

# 基于网络协调程度评估的电网建设项目优化排序方法

黎灿兵<sup>1,2</sup>, 傅美平<sup>1</sup>, 梁锦照<sup>3</sup>, 杜力<sup>1</sup>

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082;  
3. 广东电网公司中山供电局, 广东 中山 528400)

**摘要:** 根据电网结构特点及各电压等级变电站的关联关系, 提出网络协调程度评估模型, 考查电网项目建设的紧迫性及技术标准的合理性, 优化项目建设的顺序。进一步对电网建设项目进行经济评估, 衡量项目的效益并进行二次排序, 通过可靠性和经济效益的综合分析, 得出项目的最优建设顺序。评估模型和优化思路对电网项目投资决策和效益评估等, 具有一定的参考价值。

**关键词:** 电网结构; 效益评估; 关联度; 网络协调; 优化排序

## Optimization sequencing for grid construction projects based on evaluation of network coordination

LI Can-bing<sup>1,2</sup>, FU Mei-ping<sup>1</sup>, LIANG Jin-zhao<sup>3</sup>, DU Li<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;  
2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;  
3. Zhongshan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Zhongshan 528400, China)

**Abstract:** According to the structural characteristics of power grid and the substation relationship of different voltage levels, an evaluation model of coordination network is proposed. This model can evaluate the urgency and technical reasonableness of the grid construction projects and also optimize their arrangement order. Furtherly, the economics of the projects are evaluated. According to their benefits, a second sort is carried out. Finally, the project sequence is optimized based on comprehensive analysis of the reliability and economic benefits. The model and method have certain reference value for the decision-making and benefit evaluation of grid construction projects investment.

**Key words:** power network structure; benefit evaluation; correlation degree; network coordination; optimization sequencing

中图分类号: TM727 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)17-0112-04

## 0 引言

电网规划是电网建设改造的依据。在近期规划(1~5年)中, 将明确电网建设项目, 包括规模、选址、计划开工时间、计划投产时间等比较明确的信息。

由于电网建设投资额巨大, 建设周期长<sup>[1-2]</sup>, 往往根据负荷预测和投资预算, 有步骤地开工建设待建项目。因此, 如何对待建项目排序, 优化电网企业现金流, 最大化经济效益和社会效益, 是迫切需要解决的问题。运用科学的方法进行客观的项目评价, 从而完成项目的优化决策, 已成为现代项目决策的必然趋势。

随着电力市场化和电力企业体制改革的逐步深化, 经济因素在决策中的地位日益重要, 与此同时

出现的决策因素复杂化、不确定因素增加和决策主体多元化等新特点都为电网规划项目的评估决策问题提出了新的挑战<sup>[3-4]</sup>。在电网建设项目的投资决策中, 综合各方面因素, 运用科学的方法进行客观的评估, 既而做出项目建设顺序的优化决策, 已成为现代项目决策的必然趋势。目前不少文献对输变电工程的经济评估问题做了大量的研究<sup>[5-7]</sup>, 主要采用的是基于折现现金流(Discounted Cash Flow, DCF)的方法, 包括净现值(Net Present Value, NPV)法、内部收益率(Inner Return Rate, IRR)法和投资回收期(Payback Time, PT)法等。

然而, 电网近期规划拟定的大量电网建设改造项目不同于一般的工程项目, 存在特殊性。一方面规划建设项目必须满足现状网络可靠性和稳定性的技术要求以及负荷分布和增长的需要; 另一方面,

电网规划建设项目属典型的资金密集型项目, 一旦实施将会产生巨大的经济和社会影响。所以, 电网建设项目投资评估时, 从技术、经济、社会等多重角度出发, 客观地对电网建设项目进行整体分析评价<sup>[8]</sup>, 合理安排项目的建设顺序, 为决策提供参考, 最终能够实现将有限的资金在不同的电网建设项目的投资分配上做出最优的安排<sup>[9-10]</sup>。

