资源模数一般为 $5 \sim 10 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。历下区、市中区、槐荫区、天桥区、长清区、济阳区等6个区(县)水资源开发利用程度高,平阴县水资源开发利用程度一般,历城区、章丘区和商河县开发利用程度较低。对于2017年水位与历史稳定水位相比,地下水水位降幅大于 2 m 分布区,地下水质量劣于Ⅲ类区,水功能区未达标的进行水资源状态评价修正,水资源承载状态下调一级(图2)。

济南市矿产资源分布不均,其资源承载状态评价按照MDI包含要素一一进行分析。其中,就对当地GDP贡献程度而言,市中区、济阳区及平阴县的矿业开发工业产值对当地的GDP贡献较大;就业情况方面,济阳区矿业从业人员最多;考虑矿业开发破坏面

积因素,章丘区的破坏面积最大,平阴县及济阳区的破坏面积次之;污染影响方面,长清区铁矿及水泥用灰岩分布较多,历城区主要分布有铁矿,章丘区、济阳区主要分布有煤矿,历城区铁矿和煤矿的废水废液排放较多,废物排放指数较高,章丘区水泥用灰岩和煤矿的固体废物和废水废液的排放相差不多,废物排放指数次之,其他各区(县)均无废弃物排放。综合以上各要素,评价给出济南市整体矿产资源承载状态情况。

4 评价结果与分析

济南市地质环境整体较好,地质环境承载力分为强、较强、中、较弱4个等级(图3a)。地质环境承载力等级强区主要分布于济阳、天桥、商河、历下及章丘北部、长清南部区域,较强区主要分布于商河东北部、长清区南部以及山前平原区,中等区主要分布于平阴-济南-章丘南部。

