



地理学报 2001年第56卷第3期

环渤海地区区域承载力研究

作者: 毛汉英 余丹林

环渤海地区目前资源环境负荷已处于过载状态, 成为制约今后全区经济社会发展的主要限制性因素。从实施可持续发展战略出发, 采用定量方法研究该区的资源环境综合承载力, 并对其今后变化的趋势进行了预测, 提出提高区域承载力的对策措施。

环渤海地区区域承载力研究 毛汉英 余丹林 (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101) 摘要: 环渤海地区目前资源环境负荷

已处于过载状态, 成为制约今后全区经济社会发展的主要限制性因素。从实施可持续发展战略出发, 采用定量方法研究该区的资源环境综合承载力, 并对其今后变化的趋势进行了预测, 提出提高区域承载力的对策措施。关键词: 环渤海地区; 区域承载力; 趋势预测;

对策措施 中图分类号: F127 文献标识码: A 区域承载力是指不同尺度区域在一定时期内, 在确保资源合理开发利用和生态环境向良性

循环的条件下, 资源环境能够承载的人口数量及相应的经济社会总量的能力。区域承载力具有系统性、开放性、动态性和综合性等特点, 它除受其物质基础——区域资源环境制约外, 还受区域发展水平、产业结构特点、科技水平、人口数量与素质以及人民生活质量

等多种因素的影响, 但在某一阶段又具有相对的稳定性。区域承载力将资源环境作为统一体, 研究其同人类及人类的经济社会活动相互匹配与适应的关系, 因此它可作为衡量区域可持续发展的重要标志, 并可定量地揭示区域发展中存在的主要问题, 为该区域实施可

持续发展战略提供具有可操作性的调控对策。环渤海地区包括辽宁、河北、山东3省及北京、天津2市, 土地面积 $51.45 \times 10^4 \text{ km}^2$, 1999年总人口 21884×10^4 人, GDP总量 20027.5×10^8 元, 分别占全国的5.4%, 17.38%和23.9% [1]。该区作为我国经济发达

和城市化水平较高的地区之一, 能源、重化工和农业在全国占有十分重要的地位。改革开放以来, 由于该区产业的结构性矛盾十分突出, 因此, 除山东省外, 其他省市在20世纪90年代初以前经济增长均明显低于全国水平。90年代中期以来, 随着结构性调整取得明显

成效, 特别是各类开发区和高新技术产业的迅速发展, 经济发展活力不断增强, 增长速度明显加快, 已成为带动我国北方地区(华北、东北、西北地区)21世纪前15~20年经济快速发展的重要增长极, 在全国新世纪的发展中具有举足轻重的地位。但是, 环渤海地区

现状的资源环境负荷已处于过载状态, 而且资源短缺常常同生态环境问题交织在一起。水资源严重不足、环境污染和生态破坏已成为今后全区经济社会可持续发展的主要制约因素。例如, 本区水资源总量仅占全国的3.5%, 人均和耕地亩均水资源量分别为全国平均

水平的1/5和1/6 [2]。有限的水资源量同不断增长的工农业、城乡居民生活用水的矛盾日益尖锐。又如, 全区1998年工业废水排放量 $39.89 \times 10^8 \text{ t}$, 工业废气排放量 $32429 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工业固体废物产生量 $21378 \times 10^4 \text{ t}$, 分别占全国的19.88%、26.76%和26.7

1% [3]。为此, 迫切要求深入研究该区的资源环境承载力及其动态变化, 提出协调经济社会发展同人口、资源、环境的系统调控对策与实施可持续发展的途径。1 区域承载力的研究方法 区域承载力的研究方法是在资源承载力和环境承载力研究的基础上发展而来的 [4]。本文提出以状态空间法作为研究区域承载力的基本方法, 在此基础上辅之以评价指标体系和系统动力学模型等定量方法,

进行区域承载力与承载状况的现状分析、动态模拟及趋势预测。1.1 区域承载力与承载状况的定量描述 状态空间法是欧氏几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法。通常由表示系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成(本文中为人类活动轴、资源轴与环境

