

基于生产函数的中国水资源利用效率探讨

邓红兵 刘天星 熊晓波 荣冰凌

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085)

摘要 通过扩展的省级生产函数计算边际单位水资源价值,构造相关生产函数来描述我国大陆各省、市(自治区)的经济活动。利用 2000—2005 年的经济数据以及水资源数据,从生产力角度分析各地区的水资源利用状况。分析结果表明,我国大陆各省、市(自治区)以边际水资源利用价值为表征的水资源使用效率在研究期限内都有所提高,北方等缺水地区无论从空间还是从时间段来看,水资源利用效率及其改进幅度都显著地高于南方地区。在此基础上提出了有关政策建议。

关键词 水资源价值;水资源利用效率;生产力;中国内地

中图分类号:TV211.1

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2010)05-0016-03

On utilization efficiency of water resources in China based on production function//DENG Hong-bing, LIU Tian-xing, XIONG Xiao-bo, RONG Bing-ling(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract : The relevant production function was established based on the marginal benefit of water resources calculated by use of the extension provincial production function so as to study the economic activities in provinces, cities and municipalities of China Mainland. By means of the economic and water resources data from 2000 to 2005, the utilization situations of water resources in various regions were analyzed from the viewpoint of productivity. The results show that during the research period, the utilization efficiency of water resources in provinces, cities and municipalities of China Mainland, represented by marginal benefit of water resources, has certain increase, and the utilization efficiency and increase amplitude of water resources in the northern water deficit regions of China are spatially and temporally higher than those in the southern regions of China. On such a basis, some policy proposals were put forward.

Key words : water resources benefit; water resources utilization efficiency; productivity; China Mainland

水资源稀缺是我国 21 世纪可持续发展面临的最主要问题之一。我国水资源总量虽居世界第 4 位,但人均水资源量仅为世界人均量的 $1/4$ ^[1]。另外,分布的时空差异是水资源的特征,中国则更加突出。水资源与土地、矿产资源分布以及生产力布局不相匹配,且在不同行业都存在水资源浪费的现象^[2]。在全国总用水量中,农业用水占 73%,由于灌溉技术水平低,水的有效利用率仅为 40%;工业用水重复率和再生利用程度低,我国 2004 年万元工业增加值用水量为 196 m^3 ,工业用水重复利用率约为 60%~65%,而国外发达国家万元工业增加值用水量一般低于 50 m^3 ,工业用水重复利用率一般在 80%~85%之间^[3]。我国粗放的用水方式加剧了水资源的短缺,已经成为我国部分地区社会经济可持续发展的瓶颈。

为了解决水资源稀缺的问题,我国进行了一系

列的水资源管理制度改革,水资源管理的最终目的是为了规范人们的生产和生活,解决水资源稀缺所引起的问题,以达到水资源的提取率低于水资源可持续性状态对应的阈值^[4]。从解决水资源稀缺的对策措施及目标出发可将水资源管理阶段划分为供给管理、技术性节水、结构性节水和社会化管理 4 个阶段(表 1)^[5]。

研究探讨水资源利用效率对于解决中国水资源短缺具有重要意义。水资源利用效率评价可以运用比值分析、生产函数、包络分析等方法^[6-7],其中以经济学实证研究中柯布-道格拉斯(Cobb-Douglas)生产函数分析用水效率以及所获得收益的关系最为经典^[8-9]。通过研究水资源利用效率与经济社会发展水平等因素之间的关系,可为合理确定中国各部门和不同类别地区的用水定额提供参考。笔者从生产力角度出发,利用省级生产函数估计边际意义上的

表 1 不同阶段的水资源管理事项

管理阶段	目标	对策	措施
供给管理	提供更多的水资源	集中在水上	利用工程措施增加新水源供应
技术性节水	对水进行更多利用	集中在水上	喷灌、滴灌等技术投入
结构性节水	从每滴水中产生更多的价值(强调区域内分配效益)	从水转向区域内部的社会经济系统	制度变化、经济激励和社会结构变化
社会化管理	从每滴水中产生更多的价值(强调区域外部分配效益)	从水转向区域外部的社会经济系统	

