

# Accounting Method of Regional Resources Properties and Thresholds Analysis of Environmental Capacity and Environmental Carrying Capacity

Jingxuan Zhou\*, Yejing Zhou

School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology (HUST), Wuhan Hubei

Email: \*zjxlypyj@163.com, 476402115@qq.com

Received: Apr. 6<sup>th</sup>, 2016; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2016; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

According to the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan, China is urgent to improve the value analysis of balance sheet of natural resources and to optimize the calculating method of environmental capacity and environmental carrying capacity. In this paper, we proposed solving ideas for the balance sheet of natural resources, in which environmental capacity and carrying capacity were the keys to compiling regional balance sheet and drawing up an environmental plan. As a case study of Wuhan's atmospheric environment, we evaluated and defined the atmospheric environmental capacity and its carrying capacity, discussed the current problems in their analysis, then calculated the thresholds based on appropriate statistical data by using System Dynamics (SD) method. This is not only a foundation of coordinated development of economy and environment for government regulation, but also an important basis of value estimation of environmental system.

## Keywords

Balance Sheet of Natural Resources, Environmental Capacity, Environmental Carrying Capacity, Thresholds, System Dynamics

---

\*通讯作者。

# 区域资源资产核算技术与环境容量及承载力阈值的研究

周敬宣\*, 周业晶

华中科技大学环境科学与工程学院, 湖北 武汉

Email: \*zjxlypyj@163.com, 476402115@qq.com

收稿日期: 2016年4月6日; 录用日期: 2016年4月21日; 发布日期: 2016年4月27日

## 摘要

按照“十三五”的最新精神, 中国需要完善自然资源资产负债表的价值化技术, 以及优化环境容量、承载力的核算方法。本文对当前负债表编制的难点提出了解决思路。其中环境容量、承载力的分析是编制区域负债表、制定环境规划的关键。以武汉市大气系统为例, 梳理与评价了环境容量、环境承载力的概念、计算方法中存在的问题, 优选统计数据, 合理地预测出一批大气环境容量、环境承载力指标的动态阈值。这不仅为政府调控环境-经济, 也为测算环境系统价值提供了重要依据。

## 关键词

自然资源资产负债表, 环境容量, 环境承载力, 阈值, 系统动力学

## 1. 引言

党的十八届三中全会提出, “探索编制自然资源资产负债表, 对领导干部实行自然资源资产离任审计, 建立生态环境损害责任终身追究制”。

定期核算自然资源资产的变动情况, 有助于全面反映政府对各项自然资源占有、使用、维护以及管理绩效, 自然资源资产负债表重点反映某一时点自然资源资产的存量概念, 与重点反映一定时期流量概念的绿色国民经济核算存在勾稽关系。同时, 自然资源资产负债表是国家资产负债表的主要组成部分, 是推进国家治理体系和治理能力现代化的重要工具。这是深化生态文明体制改革的重要举措, 是对干部政绩观的一次根本性的颠覆。

## 2. 自然资源资产负债表编制的困难与破解

### 2.1. 困难分析

无论是环境审计还是负债表, 都是理论研究多、实际案例少, 指导性、可操作性不强。当前, 开展自然资源资产负债表编制还有许多难题需要解决。自然资源包括土地资源, 水资源, 煤炭、石油等矿产资源, 森林、海洋、野生动物等生物资源, 以及空气、生态系统等生态环境资源。这就决定了自然资源资产负债表的构建对应的层次是“自然环境 + 社会经济”, 处于生态学、环境学、资源学、经济学、社会学等众学科研究的范围, 同时也是一项涉及环保、国土、林业、水利、农业、海洋、能源等多部门的工作[1] [2]。编制和研究的复杂性不言而喻。

第一, 人们对其战略地位的认识还不到位, 自然资源资产核算相关制度安排, 如相关统计法规以及自然资源资产核算与负债表编制相关技术规范、标准等基本属于空白。

第二, 自然资源资产核算的相关技术方法还存在一定难度。例如, 环境资产产权的界定、环境容量资产的核算方法、环境资产价值量和环境资产“存量、流量”的核算技术方法, 生态产品核算的技术方法等, 尚未形成标准化程度高、应用成熟规范、各方普遍认可的方法体系。

