

电源规划模型及求解方法研究综述

李小明¹, 陈金富², 段献忠², 陈跃辉³, 宋爱红⁴

(1. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074;
3. 湖南省电力公司, 湖南 长沙 410007; 4. 河南省电力公司, 河南 郑州 450007)

摘要: 对传统的电源规划模型结合需求侧管理、考虑环境保护和电力市场环境下的电源规划模型进行了详细的研究, 总结了实施需求侧管理、环境保护对电源规划的影响和电力市场改革对电源规划的新要求, 分析了各种模型中电源规划目标函数和考虑约束条件的不同。然后将电源规划问题所采用的求解方法主要分为数学优化方法和人工智能方法进行归纳, 包括动态优化法、混合整数规划法、专家系统、模糊理论、遗传算法和人工神经网络等, 对比了各种方法的优缺点。最后阐述了当前电源规划过程中尚待深入研究的问题。

关键词: 电力系统; 电源规划; 模型; 优化算法; 综述

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)23-0078-07

0 引言

电源规划是电力系统电源布局的战略决策, 在电力系统规划中处于十分重要的地位, 规划的合理与否, 将直接影响系统今后运行的可靠性、经济性、电能质量、网络结构及其将来的发展^[1,2]。

近年来, 电力系统的规模和发电机组容量不断增大, 再加上发电机组类型及所采用的一次能源的多样化, 使电源结构日益复杂; 电力市场的出现也使电源规划模型发生了重大变化。随着我国电力建设力度大大加强, 为电源规划工作的开展提供了新的机遇和挑战, 本文拟从模型和优化算法两个方面对电源规划问题加以总结和评述, 以期对电源规划问题的研究有所帮助。

1 电源规划模型

长期以来, 电源规划的学者们在建立规划的数学模型方面做了大量的工作, 根据所考虑的经济指标和约束条件的不同之处, 电源规划问题的发展主要经历了以下几个阶段。

1.1 传统的电源规划模型

国内外几乎所有的电源规划模型都是以总费用现值最小为目标函数^[3]。总费用通常包括两个部分: 一部分为与安装的发电机组容量有关的发电厂投资费用; 另一部分为与发电机组实际出力有关的发电厂运行费用。如式 (1)

$$P = \sum_{i=0}^n (Z_i + U_i) (1 + r)^{-(t-t_0)} \quad (1)$$

其中: P 为总费用现值; Z_i 为第 i 年的投资; U_i 为第 i 年的运行费用; r 为贴现率; t_0 为贴现基准年; n 为计算考虑的最后一年。由于电源规划涉及的范围很广, 在实践中, 规划目标不仅仅只是投资和运行费用, 有时还包括其它效益和支出, 计及的约束条件也多有不同^[3]。

文献 [4~8] 是有关电源规划的早期文献。在目标函数中均计入了待建电厂投资、运行费用和工程残值, 且利用生产模拟计算其运行费用; 并考虑了电力电量平衡、最小开机容量和可靠性等约束条件。其中文献 [4] 提出了利用直线折旧法计算工程尚未使用部分的剩余价值。文献 [7, 8] 考虑了系统停电损失和机组检修对电源规划的影响。文献 [9] 计及了输电线费用对电源规划的影响。

在实际工程中, 还有许多不确定因素都影响了电源规划的结果。文献 [10, 11] 在目标函数中计及了负荷预测的不确定性对电源规划结果的影响。文献 [12] 在目标函数中计及了能源价格、能源需求等不确定性因素对电源规划结构的影响, 并分析了能源价格和能源需求之间的关系。文献 [13] 在目标函数中考虑了电价对负荷需求的影响, 将其反馈到电源规划过程中, 获得了最大的社会效益。文献 [14] 在目标函数中计及了水文数据、机组随机停运等因素对规划结果的影响。

由于化石类燃料价格的持续增长, 促进了对可再生资源的开发、利用。文献 [15, 16] 分析了在电力系统中引入可再生资源 (风能、太阳能) 对系统可

基金项目: 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目; 中国博士后科学基金资助项目 (2003034473)

