[电网调度]

电网有功优化调度技术分析研究

文/国家电网东北电力调控分中心调度运行科　刘　洋　杨巍巍　于　骏　孙铭泽　金学洙

随着国家电网线路的普及，电力已经进入每家每户供人们使用，人们的生产生活已经离不开电力的支持。由于全国每天需要供应大量的电能，所以如何保证电能运输的经济性与安全性成为了电力系统的重要问题。随着人们对电能的需求不断增大，原有的有功优化调度技术已经无法适应现有的电力环境。就电网有功优化的模型调度技术和算法的优化来进行分析。

在电能运输过程中，如何保证运输的安全稳定同时又要将电能的损耗降到最小是目前电能运输的重要问题，而有功优化调度，则是在满足运行限制条件下将发电的成本降到最低的一种调度方法。有功优化调度不仅是电力系统经济理论的基础，还是电力系统经济费用评估的参考标准。在新的电力市场体制下，电力系统的有功优化调度技术也需要进行新的调整，必须考虑到更多新的因素，传统的单一目标函数算法已经无法满足优化调度要求，多目标综合算法才是有功优化调度技术的发展趋势。就传统的单一函数模型所存在的缺陷、多目标函数算法的研究以及常用的有功优化调度优化算法的介绍。

传统的单一函数模型存在的缺陷

单一目标函数模型指的是从各种所需要计算的条件中选出一个作为参考标准，比如发电费用最小、电网损坏最小等。而在当前的电力市场条件下，发电商已经可以独立运行，成本价也不会公开，所以电网优化所取的参考条件也不一样，比如火力发电可以选择环境补偿成本优化、风力发电可以选择容量补偿成本优化等作为单一目标函数计算。

然而随着电力系统的发展，发电工程中所需要考虑的因素越来越多，许多费用在计算时需要多方面的综合考虑，所以，单一目标函数模型无法满足需求。除此之外，单一目标函数模型本身还存在着等式制约条件和不等式制约条件。等式制约条件是指电力系统总的有效发电量等于电力系统的总发电量减去电网运输过程中的损耗电量；不等式制约条件包括旋转备用制约、机组最小开机停机时间制约、发电机组运送效率制约等。

多目标函数模型的研究

1．水力发电的有功优化调度

水力发电过程中，不仅仅是要对电力系统的发电效率提出要求，还需要综合考虑发电量和用

水量的问题，要使单位用水量所发电量取得最大值，同时使发电效率最大化。这里需要考虑多个因素的影响，所以可以先建立多目标函数模型，然后再对其中的单一的函数分别进行求解，对这些单一项的函数解进行综合分析，尽量选出最佳优化方案，获得更多的经济效益。

除了固定因素的影响以外，还存在着许多不确定因素，比如电价、设备运行状态等，都会对成本计算产生较大的影响，这些问题的优化调度被称为“随机优化”。所以，在考虑成本计算时需将风险因素考虑进去。随着电力系统的发展，越来越多的不确定因素将会出现，如何权衡风险与利益之间的关系，将成为有功优化调度的一个重要问题。

2．风力发电的有功优化调度

风力发电是依靠风力带动设备运转所产生的动能转化为电能而实现发电的，而风力本身就是个不确定因素，所以风力发电量也是一个随机变量，无法通过常规方法进行计算，用固定公式模型进行计算与实际情况相差较大，所以并不能准确反映风力发电的具体情况。此时，就需要使用随机变量来对风力发电电量进行计算，该计算的目的是为了通过对风力发电电量的预估，来调整发电机组的运行状态，有多少需要转化的电能就运行多少的机组，机组运行状态与风力发电电量相协调，减小机组损耗，节约发电成本。风力发电有功调度与控制示意图如图1所示。

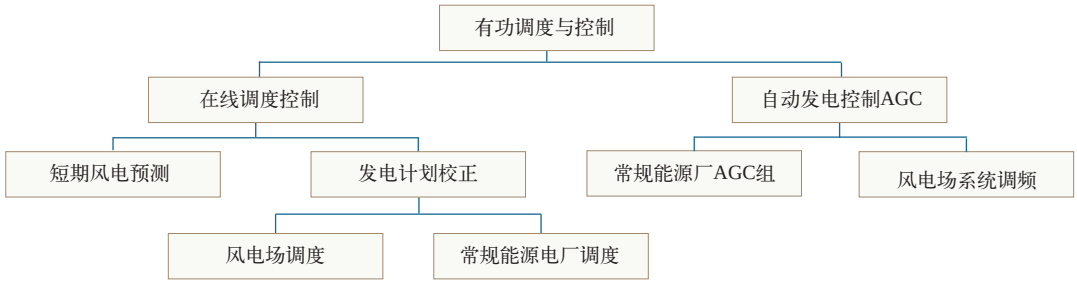

图1　风力发电有功调度与控制示意图

3．风险与利益之间协调的概率优化

以经济效益最大化为重点目标，考虑到运行时的事故风险，通过对机组运行时的风险概率检测，来对机组运行的变化趋势进行考虑，比如电力系统初始建立时电能的转化效率、利用马尔科夫链来对电力系统未来的风险概率进行评估。风险评估不仅便于制订未来最优调度方案，协调风险与利益，还能得到最大收益值随时间变化的曲线。

