

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.02.001

资源环境承载力评价理论方法与实践

张茂省¹, 王尧², 薛强¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 自然资源部黄土地质灾害重点实验室,
陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要:资源环境承载力评价是国土空间规划和三区三线划定的基础, 评价理论与方法越来越受到各界的关注, 但尚未形成完备的理论框架。本研究引入短板理论、风险理论和边际理论, 构建资源环境承载力评价的理论框架与技术方法, 并以陕北黄土高原绥德县为研究区开展实证研究。基于短板理论, 识别区域重大资源环境问题, 遴选 1~3 个制约性因素; 基于边际理论, 以资源开发利用利润最大化或无利润作为资源承载力评价标准, 开展资源承载力评价; 基于风险理论, 以人类活动带来的环境问题或灾害引发的生命和财产风险的容许标准作为环境承载力评价标准, 开展环境承载力评价; 基于单因素承载力评价结果, 开展综合承载力评价, 评价结果为安全承载、容许超载或不可接受超载; 将综合承载力评价结果与区域国土空间开发现状或规划结果做叠加分析, 划定区域发展三区三线。通过对绥德县资源环境承载力评价, 结果表明, 该理论框架与技术方法简便易推广, 评价结果可信, 可以为国土空间优化、科学划定“三条红线”提供支撑。

关键词:风险理论; 边际理论; 短板理论; 资源环境; 承载力评价

中图分类号: P964

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)02-0001-11

Evaluation of Resource Environment Carrying Capacity: Theoretical Method and Practice

ZHANG Maosheng¹, WANG Yao², XUE Qiang¹

(1. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MNR, Xi'an Center of China Geological Survey/
Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Development
Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, Beijing, China)

Abstract: The national territory development plan needs to evaluate the resource environmental carrying capacity, which can provide basis for the delineation of so-called “three zones and three lines”, that is the spaces for urban, agriculture and ecology, as well as the red lines of environmental protection, permanent basic farmland protection and urban development. The theory and method of resource environmental carrying capacity evaluation have received more and more attention from all stakeholders, but a complete theoretical framework has not yet been formed. This study introduces short-board theory, risk theory and marginal theory, develops the theoretical framework of resource environmental carrying capacity evaluation, and conducts empirical re-

收稿日期: 2017-05-14; 修回日期: 2019-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41641011、41530640), 中国地质调查局项目(DD20160261、DD20189270、DDT20190463)联合资助

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

search with the Suide County of the Loess Plateau in Northern Shaanxi as the research area. Based on the short-board theory, we identify the major resource environmental problems in this region, and select 1–3 restrictive factors; On the basis of the marginal theory, we take the maximum profit or no-profit of resource development and utilization as the evaluation standards to carry out the evaluation of resource carrying capacity; According to the risk theory, the allowable standards of environmental issues brought about by human activities or of life and property risks caused by disasters are taken as the evaluation standards to carrying out the evaluation of environmental carrying capacity; By using the single factor carrying capacity evaluation results to carry out the comprehensive carrying capacity evaluation, the results can be classified as safe, overload or unacceptable three categories. The comprehensive carrying capacity evaluation results are overlapped with the regional terrestrial space development status or planning results, which can be used to delineate the “three districts and three lines” of regional development. The resource environmental carrying capacity evaluation results of Suide County show that the theoretical framework and technical method system are simple and easy to promote, and the evaluation results are credible, which can provide support for the optimization of terrestrial space development and the scientific delineation of the “three red lines”.

Keywords: risk theory; marginal theory; short-board theory; resource environment; carrying capacity evaluation

随着中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段,迫切需要开发活动约束在资源环境承载力内,基于资源环境承载能力的评价结果,统筹布局生态、农业、城镇等功能空间,划定生态保护红线、永久基本农田和城镇开发边界等空间管控边界,实现可持续发展。当前资源环境承载力评价的理论、技术流程、单向评价及指标算法、集成评价与综合分析等成为国内外研究热点,相关学者开展了大量研究工作(LEWIS S L, 2012; KHANNA P et al., 1999; WILLIAM E R, 1992; 樊杰等, 2008, 2015, 2017; 周侃等, 2017; 刘晓丽等, 2008; 程国栋等, 2002; 吕一河等, 2018; 张红伟等, 2008)。随着研究的深入,在科学地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。如对资源环境承载力的概念、内涵、研究内容等理论认识不统一;评价技术方法还不成熟,指标体系选择上主观性较大,承载力评价结果缺乏可比性;缺乏科学的阈值标准,以往评价标准研究多依赖于专家定性判断。

本研究基于前期研究基础(WANG Yao et al., 2016, 2018; 张茂省等, 2018),从风险-边际分析的角度,建立了资源环境承载力评价框架,进一步梳理了基于短板理论(向缉熙, 1992)的制约因素识别、基于

风险理论(唐亚明等, 2011; 毛小苓等, 2003; 陈辉等, 2006)的地质安全承载力评价、基于边际理论(段涛, 2013; 方红远等, 2004; 江汶静等, 2017; 李升发等, 2018; 吕素冰, 2012; 张瑛, 2014; 王良健, 2013; 张乐勤等, 2014, 2016; 刘路璐等, 2015; 王欢, 2012; 盖美等, 2015; 孙才志等, 2011; 史正涛等, 2010; 吕素冰等, 2015; 王智勇等, 2000; 李爱等, 2018)的资源经济承载力评价,以及综合评价的原理和方法,并完成了绥德县资源环境承载力评价。旨在破解资源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。

