

电力市场环境有功优化调度方法综述

钟嘉庆

(燕山大学 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 电力系统安全经济运行是电力系统中重要问题之一,随着发电侧电力市场的开放,传统有功优化调度方法已难适应当前电力市场环境。从调度模型及优化算法两方面进行综合分析,总结了电力市场环境下有功优化调度的数学模型、优化算法及其主要成果,并指出了各种算法的优缺点。

关键词: 电力市场;有功优化调度;优化算法

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Optimization scheduling methods of active power in power market environment

ZHONG Jia Qing

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Safe and economic operation of power system is an important problem. With the power generation side of the open electricity market, the traditional method of active power optimization is difficult to adapt to the current market environment. This article carries out a comprehensive analysis from both sides of the scheduling model and optimization algorithm. It sums up the mathematical model of active power optimization, optimization algorithms and its major achievements in power market environment. It also points out the advantages and disadvantages of various algorithms.

Key words: power market; active power optimization schedule; optimization algorithm

在电力系统经济运行过程中,有功优化调度是一个重要的优化问题,传统目标函数是在满足负荷和运行约束条件的前提下发电成本最小化。在电力市场体制下的电力交易计划中,有功优化调度问题仍然是一个核心内容。电力市场环境下有功优化调度的目标是在满足负荷需求的条件下总购电费用最小。有功优化调度不仅是电力市场理论基础的组成部分,也是评估电力市场实践的标准。

在电力工业逐步打破工业垄断引入竞争机制的时代背景下,电力系统有功优化调度问题也面临着向新运行模式的调整,在新体制下必然要接受市场规律调节和影响,也因此带来了许多需要考虑的因素。电力市场环境下的有功优化调度已经由传统的单一目标函数向多目标综合模型形式转变。由于经济调度问题的重要性,各国学者对有功优化方法进行了大量的研究。从数学的角度看,在常规机组有功出力上下限、发电机组爬坡速率约束等条件的制约下,传统运行模式下的经济负荷分配问题是一个非凸、高维数、非线性不可导的优化

问题。在这一领域,基于经典优化算法的方法有:线性规划法、非线性规划法、二次规划法以及动态规划法。近年来,随着计算机技术、人工智能技术的发展以及多学科的交叉融合,许多新的优化算法相继出现并应用于经济负荷分配问题中,例如遗传算法、蚁群算法、粒子群算法、细菌群体趋药性算法等。这些新算法与传统的数学优化算法相比,在解决高维、离散的优化问题上具备一定的优势。

1 电力市场环境下经济调度问题模型分析

优化离不开目标,在市场机制下,电力系统运行优化调度的目标又被赋予了新的含义。

1.1 传统优化调度单一目标函数及约束条件

1.1.1 单一目标函数

传统电力系统中有功优化调度的单一目标函数设定为发电费用最小、或运行费用最小、或网损最小等,对水电机组来说目标函数为发电量最大,这些函数是在已知发电成本的基础上,从整个电力系统优化的角度考虑的。

综述与评论

Review and Comment

电力市场环境下,发电商成了独立运营的实体,其成本不再是公开的信息,传统优化调度中的“成本”在电力市场中被发电商的报价曲线所代替,电网优化的目标也有所不同。除上述目标函数外,还可以购电费用最小、运行总收益最大、火电机组名义环境补偿成本最小、风电备用容量补偿成本最小等作为目标函数。

1.1.2 约束条件

随着电力市场的发展,电力系统运行中受制约因素越来越多,各种约束条件的分析研究是电力系统优化调度的重点。

(1)等式约束条件。又称功率平衡约束,指系统总发电量等于系统总负荷与总网损之和;

(2)不等式约束条件。包括常规机组有功出力上下限、发电机组爬坡速率约束、机组最小开停机持续时间约束、旋转备用约束、变压器分接头调整次数及范围、无功补偿设备投切次数的限制、FACTS 控制量的限制等。

