

垂直管屏式直流锅炉热态水动力调整方法

张志正¹, 周云龙²

(1. 长春工程学院 能源动力系, 吉林 长春 130012; 2. 东北电力学院 动力工程系, 吉林 132012)

摘 要: 针对现场实际情况, 在研究大量文献的基础上, 提出了一种新的垂直管屏式直流锅炉水动力调整方法——热态调整法。该方法克服了冷态水动力调整的弊病, 还根据热态调整法的数学模型, 可直接求解各节流阀的开度, 实现了水动力调整的一次到位。针对 SG-1025-2 UP 型直流锅炉, 编制了水动力调整程序, 并进行了计算, 验证了调整程序的合理性。

关 键 词: 直流锅炉; 水动力; 调整

中图分类号: TK212.2 文献标识码: B

1 前 言

我国自 20 世纪 80 年代以来自行设计并投产了一批 300MW 机组的垂直管屏式直流锅炉。直流锅炉具有适应性负荷快速变化的特性, 适合调峰运行, 但这些机组原是以带基本负荷为原则进行设计的。运行实践表明, 在不同的负荷下, 炉内的热负荷特性与水冷壁管屏内的水动力特性都会发生变化, 而且直流锅炉水冷壁管内径比较小, 具有较大的热敏感性, 这就直接影响水冷壁运行安全性。直流锅炉没有自补偿特性, 当锅炉负荷发生变化或炉内火焰发生偏斜时, 水冷壁管内工质流量与其所受热负荷将很不匹配, 就会引起某些管屏的水冷壁超温爆管^[1-2], 所以必须进行水动力调整。

文献[3]对水动力调整进行了介绍, 但也存在如下问题:

(1) 现场往往都是在冷态条件下逐渐关小各阀门开度, 调整各回路流量满足高负荷和低负荷包络线分布, 然后确定节流阀开度(或节流圈口径), 运行时不动, 这样热态下的流量分配肯定与冷态时有较大的偏差, 而且满负荷和最低负荷的炉内热负荷分布曲线与包络线分布之间也有一定的偏差(见图 1), 这些偏差是造成水冷壁爆管的主要原因。

(2) 很多情况下, 各回路流量调整偏差需到试验结束后整理数据时才能示出, 调整时只能据测速管

差压值进行估计, 调节精度难以提高。

(3) 在调整各个回路时, 无法确定回路之间流量影响量, 不可避免地出现节流阀反复开大关小的操作, 因而影响了调整进度。

(4) 流量的调整难于很好地兼顾节流阀或节流圈阻力, 水动力的稳定性难以保证, 这对锅炉安全运行产生威胁。

鉴于以上分析, 本文提出一种水动力调整的新方法——热态调整法。

2 热态水动力调整

2.1 热态水动力调整原理

各管屏焓增一致是水动力调整追求的目标, 即:
$$\Delta h_i = q_i / G_i = \text{常数}$$

也就是说根据各管屏的热负荷应该有相对应的流量来吸收这些热负荷, 通过调节各管屏的流量与各管屏的热负荷相匹配, 就可将各个管屏的热偏差降到最小以避免超温爆管, 此流量称为目标流量。我们可根据不同负荷下的炉内热负荷分布曲线确定不同负荷下各管屏的目标流量, 以及炉内非正常燃烧工况下各管屏的目标流量, 这样即使炉内出现了一定程度的受热不均, 仍可在热态工况下通过调整管屏流量接近目标流量来保持水冷壁管的安全。

