

数据包络分析在农网投资效益评估中的应用

杨丽徙¹, 张亮¹, 张四清², 吕树河²

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 焦作市电力公司, 河南 焦作 454150)

摘要: 为了研究农村电网投资效益问题, 从电网投入与产出的角度, 构建了投资效益评估指标体系, 应用数据包络的评估方法, 对各电网投资效益进行测算和评估; 得到了基于综合投入与综合产出的电网效益值、非有效网络与最优网络的差距、投入要素的冗余等信息。将现状网络与规划网络放在同一参考集中综合评价, 可量化电网规划方案对提高网络效益值产生的影响程度及方案的优劣, 有利于相关决策人员制定和调整网络规划方案, 优化资源配置, 提高资源利用效率。实例计算结果证明了该方法的有效性。

关键词: 农村电网; 网络投资效益; 电网规划; 数据包络法; 综合评估

Application of DEA in evaluation of rural power network investment benefit

YANG Li-xi¹, ZHANG Liang¹, ZHANG Si-qing², Lü Shu-he²

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Jiaozuo Power Supply Company, Jiaozuo 454150, China)

Abstract: In order to research the investment benefit of the rural power network, the data envelopment analysis (DEA) is applied in this paper. In this method, the input and output indices are set from the viewpoint of input-output and the utilization efficiency of these power networks which are calculated and evaluated by DEA. And following results are obtained, including the investment benefit of the rural power network, the disparity between realism and optimal conditions of inefficient network, the redundant statistics of input factors. Evaluating the existing network and the planning network in a collection of identical elements, it can quantify the impact of the network planning on improving the investment benefit. The method can help the decision-makers to establish or modify network planning so as to improve the efficiency of allocating resource. Calculation and analysis results of actual case show that the proposed method is scientific and rational.

This work is supported by National Natural Science Foundation of the Education Department of Henan Province(No. 2009A470008).

Key words: rural power network; investment benefit of network; power network planning; data envelopment analysis; comprehensive evaluation

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)04-0049-05

0 引言

21世纪以来我国加大了对农村电网建设的投资力度。但同时也出现一些问题, 如设计规划不合理; 过分注重社会效益而忽略经济效益等。从“建设节约型社会”、提高农网的经济效益的角度出发, 科学地评价农村电网的投资效益问题意义重大。

目前的电网评估工作主要是采用德尔菲法和层次分析法对电网的供电可靠性和供电质量等方面进行评估^[1]; 还有学者基于节约的理念, 采用层次分析和数据包络法优化网络规划的资金流向和资源损

耗^[2]; 对电网的综合评估也取得了一定的成果, 但对于农村电网的投资效益的量化分析依然是一个亟待解决的问题。

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)不需要任何权重假设, 不必事先确定输入输出间的显函数关系, 避免了其它评估方法在权重选取中的主观因素, 减少了误差, 丰富了生产函数理论及应用技术。在DEA模型中综合考虑各种经济要素, 将其用于投资效益分析, 是近年来DEA方法应用的一个新方向^[3]。本文针对农村电网经济效益分析的情况以及评估方法自身的特点, 应用DEA方法, 由农网建设投资费用与其产出的直接效益比率对电网进行量化分析, 为减少资源无效投入提供

基金资助: 河南省教育厅自然科学基金项目(2009A470008)

了科学的辅助决策依据。

1 数据包络分析

DEA 是运筹学、管理科学和数理经济学交叉研究的一个新的领域，它是由 Charnes 和 Cooper 等人于 1978 年基于“相对效率评价”概念发展起来的一种系统分析方法。

1.1 C²R 模型

C²R 模型是运用最广泛的 DEA 模型之一。带有非阿基米德无穷小量和松弛变量的数学模型为：

$$\begin{aligned} \min \theta - \varepsilon & \left[\sum_{r=1}^l S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right] \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{rj} + S_r^- - \theta x_{rj_0} = 0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{rj_0} \\ & \lambda_j \geq 0, j=1,2,\dots,n \\ & S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

