

· 基础地质 ·

全国地质环境承载能力评价

孟 晖, 李春燕*, 张若琳, 刘 可, 李瑞敏

MENG Hui, LI Chunyan*, ZHANG Ruolin, LIU Ke, LI Ruimin

中国地质环境监测院, 北京 100081

China Geological Environmental Monitoring Institute, Beijing 100081, China

摘要:地质环境承载能力评价是国土空间规划的基础依据。在综合研究中国区域构造稳定性、地质灾害易发程度、土地荒漠化敏感性、土壤质量地球化学背景等地质环境特征与问题的基础上,结合地质环境分区,构建了差异化评价指标体系,运用基于层次分析的图层叠置法,开展全国地质环境承载能力综合评价,将地质环境承载能力分为高、较高、中等、较低、低5个等级,面积分别占国土面积的15.44%、22.43%、26.13%、11.34%、24.66%。揭示了区域地质环境限制性因素及其限制程度的差异。评价成果表明,地质环境承载能力高的地区主要分布在中国东北平原、华中地区、四川盆地等。

关键词:中国;地质环境;承载能力;评价;国土空间规划

中图分类号:P962 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)04-0451-09

Meng H, Li C Y, Zhang R L, Liu K, Li R M. Assessment of carrying capacity of national geological environments in China. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(4): 451-459

Abstract: The assessment of geological environment carrying capacity is the basis of the land spatial planning. Based on the comprehensive study of the characteristics and problems of the geological environment such as the regional structural stability, the prone degree of geological disasters, the sensitivity of land desertification and the geochemical background of soil quality in China, combined with the division of geological environment, a differential assessment index system is constructed, and the layer superposition method based on layer analysis is used to carry out the comprehensive evaluation of the carrying capacity of the national geological environments. The environmental carrying capacity is divided into five grades: high, relatively high, medium, relatively low and low. The area accounts for 15.44%, 22.43%, 26.13%, 11.34% and 24.66% of the land area respectively. The study of different restrictive factors and degree of regional geological environments indicates that the areas with high carrying capacity of geological environment are mainly distributed in Northeast Plain, Central China and Sichuan Basin.

Key words: China; geological environment; carrying capacity; assessment; territory spatial planning

地质环境承载能力评价是在地质灾害危险性评估、地质环境评价、地质环境适宜性评价、地质环境容量评价的基础上,结合环境承载力的理念发展和演化的。其核心是表征国土开发活动与地质环境的协调程度,主要通过地质环境对国土开发活动

的适宜性和敏感性两方面体现,前者反映了地质环境对国土开发活动的影响和制约,后者则体现了国土开发建设造成的地质环境改造与恶化、引发的地质灾害或地质环境问题,产生的不良影响和后果^[1-2]。早期规划对地质环境条件的考虑不足,导

收稿日期:2019-09-08;修订日期:2020-02-03

资助项目:中国地质调查局项目《地质环境承载能力评价与监测示范研究》(编号:12120115050701)、《全国地质资源环境承载能力评价与监测预警》(编号:121201014000150017)和国家重点研发计划课题《矿山开采与地质环境监测评价防治标准研究》(编号:2017YFF0206803)

作者简介:孟晖(1962-),女,教授级高级工程师,从事环境地质研究。E-mail:mengh@cigem.cn

* 通信作者:李春燕(1987-),男,硕士,工程师,从事地质环境综合研究工作。E-mail:lichunyan@mail.cgs.gov.cn

致20世纪80年代三峡库区由于规划选址阶段工程地质调查研究滞后,巴东县新城区建设“三次选址,两次搬迁”^[3]。1992年在为北川新县城规划建设进行环境地质调查时,发现县城坐落在滑坡区内,龙门山主中央断裂带恰好穿过县城,由于没有重视地质专家关于北川县城规模不应继续扩大的建议,而导致灾难性后果^[4]。

国外对地质环境条件在国土空间规划中的应用已经有几十年的研究经验,不仅将其作为空间布局规划的关键因素,而且建立了较完善的法律体系保障开发建设时避开地质环境风险区域^[5-8]。与国外不同的是,中国以往在规划后分析规划方案的地质环境适宜性、评价重大地质环境问题,提出工程实施建议较多,而在规划前用于指导规划布局更适用当地的地质条件,减少地质灾害,减轻地质环境问题对国土开发建设的影响等研究较少;地质环境和国土空间规划的交叉研究不够深入^[9]。

地质专家逐渐认识到地质环境对国土开发建设和发展具有决定性的影响。据此,中国地质调查局在2004年组织开展了以1:50万地质灾害为主的地质环境调查评价和重要城市环境地质调查评价等专项工作,旨在为制定减灾防灾、国土开发与整治、经济建设、社会发展等规划及地质环境监督管理提供宏观决策依据^[10]。2008年汶川特大地震后,更加认识到地质要素应作为国土空间规划的重要因素,开展了地质安全与水土资源保障程度综合评估,将地质环境作为资源环境承载能力评价的要素,被纳入资源环境承载能力体系,并成为一个新的分支,首次将地质评价成果应用于灾后重建的土地利用规划中。玉树、舟曲、芦山等灾后重建也都将地质灾害和地质背景条件作为重要基础和依据^[11-12]。此外,相继开展了黄三角高效生态经济区、山东半岛、京津冀地区、长株潭城市群、长江经济带^[13-16],以及河北省、安徽省、宜兴市、徐州市、昆明市、威海市、兰州市、华坪县、延川县^[2,17-24]等地质环境承载能力评价。

在中共中央要求“建立资源环境承载能力监测预警机制,对水土资源、环境容量和海洋资源超载区域实行限制性措施”的背景下,原国土资源部印发了《国土资源环境承载能力评价技术要求》(试行)(国土资厅函[2016]1213号),明确国土资源环境承载能力包括土地资源、地下水资源、地

