

基于DEA-Malmquist的上海市污水治理效率评价

许娜

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年6月14日; 录用日期: 2023年8月5日; 发布日期: 2023年8月11日

摘要

在水环境治理背景下, 上海市提出多种污水治理措施和对企业污水规制加强的管理制度, 上海市污水治理快速发展。本文选取2006年~2020年上海污水处理数据, 选择城市污水处理厂的数量、污水处理厂污水处理能力、排水管道长度、污水管道长度为投入指标, 城市污水处理厂的处理量、干污泥处置量、市政再生水的利用量情况和污水处理总量情况为产出指标, 利用DEA-Malmquist方法和回归分析上海市污水治理效率进行评价。研究发现, 在静态分析上治理总效率呈现上升且趋于稳定状态, 在动态分析上, 上海市污水治理投入效率不断增强。但依然存在污水治理的效率可持续性不稳定, 污水治理效率的技术进步不足, 污水治理的污水再利用效果不明显的问题。环境投入占GDP对综合效率有负向作用, 人均生产总值对综合效率呈正向关系, 人口密度和工业总产值指数未通过显著性检验。据此提出, 加强污水治理思想意识, 合理利用政企合作; 加大财政投入, 提高技术管理效率和更新; 加强推进污水资源再利用的建议。

关键词

DEA-Malmquist, 上海市, 污水治理效率

Evaluation of Sewage Treatment Efficiency in Shanghai Based on DEA-Malmquist

Na Xu

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jun. 14th, 2023; accepted: Aug. 5th, 2023; published: Aug. 11th, 2023

Abstract

Under the background of water environment management, Shanghai has put forward a variety of

sewage treatment measures and strengthened the management system of enterprise sewage regulation, and sewage treatment in Shanghai has developed rapidly. This paper selects the sewage treatment data of Shanghai from 2006 to 2020, selects the number of municipal sewage treatment plants, sewage treatment capacity of sewage treatment plants, length of drainage pipes and length of sewage pipes as input indicators, and the treatment capacity of municipal sewage treatment plants, the amount of dry sludge disposal, the utilization of municipal recycled water and the total amount of sewage treatment as output indicators. The DEA-Malmquist method and regression analysis were used to evaluate the efficiency of sewage treatment in Shanghai. The study found that the total treatment efficiency increased and tended to be stable in the static analysis, and the input efficiency of sewage treatment in Shanghai was continuously enhanced in the dynamic analysis. However, there are still problems such as unstable efficiency and sustainability of sewage treatment, insufficient technical progress of sewage treatment efficiency, and no obvious sewage reuse effect of sewage treatment. The ratio of environmental input to GDP has a negative effect on comprehensive efficiency, and the per capita GDP has a positive relationship with comprehensive efficiency. The index of population density and industrial gross output value failed the significance test. Based on this, the following recommendations are proposed: strengthen the awareness of sewage treatment, and promote effective government-enterprise cooperation; increase financial investment, and improve technical management efficiency and updates; enhance the promotion of sewage resource reuse.

Keywords

DEA-Malmquist, Shanghai, Sewage Treatment Efficiency

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

环境治理一直是我国可持续发展的重要工作内容之一，城市污水治理更是保护生态环境的重要领域。上海市作为长三角区域中的重要城市，近些年来上海市政府部门与城市企业聚力合作，双方数据治理共享，政府部门制定政策，企业积极参与承担社会责任，其在进行城市污水排水、处理、再利用的过程中拥有自己独特的方法和特点。2018年上海市水务局和上海市规划和自然资源局联合建立关于上海市污水处理以及污泥处理的未来规划，应用精细化管理办法，对苏州河、主城区、嘉定及黄浦江上游等区域进行因地制宜形成污水治理创新格局，为打造更加卓越的全球城市而努力。2019年上海市为加强城市污水排水和处理过程中的管理，制定排污企业单位的排污标准，加强监督管理活动，对于违反相关法律法规行为的企业进行公示和处罚。2022年上海市发改委、上海市水务局、上海市生态环境局等部门根据“十四五”所提出的城镇污水处理等要求建立相关污水处理政策文件，将节水、因地制宜、政府主导推进、市场开阔参与、科学技术方法贯彻其中，印发实施《上海市推进污水资源化利用实施方案》致力于解决生活污水和企业废水资源再利用等现实问题。城市污水治理工作一直是城市管理的重头戏，也是最困难的一项民生工作[1]。即使在整体污水治理实施措施的过程中，上海市相关政府部门、企业、学者在其中发挥着各自的作用，但不可忽视的是，目前来说对于上海市污水治理采用的何种的评估方法以及效率情况的相关研究还尚有缺乏，污水治理效率问题依然存在。在整个污水治理效率分析的相关领域中，学者们采取效率评价方法多样但侧重点有些许不同，处理的决策单元多样但面板数据时长较短。比如，王俊能等讨论了采用 DEA 模型和熵值法研究了 2017 年 31 个省的农村区域中的污水处理效率情况[2]。胡晓