本文根据电网的技术、经济特点, 提出同时考虑可靠性和经济性的电网项目建设顺序优化排序模型。

## 1 基本思路

本文提出的电网建设项目时间排序新方法, 假定已经确定待建项目, 需要对各个项目的紧迫程度排序。基本思路概括如下:

(1) 首先根据项目的关联关系, 确定排序的若干前置关系。一些项目是存在关联关系的, 如其中一些项目, 是某个项目的配套工程。部分项目, 是一些关联项目建设的前置条件。

(2) 按照两级优先级排序。

第一级优先级为可靠性, 第二级优先级为经济性。从可靠性角度排序, 紧迫性相同的项目按经济性排序。

(3) 可靠性排序的基本思路。

考虑各电压等级变电站的关联关系, 建立网络协调程度评估模型, 进行技术评价, 考查项目建设的紧迫性及技术标准的合理性; 根据项目建设的紧迫性, 进行优化排序。

(4) 经济性排序的基本思路。

考虑资金的时间价值, 对电网建设项目进行经济评估, 由于电网建设项目的特殊性, 对于单个项目的经济效益难以衡量, 因此对经济方面的考核侧重于投资回报的评价, 对分析结果再次进行优化排序。

最后, 综合一次排序和经济评估二次排序, 得出项目投资建设顺序的最终决策。

技术和经济的双重评价, 有利于降低投资风险, 减少投资中的盲目性和短期行为。

## 2 网络协调程度评估模型

本节提出的网络协调程度评估模型, 可以对待建项目的紧迫性和可靠性进行分析, 对项目建设顺序进行优化排序。

分析网络协调程度, 可用各变电站负载率的方差来衡量, 如式 (1):

$$f = \sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2 \quad (1)$$

式 (1) 中:  $f$  为协调程度指标, 即某电压等级变电站负载率的方差;  $N$  为某电压等级变电站个数;  $L_i$  为第  $i$  个变电站负载率;  $\bar{L}$  为该电压等级变电站负载率平均值。

变电站负载率方差较小, 表明变电站的空间布局与负荷分布匹配较好, 各变电站布点、建设时间安排合适, 有利于保障电网可靠性; 若变电站负载率方差较大, 则相反。因此, 衡量某个电压等级的协调程度, 可采用变电站负载率的方差。

因此, 从可靠性角度排序的优化模型如下:

(1) 目标函数

$$\min F = \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T f_{t,v} \quad (2)$$

式 (2) 中:  $F$  为目标函数, 即各年、各电压等级变电站负载率方差之和;  $f_{t,v}$  为按照式 (1) 定义的第  $t$  年、第  $v$  个电压等级变电站负载率方差;  $T$  为考察的年份, 一般为五年 (主网近期规划一般以五年为单位)。

(2) 需要考虑的约束条件

1) 各变电站负载率上限, 如式 (3)。

$$L_{i,t} \leq L_{v,\max} \quad (3)$$

式 (3) 中:  $L_{i,t}$  为第  $t$  年第  $i$  个变电站负载率;  $L_{v,\max}$  为某电压按等级变电站负载率上限。

一般情况下, 110 kV 变电站负载率上限可略高于 220 kV 变电站负载率上限。

2) 各年变电站负载率方差上限, 如式 (4):

$$f_{t,v} \leq f_{v,\max} \quad (4)$$

式 (4) 中,  $f_{v,\max}$  为某电压等级各年方差的上限。

由于电网项目建设周期较长, 各年度负荷分布不同,  $F$  最小的方案, 可能使某些年度的负载率方差偏大。

根据以上思路, 结合规划中的待建变电站情况, 各电网项目建设可改变该电压等级变电站负载率方差, 如新建 110 kV 变电站, 可降低周边一些变电站的负载率, 改变负载率方差; 新建 110 kV 线路, 可改变 110 kV 变电站与 220 kV 变电站的关联关系, 改变 220 kV 变电站的负载率, 等等。将负载率方差作为目标函数, 以解决过载变电站和优化网络接线方式为目标, 根据所解决问题的紧迫程度 (主要考

虑负荷情况), 对电网项目进行排序。

上述模型可按照如下步骤实现:

首先, 根据负荷预测和容载比, 确定每年应新建的各电压等级变电容量。

其次, 根据每年应新增的变电容量, 从待建变电站中, 选择可能的组合。比如, 某年需新增 110 kV 变电容量 200 MVA, 从待建项目库中, 挑选不同的组合可能从总量上均能满足要求。优化排序的意义就在于根据各年负荷增长情况, 从所有可能的组合中, 挑选最佳组合。

第三, 新增项目的不同组合, 与现有电网结合, 考虑网络拓扑调整和运行方式优化后, 可得各个变电站负载率, 再根据式 (1), 获得各年变电站负载率的方差; 每个组合方案, 对应不同的目标函数, 选择最小者, 获得每年待建项目, 完成对项目的本排序。

事实上, 上述模型也是一个动态优化问题, 可采用动态优化方法求解。

### 3 经济优化

本节从投资回收的角度来考虑新站建设的先后顺序问题, 以项目经济效果最优为目标, 对待建变电站进行经济优化排序。

新站建设的回收期, 与其初始负荷密切相关。新站初始负荷越小, 则在固定经营期内, 收益越小, 成本回收期越长。如果只从投资收益角度考虑, 则新站初始负荷越大, 收益会越高。但这样处理往往是不现实的, 会导致供不了电或旧有站严重过载的局面。那么, 我们应找出在什么负荷水平投入变电站是合理的。本文将以 15 年为回收期作为判别, 在负荷临界点之前的, 15 年无法收回投资, 在负荷临界点之后的可以保证 15 年收回投资。同时, 可以按 15 年的投资收益大小, 作为新站建设投资排序的依据。

数学模型如下:

以 15 年作为项目寿命期, 考察该回收期内每年发生的现金流量, 按一定的折现率将各年净现金流量折现到同一时点 (通常是期初) 的现值累加值。净现值的表达式为:

$$NPV = \sum_{t=0}^{15} (CI - CO)_t (1 + i_0)^{-t} \quad (5)$$

式中:  $NPV$  为净现值;  $CI$  为现金流入量;  $CO$  为现金流出量;  $(CI - CO)_t$  为第  $t$  年的净现金流量;

$t$  为现金流量发生在  $t$  年;  $i_0$  为基准折现率。

对电力企业来说, 每年的现金流的构成可以作

以下分析:

(1) 销售收入: 为年售电量乘以电价, 它以负荷预测为计算依据。在网络规划满足负荷增长, 不存在因为投资规模小而无法满足供电的情况下, 可以认为与投资规模无关。

(2) 投资: 包括变电站投资和线路投资两个部分, 是现金流出的主要部分。

(3) 系统运行和维护费用。

(4) 还贷利息。

(5) 管理费用。

(6) 税金: 为各种税的总和。

### 4 算例分析

本节将以中山电网“十五”期间电网规划项目评估为例, 分析新建的 220 kV 和 110 kV 变电站优化排序。

首先按照第 2 节所述方案, 从可靠性角度对项目进行优化排序。

由于数据庞大, 在此不方便列出, 表 1 是基于网络协调程度评估的新建变电站建设顺序。

表 1 待建变电项目初次排序

Tab.1 Primary sequencing of the new projects		
序号	项目名称	电压等级/kV
1	安阜输变电工程	110
2	龙山输变电工程	110
3	白石输变电工程	110
4	高平输变电工程	110
5	光明输变电工程	220
6	泰丰输变电工程	110
7	西樵输变电工程	110
8	永宁输变电工程	110
9	美利输变电工程	110
10	文安输变电工程	110
11	泮沙输变电工程	110
12	逸仙输变电工程	220
13	旗乐输变电工程	220
14	同益输变电工程	220
15	雁南输变电工程	110
16	申堂输变电工程	110
17	裕丰输变电工程	110
18	东明输变电工程	110
19	金里输变电工程	110
20	锐东输变电工程	110

