

第一章 绪 论

工业节水是一个十分重要而又紧迫的课题。研究中国工业节水战略既是化解水资源危机的需要，又是创新水资源理论的需要。本章简要介绍中国工业节水战略研究的目的与意义、框架与内容、思路与方法。

一、中国工业节水战略研究的目的与意义

“水是生命之源、生产之要、生态之基”^①。在水资源总量给定的情况下，生产用水的增加意味着生活用水和生态用水的缩减。用水不足可能降低人类和生态环境质量，甚至可能危及生命和生态环境。随着工业化进程的推进，中国单位工业增加值的工业用水量呈现不断下降的趋势，1998—2013 年万元工业增加值用水量（当年价）由 94 立方米下降至 67 立方米。但是，中国工业用水的总量依然呈现不断上升的趋势，1998—2013 年中国工业用水量由 1125.1 亿立方米上升至 1409.8 亿立方米，工

^① 国务院：国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见（国发〔2012〕3号），水政水资源，2012（1）。



业用水量增加了 284.7 亿立方米。工业用水量已占用水总量的 22.8%。1998—2013 年中国的用水总量从 5435 亿立方米增加到 6183.4 亿立方米,净增加 748.4 亿立方米^①。可见,工业用水的增量占全国总用水增量的 38%。忽视工业节水,必将加剧水资源失衡。

发达国家的经验表明:工业化进程中工业用水量呈现出先是快速递增、然后达到零增长甚至负增长的状态^②。农业用水兼具灌溉和生态功能,农业节水存在极限。随着生活水平的提高,生活用水存在刚性需求。中国属于典型的缺水国家,生态用水已经不断告急。因此,工业节水是实现工业用水总量乃至全国用水总量下降的必由之路,也是实现人水和谐的可持续发展的必由之路。

工业节水的实践急需工业节水理论的指导。关于工业节水的研究已有部分精品力作,但存在“三多三少”现象:总结性较多,学理性较少;定性较多,定量较少;具体措施较多,总体战略较少。本专著就是针对工业节水的严峻形势和战略研究的严重不足,着力研究中国工业节水战略体系(是什么),向前延伸解决战略体系的理论基础(为什么),向后延伸解决战略体系的比较选择(怎么样),见图 1-1。

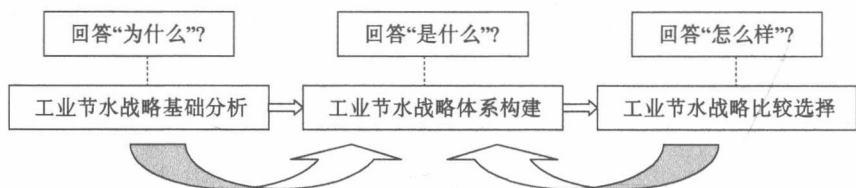


图 1-1 本书研究基本问题示意图

研究工业节水战略问题,可以系统回答工业节水战略基础、战略体系、战略选择和战略实施等问题,基于工业用水效率等理论分析而提出的工业节水战略体系、符合不同区域和行业的工业节水战略重点及其实施对策,有助于政府的战略和政策的制定,从而有利于以最低

① 水利部. 1998 年中国水资源公报, 中国水利网, http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/szygb/qgszygb/199801/t19980101_29447.html; 水利部. 2013 年中国水资源公报, 中国水利网, http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/szygb/qgszygb/201411/t20141120_582980.html.

② 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 (1): 51-59.

的成本实现节水的目的,更充分实现工业节水的经济效益、生态效益和社会效益。基于工业用水效率及其影响因素、各种工业节水战略的传递机理、工业节水战略的比较选择等分析,可能对工业节水理论作出贡献。

二、中国工业节水战略研究的框架与内容

(一) 研究框架

通过文献调查和文献综述,明确工业节水研究的基础、问题和趋势;通过工业用水的统计分析,明确中国工业用水效率及工业节水潜力。这是工业节水战略基础的研究,以便为后续研究奠定基础。

基于战略基础及未来趋势研究,构建中国工业节水的科技型战略(技术节水战略、循环节水战略)、混合型战略(结构节水战略)、制度节水战略(价格节水战略、交易节水战略)的战略体系。在战略体系构建的基础上对各个工业节水战略的内涵、节水的传递机理等逐一进行深入分析,揭示各个战略的利弊。

