基于DEA-BCC与DEA-Malmquist两步法的河北省水处理效率静态与动态评价

张英奎，田坤

北京化工大学 经济管理学院

**摘要：**河北省是我国水资源供给利用矛盾最突出的省份之一，水处理效率的提高将有利于缓解水资源紧缺的现状。本文基于DEA-BBC与DEA-Malmquist法，选取各城市污水处理厂的从业人数、年运行费用、年累计用电量与年设计处理能力为投入指标，年污水处理量、年污染物去除量、年再生水产量为产出指标，对各地市2015-2018年的污水处理厂进行了水处理效率分析，结果指出：河北省各地市的水处理效率总体低差异大，规模报酬低；本文对不同地市提出了改进建议。

**关键词：**河北省；水处理效率；全要素生产率

**作者简介：**

张英奎，（1956-），男，汉族，北京市，北京化工大学经济管理学院教授，博士，现就职于北京化工大学经济管理学院（北京市朝阳区北三环东路15号北京化工大学，100029），研究方向为企业战略管理。

田坤，（1994-），女，汉族，山西省晋中市，现就读于北京化工大学经济管理学院（北京市朝阳区北三环东路15号北京化工大学，100029）硕士研究生三年级，研究方向为企业经营效率。

## 一、引言

我国是世界上水资源最缺乏的国家之一, 2017年中国水资源公报显示：2017 年，全国耗水总量 3206.8亿m3，耗水率达到53.1%。全国万元国内生产总值（当年价）用水量达到73m3，远高于发达国家的9-18m3，我国水的重复利用率为40%左右，而发达国家为75%-85%左右，工业用水量巨大且重复利用率低，是我国水资源开发利用存在的一大问题。而水资源短缺已经成为制约我国经济发展、全面建成小康社会的主要因素之一。根据《十三五全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》，到2020年底，实现城镇污水处理设施全覆盖，城市污水处理率要达到95%。因此，提高水资源利用效率是解决我国用水难题的必要途径，也是我国当前急需解决的重大问题之一。

河北省地处华北平原同时矿产资源丰富，是我国农业与工业大省，其水资源拥有量在我国处于下游（26位），但用水总量却处于中上游（14位）[1]。作为我国水资源环境与发展矛盾最尖锐的地区之一，2017年全省平均耗水率为73.8%[2]，相对于全国平均耗水率53.1%还有较大的提升空间。201 7年河北省重复用水率53.8%，远低于全国78.1%的平均值[3]，城市耗水量增加引发的过度开发，以及传统工农业的低效利用和大量的污染排放， 致使水资源污染和短缺问题日益凸显，成为河北省发展的瓶颈。

河北省内的水资源分布也相当不均衡，如图1,根据2017年河北省经济统计年鉴[4]，承德市、秦皇岛市、保定市供水量最大，但用水量最大的是唐山市、石家庄市、与沧州市。全省除唐山、秦皇岛、保定、廊坊、张家口 5 个市区水资源供需基本持平外，其余 6个市区全部为缺水区，缺水面积超过全省总面积的1/2。因此，提高河北省水资源利用效率是目前河北省水资源管理的核心任务。此外根据河北省生态环境保护“十二五”规划，到2015年，污水处理设施平均负荷率达到80%以上，而据统计目前河北省11个地市的污水处理厂负荷率仅有石家庄市与保定市勉强达标，其余地市均低于标准[5]。此外，河北省90%以上的污水处理厂均为日处理量小于10万立方米的小规模污水处理厂，小规模处理能耗高，处理率低[6]，不利于实现集约发展。可见河北省距实现污水处理厂的充分利用还有较大的提升空间。

我国目前对水资源利用效率的研究方法比较广泛，主要有指标体系评价法、定性分析法、灰色关联法[7]、随机前沿函数分析法（SFA）以及数据包络分析法（DEA），如王昕、陆迁选取水量稀缺认知，水位下降认知，风险认知，灌溉感受，机井使用感受来构建水资源稀缺性感知指标体系[8]；王有森，许浩，卞亦文采用两阶段DEA，首先将生产用水子系统和污水处理子系统联系起来，总体效率取其平均值。然后将这种新的方法与传统模型进行比较，说明两阶段DEA方法则能识别出影响系统效率的关键环节和具体因素[9]；高旭阔，张迪提出的三阶段DEA模型计算后，发现我国城镇污水处理厂的处理效率从高到低依次是东中西，说明污水处理也存在着区域发展不平衡，缺点是得出结论后没有更加针对性的建议。经济、社会、自然资源禀赋对污水处理投资效率有显著的影响[10]；

