

# 基于数据包络分析的地区电网投入产出效率评价研究

王海燕<sup>1</sup>, 马瑞光<sup>1</sup>, 汪伟<sup>1</sup>, 魏俊<sup>1</sup>, 杨东园<sup>2</sup>, 毕林贵<sup>3</sup>

(1. 国网四川省电力公司经济技术研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司调控中心, 四川 成都 610041; 3. 国网眉山供电公司, 四川 眉山 620000)

**摘要:** 针对地区电网发展特点, 从电网投入产出角度出发, 研究和探索了地区电网评估体系, 利用数据包络分析方法, 以 220 kV 及 110 kV 电网、35 kV 及以下电网分别作为研究对象构建投入产出评价模型, 通过综合效率分析、投影分析, 得到了基于投入与产出的电网效益值、非有效单元与目标值的差距、投入要素的冗余等信息, 系统全面地评价了地区电网的投入产出效率, 为优化资源配置, 提高资源使用效率提供了科学的辅助决策依据, 有利于促进各级电网协调发展。实例计算结果证明了该方法的有效性。

**关键词:** 数据包络分析; 投入产出效率; 电网评价

**Abstract:** According to the characteristics of the development of regional power grid, the regional power grid evaluation system is studied and explored as viewed from the power grid input-output. Using data envelopment analysis method and taking the power grids with 220 kV ~ 110 kV and 35 kV and below as objective respectively, the input-output evaluation model is established. Through the comprehensive efficiency analysis and projection analysis, the grid efficiency value based on the inputs and outputs, the gap between non-effective unit and the target value and other information elements are obtained, which comprehensively evaluates the input-output efficiency of the regional power grid. It provides a scientific decision support for optimizing the allocation of resources and improving the efficient use of resources, which is conducive to promoting the coordinated development of power grids at all levels. The results of calculation examples demonstrate the effectiveness of the proposed method.

**Key words:** data envelopment analysis; input-output efficiency; power grid evaluation

中图分类号: TM71 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)06-0078-07

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.06.018

## 0 引言

地区电网作为省级(直辖市、自治区)电网的下一级电网,是整个电力系统与用户联系、向用户供应和分配电能的重要环节<sup>[1]</sup>。“十二五”以来,随着国民经济的持续快速发展和人民生活水平的提高,地区电网建设的力度在逐步加大,相应投入的资金也会越来越多。如果投资规模过小或滞后,必然满足不了经济社会发展和负荷增长的要求,还影响企业长远发展,达不到预期的投资效益。但是如果投资规模过大或过于超前,必然造成资金浪费和资源过剩,还会造成企业经营压力。因此有必要对地区电网开展投入产出效率评价研究,进而判断电网建设规模是否适度、投入与产出是否匹配等,对加强地区电网建设指导,实现电网精准投资,促使地区电网科

学、合理、有序地发展,提升电网发展能力和企业发展效益具有重要意义。

目前,比较常见的效率分析法有参数法、随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA)、数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法等等。参数法的局限性较大,且计算复杂,主要适用于单产出和多投入的相对效率测算<sup>[2]</sup>。文献[3]基于SFA方法建立了随机前沿知识生产函数模型,并对中国30个省市碳排放效率进行了实例研究。DEA是在“相对效率评价”概念的基础上发展起来的一种评价具有相同类型投入和产出的若干决策单元相对效率的非参数统计方法<sup>[4]</sup>,客观性强、适用于多输入-多输出复杂系统,将其应用于电网企业效率和投资效益评价分析,是近年来DEA方法应用的一个新方向<sup>[5-9]</sup>。

从地区电网企业的实际情况出发,以220 kV及

110 kV 电网和 35 kV 及以下电网为研究对象分别构建了基于数据包络分析的电网投资效益评价模型,对各层级电网的投入和产出进行量化分析,为减少资源无效投入提供了科学的辅助决策依据。

## 1 基于 DEA 的地区电网投入产出效益评价模型

### 1.1 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,特别适合处理有多输入和多输出的复杂系统。

$C^2R$  模型是运用最广泛的 DEA 模型之一。带有阿基米德无穷小量和松弛变量的数学模型为

$$\begin{aligned}
& \min \theta - \varepsilon \left[ \sum_{r=1}^t S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right] \\
& s. t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- - \theta x_{j0} = 0 \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{r0} \\
& \lambda_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n \\
& S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0
\end{aligned} \tag{1}$$

