

# 电网投资效率测算及优化研究

李金超<sup>1</sup>, 牛东晓<sup>1</sup>, 李金颖<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206; 2. 华北电力大学经济管理学系, 河北 保定 071000)

**摘要:** 将电网投资所取得经济、环境、社会效益分别作为超效率数据包络分析法的输出, 电网发展中的人、财、物三方面选取其输入指标, 分别计算经济、环境、社会效益的投资子效率。运用熵权法和专家法计算得到的子效率权重计算电网投资综合效率, 运用斯皮尔曼等级相关系数对电网投资效率影响因素进行定量分析, 找出其中的关键因素, 据此制定投资效率优化措施。以某区域电网为例进行分析计算, 得到了区域内各省级电网的投资效率, 找出了其中的关键影响因素, 从而证明了所提方法的适用性和有效性。

**关键词:** 电网; 投资效率; 超效率数据包络分析; 斯皮尔曼等级相关系数; 影响因素

## Analysis of power grid investment efficiency measurement and optimization

LI Jin-chao<sup>1</sup>, NIU Dong-xiao<sup>1</sup>, LI Jin-ying<sup>2</sup>

(1. Economics and Management School, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;  
2. Economics and Management Department, North China Electric Power University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** Taking the economic, environmental and social benefits as the output of the super-efficiency data envelopment analysis, the human, financial and material resources as the input of the power grid development, the investment sub-efficiency of economic, environmental, and social benefits are calculated respectively. Finally the expert and entropy method are used to calculate the weights of the sub-efficiency and then the comprehensive efficiency of the power grid investment is gotten. The Spearman rank correlation coefficient is used to do the quantitative analysis of the power grid investment efficiency's influencing factors, and find out the key factors, then the improvement measures are given accordingly. The data of five province grids are analyzed to make out the investment efficiencies of each province and also find the key influencing factors to prove the adaptivity and effectivity of the proposed method.

**Key words:** power grid; investment efficiency; super-efficiency data envelopment analysis; Spearman rank correlation coefficient; influencing factors

中图分类号: F407.2; F062.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)24-0048-04

## 0 引言

电网投资受到国家宏观经济形势, 上游产业价格波动, 产业结构调整, 电网运行和维护费等多方面因素的影响, 使得电网投资效果出现较大的差别。如何优化电网投资, 推动电网科学发展成为一项重要课题。

目前对电网投资多从经济性角度进行评估, 多是运用经济学方法, 例如实物期权理论<sup>[1]</sup>、投资回收率等。由于可持续发展理论的深入推广, 环境效益、社会效益也应是电网投资关注的重要内容, 不能仅考虑经济性, 因此本文引入了投资效率的概念。

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项资助项目; 河北省社会科学基金项目 (HB10EYJ192)

电网投资效率从经济学的角度来说就是指如何对有限的电网投入资源进行配置, 使产出最大化。

本文将经济、环境、社会作为电网投资产出, 运用超效率数据包络分析 (Super-Efficiency Data Envelopment Analysis, SE-DEA) 方法对电网投资效率进行测算, 并运用 Spearman 等级相关系数对相关影响因素进行定量分析, 据此提出改进措施。

## 1 研究方法 with 工具

### 1.1 超效率 DEA 模型

DEA 的  $C^2R$  模型将决策单元分为两类, 即有效和无效, 对于多个同时有效的决策单元则无法做出进一步的评价与比较。为了弥补这一缺陷, Andersen 和 Petersen (1993) 提出了一种 DEA 的“超效率” (Super-Efficiency) 模型<sup>[2-4]</sup>, 使有效决策单元之

间也能比较效率的高低。这个模型的基本思路是：在评估决策单元时，将该决策单元本身排除在决策单元的集合之外，可表示为如下对偶规划模型：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min[\theta - \varepsilon(\mathbf{e}^{\wedge T} S^- + \mathbf{e}^{\wedge T} S^+)] \\ \text{s.t.} \quad \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n x_j \lambda_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n y_j \lambda_j - S^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \in E_1^+, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{array} \right.$$

模型中  $\varepsilon$  为非阿基米德无穷小量（取  $\varepsilon = 10^{-6}$ ）； $S^+$  及  $S^-$  为列向量，表示由不等式约束转化为等式约束而加入的松弛变量，分别对应为待求的投入要素和产出要素的调整量； $\lambda_j$  为输入输出指标的权重系数； $\theta$  表示效率指数。