靠性和经济性的影响,且分析了引入可再生资源的短期经济效益,及对系统长期运行、规划的影响。

我国一次能源及负荷分配不平衡,就我国大部分电力系统来讲,火电的燃料供应和运输能力都存在一些问题。文献 [17, 18]建立了考虑能源分区平衡的电源规划模型,文中提出将整个系统划分成若干个能源分区,在每个能源分区内,按规划期限内限定的每年能源供给量与发电负荷需求进行校验,检验是否达到能源供需平衡。

针对一个国家,其每一类型燃料已被利用的程度及将被利用的情况都是不同的,在规划过程中,这些因素必须考虑在内。文献 [19, 20]在规划过程中通过设置各类型机组的最大装机容量(或在系统总装机容量中所占比例),实现了各种类型机组的均衡发展。

近年来,我国电力负荷结构在不断发生变化,调峰电源的合理选择及调峰电源结构优化问题成为规划工作中的主要问题之一^[21]。文献 [21, 22]在规划过程中计入了最大峰谷差约束,详细地考虑了系统调峰问题的技术经济约束,强调了调峰问题的建模与优化,建立了考虑峰谷差约束的电源规划模型,很好地解决了日益严峻的电网调峰问题。

1.2 考虑需求侧管理的电源规划模型

1981年美国学者 C. W. Gellings提出“需求侧管理”DSM (Demand-Side Management)的概念。鉴于实施 DSM所产生的显著社会效益和经济效益,2004年5月,国家发展改革委员会和国家电力监管委员会联合发出《加强电力需求侧管理工作的指导意见》,充分肯定了 DSM对缓解当前电力短缺的作用,确立了需求侧管理在我国可持续发展中的战略地位。

将需求侧管理同传统规划结合起来,产生了一系列新概念、新方法^[23],如最小成本规划 LCP (Least-Cost Planning)、综合资源规划 RP (Integrated Resource Planning)、综合价值规划 VP (Integrated Value Planning)等,这些概念形成的时间还不算长,人们对其含义及区别尚有一些争议。在实际应用中大多采用综合资源规划,文献 [24]将综合资源规划按其过程分为四个研究方面:需求预测、需求侧分析、供应侧分析、综合规划,并分别对这四个方所要处理的问题及现有的解决方法作了简要分析。

1.3 考虑环保的电源规划模型

温室效应、酸雨、核废料正在影响着人类的生存环境,在全社会所排放的二氧化碳中,大部分是由电

力部门(电厂)所排放的。进入21世纪,环保的呼声越来越高,在进行电源规划工作时,必须考虑环境保护对电厂建设的影响。文献 [25, 26]分析了各种类型机组所排放的污染物对环境危害程度的不同,建立了追求方案总费用现值最小、CO₂排放量最小和核废料排放量最小的多目标电源规划模型,在规划过程中考虑了环境保护的影响。与传统的电源规划结构相比,采用结合环保的电源规划模型可使二氧化硫和尘埃的排放量明显降低;但不可避免地增加了系统的投资,系统的可靠性也有所降低。

1.4 电力市场环境下的电源规划模型

电力工业在经历了百余年的平稳发展后,如今正面临着历史性的巨大冲击——电力市场,由于存在多个竞争的独立发电商,传统的基于总费用最小的电源规划模型已不能适应新形势的要求。文献 [27, 28]建立了分析独立发电商投资风险的模型并给出了相应的算法;文中采用机会成本原则,以装机进度和规模及融资机构为决策变量,以资金的最合理利用为目标,用蒙特卡洛模拟进行风险分析,并采用博弈论方法很好地分析了竞争对手的投产策略对本项目的影响。文献 [29]提出了在市场环境下,追求各发电公司利润最大化的电源规划模型;并在保证各发电公司的利润最大化的同时,考虑了如何维持电价的稳定,两个问题交替求解,从而得到最优的机组投产方案。文献 [30]分析了 BOT (Build Operate Transfer)形式私有发电厂对系统发展的影响,且提出了 BOT电厂的盈亏平衡单位成本的计算方法。文献 [31]在传统的电源规划目标函数(总费用最小)中,计入了购买独立发电商电力的费用,以此来考虑独立发电商的参与对电源规划的影响;但在计算购电费用时采用预先定义的电力交易价格,没有考虑电价波动情况,从而影响了规划结果的精确性。

