

基于 DEA 和 Malmquist 指数的农田水利 基础设施生产效率分析 ——以河南省部分省辖市为例

刘桂芳, 姚峰*

(河海大学 公共管理学院, 南京 211100)

摘要:【目的】全方位分析河南省农田水利基础设施生产效率, 为促进农田水利资源的合理使用提供对策建议。【方法】选取 2013—2020 年河南省 15 个省辖市的面板数据, 运用 DEA 模型和 Malmquist 指数对河南省农田水利基础设施生产效率开展研究, 并对 2020 年非 DEA 有效地区进行冗余分析, 从静态和动态视角评价各省辖市农田水利基础设施效率水平。【结果】2020 年开封市、鹤壁市、焦作市等 6 市综合技术效率达到 DEA 有效, 其余均为无效状态; 非 DEA 有效地区均存在不同程度的投入冗余和产出不足, 郑州市在水库和第一产业就业人员上存在较高的投入冗余, 新乡市在农村用电量上投入冗余较大, 郑州市和许昌市在农林牧渔业总产值上产出不足量相对较高, 洛阳市灌溉面积产出不足量相对较高; 2013—2020 年河南省部分省辖市农田水利基础设施全要素生产率的平均增长率达到 10.0%, 呈波动式增长趋势, 主要驱动力是技术进步。【结论】通过因地制宜配置资源, 促进农村劳动力非农化转移, 以遏制盲目的农田水利建设投入; 借助政策支持和创新资金筹措方式为农田水利发展落后地区提供发展保障, 缓解农田水利发展的地区差异矛盾; 将科技创新与农田水利工程项目有机结合, 以项目带动水利科技研发与推广, 实现区域内农田水利现代化建设。

关键词: 农田水利基础设施; 效率分析; DEA-BCC; Malmquist 指数; 冗余分析

中图分类号: F323; TV-9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022577

OSID:



刘桂芳, 姚峰. 基于 DEA 和 Malmquist 指数的农田水利基础设施生产效率分析: 以河南省部分省辖市为例[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(8): 136-144.

LIU Guifang, YAO Feng. Using DEA Model and Malmquist Index to Analyze Efficiency of Farmland Water Infrastructure in Henan Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(8): 136-144.

0 引言

【研究意义】农田水利基础设施建设对保证粮食生产具有不可替代的重要作用, 也是实现农业现代化、促进农村经济发展的重要动力^[1]。我国 2004—2015 年的中央“一号文件”均强调了加强农田水利基础设施的建设^[2]。2016 年, 为保障我国粮食安全, 提升农业综合生产力, 加强对农田水利的科学规划并促进其健康发展, 国务院发布了《农田水利条例(2016 年)》, 对农田水利的规划、水利工程建设、工程运行维护等工作进行了全过程规范。新时代, 农田水利建设更是现代化农业以及新农村建设的重要内容。《2020 年农村水利水电工作年度报告》数据显示, “十三五”期间农村水利水电的投资计划累计下达 1 664.48 亿元^[3]。2021 年 2 月的中央“一号文件”继

续强调了强化农业物质装备和实施大中型灌区续建配套和现代化改造的重要性。这一系列举措说明了国家对农田水利设施建设的重视。在此背景下, 通过科学的方式对农田水利生产效率展开评估将有利于对其建设和管理, 促进资源的合理使用, 充分发挥其应有的效益。

【研究进展】农田水利设施作为工程项目, 从投资到建设, 再到后期的管理运营均会涉及效率问题, 现以此为视角对我国农田水利基础设施的相关研究进行梳理。从投资、供给角度出发, 目前学者多分析农田水利基础设施投资与供给的影响因素, 重点关注了人均 GDP、区域差异、农民受教育程度以及农民收入水平等因素对效率值的影响。如钱里程等^[4]运用 DEA 数据包络的 CCR 和 BCC 模型分析了我国农村水利投入效率, 指出我国建设农村水利投入产出效率偏低, 且存在明显的地域性差异; 何平均等^[5]选取 DEA-Tobit 模型对我国农田水利基础设施投资绩效进行评价, 并探究了相关的影响因素, 研究发现人均 GDP、农村劳动力文盲率等因素与农田水利基础设施

收稿日期: 2022-10-17 修回日期: 2023-04-12 网络出版日期: 2023-05-16
作者简介: 刘桂芳(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事农村水利、农村经济研究。E-mail: 1714701096@qq.com
通信作者: 姚峰(1978-), 男, 讲师, 硕士生导师, 主要从事水利经济、绩效管理研究。E-mail: windy_y7@163.com
©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

投资绩效呈负相关，与农田水利管理体制的改革等呈正相关；唐娟莉等^[6]以产出为导向的三阶段 DEA 模型分析了 2007—2014 年我国农田水利设施的供给效率，并探究了人口规模、人均 GDP、城市化水平等因素与农田水利设施供给效率间的关系；周含韬等^[7]运用 DEA-Tobit 模型对拉曼灌区（中片区）土地开发项目展开研究，分析了政府财政拨款、农业信贷以及组织管理水平等可观测因素和不可观测因素对农田水利工程供给效率的影响；俞蕾等^[8]运用 SBM-Malmquist 方法评价了 2009—2018 年我国 27 个省（市、自治区）农田水利基础设施的供给效率及其变化情况，并提出通过吸引农村精英返乡、优化农村基层组织等途径提高农田水利供给效率。

对于农田水利基础设施的建设效率研究，学者多选用 DEA 窗口模型以及 Malmquist 指数法对农田水利工程项目及其建设管理绩效进行评价。其中，部分学者选用典型地区的农田水利建设项目展开研究，周利平等^[9]采用 DEA 方法和 Malmquist 指数法对江西省 19 个地区第一批小型农田水利重点县的效率进行分析，研究表明“小农水”重点县建设效率较高，建设规模也趋于优化；靳轲等^[10]选用 DEA 的窗口模型对河南省 18 个地市农田水利供给绩效进行评价，并对农田水利基础设施建设基本饱和的地市和还需发展的地市分别提出整改建议；还有学者对全国范围的农田水利设施建设展开分析，如刘其涛^[2]以我国 31 个地区的农田水利基础设施为研究对象，运用 DEA-BCC 模型和 Malmquist 生产率指数对投资的综合技术效率和动态效率进行测算，分析了科技成果转化推广在农田水利基础设施建设中的重要作用；叶锐等^[11]运用共享投入 DEA 模型测算了我国农田水利设施建设与运行管理效率，证实我国在农田水利建设中存在“重前期投入，轻后期管理”问题。

