

工业用水与经济发展的关系 ——用水库兹涅茨曲线

贾绍凤¹, 张士锋¹, 杨红², 夏军¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology, Zurich, Switzerland)

摘要: 经验数据显示, 发达国家工业用水随经济发展的变化存在着一个由上升转而下降的转折点。因此, 工业用水随收入增长的演变模式可以用库兹涅茨曲线形式来表示。工业用水下降点对应的人均 GDP 的阈值是 3 700~17 000US\$(PPP, 以 1985 年为基数)。与之相应的第二产业在 GDP 总量中所占份额是 30%~50%。工业用水下降的直接原因是用水效率的提高, 其来源有两方面: 部门用水效率的提高和经济结构调整。这提供了一个积极的信号, 即发展中国家的工业用水将不会一直持续增长, 从而为更好地预测发展中国家的工业用水量提供非常重要的思路, 也为正确把握用水变化规律, 制定符合规律的水资源对策提供科学基础。

关键词: 水资源经济学; 库兹涅茨曲线; 工业用水; 经济发展

中图分类号: TV213; F42

文献标识码: A

文章编号: 1000-3037(2004)03-0279-06

1 引言

用水短缺在许多干旱和半干旱地区变得越来越严重了。世界水理事会^[1]估计, 约 40% 的世界人口面临着用水短缺问题, 到 2025 年, 这一数字有望增长到 50%。绝大部分面临水短缺的人口生活在发展中国家。人口增长和经济增长是用水短缺的两个主要原因。因为在发展中国家, 经济增长通常需要更多的用水投入。发展中国家人口增长和提高生活水平的要求迫切需要经济增长, 因此可以预期, 未来需水压力将进一步增加。尽管工业用水只占目前全球水提取量的 23%, 但它是全世界增长最快的淡水用户, 而且在今后的 20 年中, 其需求量还有望增长 1 倍多^[2]。由于经济的工业化进程, 大部分需求增长将发生在发展中国家。这对水资源将带来怎样的挑战呢? 发展中国家有足够的水来维持其工业化的发展吗?

通过考察发达国家的工业用水数据可以发现一个好的现象, 即工业用水在经过几个增长时期后将达到一个顶点, 而后开始下降^[3,4]。或许可以利用库兹涅茨曲线来解释和概括用水特别是工业用水与经济发展之间的关系。

诺贝尔奖获得者库兹涅茨首次用倒“U”型曲线来描述经济增长与收入分配的关系。他认为, 随着人均收入的增长, 最初收入分配的不均衡会加剧, 但随后会出现一转折点并开始下降^[5]。这种人均收入与收入不平衡关系的变动现在已经为经验所证明。

20 世纪 90 年代, 经济学家宣布在收入变化与环境质量之间存在一种系统关系。这种关系被称作环境库兹涅茨曲线(EKC)。布鲁斯等^[6]回顾并总结了此项研究。Grossman 和 Krueger^[7]

收稿日期: 2003-09-08; 修订日期: 2003-12-24。

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX-SW-317, KZCX-10-3)资助。

第一作者简介: 贾绍凤(1964~), 男, 湖南龙山人, 博士, 副研究员, 主要从事水资源和区域可持续发展研究。E-mail: jiasf@igsrr.cn

首次宣布了 EKC 的存在。他们查明了收入进一步增长将带来空气质量提高的拐点。Shafik^[8] 有同样的发现。Panayotou^[9] 提供了迄今为止可能是最早和最为详细的关于环境退化与经济发展水平之间存在一种可能的库兹涅茨倒“U”型曲线关系的阐述。EKC 不仅可以从经验数据得以证实,而且可以通过经济理论得到解释。Lopez^[10] 推导出了一个理论模型来研究自由贸易的影响,研究表明,在一定条件下污染和收入之间所表达的关系也呈倒“U”型曲线。Munasinghe^[11] 研究了有关经验案例并从中推出了一个理论模型。他得出结论认为,在发展的早期阶段,环境保护的可察觉边际收益太小了,以至于决策者无法放弃经济增长所带来的收益。按照将环境质量视作一种奢侈品的概念,现代环境运动可以解释为,由于物质产品相对丰富的供应,与环境的舒适感相比,物质产品与服务的边际效用日益减少^[12]。这种变化模式不仅限于环境质量,也表现在诸如人权、动物保护以及妇女权益等方面,也只有当社会收入提高到一定水平后才在产业经济中显示出日益增长的重要性。

本文将关注工业用水与经济发展的关系。EKC 的经验分析已经对两个关键性的问题进行了探讨:一个给定的环境退化指标是否与人均收入水平呈现了一种倒“U”型曲线关系;伴随人均收入增长其环境质量转为提高的阈值估计^[13]。因此,本文将参考这些模型并集中研究两个问题:工业用水是否与人均收入水平呈现了一种倒“U”型曲线关系;随着人均收入的提高,工业用水下降的阈值是多少?

