

考虑社会及环境效益的再生水投资效率评价

高旭阔, 邓旋

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: [目的] 考虑再生水的社会效益和环境效益, 与投资相结合, 对中国区域再生水的投资效率作出评价, 并提出区域差别化的改进策略。[方法] 选取中国的 22 个省份, 4 个直辖市和 5 个自治区(不包括香港、澳门特别行政区和台湾省)为研究对象, 运用 DEA 模型和 Malmquist 指数模型进行投资效率测算。[结果] 中国再生水投资效率为 0.858, 各省份效率值参差不齐。中国的再生水投资效率一般, 相对于效率前沿存在着一定的改进空间。[结论] 综合考虑了经济、社会和环境效益的再生水投资效率高于仅考虑经济效益的再生水投资效率; 区域发展不平衡, 各省份的综合效率值相差较大且原因不同。根据不同省份的差异将其划分为不同的类别, 并采取相应的技术、管理、政策及综合改进策略。

关键词: 区域再生水; 投资效率; 环境效益; 社会效益; DEA; Malmquist 指数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0248-07

中图分类号: F205, X703

文献参数: 高旭阔, 邓旋. 考虑社会及环境效益的再生水投资效率评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 248-254. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.044; Gao Xukuo, Deng Xuan. Evaluation of investment efficiency in reclaimed water with consideration of social and environmental benefits[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 248-254. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.044

Evaluation of Investment Efficiency in Reclaimed Water with Consideration of Social and Environmental Benefits

GAO Xukuo¹, DENG Xuan¹

(1. College of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: [Objective] The study aims to evaluate the investment efficiency in reclaimed water projects in different regions of China with consideration of social and environmental benefits of the investment, and intend to propose differentiated improvement strategies for different regions. [Methods] This study selected 22 provinces, 4 municipalities and 5 autonomous regions(excluding Hongkong, Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) as the research objects and used DEA model and Malmquist index model to calculate the investment efficiency. [Results] The investment efficiency in reclaimed water in China was 0.858, and the efficiency was uneven among different provinces. The investment efficiency of reclaimed water in China is normal and it still has room to be improved. Investment efficiency of reclaimed water considering economic, social and environmental benefits is higher than that considering only economic efficiency. [Conclusion] Regional development is unbalanced, the investment efficiency is different among provinces due to different reasons. Therefore, provinces should be divided into different categories and different technology, management, policy and comprehensive improvement strategy should be proposed and carried out.

Keywords: regional reclaimed water; investment efficiency; environmental benefits; social benefits; DEA; Malnquist index

城镇化进程与水资源存在着响应关系^[1], 而中国目前面临着水资源短缺和水生态环境恶化的严峻形

势^[2], 水污染问题更加剧了本来紧张的水资源供需矛盾^[3], 经济和社会的可持续发展面临着巨大的挑战。

收稿日期: 2016-06-21

修回日期: 2016-09-02

资助项目: 国家社会科学基金项目“考虑环境成本与收益的再生水项目投资经济分析研究”(15BGL140)

第一作者: 高旭阔(1973—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 教授, 主要从事环境经济管理研究。E-mail: gao_xk@163.com。

通讯作者: 邓旋(1991—), 女(汉族), 河北省迁安市人, 硕士研究生, 主要研究方向为工程经济与管理。E-mail: 451917909@qq.com。

城市污水再生利用是开源节流、减轻水体污染、改善生态环境、缓解水资源供需矛盾和促进城市经济社会可持续发展的有效途径^[4-7],各省份对再生水的投入逐步增大,而投入资金与现实的经济产出却并不匹配,尚未有效地发挥投资的效率^[8],原因就在于再生水的财务效益小,而社会效益和环境效益大,且各省份发展不平衡。因此,对再生水的评价如何与投资相结合,如何在评价中体现出再生水的外部效果,如何从区域角度出发,促使全国各区域更加平衡而高效地开展再生水回用并提高投资效率,对政府决策具有重大的现实意义。