其中： n 为决策单元 DMU 的个数； θ 为投入相对于产出的有效利用程度，是决策单元 DMU 的相对效益值($0 \leq \theta \leq 1$)； x_{ij} 为第 j 个决策单元对第 i 种类型投入的投入量； y_{rj} 为第 j 个决策单元对第 r 种类型产出的产出量； λ_j 表示若干个决策单元的线性组合系数； S_r^+ 与 S_i^- 均为松弛变量； ε 为非阿基米德无穷小量，实际应用中可取 $\varepsilon=10^{-6}$ 。

1.2 决策单元的 DEA 有效分类

根据资源使用情况和 θ 、 S_i^- 、 S_r^+ 的取值，可将决策单元分为三类：①若 $\theta=1$ 且 $S_i^- = S_r^+ = 0$ ，则称 DMU 为 DEA 有效；②若 $\theta=1$ 且 $S_i^- > 0$ 或 $S_r^+ > 0$ ，则称 DMU 为 DEA 弱有效；③若 $\theta < 1$ ，则称 DMU 为非 DEA 有效单元。

对于一个非 DEA 有效的 DMU₀，根据式(1)得到的最优解是 DMU₀ 对应的投入产出(X_{i_0} ， Y_{r_0})在 DEA 相对有效面上的投影，即：

$$\begin{aligned} \hat{X}_{i_0} &= X_{i_0} \theta_0 - S_i^-, \hat{Y}_{r_0} = Y_{r_0} + S_r^+ \\ i &= 1, \dots, m, r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (2)$$

“投影”就是该决策单元的最佳投入与产出量。作为改善的目标，原投入与最佳投入的差异 ΔX_{i_0} 可称作“投入冗余”，原产出与最佳产出的差异 ΔY_{r_0} 可称作“产出不足”。

$$\Delta X_{i_0} = X_{i_0} - \hat{X}_{i_0}, \Delta Y_{r_0} = \hat{Y}_{r_0} - Y_{r_0} \quad (3)$$

DMU₀ 可通过减少 ΔX_{i_0} 的投入量或增加 ΔY_{r_0} 的产出量改善其相对效益值。

1.3 DEA 有效的经济含义

生产函数 $Y = y(x)$ 表示投入量为 x 时获得的最大输出，如图 1 所示，此时生产函数图像上的点 (x 表示输入， Y 表示输出) 所对应的决策单元，从生产函数的角度看，是处于“技术有效”的状态^[6]。

$x \in (0, x_1)$ ， $Y' = y'(x) > 0$ ，表示当投入量小于 x_1 时，边际函数 $Y' = y'(x)$ 为规模收益递增函数，系统有继续投资的积极性； $x \in (x_1, +\infty)$ ， $Y' = y'(x) < 0$ ，表示投入再增加时，收益(产出)增加的效率已不高了，边际函数 $Y' = y'(x)$ 为规模收益递减函数，已没有再继续增加投资的积极性。

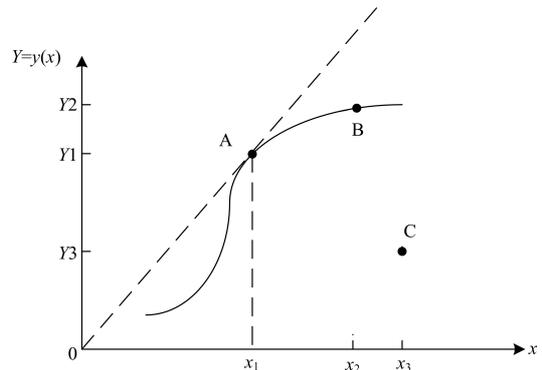


图 1 生产函数曲线图

Fig.1 Curve of production function

1.4 C²GS² 模型

在 C²R 模型中，生产可能集 T 满足凸性、锥性、无效性和最小性四条公理。其中的“锥性”就是对于给定的输入输出点，通过有效规模值来外推出 T 的规模有效性和技术有效性。

