

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.022

# 660 MW 超临界“W”火焰炉机组磨煤机台数匹配研究

段玉燕, 李伟科, 樊晓茹, 吴阿峰, 霍沛强  
(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 依托某 660 MW 超临界 W 火焰炉燃煤机组项目, 针对制粉系统配置的磨煤机台数提出了新方案, 通过常规 6 磨方案和 4 磨新方案的技术经济比较, 论证了配置 4 台双进双出磨煤机方案技术可行, 运行可靠, 经济效益显著, 为该类型机组制粉系统提出了新思路。

**关键词:** “W”火焰炉; 无烟煤; 双进双出磨煤机; 制粉系统

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)01-0127-05

## Research on the Number of Mill in 660 MW Super-critical Unit of “W” Flame Furnace

DUAN Yuyan, LI Weike, FAN Xiaoru, WU Afeng, HUO Peiqiang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** Relying on one 660 MW super critical “W” flame furnace coal-fired unit project, this article proposed a new proposal on the number of mill in pulverizing system. Through the technology and economic comparisons between the general proposal of 6 mills and the new proposal of 4 mills, it was demonstrated that the new proposal of 4 sets double into and out mills is viable on technology, reliable on operation and good on economic benefit. This article proposed the new idea for drawing up the plan on pulverizing system of this type of unit.

**Key words:** “W” flame furnace; blind coal; double into and out mill; pulverizing system

某 660 MW 超临界燃煤机组燃用的设计煤种和校核煤种干燥无灰基挥发份  $V_{daf}$  均  $\leq 10\%$ ; 通常, 国内外将  $V_{daf} \leq 10\%$  的煤列为无烟煤<sup>[1]</sup>。无烟煤煤化程度高, 具有固定碳含量高、挥发份低、机械强度高、不易研磨、挥发份析出温度高、着火困难、不易燃烬等特性。典型 600 MW 等级超临界“W”火焰炉机组选用双进双出钢球磨煤机冷一次风机正压直吹式制粉系统, 每台炉常规配置 6 台双进双出磨煤机<sup>[1]</sup>。在直吹式系统中, 磨煤机与燃烧器的数量密切相关, 因此磨煤机的台数与燃烧器数量相互约束, 原则上应首先保证燃烧的合理性, 再考虑磨煤机配套数量的优化。

文章依托该类型机组某项目, 针对制粉系统配置的磨煤机台数提出了新方案, 通过常规 6 磨和 4 磨方案的技术经济比较, 论证了配置 4 台双进双出磨煤机方案技术可行, 运行可靠, 经济效益显著, 为该类型机组制粉系统提出了新思路。

### 1 磨煤机台数优化的前提条件

#### 1.1 磨煤机台数的确定

国内 600 MW 等级超临界“W”火焰炉运行业绩最多的锅炉厂是巴威和东方, 这两个锅炉厂生产的该炉型均是 24 个旋流燃烧器。因此, 原则上, 每台锅炉可以配 6 台或 4 台双进双出钢球磨。国内 600 MW 等级机组有配 5 台双进双出钢球磨的, 但锅炉为常规煤粉炉炉型; 如果采用 5 磨方案, 将无

法与现有炉型的燃烧器数量匹配, 将带来与主机厂的大量配合工作, 且主机不是定型产品, 开发周期较长, 故不予考虑 5 磨方案。小于 4 台的磨煤机配置, 每台磨煤机的分离器出头过多, 而且单台磨煤机出力太大, 选型困难, 因此不推荐 3 台及以下过少的磨煤机台数配置。

无论是 4 台还是 6 台磨煤机的配置, 都对应锅炉 24 个燃烧器, 并没有改变锅炉燃烧器的个数, 因此单个燃烧器负荷并没有发生变化, 不会影响锅炉内的燃烧结构。

### 1.2 磨煤机国产化情况

以往受双进双出磨煤机设计和制造能力的限制, 在磨煤机的配备数量上一直没有突破, 但随着磨煤机厂家制造水平的不断提高, 双进双出磨煤机的制造能力也在不断提升。

MGS 型双进双出磨煤机是我国在引进法国 STEIN 公司 BBD 型双进双出磨煤机和美国 FW 技术 D 型双进双出磨煤机设计、工艺、检验、试验技术的基础上自主开发的拥有自主知识产权的新型双进双出磨煤机。2005 年 11 月, 我国推出机械行业标准《MGS 双进双出磨煤机》(JB/T 10519—2005), 至此 MGS 系列双进双出磨煤机成功实现国产化, 现已全部替代进口的 BBD 系列磨煤机。

