

基于多目标决策的流域水系统资源承载力分析

——以浏阳河流域为例

张海斌

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410008)

摘要: 在阐述河流流域水系统承载力的内涵及衡量指标, 分析河流流域水系统承载关系的基础上, 以人口、经济和环境为目标, 以供水量、污染容量以及人口规划和工农业产值规划为约束, 建立了基于多目标决策的流域水系统资源承载力优化模型。以浏阳河为例分析得出, 按照浏阳河流域的可供水量、理论纳污容量和人口、经济发展规划速度, 若以环境优先为前提, 2015年浏阳河水系统资源承载能力满足要求, 若以经济优先为前提, 则基本满足要求; 而无论是以环境优先还是以经济优先为前提, 2020年均会出现水系统资源承载能力无法满足要求的情况。进而提出了浏阳河流域可持续发展管理对策。

关键词: 水系统资源; 承载力; 浏阳河流域; 多目标决策

中图分类号: N945

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2011)03-0015-08

Water resources carrying capacity based on multi-objective decision-making: A Liuyang River basin perspective

ZHANG Hai-bin

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410008, China)

Abstract: While explaining the connotation and the measure indexes of water resources carrying capacity, analyzing the relationship among water system, natural system and society system, aimed at proper population scale, economy development and environment protection along the river basin, this paper set an optimization model for water resources carrying capacity based on the multi-objective decision-making strategy. This paper then analyzes the situation of Liuyang River basin, forecasting that, taking the amount of available water supply, theoretical sewage volume, and economy development plan into consideration, the water resources of Liuyang River basin can meet the need of environmental and economy development up to 2015; while in 2020, the water resources can not meet the demand of environment or economy no matter which is given priority, environmental or economical. The paper then suggests that the policy makers take some measures to ensure the sustainable development of Liuyang River basin.

Key words: water resources; carrying capacity; Liuyang River basin; multi-objective decision-making

一、问题的提出

水资源承载力是一个国家或地区持续发展过程中自然资源承载力的重要组成部分, 它对一个国家或地区综合发展有至关重要的影响。基于不同需求, 不同行业的专家对水资源承载力进行了研究。新疆水资源软科学课题研究组^[1,2], 施雅风、张鑫^[3,4], 许有鹏^[5], 惠泱河^[6], 夏军^[7], 王建华^[8], 张立^[9]等各自提出了对水资源承载力的定义, 迄今为

止, 对水资源承载力概念尚未形成统一的认识, 对其研究仍未形成一个系统的、科学的理论体系。已有研究认为水资源承载力的影响因素大致为水资源系统本身、人类活动和社会意识、承载目标差异,^[10]认为水资源承载力受社会经济、技术及人口和自然生态环境等因素的共同制约, 水资源承载力是动态变化的, 水资源承载力是有限度的。水资源承载力的分析方法主要包括: 供需平衡法、多目标分析法、指标分析法、模糊综合评判方法和主成分分析法。我国关于流域水系统承载力的研究正处于起步阶段, 近几年才成为研究的热点, 大多数是采用宏

收稿日期: 2011-03-03

作者简介: 张海斌(1966—), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 研究方向为系统工程。

观定性或微观定性的研究方法从某一角度和某一功能进行研究,一般对水的量和质的承载力分别进行研究。而从现有文献来看,目前国内外对于流域水资源承载力的研究明显存在一些缺陷与不足:一是流域水资源的系统性研究不足。没有从人与水的大系统进行分析,没有从该系统的整体性进行研究。二是流域承载力定性定量综合分析研究不足。从河流承载力研究的角度来看,当前的研究角度过于单一,没有采取定性定量相结合的方法进行研究。三是水资源承载力研究成果的应用不足。流域承载力研究成果为数不少,但能结合实践,以水资源承载力为基础,为合理配置区域资源、合理调整产业结构和生产布局、科学地制定社会经济发展目标、有效地进行生态环境保护与建设等提供对策的不多。基于此,选取具体河流流域为例,采取定性定量的方法,对其承载力进行系统性的综合分析研究,并根据具体问题提出综合管理对策,这无疑具有重要的学术价值和实践价值。

浏阳河流域包括浏阳、醴陵、长沙三市县及长沙城区。全流域年平均的降水量 1 568.5mm,水资源总量 48.20 亿 m^3 ,地表水资源量 39.41 亿 m^3 ,地下水资源量 8.79 亿 m^3 。在保证率为 50%、75%和 90%时,全流域可利用水资源分别为 14.33 亿 m^3 、15.58 亿 m^3 和 17.58 亿 m^3 。水资源量的特征是时空分布不均,浏阳河流域年平均最大月降水一般出现在五月或六月,占全年降水量的 13%~20%;最小月降水一般出现在十二月,仅占全年降水量的 1.6%~4.0%。据调查统计,2008 年浏阳河流域各水利工程总蓄引水提水量 7.97 亿 m^3 ,此外为工业提供用水 1.27 亿 m^3 ,提供城乡生活用水 0.61 亿 m^3 。

