

基于风险的地质环境承载力评价

张茂省¹,王尧²

ZHANG Maosheng¹, WANG Yao²

1. 中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054;

2. 中国地质调查局发展研究中心,北京 100037

1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China

摘要:资源环境承载力是国民经济和社会发展规划中必须考虑的基本要素之一。科学地量化评估资源环境承载力已成为多个领域交叉研究的前沿课题,资源环境承载力的概念、评价原理、评价方法、评判标准等基本问题尚有待深入研究。通过引入风险管理的理念,基于风险理论、国土空间三生功能理论、地质环境理论、边际分析理论等交叉融合,开展基于风险的地质环境承载力理论与技术方法探讨。以人类活动带来的生命、财产和健康风险是否可接受及接受程度为切入点 and 判别标准,提出基于风险的地质环境容许承载力和极限承载力概念,将承载力状态判别为安全承载、容许超载和不可接受超载 3 个等级,发展地质环境承载力理论。构建地质环境承载力评价流程和评价技术方法,包括确定研究范围、识别地质环境问题、基于生命风险、财产风险和风险分析的地质环境承载力单因素评价、承载力综合评价等。探索确定地质环境承载力评价阈值。为地质环境承载力评价提供新的理论与关键技术,为国土空间开发“三条红线”划定提供依据。

关键词:承载力;评价原理;技术方法;地质环境;风险管理

中图分类号:X141 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2018)02/03-0467-09

Zhang M S, Wang Y. Research on the evaluation of the carrying capacity of geological environment based on its risk level. Geological Bulletin of China, 2018,37(2/3):467-475

Abstract: The carrying capacity of resources and environment is a key element which needs to be considered in economic and social development planning. Quantitative assessment of it has become one of the frontiers of earth science research. The concept, principle, method and criteria of carrying capacity assessment need to be explored further. In this paper, the authors established a new theory and some key techniques to assess the carrying capacity of geological environment, using multi-disciplinary approaches based on risk theory, functional theories of production-life-ecology, geological environmental theory, marginal theory and some other means. On the basis of the risk theory and with the prerequisite that if the life, property and health risk which originate from human activities such as producing and livelihood can be accepted as an entry point and link, the authors proposed the concept of allowable and ultimate carrying capacity, and classified the status of carrying capacity into three levels: safely carrying, allowable over-carrying and unacceptable over-carrying. Risk-based evaluation of the geological environment carrying capacity generally includes four steps: determination of the scope of the research; identification of the environmental geological problems; evaluation of the individual factors related to life, property and health risks; integrating the individual factor evaluations into a comprehensive evaluation of the current and predicted carrying capacities. This approach can support the decision making on identifying the “three red lines” of national terrestrial development.

Key words: carrying capacity; principle of assessment; technical method; geological environment; risk management

收稿日期:2017-09-05;**修订日期:**2017-12-11

资助项目:国家自然科学基金项目《黄土水敏性力学机制及其致滑机理》(批准号:41530460)、《基于风险的地质环境承载力评价研究》(批准号:41641011)和中国地质调查局项目《地质调查发展路线图与管理政策研究》(编号:DDT20160087)

作者简介:张茂省(1962-),男,博士,研究员,从事水工环地质调查与研究。E-mail: xazms@126.com

2010年8月8日,甘肃省舟曲县三眼峪和罗家峪暴发特大泥石流,造成1765人死亡和失踪,是中国有历史记载以来损失最大的一次泥石流灾害,世界罕见。据记载,自清朝道光年间(1823)以来,三眼峪和罗家峪共发生严重泥石流灾害9次,除本次泥石流灾害外,共造成13人死亡,死亡人数最多的一次是1943年7月的泥石流灾害,造成7人死亡。同样是三眼峪和罗家峪,形成泥石流的地形地貌、物源和降水条件都没有明显的变化,而灾害损失却剧增,是天灾还是人祸?值得反思。暴露出城镇化建设中对地质环境承载力认知不足的问题,针对人口暴涨、建筑密集等挤占泥石流通通道而可能导致的灾害风险估计不足^[1]。

承载力一词对水工环地质学者来说并不陌生,工程地质学(或岩土工程)中的地基承载力指地基在满足变形和强度的条件下,单位面积所能承受的最大荷载。此外,畜牧场管理、草原管理、生态学、人口统计学、经济地理等学科也用到承载力概念。

美国农业部1906年年鉴已经采用承载力的概念,意指草地的最大载畜量,用于畜牧管理。1921年人类生态学者Hawden和Paimer首次明确提出了承载力(Carrying Capacity)这一概念^[2],指在某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合),某种个体存在数量的最高极限。随后相继产生了不同的承载力概念与理论,包括种群承载力、土地资源承载力、水资源承载力、环境承载力、生态承载力、资源环境承载力等。Barrett等还提出了最佳承载力(Optimum Carrying Capacity)和安全承载力(Safe Carrying Capacity)概念^[3],综合考虑资源数量限制和社会经济系统反馈作用。