当前, 国内生产制造双进双出磨煤机的厂家有沈阳北方重工集团和上海重型机器厂, 其均是从法国 ALSTOM 引进的带螺旋绞笼进料结构的磨煤机。

沈阳北方重工集团(原沈阳重型机器厂)有限责任公司于 1988 年沈阳重型机器厂有限责任公司引进了法国 STEIN 公司双进双出钢球磨煤机的全套设计制造技术, 至今已经有 19 年的设计制造经验, 在进口双进双出磨煤机设计、工艺、检验、试验技术的基础上自主开发的拥有自主知识产权的新型双进双出磨煤机, 即 MGS 双进双出磨煤机, 并具有结构先进, 性能稳定, 功能完备, 运行可靠等特点, 共有 11 个系列规格, 可以装备 0.2~1 GW 火电机组。

上海重型机器厂有限公司于 1995 年从法国 ALSTIOM 公司引进 BBD 全系列磨煤机, 国内也有上百台的运行业绩。上海重型机器厂为越南蒙东电厂设计制造的 MGS 5272 是目前最大的双进双出钢球磨煤机。

方案推荐的磨煤机选型出力应在国产设备定型

产品的范围内, 不需要重新开发新型号, 保证技术成熟可靠。这是提出磨煤机台数匹配新方案的前提条件。

### 1.3 磨煤机台数方案的拟定

由于每台炉 24 个燃烧器, 配 4 台或 6 台双进双出钢球磨煤机都是可行的, 相应地每台磨煤机配的 2 个分离器分别各接 3 根或 2 根送粉管道。6 磨方案是常规配置方案, 4 磨方案是文章提出的新方案, 由此, 拟定 6 磨常规方案和 4 磨新方案。本着合理送粉、组织燃烧、尽量使炉膛热负荷均匀、且送粉管道尽量保持相同阻力的原则, 每台磨煤机的粉管应间隔且前后墙对角布置, 两个方案双进双出磨煤机粉管与燃烧器的对应关系如图 1 和图 2 所示。

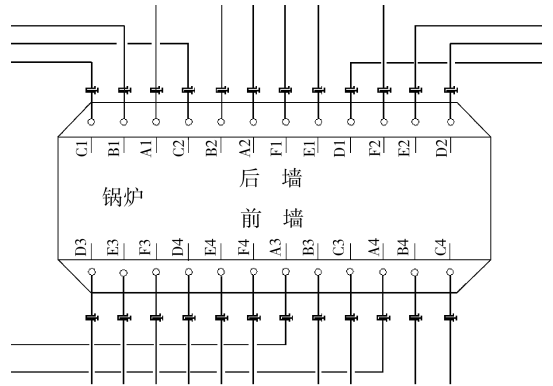


图 1 常规 6 磨方案送粉管道与燃烧器的对应关系

Fig. 1 The corresponding relation between the powder feeding pipe and the burner in the conventional scheme of 6 mills

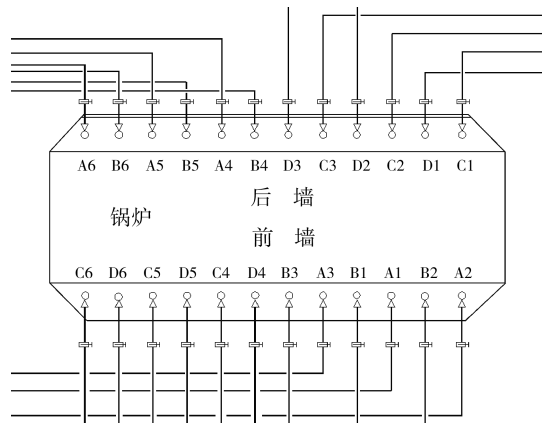


图 2 4 磨新方案送粉管道与燃烧器的对应关系

Fig. 2 The corresponding relation between the powder feeding pipe and the burner in the new scheme of 4 mills

## 2 两种磨煤机配置方案的对比

### 2.1 两种方案的磨煤机选型结果

文章依托某 660 MW 超临界“W”火焰炉燃煤机组, 设计煤种和校核煤种均是无烟煤, 煤质分析如表 1 所示:

表 1 煤质特性分析表  
Tab. 1 Coal quality analysis

名称	符号/单位	设计煤种	校核煤种
收到基水份	$M_{ar}/\%$	8.00	10.00
空气干燥基水份	$M_{ad}/\%$	3.97	3.68
收到基灰份	$A_{ar}/\%$	30.77	33.20
干燥无灰基挥发份	$V_{daf}/\%$	10.00	9.07
收到基低位发热量	$Q_{net,ar}/$ ( $MJ \cdot kg^{-1}$ )	20.55	18.97
收到基碳	$C_{ar}/\%$	55.68	51.69
收到基氢	$H_{ar}/\%$	1.99	1.52
收到基氧	$O_{ar}/\%$	0.79	0.31
收到基氮	$N_{ar}/\%$	0.92	0.63
收到基硫	$S_{t,ar}/\%$	1.85	2.65
哈氏可磨指数	HGI	57.00	50.00
冲刷磨损指数	Ke	3.50	4.30

根据规程要求“对双进双出钢球磨煤机, 磨煤机总计算出力在磨制设计煤种时不应小于锅炉最大连续蒸发量时燃煤消耗量的 115%; 在磨制校核煤种时, 不应小于锅炉最大连续蒸发量时的燃煤消耗量”<sup>[2]</sup>, 从而确定磨煤机的设计出力; 经过计算和厂家咨询, 两种方案选出的磨煤机技术规范如表 2 所示:

表 2 两种方案磨煤机技术规范对比表

Tab. 2 Comparison of technical specifications between two schemes

对比项目	4 磨新方案	6 磨常规方案
磨煤机型式	MGS 5072 型	MGS 4760 型
每台锅炉配置数量/台	4	6
每台磨煤机出口数量/个	2 只分离器共 6	2 只分离器共 4
最大出力/ ( $t \cdot h^{-1}$ )	设计煤种: 102 校核煤种: 90.0	设计煤种: 73.0 校核煤种: 64.0
最佳出力/ ( $t \cdot h^{-1}$ )	设计煤种: 94.0 校核煤种: 83.0	设计煤种: 67.0 校核煤种: 59.0
磨煤机设计出力/( $t \cdot h^{-1}$ )	设计煤种: 72.3 校核煤种: 81.0	设计煤种: 48.2 校核煤种: 54.0
最大出力下富裕系数	设计煤种: 1.41 校核煤种: 1.11	设计煤种: 1.51 校核煤种: 1.18
最佳出力下富裕系数	设计煤种: 1.30 校核煤种: 1.03	设计煤种: 1.39 校核煤种: 1.09

对比项目	4 磨新方案	6 磨常规方案
电机驱动功率/MW	3.0	2.1

注: (1) 为统一选型的边界条件, 暂定  $R90 = 6\%$ , 磨煤机出口一次风温度  $120\text{ }^\circ\text{C}$ ; (2) 磨煤机的出力应使用最佳出力的参数。

如表 2 所示, 4 磨方案虽单台出力较大, 但和 6 磨方案一样, 在磨煤机选型上均有定型产品, 没有技术风险, 且对应的燃烧器个数相同, 系统合理, 技术可行。

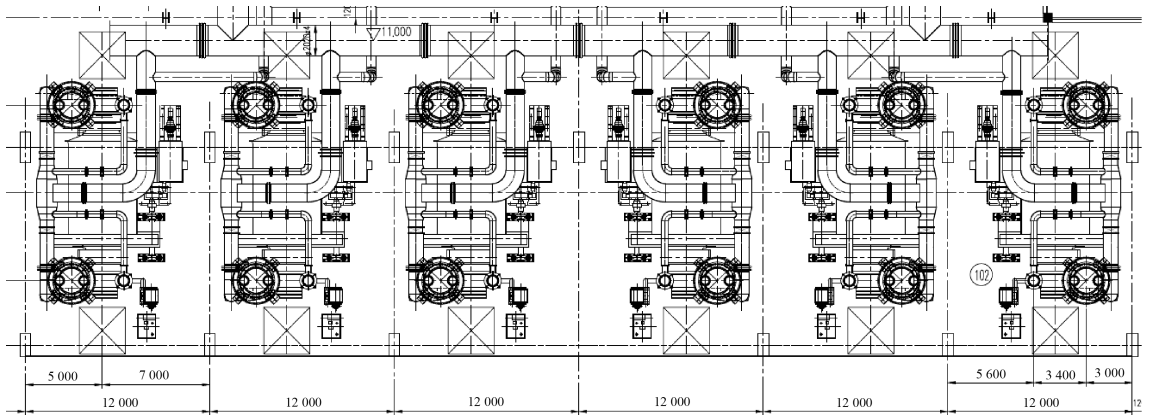
### 2.2 两种方案的煤仓间布置对比

对于采用双进双出磨煤机燃用无烟煤的机组, 推荐采用炉前煤仓布置, 这也是此类机组的常规布置。煤仓间柱距取决于: 磨煤机基础外形尺寸, 与磨煤机有关系的冷、热风道、粉管的布置, 往返于汽机与锅炉之间的空气、蒸汽及冷却水等管道的布置。常规 6 磨方案磨煤机采取横向布置, 煤仓间多采用 12 m 柱距, 13 m 跨距(单跨结构), 如图 3 所示。