1.2 电力市场环境下有功优化调度多目标模型研究

1.2.1 梯级水电站优化调度

梯级水电站不仅要满足电力系统运行要求,还要考虑发电和用水之间的协调,才能使综合效益最大化。参考文献[1]提出年发电量最大及耗水量最小的梯级水电站长期多目标优化调度新模型。通过分别求解各个单目标优化问题和定义各单目标的隶属度函数,利用模糊最大满意度方法把多目标优化问题转化为单目标非线性规划问题。多目标模型与单目标模型相比,可获得更佳的综合效益。

另外,由于入库径流、电价、机组运行状况等不确定因素的影响,电力系统中梯级水电站的短期优化调度从本质上说是一个随机优化控制问题。在构造水电优化调度策略时应该适当考虑风险^[2]。随着电力工业市场化改革的深入进行,水电在优化调度过程中将出现更多的不确定性因素,如何度量风险并协调利润与风险之间的矛盾、保证系统的安全性和经济性,是值得深入研究的问题。

1.2.2 含风电场的电力系统经济调度^[3-5]

风电场并入系统以后,所有常规机组承担的负荷等于总负荷减去风电场承担的部分负荷。由于风电场的出力是随机量,系统的发电成本也因此成为随机量,以确定性模型考虑风电,无法准确反映风电并网以后电力系统的实际情况,因此引入随机变量表示风电功率,采用随机规划理论建立基于机会约束规划的数学模型。其目标是在常规机组和风电场间经济分配负荷,实现系统发电成本期望最小化。以常规机组发电成本最小为目标,约束条件以概率形式表示。

1.2.3 协调风险与收益的概率优化调度

以期望运行效益最大化为目标,考虑预想事故状态,将电网运行状态概率预测与有功调度决策相结合^[6-7]。研究电

网运行趋势的概率变化规律,即依据电网起始状态与可能状态之间的转移率、通过马尔科夫链对电网未来可能运行状态的概率进行预测,不仅可以得到未来调度时段协调风险与收益的概率调度方案,而且可以得到系统期望运行最大收益的时序变化曲线。

1.2.4 环境经济调度模型

现有的电力市场机制下,电力系统经济调度模型没有考虑电能生产所产生的环境污染和资源消耗等外部成本,也没有考虑能源效率等因素。因此,建立运行费用最小及环境污染最小多重目标是现阶段研究的主要方向,在寻求多目标间符合市场经济规律的权衡系数的基础上求线性加权和^[8]。考虑各发电机组和各种能源的环境成本,例如考虑风电备用容量补偿成本(风电接入系统后火电热备用容量的变化)、建立电力市场环境下含风电机组的环境经济调度模型,使以风电为代表的新能源形式的电能价值得到合理的反映。

2 有功优化调度的优化算法

有功优化调度的基本目标是在满足有功功率平衡的情况下使发电费用最小,机组出力、电压水平及线路安全约束等也应得到满足。这就是一个非线性问题,即费用目标函数是非线性的,等式、不等式约束也有非线性。电力系统有功优化调度经历了由静态到动态、由经典理论到现代理论、由确定性到随机性和模糊性融合的发展过程。按照其优化方法及发展历程,应该归结为经典优化算法和智能优化算法两类。

2.1 经典优化算法^[9]

目前用于电力系统优化调度问题的数学方法归纳起来有4类:线性规划模型、非线性规划模型、二次规划模型和动态规划模型。

(1)线性规划模型

线性规划模型是指在1组线性约束条件下,寻找目标函数的最大值或最小值的问题。线性规划方法一般将非线性方程和约束条件使用泰勒级数近似线性化处理,或将目标函数分段线性化。该模型计算迅速、收敛可靠,便于处理各种约束,但缺点是优化的目标函数精度低。