如果不考虑其“锥性”，无论决策单元是否规模有效，只要它位于有效生产面上，其效益指数就为 1；增加对权重 λ_j 的凸性约束：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (4)$$

就可以将凸多面体生产可能集 T 构建的 C²R 模型转化为 C²GS² 模型^[5]，仅用来评价其技术有效性。

2 评价指标体系的建立

农村电网建设投入主要取决于变电站和线路的总投资费用，与变电容量和线路长度直接相关。产出指标则需要反映电网投入能够最终转化为直接经济效益以及最大程度满足用电需求的能力。

通过统计分析，利用数据包络分析评价农村电网综合效益的评估指标体系如图 2 所示。

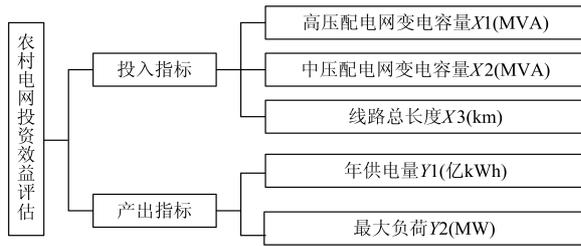


图 2 指标体系结构图

Fig.2 Hierarchy of the evaluation indexes system

3 算例分析

3.1 基于 C²R 模型的网络投资效益评估

利用数据包络分析中的 C²R 模型, 对某省 8 县市农村电网的网络投资效益进行评估, 具体的电网建设投入和经济效益产出数据如表 1 所示。根据表 1 所列投入产出数据, 利用线性规划软件对式 (1) 进行规划求解, 具体结果见表 2、表 3。

表 1 网络效益评估指标的初始值

Tab.1 Input values of each selected evaluation index

决策单元 DMU	2007 年投入指标			2007 年产出指标	
	X1	X2	X3	Y1	Y2
地区 1	726.9	625.11	2 415.6	11.2	230
地区 2	281	204.45	1 500.66	5.06	130
地区 3	337.9	192.7	835.01	4.97	110.80
地区 4	433.6	317.12	835.29	7.16	124.76
地区 5	403.95	377.35	1 311.93	8.05	147.00
地区 6	260.25	199.12	724.63	4.56	101.20
地区 7	257.3	289.7	765.6	4.76	81.00
地区 8	205.05	178.3	1 100.2	2.65	63.00

表 2 模型参数求解结果

Tab.2 Calculation results of DEA model

决策单元 DMU	松弛变量					效益值
	S ₁ ⁻	S ₂ ⁻	S ₃ ⁻	S ₁ ⁺	S ₂ ⁺	
地区 1	0	9.447	0	0	0	0.820 87
地区 2	0	0	0	0	0	1
地区 3	0.001	0	0	0.054	0	0.991 40
地区 4	0	0	0	0	0	1
地区 5	0	0	0	0	0	1
地区 6	0	0	0	0	0	1
地区 7	0	57.828	0	0	5.217	0.962 30
地区 8	0	13.282	75.433	0	0	0.699 84

表 3 网络效益综合决策结果分析

Tab.3 Results of comprehensive judgement

DMU	K 值	相对有效性	技术有效性	规模有效性
地区 1	K>1	DEA 无效	技术无效	规模收益递减
地区 2	K=1	DEA 有效	技术有效	规模有效
地区 3	K>1	DEA 无效	技术无效	规模收益递减
地区 4	K=1	DEA 有效	技术有效	规模有效
地区 5	K=1	DEA 有效	技术有效	规模有效
地区 6	K=1	DEA 有效	技术有效	规模有效
地区 7	K<1	DEA 无效	技术无效	规模收益递增
地区 8	K<1	DEA 无效	技术无效	规模收益递增