资源环境是生态文明建设的载体,正确认识和评价一个地区的资源环境承载力是生态文明建设的首要任务,是国民经济和社会发展规划中必须考虑的基本要素之一,新时期中国“一带一路”、京津冀协同发展、长江经济带等重大区域发展战略的实施,迫切要求开展资源环境承载力评价研究。科学地量化评估资源环境承载力已成为多个领域交叉研究的前沿课题。尽管国内外学者就资源环境承载力做了大量的研究,但是资源环境承载力的概念、评价原理、评价方法、评判标准等基本问题尚未定论,有待深入研究。

地质环境既是人类赖以生存的载体和环境,也

是水圈和生物圈的载体和环境。在人类可持续发展面临的人口、资源、环境等问题中,环境地质问题是最突出的问题之一,开展地质环境承载力评价尤为重要。本文以地质环境为研究对象,引入风险管理的理念,以人类生产、生活和生态活动带来的生命、财产和健康风险是否可接受及接受程度为切入点和纽带,通过多学科联合手段,提出基于风险的地质环境容许承载力和极限承载力概念,将承载力状态判别为安全承载、容许超载和不可接受超载3个等级。旨在构建基于风险的地质环境承载力评价原理和技术方法体系,探索建立基于风险的地质环境承载力评价标准,为地质环境承载力评价提供新的理论与关键技术,为国土空间优化管理,划定耕地红线、生态红线和城市开发边界等“三条红线”提供技术方法依据。

1 国内外研究现状及存在问题

自1921年以来,特别是20世纪70年代以后,人口、经济、资源、环境等全球性问题日益突出,人口承载力、土地资源承载力、环境承载力、水资源承载力、生态承载力等研究应运而生^[4-7],国外关于承载力的研究从对承载力概念的不断探讨,到逐步将承载力运用到管理实践和环境规划领域^[8],从单一要素评价转向多要素乃至水-土-生态环境-社会经济复合系统评价,对承载力问题的多元性、动态性、非线性、多重反馈等特征进行阐释^[9]。但在20世纪90年代之后,国外地理学界对承载力进行的专门研究甚少。

20世纪40年代,任美镔最早注意到承载力研究的重要性^[10]。中国学者在总结吸收国外经验教训的基础上对承载力开始了研究,到20世纪90年代,理论和方法研究达到了空前的高潮,取得了一些重要成果。在典型地区和重点地区开展的资源环境承载力研究,为中国优化国土空间开发格局、推进生态文明建设发挥了积极作用。

1.1 资源环境承载力理论研究

对资源环境承载力内涵的研究在逐步深入,最初单纯基于自然资源禀赋,不考虑作用于资源环境的人类行为,如汪恕诚在中国水利学会成立70周年时提出,水资源承载能力指“在一定的水域,其水体能够被继续使用并仍保持良好的生态系统时,所能容纳污水及污染物的最大能力”,将水体的纳污

能力作为水环境的承载力,承载对象为污染物;发展到在自然资源禀赋基础上加入资源环境所能承载的人口规模和人口数量^[11],将资源环境对人类社会的“承载”内涵表述出来,把资源环境承载力具体到人口数量、粮食、污染物;后来,承载力内涵涵盖自然资源禀赋和人类发展需求,在上述基础上又加入资源环境所能承载的经济规模,将人类行为(经济行为)对资源环境承载力的影响概括在内^[12];随着国土开发方式由生产空间为主导,转向“生产-生活-生态”空间协调的开发方式,地质环境承载力内涵发展到由生态承载力、生产承载力与生活承载力相互耦合^[13]。

研究内容从单纯的土地资源^[14]、水资源^[15]、水环境^[16]、矿山地质环境^[17]等单要素承载力研究,逐步发展到生态承载力^[18]、地质环境承载力^[19]、资源环境承载力^[20]等承载力综合评价;承载对象研究从最初的研究某一要素的极限数量或容纳能力,发展到支撑社会经济发展的综合能力。

1.2 资源环境承载力评价方法研究

地质环境承载力的组成及其量化研究是准确、定量把握区域地质环境承载力的关键。承载力理论研究促进了承载力研究的综合与深入。各种数理模型的引进与开发,极大地提高了承载力研究的量化水平和精确程度,承载力研究方法已经由单一指标、静态分析发展到系统多目标、动态综合分析。代表性模型方法主要有生态足迹法^[21]、供需平衡法^[22]、自然植被净第一性生产力测算法^[23]、状态空间法^[24]、指数评价法^[25]、灰色系统模型^[26]、线性规划法^[27]、系统动力学方法^[28-29]、限制因子法^[30]、集对分析模型^[31]等。

1.3 资源环境承载力评价实践应用

中国资源环境领域系统性的承载力研究起步于汶川地震后,为支撑灾后重建而开展了一系列资源环境承载力评估。近年来相继在引领中国区域经济发展、资源环境问题突出的重要经济区开展了资源环境承载力评价研究,如京津冀地区^[32]、山东半岛蓝色经济区^[19]、长三角城市群^[33]、长株潭城市群^[34]、中原城市群^[35]、武汉城市圈^[36]、皖江城市带^[37]、宁夏沿黄经济区^[38]、辽宁沿海经济带^[39]等。也在具有重要生态意义的典型地区开展了水资源、土地资源、矿山环境等承载力研究,如地质灾害高易发区^[40]、重点省市^[41]、矿区^[42]、生态导向型城市^[43]、灌区^[44]、