质环境、矿山资源环境4个要素。如何将地质环境承载能力评价应用到国土规划的编制中,构建为国土规划服务的地质环境承载能力评价指标体系与方法体系,已成为当今地质环境研究工作的重要课题。

本文充分分析中国地质环境特征与问题,基于多年地质环境调查、监测、评价成果,结合自然地理条件、工程建设和生态建设需求,识别影响承载能力的关键地质环境问题,构建了差异化地质环境承载能力评价指标体系。采用基于层次分析的图形叠置法进行地质环境承载能力评价和分级,形成的评价成果为国土空间规划提供支撑。

1 评价指标与数据来源

1.1 评价思路

地质环境承载能力是地质环境稳定性和质量对社会经济发展的支撑保障能力。地质环境承载能力评价是指依据影响地质环境功能的地质安全、农业生态地质环境质量等指标,对地质环境能够满足人类生命财产安全和经济社会平稳发展基本要求的状态而进行的评价。其目的在于,因地制宜为国土开发建设和功能区划提供可靠的地质依据,达到以最少的社会经济投入获得最佳的社会、环境与经济效益。其核心在于,结合国土规划需求和地质环境问题发展趋势,识别决定地质环境承载能力的关键因子,综合分析评价区域内主要地质环境特征,突出优势和劣势。

1.2 评价指标体系构建

中国地质环境复杂,不同区域地质环境条件差异较大,宏观上可分为青藏高原山地区、西北山地盆地区、西南岩溶石山区和东部平原山地区。青藏高原山地区地势主体平缓,边缘切割强烈;气候寒冷,多年冻土和冰川广布;构造活动和地震活动强烈,崩塌滑坡泥石流灾害严重。西北山地盆地区干旱少雨,蒸发强烈,地质构造相对稳定,但是自然地理条件恶劣,存在沙漠和黄土两大脆弱环境,沙漠化、盐渍化、土壤侵蚀和崩滑流灾害多发。西南岩溶石山区地势起伏大,地形条件复杂,构造活动和地震活动较强,以侵蚀、剥蚀作用为主,存在岩溶脆弱环境,石漠化、土壤侵蚀较严重,崩塌滑坡泥石流灾害严重。东部平原山地区总体地势较低,以平原、丘陵山地为主,构造活动局部较强烈,以堆积作

用为主,多形成巨厚层的第四系沉积物,主要问题是地面沉降、地面塌陷、水土污染等^[25-26]。

地质环境承载能力评价主要是揭示评价区域资源环境对开发活动和类型的限制性因素是什么,以及限制强度在区域上的差异^[27]。在中国现行的《土地管理法》中,土地利用类型被归总为三大类,即农用地(包括耕地、林地、草地等)、建设用地和未利用地(包括生态用地)^[28]。因此,人类社会经济活动的结果可认为是未利用地向农用地、建设用地的转化,以及农用地、建设用地之间的相互转化^[29]。对于工程建设开发,主要考虑其在建设和运营过程中的地质环境安全需求;对于农业生产和生态建设,主要考虑生态地质环境质量因素;此外,还有在目前科技发展水平和经济条件下,对于人类生产和生活都难以适宜的自然地理条件因素,如极度寒冷与干旱等具有极强限制作用的因素。通过对中国不同地貌类型地区的地质环境特征分析,遵循科学性和可操作性原则,从难以利用土地、地质环境安全、农业生态地质环境质量 3 个方面构建了差异化地质环境承载能力评价指标体系(表 1)。

“难以利用土地”是自然地理条件恶劣,现有条件下不适宜开发利用的区域,其对人类经济社会活动的限制性强于其他因素,称为强限制类因子,用永久冻土、沙漠戈壁、高寒无人区等指标表达。地质环境安全和农业生态地质环境质量为较强限制类因子。可以采取预防或治理等多种措施,缓解这

种限制性^[22-26]。

地质环境安全指基础地质条件的安全,是地质环境变化及其影响能够满足人类生命财产安全和经济社会平稳发展基本要求的状态。从内动力地质作用和外动力地质作用 2 个方面选取指标。从全国尺度看,区域地壳稳定性是内动力地质作用下地壳及其表层地块的稳定程度,主要以断裂活动和地震活动体现。地质灾害是地质环境极端恶化的一种体现,是由于自然或人为作用,在地球表层较强烈地危害人类生命、财产和生存环境的岩土体变形失稳事件。因此,选取区域地壳稳定性、地质灾害易发程度、地面沉降累计沉降量等作为地质环境安全的评价指标^[30]。

农业生态地质环境质量是生态环境的地质基础条件,其条件优劣直接影响到生态环境的存在和发展^[31]。土壤、基岩、水的综合地质作用是决定农业生态地质环境优劣的基础作用,在以往的研究中时常被忽视^[32]。土壤中元素含量和元素存在形态的变化从根本上受控于自然地质地球化学作用^[33]。因此,采用传统农业地质、勘查地球化学和环境地质的评价指标,选取土地荒漠化的敏感性、土壤侵蚀的敏感性,以及土壤质量地球化学等级 3 个指标评价农业生态地质环境。其中,荒漠化进一步细分为盐渍化、石漠化和沙漠化。