水资源利用价值,即边际增加 1 单位水资源利用所导致的 GDP 产出增加量,来研究我国大陆各省、市(自治区)在 2000—2005 年的水资源利用现状和特征,为提高水资源利用效率提供参考。

1 研究模型与方法

通过扩展的省级生产函数计算边际单位水资源价值,构造包含 3 种投入品在内的生产函数描述我国大陆各省、市(自治区)的经济活动,其中各地区 GDP 和投入数据来自各地区统计年鉴。生产函数的产出变量为各地区的 GDP(Y , 万元, 以 2000 年价格计算), 而投入品分别为资本(K , 万元, 以 2000 年价格计算)、劳动力(L , 万人, 以年底第一产业、第二产业及第三产业就业人数计算)和水资源消耗量(W , 万 m^3)。具体的生产函数设定为超越对数生产函数形式:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln W + \frac{1}{2} \beta_4 (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_5 (\ln L)^2 + \frac{1}{2} \beta_6 (\ln W)^2 + \beta_7 \ln K \ln L + \beta_8 \ln K \ln W + \beta_9 \ln L \ln W + \varepsilon \tag{1}$$

式中: $\beta_0 \sim \beta_9$ 为模型待估参数; ε 为残差项,服从独立正态分布。

边际单位水资源价值在此生产函数下为 $\frac{\partial Y}{\partial W}$ 的数值,可用如下公式计算:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} \frac{Y}{W} = (\beta_3 + \beta_6 \ln W + \beta_8 \ln K + \beta_9 \ln L) \frac{Y}{W} \tag{2}$$

分析所用数据均来自《中国统计年鉴》^[10-15]。

2 结果与分析

结合生产函数形式设定得到了计量模型回归结果。在此基础上利用式(2)得到各地区历年的边际水资源利用价值(表 2)。

表 2 中国内地边际水资源利用价值情况 元/ m^3

省、市(自治区)	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
北京	34.3	40.2	59.4	66.4	77.8	87.1
天津	36.1	51.1	53.1	59.0	60.9	64.8
山东	18.6	19.4	21.5	29.5	34.8	41.1
山西	20.4	21.6	24.2	28.7	32.9	36.6
河南	16.2	14.8	17.3	23.3	24.1	27.8
辽宁	14.8	17.5	19.5	21.3	23.7	25.5
浙江	14.0	15.1	16.6	19.4	22.0	24.5
陕西	13.8	15.1	17.0	19.9	21.9	23.0
河北	12.3	13.2	14.3	17.1	19.7	21.2
四川	12.8	13.8	14.8	16.0	17.5	19.0
上海	10.1	11.7	14.3	15.1	15.3	16.7
广东	9.3	9.7	10.7	12.0	13.6	16.5
吉林	6.9	8.3	8.3	9.8	12.1	13.3
福建	8.3	9.0	9.3	10.4	11.5	12.6
安徽	9.5	9.1	9.5	12.0	10.8	12.1
贵州	8.0	8.2	8.5	8.8	9.7	10.4
云南	6.7	7.2	7.6	8.4	9.3	10.1
湖北	5.4	5.5	7.3	7.8	8.8	9.2
江苏	6.6	6.7	6.9	9.2	7.7	9.0
湖南	5.2	5.5	6.3	6.5	7.1	7.7
海南	4.1	4.6	4.9	5.1	5.7	6.9
江西	3.8	4.3	5.0	7.1	6.3	6.8
甘肃	3.8	4.2	4.6	5.2	5.8	6.3
青海	3.6	4.1	4.7	4.7	4.9	5.4
黑龙江	3.0	3.4	4.6	5.2	5.2	5.3
内蒙古	2.8	3.0	3.2	4.0	4.4	5.1
广西	3.0	3.3	3.5	4.2	4.3	4.4
西藏	1.2	1.3	1.3	1.9	1.7	1.4
宁夏	0.6	0.7	0.8	1.5	1.2	1.2
新疆	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2

