
上海水资源利用可持续性研究^{*1}

王桂新 马进

(复旦大学人口研究所200433)

【内容摘要】：上海地处黄浦江与长江交汇口，由于污染源多、水质差等诸多因素，导致可用清洁水短缺。本文采用回归分析方法模拟了上海水污染水平、可用清洁水量、水需求的影响因素以及相对可用清洁水量指标(RCWA)，并以可用清洁水量与水需求的比例，考察了上海可用清洁水和水需求近30年来的演变趋势。上海2011年RCWA值为65，意味着上海当前清洁水需求只大致相当于其可用清洁水量的150%。虽然1990年代以来上海经济和技术的进步以及政府的政策措施对水资源开发发挥了较为显著的积极作用，但该指标说明其水资源可持续利用仍然面临巨大的挑战。

【关键词】：水资源 水污染 可持续性 上海

【中图分类号】：F061. 6 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1005 - 1309(2012) 10 - 0014 - 011

一、引言

随着工业化和城市化的快速发展，环境与社会关系也相应发生急剧转型。近几十年来，缺水成为全球阻碍经济可持续发展的主要问题之一。发展中国家为实现经济社会的全面现代化需要充足的淡水资源做支撑，特别是在经济转型中的城市，水资源问题始终处于其能否可持续发展的核心地位。上海就是这样一个大城市。自1980年代改革开放以来，上海水需求迅速增加，与此同时，水污染现象也日趋恶化，造成需水与供水的极大矛盾，对上海生态系统的平衡也造成很大的冲击。

与水资源总量不足的国家或地区不同，水资源总量较为丰足的国家或地区也可能由于水污染造成水短缺问题。如一些工业化进程很快的发展中国家水短缺问题就往往主要是由污染排放造成的。换言之，由于污染造成水质差而不是水总量不足已使得部分工业化快速发展的国家进入水短缺期。当前，中国正在全面快速推进工业化和城市化进程。坐落于长江入海口的上海就是一个典型的案例。快速的经济增长、大规模的人口迁入给城市基础设施带来了巨大压力，并使得水质恶化到不安全的程度。由于市内黄浦江水质差，缺少可资利用的清洁水已成为制约上海进一步发展的关键性瓶颈，并迫使政府采取相应的政策力求开发新的取水源地——在长江和黄浦江的中、上游地带建造水库。

上海目前水资源的供需矛盾已经日益突出。水需求增长与人均供水量下降造成清洁用水供不应求，上海水资源能否实现可持续利用也开始受到现实的严峻挑战。在上海，水需求的增长、水污染的状况、人口增长都威胁到水资源的可持续利用，并威胁到上海社会经济全面的可持续发展。本文将首先考察上海水资源利用的主要影响因素及其影响的相对作用，在此基础上进一步考察改革开放以来上海水资源利用状况及其变化趋势，探讨上海城市发展、经济转型对水资源利用可持续性的影响，最后提

¹收稿日期:2012 - 10 - 08

* 基金项目:本研究得到教育部基地重大课题(批准号: 05JJD840010) ; 国家社科重点项目(批准号: 05AJY002)资助。

出实现上海水资源可持续利用的政策建议。

二、水资源状况及其影响因素考察

2. 1 水资源状况。(1) 水资源流量。上海市内水资源流量主要由黄浦江及其他市内河道流量构成。黄浦江年均径流量为300多立方米/秒, 年均流量100亿立方米, 加上其他市内河道流量, 上海市内水资源年均径流量合计为145亿立方米。由于一些外生因素的影响, 每年水量变化较大, 一般大致在50至230亿立方米的区间内波动(吴浩云、胡艳, 2005), 因此本文使用的是多年平均流量数据。

长江入海口(大通站)年均流量为9000亿立方米(Chen等, 2001), 但水含氯化物的增长, 造成水质逐年下降并使长江入海口的水难以作为可用清洁水资源利用, 由此造成长江水资源利用的最大障碍。而且, 由于长江入海口基本处于上海市的外围, 所以本文仅将长江水资源取水量作为上海的补充水资源。

(2) 水资源质量。影响中国水资源质量的因素有很多, 如水资源空间分布的不平衡性、经济快速发展带来的人口增长和城市建设、水资源管理能力水平(Yong, 2009)、污染排放量的多少、水处理技术因素(Shalizi, 2006)等。中国的环境污染问题十分复杂, 世界银行报告计算出上海水污染带来的年均成本为78.5亿元, 并由此建议, 在发展经济的同时, 中国不应该不考虑实现经济发展与环境保护之间的均衡(Shao, 2006)。

上海在经济迅速发展的过程中, 一部分制造业排出的污染物没有经过处理就直接排放到市内河道, 严重污染该区域水质, 破坏了该区域水生系统的健康循环系统。一些分析研究表明: 上海市区黄浦江内的污染物如生化需氧量、化学需氧量、总氮、油、酚类及细菌等的含量都非常高, 从而使得黄浦江水质未能满足国家V类水质量标准(Yang, 2007, 黄沈发等, 2007)。上海市环境状况公报历年数据表明, 1990年代上海城市大多断面的水质下降为V类, 只有6%的水源满足III类标准。

不过, 污染物浓度在接近长江入海口的地方比较低, 大部分的水资源列为III类(Wu, 2005, Muller等, 2008)。由于长江入海口的水质优势, 上海市政府已在开发长江取水能力, 建造上海青草沙水库, 把长江清洁水资源作为上海补充水资源。