1 资源环境承载力评价理论框架

基于短板、边际、风险理论的资源环境承载力评价框架(图 1)和主要步骤(图 2)包括:①确定研究范围,可以选择水文单元、土地单元、斜坡单元等自然单元或省、市、县等行政单元。②制约因素识别。应用短板理论,考虑自然资源特征,识别环境地质问题,找出 1~3 个资源类或环境类制约因素。③单因素评价,对于资源类制约因素,应用边际理论,开展边际效益和平均效益分析,根据利用最大化原则和零利润分析,找出容许承载力和极限承载力,判别 3

种承载力状态。对于环境类/地质安全类制约因素,应用风险理论,开展危险性分析、危害性分析和风险分析;基于风险容许标准,进行单因素承载力评价。

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,进行综合评价,给出三线划定和资源量控制建议。

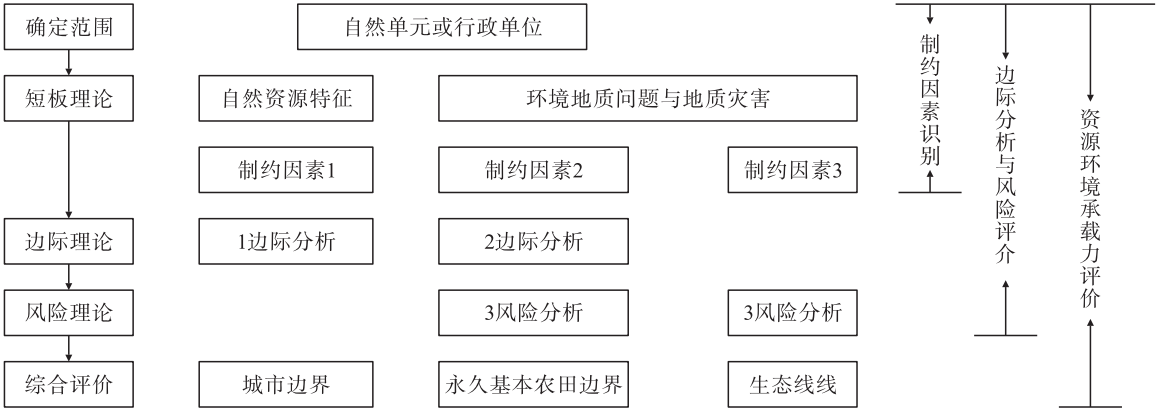


图 1 基于短板-边际-风险分析的资源环境承载力评价框架图

Fig. 1 Resource and environment carrying capacity evaluation framework based on short-board-margin-risk analysis

1.1 基于短板理论的制约因素识别

国内外流行所谓木桶理论,其含义是:“木桶储水的最大容量受最短的一块桶壁板限制”。一个周边高矮不齐的木桶,它的盛水量不取决于最长的木板,而取决于最短的那块木板,故又称短板理论。分析研究木桶的短板,可知限制木桶最大储水容量的关键所在,人们常用来比喻和分析研究限制事物发展的主要矛盾或关键因素。一个地区往往既存在地质、土地、水、农业、森林、草原等资源问题,又存在地质环境问题、生态环境问题和水土环境问题等环境问题。人类灌溉取水等活动引起区域地下水位上升或下降,区域地下水位上升又引发土壤盐渍化;区域地下水位下降引发地面沉降、地裂缝、地下水位持续下降、岩溶塌陷、沙漠化、荒漠化等问题。人类的矿产开发活动会引起塌陷、荒漠化、水源破坏、土地占压、水土污染等矿山环境问题。城市建设活动引发地下水循环破坏、生态退化问题、重大工程边坡稳定性问题。农业活动引起面源污染。生活用水导致水污染等问题。需要应用短板理论,采用综合性与主导因素相结合的原则和方法,寻找限制一个地区经济社会发展的1~2个限制性因素“短板”(图3)。

1.2 基于边际理论的资源承载力评价

资源对经济增长具有约束力。由于自然资源是有限的,无论技术如何进步,如果自然资源边际报酬递减,经济将不可能持续增长。在促进经济增长的

同时,必须考虑一个地区的资源承载。边际效益是经济学中经常用到的一个概念,它是指在其他情况不变的条件下,增加一单位要素投入给生产带来的产值增量(图4)。

安全承载状态:边际收益大于边际成本。边际成本与边际收益相等交叉点D代表容许承载力(图4),此时承载力利润最大化。当增加产量消耗资源的边际成本低于边际收益时,达到利润最大化前,为安全承载状态。

容许超载状态:边际收益小于边际成本,但平均收益大于平均成本。D点和G点之间的区域为承载力容许超载状态,利润不是最大化,但还有利可图(图4)。

不可接受超载状态:平均收益小于平均成本。平均成本与平均收益相等交叉点G代表极限承载力。承载力超出G点,继续扩大,增加产量所耗资源平均成本的支出远大于平均收益,将无利可图,为不可接受超载状态。

1.3 基于风险理论的环境承载力评价

将风险理论引入环境承载力评价中。不合理的人类活动会引发系列地质环境问题,造成人类的生命和财产风险,以风险标准作为环境承载力的判别标准。可接受风险对应环境安全承载状态,最大可接受风险对应的承载力定义为容许承载力;可容忍风险对应容许超载状态;不可接受风险对应不可接受超载状态,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(图5)。