第三, 支撑自然资源资产负债表编制的统计数据体系存在较大问题。我国现行的自然资源与生态环境统计数据体系尚不完备, 数据质量和覆盖面都存在较大问题, 这对于编制准确可行、有效可用、在时间上连续的自然资源资产负债表无疑是很大挑战[3] [5]。

## 2.2. 破解之道

第一, 是搭建跨学科、跨部门的统一工作平台[6]。各试点区在组织形式上搭建由该地的环保、统计部门牵头, 财政、水利、国土、林业等有关部门参加的统一工作平台, 根据不同资源环境要素, 下设若干编制专题小组, 按“指南”或“导则”, 统一协调部署, 共同制订工作方案及目标, 按指标体系与方法体系, 负责组织试点及实施工作。这是自然资源资产负债表编制成功的保证。

第二, 通过研究和借鉴国际经验, 建立一个与国际接轨、比较理想的、与国家统计核算制度衔接的、分步实施的自然资源资产负债核算体系框架; 其次提出自然资源的实物量核算方案; 再次, 提出自然资源的价值量核算方案[7]。这是自然资源资产核算体系的一个重点, 也是难点, 需要区分不同情况逐步开展研究和突破。确定自然资源资产负债表的内容、功能和实施过程。如各类资源核算指标、生态环境核算指标、价值量核算及方法, 核算的时间跨度、实施程序与优先顺序安排等等。

第三, 构建科学完整的自然资源统计指标体系。这一指标体系的基本框架可分为反映自然资源、生态环境和环境污染三个方面的统计指标(图 1)。以反映生态环境的统计指标为例, 生态环境可分为土地、森林及水环境、大气环境等, 其核算应包括生态环境效益与退化两方面。其中, 环境效益是客观存在的, 例如森林生态环境可以防止水土流失、土地沙化;  $PM_{2.5}$  年均浓度值高低、水体数量、水质等级、土壤洁净程度对人体健康意义重大。把这些效益折合为价值即为生态环境的效益价值。退化是指破坏生态环境造成的损失价值。

对“环境退化”的测算可借助环境容量的是否减少来实现。这里环境容量指纳污能力或净化能力。例如某水体在某时间点的环境容量是 100 单位, 当排污有限时, 水体的净化作用可使环境容量 100 单位长期维系; 当大量排污导致水体环境恶化, 其净化能力退化, 在一段时间后某时刻测得的环境容量为 60 单位, 即该水体的环境容量减少了 40 单位, 说明水体自净能力变差了。当区域内某一污染物的环境容量下降值确定了, 就可根据从下降水平恢复到原容量值的经济代价来确定损失价值。

第四, 借鉴与学习已通过开展试点地区的经验, 具体试点区要具体对待, 先易后难, 因地制宜, 抓住重点。对林区为主的区域编制要突出森林面积、种类、质量在不同时间节点上有没有变化; 对湖区要突出湖泊面积、水量、水质在不同时间节点上有没有变化; 对生态保育区要突出生态系统、生态资源在不同时间节点上有没有变化; 对经济发展区要突出环境质量水平在不同时间节点上有没有变化。

每一个试点区都面临三个方面的内容:

1) 生态产品生产总值核算与资产负债表编制。全面获取森林、草地、水体、土地包括土壤等生态资源信息, 编制该区生态资产负债表, 将生态资源使用、消耗和破坏活动造成生态资产损耗和生态效益下降记录为“负效益”, 将生态资源恢复和增值活动带来生态资产增值和生态效益上升记录为“正效益”。

2) 大气和水环境容量资产负债表编制。对于大气, 收集该区大气污染源数据、环境质量数据、气象数据等基础数据, 核定大气污染物的环境容量, 编制大气环境容量资产负债表(实物型和价值型)。对于水,