在农田水利的运营管理效率方面，叶文辉等^[12]利用 DEA-Tobit 两阶段法，选取我国 2003—2010 年农田水利的运营投入产出指标数据，对其运营效率及影响因素展开分析，研究发现我国农田水利运营效率较低，且存在区域性差距，并指出农田水利“准公共产品”的性质是其运营效率低下的根源所在；Diaz 等^[13]将 DEA 模型应用于西班牙最具代表性的灌溉区，测算当地灌溉方法的有效性，并为低效率地区提出改进意见；汤洁娟^[14]运用 DEA 模型和 Malmquist 生产效率指数对我国农田水利建设工程的社会经济效率进行评价，指出通过提高东部和中部地区农田水利工程的使用率进一步发挥农业在国民经济中的基础性作用；Hong 等^[15]分析了农田水利设施运行效率的影响因素，研究表明农民非农收入的增加与其呈负相关

关系；杨运武等^[16]将 DEA-BCC 模型与线性回归分析法相结合，分析了农田水利工程对农业生态环境的影响，结果显示合理建设农田水利工程有助于改善农业生产环境，但相应的改善作用存在不稳定性。

现有研究引入多种 DEA 模型从不同角度研究了农田水利设施的效率值，相关的评价指标体系也相对成熟，为本研究提供了良好的参考价值。【切入点】在农田水利基础设施的生产效率方面，大多数学者集中于利用 DEA 模型从宏观层面分析其运营效率，即决策单元多为省级，对特定省份农田水利生产效率的内部差异分析还不够深入。此外，从静态和动态角度测算特定地区农田水利生产效率的研究也较为缺乏。【拟解决的关键问题】因此，本研究基于投入角度，运用 DEA-BCC 方法对 2013—2020 年河南省部分省辖市的农田水利生产效率进行全方位分析，在此基础上引入 Malmquist 指数分析各地区农田水利生产效率的动态变化，并探究各项指数对河南省农田水利生产效率的贡献程度，从而剖析河南省农田水利生产效率中存在的问题，并挖掘提高农田水利设施使用效率的政策建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

本研究采用数据包络法（DEA）和 Malmquist 指数法对河南省农田水利效率进行分析。DEA 模型可用于多项投入指标与产出指标的静态效率评价，不受相应指标单位量纲影响，考虑到农田水利属于高投入、高风险的工程项目，因而基于投入导向型和规模报酬可变假设，采用 DEA-BCC 模型来评价决策单元效率水平，公式如下：

$$\begin{cases} \min[\theta - \varepsilon(e^T s^- + e^T s^+)] \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s^+ = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \\ s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

式中： θ 为各决策单元农田水利生产的效率水平； ε 为非阿基米德无穷小量； s^- 和 s^+ 分别为农田水利设施投入项和产出项的松弛变量； x_j 为第 j 个决策单元农田水利基础设施的投入量； y_j 为第 j 个决策单元的农田水利基础设施产出量； λ_j 为各地农田水利投入和产出的权系数。当 $\theta^* = 1$, $s^{+*} = s^{-*} = 0$ 时表示有效，当 $\theta^* = 1$, s^{+*} 、 s^{-*} 不全为 0，则表示弱有效，当 $\theta^* < 1$ 时表示效率较低^[17]。

对于非 DEA 有效评价单元，可借评价单元 DMU 在相对有效面上的“投影”，获取其与有效水平间的

差距, 从而分析造成非 DEA 有效的原因, 并探究相应的改进方式^[18]。令:

$$\begin{cases} X_0^{\wedge} = \theta_0 X_0 - s_0^- \\ Y_0^{\wedge} = Y_0 + s_0^+ \end{cases} \quad (2)$$

式中: $(X_0^{\wedge}, Y_0^{\wedge})$ 是决策单元的原始值 (X_0, Y_0) 在前沿面上的投影, 其相对于原决策单元是 DEA 有效的。决策单元 DMU 若要达到 DEA 有效, 需在原有基础上对投入量减少 $(1-\theta_0)X_0-s_0^-$, 对应的产出量增加 s_0^+ 。

Malmquist 指数一般用于测量一段时间内全要素生产率的变化, 将之与 DEA 模型结合有利于更全面地分析农田水利设施效率的静态和动态变化。Malmquist 指数法提出后, 首先用于生产效率分析, 而后加入时间变量, 用于衡量 2 个相邻时期的全要素生产效率指数的动态变化^[19], 测算结果用全要素生产率 (TFP) 表示, 用于显示生产中各要素的综合生产率, 在规模报酬不变的情况下, 可用 Malmquist 指数进一步分析技术进步效率 (Techch) 和技术效率 (Effch), 而在规模报酬可变的情况下, 测算结果可将技术效率 (Effch) 分解为纯技术效率 (Pech) 和规模效率 (Sech), 具体如式 (3) 所示:

$$TFP = Techch \times Effch = Techch \times Pech \times Sech, \quad (3)$$

当 $TFP > 1$ 时, 表示农田水利生产效率在研究期间的相对效率有所改善, 当 $TFP < 1$ 时, 则反之。

1.2 指标选取及数据来源

本研究以河南省部分省辖市为效率分析对象, 由于濮阳市、漯河市以及周口市存在数据缺失, 因而予以剔除。数据的时间跨度为 2013—2020 年。考虑到数据的可获得性, 以及河南省农田水利基础设施的实际情况, 构建相应的投入产出指标体系作为测算依据。基于农田水利设施改善农业生产条件、提高农产品生产效率等作用的考虑, 选取农林牧渔业总产值和灌溉面积作为农田水利设施的产出衡量指标, 分别用于分析农田水利设施的经济产出和生态产出。在投入方面, 从物资投入和劳动力投入出发, 选取水库数量、农村用电量、第一产业就业人员作为农田水利设施的投入指标。数据来源于《河南统计年鉴》^[20]与《河南水利年鉴》^[21], 利用软件 DEAP2.1 进行测算。