从表 3 可知, 在 8 县市中, 地区 2、地区 4、地区 5 和地区 6 评价结果为 DEA 有效, 表明以上 4 个地区的电网建设投入与效益产出达到了较好的状态。既保证了各投入要素得到充分利用, 又能最大程度地满足当地用电需要; 剩余 4 个决策单元均为 DEA 与技术无效单元, 说明投入与产出之间的组合没有达到最优, 存在输入剩余或者输出亏空。从 K 值可知地区 7 和地区 8 的电网是规模收益递增的, 表示有继续增加电网建设投入的积极性; 而两个规模收益递减的县市表明当前电网建设规模已经过大, 继续增加投入时, 收益(产出)增加的效率已不高了, 即没有再继续增加投资的积极性。

在各地区电网保持目前产出水平不变的前提下, 要使 DEA 无效的决策单元转变成相对有效的单元, 应减少相关投入要素, 运用“投影”理论, 得到的投入要素冗余统计见表 4。

由统计可知, 效益值偏低的地区均存在不同程度的投入要素冗余。其中部分地区线路长度冗余占了总线路长度相当大的比重, 这与部分农村电网需要突出社会效益而使得线路总体上偏长这一事实相符。

表 4 非 DEA 有效单元的投入冗余

Tab.4 Redundancies of input factors

DMU	效益值 θ	高压网容量 冗余/MVA	中压网容量 冗余/MVA	线路长度 冗余/km
地区 1	0.820 87	130.21	121.42	432.71
地区 3	0.991 40	2.91	1.66	7.18
地区 7	0.962 30	9.70	68.75	28.86
地区 8	0.699 84	61.55	66.80	405.67

随着决策单元数量的变化, DEA 的评估应用范围也可以随之变化。在目前 8 个县市电网综合评价的基础上, 作者已对某省所有 107 个县市农网的投资效益情况进行评估计算, 并将结果分类排序。从评估结果可以看出, 该省 107 个县市中, 共有 12 个县市为 DEA 有效单元, 其余 95 个县市为非有效单元。对于所有 DEA 非有效单元, 可以计算得到相

应的各投入资源冗余情况以及规模收益情况，相关决策人员可以将此作为制定当地电网中长期规划以及投资措施的参考指标。

3.2 C²R 与 C²GS² 模型网络效益评价的对比

C²R 是同时针对规模有效和技术有效而言的“总体”有效性；C²GS² 是评价纯技术有效性的。在规模收益不变的假设下，C²R 的生产可能集为闭凸锥；而 C²GS² 则反映了规模收益可变的情况，对应的生产可能集仅为凸集。所以，这两种模型计算出各 DMU 的相对效益值，对应于 C²GS² 的值应普遍高于 C²R 的值，这一点可以从表 5 中数据得到印证。

表 5 两模型求解结果比较

Tab.5 Comparison of model C²R and model C²GS²

DMU	效益值 θ		构成 DEA 有效前沿面 DMU 序号		构成有效面总次数
	C ² R	C ² GS ²	C ² R	C ² GS ²	
地区 1	0.820 87	1	2、5、6	1	1
地区 2	1	1	2	2	4
地区 3	0.991 40	1	3、4	3	2
地区 4	1	1	4	4	4
地区 5	1	1	5	5	5
地区 6	1	1	6	6	3
地区 7	0.962 30	1	4、5	7	1
地区 8	0.699 84	1	2、5	8	1

在 C²R 模型下，8 县市中处于 DEA 有效区域的县市有 4 个，平均效益值为 0.934。而在 C²GS² 模型下评价纯技术有效性，所有的县市均处于有效的状态。从纯技术角度(C²GS²)上看，各电网效益值均为 1，说明在电网结构，满足用电需求上各县市均具有较好的扩展性，但由于部分电网规模效益情况较差，导致整体评估值(C²R)下降。