1.3 数据来源

评价中使用的数据主要来源于中国地质调查局

表 1 地质环境承载能力评价指标体系
Table 1 Carrying capacity evaluation index system of geological environments

| 因子类型 | 青藏高原山地区 | 西北山地盆地区 | 西南岩溶石山区 | 东部平原山地区 | 评价指标 |
|------------|----------|---------|---------|----------------|------------|
| 评价因子 | | | | | |
| 强限制类 | 难以利用土地 | | | 永久冻土、沙漠戈壁、无人区 | |
| | 区域地壳稳定性 | | | 断裂活动性、地震动峰值加速度 | |
| 地质环境安全 | 地面沉降 | | | 地面沉降累计沉降量 | |
| | 崩塌滑坡泥石流 | | | 崩滑流易发程度 | |
| 较强限制类 | 岩溶塌陷 | | 岩溶塌陷 | | 岩溶塌陷易发程度 |
| | 盐渍化 | | 盐渍化 | | 土地盐渍化敏感性 |
| | 石漠化 | | | | 土地石漠化敏感性 |
| 农业生态地质环境质量 | 沙漠化 | | | | 土地沙漠化敏感性 |
| | 土壤侵蚀 | | | | 土壤侵蚀敏感性 |
| | 土壤质量地球化学 | | | | 土壤质量地球化学等级 |

基础地质调查、地质环境调查监测、原中国地震局和中国科学院的研究成果。包括“活动断裂调查”成果、“县(市)地质灾害调查与区划(1999—2009)”调查成果、“重点地区岩溶塌陷调查(2012—2015)”、“多目标地球化学调查”成果、“荒漠化土地调查”成果、《中国地震动参数区划图(GB 18306—2015)》等,以及中国科学院生态环境研究中心、中国科学院资源环境科学数据中心收集的数据产品。全国省级行政区划来源于中国科学院。

1.4 评价单元

本次评价采用 ArcGIS 软件平台。根据研究精度要求和收集数据的精度,评价单元确定为 1000 m×1000 m 的栅格单元。

2 评价方法与结果

先对难以利用土地、地质环境安全、农业生态地质环境质量分别进行专题评价,再进行地质环境承载能力综合评价。

2.1 难以利用土地

使用 ArcGIS 平台的 Union 工具将全国永久冻土、沙漠、无人区 3 个空间矢量图层重合的部分相互分割为图斑,再合并为一个图层,以保障图层拓扑没有错误。各图斑保留原矢量图层的类型属性,便于追因。结果显示,全国“难以利用土地”总面积 $232.88 \times 10^4 \text{ km}^2$,分布在青藏高原、天山、祁连山、大兴安岭西部,以及塔克拉玛干、古尔班通古特、巴丹吉林、腾格里等大型沙漠区。

2.2 地质环境安全程度评价

选取区域地壳稳定性和地质灾害易发程度作为地质环境安全程度评价因子。在评价时,首先将区域地壳稳定性与突发地质灾害易发程度矢量图层叠加。当两者等级不同时,叠加采用就高原则;当等级相同时,基于灾害链综合风险的原则,将综合等级升高一级。然后叠加地面沉降高易发区,最终得到全国地质环境安全程度图(图 2)。该评价结果将全国地质环境安全程度分为 5 级。结果能够清