**图1 2017年河北省重要城市供用水量雷达图**

以上研究中，虽然都使用了DEA模型对全国或某地区的污水处理效率进行了评价，但数据分析只是局限在某特定年份的横截面数据，缺乏动态性，对污水处理随时间跨度产生的变化没有进行分析。胡妍，李巍采用DEA-BCC投入导向Malmquist模型计算河南省18个地市2001-2012年的WEEE经济效率和环境效率；并进行线性回归，识别影响WEEE的主要因子是水环境污染[11]，但在对投入产出指标的选取上缺乏全面性，如污水处理厂最重要的用电总量没有体现，以上文献均主要侧重于各研究地区水资源利用效率的比较，本文从源头出发，综合劳动力、资本、能源三大投入要素，在DEA-Malmquist模型框架下，探讨河北地区水资源利用效率的差异，从而为河北省提高水资源利用效率提出有效建议。另外，河北省作为我国水污染最严重的省份之一，目前的文献中并极少有针对河北省水处理效率的研究，故本文也在尝试弥补此方面的空缺。

## 二、研究方法与数据来源

### （一）研究方法

### 1. VRS径向DEA模型

数据包络分析方法（Data Envelopment Analysis,DEA）是一种基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率分析方法，美国管理学家Charnes Cooper,Rhodes于1978年首次提出[12]，后逐渐发展出多个拓展模型。与其他模型相比，DEA模型最显著的特点就是它不需要考虑投入与产出之间的函数关系，也不需要做任何的权重假设，而是通过产出与投入之间的加权和之比去计算多个投入单元之间的相对效率。具有原理简单，适用范围广的优点，已经被广泛应用在农业、金融、体育、经济、电力、军队等诸多领域。

DEA模型中较为重要的基础模型有CCR,BCC,FDH,SBM等多种，本文主要研究的是河北地区水资源利用效率的区别与导致这种结果的原因及对策，所以我们必须要详细了解每个城市的技术效率、纯技术效率与规模效率，由此找出造成河北地区水资源利用效率差距的原因;再者，本文的主要目的是在污水处理效率不变的基础上减少资源的投入，所以选取投入导向的规模效益可变的VRS径向DEA模型即BCC模型。

假设有n个决策单元（Decision Making Units,DMU）,每个DMU都有i个投入项,表示第个DMU对第种输入的投入量()，r个产出项，表示第个DMU对第种输入的投入量，()。构成如下最优化模型(VRS径向DEA模型)：

··············································································公式（1）

其中：为目标DMU的效率值；分别是投入与产出的项目集合；为构造的DMU组合中第j个DMU的组合比例。

### 2. Malmquist全要素生产率模型(TFP)

基础的DEA模型是基于技术效率的概念，是针对某一时间的生产技术而言的。然而生产是一个随着时间推移不断变化的过程，在此期间生产技术必然发生变化。在对面板数据进行分析时，必然要考虑到技术效率和技术进步分别对生产率变动的影响，因此选取了Malmquist全要素生产率（Total Factor Productivity,TFP）指数分析。

Fare R等人在传统DEA模型的基础上将Malmquist生产率指数TFP[13]分解为技术变化（TC）、技术效率变化（TEC）。

从时期t到t+1时期的 Malmquist 指数一般形式（MI）：

（

其中，和分别是t时期和t+1时期K的技术效率值，则两个时期的技术效率变化（TEC）为：

前沿的迁移代表技术的进步。前沿2 与前沿1的几何平均值表示前沿的技术变化（TC）：

由此，Malmquist指数、效率变化和技术变化三者之间的数量关系为：。即Malmquist指数可以分解为效率变化和技术变化两部分。

·············公式（2）

若引入约束条件，则该模型可将技术效率变化(TEC)进一步分解为纯技术效率变化（PEC）和规模效率变化（SEC）。

本文使用Malmquist指数分析河北地区水资源利用效率的TFP与TEC和TC之间关系。

### （二）数据来源

数据来自2016-2018年《城镇排水统计年鉴》以及2015-2017年《中国水资源公报》、《全国水利发展统计公报>与《河北省水资源公报》。根据DEA-Malmquist模型的特点，兼顾数据的可得性，本文选取河北省具有典型代表的123座污水处理厂3年的相关数据，其中：保定市22座，承德市8座，沧州市14座，邯郸市13座，衡水市8座，廊坊市8座，秦皇岛市6座，石家庄市15座，唐山市9座，邢台市12座，张家口市8座。本文按照投入的劳动力、资本与能源三类要素选取污水处理厂的投入指标，分别为：各城市城镇污水处理厂的从业人数、年运行费用、年累计用电量与年设计处理能力；产出指标的选取综合了十二五期间总量减排的考核指标和“提标改造”重点关注指标，确定为：各城市污水处理厂年污水处理量、年污染物去除量（包含年COD去除量与年氨氮去除量）、年再生水产量。具体指标的描述性统计如1表与表2所示