从现有的研究来看,刘杰等^[9]重点研究了污水处理厂厂区占地面积、运行及建设费用与处理规模之间的关系,对具体费用进行了分析。Guerrini 等^[10]、Hernandez-Sancho 等^[11]、Molinos-Senante 等^[12]、Sala-Garrido等^[13]国外学者也以污水处理厂为研究对象,评价了其技术经济效率。然而,对污水处理厂的研究忽略了一个事实,污水再生利用对社会和环境有着积极的影响。Urkiaga A. 等^[14]提出,成功地对再生水项目进行评价不仅要考虑技术和经济因素,而且要考虑社会、环境和生态因素。熊家晴等^[15]通过对再生水全生命周期评价,定量地衡量了再生水项目的环境成本与收益。Xiao Liang 等^[16]对北京市集中污水回用系统进行了成本效益分析,作者从企业的角度计算了财务效益和成本;并且从社会的角度,对经济、环境、社会效益、成本等进行了经济分析。刘晓君等^[17]通过采用模糊综合评价模型对西部某高校分散式污水再生利用工程进行分析,该研究不仅考虑了再生水项目的财务效益,而且将环境效益和社会效益纳入了评价范畴,形成了再生水项目的综合效益。李缙荣等^[18]、李闻一等^[19]学者也对污水处理进行了经济分析及成本效益分析。

总体来看,目前的研究存在以下 2 个方面的问题:(1) 尽管相关的研究提出了一些再生水项目环境成本与收益衡量的方法与思路,但如何与投资的经济评价相结合、如何使环境的外部效果体现在评价的过程中等问题尚需进一步完善;(2) 有关污水回用的研究,大多比较注重从污水处理厂企业自身着手,如运行成本、工艺、技术、规模等,研究上述污水处理厂内部因素对其效率产生的影响,而较少从区域的角度进行分析,对中国再生水整体发展情况的研究较少。因此,本研究拟从区域角度出发,考虑再生水的经济、社会和环境效益,与投资相结合,对中国区域再生水的投资效率作出评价,并提出区域差别化的改进策略。

1 材料与方法

1.1 DEA 方法

DEA(data envelopment analysis)是在相对效率概念的基础上发展出来的一种投入产出方法^[20],多投入多产出的情况时具有特殊的优势,污水处理回用的有关决策正是是一个多投入、多产出的过程。高琴等^[21-22]学者运用 DEA 方法研究了污水处理厂的运行效率,证实了该方法的有效性。马乃毅等^[23]运用 Super-SBM 模型对河南省 13 座新建污水厂的投资效率进行了分析。诸多研究表明,DEA 的适用范围较广,可以有效应用于相关的效率评价,并可以总结出有效率的经验,进一步对非 DEA 有效分析可以得到相关的建议及对策,并且此方法避免了主观因素的影响,减小了误差。

本研究的决策单元(DMU)是中国的 22 个省份、4 个直辖市和 5 个自治区(以下统称省份,不包括香港、澳门特别行政区和台湾省),设省份的数量为 n ,记为 $DMU_p (p=1,2,\dots,n)$;每个省份的污水再生利用有 m 种投入,记为 $X_p = (x_{1p}, x_{2p}, \dots, x_{mp})$,投入的权重表示为 $v_i (i=1,2,\dots,m)$, s 种产出,记为 $Y_p = (y_{1p}, y_{2p}, \dots, y_{sp})$,产出的权重表示为 $u_j (j=1,2,\dots,s)$ 。当前要测量的省份记为 DMU_k ,则该省份的效率如式(1)所示, h_k 越大,表明再生水投资越有效。

$$h_k = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i y_{ik}} \quad (1)$$

对所有 DMU 的效率加入约束条件 $h_p \leq 1$, 则模型表示为:

$$\max h_k = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i y_{ik}} \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jp}}{\sum_{i=1}^m v_i y_{ip}} \leq 1 \end{cases}$$

式中: $v_i \geq 0; u_j \geq 0; i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,s; p=1,2,\dots,n$ 。