2.2 数学模型的建立

实践证明, 绝大多数由于受热不均的爆管现象发生在下辐射区, 所以只需要调整下辐射区入口节

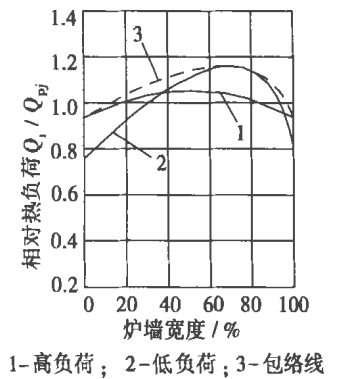


图 1 四角切圆燃烧水冷壁吸热分布

流阀开度来保证炉内热负荷分布和管屏流量的匹配。由于管屏内出现了汽水两相流,各回路流量分配变得复杂,但炉内热负荷确定后,各管屏的吸热量和产汽量就可确定,根据

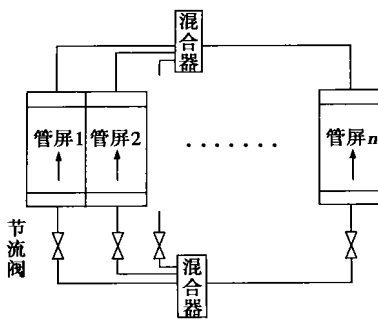


图2 直流锅炉下辐射区水动力系统简化图

各管屏的目标流量就可算出管屏的压降。一般垂直管屏式直流锅炉都有2个或4个完全对称的独立的水动力系统。在下辐射区,入口混合器和出口混合器之间的管系是在给水引入管、节流阀、水冷壁管和汽水引出管串联基础上的并联回路(见图2),各回路混合器间压降均相同,各回路可建立联立方程。那么如何建立炉内热负荷与各回路节流阀开度的对应关系呢?

根据节流阀流量系数的定义式^[4]:

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

式中: K_v ——节流阀流量系数, m^3/s ;

Q ——管道或阀门容积流量, m^3/s ;

ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

Δp ——节流阀压降, MPa。

由于下辐射区入口节流阀处是欠焓水,可认为是不可压缩流体,密度 ρ 为常数,根据各管屏“焓增一致”的原理,即 $\Delta h_i = q_i/G_i = \text{常数}$,流量 Q (或 G_i) 即不同工况下的热负荷分配曲线对应各回路的目标流量,它对应于某一工况的定值,节流阀流量系数 K_v 是节流阀压降 Δp_{fa} 的单值函数,而 K_v 是阀门开度 μ_{fa} 的单值函数,所以,节流阀压降 Δp_{fa} 与开度 μ_{fa} 有一一对应关系;节流阀压降 Δp_{fa} 也是混合器间压降减去对应该回路流量 G_i 的引入管压降、管屏压降和引出管压降之后的剩余压降。至此,我们建立了如下对应关系:

$$q_i \rightarrow G_i \rightarrow \Delta p_{fa} \rightarrow K_v \rightarrow \mu_{fa}$$

炉内热负荷分布与节流阀开度是一一对应的,

可列出方程组如下:

$$\begin{cases} Q_i = \eta_i^s \cdot \eta_i^k \cdot \eta_i^e \cdot q_{pj} \cdot \zeta_i \cdot A_i \\ Q_s = \sum_{i=1}^n Q_i \\ G_i = \frac{Q_i}{Q_s} G \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Delta p_i = \Delta p_{i+1} = \Delta p^* \\ \Delta p_{fa}(G_i) = \Delta p_i - \Delta p_{yr}(G_i) - \Delta p_{gp}(G_i) - \Delta p_{yc}(G_i) \\ \mu_{fa}(i) = f(\Delta p_{fa}(G_i)) \end{cases} \quad (2)$$

式(1)实现了根据炉内热负荷分布确定目标流量,式(2)实现了根据目标流量确定节流阀开度。

式中: Q_i ——第 i 个管屏吸热量, kJ/s ;

η_i^s ——第 i 个管屏墙间吸热不均系数;

η_i^k ——第 i 个管屏沿宽度吸热不均系数;

η_i^e ——第 i 个管屏沿高度吸热不均系数;

q_{pj} ——炉膛平均热负荷, $kJ/(m^2 \cdot s)$;

ζ_i ——第 i 个管屏平均灰污系数;

