

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.12.012

中俄边境同江—抚远地区地质资源环境承载力评价与功能区划

李霄^{1,2}, 王晓光¹, 何海洋¹, 王长琪¹, 朱巍¹, 蔡贺¹, 陈麟^{1*}, 唐楠³
LI Xiao^{1,2}, WANG Xiaoguang¹, HE Haiyang¹, WANG Changqi¹, ZHU Wei¹, CAI He¹,
CHEN Lin^{1*}, TANG Nan³

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055;

3. 沈阳市公安局大东分局, 辽宁 沈阳 110000

1. Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;

2. Key Laboratory of Natural Resource Coupling Process and Effects, Beijing 100055, China;

3. Dadong Branch of Shenyang Public Security Bureau, Shenyang 110000, Liaoning, China

摘要:为促进中俄边境同江—抚远地区地质资源环境保护和新型城镇化建设,在查明区域资源禀赋、水文地质、工程地质、环境地质条件和人类活动方式的基础上,综合运用层次分析法、专家会商法和GIS技术,建立地质资源环境承载力评价指标体系,并分别进行地质资源环境承载本底和状态评价。通过耦合承载本底和状态评价结果进一步实现承载力综合评价,同时结合区域社会经济发展需求开展地质资源环境功能区划。结果表明,研究区地质资源环境承载力整体为中等—强,占全区面积的98%,地下水环境质量问题制约承载能力的主要因素,界河塌岸等地质灾害风险和易发性较低。基于对评价结果的分析,将研究区划分为生态型、宜居型和农业型3类地质资源环境功能区,提出了加强生态保护修复、改善人居环境、加强面源污染源头管控等措施,为促进边境地区特色旅游产业和农业经济发展提供科学参考。

关键词:中俄边境;口岸城市;地质资源环境;承载力;指标体系;评价;功能区划;环境地质调查工程

中图分类号:P962 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)12-2165-09

Li X, Wang X G, He H Y, Wang C Q, Zhu W, Cai H, Chen L, Tang N. Bearing capacity evaluation and function zoning of geo-resources and environment in Tongjiang-Fuyuan area on the border between China and Russia. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(12): 2165-2173

Abstract: In order to promote geo-resources and environment protection and new type urbanization of Tongjiang-Fuyuan area on the border between China and Russia, a comprehensive approach was employed. This involved analytic hierarchy process, expert Consultation Method, and GIS technology to establish an evaluation index system for assessing the carrying capacity of geo-resources and environment. The evaluation system was based on the investigation of regional resource endowment, hydrogeological, engineering geological, environmental geological conditions and human activity patterns. Furthermore, the bearing background and status of geo-resources and environment were evaluated respectively. The comprehensive evaluation of bearing capacity was further realized by coupling the results of the background and status evaluations, and the geo-resources and environment function zoning was carried out according to

收稿日期:2021-09-06;修订日期:2022-02-25

资助项目:中国地质调查局项目《松辽流域水文地质与水资源调查监测》(编号:DD2021753)、《中俄蒙经济走廊哈大齐和绥芬河—同江地区地质环境综合调查》(编号:DD20160115)、自然资源要素耦合过程与效应重点实验室开放课题《查干湖流域地下水—土界面氟的迁移机制与生态效应研究》(编号:2023KFKTB010)、国家自然科学基金项目《辽宁沿海典型区咸淡水过渡区中地下水微生物群落结构与多样性特征以及海水入侵检测手段研究》(批准号:42102294)

作者简介:李霄(1983—),男,博士,正高级工程师,从事水文地质环境地质研究。E-mail:zzlx19@163.com

* **通信作者:**陈麟(1992—),男,博士,工程师,水文地质学专业,从事水文地质环境地质研究。E-mail:392446434@qq.com

the needs of regional social and economic development. The results showed that the level of overall geo-resources and environment carrying capacity in the study area was medium-strong, accounting for 98% of the whole area. The main factor restricting the carrying capacity was the groundwater environmental quality, and the risk and susceptibility of geological disasters such as bank collapse of boundary river were low. Based on the analysis of the evaluation results, the study area was divided into three types of geo-resources and environment functional areas: ecological type, livable type, and agricultural type. Some measures such as strengthening ecological protection and restoration, improving living environment and strengthening source control of non-point source pollution were put forward to provide scientific reference for promoting the development of characteristic tourism industry and agricultural economy in border areas.

Key words: Sino-Russian border; port cities; geo-resources and environment; carrying capacity; index system; evaluation; function zoning; environment geological survey engineering