(2) 式所示的模型的含义为,在使所有 DMU 的效率值都不超过 1 的条件下,使被评价 DMU 的效率值最大化,据此可以确定对 DMU 最有利的权重 u 和 v 的值。进一步变换可以得到 CCR 模型,如式(3)所示。

$$\begin{aligned} & \max \sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \sum_{j=1}^s \mu_j y_{jp} - \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ip} \leq 0 \\ \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ik} = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

式中： i ——投入指标的编号； j ——产出指标的编号； p ——省份的编号； $\nu_i \geq 0$ ； $\mu_j \geq 0$ ； $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, s$ ； $p=1, 2, \dots, n$ 。

CCR 模型的对偶模型为：

$$\begin{aligned} & \min \theta \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \sum_{p=1}^n \lambda_p x_{ip} \leq \theta x_{ik} \\ \sum_{p=1}^n \lambda_p y_{jp} \geq y_{jk} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式中： θ ——效率值； θ 的范围为 $(0, 1]$ ； λ_p ——第 p 个省份的线性组合系数； $\lambda_p \geq 0$ ； $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, s$ ； $p=1, 2, \dots, n$ 。

进一步加入约束条件 $\sum_{p=1}^n \lambda_p = 1$ ，并变换，可以得到产出导向的 BCC 模型，如式(5)所示。

$$\begin{aligned} & \min \varphi \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \sum_{p=1}^n \lambda_p x_{ip} \leq x_{ik} \\ \sum_{p=1}^n \lambda_p y_{jp} \geq \varphi x_{jk} \\ \sum_{p=1}^n \lambda_p = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

式中： $\lambda_p \geq 0$ ； $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, s$ ； $p=1, 2, \dots, n$ 。

1.2 Malmquist 指数

Malmquist 及相关概念的定义为：Malmquist 指数是衡量生产率由 t 时期到 $t+1$ 时期的动态变化指数，即全要素生产率(T_{PFCH})。该指数大于 1，说明全要素生产率呈上升趋势；该指数等于 1，说明全要素生产率不变；该指数小于 1，说明全要素生产率呈现下降趋势。Malmquist 指数可分解为技术效率指数(E_{FFCH})和技术进步指数(T_{ECHCH})，技术效率指数代表每个 DMU 相对于生产前沿的追赶程度，也即生产部门的技术效率变化程度，具体生产中该指数反映部门管理方法的优劣及决策的科学性。技术进步指数代表生产部门沿生产前沿面

的移动，代表了生产技术变化的程度，具体生产中反映技术进步及创新程度。

$$T_{PFCH} = E_{FFCH} \times T_{ECHCH} \quad (6)$$

式中： T_{PFCH} ——全要素生产率； E_{FFCH} ——技术效率指数； T_{ECHCH} ——技术进步指数。下同。

进一步，技术效率指数可以分解为纯技术效率(P_{ECH})和规模效率(S_{ECH})，

$$E_{FFCH} = P_{ECH} \times S_{ECH} \quad (7)$$

式中： P_{ECH} ——纯技术效率； S_{ECH} ——规模效率。下同。

最终，Malmquist 分解为：

$$T_{PFCH} = P_{ECH} \times S_{ECH} \times T_{ECHCH} \quad (8)$$

1.3 变量选取及指标体系建立

由于区域再生水投资既有经济效益又有社会效益、环境效益的特殊性，因此在投入和产出评价指标的选取时，必须同时兼顾这 3 方面。具体指标选取如下：

1.3.1 产出指标

(1) 经济效益产出指标。再生水的经济效益主要有 2 方面，一方面是污水处理量 Y_1 ，另一方面是再生水被利用所获得的收入 Y_2 。设第 p 个省份年处理污水量为 Q_{1p} ，则：

$$Y_{1p} = Q_{1p} \quad (9)$$

再生水利用收入 Y_2 与 2 个因素有关，即再生水年利用量和再生水的单价。设第 p 个省份年利用再生水量为 Q_{2p} ，再生水单价为 P_{2p} ，则第 i 个省份年再生水利用收入为：

$$Y_{2p} = P_{2p} \cdot Q_{2p} \quad (10)$$

根据以上分析，将 Y_1 和 Y_2 作为体现再生水经济效益产出的 2 个指标。

(2) 环境效益产出指标。再生水具有外部性，其外部性的存在将会阻碍市场机制对资源的有效配置，使其实际经济效率偏离帕累托最优。这种外部性不体现在直接的经济利益上，而是处于价格体系之外，因此，需要将这种外部性内部化，即把其所产生的环境效益货币化，从而体现所产生的价值。