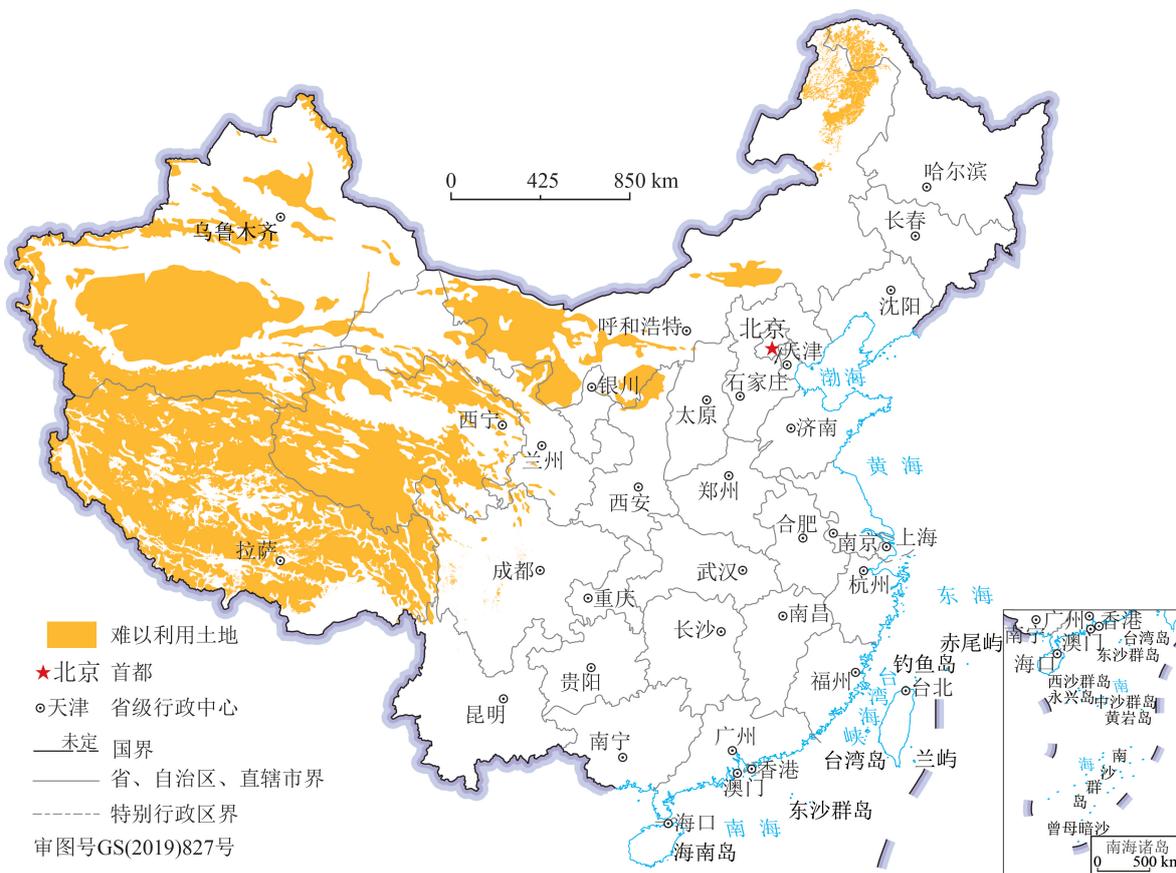


图 1 难以利用土地分布图

Fig. 1 Distribution map of land difficult to be used

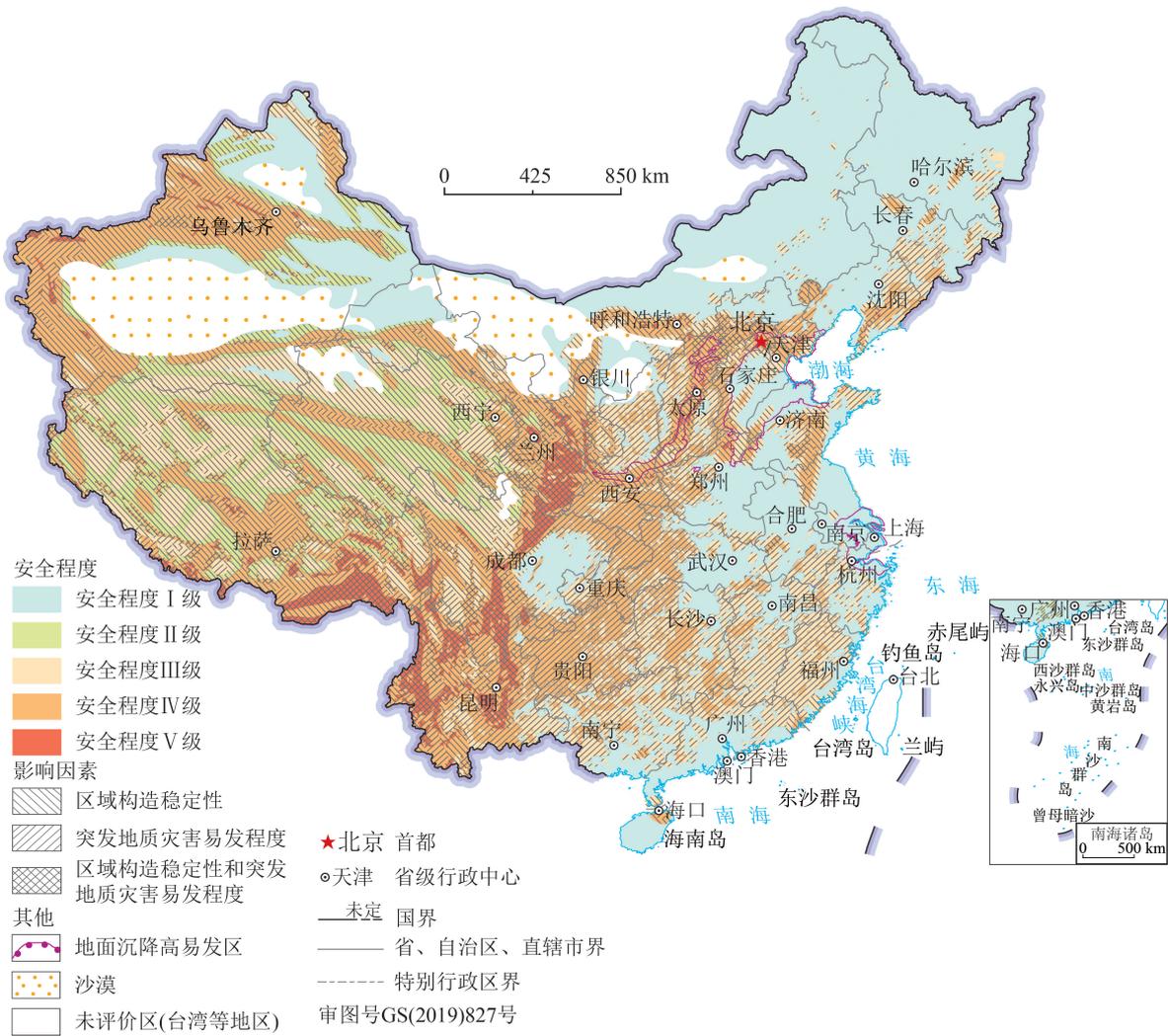


图 2 全国地质环境安全程度图

Fig. 2 Security degree partition of national geological environments

晰地表达出地质环境安全的程度,也能反映出关键影响要素^[34]。

评价结果显示,地质环境安全等级为 I 级、II 级、III 级、IV 级及 V 级区域面积分别占国土面积的 28.34%、29.36%、21.00%、4.52% 和 4.24%。

安全程度低(V 级)的区域主要分布在第一阶梯和第二阶梯交界带,包括云贵川地区、甘肃南部,以及华北平原西部等地区。安全程度较低(IV 级)的区域主要分布在青藏高原东缘的云南、贵州西部、西藏南部、四川盆地西部、甘肃南部,以及山西、陕南等地区。

2.3 农业生态地质环境质量

将土地盐渍化敏感性、土地沙漠化敏感性、土

地石漠化敏感性、土壤侵蚀敏感性、土壤质量地球化学等级矢量图层按照由低敏感性(或土壤质量优质)至高敏感性(或土壤质量劣等)进行 5 个等级划分并叠加。按照“就劣原则”,将全国划分为高、较高、中、较低、低 5 个等级,其中“低”对应敏感性高或土壤质量劣等,“高”对应敏感性低或土壤质量优质。等级由低到高表明质量逐渐变好,愈适宜开展农业活动。

评价结果表明,低质量区域面积占国土面积的 22.34%,较低区域面积占国土面积的 6.68%,中等区域面积占国土面积的 11.12%,较高区域面积占国土面积的 6.46%,高质量区域面积占国土面积的 53.40%。低质量区域主要分布在准噶尔盆地与塔