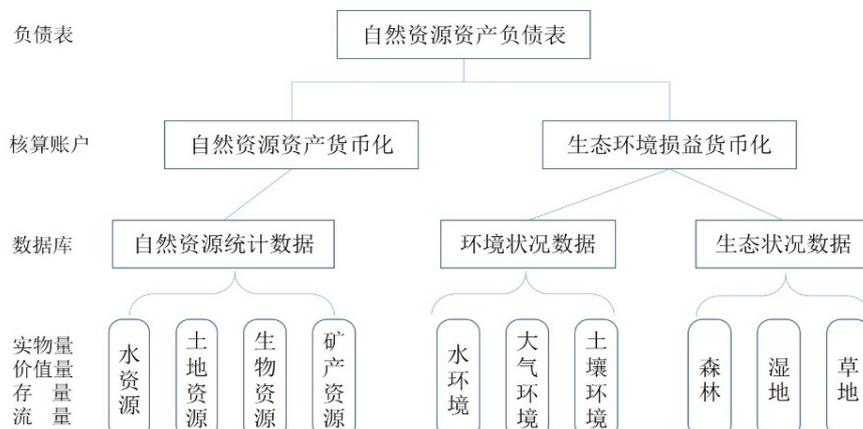


Figure 1. Dendrogram of Statistical indicators classification of natural resources balance sheet

图 1. 自然资源资产负债表统计指标分类树状图

收集流域的污染源、水文、水质、排污口等数据,核定计算其不同河段和不同水环境功能区的水环境容量(COD、氨氮),编制该区水环境容量资产负债表(实物型和价值型)。

3) 水、大气和土壤环境质量产品与效益核算。以大气、水、土壤环境质量达标带来的环境污染损失减少作为其达标的效益,对该区环境效益进行核算,基于环境污染损失和环境质量改善效益核算的绿色GDP核算[6]。

最终,可得到某地自然资源资产负债表。

### 3. 难点之一——区域环境容量及承载力研究□

#### 3.1. 环境容量和承载力研究概况

环境容量普遍定义为:根据当地确定的环境质量标准,一定的地理范围和环境背景下,环境系统(如水体、大气空间、土壤)所能承受的某种污染物的最大负荷量[8]。它是对环境系统清洁、健康程度的表述,若容量不变,则系统稳定,反之亦然。

环境承载力出现了两种理解。一种认为:在一定的环境质量及资源体量约束下该域所能承载的人口、经济的最大发展规模。按这种理解,人类活动既受环境质量制约,也受资源限制,容易导致发展是有极限的结论[9]。另一种认为:在一定的区域、时期内,确保环境质量达标的前提下,人类社会、经济活动规模的阈值。这种理解是以环境质量为限制条件的,发展空间更大,更主动,更符合当前国情。

自然环境、社会、经济、技术等众多因素构成维系环境质量的一种综合能力,它对抗、消除或减少因发展经济而产生的各种污染排放造成的环境压力,它与环境容量大小、经济发展水平、环保技术水平高低、政府与人民重视程度、经费投入、经济结构、能源结构状况密切相关,故衡量环境承载力可有多个指标,可根据需要而设定[10]。

在全球经济一体化时代,各地的资源可按经济规律互通有无。这种理解有利于探讨不同地域经济发展与环境保护之间的关系。世界(包括中国)经济发达地区的发展历程就说明了地区的经济发展主要受到环境、经济规律与地缘政治的约束,并不存在明确的资源上限这一事实(如北京、迪拜等)。

面对当前严重的环境污染,中国许多地区的环境容量早被突破了。管理者现在要抓环保,制定了排污总量控制体系、环境质量控制体系,就必须确定总量控制的底线,这就需要计算环境容量。但为什么在国内外都较少谈及环境容量、环境承载力的计算呢?大致有以下几点原因。

从国际来看,各国文化存在差异,所处的环保阶段不同。现在发达国家,环境质量大多数已经达标,

主要通过监管和法律来保持现状。西方学者更多关注生态范畴要素的容量, 如生态学意义上的生态资源或城市资源的容量或承载力, 如森林、土地, 海洋或矿产资源的可利用量、城市空间或交通的容量等[11]-[16], 而较少关注纳污能力的环境容量问题。

发展中国家, 包括中国所在的东南亚、非洲、拉丁美洲等国, 尚处在环境-经济库兹涅兹曲线左半边爬升阶段, 诸多环境指标还不能达到, 对环境容量是关心的。例如日本学者在 1968 年提出环境容量的概念(至今产生重要影响), 正值当年日本处于经济发展与环境保护矛盾尖锐时期[8]; 当今日本已成为发达国家, 环境优越, 也就谈得少了。亚非拉学者的发声往往受发达国家学者左右, 探讨新时期环境容量的文章较难在国际重要环境期刊上发表, 多少会影响第三世界环保学者的兴趣选择。