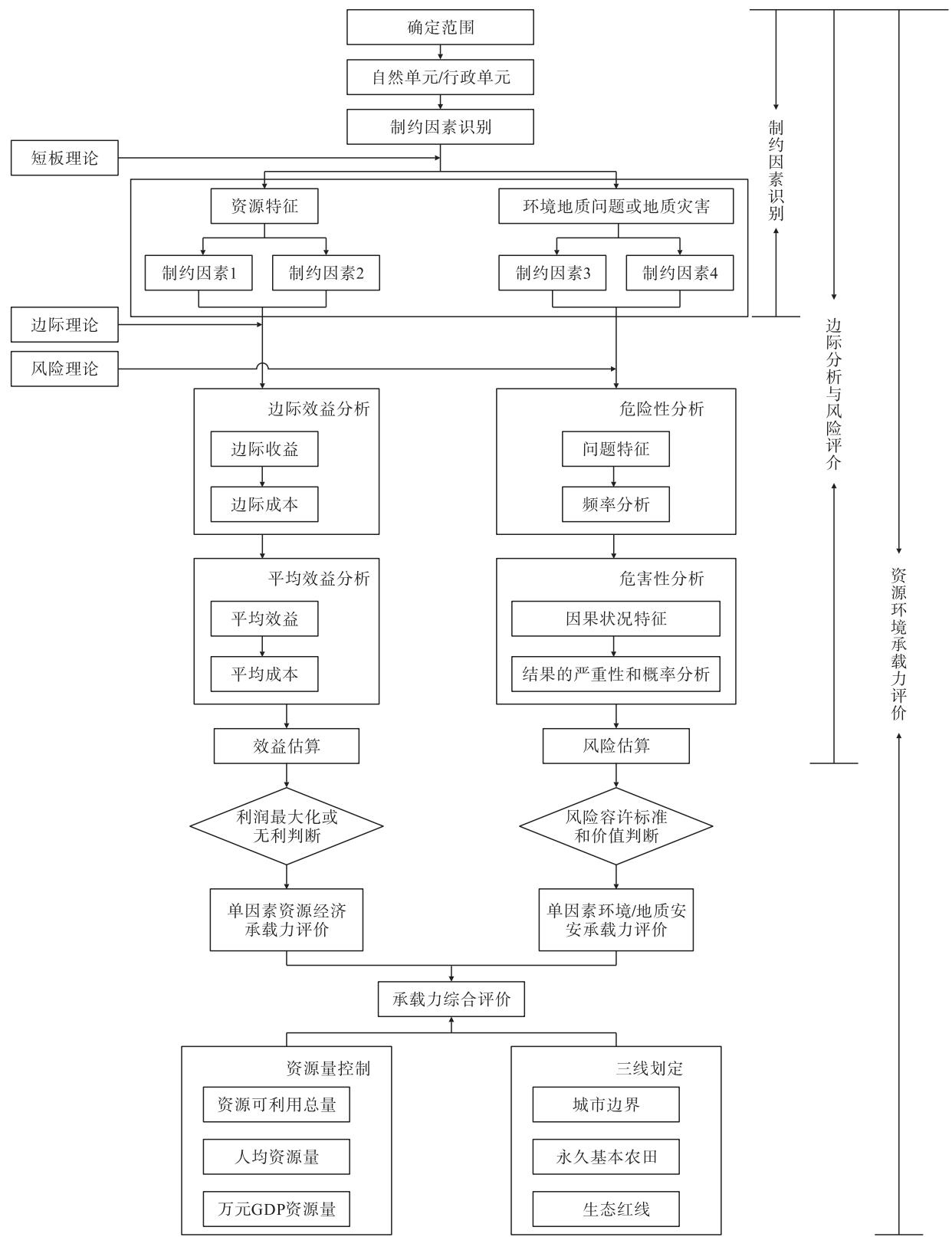


图 2 基于短板-边际-风险分析的资源环境承载力评价技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap for resource and environmental carrying capacity evaluation based on short-board-margin-risk analysis

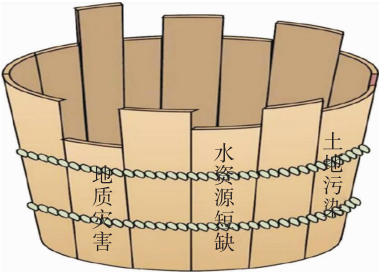


图 3 短板理论示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the short board theory

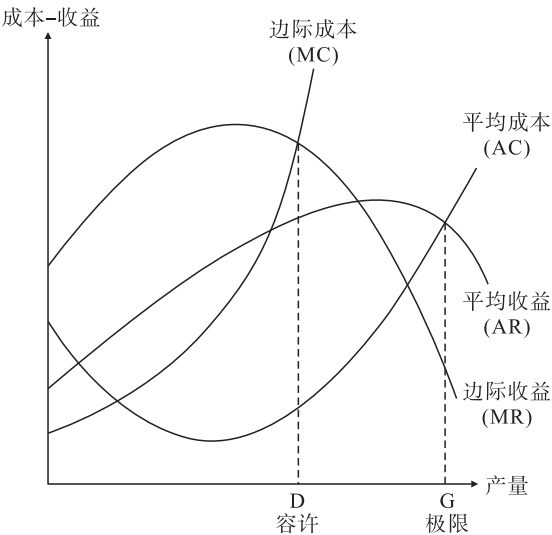


图 4 承载力成本与收益曲线图

Fig. 4 Bearing capacity cost and benefit curve



图 5 基于风险的地质环境承载力评价原理图

Fig. 5 Risk-based assessment of geological environment carrying capacity

1.4 综合评价

基于资源经济承载力和地质环境承载力评价结果,进行综合承载力评价。对于资源承载总量、人口承载数量等评价结果,两种评价结果相比取较低者,最后给出资源量或人口等控制建议。将两种不可接受超载区、容许超载区和安全承载区等空间范围划定结果进行空间叠加分析,其中,两种不可接受超载区评价结果做联合处理,两种安全承载区评价结果