波基于 DEA 模型利用 2003~2010 年的面板数据对湖北省废水治理效率情况进行分析[3]。曹嘉琪等学者应用 DEA 和 SBM-Undesirable 模型对整个 2018 年山东省的污水治理效率情况进行探究,发现污水处理厂应该在技术、规模、污染物类型等方面进行完善[4]。高旭阔,张迪利用三阶段 DEA 模型城镇污水处理效率进行评价,研究发现,需要提高污水处理效率和污水处理规模的建设[5]。

综上所述,目前对于污水处理效率分析时间跨度较短,污水处理情况效率的面板数据动态变化的研究还仍然不足,在此基础上,本文基于 DEA 的静态分析方法和 Malmquist 的动态分析对上海市 2006 年~2020 年的污水处理的投入和产出情况进行评价,再利用回归模型对其影响因素进行分析,分析其污水处理效率的未来发展趋势和影响原因。

2. 研究方法 with 指标选择

2.1. 研究方法

DEA 方法。在本文中选用 DEA 方法中的 BCC 模型,在此模型中可以考虑到可变规模效益进行评价上海市污水治理的效率情况,更加符合实际情况。当目标规划值 = 1,松弛变量 = 0 时,我们可以说明该决策单元的污水治理技术情况有效,若目标规划值 < 1 时,则表明该决策单元污水治理情况存在投入和产出之间的不对等情况,具体包括污水治理的投入冗余和污水治理的结果产出不足。

Malmquist 指数。在此次指数模型中可动态测算多时期上海市 2006 年~2020 年污水治理的综合技术效率、技术进步效率、纯技术效率、规模效率、全要素生产率的情况。

Tobit 模型。在本文中综合效率取值在 0~1 之间,在这种情况下,选择 Tobit 模型能避免 OLS 模型存在的偏差,因此使用 Tobit 模型更合适。

2.2. 指标选择

本文指标选自于《中国城市建设统计年鉴》中的城市污水处理情况的相关数据进行整理汇总,数据真实有效,且基于数据的有效性和可得性确定本文所需要的决策单元、投入指标、产出指标进行科学的 DEA 模型的相对效率分析。通过《上海统计年鉴》相关数据和以往资料选择环境投入、人均生产总值、人口密度、工业总产值为影响因素变量。

政府和企业联手解决污水问题,将污水处理进行重复利用,减少污染物含量,降低污染浓度,实现污水的再利用而达到水环境保护的目的。上海市污水治理效率所选用的投入产出指标具体如表 1 所示。

Table 1. Sewage treatment index system

表 1. 污水治理各指标体系

项目	指标名称
投入指标	污水处理厂的数量(个)
	污水处理厂污水处理能力(万立方米)
	排水管道长度(公里)
	污水管道长度(公里)
产出指标	污水处理厂的处理量(万立方米)
	干污泥处置量(吨)
	污水处理总量(万立方米)
	市政再生水的利用量(万立方米)

Continued

影响因素指标	环境投入占 GDP (%)
	人均生产总值(万元)
	人口密度(人/平方公里)
	工业总产值指数

3. 上海市污水治理的静态和动态效率分析

3.1. 对上海市污水治理效率的静态分析(DEA 方法)

在利用 DEA 方法的 BCC 模型计算 2006 年到 2020 年的上海市污水治理的相对效率情况, 此次分析是基于静态下的截面数据分析, 进行比较污水治理效率的综合效率值, 纯技术效率值和规模效率值。在静态效率分析的过程中, 本文也是分别对三种效率值进行分析。首先需要指表明的是, -表示规模收益情况保持不变, irs 表示规模收益呈现递增, drs 表示规模收益情况递减。在 DEA 分析中, 具体 2006 年~2020 年上海市污水治理静态效率指数情况如表 2 所示。