轴), 利用状态空间法中的承载状态点, 可表示一定时间尺度内区域的不同承载状况。有关状态空间法的基本原理及其在区域承载力研究中的应用, 作者已有介绍 [4, 5]。其结论为: 可利用状态空间中的原点同系统状态点所构成的矢量模数表示区域承载力的大小, 并由此得出其数学表达式为: $RCC = M = \sum_{i=1}^n x_{iR}$ (1-1) 式中 RCC为区域承载力值 (Regional Carrying Capacity) 的大小; M 为

代表区域承载力的有向矢量的模数, x_{iR} 为区域人类活动与资源环境处于理想状态时在状态空间中的坐标值 ($i=1, 2, \dots, n$)。如考虑到人类活动与资源环境各要素对区域承载力所起的作用不同, 因而状态轴的权重也不一样, 当考虑到状态轴的权时, 区域

承载力的数学表达式为: $RCC = M = \sum_{i=1}^n w_i x_{iR}$ (1-2) 式中 w_i 为 x_{iR} 轴的权。由于现实的区域承载状况同状态空间中理想的区域承载力并不完全吻合, 其偏差值可作为定量描述区域承载状况的依据。通常区域承载状况有超载、满载与可载三种情况。区域

承载状况的计算公式为: $RCS = RCC \times \cos\theta$ (1-3) 式中 RCS为现实的区域承载状况 (Regional Carrying State); RCC为区域承载力; θ 为现实的区域承载状况矢量与该资源环境承载体组合状态下的区域承载力矢量之间的夹角。根据矢量夹角计算公式可求得: $\cos\theta =$

$\frac{(a, b)}{a \cdot b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{iA} x_{iB}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{iA}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{iB}^2}}$ (1-4) 式中 a、b分别代表状态空间中的2个向量, 假设其顶点分别为A、B, x_{iA} 和 x_{iB} 则代表顶点A、B在状态空间中的坐标值 ($i=1, 2, \dots, n$), n代表状态空间的维数。在本文概念模型中, $n =$

3。根据上述概念模型分析可得出如下结论: 超载时的区域承载状况的矢量的模必然大于区域承载力矢量的模; 反之, 可载时区域承载状

况矢量的模则小于区域承载力矢量的模。据此, 可对夹角 θ 的符号及现实的区域承载状况与区域承载力的关系用下式表明: $\theta > 0$, $RCS > RCC$ 超载=0, $RCS = RCC$ 超载 <0, $RCS < RCC$ 超载 (1-5) 式中 RCS 表示现实的区域承载力矢量的模; RCC 表示理想状态时的区域承载力矢量的模; θ 为两者的夹角。上述概念模型中, 人类活动主要考虑其对承载力施压方面, 而对人的主观能动作用则重视不够, 特别是随着科技的迅速发展, 人类可以采用新的替代资源;或是通过对自身活动的约束, 减少资源消耗与环境污染, 从而达到提高承载体的承载能力。因此, 在实际工作中, 必须将人类活动区分为压力类活动与潜力类活动两类, 并设计相应的指标, 才能确保研究成果的科学性。