根据外部性所产生的影响，分为正外部性和负外部性，再生水的外部性属于正外部性。对于再生水所产生的这种正外部性，人们免费获得了这部分环境效益，若按照边际效益等于边际成本时资源配置达到最优状态的原则，在这种情况下，实际是处于一种资源低效率配置的状态。

针对外部性的问题，本文采取外部效果内部化的方法来解决，将环境效益纳入产出，进而做出更科学的评价。意愿调查价值评估法(contingent valuation method, CVM)常被用于公共物品的外部性价值的评价，通过调

查人们对一定数量的消费物品或劳务所愿意支付的金额。根据这种方法,对于污水再生利用所产生的环境效益 Y_3 , 本文采用整个社会人们的支付意愿来衡量。

中国对直接向环境排放污染物的单位和个体工商户征收排污费,这个排污费就可以看作是排污者因排放污染物对环境造成的污染所做的补偿,即整个社会人们的支付意愿。对于污水排污费,中国目前按照排污者排放污染物的种类、数量以污染当量计征,每一污染当量征收标准为 0.7 元,污水排污费收费额 = 0.7 元 \times 前 3 项污染物的污染当量数之和。不同的污染物的污染当量值不同,也反映出了其对环境产生的影响程度不同。对于城市污水,通常排在前 3 位的是化学需氧量(COD)、氨氮和总磷,设第 p 个省份这 3 项污染物排放的污染当量分别为 a_{1p} , a_{2p} 和 a_{3p} , 则社会对排放污水所产生的污染的补偿的支付意愿,即污水再生利用所产生的环境效益为:

$$Y_{3p} = 0.7 \times (a_{1p} + a_{2p} + a_{3p}) \quad (11)$$

式中: a_{1p} , a_{2p} , a_{3p} —— 可由化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、氨氮和总磷的年削减量经过换算得到。

根据以上分析,本文将污染物支付意愿 Y_3 作为环境效益产出指标。

(3) 社会效益产出指标。除了经济效益和环境效益之外,再生水的投资也会带来一定的社会效益,比如增加城市投资机会、促进城市经济发展以及增加就业机会等。污水的处理及回用改善了水环境,进而影响到城市整体环境水平的提高,便会吸引更多的投资;同时,城市环境水平的提高会吸引更多的人才聚集于此,并吸引更多的游客,有利于城市经济的长远发展;并且,污水处理及回用会带动相关产业的发展,比如基础设施建设、设备制造,这在一定程度上为城市创造了更多的就业机会。根据以上分析,污水处理及回用的社会效益的组成较为复杂,较难对其进行准确的量化。本研究根据高旭阔^[24] 博士论文中对再生水社会服务价值的研究成果,对各省的再生水社会效益做简化处理,再生水对地区生产总值的贡献按 5.1% 计算。记第 p 个省份的地区生产总值为 GDP_p , 则污水再生利用所产生的社会效益为:

$$Y_{4p} = GDP_p \times 5.1\% \quad (12)$$

1.3.2 投入指标 通过查阅相关文献及实际调研可知,污水厂的投入主要有以下几大方面,建造污水厂的投资、运营后的人工费、电费、药剂费和设备维修费。站在区域的角度,本文将再生水项目的主要投入归为以下 2 个指标,一是当年运行费用 X_1 , 二是当年新增固定资产 X_2 。

本文建立的再生水投资效率评价指标体系见表 1。

表 1 中国再生水投资效率评价指标体系

类别	符号	指标名称
产出指标	Y_1	污水处理量
	Y_2	再生水收入
	Y_3	污染物支付意愿
	Y_4	社会服务价值
投入指标	X_1	当年运行费用
	X_2	当年新增固定资产

