

印度 600 MV 燃煤机组制粉系统选择分析

蔡 邦

(四川电力设计咨询有限责任公司, 成都 610016)

摘 要:通过对印度 600 MV 燃煤机组典型煤质分析,从制粉系统选择、制粉系统的设备配置、工程投资、运行可靠性、经济性等方面对各方案进行分析比较。

关键词:印度;600 MV;燃煤机组;制粉系统;方案选择

中图分类号:TK229.6

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)S2-227-05

随着国内发电市场的日益萎缩,将目光逐渐由国内转向国外,而印度市场是笔者所在公司关注的重点。目前,印度发电机组正在向大容量、高参数发展。与中国不同,印度电站工程主要是以 EPC 或 BTG 方式进行,需要全面考虑设备价格、土建费用、技术可靠性和先进性、技术经济性等因素。而制粉系统的选择对上述几方面都有重要的影响,因此,笔者以印度某电厂为例,对印度 600 MV 等级燃煤发电机组的制粉系统选择进行分析研究。

1 煤质

1.1 煤质特点

表 1 和表 2 为印度两种比较有代表性的煤质分析。

表 1 煤质 A

项目	符号	单位	设计煤种	最差煤种
全水分	M_t	%	11.0	15.0
空气干燥基水分	M_{ad}	%	—	—
收到基灰分	A_{ar}	%	36	40
收到基碳	C_{ar}	%	43.1	38
收到基氢	H_{ar}	%	2.85	2.50
收到基氧	O_{ar}	%	5.75	3.40
收到基氮	N_{ar}	%	0.9	0.5
收到基全硫	$S_{t,ar}$	%	0.4	0.6
高位发热量	GCV	kcal/kg	4 200	3 800
收到基低位发热量	$Q_{net,ar}$	MJ/kg	16.67	14.97
干燥无灰基挥发份	V_{daf}	%	41.5	40.0
哈氏可磨指数	HGI	—	50	45

表 2 煤质 B

项目	符号	单位	设计煤种	最差煤种
全水分	M_t	%	12	15.0
空气干燥基水分	M_{ad}	%	—	—
收到基灰分	A_{ar}	%	41.5	45
收到基碳	C_{ar}	%	36.5	31.9
收到基氢	H_{ar}	%	2	1.8
收到基氧	O_{ar}	%	6.3	4.9
收到基氮	N_{ar}	%	1.2	0.9
收到基全硫	$S_{t,ar}$	%	0.4	0.5
高位发热量	GCV	kcal/kg	3 300	3 000
收到基低位发热量	$Q_{net,ar}$	MJ/kg	—	—
干燥无灰基挥发份	V_{daf}	%	47.4	52.5
哈氏可磨指数	HGI	—	45	42

1.2 煤质分析

根据煤质资料可以得出如下结论:印度煤质都属于高挥发分、中—低发热量/低发热量、中等水分、难磨、易着火、易爆炸、低硫烟煤。

2 磨煤机及制粉系统的选择

目前比较常见的制粉系统有:

- 1) 钢球磨煤机仓式热风送粉制粉系统;
- 2) 双进双出钢球磨煤机直吹式制粉系统;
- 3) 中速磨煤机正压直吹式冷一次风机制粉系统;
- 4) 风扇磨煤机直吹式制粉系统。

磨煤机与制粉系统的确定,是根据煤的燃烧特性、磨损性、爆炸特性,磨煤机的制粉特性及煤粉细度的要求,结合锅炉的炉膛结构、燃烧器结构等方面统一考虑,并考虑投资、电厂检修运行水平及设备的配套、煤源等因素,以达到磨煤机、制粉系统、燃烧装置和锅炉炉膛匹配合理,保证机组的安全经济运行。