地质资源环境是人类社会可持续发展的物质基础和先决条件,其承载能力是衡量区域发展潜力的主要依据(王思敬,1996;封志明等,2017;孙秀波等,2022)。关于资源环境承载能力的概念和理论研究目前仍处于完善阶段,殷志强等(2018)和王念秦等(2019)认为,现阶段资源环境承载能力是指在自然生态环境不受危害并维系良好的生态系统前提下,一定地域空间的资源禀赋和环境容量所能承载的人口与经济规模,其与技术手段、社会选择、价值观念等密切相关,具有非线性、综合性与系统性等特征。国外学者从18世纪末开始率先探索资源环境对人类社会经济发展的承载能力,并逐步形成了较先进的理论体系(Arrow et al.,1995)。至20世纪末,发达国家已经将地质资源环境承载能力评价作为指导国土空间规划的关键支撑技术和规避地质灾害风险的重要保障手段,并建立了较完善的法律体系,研究成果得到了有效应用(Vliet,1996;Khanna,1999;Turer et al.,2008;Lane,2010;Francesco et al.,2015)。而中国早期的研究,往往在国土开发规划后进行地质资源环境适宜性等评价分析,对前期指导规划和政府决策的研究程度不够深入(闫文晓,2019)。2008年汶川地震是中国地质资源环境承载能力应用研究的转折点,承载能力评价结果为汶川、玉树等地震区灾后重建规划提供了重要的科学依据(樊杰等,2009,2010;王念秦,2019),国家也愈发重视地质资源环境与人口社会经济的协调发展,随着地质环境监测指标体系和多要素耦合模型研究及GIS空间分析技术的日趋成熟(李瑞敏等,2011;李春燕等,2014),国内学者相继开展的全国、省级、市县等不同尺度的地质资源环境承载能力研究成果,在各级规划制定过程中的指导作用更加突出,对促进区域社会经济可持续发展的贡献也越来越明显(姜月华等,2017;于洋等,

2018;何海洋,2020;王欣宝等,2020;魏路等,2020;张丽等,2020;孟晖等,2021)。

中国“一带一路”合作倡议把东北地区列为对俄罗斯、蒙古及欧洲开放的重要窗口,自2014年起,中、俄、蒙三国共同打造“中俄蒙经济走廊”,积极推动三方战略合作。同江、抚远作为中国对俄贸易的一级水路口岸,是中俄蒙经济走廊的重要组成部分,也是国家沿边开发开放的重要节点城市(王晓光等,2020)。然而,基础设施更新改造滞后,内外运输能力较弱,束缚了口岸社会经济发展;中俄界河塌岸(中国国土资源航空物探遥感中心,2006)、洪涝等偶发地质灾害也对生态环境构成了潜在威胁。因此,构建适于口岸城市地质资源环境承载能力的国土开发保护新格局,已经成为推进共建“一带一路”高质量发展过程中亟待解决的重要课题。鉴于此,本次以中俄边境口岸同江-抚远县级行政单元为研究区,开展多要素地质资源环境承载能力综合评价,旨在为提高边境地区国土空间规划利用效率和资源环境保护能力提供技术支撑,也为全国完善不同尺度的地质资源环境承载能力评价体系提供参考。

1 研究区地质资源环境概况

同江—抚远地区位于中国东北三江平原的东北部,北、东两面与俄罗斯隔黑龙江、乌苏里江相望,南与富锦市和饶河县为邻,西临松花江与绥滨县相连,坐标为东经 $132^{\circ}18'32''\sim 135^{\circ}05'20''$ 、北纬 $47^{\circ}25'30''\sim 48^{\circ}27'40''$,总面积 12562.48 km^2 。研究区属中温带大陆性季风气候,多年平均气温 2.9°C ,年均降水量 532.7 mm ,年均蒸发量 $580\sim 730\text{ mm}$ 。

全区广泛分布冲洪积、冲湖积平原,海拔高度多为 $40\sim 60\text{ m}$,地形由西南向东北倾斜,坡度 $1/5000\sim 1/10000$ 。主体地貌为两级阶地和高、低漫

滩,两级阶地分布面积最广(图 1)。北部分布街津山、抚远南山等丘陵,出露前第四系基岩,局部边缘有断续残丘和黄土台地,其基底埋藏较浅。区内地层主要包括古生界石炭系—二叠系,中生界三叠系、侏罗系、白垩系,新生界新近系、第四系,侵入岩时代主要为燕山期—印支期,新生代以来接续沉积了巨厚的新近纪和第四纪地层,形成了典型的沉积型盆地(李霄等,2021)。全区可划分为丘陵、台地、阶地和漫滩 4 个工程地质区,据岩土体成因类型、组合及变化特征,可进一步划分为坚硬块状花岗岩类岩组、坚硬块状玄武岩类岩组、较坚硬层状硅质岩—杂砂岩类岩组和软岩层状砂岩—泥质砂岩—泥岩类岩组 4 类岩体工程地质岩组,以及粘性土、砂类土和砾类土 3 类土体工程地质岩组。

研究区具有丰富的水土资源。黑龙江、松花江、乌苏里江等大中型河流流经本区,地表水多年平均资源量近 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。平原区广泛分布第四系松散岩类孔隙水,含水层岩性以砂和砂砾石为主,厚度 50~200 m,其上部覆有 3~10 m 厚的粘性土层,使孔隙水具有微承压—承压性,单井涌水量普遍大于 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$,是农业灌溉用水的主要开采层。新近系孔隙—裂隙水埋藏于第四系含水岩组之下,单井涌水量为 $300 \sim 800 \text{ m}^3/\text{d}$,水质优良,是居民生

活用水的主要水源。本区属全球三大黑土分布区之一,土壤质量优越(戴慧敏等,2020),土地资源以耕地为主,面积达到 9374.78 km^2 ,占总面积的 74.6%。湿地面积次之,为 1234.72 km^2 ,占总面积的 9.8%,著名的三江、洪河湿地等国家级自然保护区均分布于此。林地、草地面积为 1022.13 km^2 ,占总面积的 8.1%,纵横发育的水系和生态优良的林、草、湿地也孕育了丰富的水产及野生动植物资源。区内已发现铁、锰、煤炭、泥炭、砂金等矿产资源 70 余种,普遍为小型矿床或矿化点,目前勘查和开发程度较低。