1.2 区域承载力的评价指标体系

在区域承载力研究中, 应用状态空间法构建评价指标体系, 除遵循共同原则(如科学性、可操作性、层次性、完备性和动态性原则)外, 在指标选取时, 还必须充分考虑承载体与受载体之间的互动反馈方式、强度、后效、潜力与相互替代等特点, 为此, 分别设计了以下3类指标: ①承压类指标, 主要反映承载体的状态与发展方面的指标, 如该区域内主要自然资源的拥有量, 以及可提高承载能力的潜力类指标(如经济发展水平、科技进步、环境治理及生活质量指标)。②压力类指标。主要反映人类为谋求自身发展和获取更多的社会财富而对承载体施加的压力。包括人口的数量及素质, 伴随着人类经济社会活动增强而引发的经济增长、资源消耗与环境污染等。③区际交流指标。任何一个区域都不是封闭与孤立的, 而是一个开放的巨系统, 区际间通过人流、物流、资金流和信息流的交流乃至跨流域调水等, 将强烈地改变着区域承载力与承载状况。为了确保指标选取的科学性和合理性, 在具体操作过程中, 还要进行指标间的多重共线性分析, 尽量减少由于指标间的重叠信息而影响分析结果的客观性, 通常采用线性回归方法, 以最小二乘原则求算。例如, 在构建指标体系时, 最初作者曾选取了50多项指标, 但经过指标间多重共线性分析, 舍弃了相互间信息重叠和相关系数较大的指标, 仅保留了目前的27项指标。本次研究中采用社会经济统计分析软件SPSS的CORRELATE过程中的BIVARIATE分析方法进行 [6] (图1)。指标赋权通常采用层次分析法(AHP法)和熵值法, 本文采用熵值法赋权, 其基本原理及方法步骤已有论述 [7]。根据该文提供的有关公式, 经计算后得出环渤海地区区域承载力评价指标体系各指标的权重

(图1)。

1.3 区域承载状况的变化趋势预测

对环渤海地区区域承载状况的预测主要通过系统动力学(SD)模型而实现, 由于该模型是一种定性定量相结合, 系统、分析、综合与推理集成的方法, 并配有专门的DYNAMO软件, 给模型的仿真、政策模拟带来很大方便。因此, 利用SD模型可以较好地把握系统的各种反馈关系, 将系统与系统内部各子系统之间相互作用的复杂关系通过一系列微分过程和函数关系加以表述, 适合于进行具有高阶次、非线性、多变量、多反馈、机理复杂和时变特征的区域承载力研究。图1 环渤海地区区域承载力评价指标体系 Fig.1 Index system of regional carrying capacity in Bohai Rim 根据区域承载力及承载状况的反馈关系, 构建了环渤海地区区域承载力的SD模型, 该模型由95个方程组成, 包括状态方程、常数方程、速率方程、表函数、辅助方程等。模型共分为经济子模块、环境子模块、物耗子模块、人口子模块、承载基础子模块、生活量子模块和区际交流子模块7个部分, 在模型编写过程中, 要对每一个函数、变量给出完整、明确的定义与数学表述, 将方程群展开为实际的可运算函数。在环渤海地区区域承载力的SD模型中以表函数形式出现的辅助方程, 其数据主要由灰色等维递补模型预测而得, 其他一些辅助方程则采用对数回归、指数回归及差分递归等方法预测得出的。最终应用系统动力学编写语言而实现。在环渤海地区区域承载力研究中, SD模型预测可分为3个时段, 即1999~2005年、2006~2010年、2011~2015年。根据本次采集的环渤海地区3省2市以及渤海沿岸13个地市1994~1998年时段的系统数据, 通过问卷调查法并参照国内外标准等定性定量研究相结合方法推算出上述3个时段理想状态。例如, 1994~1998年时段理想状态值(x_{ir})为: GDP年均增长率8%, 万元GDP废水排放量16t, 万元GDP废气排放量 1.4×10^4 标 m^3 , 万元GDP能耗(折标煤)1.4t, 万元GDP耗水量50t, 人口自然增长率5%, 人均水资源量为1000 m^3 , 工业废水处理排放达标率50%, 工业废气处理率90%, 恩格尔系数0.3等等。据此, 按上述公式(1-3)~(1-5), 可求得环渤海地区3省2市和渤海湾沿岸13地市在每一时段的承载力和承载状况。

2 定量研究结果分析

2.1 现状的区域承载力与承载状况

根据公式(1-2)可求得1994~1998年期间, 环渤海地区区域承载力为: $RCC = 27i = 1 w_i \times 2i_r = 0.6280$ (2-1) 该数值代表上述1994~1998年时段理想状态的区域承载力在状态空间中的点与状态空间原点形成的矢量的模。按图1列出的环渤海地区区域承载力评价指标体系, 可计算该地区1994~1998年的承载状况(表1)。

