

# 基于 DEA 模型的 ICT 产业 PPP 项目效率研究\*

文 ◆ 潍坊学院经济管理学院 吴玉轩

## 引言

本文通过建立两阶段 DEA 模型对 1990 ~ 2021 年 64 个国家的 ICT 产业 PPP 项目的效率进行了测度, 结果表明: (1) 除少数国家外, 大部分国家的 PPP 项目缺乏效率。(2) 从区域层面来看, 南亚 ICT 产业的 PPP 项目有效, 撒哈拉以南非洲地区、与南亚地区处于纯技术效率前沿面上, PPP 项目有效。(3) 从收入层面来看, 低收入国家与中低收入国家的 ICT 产业 PPP 项目有效, 而中高收入国家 PPP 项目纯技术有效。

## 1 文献综述

ICT (Information Communication Technology, 信息通信技术) 作为数字经济的重要技术支撑, 随着技术的演进与发展, 其所具备的渗透性、协同性与替代性等“技术—经济”特征, 使其成为衡量数字经济规模的重要理论依据<sup>[1]</sup>。对于 ICT 产业公共基础设施的供给, 通常是由政府进行投资建设与运营。然而, 在不完全契约的条件下, 相对于私人部门, 政府在工程质量提升与成本

削减方面面临着驱动力不足的问题<sup>[2]</sup>, 因此, 应进一步明确公共部门供给的边界, 即在什么情况下公共产品需要由政府提供、什么情况下由私人部门提供更有效率。

PPP (Public Private Partnership, 公私合营) 模式作为一种撬动私人资本参与公共基础设施投资与运营的市场化机制, 可以追溯到欧洲公路收费计划时期, 是对传统的公共服务供给方式的有效替代, 现已经成为各国普遍采用的公共产品供给方式, 是解决基础设施建设融资缺口问题的有效途径<sup>[3]</sup>。PPP 模式有利于激发私人资本的活力与创造力, 是对传统的以政府主导的公共产品供给方式的重要补充。

当前, 国内外学者对 PPP 的研究主要集中在 PPP 模式的经济效应研究上。具体来看, 主要集中在 PPP 项目成败的影响因素研究、PPP 项目的规模效应研究以及 PPP 项目的经济增长效应研究等方面。

(1) PPP 项目成败的影响因素研究。魏晓云和韩立岩<sup>[4]</sup>基于博弈论模型研究了绿色 PPP 项目的最优合约问题, 研究表明, 绿色 PPP 项目搭配高收益项目能够通过增加企业利润、提高企业参与环境治理的积极性应对环境风险, 优于传统的政府补贴模式。罗煜等<sup>[5]</sup>基于“一带一路”沿线国家 PPP 项目的实证研究表明, 被投资国的制度质量对私人部门的风险分担程度的影响具有异质性。其中, 政府的腐败控制、效率以及法治水平的提升有助于促进私人部门承担更多的风险, 而私人部门风险承担增加会使 PPP 项目面临更大的失败风险。赵静<sup>[6]</sup>利用东盟国家 PPP 项目的数据, 基于 Logit 模型的实证研究表明, PPP 项目的成败与投资总额以及项目类别呈负向关系, 而多边金融机构的加入与否、国家开放程度与 PPP 项目的成败呈正向关系。

(2) PPP 项目的规模效应研究。张兵和司琪琪<sup>[7]</sup>针对教育领域 PPP 项目的空间计量分析结果表明, 政府信誉、政府能力以及产业结构等 7 个要素是影响 PPP 项目投资规模差异的主要因素。郝博等<sup>[8]</sup>基于 DEA 模型对 44 家参与 PPP 项目的上市公司的融资效率进行了评价, 研究显示, 债券、股权、内源等 3 种融资方式下企业参与 PPP 项目存在规模收益递增, 但融资效率路径存在异质性。