1.4 数据来源

本研究的决策单元(DMU)是中国的 31 个省份,基础数据来源于 2012—2015 年的《中国环境年鉴》及《中国统计年鉴》,并通过进一步的整理计算得到,研究数据具有较强的客观性、可靠性和权威性。

2 结果与分析

2.1 中国再生水投资效率评价

2.1.1 各省份再生水投资效率总体分析 通过对比表 2 中数据结果可以发现,全国的 $crste_1$ 为 0.858, $crste_2$ 为 0.800, 这表明没有包括再生水的社会和环境效益的 $crste_2$ 在某种程度上低估了再生水的投资效率水平。

对于纯技术效率,仅考虑经济效益时的 $vrste_2$ 为 0.831, 而同时考虑了经济、社会、环境效益的 $vrste_1$ 为 0.930, 二者比较可知,将环境效益纳入产出后,纯技术效率增大,由此对纯技术效率做出了更为准确的评估,避免了由于未考虑社会环境因素而对其的低估。然而,对于规模效率, $scale_2$ (0.962) 却大于 $scale_1$ (0.923), 原因就在于在产出中仅考虑经济效益是不充分的,一些省份处于规模报酬递增的状态的省份事实上已经处在了规模报酬不变甚至是规模报酬递减的状态。

图 1 中显示了中国各省份再生水的纯技术效率和规模效率的分布情况,由图 1 可知,纵坐标为纯技术效率,点的分布比较集中且规模效率值较大,大多数分布在 0.850~1.000。这反映了大多数省份再生水发展技术效率较高。再观察横坐标的规模效率,点的分布较为分散,说明规模效率对中国再生水的影响较大,而规模效率差异大的原因有 2 种,一种是多数省份处于规模递减状态,而另一些省份处于规模递增状态。

表 2 仅考虑经济效益和同时考虑经济、社会和环境效益时中国各省份再生水投资效率及其分解指数

序号	省份	考虑经济、社会和环境效益时				仅考虑经济效益时			
		综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
1	北京	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
2	天津	1.000	1.000	1.000	—	0.803	0.804	0.998	irs
3	河北	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
4	山西	0.770	0.771	0.999	drs	0.738	0.741	0.997	irs
5	内蒙古	0.776	0.868	0.894	drs	0.611	0.614	0.996	irs
6	辽宁	0.704	0.813	0.865	drs	0.697	0.743	0.939	drs
7	吉林	0.732	0.788	0.929	drs	0.593	0.595	0.998	irs
8	黑龙江	0.652	0.713	0.914	drs	0.589	0.590	0.999	—
9	上海	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
10	江苏	0.540	0.967	0.559	drs	0.505	0.656	0.769	drs
11	浙江	0.642	0.991	0.647	drs	0.543	0.600	0.906	drs
12	安徽	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
13	福建	1.000	1.000	1.000	—	0.904	0.905	0.999	—
14	江西	0.858	0.888	0.965	drs	0.841	0.842	0.999	irs
15	山东	0.803	1.000	0.803	drs	0.801	1.000	0.801	drs
16	河南	1.000	1.000	1.000	—	0.878	1.000	0.878	drs
17	湖北	0.871	0.982	0.888	drs	0.838	0.928	0.903	drs
18	湖南	0.845	0.986	0.857	drs	0.787	0.850	0.926	drs
19	广东	0.934	1.000	0.934	drs	0.934	1.000	0.934	drs
20	广西	0.732	0.760	0.963	drs	0.718	0.718	0.999	—
21	海南	0.885	0.922	0.961	irs	0.885	0.922	0.961	irs
22	重庆	0.715	0.903	0.792	drs	0.708	0.727	0.974	drs
23	四川	0.840	1.000	0.840	drs	0.820	0.832	0.986	drs
24	贵州	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
25	云南	0.959	1.000	0.959	drs	0.939	0.942	0.998	irs
26	西藏	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
27	陕西	0.794	0.820	0.969	drs	0.597	0.597	1.000	—
28	甘肃	0.870	0.911	0.956	drs	0.764	0.781	0.978	irs
29	青海	0.723	0.760	0.952	drs	0.563	0.617	0.912	irs
30	宁夏	0.972	1.000	0.972	irs	0.929	0.942	0.986	irs
31	新疆	0.975	0.978	0.997	irs	0.817	0.823	0.993	irs
	全国	0.858	0.930	0.923		0.800	0.831	0.962	

