「优化节能」

# 火电厂运行优化系统效益评价方法研究

文/江阴苏龙热电有限公司　唐伟锋

*首先讨论了运行优化系统的效益评价标准和方法，接着介绍了基于在线热力试验平台的运行优化方法及效益，分析了调峰优化和氧量优化的效益计算方法，最后介绍了科远公司的运行优化系统在电厂的实际效益。*

随着电力体制改革的深入，厂网已分开，竞价上网即将全面推广，而近年来跌宕起伏的电煤价格，环保投入的大幅度增加，以及机组利用小时数的持续下降，给发电企业的经营带来了空前压力。在新的市场环境下，发电企业必须迅速转变观念、建立市场意识、改革传统经营管理模式，而提高生产经营管理水平、降低运营成本以提升企业市场竞争能力，已成为发电企业的共识和必然选择。

过去几十年，分散控制系统（DCS）在发电行业中取得了巨大成功，DCS和计算机技术的发展为运行优化提供了有效的手段。目前几乎所有电厂都提出要对运行进行优化，与此相对应，许多不同的优化方法也相继被提出。然而这些优化方法的有效性和可行性，需要经过实践来验证，需要有相应的优化效益评价标准和方法。以前常用供电煤耗率作为优化效益评价的指标，并采用供电煤耗率的增减来评价优化方法是否能产生效益，然而根据能量价值分析理论可知，采用供电煤耗率并不是十分科学的，而综合发电成本的增减才是评价优化效益的最科学的标准。

## 优化效益评价标准及方法

根据能量价值分析理论可知，对发电厂优化效益的评价，采用“能量价值分析”方法更加科学，用综合发电成本的增减代替供电煤耗率的增减作为发电厂优化效益评价的最终判据，更能有效地指导发电厂节能工作。如果某系统经过优化后，综合发电成本降低了，那么这种优化方法就是可行的，否则，就可以认为这种优化方法是不合适的，或者对于这个电厂来说是不适合的。

评价优化效益的方法是在约束条件一致的前提下，分别记录优化调整前后的工况，计算出各自的综合发电成本，进行比较，若综合发电成本降低了，则说明该优化方法是有效的，而优化效益的具体大小则由综合成本的变化量来表示。为了保证结果的有效性，应在机组的正常负荷下进行多次试验，对试验的计算结果进行统计平均，以消除偶然性带来的影响。

优化效益评价的具体计算公式如下：

综合成本：

$$R_{zh}=\eta_c R_d+b_1 R_m\times10^{-6}$$

$$C_{zh}=NR_{zh}\times10^3=N_{cy}R_d\times10^3+B_m R_m$$

式中，$R_{zh}$为电厂综合发电成本，元/（kW·h）；$\eta_c$为厂用电率；$b_1$为发电煤耗率，g/（kW·h）；$R_d$为上网电价，元/（kW·h）；$R_m$为标煤单价，元/t；$C_{zh}$为每小时综合发电成本，元/h；$N$为机组发电功率，MW；$N_{cy}$为机组厂用电功率，MW；$B_m$为发

电标准煤耗量，t/h。

综合成本煤耗率：

$$b_{zh}=b_1+\eta_c K_{dm}$$

$$K_{dm}=\frac{R_d}{R_m}\times 10^4$$

式中，$b_{zh}$为综合成本煤耗率，g/（kW·h）；$K_{dm}$为电煤比价系数。

优化前后的综合发电成本变化为：

$$\Delta R_{zh}=R_{zh2}-R_{zh1}=(\eta_{c2}-\eta_{c1})/100R_d+(b_{12}-b_{11})R_m\times 10^{-6}$$

$$\Delta C_{zh}=N\Delta R_{zh}\times 10^3=(N_{cy2}-N_{cy1})R_d\times 10^3+(B_{m2}-B_{m1})R_m$$