近几年来,浏阳河流域水资源供需矛盾突出,水污染日益严重,流域可持续发展受到制约,因此,研究浏阳河流域水系统的资源承载力具有必要性和紧迫性。笔者拟先建立基于经验模态分解的时间序列预测模型,运用浏阳河历年的实际数据,对浏阳河流域人口规模、经济规模和污染排放值进行预测;并在此基础上,以人口、经济和环境为目标,以供水量、污染容量以及人口规划和工农业产值规划为约束,建立一个多目标决策的流域水系统资源承载力优化模型,对浏阳河流域水资源承载力进行

分析。

二、浏阳河流域水系统承载关系系统分析

浏阳河流域水系统是具有承载流域内自然系统和社会系统水资源以及水环境功能的复杂系统。流域水系统与流域自然系统和流域社会系统相互作用和相互影响,存在明显的控制与反馈作用。浏阳河流域水系统由自然水系统和人工水系统组成。自然水系统由浏阳河自然形成的水流、河道、滩涂和河岸等组成,分为浏阳河流域地表水系统和地下水系统。人工水系统由依托流域自然水条件形成的人工供水和排水设施组成,分为流域生活供排水系统和流域生产供排水系统。浏阳河流域水系统构成如图 1 所示。浏阳河流域水系统为流域自然和社会系统提供资源和环境,主要功能是提供生活生产用水、生态用水和为湘江补充水资源。流域水系统通过大气系统降水获取水源,也向大气系统蒸发水分。降水形成地表径流和地下径流,流域社会系统通过人工供排水系统获取水资源,向自然水系统排入污水。浏阳河流域水系统给流域生态系统提供生态用水,其余的水排入湘江干流系统。

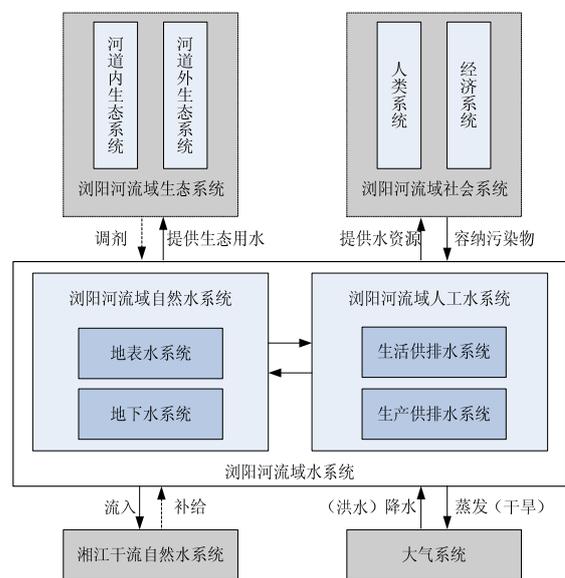


图 1 浏阳河流域水系统承载功能示意图

流域水系统承载力是指流域水系统结构和功能不发生不良变化且不对其他生态系统产生损害的情况下,在一定的经济水平和生产力水平条件下,流域水系统可以供养的人口规模,支撑的经济

规模和接纳的污染物容量。它由环境承载力和资源承载力两部分构成。环境承载力和资源承载力是流域水系统常态下一个问题的两个方面。环境承载力是流域水系统接纳污染物的能力和承受外界环境对其不良改变的能力，包括纳污能力、支持生态能力和洪旱灾害防御能力。资源承载力是浏阳河流域水系统功能正常发挥前提下，能够承载社会经济能力，包括承载的生活需水能力和生产需水能力。因而，研究流域水系统的承载力，需要把水的资源与环境功能结合起来，探讨自然、经济、社会、

环境之间的协调关系，资源结构与经济社会的适配关系，以及需求与资源承载力的平衡关系。一般说来，流域水系统承载力是动态变化的，受流域社会经济、科技及人口和自然生态环境等因素影响，可用一些定量指标度量。主要的环境承载力指标包括纳污容量、安全过洪流量和枯水期生态流量；资源承载力指标包括承载的人口规模和承载的经济规模。纳污能力是流域水系统能承载的最大纳污容量，是在多目标下的理想纳污量。

