

超超临界机组降低厂用电率的措施

顾一明

(射阳港发电有限责任公司, 江苏 射阳 224300)

摘 要: 厂用电率是衡量火力发电厂机组性能的主要经济技术指标之一, 文章分析了射阳港电厂超超临界机组为降低厂用电率, 高压辅机运行方式方面深挖节电潜力, 以及在其他方面降低机组厂用电率所采取的一系列措施。通过优化辅机运行方式、调整运行参数、加强运行管理等方法, 使新投产的超超临界#5机组的发电厂用电率有了较大幅度的降低, 由投产初期的6.0%以上降低到现在的5.0%以下, 在同类型机组中处于先进水平, 达到了节电降耗的目的。

关键词: 节能降耗; 优化运方; 厂用电率

0 引言

随着电力企业改革的不断深化和发展, 电力企业逐步由生产型向经营型转变, 提高企业效益, 降低发电成本将是经营型企业长期的目标。火力发电机组的主要经济技术指标有发电量、供电煤耗和厂用电率。这些指标之间都是相互联系、相互影响的。如厂用电率每变化 1%对供电煤耗的影响系数为 3.499%、负荷率每下降 1%影响厂用电率升高 0.06%。以下结合江苏射阳港发电有限责任公司(以下简称射阳港电厂)在降低厂用电率指标方面所采取的一些做法, 简单介绍分析一下 660MW 超超临界火电机组降低厂用电率的途径和措施。

1 设备概述

射阳港电厂#5 机组为国产 660MW 超超临界压力燃煤发电机组, 三大主设备由东方电气集团公司属下的东方锅炉厂、东方汽轮机厂、东方电机厂制造, 容量及参数相互匹配。锅炉为东方锅炉厂设计、制造型号为 DG2060/26.15- II 2 的超超临界参数、变压运行直流炉, 一次中间再热、单炉膛、前后墙对冲燃烧, 尾部烟气挡板调温、平衡通风、露天岛式布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型锅炉, 采用三分仓回转式空气预热器。汽轮机型号: N660-25/600/600; 型式: 超超临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽、双背压、凝汽式。#5 机组于 2011 年 7 月份开始试运行, 2011 年 8 月 4 日顺利通过“168h”满负荷运行。

厂用电量包括发电过程中的生产耗电量和非生产耗电量。生产耗电量最主要的是辅机电机的耗

电量。从厂用电率定义可知, 要降低厂用电率必须从降低生产消耗电量入手。发电过程中消耗的厂用电主要消耗在正常连续运行的汽轮机、锅炉 6 kV 和 0.4 kV 转机的动力用电上。辅机的动力消耗电量用辅机单耗这个指标来衡量。所谓辅机单耗就是指产生单位出力所消耗的电量。

发电厂生产过程中主要辅机转机包括风烟、制粉、凝结水、高压给水、循环水系统等大容量高压电机。这些系统中辅机大多为 6kV 高压电动机拖动, 它们电机所耗的电能对厂用电率起到了决定性的作用。因此, 降低厂用电率的实质是降低 6kV 主要辅机的耗电量。主要辅机主要参数见表 1。

表1 主要辅机参数

| 设备名称 | 容量/kW | 数量/台 | 型式 | 额定电流/A | 运行最大电流/A |
|-------|-------|------|----------|--------|----------|
| 磨煤机 | 630 | 6 | 中速辊式磨煤机 | 75.4 | 68.8 |
| 引风机 | 4000 | 2 | 静叶可调轴流式 | 463 | 420.5 |
| 送风机 | 1600 | 2 | 动叶可调轴流式 | 187 | 168.2 |
| 一次风机 | 2500 | 2 | 动叶可调轴流式 | 287 | 258.2 |
| 电动给水泵 | 3600 | 1 | 单壳体多级离心泵 | 396 | 360.7 |
| 汽泵前置泵 | 560 | 2 | 单级双吸蜗壳泵 | 63 | 58.5 |
| 凝结水泵 | 2300 | 2 | 立式多级筒袋式 | 260 | 244.4 |
| 循环水泵 | 2300 | 2 | 立式抽芯式斜流泵 | 304 | 287.4 |

2 机组节电潜力分析

超超临界#5 机组启动初期, 出于安全方面的考虑, 相关系统的运行方式以及运行参数都是从安全系数最大化方面来考虑, 而对经济性的要求相对不太高, 机组正常稳定运行后, 可以对相关系统的运行方式以及运行参数进行适当调整。