在对各个工业节水战略进行深入研究的基础上对不同战略进行比较研究以进行优化选择,针对不同价值取向和不同的外部条件,可以做出不同的战略选择或战略组合。

工业节水战略的实施,需要有工业节水的投入机制、考核机制和法律制度的保障。因此,对投入多少、如何投入,考核什么、如何考核,立什么法、如何立法等进行深入阐述。

上述研究框架见图 1-2。

(二) 研究内容

本书包括 15 章。除了第一章绪论、第十五章研究结论与展望外,其

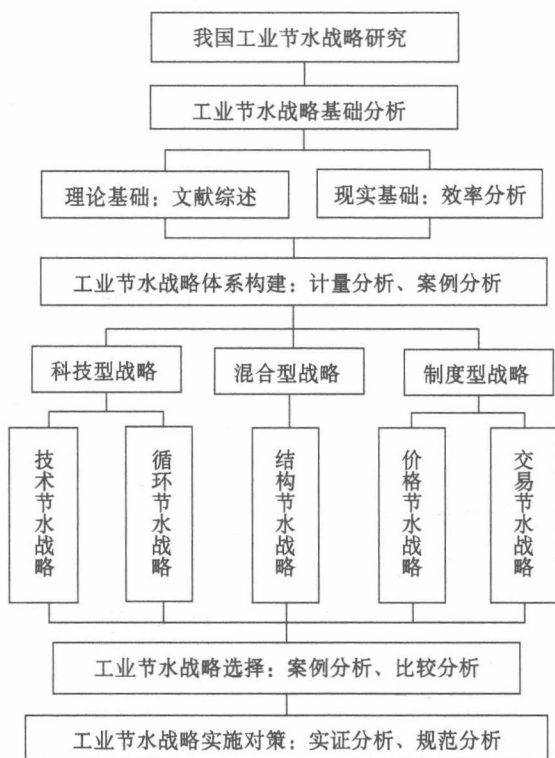


图 1-2 研究框架示意图

第二章至第四章为战略基础分析、第五章为战略体系构建、第六章至第十章为具体战略分析、第十一章为战略比较研究、第十二章和十三章为战略实施举措研究。各章的大致内容如下：

第一章为绪论。主要阐述中国工业节水战略研究的目的与意义、框架与内容、思路与方法。

第二章为工业节水战略研究文献综述。主要从工业节水战略基础、工业节水战略体系、工业节水保障措施三个方面对以往文献进行综述，最后提出中国工业节水战略研究的可能趋势。

第三章为中国工业用水趋势及节水潜力分析。本章首先从总量、比重、强度三个维度对中国工业用水的动态特征进行了全面分析，紧接着基于三种情景假设对中国工业用水的未来趋势进行了预测，最后对中国工业的节水潜力进行了估算。

第四章为中国工业用水效率及其影响因素分析。本章对工业用水效

率的内涵进行了详细探讨,在此基础上采用 DEA 分析方法从三个角度测算了中国各地区工业用水效率,对中国工业用水现状作出了较为全面的剖析,进而利用面板数据对工业用水效率的影响因素进行了回归分析,所得结论为中国工业节水政策提供了有益启示。

第五章为中国工业节水的战略体系构建。主要阐述了中国工业节水的总体思路、战略体系及其各个战略之间的相互关系。

第六章为中国工业节水的技术创新战略。本章在分析了工业节水现状的基础上,提出了工业节水的减量化技术创新战略、再使用技术创新战略和再资源化技术创新战略,并从企业、园区和产业三个层面进行工业节水技术创新的战略构想,在案例分析的基础上提出了工业节水技术创新战略实施的对策建议。

第七章为中国工业节水的循环利用战略。本章分析了工业循环用水的系统,进而深刻揭示了工业用水“循环不经济”的根源,据此,构建了循环用水的战略思想。

第八章为中国工业节水的结构调整战略。本章选择以产业结构调整、工业行业结构调整、贸易结构调整为具体的研究对象,理论与实证相结合,研究获得结构调整与工业用水之间的关系,并在研究结果基础上提出中国工业节水的结构调整战略思路。