接着进行经济效益分析, 按新站初始负荷及建设成本计算投资回收额 (以回收期 15 年为临界条

件), 应用各站的投资和收益的数据, 对应投新站的基础方案予以修正, 得到各年变电站建设组合方案。各变电站按收益从高到低的排序如表 2 所示。

表 2 待建变电项目投资 15 年的收益情况排序

Tab.2 Sequencing of new projects with investment in 15 years

of earnings	
序号	项目名称
5	光明输变电工程
2	龙山输变电工程
10	文安输变电工程
14	同益输变电工程
8	永宁输变电工程
4	高平输变电工程
16	申堂输变电工程
1	安卓输变电工程
7	西樵输变电工程
20	锐东输变电工程
6	泰丰输变电工程
11	泮沙输变电工程
3	白石输变电工程
9	美利输变电工程
18	东明输变电工程
12	逸仙输变电工程
19	金里输变电工程
13	旗乐输变电工程
17	裕丰输变电工程
15	雁南输变电工程

但是, 必须指出的是, 受网络关联的影响, 输变电项目的投运先后次序受电网拓扑限制, 如作为某些 110 kV 变电站的电源的 220 kV 变电站, 必须先于或与某些 110 kV 变电站同时建设。因此, 需要根据电网结构对变电站的最优投运时间作调整。为此, 我们对 110 kV 变电站的建设条件作如下的分类:

(1) 电源条件已经具备, 即第 1 节所述没有前置条件的项目, 最优的投运时间不作调整。

(2) 电源条件不具备, 且没有过渡方案 (指先从其他的供电片区获得电源), 即第 1 节所述有前置条件的项目, 则把规划中 220 kV 变电站与该 110 kV 变电站作为一个组合单元, 重新计算最优投运时间。

(3) 电源条件不具备, 但有过渡方案 (指先从其他的供电片区获得电源), 则把过渡方案投资作为计算条件, 把最终接线方式的投资纳入其 220 kV 电源建设的投资, 计算两种条件下的投资回报, 对过渡方案的可行性进行投资的论证。然后根据 (2) 的

方案重新计算最优投运时间。

考虑上述几种情况, 最终得到的项目建设顺序即为最优。

## 5 结论

本文运用简单的数学模型, 对于现有的电网建设项目进行排序, 可以获得电网建设的最佳投资时机和投资规模; 充分提高了投资决策的科学性, 并且有利于提高投资收益。同时不断向目标网架靠拢, 尽可能地实现目标网架, 也能减少电网建设过程中的重复性和盲目性。

本文提出的模型简单且具有可操作性, 对电网规划和评估有一定的参考价值。

## 参考文献

- [1] 吴雪峰, 张焰, 王刚, 等. 电网长期投资决策辅助系统研究[J]. 现代电力, 2007, 24 (4): 70-74.  
WU Xue-feng, ZHANG Yan, WANG Gang, et al. Assistant system of long term investment decision for power grid[J]. Modern Electric Power, 2007, 24 (4): 70-74.
- [2] 曹阳. 电网投资效益评价的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.  
CAO Yang. Study on the economic evaluation of electric grid invests[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [3] 甘德一, 张媛敏, 曾鸣. 电网建设项目投资优化方法研究[J]. 改革与战略, 2009, 25 (5): 61-63.  
GAN De-yi, ZHANG Yuan-min, ZENG Ming. Optimization of investment for grid construction projects[J]. Reformation & Strategy, 2009, 25(5): 61-63.
- [4] 杨高峰, 康重庆, LI Fu-rong, 等. 电网规划方案的适应性与风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (23): 1-7.  
YANG Gao-feng, KANG Chong-qing, LI Fu-rong, et al. Flexibility and risk assessment of power grid planning schemes[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (23): 1-7.
- [5] 贺静, 韦钢, 张一尘, 等. 电网规划方案经济评估方法研究[J]. 华东电力, 2004, 32 (7): 1-4.  
HE Jing, WEI Gang, ZHANG Yi-chen, et al. Study of economy assessment method for electric power grid planning[J]. East China Electric Power, 2004, 32 (7): 1-4.
- [6] 陈承. 基于价值理论的上海电网投资经济评价方法[J]. 电网技术, 2008, 32 (2): 213-215.  
CHEN Cheng. Economic evaluation method of Shanghai's network investment based on value theory[J]. Power System Technology, 2008, 32 (2): 213-215.