2.1 辅机系统运行方式分析

通过对各系统实际运方与设计运方比较, 实际运方存在较大的优化空间。

部分辅机运方优化论证见表 2。

表 2 部分辅机运方优化论证

| 项目 | 循环水泵 | 真空泵 | 磨煤机 | 开闭冷水泵 |
|------|--|-------------------------------------|--|--|
| 设计运方 | #5 机采用开式循环水系统，配有 2 台循泵，正常运行时 1 运 1 备，特殊情况（水温高、真空低等）双泵并列运行。 | #5 机组配备 3 台水环式真空泵，正常运行，2 台运行，1 台备用。 | #5 机组制粉系统配备了 6 台中速磨煤机，满负荷 5 运 1 备，50% 额定负荷不少于 3 台。 | #5 机组配备 2 台闭冷水泵以及 1 台开冷水泵。正常运行中，开冷水泵运行，闭冷水泵一运一备。 |
| 实际运方 | 由于水草多、海水温度高，端差大，2 台泵并列运行。 | 由于真空低、真空严密性差，3 台真空泵全部运行。 | 由于负荷影响，磨煤机 5 运 1 备或 4 运 2 备。 | 开冷水泵运行，闭冷水泵一运一备。 |
| 优化空间 | 采取措施减少水草，保证钛管的清洁，提高真空，进而减少 2 台泵工作时间。 | 减少真空系统泄漏量，增加冷却水量，进而减少真空泵运行台数。 | 减少负荷变化对磨煤机启停次数和运行台数的影响，寻求磨煤机对应出力最佳运方。 | 循环水压力允许，循泵代替开冷水泵；优化闭冷水用户用水量，减少闭冷水出口流量。 |

从上面分析可以看出辅机单耗大，并且有一定的节电空间，可以采取对应措施进行优化。

2.2 辅机运行参数分析

#5 机组投运以后，虽然在安全运行方面作了严格的要求，设备的运行参数也控制在规程规定的范围之内。通过分析发现，优化辅机运行参数方面还是有很大的优化空间。部分参数的优化论证见表 3。

表 3 部分参数的优化论证

| 项目 | 循环水压力 | 凝结水压力 | 烟气氧量 | 一次风压 |
|------|--|---|--------------------------------|---|
| 设计参数 | 循泵最大扬程为 14m，循泵出口压力规定在 0.10~0.40 MPa 之间，循环水母管压力为不低于 0.08 MPa。 | 凝泵最大扬程为 353.6m，不同负荷下凝泵出口压力规定在 2.40~3.90 MPa 之间。 | 出口烟气含氧量规定在 4.0%~6.0% | 一次风机全压为 19095Pa，规定一次风母管压力在 8~15 kPa 之间。 |
| 实际参数 | 循泵出口压力为 0.22MPa，循环水母管压力为 0.20 MPa。 | 凝泵出口压力为 2.96 MPa，凝结水母管压力为 2.90MPa | 出口烟气含氧量规定在 4.1%~5.7%。 | 一次风母管压力正常控制在 10.0~13.5 kPa 之间。 |
| 优化空间 | 保证循环水虹吸不破坏为前提，降低循泵出口压力及母管压力，减小循泵功率。 | 保证除氧器水位和密封水压力正常为前提，降低凝泵出口压力，减小运行功率。 | 保证锅炉充分燃烧为前提，减少烟气氧量，进而减少送引风机电耗。 | 保证磨煤机不堵煤为前提，降低一次风压，进而减少一次风机电耗。 |

3 降低厂用电率的具体措施

3.1 优化辅机运行方式

3.1.1 循环水系统

超超临界#5 机组循环水系统采用的是开式冷却系统，机组配有 2 台循环水泵。在生产过程中，循泵必须连续运行，循泵运行时电流一般维持在

256~287A，尤其是夏季运行方式，单机双泵时对厂用电率的影响更明显，因此对循泵运方优化将会降低厂用电率产生明显的作用。目前循泵运方有 3 种：夏季运方（环境温度高时根据真空情况单机双泵运行）、冬季运方（单机单泵运行）和随机运方（根据机组负荷变化以及气温变化对备用泵进行启停）。具体采用哪种运方，主要根据当时机组负荷和真空度。由于我们所处的地域循环水量受季节变化的影响很大，因此合理调整循泵启停时间，也能减少循泵耗电。以下是对循泵运方采取的几点优化措施：