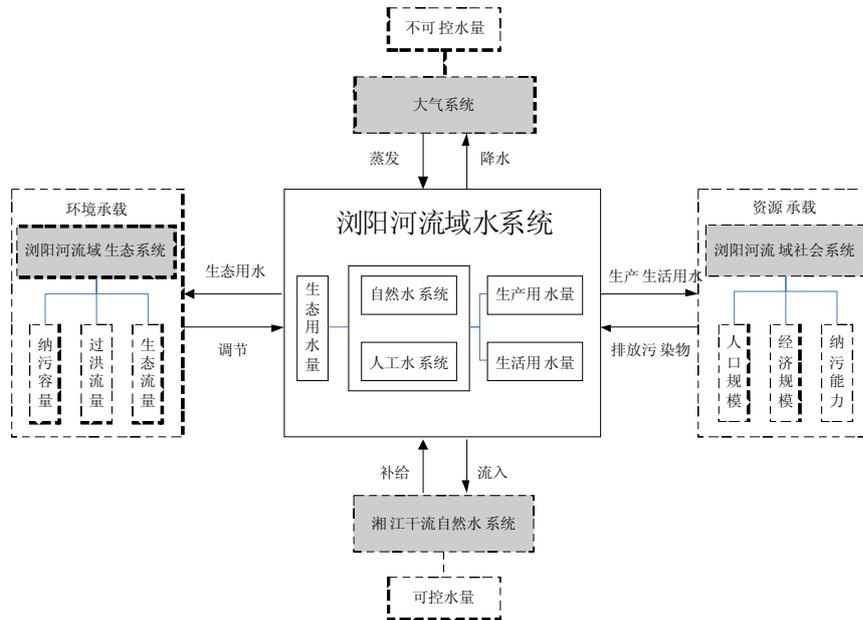


图2 浏阳河流域水系统承载关系图

三、基于多目标决策的流域水系统资源承载力分析方法

1. 流域水系统资源承载力多目标决策模型

根据流域水系统资源承载力的内涵，可选取GDP、人口规模、水环境污染物总量三个指标来分别反映水资源对经济、人口、环境的承载能力，^[11-15]构造如下多目标决策模型：

$$\begin{cases} \max \{G(x) = (g_1(x), g_2(x), g_3(x))\}, \\ s.t. \quad x \in X \end{cases} \quad (1)$$

式中， $x = [x_1, x_2, \dots, x_5]$ ，表示决策变量； x_1 、 x_2 、 x_3 分别为第一、第二、第三产业的用水量， x_4 和 x_5 分别为城镇和农村生活用水量； X 为可行

域； $g_1(x)$ 为经济目标， $g_2(x)$ 为人口目标， $g_3(x)$ 为水环境目标。由此，流域水系统的资源承载力建模就转化成了在一定约束条件下经济目标、人口目标和水环境目标达到最大的多目标决策问题。

(1) 目标函数。具体的目标函数以及约束条件需要通过各产业用水量和生活用水量与GDP、人口规模和水环境污染量直接的关系来构建，包括经济目标函数、人口目标函数和水环境目标函数。

经济目标函数可采用第一、第二和第三产业用水量除以万元产值用水量求得，函数形式如下：

$$g_1(x) = \sum_{i=1}^3 [10^4 \partial_i x_i / \gamma_i] \quad (2)$$

式中， ∂_i 为用水公平系数； γ_1 、 γ_2 、 γ_3 为第一、第二和第三产业万元产值用水定额； $g_1(x)$ 为总

产值。

人口目标函数可采用城镇、农村居民年用水量除以用水定额求得,函数形式如下:

$$g_2(x) = \sum_{i=4}^5 [10^7 \partial_i x_i / (365 \gamma_i)] \quad (3)$$

式中, γ_4 和 γ_5 为城镇和农村居民生活需水定额, $g_2(x)$ 为人口目标。

水环境目标函数可采用污染物排放量求得,函数形式如下:

$$g_3(x) = \sum_{i=1}^5 0.01 d_i P_i x_i \quad (4)$$

式中, d_i 为单位废水排放量中重要污染因子的含量; P_i 为污水排放系数; $g_3(x)$ 为污染物排放总量。

(2) 约束条件。影响目标函数最大值的约束因素有可供水量、国民经济发展规划速度、人口发展规划速度和理论纳污容量等。

可供水量约束:

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq W_{\max} \quad (5)$$

式中 W_{\max} 为规划水平年最大可供水量。

国民经济约束:

$$E_{i\min} \leq 10^4 \partial_i x_i / \gamma_i \leq E_{i\max} \quad (6)$$

式中, $E_{i\min}$ 、 $E_{i\max}$ 为规划水平年第一、第二、第三产业的最小、最大产值。

人口约束:

$$P_{i\min} \leq 10^7 \partial_i x_i / \gamma_i \leq P_{i\max} \quad (7)$$

式中, $P_{i\min}$ 、 $P_{i\max}$ 为规划水平年城镇和农村的最小、最大人口值。

纳污容量约束:

$$\sum_{i=1}^5 0.01 d_i P_i x_i \leq R_{\max} \quad (8)$$

式中, R_{\max} 为规划水平年水体所能容纳的某种污染物最大容量。

(3) 参数确定。一是用户用水公平系数。根据用户的性质和重要性,确定各用户得到供水的次序,依下式可得用水公平系数:

$$\partial_i = \frac{l + n_{\max} - n_i}{\sum_{i=1}^5 (l + n_{\max} - n_i)} \quad (9)$$

式中, n_i 为 i 用户的供水次序, n_{\max} 为用户的供水次序最大值。

二是用水定额 γ_i 。根据历年的用水定额统计情况,结合社会发展及供水现状,考虑到规划水平年节水措施的完善,水利工程的规划,涉水法律的健全以及供水管网漏损率等因素的影响来制定各用水部门的用水定额。

2. 基于目标规划法的模型求解方法

多目标决策问题的理想解法是满足多目标问题中的每个目标函数都有一个严格确定的理想目标。但是,在实际决策过程中,决策者往往愿意让每个目标达到期望值。多目标规划的任务就是寻找某个可行解,使得这些目标函数的期望值最好地、最小误差地得以实现。准确地说,目标规划的决策规则可表达为“给定目标函数的权和优先级,选择一个可行方案,使得它的目标函数值距离相应期望值 \hat{g}_j 的组合偏差极小”。^[11,12]

因此,(1)式的多目标问题可转换为如下单维优化问题:

$$\begin{cases} \min \{d = \sum_{j=1}^3 w_j |\hat{g}_j - g_j(x)|\}, \\ \text{s.t. } x \in X \end{cases} \quad (10)$$

式中, w_j 为第 j 个目标对应的优先级权重, $|\hat{g}_j - g_j(x)|$ 为目标函数值与相应期望值之间的距离。

由于这里所有的目标函数和约束条件都是线性的,设每个目标函数为:

$$g_j(x) = \sum_{j=1}^3 C_{ji} x_i \quad (11)$$

每个约束函数为:

$$h_j(x) = \sum_{i=1}^5 A_{ij} x_i \quad (12)$$

约束集 X 为:

$$X = \{x | Ax \leq (\text{或} \geq, =) b, x \geq 0\} \quad (13)$$

为了能够采用线性规划来求解(10)式中的多目标问题,引入偏差变量 d_j^+ 和 d_j^- ,且令:

$$\begin{cases} d_j^+ = \{\hat{g}_j - g_j(x) - [\hat{g}_j - g_j(x)]\} \\ d_j^- = \{\hat{g}_j - g_j(x) + [\hat{g}_j - g_j(x)]\} \end{cases} \quad (14)$$

于是,(10)式可转换为

$$\begin{cases} \min \{\sum_{j=1}^3 w_j (d_j^+ + d_j^-)\} \\ g_j(x) - d_j^+ + d_j^- = \hat{g}_j \\ \text{s.t. } Ax \leq (\text{或} \geq, =) b \\ d_j^+ \cdot d_j^- = 0 \\ x \geq 0, d_j^+ \geq 0, d_j^- \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

因为有约束 $d_j^+ \cdot d_j^- = 0$ ，所以它不完全是线性规划问题。但是只要在选择基变量时，不使 d_j^+ 和 d_j^- 同时成为基变量，则可用单纯形法求解。

在实际的求解过程中，有些目标的实现是另一些目标实现的前提，即决策者在达到某些目标之后才考虑次要的目标。这就要求把目标按重要性重新排列起来，先满足最重要的一个目标，即在不考虑其他目标的前提下，求出这个目标的最优值。再在不破坏这个目标最优值为前提，考虑次要目标。这样逐步求解下去，直到考虑到所有目标。为此，引入目标优先等级概念，并用 P_k 来表示目标的第 k 个优先级别。

优先等级因子 $P_k (k=1,2,\dots,l)$ 有双重含义。一方面，它仅仅是一种符号。若某个偏差变量 d_i^- 列为最重要目标，就记为 $P_1 d_i^-$ 。若偏差变量 d_j^+ 列为第二级重要目标，就记为 $P_2 d_j^+$ ，如此等等。若 d_j^+ 和 d_i^- 同时列为 P_k 级目标则记为 $P_k (d_j^+ + d_i^-)$ 。另一方面，把 P_k 理解为一种特殊的权因子，且有 $P_k \gg P_{k-1}$ 。