**表1：河北省水处理效率的投入产出指标体系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标类型 | 要素类型 | 要素 | 单位 |
| 投入 | 劳动力 | 从业人数 | （人） |
| 资本 | 年运行费用 | （万元） |
| 能源 | 年累计用电量 | （万千瓦时） |
| 年设计处理能力 | （万吨） |
| 产出 | 经济 | 年污水处理总量 | （万吨） |
| 环境 | 年污染物削减量 | （吨） |
| 年再生水产量 | （万吨） |

**表2：水资源利用效率投入产出指标的描述性统计分析**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量 | 投入 | | | | 产出 | | |
| 从业人数（人） | 年运行费用（万元） | 年累计用电量（万千瓦时） | 年设计处理能力（万吨） | 年污水处理总量（万吨） | 年污染物去除量（吨） | 年再生水产量（万吨） |
| 平均值 | 47 | 1294 | 523 | 1821 | 1440 | 4584 | 804 |
| 标准差 | 38 | 2170 | 986 | 2309 | 2090 | 7344 | 713 |
| 最小值 | 10 | 148 | 60 | 183 | 103 | 267 | 0 |
| 最大值 | 243 | 19734 | 9931 | 21900 | 19991 | 62109 | 4932 |

## 三、模型评价结果

为了统计归纳的方便，本文将选取的河北省11个城市和123家污水处理厂进行编号，将投入产出指标统计数据输入MAXDEA软件，首先运用VRS模型对各城市水资源利用的技术效率、纯技术效率、规模效率进行分析。再对2015-2017年河北省的水资源利用情况进行Malmquist指数分析。

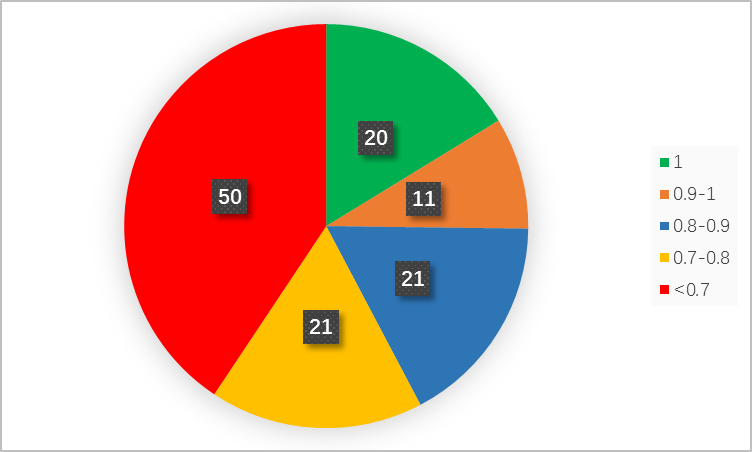
### （一）VRS径向DEA模型分析（投入冗余与产出不足分析）

将2015-2017年每座污水处理厂的投入产出数据取均值，将得出的123家污水处理厂的数据导入到MAXDEA软件中：Distance与Orientation选择BCC径向；RTS选择VRS规模效率可变。然后点击运行，将运行结果按DMU的所属城市进行归纳，结果如下。