\*【基金项目】山东省自然科学基金青年基金项目“私人资本与公私合营项目的宏观机制研究”(ZR2021QG068)。

【作者简介】吴玉轩 (1990—), 男, 山东潍坊人, 博士, 教师, 研究方向: 数字经济与数字通信技术、世界经济。

(3) PPP项目的经济增长效应研究。韦彩霞和刘倩<sup>[9]</sup>基于A股数据的实证分析认为企业参与PPP项目通过降低企业非效率投资的程度,进而提高了企业的全要素生产率。陈思霞和张东连<sup>[10]</sup>基于DID方法的研究认为,产业新城PPP项目能有效推动县域经济增长,而相容的联合性激励是主要的作用机制。梅建明和邵鹏程<sup>[11]</sup>采用城市面板数据的实证研究表明,PPP模式的应用能有效促进地区经济增长质量,而这种经济增长质量效应的提升主要通过缓解地方财政压力与地区市场化水平的提升实现。

此外,王筱筱等<sup>[12]</sup>基于一般均衡模型研究了政府补贴与国有参股对PPP企业外部融资影响的问题,詹雷和王波<sup>[13]</sup>通过事件研究法研究了上市公司参与PPP项目的股价反应问题。

现阶段对于PPP的研究呈现出如下的特点:(1)多集中于微观层面的研究,对宏观(整体)层面的实证研究相对较少。(2)多集中于经济效应的研究,对于效率测度的研究较少。本文将基于PPI(Private Participation in Infrastructure,私人参与基础设施)数据库,对全球ICT产业PPP项目的效率进行测度,并从多个维度对PPP项目的效率进行比较。

## 2 数据来源与模型设定

### 2.1 数据来源与变量描述

根据PPI数据库的统计,截至2021年,PPP项目遍布全球128个国家,共有10769个PPP项目,涉及能源、交通、信息通信技术、水处理以及城市固体废物等产业。考虑到数据在时间维度(1990~2021年)上的连续性,并满足DEA(Data Envelope Analysis,数据包络分析)模型的分析条件,本文选择1990~2021年64个国家ICT产业的536个PPP项目作为研究对象,并通过DEA模型测度其效率,变量描述性统计如表1所示。

具体而言,这64个国家分别为阿尔巴尼亚、安哥拉、阿根廷、拜尔罗思、伯利兹、巴西、保加利亚、布基纳法索、柬埔寨、喀麦隆、佛得角、乍得、中国、哥伦比亚、刚果、古巴、科特迪瓦、吉布提、埃及、萨尔瓦多、斐济、加蓬、格鲁吉亚、加纳、印度、印度尼西亚、伊朗、哈萨克斯坦、肯尼亚、吉尔吉斯斯坦、老挝、马其顿、马达加斯加、马拉维、马尔代夫、马里、墨西哥、蒙古国、黑山、缅甸、尼泊尔、尼加

表1 变量描述性统计

变量	变量含义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
investment	投资额(百万美元)	144	355.5431	877.1053	0.2	6550
private_investment	私人投资额(百万美元)	132	262.7203	607.6067	0.2	3602.5
capacity	项目产出(网络连接数)	144	3129.037	11969.94	0.1	117500

数据来源:表格数据根据PPI数据库数据计算得到。在计算时仅保留了项目状态为Active(活跃)的项目,剔除了Cancelled(取消)、Distressed(陷入困境)的项目,最终从536个ICT项目中保留144个PPP项目样本作为最终的研究样本。

拉瓜、尼日尔、尼日利亚、巴基斯坦、秘鲁、菲律宾、俄罗斯、萨摩亚、塞尔维亚、塞舌尔、索马里、南非、叙利亚、坦桑尼亚、泰国、突尼斯、土耳其、乌克兰、瓦努阿图、委内瑞拉、越南、巴勒斯坦、也门。

### 2.2 DEA模型

DEA模型由Charnes、Cooper和Rhodes<sup>[14]</sup>于1978年提出,是一种基于决策单元间相对比较的非参数技术效率分析方法,并给出了DEA理论的最初模型化方法,将他们提出的这一模型称之为CCR模型。

CCR模型认为生产技术的规模收益不变,但是在生产过程中,许多生产过程并没有处于最优的生产规模状态,也就是说处于规模收益可变的状况,因此CCR模型得出的是包含规模效率的技术效率水平。Banker等<sup>[15]</sup>提出了用来估计规模效率的DEA模型,该模型基于规模收益可变的假定,得到的技术效率排除了规模因素对于效率的影响,这一模型一般被称为BCC模型。