以传统  $C^2R$  模型为例展开说明：假设  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  表示两种投入和一种产出的决策单元，其中  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  是有效率的决策单元，它们构成生产前沿面  $ABCD$ ； $E$  是无效率的决策单元，它被生产前沿面包络（见图 1）。设  $C'$  点与  $E'$  点分别是  $OC$  线段与  $OE$  线段在生产前沿面  $ABCD$  上的交点，由于  $C$  点处在生产前沿面上，因此决策单元  $C$  的效率值为： $\theta_c = OC'/OC = 1$ ，而点  $E$  不在生产前沿面上，因此决策单元  $E$  的效率值为： $\theta_e = OE'/OE < 1$ 。

按照超效率模型思路，计算决策单元  $C$  的效率值时， $C$  点排除在决策单元的参考集合之外，于是生产前沿面就由  $ABCD$  变为  $ABD$ （见图 2），此时  $C$  点的效率值  $\theta_c = OC'/OC > 1$ 。对于  $C^2R$  模型中本来就是无效率的决策单元  $E$ ，在超效率模型中它的生产前沿面仍然是  $ABCD$ ，效率值不变。因此，在超效率模型中，对于无效率的决策单元，其效率值不变；而对于有效率的决策单元，可以使其投入按比例增加而保持效率值不变，其投入增加比例就是其超效率值，但在所有决策单元集合中仍能保持相对有效。

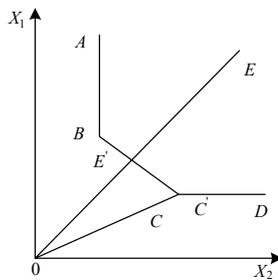


图 1 决策单元的效率值

Fig.1 Efficiency of decision making unit

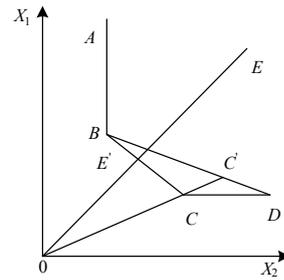


图 2 决策单元的超效率值

Fig.2 Super efficiency of decision making unit

## 1.2 Spearman 等级相关系数

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

式中： $n$  表示将两变量的观测值分别从小到大或从大到小排列，并分别赋予  $1, 2, \dots, n$  个等级； $d_i$  表示一变量观测值的等级与另一变量相应观测值的等级之差。斯皮尔曼等级相关系数的变化范围是  $(-1, 1)$ ，其绝对数值越大，两个变量的相关性越大，其绝对数值越小，两个变量的相关性越小。

## 2 电网投资效率投入产出指标

### 2.1 指标建立思想

按照生产函数的思想，电网发展包含人、财、物三方面投入，分别将经济效益、环境效益、社会效益作为输出指标，运用 SE-DEA 方法计算各类输出下的电网投资子效率。而后运用专家赋权法<sup>[5]</sup>和熵权法<sup>[6]</sup>计算经济、环境、社会三类输出指标的权重，并将两者的平均值作为三类指标的综合权重，最后运用加权综合法得到电网投资总效率。

### 2.2 电网投资效率指标

按照指标体系建立的原则，根据 SE-DEA 方法对指标的要求，通过查阅相关文献结合已有相关统计指标，建立如表 1 指标体系。

### 2.3 指标说明

#### 2.3.1 输入指标

电网投入指标从人、财、物三个方面进行定义，主要包含以下四个指标。

1) 全员从业人数 ( $I_1$ ): 指在电网工作并取得劳动报酬或经营收入的人员。

2) 主营业务成本 ( $I_2$ ): 指电网公司生产和销售电能所必须投入的直接成本，主要包括原材料、人工成本 (工资) 和固定资产折旧等。

3) 变电总容量 ( $I_3$ ): 变电容量是分电压等级统计的，本文运用 110 kV 及以上电压等级的变电容量对此指标进行统计。

表 1 电网投资效率指标

Tab.1 Indexes of power grid invest efficiency

指标类型	指标名称	单位	标注
输入指标 (人, 财, 物)	全员从业人员数	人	$I_1$
	主营业务成本	万元	$I_2$
	变电总容量	万 kVA	$I_3$
	线路总长度	km	$I_4$
输出—	售电量	万元	$O_{11}$
	利润总额	%	$O_{12}$
输出二	线损率	标准化	$O_{21}$
	全网供电煤耗	标准化	$O_{22}$
	清洁发电上网比重	%	$O_{23}$
输出三	户户通电率	%	$O_{31}$
	供电可靠性	%	$O_{32}$
	用户数	万户	$O_{33}$
	供电面积	(km) <sup>2</sup>	$O_{34}$
	电网最大负荷	万 kW	$O_{35}$