2 发达国家工业用水与收入增长的倒“U”型曲线关系

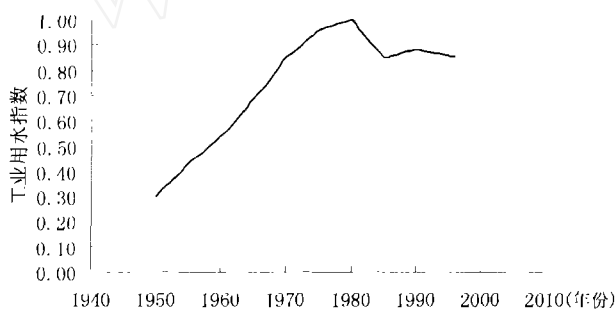


图1 美国工业用水的历史变化

Fig.1 Historic industrial water use change of USA (Data source: United States Geologic Survey)

几乎所有的 OECD 国家都经历了工业用水的下降过程。图 1 显示了美国的情况。这里选用年度工业淡水取用量作为工业用水的指标。工业用水指数等于年工业淡水取用量除以年最大工业淡水取用量。非常清楚,美国工业用水量从 1950~1981 年增长了 3 倍,并于 1981 年达到了顶点,而后开始下降。

如果将工业用水量与人均 GDP 联系起来,就会呈现出一个很明确的库兹涅茨曲线式的关系。就是说,工业用水量最初随着人均 GDP 的增加而增加,

当越过某一个阈值后,就开始随着人均 GDP 的增长而降低。与美国缓慢下降的工业用水量相比,日本的工业用水量下降要快得多(图 2)。

除了美国和日本,绝大部分 OECD 国家也经历了工业用水量的减少。2003 年 OECD 国家总共有 30 个成员国。除了希腊、冰岛、爱尔兰、墨西哥和新西兰,其他 25 个发达的 OECD 国家都随着时间和经济的发展出现了工业用水量的转折点。所以,从这一事实可以总结出,当经济发展到一个较高的阶段时,工业用水量将达到一个峰值并停止增长,而后开始下降。这与库兹涅茨曲线的一般特征相吻合。

3 工业用水量下降的阈值

25 个国家工业用水量下降究竟是在哪个时

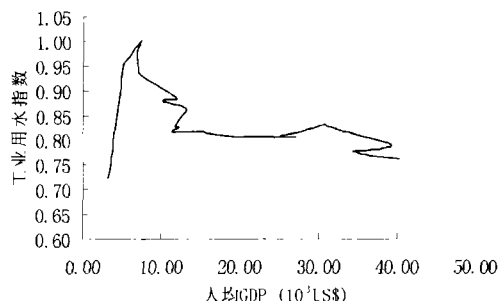


图2 日本工业用水量随人均 GDP 的变化

Fig.2 Industrial water use vs per capita GDP of Japan
[Data source: Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japan, Report of Industrial Land and Water]

间段发生的?产生的条件是什么?根据库兹涅茨曲线的分析方法,当工业用水下降时,找出人均 GDP(PCGDP)的变化范围是关键。

表 1 显示了在工业用水减少的同时 PCGDP 的变化情况。因为每个国家工业用水开始下降的时间不同,所以相应的价格水平也不同。因此,采用以现价计算的 PCGDP 是不合适的。而且,首选的应该用购买力平价(PPP)表示的人均数据,而不是市场价数据,因为市场兑换率存在一定的失真。对于以上提到的 25 个工业用水发生下降的国家,当工业用水开始下降时,其最小 PCGDP 是 3 666US\$(PPP,1985 年价),最大为 17 009US\$(PPP,1985 年价),平均为 9 946US\$(PPP,1985 年价)。