第九章为中国工业节水的价格调控战略。本章界定了工业水资源定价的内涵与方式,对工业水价影响节水的机理做了深入分析,回顾和展望了中国工业水价的变化趋势,用边际生产力方法测算了工业用水需求的价格弹性,最后提出了体现资源稀缺性程度、外部性内部化、产业管制要求、各种供水统筹等要求的水价调控战略思路。

第十章为中国工业节水的水权交易战略。本章提出了中国工业水权交易的战略思路,验证了中国开展工业水权交易制度的必要性与可行性,构建了两层次工业水权初始分配方式以及工业水权交易二级市场的运作机理,最后提出了工业水权交易战略实施的三大保障制度。

第十一章为中国工业节水战略的比较与选择。本章对五大战略的内部优、劣势和外部面临的机遇、挑战进行了 SWOT 分析,从战略目标的满足程度、战略实施时间长短、战略实施净收益大小、战略实施阻力大小和战略实施事后评价难易程度五个维度来对各战略进行考察,基于专



家问卷调查数据,采用统计分析和模糊数学法对各战略进行了综合评价。在此基础上,提出了基于单一维度、双维度和多维度评价的工业节水战略选择。

第十二章为中国工业节水的投入机制。本章研究的工业节水投入机制的内涵、投入主体、投入机理、投入规模、投入效应等问题,在此基础上提出对策建议。

第十三章为中国工业节水的评价指标及考核机制。在文献综述的基础上,构建了工业节水的评价指标体系,并进行了分区域的测算和评价,在此基础上提出了建立考核机制的对策建议。

第十四章为中国工业节水法律制度保障。本章在阐述了促进工业节水的法律基础的基础上,分别构建了面向政府、面向企业和面向公众的工业节水法律制度,并分析了法律制度的实施机制。

第十五章为研究结论与展望。本章就第二章至第十四章的主要研究结论进行概括,并对存在的不足和未来的研究趋势做出了展望。

三、中国工业节水战略研究的思路与方法

(一) 研究思路

明确中国工业节水的过去、现在和未来是明确研究思路的基础。因此,本书研究的逻辑思路是:战略基础→战略构建→战略分析→战略比较→战略措施。

通过工业用水效率和节水潜力的比较分析可以揭示,工业节水的根本途径是提高工业用水效率,而且从理论上讲,工业节水的潜力是无限的。这是工业节水战略基础研究。

根据工业节水的根本途径是提高工业用水效率的结论,需要我们探索提高工业节水效率的主要途径和因素。据此,作者提出主要的工业节水战略:技术节水战略、循环节水战略、结构节水战略、价格节水战略、

交易节水战略。这些战略彼此之间存在一定的交叉,例如技术节水与循环节水是从不同的角度进行分析的,循环节水需要技术支撑,技术节水包括循环节水。但是,从战略分析来看,它们都是不可或缺的。

技术节水战略、循环节水战略、结构节水战略、价格节水战略、交易节水战略均有各自的内涵、目标、侧重点、渠道及传递机理等,因此,需要逐一进行定性和定量的分析。这是战略分析。

在战略分析的基础上,需要对不同战略彼此之间的关系以及各个战略的优劣进行比较分析,在比较的基础上进行战略选择或战略组合。这是战略比较研究。

在战略给定的情况之下,如何把工业节水战略付诸实施?战略实施需要具体的实施举措,主要是投入保障机制、考核评价机制和法律制度建设。

(二) 研究方法

第一,数据包络法(Data Envelopment Analysis,简称DEA方法)。DEA方法是通过直接建立线性规划问题并求解来确定生产前沿面,其属于“非参数方法”。^①该方法主要用于对工业用水相对效率的评价,即使用此方法可以计算出成本效率和技术效率,并进一步分解得到配置效率和规模效率;如果是面板数据,则可以计算出Malmquist指数并进一步分解得到技术进步指数、效率变化指数等。本书第三章利用基于CRS假设的三个DEA模型分三种情形构造前沿面估算了中国各省、直辖市自治区的工业用水效率,并运用面板数据模型对中国工业用水效率的影响因素进行了回归分析,得到以下几点结论。

第二,专家评价法。专家评价法是出现较早且应用较广的一种评价方法。它是在定量和定性分析的基础上,以打分等方式做出定量评价,其结果具有数理统计特性。其优点在于,能够在缺乏足够统计数据和原始资料的情况下,可以做出定量估计。专家评价法的主要步骤是:首先根据评价对象的具体情况选定评价指标,对每个指标均定出评价等级,

^① 魏楚,沈满洪.能源效率及其影响因素[J].管理世界,2007(8):66-76.