2 电源规划优化算法概述

电源规划问题是一个高维数、非凸的、离散的、非线性的优化问题,很难找出理论上的最优解,但由于电源规划工作的重要性,学者们一直在积极研究。这里对电源规划问题的主要解法进行了深入的探讨,比较了各类方法的优缺点,并加以分类综述。

2.1 启发式算法

启发式算法 (Heuristic Method)是最早使用的一类优化方法^[32],这种方法没有严格的理论依据,依靠直观的判断和经验来寻求最优解,也无需考虑收敛的问题。文献 [2]中建立的 JASP模型,采用启发式算法求解投资决策子问题,首先求出待建机组在

规划期内第 t 年投产时,系统每增加一度发电量(或一千瓦装机容量)所需增加的等年值费用,优先让此指标小的发电机组投产,再利用爬山法进行搜索,最终确定所有待建机组的投产时序。文献 [33] 对此方法作了改进。

启发式算法计算速度快,占用内存少,往往找不到最优解,但能满足一般的应用要求。

2.2 数学优化方法

数学优化方法用数学优化模型描述电源规划问题,理论上可保证解的最优性,但通常计算量很大。常用的一些数学优化算法有以下几种:

1) 线性规划法 (Linear Programming)

线性规划法是目前应用最为广泛的、理论和求解都很完善的数学方法。线性规划的数学模型可以叙述为:在满足一组线性约束条件下,求多变量线性函数的最优值(最大值或最小值)^[31]。适合用来求解电源规划问题。

其主要优点是计算简单、求解速度快,有一套通用的求解方法,并有可用的标准软件,解题的规模可以较大。但实际电力系统中的问题大多为非线性,必须通过简化去除非线性,势必将带来误差。

2) 动态优化法 (Dynamic Programming)

动态规划法是研究多阶段决策过程最优解的一种有效方法,而电源规划是一个多阶段决策问题,寻求最优电源规划方案实质上是一个多阶段决策过程的寻优问题^[32]。用动态优化法求解电源规划问题主要有两种方法:一是按时间划分;另一种是按投产的新建机组数目划分。按时间划分比较符合工程习惯且容易和规划部门的规划阶段相配合。

文献 [12, 34] 采用随机型动态优化法求解电源规划问题,规划中考虑了负荷、电厂建设延误等不确定因素的影响,文献 [34] 采用概率树处理这些不确定因素;文献 [12] 采用更为简洁的马尔可夫链来处理这些不确定性因素,且考虑了这些不确定性因素之间的联系。文献 [25, 26] 分别将启发式算法和模糊理论与动态优化法相结合,提前去除了不可行解,提高了计算效率。

动态优化法对目标函数和约束条件没有严格的限制,可以考虑离散变量和随机因素,求解步骤清楚,能求得全局最优解。但随着状态变量个数的增加将出现“维数灾”问题,在实际工程中常将其与其它优化方法结合使用。

3) 混合整数规划法 (Mixed-Integer Programming)

混合整数规划法是变量中既有整数又有非整数的规划问题^[32]。这种规划问题解决起来十分困难,常用的方法有分支定界法、割平面法、Benders分解^[35]和 Dantzig-Wolfe分解^[36]等。通常利用分解技术将该问题分解为投资决策问题和优化运行问题,两个子问题也可以采用不同的优化算法。

混合整数规划法的优点是可以精确地处理离散变量,直接求解电源规划问题;理论上能得到全局最优解。其不足是计算量大、计算时间长,对于较大规模的系统,必须对问题进行分解。

2.3 人工智能方法

近年来,人工智能方法在求解电源规划问题中得到了广泛的应用。这些方法主要有专家系统、人工神经网络和现代启发式算法等。

1) 专家系统 (Expert Systems)

专家系统是人工智能的一个重要分支,其在处理专家经验、定性因素等方面具有独到的功效。解决了线性规划法、分支定界法所不便解决的离散性、非线性问题。文献 [37] 在电源规划中引入产生式专家系统来处理工程约束(专家经验),由事实库、规则集(规则库)、控制器三部分组成。文献 [38, 39] 构造了基于动态优化法的专家系统,在规划期内的每个阶段中考虑专家的实践经验,去掉动态优化过程中生成的不合适的状态,以减小求解规模,提高寻优效率。