做相交处理,剩余区域定义为容许超载区。将承载力综合评价结果与土地利用现状或规划图层做相交处理,土地利用图层与不可接受超载区相交区域即为禁止开发区;与可接受超载区相交区为限制开发区;与安全承载区相交区为优化开发区,给出三区三线划定建议。

2 绥德县资源环境承载力评价

2.1 研究区概况

绥德县位于陕西省北部黄土丘陵沟壑区,境内地形支离破碎,沟壑密度达 5.5 km/km²。无定河干流在境内蜿蜒 66.5 km,纵贯境内中部;大理河、淮宁河由西北向东南,义合河由东北向西南分别注入无定河。以无定河为中轴,东西两翼大小支流 483 条,普遍水流较小。县境内无定河流域面积 1 437 km²,占全县总面积 84.13%,占水土流失面积的 86.6%。黄土丘陵沟壑区的土壤以黄绵土为主,约占土壤总面积的 90%。

2017 年末绥德户籍总人口 359 281 人。全县全年完成生产总值 75.87 亿元,同比增长 9.3%。全县行政区域土地面积 1 853 km²,森林面积 19 350 公顷,年末耕地面积 77 272 公顷。全年财政总收入 37 334 万元,同比增长 14.59%。全县全年粮食种植面积 416 354 亩,比上年增加 4 393 亩,全年粮食产量 95 077 t,比上年增加 4 096 t,同比增长 4.5%,平均亩产 228 kg。全县规模以上工业企业有 20 家,全年完成工业增加值 7.23 亿元,增长 7.7%。

2.2 研究数据

研究采用的数据包括:绥德地下水勘查 1:10 万地质地貌图、榆林市绥德县地下水勘查实际材料图、榆林市绥德县地下水勘查水化学图、榆林市绥德县地下水资源分布图、榆林市绥德县水文地质图、枣林坪水源地实际材料图(1:1万)、枣林坪水源地水文地质图(1:1万)、绥德县“十二五”经济发展规划、2004~2018 年度绥德县国民经济和社会发展统计公报、榆林市水资源规划报告 2007~2020 年、绥德县供用水量统计表等。上述绥德县地下水调查数据是研究组在已有水文地质勘查研究成果的基础上,通过开展实地调查工作获取的。首先,全县范围内开展 1:10 万的水文地质调查工作,重点加强对泉水、长流水沟谷流量调查;其次,在绥德县无定河河谷开展 1:5 万

的水文地质调查工作,对无定河河谷区水文地质条件进行调查和水文物探,并在绥德县义合镇附近构造部位辅以地质雷达、核磁共振等物探手段加以勘察,布设一眼勘探孔加以验证;最后,在枣林坪黄河漫滩重点勘察地段,采用1:1万的水文地质勘查、水文地质物探、钻探与抽水试验等工作手段和方法开展水文地质勘查。

2.3 基于短板理论绥德县发展制约因素识别

绥德县位于陕北黄土高原的东北部。区内总的地势为北高南低,中东部无定河与黄河分水岭高于两侧,无定河两侧梁峁地势高于河谷谷地,黄河谷地最低。由于地壳的运动和外营力的作用塑造了本区现有的地貌景观。按其成因将区内地貌划分为侵蚀

剥蚀地形(黄土梁峁)和侵蚀堆积地形(河谷)2 种类型。研究区属于黄河流域,水系为无定河、黄河水系,无定河为黄河的一级支流。区内大理河、淮宁河及义合河为无定河的一级支流(图 6),各河流量随季节变化较大,年内分配不均。绥德县生态环境脆弱,地质环境条件复杂,属中国地质灾害较为严重的城镇之一。独特的黄土梁峁沟壑地形,特殊的岩土体特性,易滑的斜坡(图 7)结构类型,极端的降水条件,日益强烈的城镇化建设等是城区内地质灾害高发的主要原因。地质灾害以滑坡为主。因此,基于短板理论,筛选出限制绥德县经济社会发展的 2 个主要制约因素:水资源和滑坡地质灾害。



图 6 绥德县水系分布图

Fig. 6 Distribution map of the water system in Suide County

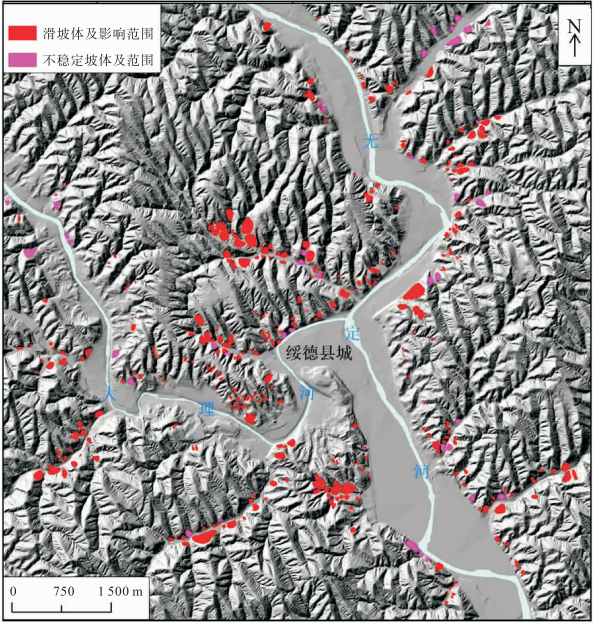


图 7 绥德县城及规划区崩塌滑坡分布图
Fig. 7 Distribution of collapses and landslides in the urban and planning area of Suide County