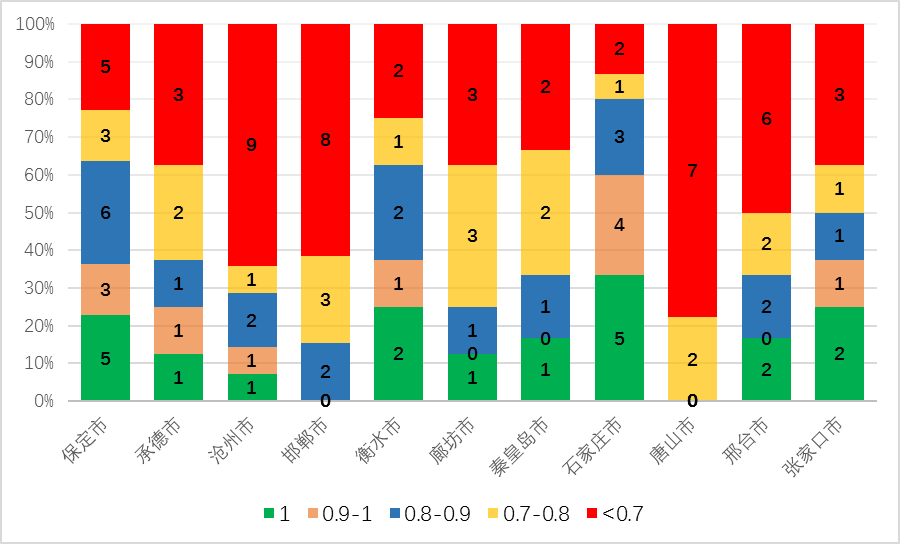
### 1.总体特征分析

从河北省整体情况（图2）来看：123座污水处理厂中，有20座达到了DEA有效，站总样本的16%，其余84%均为无效。而效率偏低的小于0.7的污水处理厂占据了样本总数的40.6%；全省平均效率值为0.76，这说明河北省污水处理整体水平较为低下，具有较大的提升空间。经计算得出河北省污水处理效率的变异系数为0.21，说明河北省污水处理厂之间的差异性较大。

**图2 河北省污水处理效率值分布图**



分城市来看：保定市与石家庄市拥有最多DEA有效的污水处理厂，均为5座，紧随其后的是衡水市与张家口市；唐山市污水处理效率最低。将所有污水处理厂样本按城市汇总，得出了河北省各城市污水处理效率情况，如图3所示。作者将河北省123座污水处理厂分地市进行汇总(图4),可以看出，河北省各城市污水处理效率均处于无效。相对效率较高的是石家庄市与保定市，原因是二市在河北省各城市中科学技术水平较高，污水处理技术相对较高，石家庄市相继印发《石家庄市水资源管理条例》（2011.5.1）、《石家庄市水污染防治工作实施方案》（石发〔2016〕8号），通过实施饮用水源地保护、主要河流污染治理和建设重点水污染项目三大工程，大大提升全市水环境质量。（加强水源地污水治理能力建设。启动重点镇污水处理厂建设，解决污水直排对饮用水源地的影响。完善管网建设，确保所有生产生活污水全部进入污水处理厂处理。2015年6月，石家庄市各县(市)、区要制定区域水环境达标方案，确定防治措施及达标时限，明确各类水体水质保护目标，将治污任务逐一落实到汇水范围内的排污单位，对水质不达标的区域实施挂牌督办，必要时采取区域限批等措施。建设石家庄市河流水质监控发布平台，及时发布主要河流县域出境水质监测数据，提高县域河流水质情况的公众知情权，并在2015年7月投入使用。严格执行生态补偿金扣缴标准，继续实行河北省河流跨界断面水质目标考核制度。关停所有直排企业，企业污水全部进入污水处理厂处理，达到一级A标准后排放。制定河流沿线城镇污水处理厂中水回用方案并启动实施。）保定市则针对流经河流制定了《保定市2016年度水污染防治工作实施方案》、《保定市白洋淀综合整治专项行动方案》与《保定市重污染河流治理攻坚专项行动方案》三个专项实施方案。对6条劣ⅴ类重污染河流进行入河排污口整治、重点污染源治理，河道清淤疏浚、河道湿地建设等项目治理，从实验结果来看，符合保定市一年初见成效、三年明显改善的治理目标。十一个市中，污水处理效率表现较差的是唐山市与邯郸市。二市有共同的特点，就是都是重工业城市，尤其是唐山市的2017年单位GDP能耗比2016年还有增长（0.34%），（河北省经济年鉴）。以钢、煤为主的多种资源型工业为支撑的重工业经济占据了地区经济发展的最大组成部分，从而使排入污水处理系统的污泥密度大、污染物浓度大，从而造成污水处理较低。