注:irs表示规模报酬递增;drs表示规模报酬递减;—表示规模报酬不变。

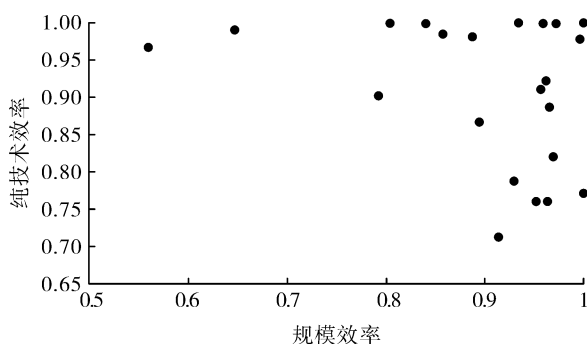


图 1 中国各省份再生水纯技术效率—规模效率分布

2.1.2 同时考虑经济、社会、环境效益时,各省份投资效率具体分析 根据表 2 中同时考虑经济、社会和环境效益的投资效率测算结果,对各省份的具体数据进行分析。全国的平均效率值为 0.858,以此为分类标准进行分析。共有 9 个省份的综合效率值为 1,分

别为北京、天津、河北、上海、安徽、福建、河南、贵州和西藏;综合效率值在 0.858~1 的有 8 个省,分别为江西、湖北、广东、海南、云南、甘肃、宁夏、新疆;综合效率值低于 0.858 的有 14 个省份,分别为山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、浙江、山东、湖南、广西、重庆、四川、陕西和青海。

各省份再生水的投资效率相差较大,说明了中国再生水区域发展不平衡。对于投资效率最高的几个省份,生产处于生产前沿上,再生水投资效率处于相对最优水平,对其他省份起到示范带动作用。在这些省份中,既有经济较发达的地区,也有经济欠发达的地区,观察原始输入输出数据很容易就可以发现,造成这个结果的原因就在于,一些省份投资有效是其投入大且产生的效益也大,而另一些省份投资有效是由于其投入不大,因此即使较小的产出也使其达到了相

对有效的状态。再对综合效率值小于 0.858 的省份分析,这些省份的再生水投资效率处于相对较低的水平,存在着较大的改进空间。造成这些省份综合效率低的原因分为 2 种,对于山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江和广西,其规模效率值相对较高,但是由于纯技术效率低而导致了其规模效率低;而江苏、浙江、山东、湖南、四川则正好相反,其纯技术效率较高,而规模效率较低,造成规模效率低的原因主要在于这几个省份均处于了规模报酬递减状态,尤其是江苏和浙江。观察江苏和浙江的原始数据可以发现,这 2 个省份的投资额远远大于其他省份,江苏和浙江在中国属于经济较发达的省份,因此对于再生水的投资较大符合其经济发展水平,但也正是由于投资额过大,导致了它们处于了规模无效的状态,并进而影响到其综合效率值较低。

2.1.3 投入冗余和产出不足分析 对于中国各区域

投入和产出的情况,由于省份较多且各省份情况各异,逐一列出意义不大,因此,将各投入冗余和产出不足的指标列出,计算存在这些原因的省份占全国的比重(详见表 3)。

由表 3 可知,在产出不足方面,影响中国再生水投资效率的主要原因是污染物支付意愿不足、污水处理量不足和再生水收入。污染物支付意愿不足反映出中国当前对再生水环境效益的评估不足,社会对再生水所产生的环境效果的支付意愿低;污水处理量不足表明目前所处理的污水与投入并不匹配;再生水收入的不足反映出再生水利用量的不足,这一结果与中国当前再生水利用率低的特点相吻合。在投入冗余方面,主要是由于新增固定资产冗余,这反映出中国污水厂存在着盲目建设的现象,这与当前一些区域污水厂一味追求规模却达不到满负荷运行的现状相吻合。