2. 2 水资源的影响因素

(1) 经济发展对水资源的影响。工业革命以来, 全球经济的发展带来越来越多的资源消耗, 同时也造成废物的排放量不断增加。Auty(1997)的研究结果显示, 在发展中国家经济转为发达国家的过程中, 污染总量呈S型曲线变化。研究经济增长与污染量之间关系的学者用库兹涅茨曲线研究来诠释两者之间的关系(Grossman and Krueger, 1995), 一些研究表明中国及上海经济发展与污染量的关系也基本呈倒U型变化趋势(Song等, 2008, Wang等2008)。

城市用水量随着经济的发展而增长。一方面, 工业生产用水量增加, 另一方面, 居民生活水平提高也使得生活用水量大大增加。一些关于经济发展与用水量之间关系的研究集中在验证环境库兹涅茨曲线的存在, 即随着经济的发展用水量呈倒U型曲线, 研究也发现上海市农业、工业用水量呈倒U+U型曲线(Yang等, 2006, 侯培强等, 2008)。

(2) 产业结构变化对水资源的影响。自改革开放以来, 上海产业结构发生了显著的变化, 已从以第二产业为重心转到以第三产业为重心。发展中国家的城市大多如此, 这种现象也是经济发展的特点之一。根据上海统计年鉴数据, 第二产业占GDP的比例从1978年的77%下降到2009年的40%。与此同时, 第三产业比例从1978年的19%增长到2009年的59%, 第一产业从4%下降到低于1%。随着产业结构的转变, 污染排放强度也随之改变。由于第一、第二产业污染强度比第三产业要高, 因此以第二产业为主导的经济转变为第三产业为主导的经济对降低全市经济污染强度有积极作用, 它使污染排放量呈倒U型曲线变化(Auty, 1997)。

测量工业污染强度时，一些研究项目用能源消耗量数据代替污染排放量，结果显示两种数据之间具有很高的相关性。有些学者也表示能源消耗量可以用来模拟水污染物的排放（Casler 等，1997，Huang，1993）。另外，研究中常规的方法是把美国及其他OECD 国家污染治理成本高的经济部门当做经济中污染最密集的产业。本文用Hettige 等（1995）的水污染排放量数据。

上海用水量也受到经济转型中产业结构变化的影响，特别是农业及第二产业一些部门比重的下降使产业用水强度也有所下降。农业是用水强度最高的产业，但上海农业占GDP 的比例现在已经低于1%，这意味着农业用水强度高对城市总用水强度已不会有太大的影响。

（3）技术进步对水资源的影响。技术进步对水污染程度的减轻发挥着巨大的作用。从水资源方面看，技术进步使得产业生产力提高，利用最新绿色技术可使产业降低污染强度。水净化以及废物、污水处理技术的进步，包括水净化处理设备覆盖率的提高都使得城市水污染强度得以不断降低。污染治理成本的下降也促进产业污染强度下降。索洛增长模型表示技术进步可以考虑为劳动生产力的提高。技术进步一般被作为外生因素，用指数增长、下降模型来模拟年度平均技术进步率。然而，技术的扩张一般用S 型的逻辑斯蒂曲线作模型。技术的大跃进使得城市污染缓解能力比预想更为有效，意味着技术进步是形成环境库兹涅茨曲线的关键变量之一，这使得Atkinson等（1997）提出库兹涅茨曲线的隧道模型。

技术进步对用水强度也有很大作用。生产成本的下降使得用水量下降。另外，新技术使得工业浪费水量减少，也使生产需要的水量下降。国际研究表明各行业用水强度年均下降率为6%（丹麦统计局数据），表明大概的技术进步率可能接近6%。研究显示中国工业水资源消耗强度呈不断下降的趋势，工业水资源消耗强度下降的结构份额不断减少，效率份额则逐渐增大（陈东景，2008），表明效率及技术进步的作用越来越重要并超过结构变化。

（4）水短缺缓解及水污染治理措施对水资源的影响。上海市政府实施了一系列的污染排放减少措施及用水量减少措施。1988 年《中华人民共和国水法》已经提出“加强水污染防治工作，保护和改善水质”、“厉行节约用水，促进采用节约用水的先进技术，降低水的消耗量，提高水的重复利用率”以及让企业把“水资源费用作为缓解用水量的经济手段”等。

2002 年的《中华人民共和国水法（修订）》调整了1988 年水法的规定，决定对上海水资源进行优化配置。1989 年的《中华人民共和国环境保护法》要求“加强环境保护科学技术的研究和开发，技术改造，应当采用资源利用率高、污染物排放量少的设备和工艺，采用经济合理的废弃物综合利用技术和污染物处理技术”。政府征收污染税的同时把工业迁出高人口密度地区，并规定某些产业采用污染排放量低技术和废物处理管理集中于中央。研究显示上海市政府针对水污染物的措施使得工业、生活污水污水处理率从1991 年的74% 及14% 分别提高到2000 年的98% 及50%（Lee，2003）。

实践表明，在1980 与1990 年代上海市政府采取的初期措施容易执行而获得了快速成效，到了2000 年代，由于执行难度加大，效果逐渐弱化。这样使政府措施对水污染量的作用也呈S 型曲线（王腊春等2003）。

三、水资源利用指标设计及人均用水量回归模型的构建

3. 1 可持续性 & 水资源利用指标

Solow（1986）把这一代与后代之间的资源、机会平等当做可持续性的核心问题之一。最常用的关于可持续发展的定义来自布伦特兰的报告（1987）：即既能满足当代人的需要、同时又不削弱后代人满足其需要之能力的发展。此后生态现代化理论提出，可持续性不仅指资源有关的问题，也包括社会发展及经济增长因素（Pinfield，1997）。

评价上海水资源利用的可持续性，需要采用适当的水资源利用指标。近30 年来，水短缺问题日益严重，人们提出了不少评价缺水的指标。Gleick（1998）提出7 个可持续性标准：每人50 升常用的“水基本要求”（BWR）、生态系统水基本要求、水