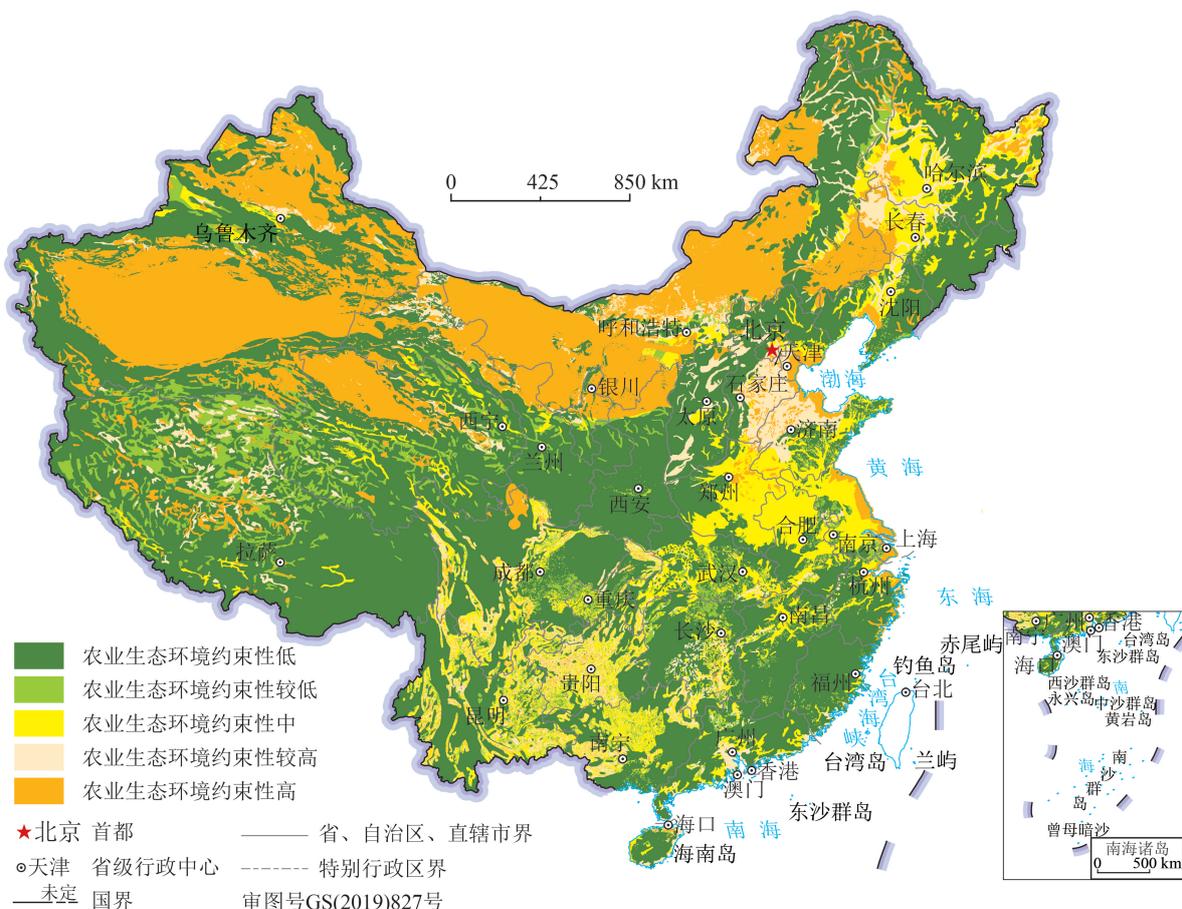


图3 Quality evaluation of national agroecological geological environments

里木盆地、柴达木盆地、河西走廊、巴丹吉林沙漠、鄂尔多斯盆地、大兴安岭南部等地。

2.4 地质环境承载能力综合评价

目前应用于承载能力综合评价的方法很多,其中,图形叠置法是1968年由美国著名生态规划师McHarg提出的用于环境分析的通用方法^[35-36]。它将每个参与评价的因子绘制于透明的纸上,再将所有的透明纸叠加在一起进行分析,具有较直观、易于理解、便于追因的优点,但是也存在缺乏权重和层次感的问题。因此本次综合评价采用基于ArcGIS平台,引入层次分析的图形叠置法,弥补了单一方法的缺陷。

在综合评价中应体现两个原则。一是充分体现“难以利用土地”(LHU)因子的“一票否决”效应,直接划定为“地质环境承载能力低”等级区域,可以降低叠加评价造成的关键因子弱化;二是遵循

人类生命与财产安全至上的原则,在地质环境安全(GES)与农业生态地质环境质量(AGQ)中更突出地质环境安全的影响。叠加后第*i*个评价单元的地质环境承载能力指数 S_i 为:

$$S_i = \begin{cases} 5 & LHU=1 \\ 4 & GES \in [4,5] \cup LHU \neq 1 \\ 3 & (GES=3 \cup LHU \neq 1) \cap (GES \in [1,2] \cap AGQ=5) \\ 2 & (GES=2 \cup AGQ \in [1,4]) \cap (GES=1 \cap AGQ=4) \\ 1 & GES=1 \cup AGQ \in [1,3] \end{cases}$$

此公式用图表形式表达,可见表2。

综合地质环境安全程度评价、农业生态地质环境质量评价成果,结合难以利用土地强限制因子,将地质环境承载能力划分为高、较高、中、较低、低5个等级。使用由绿至橙的普染色表示地质环境承载能力由高至低,绿色为高,橙色为低,过渡色为中间级别(表2)。