表 5 还给出了在评估各 DMU 时，不同模型下 DEA 有效前沿面的构成。在构成有效前沿面上出现次数较多的 DMU 应具有普遍的市场优势和竞争力。从表 5 统计可以看出地区 5 构成有效前沿面的次数最多，所以虽然有 4 个决策单元在两种 DEA 模型下效益值均为 1，但相对来说，地区 5 是最具有市场优势的决策单元。

3.3 规划方案的网络效益评估与分析

为了合理评估各电网规划方案，将 8 个决策单元 2007 年现状电网数据和 2015 年规划电网的数据放在一起组成一个含有 16 个样本的参考集，对这 16 个样本使用 C²R 模型进行评估，评估初值见表 1 和表 6。网络规划方案实施后的网络投资效益比较结果如表 7 所示。

由表 7 可以看出，将现状与规划数据组合在一

起进行综合评估时，各地区 2007 年现状电网的投资效益值较表 2 中的效益值均有不同程度的下降，而 2015 年规划网络的效益值则普遍较高，平均变化率达到 44.25%。可见当由相关专家对各地区电网做出的“十二五”电网规划方案具体实施后，电网建设规模与相应产出的经济效益之间的比例关系将进一步得到优化。这既表明了规划方案的有效性，也说明了 DEA 方法的合理性和可行性。

表 6 网络效益评价指标的初始值

Tab.6 Input values of each selected evaluation index

DMU	2015 年投入指标			2015 年产出指标	
	X1	X2	X3	Y1	Y2
地区 1	1 713.65	924.51	3 291.3	37.95	694
地区 2	828.2	416.05	2 647.17	16.31	355
地区 3	954.2	542.8	1 428.73	17.59	398.5
地区 4	1 031.3	821.49	2 685.59	24.57	465
地区 5	850.2	410	2 572.1	18.14	374
地区 6	598.25	354.32	1 920.93	13.02	277.61
地区 7	632.7	473	1 579.05	20.59	351.7
地区 8	532.55	671.9	3 218.3	9.89	228

表 7 DEA 模型求解结果

Tab.7 Calculation result of DEA model

DMU	2007 年效益值 θ_1	2015 年效益值 θ_2	变化率/%
地区 1	0.569 22	0.985 42	73
地区 2	0.845 57	0.955 32	13
地区 3	0.710 39	1	41
地区 4	0.659 77	0.811 14	23
地区 5	0.654 66	1	53
地区 6	0.699 54	0.950 93	36
地区 7	0.568 47	1	76
地区 8	0.552 72	0.770 19	39

4 结论

(1) 基于 DEA 的农村电网投资效益评估方法可以得到包括网络投资效益、非有效网络与其理想状况的差距、投入要素冗余以及规模有效性分布等管理信息，可以为相关部门制定提高电网效益的措施、为制定电网投资和规划方案提供参考依据。

(2) 将现状电网和规划电网放在同一参考集中进行综合评估，并将评估结果进行分析比较，可以更直观地看出电网规划方案的实施对投资效益提高产生的显著效果。

参考文献

- [1] 李晓辉, 张来, 李小宇, 等. 基于层次分析法的现状电网评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(14): 57-61.

