

文章编号: 1000-5641(2019)01-0136-08

用水效率目标约束下的省市用水差异 及分区对策探讨

廖瑜欣, 张 勇, 古润竹

(华东师范大学 生态与环境科学学院, 上海 200241)

摘要: 随着节水型社会建设和最严格水资源管理的提出, 各地用水受到更明确、更严格的控制. 为量化目标控制对区域用水的约束影响, 提出了水资源目标约束强度概念, 探索性地对水资源目标约束的进行量化分析, 计算中国大陆31个省级行政区的工、农业用水效率目标约束强度及差异性, 通过情境分析综合考虑工、农业用水领域目标约束情况, 得到工农强控、农业主控、工业主控等七种类型地区, 针对不同类型地区提出优化水资源管理的对策建议.

关键词: 最严格水资源管理; 目标约束强度; 用水效率; 情境分析; 分区探讨

中图分类号: X321 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2019.01.015

Spatial difference and discussion of water-use efficiency in China under objective constraint

LIAO Yu-xin, ZHANG Yong, GU Run-zhu

(School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal
University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The proposal of the Water Saving Society (WSS) and the strictest water resource management system introduced clearer and stricter requirements for water use in China. To calculate the constraint of the set objectives on water use, this study defined Objective Constraint Strength (OCS) for water regulation, and further compared OCS of agricultural and industrial water-use efficiency for 31 provincial regions in China. The study also carried out scenario analysis on seven different types of areas and proposed advice on WSS construction.

Keywords: strictest water resources management system; objective constraint strength; water-use efficiency; scenario analysis; regional division discussion

收稿日期: 2017-09-27

基金项目: 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 (11JZD024); 上海市科学技术委员会科研计划项目 (15dz1208102)

第一作者: 廖瑜欣, 女, 硕士研究生, 研究方向为环境规划与管理. E-mail: lyx110@yeah.net.

通信作者: 张 勇, 男, 副教授, 研究方向为环境规划与管理. E-mail: xtce10102@vip.sina.com.

0 引 言

用水效率控制是国家最严格水资源管理制度和节水型社会建设的重要考核目标. 2007年发布的《节水型社会建设“十一五”规划》以万元GDP用水量、农田灌溉水有效利用系数和万元工业增加值用水量作为节水型社会建设中用水效率的考核指标; 2011年中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》中要求建立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”, 用水效率控制为水利改革发展的重点; 2013年国务院办公厅印发的《实行最严格水资源管理制度考核办法》中, 分别对中国大陆31个省级行政区2015、2020和2030年万元工业增加值用水量和农田灌溉水有效利用系数设置了具体目标, 对工、农业用水效率提出了更明确的控制目标.

在最严格水资源管理制度考核目标推动下, 大量针对用水效率空间差异的研究得以开展, 对农业用水中粮食生产用水效率差异^[1-2]、区域整体农业用水效率的空间探讨^[3-4], 通过综合评价指标或模型对区域工业用水效率的评价分析^[5-7]. 相关研究分区探讨大多基于行政地理区划进行区域划分^[2-4,6], 或通过聚类分析分出不同类型^[5,7], 但针对最严格水资源管理制度目标考核约束的研究大多围绕污染总量控制目标展开, 结合水资源承载力^[8]、水环境功能区划^[9-10]、污染物排放削减目标^[11]和环境基尼系数^[12]等, 区域污染物排放量进行合理分配, 对考核目标约束本身及其空间差异研究相对较少.

为量化最严格水资源管理制度目标考核对当地用水的约束强度, 本文提出水资源目标约束强度概念, 探讨水资源指标的目标设置下, 区域用水约束强弱的空间差异. 围绕用水效率控制目标, 计算了中国大陆31个省级行政区工、农业用水效率的目标约束强度, 通过情境分析综合考虑两种不同用水领域效率约束情况, 划分出不同类型地区并提出相应指导建议.