三峡库区^[26]、干旱区^[45]、水源涵养区^[21]、三江平原^[46]、流域^[47]等。

中国地质调查局在 2010—2014 年部署开展的“全国资源环境承载力调查评价”计划项目,取得了一系列重要成果,初步形成以“承载本底-承载状态”为基本框架的承载力评价和监测预警技术思路,初步提出了重点城市群、资源型地区、农业型地区、生态型地区资源环境承载力评价指标体系,探索开展了重点地区的资源环境承载能力综合评价,为合理确定国土开发强度、优化城乡产业空间布局、构建分类分级保护格局提供了科学依据和坚实基础,有力地支撑了《全国国土规划纲要(2014—2030)》编制。

1.4 风险评估理论与技术方法研究

风险是针对不确定事件而言,国外风险研究起步较早,20 世纪 30—60 年代,风险评价处于萌芽阶段,主要采用毒物鉴定方法进行健康影响分析,以定性研究为主。20 世纪 70—80 年代,风险评价研究处于高峰期,评价体系基本形成。事故风险评价最具代表性的评价体系是美国核管会 1975 年完成的《核电厂概率风险评价实施指南》,即著名的 WASH-1400 报告,该报告系统地建立了概率风险评价方法。健康风险评价以美国国家科学院和美国环保局的成果最丰富,其中具有里程碑意义的文件是 1983 年美国国家科学院出版的红皮书《联邦政府的风险评价:管理程序》。20 世纪 90 年代以后,随着相关基础学科的发展,风险评价技术也不断完善。2005 年召开的首届国际滑坡风险管理会议,是地质灾害风险管理研究的里程碑。国际滑坡和工程边坡联合技术委员会^[48]、澳大利亚地质力学学会^[49]、美国地质调查局^[50]、意大利^[51]、加拿大不列颠哥伦比亚森林部、加拿大不列颠哥伦比亚职业工程师、地质学家协会^[52]等相继出版了一系列与滑坡风险管理相关的研究计划、技术指南,甚至法规条例。

中国地质灾害领域风险评价研究起步较晚,兴起于 20 世纪 80 年代,21 世纪以来越来越受重视,研究不断深入,成绩斐然,从理论探索^[53-55]、技术方法体系研究^[56-58]、评价技术指南制定^[59],到推广应用^[60-62],逐渐形成新的独立学科。其中,广泛应用的评价体系是香港特别行政区土力工程处发布的滑坡风险评估与管理体制^[63]。

1.5 资源环境承载力研究存在的问题

综上,资源环境承载力研究成果在中国经济建设发展规划中起到积极的导向性作用,然而,随着研究的深入,在揭示资源环境承载力本质、科学定量评估承载力的技术方法与标准等方面,仍存在诸多深层次的理论和关键技术问题没有解决。概括起来,主要包括以下3个方面。

(1)资源环境承载力理论研究有待深入。在理论研究方面,由于尚未触及资源环境承载力本质,导致对资源环境承载力的概念、研究内容、评价原理、评价方法、评价标准等认识不一,影响了资源环境承载力的深入研究和承载力评价的实践及推广应用。

(2)资源环境承载力评价原理不清楚,评价方法难以推广应用。由于理论研究尚未触及资源环境承载力的本质,评价原理不清楚,导致评价方法拘泥于建立各式各样的指标体系,在指标体系、评价标准和评价方法的选择上主观性较大,主要是基于专家经验判断,最终结果只能用于定性判断,承载力评价结果缺乏可比性。而在探索各个因素相互作用的关系上有所突破的系统动力学法、生态足迹法等评价方法,通过模拟预测社会经济、生态、环境和水资源系统多变量、非线性、多反馈与复杂反馈等过程,把经济社会、资源与环境在内的大量复杂因子作为一个整体,对一个区域的资源承载能力进行动态计算,但这类方法的理论基础还有待进一步拓展,且模型结构复杂,可操作性差,不易于推广,影响了评价结果的应用。

(3)资源环境承载力评价尚缺乏科学的阈值标准。资源环境承载力评价标准取决于人类活动与地质环境的相互作用,既包括环境地质问题的危险性,即自然属性;也与环境地质问题引起的人员伤亡和财产损失的危害性密切相关,即社会属性。以往评价标准研究多从地学角度出发,考虑活动断裂、地壳稳定性、地面沉降、地裂缝等地质因素,对环境地质问题造成的危害性考虑不足,也很少综合考虑工程避让、工程改造等人为手段的影响,导致土地利用规划、城市规划等区划结果与承载力评价结果相违背。