从国内来看: 中国谈及环境容量和承载力已有 30 多年; 强调了环境承载力与区域的经济支付能力、环保技术水平、产业结构、能源结构密切相关, 分析环境承载力有其鲜明的合理性, 但遇到以下困难。

其一, 气、水、土各重要监测点位的海量监测数据、排放数据与相关的经济数据难得到, 而有关的历史数据常常欠缺。企业与政府得到的监测的数据大部分也不愿公开; 尚缺乏强制公开的相关法规, 加强监测与公开, 还需要时间, 这为环境容量与承载力的分析带来阻碍。

其二, 常用环境容量预测方法不能适应容量随水量、季节、气象等多种因素动态变化。例如, 水、气环境容量的研究方法, 主要还在使用理化模型法, 分析过程繁琐。由于研究对象的复杂性, 很多环节都大大概化了, 准确性降低。目前  $PM_{2.5}$  污染问题十分突出, 促进了第三代空气质量模型在中国的应用, 但从理化的角度难以对长时期空气质量进行预测, 更不能对经济与环境的关系进行分析。

其三, 对环境承载力的第一种理解实际上将其与环境容量混为一谈, 而且还有经济极限之嫌, 故提得不多; 第二种理解虽然提出了各种承载力的指标, 但缺乏量化, 不能适应中国调控经济-环境的需要。

因此讨论区域(某)污染物的环境容量与承载力, 是中国各级政府协调经济-环境发展、做宏观规划的刚性需要。中国学者应克服困难, 做出创新。

### 3.2. 武汉案例介绍

武汉市域面积 8494 平方公里, 人口 1030 万, 2014 年地区生产总值为 10,069 亿元,  $PM_{2.5}$  浓度为  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{10}$  浓度  $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。根据中央最新要求(“十三五”规划纲要), 2020 年武汉空气质量达标天数需达到 80% 以上, 对应的武汉市  $PM_{2.5}$  年均浓度需降至  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。同时, 武汉市又处在经济发展的关键期, 要实行工业倍增计划, 2020 年经济总量突破 20,000 亿大关, 强调“十三五”期间经济增速需保 8.5%。面对环境保护和经济发展的尖锐矛盾, 这是一个极大的挑战。

本案例以 GDP- $PM_{2.5}$  达标为约束的武汉市大气环境容量(AEC)及承载力(AECC)研究为例, 对第二种环境承载力外延的种类进行了辨识与确定; 优选了若干经济、气象、能源、环境等关键信息, 利用系统动力学(SD)建立了 GDP- $PM_{2.5}$  宏观动态统计模型。 $PM_{2.5}$  年均浓度等统计值本身就是污染物不断生成又不断扩散、沉降达到动态平衡的综合结果, 这避免从理化角度去模拟复杂的大气传输和扩散过程, 而是引入各污染物的比例系数  $\mu$ 、转化率  $\eta$ , 建立 GDP、 $PM_{2.5}$  年均浓度、6 大污染物年排放量等变量之间的数量联系, 具有简明的优势。案例中, 设置了 4 种发展情景来预测 GDP、能源消耗、 $PM_{2.5}$  浓度、 $PM_{10}$  浓度、污染物排放量的结果(减排力度从弱到强分别为基础型、适度型、强化型、加强型)以助分析决策。并测算了以 GDP- $PM_{2.5}$  达标为约束的 6 大污染物在四种不同情况下的大气环境压力(AES)、容量和承载力, 得到  $PM_{2.5}$  浓度达标时的容量和承载力阈值, 为大气减排提供了具体调控目标, 为编制自然资源资产负债表奠定了基础。

#### 3.2.1. 概念

在案例中, 大气环境容量指标具体为: 当  $PM_{2.5}$  年均浓度为  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时, 6 大空气污染物最大允许排

放量(6大污染物是  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOCs}$ 、 $\text{NH}_3$ 、一次  $\text{PM}_{2.5}$ 、一次  $\text{PM}_{10}$ )。大气环境承载力的具体指标包含, 隐性 8 项: GDP、一产、二产、三产、煤炭、石油、天然气和新能源消费量, 是承载力社会支持力的表现; 显性 6 项, 即 6 大污染物累积减排量, 是社会支撑力和自然消纳能力对削减污染物的外在表现; 前后共 14 项[17][18]。AEC、AES、AECC 彼此之间是相互作用、相互影响、随时间变化(图 2)。

