

配63万千瓦机组的直流锅炉的设计、 安装、验收和运行

[丹麦]G、N、苏尔 等

[提要]本文介绍63万千瓦机组(Enstedraehket 3)锅炉的热力和机械性能。该机组为直流锅炉,既可以燃煤也可以燃油。由得到丹麦Babcock动力有限公司许可的Vølund A/S工厂建造。

主题词: 直流锅炉 设计

引 言

Sønderjyllands Mjpspaendingsraerk(SH)于1972年12月首次与A/S Vølund和Babcock 动力有限公司商谈供应50~60万千瓦机组,双方于1974年11月就63万千瓦的燃煤和重油锅炉机组的设计、供应、制造和试运行事宜签订了合同。1977年1月在工地安装,1979年9月上旬投入商业运行。

建厂地点的选择是由下列因素决定的:

(a) Aabenraa Fjord是一个天然良港,可停10万吨级大型散装货轮,再加疏通可增至20万吨级。

(b) 丹麦在这里需要30万千瓦机组。

(c) 西德的NWK需要在靠近丹麦边界的地方有一台30万千瓦机组。

SH和NWK达成协议,在Aabenraa——西德丹麦边界以北约30公里地方建造60万千瓦机组,均担费用。那里原先就有一电厂及附属的设备维修站。

(3)可知,进口能量份额对于子午面通道形式为扩张的级的效率亦有很大的影响。因此对于通流部份为扩张的高通流能力级来说,减小 γ_{1m} 和 γ_{1m} 角是减小效率损失的重要方法。这样做不仅可以减少 ζ_{bx} 值,而且还能减少在进口段给定轴向尺寸下的进口能量的份额。

参考文献 (略)

(谈增祥译自《Энергомашиностроение》1985年第2期吉桂明校)

设计 要 求

技术规范要求直流锅炉在最大连续出力(MCR)下具有以下运行参数:

过热器出口蒸汽流量	1951.2吨/时
过热器出口蒸汽压力	204公斤/厘米 ²
过热器出口蒸汽温度	535℃
再热器蒸汽流量	1749.6吨/时
再热器出口蒸汽压力	42.84公斤/厘米 ²
再热器出口蒸汽温度	535℃
再热器入口蒸汽温度	315℃
给水温度	250℃

过热器出口蒸汽温度在大于最低直流负荷(35%MCR)时均可控制,再热器出口温度则在大于60%MCR时可以控制。

在给水温度低至162%℃时允许短时间(每年不超过500小时)超负荷,即比MCR热输入高18%。

燃料——规定用波兰和苏联煤和重油,其特性见表1。

表 1

燃料性能	规定的煤种			规定的重油	目前为止所燃用的煤种
	设计	波 兰	苏 联		
高热值 大卡/公斤	6392.6	6182.5	6609.9	10036.7	5698.9—6558
低热值 大卡/公斤	6120.4	5937.7	6360.4	9498.2	
水份 %	8.4	6.0	5.3	0.5	6.6—10.0
灰份 %	13.3	16.0	14.9	0.04	9.0—17.6
挥发物 %	29.6	28.6	27.1		23.0—32.0
固定碳 %	47.7	49.4	55.7		49.0—53.0
硫 %	1.0	0.87	0.55	3.5	0.25—1.50
哈氏可磨度	55.0	57.0	74.0		45.0—56.0
灰初变形温度 °C	1200	1180	1170		1220—1460