式中:  $n$  为决策单元 DMU( decision making unit) 的个数;  $\theta$  为投入相对于产出的有效利用程度,是决策单元的相对效益值( $0 \leq \theta \leq 1$ ),反映了 DMU 的资源综合配置效率;  $x_{ij}$  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;  $\lambda_j$  表示若干个决策单元的线性组合系数;  $S_i^-$  和  $S_r^+$  均为松弛变量,分别表示投入的冗余量和产出的不足量;  $\varepsilon$  为非阿基米德无穷小量,实际应用中可取  $\varepsilon = 10^{-6}$ 。

式(1)中,当  $\theta = 1$  且  $S_i^- = 0, S_r^+ = 0$  时,表示这个 DMU 是 DEA 有效的;反之,为弱有效( $\theta = 1$  且  $S_i^- > 0$  或  $S_r^+ > 0$ ) 或非 DEA 有效( $\theta < 1$ )。

为了研究技术无效的形成因素,相关学者扩大了  $C^2R$  模型的使用范围和比率概念,在式(1)中增加约束条件  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ,得到解决企业规模报酬不变假设与实际差距的  $BC^2$  模型。从该模型中可以得到技术效率,进而可以求出规模效率以及规模收益情况(综合效率 = 技术效率  $\times$  规模效率)。

对非 DEA 有效的 DMU 分析时,需要得出投入和产出改进方向和达到目标等信息,为企业实际经营活动提高生产和管理效率提供建议。DEA 模型中运用的方法就是投影分析,即:  $\hat{x}_{j0} = x_{j0} \theta_0 - S_i^-$ ,  $\hat{y}_{j0} = y_{j0} \theta_0 + S_r^+$ ,  $\hat{x}_{j0}$  和  $\hat{y}_{j0}$  为非 DEA 有效单元达到 DEA 有效所调整后的投入产出量,是最优化后的最终结果。

### 1.2 评估指标选取

通过对地区电网建设投资情况进行调研;同时根据国内外文献研究内容及咨询有关专家的意见,结合“普遍适用性原则”和“易获取性原则”,最终选出了包括变压器容量、线路长度、容载比、综合线损率、售电量、 $N-1$  通过率、电网利用效率等全面描述投资状态的各项投入产出指标。根据各类投资的安全性、经济性效率作为目标值,将直接衡量安全性、经济性的指标作为输出指标,间接影响的指标作为输入指标。

#### 1) 输入指标

变压器容量/线路长度: 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。

容载比: 为变电容量与最高负荷之比,是衡量电网可靠性与经济性的重要评价指标。容载比取值过大,容易造成投资浪费,取值过小,又影响电网的安全可靠运行,因此容载比属于偏中间型指标,位于导则范围内或与导则规定范围越接近越好。对这类指标,处理方式是计算出其与理想值之差的绝对值作为输入。

综合线损率: 指供电系统在传输电能的过程中,在线路和变压器中的损耗电量占总供电量的百分比,是供电企业的重要经济技术指标,综合反映了电网企业的经营管理水平。

#### 2) 输出指标

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。

售电量: 电网公司产出的重要评价指标,各级电网建设最基本的要求就是要最大程度地满足当地用电需求。

“ $N-1$ ”通过率: 表征电网安全性水平的重要指标。

电网利用效率: 是电网运行水平和现代电网企业运营效率的重要体现,与经济性密切相关,是企业关注的核心问题。电网利用效率可以用最大负载率和等效平均负载率加以衡量。

### 1.3 基于 DEA 的地区电网投入产出评估模型

作为省网下一级的地区电网,其电压等级主要由 220 kV 及以下构成。为全面细致衡量电网的投入产出效率,结合上述各类指标涵义,基于地区电网各层级电网发展特点和所处发展阶段,将 220 kV 及 110kV 电网和 35 kV 及以下电网分别作为研究对象构建投入产出评价模型,以便清晰反映各层级电网在投入产出方面存在的问题或不足,有助于找准对策,做出综合决策。基于 DEA 的地区电网投入产出效益评估流程如图 1 所示。