### 3.2.2. 技术路线

有关武汉市大气环境容量和承载力测算的技术路线如下图所示(图 3), 受篇幅所限, 模型流图, 变量描述, 模型检验, 模型方程等细节不再描述。

### 3.2.3. 结果

假设未来 15 年中武汉市地区气象变化如年均气温、雨量、风频、风速、边界层高度、 $\text{PM}_{2.5}$  内外源比例、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  化学组成比例等平均统计数据基本稳定, 建立 SD 模型。模型模拟的地域边界为武汉市全区域, 时间范围 2015~2030 年, 以 2014 年数据为初始值, 代入模型, 以第四种发展情景(加强型)的可能值为例, 将其约束条件 - 推演过程 - 预测结果表述如下。

#### 1) 经济发展预测

到 2020 年末, 一产增速 3%, 产值从 350 亿增至 406 亿; 二产增速 3.5%, 产值从 4785 亿增至 5897 亿; 三产增速 12.5%, 产值从 4934 亿增至 10326 亿; GDP 平均增速 8.5%, 从 10,069 亿增至 16,642 亿(不考虑通货膨胀)。二产比重由 47.5% 下降至 35.4%, 三产比重从 49% 涨至 62%。

#### 2) 能源发展预测

到 2020 年末, 燃煤增速分别-4%, 从 3454 万吨标煤降至 2713 万吨标煤, 降幅 21%; 石油增速-1%, 从 185 万吨标煤降至 174 万吨标煤(指成品油), 降幅 6%。天然气和新能源增速都在 20% 以上, 初步预测在“十三五”末, 天然气和新能源使用比例占全社会能源使用比例的 1/4。

#### 3) 环境发展预测

到 2020 年末,  $\text{PM}_{2.5}$  浓度从  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  降至  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 降幅 44%;  $\text{PM}_{10}$  浓度从  $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$  降至  $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 降幅 42%;  $\text{SO}_2$  排放量从 109,604 吨降至 47,449 吨, 累计降幅 57%;  $\text{NO}_x$  从 181,486 吨降至 108,010 吨, 累计降幅 40%;  $\text{VOCs}$  从 208558 吨降至 116,571 吨, 累计降幅 45%; 一次  $\text{PM}_{10}$  从 171,630 吨降至 101,216 吨, 累计降幅 41%; 一次  $\text{PM}_{2.5}$  从 77251 吨降至 42,843 吨, 累计降幅 45%;  $\text{NH}_3$  从 16,496 吨降至 10,573 吨, 累计降幅 36%。

#### 4) 大气环境容量

当  $\text{PM}_{2.5}$  浓度达标时(2025 年末)所对应的各污染物的排放量(允许排放量)即为该污染物的环境容量。以 GDP- $\text{PM}_{2.5}$  达标为约束前提下的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、一次  $\text{PM}_{10}$ 、一次  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NH}_3$  的大气环境容量分别为: 34,531 t、79,292 t、84,995 t、73,667 t、31,182 t、7770 t(图 4)。

需要强调的是: 只要各污染物之间的减排比例基本相同, 无论减控力度大小、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度何时达标, 大气环境容量结果是基本一致的。容量只与污染对象、空气质量标准和地区的大气消纳污染物能力有关。

#### 5) 大气环境承载力阈值

经济指标包括 GDP、一产 GDP、二产 GDP、三产 GDP。在情景 S4 下, 当  $\text{PM}_{2.5}$  达标时(2025 年末), 经济承载力指标阈值分别为: (大于或等于)22,655 亿元、462 亿元、6848 亿元、15,344 亿元。

能源指标包括煤炭消费量、石油消费量、天然气消费量、新能源消费量。在情景 S4 下, 当  $\text{PM}_{2.5}$  达标时(2025 年末), 能源承载力指标阈值分别是: (小于或等于)2454 万 t 标煤、165 万 t 标煤、1644 万 t 标煤、1777 万 t 标煤。