(2)非线性规划模型

非线性规划模型是指在等式约束或不等式约束条件下优化目标函数。其中等式约束、不等式约束或目标函数中至少有一个为非线性函数。非线性规划模型又可进一步分为一阶梯度法和二阶梯度法。一阶梯度法主要有简化梯度法及其改进形式和微分注入法及其改进形式。二阶梯度法包括海森矩阵法、牛顿法、内点法等。海森矩阵法直接使用目标函数的二阶导数矩阵;牛顿法使用扩展目标函数所形成的海森矩阵;内点法可以很方便地处理大规模性的优化问题,因此得到了广泛的关注。非线性规划模型的特点是精度比较高,但计算量相对较大,解算大规模问题时收敛特性不是很稳定。但牛顿法

综述与评论

Review and Comment

和内点法在这两方面突破很大,是目前发展较为成熟的方法。

(3)二次规划法

二次规划法适于求解目标函数为二次形式,约束条件为线性表达式的问题。Reid 和 Hasdorf 于 1973 年首次提出用二次规划法求解经济调度问题,通过引入人工变量把费用函数(目标函数)近似为二次函数,利用泰勒级数展开,把约束线性化,并采用线性规划中的 Wolf 算法求得最优解,但是计算时间随系统规模的增大而明显延长。美国 GE 公司的 Burchett 和 Happ 等人通过采用增大拉格朗日函数,将原非线性规划模型分解为一系列线性约束子问题求解。这些二次规划子问题利用了 Hessian 矩阵的稀疏性,并用拟牛顿法求解。它能处理各种目标函数,且在不同初始条件下均能得到正确解。二次规划法的优点是比较精确可靠,但其计算时间随变量和约束条件数目的增加而急剧延长,而且在求临界可行问题时会导致不收敛。

(4)动态规划模型

动态规划法把全过程化为一系列结构相似的子问题,每个子问题的变量个数大大减少,约束条件也简单,更利于得到全局最优解。其缺点是对机组较多的电力系统计算量太大,必须采用近似方法加以简化,则不可避免地要丢失最优解;要求解的问题具有明显的阶段性,难于考虑与时间有关的约束条件和机组功率变化速率等限制,用数值方法进行求解时存在维数灾难的问题,也无法构造标准的数学模型;通盘考虑整个系统的问题时,使用起来不够灵活。动态规划法可以较好地求解动态优化调度问题,也可以圆满地完成负荷经济分配任务。

2.2 智能优化算法

近年来,随着计算机和人工智能等技术的发展,不断有新的方法出现,人工智能方法解决了寻找全局最优解的问题,能精确处理问题中的离散变量,但这一类方法是根据随机性的搜索原理寻找最优解,计算速度慢,难以适应在线计算及电力市场的要求。

(1)遗传算法

在动态条件下,有功调度问题的研究在处理约束问题及求解问题规模的能力上,还没有完善地解决。遗传算法^[10-11]不依赖于梯度信息,而是通过模拟自然进化过程来搜索最优解,它通过有组织的、随机的信息交换来重新组合那些适应性好的串,生成新的串的群体。尤其适用于处理传统搜索方法难于解决的复杂问题和非线性问题。在这种情况下,遗传算法以其鲁棒性强、易于并行分布处理并能以较大概率找到全局最优解等特点,在该问题的求解中展现出独特的魅力。它既能有效地处理该问题中非线性、不连续的目标函数,又能准确考虑各种非线性的跨时段约束条件。遗传算法具有较好的全

局搜索性能,也使得遗传算法本身易于并行化,求解大规模系统在调度时刻细化程度较高时的计算速度较快。

(2)粒子群算法

粒子群(PSO)^[12-14]算法参数简单,并且容易实现,所考虑的参数实际上只有粒子的位置和速度,即问题的解和问题解的变化速度及方向,是一种新的迭代寻优算法。与 GA 算法较为类似,但是与 GA 算法相比,PSO 算法没有变异和交叉,而是利用解空间追随最优粒子进行搜索,搜索到的解质量更好,对多极值函数有更好的搜索能力,适用于电力系统有功优化调度。