在前人研究的基础上,针对上述存在的问题,提出以人类生产、生活和生态活动引发的环境地质问题风险是否可接受作为地质环境承载力评价标

准,并以此重新厘定地质环境承载力内涵,开展地质环境承载力理论与评价方法研究,旨在揭示地质环境承载力本质,破解地质环境承载力评价的关键技术问题,丰富资源环境承载力研究理念与方法。

2 基于风险的地质环境承载力概念及评价原理

资源环境承载力并非新出现的名词,但至今尚无统一的定义。其概念之所以出现不统一的乱象,关键在于缺乏明确的承载力判别标准。资源环境承载力既涉及地学、环境学,又具有动态性和不确定性,也涉及风险管理学。在风险管理的视角下,地质环境承载力的本质可以理解为在人类活动与地质环境相互作用的过程中,不合理的人类活动所引发的环境地质问题,这些环境地质问题对人的生命和财产带来风险,以这些风险是否可接受及可接受的程度作为地质环境承载力的判别标准,简言之,将环境地质问题产生的风险是否可以接受作为地质环境承载力的判别标准。

依据风险是否可以接受及接受的程度,提出容许承载力和极限承载力的概念,以及安全承载、容许超载和不可接受超载3种状态的概念(图1)。其概念及评价原理是,以环境地质问题产生的风险是否可接受作为判断标准:①其风险在可接受风险范围内,定义为地质环境安全承载状态,最大可接受风险对应的承载力定义为容许承载力,在容许承载力范围内,不需要采取进一步的减缓措施,或措施简便,所花费的金钱、时间和努力较低;②其风险在可容忍风险范围内,定义为容许超载状态,在一定范围内为保护某些净利益社会可以忍受的环境地质问题承载力,需要持续监测,采取风险减缓措施,投入最大合理成本;③其风险在不可接受风险范围以外则定义为不可接受超载状态,不可接受风险对应的最小承载力临界值定义为极限承载力,需要禁止重大工程建设活动,可作为城镇规划的禁建区和“红线”划定的依据,在必须建设的情况下,需要投入大量的防治经费、时间和努力。

3 基于风险的地质环境承载力研究内容

基于风险的地质环境承载力研究内容主要有以下方面。

(1)人类与地质环境相互作用及互馈机制。人



图1 基于风险的地质环境承载力评价原理

Fig. 1 Principle of risk-based evaluation of the geological environment carrying capacity

类与地质环境相互作用包括生产、生活和生态3个维度。在生产维度上,地质环境承载力研究地质环境系统对人类需求的生产供给能力;在生活维度上,地质环境承载力研究地质环境系统迁移、转化污染物的稀释自净能力;在生态维度上,地质环境承载力研究地质环境系统为人类提供调节、支持、文化等生态服务的能力。

(2)人类活动引发的环境地质问题。环境地质问题主要包括突发型地质灾害、缓变型地质灾害和环境水文地质问题。突发型地质灾害一般包括崩塌(危岩体)、滑坡、泥石流等;缓变型地质灾害或环境工程地质问题主要包括地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷、采空塌陷、海岸侵蚀与淤积、河湖塌岸、黄土湿陷与潜蚀等;环境水文地质问题一般包括含水层疏干、地下水污染、土壤污染、地方病、海水入侵、岩土侵蚀、石漠化、土地沙漠化、土地盐渍化、土地沼泽化、区域地下水位上升引起的环境地质问题等。

(3)基于风险的承载力评价。环境地质问题产生的风险主要包括生命风险、财产风险、健康风险。生命风险指在未来发生环境地质问题的威胁范围内,人员可能遭受的生命风险;财产风险是指环境地质问题可能对建筑物基础设施、经济生活、环境等各方面造成的损失之和的量化货币值;健康风险指环境地质问题引起的人类健康问题的治愈成本、规避健康风险成本或投入的防治措施成本。基于风险的承载力评价,就是将计算或估算的环境地质问题所能引起的生命风险值、财产损失风险值、健康防控风险值,与制订的风险接受标准值相比,以决定是否完全接受该风险,是否容忍该风险,或不准备接受该风险,从而判定地质环境安全承载、容许超载和不可接受超载状态。

(4)承载力超载防控对策与关键技术。研究承

载力超载发生的可能性、减轻超载发生的后果和转移超载风险等防控措施与减缓关键技术。

4 基于风险的地质环境承载力评价方法

基于风险的地质环境承载力评价主要步骤(图2)包括:①确定研究范围。②识别环境地质问题,包括崩塌、滑坡、泥石流等突发型地质灾害;地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷、采空塌陷等缓变型地质灾害或环境工程地质问题;含水层疏干、地下水污染、土壤污染等一般环境地质问题等。③单因素评价,主要基于生命风险、财产风险和健康3种风险进行单因素评价,时间维度包括现状承载力评价和规划承载力评价。④综合评价,基于单因素评价结果,进行现状承载力评价和规划承载力评价。