2 农田水利基础设施生产效率实证分析

2.1 河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率静态分析评价

1) 从综合技术效率层面分析, 通过比较表 1 和图 1 中各省辖市综合技术效率值可以发现, 2013 年河南省 15 个省辖市综合技术效率均值为 0.795, 未达到 DEA 有效状态, 共有 3 个市的农田水利达到了综

合技术效率有效, 分别是开封市、鹤壁市、新乡市, 其余均为 DEA 无效, 最低为平顶山市, 效率值为 0.517; 2017 年河南省 15 个省辖市农田水利基础设施综合技术效率均值为 0.784, 开封市、鹤壁市、三门峡市 3 个市的综合技术效率达到有效状态, 平顶山市为 0.482, 仍为最低值; 2020 年, 河南省 15 个省辖市综合技术效率均值为 0.843, 开封市、鹤壁市、焦作市、三门峡市、商丘市、信阳市 6 个市的综合技术效率值达到 DEA 有效, 最低是郑州市, 效率值为 0.409。2013、2017、2020 年, 平顶山市综合技术效率均处于非 DEA 有效状态, 且 2013 年和 2017 年均为最低值, 可见平顶山市农田水利基础设施较为薄弱。而开封市、鹤壁市的综合技术效率在 2013、2017、2020 年均达到了 DEA 有效, 包括技术有效和规模报酬最优。通过资料查询可以发现: 开封市和鹤壁市农田水利基础设施的良好发展, 离不开强有力的政策和资金支持。2013 年开封市在市级“以奖代补”资金引导下开展农田水利基本建设, 鹤壁市加大上级水利项目资金争取力度, 并引导社会力量参与水利建设; 2017 年开封市完成水利投资 20.2 亿元, 创历史新高, 鹤壁市则以“红旗渠精神杯”竞赛活动为载体, 全方位推动农田水利基本建设, 而同年的平顶山市在农田水利、河道治理等项目实施总资金为 4.8 亿元, 资金投入相对较低; 2020 年开封市以水利脱贫攻坚为重点, 加强贫困地区水利基础设施建设, 鹤壁市以“十大提升工程”为抓手, 持续推进重点水利工程建设, 并编制了《水利基础设施空间布局规划》^[21], 可见良好的政策环境和充足的资金投入是农田水利发展的基础保障。

2) 从纯技术效率角度上看, 对表 1 中各省辖市的纯技术效率值进行比较, 2013、2017、2020 年开封市、鹤壁市、南阳市、商丘市、信阳市、驻马店市、济源市 7 市的纯技术效率值均达到了 1, 2013 年和 2017 年纯技术效率值最低者均为平顶山市, 其值分别为 0.539 和 0.483, 2020 年最低是郑州市, 值为 0.424。相应年份纯技术效率最低的地区和综合技术效率一致, 可见平顶山市和郑州市农田水利基础设施综合技术效率受纯技术效率的影响较大。2013、2017、2020 年, 每年都有 8~9 个地区达到了纯技术效率有效, 说明近年来河南省农田水利技术推广力度较大且取得了一定成就, 但地域差异较为明显, 平顶山市和郑州市相对较低, 2 个地区分别作为资源型工业城市和省会城市, 第一产业发展相对不足, 农田水利资源的管理或相关技术的开发与应用还有待改善。

3) 从规模效率视角出发, 比较表 1 中河南省各省辖市的规模效率值, 2013 年开封市、鹤壁市、新乡市规模效率值均为 1, 最低为济源市的 0.644; 2017

年开封市、鹤壁市、三门峡市规模效率达到了 1，济源市仍处于最低值，为 0.519；2020 年开封市、鹤壁市、焦作市、三门峡市、商丘市、信阳市规模效率值为 1，南阳市为 0.803，为最低值。2013、2017 年济源市规模效率最低，主要由于当地 88% 的面积为山区和丘陵，且近年来城镇化和工业化发展较快，促使人地矛盾突出，农村劳动力不足^[22]，自然环境条件和城镇化发展使得当地农田水利基础设施发展规模受限。结合《河南水利年鉴》进行纵向比较，2013 年河南省推

动小农水重点县建设和大型灌区配套改造，2017 年大力发展节水灌溉并印发《河南省 2017—2018 年度冬春农田水利基本建设实施方案》，2020 年以水利脱贫攻坚和农村饮水安全为抓手，完善农村水利设施建设^[21]，在良好的政策支持下，河南省农田水利基础设施规模效率达到有效的地区从 2013 年的 3 个提升至 2020 年的 6 个，说明河南省农田水利建设投入要素的配置正趋于合理状态。

表 1 河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率值

Table 1 Efficiency of farmland water infrastructure in some provincial cities of Henan Province

地区	综合技术效率			纯技术效率			规模效率		
	2013 年	2017 年	2020 年	2013 年	2017 年	2020 年	2013 年	2017 年	2020 年
郑州市	0.674	0.682	0.409	0.734	0.719	0.424	0.918	0.948	0.965
开封市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
洛阳市	0.721	0.586	0.651	0.771	0.591	0.675	0.935	0.991	0.965
平顶山市	0.517	0.482	0.590	0.539	0.483	0.615	0.959	0.998	0.960
安阳市	0.644	0.712	0.746	0.748	0.783	0.786	0.860	0.910	0.949
鹤壁市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
新乡市	1.000	0.949	0.837	1.000	0.979	0.845	1.000	0.969	0.990
焦作市	0.815	0.771	1.000	0.820	0.777	1.000	0.994	0.992	1.000
许昌市	0.859	0.671	0.764	0.919	0.684	0.787	0.935	0.980	0.972
三门峡市	0.796	1.000	1.000	0.897	1.000	1.000	0.887	1.000	1.000
南阳市	0.648	0.768	0.803	1.000	1.000	1.000	0.648	0.768	0.803
商丘市	0.995	0.916	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	0.916	1.000
信阳市	0.894	0.888	1.000	1.000	1.000	1.000	0.894	0.888	1.000
驻马店市	0.720	0.814	0.943	1.000	1.000	1.000	0.720	0.814	0.943
济源市	0.644	0.519	0.900	1.000	1.000	1.000	0.644	0.519	0.900
均值	0.795	0.784	0.843	0.895	0.868	0.875	0.893	0.913	0.963