质量标准、水资源计划及决策的民主化等。

相对水需求指标 (RWD) 及水再利用指数 (WRI) 也被用来分析长江入海口地区的缺水状况 (Vorosmarty 等, 2000)。但这些指标没有考虑社会发展、经济增长和环境恶化等因素, 用于描述和评价水资源可持续利用有很大局限, 而且一些学者也明确指出环境水需求 (EWR) 非常重要 (Smakhtin 等, 2004, 马乐宽、李天宏, 2008)。

既方便又常用的指标是法尔肯马克的缺水指数 (WSI), Ohlsson 在此基础上改进并提出了社会缺水指数 (SWSI), 把社会因素整合到指标中。Chang 等 (2010) 设计的大城市水资源可用性指数 (MWAI), 又把水质方面考虑进去。另外, 沙利文 (Sullivan, 2002) 也考虑社会经济指标, 设计了“水贫困指数” (WPI), 把物质、社会、经济、环境信息和缺水、水的可用性 & 用水能力等都综合在一起。本文在上述指标的基础上进一步设计了一个适用于上海水资源利用特殊情况的指标。

3. 2 上海水资源利用指标设计及人均用水量回归模型的构建

由于上海水资源的根本问题是水质差的问题而不是水资源总量问题, 所以本文设计的指标也主要考虑水质方面的因素。上海水资源利用的可持续性取决于取水与污水排放两方面的相关容量及其变化趋势。本文设计的指标叫做相对可用清洁水资源量, 用以计算可用清洁水资源量是否供不应求、能不能满足城市水需求, 具体定义为可用清洁水资源量占用水量的比例。相对可用清洁水资源量指标计算式如下:

$$RCWA = (CWA / WD) \times 100\% \quad (1)$$

其中, RCWA 为相对可用清洁水资源量 (Relative Clean Water Availability); CWA 为年人均可用清洁水量 (Clean Water Availability); WD 为年人均用水量。

CWA 主要考虑四方面的因素: 一是市内骨干河道水资源量, 包括黄浦江及其支流; 二是补充水资源量即长江水资源, 上海其他补充水资源能力为水厂生产能力, 由于大部分水厂在黄浦江上游地区而不在市内, 本文把它当做补充淡水资源; 三是水质量, 本文分析市内骨干河道污染水量及其占总水量的比例。以上三方面可以结合起来测量可用清洁水总量。四是人口规模。人均可用清洁水量指标公式如下:

$$CWA = \frac{WF - PW + TW}{P + M} \quad (2)$$

其中, WF 为长期平均水流量, PW 为污水量, TW 为补充水资源量, P 为户籍人口规模, M 为常住外来人口规模。分数的分子代表可用的清洁水量, 分母代表城市常住总人口规模。

政府规定生活用水必须为 III 类或优于 III 类, 工业用水必须为 IV 类或优于 IV 类, 农业用水必须为 V 类或优于 V 类。在模型 (2) 中污水量定义为劣于 III 类的水。一系列的河流断面水监测提供水质数据, 本文假设水质好的断面数占断面总数的百分比也等于潜在取清洁水地点数占潜在取水地点总数的百分比。因此, 可用清洁水资源与监测为 III 类级以上水的断面所占的百分比成正比。由于黄浦江取水源地大多在上游地区, 断面监测表示取水后的水质, 故可用清洁水资源总量为河流里的清洁水资源加上已经实现的取水量。取水量就算补充水资源量。

CWA 为容易理解并便于计算的指标, 而数据大多公开, 只要计算出污染水量或污染水量占总水量的比例就可以计算得到它。CWA 适用于作国际、区域之间的比较, 也适合做趋势分析。与他水资源指标不考虑环境恶化或水质不同, CWA 也考虑水质

因素的影响，这是CWA 与其他常用指标的主要区别。

考虑经济因素对污染水量的影响，为了分析不同经济因素对CWA 的作用，本文采用以下回归模型模拟污水量的演变：

$$PW = aX_1 \times X_2 \times X_3^{t-1978} \times X_4^{t-1988} \times X_5^{t-2002} + u_t \quad (3)$$

其中，X1为GDP；X2为产业结构变化造成的产业污染强度，X3为平均技术进步贴现率，X4及X5为1988 年水法贴现率及2002 年水法修订贴现率。其中产业结构变化造成的产业污染强度变量由人民币1 元的污染排放量数据及各行业占总GDP 的比例计算得到（Hettige 等， 1995）。X4及X5在1988 年及2002 年之前均为1。

总用水量（WD）由上海统计年鉴数据、上海水资源公报数据来测量和计算。

$$WD = DIA / P + M \quad (4)$$

其中，WD 为年人均用水量（Water Demand）；DIA 为生活用水量、工业用水量、农业用水量的总和；P 为户籍人口规模，M 为常住外来人口规模。

对年人均用水量WD 及其影响因素建立以下回归模型进行模拟：

$$WD = aY_1 \times Y_2 \times Y_3^{t-1978} \times Y_4^{t-1988} \times Y_5^{t-2002} + u_t \quad (5)$$

其中，Y1为GDP，Y2为产业结构变化造成的产业用水强度，Y3为平均技术进步贴现率，Y4及Y5为1988 年水法贴现率及2002 年水法修订贴现率。其中产业结构变化造成的产业用水强度变量由1 元人民币的用水量数据及各行业占总GDP 的比例数据计算得到。X4及X5在1988 年及2002 年之前均为1。