1 研究方法和数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 目标约束强度定义和计算

在最严格水资源管理制度目标考核约束下, 本文提出水资源目标约束强度概念, 定义水资源目标约束强度为最严格水资源管理制度目标考核中约束指标(以下简称“水资源指标”)目标与现状差距的量化指标. 为展开空间对比探讨, 对不同地区水资源指标目标与现状之差进行标准化, 再与中国大陆整体水平对比, 计算得到具体的目标约束强度数值. 认为目标约束强度数值越大, 则最严格水资源管理制度目标考核对当地实际用水约束越强, 该地区在该用水领域应提高用水控制力度, 以达到水资源规划目标要求.

水资源指标通常可分为正向和负向指标(见表1)^[7,13], 由于正、负向指标目标设置不同, 分别对两种指标定义目标约束强度计算公式.

表 1 水资源指标说明和目标设置
Tab. 1 Explanation of indicators and objectives

指标属性	说明	目标设置	公式	用水指标实例
正向	值越大, 完成情况越好	目标值一般高于现状值	公式(1)	农田灌溉水有效利用系数, 用水总量
负向	值越小, 完成情况越好	目标值一般低于现状值	公式(2)	万元GDP用水量, 万元工业增加值用水量

$$D_{ij} = \frac{\frac{G_{ij} - P_{ij}}{P_{ij}} \times S_{ij}}{\frac{G_{nj} - P_{nj}}{P_{nj}} \times S_{nj}}, \quad (1)$$

$$D_{ij} = \frac{\frac{P_{ij} - G_{ij}}{P_{ij}} \times S_{ij}}{\frac{G_{nj} - G_{nj}}{P_{nj}} \times S_{nj}}, \quad (2)$$

式中, i 表示地区, n 为全国, j 表示指标. D_{ij} 为 i 地区 j 指标的目标约束强度; G_{ij} 为 i 地区 j 指标目标; P_{ij} 为 i 地区 j 指标现状; S_{ij} 为 i 地区 j 指标所涉及用水领域的用水量占当地用水总量比例 (如若 j 指标为农田灌溉水有效利用系数, 则 S_{ij} 表示农业用水占比). 根据计算结果, 将目标约束强度 D_{ij} 分为较强、中等和较弱 3 个等级 (见表 2).

表 2 目标约束强度分级说明

Tab. 2 Explanation of objective constraint strength (OCS) rating

序号	目标约束强度计算结果	说明	分级
1	$D_{ij} > 1.0$	i 地区 j 指标的目标约束强度高于全国整体水平	较强
2	$0.5 \leq D_{ij} \leq 1.0$	i 地区 j 指标的目标约束虽低于全国整体水平, 但高于全国整体水平的一半	中等
3	$D_{ij} < 0.5$	i 地区 j 指标的目标约束强度低于全国整体水平的一半	较弱

1.1.2 目标约束强度在工、农业用水效率中的应用及分区探讨

目标约束强度的计算, 以我国省级行政区为单位, 分别选取农田灌溉水有效利用系数和万元工业增加值用水量, 对中国 31 个省级行政区 (台湾、香港和澳门除外) 的工、农业用水效率进行分析. 其中, 农田灌溉水有效利用系数为正向指标, 选取公式 (1) 计算目标约束强度; 万元工业增加值用水量为负向指标, 选取公式 (2) 计算目标约束强度.

根据计算结果, 将工、农业用水效率目标约束强度按较强、中等和较弱 3 个水平进行两两组合成 9 种情境进行探讨, 并根据不同类型提出相应指导建议. 本文所有分析探讨均建立在各地政府规划文件及统计年鉴数据能客观反映当地实际情况的基础上进行.