钢球磨煤机贮仓式热风送粉制粉系统系统复杂,设备众多,且不适用于大容量机组和高挥发分煤质,因此,不适合采用。

风扇磨煤机直吹式制粉系统适合磨制磨损性不强的煤质,且磨损件寿命短,运行故障率高,因此,也不适合采用。

中速磨煤机正压直吹式冷一次风机制粉系统和双进双出钢球磨煤机直吹式制粉系统对煤质适应性比较广,系统简单可靠,目前,也运用最为广泛。

中速磨煤机适用于烟煤、褐煤、贫煤的磨制,具有质量轻、占地少、投资较少、启动迅速、调节灵活、耗电低、噪声小、金属磨损低的优点。缺点是当磨制 K 值较高的煤质时,检修周期较短,且维护、检修工作量比双进双出钢球磨煤机大。

双进双出钢球磨煤机对煤种变化适应性强,煤种不限,适于研磨磨损指数高、灰分高和细度要求高的煤种。既有普通钢球磨煤种适应范围广的优点,又具有直吹式制粉系统简单、设备少、电耗小等优点。双进双出磨煤机采取以风定煤的调节方式,自动化程度高。实现锅炉燃烧与制粉系统匹配迅速。另外,双进双出钢球磨与一般钢球磨相比具有一磨可作为二磨用,具有结构紧凑、占地小等优点,采用螺旋输送装置将原煤由两端从水平方向引入磨煤机筒体内部,基本上克服了普通钢球磨煤机进口管堵煤的缺点。磨煤机密封严密,无泄露。其缺点是初投资费用偏高。低负荷下耗电量较大,正常运行电耗也大于中速磨煤机。

综上所述,选择双进双出钢球磨煤机直吹式制粉系统作为本工程推荐的制粉系统。

2.1 燃煤量

工程假定条件:印度某 2×660 MV 工程;

锅炉:超临界变参数直流锅炉;

锅炉燃烧形式:对冲燃烧。

煤质 A。设计煤种为 340.7 t/h;校核煤种为 380.1 t/h。

煤质 B。设计煤种为 265.8 t/h;校核煤种为 292.1 t/h。

2.2 煤粉细度

煤的挥发分越低,一般着火越困难,着火温度要

求越高,煤粉磨得较细时,接触面加大,有利于着火稳定。关于本工程的煤粉细度,根据《火力发电厂制粉系统设计计算技术规定》3.8.2 中“对于固态排渣煤粉炉燃用烟煤是,煤粉细度按下式选取 $R_{90} = 4 + 0.5nV_{daf}$ ”。

煤质 A:设计煤种 $R_{90} = 26.8\%$,最差煤种 $R_{90} = 26\%$ 。

煤质 B:设计煤种 $R_{90} = 30\%$,最差煤种 $R_{90} = 32.8\%$ 。

在综合考虑锅炉厂建议、锅炉效率、磨煤机能耗及维护费用等因素后,推荐煤粉细度为 $R_{90} = 20\%$ 。

2.3 磨煤机的选择

目前,在中国已成功投运较多并有代表性的双进双出钢球磨煤机生产厂家有 3 家,分别是美国 FW 公司、法国 ALSTOM 公司、瑞典 SVEDALA 公司。BBD 型磨目前已实现国产化,因此,本专题选用源于 ALSTOM 公司技术的 BBD 系列双进双出钢球磨煤机。

本工程锅炉厂主张采用前后各 12 支燃烧器的新炉型,这样单台炉共 24 支送粉管道接口,配合双进双出磨煤机,有 4 台磨各 6 个出口和 6 台磨各 4 个出口这两种方案,经计算,本工程每台炉 4 台磨方案可选用 4 台 BBD4760 型的双进双出钢球磨煤机,单台磨煤机主要性能参数如下:

筒体有效长度: $6\ 140$ m;

筒体有效直径: $\phi 4\ 650$ mm;

磨煤机实际出力:设计煤种 校核煤种

(最佳出力) 67.5 t/h 68 t/h

(最大出力) 74 t/h 74.5 t/h

磨煤机主电机功率: $2\ 100$ kW。

6 台磨方案可选用 6 台 BBD4062 型磨煤机方案,单机性能参数如下:

筒体有效长度: $6\ 140$ mm;

筒体有效直径: $\phi 3\ 950$ mm;

