

# 第十四章

## 中国经济增长对其水资源的影响

——基于区域性多部门评估

杨红 张卓颖 石敏俊

### 引言

过去四十年随着经济飞速发展，中国在国家发展上取得了举世瞩目的成就，人民的生活水平也得到很大的改善。然而，水资源匮乏以及水质恶化的问题在不断加剧。在 1980 ~ 2010 年间，中国的总用水量从 4437 亿立方米增至 6022 亿立方米，增长了 35.8%（Liu and Chen, 2001；MWR, 1997 - 2010）。在同一时期，工业和家庭污水排放总量翻了一番。

总体而言，中国水资源的状况不容乐观。目前我国人均水资源占有量仅为世界人均占有量的四分之一。水资源时空分布不均匀也加重了水质恶化问题。中国大部分的水资源都集中在南方，而土地辽阔的北方水资源所占份额较小。中国的气候主要是以东亚季风气候为主，每年降雨量主要集中在夏季，其他季节的降雨量几乎可以忽略不计。从 20 世纪 80 年代末开始，缺水现象就在中国许多区域出现，特别是北方地区。近些年缺水现象不仅加剧，覆盖的范围也扩大了。据报道，在一些北方城市，旱季时供水量仅能满足需求的 70%。在 600 个大中城市中，超过一半的城市供水不足，其中超过 100 个城市正经历着严重的水荒（Jiang, 2009）。水资源匮乏导致人民生活困难，经济也失去活力。在许多北方城市，水资源匮乏已经成为经济继续增长的瓶颈。由于水资源是有限的，经过重新分配农业用水被调至城市部门，这让北方许多区域的农业灌溉面临巨大压力。粮食生产非常依赖灌溉，这样一来农业部门将面临着更大的挑

战——以更少的用水量来生产更多的粮食。同时，用来维持健康环境和生态系统功能的用水不得不减少，以优先考虑经济部门的用水需求。

随着缺水现象的加剧，水资源污染和环境恶化也在全国范围内出现。目前，在东部地区许多河流和湖泊的水质都低于 V 级，这就意味着水污染非常严重，已经不能提供给任何部门使用。恶化的水质又进一步加剧了水荒。在华北平原，大多数的河流现在不是完全干涸就是季节性干旱。而那些还有水的河流也都受到严重的污染，无法被使用。

自 20 世纪 90 年代末开始，中国水资源匮乏和水污染问题引起了越来越广泛的关注。政府陆续出台了许多措施以增加水供给减少水需求。然而这仍然没有扭转严峻的形势，在很多地方水问题甚至进一步恶化。中国糟糕的水资源状况也引起了人们对于水资源和环境可持续发展的思考。中国如何处理水资源匮乏和水污染的问题将会影响到中国经济的长期发展。

由于中国同世界各地的贸易关系越来越紧密，中国水资源的问题也同样引起了全球的关注。两国之间的国际贸易需要虚拟水的流动，虚拟水是指在贸易产品生产的过程中所使用的水量（Allan, 1997; Yang and Zehnder, 2007）。通过贸易而流入的虚拟水减少了居民生活用水的压力，不过虚拟水的流出则增加了这种压力。作为“世界工厂”，中国用了很大一部分水来生产出口的产品。目前从总体来看，中国是一个净“虚拟水出口国”，也就是说，出口产品生产过程中的用水量要大于进口产品所节约的水量。中国缺水现象的加剧可能影响到其国际贸易，而国际贸易是中国自 20 世纪 70 年代以来经济飞速发展的一个重要支柱。

当中国努力实施有效的措施来缓解水资源匮乏和水污染问题时，清晰地认识到水资源状况及其对中国经济发展的影响也非常重要。相关问题包括：还有多少水资源是可以利用的，不同的区域水质又是如何？有多少水资源在被使用，目的又是什么？哪个经济活动是污染水资源的罪魁祸首？中国国际贸易在多大程度上影响其水资源的利用？本研究将会一一解答这些问题。

## 中国水资源水量和水质的状况

### 水资源及其空间分布

中国的可再生水资源年平均量约为 28120 亿立方米，包括地表水和地

下水 (MWR, 1997 - 2011)。用这个水量除以中国 2010 年总人口数 13.3 亿, 那么平均供水量则达到了约每人 2100 立方米。这个数值约占世界平均水平四分之一, 是美国的六分之一。因此以世界标准来看, 中国可以说是一个贫水国家。

从地理上看, 中国水资源可以分为九大流域/区域: 长江流域、黄河流域、海河滦河流域、淮河流域、松花江流域、珠江流域、东南诸河流域、西南诸河流域及内陆河流域 (见表 14 - 1)。水资源空间上的分布非常不均。黄河流域、海河滦河流域和淮海流域 (下文称 3H 区域) 拥有平均每年 300 ~ 700 立方米的水资源——这远远低于由 Falkenmark (1995) 定义的“水稀缺”的阈值——每年 1700 立方米。中国内陆地区主要是以干旱及半干旱气候为主, 极其缺乏水资源。在这里, 人均水资源占有量比较大, 主要原因在于这一区域地广人稀。西南诸河流域拥有丰富的水源, 一些国际河流就发源于此, 包括湄公河 (Mekong, 在中国地区水域称为澜沧江)、萨尔温江 (Thanlwin, 在中国地区水域称为怒江) 及布拉马普得拉河 (Brahmaputra, 在中国地区水域称为雅鲁藏布江)。不过, 由于地理上的阻碍以及共享水域所涉及的国际政治敏锐性, 西南地区大部分的水资源中国不能使用。