根据以上模型，即可分析上海水资源利用的演变趋势及各影响因素的相对作用，并通过RCWA的分析，评估上海水资源利用的可持续性。

四、水资源利用的模拟分析及可持续性评价

4. 1 产业结构变化与水资源利用演变趋势分析

产业结构的变化造成整个污染强度及用水强度发生显著变化，第一、二产业比例的下降及第三产业的提高使经济总污染强度与用水强度都明显下降。

世界银行及Hettige 等（1995）的IPPS 数据提供了各行业的污染强度，即各行业1 美元产值排放的水污染量。图1 表示1978 年以来上海三大产业污染排放强度的演变轨迹，图2 为同期上海产业结构变化造成的整个水污染排放强度的演变轨迹。可以看出，近30 年来，上海产业结构变化造成的整个水污染排放强度大致下降了40%。

图3 为1978 年以来上海产业结构变化造成的用水强度的演变轨迹，农业比例的变化带来农业用水强度的增大趋势，1978 - 2009 年30 年间约增大了40%。第二、三产业比例的变化使其用水强度都表现出逐渐减小趋势，30 年来约分别下降了40% 和

30%。图4 表示上海产业结构变化造成的总用水强度的变化趋势，由此看出1978 年以来上海产业结构变化导致整个用水强度发生显著下降，到2009 年大致比1978 年下降了65%。

4. 2 水资源利用可持续性评价

把以上产业结构变化造成的污染强度及相关数据输入PW 模型(3) ，用迭代公式计算所得最接近污染水量的函数模型如下：

$$PW = aGDP \times PI \times 0.93^{t-1978} \times 0.98^{t-1988} \times 0.92^{t-2002} \quad (3')$$

计算所得模型的R2 = 0.819，显示该模型可以解释水污染量PW 变化趋势的82%，另外18%的波动由其他外生因素所致。模型显示，平均技术进步贴现率为7%左右，上海市政府实施的1988年及2002 年水法对该市水污染的作用使污水量每年分别减少2%及8%左右。

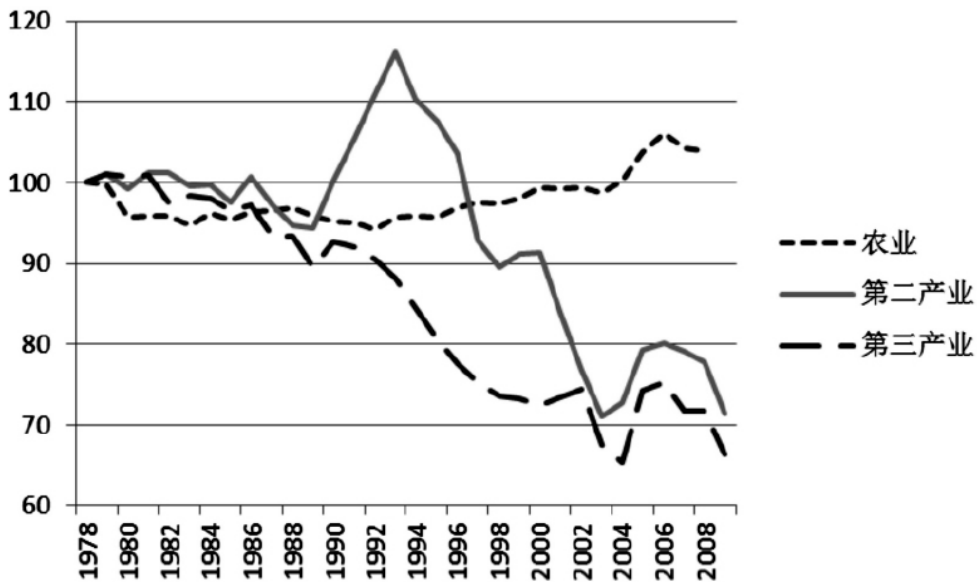


图1 上海产业结构变化造成的水污染排放强度的演变轨迹(单位:与1978 年的比值,%)