(下转第 120 页 continued on page 120)

- generation management: breakthrough on energy saving in power industry[J]. Depth, 2007 (2): 22-23.
- [6] 姚建刚, 唐捷, 李西泉, 等. 发电侧电力市场竞价交易模式的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (3): 78-83.  
YAO Jian-gang, TANG Jie, LI Xi-quan, et al. Research of price competing trade mode of power supply in power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (3): 78-83.
- [7] 丁军威, 夏清, 胡旸, 等. 发电侧逐步市场化的竞价新模式[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (3): 10-15.  
DING Jun-wei, XIA Qing, HU Yang, et al. A new model for gradually establishing competitive generation market[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (3): 10-15.
- [8] 唐茂林, 王超. 基于节能发电原则的实时发电调度优化模型的研究[J]. 继电器, 2008, 36 (7): 47-50.  
TANG Mao-lin, WANG Chao. Research on the real-time dispatching optimization model of energy-saving generation in Sichuan grid[J]. Relay, 2008, 36 (7): 47-50.
- [9] 陈宇晨, 侯志俭. 论电力市场的饱和和电价[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (3): 51-55.  
CHEN Yu-chen, HOU Zhi-jian. The study of the saturation phenomenon of spot price in electric power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (3): 51-55.
- [10] 谭厚章, 苗杨, 王洋, 等. 煤质多变下火电厂最经济煤种决策[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (14): 1-5.  
TAN Hou-zhang, MIAO Yang, WANG Yang, et al. Decision of the most economical in power plant with coal quality variation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (14): 1-5.
- [11] 李涛, 蒋传文, 侯志俭. 发电侧电力市场的成本报价模型[J]. 水电能源科学, 2001, 19 (3): 35-36.  
LI Tao, JIANG Chuan-wen, HOU Zhi-jian. Pricing model of cost on the side of power supply in power market[J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2001, 19 (3): 35-36.
- [12] 施泉生, 吴基灵, 等. 发电企业竞价上网的经济分析及风险控制[J]. 改革与战略, 2008, 24 (5): 152-154, 22.  
SHI Quan-sheng, WU Ji-ling, et al. The economic analysis and risk control of power plants bidding[J]. Reformation and Strategy, 2008, 24 (5): 152-154, 22.

收稿日期: 2009-09-13; 修回日期: 2009-12-23

作者简介:

黄诗文 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力市场及其技术支持系统、电力系统稳定性; E-mail: hswdsl55555@126.com

姚建刚 (1952-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事负荷预测、电力市场、配电系统自动化、高压外绝缘等方面的研究与教学工作;

谢宇翔 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力市场及其软件开发。

(上接第 115 页 continued from page 115)

- [7] 范文涛, 程林, 孙元章. 电网改造简化经济分析方法研究[J]. 继电器, 2004, 32 (19): 80-84.  
FAN Wen-tao, CHENG Lin, SUN Yuan-zhang. Research on simplified economic evaluation for power grid renovation[J]. Relay, 2004, 32 (19): 80-84.
- [8] 国家发展改革委、建设部. 建设项目经济评价方法与参数[M]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [9] 钟庆, 吴捷, 黄武忠, 等. 动态规划在电力建设项目投资决策中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26 (8): 48-51.  
ZHONG Qing, WU Jie, HUANG Wu-zhong, et al. Application of dynamic programming for investment decision[J]. Power System Technology, 2002, 26 (8): 48-51.
- [10] 牛辉, 程浩忠, 张焰, 等. 电网扩展规划的可靠性和经济性研究综述[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (1): 51-56.  
NIU Hui, CHENG Hao-zhong, ZHANG Yan, et al. Review of reliability and economy problems in transmission expansion planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (1): 51-56.

收稿日期: 2009-09-16; 修回日期: 2009-12-28

作者简介:

黎灿兵 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电网优化与节能减排; E-mail: licanbing@gmail.com

傅美平 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统规划与运行、评估。