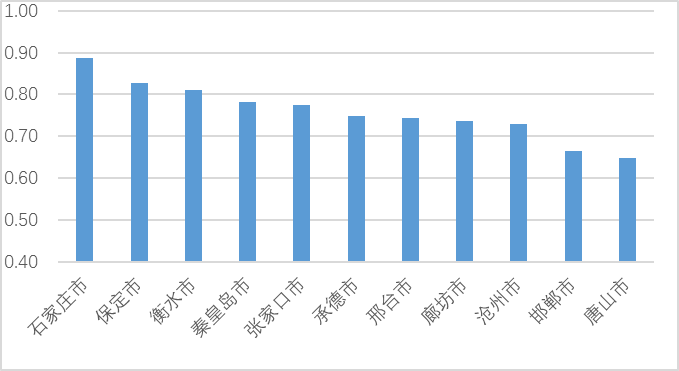


**图3 河北省分城市DEA效率百分比堆积图**

### 2. 冗余与不足分析

如表3-2与表3-3所示，对河北省十一个地市的水资源投入产出情况进行冗余与不足分析。投入冗余率等于水处理投入冗余量与实际投入要素的原始值的比值，产出不足率等于运用MAXDEA软件计算得出的理论削减量与污染物实际排放量的比值。

**图4 河北省分城市DEA效率统计图**



从表3可以看出，河北省不同地市都存在着不同程度的投入冗余，这说明十一个地市都可以通过减少要素投入、优化投入组合来实现相同的污水处理效果。具体来看，十一个省市的所有投入要素的平均冗余率达到31%，这其中唐山市、沧州市、邯郸市与邢台市的投入冗余率较高，分别是38%，37%，36%和35%。这个结果与上文实验得出的效率值排名较为一致，说明这四个地市的污水处理投入存在较严重的冗余情况，也有着较高的节水潜力，四市是可以通过重新配置资本、劳动力与能源来摆脱资源的低效率配置的。

**表3 河北省分城市污水处理的投入冗余分析**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 城市 | 从业人数（人） | | | 年运行费用（万元） | | | 年累积用电量（万千瓦时） | | | 日设计处理能力（万立方米） | | |
| **原始值** | **目标值** | **冗余率** | **原始值** | **目标值** | **冗余率** | **原始值** | **目标值** | **冗余率** | **原始值** | **目标值** | **冗余率（%）** |
| 保定市 | 905 | 783 | 0.13 | 48770 | 36817 | 0.25 | 18022 | 16875 | 0.06 | 56940 | 50605 | 0.11 |
| 承德市 | 1014 | 718 | 0.29 | 25161 | 16110 | 0.36 | 10110 | 6534 | 0.35 | 31828 | 24795 | 0.22 |
| 沧州市 | 325 | 158 | 0.51 | 5173 | 4018 | 0.22 | 2301 | 1488 | 0.35 | 10220 | 6363 | 0.38 |
| 邯郸市 | 359 | 207 | 0.42 | 9720 | 6190 | 0.36 | 2926 | 2351 | 0.20 | 14235 | 7737 | 0.45 |
| 衡水市 | 389 | 314 | 0.19 | 10152 | 8105 | 0.20 | 4008 | 3246 | 0.19 | 12191 | 10705 | 0.12 |
| 廊坊市 | 274 | 168 | 0.39 | 6911 | 4825 | 0.30 | 2616 | 1856 | 0.29 | 9308 | 6503 | 0.30 |
| 秦皇岛市 | 346 | 208 | 0.40 | 6018 | 4286 | 0.29 | 2696 | 1771 | 0.34 | 12958 | 9216 | 0.29 |
| 石家庄市 | 385 | 270 | 0.30 | 6832 | 4274 | 0.37 | 2912 | 2393 | 0.18 | 7848 | 5296 | 0.33 |
| 唐山市 | 571 | 325 | 0.43 | 10726 | 6443 | 0.40 | 4407 | 3086 | 0.30 | 18250 | 11129 | 0.39 |
| 邢台市 | 660 | 424 | 0.35 | 12244 | 8028 | 0.34 | 7002 | 4776 | 0.32 | 23579 | 14745 | 0.37 |
| 张家口市 | 519 | 329 | 0.37 | 17453 | 9734 | 0.44 | 7303 | 3870 | 0.47 | 26645 | 17539 | 0.34 |

表4显示，在现有的投入水平下，非DEA有效的各地市污水处理同样存在着一定程度的产出不足，即在同样的投入水平下可以达到更大的污染物削减量与再生水产量。但整体来看产出潜力较投入潜力较低，全省平均值为8%。其中最突出的是唐山市的污染物超排率达到了30%，远远高于其他地市，说明唐山市存在着较为严重的水污染，这与唐山这座重工业城市的现状相符；另外沧州市与邢台市的污染物削减量与再生水产量也有较大的提升空间，唐山市、沧州市与邢台市的水环境污染物削减工作应相应加强。