- LI Xiao-hui, ZHANG Lai, LI Xiao-yu, et al. The Research on the Evaluation System for Existing Network Based on Analytic Hierarchy Process and Delphi Method [J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(14): 57-61.
- [2] 刘璐洁, 胡荣, 符杨, 等. 基于节约理念的配电网规划方案综合评价[J]. 电网技术, 2008, 32(16): 66-70. LIU Lu-jie, HU Rong, FU Yang, et al. Comprehensive Evaluation of Resource Economy Based Distribution Network Planning Scheme[J]. Power System Technology, 2008, 32(16): 66-70.
- [3] Anil P, Feng X M, David L. Performance Evaluation of Electric Distribution Utilities Based on Data Envelopment Analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(3): 400-405.
- [4] Lo F Y, Chien C F, James T, et al. A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and Investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16(1): 170-178.
- [5] 简志峰. 数据包络分析(DEA)及其在成本收益分析中的应用[D]. 天津: 天津大学, 2003.
- [6] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1987.
- [7] 张铁峰, 苑津莎, 王江涛, 等. 基于数据包络分析的配电网线路利用有效性研究[J]. 电网技术, 2006, 30(4): 97-102.
- ZHANG Tie-feng, YUAN Jin-sha, WANG Jiang-tao, et al. Utilization Availability of Distribution Lines Based on Data Envelopment Analysis[J]. Power System Technology, 2006, 30(4): 97-102.
- [8] 何晓阳, 康庆平, 肖贵申. 基于可靠性成本一效益分析的电网规划[J]. 继电器, 2005, 33(10): 8-11. HE Xiao-yang, KANG Qing-ping, XIAO Gui-shen. Power Network Planning Based on Reliability of Cost-benefit Analysis[J]. Relay, 2005, 33(10): 8-11.
- [9] 韦钢, 吴伟力, 张子阳, 等. 综合考虑可靠性成本与缺电成本的电网规划[J]. 继电器, 2006, 34(17): 38-41. WEI Gang, WU Wei-li, ZHANG Zi-yang, et al. Power Network Planning Considering Reliability Cost and Unserved Energy Cost[J]. Relay, 2006, 34(17): 38-41.

收稿日期: 2009-03-13; 修回日期: 2009-04-21

作者简介:

杨丽徒(1956-), 女, 教授, 博士, 主要从事电力系统运行与规划、电力 GIS 应用方面的教学与研究;

张亮(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统运行与规划方面的研究; E-mail: snakeyueer@163.com

张四清(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统运行与规划管理方面的研究。

(上接第 14 页 continued from page 14)

- ZHAO Yuan, ZHOU Jia-qi, ZHOU Nian-cheng, et al. An Analytical Approach for Bulk Power Systems Reliability Assessment [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(5): 19-25.
- [5] 张宁, 韩富春, 童国力, 等. 架空输电线路运行状态的可靠性评价[J]. 山西电力, 2006(5): 9-10, 15. ZHANG Ning, HAN Fu-chun, TONG Guo-li, et al. Overhead Transmitting Line Operating State Reliability[J]. Shanxi Electric Power, 2006(5): 9-10, 15.
- [6] 韩富春, 张宁, 童国力, 等. 架空输电线路运行状态评估的 FTA 法研究[J]. 太原理工大学学报, 2007, 38(1): 45-47. HAN Fu-chun, ZHANG Ning, TONG Guo-li, et al. The State Evaluation of Overhead Transmission Lines Base on FTA[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2007, 38(1): 45-47.
- [7] 王韶, 周家启. 双回平行输电线路可靠性模型[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(9): 53-56. WANG Shao, ZHOU Jia-qi. A Reliability Evaluation Model for Two Transmission Lines in Parallel[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(9): 53-56.
- [8] 任震, 梁振升, 黄雯莹. 考虑相关故障的双回输电线路可靠性评估[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(6): 14-17. REN Zhen, LIANG Zhen-sheng, HUANG Wen-ying. Reliability Evaluation of Two Parallel Transmission Lines with Respect to Relevant Fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(6): 14-17.
- [9] Billinton R, Allan R N. 电力系统可靠性评估[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986.
- [10] 郭永基. 电力系统可靠性原理的应用(下)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986.
- [11] Endrenyi J. Three-State Models in Power System Reliability Evaluations[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1971, PAS-90(4): 1909-1916.
- [12] 李文沅. 电力系统风险评估模型、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] 金星, 洪延姬. 系统可靠性与可用性分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

收稿日期: 2009-03-07; 修回日期: 2009-05-20

作者简介:

何金定(1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度运行、电力市场及电能质量、计算机应用等方面的科研、工程工作; E-mail: hejind@163.com

贺星棋(1978-), 男, 博士, 工程师, 长期从事电力系统运行、电网稳定等方面的科研、工程工作。