A_i ——第 i 个管屏辐射受热面积, m^2 ;

Δh_i ——第 i 个管屏焓增, kJ/kg ;

G_i ——第 i 个回路工质流量, kg/s ;

G ——系统总流量, kg/s ;

Δp^* ——混合器间压降, MPa;

$\Delta p_{fa}(G_i)$ ——第 i 个回路节流阀的压降, MPa;

$\Delta p_{yr}(G_i)$ ——第 i 个回路引入段(单相水)压降, MPa;

$\Delta p_{gp}(G_i)$ ——第 i 个回路水冷壁管屏(沸腾高度内为单相水,沸腾高度以上为变密度的两相流)压降, MPa;

$\Delta p_{yc}(G_i)$ ——第 i 个回路引出段(密度不变的两相流)压降, MPa。

其中: $i = 1, 2, 3, \dots, n$; n 为回路编号。以上压降计算方法见文献[5]。

通过式(1)求出与炉膛热负荷分布相协调的各管屏的目标流量,代入式(2)。求解式(2)并需给定 Δp^* 值,而 Δp^* 值可根据保证不同工况下受热最强回路(回路阻力也最大)不发生脉动的条件,计算出的混合器间压降 Δp^* ,即为该工况下给定值^[6]。代入式(2)即可求出所有管屏的节流阀压降 $\Delta p_{fa}(G_i)$,进而确定节流阀流量系数 K_v ,根据流量系数 K_v 和阀门开度 $\mu_{fa}(i)$ 的对应关系和阀门开度特性曲线进一步求出阀门开度位置。

3 算例分析

以上方程组必须用计算机求解才能实现热态水动力调整。根据数学模型可编制水动力调整程序,输入锅炉结构数据、热力计算结果数据或实测值计

算出各个节流阀流量系数, 进而得出阀门开度位置, 实现了阀门开度调节的一次到位。

利用开发的一套水动力调整应用程序, 以 SG-1025/170-540/540-2 型一次上升 UP 直流锅炉为例进行计算。该锅炉炉膛断面宽 13.035 m, 深 12.195 m, 宽深比为 1.07, 接近正方形。炉膛四角为切角, 切角斜边长 0.98 m, 每个切角布置一个回路。炉膛高 52.1 m, 冷灰斗倾角 55°, 水冷壁为一次上升型, 沿炉膛高度自下而上分为冷灰斗、下辐射区、中辐射区、上辐射区 4 段, 每段之间设置中间混合器, 共有三级混合, 如图 3 所示。

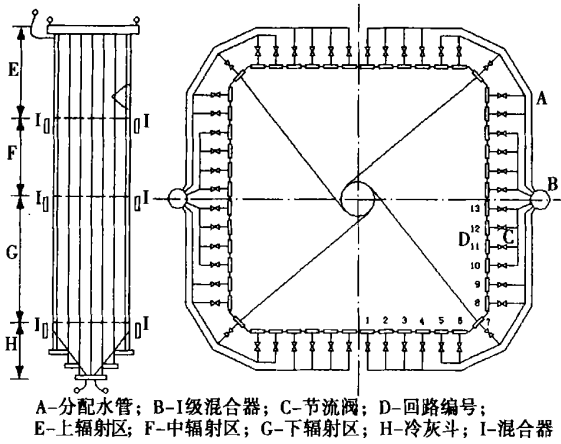
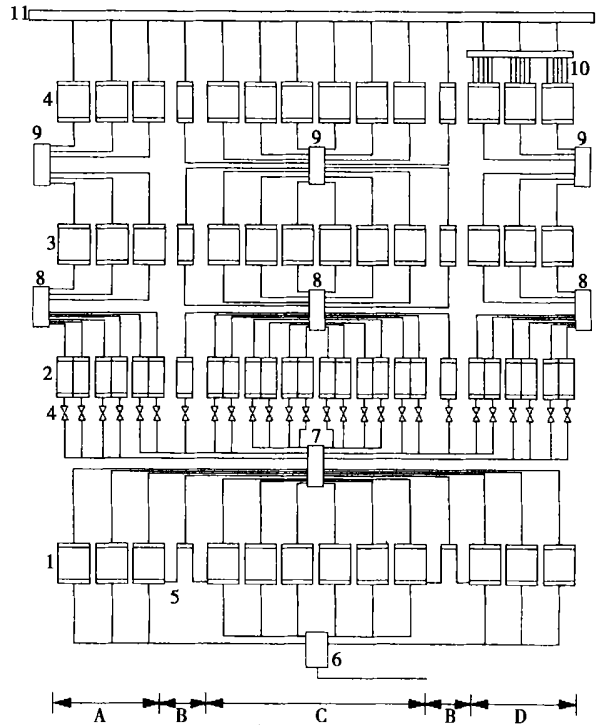