## 2 实例计算分析

### 2.1 DEA 相对效率计算结果

以某省公司所辖的 19 个地区电网供电企业为研究决策单元,利用 DEAP2.1 软件针对 2014 年各决策单元的 220 kV 及 110 kV 电网和 35 kV 及以下电网分别计算其投入产出效率,运用  $C^2R$  模型测算各个决策单元的综合效率,然后根据变动规模报酬的  $BC^2$  模型评价各单元的技术效率、规模效率以及规模报酬,计算结果见表 1、表 2。

### 2.2 投入产出效率分析

由表 1 可知,在 19 个地区中,DMU1、DMU2、DMU5、DMU7、DMU9 ~ DMU10、DMU13 ~ DMU16 和 DMU19 评价结果为 DEA 有效,表明以上 11 个地区的 220 kV 及 110 kV 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,

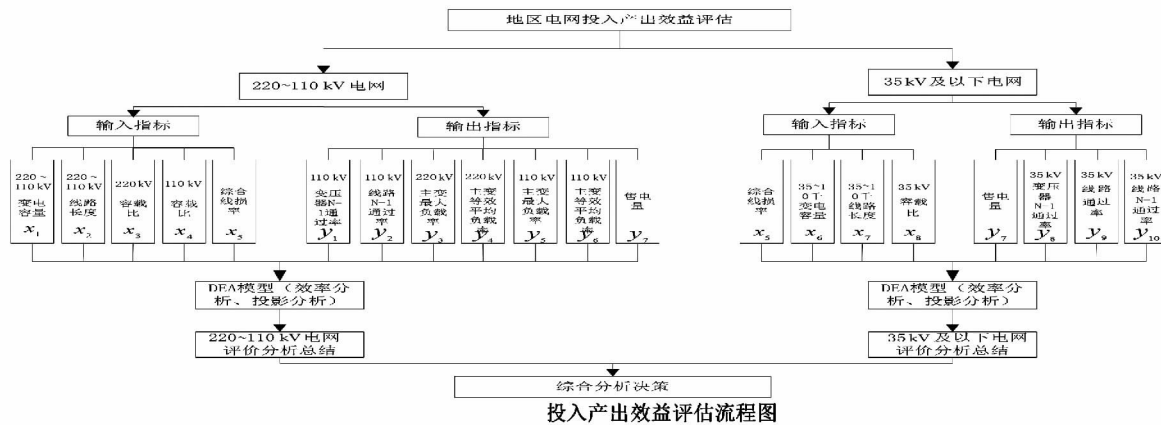


图 1 地区电网投入产出效益评估流程图

表 1 各地区供电企业 220 kV 及 110 kV 电网的效率值

决策单元	综合效率	技术效率	规模效率	相对有效性	技术效率	规模报酬
DMU1	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU2	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU3	0.896	0.914	0.981	非 DEA 有效	技术无效	递减
DMU4	0.983	1	0.983	非 DEA 有效	技术有效	递减
DMU5	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU6	0.828	1	0.828	非 DEA 有效	技术有效	递减
DMU7	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU8	0.764	0.781	0.978	非 DEA 有效	技术无效	递减
DMU9	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU10	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU11	0.671	0.674	0.995	非 DEA 有效	技术无效	递减
DMU12	0.932	1	0.932	非 DEA 有效	技术有效	递减
DMU13	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU14	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU15	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU16	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU17	0.74	1	0.74	非 DEA 有效	技术有效	递减
DMU18	0.935	0.942	0.993	非 DEA 有效	技术无效	递减
DMU19	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变

表 2 各地区供电企业 35 kV 及以下电网的效率值

决策单元	综合效率	技术效率	规模效率	相对有效性	技术效率	规模报酬
DMU1	0.64	0.742	0.862	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU2	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU3	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU4	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU5	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU6	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU7	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU8	0.611	0.862	0.709	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU9	0.625	0.706	0.885	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU10	0.73	0.799	0.914	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU11	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU12	0.528	0.684	0.773	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU13	0.289	0.563	0.514	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU14	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU15	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU16	0.847	0.972	0.872	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU17	1	1	1	DEA 有效	技术有效	不变
DMU18	0.658	0.883	0.746	非 DEA 有效	技术无效	递增
DMU19	0.345	0.654	0.528	非 DEA 有效	技术无效	递增