表 1 工业用水峰值时间及相应指标

Table 1 The peak time of industrial water use and accompanying indicators

国家	工业用水 峰值时间	人均 GDP (现 价, 10 ³ US\$)	人均 GDP (PPP, 1985 年 价, 10 ³ US\$)	GDP 中第二产业 所占比重 (%)	第二产业比 重峰值时间	第二产业比重迅 速下降的时间
奥地利	1985	8.737	11.46			1985
澳大利亚	1982	10.897	12.52	35	1971	1982
比利时	1985	8.3	11.3	37		
加拿大	1994	18.9	17.0	35		
捷克	1983	3.0	3.8	60		
丹麦	1987	11.2	11.8	36.3	1987	1987
芬兰	1972	4.0	9.8			
法国	1989	17.1	13.6	30	1965	1981
德国	1989	20.0	13.8	36	1962	1985
匈牙利	1990	3.2	5.4	45.7	1975	1990
以色列	1986	6.9	8.6	28		
意大利	1981	7.2	10.3	4.1	1974	1983
日本	1973	3.8	8.5	45	1970	1973
韩国	1992	7.2	7.6	48	1997	1997
卢森堡	1975	7.9	10.7	35		
芬兰	1972	3.7	9.7	38		
挪威	1985	14.5	12.7	42		1985
波兰	1988	4.5	4.5	61		
葡萄牙	1980	2.9	5.0	45		
斯洛伐克	1975	3.2	4.7			
西班牙	1986	6.0	7.8	40.4		
瑞典	1966	8.9	12.0	40		
瑞士	1985	14.9	14.9	38		
土耳其	1991	2.6	3.7	36		
英国	1985	8.1	16.6	34	1950	1985
美国	1981	13.2	15.5	34	1957	1982

由于上述 PCGDP 临界值范围太宽,因此,PCGDP 似乎不便于用来预测发展中国家工业用水下降的转折点。因此寻找了其它能够更好预测工业用水变化的指标^[4]。

可以假设工业用水下降与经济结构升级有某些联系。因此,选择一些反映经济结构的指标作为工业用水下降的标志。表 1 列出了一些此类指标。从表 1 可归结出以下 3 点:

(1)当工业用水下降时,第二产业在 GDP 中相应所占份额(简称为 SISGDP)在 30%~50%之间变动。

(2)SISGDP 出现峰值的时间与工业用水的峰值时间并不对应。前者一般比后者早出现 10 年以上,换言之,工业用水峰值时间滞后 10 年或更多(除了日本)。对于日本,SISGDP 的峰值时间(1970 年)仅比工业用水峰值时间(1973 年)提前 3 年。SISGDP 的下降时间可以看

作工业用水下降的一个必要前提条件。因为时间滞后通常超过 10 年,用它作为工业用水下降的标志是不方便的。但是比较日本与英国、美国和其他国家的滞后时间,可以发现,一个国家达到发达水平越早,滞后的时间越长。对于新兴工业化国家,可以预期其滞后时间将更短。

(3)SISGDP 的快速下降时间与工业用水的峰值时间非常接近(表 1)。这里 SISGDP 的快速下降的时间意味着 SISGDP 下降速度加快的一个阶段。以日本为例,SISGDP 达到峰值是在 1970 年并自此开始下降。1973 年后工业用水的增长也开始减少。在这一阶段,SISGDP 演变的趋势明显比以前陡。由于这两个时间点的一致,使预测工业用水下降的时间可以通过第二产业占 GDP 比重开始快速下降的时间来进行估计。

进一步研究显示,工业用水下降与发达国家 SISGDP 下降一般都伴随着重工业的缩减,比如重金属冶炼、建筑材料、炼油和造船业的萎缩。几乎每一个发达国家都曾拥有过强有力的重工业,自 20 世纪 70 年代以来也都曾经历过粗钢、水泥、炼油等生产量的下降以及船舶吨位的削减^[4]。对于那些重工业未能作为支柱产业来发展的发达国家,如加拿大、爱尔兰、冰岛、挪威和新西兰,其工业用水量通常保持在一个相对较低的水平,下降较晚或者根本不下降。因此,对于重工业较为强大的国家,重工业的缩减可以看作工业用水减少的转折标志。

4 工业用水下降的原因

罗里·克拉克^[2]提出,OECD 国家总工业用水量主要由于效率的提高而降低。笔者认为工业用水总效率的提高主要有两个方面的原因。一方面是各产业部门用水效率的提高;另一方面是经济结构调整,即耗水量大的产业部门被耗水量小的产业部门所取代^[4]。节水、部门和经济结构调整的驱动力包括:愈来愈强的环境保护要求、在日益增长的水价压力下节约费用的要求和油价上涨的压力。