(3)细菌群体趋药性算法

细菌群体趋药性算法^[15]的特点是在寻优过程中依赖于单个细菌的运动行为,同时单个细菌个体又能够不断地感受到周围环境的变化并利用其过去的经验来寻找最优解。每个细菌即个体极值点在变化运动位置信息的同时不断感知周围的信息从而不断向最优方向移动,提高了全局搜索能力。细菌群体趋药性算法在电力市场环境下电力系统发电机组有功经济调度中的应用取得了较为理想的效果,在电力市场体制的新环境下对解决机组分时经济调度问题的尝试是成功的。细菌群体趋药性算法以其独特的寻优特性保证了优化的效果,在该研究领域值得进一步关注。

(4)混沌优化算法

混沌优化算法^[16-17]利用混沌运动的随机性,由 Logistic 方程随机生成混沌序列,将其载波到包含有功优化调度目标函数可行域 S 的一个区域,利用随机性、遍历性和规律性,不断缩小优化变量的搜索空间和提高搜索精度进行全局寻优。该算法可以求解具有复杂约束条件的非线性有功优化调度问题,易于考虑各种限制条件,例如出力限制、水位限制等,求解精度高,具有较大的实用价值。混沌优化算法易跳出局部解,计算效率高。

(5)蚁群优化算法

蚁群算法^[18]是 20 世纪 90 年代后期兴起的启发式智能进化算法,其简单、高效搜索、强鲁棒性和适用于并行处理等优点被证实为解决大型动态组合优化问题的有效方法。蚁群算法作为通用的随机优化方法,在解决很多组合优化问题上都能取得比较理想的效果。例如在电力市场环境中系统电价和负荷一定的情况下,将效益最大化作为系统优化准则,运用水资源价值系数、设备运行费、折旧费及其他费用等成本因素,建立分时电价梯级水电站短期优化调度模型,构造求解该模型的层结构蚁群算法,采用启发式规则解决解的多样性和机组启停问题,采用精英策略节约计算内存和优化时间。同时,该算法也被用于解决电力系统的诸多问题,例如热电机组短期发电计划问题、输电网络扩展规划问题和配电网网络的重构问题等,都验证了该算法的实用性。

(6)混合优化算法

近年来,研究者进一步将各种优化算法相结合,充

综述与评论

Review and Comment

分利用各种优化算法的优点,组成混合优化算法^[19-21],在计算速度、精度等多方面取得了较好的效果。例如,混沌粒子群优化算法利用粒子群优化算法结构简单、收敛速度快的优点和混沌搜索遍历性、随机性等优点,有效克服了 PSO 算法容易陷入局部最优以及混沌优化算法对初值的高度依赖等缺陷。混沌遗传算法的主要操作是在选择出本代的部分优良个体之后,再借助混沌优化算法对这些个体进行混沌优化运算,形成品质更加优良的新个体替换原个体。其他混合优化算法还有遗传算法与内点法结合、离散粒子群与内点法结合、结合灵敏度分析的遗传算法等等。

随着电力市场的推广,厂网分开后,各发电企业和电网企业职能发生变换,电力系统有功优化调度复杂程度增大,其发展趋势是立足于电网实际,以优化调度方法为技术基础,综合考虑安全、节能、环保等约束条件,合理开展,谋求电力系统全局效益合理化以及经济社会综合效益最优化。