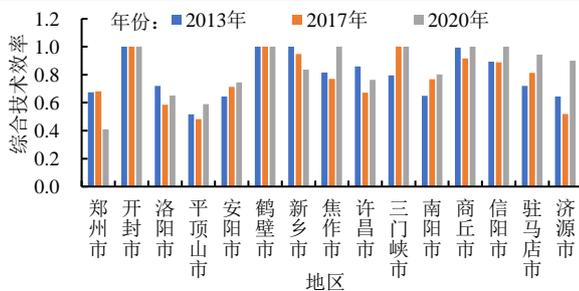


图 1 2013、2017、2020 年河南省部分省辖市农田水利基础设施综合技术效率比较

Fig.1 Comparison of comprehensive technology efficiency of farmland water infrastructure in some provincial cities of Henan Province in 2013, 2017, 2020

4) 非 DEA 有效地区农田水利设施的投入与产出冗余分析, 选取 2020 年综合技术效率、纯技术效率、规模效率均无效的地区进行农田水利基础设施的投入产出分析, 采用 DEAP2.1 软件测算各市投入、产出的冗余值, 具体结果如表 2 所示。整体来看, 2020 年河南省非有效地区均存在不同程度的投入冗余和产出不足。从投入指标来看, 各地在水库数量、第一产业就业人员和农村用电量上均存在投入冗余, 水库数量和第一产业就业人员投入冗余量最高的均为郑州市, 分别为 99 座和 38.187 万人, 农村用电量投入

冗余最高的则是新乡市, 为 46.964 亿 kW·h; 从产出指标来看, 郑州市、安阳市、新乡市和许昌市在农林牧渔业总产值上均存在产出不足, 其中郑州市和许昌市的农林牧渔业总产值产出不足量相对较高, 分别为 72.876 亿元和 77.884 亿元, 洛阳市和平顶山市则在灌溉面积上存在产出不足, 洛阳市灌溉面积产出不足量相对较高, 为 12.337 9 万 hm²。究其原因, 河南省素有“中原粮仓”的美誉, 农村面积大、农民众多, 由于气候因素和地理条件影响, 水旱灾害频发, 因而尤为注重兴修水利^[23]。而非 DEA 有效的郑州市地跨黄河、淮河水域, 洪涝灾害频发, 新乡市畜牧业发展迅速, 农业生产和畜牧业用电量多^[24]。此外, 据《河南水利年鉴》显示, 2020 年郑州市和许昌市农村水利重点工作在于推动农村饮水安全和生态修复, 洛阳市则强调灌区节水改造及安全饮水^[21]。可见非 DEA 有效地区投入冗余和产出不足是地区资源禀赋差异、政府年度工作重心和农田水利资源利用不当的交互效应。因而, 提高河南省非有效地区农田水利生产效率需结合地区发展情况以统筹农田水利发展规划, 进一步提升水库、劳动力和农村用电的利用率, 减少已有物力资源和人力资源的浪费。

表 2 河南省 2020 年非有效地区的产出投入指标调整结果

Table 2 Adjustment of output and input indicators for non-DEA effective areas in Henan Province in 2020

地区	项目	原始值	径向调整量	松弛调整量	DEA 有效目标值
郑州市	农林牧渔业总产值/亿元	263.190	0.000	72.876	336.066
	灌溉面积/千 hm ²	206.330	0.000	0.000	206.330
	水库数量/座	134.000	-77.216	-21.963	34.821
	第一产业就业人员/万人	66.270	-38.187	0.000	28.083
	农村用电量/(亿 kW·h)	56.930	-32.805	-6.227	17.898
	农林牧渔业总产值/亿元	486.180	0.000	0.000	486.180
洛阳市	灌溉面积/千 hm ²	171.440	0.000	123.379	294.819
	水库数量/座	153.00	-49.748	0.000	103.252
	第一产业就业人员/万人	66.890	-21.749	0.000	45.141
	农村用电量/(亿 kW·h)	23.800	-7.739	0.000	16.061
	农林牧渔业总产值/亿元	393.190	0.000	0.000	393.190
	灌溉面积/千 hm ²	221.620	0.000	16.018	237.638
平顶山市	水库数量/座	163.000	-62.802	0.000	100.198
	第一产业就业人员/万人	62.400	-24.042	0.000	38.358
	农村用电量/(亿 kW·h)	13.010	-5.013	0.000	7.997
	农林牧渔业总产值/亿元	447.550	0.000	39.851	487.401
	灌溉面积/千 hm ²	307.970	0.000	0.000	307.970
	水库数量/座	55.000	-11.752	0.000	43.248
安阳市	第一产业就业人员/万人	58.520	-12.504	0.000	46.016
	农村用电量/(亿 kW·h)	28.810	-6.156	-3.312	19.342
	农林牧渔业总产值/亿元	501.820	0.000	57.777	559.597
	灌溉面积/千 hm ²	366.540	0.000	0.000	366.540
	水库数量/座	30.000	-4.654	0.000	25.346
	第一产业就业人员/万人	67.170	-10.420	0.000	56.750
新乡市	农村用电量/(亿 kW·h)	67.660	-10.496	-36.468	20.695
	农林牧渔业总产值/亿元	338.100	0.000	77.884	415.984
	灌溉面积/千 hm ²	247.470	0.000	0.000	247.470
	水库数量/座	24.000	-5.123	0.000	18.877
	第一产业就业人员/万人	56.470	-12.054	0.000	44.416
	农村用电量/(亿 kW·h)	11.100	-2.369	0.000	8.731