2.4 基于风险理论的绥德县城区地质安全承载力评价

滑坡对人口集中分布的绥德县城区的经济社会发展影响很大,而对人口分布相对稀疏的农村地区

造成的损失和影响较小。因此,将地质安全承载力评价范围确定为绥德县城区。以斜坡调查为基础,以不同含水量工况下斜坡失稳概率计算结果为依据,开展绥德县城区 1:1 万地质灾害危险性评价;基于研究区 1:1 万无人机航测数据,开展城区 1:1 万危害性评价;综合考虑地质灾害危险性和危害性,从城镇规划、土地利用规划、基础设施和重大工程安全角度开展城区 1:1 万地质灾害风险区划与评价;基于风险评价结果,完成绥德县城区现状和规划承载力综合评价(WANG Yao et al., 2016)。禁止开发区、限制开发区和优化开发区划定结果见图 8、图 9。经计算,2020 年中心城区可容纳的人口规模为 12.58 万人,而规划人口 14.44 万人,建议调减 1.86 万人。

2.5 基于边际理论的绥德县水资源承载力评价

边际效益是经济学中经常用到的一个概念,它是指在其他情况不变的条件下,增加一单位要素投入给生产带来的产值增量。具体到水的边际效益,常利用水资源 Cobb-Douglas 生产函数(许海东, 2019)表示,该函数是反映投入与产出之间平衡关系的生产函数,它由美国数学家 Cobb 和经济学家 Douglas 于 20 世纪 30 年代共同提出的,该函数能够准确描述生产过程中投入的生产要素或某种组合同其产出量之间的依存关系,因而在资源经济领域

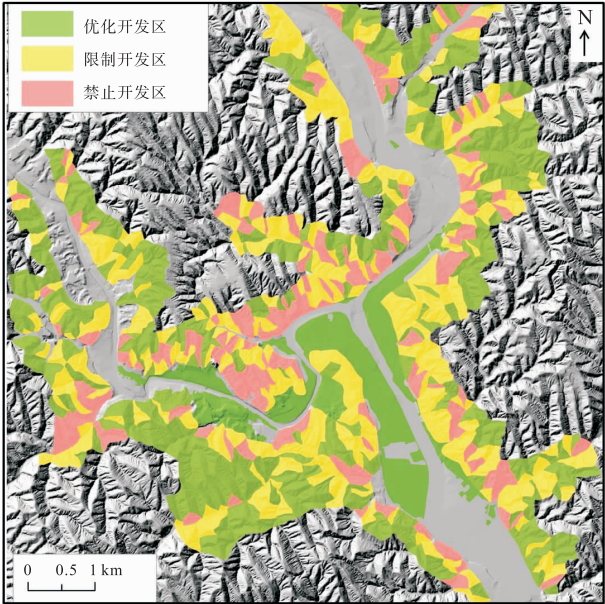


图 8 绥德县中心城区现状承载力评价图
Fig. 8 Evaluation diagram of the base period carrying capacity of the central district of Suide County

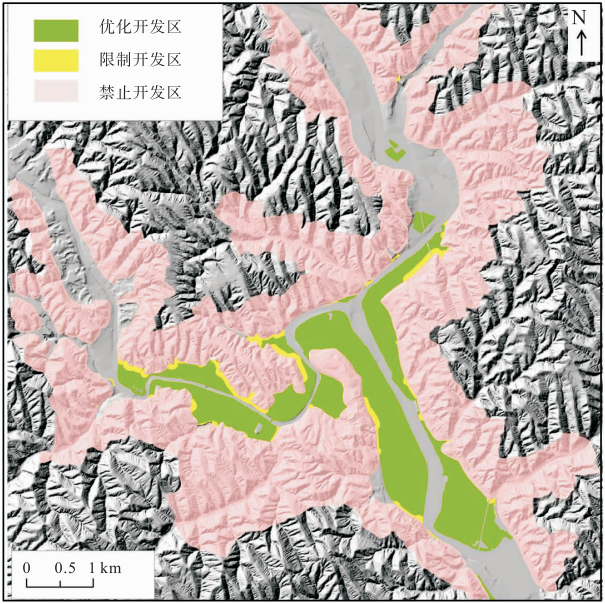


图 9 绥德县中心城区 2020 年规划承载力评价图
Fig. 9 Evaluation of planning carrying capacity of the central district of Suide County in 2020

得到了广泛的应用,其函数形式为:

$$P=AK^{\alpha}L^{\beta} \tag{1}$$

式中: P 表示产出; K 表示资本投入; L 表示劳动投入; α 表示资本产出弹性; β 为劳动力弹性; A 是常数,被称为技术进步系数,是广义技术进步水平的反映。

水资源是国民经济可持续发展的重要资源基础,也是重要的生产要素,所以,在生产函数中不仅要考虑劳动力和资本,也有必要将产品中的“水量投入”列为生产函数的自变量之一,由此可分析供水对经济发展的贡献。此种情况下的 C-D 生产函数可表示为:

$$Q= A_{t(1+\lambda)} k^{\alpha} L^{\beta} W^{\gamma} \tag{2}$$

将上式对数线性化,即

$$\ln Q=(1+\lambda)\ln A_t+\alpha\ln K+\beta\ln L+\gamma\ln W \tag{3}$$

式(3)中: Q 为国内生产总值; A_0 为常数; λ 为技术进步系数; t 为年份序列($t=1,2,3,\cdots,n$); k 为固定资产投资; L 为劳动力投入; W 为国民经济用水量; α 为固定资产投资弹性; β 为劳动力弹性; γ 为用水弹性系数。