图 3 SG-1025-2 炉膛水冷壁区域分布和炉膛断面回路分布

水冷壁分为两个独立回路, 其中一个回路系统占炉膛全周界的一半, 如图 4 所示。

在锅炉全周界上冷灰斗共有 24 个管屏, 下辐射区共有 52 个管屏, 中辐射区和上辐射区共有 28 个管屏。炉膛全周界共有 1 392 根水冷壁, 节距 35 mm。冷灰斗水冷壁为 $\Phi 22 \times 5.5$ mm 内光管膜式水冷壁, 中下辐射区为 $\Phi 22 \times 5.5$ mm 四头内螺纹膜式水冷壁, 上辐射区为 $\Phi 25 \times 6$ mm 内光管膜式水冷壁, 下辐射区入口调节阀采用 ZAZP(N) 型调节阀。计算结果如表 1。

这种水动力调整方法, 建立了炉内热负荷分布和节流阀开度位置的一一对应关系, 根据这种对应关系, 设计一套自动控制装置, 可实现在线水动力调整, 即根据锅炉负荷或炉内热负荷的变化实现水冷壁流量的在线分配, 使水冷壁管内流量和炉内热负荷始终协调一致, 大大减少了水冷壁管温度的交替变化, 延长了水冷壁管的寿命, 这对直流锅炉机组启停和变负荷运行有重要意义。但考虑到阀门质量及阀门寿命等因素, 为了防止阀门频繁动作, 建议只计算 100%、70%、30% 负荷的节流阀开度。



1-冷灰斗水冷壁; 2-下辐射水冷壁; 3-中辐射水冷壁; 4-上辐射水冷壁; 5-炉膛切角; 6-过滤器; 7-一级混合器; 8-二级混合器; 9-三级混合器; 10-悬吊管; 11-炉膛顶棚入口联箱; A-前墙; B-切角; C-右墙; D-后墙

图 4 SG-1025 水冷壁一个回路系统 (整炉有两个并联对称回路)

表 1 SG-1025-2 直流锅炉在 100%、70%、30% 负荷下各回路节流阀开度及流量计算结果

负荷 / %	项目	管屏编号												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
100	阀门开度 / %	100	51.82	43.04	36.45	31.26	27.00	30.15	26.58	31.60	34.81	40.66	46.69	54.67
	回路流量 / $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	6.14	5.97	5.75	5.42	5.11	4.48	4.80	3.86	4.55	4.80	5.11	5.39	5.58
70	阀门开度 / %	100	50.42	41.56	34.80	26.69	25.56	30.34	26.94	30.93	33.09	39.00	44.94	52.37
	回路流量 / $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	4.16	4.07	3.95	3.75	3.59	3.24	3.53	2.87	3.27	3.36	3.53	3.71	3.81
30	阀门开度 / %	100	47.14	38.17	33.11	29.68	25.15	29.21	25.98	29.74	32.84	36.14	40.83	47.26
	回路流量 / $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	2.11	2.08	2.04	1.99	1.94	1.75	1.93	1.59	1.76	1.82	1.86	1.90	1.94