专家系统能够方便地处理在规划过程中涉及的大量专家经验知识及定性因素。但专家系统的效率很大程度上决定于知识库的建立,如何获取知识并将获取的知识准确地表达出来一直是专家系统的“瓶颈”问题,还有待进一步的研究。

2) 模糊理论 (Fuzzy Set Theory)

近年来,模糊理论在电力系统中的应用得到了飞速发展^[40]。文献 [41] 在规划中引入了虚拟燃料价格,对每一个优化机组引入多个评价标准,根据隶属度函数确定每一个标准的值及其权系数。然后,由实际情况定义每一机组的偏好函数。最后根据偏好函数的不同来定义每一机组优化计算时的虚拟燃料价格。这样,在优化过程中便加入了人工知识,使优化结果更接近实际情况。

模糊理论能够有效的分析不确定性问题,善于描述输入、输出之间的关系,同时,模糊算法得出的结论可以给出不同结果的可能性,这样也不用作灵敏度分析。但对于精确的概念,用模糊理论来描述则会使问题变得复杂。

3) 遗传算法 (Genetic Algorithm)

遗传算法通过编码将规划方案转变为一组染色体,并列出一组待选方案作为祖先(初始可行解),以适应度函数的优劣来控制搜索方向,通过遗传操作逐步完成进化,最终逐步收敛到最优解。

文献[42]建立了基于遗传算法的电源规划模型,文中提出的动态模板十进制编码方法,成功地解决了编码问题,从而能够容易地计及电源规划中需考虑的各种因素,能够可靠地获得全局最优解。文献[43]采用了并行遗传算法求解电源规划问题,设计了一种多处理器并行计算的方法,并比较了不同数量处理器计算的效率;但由于采用直接编码,遗传操作后会出现非法编码,计算过程中不接受非法编码,需要重新操作,降低了遗传操作的效率。文献[20]采用智能化初始种群和多种交叉操作,克服了局部最优解问题。

遗传算法具有多路径搜索、随机操作等特点,不要求连续性、导数存在、单峰等假设。但是其本质上属于无约束优化算法,如何处理约束条件将在很大程度上影响算法的效率,有时会收敛到局部最优解。

4) 其它优化方法

其它优化方法还有人工神经网络(Artificial Neural Networks)^[44],模拟退火算法(Simulated Annealing)^[40],禁忌搜索(Tabu Search)^[31]等。鉴于篇幅这里不再详述。

3 讨论

长期以来,国内外电源规划工作者进行了大量而完善的研究,结合我国的实际情况,笔者认为在电源规划过程中还有以下几点需要考虑:

1) 我国供电形势严峻,而有些地区的电力则相对缓和,但由于线路负荷、输送能力有限,导致有电无线路或者电量负荷太大,电网担心超载以至于使整个网络瘫痪而不敢输送大量电力。另一方面,由于在规划过程中过多考虑节省电厂建设投资,而造成电网受端负荷中心地区电源规划装机容量较少的局面,使得将来出现电网传输阻塞的可能性增加。应考虑将联络线的输送容量、损耗和联络线的投建同电源规划工作相结合,优化电源布局,使规划结果更为合理。

2) 日益高涨的环保呼声对电源的选址和污染物的排放产生了重大的影响,目前在规划过程中通

常是在原有规划基础上进行局部调整,在约束条件中限制各种污染物的排放量。如何准确地计算用于治理排污的费用、分析电源选址的受限情况,并将其计入规划过程中,有待做进一步的研究。

3) 当前我国总体负荷率较低,在这种情况下,实施需求侧管理对于缓解电力供应紧张效果明显。但实施需求侧管理将对不同类型用户的用电量产生不同程度的影响,如何精确地分析这些措施对负荷曲线的影响和用于实施需求侧管理所投入的资金,将大大提高电源规划工作的准确度。

4) 由于分布式发电(Distributed Generating)具有改善电网负荷特性、节约电网投资、减少线路损耗、削峰填谷和提高系统可靠性的作用,因此在规划过程中应充分考虑分布式发电对电源规划的影响,建立结合分布式发电的电源规划模型。

