

300 MW 机组 UP 型直流锅炉变压运行探讨

匡江红

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 200336)

摘要: 通过热力计算和分析, 考察变压调峰运行时 UP 型直流锅炉和给水泵的运行特性, 得出结论: 国内采用 UP 型直流锅炉的 300 MW 机组基本具备变压调峰运行能力。

关键词: UP 型直流锅炉; 调峰; 变压运行

中图分类号: TK229.5⁺4 文献标识码: A

1 引言

随着国民经济的发展, 国内电网容量不断扩大, 电力需求的峰谷差也不断增大, 电网迫切要求 300 MW 等级的大容量发电机组参与调峰运行。

汽轮机负荷的调节是通过改变进口蒸汽压力来实现的。目前国内外常见的发电机组调峰方式有两种: 定压节流调节和变压调节。定压节流调节是指锅炉出口过热蒸汽的温度和压力保持不变, 改变汽轮机进口调节阀的开度来改变汽轮机进口蒸汽压力, 从而改变发电机组的负荷, 是目前电厂常用的调峰方式。而变压调节是将汽轮机进口调节阀全开, 由锅炉直接控制汽轮机进口的蒸汽压力, 蒸汽温度则保持不变。国内外许多试验研究和分析表明, 采用定压节流调节机组负荷时, 汽轮机进口的蒸汽压力和温度会大大下降, 使汽轮机叶轮上产生很大的温差, 易产生较大的热应力和热变形, 影响机组使用寿命, 甚至损坏主设备。而变压调节则可基本上消除汽轮机第一级叶轮上的热应力, 同时还可降低锅炉给水泵所需功率, 减少了汽轮机的抽汽量, 使有更多的蒸汽可在汽轮机内做功, 从而提高了发电机组的热效率。国外在 300 MW 机组上所进行的研究表明, 在低负荷下转入变压运行后, 和相同负荷下定压运行相比, 机组的经济性可提高达 3%。

虽然变压调峰方式有诸多优点, 但是由于国内的 300 MW 机组都是按带基本负荷设计的, 因此, 能否实施变压调节, 还必须对机组锅炉和给水泵的运行特性进行考察。

2 锅炉变压运行可行性分析

国内的部分 300 MW 发电机组采用了亚临界压力的 UP 型直流锅炉。对于直流锅炉, 由于不设置锅筒, 锅炉的蒸发受热面和过热受热面之间没有一个固定的分界点。当锅炉负荷、运行压力和锅炉给水温度变化时, 会改变锅炉蒸发段的长度, 引起锅炉各级过热器传热工况的改变, 有可能使其中的工质温度偏离安全工况, 同时炉膛水冷壁的蒸发受热面也会出现不稳定的水动力特性。因此 UP 型直流锅炉能否实施变压运行, 主要取决于变压运行时各受热面的工质温度是否偏离安全值以及水冷壁的水动力特性。

2.1 变压运行时各受热面温度变化情况

以某电厂一台 300 MW 机组亚临界压力 UP 型直流锅炉为例。该锅炉额定蒸发量为 1 025 t/h, 在 MCR 负荷时, 锅炉出口过热蒸汽压力设计值为 16.67 MPa(G), 温度为 540℃; 再热蒸汽出口压力为 3.35 MPa(G), 温度为 540℃。为考察锅炉的变压运行特性, 在 50% 负荷 ~ MCR 负荷范围内, 维持锅炉出口过热蒸汽温度不变, 对锅炉出口蒸汽压力从 9.81 MPa 到 16.67 MPa 之间的不同压力值进行了锅炉的传热计算。热力计算程序经过了该炉在 300 MW、240 MW 和 220 MW 负荷下运行时的实测数据的对照检验, 计算结果表明, 当锅炉出口压力在 9.81 MPa 和 16.67 MPa 之间变化时, 锅炉各受热面的工质温度在安全范围内, 并且低于锅炉在额定压力下运行时的温度。虽然随着锅炉出口蒸汽压力的降低, 过热蒸汽的热焓略有增加, 使各级过热器的蒸汽焓增亦有少量增大, 但都没有使原来的热偏差趋于恶化。相反, 正是由于工作压力的下降, 使各级过热器的蒸汽温度水平都有明显的降低, 从而改善了各级过热器的温度工况。