从单个时点来看,我国大陆各地区的边际水资源利用价值差异较大(表 2)。以 2005 年为例,边际水资源价值分布为 -0.2 ~ 87.1 元/ m^3 ,均值为 17.7 元/ m^3 。理论上边际水资源利用价值不可能为负,因此新疆地区的负值可能是因为该地区边际水资源利用价值接近零,在计算所用系数为约数的情况下导致计算结果为负值。实际上反映的是模型测算的新疆地区边际水资源利用价值非常小,接近于零。北京地区边际水资源利用价值最高,为 87.1 元/ m^3 ,这表示北京地区以 2005 年的经济活动计算,多使用 1 m^3 水资源可以带来 87.1 元的 GDP 增加。而新疆地区的数值接近于零,表明新疆地区的边际水资源利用效率极低,其 2005 年的万元 GDP 水耗也印证了这一点,当年 GDP 为 2 309 t/万元。从空间上看,2005 年边际水资源利用价值排在前 5 位的分别为北京、天津、山东、山西和河南,均位于北方地区。这 5 个省(市)的平均边际水资源利用价值为 51.5 元/ m^3 ,约为全国平均水平的 3 倍。边际水资源利用价值的巨大差异反映了我国水资源分布的巨大空间差异,北方缺水地区的水资源利用效率明显

高于南方地区。

分析各省、市(自治区)水资源价值的时间变化趋势,除新疆地区之外,其余地区的边际水资源利用价值都有所上升,但幅度有所不同(图1)。2005年的边际水资源利用价值与2000年相比,变化比例最大的是北京地区,从2000年的34.3元/m³增加到2005年的87.1元/m³,提高了154%;其次为山东地区,从18.6元/m³增加到41.1元/m³,提高了120.4%。全国各地区平均提高幅度为67.7%,表明在2000—2005年期间各地区在利用水资源方面都有所进步,也反映出面对整体缺水的情况,各地区经济活动都或多或少地做出了一些相应的调整,其调整又受到各地本身水资源稀缺程度的影响。北方缺水地区取得的进步在整体上要高于南方水资源相对丰富的地区。

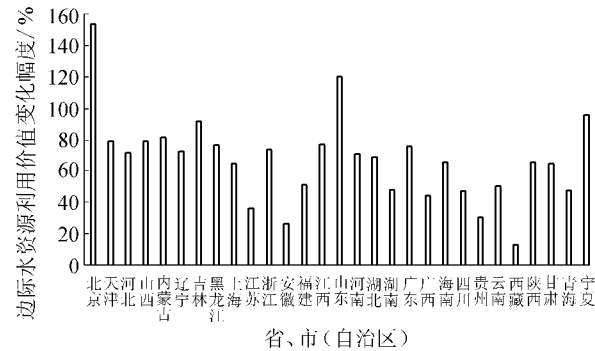


图1 各地区边际水资源利用价值变化幅度(2000—2005年)

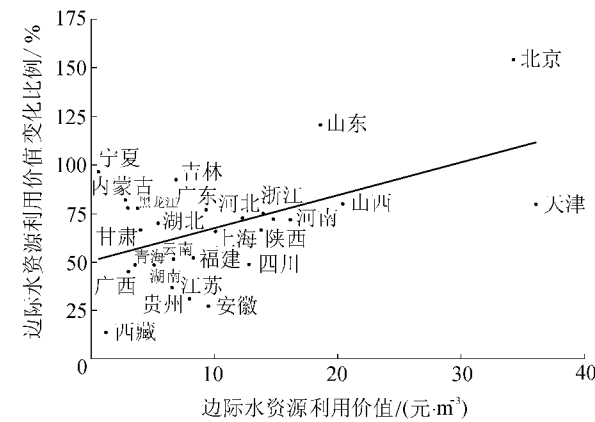


图2 2000年边际水资源利用价值及其变化幅度

图2是水资源利用价值变化幅度和基期(2000年)水资源利用价值情况的散点图。图2中显示两者之间存在着正相关关系,两序列相关系数为0.53,并且统计显著性水平较高($P < 0.01$)。这表明经过多年的发展,原有边际水资源利用价值高的地区(如北京、山东),水资源利用价值与其他地区相比实现了更大比例的提升。根据其他学者对我国节水潜力地区划分的研究^[16],这些地区的节水潜力属于较低水平,而节水潜力高的地区(如贵州)在笔者的