表 14 - 1 水资源利用率和主要流域取水量 (2006 年)

| 各大流域   | 人均可用水资源<br>(立方米/人) | 可利用水资源<br>(10 亿立方米) | 用水量<br>(10 亿立方米) | 用水量/可利用水资源<br>(%) |
|--------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| 松花江流域  | 1704               | 172.07              | 64.38            | 37.42             |
| 海河滦河流域 | 358                | 29.75 *             | 37.00            | 124.37            |
| 黄河流域   | 749                | 61.06               | 46.67 **         | 76.43             |
| 淮河流域   | 505                | 89.06 *             | 63.97            | 71.83             |
| 长江流域   | 2388               | 839.60              | 197.04           | 23.47             |
| 珠江流域   | 3327               | 453.62              | 87.68            | 19.33             |
| 东南诸河流域 | 2962               | 173.52              | 34.36            | 19.80             |
| 内陆河流域  | 5270               | 132.34              | 64.13            | 48.46             |
| 西南诸河流域 | 31914              | 594.44              | 11.18            | 1.88              |
| 全 国    | 2100               | 2475.52             | 596.52           | 24.10             |

\* 该数据包括从海河流域流到淮河流域的水量。

\*\* 该数据包括从黄河流域流出的水量。

资料来源: MWR (1997 到 ~2011)。

用水量和可利用水资源之比是用水资源利用强度的一个指标，也是判断用水量对生态系统压力大小的指标。40%是凭经验预估的比率，一般作为用水临界的一个基准（Alcamo et al. 1999）。比率越高，从可利用水资源中取水的压力越大，取水越依赖生态系统。表 14-1 表明了主要流域的用水量和可利用水资源之比。

国际建议的用水量/可利用水资源比率为 40%，这能保证用水的可持续性，然而目前海河、黄河和淮河的用水量/可利用水资源比率过高，这意味着这些流域承载着过多的用水压力。海河流域的这一比率约为 124%，说明这一流域的取水量远远大于其本身的蓄水量。其原因主要是华北平原对于深层非可再生水资源的开采，而这种深水资源则来源于少量淡化海水。因此，地下水位以惊人的速度不断下降，华北地区的水资源渐渐枯竭。据估计，在过去 20 年华北平原地下水的累计透支已经超过了 900 亿立方米（Yang and Zehnder, 2005）。地下水枯竭则会造成严重的后果，包括地面沉降、海水侵袭以及生态系统功能丧失。由于取水量达到了过高的水平，北方地区许多河流以其支流面临着前所未有的恶劣生态状况。黄河已经变成了季节性河流，在 20 世纪 90 年代常常断流（MWR, 1997~2011）。

## 水质状况

过去 40 年随着中国经济快速发展，其水质也在不断恶化。在中国，水质被分为 5 种类型，分别为“好”（I, II, III 级）和“差”（IV, V 或 V+ 级）。

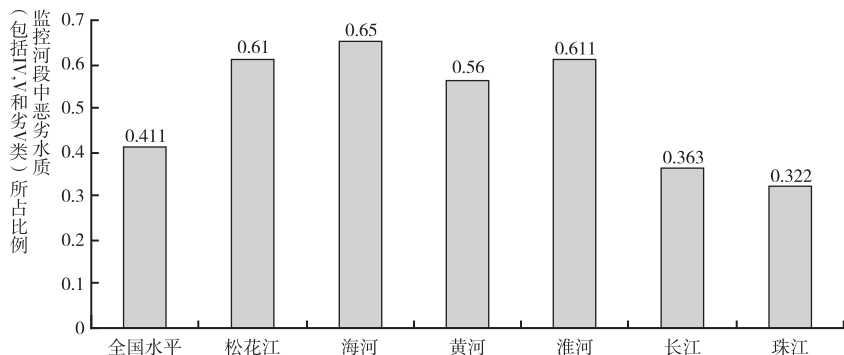


图 14-1 2010 年中国重要河流监测水段的水质

资料来源：MWR（1997~2011）

从图 14-1 可以看出中国水质的特点，在监测水段中恶劣水质占比较大。从整个国家来看，目前超过 40% 的河段水质很糟。在中国北部，所有重点河流（其监控水段水质为差的比例已经超过 60%）都存在严重的水质恶化。在南部的长江流域和珠江流域，超过 30% 的监控水段水质较差。水质状况指出了中国所面临的严峻形势：水量缺乏及水质恶化相互作用，加强了彼此的负面影响。

值得指出的是，自 20 世纪 90 年代起中国水质问题引起了广泛关注，政府也将更多的投资用于废水处理设施的建设。然而，迄今为止却未取得显著成果。在许多地区，水质仍然在不断恶化，尤其是南部河流的水质恶化引起了更多的关注。在过去的 20 年里，长江流域和珠江流域呈现出明显的水质恶化趋势（MWR, 1997-2011）。

当河流中的水质变差时，湖水的水质总体上会变得更糟糕，这是因为湖水的水循环缓慢，而且湖泊周边都集中着很多污染源。在中国 44 个主要湖泊中，56% 的湖泊水质只有 IV, V 和 V+ 级别。整个太湖的水质低于 III 级。在滇池和巢湖，水质甚至低于 V 级。过去的十年，政府将大量的投资用于改善太湖、滇池和巢湖的水质状况，然而仍收效甚微（MWR, 1997-2011）。