引入优先等级因子后，基于目标规划法的多目标决策就是寻找规定了优先级和权系数的目标规划模型的最优化求解。

根据上面的结论，可以得到如下标准的最优化决策模型。

$$\begin{cases} \min \{ \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^l P_k w_{jk} (d_{jk}^+ + d_{jk}^-) \} \\ g_j(x) - d_j^+ + d_j^- = \hat{g}_j \\ Ax \leq (\text{或} \geq, =) b \\ \text{s.t.} \\ d_j^+ \cdot d_j^- = 0 \\ x \geq 0, d_j^+ \geq 0, d_j^- \geq 0 \end{cases} \quad (16)$$

四、浏阳河水系统资源承载能力优化模型及其计算

在研究浏阳河水系统资源承载力时，需要把流域水系统环境承载力作为环境条件对待，具体分析水系统的纳污容量。本文选用河流一维水质模型对浏阳河流域按区段计算纳污容量（表1）。

表1 浏阳河流域各功能区环境纳污容量计算结果

一级功能区	二级功能区	长度/ 公里	环境容量		现状排污量		削减量	
			COD	氨氮	COD	氨氮	COD	氨氮
浏阳源头水保护区	/	38.1	/	/	/	/	/	/
浏阳保留区	/	46.8	/	/	/	/	/	/
小溪河浏阳源头水保护区	/	108	/	/	/	/	/	/
浏阳开发利用区	浏阳双江口饮用水源区	3.6	/	/	/	/	/	/
	浏阳城关镇工业用水区	9.4	1 054.9	43.7	2 100	70	1 045.1	26.3
浏阳—长沙保留区	/	94.7	10 809.4	394.7	/	/	/	/
长沙开发利用区	黄兴镇—奎塘河口工农业用水区	14.3	4 191.3	185.8	1 930	120	0	0
	奎塘河口—三角洲排污控制区	15.1	5 178.0	207.2	3 680	960	0	752.8
合计			21 233.6	831.4	7 710	1 150	1 045.1	779.1

由上表可知，浏阳河流域 COD 理想环境容量为 21 233.6 吨/年，氨氮为 831.4 吨/年。根据现状，浏阳城关镇工业用水区需削减 COD 量为 1 045.1 吨，氨氮 26.3 吨，圭塘河口—三角洲排污控制区需削减氨氮 752.8 吨。

1. 人口规模和产业发展预测

根据浏阳河流域人口规模和产业发展历史资料，本文采用 SPSS 软件的 Time Series 进行预测和区间估计，分析预测浏阳河流域 2015、2020 年人

口和产业规模，并采用 exponential 曲线模型进行估计，选取其中拟合得较好的作为预测结果。

(1) 人口规模。由拟合结果可知，exponential(指数)函数曲线与实际观测值符合得较好(其 R^2 统计量为 0.991)，因此在做人口总量趋势分析的时候，采用 exponential(指数)函数进行回归分析，其具体模型为：

$$Y=138.28e^{0.03x}$$

式中，Y 代表人口总量，x 代表年份。

根据拟合曲线(图3),2015年流域内人口预测值为147.32万人,2020年为149.48万人。

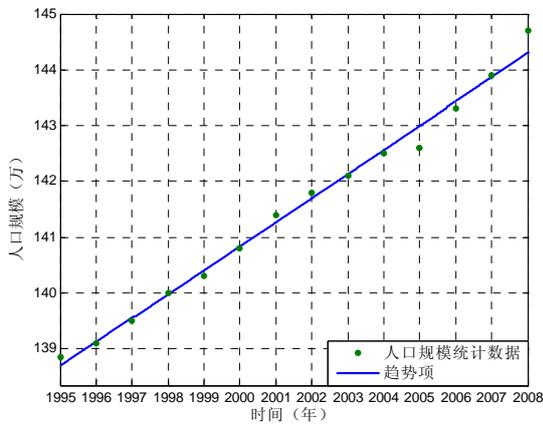


图3 浏阳河流域人口规模统计数据及趋势项拟合

(2) 产业规模。第一产业产值预测:由拟合结果可知,exponential(指数)函数曲线与实际观测值符合得较好(其R²统计量为0.928),因此在做第一产业产值趋势分析的时候,可以采用exponential(指数)函数进行回归分析,其具体模型为:

$$Y=1.44 \times 10^5 e^{0.073x}$$

式中,Y代表第一产业产值,x代表年份。根据拟合曲线(图4),2015年流域内第一产业产值预测值为675 535.54万元,2020年为975 423.97万元。

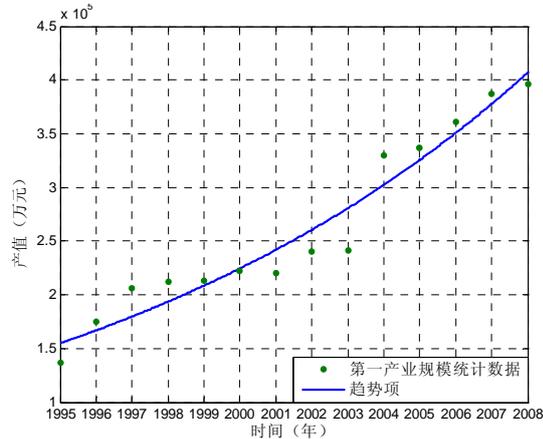


图4 浏阳河流域第一产业发展规模及趋势项拟合

第二产业产值预测:由拟合结果可知,exponential(指数)函数曲线与实际观测值符合得较好(其R²统计量为0.948),因此在做第二产业产值趋势分析的时候,可以采用exponential(指数)函数进行回归分析,其具体模型为:

$$Y=1.928 \times 10^5 e^{0.163x}$$

式中,Y代表人口总量,x代表年份。根据拟合

曲线(图5),2015年流域内第二产业产值预测值为5 962 450.35万元,2020年为13 498 150.89万元。

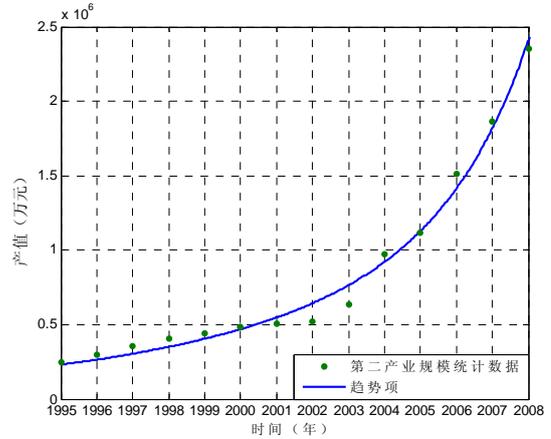


图5 浏阳河流域第二产业发展规模及趋势项拟合

第三产业产值预测:由拟合结果可知,exponential(指数)函数曲线与实际观测值符合得较好(其R²统计量为0.985),因此在做第三产业产值趋势分析的时候,可以采用exponential(指数)函数进行回归分析,其具体模型为:

$$Y=8.982 \times 10^4 e^{0.169x}$$

式中,Y代表人口总量,x代表年份。根据拟合曲线(图6),2015年流域内第三产业产值预测值为3 128 509.39万元,2020年为7 285 698.80万元。

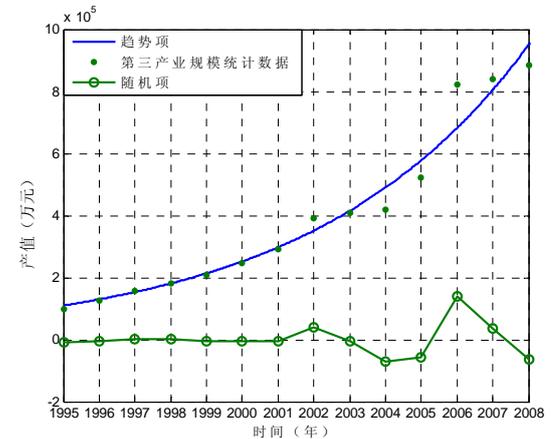


图6 浏阳河流域第三产业发展规模及时间序列分解

2. 浏阳河流域水系统资源承载力优化模型

(1) 最优化模型

根据对各目标的偏好程度不同,浏阳河流域水系统承载力最优化模型可划分为经济优先型模型和环境优先型模型。基于浏阳河流域不同规划水平年人口、经济、水环境纳污量、生态需水量以及可供水量的预测成果,笔者为各目标分配不同权重,