磨煤机实际出力:设计煤种 校核煤种

(最佳出力) 52.5 t/h 52 t/h

(最大出力) 58 t/h 57 t/h

磨煤机主电机功率: $1\ 500$ kW。

3 制粉系统的比较

为了全面清楚地了解两个方案,下面对两方案布置、电动机功率以及技术特点、技术经济等进行比较。

3.1 煤仓间布置比较

1) 4 台 BBD4760 型双进双出钢球磨煤机炉前煤

仓间。

主要结构尺寸:煤仓间跨度 14 m,柱距 12 m,每台炉煤仓间长度 48 m,给煤机层标高 13.7 m,输煤皮带层标高 40 m,煤仓间最顶层标高 46 m。主厂房长度为 12×12+10×2+1.5=165.5 m,两台炉煤仓间总体积为:106 582 m³。

2)6 台 BBD4062 型双进双出钢球磨煤机炉前煤仓间。

主要结构尺寸:煤仓间跨度 14 m,柱距 11 m,每台炉煤仓间长度 66 m,给煤机层标高 13.7 m,输煤皮带层标高 30.2 m,煤仓间最顶层标高 37 m。主厂房长度为 13×11+9×3+1.5=171.5 m,两台炉煤仓间总体积为:88 837 m³。

3.2 制粉系统电动机轴功率比较

为了比较两种方案运行中的实际电耗,表 3 汇总了制粉系统电动机轴功率的比较。

表 3 制粉系统电动机轴功率比较

序号	设备名称	设备数量	4 台(BBD4760)		6 台(BBD4062)	
			单台轴功率 /kW	总功率 (不含备用)/kW	单台轴功率 (不含备用)/kW	总功率 (不含备用)/kW
1	磨煤机	4 6	1 631	6 524	1 071	6 426
2	给煤机	8 12	3.3	26.4	2.2	26.4
3	密封风机	2 2	230	230	185	185
4	一次风机	2 2	690	1 380	645	1 290
5	合计			8 160.4		7 927.4
6	差值			233		0

表中数据参考沈重关于本工程的磨煤机选型计算。从表 3 可看出,虽然 6 台磨方案主电机总功率 1 500×6=9 000 kW 比 4 台磨方案的 2 100×4=8 400 kW 总功率大,但是实际出力时运行电耗反而少。

3.3 制粉系统综合经济技术比较

磨煤机及制粉系统的经济性取决于初投资费用及运行维护费用,其经济性(两台炉)比较见表 4。

表 4

序号	项目	单位	4 台磨方案	6 台磨方案
1	磨煤机型号		BBD4760	BBD4062
2	磨煤机单价	万元	950	630
3	磨煤机台数	台	8	12

续表

4	磨煤机总价	万元	7 600	7 560
5	给煤机台数	台	16	24
6	给煤机单价	万元	30	30
7	给煤机总价	万元	480	720
8	一次风机台数	台	4	4
9	一次风机单价	万元	365	340
10	一次风机总价	万元	1 460	1 360
11	煤仓间体积	m ³	106 582	88 837
12	主厂房土建费用(差额)	万元	+430	0
13	四大管道等其他费用(差额)	万元	约+20	0
14	初投资费用差	万元	+350	0
15	制粉系统电耗(差额)	kW	+466	0
16	制粉系统年运行电耗(差额)	kWh	+2.563×10 ⁶	0
17	制粉系统年运行电耗费用(差额)	万元	+46.13	0

从上表可以看出,无论从初投资上,还是从运行经济性上考虑,6 台磨方案都要优于 4 台磨方案。

从技术角度分析,采用 4 台磨方案还有以下的缺点:

1)单台磨出力大,停 1 台对锅炉负荷影响较大,尤其对于本工程 24 支燃烧器的 W 火焰炉,参考 FW 的设计思路,在燃烧器的布置上并没有考虑单台磨送粉管道前后墙错位布置。具体方案如表 5、表 6 所示。

表 5 炉前

A1	D1	A2	D2	A3	D3	A4	D4	A5	D5	A6	D6
B1	C1	B2	C2	B3	C3	B4	C4	B5	C5	B6	C6

表 6 炉后

1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
磨 A			磨 B			磨 C			磨 D		
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6