## 不同部门用水量及用水价值的变化

### 不同部门的用水趋势

快速的经济增长同持续的人口增长催生了不断增长的用水需求。图 14-2 表明了 1980~2010 年不同部门用水量的变化。

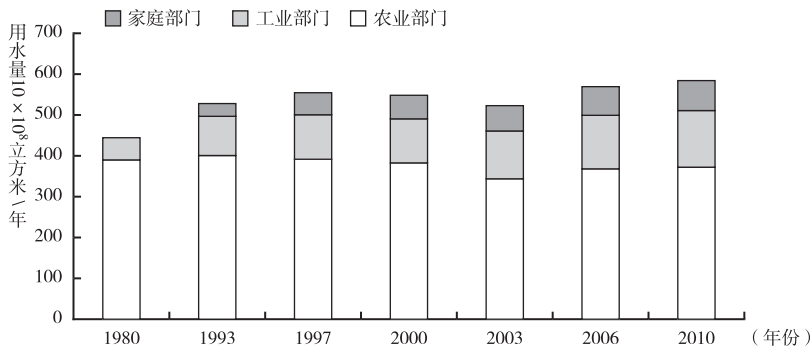


图 14-2 1980~2010 年工业、家庭（居民）及农业部门的用水趋势

资料来源：Liu 和 Chen (2001)；MWR (1997~2011)。

1980 ~ 2009 年，中国的总用水量增长了 34%。然而这些增加的用水量完全来自工业部门和居民部门。工业部门的用水量从 457 亿立方米增长至 1391 亿立方米，增长了 3 倍。居民部门的用水量也迅速提升，从 68 亿立方米增至 748 亿立方米，增长了 11 倍。与此相反的是，农业用水减少了 5%，从 3912 亿立方米降至 3723 亿立方米。近 190 亿立方米的农业用水被重新分配，供给工业部门和居民部门使用。

尽管农业用水量减少了，但中国灌溉区域的总面积却增长了 34%，从 4489 万公顷增长至 6035 万公顷（国家统计局年鉴）。农业灌溉用水效率得到了提高。灌区平均用水从 8240 立方米/公顷（549 立方米/亩）降至 6280 立方米/公顷（417 立方米/亩）。华北平原率先实现突破，目前的灌溉用水量为 3000 ~ 4000 立方米每公顷。据报道，在北京用水效率已升至 0.8（*China Daily*, 2011）。但是在其他的大部分区域，灌溉用水效率仍然很低。在黄河上游及中游区域和西北地区，这一比率低于 0.5。因此，提高灌溉用水利用率的潜力可以说很大。

近些年，人们已经开始关注为环境分配（保留）水资源。不过，对于需要多少水量来维持健康的生态系统各方面仍然存在着困惑或不同意见。部分原因在于测量生态系统用水比较复杂，另一方面生态系统用水的需求同社会对水生环境质量的要求有很紧密的关系，而且正如环境库涅兹曲线所描述的那样（Jia et al. 2006），社会对水生环境质量的要求也会随着经济发展而变化。尽管想要决定环境最佳用水量很困难，不过我们可以很清楚地看到，随着各经济部门对于用水量的竞争，北方区域河流的水量日趋下降所剩无几。因为在用水竞争过程中环境本身不能表示其诉求，最终政府有责任来保证分配足够的水量来维持生态系统处于一个健康的水平，达到社会的接受程度（及要求）。

## 用水价值观的转变

在中国，单位国内生产总值用水量是一个指示剂，能够衡量各个经济部门的用水价值。在下文中，这个标准将被称为“水资源利用强度”。图 14 - 3 表明从 1993 年到 2010 年这一标准的变化。水资源利用强度从 1993 年的 771 立方米降至 2010 年的 382 立方米。在工业部门，这一数值从 363 立方米