求解模型。

经济优先型最优化模型：将经济目标设为第一优先级，环境目标设为第二优先级，人口目标设为第三优先级，则可得如下最优化模型。

$$\begin{cases} \min\{p_1d_1^+ + p_2d_3^+ + p_3d_2^+\} \\ \sum_{i=1}^3 [10^4 \partial_i x_i / \gamma_i] - d_1^+ + d_1^- = \hat{g}_1 \\ \sum_{i=4}^5 [10^7 \partial_i x_i / (365\gamma_i)] - d_2^+ + d_2^- = \hat{g}_2 \\ \sum_{i=1}^5 0.01d_i P_i x_i - d_3^+ + d_3^- = \hat{g}_3 \\ \sum_{i=1}^5 x_i \leq W_{\max} \\ s.t. \quad E_{i\min} \leq 10^4 \partial_i x_i / \gamma_i \leq E_{i\max} \\ P_{i\min} \leq 10^7 \partial_i x_i / \gamma_i \leq P_{i\max} \\ \sum_{i=1}^5 0.01d_i P_i x_i \leq R_{\max} \\ d_j^+ \cdot d_j^- = 0 \\ x_i \geq 0, d_j^+ \geq 0, d_j^- \geq 0 \end{cases} \quad (17)$$

环境优先型最优化模型：将环境目标设为第一优先级，经济目标设为第二优先级，人口目标设为第三优先级，则可得如下最优化模型。

$$\begin{cases} \min\{p_1d_3^+ + p_2d_1^+ + p_3d_2^+\} \\ \sum_{i=1}^3 [10^4 \partial_i x_i / \gamma_i] - d_1^+ + d_1^- = \hat{g}_1 \\ \sum_{i=4}^5 [10^7 \partial_i x_i / (365\gamma_i)] - d_2^+ + d_2^- = \hat{g}_2 \\ \sum_{i=1}^5 0.01d_i P_i x_i - d_3^+ + d_3^- = \hat{g}_3 \\ \sum_{i=1}^5 x_i \leq W_{\max} \\ s.t. \quad E_{i\min} \leq 10^4 \partial_i x_i / \gamma_i \leq E_{i\max} \\ P_{i\min} \leq 10^7 \partial_i x_i / \gamma_i \leq P_{i\max} \\ \sum_{i=1}^5 0.01d_i P_i x_i \leq R_{\max} \\ d_j^+ \cdot d_j^- = 0 \\ x_i \geq 0, d_j^+ \geq 0, d_j^- \geq 0 \end{cases} \quad (18)$$

求解上述模型，最关键的是给出模型中的各项参数(表4)。浏阳河流域总水量的75%可作为水量的上限。浏阳河流域水系统污染的主要指标为COD，因此，将COD标准浓度(21 233.6吨/年)作为

表4 浏阳河流域人口、经济发展规模及上下限

年份	项目	人口	第一产业		第二产业		第三产业		GDP	
			初值	矫正值	初值	矫正值	初值	矫正值	初值	矫正值
2015	上限	148.15	694 713.95	6 017 309.47	4 613 644.49	3 069 508.85	1 735 277.83	9 781 532.27	7 043 636.27	
	预测值	147.41	691 257.66	5 987 372.61	4 590 691.03	3 054 237.66	1 726 644.61	9 732 867.93	7 008 593.30	
	下限	146.67	687 801.37	5 957 435.75	4 567 737.57	3 038 966.47	1 718 011.39	9 684 203.59	6 973 550.33	
2020	上限	150.11	1 002 591.85	13 398 384.17	7 430 320.58	7 010 781.24	2 794 682.30	21 411 757.26	11 227 594.73	
	预测值	149.36	997 603.83	13 331 725.54	7 393 353.81	6 975 901.73	2 780 778.41	2 130 5231.10	11 171 736.05	
	下限	148.61	992 615.81	13 265 066.91	7 356 387.04	6 941 022.22	2 766 874.52	2 119 8704.94	11 115 877.37	

注：人口和第一产业的矫正值与初值一样

污染上限。根据预测出的目标年的人口和经济规模，结合国家发展政策确定的期望值，将人口、各产业产值上下浮动0.5%，作为产业和人口发展的高、低增长模式的上下限。然后，根据国家经济发展要求，浏阳河流域GDP年增长速率应限制在10%的水平，人口年增长速率应限制在1%的水平。这样，可得到矫正的期望值及上下限。

(2) 计算结果

1) 经济优先。2015年：根据优化结果，第一级、第二级目标完成，仅第三级目标出现了偏差，优化解 g_1, g_2, g_3 分别为7 018 433.28万元，150.9万人，21 134.7吨。2020年：根据优化结果，第一

级目标完成，第二级、第三级目标出现了偏差，优化解 g_1, g_2, g_3 分别为11 190 537.58万元，155.7万人，21 311.4吨。

2) 环境优先。2015年：根据优化结果，第一级、第二级、第三级目标均可完成，优化解 g_1, g_2, g_3 分别为7 009 473.15万元，147.7万人，21 084.1吨。2020年：根据优化结果，第一级、第二级目标完成，仅第三级目标出现了偏差，优化解 g_1, g_2, g_3 分别为11 169 471.28万元，153.2万人，21 201.9吨。