累计削减量指标阈值(显性): 以 2014 年为基准, 若保持现有经济、能源结构和环保力度不变, 可预

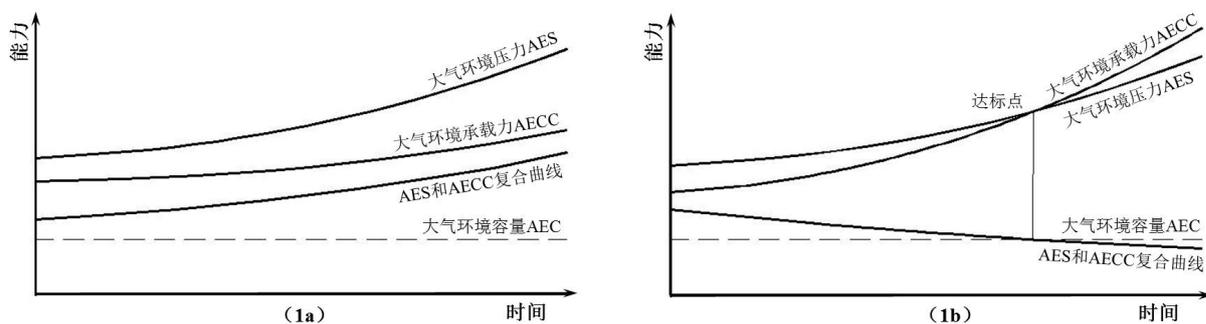


Figure 2. Dialectical map of relationships of AES, AEC and AECC, (a) Polluted air environment, (b) Improved air environment  
图 2. 大气环境压力、承载力、容量动态关系示意图, (a) 大气污染状况, (b) 大气改善状况

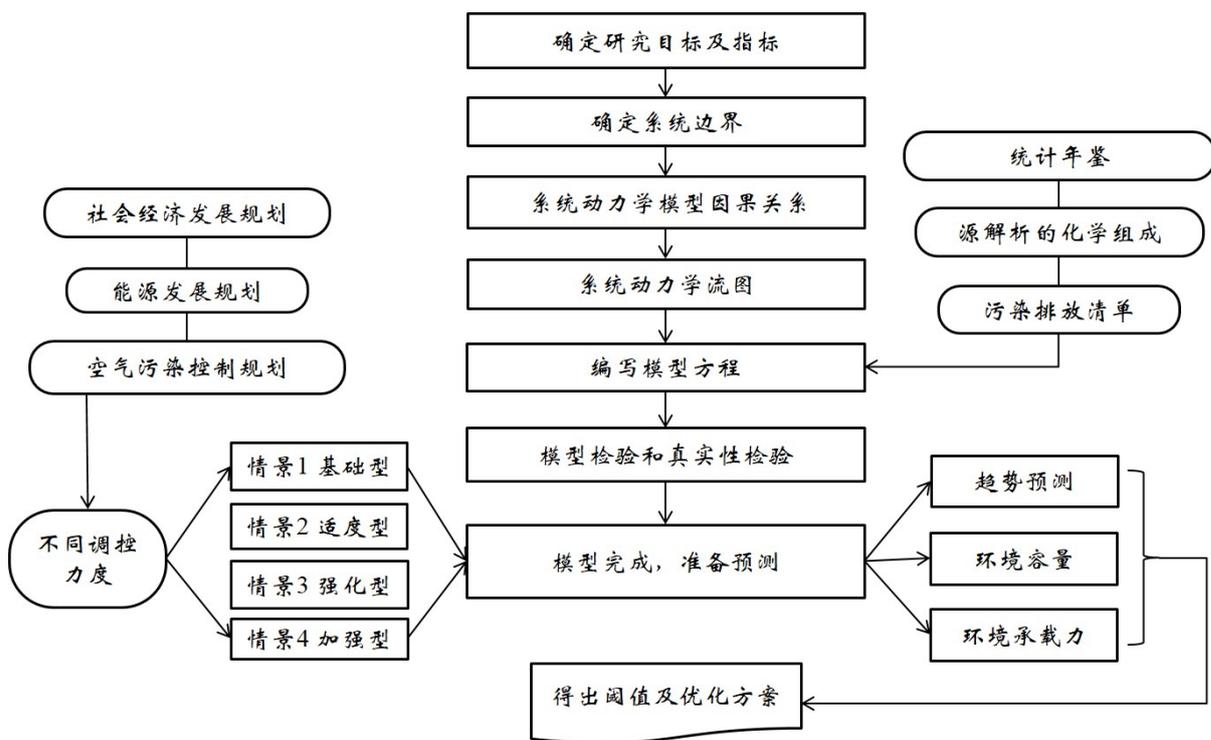


Figure 3. Technology roadmap  
图 3. 技术路线图

计  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、一次  $\text{PM}_{10}$ 、一次  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NH}_3$  到 2025 年末排放量分别为 243,320 t、402,897 t、469,826 t、381,017 t、171,496 t、36,620 t。与环境容量相减之后, 得到累计削减量阈值(累计 11 年), 分别为: 208,789 t、323,605 t、384,831 t、307,350 t、140,314 t、28,850 t; 即需在 2014 年水平上平均每年削减(既减增量, 又减存量)分别为: 18,980 t、29,418 t、34,984 t、27,940 t、12,755 t、2622 t(表 1)。

