

火电厂运行优化技术研究的发展趋势

裘浚隽¹, 杨瑜文²

(1. 南京工程学院 能源与动力工程学院, 南京 211165,

2. 沈阳黎明航空发动机(集团)有限公司 非航部研发中心, 沈阳 110043)

摘要: 利用最优化理论, 从电厂煤粉经济细度的求解过程的分析着手, 探讨了电厂优化过程中存在的几个典型问题, 分析了该优化结果在目前具有良好使用效果的原因, 由此提出电厂运行优化技术发展的几个重要趋势, 为火电厂运行优化提供借鉴。

关键词: 最优化; 发展趋势; 综述; 运行优化; 电厂

基金项目: 南京工程学院人才引进科研启动基金项目(07266)

作者简介: 裘浚隽(1977), 博士研究生, 讲师, 研究方向为热工过程仿真、控制与优化技术。

中图分类号: TK01+8 **文献标志码:** A **文章编号:** 100129529(2009)0621049204

Developing trend of the optimizing technology on the operation of thermal power plant

QIU Xunjun¹, YANG Yuchen²

(1. College of Power Engineering Nanjing Institute of Technology Nanjing 211165, China

2. NonAero research and development center, Shenyang黎明 AeroENGINE (Group) Co., Ltd, Shenyang 110043, China)

Abstract Starting from the solution of the economical fineness of the pulverized coal, this paper discusses some typical problems related with optimal process in the thermal power plants. It analyses the reason why this optimal technology has yielded good results so far. Finally some important trends are proposed regarding the development of this technology, which could be of help to the operation of the thermal power plants.

Key words Optimizing; developing trend; overview; optimal operation; power plant

随着电力体制改革的不断深化及煤炭等能源价格的不断提高, 发电企业面临着更加激烈的市场竞争, 在确保机组运行安全性与环保性的同时, 要求进一步降低发电成本与管理成本, 故机组的节能降耗与优化运行管理的需求也越来越突出。而我国机组的运行与国际先进水平相比还有很大的差距, 据统计我国亚临界机组与国外同容量的机组的运行情况相比, 热效率低 10% ~ 18%, 多消耗燃料量 25% ~ 30%, 污染物的总排放量多 25% ~ 30%, 多消耗水量 8% ~ 10%^[1]。因此, 我国火电厂在机组运行上还有很大的优化空间。

本文以最优化方法确定锅炉最佳煤粉细度的过程为引子, 探讨了优化过程中可能存在的一些问题, 尝试提出优化运行的发展方向与趋势, 以期电厂优化运行提供借鉴。

1 用最优化方法确定锅炉最佳煤粉细度的方法

一般而言, 用最优化方法解决实际工程问题

可分为 3 步进行:

(1) 根据所提出的最优化问题, 建立最优化问题的数学模型, 确定变量, 列出约束条件和目标函数;

(2) 对所建立的数学模型进行具体分析和研究, 选择合适的最优化方法;

(3) 根据最优化方法的算法列出程序框图和编写程序, 用计算机求出最优解, 并对算法的收敛性、通用性、简便性、计算效率及误差等作出评价。

对于锅炉来说, 煤粉的经济细度和很多因素相关, 其中最主要的是锅炉的不完全燃烧损失和制粉系统的电耗。煤粉细度 R 越小, 锅炉的不完全燃烧损失 q_4 越小, 但是需要磨煤电耗 m 较大, 而且对于磨煤机来说, 金属的磨损量也越大。通过试验可以获得煤粉细度 R 与锅炉的不完全燃烧损失 q_4 、煤粉细度 R 与磨煤电耗 m 的静态关系曲线。这样, 可以建立煤粉经济细度的优化目标函数

$$J(R) = q_4(R) + m(R) \quad (1)$$

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max} \quad (2)$$

其中, $q_4(R)$ 和 $m(R)$ 分别为煤粉细度 R 与锅炉的不完全燃烧损失(q_4)、煤粉细度 R 与磨煤电耗 m 的函数,常用多项式函数对试验结果的特性曲线进行拟和获得; R_{\min} 和 R_{\max} 分别是细度的上限与下限;目标函数 $J(R)$ 是锅炉不完全燃烧损失 q_4 与磨煤机电耗 m 的代数和。