对于 $m$ 种投入、 $n$ 种产出、 $q$ 个决策单元的投入导向型BCC模型,第 $l$ 个决策单元的模型可以表示如下。

$$\begin{aligned} \min \theta \\ s.t. \sum_{j=1}^q \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{il} \\ \sum_{j=1}^q \lambda_j y_{pj} \geq y_{pl} \\ \sum_{j=1}^q \lambda_j = \square \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

其中, $\theta$ 为效率值, $i=1,2,\dots,m$ ;  $p=1,2,\dots,n$ ;  $j=1,2,\dots,q$ 。

## 3 模型结果

本文采用BCC模型,同时设

定为两阶段 DEA，通过 DEAP2.1 软件得到效率计算结果，国家层面的 PPP 效率度量如表 2 所示。

从表 2 看，第 2 列综合技术效率为 CRS 模型的技术效率值；第 3 列纯技术效率为 VRS 模型得到的技术效率，因为剔除了规模效率，因而又称之为纯技术效率；第 4 列为规模效率，一般而言，规模效率 = 综合技术效率 / 纯技术效率。

从 DEA 模型效率计算结果来看，在 64 个国家中，就综合技术效率与纯技术效率而言，除萨尔瓦多、尼泊尔、委内瑞拉 3 个国家处于效率前沿外，其余国家的 ICT 产业 PPP 项目的效率均不在效率前沿的位置，反映出就“投入—产出”而言，大多数 ICT 产业 PPP 项目面临效率不足的问题。同时，大多数国家 PPP 项目的收益递减，也就是同样比例的投入增加无法获得同样的产出增加，面临产出不足的窘境。接下来，本文从区域、收入类别等维度对 PPP 项目的效率进行度量。

从区域层面看，PPI 数据库按照世界银行的划分办法，将全球分为六大区域，分别为撒哈拉以南非洲地区、东亚与太平洋地区、欧洲与中亚地区、拉丁美洲与加勒比海地区、中东与北非地区、南亚。区域层面的 PPP 效率度量如表 3 所示，根据表 3 的测算结果，无论是从综合技术效率还是纯技术效率上看，南亚均处于效率前沿面上，故可以认为南亚 ICT 产业的 PPP 项目有效。考虑到规模效率，撒哈拉以南非洲地区和南亚地区均处于纯技术效率前沿面上，而其他区域的 PPP 项目均面临效率不足问题。值得注意的是，非洲地区和欧洲与中

表 2 国家层面的 PPP 效率度量

国家	综合技术效率	纯技术效率	规模效率值	规模收益
阿尔巴尼亚	0	0.016	0.023	递减
安哥拉	0	0.031	0.016	递减
阿根廷	0	0.047	0.005	递减
白俄罗斯	0.001	0.063	0.009	递减
伯利兹	0.039	0.088	0.447	递减
巴西	0	0.094	0.003	递减
保加利亚	0.001	0.11	0.011	递减
布基纳法索	0.002	0.127	0.012	递减
柬埔寨	0.006	0.142	0.042	递减
喀麦隆	0.007	0.157	0.047	递减
佛得角	0.039	0.18	0.217	递减
乍得	0.004	0.193	0.023	递减
中国	0	0.203	0.001	递减
哥伦比亚	0.002	0.22	0.009	递减
刚果	0.034	0.245	0.137	递减
古巴	0.006	0.254	0.023	递减
科特迪瓦	0.003	0.272	0.011	递减
吉布提	0.15	0.346	0.433	递减
埃及	0.002	0.298	0.008	递减
萨尔瓦多	1	1	1	不变

数据来源：通过 DEAP 2.1 软件计算，限于本文篇幅，仅展示了前 20 个国家的效率测算结果。

表 3 区域层面的 PPP 效率度量

区域	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
撒哈拉以南非洲	0.263	1	0.263	递增
东亚与太平洋	0.18	0.333	0.539	递减
欧洲与中亚	0.541	0.604	0.896	递增
拉丁美洲与加勒比海	0.243	0.667	0.364	递减
中东与北非	0.523	0.833	0.628	递减
南亚	1	1	1	不变
均值	0.458	0.74	0.615	