Table 2. Static efficiency analysis of Shanghai from 2006 to 2020
表 2. 上海市 2006 年~2020 年静态效率分析表

年份	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益
2006 年	1.000	1.000	1.000	-
2007 年	1.000	1.000	1.000	-
2008 年	1.000	1.000	1.000	-
2009 年	1.000	1.000	1.000	-
2010 年	0.901	0.905	0.995	irs
2011 年	0.883	0.888	0.994	drs
2012 年	0.969	1.000	0.969	drs
2013 年	0.858	0.860	0.998	drs
2014 年	0.849	0.859	0.988	drs
2015 年	0.901	0.933	0.966	drs
2016 年	0.932	1.000	0.932	drs
2017 年	0.877	0.920	0.953	drs
2018 年	0.928	0.973	0.954	drs
2019 年	1.000	1.000	1.000	-
2020 年	1.000	1.000	1.000	-
平均值	0.940	0.956	0.983	

根据对表 2 的 2006 年~2020 年上海市污水治理效率情况所表现中可以发现, 治理总效率呈现上升且趋于稳定状态, 2006 年至 2009 年规模收益情况保持不变, 均为 1, 表明 DEA 有效, 虽然 2010 年至 2018 年开始出现规模收益递减情况, 但在 2019 和 2020 年又保持 DEA 有效, 这说明上海市的污水治理的投入资源请情况达到优化配置, 发挥出应有的效果。从整体上来看, 在 2006 年至 2020 年的综合效率、

纯技术效率和规模效率中平均值均未达到 DEA 有效，综合效率值为 0.940，与前沿线相差 0.06，纯技术效率值为 0.956，与前沿线相差 0.044，规模效率值为 0.983，与前沿线相差 0.017，这表明虽然近两年的污水处理效率有所改善，但要在面对城市化不断发展所带来的生活污水和企业废水排放量增加的压力，上海政府和企业要注意稳定发展避免出现 2010 年至 2018 年的总规模收益递减情况。

3.2. 对上海市污水处理效率的动态分析(Malmquist 指数方法)

Table 3. Malmquist index and its decomposition of sewage treatment in Shanghai from 2006 to 2020
表 3. 2006 年~2020 年上海市污水处理 Malmquist 指数及其分解

年份	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率	技术效率
2006~2007 年	1.079	1.000	1.000	1.079	1.000
2007~2008 年	0.998	1.000	1.000	0.998	1.000
2008~2009 年	0.980	1.000	1.000	0.980	1.000
2009~2010 年	0.562	1.000	1.000	0.562	1.000
2010~2011 年	0.834	1.000	1.000	0.834	1.000
2011~2012 年	1.031	1.000	1.000	1.031	1.000
2012~2013 年	0.942	1.000	1.000	0.942	1.000
2013~2014 年	0.988	1.000	1.000	0.988	1.000
2014~2015 年	1.145	1.000	1.000	1.145	1.000
2015~2016 年	0.889	1.000	1.000	0.889	1.000
2016~2017 年	0.986	1.000	1.000	0.986	1.000
2017~2018 年	0.783	1.000	1.000	0.783	1.000
2018~2019 年	1.606	1.000	1.000	1.606	1.000
2019~2020 年	1.172	1.000	1.000	1.172	1.000
均值	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

由表 3 可知，2006 年~2020 年上海市污水处理全要素生产率均值为 1.00，且在 2011 年~2012 年、2014 年~2015 年、2018 年~2019 年、2019 年~2020 年全要素生产率 > 1，呈现上升态势，这说明上海市污水处理投入效率不断增强。在本次研究计算中发现 2006 至 2020 年的 15 年期间上海市污水处理的纯技术效率、规模效率、技术效率均为 1.000，常年保持不变且达到各指标最优，这说明技术进步是影响全要素生产率的主要原因，技术进步作为针对污水处理的问题，上海市加大技术应用改善，使得技术资源效率得到了提高的结果。分年段来看，2007 年~2011 年技术进步指数均<1，但在 2014 年~2015 年技术进步指数提高到 1.145，证明上海市开始改善技术缺陷，到 2018 年~2020 年达到最优，导致全要素生产率也达到最优。