地下水质量问题是研究区最突出的地质环境问题。原生环境下,第四系地下水中 $\rho(\text{TFe})$ 为 $0.04 \sim 68.28 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{Mn}^{2+})$ 为 $0.002 \sim 7.63 \text{ mg/L}$,超标率分别达到 80.04% 和 69.08%。平原区长期种植水稻,导致第四系地下水中氮素含量升高并形成农业面源污染,其中氨氮超标率最高,达到 48.26%,其次为硝酸盐氮,超标率为 12.72%(李霄等,2021)。含有高浓度铁、锰的水体口感较差,影响人体感官反应,水中氮素含量较高亦会增加致癌风险。河流塌岸是中俄界河沿线普遍存在的地质灾害现象,黑龙江同江—抚远段全长 334.76 km,存在塌岸隐患 154 处,侵蚀面积 25.83 km^2 ,侵蚀率 $0.077 \text{ km}^2/\text{a}$ (中国国土资源航空物探遥感中心,2006);乌苏里江沿线目前

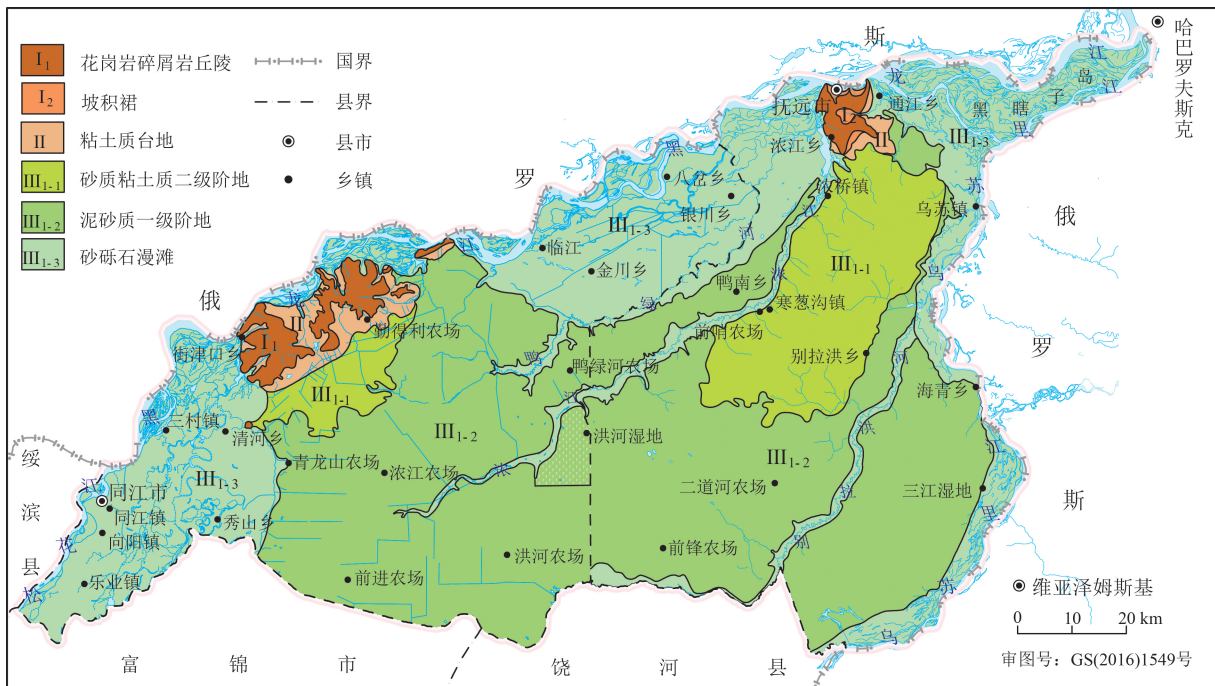


图 1 同江—抚远地区地貌单元分区图

Fig. 1 Geomorphic units zoning map of Tongjiang-Fuyuan area

存在塌岸隐患 13 处,总长度 188.1 m,侵蚀面积 0.345 km²,侵蚀率 0.05 km²/a(初禹等,2015)。近年来,地方政府逐步完善河道护岸工程,塌岸侵蚀威胁程度逐渐降低。丘陵区零星分布 23 处因露天采矿形成的小型崩塌、滑坡隐患点,尚未造成人身财产损失,且采石场已政策性关闭,目前处于较稳定状态。

2 数据与方法

2.1 研究思路

地质资源环境承载能力评价的核心是评价指标体系的构建(李瑞敏等,2011)。本次以《国土资源环境承载力评价技术要求(试行)》(李瑞敏等,2016)为依据,在系统分析同江—抚远地区资源禀赋、水文地质、工程地质、环境地质等自然要素特征和人类活动方式的基础上,以“重要性、普遍性、差异性”为指标筛选原则,选取土地资源种类、地下水资源量、粘性土厚度、工程建设适宜性、地下水环境质量、地质灾害易发性、地下水污染现状、土地利用方式和地质灾害风险性作为约束、限制、影响地质资源环境承载对象的主要指标,首先分别开展地质资源环境承载本底(反映资源禀赋与环境容量的优劣程度)和承载状态(反映资源环境供容能力与社会经济发展的匹配程度)评价(王欣宝等,2020;张丽等,2020),再将两者评价结果耦合开展地质资源环境承载能力综合评价,根据综合评价结果,最终提出地质资源环境功能区划和开发保护建议。