（1）循环水系统中水草过多，导致循环水母管压力偏低，影响凝汽器真空。由于新机组启动初期出于安全的考虑，其运方为 2 台循泵并列运行，清污机启动次数增加，随着浮排的启用，拦截水草效果较为明显，循环水量上升，循环水冷却效率提高，既降低了单泵的运行功率，又减少了双泵并列运行时间。

（2）根据循环水端差、进出水温差和真空等参数，合理投运胶球清洗装置，保证凝汽器钛管清洁，提高传热效果，提高循环水冷却效率，降低了单泵运行功率。

（3）机组正常运行中，机组真空低于 87kPa 后根据负荷、循环水温度情况确定是否启动备用循泵运行；当机组真空高于 87 kPa 时，尽量保持单台循泵运行。

（4）机组停运后，凝汽器排汽温度小于 50℃，循环水无用户时，立即停运循环水系统。

3.1.2 真空系统

超超临界#5 机组真空系统配备三台水环式真空泵，其额定功率 132 kW。机组运行过程中，真空达 90 kPa 后，正常两台运行，一台备用。启动过程中，抽真空时依次启动三台泵，当真空达 90 kPa 后，停运一台真空泵，投入备用连锁。根据凝汽器真空及真空严密性情况，合理确定采用一台或两台真空泵运行方式。以下是对真空泵运方采取的几点优化措施：

（1）进行真空系统严密性试验，减少真空系统泄漏量后，凝汽器真空高于 95 kPa 且保持稳定，间接减少了真空泵的运行数量。

（2）通过收小闭冷器冷却水出口门，抬高真空泵冷却水压，降低泵工作液温度，提高真空泵抽真空效率，间接减少真空泵运行数量。

（3）启动过程中，依次开启真空泵，根据抽真

空速度，可以先不开启第三台真空泵，等并网后根据凝汽器真空变化情况，再选择是否开启第三台真空泵。

(4) 进行真空系统严密性试验，真空严密性数据应与历史数据进行比较，发现有下降趋势时，及时查找原因，对真空系统查漏，及时发现漏点，予以消除。

(5) 加强对真空泵冷却水温的监视，发现水温异常升高时及时切换真空泵运行，同时及时联系检修清理冷却器滤网。

通过以上措施，真空泵运方改为一运二备，其耗电率有了明显的下降。

3.1.3 制粉系统

#5 机组制粉系统配备了 6 台 ZGM113G 型中速磨煤机，每台磨煤机的额定功率为 630 kW。根据机组负荷变化情况，合理安排制粉系统的启停、通过合理调整暖磨速度和吹扫时间来减少磨煤机空转时间等措施都为磨煤机的运方提供了优化空间。对磨煤机运方采取以下几点优化措施：

(1) 机组负荷高于 550MW 负荷时，保持 5 台磨煤机运行；机组负荷高于 460MW~550MW 负荷时，保持 4 台磨煤机运行；机组负荷高于 350MW~460MW 负荷时，保持 3 台磨煤机运行。

(2) 减少磨煤机空载电耗。在启磨时，合理调整冷热配风，减少暖磨时间；在停磨时，风量保持在 40~50 t/h 之间吹扫 10min（煤粉已吹空），立即停运磨煤机。

(3) 每台磨最大出力保证在 50t/h，加强监视磨煤机电流变化的同时（一般控制在 35~45A 之间），加强磨煤机石子煤的排放，防止堵磨，电流超限。

3.1.4 开、闭冷水系统

超超临界#5 机组配备了 2 台闭冷水泵组以及 1 台开冷水泵。正常运行中，闭冷水泵是 1 台泵运行，1 台泵备用。开冷水泵为闭冷水泵提供冷却水。对其运方采取以下几点优化措施：

(1) 开冷水泵投入运行向闭冷水泵和真空泵提供冷却水，循泵经过运方优化后，循环水母管压力提高，足以用来直供闭冷水冷却器冷却水和真空泵冷却水，于是采取停运开冷水泵，可以正常运行。