又能最大程度满足当地用电需求。剩余 8 个决策单元均为 DEA 无效,说明投入与产出之间的组合没有达到最优,存在输入冗余或输出亏空,其中 DMU4、DMU6、DMU12 和 DMU17 为 DEA 无效但技术有效,表明此 4 个地区在电网结构、质量上具有较好的扩展性,导致其综合效率低的原因是规模效率;地区 DMU3、DMU8、DMU11 和 DMU18 同时为 DEA 无效和技术无效,且不难发现技术效率低是此 4 个地区电网综合效率低的主要原因。从规模报酬看,8 个 DEA 无效的地区电网均为规模收益递减的,表明此 8 个地区 220 kV 及 110 kV 电网建设规模已经超前,继续增加投入时,收益(产出)增加的效率已经不高了,即没有再继续增加投资的积极性。

从 35 kV 及以下电网来看,DEA 有效单元总共 10 个,分别是 DMU2~7、DMU11、DMU14、DMU15 及 DMU17。剩余 9 个均为 DEA 无效,且技术效率与规模效率值均较低,说明投入与产出之间的组合没有达到最优,电网的投入和产出不成比例,效率值较低。与 220 kV、110 kV 电网不同的是,所有无效单元都是规模报酬递增的,表示此 9 个地区有继续增加电网建设投入的积极性,即继续增加投入时,收益(产出)增加的效率会大于投入增加的效率。

综合来看,19 个地区 220 kV 及 110 kV 电网

综合效率、技术效率和规模效率值分别为 0.934、0.964、0.970,均优于 35 kV 及以下电网的效率值 0.804、0.888、0.884,这表明 220 kV、110 kV 电网总体效率较高,与“十二五”以来的地区电网主网架加快建设密不可分,也可从近几年地区电网投资结构(2011—2014 年地区 220 kV、110 kV 电网投资占比 52.6%、35 kV 及以下电网投资占比 47.4%)得到印证。分地区看,220 kV 及 110 kV 电网和 35 kV 及以下电网投入产出均为 DEA 有效的仅 5 个地区,分别是 DMU2、DMU5、DMU7、DMU14 和 DMU15。这在某种程度上反映出大部分地区各层级电网效率水平参差不齐,发展协调度不高,特别是决策单元 8、12、18 这 3 个 DEA 均无效的地区,亟待优化电网布局,提升电网投入产出效益。对于其余 11 个地区,应该有的放矢,如决策单元 3、4、6、11 和 17,应适度控制或减少 220 kV、110 kV 电网投入,充分发挥存量资产效率,提升电网投入产出综合效率,而决策单元 1、9、10、13、16 和 19 应该加大 35 kV 及以下电网投入,提升电网发展质量,改善其相对效率。

### 2.3 非有效决策单元的投影分析

上述 DEA 无效的决策单元要转变成相对有效的单元,应该减少相关投入要素或增加产出。运用“投影”理论,得到的投入要素冗余和产出不足量见

表3 220 kV 及 110 kV 电网非有效决策单元的松弛变量

决策单元	综合效率	$S_1^-$ /(10 <sup>4</sup> kVA)	$S_2^-$ /km	$S_3^-$	$S_4^-$	$S_{5-1}^-$ /%	$S_1^+$ /%	$S_2^+$ /%	$S_3^+$ /%	$S_4^+$ /%	$S_5^+$ /%	$S_6^+$ /%	$S_{7-1}^+$ /(10 <sup>8</sup> kWh)
DMU3	0.896	0	-261	0	-0.35	0	32.3	20.9	6.7	0	12.9	2.3	0
DMU4	0.983	-48	0	0	-0.75	0	20.4	18.7	29.9	0	29.9	3.4	0
DMU6	0.828	0	-260	-0.822	-0.88	0	0	2.8	2.2	8.7	15	3.7	0
DMU8	0.764	0	-845	-0.638	-0.06	0	63.4	56.4	49.9	18.2	33.9	0	0
DMU11	0.671	0	-425	0	-0.23	0	30.2	14	15.3	5.3	12.6	0	0
DMU12	0.932	0	0	-0.366	-0.17	-0.27	22.8	0	10.5	4.4	5.1	0	0
DMU17	0.74	0	-62	0	-0.9	0	0	0	9.6	1.8	13.9	0	0
DMU18	0.935	0	0	0	-0.01	0	13.2	45.7	12	0	9.8	0	2.7