**表4河北省分城市污水处理的产出不足分析**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DMU | 年污水处理量（万吨） | | | 年污染物削减量（吨) | | | 年再生水产量（吨） | | |
| **原始值** | **目标值** | **不足率（%）** | **原始值** | **目标值** | **不足率（%）** | **原始值** | **目标值** | **不足率（%）** |
| 保定市 | 50933 | 51364 | 0.01 | 159343 | 164902 | 0.03 | 22937 | 23604 | 0.03 |
| 承德市 | 26121 | 26121 | 0 | 84120 | 91755 | 0.08 | 17876 | 18938 | 0.06 |
| 沧州市 | 7824 | 7856 | 0 | 17016 | 20832 | 0.18 | 5642 | 6083 | 0.07 |
| 邯郸市 | 12515 | 12515 | 0 | 43679 | 45350 | 0.04 | 5936 | 6873 | 0.14 |
| 衡水市 | 9528 | 9661 | 0.01 | 54254 | 54254 | 0 | 6118 | 6263 | 0.02 |
| 廊坊市 | 7956 | 8242 | 0.03 | 18566 | 21211 | 0.12 | 5869 | 5977 | 0.02 |
| 秦皇岛市 | 8495 | 8780 | 0.03 | 27766 | 30247 | 0.08 | 6410 | 6508 | 0.02 |
| 石家庄市 | 6498 | 6565 | 0.01 | 16679 | 18348 | 0.09 | 4381 | 5036 | 0.13 |
| 唐山市 | 13405 | 13606 | 0.01 | 30188 | 43039 | 0.30 | 8073 | 9822 | 0.18 |
| 邢台市 | 16007 | 16042 | 0 | 47874 | 55397 | 0.14 | 7435 | 10287 | 0.28 |
| 张家口市 | 17835 | 18798 | 0.05 | 64298 | 73900 | 0.13 | 8207 | 10240 | 0.20 |

### （二） Malmquist模型分析

以取得的河北省11市的水资源利用效率投入产出指标统计数据为依据，使用MAXDEA软件，运用Malmquist指数法对2015-2017年河北省11的面板数据进行分析，得到河北省水资源的TFP指数及分解计算结果，具体分析如下：

### 1.总体特征分析

（1）从TFP指数(表5)整体上看，2015年至2017年河北地区的TFP指数呈现“下降-上升”的特征，2015-2016年河北省全要素生产率呈现下降趋势，主要是因为该阶段河北省实行了新的污水综合排放标准，更加严格的排放标准促使各企业更换污水处理设备，严控污染物产出，大大增加了在污水排放和处理上的投入，所以造成了生产率下降。2016-2017年全要素生产率实现提升是因为一方面企业内部的水处理改革取得初步成效，另一方面，2016年7月起河北省在全国率先启动水资源税改革，由征收水资源费改为水资源税，较大的税额差有利于引导企业及时调整用水结构，提高用水效率。研究期内的平均值为0.977，增幅为-2.3%，说明河北地区整体上对水资源的利用效率呈现下降趋势，还需加强节水用水措施。

（2）技术效率、纯技术效率、规模效率的变化与TFP生产率指数变化趋势一致，均为“上升-下降”趋势，技术变化则出现了与之相反的变化趋势，原因与上文一致，政策的变化催生了技术进步，但由于巨大的投入使整体效率下降。从均值上看，规模效率在研究期内的倒退成为了阻挡河北省水资源利用效率提高的主导因素。

### 2. 空间格局（分城市）分析

（1）如表6显示，整体上看，2015-2017年河北省11个地市的全要素生产率呈现下降趋势，下降幅度为2.4%，导致下降的主要原因是技术效率的下降，与规模无效率，这一方面显示出河北省污水处理技术的进步不能弥补技术应用效率的不足的问题，另一方面也表明河北省需要继续扩大水处理要素的投入规模以促进全省实现规模有效。

**表5 2015-2017年河北省水资源分年TFP指数及分解**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 技术效率变化 | 技术变化 | 纯技术效率变化 | 规模效率 | 全要素生产率 |
| 2015-2016 | 0.826 | 1.126 | 0.915 | 0.903 | 0.930 |
| 2016-2017 | 1.000 | 1.019 | 1.013 | 0.987 | 1.019 |
| 平均值 | 0.911 | 1.073 | 0.964 | 0.945 | 0.977 |