4) 线路总长度 ( $I_4$ ): 线路总长度也是分电压等级统计的, 本文运用 110 kV 及以上电压等级线路长度进行计算。

2.3.2 输出指标

1) 经济效益

a. 售电量 ( $O_{11}$ ): 是指电力企业出售给用户或其他电力企业的可供消费或生产投入的电量。

b. 利润总额 ( $O_{12}$ ): 是企业在营业收入中扣除成本消耗及营业税后的剩余, 即通常所说的盈利, 是衡量企业经营业绩的十分重要的经济指标。

2) 环境效益

a. 线损率 ( $O_{21}$ ):

$$\text{统计线损率} = \text{统计线损电量} / \text{供电量} \times 100\%$$

传输线损率成为考量电网环境效益的重要指标, 是电力行业节能减排工作的具体体现。此指标为逆指标, 即指标值越小越好, 因此在计算前运用公式  $X_{ij} = \min_j \{C_{ij}\} / C_{ij}$  对其进行处理, 其中  $X_{ij}$  为标准化后的第  $i$  个评估对象第  $j$  个指标值,  $C_{ij}$  为第  $i$  个评估对象第  $j$  个原始指标值。

b. 全网供电煤耗 ( $O_{22}$ ): 供电煤耗是指火力发电厂向外提供 1 kWh 电能平均耗用的标准煤量。它是按照电厂最终产品供电量计算的消耗指示, 是国家对火电厂的重要考核指标之一。此指标为逆指标, 处理方法同线损率指标。

c. 清洁能源发电量比重 ( $O_{23}$ ): 清洁能源上网电量比重是清洁能源上网电量/上网电量总量。

3) 社会效益

a. 户户通电率 ( $O_{31}$ ): 是电网公司社会责任的具体体现, 是保证所有客户用上电, 享受到方便清洁的电能, 是电网社会效益产出指标之一。

b. 供电可靠性 ( $O_{32}$ ): 是指供电系统对用户持续供电的能力。通常以供电可靠率作为评价指标。

c. 用户数 ( $O_{33}$ ): 电网服务的总户数, 反映电网服务对象的多少和社会贡献的大小。

d. 供电面积 ( $O_{34}$ ): 供电面积是电网服务区域的大小。此指标的引入有利于消除地区地理差异对评估结果的影响。

e. 电网最大负荷 ( $O_{35}$ ): 反映出电网所能提供的最大功率, 体现了电网的社会价值。

3 实证研究

以某区域电网公司所管辖的五个省级电网投资数据为例进行相应计算。五个省级电网的相关指标数据如表 2 所示。表中的线损率 ( $O_{21}$ ) 和供电煤耗 ( $O_{22}$ ) 经过标准化处理。

表 2 投入产出指标原始数据值

Tab.2 Original value of the input/output indexes

指标	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
$I_1$	34 362	52 220	49 184	36 210	38 298
$I_2$	796 778	1 806 852	1 242 630	429 252	836 346
$I_3$	6 130	16 812	14 211	4 662	6 326
$I_4$	4 130	41 113	29 073	20 345	19 618
$O_{11}$	189 940	363 029	283 406	81 519	129 842
$O_{12}$	851.42	2 307.9	1 817.1	602.65	765.38
$O_{21}$	0.770 1	0.561 0	0.770	0.791	1
$O_{22}$	0.987 9	0.944 9	0.964	0.937	1
$O_{23}$	2.15	4.12	17.18	2.26	30.37
$O_{31}$	99	99	100	95	99
$O_{32}$	99.798	99.737	99.557	99.790	99.632
$O_{33}$	810.026	2 785.60	1 960.29	1 837.3	1 067.14
$O_{34}$	6 340.5	102 600	101 800	139 600	121 400
$O_{35}$	212 1	4562	3 045	1 303	1 631