降至 230 立方米（注意 GDP 数值来自基于 2000 年固定物价计算数列，即假设以 2000 年为基准年）。

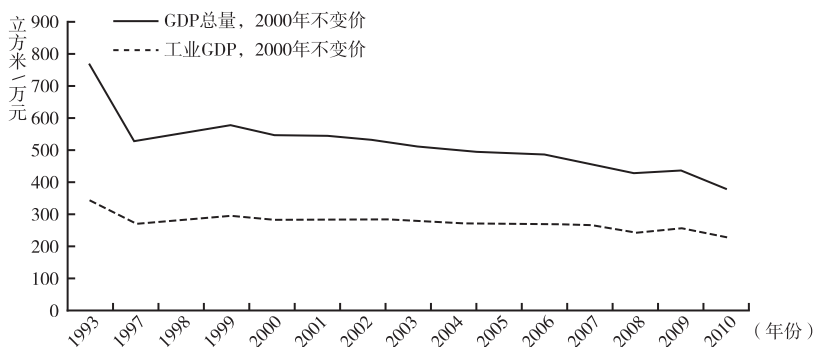


图 14-3 1993 ~ 2010 年各部门单位国内生产总值用水量

资料来源：1993 年数据来源于刘 陈（2001）。其他数据来源于中国各年统计年鉴。

对独立经济部门量化水资源利用强度非常复杂，因为部门间的投入产出关系使得各部门用水量相互联系。例如，在纺织工业中生产一个产品的用水也许部分来自农业部门，因为农业部门提供了原材料。因此，独立部门的用水价值能够由直接用水系数（direct water-use coefficient，以下简称 DWUC）和总用水系数（total water-use coefficient，以下简称 TWUC）来说明，这两个数值都是以测量总水资源利用强度的方式得到。DWUC 反映了生产链最后一步的直接水资源利用强度（一个企业或工厂的运作阶段），而 TWUC 则反映的是生产链整个过程的用水——例如，从棉花生产到最后成品（一条牛仔裤）的过程。因此，它也被称为“用水系数的生命循环”。DWUC 是测量部门水资源利用强度的传统方式，但是它并不反映用于最终产出的总用水量，这是因为大量的水用在了上游的供给链上。所以，TWUC 为用水情况提供了一个更全面的了解。基于中国省际 2002 ~ 2007 年投入产出表及私营经济部门的用水配额，能够估算出 DWUC 和 TWUC。为简单起见，完整的产业分类被压缩为 20 个部门。表 14-2 表明了 2002 ~ 2007 年的 DWUC 和 TWUC 估计值。

表 14-2 2002~2007 年的用水系数

单位：立方米/万元

| 部 门 |                | 2002 年 |      | 2007 年 |      |
|-----|----------------|--------|------|--------|------|
|     |                | DWUC   | TWUC | DWUC   | TWUC |
| 1   | 农业             | 1582   | 2068 | 924    | 1181 |
| 2   | 煤炭开采及其加工业      | 38     | 268  | 22     | 140  |
| 3   | 食品及烟草加工业       | 39     | 991  | 23     | 523  |
| 4   | 纺织业            | 37     | 652  | 21     | 520  |
| 5   | 服装业            | 7      | 543  | 4      | 306  |
| 6   | 木材加工及家具制造业     | 3      | 543  | 2      | 279  |
| 7   | 造纸及纸制品业        | 109    | 506  | 64     | 320  |
| 8   | 石油加工业          | 30     | 257  | 18     | 144  |
| 9   | 化工业            | 58     | 417  | 34     | 239  |
| 10  | 非金属矿采选业        | 27     | 351  | 16     | 184  |
| 11  | 金属冶炼及金属制品业     | 49     | 386  | 29     | 217  |
| 12  | 机械及设备制造业       | 6      | 270  | 3      | 152  |
| 13  | 交通设备业          | 7      | 291  | 4      | 147  |
| 14  | 电子设备及电信设备业     | 4      | 246  | 2      | 140  |
| 15  | 其他制造业          | 6      | 288  | 3      | 165  |
| 16  | 电力、燃气及水的生产和供应业 | 985    | 1250 | 575    | 840  |
| 17  | 建筑业            | 5      | 271  | 3      | 159  |
| 18  | 批发零售贸易及客运业     | 48     | 226  | 28     | 124  |
| 19  | 餐饮酒店业          | 206    | 785  | 120    | 441  |
| 20  | 其他服务业          | 28     | 196  | 16     | 114  |

资料来源：Zhang 等（2011，2012）。

DWUC 和 TWUC 的区别在于有些部门比较小，有些却比较大，这反映了每个部门生产链中不同的用水特征。总之，“农业”和“电力、燃气及水的生产和供应业”是直接用水为主的部门，这可以通过 DWUC 值占 TWUC 的较高比例看出来。相反的是，大多数制造业部门非直接用水量很大。在“食品与烟草加工业”、“服装业”、“木材加工及家具制造业”、“机械及设备制造业”、“交通设备业”、“电子设备及电信设备业”中，超过 95% 的用水都是以间接的形式使用，也就是说，在最终环节前的加工环节用水。例



如，服装业在 2002 年的 DWUC 是 7 立方米/万元，TWUC 是 543 立方米/万元。这就意味着其 99% 的用水都发生在产业的上游供应链环节。

无论是 2002 年还是 2007 年，农业部门都有着最高的水资源利用强度，农业 TWUC 在 2002 年为 2068 立方米/万元，2007 年则为 1181 立方米/万元。第二名是电力、燃气及水的生产和供应业，它在 2002 年的 TWUC 为 1250 立方米/万元，2007 年为 840 立方米/万元。其他几个 TWUC 比较高的部门分别是“食品及烟草加工行业”、“纺织业”及“餐饮酒店业”，它们都是间接用水为主的行业。其上游供应链担负了主要的用水，通常都是农业部门生产原材料时的用水。

同 2002 年相比，2007 年时所有的部门在 DWUC 和 TWUC 上都有显著的下降。下降的程度主要为 20% ~ 50%，这表明，2007 年每单位产品所用的水量大幅下降。TWUC 下降幅度最大的部门为“木材加工及家具制造业”、“交通设备”、“煤炭开采及其加工业”和“非金属矿采选业”，下降幅度分别约为 49%、49%、48% 和 48%。然而，DWUC 和 TWUC 的下降幅度并不足以抵消由于过大生产而增加的耗水量。全国范围的总用水量从 2002 年的 5497 亿立方米增长至 2007 年的 5818 亿立方米。

## 水污染的主要来源

水污染的来源主要为：工业、家庭排放污水及农业非点源污染物（例如化肥、农药、农业加工残留物等）。根据官方的统计，污水排放仅仅包括工业和家庭排放污水。在工业部门，污水排放的统计只计算县级及以上的企业。乡镇及以下级别的企业不包括在内。根本没有农业用水污染的任何信息，部分原因在于农业非点源污染很难测量。图 14-4 表明了 1981 ~ 2010 年来自工业部门和居民部门污水排放的趋势。