表4 35 kV 及以下电网非有效决策单元的松弛变量

决策单元	综合效率	$S_{5-2}^-$ /%	$S_6^-$ /(10 <sup>4</sup> kVA)	$S_7^-$ /km	$S_8^-$	$S_{7-2}^+$ /(10 <sup>8</sup> kWh)	$S_8^+$ /%	$S_9^+$ /%	$S_{10}^+$ /%
DMU1	0.64	-0.68	-53.8	0	0	11.5	0	4.8	7.2
DMU8	0.611	-1.77	0	-3 147	0	0	23	27.4	15
DMU9	0.625	-1.25	0	-2 824	0	0	50.8	30.9	0
DMU10	0.73	0	0	-1 376	-0.326	0	18.3	26.7	15.4
DMU12	0.528	-0.2	0	0	-0.151	0	15.9	0	3.9
DMU13	0.289	0	-3.6	-2 300	-0.093	0	0.5	0	3.4
DMU16	0.847	-2.09	0	-870	-0.222	0	17.2	38.6	6.1
DMU18	0.658	-0.39	0	-5 417	-0.016	0	0	20.2	0
DMU19	0.345	0	0	-1 260	0	0.4	13.3	13	0

表5 线损率和售电量指标的最终目标建议值

决策单元	线损率/%			售电量/(10 <sup>8</sup> kW·h)		
	$\hat{x}_{5-1}$	$\hat{x}_{5-2}$	$\hat{x}_5$	$\hat{y}_{7-1}$	$\hat{y}_{7-2}$	$\hat{y}_7$
DMU1	10.42	5.99	8.21	19.1	30.6	24.85
DMU2	4.1	4.1	4.1	438.4	438.4	438.4
DMU3	5.63	6.28	5.96	75.1	75.1	75.1
DMU4	5.95	6.06	6.01	100.1	100.1	100.1
DMU5	6.65	6.65	6.65	34.8	34.8	34.8
DMU6	6.91	8.35	7.63	42.5	42.5	42.5
DMU7	8.09	8.09	8.09	119	119	119
DMU8	7.11	3.93	5.52	59.4	59.4	59.4
DMU9	9.85	4.9	7.37	51.9	51.9	51.9
DMU10	6.95	5.08	6.02	85.6	85.6	85.6
DMU11	4.65	6.94	5.8	72.1	72.1	72.1
DMU12	7.63	4.28	5.96	41	41	41
DMU13	5.32	1.54	3.43	47.5	47.5	47.5
DMU14	4.26	4.26	4.26	82.8	82.8	82.8
DMU15	2.96	2.96	2.96	33.5	33.5	33.5
DMU16	9.53	5.98	7.76	87.9	87.9	87.9
DMU17	4.91	6.63	5.77	48.7	48.7	48.7
DMU18	7.08	4.59	5.84	30.8	28.1	29.45
DMU19	8.46	2.92	5.69	27.4	27.8	27.6