经济细度的值恰好是目标函数 $J(R)$ 的最小值,可以通过求取 $\frac{J(R)}{R} = 0$ 时所对应的 R 值,即为经济细度^[2]。

2 利用最优化方法理论分析的缺陷

2.1 典型问题

利用如上方法求取煤粉细度是最优控制理论的一个较简单的应用,求出的结果在现场有较好的使用效果。然而,从具体求解过程分析,火电厂优化过程中存在着如下几个典型问题。

(1) 求解是静态寻优,即反映的是到达稳态后的静态最优值。建立的模型都是静态模型,建模过程和求解过程相对简单,优化结果很容易表示,但是在动态过程是否最优值得商榷。

(2) 建立模型的简化较多。在建立煤粉细度对锅炉燃烧损失的数学模型的时候,没有考虑锅炉的负荷、煤粉的煤质、锅炉的运行状态等因素,在建立煤粉细度对制粉系统能耗时同样没有考虑到制粉系统的运行状态、煤粉的煤质等因素,同时,煤粉细度不同造成对制粉系统不同程度的金属磨损量等设备损耗,也应该算入运行成本中。

(3) 现场运行的适应性差。电厂原用煤来源相对比较固定,最多就是几个煤矿的煤作为主要燃料来源,这样经济细度的模型只要对几种煤源分别进行试验后就可以长期使用。但是目前电厂用煤相对紧张,部分电厂的煤质多变,混煤的情况很多,煤质的可磨系数变化大,这个参数很难通过测量手段直接获取,但是对经济细度有很大影响,使得原来的经济细度就不再适用于新的煤质。

(4) 静态模型求解后煤粉经济细度是一个具体的值,容易写入 DCS 控制系统中。但是,如果采用的是动态模型或者比较复杂的模型,优化结果不能用具体值或曲线来表示时,优化结果如何与 DCS 系统进行联结并将优化结果作为控制系统被调量的给定值进行闭环控制,也是一个较复

杂的问题。

(5) 煤粉经济细度的求解是以锅炉和制粉系统的经济成本最低为目标,但是电站运行是以整个电厂的发电成本最低为目标,这两个目标之间具有一定的差异,也就是说局部最优是否等同于全局最优的问题。

2.2 煤粉经济细度的优化结果实际应用分析

以上提出的 5 个问题不同程度地存在于几乎所有火电厂优化系统中,但最终采用此煤粉经济细度优化结果,却具有很好的现场使用效果,主要原因如下:

(1) 煤粉细度的测量方法。目前市场还没有很好的关于煤粉细度的测量方案,从准确性、实时性和低成本这几个方面都满足要求的测量设备还几乎没有。也就是说,煤粉细度的现场测量本身不是很精确,测量的实时性不能满足要求,那么要更高精度的动态优化结果是没有实际意义的。

(2) 因为对煤粉细度的测量结果的正确性不能满足要求,所以测量的结果只能作为制粉系统运行的参考,而不能作为闭环控制来进行,所以优化的意义相对较弱了。

(3) 要建立一个与煤质及机组运行状态相关的动态模型成本很高,难度也很大,目前几乎没有电厂会这样做,而煤质、机组运行状态对煤粉经济细度的影响有限,所以一般都进行了忽略。

(4) 制粉及锅炉运行成本最低与电站整体运行成本最低不冲突,但是会有一些小的区别,但每个优化系统都以全局最优来考虑的话,会使优化系统过于复杂,而且软、硬件的成本都大大提高,所以一般都会以局部最优来替代全局最优。

3 电厂运行优化系统研究的发展趋势

从煤粉经济细度的求解这个问题进行分析,火电厂优化系统的发展趋势主要有以下几个方向。

3.1 测量技术的不断发展是火电厂优化的有力推动力

目前,存在着很多优化目标可以明确,但是没有办法通过闭环控制来实现的情况,例如煤粉经济细度、飞灰含碳量、煤粉浓度等。测量的准确性和实时性使些优化结果无法形成闭环控制的目标给定值,而只能作为运行人员开环指导的运行目标的一个重要原因。所以测量技术的不断突破与

发展是火电厂优化的一个重要方向。新的测量设备的研发对于火电站的自动调节来说,意味着一个新的优化系统的应用。测量技术是一个多学科结合的领域,需要结合电子、电气、物理等多领域技术的最新发展,用于热工测量领域,并将测量技术的发展与火电厂运行优化结合起来,才能获得最佳的优化效果。