(2) 当循环水温度偏高、压力偏低或高负荷运行时，视情况适时开启开冷水泵。

(3) 根据负荷变化情况，及时调整各用户的闭

冷水量。闭冷水系统无用户后，及时停运闭冷水泵；加强对运行闭冷水泵的维护工作，减少备用泵的启动时间。

3.2 #5 机组相关系统参数设定值进行优化调整

3.2.1 汽机专业

(1) 循环水系统：以保证机组安全稳定的运行为前提，通过对正常运行中负荷变化、凝汽器真空、闭冷水温度和真空泵的冷却水温度情况进行分析得出，适当将循环水母管压力降低，即降低循泵出口压力，即可实现循泵的单耗减小。调整前，循泵出口压力为 0.22MPa，循环水母管压力为 0.20MPa。通过调整凝汽器循环水出口门开度，将循泵出口压力设定为 0.10MPa，循环水母管压力为 0.09 MPa。以保证虹吸不被破坏为前提，修改了“循环水母管压力低联启备用泵”压力定值为 0.03 MPa，以减少备用泵工作时间。调整后，循泵日平均电流由参数优化前的 280A 降到优化后的 220A，单泵每天减少电能损耗约 1 万余 kWh。

(2) 凝结水系统：超超临界机组配备两台凝泵，其中 A 凝泵为变频泵可调出力运行，B 凝泵为工频泵，正常运行为 A 凝泵运行，B 凝泵备用，其额定功率为 2300 kW。以保证机组安全稳定运行为前提，通过综合考虑机组负荷、凝汽器水位变化、除氧器水位变化以及除氧器水位调整门投自动状态下的开度变化，对其进行分析后提出，适当降低凝结水母管压力，即降低了凝结水泵出口压力，能实现凝泵的单耗的减小。调整前，凝泵出口压力为 2.96 MPa，凝结水母管压力为 2.90MPa，通过调整凝泵变频将凝泵出口压力设定为 2.40 MPa，凝结水母管压力为 2.33MPa。凝泵日平均电流由参数调整前的 195A 降到调整后的 127A，单泵每天减少电能损耗约为 9000 kWh。

(3) 给水系统：超超临界#5 机组给水系统配备了 2 台各为 50% BMCR 容量的汽动给水泵组以及 1 台 30% BMCR 容量的电动给水泵组。正常运行是 2 台汽泵运行电泵备用，电泵只有在启停机过程中或汽泵故障时才投入使用。结合电泵容量居辅机首位和正常运行作为备用泵两点特性，优化电泵运行方式节约厂用电的根本途径就是尽可能减少电泵的工作时间。

探索机组无电泵启停方法，深挖电泵节电潜能。凝汽式汽轮发电机组无电泵冷态启停技术已在全国很多电厂取得了成功并得到了推广。机组无电

泵冷态启停技术是一项依靠原有设备系统在不需进行大的技改和无需投入大量资金的条件下, 利用汽泵组的特性取代启动初期和滑停后期电泵的作用, 实现节能降耗的一项新型技术。

正常方式小汽轮机从启动到正常工作汽源都用四抽来汽, 再热器冷端来汽(高压缸排汽)和厂用辅汽联箱来汽都是作为备用汽源。因此机组启动时必须等到四抽供汽压力满足小机冲转要求时方可启动汽泵, 在此之前, 锅炉上水一直用电泵唯一供给。要实现机组无电泵成功冷态启动, 唯一的可能是先投运 1 台汽动给水泵组, 利用汽泵进行机组启动。具体的主要步骤就是机组冲转前, 用汽泵前置泵给锅炉上水后, 汽包起压后, 用临机辅汽冲动小汽轮机, 使用汽泵继续给锅炉补水。而机组滑停时, 可先将 1 台汽泵退出将其汽源由本机四抽倒为临机辅汽带, 再重新并入系统工作, 实现无电泵滑停。

实现机组无电泵启停的节电成果是十分巨大的。以机组启动为例, 机组冷态启动电泵在锅炉上水前就必须启动, 一直到机组带负荷稳定运行停运, 其运行时间长达几十个小时, 按电泵平均负荷 80%、启机运行时间 30 h 计算, 每成功实现一次无电泵启动, 将节约厂用电量 15.2 万 kWh。

3.2.2 锅炉专业

(1) 锅炉氧量的控制: 正常运行中, 锅炉氧量调整在自动调节的状态, 则送风机通过自动调整其出力来达到氧量的控制。在增减负荷过程中, 送风机的自动调整跟不上负荷的变化, 其锅炉氧量则经常偏高, 鉴于入炉的煤已经燃烧充分, 这样直接导致的就是送风机的耗电量则偏高。据此, 锅炉专业提出优化氧量的措施: 根据入炉煤质、飞灰等指标参数来综合判断燃烧情况, 在增减负荷时, 及时进行总风量的相应调整, 在保证锅炉完全燃烧的情况下, 尽可能降低锅炉的氧量。当发现氧量指示不准确或偏差大时, 应及时联系热工校验, 氧量控制范围由原来的 3.0%~5.0%降到 3.0%~4.5%。经过试验发现, 在保证锅炉完全燃烧的情况下, 将锅炉的氧量降到 3.0%~4.5%之间, 降低了送风机出力。同时, 由于炉膛负压控制在自动调节状态, 当送风机的出力减小时, 引风机的出力也跟着降低。