测算中并没有实现较高的效率改进。这一现象除技术水平和产业结构相对不利于其提高节水效率等因素外,没有一个完善的水权交易市场在一定程度上也降低了节水潜力大的地区的积极性。

边际水资源利用价值反映了经济体制对水资源的使用效率,对于水资源的区域配置可以起到指向标的作用,同时对于水资源的区域分配问题可以做到粗略地估算其潜在的可能交易方向。以北京周边地区向首都输水调度为例,长期以来人们从保障首都用水的政治角度去考虑输水的重要性和合理性,但输水还有其区域水资源利用效率的合理性。从水资源利用来看,就现有的经济发展水平和产业结构,依照笔者的计算,北京地区边际水资源利用价值为87.1元/m³,山西和河北分别为36.6元/m³和21.2元/m³。因此,如果其他条件不变,山西和河北两省向北京输水在经济上实现了整体水资源使用效率的提升。

3 结论及建议

为了应对水资源短缺,必须先了解我国水资源的使用状况和使用效率。笔者利用2000—2005年全国大陆各省、市(自治区)的统计数据分析了在此期间各地区的水资源使用效率情况和水资源边际生产力情况。我国大陆各地区以边际单位水资源价值为表征的水资源利用效率在研究期限内都有所提高,因此笔者认为面对整体缺水的客观形势,各地区都做出了相应的产业结构调整,在经济发展的同时提高了水资源的利用效率。文中同时发现北方等缺水地区无论是从空间还是从时间段来看,其水资源利用效率及其改进幅度都显著高于南方地区。由于水资源利用效率的空间差异,建立有效的水权交易市场不仅可以缓解北方缺水地区水资源紧张的问题,而且可以大幅度提高水资源的利用效率,进而在总体上提高整个社会的用水效率。

为了提高水资源利用效率,提出如下建议:①在建设节水型社会中继续推广节水技术,提高整体经济的水资源利用效率。②优化产业结构,利用有效的经济激励手段鼓励低耗水产业发展,同时鼓励高耗水行业进行技术改造,降低水耗,从而降低整体国民经济的水耗。③完善我国水权交易制度建设,构建适合我国的水权交易市场,促进水资源从利用效率低的地区流入利用效率高的地区,实现整体利用效率提高。④继续完善我国的水价管理改革,利用合理的定价机制对水价进行需求管理,调节供需矛盾,实现水资源的优化配置。

(下转第44页)

裂缝宽度和开裂面积分别减少约 40%和 30.2%。

3 机理分析

纤维素纤维掺入混凝土后 ,按混合定律进行测算。由于纤维素纤维与混凝土基体的弹性模量比很低(仅为 1/9~1/6),抗压强度、抗拉强度、拉压比与素混凝土相比变化不大甚至还会降低 ,且因纤维掺量甚小 ,故其降低幅度可以忽略不计。

纤维素纤维可阻止水泥基体中微裂缝的产生与扩展。水泥基体在浇筑后的 24 h 内抗拉强度极低 ,若处于约束状态 ,其所含水分急剧蒸发时极易生成大量裂缝 ,均匀分布于水泥基体中的纤维可承受因塑性收缩引起的拉应力 ,从而阻止或减少裂缝的生成。水泥基体硬化后 ,因周围环境温度与湿度的变化而引起的拉应力超过其抗拉强度时 ,也极易生成大量裂缝 ,此情况下纤维素纤维可阻止或减少裂缝的生成。

在混凝土中掺入的硅灰、粉煤灰等矿物细掺料 ,均匀分散到水泥浆体中 ,会成为大量水化物沉积的核心 ,随着水化龄期的进展 ,这些细微颗粒及其水化反应产物填充水泥石孔隙 ,改善了混凝土孔结构和抗裂性能。