2.2 河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率变化趋势分析

1) 基于时间视角的农田水利生产效率分析

基于规模报酬可变假设,使用 DEAP2.1 软件对 2013—2020 年河南省部分省辖市农田水利全要素生产率指数及其分解情况进行测算,从而研究河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率的动态变化特征。

由表 3 和图 2 可知,2013—2020 年河南省农田水利的平均全要素生产率为 1.100,平均增长率为 10.0%,而技术效率、技术进步、纯技术效率和规模效率的平均增长率分别为 0.7%、9.2%、-0.5%和 1.2%,可见技术效率和技术进步是河南省农田水利全要素生产率增长的动力源,技术进步是其主要动力源,而技术效率的提高主要源于规模效率改善的推动。从单个时间段来看,仅有 2014 年和 2017 年的全要素生产率小于 1,随着河南省农田水利基础设施综合利用能力的逐步提升,从 2018 年开始,全要素生产率变化指数逐年上升,2020 年全要素生产率达到 1.650,为 2013—2020 年中的最高值,这可能与相应年份的政策环境相关,如 2018 年河南省政府印发了《关于实施四水同治加快推进新时代水利现代化的意见》和建设规划纲要,治水兴水被列入河南省各级政府部门的重点工作^[25];2019 年黄河流域各省区以“让黄河成为造福人民的幸福河”为战略目标,协同推进大治理^[26],河南省全省水利系统加快构建水网体系;而 2020 年则是“十三五”规划的收官之年,河南省水利厅多措并举以推动水利工程的安全、有效、良性运行^[27]。

表 3 2013—2020 年河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率分年 Malmquist 指数及分解

Table 3 The Malmquist index and decomposition of efficiency of farmland water infrastructure in some provincial cities of Henan Province by year in 2013—2020

年份	<i>Effch</i>	<i>Techch</i>	<i>Pech</i>	<i>Sech</i>	<i>TFP</i>
2013—2014	0.975	1.025	0.971	1.004	0.999
2014—2015	1.038	0.990	1.024	1.013	1.028
2015—2016	0.956	1.058	0.962	0.994	1.012
2016—2017	1.012	0.955	1.003	1.010	0.966
2017—2018	1.102	0.942	1.057	1.043	1.038
2018—2019	1.012	1.123	1.007	1.004	1.136
2019—2020	0.963	1.714	0.945	1.018	1.650
均值	1.007	1.092	0.995	1.012	1.100

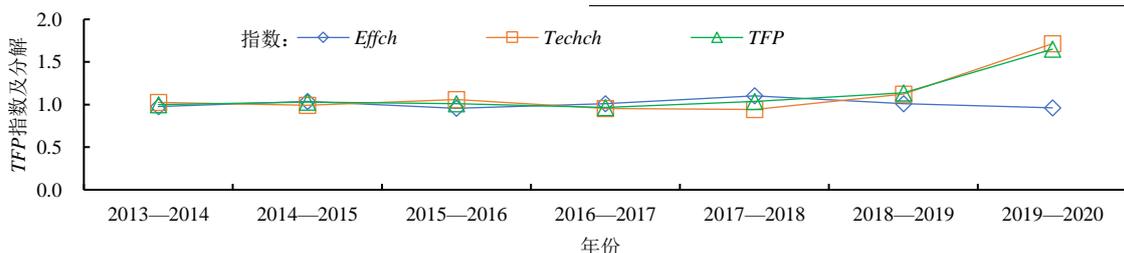


图 2 2013—2020 年河南省部分省辖市分年 *Effch*、*Techch* 和 *TFP* 指数变化趋势

Fig.2 The variation of *Effch*, *Techch* and *TFP* by year in some provincial cities of Henan Province in 2013—2020

从技术效率指数 (*Effch*) 来看, 2013—2020 年河南省的技术效率小于 1 的有 2014、2016、2020 年, 其中, 技术效率主要受纯技术效率较低的影响, 说明河南省 2014、2016、2020 年对技术要素的使用效率偏低, 在农田水利投入资源的管理和利用能力方面存在一定问题, 从而导致了产出不足或投入冗余。其余年份的技术效率都有小幅提升, 2017 年河南省水利水土保持技术推广站争取了省级财政补助资金以建设水利新技术示范样板, 并对“河南省农村水利技术推广网”进行改版, 以发挥网络在政策宣传和技术推广上的重要作用^[21], 随着技术推广效果的显现, 2018 年河南省农田水利基础设施的技术效率增长率高达 10.2%, 说明农田水利技术的推广有助于农田水利资源实现优化配置, 使得资源利用效率得以提高。

从技术进步效率 (*Techch*) 来看, 2015、2017 年和 2018 年的技术进步变化小于 1, 其余年份均大于 1, 且平均技术进步效率为 1.092, 处于上升状态, 说明河南省在农田水利基础设施管理运营中由于新技术应用而使得最佳生产状态得到了改进。而从图 2 可知, 河南省农田水利 *TFP* 变化指数与技术进步变化指数具有高度一致的波动性增长趋势, 因而技术进步是影响河南省部分省辖市农田水利全要素生产率变化的关键因素, 而河南省长期以来都高度重视水利科技工作, 每年均会评选“水利科技攻关研究项目”和“水利科技英才”, 并给予物质和精神奖励, 可见河南省通过增加水利科技投入, 一定程度上激发了科研单位和科研人员开展水利技术创新的活力, 推动了农田水利发展。