1.2 数据来源

考虑数据的可得性, 目标约束强度计算公式中, 用水指标目标 D_{ij} 和现状 P_{ij} , 主要取自各省级行政区政府部门出台的“十二五”及“十三五”水利发展规划、节水型社会建设“十三五”规划、实行最严格水资源管理制度“十三五”工作方案、“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动方案等规划文件, 部分地区由于相关规划文件中暂无相应数据, 数据取自当地 2015 年水资源公报和其他政府公告; 行业用水占比 S_{ij} 为当地 2015 年用水量, 数据取自当地 2015 年水资源公报和《中国统计年鉴》.

由于各省级行政区公布的万元工业增加值用水量包括火电工业用水, 其中含有大量的工业冷却水和循环用水, 故部分地区的工业用水效率计算结果可能与实际情况存在一定偏差.

2 目标约束强度计算分析

2.1 计算结果

计算得到 31 个省级行政区工、农业用水效率的目标约束强度, 结果见表 3. 由于部分省市相关政府公告或水资源公报中未公布相关数据, 本节对吉林的农业用水效率, 新疆和西藏的工业用水效率不作讨论.

表 3 中国各省级行政区工、农业用水效率目标约束强度

Tab. 3 Objective constraint strength (OCS) of agricultural and industrial water-use efficiency for various provincial regions in China

省级行政区	工业用水效率目标 约束强度 $D_{i工}$	农业用水效率目标 约束强度 $D_{i农}$	省级行政区	工业用水效率目标 约束强度 $D_{i工}$	农业用水效率目标 约束强度 $D_{i农}$
北京	0.58	0.45	天津	0.59	1.74
河北	0.69	0.25	山西	0.30	1.08
内蒙古	0.46	0.58	辽宁	0.52	0.22
吉林	0.91	—	黑龙江	0.35	−0.14*
上海	0.64	0.04	江苏	0.46	0.42
浙江	1.13	0.56	安徽	1.61	0.51
福建	2.47	0.69	江西	1.34	1.13
山东	0.32	0.67	河南	1.35	0.44
湖北	2.12	1.18	湖南	1.51	2.46
广东	0.98	1.00	广西	0.97	2.38
海南	0.32	0.44	重庆	2.78	0.67
四川	0.85	1.84	贵州	0.32	1.59
云南	1.05	7.25	西藏	—	3.60
陕西	0.06	1.08	甘肃	0.44	1.84
青海	0.46	0.53	宁夏	0.22	2.54
新疆	—	4.26	全国(标准)	1.00	1.00

注: 黑龙江农田灌溉水有效利用系数“十三五”规划目标低于“十二五”未达到值, 因此黑龙江农业用水效率目标约束强度为负值

2.2 目标约束强度分析

制定用水效率目标时, 除用水效率现状值外, 还需考虑当地经济社会发展用水需求、生态用水需求、节水技术水平等多方面因素, 用水效率的目标制定属复合型问题. 本文着眼于目标对区域用水的影响情况, 故本节仅针对用水效率现状与用水效率目标约束强度的相关关系展开分析和讨论. 通过空间对比发现, 工、农业用水效率目标约束强度较大地区具有较明显的空间聚集分布特征, 目标约束强度较小地区一般在对应用水领域的用水效率较高.

农业用水效率方面(见图 1), 目标约束强度大于 1.0 的省市共有 14 个, 主要集中在西南、西北和华中地区. 其中, 云南省目标约束强度最高且远高于其他省市, 通过分析发现主要是由于云南省目标设置较高, 现状差值高达 0.1(全国为 0.018), 且农业用水占比也较高(2015 年为 69.69%), 使得云南省农业用水效率目标约束强度远高于其他省市. 其次, 目标约束强度在 2.0~7.0 之间的省市有 5 个, 主要由于农业用水占比高, 贡献了较高的目标约束强度, 其中新疆、宁夏和西藏的 2015 年农业用水占比分别为 94.66%, 90.5% 和 88.31%. 另外, 7 个省市目标约束强度小于 0.5, 这些省市农业用水效率均较高, “十二五”末农田灌溉水有效利用系数均高于全国整体水平(0.532).