4.1 基于生命风险的地质环境承载力评价

生命风险主要是由突发型地质灾害引发的,基于生命风险的地质环境承载力评价主要步骤包括:确定分析范围;危险性分析,识别和表征潜在滑坡、崩塌、泥石流灾害,并估算其相应发生频率;危害性分析,包括识别和定量人口受险对象、估算受险对象的时空概率($P_{S,T}$)、根据生命损害率($V_{D,T}$)估算受险对象的易受损伤性;生命风险估算,提出年风险期望值(1)、频次-结果组合($f-N$)或累计频率-结果图($F-N$ 图);基于生命风险的地质环境承载力单因素评价,承载力阈值标准参照香港土木工程办公室1998年发布的社会风险容许标准^[63]。评估结果点落在普遍可接受区为安全承载状态,落在不可接受区则为不可接受超载,落在警报区或严格详细审查区则为容许超载状态。

生命年风险计算公式:

$$P_{(LOL)} = \sum_{i=1}^n (P_{(i)} \times P_{(T,i)} \times P_{(S,T)} \times V_{(D,T)}) \quad (1)$$

式中: $P_{(LOL)}$ —人员年死亡概率; $V_{(D,T)}$ —人员的易损性; $P_{(i)}$ —危害频次; $P_{(T,i)}$ —危害到达受险对象的概率; $P_{(S,T)}$ —受险对象的时空概率; n —危害发生次数。

4.2 基于财产风险的地质环境承载力评价

财产损失由地质灾害和环境地质问题引起,基于财产风险的地质环境承载力评价主要步骤包括:确定分析范围;危险性分析;危害性分析,识别和定量财产受险对象、估算受险对象的时空概率($P_{S,T}$)、根据财产损失率($V_{prop,T}$)估算受险对象的易受损伤

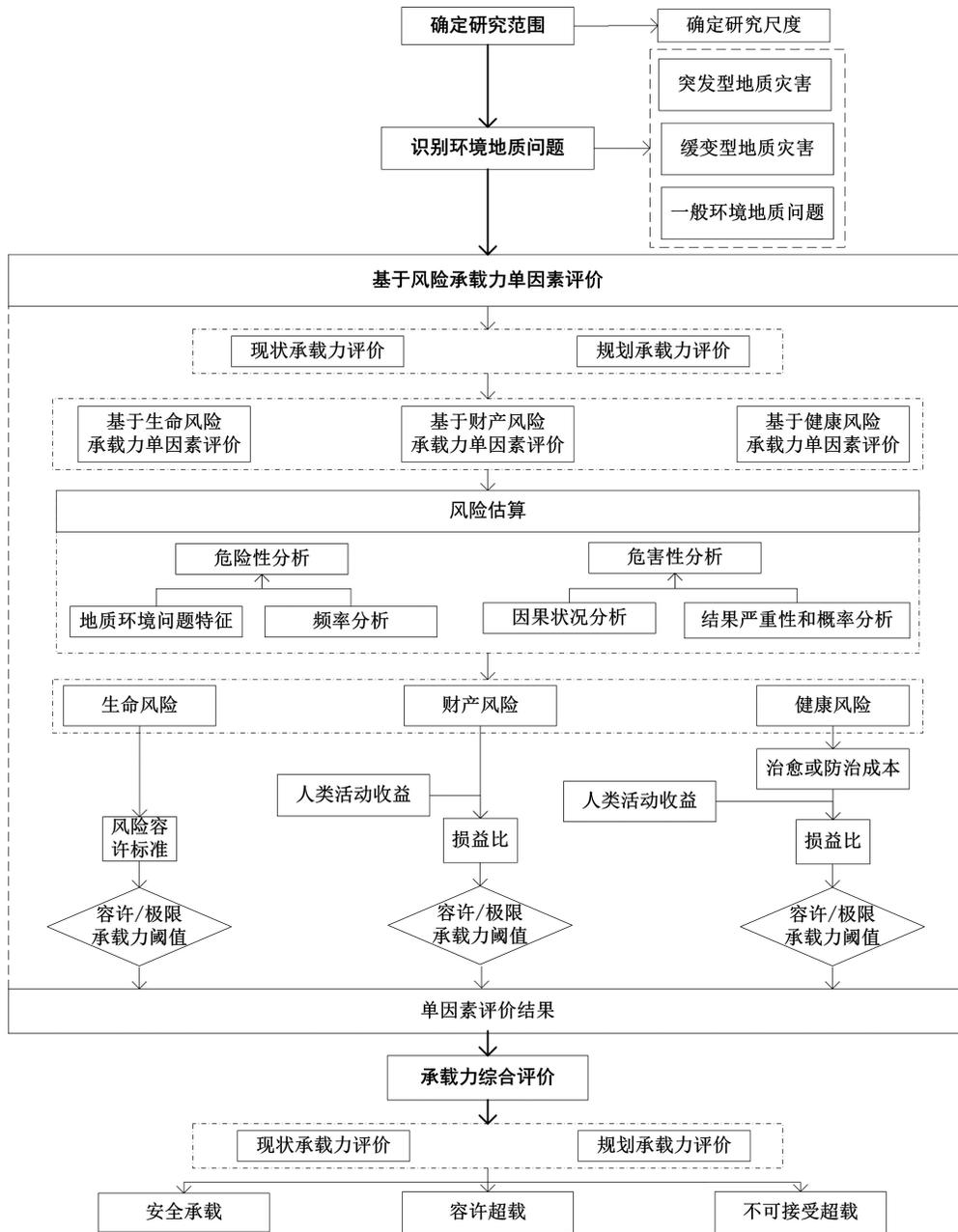


图2 基于风险的地质环境承载力评价技术方法路线

Fig. 2 Technology, methods and routes for risk-based evaluation of the geological environment carrying capacity