2) 基于空间视角的农田水利生产效率分析

表 4 显示了 2013—2020 年河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率分地区的全要素生产率 (*TFP*) 及其分解情况。从各地的全要素生产率来看, 2013—2020 年河南省各地农田水利均为增长趋势, 平均增长率达到了 10.0%。增长最快的焦作市达到了 18.7%, 主要受技术进步效率的影响, 外部因素可能与焦作市对农田水利良好的建设管理相关^[10]。增长最慢的是许昌市, 为 4.3%, 主要是许昌市的技术效率指数小于 1, 相比于技术效率同样小于 1 的郑州市、洛阳市和新乡市而言, 其技术进步指数相对较低, 且纯技术效率下降了 2.2%; 从各项分解指数来看, 技术进步指数增长最快, 增长率为 9.2%, 说明河南省农田水利设施配置效率的提升主要受技术进步的影响。从技术效率的分解来看, 纯技术效率变化呈现衰退趋势 (-0.5%), 主要是由郑州市、洛阳市、新乡市和许昌市的纯技术效率下降造成, 其中郑州市的纯技术效率下降的速率最快 (-7.5%), 而各地规模效率的变化平均增长率为 1.2%; 从各地区来看, 由于各地

技术进步效率不同使得各地区的全要素生产率增长存在差异, 洛阳市、安阳市、焦作市、商丘市、济源市的 *TFP* 指数和技术进步指数增长率均大于 10%, 高于河南省平均水平 10%和 9.2%。

表 4 2013—2020 年河南省部分省辖市农田水利基础设施生产效率分地区 Malmquist 指数及分解

Table 4 The Malmquist index and decomposition of efficiency of farmland water infrastructure in some provincial cities of Henan Province by region in 2013—2020

地区	<i>Effch</i>	<i>Techch</i>	<i>Pech</i>	<i>Sech</i>	<i>TFP</i>
郑州市	0.931	1.130	0.925	1.007	1.052
开封市	1.000	1.099	1.000	1.000	1.099
洛阳市	0.986	1.155	0.981	1.005	1.139
平顶山市	1.019	1.071	1.019	1.000	1.092
安阳市	1.021	1.114	1.007	1.014	1.138
鹤壁市	1.000	1.054	1.000	1.000	1.054
新乡市	0.975	1.109	0.976	0.999	1.081
焦作市	1.030	1.153	1.029	1.001	1.187
许昌市	0.983	1.060	0.978	1.005	1.043
三门峡市	1.033	1.062	1.016	1.017	1.097
南阳市	1.031	1.045	1.000	1.031	1.077
商丘市	1.001	1.102	1.000	1.001	1.103
信阳市	1.016	1.060	1.000	1.016	1.077
驻马店市	1.039	1.058	1.000	1.039	1.099
济源市	1.049	1.123	1.000	1.049	1.178
均值	1.007	1.092	0.995	1.012	1.100

3 结论与建议

1) 河南省部分省辖市农田水利生产效率静态评价的结果显示, 2013、2017 年和 2020 年河南省 15 个省辖市农田水利生产的综合技术效率偏低, 但 2020 年达到 DEA 有效状态的地区数相比 2013 年呈上升趋势, 说明河南省农田水利资源配置和使用效率正在趋于改善, 综合技术效率受纯技术效率影响较大, 有 2 个省辖市的综合技术效率在 2013、2017、2020 年均达到了 DEA 有效, 分别是开封市和鹤壁市, 而平顶山市 2013、2017 年综合技术效率最低。由 2013、2017、2020 年各地平均纯技术效率和规模效率可知, 在持续的政策支持下, 河南省对农田水利投入要素的配置逐渐趋于合理, 但平均纯技术效率值相对较低, 主要是由于纯技术效率值地域差异较为明显, 因而需要加大农田水利相关技术和管理方法的推广力度, 这与张亮等^[22]在河南省农田水利现代化水平研究中得出的结论基本一致。而在对 2020 年非 DEA 有效地区农田水利设施的投入和产出冗余分析后, 可以发现这些地区由于自然禀赋差异性和政府注意力有限性而对农田水利设施缺乏统筹规划, 存在大量的投入冗余和产出不足。在投入方面, 水库资源、第一产业就业人员、农村用电量均未得到充分利用, 存在大量资源浪费情

况；在产出方面，郑州市和许昌市农林牧渔业总产值产出不足量相对较高，洛阳市则在灌溉面积上产出不足量相对较高。

2) 河南省部分省辖市农田水利生产效率动态评价的结果显示，2013—2020年河南省15个省辖市农田水利资源全要素生产率变化指数呈现波动式增长趋势，其得益于技术效率指数和技术进步指数均有效，而技术进步变化是主要动力源。因而，河南省在加大水利科技投入、提升自主创新能力的同时，也需关注技术效率的驱动潜力，重视资源管理和配置能力的提升。从2018年开始，河南省农田水利全要素生产率变化指数开始呈现逐年上升趋势，可能受益于近年来良好的政策环境。从空间角度来看，2013—2020年焦作市农田水利基础设施全要素增长率最快，许昌市的增长率相对较低。洛阳市、安阳市、焦作市、商丘市和济源市的全要素生产率和技术进步增长率高于河南省平均水平，相对而言主要集中于豫北地区。

鉴于以上结论，可以发现河南省在大力支持农田水利发展的过程中，加大了对农田水利基础设施的建设投入，但部分地区并未实现农田水利生产效率的最大化，应当重视资源的合理配置，遏制或消除盲目的农田水利建设投入。首先，由于河南省不同地区的资源禀赋差异和各地主导产业不同，需要结合各地发展定位，使得农田水利发展服务于各地重大战略部署，因地制宜、因时制宜对资源加以利用，如水库数量和第一产业就业人员投入冗余量最高的均为郑州市，而相应的农林牧渔业总产值上又存在产出不足情况，郑州市作为省会城市倾向于注重第二、第三产业的发展，应注重调整农业投入结构，加大水利科技创新和成果推广，加快农田水利的现代化步伐。其次，争取政策支持、创新资金筹措是农田水利发展的基础，开封市和鹤壁市以政策项目为依托，在争取上级资金支持的同时，吸引社会资本投入，实现了地区农田水利基础设施建设的良好发展，因而省级相关部门可加大对农田水利基础建设薄弱地区的政策倾斜力度，而各市级相关部门也需加强对农田水利基础设施建设的关注度，通过学习借鉴开封市和鹤壁市的建设经验，创新资金筹措方式，抓好地区农田水利工程建设。再次，由于研究期间河南省各地平均纯技术效率值相对较低，且存在明显的地域差异，而技术进步又是影响河南省农田水利全要素生产率的主要动力源，因此各地在积极研发新技术的同时，还需充分发挥河南省农田水利水土保持技术推广站的作用，还可考虑与高校合作组建“科技小院”^[28]，完善农田水利技术推广服务体系，为纯技术效率相对较低的平顶山市、许昌市、郑州市等地提供技术支持，而这些地区自身也需以科