2.2 数据来源

土地资源数据由 2015 年 9 月 15 日 Landsat 8—OLI 影像数据(多光谱空间分辨率为 30 m,全色波段分辨率为 15 m)解译得出。结合已有地质资料(中国人民解放军建字七一四部队,1978;黑龙江省地质环境监测总站,2004)和 2017—2018 年实地调查、67 孔钻探、48 组原位试验、178 组水化学样品采集测试等工作,获取地下水资源量和粘性土厚度数据,分析得出地质灾害易发性和风险性结论。依据《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ 57—2012)进行工程建设适宜性评价;依据《地下水污染地质调查评价规范》(DD2008—01)开展地下水环境质量和污染现状评价。地下水化学样品主要测试 Na⁺等 35 项无机指标,由自然资源部东北矿产资源监督检查中心按照《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130—2006)等行业规范进行检测。

2.3 研究方法

本次依据层次分析法原理(Aalytic Hierarchy Process,AHP)建立评价指标体系。层次分析法是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。决策者通过建立具有隶属关系的递阶层次体系,同一层次内比较各因素的相对重要性,计算得出不同因素的权重,进而通过线性加权函数法建立 AHP 层次体系的数学模型(公式 1)实现对目标的量化评价,为决策提供依据(Finizio et al.,2000)。

$$M_i = \sum Z_j \times W_j = W_j \cdot \sum (P_{ji} \times W_i) \quad (1)$$

式中: M_i 为地质资源环境承载本底或承载状态的综合评价指数; Z_j 为第 j 个层级的评价指数值; W_j 为第 j 个层级的权重,其中 $j=1, \dots, n$; P_{ji} 为第 j 个层级对应的第 i 项指标的单项评分; W_i 为第 i 项指标的权重,其中 $i=1, \dots, n$ 。

合理量化各因素的权重是评价的关键,隶属于同一层级内的各项指标可通过专家会商法进行两两比较,并构建判断矩阵 A,进而确定评价指标的权重和承载能力等级标准(邓雪等,2012;王爱平等,2015)(表 1)。本次采用几何平均法得出不同指标的权重(公式 2),将判断矩阵 A 的各个行向量几何平均,然后归一化,得到的行向量即为权重。该方法对求解精度要求不高,计算简便。

$$\omega_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (2)$$

式中: ω_i 为权重; a_{ij} 、 a_{kj} 表示矩阵 A 的元素, $i, j, k=1, 2, \dots, n$,若 $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$,则称 A 为一致性矩阵,归一化后计算得出的权重更加可靠。

在完成权重量化后,应用 MapGIS 平台进行单指标属性赋值,再通过加权函数评价模型和 MapGIS 空间分析功能对各单指标图层进行叠置分析,最终可获得地质资源环境承载能力的空间评价结果。本次依据单指标定量或定性评价结果,按照从优至劣分级原则,将各指标承载本底分为高、较高、中等、较低和低 5 个级别,承载状态分为盈余、均衡、超载 3 个级别;各项指标叠加后所得的地质资源环境承载本底和承载状态分级结果与单指标分级标准一致(表 2)。通过对比研判承载本底和承载状态评价结果,将承载能力分为强、较强、中等、较弱和弱 5 个级别(表 3)。

表 1 地质资源环境承载能力评价指标体系及权重赋值

Table 1 Evaluation index system and weight value for carrying capacity of geo-resources and environment

总目标层	次目标层	权重	指标层	低	较低	中等	较高	高
地质资源环境承载能力	承载本底	0.52	土地资源种类	建设用地		居民地	耕地	林草湿地
		0.15	地下水资源量	贫乏	较贫乏	中等	较丰富	丰富
		0.05	粘性土层厚度	<1 m	1~2 m	2~4 m	4~6 m	>6 m
		0.08	工程建设适宜性	不适宜	适宜性差	较适宜		适宜
		0.16	地下水环境质量	V类水质	Ⅳ类水质	Ⅲ类水质	Ⅱ类水质	Ⅰ类水质
		0.04	地质灾害易发性	极高易发	高易发	中易发	低易发	不易发
	次目标层	权重	指标层	盈余		均衡		超载
	承载状态	0.30	地下水污染现状	未污染-轻度污染		中度污染	重度-极重度污染	
		0.55	土地利用方式	林草湿地		居民地和建设用地		耕地
		0.15	地质灾害风险性	低风险		中风险		高风险

3 结果与讨论

3.1 承载本底评价

根据上述评价方法,研究区地质资源环境承载本底可分为高、较高、中等、较低 4 个分级区(图 2),其中承载能力较高—高的研究区面积占全域面积的 93%。承载本底高区分布于丘陵台地和沿江阶地,林、草、湿地资源丰富,水资源较充沛,地下水环境质量优良,极少受到人类活动影响,优越的生态资源使该区具有良好的环境容纳能力。承载本底较高区占全区面积的 71%,广泛分布于一、二级阶地,