4.1 节水科技的作用

由于节水科技的发展,几乎每个产业部门单位产量的用水量都从 20 世纪 70 年代大幅下降了。例如,以色列政府规定的每个部门的单位产量用水定额自 1967~1987 年降低了 70%^[15]。

4.2 产业结构升级的作用

工业用水量降低直接和本质的原因是产业结构升级。由于结构升级,一方面,第二产业中耗水量大的部门为耗水量小的部门所替代;另一方面,第二产业为第三产业所取代,第三产业用水量明显少于第二产业。发达国家产业结构升级换代的一个结果就是制造业从发达国家向欠发达国家转移。在某种程度上,产业转移意味着用水量的转移。

4.3 环保要求更为严格

自 20 世纪 60 年代后期,环境保护运动在西方蓬勃开展。市民的环境要求愈来愈高,相应的环境法律法规也更为严格,迫使公司减少用水量和废水排放量。水价的提高,特别是排污费用的增加,刺激公司削减用水量。毫无疑问,日益严格的环保规章制度促进了工业用水量的下降。关于这一点的经验证据是,工业用水量对新的环保规定的敏感反应。Colenbrander^[16]已经给出一些例子。1964 年,一部新的环境法在瑞典国会获得通过,进而 1966 年瑞典工业用水量就下降了。类似地,美国在 20 世纪 80 年代早期工业用水量下降了,与 1977 年一部新的环境法的实施有一定的关系。

4.4 油价上涨等经济危机的影响

日本工业用水量的下降时间与 1973 年第一次石油危机相对应。美国工业用水量下降时间则与 20 世纪 80 年代上半期的第二次原油价格大规模上涨相一致。在许多发达国家,工业用水量的下降也发生在 20 世纪 70 年代和 80 年代。这种工业用水量下降与油价上涨的时间一致性决不是偶然的。石油危机通过引起发达国家经济结构调整和升级而引发了用水量的减少,尤其是类似日本的依赖石油进口的国家。1997 年东南亚的金融危机似乎也对有关国家和地区的工业用水情况产生了相似的影响。

5 用水库兹涅茨曲线相比于典型库兹涅茨曲线的特殊性

典型的库兹涅茨曲线是衡量收入分配的基尼系数与人均 GDP 的世界各国截面数据组成的散点图呈倒“U”型曲线。但衡量用水效率的万元 GNP 用水量与人均 GDP 的世界各国截面数据组成的散点图却如图 3 所示,表现为单调的下降趋势,即万元 GNP 用水量在经济发展的初期很高,随着经济发展水平的提高越来越小。所以,用水库兹涅茨曲线不能用用水效率指标与经济发展的关系来表达,而只能用用水量与经济发展的关系来表达。而且由于国家大小不同,用水量差别很大,用水的库兹涅茨曲线不能用世界各国的截面数据来表达,而只能用各国的用水量随本国经济发展的变动曲线来表达。

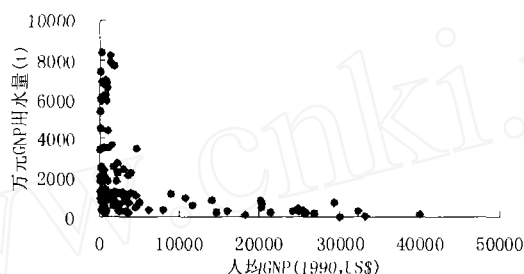


图 3 1998 年世界各国人均 GNP 与万元 GNP 用水量关系

Fig.3 Relation between fresh water withdrawal of unit GNP and per capita GNP by country/region

6 结论

(1)经验数据显示,许多发达国家工业用水存在一个转折点。因此,伴随收入增长,工业用水量的演变可以用库兹涅茨曲线来表示。

(2)工业用水量下降的人均 GDP 阈值在 3 700~1 700US\$(PPP,以 1985 年为基数)。相应地第二产业占 GDP 总量的比重(SISGDP)是 30%~50%。工业用水量下降与 SISGDP 的迅速下降和重工业部门的缩减在时间上相一致。

(3)工业用水减少的直接原因是用水效率的提高,原因有两个方面:部门用水效率的提高和经济结构的调整。工业用水效率提高的主要驱动力包括:产业升级的内在压力,更严格的环保规章,降低费用以及一些类似石油危机和金融危机的突发事件。