新的 4 磨方案磨煤机若还按照传统方式设置, 由于筒体直径增大, 煤仓间采用 12 m 柱距, 通行及检修空间都比较紧张; 若继续拉大柱距, 结构专业需增大梁柱截面, 对于炉前煤仓来说, 这将引起汽机房尺寸增大、各种布置的不合理、各项指标和费用增大, 得不偿失。由此, 在布置 4 磨时, 可将磨煤机旋转  $90^\circ$  纵向布置, 汽机房可以配合煤仓间采用常规 9 m + 10 m (配合汽机房的凝汽器布置) 的柱距; 每台磨煤机占用两跨, 既可满足磨煤机绞笼和电机检修的空间要求, 煤仓间长度变化也不大。如图 4 所示。

针对 4 磨的这种布置方案, 冷、热风道及送粉管道布置均没有问题, 流程也顺畅。由于一台锅炉的耗煤总量是一定的, 在煤斗外形设计合理的情况下, 两种方案可以保持相同的给煤机和皮带层标高; 此外, 由于磨煤机的绞笼检修无需占用炉前通道的空间(D-K1), 因此, 只要四大管道和粉管可以布置下, 炉前通道的跨距可较常规 6 磨方案缩短 3 m 以上, 由此也会带来四大管道材料量减少的收益( ~80 万元/炉)。

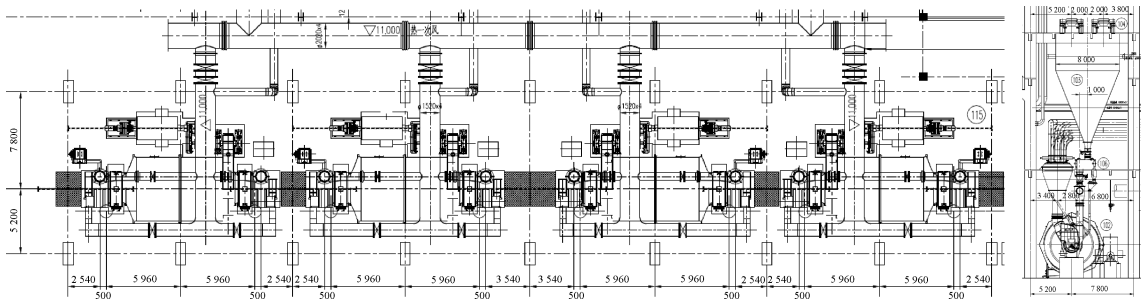
综上所述, 4 磨方案磨煤机纵向布置后在煤仓间布置方面没有任何问题, 煤仓间的跨度可与常规



注：单台炉煤仓间长度  $12\text{ m} \times 6 = 72\text{ m}$

图3 常规6磨方案煤仓间平面布置图

Fig. 3 Layout plan of the conventional scheme of 6 mills



注：单台炉煤仓间长度  $9\text{ m} \times 6 + 10\text{ m} \times 2 = 74\text{ m}$

图4 4磨方案煤仓间平面布置图和横断面布置图

Fig. 4 Layout plan and section plan of the new scheme of 4 mills

方案保持一致(13 m)，长度也和常规方案没有太大变化，给煤机层和皮带层标高均可以保持不变，炉前距离缩短还可以带来四大管道材料量减少的收益(约80万元/炉)。在风机选型方面，由于煤质是一样的，组织燃烧的风量配比也是一致的，一次风和二次风的配比不会因为磨煤机台数的不同而有较大的差异，磨煤机之间为并联关系，影响的仅仅是单台磨煤机的通风量；当然4磨方案磨煤机通风量阻力要比6磨方案的大(BMCR工况下 $\sim 500\text{ Pa}$ )，但由于一次风机本身的压头较高，由此带来的风机电功率的增加并不大。简化起见，以下经济比较主要针对设备初投资和磨煤机运行的电功率，其它方面引起的费用变化默认相抵，不予细化。

### 2.3 两种方案的技术经济比较

在两种磨煤机配置方案系统和布置都可行的情况下，两种方案的技术经济对比结果如表3所示：

表3 两种磨煤机配置方案技术经济对比表(每台炉)

Tab. 3 Technical and economic comparison between two schemes of mills (per boiler)