工业用水效率方面(见图 2), 目标约束强度大于 1.0 的省市共有 9 个, 主要集中在华东、华中和西南地区. 其中, 重庆、福建和湖北强度在 2.0 以上, 结合当地情况来看, 三省市的工业用水效率目标设置和工业用水占比均较高, 因此目标约束强度较大. 另外, 有 11 个省市目标约束强度小于 0.5, 其中除甘肃、海南、贵州外, 其余各省市工业用水效率现状均较高, “十二五”末万元工业增加值用水量均低于全国整体水平(58.3 m³); 而甘肃和海南主要是由于工业用水占比不大,

3 情境分析及分区对策探讨

为对同一地区工、农业用水效率目标约束情况展开综合探讨, 将工、农业用水效率目标约束强度在较强、中等和较弱 3 个水平 (即 $D_{ij} > 1.0$, $0.5 \leq D_{ij} \leq 1.0$ 和 $D_{ij} < 0.5$) 进行两两组合 (见表 4), 得到九种情境, 分区结果见图 3。由于吉林缺少农业用水效率数据, 新疆和西藏缺少工业用水效率数据, 本节仅对其他 28 个省级行政区进行探讨。

工农强控 (情境一) 和工农双控型地区 (情境五), 工、农业用水效率目标约束均较强, 用水效率目标设置与现状相比提升较高, 例如云南工、农业用水效率目标分别提高了 30% 和 22.22%, 而全国仅提高了 20% 和 3.38%。对于工农强控和工农双控型地区, 提出应同时加强工、农业用水效率建设, 建议主要依靠政府推进等强制手段, 如严格控制高耗水产业发展、淘汰落后的高耗水工艺、严格用水定额管理等, 控制用水效率以达到规划目标。

表 4 工、农业用水效率目标约束强度组合的 9 种情境

Tab. 4 Nine scenarios based on objective constraint strength (OCS) of agricultural and industrial water-use efficiency

工业用水效率 目标约束强度	农业用水效率 目标约束强度		
	$D_{i工} > 1.0$	$0.5 \leq D_{i工} \leq 1.0$	$D_{i工} < 0.5$
$D_{i工} > 1.0$	情境一: 工农强控型	情境四: 工业主控型	情境七: 工业强控型
$0.5 \leq D_{i工} \leq 1.0$	情境二: 农业主控型	情境五: 工农双控型	情境八: 工业主控型
$D_{i工} < 0.5$	情境三: 农业强控型	情境六: 农业主控型	情境九: 工农优化型

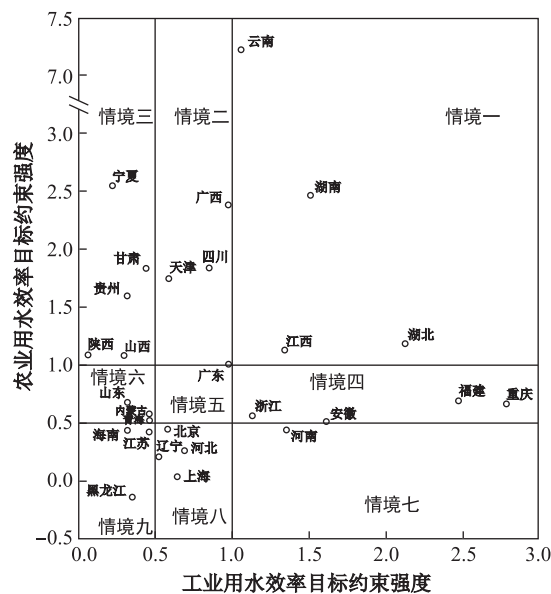


图 3 目标约束强度计算结果分区图

Fig. 3 Regional divisions based on objective constraint strength (OCS)