### 3.3. 讨论

通过系统动力学, 建立的“社会-经济-环境”综合动态模型, 本质上是把环境质量、排放量和社会经济发展规模建立了可量化的直接转换关系。有了这种关系, 就能进行经济-环境的预测, 也能求得环境容量, 以及对应的承载力阈值。

期望利用环境-经济统计数据, 进一步建立各地水体(包括江河与湖泊)和土壤的环境容量、环境承载力模型, 避免复杂的理化模拟, 大处着眼, 分别对区域的水、气、土的环境容量和承载力进行系统化合

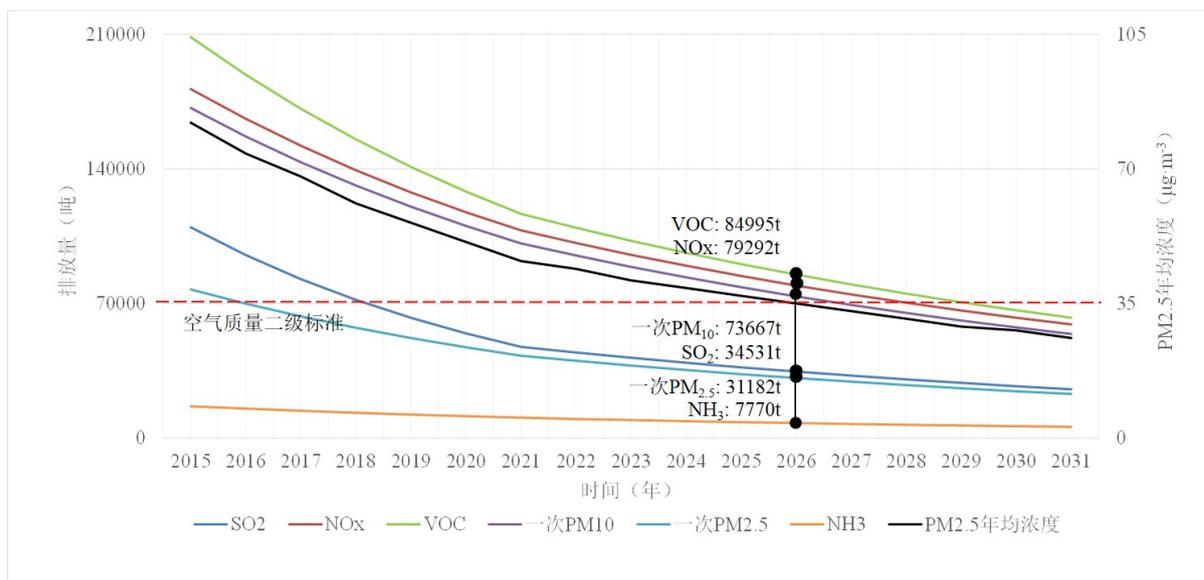


Figure 4. AEC results of 6 air pollutants

图 4. 6 种污染物的大气环境容量

Table 1. Expressive thresholds of AECC

表 1. 大气环境承载力显性阈值

情景	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	VOC	一次 PM <sub>10</sub>	一次 PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
按 2014 水平发展(2025 年末)	243,320	402,897	469,826	381,017	171,496	36,620
S4 加强型(即容量)	34,531	79,292	84,995	73,667	31,182	7770
累计削减量(阈值)	208,789	323,605	384,831	307,350	140,314	28,850
平均每年削减量(阈值)	18,980	29,418	34,984	27,940	12,755	2622