每个等级的标准用分值表示；然后以此为基准，由专家对评价对象进行分析和评价，确定各个指标的分值，采用加法评分法、乘法评分法或加乘评分法求出个评价对象的总分值，从而得到评价结果。本书在战略评价和考核评价的分析中，均采取了专家评价法。

第三，计量经济法。计量经济法又称经济计量分析，是用统计推论方法对经济变量之间的关系作出数值估计的一种数量分析方法。它首先把经济理论表示为可计量的数学模型即经济计量模型，然后用统计推论方法加工实际资料，使这种数学模型数值化。在工业节水的结构调整战略中，在对中国 31 个省份 1998—2012 年的面板数据进行面板单位根检验以及面板协整检验的基础上，构建面板协整方程及其误差修正模型，验证了工业水资源利用与工业经济增长、产业结构变化之间存在着长期均衡关系，并且工业水资源利用与产业结构变化之间存在着双向因果关系，为构建工业节水的产业结构调整战略提供依据。

第四，边际生产力法。边际生产力法（Marginal Productivity Method）采用形如 $Y = F(Q)$ 的生产函数刻画要素投入与产出之间的关系。该方法假定企业的要素投入由要素价格内生决定，那么要素的边际产出值应等于要素价格。边际生产力法可用于以资本、劳动、水等能源为投入要素的工业生产^①。在工业节水的水价调控战略分析中就使用该方法。在边际生产力方法中引入水资源作为生产的投入要素可得：工业用水的边际产出值应等于用水的边际成本即水价。尽管这一假定较为理想化，但可以克服由于各地水价分散且难以完整获得造成的实际研究困难。这样，工业用水需求的价格弹性由工业用水量 and 边际产出值刻画，进而由产出弹性及其在 $Y = F(Q)$ 中的回归系数决定。在应用边际生产力方法时，由于常见的 Cobb - Douglas 生产函数存在由常替代弹性导致的模型缺陷，故通常将生产函数设定为包含上述四种投入要素的超越对数生产函数（Translog Production Function）形式。此时，工业用水需求的价格弹性可表示为： $e = s / (s^2 - s + b)$ ，式中 s 为工业用水的产出弹性， b 为超越对数生产函数中水资源使用量二次项的系数。

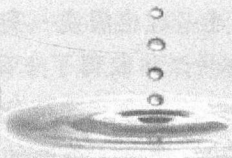
第五，案例分析法。案例分析有两种不同的类型：一是通过案例分

^① Wang, H., and Somik Lall. Valuing Water for Chinese Industries: a Marginal Productivity Analysis [J]. Applied Economics, 2002, 34 (6): 759 - 765.

析进行理论抽象；二是通过案例分析佐证理论观点。中国的制度创新十分丰富，新制度经济学家往往采取“案例描述→理论假说→实证分析→规范分析→分析结论”的思路进行案例分析^①，并取得了丰硕的成果。本书战略体系的构建等就是的丰富的案例积累的基础上进行分析提炼形成的。当然，更多的是一种例证式的案例分析，在五大战略的具体分析中比比皆是。

第六，比较分析法。比较分析法是通过实际数与基数的对比来提示实际数与基数之间的差异，借以了解经济活动的成绩和问题的一种分析方法。该方法是经济分析的常用方法。经济学中的比较静态分析方法就是比较分析法。既比较老的均衡状态与新的均衡状态，又要比较达到新老两种不同均衡状态所需要具备的条件。在本书中多处使用比较分析法：在工业用水效率分析中，比较过去、现在和未来的工业用水；在战略比较中，比较不同战略的实施效果及其优劣；在对每个战略的分析中，比较战略实施前后的差异及战略实施的效果。

^① 张曙光. 中国制度变迁的案例研究（第二集）[M]. 北京：中国财政经济出版社，1999：1-11.