这样,停一台磨煤机,将导致锅炉前墙或后墙燃烧器的负荷减小一半,对锅炉效率有影响。

2) 调节负荷时, 灵活度小。

3) 由于双进双出钢球磨煤机消耗功率与装球量和筒体转速有关, 低负荷时, 磨煤机装球量一定, 虽然负荷降低了, 但是磨煤机轴功率下降幅度却低于负荷下降速度, 对于 4 台磨, 更为甚之, 故此在低负荷时, 4 台磨消耗的轴功率大于 6 台磨消耗的轴功率。本工程中, 这种趋势在磨煤机实际出力的工况下就已发生, 虽然主电动机的功率 6 台磨为 $6 \times 1\,500 = 9\,000$ kW, 比 4 台磨的 $4 \times 2\,100 = 8\,400$ kW 要多 600 kW, 但是实际出力时的轴功率分别为 $6 \times 1\,071 = 6\,426$ kW 和 $4 \times 1\,631 = 6\,524$ kW, 6 台磨反而比 4 台磨省电。

3.4 中国生产双进双出钢球磨的能力

对中国生产双进双出钢球磨煤机零部件及已经引进双进双出钢球磨的中国制造厂进行过调研。

1) 中信重型机械公司(原洛阳矿山机械厂, 简称中信重机)。

1998 年中信重机成为 AMS 在中国的唯一生产双进双出钢球磨煤机的合作伙伴。在双方的合作中, AMS 公司负责磨煤机的选型设计、工艺流程编排、质量监督、调试、安装; 中信重机仅对部分部件进行加工、生产, 产品标志为 AMS 铭牌。AMS 公司对中信重机人员在工艺和技术上进行培训。

双方已合作生产的磨煤机主要有: 合肥第二发电厂、越南法内电厂、韩国一电厂等。中信重机分包生产双进双出钢球磨煤机的筒体、端盖和内衬板。

2) 德意志巴布科克唐山锅炉有限公司。

该公司是德国 Babcock 公司与中方在唐山锅炉厂基础上合资组建、由德方控股的公司。生产双进双出钢球磨时, 德国 Babcock 公司负责全套设计、技术、标准和监督制造、整体组装, 并派员赴现场指导安装, 关键部件由德巴生产。双进双出钢球磨煤机的筒体、端盖、内衬板由唐山水泥机械厂加工, 其他部件由唐锅生产。

德国 Babcock 公司中标的德州电厂 2×600 MV 锅炉岛, 其双进双出钢球磨的部分部件由唐山锅炉厂和唐山水泥机械厂制造。

3) 沈阳重型机械厂。

1992 年中国分别从法国 ALSTOM 和美国 FW 引进了双进双出钢球磨煤机技术, 是国内生产普通钢球磨及双进双出钢球磨煤机的主要厂家。

目前, 沈阳重机已获得山东莱城电厂、胜利二期

等多台电厂的双进双出钢球磨煤机的制造合同。其中引进技术国产化后生产制造的 BBD 型整套设备, 于 1999 年 11 月在山东莱城发电厂顺利投入运行, 其主要技术指标如下:

设备名称: BBD4062 双进双出磨煤机;

额定出力: 52.5 t/h;

额定细度: $R_{90} = 7\%$;

入料粒度: ≤ 300 mm;

筒体有效直径: 3 950 mm;

筒体有效长度: 6 430 mm;

筒体有效容积: 77.7 m³;

筒体转速: 16.6 r/min;

最大装球量: 88 t;

分离器直径: 2 900 mm;

主电机功率: 1 500 kW;

最大一次风流量: 107 500 kg/h;

密封风流量: 4 000 kg/h;

磨煤机阻力: $\leq 3\,200$ Pa;

最大轴功率: 1 299.4 kW;