3.3. 影响因素分析

选择表 2 的综合效率为因变量，环境投入占 GDP、人均生产总值、人口密度、工业总产值指数为自变量进行回归分析，在下表 4 中可法发现，环境投入占 GDP 对综合效率有负向作用，城市污水处理作为环境治理的一部分，虽每年对环境进行投入但由于城市污水处理能力和技术的问题使得对污水处理的综合效率呈现负向影响，因而环境投入越大，效率越低。人均生产总值对综合效率呈正向关系，人均生产总值的提高，会加大污染物的排放，显著增加污水处理压力，同时技术和设备的不健全，因此随着人均

生产总值的增加，污水治理效率显著下降。人口密度和工业总产值指数未通过显著性检验，说明人口和工业规模增加未能有效对污水治理环保意识提高，促进污水治理效率。

Table 4. Regression analysis of influencing factors of sewage treatment in Shanghai
表 4. 上海污水治理影响因素回归分析

项	系数	标准误差	t	P
常数	1.447	0.359	4.033	0.000***
环境投入占 GDP	-0.262	0.116	-2.255	0.024**
人均生产总值	0.071	0.021	3.411	0.001***
人口密度	-0.035	0.026	-1.34	0.180
工业总产值指数	-0.025	0.032	-0.792	0.428

P < 0.05, *P < 0.01.

4. 上海市污水治理效率存在的问题

1) 污水治理的效率可持续性不稳定

根据产生的工业废水性质，可将工业企业分为产生生活污水的企业、产生一般工业废水的企业和产生高浓度工业废水的企业[6]。通过表 2 和表 3 中可以发现在所研究的 15 年的数据中，前四年基本保持优化水平达到整个上海市污水治理效率的 DEA 有效性，但在 2010 年开始 DEA 有效性递减且上下来回波动，虽然后期又达到污水治理效率的最优化可依然可以观察到对于上海市污水治理上存在可持续性治理问题。对于目前日益发展的城市化建设，不可避免地出现生活污水和企业废水排放量的增加，如果污水治理的长效性的缺乏将必然会在未来的城市发展中成为生态问题难题。

2) 污水治理效率的技术进步不足

技术进步是指对于污水治理的技术不断改善，不断发展采用可提高效率的新技术应用来替代污水治理旧技术的过程。在表 3 中可以看出从 2006 年~2020 年上海市污水治理动态效率技术进步分析上只有 2006 年~2007 年、2011 年~2012 年、2014 年~2015 年、2018 年~2020 年期间的技术进步值大于 1，甚至在 2009 年~2010 年只有 0.562。这种技术进步的缺乏使污水全要素指数降低，污水治理的技术进步不能仅仅因靠企业努力来实现，翻阅《中国城市建设统计年鉴》的公用设施投资一表中也可以发现往年有关对于污水处理建设投资差距较大，具体情况如图 1 所示。污水治理技术创新缺乏政策财政投入不可避免地使企业不能通过自身的自作用建立完善的技术管理能力。

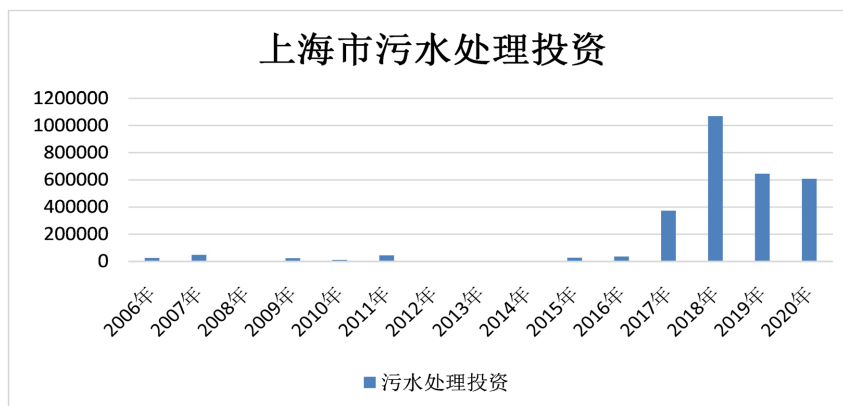


Figure 1. Investment in sewage treatment in Shanghai
图 1. 上海市污水处理投资情况

3) 污水治理的污水再利用效果不明显

污水再利用作为产出指标,是出水治理过程中的后期环节,再利用的效果表现可以证明污水治理效果情况,但在上海市的污水再利用情况进行比较发现上海市的污水再利用产出效果不足,这其中包括技术问题和处理规模问题都对其产生影响。产出的提高对 DEA 效率产生影响即污水再利用的提高将会对整个 DEA 效率的有效性起到积极作用。污水治理的再利用效果不足将会难以满足上海市水资源的需求。