第二章

中国工业节水战略研究文献综述

文献综述是学术研究的基础和前提。虽然以“中国工业节水战略研究”为主题的研究文献极为少见，但是与该主题紧密相关的研究成果依然丰富。本章按照本书的总体框架，从工业节水战略基础、工业节水战略体系、工业节水保障措施三个方面对以往文献进行综述，最后提出中国工业节水战略研究的可能趋势。

一、中国工业节水战略的基础研究状况

（一）工业节水潜力分析

欲构建中国工业节水战略首先需确定中国工业用水是具有节水空间的，否则构建工业节水战略是没有意义的。陈庆秋等最早选择定额比较法并采用相对值表示法对珠江三角洲地区的工业节水潜力进行分析，得

出该地区工业行业具有较大节水潜力的结论^①；郑在洲等提出定额需求计算法和给、用、排分别计算法两种新方法，并利用两种新方法对黄淮海流域 2010 年工业节水潜力分析，测算黄淮海流域节水潜力^②；程普云以 2000 年作为现状水平，测算了陕西省各市电力工业、一般工业以及农村工业的节水潜力^③；张进旗和乔光建以 2004 年作为现状水平，测算河北省农业、工业以及居民生活节水潜力，结果工业节水潜力最大^④；雷贵荣等采用随机前沿生产函数对徐州市工业节水潜力进行测算，结果其总体节水潜力是当前用水量的 22.52%^⑤；刘炜伟等引进 Elman 神经网络和误差反传算法对工业节水潜力进行计算，并以泰安市为研究对象进行测试，一方面验证了方法的可行性，另一方面指出了泰安市的工业节水潜力；许拯民等指出河南省工业节水潜力较大，测算结果为 $7.43 \times 10^8 - 13.27 \times 10^8$ ^⑥。

已有研究运用不同的方法对不同地区的节水潜力进行测算，虽然测算结果并不具有可比性，但工业用水具有一定节水潜力的结论是共同的。在未来工业节水潜力研究方面，总结并对比不同工业节水潜力测算方法的优势、劣势，利用最有效、误差最小的方法测算中国工业节水潜力对进一步制定工业用水红线以及实施最严格的水资源管理措施具有重要意义，同时利用相同测算方法得到中国不同地区、不同行业的工业节水潜力对区域水资源管理、产业结构调整等方面同样具有重要意义。

① 陈庆秋，薛建枫，周永章．珠江三角洲工业用水节水潜力分析 [J]．热带地理，2004 (3)：237-241.

② 郑在洲，耿雷华，常本春，等．工业节水潜力计算方法探讨 [J]．水利水电技术，2004 (1)：71-74.

③ 程普云．山西省工业用水水平与节水潜力分析 [J]．水资源保护，2005 (5)：49-53.

④ 张进旗，乔光建．河北省不同行业节水潜力和节水效益分析 [J]．水利经济，2010 (6)：15-19.

⑤ 雷贵荣，胡震云，韩刚．基于 SFA 的工业用水节水潜力分析 [J]．水资源保护，2010 (1)：66-69.

⑥ 许拯民，刘中培，宋全香．河南省工业用水效率及节水潜力研究 [J]．南水北调与水利科技，2014 (6)：154-158.



(二) 工业用水效率及其影响因素分析

工业节水势在必行,但节水并不能够以牺牲工业发展为代价,在此前提下提高用水效率便显得尤为重要。Tony Allan 在研究中指出,提高水资源利用效率可以作为政策推进的解决水资源问题的有效措施^①。这之后,对水资源利用效率的研究逐渐增多,但研究对象绝大部分集中于综合用水以及农业用水,对工业用水效率的研究较少。近年来针对具有极大节水空间的工业用水的研究逐渐增多。如贾绍凤^②发现发达国家工业用水随经济发展的变化存在由上升转而下降的转折点后,提出工业用水下降的直接原因是用水效率的提高。接下来作者在总结用水效率内涵的基础上,重点对近年来针对中国工业用水效率的研究进行整理,并对研究中运用的方法及得到的相关结论进行总结。

1. 用水效率的内涵

效率体现了物质的投入与产出之间的关系,是经济学领域研究的重要内容。Farrell 指出效率包括技术效率和配置效率,并从投入角度给出技术效率的定义,认为技术效率指在相同产出下理想的最小可能投入与实际投入之间的比率^③。Leibenstein 则从产出角度认为技术效率指在相同投入下实际产出与理想的最大可能产出之间的比率^④。配置效率则指在一定要素条件下实现投入或产出的最优组合的能力^⑤。

20 世纪 80 年代以来,中国对用水效率的关注度上升,对用水效率的研究及其成果增多。从广义上讲,用水效率涉及经济效益、社会效益以及生态效益。如张远指出对资源利用效率的评价需要考虑不同的资源

① Allan, T.. Productive Efficiency and Allocative Efficiency: Why Better Water Management May not Solve the Problem [J]. Agriculture Water Management, 1999, 40 (1): 71-75.