表 3 中国再生水投入冗余、产出不足情况

项 目	产出不足				投入冗余	
	污水处理量	再生水收入	污染物支付意愿	社会服务价值	当年运行费用	新增固定资产
区域数量	12	9	14	3	1	11
比重/%	38.71	29.03	45.16	9.68	3.23	35.48

2.1.4 区域再生水投资效率的时间维度分析 鉴于统计年鉴数据的完整性,本文选取了 2011—2014 年的数据进行分析。

表 4 2011—2014 年中国再生水 Malmquist 指数及其分解指数

年 份	效率进步指数	技术进步指数	纯技术效率	规模效率	再生水投资效率指数
2011—2012	1.456	0.149	1.302	1.118	0.217
2012—2013	0.997	1.035	1.004	0.993	1.032
2013—2014	1.007	0.834	0.992	1.015	0.840
平均值	1.153	0.673	1.099	1.042	0.696

观察表 4 可知,再生水投资效率指数的变化主要受制于技术进步指数的变化,技术进步指数在 2011—2012 年处于较差的水平,说明中国当时再生水的技术较为落后,在 2012—2013 年大于 1,说明这个时期投资效率的提高一定程度上得益于技术进步,而在 2013—2014 年又略有下降。而总体而言,近年来技术进步对再生水投资效率的提升动力不足,存在巨大的技术进步空间,缺乏创新,应注意提高产品的技术。在 2011—2014 年,中国再生水效率进步指数和规模效率是提高的,对投资效率的提高起到了积极的作用。

3 讨论与结论

3.1 讨论

根据以上分析,为提高中国再生水投资效率,针对不同省份的不同情况,提出如下改进策略。

(1) 技术效率改进策略。对于投资效率较低且规模效率大于技术效率的省份,如山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江和广西,目前再生水发展的规模较为合理但仍有可以提升的空间,但技术效率有着巨大的提高空间。针对这些省份,应重点采取技术效率改进策略,提高其实际产出水平与各自最优产出水平的比,收集、处理、回用更多的污水水,以提高技术效率。

(2) 管理改进策略。对于投资效率较低且规模效率小于技术效率的省份,如江苏、浙江、山东等,这些省份属于经济较发达的地区,投资效率主要受规模效率递减的影响。针对这些省份,应重点采取管理改进策略,注重提升人员配置、生产经营等方面的规范化管理水平,并可以利用地域经济优势,尝试更先进的管理模式提升竞争力。

(3) 政策改进策略。对于投资效率中等的省份,如江西、湖北等,建议重点采取政策改进策略。当地政府应重点扶持,通过政策导向为污水处理及回用注入活力,促进区域经济及环境可持续发展。

(4) 综合改进策略。对于投资效率较好的省份, 再生水投资效率处于相对最优水平, 对其他省份起到示范带动作用。建议采取综合改进策略, 根据各个省份特点, 综合推进进一步的发展。

(5) 对于全国而言, 必须持续推进技术进步, 加强科技创新能力, 积极引进、学习先进的工艺、设备及技术, 为行业带来更高的生产力, 并降低能耗, 促进产业升级; 关注社会效益和环境效益, 制定相应的激励性政策, 扶持地方污水厂及企业; 帮助再生水项目克服经济效益小而环境效益大的问题, 使其的环境效益被充分重视并能够货币化为相应的价值在市场中体现, 从而逐步消除经济产出较低的弱势。

3.2 结论

随着中国经济快速发展和城市化的大规模崛起, 兼具经济、社会和环境效益的污水处理及回用有利于城市水资源的压力, 促进可持续发展。本文从区域角度出发, 考虑污水处理回用的外部效果, 科学选取了投入及产出指标, 对中国 31 个省份的投资效率做出了评价。总体而言, 中国的再生水投资效率一般, 相对于效率前沿仍存在一定的改进空间; 另外, 没有包括再生水的社会、环境效益的投资效率在某种程度上低估了再生水的投资效率水平; 不同省份的投资效率水平不同且原因不同, 根据不同省份的差异划分出不同的类别, 提出了相应的技术、管理、政策及综合改进策略; 并找出了投入不足和冗余情况, 以期对中国再生水发展提供科学的依据。