**表6 2015-2017年河北省分城市水资源TFP指数及分解**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 城市 | 技术效率变化 | 技术变化 | 纯技术效率变化 | 规模效率 | 全要素生产率 |
| 保定市 | 0.900 | 1.157 | 0.956 | 0.941 | 1.041 |
| 承德市 | 1.000 | 1.078 | 1.000 | 1.000 | 1.078 |
| 沧州市 | 0.825 | 1.013 | 0.915 | 0.902 | 0.836 |
| 邯郸市 | 0.791 | 1.012 | 0.864 | 0.916 | 0.801 |
| 衡水市 | 0.819 | 1.120 | 0.909 | 0.901 | 0.917 |
| 廊坊市 | 0.935 | 1.016 | 1.000 | 0.935 | 0.950 |
| 秦皇岛市 | 0.883 | 1.022 | 0.928 | 0.952 | 0.903 |
| 石家庄市 | 1.115 | 1.193 | 1.115 | 1.000 | 1.330 |
| 唐山市 | 0.829 | 1.132 | 0.884 | 0.938 | 0.939 |
| 邢台市 | 0.930 | 1.012 | 1.028 | 0.905 | 0.942 |
| 张家口市 | 1.000 | 1.043 | 1.000 | 1.000 | 1.043 |
| 平均值 | 0.911 | 1.073 | 0.964 | 0.945 | 0.977 |

（2）分城市来看，全要素生产率降幅较大的城市为沧州市、邯郸市与唐山市，降幅在10%以上，由表可以看出，导致三市TFP下降的主要因素各有侧重，唐山市与邯郸市主要为技术效率落后，沧州市则为技术落后，说明沧州市的技术水平进步的程度依旧不能适应水资源利用规模的增加，应加大对水资源利用技术设备、技术人才与技术管理的投入，以适应不断增加的用水需求与不断增长的用水规模，这也与本文第二部分分析的三市的现状相符。从表3-5可以看出，河北省全部地市的技术水平都实现了进步，说明2015年以来各城市的污水处理设备更新、技术改造取得了明显的进步。从规模效率上看，只有石家庄市、承德市与张家口市规模效率为1，实现了规模配置的最佳水平，与全要素生产率的分布具有协同性，这些发达的城市拥有科学管理、高素质人才、资金充足的优势。其余城市规模效率均小于1，需要继续扩大对要素的投入量，可促进水资源的全要素生产率。

## 四、结论与建议

### （一）结论

本文以水处理行业从业人数、年累计用电量、年运行费用与年设计处理能力为投入指标，以污水实际处理量、污染物去除量与再生水产量为产出指标，对河北省各地市的水处理效率进行分析。首先使用VRS模型对河北省各地市的水处理效率的横截面数据进行效率比较与投入冗余分析，再使用Malmquist指数法对河北省各地市2015-2017年三年的面板数据进行分析，从而找出河北省各地市水处理效率的差异以及改进建议。

综合本文分析，可以得出以下结论：

（1）河北省污水处理平均效率较低，各地市之间差异较大，其中石家庄市，保定市与衡水市表现较好，唐山市、沧州市与邯郸市效率提升空间较大。污水处理效率的高低与地区经济发展水平有正相关关系。

（2）河北省不同地市都存在着不同程度的投入冗余情况，冗余率最高的城市为唐山市与沧州市，主要体现在运行费用与用电量的减少上，而这种冗余是可同步、均衡减少的。本文计算出了十一个地市具体可以通过减少多少要素投入量、优化投入组合来实现相同的污水处理效果。

（3）2015-2017年河北省11个地市的全要素生产率呈现“下降-上升”趋势，导致下降的主要原因是技术效率的下降与规模无效率，降幅较大的城市为沧州市、邯郸市与唐山市，导致三市TFP下降的主要因素各有侧重，唐山市与邯郸市主要为技术效率落后，沧州市则为技术落后。2017年各城市全要素生产率的提高主要是得益于技术水平的上升的驱动。

### （二）建议

根据本文对河北省各城市用水效率情况的分析,对河北省各地市提出以下用水建议:

（1）调整产业规模与结构，实现效率最大化。本文通过模型计算给出了各城市的污水处理投入要素的最佳组合，各市应根据本市的实际情况，做出相应调整。根据本文的研究结果，目前河北省除承德市、石家庄市与张家口市外，其余各市均为规模递减，故这些城市政府相关部门应出台相应政策，控制污水处理厂的规模，发展集约型产业，避免“大马拉小车”的现象[14]。