② 贾绍凤,张士峰,杨红,等. 工业用水与经济发展的关系——用水库兹涅茨曲线 [J]. 自然资源学报, 2004 (3): 279-284.

③ Farrell, M. J.. The Measurement of Productive Efficiency [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957, 120 (3): 253-290.

④ Leibenstein, H.. Allocative Efficiency vs. 'X-Efficiency' [J]. The American Economic Review, 1966, 56 (3): 392-415.

⑤ 余维,汪奎,赵远翔. 我国工业用水效率研究进展 [J]. 人民长江, 2012 (2): 70-74.

类型,并且要考虑资源利用的经济、社会和生态效益^①;许新宜指出水资源利用效率是单位水资源所带来的经济、社会或者生态等效益^②;白颖等指出水资源利用效率受社会经济系统和生态环境系统的影响,又反作用于社会经济系统和生态环境系统,所以研究水资源利用效率时要考虑社会效益和生态效益^③。但在许多对用水效率的研究中,用水效率仅涉及经济效益,即狭义上的用水效率。如孙爱军指出水资源利用的技术效率用来衡量经济单元获得最大产出(或投入最小成本)的能力,本质上可以看成是水资源的有效利用与配置^④;孙才志等指出,用水效率是在一定的投入和技术条件下,单位水资源所产生的效益,它作为一种投入产出的生产率表现了水资源利用的程度和有效性,反映了对水资源利用的广度和深度^⑤;李浩鑫等指出,灌溉用水效率主要是灌溉用水的配置效率和经济效率,可以用水资源消耗量、投入产出比率等衡量^⑥。

中国对用水效率的研究大多局限于狭义上的用水效率,但显然水资源利用的社会效益和生态效益是不能被忽视的重要内容,在未来对用水效率无论是测算、评价或是影响因素分析方面的研究要更多地立于广义的视角。而考虑农业用水、工业用水以及生活用水都会给环境带来不同程度的负面影响,广义上的用水效率除包含水资源利用的经济效益、社会效益和生态效应,还应该包括环境效应。

2. 工业用水效率研究方法

工业用水效率的研究方法多种多样,在工业用水效率的测算和评价方面包括数据包络分析(DEA)、超效率DEA、随机前沿生产函数

① 张远. 自然资源利用效率的研究: 仅以水资源和土地资源为例 [J]. 价格理论与实践, 2005 (9): 25-27.

② 许新宜, 王红瑞, 刘海军, 等. 中国水资源利用效率评估报告 [J]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010: 37.

③ 白颖, 王红瑞, 许新宜, 等. 水资源利用效率及评价方法若干问题研究 [J]. 水利经济, 2010 (3): 1-4.

④ 孙爱军. 工业用水效率分析 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2009: 52.

⑤ 孙才志, 王妍, 李红新. 辽宁省用水效率影响因素分析 [J]. 水利经济, 2009 (2): 1-5.

⑥ 李浩鑫, 邵东国, 何思聪, 等. 基于循环修正的灌溉用水效率综合评价方法 [J]. 农业工程学报, 2014 (5): 65-72.



(SFA)、方向性环境距离函数 (DEDF) 以及共同前沿距离函数等, 在工业用水效率的影响因素分析方面包括主成分分析法、指数分解法等 (见表 2-1), 其中指数分解法包含 ML 指数分解、Fisher 理想指数分解、LMDI 分解等方法。与对综合用水效率及农业用水效率的研究相似, 运用最多的方法是 DEA 方法和 SFA 方法。这两种方法也是各领域效率评价中常用的方法。另外, 在综合或农业、生活用水效率研究中使用的人工神经网络模型^①、比值分析法^②等方法也被引入工业用水效率的研究中。