磨煤设备的出力在燃用表内规定的特性值范围内的任一种煤时,要求在一台磨煤机发生故障时仍能提供最大连续负荷所需煤粉燃料。

锅 炉 设 计

本锅炉属本生型锅炉(图1),既可以燃煤又可以燃油,设计时以燃煤为准,特别在决定

其炉膛尺寸和受热面管排横向节距时。燃粉煤的炉膛尺寸应足够大，以保证完全燃烧，并使进入比较密排的对流受热面的烟气中的灰分温度冷却到低于初变形温度，从而使灰分保持非塑性状态。这样，沾污和腐蚀的问题就不会严重影响设备利用率。另一方面，要令炉膛出口烟气温度降低到这一水平，炉膛吸热比水蒸发所需的要大。因此，炉膛不能获得充分的水冷，必须在炉膛壁布置辐射过热器。在炉膛上部布置屏式过热器和再热器，或者引进再循环冷烟气，方能做到这一点。随着锅炉容量的增加，仅仅用炉膛壁过热器来降低进入对流管束的烟温会导致机组高度增大而不经济。

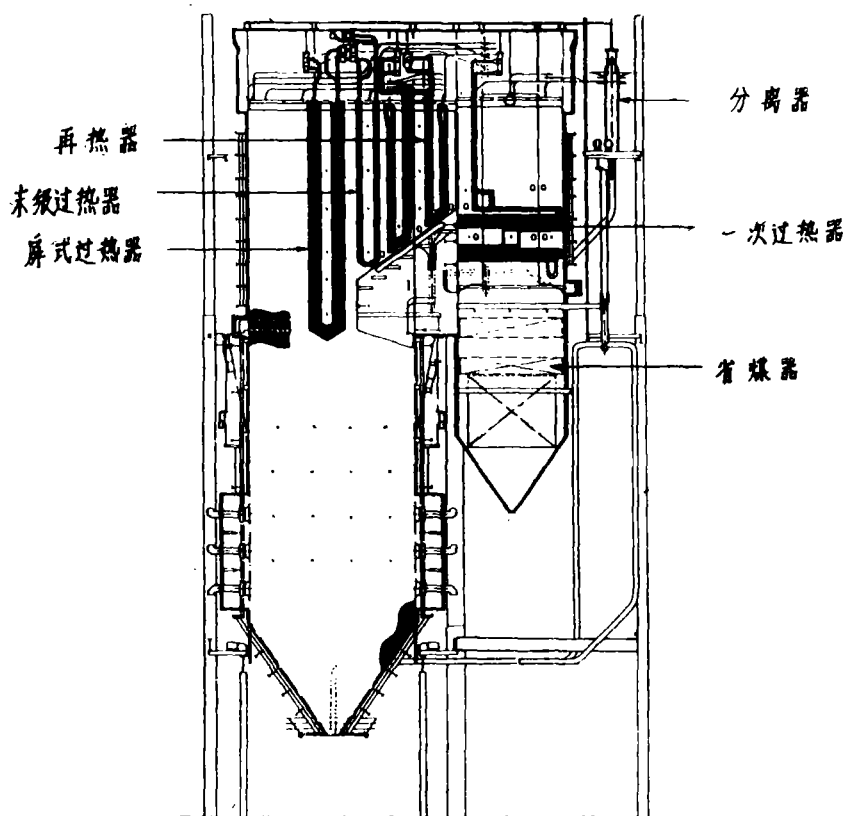


图 1 配63万千瓦直流锅炉

进入过热器、再热器的烟气温度可能高于灰软化点，所以受热面必须设计成屏式，使任何熔化渣都能完全掉下去，而不在屏和毗邻的水冷壁受热面之间连成桥。由管壁形成的每一个屏必须密排在一起以得到最大冷却效果，并减少结渣量。屏与屏之间的间距取决于所用燃料，但对任一煤种都必须大于450毫米。对具有低灰熔点特性和(或)高成份的煤种则应在600~915毫米之间。本锅炉的屏间距为612毫米。

设计这些屏受热面时碰到的主要问题是，布置有屏的区域吸热量很高，沿炉宽温差很大。为了令炉膛出口烟气温度降到必要水平，屏受热面中蒸汽焓必将是很高的。屏受热面的个别管子的长度不同，吸热量也不同。除非采取充分的预防措施，否则出口蒸汽温度相差很大。由于设计单位(Babcock)在英国和其他国家采用屏式过热器方面已有20多年经验，因此在予测屏式过热器的性能方面有很大把握，特别是对计算最高管壁温度以便正确选择材料来