5. 上海市污水治理效率提出的建议

1) 加强污水治理思想意识,合理利用政企合作

上海市政府应加强城市污水治理力度,对企业的污水排放进行前期、中期和后期监督监控,强化企业保护生态环境的社会责任感,使企业积极主动的参与到政府的水治理项目合作之中。政府利用强有力的权威性严格管控企业的污水排放标准政策,对违反排放规定标准的企业进行处罚和名单公示。企业应树立责任意识 and 污水排放再利用能力,与政府建立信息储蓄库,信息孤岛的存在使内容重复,污染资源环境,增加了信息获取的难度[7]。信息库的建立使面对出现的问题能及时找到问题所在,积极配合政府要求,避免信息孤岛,利用数字资源整合实现上海市政府和企业的污水治理的长效发展。

2) 加大财政投入,提高技术管理效率和更新

针对污水治理技术的进步需要实现对已经失去良好效用的机器进行更新换代或者引进更加优良的产品加以使用。如对前期上海市污水预测的技术提升,利用新型技术产品对污水处理过程中的杂质进行优化处理增加对生活污水和企业废水的处理总量,污水处理厂的日处理量能力也被视为处理污水能力的投入项所需要提高技术和技术工人的能力进而提高污水处理厂的污水处理能力。此外企业在面对此水环境问题进行内部调控的同时,政府也应该在财政投入上建立长期的投资计划,在已有的年鉴中发现上海市政府每年对污水排放和污水处理的投入费用参差不齐往往会导致企业难以对污水治理项目的技术产品进行更新换代。

3) 加强推进污水资源再利用

污水处理实现污水再利用是我们最终追求的结果之一也是污水得到良好治理的体现。现阶段从上海市公布的数据中可以发现,上海市市政再生水利用量未得到有效实现,让数字化改革技术进入污水治理,建立强针对性的智慧污水水务管控平台,优化再生水循环再利用供水模式,完善上海市再生水管网系统,且进一步强化民众节水教育宣传和合理用水的良好社会风尚。

6. 结论

本文在基于 DEA 方法的基础上建立 BCC 模型和 Malmquist 指数分别进行静态和动态分析,再基于 Tobit 模型对其进行影响因素分析,根据分析情况指出污水治理存在的 DEA 有效性问题及影响因素情况,分析问题出现的原因,并对问题提出对策建议。上海市污水治理效果近 15 年期间呈现稳步上升局面,但未来治理还需要在技术管理和进步上下功夫,做好企业和政府的双向合作共治,改善污水处理效果和政府资金投入引进先进的污水处理技术和优秀的污水处理技术人才为上海市污水治理效率做好妥善基础保障。除此之外,污水治理并不是单一的政府或企业的工作也不是政府和企业的两大主体的工作还需要社会公众的参与,企业信息公开,政府公开监管,扩宽社会公众对企业污水治理、污水排放的渠道措施,需要整个上海市污水治理中实现政府、企业、社会的共同参与。据此,本文提出,加强污水治理思想意识,合理利用政企合作;加大财政投入,提高技术管理效率和更新;加强推进污水资源再利用,以此提高污水治理效率。

参考文献

- [1] 张玮. 上海市污水处理与经济效益统一发展[J]. 农村经济与科技, 2017, 28(8): 3-4.
- [2] 王俊能, 赵学涛, 蔡楠, 陈敏敏, 汪浩. 我国农村生活污水污染排放及环境治理效率[J]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2665-2674.
- [3] 胡晓波, 吴红艳, 葛小东, 朱端卫, 周文兵, 程东升. 基于 DEA 的废水治理效率评估方法及其应用[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 77-81.
- [4] 曹嘉琪, 张英奎, 徐晓萌, 房柏莹. 基于 DEA 和 SBM-Undesirable 模型的山东省污水处理效率研究[J]. 环境科学研究, 2021, 34(7): 1764-1770.
- [5] 高旭阔, 张迪. 考虑环境因素的城镇污水处理投资效率——基于三阶段 DEA 的方法[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9): 3594-3600.
- [6] 徐祖信, 屈计宁, 傅威, 等. 工业区污水治理路线和政策探讨[J]. 环境保护, 2005(1): 30-32.
- [7] 李希明, 土丽艳, 金科. 从信息孤岛的形成谈数字资源整合的作用[J]. 图书馆论坛, 2003(6): 121-122+61.