数据来源:根据历年《上海统计年鉴》计算。

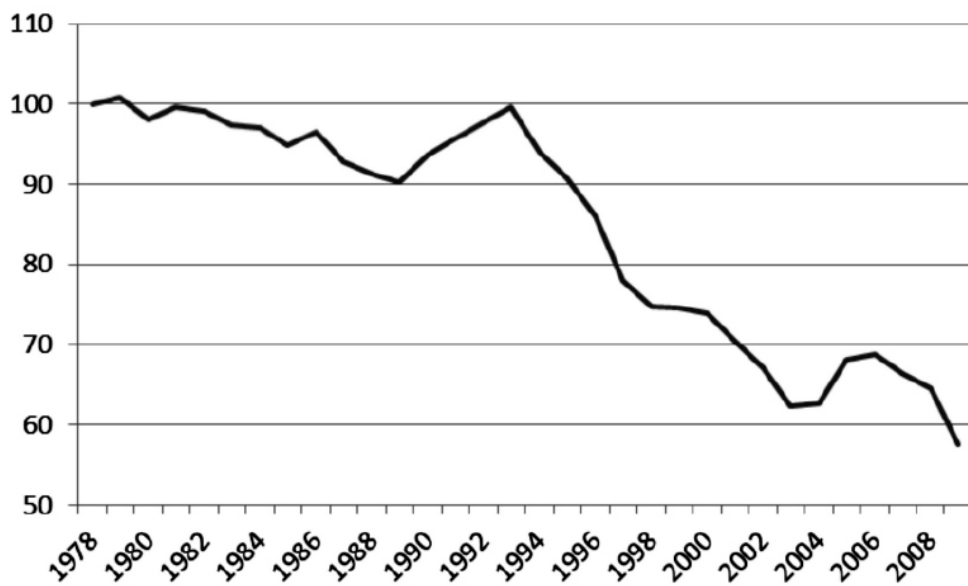


图2 上海产业结构变化造成的总污染排放强度的演变轨迹(单位:占1978年的比值,%)
数据来源:同图1。

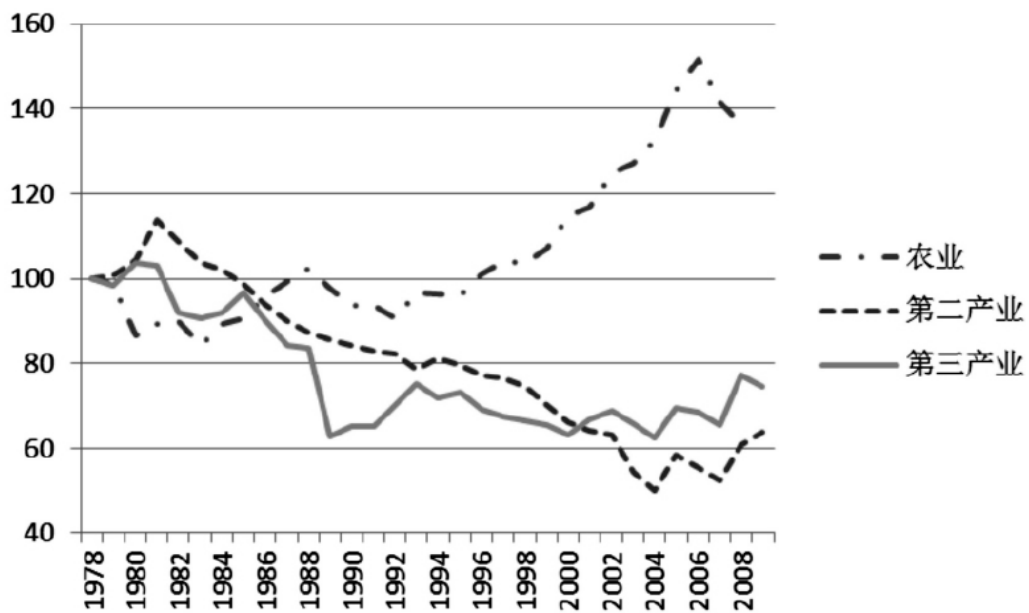


图3 上海产业结构变化所造成的用水强度的演变轨迹(单位:与1978年的比值,%)
数据来源:同图1。

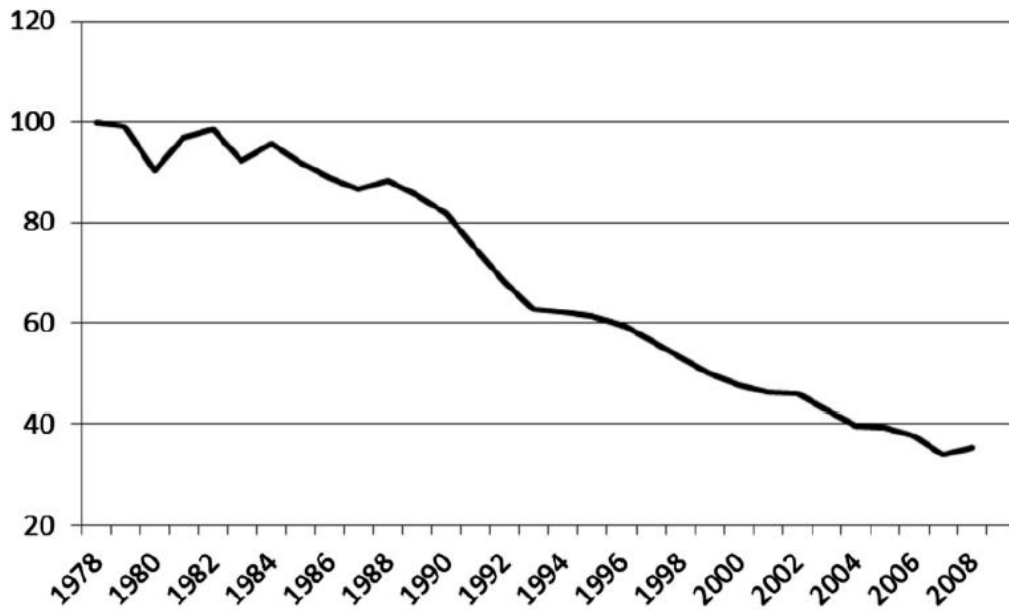


图4 上海产业结构变化造成的总用水强度的演变轨迹(单位:与1978年的比值,%)
数据来源:同图1。

把产业结构变化造成的用水强度及相关数据输入WD 回归模型(5), 用迭代公式计算所得最接近用水量的函数模型如下:

$$WD = 0.00276 \times GDP \times WI \times 0.96^{t-1978} \times 0.94^{t-1988} \times 1.03^{t-2002} \quad (5')$$

计算所得模型的 $R^2 = 0.778$, 显示模型可以解释上海水需求变化的78%, 其他22% 是由于如降雨量或农业需求等外生因素的波动引起的。模型显示, 平均技术进步率为4%左右, 上海市政府1988 年实施的水法使用水量每年大约减少6%, 但2002 年实施的修订水法反使其用水量每年增长3%左右。