2.2 锅炉变压运行时的水动力特性

同样以该电厂 300 MW 机组锅炉为例。根据实测数据和锅炉热力计算结果, 经过计算得到了定压运行时, 在 100%和 50%负荷下水冷壁下辐射区的水动力特性图, 见图 1。由图可见, 定压运行时水冷壁管屏的水动力特性是单值的, 但陡度较小, 经计算仅为 1.0 左右, 特性曲线显得很平坦。由于水动力特性曲线较平坦, 故水冷壁偏差管的热偏差值较大, 大于 1.6, 而偏差管的流量偏差系数为 0.8 左右。因此, 水冷壁管屏的水动力工况对热负荷的扰动很敏感, 尤其在低负荷的情况下, 质量流速低, 当增减燃煤量或者切换磨煤机时, 下辐射区的管屏温度比较容易引起很大的波动, 造成管子温度的偏差。而实际运行也证实了这一点。尽管如此, 测试结果表明, 扰动没有引起危险的温度工况。

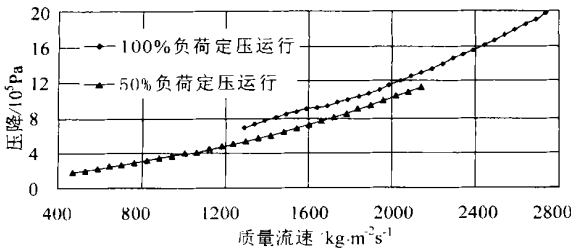


图 1 各工况下水动力特性曲线

当锅炉变压运行时, 水冷壁工作压力降低, 对锅炉的水动力特性带来了不利影响, 负荷越低, 影响越大。根据热力计算结果, 计算了 50%负荷时, 锅炉出口压力下降至 11.77 MPa 时的水动力特性。在 50%负荷下, 当锅炉出口压力从 16.67 MPa 下降到 11.77 MPa, 下辐射区管屏正常管的阻力比从 1.38 下降到 0.64, 热偏差和流量偏差情况都有所变差。热偏差值从 1.58 上升到 1.67, 流量偏差从 0.82 下降到 0.78。虽然与 50%负荷定压运行时的水动力特性相比, 压力降低时, 水动力性能有所下降, 但考核指标仍然在设计标准允许的范围内, 如阻力比为 0.64, 仍远大于设计标准要求的 0.16。

此外, 尽管压力降低时, 锅炉的水动力性能变差, 但是随着工作压力的降低, 工质饱和温度和沸点热焓也随之明显下降, 汽化潜热增大, 使炉膛管屏温度普遍下降了 20℃, 管屏的温度工况大为改善。

综上所述, 锅炉的水动力特性能满足变压运行的要求。

2.3 变压运行方案

由上述分析知, 锅炉具备实施变压运行的条件。变压运行虽然有很多优点, 但是有一个缺点: 即由于锅炉对负荷变化的反应相对较慢, 因此往往不能满足电网负荷调节速度的要求。为此, 通常在高负荷区域内采用节流调节方式, 以获取较高的负荷调节速度, 而在低于一定负荷时, 才实施变压运行。鉴于此, 根据该锅炉的热力计算结果, 提出了表 1 所示变压调峰运行方案。即在 80%负荷 ~MCR 负荷范围内, 锅炉维持在额定压力为 16.67 MPa(G) 下运行, 发电机组负荷的调节由汽轮机进口的调节阀进行节流调节, 以适应电网负荷调节速度的要求; 而当负荷低于 80%时, 开始实施变压运行。

表 1 锅炉变压运行参数(给水温度为 262℃)

负荷	MCR	100%	90%	80%	70%	60%	50%
锅炉出口压力/MPa(G)	16.67	16.67	16.67	16.67	15.2	13.73	11.77
一次汽温度/℃	540	540	540	540	540	540	540
再热蒸汽温度/℃	540	540	540	540	540	540	530

表 2 列出了计算得到的锅炉在 70%、60%、50% 锅炉热负荷下, 在所推荐的压力下变压运行时及这些负荷下定压运行时锅炉各级受热面的工质温度。由表可见, 变压运行时各中间点的工作更为安全可靠。因此表 1 所推荐的变压调峰运行方式及各负荷下的运行参数是合理的, 可以采纳。