表1 环渤海地区1994~1998年区域承载状况表 Tab.1 Status of regional carrying capacity in Bohai Rim (1994~1998)

根据上述区域承载力和承载状况的计算结果, 可得出以下看法: (1) 环渤海地区1994~1998年承载状况均大于0, 但小于该时段区域承载力(0.6280)。这表明, 该时段的资源环境系统一直处于超载状态。但从各年度的变化趋势看, 该地区区域承载状况总体趋于好转。(2) 进一步分析超载的原因, 发现在压力指标中, GDP年均增长率、万元GDP的水资源消耗量和“三废”排放量偏离该时段理想状态较远;而在承压指标中, 人均水资源量及“三废”处理率偏离该时段理想状态较远。这一方面反映了区域经济增长同资源环境很不协调;另一方面表明了水资源人均占有量不足, 以及由于水环境污染加重而导致可利用水量的减少, 是制约这一地区承载力水平提高的主要限制因素。(3) 从更深层次分析, 在较长一段时期内, 该区经济所采取的是总量型的发展战略, 追求持续超高速增长。例如, 1994~1998年GDP年均增长率: 河北为13.1%, 山东为12.93%, 天津为12.95%, 北京为10.9%, 辽宁为8.81% [8], 明显超出该时段理想状态值(7%)。这种粗放型的发展模式, 必然以资源过度消耗、生态破坏和环境污染加重为代价。

2.2 今后15年区域承载力与承载状况的变化趋势分析

根据SD模型预测, 环渤海地区今后15年的区域承载力与承载状况见图2。图2 1999~2015年环渤海地区承载力及承载状况变化总趋势 Fig.2 The tendency of carrying capacity and status in Bohai Rim (1999~2015) 上述预测结果显示: 今后15年, 环渤海地区承载状况总体上每一时段都在向好的方向演化, 但其整体超载的态势并未发生根本的改变, 特别是水资源短缺和环境污染对经济社会发展的制约作用依然存在。由于各时段理想状态本身也处于发展变化之中, 因此, 以状态权空间的矢量模变化趋势计算而得的区域承载状况向承载力接近的速率呈减缓趋势, 如1994~1998年为4.5%, 1999~2005年为2.69%, 2006~2010年为2.32%, 2011~2015年为1.86%。显示了今后15年该区域的承载状况向可持续发展的理想状态接近的速率相对变慢。预测到2015年环渤海地区承载状况值($RCS_{2015} = 0.6642$)已接近该时段区域承载力($RCC_{2011 \sim 2015} = 0.6786$), 这表明, 该区将从目前的弱可持续向较强的可持续方向发展。图3 渤海湾沿岸13地市1994~1998年承载状况对比 Fig.3 Comparison of carrying capacity among 13

cities along the coast of Bohai Rim (1994~1998) 2.3 区域承载力的地域差异 本文以渤海湾沿岸13个地市为对象,并按行政区划分为辽宁省5地市、河北省3地市和山东省5地市3类地区 ①,利用AHP法对指标赋权,根据国家和省市有关指标确定时段理想状态,通过计算得出渤海湾沿岸各地市1994~1998年的区域承载状况(图3)。结果表明,在渤海湾沿岸13个地市内区域承载力与承载状况存在一定的地域差异。一是上述地区1994~1998年承载状况总体均处于超载,而且超载程度超过环渤海地区平均水平。但在该区内,山东省5地市承载状况又好于河北省3地市及辽宁省5地市。二是水资源短缺与水环境污染是制约本区区域承载力的主要限制性因素,其中水资源条件对河北、山东8个地市的制约较明显,而辽宁省5地市则受水环境污染影响较大。三是近年山东省5地市在产业结构调整、治理“三废”污染、节水节能方面措施力度较大,成效亦较明显,因此,区域承载力提高较快,表明具有较大的承载潜力;而辽宁及河北省地市则相对较差,区域承载力提高较慢,承载潜力亦较小。