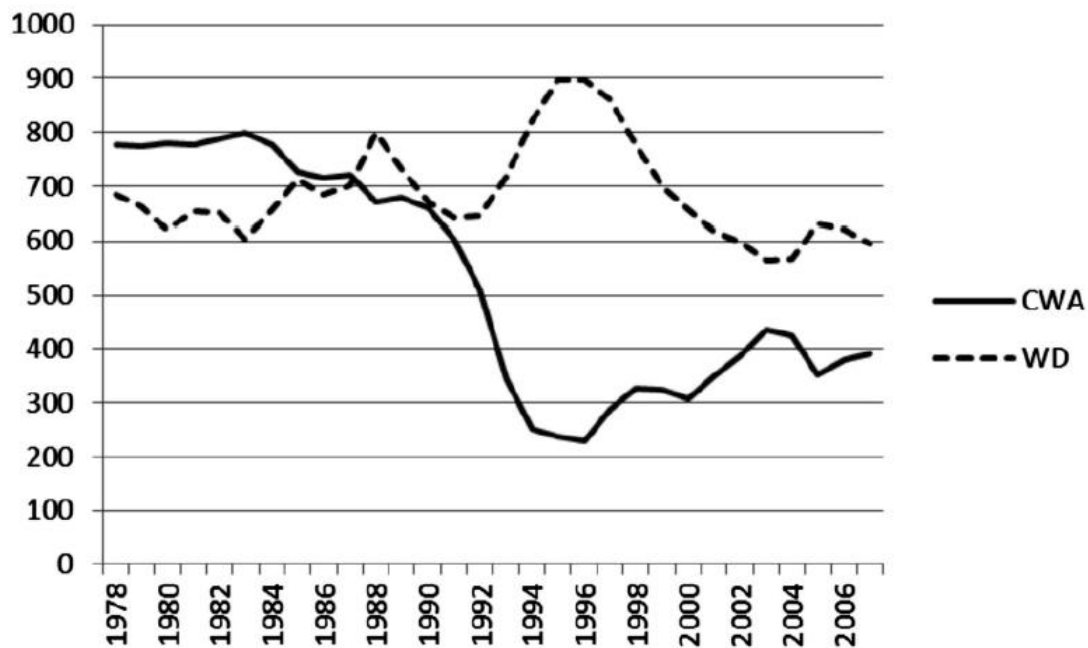


图5 上海人均可用清洁水量 CWA 与用水量 WD 的演变轨迹(单位:立方米/年)
资料来源:作者计算与绘制。

把求得的PW 值及相关变量代入CWA 模型(2), 即可计算上海人均可用清洁水量。图5 表示上海人均可用清洁水量与人均用水量的演变轨迹, 可以看出二者大致呈反向变化趋势。在上世纪80 年代初人均可用清洁水量CWA 迅速下降, 到1996 年已低于人均230 立方米, 此后又反呈上升趋势, 到2009 年达到400 立方米左右。与此同时, 人均用水量WD 从1990 年的650 立方米上升到1996 年的900 立方米, 远远多于可用清洁水资源量。此后逐年减少到2009 年的600 立方米, 仍是人均可用清洁水量的1.5 倍, 显示上海市清洁水资源仍然面临严重供不应求的问题。

根据RCWA 模型和以上计算求得的CWA、WD, 即可计算出上海1978 年以来的相对可用清洁水资源指标(图6), 分析上海可用清洁水资源能够多大程度地满足用水需求。由图6 可以看出, 在1978 年到1996 年期间, 上海相对可用清洁水资源呈明显恶化趋势, 1987 年之前可用清洁水资源尚处丰足状态, 可用清洁水资源与水需求之比都维持在100% 以上, 但此后开始恶化出现供不应求, 到1996 年已严重不足, 可用清洁水资源与水需求之比已下降到26%。1996 年后虽有所改善, 但仍不能满足用水需求, 到2002 年之后仍基本波动在60%左右。