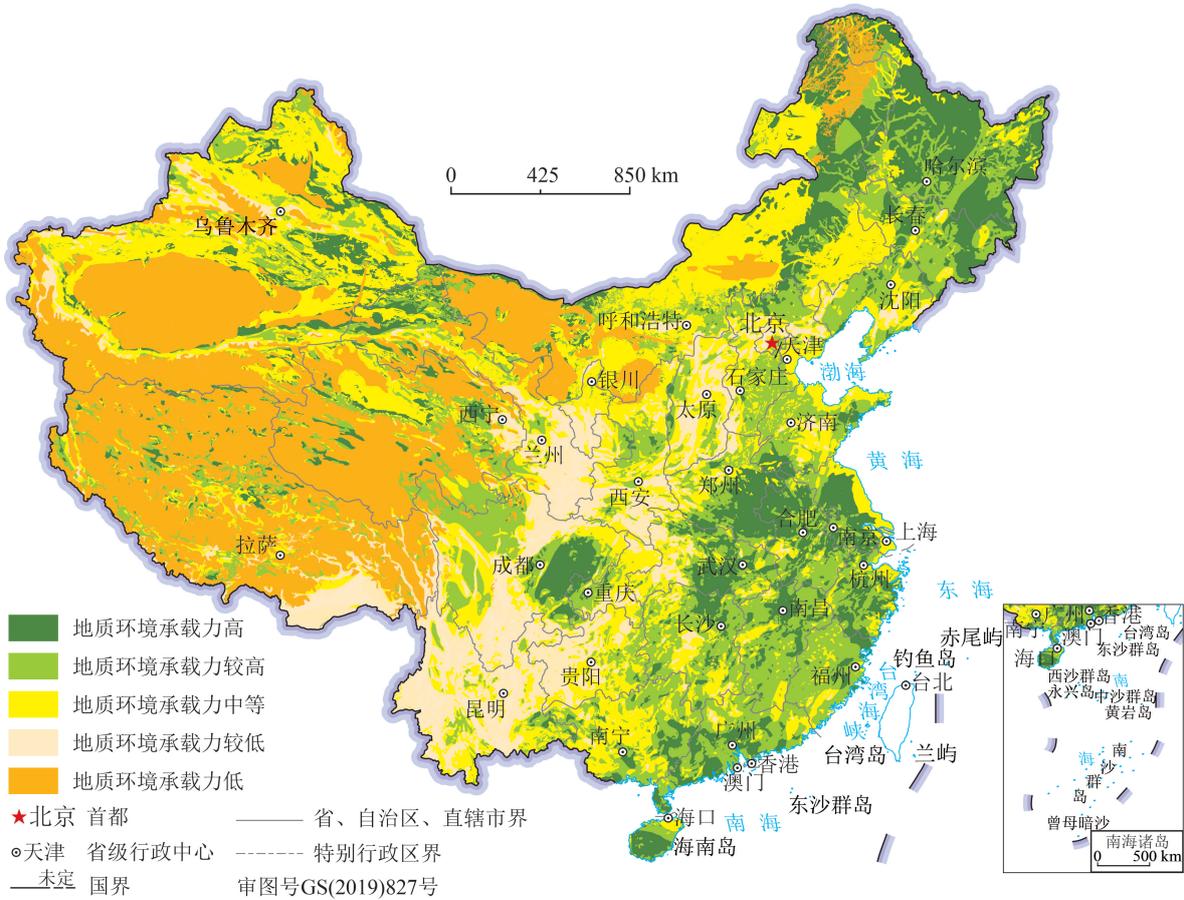


图 4 全国地质环境承载能力评价图

Fig. 4 Carrying capacity assessment of national geological environments

表 2 地质环境承载能力综合评价分级标准

Table 2 Comprehensive evaluation grading standard of geological environment carrying capacity

| 地质环境承载能力等级 | 农业生态地质环境质量 | | | | | 难以利用土地 |
|------------|------------|-------|------|-------|------|--------|
| | 高(1) | 较高(2) | 中(3) | 较低(4) | 低(5) | |
| I | 高 | 高 | 高 | 较高 | 中 | 低 |
| II | 较高 | 较高 | 较高 | 较高 | 中 | 低 |
| III | 中 | 中 | 中 | 中 | 中 | 低 |
| IV | 较低 | 较低 | 较低 | 较低 | 较低 | 低 |
| V | 较低 | 较低 | 较低 | 较低 | 较低 | 低 |
| 难以利用土地 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 |

对各省级行政单元内地质环境承载能力分区面积统计表明,地质环境承载能力等级为高的区域面积占国土面积的 15.44%,较高区域面积占国土面积的 22.43%,中等区域面积占国土面积的 26.13%,较低区域面积占国土面积的 11.34%,低区域面积占

国土面积的 24.66%。等级为低和较低的区域主要分布在第二级地势阶梯的塔里木盆地、柴达木盆地、川滇山地、云贵高原、秦巴山地、陇南山地、太行山区、江南丘陵区、大兴安岭北部等地区,以及第一级地势阶梯的青藏高原大部分。在承载能力高和较高的区域,相对适宜开展工程建设与农业开发活动,在承载能力中等、较低、低的区域,通过追索专题评价的结果查找原因,有针对性地开展调查、治理和修复工作,以提升地质环境承载能力。

3 结论与建议

地质环境承载能力是资源环境承载能力的重要组成部分。笔者分析了中国地质环境特征与地质环境问题的类型和空间分布规律,充分考虑自然环境对人类经济活动的限制性,构建了宏观性、差异性的地质环境承载能力评价指标体系,选取了综合评价方法。基于多年地质调查监测成果和科研