表 2 承载本底和承载状态评价打分标准

Table 2 Evaluation scoring criteria of bearing background and status

承载本底分级	低	较低	中等	较高	高
评价分值	0~3	3~4	4~5.5	5.5~7.5	7.5~9.8
承载状态分级	盈余		均衡		超载
评价分值	0~2.25		2.25~6		6~8.25

表 3 地质资源环境承载能力等级划分标准

Table 3 Grading standards of geo-resources and environment carrying capacity evaluation

承载能力等级		承载本底等级				
		高	较高	中等	较低	低
承载状态等级	盈余	强	强	较强	中等	较弱
	均衡	强	较强	中等	较弱	弱
	超载	较强	中等	较弱	弱	弱

水土资源丰富,工程建设适宜性强,是商品粮种植和城镇建设的主要区域,但地下水环境质量偏低。承载本底中等区集中分布在已开发的居民地和建设用地,人类生产生活对水土资源环境的高度开发及长期排污行为,造成该类地区本底承载能力下降。承载本底较低区面积不足全区的 1%,零星分布于街津山、抚远南山的露天采矿区和黑龙江、乌苏里江塌岸区,存在小规模水土流失现象。

3.2 承载状态评价

地质资源环境承载状态盈余区分布于北部的丘陵台地和东部乌苏里江一级阶地(图 3),占全区面积的 11%,林草资源丰富,地下水质优良,丘陵区崩塌、滑坡等小型地质灾害隐患目前较稳定,人类活动影响程度较低。均衡区主要分布于沿江漫滩区和两级阶地,占全区面积的 30%,土地类型以城建用地和湿地为主,水土资源较丰富,人类活动频繁,受人类生活排污影响,局部地下水呈中度污染,丰水期沿江区域偶发塌岸和洪涝灾害。超载区面积占全区的 59%,分布于南部广袤的一、二级阶地,高强度农业活动增加了该区地质资源环境的负荷,第四系地下水面源污染较重。

3.3 承载能力综合评价

将地质资源环境承载本底和承载状态评价结果进行耦合,根据承载能力等级划分标准(表 3),研究区地质资源环境承载能力可划分为强、较强、中等、较弱 4 个等级(图 4)。

承载能力强区主要为生态环境优良的林、草、

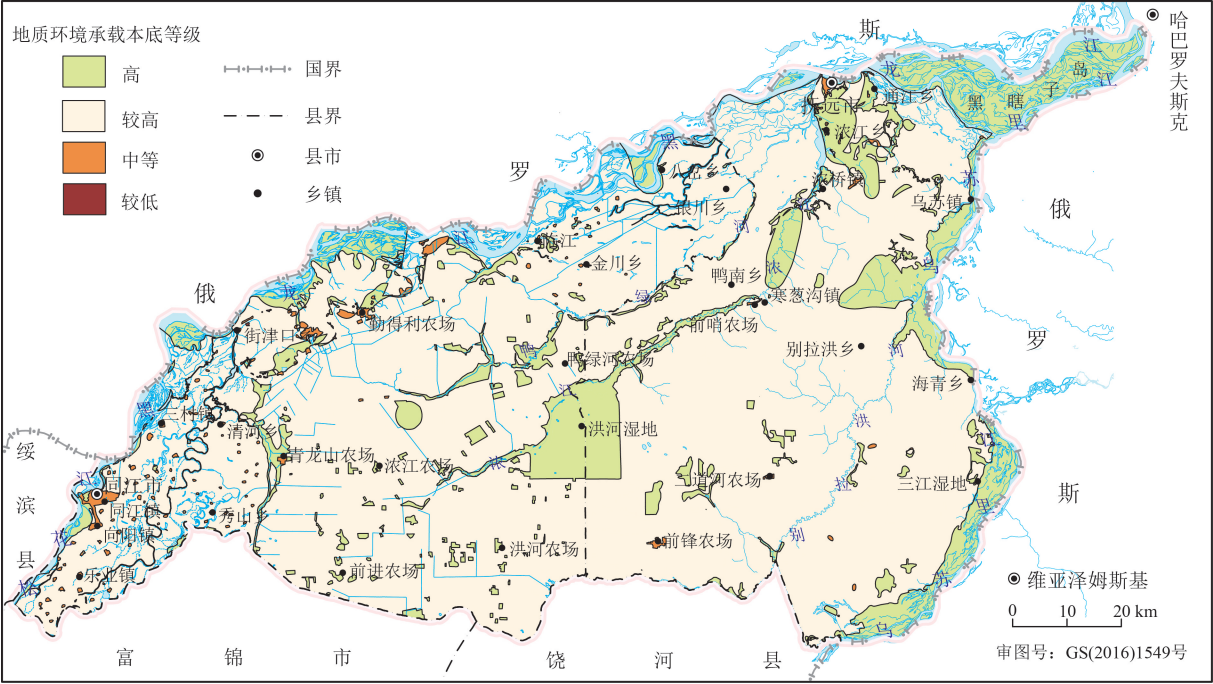


图 2 同江—抚远地区地质资源环境承载本底评价图

Fig. 2 Geo-resources and environment carrying background evaluation map of Tongjiang-Fuyuan area