在这几年里，工业污水排放量并没有发生很大的变化，但居民污水排放量却迅速增长。在 20 世纪 80 年代，工业污水是污水排放的主要来源。而从 90 年代开始，居民污水排量放就超过了工业部门，成为污水排放的主要来源。工业和居民污水排放中，只有一部分经过处理达到了国家污水排放质量标准。根据中国官方统计数据，在工业部门达到污水排放标准的比例已经在稳步地增长。目前，近 92% 的工业污水排放达到了国家标准（各年国家统计局年鉴），然而，污水排放及污水处理比例数

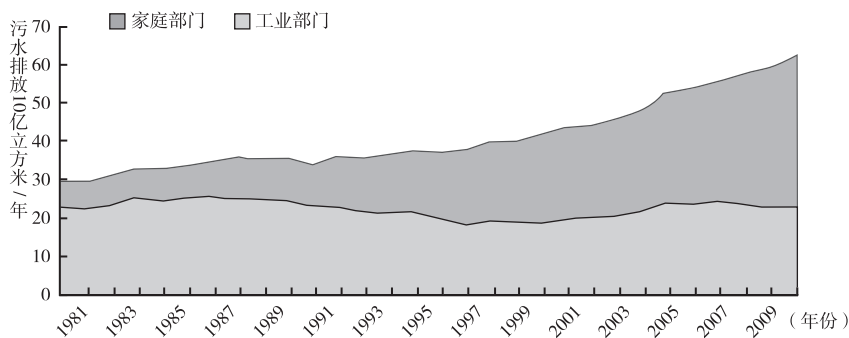


图 14-4 1981~2010 年工业（县级以上企业）及家庭（居民）污水排放趋势

资料来源：各年国家统计局年鉴。

据由地方政府机构提供，所以很有可能少报了这些数据，因为官方数据少报的动因很大，特别是在当地污水排放远远低于排放标准的情况下。事实上，无论是工业部门还是居民部门，其污水处理率都可能非常低。

除此之外，由于很难测量农村企业的污染排放量，所以官方数据并没有涵盖这部分污染排放。必须指出的是，即使不算这些企业排出的污水量，工业水污染的情况还是不容乐观。乡村企业的共同特征就是规模小技术低，由于排放未经处理污染严重的废水，乡村企业往往声名狼藉。

一般来说，工业废水往往会经过系统处理才排放入排水沟，而家庭污水则不然，它需要集中且就地处理，或者流到中央污水处理厂。事实上，家庭污水缺乏集中处理点和处理设备或空间，而且通常污水处理业务的经济回报很低，因此，大部分的家庭污水不经处理直接流入贮水池中。在小城市，未处理的家庭污水比重高达 90%（环保部，SEPA，2010）。

废水排放强度也会因工业部门的不同而有所差异。从表 14-3 可以看出主要工业污水排放比较严重的部门。在全国层面上，表 14-3 中的各部门占全国工业总产值的 34%，然而，它们却产生了占工业污水排放总量 71% 的污水。污水排放强度最高的部门分别是采矿业、纺织业、造纸业和化工相关行业。值得注意的是，农村小企业都高度集中在这几个部门，这些企业排放的未处理的污水对水质的影响非常大。这或许部分说明了一个情况：我们观察到的水质往往比官方数据所说的更为严重。

表 14-3 2010 年主要污染部门及它们的产值

| 部 门          | 行业废水排放     | 行业总产值     | 废水/产值  |
|--------------|------------|-----------|--------|
|              | 万吨         | 亿元        | 立方米/亿元 |
| 煤炭开采和洗选业     | 80235.5    | 16404.27  | 48.91  |
| 非铁金属矿石开采及加工业 | 37307.31   | 2814.67   | 132.55 |
| 农业、食品加工业     | 143837.66  | 27961.03  | 51.44  |
| 食品制造业        | 52699.09   | 9219.24   | 57.16  |
| 纺织业          | 239115.6   | 22971.38  | 104.09 |
| 皮革业及相关行业     | 24964.32   | 6425.57   | 38.85  |
| 造纸及纸制品行业     | 392604.14  | 8264.36   | 475.06 |
| 化学原材料及化学产品行业 | 297061.66  | 36908.63  | 80.49  |
| 医药行业         | 52718.39   | 9443.3    | 55.83  |
| 化纤业          | 43854.81   | 3828.32   | 114.55 |
| 金属冶炼及加工业     | 125978.31  | 42636.15  | 29.55  |
| 总 值          | 1490376.79 | 186876.92 |        |
| 平均值          |            |           | 79.75  |
| 占全国总比重       | 71%        | 34%       |        |

资料来源：各年统计年鉴。

## 中国国际贸易对其水资源的影响

国际贸易需要虚拟水的流动——也就是用于生产贸易产品的水。一方面中国制造的产品布满全球，另一方面中国大部分地区持续出现愈来愈严重的水压力。因此，中国货物和服务贸易对其水资源的影响足以证明政府应该仔细审查用水状况。在本研究中我们用了 2002 ~ 2007 年 30 个省市（除西藏）投入产出表来研究此问题。

### 部门评估

部门间的虚拟水贸易都已经在整个生产链中量化，不再只是最后环节测量虚拟水量，也就是说，在广度上虚拟水可以用来同上文估计的 TWUC 值作对比。这样一来，独立部门最终产品的总用水量能够得到很好地反映。与贸易产品相关的虚拟水包括了中间产品生产所使用的水（往往来自其他部门）——主要来自初始的部门。从表 14-4 可以看出与中国国际贸易相关的预估虚拟水流量。