保证满意的管束寿命方面。

采用屏式受热面后能燃用各种各样的煤，而不会使对流过热器受到沾污，对减少这些对流受热面进口处沿锅炉宽度方向上的烟气温差也是很有有效的。

辐射过热器在高温高压燃煤汽包锅炉中是必不可少的。但直流锅炉并非如此，因其在所有负荷下都能给出所需的过热蒸汽温度，只要机组是以直流方式运行。既然汽包锅炉辐射屏式过热器技术已很成熟，我们便把它用在直流锅炉设计中，来大大地减少炉膛尺寸。本设计也沿用这一基本设计思想。

本锅炉炉膛宽22.344米，深14.239米，下部由480根外径为31.8毫米管束以 $17^{\circ}24'$ 角度螺旋盘绕而成。屏中管节距45毫米，沿宽共60根。

螺旋盘绕能保证沿炉膛高温区所有管子吸热均匀。炉膛上部由外径25毫米、节距38毫米管束构成垂直膜式管屏受热面。

从螺旋盘绕的管束到垂直屏式受热面的过渡靠过渡联箱来实现。如图2所示，垂直受热面每四根管对一根螺旋管。

由于倾斜管膜式水冷壁承载能力有限，垂直受热面在上部是合适的。

垂直的悬吊式塔板布置在炉膛四周，留有一定间隙以避免燃烧器和满足支撑设计要求。这些塔板借助连杆和不变载荷弹簧承载着灰斗钢架。这些连杆允许炉管在炉膛宽度和深度方向自由膨胀。悬吊塔板一直伸到刚好超过倾斜管束末端和垂直管束始端。在这个高度，通过塔板上“T”字头和墙上吊耳及填隙板把负荷从塔板传给垂直管膜式水冷壁。塔板是通过凸耳和扣环梁在膜式水冷壁的全高上与它保持紧密接触。垂直支撑在塔板外侧，水冷壁推力负荷通过旋转连杆传给塔板。同时，垂直支撑在一端通过刚性接头而另一端通过滑动接头同常规

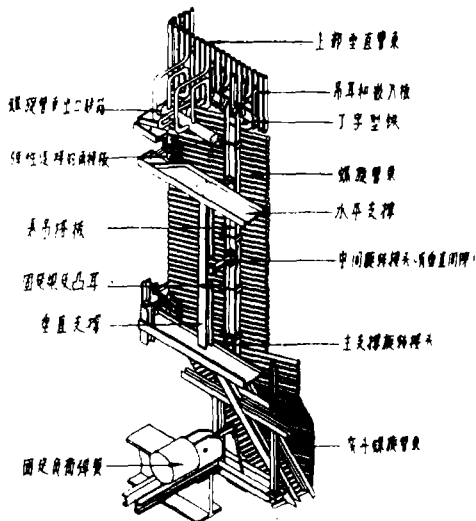


图2 炉膛支撑系统

外形的水平支撑相连接。水平支撑和倾斜管膜式水冷壁之间的角联杆在销接端有十字支点，使之在两个方向可自由活动，在墙角处角连杆被绑在倾斜角板上。后者支承着挠性导向板（此板焊到膜式水冷壁上），从而给以一定的自由度来承受水冷壁和角接板之间的温差。

垂直膜式水冷壁是用普通方式支撑的，而且任何内压和爆燃造成的负荷都会传给带角接板和挠性销的膜式水冷壁，如同倾斜部分的管组一样。

由于倾斜膜式水冷壁承受载荷能力有限，任何来自支撑，燃烧器，风箱等的附加重量均由悬吊塔板承受是必要的。这样，水平支撑通过相应高度的摆动连杆把支撑重量传给塔板，而其余连杆给以垂直方向间隙。燃烧器和风箱由垂直支撑悬吊在托架和不变载荷弹簧上方，以应付温度变化。