设备总重: 245 t。

4) 上海重型机械厂。

1996 年中国引进了法国 ALSTOM 公司 4 种双进双出钢球磨煤机的全部设计、制造、检验和试验技术, 上重在国内尚无业绩。为 ALSTOM 公司分包过菲律宾 2×350 MV 电厂的 BBD4366 型双进双出钢球磨煤机的机械部分、筒体、中空轴和分离器等部件。该厂为 FW 公司分包过韶关电厂 (1×300 MV) 的 D-11D 及安顺电厂 (2×300 MV)、靖远电厂 (1×200 MV) 的 D-10D 型等电厂双进双出钢球磨煤机的部件。

综上对国内制造厂的调查, 4 个厂家都具有生产双进双出钢球磨煤机部件的能力。

目前, 国内应用的双进双出钢球磨煤机主要有采用 FW 技术的 D 系列、采用 ALSTOM-STEIN 技术的 BBD 和采用美国 AMS 系列产品。如龙山电厂 2×600 MV 采用的是 BBD 双进双出钢球磨系列产品; 山东邹县和邯峰电厂 2×600 MV 配 D 系列美国 Foster Wheeler 公司产品; 上安二期、岳阳电厂等应用的是国内没有技术引进的 AMS 磨型。

在国内工程已应用的 3 种形式的双进双出钢球磨煤机, 其主要结构特点见表 7。

表 7 双进双出钢球磨煤机的主要特点

项目	AMS	STEIN	FW
内衬材料	Cr1.9%~2.5%	17%Mo	Ni-Hard
寿命	9	9	7
钢球	锻球	锻球	锻球
分离器形式	锥型+切向挡板,回粉经	对称折板	对称折板
分离机理	离心	重力+惯性	重力+惯性
布置位置	脱开,在运转层上	磨煤机两端,底层或脱开,在运转层上	磨煤机两端,底层
内衬	陶瓷,粘、焊	水泥	无
细度调节	调节切向挡板		充球量不变,出力与细度成反比变化
空心轴结构	空心轴分为左右两个半圆,一侧进原煤与热风,一侧出风粉混合物,热风与空心轴保护套接触,空心轴得不到冷却	内外套筒结构,热风在套筒内进入,原煤在套筒与空心轴之间下部,由蛟龙绞入大罐内;风粉混合物在套筒与空心轴之间上部,进入分离器;热风不直接接触到空心轴	内外套筒结构,热风在套筒内进入,原煤在套筒与空心轴之间下部,由弹性蛟龙绞入大罐内;风粉混合物在套筒与空心轴之间上部,进入分离器;热风不直接接触到空心轴
润滑系统	高压油泵一台,起停时用;低压油泵两台,一运一备	共有五台油泵长期运行。一台高压泵顶耳轴,一台高压泵顶球面;三台低压油泵,一台润滑及冷却大瓦,一台润滑变速箱高速轴承,还有一台润滑小齿轮、轴承	两台油泵,高低压公用。启动时先开一台泵顶耳轴,当磨转动后,自动切换为润滑功能,另一泵备用
润滑油加热与冷却系统	有加热器及冷却器		有加热器
磨煤机轴瓦	巴氏合金	青铜	巴氏合金
煤位控制	噪声频谱	噪声频谱及压差	压差
联轴器	气动离合器,电机启动力矩小,对厂用电系统冲击小,设备体积较大,复杂	刚性	刚性
密封方式	密封风机,每台磨配一台风机,无备用	密封风机,母管方式,两台风机,一运一备	带吹扫屏及差压控制器
			电机启动力矩大
			采用一次冷风

4 结 论

通过上述分析可以得出如下结论:

1) 从满足煤种适应性和机组可靠性、可维护性要求来看,中速磨煤机并不适合,因此,不作为推荐方案。

2) 对于采用 4 台还是 6 台双进双出钢球磨煤机,经过综合的技术经济比较,认为 6 台磨方案对负

荷的调节性能更好,更加有利于锅炉的燃烧,而且初投资和运行经济性较 4 台磨方案均有优势。另外通过与锅炉厂配合,从各个燃烧器煤粉均匀度等因素考虑,也推荐 6 台磨方案。

基于上述考虑,将每台炉配 6 台双进双出钢球磨作为推荐方案。