运用 SE-DEA 方法分别计算电网投入产出经济效益、环境效益、社会效益, 结果分别如表 3 所示。

运用专家赋权法和熵权法所得结果的平均值作为三方面输出的最终权重, 结果如表 4 所示。

运用所得效率值和权重值计算得到各电网的最后综合效率, 计算结果如表 5 所示。

表 3 电网投入产出子效率

Tab.3 Sub-efficiencies of power grid

	经济效率/%	环境效率/%	社会效率/%
PG1	109.33	85.83	554.75
PG2	120.65	41.14	141.11
PG3	130.16	59.97	93.17
PG4	181.33	154.10	233.62
PG5	108.36	119.40	113.00

表 4 三类输出权重结果

Tab.4 Weights of upper three sub-efficiencies

	专家赋权法	熵权结果	最终结果
经济效率	0.4	0.344 836	0.372 418
环境效率	0.3	0.320 795	0.310 397 5
社会效率	0.3	0.334 369	0.317 184 5

表 5 综合效率

Tab.5 Overall efficiency

	最终效率/%	排名
PG1	243.32	1
PG2	102.46	4
PG3	96.64	5
PG4	189.46	2
PG5	113.26	3

## 4 结果分析及优化措施

计算结果表明, 电网的经济产出完成较好, 各省级电网的经济效率均有效, 且效率值接近; 五个省级电网中有三个环境效率无效, 需要进行改进, 增加环境方面的产出, 进一步降低线损率和供电煤耗, 提高清洁发电上网比重; 而在社会效率方面, 省级电网间的差距非常明显, 其中四个省级电网社会效率有效, 只有一个社会效率无效, 需要进一步控制自身投入, 提高社会效率。

子效率计算结果表明, 环境效率与社会效率是下一步工作的重点。运用 Spearman 等级相关系数分析表明线损率同环境效率相关性强 (系数为 0.9)。投入要素中对环境效率影响较大的是主营业务成本和变电总容量 (系数均为-0.9)。而社会效率中供电可靠性同社会效率的相关性强 (系数为 1.0)。四个投入要素对社会效率的影响相当 (系数为-0.5~-0.7)。因此, 为达到优化电网投入产出效率的目的, 提高线损率和供电可靠性, 合理控制主营业务成本和变电总容量是关键所在。

## 5 结论

本文构建了电网投入产出效率的评价指标和方法, 分别测算电网投入产出的经济、环境和社会效率, 而后运用专家赋权法和熵权法实现了对以上三种效率的综合, 最后得到了电网投入产出的总效率。并在以上测算的基础上, 运用 Spearman 等级相关系数对电网投入产出效率的影响因素进行了定量分析, 据此给出了优化措施。该模型理论清晰, 计算方便, 结果直观, 具有较强的通用性和实用性。

## 参考文献

- [1] 吴雪峰, 张焰. 电力市场下基于实物期权理论的电网投资经济评价[J]. 电网技术, 2007, 31 (S1): 78-80. WU Xue-feng, ZHANG Yan. Research on economic evaluation of power grid investment based on real option theory in electricity market[J]. Power System Technology, 2007, 31 (S1): 78-80.
- [2] 吴文江. 数据包络分析及其应用[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002. WU Wen-jiang. Data envelopment analysis model and its application[M]. Beijing: China Statistics Press, 2002.
- [3] Li Shanling, Jahanshahloo G R, Khodabakhshi M. A super-efficiency model for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 184 (2): 638-648.
- [4] Khodabakhshi M. A super-efficiency model based on improved outputs in data envelopment analysis[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 184 (2): 695-703.
- [5] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007. GUO Ya-jun. Comprehensive evaluation theory, method and application[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [6] 李金颖, 李金超, 牛东晓. 基于熵权法的供电商竞争力组合评价[J]. 继电器, 2008, 36 (6): 42-47. LI Jin-ying, LI Jin-chao, NIU Dong-xiao. Comprehensive evaluation of power suppliers' competitive ability based on entropy[J]. Relay, 2008, 36 (6): 42-47.

收稿日期: 2009-12-25; 修回日期: 2010-02-03

作者简介:

李金超 (1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电力经济管理、预测与决策; E-mail: gsyjch@163.com

牛东晓 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力负荷预测技术、电力市场理论、综合评价理论方法。