表 2-1 工业用水效率研究方法汇总表

研究方法	研究作者	研究内容
DEA	买亚宗等	对中国 2000—2012 年 30 个省的面板数据进行分析, 得到各地区工业用水效率呈现不同发展趋势且存在区域差异的结论 ^①
	王莹	对中国江苏省 2002—2012 年的工业水资源利用效率进行分析, 得到 11 年中 DEA 有效的年份占 55% 的结论 ^②
超效率 DEA	岳立等	对 2003—2010 年中国 31 个省区工业用水量 and 经济发展面板数据进行分析, 得出全国工业用水效率总体偏低, 并且地区用水效率差距较大的结论 ^③
SFA	孙爱军等	对中国 1953—2004 年间工业水资源利用技术效率进行测算, 得到其总体呈缓慢上升趋势的结论 ^④
	卞锦宇等	采用修正的 SFA 利用中国 1997—2010 年 31 个省的面板数据进行多元变量与应变量的拟合, 验证了模型的适用性 ^⑤
DEDF	岳立等	基于考虑非期望产出的 DEDF 模型, 对 2003—2009 年中国 13 个典型工业省区的面板数据进行分析, 得到中国工业用水效率呈递增趋势, 但地区间存在差异的结论; 同时利用 ML 指数分解对影响中国工业用水效率因素分析, 得到技术进步对用水效率作用不明显的结论 ^⑥

① 俞亭超, 张土乔, 毛根海, 等. 预测城市用水量的人工神经网络模型研究 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2004 (9): 1156—1161.

② 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 (3): 215—220.

续表

研究方法	研究作者	研究内容
Meta - frontier 模型	李静等	基于 SBM - Undesirable 和 Meta - frontier 模型对中国 1999—2011 年 30 个省得面板数据进行分析, 得到考虑工业水污染情况的工业用水效率普遍较低的结论 ^⑦
主成分分析法	姜蓓蕾等	利用中国 1997—2010 年 31 个省的面板数据, 对工业用水效率驱动因素进行分析, 得到水资源条件和高耗水行业比重对工业用水效率提高有负面影响作用, 而工业科技投入和技术进步有正面影响的结论 ^⑧
分解分析法	刘翀等	采用 LMDI 分解法分析安徽省 2002—2010 年工业用水消耗变动情况, 得到工业行业经济规模效应、结构效应和用水定额效应分别对工业用水变动的影响程度 ^⑨

①买亚宗, 孙福丽, 石磊, 等. 基于 DEA 的中国工业水资源利用效率评价研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2014 (11): 42 - 46.

②王莹. 基于 DEA 的江苏省工业水资源利用效率研究 [J]. 水利经济, 2014 (5): 19 - 22.

③岳立, 白婧, 郭山宁. 基于超效率的中国工业用水效率分析 [J]. 石家庄经济学院学报, 2013 (6): 51 - 55.

④孙爱军, 董增川, 王德智. 基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测 [J]. 中国矿业大学学报, 2007 (4): 547 - 553.

⑤卞锦宇, 刘恒, 耿雷华, 等. 基于随机钱眼生产函数的我国工业用水效率影响因素研究 [J]. 水利学报, 2014 (5): 6 - 9.

⑥岳立, 赵海涛. 环境约束下的中国工业用水效率研究 [J]. 资源科学, 2011 (11): 2071 - 2079.

⑦李静, 马潇臻. 资源与环境双重约束下的工业用水效率 [J]. 自然资源学报, 2014 (6): 920 - 933.

⑧姜蓓蕾, 耿雷华, 卞锦宇. 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 (11): 2231 - 2239.

⑨刘翀, 柏明国. 安徽省工业行业用水消耗变化分析 [J]. 资源科学, 2012 (12): 2299 - 2305.