技兴水为战略，调整农田水利投入形式，将水利科技创新与农村水利建设类重大项目相融合，加大水利技术研发投入，吸引科研单位和科研人员参与项目工作，以项目带动科技创新及成果推广，减少盲目投资带来的资源冗余。济源市、南阳市等受规模效率影响较大的地区可结合地区发展定位和实际情况适当扩大农田水利基础设施的投资建设规模或对老旧设施进行现代化改造，关注本地已有农田水利资源的利用与升级。最后，从2020年河南省非DEA有效地区第一产业就业人员较高的冗余值来看，河南省需以新型城镇化和乡村振兴战略为依托，促进乡镇企业发展，并加强农村劳动力职业技能培训，从而推动农村劳动力非农化转移，解决农村富余劳动力问题。因而，提高河南省农田水利生产效率，良好的政策环境和资金支持是基础，农田水利科技的创新和推广是关键，同时注重区域差异和资源的合理配置，遏制或消除农田水利基础设施中的盲目投入。

总体而言，本研究通过DEA模型和Malmquist指数对河南省15个省辖市农田水利基础设施生产效率进行了实证分析，并为促进河南省农田水利资源的合理利用提出了具有一定参考价值的结论与建议。但由于方法本身的局限性，DEA模型仅能对河南省15个省辖市农田水利基础设施生产效率进行相对性评价，因而处于有效状态的省辖市是相对于其他参与评价的地区而言，并不代表这些地区已处于最佳效率状态。其次，传统DEA-BCC模型无法剔除管理效率、环境变量、随机误差等因素对效率值的影响，需构建SFA模型进一步展开分析^[6]。最后，Malmquist指数仅能从动态把握各省辖市效率变化情况，并从宏观层面反映全要素生产率的影响因素，无法从微观层面准确分析各因素的影响程度，需进一步构建Tobit模型弥补不足^[5,7-8,12]，从而获得更完善的改进意见。上述不足有待在今后的研究中进一步完善。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献:

- [1] 金祥旭. 建设农田水利工程对农业及经济发展的重要性分析[J]. 农技服务, 2016, 33(15): 143.
 - [2] 刘其涛. 我国农田水利基础设施投资效率现状及动态效率研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(23): 303-307.
 - [3] 水利部农村水利水电司. 2020农村水利水电工作年度报告[EB/OL]. (2021-11-19)[2022-9-21]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/ncslsdb/202111/t20211119_1552021.html.
 - [4] 钱里程, 卢小广. 农村水利投入效率评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(11): 6-9, 14.
- QIAN Licheng, LU Xiaoguang. Research on the efficiency of China's rural water conservancy input based on principal component analysis and