性;财产风险估算,提出年风险期望值(2)、频次-结果组合(f-N)或累计频率-结果图(F-N图);基于财产风险的地质环境承载力单因素评价,估算环境地质问题造成的财产风险损失与人类生产、生活和生态活动产生的收益,进行损益分析(图3),作为判别承载力状态的标准。

财产年风险计算公式:

$$R_{(prop)} = \sum_1^n (P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:T)} \times E) \quad (2)$$

式中: $R_{(prop)}$ —p年财产估算损失率; $P_{(L)}$ —危害的频次; $P_{(T:L)}$ —T危害到达受险对象的概率; $P_{(S:T)}$ —S受险对象的时空概率; $V_{(prop:T)}$ —对于危害受险对象的

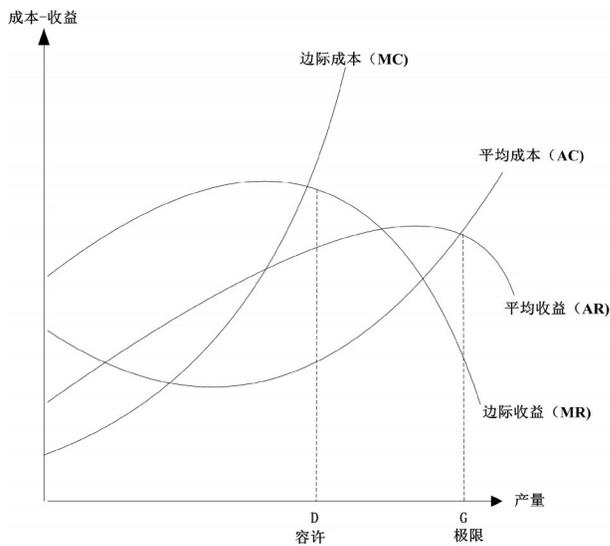
图3 社会风险容许标准^[63]

Fig. 3 Tolerance standards of social risks

易损性; E —财产价值; n —危害发生次数。

(1)容许承载力。D点是边际成本曲线MC与边际收益曲线MR的交点,表示边际成本等于边际收益。根据利润最大化原则,D点代表利润最大化的承载力,即容许承载力。

(2)极限承载力。G点是平均成本曲线AC与平均收益曲线AR的第二个交点,表示平均成本与平均收益再次相等。如果承载力继续扩大,那么平均成本的支出将远大于平均收益,无利可图,承载力效益再次为负数。因此,G点代表承载力的极限大值,超过了这一极限值,地质环境表现为超载,负面作用开始显现,可能出现不可逆的环境恶化。

4.3 基于健康风险的地质环境承载力评价

健康风险主要由水土污染等环境地质问题引起,基于健康风险的地质环境承载力评价主要步骤包括:确定分析范围;危险性分析;危害性分析,识别和定量健康受险对象、估算受险对象的时空概率($P_{S,T}$)、根据健康损失率估算受险对象的易损性;健康风险估算,提出年风险期望值、频次—结果组合($f-N$)或累计频率—结果图($F-N$ 图);基于健康风险的地质环境承载力单因素评价,估算人类生产、生活和生态活动带来的收益与治愈或防治健康风险投入,将二者进行损益分析(图3),作为划定承载力等级的标准。

4.4 承载力综合评价

基于承载力单因素评价结果,应用木桶定律,将单因素评价优势因子与劣势因子直接叠加,形成结果,承载力状态判别为安全承载、容许超载和不可接受超载。

5 结论与展望

资源环境承载力理论与评价方法涉及地学、环境学、经济地理学、风险管理等学科,属于自然科学与社会科学的交叉学科。由于尚未形成学术界认可的承载力判别标准,导致资源环境承载力理论研究不够完善,评价原理不明确,评价技术方法以指标体系法和系统动力学法为主。承载力评价指标难以获取和量化,缺乏科学的承载力判断标准,又导致评价结果脱离实际,难以应用和指导实践。本次研究引入风险管理、国土空间三生功能和边际分析等理论,讨论了地质环境承载力的本质,提出基于风险的地质环境容许承载力和极限承载力概念及评价原理,发展地质环境承载力评价理论。按照环境地质问题引发的生命风险、财产风险、健康风险的可接受程度,确定承载力阈值和评价标准,构建基于风险分析的地质环境承载力评价流程和评价技术方法,克服了以往以定性或半定量的方式表征承载力状态的缺陷。