5) 由于新建电厂投资规模巨大,投资回收期长,尤其在电力市场环境下,各发电投资厂商的参与势必对本厂的投资回收产生影响,应加强对新建电厂投资回收风险的分析。

4 结语

本文综述了电力系统电源规划问题的模型及其求解方法,指出了存在的一些问题。长期以来,在电源规划过程中对方案的经济性研究较为充分,随着用户对供电可靠性要求的不断提高,如何在模型中充分合理考虑可靠性的要求是需要进一步研究的课题;另外,当电力系统中待建机组数目较多或需要进行长期动态规划时,已有的求解方法还存在计算速度慢的问题。随着我国电力建设的加强和对电源规划研究的深入,我们期待着更加完善的模型及求解方法的出现。

参考文献:

- [1] 王锡凡. 电力系统规划基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
WANG Xi-fan. The Basis Knowledge of Power System Planning [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
WANG Xi-fan. The Optimization and Planning of Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1990.

- [3] 侯煦光. 电力系统最优规划 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991.
HOU Xu-guang The Optimization of Power System [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1991.
- [4] Jenkins S T, Joy D S Wien Automatic System Planning Package (WASP) [Z]. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, ORNL-4945, 1974.
- [5] Electric Power Research Institute (EPRI). Electric Generation Expansion Analysis System (EGEAS) [M]. Palo Alto: EPRI EL-2561, 1982.
- [6] Moskowitz H, Evans G W, Jimenez-Lerma I Development of a Multiattribute Value Function for Long Range Electrical Generation Expansion [J]. IEEE Trans on Eng Manage, 1978, EM-25 (4): 78-87.
- [7] Bloom J A. Long-range Generation Expansion Planning Using Decomposition and Probabilistic Simulation [J]. IEEE Trans on PAS, 1982, 101 (4): 797-802.
- [8] Park Y M, Lee K Y, Youn L T O. New Analytical Approach for Long-term Generation Expansion Planning Based Maximum Principle and Gaussian Distribution Function [J]. IEEE Trans on PAS, 1985, 104 (4): 390-397.
- [9] Ronald M S, Dale C A. A Mathematical Model for Long Range Expansion Planning of Generation and Transmission in Electric Utility Systems [J]. IEEE Trans on PAS, 1977, 96 (2).
- [10] Stremel J P. Generation System Planning Under Load Forecast Uncertainty [J]. IEEE Trans on PAS, 1981, 100 (1).
- [11] Farghal S A, Kandil M S, Abdel-Aziz M R. Generation Expansion Planning: an Expert System Approach [J]. Proc IEE, 1988, 135 (4): 261-267.
- [12] Mo B, Hegge J, Wangensteen I Stochastic Generation Expansion Planning by Means of Stochastic Dynamic Programming [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6 (2): 662-668.
- [13] He Y Q, David A K Advances in Global Optimization for Generation Expansion Planning [J]. IEE Proc—Gener, Transm and Distrib, 1995, 142 (4): 423-428.
- [14] Gorenstin B G, Campodonico N M, Costa J P, et al Power System Expansion Planning Under Uncertainty [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8 (1): 129-136.
- [15] Allan R N, Corredor Avella P. Reliability and Economic Assessment of Generating Systems Containing Wind Energy Sources [J]. Proc IEE, 1985, 132 (1).
- [16] Farghal S A, Roshdy Abdel Aziz M. Generation Expansion Planning Including the Renewable Energy Sources [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3 (3): 816-822.
- [17] 熊信银, 吴耀武. 遗传算法及其在电力系统中的应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
XDNG Xin-yin, WU Yao-wu Genetic Algorithm & Its Application in Power System [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
- [18] 熊信良, 周勤慧, 吴耀武, 等. 考虑能源分区平衡的电源规划模型 [J]. 华中理工大学学报, 1996, 24 (6): 27-31.
XDNG Xin-yin, ZHOU Qin-hui, WU Yao-wu, et al A Power Planning Model with Energy Resources Balance Taken into Consideration [J]. Journal of Huazhong University of Sci & Tech, 1996, 24 (6): 27-31.
- [19] Park Jong-Bae, Park Young-Moon, Won Jong-Ryul, et al Least-cost Generation Expansion Planning Based on an Improved Genetic Algorithm [A]. Power Engineering Society Summer Meeting 1999. 1043-1047.
- [20] Park Jong-Bae, Park Young-Moon, Won Jong-Ryul, et al An Improved Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15 (3): 916-922.
- [21] 杨斌, 余岳峰, 杜建军. 改进的遗传算法在中期发电规划中的应用 [J]. 电网技术, 2001, 25 (8): 33-36.
YANG Bin, YU Yue-feng, DU Jian-jun Application of Improved Genetic Algorithm in Midterm Power Generation Planning [J]. Power System Technology, 2001, 25 (8): 33-36.
- [22] 张少华, 言茂松, 程道平, 等. 调峰电源的系统规划与评价 [J]. 电网技术, 1995, 19 (4): 11-16.
ZHANG Shao-hua, YAN Mao-song, CHENG Dao-ping, et al System Planning and Evaluation for Peak-regulation Plans [J]. Power System Technology, 1995, 19 (4): 11-16.
- [23] 曾鸣. 需求侧管理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
ZENG Ming Demand-side Management [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [24] 康重庆, 相年德, 夏清. 综合资源规划及其研究热点问题 [J]. 电网技术, 1997, 21 (4): 19-24.
KANG Chong-qing, XIANG Nian-de, XIA Qing An Introduction to Integrated Resource Planning and Its Hot Topics [J]. Power System Technology, 1997, 21 (4): 19-24.
- [25] Kim Young-Chang, Ahn Byong-Hun Multicriteria Generation-expansion Planning with Global Environmental Considerations [J]. IEEE Trans on Engineering Management, 1993, 40 (2): 154-161.
- [26] Su Ching-Tzong, LI Guor-Rung, Chen Jiann-Jung Long-term Generation Expansion Planning Employing Dynamic