在燃煤最大连续负荷(MCR)下炉膛按以下参数来设计：

辐射屏式过热器入口烟气温度	1507℃
对流过热器入口烟气温度	1160℃

释热率(按总投影面积计)	2.1409×10^5 大卡/米 ² ·时
到辐射屏式过热器入口为止投影面积上的释热率	5.8122×10^5 大卡/米 ² ·时
在燃烧器标高平面面积上的释热率	4.6102×10^5 大卡/米 ² ·时
总容积释热率	1.1693×10^5 大卡/米 ³ ·时

再热蒸汽温度用引风机将洁净的再循环烟气送到炉底来调整, 这样就不需要再用烟气再循环风机和防止风机腐蚀的附加除尘器。这种再热蒸汽温度控制方法, Babcock 动力有限公司已有15年成功的运行经验, 业已成为燃煤锅炉的通用调节方法。(图3)

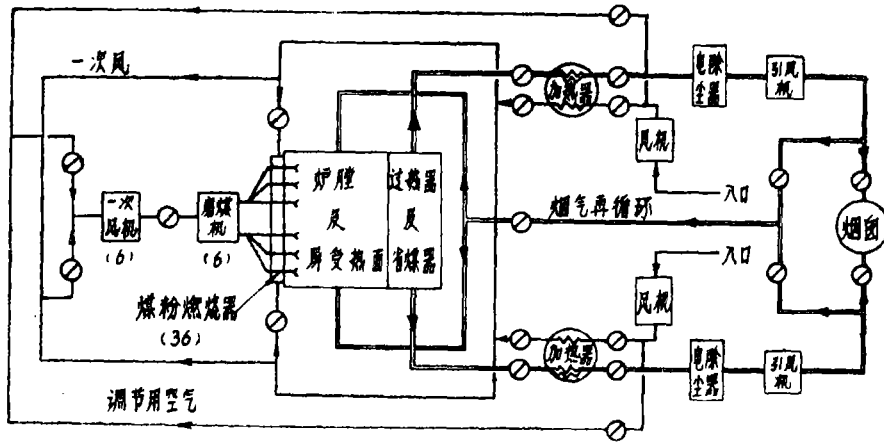


图3 烟风系统

省煤器是扩展受热面型, 由E. Green & Son公司供应, 钢肋用闪光焊焊到基管上。

空气予热器由James Mowden & Co提供, 是回转式, 带自调径向密封。

本锅炉共装鼓风机和引风机各两台。鼓风机由Nordisk Ventilator供应, 是单速轴流式。引风机由James Mowden & Co. 供应, 是单速离心式, 借助入口导板调节风量。

本锅炉共备有六台Babcock 10E型磨煤机(图4), 在63万千瓦负荷时仅用五台。这种磨煤机是加压垂直心轴磨球和磨环型的。每组燃烧设备包括磨煤机, 给煤机, 管道系统, 燃烧器, 送风和调节设备。输送一次风有单独的热风风机, 进入每一磨煤机的风温单独进行调节以适应原煤干燥的要求。对含水份27%的煤也能适应。当然, 这种磨煤系统最显著的特点是它的良好安全性。鉴于英国的施工保健和安全法, 责成设备的设计者应充分了解有潜在危险的设备的运行情况, 锅炉制造单位和中央电力局(CEGB)对磨煤系统曾进行过广泛、充分的研究。对10E磨煤机所作的研究表明它具有极好的安全性能, 在各种运行情况下磨煤机体内均不致造成爆炸的条件。