尽管提出了基于风险的地质环境承载力概念、评价原理、评价流程和评价技术方法,但是,无论在理论方面,还是应用方面均需深入研究。①本次研究仅提出了基于风险的地质环境承载力概念和评价框架,起到抛砖引玉的作用。要将风险理论、国土空间三生功能理论和地质环境理论高度融合,深刻认识资源环境承载力本质,形成系统的科学的资源环境承载力理论和评价技术方法体系,尚需细致深入的研究。②本次研究提出了以风险是否可接受作为承载力评价标准,对于地质灾害引起的生命风险和财产风险的评价阈值标准有可参照的范例(香港土木工程署),而由地下水污染、土壤污染、地方病等环境地质问题引起的人类健康风险尚无借鉴的成熟方法和标准,提出采用治愈成本、规避健康风险成本或投入的防治措施成本,运用边际效应分析法,探索建立健康风险评估方法并确定阈值,目前只是一个设想,尚未试验和实施。③资源环境承载力的研究和评价重在应用,亟待探索一套

既能反映资源环境承载力本质,又简便、易推广、评价成果可信和好用的评价技术方法及标准,真正地为国民经济和社会发展规划及国土空间开发“三条红线”划定提供依据。

参考文献

- [1]张茂省,黎志恒,孙萍萍,等.舟曲三眼峪“8·8”特大泥石流灾害特征与风险减缓对策[J].西北地质,2011,44(3):10-20.
- [2]刘金阔.基于生态足迹的县域土地承载力研究——以乌海市海南区为例[D].内蒙古师范大学,2013.
- [3]Barrett G W, Odum E P. Editorial: From the President: Integrative Science[J]. Bioscience, 1998, 48(12):980-980.
- [4]WillemV V. Sustainable development, global restructuring and immigrant housing[J]. Habitat International, 1996, 20(3): 349-358.
- [5]Higgins G M, Kassam A H, Naiken L, et al, Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World[M]. Rome: FAO, 1985: 23-27.
- [6]Khanna P, Babu P R, Georgej 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.
- [7]William E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [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]Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital:Economics From an Ecological Footprint Perspective[J]. Ecological Economics, 1997, 20(1): 3-24.
- [10]高鹭,张宏业.生态承载力的国内外研究进展[J].中国人口·资源与环境,2007,17(2):19-26.
- [11]朱一中,夏军,谈戈.关于水资源承载力理论与方法的研究[J].地理科学进展,2002,2:180-188.
- [12]夏军,唐青蔚.西北地区水资源合理配置和承载能力分析[J].中国科学院院刊,2005,4: 288-292.
- [13]武占云.“三生”空间优化及京津冀生态环境保护[J].城市,2014,12:26-29.
- [14]傅世锋,张平,蒋金龙.基于开发区规划环评的土地资源承载力评价[J].应用生态学报,2012,2: 459-467.
- [15]廖强,刘得俊,邓勇.格尔木区地下水资源承载力评价与对策研究[J].水资源开发与管理,2015,4: 27-31.
- [16]杨喆,程灿,谭雪,等.基于水质和水量视角下的水环境承载力研究——以高淳固城湖流域为例[J].环境保护科学,2016,1: 1-7.
- [17]杨森林,王恩斌.贵州矿山地质环境承载力分区初探[J].能源与环境,2014,5: 54-56.
- [18]熊建新,陈端吕,谢雪梅.基于状态空间法的洞庭湖区生态承载力综合评价研究[J].经济地理,2012,11:138-142.
- [19]王奎峰,韩祥银,张太平.山东半岛地质环境承载力评价指标体系构建及应用研究[J].环境污染与防治,2015,9:29-33,38.
- [20]刘凯,任建兰,程钰,等.中国城镇化的资源环境承载力响应演变与驱动因素[J].城市发展研究,2016,1:27-33.
- [21]Ye Zhiping, Meng Lihong. Evaluation of Environmental Carrying Capacity of Water Resources in Jiangxi Province[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 12:2849-2853.
- [22]王中根,夏军.区域生态环境承载力的量化方法研究[J].长江职工大学学报,1999,4:9-12.
- [23]李金海.区域生态承载力与可持续发展[J].中国人口·资源与环境,2001,3:78-80.
- [24]叶文,王会肖,许新宜,等.资源环境承载力定量分析——以秦巴山水源涵养区为例[J].中国生态农业学报,2015,8:1061-1072.
- [25]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,S2: 204-208.
- [26]龚波,肖国安,张四梅.基于灰色系统理论的湖南粮食产量预测研究[J].湖南科技大学学报(社会科学版),2012,(5).
- [27]周永生,肖玉欢等.基于多元线性回归的广西粮食产量预测[J].南方农业学报,2011,42(9):1165-1167.
- [28]方创琳,鲍超,张传国.干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析[J].生态学报,2003,9:1915-1923.
- [29]翟羽佳,王丽婧,郑丙辉,等.基于系统仿真模拟的三峡库区生态承载力分区动态评价[J].环境科学研究,2015,4:559-567.
- [30]刘玉娟,刘邵权,刘斌涛,等.汶川地震重灾区雅安市资源环境承载力[J].长江流域资源与环境,2010,5:554-559.
- [31]姚治华,王红旗,郝旭光.基于集对分析的地质环境承载力研究——以大庆市为例[J].环境科学与技术,2010,10:183-189.
- [32]郭軻,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,2015,12:3818-3826.
- [33]王金南,于雷,万军,等.长江三角洲地区城市水环境承载力评估[J].中国环境科学,2013,6:1147-1151.
- [34]张小刚,罗雅.长株潭城市群资源环境承载力评价及改善措施研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2015,3:34-39.
- [35]陶洁,左其亭,齐登红,等.中原城市群水资源承载力计算及分析[J].水资源与水工程学报,2011,6:56-61.
- [36]曾浩,邱焯,李小帆.基于动态因子法和ESDA的资源环境承载力时空差异研究——以武汉城市圈为例[J].宁夏大学学报(人文社会科学版),2015,37(1):153-161.
- [37]李强,刘蕾.基于要素指数法的皖江城市带土地资源承载力评价[J].地理与地理信息科学,2014,01:56-59.
- [38]任光远,薛忠歧.基于GIS技术的生态地质环境承载力研究——以宁夏沿黄经济区为例[J].城市地质,2014,2:39-42.
- [39]董延涌.辽宁沿海经济带资源环境承载力问题研究[J].辽宁工程技术大学学报(社会科学版),2011,5:467-469.
- [40]汪霞,张洋洋,怡欣,等.基于生态足迹模型的舟曲县生态承载力空间差异[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,5:687-691.
- [41]彭文英,刘念北.首都圈人口空间分布优化策略——基于土地资源承载力估测[J].地理科学,2015,5:558-564.
- [42]顾康康,储金龙,汪勇政.基于遥感的煤炭型矿业城市土地利用与生态承载力时空变化分析[J].生态学报,2014,20:5714-5720.
- [43]乔盛,白宏涛,张稚妍,等.生态导向的城市发展土地资源承载力