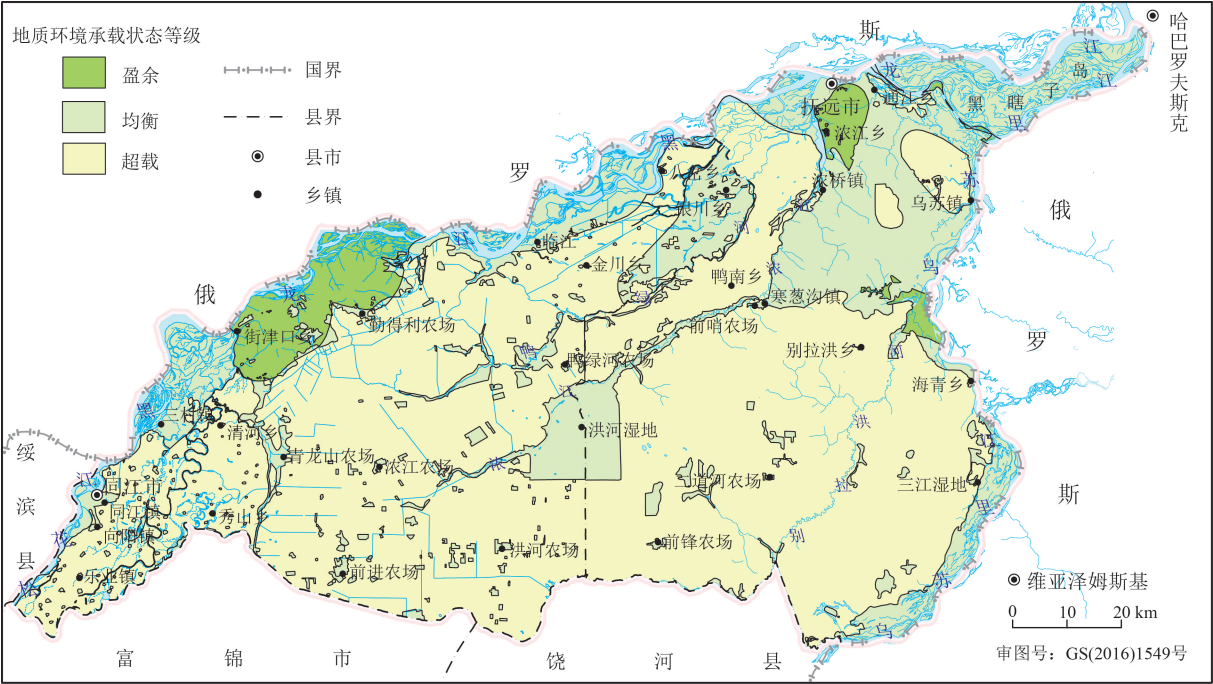


图 3 同江—抚远地区地质资源环境承载状态评价图

Fig. 3 Geo-resources and environment carrying status evaluation map of Tongjiang-Fuyuan area

湿地分布区,占总面积的19%,地貌类型以丘陵台地、漫滩和一级阶地为主,承载本底较高—高,承载状态多为均衡—盈余。承载能力较强区分布于区域北部低漫滩和抚远中部二级阶地,占总面积的16%,承载本底为较高—高,承载状态均衡。沿江区域地表水资源丰富,草地和湿地发育,雨季低漫滩局部易被洪水淹没,开发利用空间较小。二级阶地地下水受原生高浓度铁、锰影响,环境质量一般。承载能力中等区广泛分布于沿江高漫滩和一级阶地,占总面积的63%,水土资源丰富,适于工程建设开发和农业种植,承载本底中等—较高,承载状态均衡—超载。但受长期人类活动的影响,以氮素面源污染为主的地下水环境质量问题在短期内存在一定的恢复治理难度。承载能力较弱区零星分布于北部露天矿区、沿江低漫滩和南部残丘,占总面积的2%,承载本底较低—中等,承载状态超载。闭停矿区的小型崩塌、滑坡隐患和中俄界河塌岸隐患,造成局部林草植被破坏、水土流失,是导致本区承载能力较弱的主要因素。

3.4 地质资源环境功能区划

在同江—抚远地区地质资源环境承载力评价的基础上,综合多种资源环境要素的空间分布特征,明确不同区域的环境问题和开发利用短板,结合地方社会经济发展和生态文明建设的需求,并参考《国土资源环境承载力评价技术要求(试行)》(李瑞敏等,2016),将研究区地质资源环境划分为生态型、宜居型、农业型3类功能区(图5)。划分原则为:将生态环境整体良好,但局部存在地质灾害隐患,难以被开发利用的区域定为生态型功能区;具有良好的工程地质条件和充足的水资源,适宜于工程建造并已被人类规模性开发的区域定为宜居型功能区;具有丰富的水土资源,受长期农业活动影响存在地下水环境质量问题的区域定为农业型功能区。

(1)生态型功能区

生态型功能区包括丘陵台地内的林地、草地及江河沿岸的湿地区,地质资源环境承载力为较强—强。丘陵台地植被茂密,深部基岩裂隙发育,导水能力较强,蕴藏的地下水质量优良,是重要的水源补给区。湿地自然保护区不仅是旅游观光的必选路线之一,更是保障生态环境质量的重要功能区。主要地质环境问题是露天矿区和沿江塌岸已