表 2 锅炉变压运行特性计算结果

负 荷/%		70	60	50			
出口压力/MPa		16.67	15.2	16.67	13.73	16.67	11.77
高温	进口温度/℃	515.8	514.6	516.9	514.9	519.5	515.9
过热器	出口温度/℃	540	540	540	540	540	540
后屏	进口温度/℃	451.3	447.0	452.9	444.7	457.2	443.4
过热器	出口温度/℃	515.8	514.6	516.9	514.9	519.5	515.9
分隔屏	进口温度/℃	405.0	398.3	409.2	396.3	416	394.8
过热器	出口温度/℃	451.3	447.0	452.9	444.7	457.2	443.4
低温	进口温度/℃	398.2	391.7	402.8	389.6	409.9	387.5
过热器	出口温度/℃	405.0	398.3	409.2	396.3	416	394.8
水冷壁	进口温度/℃	275.1	275.1	270.1	269.7	264.7	263.9
	出口温度/℃	376.8	369.3	380.2	363.4	384.6	355.8
economizer	进口温度/℃	237.5	237.5	229.1	229.1	220.7	220.7
	出口温度/℃	275.1	275.1	270.1	269.7	264.7	263.9
高温	进口温度/℃	490.1	489.5	485.7	491.8	477.2	483.8
再热器	出口温度/℃	540	540	534	540	523	530
低温	进口温度/℃	297.6	297.6	294.8	294.8	292	292
再热器	出口温度/℃	490.1	489.5	485.7	491.8	477.2	483.8

3 锅炉给水泵变压运行的可行性

实施变压调峰运行方式所必须具备的另一个重

要条件, 是锅炉给水泵的调速范围能否满足要求。

仍以某电厂 300 MW 机组为例。该电厂锅炉配有 2 台汽动泵和一台电动泵。汽动泵组为主给水泵, 电动泵组为备用泵。汽动泵组由前置泵(电机驱动)和主给水泵(汽轮机驱动)组成。备用的电动泵组也是由前置泵和主泵组成。前置泵由主电机的一端直接驱动, 主泵则由电机的另一端通过液力偶合器驱动。每台泵的出力均为 50% 负荷时锅炉的蒸发量。

由锅炉主给水泵和所配驱动汽轮机的技术性能知: 主给水泵具有一定的变速范围, 大致在 4 000 ~ 5 750 r/min 之间。由锅炉热力计算结果及主给水泵的技术性能知: 当锅炉出口压力为 16.67 MPa 时, 经济器入口压力为 20.67 MPa, 主给水泵的扬程大致为 2 381 m, 这时给水泵的转速为 5 410 r/min; 而当锅炉出口蒸汽压力为 11.77 MPa 时, 经济器入口压力为 13.0 MPa, 主给水泵扬程大致为 1 500 m, 给水泵的转速下降, 但仍大于 4 000 r/min, 在泵的调节范围内。因此可以认为给水泵所具有的 4 000 ~ 5 750 r/min 这样大的变速能力是能够满足配置亚临界压力 UP 型直流锅炉的 300 MW 汽轮发电机组变压调峰运行的需要。

4 结 语

通过实例分析和计算知, 国内采用 UP 型直流锅炉的 300 MW 机组基本具备变压调峰运行能力。鉴于变压调峰运行方式与定压节流调节方式相比有较好的经济性, 能减少调节负荷时的节流损失, 保持高的工质温度, 提高循环效率, 节约了给水泵的能耗, 同时还可消除汽轮机第一级叶轮的热应力, 因此建议电厂考虑采用变压运行方式调节发电机组的负荷。但各电厂究竟采用哪一种调峰方案, 还需针对各电厂的实际情况, 通过分析计算后才能确定。

另外, 在实施变压调峰运行时, 需注意一个问题: 由于炉膛水冷壁管屏的水动力特性曲线较为平坦, 对炉膛热负荷扰动的敏感性较大, 因此在增减燃料量时(尤其在低负荷下), 应密切注意煤水比例, 以减少管屏温度的波动。

参考文献:

- [1] 黄承懋. 锅炉水动力学及锅内传热[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.