利用 GDP 产值对 GDP 用水量求偏导数就可以确定用水边际效益,即:

$$X_w=\frac{\partial Q}{\partial W}=\gamma\frac{Q}{W} \tag{4}$$

式中: X_w 为用水边际效益(元/ m^3); Q 为 GDP 总产值(元); γ 为用水弹性系数; W 为总用水量(m^3)。

γ 在数值上等于用水增长率与生产总值增长率之比,即:

$$\gamma=\alpha/\beta \tag{5}$$

γ 为用水弹性系数, α 为用水增长率, β 为产值增长率。通过计算,绥德县多年 γ 均值 0.15。

绥德县用水边际效益是在不断地增长,显示出随着经济的发展,水资源的稀缺性在加大,其资源价值在不断提高,用水管理和技术水平发展迅速,水资源得到高效利用。从 2004 年的 1.26 元/ m^3 增加到 2013 年的 14.4 元/ m^3 ,涨幅达 1 043%(忽略货币贬值及通胀)。经过调查计算,绥德县多年平均水资源总量为 $10\,631.00\times10^4\,m^3/a$,绥德县水资源可利用总量为 $2\,876.20\times10^4\,m^3/a$,总用水量 $5\,492\times10^4\,m^3/a$,处于容许超载状态。2017 年末总人口 359 281 人,人均用水量为 418 L/天。根据国家城市居民生活用水量标准(GB/T 50331-2002),陕西省位

于第二区,居民生活用水量下限为每人平均为 85 L/天,上限为 140L/天。人均用水量处于容许超载状态。2017 年绥德县单位 GDP 用水量为 72.39 m^3 /万元,远大于 2017 年陕西省全省单位 GDP 用水量 42.66 m^3 /万元。单位 GDP 用水量处于容许超载状态(表 1)。

表 1 2004~2017 年绥德县用水边际效益表
Tab.1 Marginal benefits of water use in
Suide County, 2004-2017

年份	总用水量 Q (万 m^3)	总产值 GDP (亿元)	边际收益 X_w (元/ m^3)
2004	4 190	3.51	1.26
2005	4 408	6.08	2.07
2006	4 712	10.67	3.4
2007	4 805	13.07	4.08
2008	4 934	15.67	4.76
2009	4 803	24.78	7.74
2010	4 818	33.05	10.29
2011	5 095	39.77	11.71
2012	5 244	47.6	13.62
2013	5 620	53.94	14.4
2014	5 231	54.09	15.51
2015	5 384	58.87	16.4
2016	5365	67.15	18.77
2017	5 492	75.87	20.72

2.5 绥德县资源环境承载力综合评价

绥德县水承载力评价结果表明:绥德县水资源处于容许超载状态。需要合理规划区内地表水、地下水资源,以保证区内无定河一定的径流量来维持渗流井的正常持续工作。在极端干旱季节,当渗流井或大口井取水不能满足需求要求时,可考虑在义合河河沟修建水库蓄水进行补水调节。据本次勘查偶测值,并结合陕北类似地区径流模数($5.5\times10^4\,m^3/a\cdot km^2$),该水库汇流范围内年径流量约 $2\,327\times10^4\,m^3/a$,通过一定的工程手段可作为极端干旱条件下的补水水源,但在开发利用前应进一步开展工作,以确定该水库的实际可供水量。提高工业用水的循环利用率,发展节水高效农业。建立和健全地下水、地表水动态监测网,进行水情预测、预报。

绥德县环境承载力评价结果表明:现状不可接受超载区面积 5.30 km^2 ,包含已发生滑坡点 201 个,

威胁房屋数量 889 栋;容许超载区面积 10.40 km²,包含已发生滑坡点 161 个,威胁房屋数量 1 521 栋;安全承载区面积共 12.81 km²,共包含已发生滑坡点 29 个。2020 年绥德县中心城区可容纳的人口规模为 12.58 万人(WANG Yao, et al., 2016)。

3 讨论

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。由于尚未形成一个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。

本研究尽管提出了基于短板理论、风险理论、边际理论的资源环境承载力概念、评价原理、评价流程和评价技术方法,但是,无论在理论方面,还是应用方面还需深入研究。

(1)本研究仅提出了基于风险理论和边际理论的资源环境承载力概念和评价框架,将短板理论、风险理论、边际理论和资源环境经济学、国土空间规划理论等高度融合,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)本研究提出的基于风险理论的地质环境承载力评价方法,适用于崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害,可以估量其造成的人员和生命财产损失,评价阈值标准采用国际滑坡等风险评价标准。对于地面沉降、地裂缝、水土污染等缓变性环境地质问题,以及自然资源等承载力评价,基于边际理论,运用边际效应分析法,利用利润最大化和无利润作为评价阈值。本研究提出的方法可以克服承载力评价阈值依赖于专家定性判断的缺点,但评价过程对数据精度要求较高,适用于具有 1:1 万、1:5 万等详细调查数据的县级区域承载力评价。将该套承载力评价方法应用于市级、省级乃至国家级承载力评价,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,亟待探索一套既能识别区域资源环境突出问题、制约性因素和风险,又简便易推广、评价成果可信的评价