参考文献

- [1] 胡国强,贺仁睦.梯级水电站长期多目标模糊优化调度新模型[J].电力自动化设备,2007,27(4):23-27.
- [2] PABLE e. nate yumbra, JUAN m. ramirez, CARLOS a. coello coello. Optimal power flow subject to security constraints solved with a particle swarm optimizer[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2008,23(1):33-40.
- [3] 孙元章,吴俊.基于风速预测和随机规划的含风电场电力系统动态经济调度[J].中国电机工程学报,2008,29(4):41-47.
- [4] PAPPALA V S, ERLICH I, ROHRIG K, et al. A stochastic model for the optimal pperation of a wind-thermal power system [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009,24(2):940-950.
- [5] BOUFFARD F, GALIANA F D. Stochastic security for operations planning with significant wind power generation [J]. IEEE Transactions on Power Systems,2008,23(2):306-316.
- [6] 查浩,韩学山.电网运行状态下的概率优化调度[J].中国电机工程学报,2008,28(28):54-60.
- [7] GREGOR V, CLAUDIO A. Canizares. Probabilistic optimal power flow in electricity markets based on a two-point estimate method [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006,21(4): 1883-1893.
- [8] 袁铁江,晁勤.电力市场环境下的风电机组的环境经济调度模型及其仿真[J].电网技术,2009,33(6):67-71.
- [9] 姚鹏.不完全电力市场条件下的发电经济调度研究及系统实现[D].湖南大学硕士学位论文,2007:7-13.
- [10] 李惠玲,盛万兴,孟晓丽.基于改进小生境遗传算法的配电网全网无功优化[J].电网技术,2009,33(4):34-50.
- [11] 张瑜玲,顾幸生.基于免疫算法的火电厂机组负荷优化分配研究[J].系统仿真学报,2006,18(s2):235-238.
- [12] 刁东宇,赵英凯.带双重变异算子的自适应粒子群优化算法[J].计算机工程与设计,2009,30(5):1186-1188.
- [13] 孙燕,谭英,曾建潮.求解模糊机会约束规划模型的微粒群算法[J].系统工程与电子技术,2009,31(2): 376-379.
- [14] SHI Y,EBERHART R C.Fuzzy adaptive particle swarm optimization [C].Seoul Korea:Proc of the Congress on Evolutionary Computation,2001:101-106.
- [15] 张聪,黄伟,魏志连.电力市场中发电机组日有功经济调度的新算法[J].中国电力教育,2007:250-251.
- [16] 梁伟,何春原,陈守伦,等.改进的混沌优化算法在水电站水库优化调度中的应用[J].河海大学学报,2008(2).
- [17] 廖艳芬,马晓茜.改进的混沌优化方法在电站机组负荷分配中的应用[J].动力工程,2006,26(1):93-96.
- [18] 徐刚,马光文.基于蚁群算法的梯级水电站群优化调度[J].水力发电学报,2005(10).
- [19] 何耀耀,周建中.混沌 PSO 梯级优化调度算法及实现[J].华中科技大学学报,2009,37(3):102-105.
- [20] 牛大鹏,王福利.多目标混沌差分进化算法[J].控制与决策,2009,24(3):361-370.
- [21] 郑小霞,钱锋.一种改进的微粒群优化算法[J].计算机工程,2006,32(15):25-27.

(收稿日期:2009-09-15)

泰科电子推出全新太阳能线缆连接器锁紧套环

该套环适用 NEC 推荐标准 能够防止线缆连接器意外断开

作为久负盛名的 SOLARLOK 品牌太阳能线缆连接器的配件,这款全新的连接器锁紧套环能够应用于配套连接器,以防止其发生失误或者意外断开情况。该套环能够在配套连接器上锁死,可以避免触及配套连接器上的释放装置。该产品允许使用工具进行拆卸,仅需将螺丝刀插入套环中的卡槽就可完成释放。

在美国,采用配套连接器的所有光伏设备中都要求加装该锁紧套环,其中包括线缆到线缆的连接系统,以及应用连接器式接线盒的线缆到分线盒的连接器等。

该连接器锁紧套环满足 2008 NEC 推荐标准中第 609 节有关使用工具解除主动锁死保护装置的规范要求。同时,使用螺丝刀避免了对专业工具以及相关培训的要求。

作为领先的太阳能线缆连接器系统之一,SOLARLOK 连接器目前在太阳能板阵列和其它光伏系统中获得了广泛应用。这款全新的锁紧套环强化了系统的安全和可靠性,仅允许在将套环释放后才能断开连接器。

如需了解关于泰科电子锁紧套环的详细信息,请与泰科电子产品咨询中心联系,拨打 400 820 6015,或访问 <http://www.tycoelectronics.com/customer-support/support.asp>。

(泰科电子供稿)