- DEA model[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2014(11): 6-9, 14.
- [5] 何平均, 刘睿. 基于 DEA-Tobit 模型的中国各地区农田水利基础设施投资绩效及影响因素分析[J]. *南方农村*, 2014, 30(11): 59-64.
- [6] 唐娟莉, 倪永良. 中国省际农田水利设施供给效率分析: 基于三阶段 DEA 模型的检验[J]. *农林经济管理学报*, 2018, 17(1): 23-35. TANG Juanli, NI Yongliang. Supply efficiency of irrigation and water conservancy: A test based on three-stage DEA method[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2018, 17(1): 23-35.
- [7] 周含韬. 基于 DEA-Tobit 模型多阶段实证的农田水利工程效率研究[J]. *陕西水利*, 2018(S1): 172-174.
- [8] 俞蕾, 杨高升. 农田水利设施供给效率评价及影响因素分析: 基于 SBM-Malmquist-Tobit 模型[J]. *资源与产业*, 2022, 24(4): 77-89. YU Lei, YANG Gaosheng. Supply efficiency and factors of farmland water conservancy facilities based on SBM-Malmquist-Tobit model[J]. *Resources & Industries*, 2022, 24(4): 77-89.
- [9] 周利平, 翁贞林, 苏红, 等. 基于 DEA 的小型农田水利重点县建设效率分析: 以江西省为例[J]. *软科学*, 2014, 28(6): 136-139. ZHOU Liping, WENG Zhenlin, SU Hong, et al. DEA-based efficiency analysis of the construction of key small-scale irrigation and water conservancy counties: The case study of Jiangxi Province[J]. *Soft Science*, 2014, 28(6): 136-139.
- [10] 靳轲, 陈蕾. 基于 DEA 方法的农田水利工程建设管理政策绩效分析: 以河南省为例[J]. *水利发展研究*, 2015, 15(9): 44-49.
- [11] 叶锐, 焦梦杰, 苗子晗. 我国农田水利建设与运行管理效率研究: 基于地方政府责任视角的分析[J]. *价格理论与实践*, 2021(3): 31-34, 61. YE Rui, JIAO Mengjie, MIAO Zihan. Study on construction and operation management efficiency of farmland water conservancy in China: Analysis from the perspective of local government responsibility[J]. *Price: Theory & Practice*, 2021(3): 31-34, 61.
- [12] 叶文辉, 郭唐兵. 我国农田水利运营效率的实证研究: 基于 2003—2010 年省际面板数据的 DEA-TOBIT 两阶段法[J]. *山西财经大学学报*, 2014, 36(2): 63-71. YE Wenhui, GUO Tangbing. The empirical research of China's operational efficiency of irrigation and water conservancy: Based on 2003—2010 inter-provincial panel data with two-stage method of DEA-TOBIT[J]. *Journal of Shanxi Finance and Economics University*, 2014, 36(2): 63-71.
- [13] DÍAZ J A R, POYATO E C, LUQUE R L. Applying benchmarking and data envelopment analysis (DEA) techniques to irrigation districts in Spain[J]. *Irrigation and Drainage*, 2004, 53(2): 135-143.
- [14] 汤洁娟. 基于省际面板数据分析的我国农田水利工程社会经济效率评价[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(7): 57-61. TANG Jiejuan. Evaluation of farmland water conservancy project's social and economic efficiency based on the inter-provincial panel data[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(7): 57-61.
- [15] HONG N B, YABE M. Improvement in irrigation water use efficiency: a strategy for climate change adaptation and sustainable development of Vietnamese tea production[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2017, 19(4): 1 247-1 263.
- [16] 杨运武, 王平武, 陈名幸. 农田水利工程对绿色农业生态环境的影响分析[J]. *红水河*, 2021, 40(3): 77-82. YANG Yunwu, WANG Pingwu, CHEN Mingxing. Impact analysis of farmland water conservancy projects on green agricultural ecological environment[J]. *Hongshui River*, 2021, 40(3): 77-82.
- [17] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. *Management Science*, 1984, 30(9): 1 031-1 142.
- [18] 郭子雪, 张雅辉, 黄新. 基于 DEA 模型的京津冀区域物流效率评价研究[J]. *数学的实践与认识*, 2018, 48(24): 41-50. GUO Zixue, ZHANG Yahui, HUANG Xin. Research on logistics efficiency evaluation of Beijing-Tianjin-Hebei region based on DEA model[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2018, 48(24): 41-50.
- [19] FÄRE R, GROSSKOPF S, LINDGREN B, et al. Productivity changes in Swedish pharmacies 1980—1989: A non-parametric Malmquist approach[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1): 85-101.
- [20] 陈红瑜, 崔刚. 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 河南统计年鉴. 2021 总第 38 期[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [21] 《河南水利年鉴》编纂委员会. 河南水利年鉴-2021[M]. 郑州: 中州古籍出版社, 2021.
- [22] 张亮, 石为位. 河南省农田水利现代化水平评价与时空演变[J]. *中国农村水利水电*, 2022(10): 171-176, 181. ZHANG Liang, SHI Weiwei. Evaluation and temporal and spatial evolution of farmland water conservancy modernization level in Henan Province[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2022(10): 171-176, 181.
- [23] 河南省水利厅. 环境特点及水利重要性 [EB/OL]. (2019-12-28)[2022-9-21]. <https://slt.henan.gov.cn/2019/12-28/1175088.html>.
- [24] 河南省人民政府. 去年新乡市用电量全省第三 [EB/OL]. (2021-1-13)[2022-9-21]. <https://www.henan.gov.cn/2021/01-13/2078703.html>.
- [25] 河南省人民政府. 河南省人民政府关于实施四水同治加快推进新时代水利现代化的意见 [EB/OL]. (2018-11-15)[2022-9-21]. <https://www.henan.gov.cn/2018/11-15/722253.html>.
- [26] 刘正才. 深入学习贯彻总书记“9.18”重要讲话精神 加快推进新时代河南水利高质量发展[J]. *河南水利与南水北调*, 2020, 49(8): 1-3, 6. LIU Zhengcai. Study and implement the spirit of General Secretary Xi Jinping's important speech on September 18 and speed up the high quality development of water conservancy in Henan in the new era[J]. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2020, 49(8): 1-3, 6.
- [27] 河南省水利厅运行管理处. 省水利厅组织召开全省运行管理工作视频会议 [EB/OL]. (2020-5-7)[2022-9-21]. <https://slt.henan.gov.cn/2020/05-07/1373465.html>.
- [28] 谢晓佳, 康芳灵, 严延冬, 等. 科技小院模式助力农业科技推广的实践与思考[J]. *云南农业大学学报(社会科学)*, 2022, 16(3): 43-48. XIE Xiaojia, KANG Fangling, YAN Yandong, et al. Practice and reflection on the mode of science and technology backyard to help the popularization of agricultural science and technology[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science)*, 2022, 16(3): 43-48.

Using DEA Model and Malmquist Index to Analyze Efficiency of Farmland Water Infrastructure in Henan Province

LIU Guifang, YAO Feng*

(School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: **【Objective】** This study is to comprehensively analyze the efficiency of farmland water infrastructure in Henan province and provide guidelines for sustainable utilization of water resources in agriculture. **【Method】** Using data measured from 2013 to 2020 from 15 cities in the province, the efficiency of farmland water infrastructure was evaluated using the DEA model and the Malmquist index. Redundancy analysis was conducted to identify the areas of improvement for non-DEA effective regions in 2020. The evaluation considered both static and dynamic aspect to assess the efficiency of the farmland water infrastructure. **【Result】** In 2020, six cities, including Kaifeng, Hebi, and Jiaozuo, achieved DEA efficiency, while the remaining cities were deemed inefficient. The non-DEA effective regions exhibited varying degrees of input redundancy and output deficiencies. For example, Zhengzhou had high input redundancy in reservoirs and primary industry employment; Xinxiang had high input redundancy in rural electricity consumption; Zhengzhou and Xuchang had output deficiencies in the total output value of agriculture, forestry, animal husbandry, and fishery; Luoyang had output deficiencies in the irrigated area. The total factor productivity of the farmland water infrastructure in the province exhibited an average growth at a rate of 10.0% from 2013 to 2020, driven primarily by technological progress. **【Conclusion】** To promote sustainable development, resource allocation should be tailored to local conditions, and efforts should be made to facilitate the non-agricultural transfer of rural labor, thereby reducing non-effective investment in farmland water conservation. Leveling regional development of farmland water infrastructure can benefit from policy support and innovative funding. Integrating science and technology innovation can facilitate modernization of the farmland water infrastructure.

Key words: farmland water infrastructure; efficiency analysis; DEA-BCC; Malmquist index; redundancy analysis

责任编辑: 赵宇龙

关于评选优秀论文的公告

本刊已开启优秀论文评选活动, 每年评选优秀论文 10 篇, 每篇奖励 800 元, 并颁发获奖证书, 届时将在期刊网站首页展示, 同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部