造成小规模水土流失,一定程度上影响了生态景观的完整性和协调性,近岸低漫滩在雨季发生洪水时也易被淹没。目前通过矿山环境恢复治理和河岸堤坝加固工程,地质灾害风险下降,生态景观逐渐恢复。建议继续加强地质资源环境保护和修复工作,定期巡查地质灾害隐患,加强生态环境监督,降低人为因素影响。

(2)宜居型功能区

该类地区地质资源环境承载力中等—强,主要分布于同江市市区所处的松花江高漫滩,抚远市区以南至寒葱沟镇的二级阶地,以及现有主要乡镇、农场场部规划建设区。区域内岩土体结构稳定、连续,适于工程建设,无地质灾害隐患,具有良好的开发规划潜力,可以作为研究区提高城镇化建设水平的重点规划区域。居民地排放废弃物对水、土和空气质量的影响是当前存在的主要环境问题,为避免因废弃物堆放造成的环境污染,建议加强人居生态环境保护宣传教育,严禁随意排放生产生活垃圾,并及时将各类垃圾清运至市政垃圾填埋场进行集中处置。

(3)农业型功能区

广泛分布于两级阶地和黑龙江漫滩区,丰富的耕地资源和地下水资源为区域发展农业经济创造了有利条件,地质资源环境承载力以中等为主,具备扩大农业生产规模的潜力。但受长期农业活动的影响,区内地下水呈现面源污染,化肥中的氮素及原生环境的Fe、Mn元素均造成了地下水环境质量下降。建议从源头控制外源氮素的输入,在保证农业可持续发展的前提下,适度调整化肥的施用方式,集中处置化肥和农药使用后的废弃容器,逐步降低面源污染范围和污染程度。同时,建议加强对粮食主产区地下水面源污染管控和防治的科学研究,充分利用先进科技手段促进区域农业经济发展。

4 结论与建议

(1)基于中俄界河同江—抚远地区所具有的沉积型盆地地质资源环境特征,从资源禀赋等五大类要素中选取土地资源种类等9项指标,分别构建地质资源环境承载本底和承载状态评价体系。承载本底较高—高区占全区面积的93%,承载状态盈余—均衡区占全区面积的41%,超载区占59%。经综合评价后,研究区地质资源环境承载力可分为强、较强、中等、较弱4个分级区,面积占比分别为



图4 同江—抚远地区地质资源环境承载力评价图

Fig. 4 Geo-resources and environment carrying capacity evaluation map of Tongjiang-Fuyuan area

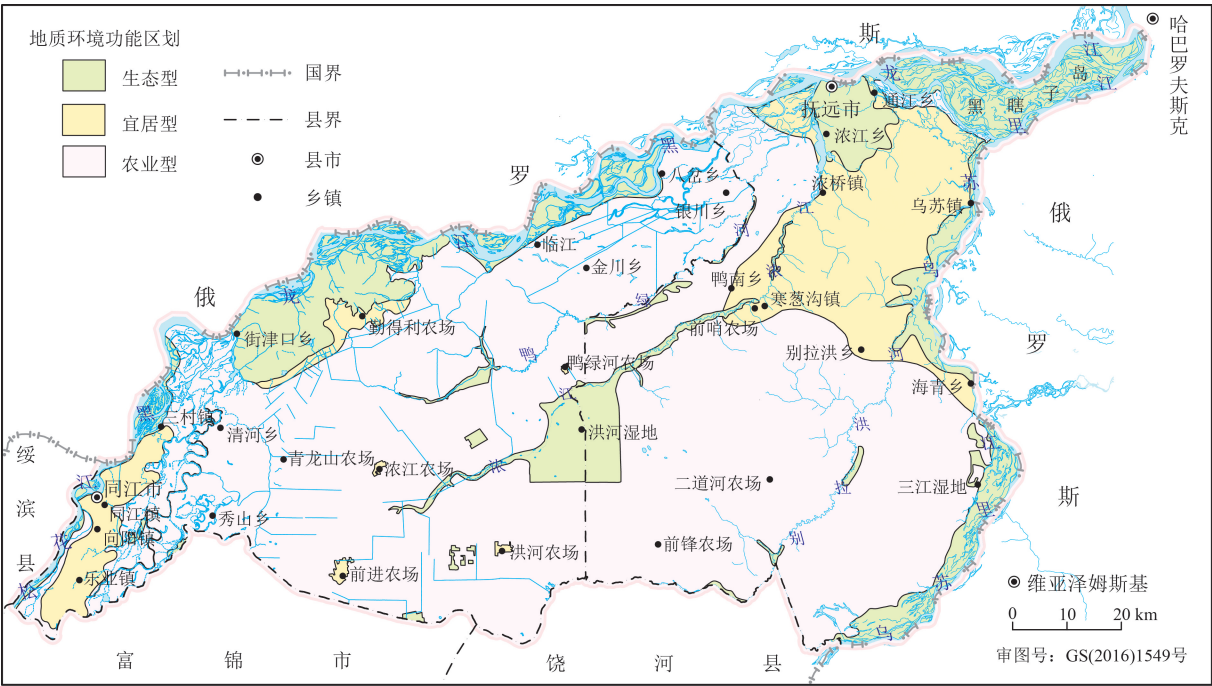


图5 同江—抚远地区地质资源环境功能区划图

Fig. 5 Geo-resources and environment function zoning map of Tongjiang-Fuyuan area