究, 包括实现不同季节、不同水量下水环境容量与承载力动态预测; 还可建立区域的水、气、土保护与经济发展的统一调控预测模型, 填补空白。

在区域环境资源资产负债表的编制与审计中, 可根据环保标准, 利用模型, 确定区域水体、大气、土壤在不同季节、不同时期和年份的合理的环境容量(如: 水体环境容量随季节、水量、本底浓度而变化)。把领导干部某任期内社会 - 经济 - 环境活动状况输入该模型中, 计算出各年向水体、大气、土壤排放的污染量, 若污染量常年连续超出起始期的环境容量, 易导致区域内某一污染物的浓度增加, 最终导致环境容量下降。通过比较不同时间节点的环境容量值, 就可对时间段内“环境退化或增益”程度与损失或增加的价值进行测算。

#### 4. 结论

编制自然资源资产负债表可分为三大体系, 自然资源、生态环境、环境污染, 并逐级展开, 建立相应的指标体系。参考 Costanza 等人和国内学者的资产价值化研究, 把自然资源、生态资产和环境损益货币化, 建立统一的资产账户。

自然资源、生态资产的货币化思路是比较清晰的。而负债表的研究当中, 环境容量和承载力的分析是一个难点。在大数据时代, 可以避免使用复杂的理化模型来计算环境容量或承载力, 而基于区域的环境、社会、经济等宏观统计数据, 以政府宏观发展目标为根据, 借助系统动力学这种白箱模型方法(内部

结构清晰, 且所需数据较少), 建立区域“社会 - 经济 - 环境”的综合系统模型来研究环境容量和承载力问题, 这样可以事半功倍。

## 参考文献 (References)

- [1] 姚霖, 余振国. 自然资源资产负债表基本理论问题管窥[J]. 管理现代化, 2015(2): 121-123.
- [2] 蔡春, 毕铭悦. 关于自然资源资产离任审计的理论思考[J]. 审计研究, 2014,(5): 3-9.
- [3] 黄溶冰, 赵谦. 自然资源资产负债表编制与审计的探讨[J]. 审计研究, 2015(1): 37-43.
- [4] 封志明, 杨艳昭, 李鹏. 从自然资源核算到自然资源资产负债表编制[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(4): 449-456.
- [5] 陈艳利, 弓锐, 赵红云. 自然资源资产负债表编制: 理论基础、关键概念、框架设计[J]. 会计研究, 2015(9): 18-26.
- [6] 沈慧. 自然资源资产负债表编制难在哪[N]. 经济日报, 2014-8-19.
- [7] Costanza, R., d'Arge, R., *et al.* (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, **387**, 253-260. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>
- [8] 周密, 王华东, 张义生. 环境容量[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 1987.
- [9] 胡若琦. 基于系统动力学的水环境承载力及其影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林大学, 2015.
- [10] 汪诚文, 刘仁志, 葛春风. 环境承载力理论研究及其实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
- [11] Furuya, K. (2004) Environmental Carrying Capacity in an Aquaculture Ground of Seaweeds and Shellfish in Sanriku Coast. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, **S1**, 65-69.
- [12] Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.O., Levin, S., Maler, K.G., Perings, C. and Pimentel, D. (1995) Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment. *Ecological Economics*, **15**, 91-95. [http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- [13] Martire, S., Castellani, V. and Sala, S. (2015) Carrying Capacity Assessment of Forest Resources: Enhancing Environmental Sustainability in Energy Production at Local Scale. *Resources, Conservation and Recycling*, **94**, 11-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.002>
- [14] Mondino, E.B., Fabrizio, E. and Chiabrando, R. (2014) A GIS Tool for the Land Carrying Capacity of Large Solar Plants. *Energy Procedia*, **48**, 1576-1585. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.178>
- [15] Saveriades, A. (2000) Establishing the Social Tourism Carrying Capacity for the Tourist Resorts of the East Coast of the Republic of Cyprus. *Tourism Management*, **21**, 147-156. [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177\(99\)00044-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00044-8)
- [16] 曾维华, 王华东, 薛纪渝, 等. 人口、资源与环境协调发展关键问题之一——环境承载力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 1991, 1(2): 33-37.
- [17] 周业晶, 周敬宣, 肖人彬. 以 GDP-PM2.5 为达标约束的东莞大气环境容量及承载力研究[J]. 环境科学学报, 2015.
- [18] 周业晶, 周敬宣, 肖人彬. 系统动力学预测区域减排措施对 GDP 和 PM2.5 的影响[J]. 环境科学与技术, 2016.