表3 全国地质环境承载能力按省级行政区面积统计
Table 3 Statistics of national geological environment carrying capacity by area of provincial administrative region

| 序号 | 省(市、区)名称 | 各等级面积/10 ⁴ km ² | | | | | 总计 /10 ⁴ km ² |
|------------------------------------|----------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 高 | 较高 | 中等 | 较低 | 低 | |
| 1 | 北京市 | 0.34 | 0.62 | 0.68 | | | 1.64 |
| 2 | 天津市 | 0.19 | 0.88 | 0.09 | | | 1.16 |
| 3 | 河北省 | 1.17 | 9.17 | 5.91 | 2.45 | | 18.71 |
| 4 | 山西省 | 0.34 | 3.33 | 6.52 | 5.45 | | 15.64 |
| 5 | 内蒙古自治区 | 22.36 | 17.67 | 46.05 | 1.20 | 27.35 | 114.62 |
| 6 | 辽宁省 | 1.34 | 7.79 | 4.10 | 1.24 | | 14.46 |
| 7 | 吉林省 | 6.77 | 9.17 | 3.03 | 0.11 | | 19.08 |
| 8 | 黑龙江省 | 27.95 | 11.35 | 4.27 | | 1.63 | 45.21 |
| 9 | 上海市 | 0.06 | 0.05 | 0.50 | | | 0.61 |
| 10 | 江苏省 | 5.40 | 2.18 | 2.46 | | | 10.04 |
| 11 | 浙江省 | 3.93 | 4.39 | 1.76 | 0.01 | | 10.09 |
| 12 | 安徽省 | 7.11 | 5.53 | 1.24 | 0.15 | | 14.03 |
| 13 | 福建省 | 1.46 | 8.76 | 1.79 | 0.06 | | 12.06 |
| 14 | 江西省 | 3.91 | 10.53 | 2.17 | 0.09 | | 16.71 |
| 15 | 山东省 | 1.96 | 6.91 | 5.59 | 0.82 | | 15.28 |
| 16 | 河南省 | 6.62 | 5.05 | 3.62 | 1.27 | | 16.56 |
| 17 | 湖北省 | 5.64 | 5.67 | 4.73 | 2.56 | | 18.60 |
| 18 | 湖南省 | 3.08 | 11.38 | 5.87 | 0.87 | | 21.21 |
| 19 | 广东省 | 5.28 | 9.59 | 2.33 | 0.22 | | 17.42 |
| 20 | 广西壮族自治区 | 4.11 | 9.76 | 9.33 | 0.40 | | 23.61 |
| 21 | 海南省 | 1.74 | 1.09 | 0.51 | 0.01 | | 3.34 |
| 22 | 重庆市 | 0.79 | 2.31 | 3.56 | 1.59 | | 8.25 |
| 23 | 四川省 | 5.94 | 13.66 | 11.42 | 15.55 | 1.82 | 48.38 |
| 24 | 贵州省 | 0.14 | 3.13 | 7.15 | 7.17 | | 17.60 |
| 25 | 云南省 | 0.38 | 3.67 | 10.21 | 23.89 | 0.14 | 38.29 |
| 26 | 西藏自治区 | 3.81 | 11.76 | 9.62 | 11.88 | 83.25 | 120.34 |
| 27 | 陕西省 | 0.38 | 4.12 | 8.65 | 6.40 | 1.04 | 20.59 |
| 28 | 甘肃省 | 4.87 | 6.98 | 11.69 | 10.84 | 6.14 | 40.52 |
| 29 | 青海省 | 5.06 | 11.45 | 11.54 | 1.85 | 41.67 | 71.58 |
| 30 | 宁夏回族自治区 | 0.05 | 0.20 | 2.56 | 2.37 | 0.00 | 5.19 |
| 31 | 新疆维吾尔自治区 | 14.11 | 14.57 | 57.12 | 7.86 | 69.82 | 163.48 |
| 总计/10 ⁴ km ² | | 145.81 | 211.84 | 246.81 | 107.08 | 232.88 | 944.42 |

成果,进行了多要素地质环境承载能力综合评价,为地质调查成果服务于国土规划编制与国土空间用途管制提供基础。

地质环境承载能力是地质环境安全和生态地

质环境质量的反映。中国地质环境承载能力主要受控于自然地理条件、地貌单元、地质构造等地质环境条件控制,区域差异较大。评价结果显示,中国东部地区地质环境承载能力较高,包括东北、华北、华中、华南地区和四川盆地等地区,以地面沉降、盐渍化、土壤地球化学质量和局部活动断裂带影响因素为主;中国中部地区地质环境承载能力中等,西部地区地质环境承载能力较低,受区域地壳不稳定性 and 生态环境质量因素影响为主。

依据评价结果,可选择出地质环境承载能力“高”的区域,进行开发建设和布局。对于地质环境承载能力“低”的区域,围绕限制性要素可以在区域准入、分区引导、分类施策等方面采取多种措施,以缓解其限制性,从而实现国土空间开发与地质环境保护协调发展的目的。具体建议:一是在承载能力“低”区开发建设时,应进一步开展专项地质调查,强化选址综合安全评价和用途管制,防治地震和降雨引发的地质灾害。二是严格抗震安全设防和自然生态环境的综合治理。包括加强地表植被修复,降低土地荒漠化敏感性;控制现有农业开发强度,延缓环境退化;开展土壤污染修复,提升土壤质量。三是在城镇建设和工程建设时强化工程地质条件的勘查和综合评价。

本文构建和选取的评价指标体系和评价方法,适用于全国尺度的宏观性评价。由于地质环境的复杂性,中小尺度上还应进行细化评价。根据评价区的地质环境特征,补充有区域特色的指标,并且采用与其相适应的评价方法。

建议在国土空间规划技术规范中明确地质要素的应用;加强地质环境监测,深化地质环境发展变化的认识,预测地质环境动态变化,在空间和时间尺度上与规划相协调,提高地质环境承载能力评价在国土空间规划中应用的适用性。