4 结 论

a. 正交试验的极差和方差分析表明纤维素纤维对混凝土的强度几乎无影响 ,但抗裂性能试验表

明纤维素纤维可以显著改善混凝土的抗裂性能 ,掺加 0.9 kg/m³ 的纤维后开裂面积降低 70.2%。矿物掺合料的复掺同样可以改善混凝土的抗裂性 ,使开裂面积减少 30.2%。

b. 硅灰使混凝土抗压强度、劈裂强度和拉压比显著提高 ,最优掺量为 8%。但是由于价格的原因 ,硅灰的使用应该慎重 ,粉煤灰对混凝土 28 d 强度的影响不明显 ,主要是由于龄期较短 ,掺量少的原因 ;煤矸石可显著提高混凝土 28 d 劈裂强度和拉压比 ;砂率改善了混凝土的拉压比。

参考文献 :

[1] NAWY E G. Fundamentals of high performance concrete[M]. 2nd edition. New York :John Wiley & Sonns ,Inc ,2001 :14-22.
[2] 管学茂 ,杨雷 ,姚燕.低水灰比高性能混凝土的耐久性研究[J].混凝土 ,2004(10) 3-5.
[3] ACI 544.1R—96 Fiber reinforced concrete[S].
[4] SAVASTANO Jr H , WARDEN P G , Coutts R S P. Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas[J]. Cement& Concrete Composites ,2003 ,25 :585.
[5] RANA A K , MANDAL A , MITRA B C. Short jute fibre reinforced polypropylene composites[J]. J Appl Polym Sci , 1998 ,69(2) 329.
[6] DL/T5150—2001 水工混凝土试验规程[S].
[7] CECS38—2009 纤维混凝土结构技术规程[S].
(收稿日期 2009-09-29 编辑 :方宇彤)

(上接第 18 页)

参考文献 :

[1] 洪阳.中国 21 世纪的水安全[J].环境保护 ,1999(10) :1-5.
[2] 汪恕诚.解决水资源短缺的根本出路[EB/OL].[2006-07-12]. <http://www.mwr.gov.cn/index/20060712/75629.asp>.
[3] 沈满洪 ,陈锋.我国水权理论研究述评[J].浙江社会科学 ,2003(5) :175-180.
[4] OHLSSON L. The turning of a screw :social resource scarcity as a bottle-neck in adaptation to water scarcity[J]. Stockholm Water Front ,2000(1) :10-11.
[5] 徐中民 ,龙爱华.中国社会化水资源稀缺评价[J].地理学报 ,2004 ,59(6) 983-988.
[6] 何建武.地区间水资源利用对比分析模型研究[J].天津农学院学报 ,2002 ,9(1) 42-44.
[7] 李世祥 ,成金华 ,吴巧生.中国水资源利用效率区域差异分析[J].中国人口资源与环境 ,2008 ,18(3) 215-220.

[8] 龙爱华 ,徐中民 ,张志强 ,等.基于边际效益的水资源空间动态优化配置研究 :以黑河流域张掖地区为例[J].冰川冻土 ,2002 ,24(4) 407-413.
[9] 王韶华 ,孟令刚 ,李智.北京市工业用水投入产出模型[J].水利水电科技进展 ,2006 ,26(4) 34-36.
[10] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2001[M].北京 :中国统计出版社 ,2001.
[11] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2002[M].北京 :中国统计出版社 ,2002.
[12] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2003[M].北京 :中国统计出版社 ,2003.
[13] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2004[M].北京 :中国统计出版社 ,2004.
[14] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2005[M].北京 :中国统计出版社 ,2005.
[15] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2006[M].北京 :中国统计出版社 ,2006.
[16] 陈素景 ,陈根年 ,韩亚芬 ,等.中国省际经济发展与水资源利用效率分析[J].统计观察 ,2007(22) 65-67.

(收稿日期 2009-04-13 编辑 :高建群)