式中，$\Delta R_{zh}$为电厂综合发电成本变化，元/(kW·h)；$R_{zh1}$、$R_{zh2}$为优化前、后综合发电成本，元/(kW·h)；$\eta_{c1}$、$\eta_{c2}$为优化前、后厂用电率，%；$b_{11}$、$b_{12}$为优化前、后发电煤耗率，g/(kW·h)；$\Delta C_{zh}$为每小时综合发电成本变化，元/h；$C_{zh1}$、$C_{zh2}$为优化前、后每小时综合发电成本，元/h；$N_{cy1}$、$N_{cy2}$为优化前、后机组厂用电功率，MW；$B_{m1}$、$B_{m2}$为优化前、后发电标准煤耗量，t/h。

## 在线热力试验功能

目前常规热力试验过程复杂、分析烦琐、时效差，非常不适合现场人员的使用。另一方面，常规热力试验成本比较高，电厂也仅在验收投产、大修前后等进行热力试验，来验证机组的设计和制造效果或对大修的效果进行评价，不可能经常进行这样的热力试验。

科远公司的在线热力试验系统，可以完成数据的自动采集和记录，取代了人工抄表；在试验结束后，可以马上进行热力计算并自动生成试验报告，从而节省了大量的时间；可以使得电厂经常进行热力试验，从而可以实时了解机组的经济性变化情况，节省进行常规热力试验的大部分费用，降低电厂经营成本。该在线热力试验系统可以在线进行锅炉性能试验、汽机性能试验、机组性能试验、氧量优化调整试验、调峰优化试验等，凡是通过采集过程控制系统测点数据进行的试验，在平台上都可以实现。

### 1. 在线热力试验系统的间接效益

在线热力试验系统的间接效益在于：利用计算机所形成的局域网及计算机软件分析系统，将已经成熟的热力试验标准和规程编入，其中能够将复杂的节能诊断技术和热力试验方法，从少数专家手中解放出来，减少技术人员的工作量和重复劳动。

### 2. 在线热力试验系统的直接效益

在线热力试验系统的直接效益在于可以节省常规性能试验的费用。目前电厂的常规热力试验，一般是由中试所等机构来完成的，并且往往要价不菲。因此电厂的常规热力试验做的次数有限，仅在验收投产或大小修时做一下，毕竟成本太高了，尤其是在目前电力市场环境下，降低成本可是竞价上网的关键。而采用在线热力试验系统，只需要一次投入，就可以经常进行热力试验了，可以随时了解机组当前的经济性能。

## 具体优化项目的效益评价方法

### 1. 调峰优化

根据热力循环的理论分析，机组在低负荷滑压运行时，由于进汽节流损失、漏汽损失小，末级的湿度减小，使得机组的相对内效率$\eta_{oi}$较定压运行有较大的提高，虽然低负荷运行时，机组滑压运行的循环热效率$\eta_t$要减小，但$\eta_{oi}$的增长幅度较$\eta_t$的下降幅度要大，使得机组的绝对内效率$\eta_i=\eta_t\times\eta_{oi}$增加，因而机组在低负荷工况下，滑压运行的经济性要优于定压运行。

这样分析对于汽动给水泵机组是正确的，但对于电动给水泵机组来说只考虑机组的绝对内效率是不全面的，因为机组在低负荷滑压运行时，电动给水泵的耗功也随着减少，厂用电率也下降，所以必须用综合发电成本来比较分析，确定更加合理的滑压曲线。

对于调峰优化效益的评价也必须用综合发电成本来确定，在保证机组负荷不变、供热稳定的前提下，分别记录一段时间内定压和滑压运行时的参数，然后计算出各自的综合发电成本，如果成本减少了，则说明优化是有效果的，而减少值则是具体取得的效益。

调峰优化效益的详细计算公式如下：

$$\Delta R_{zh}=\frac{(N_{gsb2}-N_{gsb1})}{N}R_d+\frac{(HR_2-HR_1)}{29\,307.6}R_m\times 10^{-3}$$

$$\Delta C_{zh}=N\Delta R_{zh}\times 10^3$$

式中，$\Delta R_{zh}$为电厂综合发电成本变化，元/(kW·h)；$\Delta C_{zh}$为每小时综合发电成本变化，元/h。

### 2. 氧量优化

氧量优化其实就是过量空气系数的优化，因为过量空气系数只能靠氧量来监视，氧量高则过量空气系数大。在煤种、电负荷、热负荷不变的情况下，增加过量空气系数，则炉膛内燃烧就越