- Programming and Fuzzy Techniques[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, 2000. 644-649.
- [27] 赵新宇,王锡凡,陈皓勇. 火电厂投资风险决策的模型与整体框架[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 7-11.
ZHAO Xin-yu, WANG Xi-fan, CHEN Hao-yong. Strategy Decision Model and Framework of Thermal Power Generation Investment[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8): 7-11.
- [28] 赵新宇,王锡凡,陈皓勇. 火电厂投资风险决策的算法和灵敏度分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 15-20.
ZHAO Xin-yu, WANG Xi-fan, CHEN Hao-yong. Strategy Decision Algorithm and Sensitivity Analysis of Thermal Power Generation Investment[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 15-20.
- [29] Park Jong-Bae, Kim Jin-Ho, Lee K Y. Generation Expansion Planning in a Competitive Environment Using a Genetic Algorithm [A]. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2002. 1169-1172.
- [30] 邢卫国,吴复立. 基于遗传算法发电规划 BOT电厂成本效益分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(2): 56-60.
XING Wei-guo, WU F L. Cost-benefit Analysis of BOT Based on Generation Expansion Planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(2): 56-60.
- [31] LN WheiMin, Zhan Tung-Sheng, Tsay Ming-Tong, et al. The Generation Expansion Planning of the Utility in a Deregulated Environment[A]. IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies(DRPT), 2004. 702-707.
- [32] 陈皓勇,王锡凡. 机组组合问题的优化方法综述[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(4): 51-56.
CHEN Hao-yong, WANG Xi-fan. A Survey of Optimization-based Methods for Unit Commitment[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(4): 51-56.
- [33] 陈皓勇,王锡凡. 电源规划 JASP的改进算法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(11): 22-25.
CHEN Hao-yong, WANG Xi-fan. Generation Planning Using Lagrangian Relaxation Method and Probabilistic Production Simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(11): 22-25.
- [34] Dapkus W, Bowe T R. Planning for New Electric Generation Expansion Technologies: a Stochastic Dynamic Programming Approach[J]. IEEE Trans on PAS, 1984, 103(6): 1447-4453.
- [35] Baughman M L, Siddiqi S N, Zamikau J W. Integrating transmission into RP, Part I Analytical Approach[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3).
- [36] George D. Decomposition Techniques for Multi-area Generation Expansion Planning Under Uncertainty [J]. EPRI, 1989.
- [37] Sherkat V R, Ikura Y. Experience with Interior Point Optimization Software for a Fuel Planning Application [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(2): 833-840.
- [38] David A K, Zhao R. An Expert System with Fuzzy Sets for Optimal Planning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(1).
- [39] David A K, ZHAO Rong-da. Integrating Expert Systems with Dynamic Programming in Generation Expansion Planning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1989, 4(3): 1095-1101.
- [40] ZHU Jin-xiang, CHOW Mo-yuen. A Review of Emerging Technique on Generation Expansion Planning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(4): 1722-1788.
- [41] Handke J, Handschin E, Linke K, et al. Coordination of Long- and Short-term Generation Expansion Planning in Thermal Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(2): 803-809.
- [42] 吴耀武,候云鹤,熊信良,等. 基于遗传算法的电力系统电源规划模型[J]. 电网技术, 1999, 23(3): 10-14.
WU Yao-wu, HOU Yun-he, XIONG Xin-yin, et al. A Model for Generation Expansion Planning of Power System Based on Genetic Algorithm [J]. Power System Technology, 1999, 23(3): 10-14.
- [43] Fukuyama Y, Chiang H D. A Parallel Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2): 955-961.
- [44] Sasaki H, Kubokawa J. A Solution of Generation Expansion Problem by Means of Neural Network[A]. Proceeding of First International Forum on Applications of Power Systems. Seattle: 1991.