对比项目	4磨新方案	6磨常规方案
对应燃烧器数量/个	24	24
每台分离器对应粉管数/根	3	2
单只燃烧器功率	相同	相同
燃烧技术合理性	合理	合理
磨煤机选型型号	MGS 5072	MGS 4760
磨煤机选型合理性	已有制造运行业绩	有运行业绩
磨煤机单价/亿元	0.115	0.100
磨煤机台数/台	4	6
磨煤机总价/亿元	0.460	0.600
每台炉给煤机台数/台	8	12
给煤机单价/万元	30	30
给煤机总价/万元	240	360
四大管材料/万元	-80	基准
节省投资/万元	-1 600	基准
单台磨煤机电负荷/MW	1.687	1.231
(100% THA 工况轴功率)		
磨煤机总功率/MW	6.748	7.386
节省厂用电/kW	-638	基准

注：对于给煤机单价的计算，对应方案的设备选型不同，但价格相差不多，以相同价格考虑。

如表 3 所示, 4 磨方案虽单台出力较大, 但和 6 磨方案一样, 在磨煤机选型上均有定型产品, 没有技术风险, 且对应的燃烧器个数相同, 与锅炉厂燃烧器匹配, 炉膛燃烧结构相同。

从运行可靠性来说, 由于双进双出磨煤机本身具有连续作业率高、出力和细度稳定、储存能力大、响应迅速、运行灵活性大等优点, 即使磨煤机的两台给煤机中有一台停止工作, 只靠一台给煤机单进双出, 仍能一直维持磨煤机的出力不变。从磨煤机选型看, 燃用设计煤种时, 每台钢球磨的最大出力裕度 40% 以上, 最佳出力裕度 30% 以上, 即使停运一台磨, 适当调整其它磨的煤粉细度后, 仍可以保证机组 100% THA 工况的出力。因此, 两种方案均不设备用磨煤机, 4 磨的运行可靠性和 6 磨方案相当。

从变负荷运行的角度来说, 虽然 6 磨方案每台磨煤机的出力相对较小, 运行灵活, 但双进双出磨响应迅速、运行灵活性大、可靠性高的特点, 两种方案均可以实现较高的负荷响应能力。

从投资的经济上来说, 较之常规 6 磨方案, 单从设备的初投资方面考虑, 4 磨方案两台炉就节约初投资 ~0.320 亿元, 此外, 虽然单台磨煤机的单台运行电功率较高, 但是磨煤机台数从 6 台/炉减少到了 4 台/炉, 减少了厂用电, 两台机组每年有 ~320 万元的收益(按 5 500 h 年利用小时, 电网标杆电价 0.457 元/kW·h 计), 经济效益显著。

### 3 结论

综上所述, 针对燃用无烟煤 660 MW 超临界“W”火焰炉机组, 两种磨煤机配置方案在技术上和布置上均是可行的, 较之常规 6 磨方案, 4 磨方案具有技术可行、设备选型无风险、节约初投资、运行维护量小、同时减少厂用电等优势。在机组的运行可靠性和负荷响应能力上, 4 磨方案虽然灵活性不如常规方案, 但由于双进双出磨设备本身的优点, 可靠性并不输于常规方案, 且在相同的负荷下, 4 磨方案的厂用电更低, 节能效益显著。随着磨煤机设备设计和制造能力的提高, 文章提出的 4 磨配置方案, 技术可行, 效益显著, 是此类型机组制粉系统方案拟定的又一思路 and 选择。

#### 参考文献:

[1] 国家能源局. 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定: DL/T 5145—2012[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

National Energy Bureau. Technical code for design and calculations of coal pulverizing system of fossil-fired power plant: DL/T 5145—2012 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2016.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 大中型火力发电厂设计规范: GB 50660—2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011. Ministry of Housing and Urban and Rural Construction in People's Republic of China, State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of People's Republic of China. Code for design of fossil fired power plant: GB 50660—2011[S]. Beijing: China Planning Press, 2011.

#### 作者简介:



DUAN Y Y

段玉燕(通信作者)

1983-, 女, 江苏徐州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力设计、新能源利用研究(e-mail)duanyuyan@gedi.com.cn



LI W K

李伟科

1979-, 男, 广东兴宁人, 高级工程师, 学士, 主要从事热力发电与节能研究(e-mail)liweike@gedi.com.cn



FAN X R

樊晓茹

1973-, 女, 河南郑州人, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事火力发电厂热机及环保设计(e-mail)fanxiaoru@gedi.com.cn



WU A F

吴阿峰

1981-, 女, 山东青岛人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作(e-mail)wuafeng@gedi.com.cn



HUO P Q

霍沛强

1975-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 学士, 主要从事火电厂设计工作(e-mail)15818889050@139.com

(责任编辑 李辉)