每一磨煤机供六台Babcock圆形燃烧器, 后者在炉宽方向排成一排, 三只在前墙, 三只在后墙。如果炉膛尺寸足够大, 这种对喷燃烧系统在低负荷难燃煤种条件下也能保证火焰的较高稳定性和良好的燃烧性能。这种燃烧器布置的主要优点在于: 能改善沿炉宽、过热器宽的烟气温度和速度分布的均匀性, 降低过热器和再热器金属壁温峰值, 不管磨煤机采用何种组合方式运行。

燃烧器(见图5)由1次风和煤粉风道以同心方式布置在2次风圆柱形调风器内组成。2次风在调风器周边叶片的作用下形成旋流, 每一燃烧器中心安装有Y-型蒸汽雾化燃油燃烧

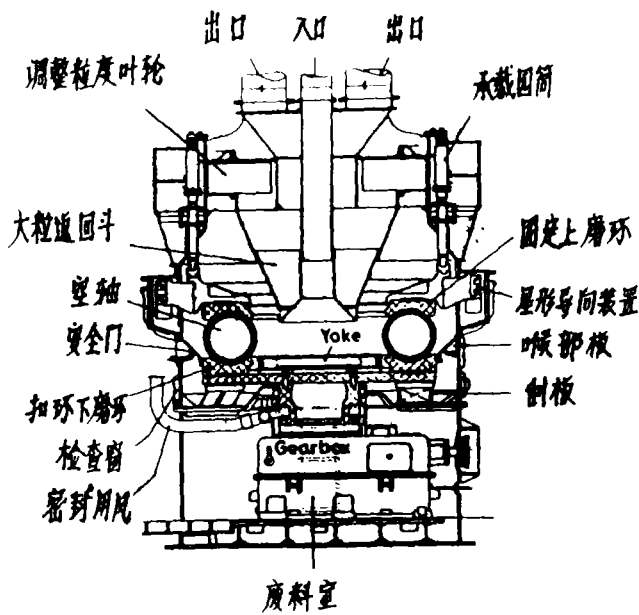


图 4 10E磨煤机

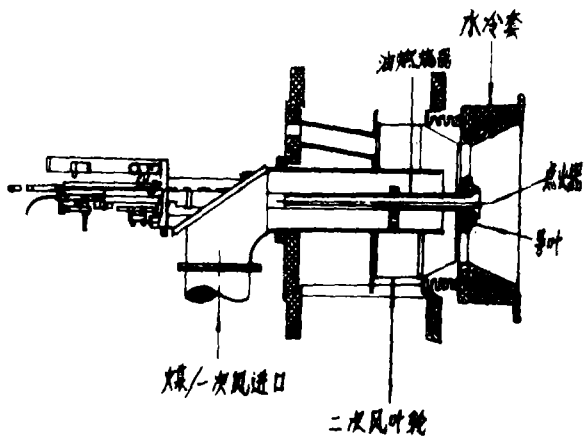


图 5 粉煤/油 燃烧器

波兰煤
南非煤
澳大利亚煤

35毫克/标米³
35—150 "
150—200 "

加注NH₃后减至100毫克/标米³

启动系统

锅炉的启动系统采用泵压循环。参加循环部分有省煤器包括炉顶和拱回路在内的炉膛水冷壁和构成锅炉外壳的所有炉壁管。为了避免烧环和过热,通过炉管的最小流量为35% MCR,这是最小的直流负荷。在这流量下炉管内冷水速度设计为1米/秒,这一值决定了炉管的数量和内径。启动时,锅炉充水到分离器上给定的水位高度。循环泵启动后,炉管内建立起所

器。

在仅仅燃煤时,厂家规定负荷降至25% MCR时仍可稳定燃烧,目前的政策是应用重油燃烧器使在低于45% MCR负荷下运行时亦能保证粉煤稳定燃烧。

多年运行经验表明,燃烧器能适应各种煤。当燃用设计煤种和通过燃烧器的过剩空气量14%时,未完全燃烧损失为0.4%(对低发热值),

本锅炉各部分吹灰器的配备量如下:炉膛52只,过热器、再热器和省煤器40只(长的可伸缩型),空气预热器4只,借用:炉膛24只,可伸缩的8只。空气预热器吹灰器由Clyde Blower公司供应,其余由Diamond动力专用设备公司供应,吹灰蒸汽来自冷再热器管路。