3.2 利用多种先进技术进行建模与模型求解

在传统试验建模与机理建模的基础上,新的建模与模型求解方法也将不断应用于过程优化领域。神经网络是一种强大的非线性函数,从理论上说它可以逼近任何一种函数,而且神经网络的建模不需要了解对象或过程的内部机理及运行原理,在一些复杂的对象仿真中具有一定的优势。目前,国外已经将神经网络作为一种数学工具应用于复杂过程的优化运行如火电厂锅炉的优化运行等,并取得了较好的优化效果。模糊控制、进化算法、概率算法等人工智能学科广泛研究的软计算方法都可以应用到模型建立和优化求解中来,通过对不精确性、不确定性、部分真值、以及近似表达的允许问题使问题变得容易处理,提高鲁棒性,减少求解费用,更好地与实际应用符合^[3]。

3.3 单目标优化与多目标优化相结合

利用最优化方法进行优化运行时,优化目标是固定的,但是,在实际运行过程中,优化目标要随着机组运行状态的变化而变化。例如,锅炉运行优化中,利用优化软件进行优化时,往往由调整氧量、二次风、一次风、炉膛风箱差压发现:过氧量的调整是提高锅炉运行效率的最佳方法,其中氧量的调整对经济性的效果尤其明显,利用常规的优化方法常常是通过排烟损失和不完全燃烧损失最小来确定最优氧量的。但是,通过现场试验发现,氧量的减少还会使炉内温度升高,使受热面的结焦现象明显恶化,会增加吹灰系统的运行成本,更重要的是,会对锅炉的运行安全性产生很大的影响。如何将锅炉及机组的运行安全性考虑进优化目标是一个重要的课题。

3.4 动态优化与静态优化同步发展

静态优化往往只利用对象的静态模型,优化目标的求解简单,但是忽略了动态特性,而简单地把静态模型用于动态变化,使机组在负荷变化频繁的时候留存了很大的优化空间。比较典型的是火电厂机组性能计算,在国内外的软件都普遍采

用了基于 ASME 性能测试标准或国家机炉性能测试标准所列出的性能指标计算方法。但这个算法是一个静态算法,没有考虑机组运行的动态特性,而且算法所要求的环境(如系统隔离、负荷稳定等)往往不能满足^[4]。这样计算出来的指标是否能完全反应机组设备的性能?所以,在火电厂运行优化应该以静态优化为短期目标,而以动态优化为中长期目标。这样才能推动火电厂优化系统的不断发展与进步。

3.5 数据挖掘技术的应用

电厂煤质多变这个现状在短期内很难改变,而煤质的测量或者成本太高,或者测量的参数太简单,使得将煤质数据应用于火电厂运行优化非常困难。即使有了煤质数据,电站设备的运行状态也会使模型发生变化,使对象模型具有不确定性。随着信息技术的发展,电力企业积累了大量的历史数据,由于电力生产数据具有量大、高维和强耦合的特点,传统分析方法难以发现和总结这些数据中所蕴涵的知识^[5]。如果从火电机组热力系统自身的运行数据中找到改善系统运行的知识和手段,优化生产过程,是很有现实意义和研究价值的问题。目前较多地将数据挖掘用于运行优化目标值的确定中,通过在生产历史数据中将运行参数、负荷、性能等相关关联数据之间的关系进行量化,得到反映机组运行实际情况的定关联规则,是优化控制的新思路。利用数据挖掘技术,可以有效规避模型变化性与优化求解计算困难等难题,是优化控制的新思路。目前,数据挖掘技术已经在运行应达值的确定中取得了一定的进展。

3.6 全局优化与局部优化

全局优化一定是局部优化的,但局部优化的组合不一定是全局优化。电厂是一个大型复杂设备,如果同时考虑各方面的因素,优化问题将变得及其复杂,带来 n 维数灾和优化求解困难的问题,而一般将全厂优化分多个层次进行,通过局部优化来实现全局优化^[6],主要包括了机组负荷组合与调度优化、给水系统优化、循环水系统优化、吹灰优化等局部优化系统。机组负荷组合与优化调度依据外界总负荷要求与机组自身特性的约束条件,利用等微增法、动态寻优法等方法进行负荷的优化分配。目前遗传算法在负荷寻优领域也被深入研究与应用,并取得了一定的优化效果。给