表6 地区电网各投入产出指标的目标值

决策单元	$\hat{x}_1/(10^4 \text{ kVA})$	$\hat{x}_2/\text{km}$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$	$\hat{x}_5/\%$	$\hat{x}_6/(10^4 \text{ kVA})$	$\hat{x}_7/\text{km}$	$\hat{x}_8$
DMU1	168	1 341	0.087	0.15	8.21	93	8 057	0.083
DMU2	3 334	5 496	0.11	0.03	4.1	995	22 462	0.34
DMU3	447	1 709	0.314	0.691	5.96	142	3 789	0.14
DMU4	759	1 883	0.508	0.453	6.01	241	3 140	0.39
DMU5	271	1 152	0.129	0.34	6.65	104	5 594	0.2
DMU6	309	1 294	0.155	0.409	7.63	130	12 045	0.09
DMU7	622	2 468	0.3	1.06	8.09	178	8 098	0.25
DMU8	424	1 677	0.545	0.602	5.52	90	4 009	0.122
DMU9	420	1 524	0.061	0.8	7.37	110	2 723	0.194
DMU10	471	1 679	0.757	0.87	6.02	138	5 613	0.163
DMU11	505	1 473	0.836	0.743	5.8	195	13 238	0.05
DMU12	354	1 140	0.276	0.405	5.96	94	3 445	0.197
DMU13	438	1 595	0.071	0.06	3.43	96	3 034	0.095
DMU14	659	1 529	2.509	1.68	4.26	150	6 154	0.25
DMU15	275	970	0.339	0.35	2.96	129	7 690	0.22
DMU16	523	1 404	0.85	0.48	7.76	131	5 985	0.185
DMU17	340	1 290	0.273	0.459	5.77	129	2 155	0.359
DMU18	272	1 176	0.189	0.29	5.84	79	2 934	0.182
DMU19	310	960	0.092	0.29	5.69	63	1 441	0.138

表7 地区电网投入产出指标的售电量目标值

决策单元	$\hat{y}_1/\%$	$\hat{y}_2/\%$	$\hat{y}_3/\%$	$\hat{y}_4/\%$	$\hat{y}_5/\%$	$\hat{y}_6/\%$	$\hat{y}_7/(10^8 \text{ kWh})$	$\hat{y}_8/\%$	$\hat{y}_9/r$	$\hat{y}_{10}/\%$
DMU1	68	96.6	66.9	19.2	57	19.3	24.85	49	46	21.4
DMU2	56	81.9	67.4	27.7	62	24.2	438.4	47.7	43.6	53.1
DMU3	85.7	96.9	66.1	24.5	56.4	18.4	75.1	48.4	48.4	39.9
DMU4	101.8	118.7	87.8	28.2	79.9	22.3	100.1	65.3	57.8	58.6
DMU5	86.7	94.3	52.6	24.2	55.9	16.9	34.8	93.8	86.5	26.8
DMU6	90.2	98.4	56.3	25.4	58.1	17.9	42.5	58.8	55.6	29.2
DMU7	85	91.4	64.4	27.4	49.6	22.8	119	61.9	56.3	33.2
DMU8	114.5	142.6	91.7	30.7	82.4	24.2	59.4	30.1	27.4	16.3
DMU9	66.7	83.3	76.1	28	67.9	19	51.9	53.7	54	41.9
DMU10	76.4	100	50.2	24.9	45	25.2	85.6	39.3	35.8	21.9
DMU11	81.9	103.3	61.9	23.1	58.2	19.6	72.1	39.2	25.4	31
DMU12	91	98.1	68.3	24.2	57.5	19.4	41	59.4	61.4	35.1
DMU13	59.3	98.6	71.2	20.6	58.6	22.8	47.5	20.2	26.4	18.1
DMU14	66.7	93.9	47.8	18.9	56.4	20.7	82.8	56.9	77.3	49.4
DMU15	83.9	100	67.4	20.9	61.5	13.7	33.5	42.9	42.6	13.5
DMU16	46.2	41.6	57.3	17.3	54.9	25.6	87.9	45.8	41.6	24.5
DMU17	85.7	98.5	63.8	23.2	58.9	16.5	48.7	92.9	87.1	68.2
DMU18	85	101.5	67.9	22.7	60.6	17.7	29.45	64.4	59.8	29.8
DMU19	90	91.1	65.7	23.2	52.5	17.9	27.6	36.5	36.1	27.8