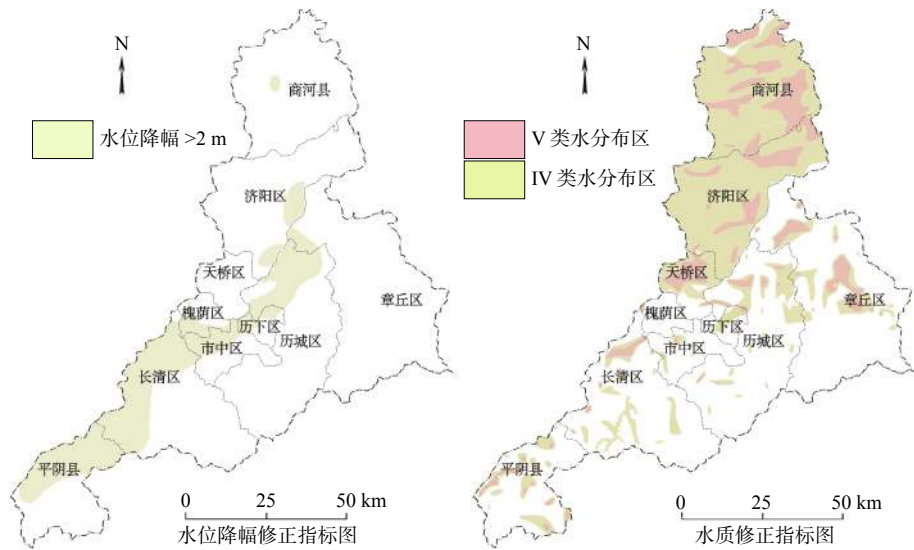


图2 地下水资源承载状态修正图

Fig. 2 Correction diagram of groundwater resources bearing state

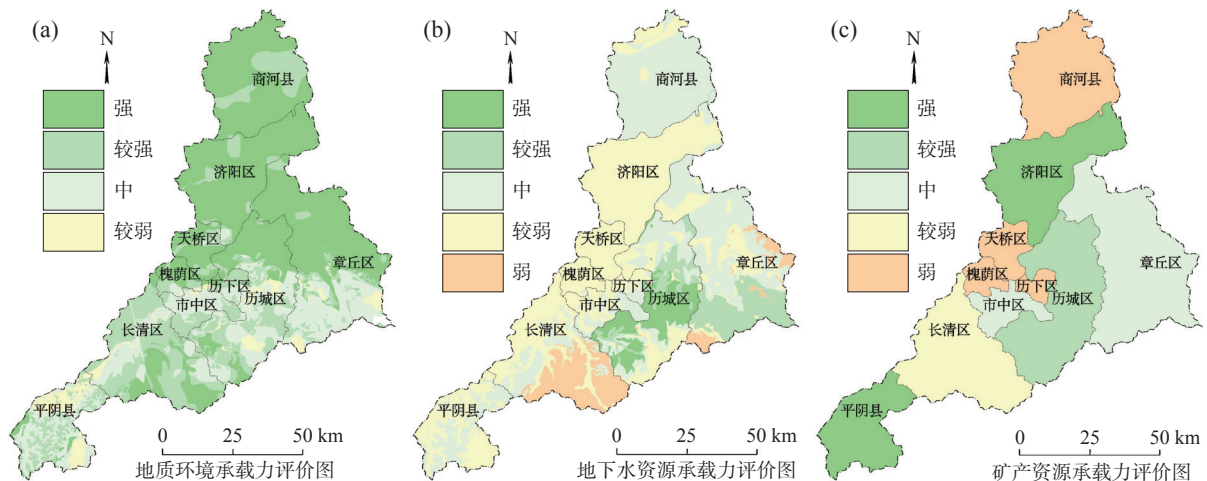


图3 各要素承载力评价图

Fig. 3 Evaluation chart of bearing capacity of each element

济南市地下水资源承载能力整体不高,水资源紧缺(图 3b)。地下水资源承载能力较强区主要分布历城区中南部及章丘区南部,该区多为岩溶分布区;地下水资源承载能力中等区主要分布在历城区、章丘区北部、商河县大部分、平阴县南部区域,该区多为岩溶发育弱区;其余为水资源承载能力较弱及弱区,该区水资源开发利用程度较高,承载状态为超载,综合评价得出承载力较弱。

济南市各区县矿产资源承载能力等级分为强、较强、中、较弱和弱 5 个级别(图 3c)。其中历下区、槐荫区、天桥区及商河县矿产资源承载力为弱,长清区矿产资源承载力为较弱,市中区及章丘区矿产资源承

载力为中,历城区矿产资源承载力为较强,平阴县和济阳区矿产资源承载力等级为强。

结合地质环境、地下水资源、矿产资源,综合评价得出济南市地质资源环境承载力整体较好,分为强、较强、中、较弱 4 个等级,大部分区域地质资源环境承载力为较强,在各区县均有分布(图 4)。北部区域地形以平原为主,土壤地球化学质量好,地质灾害不易发,地质环境承载力强;南部低山丘陵区地质灾害易发,但地下水资源丰富,故地质资源环境承载力为较强。承载力强区分布在济阳县的东北部、历城区中部区域,该区域地形以平原为主,地质环境承载力强,且济阳县及历城区的矿产资源丰富,承载力等级为较强

以上;承载力中区分布在商河县东北部、历下区、市中区、长清区的大部分区域、章丘区南部,该区多为灰岩裸露区域,崩滑流、岩溶塌陷、采空塌陷等地质灾害易发性较大,且矿产资源承载力中等以下;承载力较弱区主要分布在平阴县北部、南部、天桥区南部及历城、章丘、长清部分区域,平阴县岩溶风险性较高、损毁土地面积较大,地质环境承载力较弱;济阳区、历城及章丘采空塌陷、岩溶塌陷风险性较高,地质环境承载力较弱,天桥区地下水资源及矿产资源承载力较弱,章丘区南部地下水资源开发利用程度较高,承载状态为超载,地下水资源承载力较弱。