工农优化型地区 (情境九), 工、农业用水效率约束均较弱, 多为效率较高地区, 如江苏和黑龙江。海南工业用水效率不高, 被分入工农优化型地区的原因在于其工业用水效率目标设置不高。建议在已有建设基础上, 依靠通过市场调节、公众参与手段, 进一步优化用水结构, 提高节水意识。

情境二、三、六中,农业用水效率与工业用水效率相比目标约束更强,情境二和六强度差较小,分为农业主控型地区;情境三差距较大,分为农业强控型地区.以上情境中,除山东、内蒙古和青海外的其他省市农业用水效率目标设置均较高,除广西和贵州外其他省市工业用水效率均较高.分析具体用水情况发现,山东、内蒙古和青海农业用水占比均较大,超过50%,虽然广西工业用水效率目标提高了23%,但同时农业用水效率也提高了7.53%,且农业用水占比较高(67.39%),因此被分为农业主控型地区.对农业主控和农业强控型地区,建议通过取用水计量完善、种植结构调整、节水灌溉技术推广等手段,提高农业用水效率:①推行农业节约用水的基础建设标准,强化农业灌溉用水计量管理;②根据水资源承载力合理确定灌溉发展规模,减少高耗水作物种植面积;③发展建设农业节水灌溉园区,配套先进节水灌溉设施,推广实施喷管、微灌等节水技术.

情境四、七、八中,工业用水效率与农业用水效率相比目标约束更强,情境四和八的工农业用水效率目标约束强度差较小,分为工业主控型地区;情境七中工、农业用水效率目标约束强度差距较大,应主要加强工业用水效率控制,分为工业强控型地区.以上情境中,除北京、辽宁外其他省市工业用水效率目标设置均较高,超过20%,除安徽和重庆外其他省市农业用水效率均较高.通过分析发现,北京和辽宁的工业用水效率均属于全国领先水平,因此目标设置不高;而安徽和重庆农业用水效率和目标设置均不高,可能综合考虑当地实际种植需求和灌溉技术水平等因素,使得农业用水效率目标约束强度不大.对于工业主控和工业强控型地区,建议通过总量控制和效率提高等手段,展开工业节水建设:①加强高耗水行业用水定额管理,用先进合理的用水定额指标抑制用水需求;②使用水定额成为市场准入标准,严控生产和销售不符合节水强制性标准的产品;③鼓励使用非常规水资源,制定相关用水优惠政策,减少工业用水总量.

4 结 论

本文通过定义水资源利用目标约束强度概念,量化中国大陆31个省级行政区的工、农业用水效率目标约束强度,并通过情境分析分出不同类型地区给出节水建设建议.目标约束强度可量化不同水资源指标目标设置对实际用水的约束强弱,对同一地区不同指标展开综合探讨,但由于指标目标为人为制定,目标设置影响因素也较多,目标约束强度的客观可比性还需进一步改进和完善.

4.1 目标约束强度可量化规划目标对当地用水的影响程度

在节水型社会建设、最严格水资源管理制度指标评价体系逐渐完善的背景下,目标约束强度可量化讨论目标对实际用水的影响程度.本文研究表明,目标约束强度较大地区具有较明显空间分布特征,目标约束强度较小地区多为用水效率较高地区,农业用水效率目标约束较高地区主要分布在西南、西北和华中地区;工业用水效率目标约束强度较高地区主要分布在华东、华中和西南地区.

4.2 目标约束强度可综合考虑不同指标,提供分区指导建议

目标约束强度可将不同量纲用水指标进行标准化,综合考虑不同指标对同一地区的约束影响.本文研究提出工农强控、工农双控、工农优化、工业主控、农业主控、工业强控和农业强控七种类型,建议在工农强控和工农双控型地区应同时对工、农业用水效率进行控制,工农优化型地区应通过结构调整优化提高工、农业用水效率;农业主控和农业强控型地区应以农业用水效率控制为主;而工业主控和工业强控型地区应以工业用水效率控制为主.