水系统优化与循环水系统优化以发电煤耗与水泵电耗最低为目标,通过对水泵运行方式的变化来实现优化。对于单元制循环水系统,常常需将水泵改造为变速泵或变频泵,以取得较好的优化效果;对于母管制供水系统,可以通过对运行水泵的组合进行变化来实现优化。吹灰优化系统以排烟损失与吹灰工质成本最低为优化目标,通过调整吹灰时间间隔来实现优化。其他的优化系统还有很多,例如制粉系统优化、补水系统优化等,也都在不断地发展与实践。但值得注意的是,在研究局部优化时往往使用的是固定的对象特性模型,所选用的优化目标往往也具有局限性。这就要求局部优化预留接口能与全局优化进行对接,同时,在研究全局优化系统时把局部优化的工作量剥离出来,尽量利用已有的研究成果。

3.7 构造良好的运行优化平台

从上世纪九十年代起,DCS在火电站获得了普遍的应用,随着DCS的不断发展,原来用PLC进行控制的给水程控、脱硫及电气监控等也都逐渐的纳入了DCS的控制范畴。随着硬件技术的不断更新,DCS的数据存储量可以达到2 a以上,可以说DCS是运行优化提供实时数据的第一个数据平台。SIS系统提出时的定位就是全厂实时生产过程的综合优化,SIS系统中配置的大型实时数据库能够提供大量的实时数据,具有良好的硬件环境和网络环境,是运行优化的第二个数据平台。MIS平台中也记录了电厂生产过程的部分实时数据,也有较好的硬件环境和网络环境,也可以作为运行优化的第三个数据平台。这三个平台中DCS平台的安全性级别最高,SIS次之,MIS更次之。从硬件与网络条件来看,SIS的条件要优于MIS与DCS。从数据量来看,SIS的数据量也要优于DCS与MIS,DCS缺乏定时记录的手工输入数据,例如煤质分析数据,而MIS中实时数据的种类较少。所以,相对而言SIS作为优化运行的平台最佳。但是这也产生了一个问题:对于闭环优化的系统,常常需要实时调整某些给定值的设置,但是这些设置只能在DCS完成,这样目前SIS中所实现的优化更多的是指一些开环优化,即以操作指导形式给出的需要运行人员手工操作

才可以完成的优化。闭环优化系统,即不需运行人员干预就可以实现的优化,仍然以在DCS平台上运行。这样,电厂每增加一套闭环优化系统,DCS上就增加一个工作站,各优化系统之间也缺少统一的通讯方式,增加了DCS通讯的负担,降低了DCS的工作效率。

但从DCS的发展趋势来看,控制系统的接口兼容性不断提高,从FCS的提出、OPC标准通讯协议在电厂中逐渐的推广与应用,如何兼顾电厂控制的安全性及优化接口的开放性已经是业内人员在不断思考与改进的方向。

4 结语

随着运行优化理论与现场实践的不断深入与推广,近十年来火电厂运行优化系统已经逐渐成为火电厂技术领域的最新课题。应该建立一个怎么样的优化系统以及如何考虑到该系统的适应性都是运行优化领域所正在研究的内容。

火电厂优化运行系统将提高火电厂运行的经济性与安全性,降低火电厂的运行成本,为生产与管理提供更多的操作便利。同时,火电厂优化运行也是一项长期的工作,有一个逐步发展与进步的过程,本文提到的发展趋势都是目前前沿的研究课题,不可能同时都成熟并投入商业运行,但可以采取成熟一个,采用一个的渐进过程来实现,所以,把握火电厂优化运行的趋势与方向对于优化系统的研究来说非常重要。

参考文献:

- [1] 樊泉桂. 提高超临界和超超临界机组发电效率的关键技术[J]. 电力设备, 2006(7).
- [2] 范从振. 锅炉原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [3] 于达仁, 李晓栋, 胡清华, 等. 基于智能信息处理的电厂优化运行技术[J]. 节能技术, 2006(7).
- [4] 中电联科技服务中心优化运行课题组. 火电厂优化运行六大问题[J]. 中国电力企业管理, 2007(3).
- [5] 李建强, 牛成林, 刘吉臻. 数据挖掘技术在火电厂优化运行中的应用[J]. 动力工程, 2006(12).
- [6] 万文军, 周克毅, 胥建群. 火电厂优化技术发展趋势[J]. 中国电力, 2003(7).

收稿日期: 2009204229

本文编辑: 王延婷