致谢:感谢中国地质调查局、中国科学院生态环境研究中心、中国地质科学院地质力学研究所、中国地质调查局岩溶地质研究所、中国地质调查局地球物理地球化学勘查研究所、中国地质调查局航空物探遥感中心等单位领导和专家对地质环境承载能力评价成果编制给予的关心、指导和支持;新疆、内蒙古、黑龙江、辽宁、甘肃、河北、北京、河南、山东、湖北、安徽、江苏、浙江、四川、贵州、福建等省(市、区)的地质环境领域专家和相关专业

技术人员在多次交流研讨中提出非常宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 黄润秋.“5·12”汶川大地震地质灾害的基本特征及其对灾后重建影响的建议[J].中国地质教育,2008,17(2): 21-24.
- [2] 戴福初,李军,张晓晖.城市建设用地与地质环境协调性评价的GIS方法及其应用[J].地球科学——中国地质大学学报,2000,(2): 101-106.
- [3] 刘传正.城镇建设中的地质环境科学利用问题[J].水文地质工程地质,2015,42(4): 1-7.
- [4] 殷跃平.加强城镇化进程中地质灾害防治工作的思考[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(4): 5-8.
- [5] Khanna P, Babu P R, George M S. Carrying-capacity as a basis for sustainable development. A case study of National Capital Region in India[J].Progress in Planning,1999,52(2): 101-166.
- [6] Slesser M. Enhancement of Carrying Capacity Options -ECCO: Simulation Software for Assessing National Sustainable Development. The Management of Greed[M].Resource Use Institute,1990.
- [7] Vliet W V. Sustainable development, global restructuring and immigrant housing[J].Habitat International,1996,20(3): 346-358.
- [8] Lane M. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning[J].Land Use Policy,2010,27(4): 1038-1045
- [9] 闫文晓.地质环境条件在国土空间规划中的应用研究[J].上海国土资源,2019,40(2): 56-60.
- [10] 文冬光,刘长礼.中国主要城市环境地质调查评价[J].城市地质,2006,1(2): 4-7.
- [11] 李文鹏,文冬光,周爱国,等.汶川地震灾后重建资源环境承载力评价——地质安全与水土资源保障程度综合评估[M].北京:地质出版社,2018.
- [12] 樊杰.国家汶川地震灾后重建规划:资源环境承载力评价[M].北京:科学出版社,2009.
- [13] 李念春.黄河三角洲高效生态经济区地质环境承载力评价研究[J].上海国土资源,2016,37(1): 77-81.
- [14] 王奎峰,李娜.基于AHP和GIS耦合模型的山东半岛地质环境承载力评价[J].中国人口·资源与环境,2015,25(5): 224-227.
- [15] 郭轲,王立群.京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子[J].应用生态学报,2015,26(12): 3818-3826.
- [16] 唐凯,唐承丽,赵婷婷,等.基于集对分析法的长株潭城市群资源环境承载力评价[J].国土资源科技管理,2012,29(1): 46-53.
- [17] 黄敬军,姜素,张丽,等.城市规划区资源环境承载力评价指标体系构建——以徐州市为例[J].中国人口·资源与环境,2015,25(S2): 213-217.
- [18] 夏既胜,付黎涅,刘本玉,等.基于GIS的昆明城市发展地质环境承载力分析[J].地球与环境,2008,36(2): 148-154.
- [19] 万中杰,吴振,王晓光.威海市海岸带地质环境承载力综合评价研究[J].山东国土资源,2017,(7): 74-79.
- [20] 骆延青,赵俊三.基于层次分析法的华坪县地质环境承载力评价[J].安徽农业科学,2016,44(21): 64-66.
- [21] 张茂省,岳东霞,孙萍萍,等.面向县级国土空间规划的自然资源综合调查与双评价——以延安市延川县为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2019,55(3): 281-289.
- [22] 王欣宝,李瑞敏,孙超,等.河北省地质资源环境承载力评价方法[J].地质通报,2020,39(1): 94-101.
- [23] 魏路,刘建奎,肖永红,等.安徽省地质环境承载力评价[J].地质通报,2020,39(1): 102-107.
- [24] 张丽,李瑞敏,许书刚,等.江苏宜兴市地质资源环境承载力评价[J].地质通报,2020,39(1): 134-140.
- [25] 徐慧珍.中国地质环境分区图[M].北京:地质出版社,2017.
- [26] 王尧,张茂省,杨建锋.中国地质环境脆弱性评价[J].西北地质,2019,52(2): 204-212.
- [27] 张晓玲.国土空间规划实践面临的技术挑战[J].人类居住,2018,97(4): 20-22.
- [28] 孙佑海.中华人民共和国土地管理法[M].北京:法律出版社,1998.
- [29] 李春燕,邢丽霞,李亚民,等.基于ArcGIS的国土开发适宜性评价指标体系研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(S3): 175-178.
- [30] 孟晖,张若琳,石菊松,等.地质环境安全评价[J/OL].地球科学. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20190314.1015.002.html>.
- [31] 陈梦熊.论生态地质环境系统与综合性生态环境地质调查[J].水文地质工程地质,1999,(3): 3-6.
- [32] 李瑞敏,鞠建华,王轶,等.地质环境问题的地质指标体系框架及其构建方法[J].地质通报,2011,30(11): 94-99.
- [33] 杨忠芳,奚小环,成杭新,等.区域生态地球化学评价核心与对策[J].第四纪研究,2005,25(3): 275-284.
- [34] 孟晖,张若琳,石菊松,等.中国地质环境安全评价图[M].北京:地质出版社,2017.
- [35] 张飞涟,张涛.基于GIS的图形叠置法在城镇市政设施投资项目环境影响后评价中的应用[J].城市勘测,2007,(1): 28-31.
- [36] 吴小萍,杨晓宇,冉茂平.基于图形叠置法的铁路选线环境影响综合评价研究[J].中国铁道科学,2004,25(4): 125-128.
- ①孟晖,张若琳.基础地质环境分析与国土开发安全评价.中国地质环境监测院,2014.