(2) 一次风压力的调节: 超超临界#5 机组一次风机为入口动叶调节轴流式风机, 一次风压跟踪锅炉负荷变化。由于一次风压设计值偏高, 且风压随机组负荷变化小。低负荷运行时, 一次风压仍维

持较高水平(12.0 kPa 左右), 使磨煤机风门调节挡板节流损失增大, 一次风机电耗增加。针对这个问题, 运行人员加强风压调整, 在机组负荷为 500~660 MW 之间时, 维持一次风压为 11.5~13.0 kPa, 当机组负荷降至 400~450 MW 时, 适当降低一次风压至 9.0~10.0 kPa, 使低负荷期间磨煤机风门调节板开度增大, 减少了磨煤机风门调节挡板的节流损失。对已停运磨煤机保持一次冷、热风挡板和调门都在全关状态。

3.2.3 电气专业

合理调整系统电压, 降低损耗。按照通知要求, 根据现场情况及时调整 AVC 运行方式, 在保证 220kV 电压满足调度电压曲线的前提下, 维持厂用系统电压在规定范围的较高水平运行, 降低各辅机设备铁损、铜损和电缆损耗。

3.3 加强生产辅助系统运行管理

3.3.1 规范空调管理

(1) 配电室温度控制要求在 26~30℃之间。当气温允许时, 及时停运空调机或送风机。

(2) 在配电室空调开启情况下, 不得启动轴流风机运行, 当空调故障退出运行时, 只能开启半数轴流风机, 强制通风。

(3) 在制冷量允许的情况下, 应减少空调运行时间和数量。

3.3.2 规范管理生产照明

(1) 对装有摄像头的配电室, 无人巡检或工作时, 保持半数照明, 其他配电室做到人走灯灭。

(2) 定时开关锅炉本体及汽机房照明, 开关照明分别由集控运行中班和夜班负责。

3.3.3 加强轴流风机启停维护

(1) 升压站轴流风机原为全天运行, 现改为由卫生区责任班组分别于每个中班和夜班在接班前全部开启通风, 当班中途巡查时停运, 即每个转班开启通风一次。

(2) 各开关室、变压器小室的轴流风机由卫生区责任班组每个月第一个早班进行试开, 保证完好作备用。

(3) 各蓄电池小室的轴流风机每月 1、10、20 日早班中途巡查时开启, 中班中途巡查时停运。

通过采取以上措施, #5 机组的发电厂用电率由机组启动初期的 6.10%下降到了 4.70%, 达到国内同类型机组先进水平。见表 4。

表 4 优化前后厂用电率比较

| 指标 | 调整前 (8.5-9.1) | 调整后 (10.1-10.15) |
|------------|---------------|------------------|
| 发电厂用电量/kWh | 10414551 | 4796053 |
| 发电量/kWh | 170730340 | 102043700 |
| 发电厂用电率/% | 6.10 | 4.70 |

4 结束语

通过全体员工的努力,超超临界#5 机组的发电厂用电率有了明显下降,但是和同类型先进机组相比,还有一定的下降空间。纵观整个降低厂用电率工作的全局,有两点必须强调:一是节约厂用电必须以机组安全稳定运行为前提,不能因为片面追求降低厂用电率而对机组安全产生影响;二是节能降耗工作忌讳“眼高手低”,必须坚持抓大不放小,以取得更大效益。

随着国家节能减排政策的不断深入强化,作为

发电企业,应积极响应国家的相关政策,将不断挖掘设备节电潜力,提高公司经济效益,更要竭尽全力去承担节能减排的重大社会责任。

参考文献:

- [1] 清华大学电力工程系锅炉教研组.锅炉原理及计算[M].北京:科学出版社, 1979.
- [2] 山西省电力工业局.汽轮机设备运行[M].北京:水利电力出版社, 2001.
- [3] 郭立君. 泵与风机(第二版)[M].北京:中国电力出版社, 1996.

作者简介:

顾一明(1971-),男,江苏盐城人,工程师,从事发电厂运行管理工作, E-mail: guyiming333@sohu.com。