- 评价研究[J]. 生态经济, 2011, 7: 33-37.
- [44] 屈吉鸿, 石红旺, 梁奇, 等. 灌区地下水承载力风险评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2014, 4: 13-18.
- [45] 李瑞, 张飞, 周梅, 等. 干旱区水资源承载力研究现状与进展[J]. 天津农业科学, 2016, 1: 18-22.
- [46] 宫凡荔, 付强, 姜秋香, 等. 三江平原水资源承载力的泛系观控与风险评估[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 3: 1-4, 9.
- [47] 赵兵. 岷江上游流域水资源承载能力演变分析[J]. 贵州社会科学, 2015, 9: 138-143.
- [48] Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning[J]. Engineering Geology, 2008, 102(3/4): 85-98.
- [49] AGS. A national landslide risk management framework for Australia, Australian geomechanics society[J]. Australian Geomechanics, 2007, 42(1): 1-12.
- [50] Interior U S D ot, Survey USG. The U.S. Geological survey landslide hazards program 5-Year Plan 2006-2010[R]. 2006.
- [51] Tagliavini F, Mantovani M, Marcato G, et al. Validation of landslide hazard assessment by means of GPS monitoring technique—a case study in the Dolomites (Eastern Alps, Italy) [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2007, 7: 185-193.
- [52] PGeo R G, PhD M J, PEng P M, et al. Guidelines for legislated landslide assessments for proposed residential development in British Columbia[S]. British Columbia, 2006.
- [53] 石菊松, 石玲, 吴树仁, 等. 滑坡风险评估实践中的难点与对策[J]. 地质通报, 2009, 08: 1020-1030.
- [54] 吴树仁, 石菊松, 王涛. 突发地质灾害预测评价概论[J]. 地质通报, 2008, 21(11): 1753-1763.
- [55] 唐亚明, 张茂省, 李政国, 等. 国内外地质灾害风险管理对比及评述[J]. 西北地质, 2015, 2: 238-246.
- [56] 刘传正, 张明霞, 刘艳辉. 区域地质环境可持续利用评价体系初步研究[J]. 地学前缘, 2006, 1: 242-245.
- [57] 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205-1216.
- [58] 李红英, 谭跃虎. 滑坡灾害风险可接受准则计算模型研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, S2: 2047-2052.
- [59] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 995-1005.
- [60] 刘希林, 陈宜娟. 泥石流风险区划方法及其应用——以四川西部地区为例[J]. 地理科学, 2010, 4: 558-565.
- [61] 张茂省, 李林, 唐亚明, 等. 基于风险理念的黄土滑坡调查与编图研究[J]. 工程地质学报, 2011, 1: 43-51.
- [62] 王春山, 巴仁基, 周洪福, 等. 草科-田湾泥石流风险性评价[J]. 西北林学院学报, 2015, 4: 210-216.
- [63] ERM-Hong Kong L. GEO Report No. 75 Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines[M]. Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 1998: 1-183.