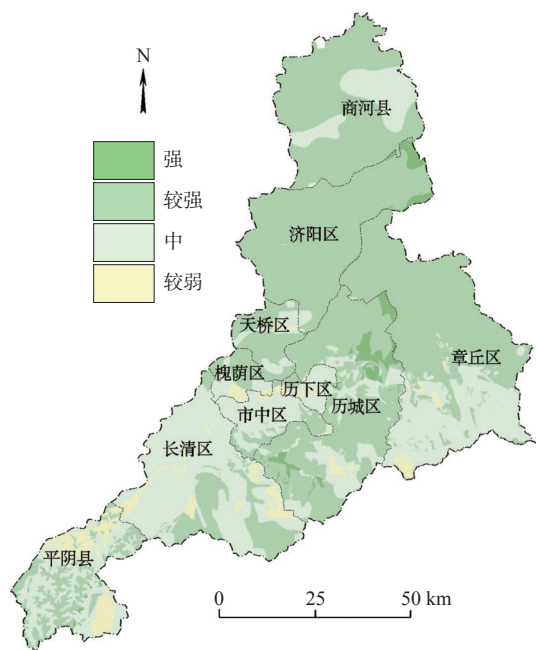


图4 资源环境承载力评价图

Fig. 4 Evaluation of resources and environment carrying capacity

5 结论

(1)济南市地质资源环境承载力等级整体在中等以上,少部分区域承载力等级为较弱。影响因素为岩溶塌陷、采空塌陷、崩滑流等地质灾害。这些区域应建立资源环境承载能力监测预警长效机制,圈划地质红线,设立监测靶区,将各类开发活动限制在资源环境承载能力之内,同时合理有序的进行灾害点的治理工作。城镇开发建设中应充分考虑突发地质灾害的影响,基于地质灾害提出城镇建设用地更加合理的空间布局方案。

(2)济南市商河、章丘、天桥区地面沉降应引起重视,在城镇开发建设中考虑地面沉降的影响。建议加强该地区地面沉降机理研究,建立健全地面沉降监测预警体系和地面沉降综合防治长效机制,为济南市和新旧动能转换先行区的进一步规划提供依据。

(3)济南市水资源承载能力整体不高,水资源紧缺,各区县地下水资源开发利用程度不同,应加强水资源的有效开发和合理利用,严格控制地下水开采量,合理调整地下水的取水层位,调整地下水开采量和地表水的回灌增储。

(4)受地质条件控制,济南市各区县矿产资源承载能力差异较大。矿产资源的开发虽能带动GDP,但对环境有一定的破坏,应积极开发利用太阳能、风能等可再生能源,降低对化石燃料等传统资源的依赖性。

(5)依据资源环境承载力强弱,建议中心城市优先开发地区为历城区北部,中心城镇优先开发地区为历城仲宫镇。该区域资源相对丰富,地质环境、生态环境较稳定,资源环境承载能力整体较强,能够为城市发展提供保障。

参考文献(References):

- 白莹,扈胜涛. 山东省烟台市矿产资源承载力评价研究[J]. *地下水*, 2020, 42(06): 136-139.
- BAI Ying, HU Shengtao. Study on the evaluation of the bearing capacity of mineral resources in Yantai City, Shandong Province[J]. *Ground Water*, 2020, 42(06): 136-139.
- 丁月清,杨建华,洪增林,等. 面向“三区三线”划定的城市群资源环境承载力评价方法研究——以关中平原城市群评价为例[J]. *西北地质*, 2019, 52(3): 223-230.
- DING Yueqing, YANG Jianhua, HONG Zenglin, et al. Study on Evaluation Methods of Resource and Environmental Carrying Capacity of Urban Agglomerations based on the Definition of “Three Districts and Three Lines”: Example from Guanzhong Plain Urban Agglomeration Evaluation[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(3): 223-230.
- 国土资源部办公厅. 国土资源部办公厅关于印发《国土资源环境承载力评价技术要求》(试行)的通知[Z]. 2016-07-22.
- 李念春,张学强,冯泉霖,等. 基于“承载基础-承载现状-承载潜力”模型的山东省地质环境承载力评价[J]. *西北地质*, 2021, 54(01): 222-231.
- LI Nianchun, ZHANG Xueqiang, FEN Quanlin, et al. Evaluation of Bearing Capacity of Geological Environment in Shandong