通常情况下, 670 t/h 锅炉排烟温度降低 10 °C, 可降低供电煤耗 2 g/(kWh)。按本厂近 3 年平均每年每台机组发电 13.5 亿 kWh 时计算, 则每年少耗标煤 $2 \times 10^{-6} \times 13.5 \times 10^8 = 2700$ t, 合人民币 $260 \times 2700 = 70.2$ 万元。同时热管暖风器代替原蒸汽暖风器后, 暖风器按每年投运 5 个月计算, 可节约蒸汽 18250 t, 相当于 1643 t 标煤, 合人民币 $260 \times 1643 = 42.7$ 万元。两项合计每年 $70.2 + 42.7 = 112.9$ 万元, 本改造总投资为 98 万元, 不到 1 年就可收回投资。

5 结束语

(1) 暖风器结构上分高、中、低温 3 组布置在回转式空预器下方的烟、风道内, 此种布置方式与传统方式相比减少了穿墙管数量, 不仅大大减少了管材, 提高了烟、风道的严密性, 而且不占用烟、风道外原有空间, 不影响回转式空预器下轴承处的巡检和检修。

(2) 热管暖风器设有排水排气系统, 可根据需要随时调整排水、排气, 从而避免热管失效。

(3) 利用除氧器对热管充水, 除氧水对于受热面内壁有着很好的防腐、保护效果, 利用锅炉炉顶蒸汽伴热疏水管对热管抽取真空, 整个受热面现场组装, 工艺简单, 费用少。

(4) 热管暖风器具有较好的自补偿性能, 当季节、负荷变化引起烟温变化时, 热管内的水循环流量随烟温升降同步增减。

(5) 热管式暖风器很好的解决了原有蒸汽暖风器容易发生水冲击、经常泄漏和运行不可靠等问题, 节约了蒸汽。

(6) 加装热管式暖风器后, 在相同条件下, 排烟温度平均降低 10 °C 以上, 机组供电煤耗降低 2 g/(kWh)。

(7) 将暖风器受热面按不同烟温分布设计成 3 组不等的受热面, 减轻了空气预热器低温段的低温腐蚀。

参考文献:

[1] 王文, 熊锐, 屠传经. 分离型热管的冲液量分析[J]. 动力工程, 1997, 17(3): 66-68.

(辉 编辑)

(上接第 97 页)

(1) 100% 负荷下节流阀开度计算结果用于 85% ~ 100% 负荷;

(2) 70% 负荷下节流阀开度计算结果用于 55% ~ 85% 负荷;

(3) 30% 负荷下节流阀开度计算结果用于 55% 负荷以下。

这样就可以减少阀门调整次数, 既能满足要求, 又能延长阀门的使用寿命。

4 结 论

(1) 提出了一种快速高精度的水动力调整的方法——热态调整法。通过热态调整法的数学模型可直接求解各回路节流阀开度, 实现了调整的一次到

位;

(2) 根据热态调整法, 开发了一套水动力调整的应用程序, 用于对直流锅炉的计算。

参考文献:

[1] 张才根, 邵国桢, 吴本丰. UP 型直流锅炉膜式水冷壁的热敏感性[J]. 锅炉技术, 1992(1): 1-7.
 [2] 单昌伦. 国产 1025 t/h 直流锅炉水冷壁管爆破原因分析及消除[J]. 上海电力, 1990(1): 8-12.
 [3] 张才根, 庄文贤, 邵国桢. UP 型直流锅炉水冷壁的水动力调整[J]. 锅炉技术, 1987(3): 1-9.
 [4] 杨源泉. 阀门设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
 [5] 电站锅炉水动力计算标准方法[S]. JB/Z201-83, 1983.
 [6] 林宗虎. 汽液两相流和沸腾传热[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987.