(何静芳 编辑)

电站系统

气密锅炉炉膛水冷壁温度状态的连续控制系统

据《Электротехнические станции》2001 年 12 月号报道, 炉膛是锅炉最重要的部分, 锅炉的经济性和可靠性在很大程度上随它而定。

为了控制水冷壁工作的温度条件, 常常应用辐射测量镶块和温度镶块。与温度镶块不同, 辐射测量镶块具有内装在管子内表面和外表面的热电偶, 从而除了管子的温度外还允许测定接收的热流。

温度镶块稍微简单一些, 只在管子外表面设置热电偶并主要应用在锅筒式锅炉中。在这种锅炉中, 管子内壁温度根据锅炉汽包内饱和压力确定。

提出的新系统制造简单、相对便宜, 能连续监测锅炉炉膛水冷壁温度。

新系统允许在对燃料燃烧情况的某种影响下测定水冷壁的温度变化, 评定它对水冷壁可靠性的影响。

提出的系统具有大约与基于温度镶块的系统相同的灵敏度。

(思娟 供稿)

duct has been fitted with flow-guide blades. Owing to the low intensity of the secondary flow and its small change along the ducts the flow condition has been improved. **Key words:** turbulent flow, large eddy simulation, flow field, finite element method, curved duct flow, flow-guide blade

确定船用蒸汽动力装置辅机余度系数的新方法 = **A New Method for Determining the Redundancy Factor of Auxiliary Machines for a Marine Steam Power Plant** [刊, 汉] / SHU Li-wei, JIN Jia-shan (Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033), JI Guang (Military Representative Office Stationed at Harbin Steam Turbine Works, Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 514 ~ 516

With a turbine-driven feedwater pump serving as an example discussed is a method for determining the rated performance-based redundancy factor of auxiliaries for a marine steam power plant. The method under discussion takes into account in a comprehensive way several factors. They include: the discrete character of equipment rated performance during its manufacture, the degeneration mechanism of the rated performance with the passage of usage time, the discrete character as demanded of the equipment, etc. With performance-reliability serving as an objective the redundancy factor can be determined in a more rational way. This may provide guidance for the design of the thermodynamic system of a marine steam power plant as well as the type selection of other similar equipment items. **Key words:** performance reliability, degeneration, redundancy factor, marine steam power plant, turbine-driven feedwater pump

自动可调浓淡燃烧器低负荷稳燃特性 = **Low-load Stable Combustion Characteristics of an Automatic-adjustable Bias-combustion Pulverized-coal Burner** [刊, 汉] / LI Yong-hua, CHEN Hong-wei (North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), LIANG Hua-zhong, et al (Shandong Luneng Development Company, Jinan, China, Post Code: 250000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 517 ~ 520

A new type of automatic-adjustable bias-combustion pulverized-coal burner is presented along with its service conditions in a power plant. The results of its operation has shown that the burner features an ability to regulate the distribution of air and pulverized coal during boiler operation, thus achieving the aim of operating at a drastically reduced load. **Key words:** burner, boiler, load

300 MW 机组 UP 型直流锅炉变压运行探讨 = **An Exploratory Study of the Variable-pressure Operation of an UP-type Once-through Boiler for a 300MW Unit** [刊, 汉] / KUANG Jiang-hong (College of Mechanical Engineering under the Shanghai University of Engineering & Technology, Shanghai, China, Post Code: 200336) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 521 ~ 523

Through a thermal calculation and analysis investigated are the operating characteristics of a UP-type once-through boiler and its feedwater pumps during its variable-pressure and peak-shaving operation. The authors concluded that a Chinese-made 300MW unit employing UP type once-through boilers basically possesses the ability to conduct a variable-pressure and peak-shaving operation. **Key words:** peak shaving, variable-pressure operation

TCDF-33.5 型 300 MW 汽轮机首次大修中的故障处理 = **Fault Treatment during the First-time Overhaul of a Model TCDF-33.5 300 MW Steam Turbine** [刊, 汉] / ZHANG Cai-wen, HUANG Hai-zhou, WANG Shu-shen (Hubei Provincial Electric Power Testing Research Institute, Wuhan, China, Post Code: 430077) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 524 ~ 526

Described are the following main faults detected during the first-time overhaul of a model TCDF-33.5 300MW steam tur-