收稿日期: 2005-09-07; 修回日期: 2005-11-13

作者简介:

李小明(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统规划;E-mail: limh_hust@263.net

陈金富(1972-),男,博士,主要研究方向为电力系统规划、运行以及 FACTS应用技术;

段献忠(1966-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析、计算及信息技术应用。

A survey of modeling and optimization methods on generation expansion planning

LIXiao-ming¹, CHEN Jin-fu², DUAN Xian-zhong², CHEN Yue-hui³, SONG Ai-hong⁴

(1. Henan Electric Power Survey and Design Institute, Zhengzhou 450007, China;

2. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. Hunan Electric Power Group Co., Changsha 410007, China;

4. Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: In this paper, a survey of the optimal models on generation expansion planning (GEP) is presented. The influence on GEP are discussed, which are caused by demand-side management, environment protection and the power market. The differences of objective functions and constraints in these models are analyzed. Then, the optimal methods on GEP are summarized, such as dynamic programming, mixed-integer programming, expert systems, fuzzy set theory, genetic algorithm, artificial neural networks, etc. Finally, some problems to be solved are put forward.

Key words: power system; generation expansion planning (GEP); model; optimization methods; survey

(上接第 61 页 continued from page 61)

彭向阳 (1968 -),男,工程师,长期从事继电保护专业
技术工作; E-mail: kpxy@sdu.edu.cn

业技术管理工作;

潘龙 (1967 -),男,高工,长期从事电力系统专业技

术管理工作。

术管理工作。

Characteristic analysis of DC circuit breakers and fuses used in substation

PENG Xiang-yang¹, CHEN Xian-wei², PAN Long¹

(1. Kaifeng Power Supply Company, Kaifeng 475000, China; 2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: There are many DC circuit breakers and fuses in the DC system of substation. But some data on ampere-second of their operating (fusing) characteristic are not usually provided by manufacturers specifications, and it is fuzzy for on-site users to know the operating characteristic about coordination among DC protection systems, which can affect on selecting DC protection system's parameters of the whole set electric device for substation in some degree. For knowing well about the fusing characteristic of DC protection and controlling elements, some reasonable strategies are presented and tested by choosing DC circuit breakers and fusible cutout with main-stream configure trial and error. As a result, some pivotal problems are detected from corrective testing data, which are the basis of researching into the coordination among different levels of DC protection systems for substation.

Key words: substation; DC system; breaker; fuse; different levels; characteristic

(上接第 77 页 continued from page 77)

Survey of fault location algorithm based on two-terminal data of transmission line

YUAN Yu-chun¹, LU Xiao-chuan²

(1. Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Chengdu Fuhe Electric Group Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

Abstract: There are many factors that influence the accuracy of fault location using two-terminal data. Fault location algorithm using two-terminal data of transmission line is discussed in this paper. The principle of the algorithm and their limitations when applied in practical system are analyzed. The conclusion is that the following factors must be taken into account then the results of the algorithm may have high accuracy. These factors are, the data of transmission line of two terminals may be unsynchronized, the parameters of the transmission line may have error, the transmission line is un-transposed, compensating equipments are installed in transmission line.

Key words: transmission line; fault location; two-terminal data; fundamental frequency; power system