3 提高区域承载力的对策措施 [19]

3.1 经济对策 (1) 谋求经济的持续、适度快速和协调增长。由于目前该区仍处于工业化中期阶段,经济仍将保持较高的增长势头,关键是经济的快速增长要适度,要同人口、资源和生态环境相协调,并同产业结构调整优化和提高经济效益相结合。根据SD模型模拟结果,GDP年均增长率在“十五”期间以8%~10%较为适合,后10年保持在6%~8%。(2) 调整优化产业结构。产业结构优化升级的重点为:加速发展电子信息、生物工程和新材料等高新技术产业,以商贸、金融、房地产、旅游、信息咨询为主的第三产业,以及农业中的林、牧、渔业。要积极采用高新技术和先进适用技术,加快能源、冶金、化工、建材、轻纺等传统的技术改造,其目标除了提高产品质量、增加品种和提高劳动生产率外,很重要的一条是节能降耗、防止污染。在区域工业结构方面,以大连为中心的辽东半岛和京津唐地区,应控制和疏导高耗能、高耗水的重化工产业,逐步建立起轻型、节能、节水和技术密集型的产业体系,特别要加快高新技术产业和以旅游业为龙头的第三产业发展;胶济铁路沿线,重点发展电子、机械、纺织、精细化工和石油化工深加工,严格控制污染的扩大;辽宁中部城市工业群,重点进行技术改造,控制大耗水、大耗能工业发展,减少对大气和辽河、浑河及太子河流域的污染。(3) 调整工业布局。对于严重缺水且水污染又较重的辽中南和京津唐地区,要控制大耗水、高耗能工业的发展,新建的电力、石油化工、钢铁工业,尽可能安排在工业不太集中、环境容量较大的滨海地区。对于目前工业集中程度较高的大连、青岛和天津等城市不应再建大耗水和重污染的工业,并应采取必要措施,将上述工业疏导至离城较远的沿海地区。

3.2 资源对策 (1) 对短缺性的资源应采取节约与开源相结合的方针。水、耕地和能源资源是环渤海地区关键性的自然资源,水资源的供需矛盾最为突出。应推广各种节水、节地措施,调整资源利用结构,发展节水产业和建立资源节约型社会经济体系;利用海水替代淡水作为火电、化工、钢铁企业的冷却水,海水淡化,合理利用区外、乃至国外资源(如增加从晋陕蒙调入煤炭,利用进口铁矿石,实行跨流域调水等)。其中即将兴建的中线南水北调工程年均调水量达 $145 \times 10^8 \text{ m}^3$,每年可为京、津、冀、鲁增加生活、工业用水量 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$,农业用水量 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$,可大大缓解水资源对提高该区区域承载力的瓶颈制约作用。(2) 建立资源有偿使用制度。从确保资源的永续利用和保护生态环境出发,必须建立同社会主义市场经济相适应的资源有偿使用制度,运用价格杠杆,调节资源的供需矛盾。首先可选择水资源为试点,将水资源价格推向市场,提高工业和城市生活用水的价格及水资源补偿费,对农业用水在适当提价的基础上逐步实行配额制度,最终建立水资源多重价格市场体系,以缓解水资源的供需矛盾,并促进其在各部门和行业间的合理配置。