(辉 编辑)

(Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), ZENG Xi (Military Representative Office of the Chinese People's Liberation Army Stationed at Jiangnan Shipyard, Shanghai, China, Post Code: 200011), YANG Nai-mu (Thermal Power Plant of Jilin Petroleum Group Co. Ltd., Songyuan, Jilin Province, China, Post Code: 138000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(1). — 89 ~ 92

The adoption of intercooling and regeneration technology represents a major development tendency for a new generation of marine main propulsion plants. On the basis of a simple-cycle marine gas turbine (called MGT for short) several problems involved in its upgrading to a MGT with intercooling and regeneration were discussed. A steady-state mathematical model and an optimization mathematical one were set up. Work assignments concerning parameter optimization, modification scheme justification and demonstration were carried out along with the calculation of off-design operating conditions.

Key words: gas turbine, intercooling, regeneration, optimization, off-design operating conditions

采用 PLC 实现孤网电站负荷管理系统自动化 = **Programmable Logic Control-based Automation of a Load Management System for the Power Plant of an Isolated Network** [刊, 汉] / JIN Wei-wu, WU Hao-shan (Wuxi Division of Harbin No. 703 Research Institute, Wuxi, China, Post Code: 214151), CHEN Cai-wang (Taxinan Electric Power Co. of Tarim Oil Field Sub-Company under the Xinjiang Zepu Petroleum Base, Zepu, Xinjiang, China, Post Code: 844800) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(1). — 93 ~ 94

In connection with the engineering design of the gas turbine power plant of an isolated network a process of programmable logic control-based automation is expounded of the load management system for a power plant. It can be shown that such an approach of automation process features a simple construction, operational safety and reliability as well as ease of operation and revision in addition to the attainment of a high performance-price ratio. It is fully suited to the characteristic features of power plant operation in an isolated network. **Key words:** isolated network, programmable logic controller, load management system, low-frequency load reduction, rotation margin

垂直管屏式直流锅炉热态水动力调整方法 = **Hot-state Hydrodynamic Adjustment Method for a Vertical Water-wall Once-through Boiler** [刊, 汉] / ZHANG Zhi-zheng (Energy Engineering Department, Changchun Engineering Institute, Changchun, China, Post Code: 130012), ZHOU Yun-long (Power Engineering Department, Northeast Electric Power Institute, Jilin, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(1). — 95 ~ 97, 100

In the light of actual on-site conditions and on the basis of the assimilation of a huge amount of relevant technical literature the authors have come up with a new hot-state hydrodynamic adjustment method for vertical water-wall once-through boilers. The recommended method can eliminate the defects specific to a cold-state hydrodynamic adjustment method. Furthermore, with the use of a mathematical model of the hot adjustment method it is possible to directly solve for the opening degree of each throttle valve, thus realizing the hydrodynamic adjustment at one stroke. A hydrodynamic adjustment program has been prepared for SG-1025-2UP type once-through boilers with relevant calculations being performed, thus verifying the rationality of the adjustment program. **Key words:** once-through boiler, hydrodynamics, adjustment

分体式热管暖风器在 670 t/h 锅炉上的应用 = **The Use of a Split-body Heat-pipe Warm-air Heater on a 670 t/h Boiler** [刊, 汉] / MA Yu-feng, YI Xiao-tian, PAN Guang-chun, et al (Shengli Power Plant, Dongying, China, Post Code: 257087) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(1). — 98 ~ 100

To cope with the excessive rise in exhaust gas temperature after the modification of the air heater of a 670 t/h boiler installed at Shengli Power Plant, it is decided to implement a technical scheme of adding a split-body heat-pipe warm-air heater. When the heater was put into operation the air temperature at the inlet of the air heater would increase, thus protecting the latter from low-temperature corrosion and also reducing ash fouling. Meanwhile, the aim of lowering the exhaust gas temperature has also been attained. **Key words:** boiler, split-body heat pipe, air heater, low-temperature corrosion, exhaust gas temperature, waste heat utilization