表3、表4,目标值见表6、表7。值得注意的是,由于220 kV、110 kV 电网和35 kV 及以下电网投入产出模型同时采用了线损率和售电量指标,因此得到的松弛变量( $S_{5-1}^-$ 和 $S_{5-2}^+$ , $S_{7-1}^+$ 和 $S_{7-2}^+$ )和目标值( $\hat{x}_{5-1}$ 和 $\hat{x}_{5-2}$ , $\hat{y}_{7-1}$ 和 $\hat{y}_{7-2}$ )各有两组。分别取其平均值得到 $\hat{x}_5$ 和 $\hat{y}_7$ 作为各决策单元线损率和售电量的最终目标值,如表5所示。

从表3、表4中可以看出,220 kV、110 kV 电网投资效益值较差的地区普遍存在线路冗余过多和容载比相对偏高的问题。结合某省电网实际情况可知,处于这种状态的地区基本属于水电资源富集地区,区域面积大且距离负荷中心较远,承担了大量中小型水电汇集、上网和长距离送电任务。而35 kV 及以下电网效率值低所反映出的问题主要是线路冗余和线损率相对偏高,这与该省自然条件复杂、中低压配网发展普遍滞后、负荷分布不均、供电半径过长有较大关系。这也反映出持续加大35 kV 及以下电网改造力度,着力解决中低压配网薄弱的问题是下一步地区电网发展的重中之重。

在19个地区中,220 kV、110 kV 和35 kV 及以下电网投资效益值最低,排名最差的是DMU11和DMU13。由表3中松弛变量可知,如果DMU11线路长度减少425 km,110 kV 电网容载比与理想值的差距减小为0.23,或110 kV 变压器、线路N-1通过率分别提高30.2%、14.0%,220 kV 变压器最大负载率、等效平均负载率提高15.3%、5.3%,110 kV 变压器最大负载率提高12.6%,同时所有投入数据等比例下降到67.1%的情况下,该地区220 kV、110 kV 电网的投资效益才能达到DEA有效。同样,对于地区13,由表4计算结果可知,要使其达到DEA相对有效,应该使其35 kV 及以下变电容量减少 $3.6 \times 10^4$  kV·A,线路长度减少2300 km,容载比与理想值之间的差距缩小到0.09,或35 kV 变压器N-1通过率、10 kV 线路N-1通过率分别提升0.5%、3.4%,同时所有投入数据等比例下降到28.9%。

同时,应该注意到,DEA方法是纯粹的从数据出发进行评估的方法,因此上述模型所给出的改进方向、冗余或产出不足量只是从数据出发,在相关部门将投入冗余或产出不足量的大小作为制定投资措施的参考指标时,还应该结合当地电网的实际情况和指标本身综合考虑。如表6、表7所示,通过DEA

模型计算得到的DMU4的110 kV 变压器N-1通过率和110 kV 线路N-1通过率指标目标值均已超过100%,这与实际不符,应将目标调整为100%。DMU8、DMU11和DMU18也存在同样的问题,其处理方式类似。

### 3 结 论

针对特性各异的地区电网,考虑到各层级电网建设特点和发展阶段,对220 kV、110 kV 电网和35 kV 及以下电网分别建立基于DEA的电网投入产出效益评估模型,得到包括综合效率、非有效决策单元与其理想状况的差距、投入要素冗余或产出不足以及技术、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、制定电网投资规划和计划方案提供参考依据。

#### 参考文献

- [1] 陈轩. 地区电网运行评价指标体系及评价方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [2] 刘凤良. 西方经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.
- [3] 余敦涌, 张雪花, 刘文莹. 基于随机前沿分析方法的碳排放效率分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(11): 21-24.
- [4] Charnes A, W W Cooper, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [5] 杨丽徒, 张亮, 张四清, 等. 数据包络分析在农网投资效益评估中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 49-52.
- [6] 朱春波. DEA在电网企业投入产出绩效评价中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [7] 王宁, 牛东晓. 基于SE-DEA的电网企业资源配置效率评价[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(3): 23-26.
- [8] 吴鸣. 基于数据包络法的我国农电企业效率评价研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2012.
- [9] 龙望成, 王虬, 彭冬, 等. 基于DEA模型的电网投资建设效益评价分析[J]. 青海电力, 2014, 33(1): 1-4.

作者简介:

王海燕(1983), 硕士研究生、工程师, 研究方向为电网投资分析、电网发展评价等。

(收稿日期: 2016-07-27)