GEA制造的蒸汽空气预热器是在燃煤低负荷下和燃油的所有负荷下为提高主空气预热器入口空气温度而设置,目的在于减少回转式空气预热器冷端腐蚀。

本锅炉还备有由Flaeck Denmark A/S公司制造的静电除尘器,保证烟尘排放指标不高于150毫克/标米³,在燃用各种煤时,满负荷下测得烟尘量为

要求的流动。然后才点火。循环泵流量由分离器内水位高度加以控制，当分离器水位上升时，泵出力增加。起初，管内无蒸汽，水容积波动，水位达到控制范围的最大值，在这种情况下，排污泄放伐将打开，使水位回复到控制范围。一旦产生蒸汽，在分离器内部元件的离心作用下，蒸汽从汽水混合物中被分离出来，这时水位开始下降，泵出力将相应地减少。为了保持通过炉管有必要的流量，给水泵将提供循环泵出力和 35% MCR 最小流量间的差额。当蒸汽发生量进一步增多，循环泵出力下降到低于保护泵所需的数值，因此水通过循环泵从泵出口返回到吸入侧以提供保护作用。当蒸汽流量超过最小直流负荷值并保持一段适当时间后，再循环泵就关闭，锅炉投入正常直流方式运行。

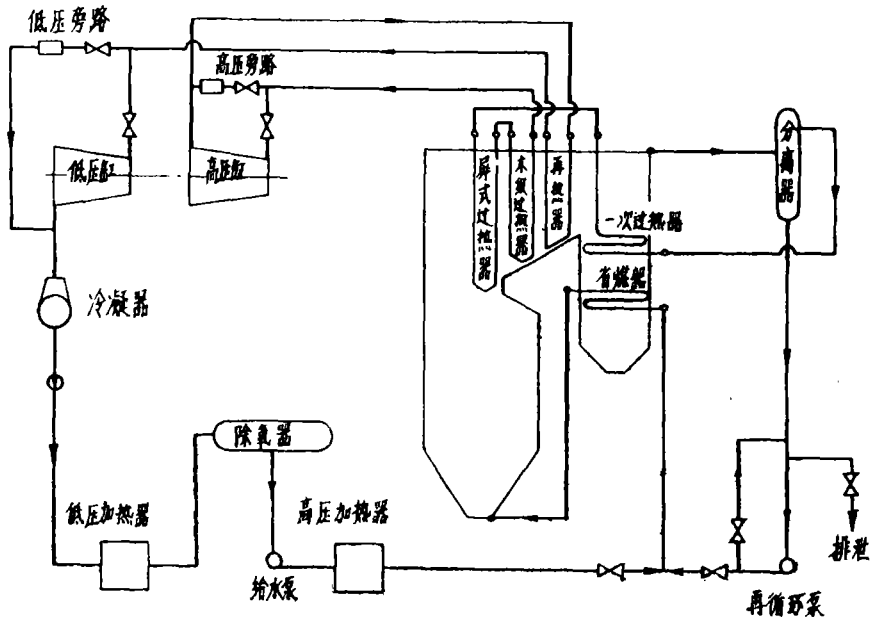


图 6 启动系统

制造与安装

基本设计定型后，Vϕlund 公司所特有的在制造方法上的某些限制对主要的施工设计有一定的影响。该公司没有设备来加工膜式水冷壁所需的很长的联箱，只好将前墙和侧墙出口联箱做成三米一节，也是为了更好地运输。这也简化了现场安装工作，因为在工地唯一的焊接工作是把管子入口焊到螺旋出口过渡联箱和出口联箱的上升管上。这种简化也适用于拱、炉体和炉顶膜式水冷壁。在这些拱、炉体膜式水冷壁中，它们已与进口、出口联箱焊好，在工地仅仅焊下降管和上升管接头以及水冷壁之间的膜式鳍片。炉顶出口联箱和膜式水冷壁制造后，以组合好的单个部件发往工地。炉顶设计已加以简化，也就是说用膜式水冷壁代替松散的管子和护板。再热管圈弯头亦作了修改以适应制造厂现有装备，因为该厂无热弯设备。通过尽量在工厂制造来缩短安装时间。螺旋形炉膛的角隅通过管的弯曲加工在前墙和后墙管屏上形成，这样就避免了装接另星弯头的复杂问题。

受压部件水压试验工作因炉膛出口烟道管子有缺陷而被延迟了，这些管子被拉拔成肋片

管,当锅炉初次注水时,发现沿肋片的纵向有裂纹。管子加工上的失误据认为是损坏的原因,但是广泛和严格质量检查没有能发现。针对这些缺陷对侧墙、前墙炉管,共24公里长的肋片管作了百分之百超声波检查,以消除可能存在的一切缺陷。这样检查后,曾要求采用143个管子堵头,使安装工作推迟了约六周。