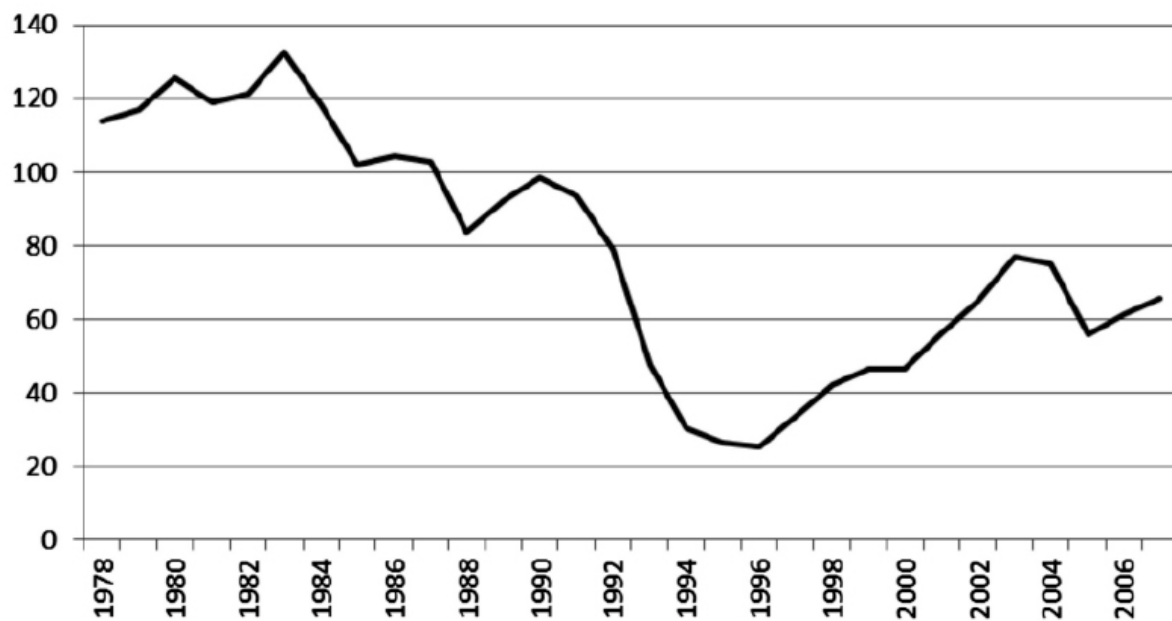


图6 上海相对可用清洁水资源量 RCWA 的演变轨迹

数据来源:作者计算与绘制。

根据上述,可进一步计算PW模型(3)与WD模型(5)的变量对CWA、WD及RCWA的相对作用(表1)。图7表示缓解因素对RCWA的作用。可以看出,如果没有污染强度增加、技术进步或政府措施方面的改进,CWA就将减少到河流没有清洁水资源的最低限。技术进步、政府措施的改进对提升城市清洁水资源满足需求的能力都有重要作用,可使水资源供给能力超出需求量的50%左右。另外,污染强度、用水强度的变化也有显著作用。

表1 变量对RCWA、CWA、WD的影响

变量	变量所导致的影响(与变量自1978年不变得情况下相比)		
	CWA(人均立方米)	WD(人均立方米)	RCWA(百分点)
污染强度	150	/	26
用水强度	/	1150	37
技术进步	150	1650	49
政府措施	150	1330	48

数据来源:作者计算。

五、主要结论与讨论

本文在总结前人研究的基础上,针对上海的具体情况设计了相对可用清洁水资源量等水资源利用指标,并根据这些指标对上海水资源利用影响因素的相对作用、在这些因素影响下的可用清洁水资源量能否满足水需求等问题进行了深入详实的定量考

察和分析，得出了一些有意义的结论。

研究指出，经济发展是水污染量增长与用水量增长的重要驱动因素，城市用水量随着经济的发展而增长。但在经济发展过程中，技术进步、产业结构的变化，以及政府的政策措施，又在很大程度上缓解了水污染和用水量的增长。所以改革开放以来，上海经济发展使年人均可用清洁水量CWA、年人均用水量WD 和相对可用清洁水资源量RCWA 等指标都呈初期恶化、随后改善的变化趋势，表现出环境库兹涅茨倒U 型曲线的基本特征。

不同产业的水污染强度及用水强度明显不同，所以产业结构的高度化演变（第一、二产业比例下降、第三产业比例上升）将会缓解水污染强度和用水强度。改革开放以来，上海产业结构的变化，使其2009 年的水污染强度及用水强度分别比1978 年降了40% 和65%，可见产业结构变化对上海缓解和降低水污染强度和用水强度的作用还是非常明显的。

技术进步和政府实施的积极政策措施是减少水污染和用水量的重要因素。高显著性模型的定量分析显示，平均技术进步贴现率可使年污染水量PW 减少7% 左右，使年用水量WD 减少4%左右；市政府实施的1988 年和2002 年水法可使年污染水量PW 分别减少2% 和8% 左右，但二者对年用水量的影响不同，1988 年水法使年用水量大约减少6%，而2002 年的修订水法则反使其用水量每年增长3%左右。为什么会出现这种现象，尚需进一步探讨。

进一步分析还显示，如果没有污染强度增加、没有技术进步或政府政策措施的积极改进，上海年人均可用清洁水量CWA 将可能减少到河流没有清洁水资源的最低限。技术进步、政府政策措施的积极改进不仅对提升城市清洁水资源供给能力都有重要影响，最大可使水资源供给能力超出需求量的50%左右，而且对减小污染强度和用水强度也有显著作用。

改革开放以来，上海人均可用清洁水量与人均用水量呈反向变化趋势，在1980 年代二者均小幅波动，差距不大，但此后伴随浦东开发开放及经济的快速发展，人均用水量迅速增加，人均可用清洁水量则显著减少，二者在1996 年分别达到各自峰值，即上海人均用水量增至900 立方米，人均可用清洁水量则大幅减少到230 立方米，只有人均用水量的26%，处于严重缺水状态。此后虽然人均用水量有所减少，可用清洁水量有所增加，但二者缺口仍然很大，2002 年之后人均可用清洁水量与人均用水量之比基本保持在60%左右波动。

要实现上海水资源可持续利用，必须使相对可用清洁水量指标 RCWA 稳定保持在 100%以上。虽然近 10 多年来上海水资源利用的供需矛盾有所缓解和改善，但可用清洁水量仍远未满足用水需求的 100%，上海水资源利用尚处严重短缺状态，离实现可持续水资源利用目标还有很大差距。需要指出的是，上海水资源利用的短缺不是由水资源总量不足造成，而主要是因为水污染使水质变差所致。因此，进一步加快产业结构调整，推进科技创新和技术进步，完善政府水资源利用的政策措施，是上海未来提升水资源供给能力、实现水资源可持续利用的重要途径和努力方向。□

参考文献:

1. Atkinson G, Dubourg R, Hamilton K, Munasinghe M, Pearce D, Young C. Measuring sustainable development: macroeconomics and the environment [M]. Cheltenham, Edward Elgar 1997.
2. Auty, R. M. Pollution Patterns during the Industrial Transition [J]. The Geographical Journal Vol. 163, No. 2, July 1997, pp. 206 — 215.
3. Casler, S. D. , Blair, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions [J]. Ecological Economics 22 (1997) 19 27.