[参 考 文 献]

- [1] 刘洁, 谢丽芳, 杨国英, 等. 丰水区城镇化进程与水资源利用的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 193-199.
- [2] 赵良仕, 孙才志, 郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 121-133.
- [3] 刘瑜洁, 刘俊国, 赵旭, 等. 京津冀水资源脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 211-218.
- [4] 李俊晓, 李朝奎, 罗淑华, 等. 基于 AHP—模糊综合评价方法的泉州市水资源可持续利用评价[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 210-214.
- [5] 王震, 吴颖超, 张娜娜, 等. 我国粮食主产区农业水资源利用效率评价[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 292-296.
- [6] 张娜娜, 王海涛, 吴颖超. 基于数据包络分析模型的江苏省农业水资源利用效率评价[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 299-302.
- [7] 李燕群, 何通国, 刘刚, 等. 城市再生水回用现状及利用前景[J]. 资源开发与市场, 2011, 27(12): 1096-1100.
- [8] 倪殿建. 环境污染经济损失及污水处理效率的实证研究[J]. 重庆理工大学学报, 2015, 29(6): 64-68.
- [9] 刘杰, 郑西来, 高超, 等. 城镇污水处理厂用地. 运行及建设费用研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(11): 2522-2526.
- [10] Guerrini A, Romano G, Leardini C, et al. Measuring the efficiency of wastewater services through Data Envelopment Analysis[J]. Water Science and Technology, 2015, 71(12): 1845-1851.
- [11] Hernández-Sancho F, Molinos-Senante M, Sala-Garrido R. Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(14): 2693-2699.
- [12] Molinos-Senante M, Hernández-Sancho F, Sala-Garrido R. Comparing the dynamic performance of wastewater treatment systems: A metafrontier Malmquist productivity index approach[J]. Journal of environmental management, 2015, 161: 309-316.
- [13] Sala-Garrido R, Molinos-Senante M, Hernández-Sancho F. How does seasonality affect water reuse possibilities? An efficiency and cost analysis[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 58: 125-131.
- [14] Urkiaga A, Fuentes D L, Bis B, et al. Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse[J]. Desalination, 2008, 218(1): 81-91.
- [15] 熊家晴, 华丽芳, 王巧, 等. 再生水生命周期综合价值模型与计算[J]. 建筑科学, 2008, 24(10): 95-99.
- [16] Liang Xiao, van Dijk M P. Cost benefit analysis of centralized wastewater reuse systems[J]. Journal of Benefit-Cost Analysis, 2012, 3(3): 1-30.
- [17] 刘晓君, 魏莹军. 基于环境会计视角的分散式污水再生利用工程综合评价研究[J]. 工业安全与环保, 2014, 40(12): 58-61.
- [18] 李缙荣, 张小洪, 张航宾, 等. 污水处理综合系统环境经济效益评估[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2482-2492.
- [19] 李闻一, 钟里卉, 祝麟. 城镇污水处理项目成本效益分析[J]. 财会月刊, 2015(15): 67-70.
- [20] Cook W D, Seiford L M. Data envelopment analysis (DEA): Thirty years on[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 192(1): 1-17.
- [21] 高琴, 张辉国, 安哲, 等. 基于 DEA 分析的乌鲁木齐市污水处理厂规模技术有效性研究[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2006, 23(2): 211-215.
- [22] 冯颖, 姚顺波, 刘东方. 基于 DEA 方法下的河南省污水处理厂财务成本控制研究[J]. 华东经济管理, 2009, 23(10): 150-154.
- [23] 马乃毅, 徐敏. 基于 Super-SBM 模型的污水厂投资效率实证分析[J]. 企业经济, 2011(1): 170-173.
- [24] 高旭阔. 城市再生水价值评价研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.