（2）建造环保型、高效型的污水处理厂。加快配套管网建设和管理，提高各污水处理厂的负荷率；针对河北省污水处理厂普遍规模小、分散分布的特点，政府应积极引导，关闭耗能高，规模小的处理厂，合并同类同质污水处理厂，发展新建规模大、技术高、效益好的新型污水处理厂。本文的研究显示出技术进步对全要素生产率的重要性，所以河北省政府与企业应继续加大在污水处理设备与人才上的投入与引进，科学用水，科学生产，用技术进步来推动污水处理行业的绿色发展。

（3）提高再生水回用率。2016年河北省再生水回用率最高的唐山市也仅达到50%，主要应用于绿化和环境洒水降尘，应将再生水更广泛用于工业冷却、冲厕、基建、河道景观、水源热泵等方面[15]。节约水资源，进一步提高水资源利用率，为河北省的水资源紧缺状况提供缓冲空间。

### 参考文献:

1. 中华人民共和国水利部，《2017年中国水资源公报》. [R].石家庄:2018
2. 河北省水利厅，《2017年河北省水资源公报》[R].石家庄:2018
3. 刘年磊,卢亚灵,蒋洪强,程曦.基于环境质量标准的环境承载力评价方法及其应用[J].地理科学进展, 2017, 36 (03):296-305
4. 河北省人民政府．河北经济年鉴[R],北京：中国统计出版社，2018
5. 中国城镇供水排水协会，邵益生，林雪梅.2018《城镇排水统计年鉴》
6. 楚想想,罗丽,王晓昌,章武首.我国城镇污水处理厂的能耗现状分析[J].中国给水排水,2018,34(07):70-74
7. 王峰青，周智强，苏素，等. 西部地区山地城市污水处理厂运行效率评价与分析-基于灰色关联分析[J]. 科技和产业，2012，12（10）：59-63.
8. 王昕，陆迁.水资源稀缺性感知影响农户地下水利用效率的路径分析——基于华北井灌区1168 份调查数据的实证，[J]. 资源科学，
9. 王有森，许浩，卞亦文.工业用水系统效率评价：考虑污染物可处理特性的两阶段DEA[J].中国管理科学,2016, 24(3):169-176
10. 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.中国环境科学，2018,38(9)：3594-3600
11. 胡妍，李巍.区域用水环境经济综合效率及其影响因素——基于DEA和Malmquist指数模型.中国环境科学，2016,36(4):1275-1280
12. 何伟,宋国君.河北省城市水资源利用绩效评估与蓄水量估算研究[J].环境科学学报.2018.38(07):2909-2917.
13. 赵树慈,陈欣蕊,何晓东.河北省”十三五”水污染防治工作建议.低碳环保与节能减排.2018.429(06);112-114
14. Wang F Q，Zhou Z Q，Su S，et al. Evaluation and analysis of the western mountainous city sewage disposal factories operating efficiency based on gray correlation analysis.[J]. Science Technology and Industry，2012，12（10）：59-63
15. 2019，41（1）：87-97. [Wang X, Lu Q. Path characterization of water resources scarcity perception's effects on farmers' groundwater usage efficiency——empirical study based on 1168 survey data of Well-irrigated District in North China[J]. Resources Science，2019，41(1)：87-97
16. Charnes A．，Copper W．W．，Phodes E．Measuring the efficiency of DMU．European Journal of Operational Research，1978，11(6): 429-444
17. Fare R, Grosskopf S.A nonparametric cost approach to scale efficiency [J]. Scandinavian Journal of Economies, 1994,87(4):594-604.

**英文题目：**Static and Dynamic Evaluation of Water Treatment Efficiency of Hebei Province--based DEA-BCC and DEA-Malmquist two-step method

**作者拼音名：**Zhang Yingkui； Tian Kun

Abstract：Hebei Province is one of the most prominent contradictions in the supply and utilization of water resources in China. The improvement of water treatment efficiency will help alleviate the current shortage of water resources. Based on the DEA-BBC and DEA-Malmquist methods, this paper selects the number of employees, annual operating costs, annual cumulative power consumption and annual design treatment capacity of sewage treatment plants in each city as input indicators. Annual reclaimed water output is an output indicator, and the water treatment efficiency analysis of sewage treatment plants in various cities from 2015 to 2018 is carried out. The results indicate that the overall low difference in water treatment efficiency and the low scale rewards of cities in Hebei Province; The city made suggestions for improvement.