-
4. Chang, N. B. , Yang, J. , Goodrich, J. A. , Daranpob, A. Development of the Metropolitan Water Availability Index (MWAI) and short-term assessment with multi-scale remote sensing technologies [J] . Journal of Environmental Management 2010 Jun; 91(6) : 1397 — 413.
 5. 陈东景. 中国工业水资源消耗强度变化的结构份额和效率份额研究 [J] . 中国人口、资源与环境2008 年第 18 卷第3期。
 6. Chen, X. Q. , Zong, Y. Q. , Zhang, E. F. , Xu, J. G. , Li, S. J. Human impacts on the Changjiang (Yangtze) River basin, China, with special reference to the impacts on the dry season water discharges into the sea [J] . Geomorphology 41 (2001) 111 123.
 7. Gleick, P. H. Water in crisis: paths to sustainable water use [J] . Ecological Applications 1998 8 3 571 — 579.
 8. Grossman, G. M. , Krueger, A. B. Economic Growth and the Environment [J] . The Quarterly Journal of Economics, MIT Press 1995, vol. 110(2) , pages 353 — 377, May
 9. Hettige, H. , Martin, P. , Singh, M. , Wheeler, D. The Industrial Pollution Projection System [R] . The World Bank, Policy Research Department, Environment, Infrastructure, and Agriculture Division, March 1995.
 10. 侯培强、任珺、赵乃妮、王朝旭、寇永纲. 上海市用水量与经济的关系研究 [J] . 环境科学与管理2008, 33(2) .
 11. 黄沈发, 王敏, 杨泽生. 黄浦江上游地区水环境质量演变趋势 [J] . 中国人口、资源与环境2007, 17, 2.
 12. Huang J P. Industry energy use and structural change: A case study of The People' s Republic of China [J] . Energy Economics April 1993, 0140 /9883 /93 /020131 — 06.
 13. Lee, S. More players on the stage: New Trends in Shanghai' s Water Pollution Control Policies [M] . China Environment Series • Issue 6 Commentaries 2003.
 14. 联合国世界水资源发展报告 (The 3rd United Nations World Water Development Report: Water in a Changing World) [R] , 联合国2009.
 15. 马乐宽, 李天宏. 关于生态环境需水概念与定义的探讨 [J] . 中国人口、资源与环境2008 年第18 卷第5.
 16. Muller B, Berg M, Yao Z P, et al. How polluted is the Yangtze river? Water quality downstream of the Three Gorges Dam [J] . Science of the Total Environment 402(2008) 232 — 247.
 17. Environmental Indicators [C] . Paris. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) 1994.
 18. Pinfield, G. Sustainability indicators: a new tool for evaluation? [M] . Farthing S M ed Evaluation of local environmental policy, Aldershot, Avebury, 1997.

-
19. Shalizi, Z. Addressing China's Growing Water Shortages and Associated Social and Environmental Consequences [R]. World Bank 2006 WPS3895.
 20. Shalizi, Z. China Cost of Pollution: Economic Estimates of Physical Damages [R]. World Bank 2006.
 21. Shao M, Tang X Y, Zhang, Y. H. , Li, W. J. City clusters in China: air and surface water pollution [J]. Frontiers in Ecology and the Environment 2006, 4 7 353 - 361.
 22. 上海统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社出版, 1978 年— 2010.
 23. 上海市水资源公报 [R]. 上海: 上海市水务局, 1979 年— 2010.
 24. 上海市环境状况公报 [R]. 上海: 上海环境保护局, 1988 年— 2010.
 25. Smakhtin, V. , Revenga, C. , D? ll, P. Taking into Account Environmental Water Requirements in Global-scale Water Resources Assessments [R]. International Water Management Institute, 2004.
 26. Solow, R. M. On the intergenerational allocation of natural resources [J]. The Scandinavian Journal of Economics, Vol. 88, No. 1, Growth and Distribution: Intergenerational Problems. (Mar. , 1986) , pp. 141 - 149.
 27. Song T, Zheng T G. , Tong, L. J. An empirical test of the environmental Kuznets curve in China: A panel cointegration approach [J]. China Economic Review 19 (2008) 381 - 392.
 28. Sullivan, C. Calculating a Water Poverty Index [J]. World Development 2002 30 7 1195 - 1120.
 29. Vorosmarty, C. J. , Green, P. , Salisbury, J. , Lammers, R. B. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth [J]. Science 2000 289 5477 284 - 288.
 30. Wang J Y, Da L J, Song K. , Li B. L. Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China [J]. Environmental Pollution 152 (2008) 387 - 393.
 31. 王腊春, 史运良, 周寅康等. 长江三角洲水环境治理 [J]. 中国人口、资源与环境2003 年5 月第12 卷第 3 期.
 32. 吴浩云, 胡艳. 引江济太调水试验工程对黄浦江上游水环境的影响分析 [J]. 河海大学学报(自然科学版) 第33 卷第2 期2005, 3.
 33. Wu J Y. Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data [J]. Marine Pollution Bulletin50 (2005) 1661 - 1667.
 34. 肖长来, 梁秀娟, 卞建民, 等, 编著. 水环境监测与评价 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008. 9.

-
35. Yang H. J. , Shen Z. M. , Zhang J. P. , Wang W. H. Water quality characteristics along the course of the Huangpu River [J] . Journal of Environmental Sciences 2007 19(2007) 1193 — 1198.
36. Yang, H. , Jia, S. F. Industrial Water Use Kuznets Curve: Evidence from Industrialized Countries and Implications for Developing Countries [J] . Journal of Water Resources Planning and Management Vol. 123 Issue 3 183(2006) .
37. Yong J. China's Water Scarcity [J] . Journal of Environmental Management 90(2009) 3185 — 3196.
38. 《中华人民共和国水法》 [R] , 1988.
39. 《中华人民共和国环境保护法》 [R] , 1989.
40. Final consumption of water and water intensity by industry and unit 1995 — 2005 [DB]. Statbank, Statistics Denmark. [http: // www. statbank. dk](http://www.statbank.dk).