- Province Based on “Bearing Foundation-Bearing Status-Bearing Potential” Mode[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(01): 222–231.
- 刘金花, 李向, 郑新奇. 多尺度视角下资源环境承载力评价及其空间特征分析——以济南市为例[J]. *地域研究与开发*, 2019, 38(04): 115–121.
- LIU Jinhua, LI Xiang, ZHENG Xinqi. Evaluation on Resources and Environment Carrying Capacity and Its Spatial Characteristics under Multi-scale Perspective: A Case of Ji’nan City[J]. *Areal Research and Development*, 2019, 38(04): 115–121.
- 牛方曲, 封志明, 刘慧. 资源环境承载力评价方法回顾与展望[J]. *资源科学*, 2018, 40(4): 655–663.
- NIU Fangqu, FENG Zhiming, LIU Hui. A review on evaluating methods of regional resources and environment carrying capacity[J]. *Resources Science*, 2018, 40(4): 655–663.
- 王立东, 苏春利, 谭志容, 等. 黄河三角洲地质资源环境承载力评价[J]. *山东国土资源*, 2015, 31(3): 38–41.
- WANG Lidong, SU Chunli, TAN Zhirong, et al. Carrying Capacity Evaluation of Geological Resources and Environment in the Yellow River Delta Area[J]. *Shandong Land and Resources*, 2015, 31(3): 38–41.
- 王念秦, 李仁伟, 蒲凯超, 等. 中国地质环境承载力评价研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2019, 42(1): 150–155.
- WANG Nianqin, Li Renwei, PU Kaichao, et al. Research progress in evaluation of China’s geological environment carrying capacity[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 42(1): 150–155.
- 王秦, 李伟. 区域资源环境承载力评价研究进展及展望[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(7): 1487–1498.
- WANG Qin, LI Wei. Research progress and prospect of regional resources and environment carrying capacity evaluation[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(7): 1487–1498.
- 王雪军, 付晓, 孙玉军, 等. 基于 GIS 赣州市资源环境承载力评价[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(6): 1325–1332.
- WANG Xuejun, FU Xiao, SUN Yujun, et al. Assessment of Regional Carrying Capacity of Resources and Environment in Ganzhou City Based on GIS[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Ji-angxiensis*, 2013, 35(6): 1325–1332.
- 武凤阳, 王晖. 贵州省资源环境承载力综合评估研究[J]. *资源与产业*, 2016, 18(06): 68–73.
- WU Fengyang, WANG Hui. Comprehensive Evaluation of Guizhou’s Resource and Environment Carrying Capacity[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(06): 68–73.
- 于洋, 韩鹏, 杨楠, 等. 中原城市群核心城市资源环境承载力研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 25(2): 407–414.
- YU Yang, HAN Peng, YANG Nan, et al. Research of Carrying Capacity on Resource and Environment in Core Cities of Central Henan Urban Agglomeration[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2018, 25(2): 407–414.
- 岳文泽, 代子伟, 高佳斌, 等. 面向省级国土空间规划的资源环境承载力评价思考[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(12): 66–73.
- YUE Wenze, DAI Ziwei, GAO Jiabin, et al. Study on the Evaluation of Resources and Environment Carrying Capacity for Provincial Territorial Planning[J]. *China Land Science*, 2018, 32(12): 66–73.
- 张茂省, 王尧, 薛强. 资源环境承载力评价理论方法与实践[J]. *西北地质*, 2019, 52(2): 1–11.
- ZHANG Maosheng, WANG Yao, XUE Qiang. Evaluation of Resource Environment Carrying Capacity: Theoretical Method and Practice[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(2): 1–11.
- 周伟, 郑娟尔, 袁国华. 安徽省宁国市国土资源环境承载力评价研究[J]. *资源与产业*, 2016, 18(06): 45–51.
- ZHOU Wei, ZHENG Juan’er, YUAN Guohua. Evaluation of Land Resources and Environment Carrying Capacity in Ningguo, Anhui[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(06): 45–51.