表 14-4 2002~2007 年各部门虚拟水贸易

单位: 百万立方米

| 部门 |                | 2002 年 |       |        | 2007 年 |       |        |
|----|----------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
|    |                | 虚拟水出口  | 虚拟水进口 | 虚拟水净出口 | 虚拟水出口  | 虚拟水进口 | 虚拟水净出口 |
| 1  | 农业             | 7080   | 10247 | -3167  | 18212  | 21137 | -2925  |
| 2  | 煤炭开采及其加工业      | 273    | 27    | 246    | 678    | 123   | 555    |
| 3  | 食品及烟草加工业       | 5595   | 2783  | 2812   | 7288   | 5137  | 2151   |
| 4  | 纺织业            | 11644  | 829   | 10815  | 6329   | 313   | 6016   |
| 5  | 服装业            | 8375   | 700   | 7675   | 19392  | 1363  | 18029  |
| 6  | 木材加工及家具制造业     | 2833   | 469   | 2364   | 5239   | 402   | 4837   |
| 7  | 造纸及纸制品业        | 3446   | 785   | 2661   | 4928   | 753   | 4175   |
| 8  | 石油加工业          | 499    | 1536  | -1037  | 1139   | 3167  | -2028  |
| 9  | 化工业            | 6635   | 4107  | 2528   | 10430  | 4653  | 5777   |
| 10 | 非金属矿采选业        | 1383   | 390   | 993    | 2170   | 434   | 1736   |
| 11 | 金属冶炼及金属制品业     | 4059   | 2321  | 1738   | 13278  | 4493  | 8785   |
| 12 | 机械及设备制造业       | 2286   | 5858  | -3572  | 6085   | 6990  | -905   |
| 13 | 交通设备业          | 1344   | 1337  | 7      | 3735   | 1334  | 2401   |
| 14 | 电子设备及电信设备业     | 12575  | 5011  | 7564   | 32067  | 10028 | 22039  |
| 15 | 其他制造业          | 2802   | 1761  | 1041   | 1532   | 736   | 796    |
| 16 | 电力、燃气及水的生产和供应业 | 60     | 3193  | -3133  | 1325   | 7090  | -5765  |
| 17 | 建筑业            | 124    | 89    | 35     | 481    | 2352  | -1871  |
| 18 | 批发零售贸易及客运业     | 6449   | 375   | 6074   | 5074   | 1431  | 3643   |
| 19 | 餐饮酒店业          | 1749   | 18    | 1731   | 1184   | 291   | 893    |
| 20 | 其他服务业          | 3430   | 1765  | 1665   | 2067   | 2229  | -162   |
| 总计 |                | 82641  | 43601 | 39040  | 142633 | 74456 | 68177  |

资料来源: Zhang 等 (2011, 2012)。

整个中国是一个虚拟水净出口国。据估计, 年虚拟水净输出在 2002 年达到 390.4 亿立方米, 在 2007 年达到 681.8 亿立方米。也就是说, 在这五年内虚拟水输出增长了 74%。与此同时, 之前所提及的总用水量也以此趋势增长。鉴于这五年间国际贸易的扩大, 独立部门用水效率的提高并不能抵消增加的输出到国外的虚拟水。

在本次研究中的 20 个部门中, 只有农业、石油加工业、机械及设备制造业及公共事业虚拟水净输入。剩下的部门全为虚拟水净输出。纺织业、服装行业、

电子设备及电信设备业、批发零售贸易及客运业、金属冶炼及金属制品业是五大主要虚拟水净输出部门，它们的虚拟水净输出量占到了全国总量的 85% 以上。这些部门也是中国的主体行业，为中国成为“世界工厂”做了很大的贡献。

值得注意的是，食品及烟草加工业、纺织业和服装业都是典型的农业下游产业，也就是说它们都会使用农业产出的原材料。尽管农业部门是虚拟水净出口部门，但其下游产业却不是。这种状况说明农业部门进口的虚拟水，通过下游产业的商品贸易再次出口了。

虚拟水净出口部门主要集中在以下产业：纺织业、服装业、电子设备及电信设备业。这些部门是典型的劳动密集型行业，雇佣了很多农民工。在用水方面，纺织业和服装业的 TWUC 值很高，是用水相当多的部门。而这些行业往往分布在缺水地区，诸如天津、河北和山东。因此在缺水省份，国际贸易对水资源的影响更为显著。

国际贸易除了对水量有影响之外，它同样对水质也有影响。食品及烟草加工业、纺织业、服装业、造纸及纸制品业和金属冶炼及金属制品业的污水排放量在工业污水排放总量中占了很大的比例（见表 14-3）。小规模低技术的乡村企业大多都集中在这些行业里。因此，中国在出口大量虚拟水的同时，还在不断加重自身的水污染。

## 地区评估

中国每年水资源总量为 28120 亿立方米，虚拟水净出口量为每年 682 亿立方米，约为总量的 2.4%。由于地理上的约束，中国大部分的水资源不能为贫水地区所用，因此中国国际贸易对水资源的影响非常大，尤其是当我们在区域层面上看待这个问题的时候。在水资源极其短缺的黄淮海（HHH）地区，由于虚拟水的出口，有 5.1% 的水资源消失了。