综合分析表 2 - 1 可以发现, 聚焦于工业用水的文献大都从技术层面进行研究, 在对工业用水效率进行研究时基本上只考虑了投入产出的数量关系, 测算的是各地区在特定技术条件下可将水资源投入量缩减多少而产出数量不变。然而现实中的各种生产要素都存在着成本差异, 我们不仅要考虑投入数量, 更要考虑投入成本。由于生产要素之间具有可替



代性,生产同样的产出通常可以采用多种不同的投入要素组合。对于微观层面的生产企业而言,要根据各种投入要素的价格水平选择成本最小的那种组合;对于宏观层面的地区或国家而言,则要选择最符合于自身的资源要素禀赋特征的那种组合,充分利用自身相对丰裕的资源要素,避免透支自身相对缺乏的资源要素。这也是林毅夫和苏剑提到的“最优生产方式”问题:一个经济体的最优生产方式取决于其要素价格体系,而其要素价格体系取决于其要素禀赋特征^①。从现实情况来看,我国地区间的水资源分布和经济发展极不平衡,要素禀赋存在巨大差异,从而要素投入的最优结构也不同。因此,如果脱离了要素禀赋来研究各地区的水资源利用效率,所得结果将是片面的。

3. 中国工业用水效率区域差异明显

众多研究均指出中国综合水资源利用效率各区域间存在明显差异。孙才志等利用改进的数据包络分析法计算了各地区的水资源利用相对效率,并运用探索性空间数据分析法研究指出:中国水资源利用相对效率在空间上存在显著差异,其中发达地区用水效率较高,欠发达地区用水效率较低^②;钱文婧等利用基于投入导向的数据包络分析模型指出中国东、中、西部水资源利用效率处于三个明显不同的级别,其中东部地区水资源利用效率最高,西部地区水资源利用效率最低^③;买亚宗等进一步指出中国各省份之间的用水效率差距具有逐年增大的趋势^④。中国工业水资源利用效率具有区域差异的现象同样明显,表2-1中所列出的研究如岳立等、买亚宗等、李静等均指出了该现象的存在。陈关聚等测算了区域工业水资源效率值,指出工业水资源利用效率在空间分布上呈现从东部向西部逐渐下降格局,并利用分层聚类分析方法详细分析了不同

① 林毅夫,苏剑.论我国经济增长方式的转换[J].管理世界,2007(11):5-13.

② 孙才志,刘玉玉.基于DEA-ESDA的中国水资源利用相对效率的时空格局分析[J].资源科学,2009(10):1696-1703.

③ 钱文婧,贺灿飞.中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2011(2):54-60.

④ 买亚宗,孙福丽,黄朵朵,等.中国水资源利用效率评估及区域差异研究[J].环境保护科学,2014(5):1-7.

类型地区的工业用水效率水平^①。刘虹利等运用 Moran's I 指数专门对北京市各区县工业用水效率和工业增长情况的空间差异性演变特性进行研究,并按照用水效率集聚程度将北京市分为首都主体功能聚集显著区、城市功能拓展聚集变动区和城市生态涵养聚集显著区^②。现有研究虽然能确定各地区工业用水强度与先进水平之间的差距,但却没有可靠的方法来判断各地区的工业用水强度是否与自身要素禀赋相协调,更无法准确测算不协调的程度,所以将要素禀赋因素放进研究中是未来研究的重要方面之一。

中国工业用水效率存在区域差异是被普遍认可的事实,今后在对工业用水效率方面进行研究时要考虑这种区域差异性,并且可以对这种区域差异性进行深入研究,通过对高、低工业用水效率区域的对比研究获得高工业用水效率的关键影响因素,将高工业用水效率区域的经验运用到提高低工业用水效率区域用水效率的进程中,最终促进中国整体工业用水效率的提高。

4. 中国工业用水效率影响因素汇总

了解影响工业用水效率的因素对加快工业节水具有重要作用。汇总相关研究(表2-2),发现影响工业用水效率的因素主要有工业经济发展水平、资源约束、结构因素、技术进步、科技投入、用水价格等,其中工业经济水平越发达、科技越进步、科技投入越多越有利于工业用水效率的提高,而水资源越丰富以及高耗水行业比重越高越不利于工业用水效率的提高。

表 2-2 中国工业用水效率影响因素研究汇总

研究作者	影响因素	影响结果
陈关聚等 ^①	区域经济发达程度、工业占比、科技经费投入、人均水资源使用量	区域经济发达程度、工业占比、科技经费投入对改善工业用水效率有正面作用,人均水资源使用量越大的地区浪费越多

① 陈关聚,白永秀.基于随机前沿的区域工业全要素水资源效率研究[J].资源科学,2013(8):1593-1600.

② 刘虹利,左萍,王红瑞,等.北京市工业用水效率和工业增长空间差异性分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2013(2):199-204.