技术方法及标准,真正地为社会发展规划及国土空间开发“三条红线”划定提供依据。

4 结论

(1)引入短板理论、风险理论、边际理论,构建了资源环境承载力评价理论框架与评价技术方法体系。基于短板理论进行区域发展制约因素识别;基于边际理论,以资源边际收益和边际成本大小关系、平均收益和平均成本大小关系作为资源承载力评价标准,开展资源经济承载力评价;基于风险理论,以人类活动带来的环境问题或灾害引发的生命和财产风险的接受程度作为环境承载力评价标准,开展环境承载力评价。

(2)以陕西省绥德县为例开展实证研究,检验和矫正上述理论与方法,表明该方法反映了资源环境承载力本质,简便易推广,评价结果可信,克服了以往以定性或半定量的方式来表征承载力状态的缺陷,可以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。

(3)笔者基于短板理论、风险理论、边际理论的资源环境承载力理论和评价框架旨在抛砖引玉。要将短板理论、风险理论、边际理论和资源环境理论高度融合,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。

参考文献(References):

- 樊杰,陶岸君,陈田,等.资源环境承载能力评价在汶川地震灾后恢复重建规划中的基础性作用[J].中国科学院院刊,2008,23(05):387-392.
- FAN Jie, TAO Anjun, CHEN Tian, et al. Fundamental Function in Resource Environment Carrying Capacity Evaluation in the State Planning for Post-Wenchuan Earthquake Restoration and Reconstruction [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2008, 23 (05): 387-392.
- 樊杰,王亚飞,汤青,等.全国资源环境承载能力监测预警学术思路与总体技术流程[J].地理科学,2015,35(1):1-10.
- FAN Jie, WANG Yafei, TANG Qing, et al. Academic Thought and Technical Progress of Monitoring and Early-warning of the National Resources and Environment

- Carrying Capacity [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1):1-10.
- 樊杰, 周侃, 王亚飞. 全国资源环境承载能力预警的基点和 技术方法进展[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(03): 266-276.
- FAN Jie, ZHOU Kan, WANG Yafei. Basic points and progress in technical methods of early-warning of the national resource and environmental carrying capacity [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 266-276.
- 周侃, 樊杰, 徐勇. 面向重建规划的灾后资源环境承载能力 应急评价范式[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(03): 286-295.
- ZHOU Kan, FAN Jie, XU Yong. Paradigm and prospects of emergent evaluation of post-disaster resource and environmental carrying capacity for reconstruction planning [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 286-295.
- 刘晓丽, 方创琳. 城市群资源环境承载力研究进展及展望 [J]. *地理科学进展*, 2008, 27(05):35-42.
- LIU Xiaoli, FANG Chuanglin. Progress and Prospect of Study on Carrying Capacity of Resource and Environment of City Clusters [J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(05):35-42.
- 程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(4):361-367.
- CHENG Guodong. Evolution of the Concept of Carrying Capacity and the Analysis Framework of Water Resources Carrying Capacity in Northwest of China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4):361-367.
- 吕一河, 傅微, 李婷, 等. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1):130-136.
- LÜ Yihe, FU Wei, LI Ting, et al. Progress and prospects of research on integrated carrying capacity of regional resources and environment [J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 130-136.
- 张红伟, 陈伟国. 西部地区资源承载力探析[J]. *云南财经大学学报*, 2008, 24(3):47-56.
- ZHANG Hongwei, CHEN Weiguo. Analysis on the Carrying Capacity of Resources in Western China [J]. *Journal of Yunnan Finance and Trade Institute*, 2008, 24(3): 47-56.
- 张茂省, 王尧. 基于风险的地质环境承载力评价[J]. *地质通报*, 37(2/3):467-475.
- ZHANG Maosheng, WANG Yao. Research on the evaluation of the carrying capacity of geological environment based on its risk level[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(2/3):467-475.
- 向缉熙. 运用新木桶理论探讨制约矿产勘查工作发展的主要因素[J]. *中国地质*, 1992,(9):13-16.
- XIANG Jixi. Exploring the main factors restricting the development of mineral exploration work by using new barrel theory [J]. *Chinese Geology*, 1992,(9):13-16.
- 唐亚明, 张茂省. 滑坡风险评价难点及方法综述[J]. *水文地质工程地质*, 2011, 38(2):130-134.
- TANG Yaming, ZHANG Maosheng. Landslide risk assessment difficulties and methods [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2011,38(2):130-134.
- 毛小琴, 刘阳生. 国内外环境风险评价研究进展[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2003, 11(3):266-273.
- MAO Xiaoling, LIU Yangsheng. Current Progress of Environmental Risk Assessment Research [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2003, 11(3):266-273.
- 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展[J]. *生态学报*, 2006, 26(5):1558-1566.
- CHEN Hui, LIU Jinsong, CAO Yu, et al. Progresses of ecological risk assessment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5):1558-1566.
- 段涛. 城市再生水的边际机会成本定价方法研究[J]. *生态经济*, 2013,(7):138-139.
- DUAN Tao. Study on Marginal Opportunity Cost Pricing of Urban Recycled Water [J]. *Ecological Economy*, 2013, (7):138-139.
- 方红远, 王银堂. 边际成本分析在水资源开发利用决策中的应用[J]. *水科学进展*, 2004,(02):243-248.
- FANG Hongyuan, WANG Yintang. Application of marginal cost analysis to water resources development [J]. *Advances in Water Science*, 2004,(02):243-248.
- 江文静, 田永中, 唐君桃, 等. 基于 GIS 的耕地边际化评价与转移的生态价值评估—以三峡库区涪陵段为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2017, 39(04):101-107.
- JIANG Wenjing, WANG Yonghe, TANG Juntao, et al. A Gis-Based Estimate of Farmland Marginalization and Evaluation of Ecosystem Service Value after transfer-A Case Study in Fuling District in the Three-Gorges Reservoir Area [J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2017, 39(04):101-107.
- 李升发, 李秀彬. 中国山区耕地利用边际化表现及其机理 [J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 803-817.
- LI Shengfa, LI Xiubin. Economic characteristics and the mechanism of farmland marginalization in mountainous areas of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 803-817.
- 吕素冰. 水资源利用的效益分析及结构演化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- LÜ Subing. benefits analysis of water use and evolution of water consumed struture[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012.
- 张瑛. 商品期货投资策略与风险控制研究[D]. 南昌: 南昌