2007 年中国总用水量约为 5260 亿立方米（2008 年统计年鉴）。虚拟水净出口量占了总用水量的 11.5%（见表 14-5）。在水资源极其短缺的黄淮海地区，总用水量中约有 7% 为虚拟水出口。在这个区域，天津是水资源极其匮乏的城市，它的虚拟水出口已达到总用水量的 63%。在北京和山东，这一比例分别为 17.9% 和 20%。这一数据表明，中国经济得益于其“世界工厂”（McKay and Song, 2010）的地位，然而它在水资源和环境方面付出了高昂的代价，特别是在北方地区。

表 14-5 2007 年不同地区水资源 (WR)、用水量 (WU)  
及虚拟水净出口量 (NVWE)

| 地 区   | 省 份                  | NVWE  | NVWE/WR | NVWE/WU |
|-------|----------------------|-------|---------|---------|
|       |                      | 百万立方米 | %       | %       |
| 华 北   | 北京、天津、河北、山西、山东、河南    | 5240  | 5.1     | 6.9     |
| 东 北   | 辽宁、吉林、黑龙江            | 378   | 0.3     | 0.7     |
| 东 中 部 | 上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南 | 21662 | 3.5     | 10.8    |
| 南 部   | 福建、广东、广西、海南          | 26044 | 5.2     | 25.7    |
| 西 南   | 重庆、四川、贵州、云南          | 423   | 0.1     | 0.8     |
| 西 北   | 内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆   | 14429 | 5.6     | 14.2    |
| 全 国   |                      | 68176 | 3.1     | 11.5    |

资料来源：水资源和用水量数据来自 2008 年国家统计年鉴，NVWE 的数据来自 Zhang 等 (2012)。

## 需要平衡社会和自然之间的用水量

中国水资源典型的问题是水量不足、水质较差。中国经济高速发展，城市化取得一定成果，人口在增长，与此同时水供给和需求之间的矛盾也在加剧。预计未来恶劣的气候变化也会给中国水荒造成重击。

管理不善是造成中国水问题的重要因素之一。因此，为了缓解中国缺水问题，改善水资源管理至关重要。要想解决中国水问题，就需要全面综合且科学的方法，并且要和各部门协调并长期付诸行动。近些年，为了促进经济长期的发展、恢复水生生态系统功能，中国已经在努力改善水源管理。

中国正在努力改善制度体系来调节取水用水。水利部直属的各大河流水利委员会已经被赋予更大的权力，它们能够处理与水文循环一致的在流域界限定内的水资源行政管理事务。一些流域已经渐渐实施了曾发布的用水许可。在这方面，黄河水利委员会 (YRCC) 起到了很好的带头作用。目前，黄河水分配计划正在有力地执行，不仅做到了总量控制，也做好了跨省污水排放监督。近几年，专家对黄河流域提出了所谓的“节水投资和水权流转措施”，它主要关注从农业到工业的水资源再分配。由于从缺水流域获取更多的水一直非常困难，工业用水需求的增长量不得与农业部门转移水量持平。鉴于灌溉用水效率普遍比较低，节水被认为是最可能的手

段 (Yang and Jia, 2008)。国家鼓励各行业尤其是大型企业向现有的灌溉计划节水工程投资, 从而交换权利来使用这些节省的水。这一方法被视为一个双赢方案, 能够解决缺水地区用水效率低和缺水的问题。然而到现在为止, 所有的水权转让都是在各个省内执行, 跨省水权转让还没有实现。总之, 各省份都不愿意放弃它们手中应得的水份额。部分原因在于跨省水权转移的管理复杂性增大。更重要的是, 在中国许多地区对水荒的认识仍需要一个长期的过程, 每个省份都想将自己所持有的水份额用在自己区域的经济 development 上。水权转让仍处在发展的初期, 它对促进用水效率的规模和整体效果拭目以待。

自 20 世纪 90 年代开始, 强调以经济激励为基础的方法——以水价和污水处理费为典型——来努力构建一个节水型社会。由于在主要河流中适合开展节水工程的地点已经用完, 同时北方河流抽水量非常高的区域也所剩无几, 增强供水则显得愈加困难, 且代价高昂。实施经济激励的方法就能让市场来调节水资源的供需。不断增长的水价是所有经济部门看到的一个总的趋势。然而, 定价机制却没能有效地在一个可持续发展总水量中控制用水上限。在许多地方, 总用水量在继续增长, 而水污染也在不断恶化。这种境况意味着我们需要用综合的方法 (包括经济和非经济的措施) 来解决水资源缺乏和水污染的问题, 而这些问题通常都是相互关联的。

自 20 世纪 90 年代开始, 环境用水和生态系统用水已经得到越来越多的关注。用来估计生态用水需求量的标准常常是主观的。河流平均流量的 30% 通常都被用作保持健康的水生生态系统的需水量经验法则。正如上文所述, 在北方河流中, 取水量与总水量的比例全都超过了 70%, 这就意味着仅剩不到 30% 的水用于生态维护。在海河流域, 这一比例超过了 100%, 基本没有给环境留下一滴水。有趣的是我们注意到, 关于华北地区河流中需要满足生态系统用水需求的争论一直是决定南水北调工程建设的一个重要因素 (Yang and Zehnder, 2005)。

中国政府面对着水资源短缺和水污染这样巨大的挑战, 一直在对用水和污水排放实施更加严格的控制。2012 年 1 月, 国务院发布了一个“红头”文件 (3 号文件), 专门设定了几个水资源控制红线。到 2030 年, 总用水量将维持在 7000 亿立方米, 而 2010 年这一数值约为 6000 亿立方米。水资源利用强度将降至 40 立方米 (GDP 以 2010 年价格为基准)。农业灌溉用水效