数据来源：根据 PPI 数据库数据计算得到，下同。

亚地区的 PPP 项目处于规模收益递增的阶段，意味着投入增加的产出红利依然存在。

收入层面的 PPP 效率度量如表 4 所示，表 4 测算了不同收入类型国家 PPP 项目的效率值。具体而言，低收入国家（国民收入低于 1135

表4 收入层面的 PPP 效率度量

收入类型	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
低收入	1	1	1	不变
中低收入	1	1	1	不变
中高收入	0.905	1	0.905	递减
均值	0.968	1	0.968	

美元)与中低收入国家(国民收入介于1136~4465美元)的ICT产业PPP效率均处于前沿面上,而中高收入(国民收入介于4466~13845美元)国家ICT产业PPP效率的纯技术效率值处于效率前沿面上。因此,对于中低收入国家而言,PPP项目有效,而对于中高收入国家而言,考虑ICT产业PPP的效率时,需要剔除规模效率因素。

## 结语

本文通过建立两阶段DEA模型对64个国家的ICT产业PPP项目的效率进行了测度,效率计算结果表明:(1)除少数国家外,大部分国家的PPP项目缺乏效率。(2)从区域层面来看,南亚ICT产业的PPP项目有效,如果考虑规模效率,撒哈拉以南非洲地区和南亚地区处于纯技术效率前沿面上,这两个地区PPP项目有效。(3)从收入层面来看,低收入国家与中低收入国家的ICT产业PPP项目有效,而中高收入国家PPP项目是纯技术有效。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 蔡跃洲,牛新星.中国数字经济增加值规模测算及结构分析[J].中国社会科学,2021(11):4-30+204.
- [2] Hart O,Shleifer A,Vishny R W.The Proper Scope of Government: Theory and an Application to Prisons[J].The Quarterly Journal of Economics,1997,112(4):1127-1161.
- [3] 赵景华,陈新明.“一带一路”沿线国家PPP投资现状、经验及对我国的借鉴启示[J].国际贸易,2017(9):57-60+65.
- [4] 魏晓云,韩立岩.绿色PPP项目组合的最优契约:经济与环境效应的福利视角[J].金融研究,2022(3):60-78.
- [5] 罗煜,王芳,陈熙.制度质量和国际金融机构如何影响PPP项目的成效——基于“一带一路”46国经验数据的研究[J].金融研究,2017(4):61-77.
- [6] 赵静.制度质量、多边金融机构支持对PPP项目成效的影响研究——基于东盟国家PPP项目数据的实证研究[J].国际贸易问题,2020(5):161-174.
- [7] 张兵,司琪琪.基于空间计量模型的PPP项目投资动因回归分析——以教育领域PPP项目为例[J].项目管理技术,2023,21(2):31-36.
- [8] 郝博,张蔚文,陈峰.上市公司参与PPP项目的融资效率研究——基于DEA模型的实证分析[J].工业技术经济,2023,42(5):132-142.
- [9] 韦彩霞,刘倩.企业参与PPP项目对全要素生产率提升的影响——基于微观

层面的经验分析[J].商业经济研究,2023(18):158-162.

[10] 陈思霞,张冬连.产业新城PPP项目与县域经济增长[J].财贸经济,2021,42(4):37-52.

[11] 梅建明,邵鹏程.PPP模式的经济增长质量效应研究——来自微观层面的证据[J].南方经济,2022(9):1-17.

[12] 王筱筱,李时宇,袁诚.政府补贴和国有参股对参与PPP企业外部融资的影响[J].金融研究,2022(3):96-114.

[13] 詹雷,王波.上市公司参与PPP的股价反应及其异质性——来自中国沪深两市的经验证据[J].财政研究,2020(8):101-117.

[14] Charnes A,Cooper W W,Rhodes E.Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J].European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.

[15] 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):1078-1092.