(4)工业用水库兹涅茨曲线的存在有很重要的意义。它给了发展中国家一个很好的信号:工业用水量不会一直持续增长。当他们的人均 GDP 和经济结构向一个更高的水平发展时,发展中国家工业用水将会下降。这也给了我们很重要的思路与启示,从而更好地预测发展中国家的工业用水情况。

参考文献(References):

- [1] World Water Council. World Water Vision 2025 [R]. London: Earthscan Publications Ltd., 2000.
- [2] Rory Clarke. Water crisis? [J]. *OECD observer*, 2003, 19.
- [3] 贾绍凤, 康德勇. 中国用水何时达到顶峰? [J]. *水科学进展*, 2000, 11(4): 470~477. [JIA Shao-feng, KANG De-yong. When will fresh water use in China reach the climax? *Advance in Water Science*, 2000, 11(4): 470~477.]
- [4] 贾绍凤. 工业用水零增长的条件分析——发达国家的经验[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(1): 51~59. [JIA Shao-feng. The linkage between industrial water use decrease and industrial structural upgrade—experience of developed countries. *Progress in Geographical Sciences*, 2001, 20(1): 51~59.]
- [5] Kuznets S. Economic growth and income inequality [J]. *American Economic Review*, 1955, (445): 1~28.

- [6] Bruce Yandle, Maya Vijayaraghavan, Madhusudan Bhattarai. The Environmental Kuznets Curve: A Primer[R]. PERC Research Study 02-1, 2002.
- [7] Grossman Gene M, Alan B Krueger. Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement[Z]. Cambridge, UK: Working Paper 3914. National Bureau of Economic Research, MA. 1991.
- [8] Shafik Nemat. Economic development and environmental quality: An econometric analysis[J]. *Oxford Economic Papers*, 1994, (46): 757~777.
- [9] Panayotou Theodore. Environmental degradation at different stages of economic development [A]. In: I Ahmed, J A Doeleman. Beyond Rio: The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World [C]. New York: ILO Studies Series. St. Martin's Press, 1995.
- [10] Lopez Ramon. The environment as a factor of production: The effects of economic growth and trade liberalization[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1994, 27(2): 185~204.
- [11] Munasinghe Mohan. Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: Tunneling through the environmental kuznets curve [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(1): 89~109.
- [12] Martinez-Alier J. The environment as a luxury good or "too poor to be green"? [J]. *Economie Appliquee*, 1995, 48: 215~230.
- [13] Barbier Edward B. Introduction to the Environmental Kuznets Curve Special Issue[J]. *Environment and Development Economics*, 1997, 2(4): 369~381.
- [14] 贾绍凤, 张士锋, 杨红. 产业结构调整的水效效应[J]. 水利学报, 2004, (3): 109~114. [JIA Shao-feng, ZHANG Shi-feng, YANG Hong. Water saving effect of economic structural adjustment in Beijing. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, (3): 109~114.]
- [15] World Resources Institute. World resources report 1986[R]. New York: Basic Books, Inc., 1986.
- [16] Colenbrander H J. Water in Netherland[R]. The Hague: TNO Committee on Hydrological Research, The Netherland Organization for Applied Scientific Research. 1986.

Relation of industrial water use and economic development: water use Kuznets Curve

JIA Shao-feng¹, ZHANG Shi-feng¹, YANG Hong², XIA Jun¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Swiss Federate Institute of Environmental Science and Technology, Zurich, Switzerland)

Abstract: Empirical data show that there exists a turning point of industrial water use from increasing to decreasing in most developed countries. So the evolution of industrial water use along with income rising can be displayed in the frame of Kuznets Curve. The per capita GDP threshold of industrial water use turning down is 3700~17000\$ (PPP, base year of 1985). The accompanying secondary industrial share in total GDP (SISGDP) is 30%~50%. The turning down of industrial water use concurred with the rapid decrease of SISGDP and the dwindling of heavy sectors. The direct cause of industrial water use decrease is water use efficiency gains, which come from two sources: a gain in water use efficiency within sectors and the economic structural adjustment. It gives us a good signal that the industrial water use in developing countries will not increase continuously, hence providing very important clues to the better forecast of industrial water use in developing countries.

Key words: industrial water use; Kuznets curve; inverted "U"-shape curve