试 运 行

包括受压部份检查和辅机运转在内的试运行于1978年10月开始。燃烧器的试运转是最花时间的。起初的要求是调风器空载时无漏泄,以保证燃油时有良好的预定的过剩空气系数。不幸的是,调风器或是太刚硬不能动作或是由于来自炉膛辐射高温而卡住。调风器只得重造,以得到根据过去经验所要求的工作间隙。

酸洗是用70%浓度氢氟酸,据估计共注入12吨。共除铁屑(Fe_2O_3)2300公斤。总共清洗的管子表面积为24000米²。接着是再热器系统的蒸汽清洗,这时用高压旁路系统控制蒸汽流量。

运 行

1979年8月16日通过透平旁路系统,锅炉开始运行,同年8月30日首次向透平供汽。1979年9月7日带负荷,9月25日锅炉以直流工况运行。1979年10月10日燃油满发63万千瓦,1979年10月30日第一台磨煤机投入运行,1979年年底之前燃煤满发(投入五台磨煤机)。从那时起,本机组燃煤发电在60~63万千瓦之间。

到目前为止,已顺利地燃用过南非、澳大利亚、美国、加拿大和波兰的煤,煤特性见表1。燃煤时不出现受热面沾污问题。日常的吹灰操作仅是为了保持蒸发受热面洁净并防止一次过热器的鼓风损失增加,这是由于煤份堆积造成的。扩展受热面的省煤器不需要吹灰。只是用了布置在屏式受热面走廊平台的可伸缩吹灰器来清除积灰。在屏式过热器中设置的吹灰器从未使用过。

1980年锅炉透平发电机组的可用率,计入夏天法定停运因素在内,为87%。如果排除夏天的法定停用时间,则为94%。1981年头四个月机组的可用率为97.1%。

当燃煤时飞灰含碳量始终低于3%,静电除尘落灰由水泥制造厂直接从灰斗取走。

当锅炉满负荷时,三十六只燃烧器投入三十只,在这种燃煤工况下,空气予热器入口烟气含氧量为2.9%,与设计值相同。这相当于通过工作燃烧器的过剩空气为14.0%,通过空载燃烧器的冷却用过剩空气为2.0%。

1981年3月对锅炉进行了多次的性能试验,在最小直流负荷(35%MCR)下蒸汽温度也是令人满意的。在规定的最小负荷下,即20%MCR,(这时应投入循环泵),蒸汽温度是505℃,再热蒸汽温度在520℃到535℃之间变化。

〔陈庆龙 译自《STEAM BOILER PLANT TECHNOLOGY
IMECHE CONFERENCE PUBLICATIONS 1981—9》 余永清校〕