- 大学, 2014.
- ZHANG Ying. Study on Investment Strategy of Commodity Futures and Risk Control[D]. Nanchang: Nanchang University, 2014.
- 王良健, 李辉, 禹诚, 等. 耕地征收最优规模的理论与实证研究—基于边际理论视角[J]. 中国土地科学, 2013, 27(1):11-19.
- WANG Liangjian, LI Hui, YU Cheng, et al. Theoretical and Empirical Research on the Optimal Scale of Arable Land Expropriation: Based on the Marginal Theory [J]. China Land Sciences, 2013, 27(1):11-19.
- 张乐勤, 陈素平, 陈保平. 基于边际效应模型的安徽省建设用地增长极限研究[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(3):148-151.
- ZHANG Leqin, CHEN Suping, CHEN Baoping. Study on Construction Land Growth Limit of Anhui Province Based on the Marginal Effect Model [J]. Areal Research and Development, 2014, 33(3):148-151.
- 刘路璐, 刘聪, 吕剑. 一种基于边际理论的成本预测方法的研究[J]. 冶金自动化, 2015, 39(5):22-25.
- LIU Lulu, LIU Cong, LÜ Jian. Research on a cost prediction method based on marginal theory [J]. Metallurgical Industry Automation, 2015, 39(5):22-25.
- 张乐勤. 基于边际模型的城镇化进程污染效应极限及演化趋势研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(2):275-286.
- ZHANG Leqin. A Study on Limit and Evolutionary Trend of Pollution Effect in Process of Urbanization Based on Marginal Model: An Empirical Study of Anhui Province [J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(2):275-286.
- 王欢. 基于边际效用理论的水资源价值研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2012.
- WANG Huan. Research of Water Resources Value Based on The Theory of Marginal Utility[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012.
- 盖美, 郝慧娟, 柯丽娜, 等. 辽宁沿海经济带水资源边际效益测度及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(1):78-91.
- GAI Mei, HAO Huijuan, KE Lina, et al. The Marginal Benefit of Water Resource Measure and Its Influence Factors in Liaoning Coastal Economic Belt [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(1):78-91.
- 孙才志, 杨新岩, 王雪妮, 等. 辽宁省水资源利用边际效益的估算与时空差异分析[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1):155-160.
- SUN Caizhi, YANG Xinyan, WANG Xueni, et al. The Calculation and Temporal-spatial Difference Analysis of Water Utilization Margin Benefit of Liaoning Province [J]. Areal Research and Development, 2011, 30(1):155-160.
- 史正涛, 刘新有, 黄英, 等. 基于边际效益递减原理的城市水安全评价方法[J]. 水利学报, 2010, 41(5):545-552.
- SHI Zhengtao, LIU Xinyou, HUANG Ying, et al. Evaluation method for urban water safety based on law of diminishing marginal utility [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(5):545-552.
- 吕素冰, 张亮, 王文川, 等. 河南省水资源利用演变及边际效益分析[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(9):28-32.
- LV Subing, ZHANG Liang, WANG Wenchuan, et al. Analysis of Water Consumption and Marginal Benefit of He'nan Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(9):28-32.
- 王智勇, 王劲峰, 于静洁, 等. 河北省平原地区水资源利用的边际效益分析[J]. 地理学报, 2000, 55(3):318-328.
- WANG Zhiyong, WANG Jinfeng, YU Jingjie, et al. Analysis on Marginal Revenues of Water in Hebei Province [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(3):318-328.
- 李爱, 杨正先. 基于边际效应分析的海洋资源环境承载力评估[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(04):44-50.
- LI Ai, YANG Zhengxian. Assessment of Marine Resources and Environment Carrying Capacity Based on Marginal Effect Analysis [J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(04):44-50.
- 许海东. 基于 Cobb-Douglas 生产函数的城市工业用水资源边际效益研究[J]. 水利技术监督, 2019(1):107-109.
- XU Haidong. Study on marginal benefit of urban industrial water resources based on Cobb-Douglas production function [J]. Technical Supervision in Water Resources, 2019(01):107-109.
- LEWIS S L. We must set planetary boundaries wisely [J]. Nature, 2012, 485(7399):417-417.
- 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.
- WILLIAM E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and urbanization, 1992, 4(2):121-130.
- WANG Yao, ZHANG Maosheng. Risk-based Evaluation of the Geological Environment Carrying Capacity [J]. Proceedings of the 4th Academic Conference of Geology Resource Management and Sustainable Development, 2016, 84-98.
- WANG Yao, ZHANG Maosheng, XUE Qiang, et al. Risk-based evaluation on geological environment carrying capacity of mountain city-A case study in Suide County, Shaanxi Province, China [J]. Journal of Mountain Science, 2018, 15(12):173-183.