从上述分析可知道：按照浏阳河流域的可供水量、理论纳污容量和人口、经济发展规划速度，若以环境优先为前提，2015年浏阳河水系统资源承载

能力满足要求,若以经济优先为前提,则基本满足要求;而无论是以环境优先还是以经济优先为前提,2020年均会出现水系统资源承载能力无法满足要求的情况。

五、结论和建议

本文以人口、经济和环境为目标,以供水量、污染容量以及人口规划和工农业产值规划为约束,建立了基于多目标决策的流域水系统资源承载力优化模型,研究表明:按照浏阳河流域的人口和经济发展规模,短期内浏阳河水系统资源承载能力尚满足要求,而从较长时期看,浏阳河流域的发展将面临严峻的水环境约束。因此,笔者认为要实现浏阳河流域可持续发展,应加强流域水量水质和地表地下水统一管理,理顺浏阳河流域水系统管理体制,强化浏阳河流域排污管理等对策。

一是确立浏阳河流域管理目标。浏阳河流域管理总体目标应确立为:浏阳河流域水系统的承载基础结构和功能完整,承载约束条件优化,承载机理更加科学,承载对象的需求合理,承载政策、科技和法律氛围良好,总承载率和单位承载率最优。具体目标是使得浏阳河流域水系统良性运行、所承载的社会系统正常运转以及浏阳河流域生态系统良好保持;要把人放在首位,确保人的饮用水安全;要达到承载力与经济社会相适配,一定要做好承载力建设整体规划,并根据情况的变化适时调整有关参数。^[14]

二是加强浏阳河流域水量水质和地表地下水统一管理。由于水源的污染日趋严重,可用水量逐渐减少,有关部门在制定供水规划和用水计划时,应统一考虑水量和水质,规定污水排放标准和制定切实的水源保护措施;地表水和地下水是水资源的两个组成部分,存在互相补给、互相转化的关系,开发利用任一部分都会引起水资源量的时空再分配,充分利用水的流动性质和储存条件,联合调度地表水和地下水,可以提高水资源的利用率。^[10]

三是理顺浏阳河流域水系统管理体制。加强流域统一管理和城乡水务一体化管理,真正形成“一龙管水,多龙治水”的格局。浏阳河流域要实现流域与区域管理相结合的管理体制,成立长沙市浏阳河水资源管理委员会,授予流域管理机构的行政

管理权和日常管理的自主权。委员会在水资源统一管理上具有权威,在水资源的规划、开发、配置、利用、水环境和水工程保护、水事纠纷执法监督等方面发挥权威性作用。在浏阳河流域不同的功能区实现分类管理办法,特别是要调整需水结构。

四是健全浏阳河流域排污管理法规体系,强化流域排污管理。按新水法中水资源管理体制之规定,实行流域管理与行政区域管理相结合的管理体制,具体包括:在入河排污口设置、变更的审批上,应明确区域管理服从于流域管理;入河排污口的监督管理权限应坚持以流域统一指导协调下的属地管理原则。建立水污染突发事件应对机制,强化水环境危机意识,健全水环境事件处理组织体系。

参考文献:

- [1] 新疆水资源软科学课题组. 新疆水资源及其承载力的开发战略对策[J]. 水利水电技术, 1989(6): 2-9.
- [2] 陈冰. 柴达木盆地水资源承载方案系统分析[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 16-21.
- [3] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [4] 张鑫, 王正兴. 区域地下水资源承载力综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 24-27.
- [5] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229-237.
- [6] 惠洪河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 30-34.
- [7] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.
- [8] 王建华, 江东. 水资源承载力的概念与理论[J]. 甘肃科学学报, 1999, 11(2): 1-4.
- [9] 张立. 初探珠江流域水资源承载能力及其制约[J]. 水利发展研究, 2002, 11(2): 33-34.
- [10] 周维博. 河西走廊灌溉农业发展的水资源承载能力分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 564-570.
- [11] D I Carey. Development based on carrying capacity[J]. Global Environmental Change, 1993, 3(2): 140-148.
- [12] 竺乾威. Selected classic Readings of public Administration(英文版)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [13] 肖重华, 李鹏. 哈密市水资源承载能力及其供水对策[J]. 新疆水利, 1996, 5(4): 34-37.
- [14] 朱一中, 夏军, 王纲胜. 张掖地区水资源承载力多目标情景决策[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 732-740.
- [15] 徐中民. 情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 99-107.

责任编辑: 李东辉