4.3 由于目标制定存在政策调整等影响因素,目标约束强度分析结果存在一定不足

由于目标制定存在政策调整等影响因素,故本文中的目标约束强度分析结果存在以下不足:①由于目标约束强度计算所需的原始数据,水资源管理指标的考核目标设置存在较大的政策干扰因素,故所得结果中部分约束相对较弱的地区,不完全代表当地不受水利政策的约束.②各地

制定用水效率目标时, 除用水效率现状外, 还需综合考虑当地水资源禀赋条件、水环境质量、生态用水需求、用水技术水平等其他条件, 目标约束强度分析的客观可比性仍存在不足. ③分区讨论仅以工、农业用水效率进行目标约束强度为基础, 指标选取不够全面, 且以全国整体约束水平作为标准无法反映区域差异. 各地用水现状和约束情况属复合型, 因此除工、农业用水效率外, 分区还应综合考虑当地水资源禀赋、用水总量、水环境质量等多方面的评价指标, 全面分析当地用水现状、目标及目标约束情况, 以完善分区结果.

[参 考 文 献]

- [1] 操信春. 中国粮食生产用水效率及其时空差异研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [2] 李静, 孙有珍. 资源与环境双重约束下的粮食生产用水效率研究 [J]. 水资源保护, 2015, 31(6): 67-75.
- [3] 刘涛. 我国农业用水效率的时空差异 [J]. 节水灌溉, 2016(3): 75-79.
- [4] 潘经韬. 中国农业用水效率区域差异及影响因素研究 [J]. 湖北农业科学, 2016(11): 2943-2947.
- [5] 姜蓓蕾, 耿雷华, 卞锦宇, 等. 中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究 [J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2231-2239.
- [6] 李静, 马潇琛. 资源与环境双重约束下的工业用水效率——基于 SBM-Undesirable 和 Meta-frontier 模型的实证研究 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(6): 920-933.
- [7] 雷玉桃, 黄丽萍, 张恒. 中国工业用水效率的动态演进及驱动因素研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2): 159-170.
- [8] 魏文龙, 曾思育, 杜鹏飞, 等. 一种兼顾目标总量和容量总量的水污染物排放限值确定方法 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(1): 136-142.
- [9] 刘年磊, 蒋洪强, 卢亚灵, 等. 水污染物总量控制目标分配研究——考虑主体功能区环境约束 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 80-87.
- [10] 夏军, 王渺林, 王中根, 等. 针对水功能区划水质目标的可用水资源量联合评估方法 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 752-760.
- [11] 刘巧玲, 王奇. 基于区域差异的污染物削减总量分配研究——以 COD 削减总量的省际分配为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 512-517.
- [12] 秦迪岚, 韦安磊, 卢少勇, 等. 基于环境基尼系数的洞庭湖区水污染总量分配 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(1): 8-15.
- [13] 王壬, 陈莹, 陈兴伟. 区域水资源可持续利用评价指标体系构建 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1441-1452.

(责任编辑: 张 晶)

(上接第 135 页)

- [46] KOSTAL V, KORBELOVA J, STETINA T, et al. Physiological basis for low-temperature survival and storage of quiescent larvae of the fruit fly *Drosophila melanogaster* [J]. Scientific Reports, 2016(6): 32346-32356.
- [47] 李红, 张元湖. 应用 DPPH 法测定苹果提取物的抗氧化能力 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2005, 36(1): 35-38.
- [48] 孙存善. 自由基生物学导论 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.
- [49] JIN S K, HA S R, CHOI J S. Effect of *Caesalpinia sappan* L. extract on physico-chemical properties of emulsion-type pork sausage during cold storage [J]. Meat Science, 2015, 110: 245-252.
- [50] MENTE S, KUHN M. The use of the R language for medicinal chemistry applications [J]. Current Topics in Medicinal Chemistry, 2012, 12(18): 1957-1964.

(责任编辑: 张 晶)