充分，不完全燃烧损失就减小，飞灰含碳量就降低，但同时，排烟热损失就增大；反之，减少过量空气系数，则不完全燃烧热损失增加，但同时排烟热损失下降。传统的氧量优化就是在这两者中间寻找一个最佳平衡点，使得锅炉效率达到最优的水平。

然而，随着氧量的降低，也就是过量空气系数的降低，送、引风机的电耗也相应降低，厂用电率下降，上网电量就增加，电厂效益也就增加，因此氧量的优化必须考虑送引风机电耗变化的影响。采用能量价值理论来分析，以综合发电成本为优化目标，就能得出更加合理的优化结论。而氧量优化效益的评价采用能量价值分析理论，也就能综合考虑到氧量变化对各个方面的影响，从而得到氧量优化的真正效益。

氧量优化效益的计算是通过对影响综合发电成本的几个关键因素（排烟温度、烟气含氧量、飞灰含碳量、送风机电耗、引风机电耗、一二级减温水量等）进行分析和计算，得出最佳的氧量调整曲线。计算公式如下：

$$\Delta R_{zh}=\frac{(N_{fy2}-N_{fy1})}{N}R_d+(E_{O2}+E_{tpy}+E_{fh}+E_{jw1}+E_{jw2})R_m\times10^{-6}$$

$$\Delta C_{zh}=N\Delta R_{zh}\times10^{3}$$

## 运行优化系统实例

科远公司研发的基于在线热力试验平台的运行优化系统在江阴苏龙电厂实施后带来了巨大的效益。

直接经济效益：

系统各优化模块在苏龙电厂实施并投运后，每台机组综合成本煤耗降低2～5 g/kW·h，对135 MW机组，年效益在100万元以上，对于330 MW机组，年效益可达200万元左右。经济效益是非常可观的，半年内就可收回全部投资。

间接效益：

除直接的经济效益外，本系统投运后的另一个益处就是改变了苏龙电厂的一些传统观念，提高了每一个运行人员的整体效益意识，养成以企业的整体效益最大化作为日常工作的出发点和最终目标，这种观念的转变对发电企业的影响将是积极而深远的。**EA**

（收稿日期：2017.05.30）

（编辑：白文亭）

## 双杰电气荣誉推出GYN-12型移开式全封闭固体绝缘开关设备

2017年7月21日，双杰集团在中国配电技术高峰论坛上首次荣誉推出GYN-12型移开式全封闭固体绝缘开关设备。

博观而约取，厚积而薄发。该设备的研发、设计，由双杰研发团队精心研制历经两年时间而成，一次通过挪威船级社认证与国内型式试验，面世后首批设备即在中海油海上平台带电运行。GYN-12的全绝缘、全密闭技术，使其无惧于海上的高盐雾，高潮湿环境；双杰独有的散热解决方案，更使得该设备在大电流环境下依然安全可靠。相较于传统型铠装中置柜，体积仅为其44%，在海油平台上充分展示出了占地面积小的优势。

GYN-12所有的带电体及操作机构都封闭在与外界隔离的封闭空间中，确保设备具备在各种环境条件下稳定运行的能力。可应用于能源及基础设施、工业、商业、民用建筑领域的中压配电网的控制及保护等领域。

GYN-12的创新不单单是在密封技术上，其结构更是国际首款移开式固体绝缘开关设备。继承中置柜可移开式设计，使得该产品可以最快地切除主开关故障，缩短停电检修的时间。手车部分断路器采用固封极柱，且外表面采用金属化结构，最大限度的确保设备使用安全。

耐心、专注、坚持，是双杰电气始终秉承的工匠精神。双杰电气已开始开发结合嵌入式特性检测传感器设备，实现数据通过服务器传输，设备状态在线监测，建立故障识别算法与模型，形成故障预警及报警机制。并通过在特定恶劣环境区域进行小批量试用及测试，使可移开式固体柜产品品种不断丰富，形成完善的系列化产品。

（来源：双杰电气）