率将从现在的 0.5 提升至 0.6 以上。水质将达到 95% 水体为“良好” (SC, 2012)。在完成这些目标之前仍然要面临很多挑战。这就要求建立负责的水资源管理评估体系、良好的监管系统、投资机制、法律法规、执法机构和社会监督。中国能否成功地实现这些目标尚无定论。

## 结 论

无论按照水量（相对于人口基数）还是空间分布，中国的水资源禀赋都不容乐观。由于工业化和城市化的快速发展，水污染也因减少了可用水而加剧了实物的稀缺。在许多地区，水资源短缺已经成为当地经济发展的瓶颈，而水污染却对人类身体健康造成越来越大的危害，也威胁着环境的可持续发展。中国作为低附加值、用水资源利用强度高的产品主要输出国，一直在不断出口大量的虚拟水，同时也在不停地向自己排放严重超标的污水。

中国用水效率低，这伴随着普遍的资源利用低效率，其经济增长也依赖于扩大资源供给。这就需要一个综合方案，其中涵盖经济（如水的定价）和非经济的措施。有了综合方案，就能够同时解决水资源短缺和水污染问题。将经济增长同不断增加的用水量和水污染分离，这对经济长期发展非常重要。一个地区的经济结构调整考虑到当地水资源禀赋，这将有利于减少缺水地区在有限水资源上的压力。同样，建立授权机构也十分重要，这能保证必要措施的有效执行，从而推动水资源管理。

水资源缺乏和水污染是非常棘手的问题。中国如何面对这些挑战将对其经济的长期发展和环境可持续发展至关重要。鉴于其在世界经济中的中心地位，中国在应对这些问题上的成功程度对于世界其他地区来说将有重大的影响。

## 参考文献

Alcamo, J., Henrichs, T. and Rosch, T., 1999, World water in 2025. Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st century, Kassel World Water Series Report 2, University of Kassel, Germany.



Allan, J. A. , 1997, ‘Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies?’, Occasional paper, Water Issues Group, School of Oriental and African Studies, London.

China Daily, 2011, Boost in capital’s water efficiency, [http://www.chinadaily.com.cn/cndy/2011-04/28/content\\_12409302.htm](http://www.chinadaily.com.cn/cndy/2011-04/28/content_12409302.htm).

Falkenmark, M. , 1995, ‘Land-water linkages-a synopsis. Land and water integration and river basin management’, FAO Land and Water Bulletin, no. 1, pp. 15 – 16.

Jia, S. F. , Yang, H. , Zhang, S. F. , Wang, L. and Xia, J. , 2006, ‘Industrial water use Kuznets Curve: evidence from industrialized countries and implications for developing countries’, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 132, no. 3, pp. 183 – 191.

Jiang, Y. , 2009, ‘China’s water scarcity’, Journal of Environmental Management, vol. 90, pp. 3185 – 3196.

Liu, C. M. and Chen, Z. K. , 2001, China Water Resources Status Assessment and Supply and Demand Trend Analysis, China Hydro-Engineering Publishing House, Beijing.

McKay, H. and Song, L. , 2010, ‘China as a global manufacturing powerhouse: strategic considerations and structural adjustment’, China and World Economy, vol. 18, no. 1 (February), pp. 1 – 32.

Ministry of Water Resources (MWR), 1997 – 2011, Water Resources Bulletin, Ministry of Water Resources, Beijing, <http://www.chinawater.net.cn>.

Shen, D. J. , 2010, ‘Climate change and water resources: evidence and estimates in China’, Climate Change and Water Resources, vol. 98, no. 8, pp. 1063 – 1128.

State Council of China (SC), 2012, State Council Proposal for Implementing the Most Strict Water Resources Management Systems, State Council of China, Beijing, viewed 15 February 2012, [http://www.mwr.gov.cn/slxz/slyw/201201/t20120119\\_312981.html](http://www.mwr.gov.cn/slxz/slyw/201201/t20120119_312981.html).

State Environmental Protection Administration (SEPA), 1994, China Environmental Statistical Data Compilation. 1981 – 1990, China Environmental Science Publishing House, Beijing.

State Statistical Bureau (SSB), various years, China Statistical Yearbook, China Statistics Press, Beijing.

State Statistical Bureau (SSB), 2008, Regional Input-Output Table of China, 2002, China Statistics Press, Beijing.

State Statistical Bureau, 2009, Input-Output Table of China, 2007, China Statistics Press, Beijing.

Yang, H. and Jia, S. F. , 2008, ‘Meeting the basin closure of the Yellow River in China’, International Journal of Water Resources Development, vol. 24, no. 2, pp. 265 – 274.

Yang, H. and Zehnder, A. , 2007, ‘“Virtual water”: an unfolding concept in integrated water resources management’, Water Resources Research, vol. 43, doi: 10.1029/2007WR006048.

Yang, H. and Zehnder, A. J. B. , 2005, 'The South-North Water Transfer Project in China: an analysis of water demand uncertainty and environmental objectives in decision making', *Water International*, vol. 30, no. 3, pp. 339 – 349.

Zhang, Z. Y. , Shi, M. J. , Yang, H. and Chapagain, A. , 2012, 'An input-output analysis of trends in virtual water trade and the impact on water resource and uses in China', *Economic Systems Research*, vol. 23, no. 4, pp. 431 – 446.

Zhang, Z. Y. , Yang, H. and Shi, M. J. , 2011, 'Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework', *Ecological Economics*, vol. 70, pp. 2494 – 2502.

(李娜 译)