3.3 环境对策 (1) 严格执行污染物排放的总量控制。根据环渤海地区的环境容量,可分别制定不同行业、沿海城市与内陆地区的污染物排放限定标准,并落实到各排污单位,实行排污申报和总量控制。同时,对北京、天津、大连、青岛等国际性大城市和主要旅游区,对其环境质量应有更高的要求,并相应地制定更为严格的排放标准。(2) 加大环境治理力度。在环境污染治理方面,要变被动为主动,从过去的末端治理发展到清洁生产,即推广先进的生态工艺,包括闭路循环工艺、无害化工艺、清洁化工艺等。在治理方式上,从过去的“谁污染、谁治理”转变为“谁污染、谁付费”和“谁治理、谁收益”。(3) 逐步将资源环境纳入国民经济核算体系。建立一套充分反映单位GDP的资源消耗和生态破坏与环境污染的国民经济核算体系。国外目前采用的净GDP和绿色GDP可作为参考。(4) 增加治理生态环境的投入。1994~1998年本区环保投资约占GDP的0.94%,与世界发达国家环保投资占GDP2%~3%相距甚远。据预测,如环保投资占GDP的1.5%时,就可控制大部分污染,环境质量明显改善;当上述比重稳定达到2.5%~3%时,环境状况就可得到根本好转。预计这一目标在本区有可能在2015年左右达到。此外,还要综合运用生物、工程、耕作等措施,加大治理水土流失、盐碱、风沙及海水入侵等生态问题的力度。

3.4 人口对策 (1) 严格控制人口总量。今后15年应继续将控制人口增长放在重要战略地位。在90年代中期人口自然增长率明显下降的基础上(1994~1998年全区人口自然增长率为6.6%,低于全国平均水平10.4%) ,进一步降至5%和2%~3%。(2) 提高人口素质。全区在2000年普及九年制义务教育的基础上,加强扫除青壮年中的文盲;大力发展职业技术教育,形成职前培训、职后再教育体系;以普及科技为重点,办好乡、镇2级农民文化技术学校。

参考文献(References): [1] National Bureau of Statistics. Statistical Yearbook of China 2000 [Z]. Beijing: China Statistics Press, 2000. (In Chinese) [国家统计局编. 中国统计年鉴(2000) [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2000.] [2] Lu Dadao. The Research about the Strategy of Sustainable Development in Bohai Rim [M]. Beijing: Science Press, 1995. (In Chinese) [陆大道主编. 中国环渤海地区持续发展战略研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.] [3] National Bureau of Statistics. '98 Environmental Statistics of China [Z]. Beijing: China Statistics Press, 1999. (In Chinese) [国家统计局'98中国环境统计专题组编. '98中国环境统计 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 1999.] [4] Mao Hanying, Yu Danlin. A study on the quantitative research of regional carrying capacity [J]. Advance in Earth Sciences. 2001, 16 (2). (In Chinese) [毛汉英, 余丹林. 区域承载力的定量研究方法探讨 [J]. 地球科学进展, 2001, 16 (2).] [5] Yu Danlin, Mao Hanying. A study on state space measuring regional carrying capacity [J]. Geographical Research. 2001, 20 (2). (In Chinese) [余丹林, 毛汉英. 状态空间衡量区域承载力初探 [J]. 地理研究, 2001, 20 (2).] [6] Lu Wenda, Zhu Yili, Sha Jie. SPSS for Windows: from ABC to Master [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 1998. (In Chinese) [卢文岱, 朱一力, 沙捷等编著. SPSS for windows: 从入门到精通 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.] [7] Guo Xianguang. App

lication of improved entropy method in evaluation of economic result [J] .System Engineering-Theory & Practice.1998, (12) :98-102. (In Chinese) [郭显光.改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用 [J] .系统工程理论与实践, 1998, (12) :98-102.] [8] National Bureau of Statistics.Comprehensive Statistical Data and Materials on50Years of New China [Z] .Beijing:China Statistics Press, 1999. (In Chinese) [国家统计局编.新中国五十年统计资料汇编 [Z] .北京:中国统计出版社, 1999.] [9] Mao Hanying.Study on comprehensive regulation of sustainable development when Shandong province step into next century [J] .Acta Geographica Sinica.1998.53 (5) :417-419. (In Chinese) [毛汉英.山东省跨世纪可持续发展的综合调控研究 [J] .地理学报.1998.53 (5) :417-419.] Regional Carrying Capacity in Bohai Rim MAO Han-ying, YU Dan-lin (Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China) Abstract: Key words:

关键词: 环渤海地区;区域承载力;趋势预测;对策措施