19%、16%、63%和2%,承载力整体为中等以上。

(2)各评价指标中,土地资源种类和土地利用方式权重值分别达到0.52和0.55,突出反映了三江

平原地区土地资源对农业经济发展的重要支撑作用。其次为地下水环境质量和污染现状指标,权重值分别为0.16和0.30,反映出长期农业生产造成的地

下水环境质量问题是制约本区地质资源环境承载能力的主要因素。全区地质灾害风险和易发性较低,仅在中俄界河及丘陵台地零星分布小型地质灾害隐患。

(3)地质资源环境功能可划分为生态型、宜居型和农业型3类功能区。生态型功能区应以加强地质资源环境保护和中俄界河塌岸等地质灾害隐患排查为主,促进林、草、湿地自然保护区创立地域品牌,带动特色旅游经济发展;宜居型功能区具备城镇建设规划发展潜力,需加强对废弃物的集中处置,改善人居生态环境;农业型功能区需加强氮素面源污染的源头管控,预防地下水质量进一步恶化,促进水土环境和农业经济活动的可持续发展。

致谢:抚远市和同江市自然资源局在开展调查和资料搜集工作中提供了大力支持,课题组同仁在成文过程中提供了帮助,审稿专家为本文提出了宝贵意见,在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献

- Arrow K, Bolin B, Costanza R, et al. Economic growth, carrying capacity and the environment[J]. Science, 1995, 268(1): 89-90.
- Finizio A, Villa S. Environment risk assessment for pesticides: A tool for decision-makers [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 22(3): 235-241.
- Francesco G, Mario B, Giuseppe P, et al. Environmental geology applied to geoconservation in the interaction between geosites and linear infrastructures in south-eastern Italy [J]. Geoheritage, 2015, 7(1): 33-46.
- 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.
- 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.
- Maltus T R. An essay on the principle of population[M]. London: StPaul's Church-Yard, 1798.
- Turer D, Nefeslioglu H A, Zorlu K, et al. Assessment of geo-environmental problems of the Zonguldak Province(NW Turkey) [J]. Environmental Geology, 2008, 55(5): 1001-1014.
- Vliet W V. Sustainable development, global restructuring and immigrant housing[J]. Habitat International, 1996, 20(3): 346-358.
- CJJ 57-2012. 城乡规划工程地质勘察规范(中华人民共和国行业标准)[S]. 2012.
- DD 2008-01. 地下水污染地质调查评价规范(中国地质调查局地质调查技术标准)[S]. 2008.
- DZ/T 0130-2006. 地质矿产实验室测试质量管理规范(中华人民共和国地质矿产行业标准)[S]. 2006.
- 初禹, 张贵达, 王少华, 等. 资源一号 02C 卫星数据在河流塌岸调查中的应用—以中俄界河抚远县段为例[J]. 黑龙江工程学院学报, 2015, 29(4): 6-10.
- 戴慧敏, 赵君, 刘国栋, 等. 东北黑土地质量调查成果[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 299.
- 邓雪, 李家铭, 曾浩建, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
- 樊杰. 玉树地震灾后恢复重建资源环境承载力评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- 樊杰, 周成虎, 顾行发. 国家汶川地域灾后重建规划资源环境承载力评价[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究: 从理论到实践[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395.
- 何海洋. 东宁—绥芬河地区地质环境承载力驱动机制与监测预警研究[D]. 吉林大学博士学位论文, 2020.
- 黑龙江省地质环境监测总站. 黑龙江省矿山地质环境调查与评估报告[R]. 2004.
- 姜月华, 林良俊, 陈立德, 等. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. 中国地质, 2017, 44(6): 1045-1061.
- 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.
- 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.
- 李瑞敏, 孟晖. 国土资源环境承载力评价技术要求(试行)(地质部分)[S]. 国土资源部, 2016.
- 李霄, 王晓光, 柴璐, 等. 沉积盆地地下水无机氮来源示踪及其演化模式[J]. 中国环境科学, 2021, 41(4): 1856-1867.
- 孟晖, 李春燕, 张若琳, 等. 全国地质环境承载能力评价[J]. 地质通报, 2021, 40(4): 451-459.
- 孙秀波, 崔健, 代雅建, 等. 辽宁锦州地区土地资源承载力评价[J]. 地质通报, 2022, 41(8): 1487-1493.
- 王爱平, 周焱, 李枋燕, 等. 指标权重方法比较研究——以渭源县基本农田划定为例[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2015, 32(2): 135-140.
- 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.
- 王思敬. 中国城市发展中的地质环境问题[J]. 第四纪研究, 1996, 16(2): 115-122.
- 王晓光, 李霄, 何海洋, 等. 中俄蒙经济走廊哈大齐和绥芬河——同江地区地质环境综合调查成果报告[R]. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2020.
- 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.
- 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.
- 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): 1038-1045.
- 殷志强, 李瑞敏, 李小磊, 等. 地质资源环境承载力研究进展与发展方向[J]. 中国地质, 2018, 45(6): 1103-1115.
- 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, 54(2): 407-414.
- 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): 131-137.
- 中国国土资源航空物探遥感中心. 中俄界河塌岸地质灾害动态遥感监测成果报告[R]. 2006.
- 中国人民解放军建字七一四部队. 三江平原同江—抚远地区综合水文地质图[Z]. 1978.