4．环境因素影响的优化调度

在现在的电力市场中，电力系统的经济优化调度都只考虑到了纯粹的发电消耗成本，而没有考虑到环境和资源的消耗成本，也没有考虑到资源转化率的问题。所以在建立多目标函数模型进行有功优化时，需要把环境、能源的因素也考虑进去，如何在环境牺牲小、能源转化率高的前提下把经济效益提升到最高成为现阶段有功优化调度研究的主要目标。各发电方式的环境、资源成本包括风力发电中的机组运行效率、火力发电中的废料废气处理成本和水力发电中的水利用率。

常用的有功优化调度算法

有功优化调度就是在有功功率保持平衡的条件下使得发电的效率最高、经济成本最小和保证电路安全等。这是非线性的，所以建立的函数模型也是非线性的。电力系统有功优化调度从固定到随机、从传统到现代、从静止到动态，经历了一系列的发展过程。按照优化的方法可以把有功优化调度算法分为经典优化法和智能优化法。

1．有功优化调度的经典优化法

当前所使用的数学优化模型一共有4类，包括线性优化模型、非线性优化模型、二次函数模型以及动态优化模型。

（1）线性优化模型

线性优化模型是在一组线性条件的限制下，对目标函数进行求解，解出其最小值和最大值，

通常是通过泰勒级数把非线性方程和限制条件进行近似线性化的运算，或者把目标函数分成几个部分分别进行线性化，最后得出最大最小值。这种线性优化函数模型计算便捷，结果可靠，多用于多种条件限制下的优化调度运算，但它的运算结果精确度比较低，不能满足高要求运算的需求。

（2）非线性优化模型

非线性优化模型是在等式制约或不等式制约条件下对目标函数进行优化。在制约条件中的等式、不等式或者目标函数里面有存在一个或一个以上的非线性函数。非线性优化模型又可以分为一阶导数法和二阶导数法。一阶导数法包括简化梯度法和微分法，二阶导数法则有牛顿法、海森矩阵法、内点法，等等。其中海森矩阵法是利用函数的二阶导数矩阵来进行求解；牛顿法是基于海森矩阵法，利用已有的海森矩阵来求解目标函数；而内点法则是主要处理大范围的优化。非线性优化模型相比线性优化模型，精确度提高了不少，但是计算起来比较烦琐，计算量大。不过相比海森矩阵法而言，牛顿法和内点法是比较成熟且实用的方法，两者在计算方面简化了不少，有效地减少了计算时间。

（3）二次函数模型

二次函数模型法一般用于对限制条件为线性方程式的二次函数进行求解。该模型通过人工设置变量的方式把目标函数模型近似看作二次函数，并以二次函数求解的方式，展开泰勒级数，把限制条件线性化，并使用沃夫算法解出线性方程的最优解。这种方式虽然能得到最优解，但是如果计算规模太大，计算的时间也会变得很长。除此之外，还有另外一种算法，需要利用到拉格朗日方程，通过把拉格朗日方程的值增大，把非线性方程组分割成一系列线性方程进行分别求解。这种方法利用了海森矩阵，也用到了牛顿法，所以它能解出不同情况下的目标函数，而且在各种的情况下都能得到正确的解。二次函数模型算法所得到的解是最优解，其结果比较准确，但是它的计算时间取决于变量的多少和限制条件的多少，而且在求解临界条件下的问题时收敛性不够好。

（4）动态优化模型

动态优化模型把整个目标函数化为许多个结构相近的子函数，子函数的变量都减少了许多，限制条件也少，方便整个目标函数求出最优解。但是对于情况比较复杂的目标函数，分割的子函数数量太多，计算起来也十分麻烦，所以只能通过求近似解的方法来简化计算，而利用众多子函数近似解来得出最优解的方式难免会使结果发生偏差。动态优化模型可以用于求解动态的目标函数，对于限制条件和变量太多的目标函数则不太适用。

2．有功优化调度的智能优化法

（1）自然界遗传优化算法

遗传优化算法是通过模拟自然界的遗传进化过程来得到最优解的算法，它将原有的解和解进行重新的排列组合，就像对DNA的重新排列组合，从而得到新的最优解。遗传优化算法所得到的最优解有很大概率是真正的最优解，这种通过模拟得到大概率最优解的方式，对计算过程有很大程度的简化，而且计算结果也相对可靠，且遗传优化算法可以适用于非线性函数模型的各种情况以及各种限制条件，其普遍适用性对其本身的推广和普及有很重要的作用。

（2）细菌趋药性特征算法

细菌趋药性特征算法是利用单特征点在寻找最优解的过程中，通过分析周围的环境和过去的经验来确定最优解的范围。这种搜索方式，提高了搜索最优解的效率，为解出最优解提供了方向。

（3）混沌型算法

混沌型算法是通过粒子做混沌无序运动时的无序性与随机性，随机生成一系列的数据，并将其投放到可能含有目标函数最优解的区域内，通过其混沌性和随机性，慢慢缩小搜索范围最后得到最优解的算法。这种算法比较容易考虑到限制条件，而且计算效率高，求解精确度高。

结束语

随着电力系统的发展，电力系统的有功优化调度也变得重要。节约发电成本，减少环境污染，保障供电安全是当前电力系统所需要的，也是有功优化调度的最终目标所在。使用合理的优化算法进行有功优化调度，为供电效益最大化、节能环保最优化提供算法基础，为社会经济综合发展做出贡献。EA

（收稿日期：2016.12.10）

（编辑：刘群点）