

火 电 厂 节 约 燃 料 提高机组效率的动向和途径

动 力 设 备 专 题 资 料 (一)

科 学 技 术 文 献 出 版 社 重 庆 分 社

出版消息

- 1.《铝铜焊接专集》(10万字)将于1976年第一季度出版。
- 2.《天然气锅炉》(包括蒸汽锅炉的模化理论和实践)共30万字将于1976年第二季度出版。

火电厂节约燃料 提高机组效率的动向和途径

中国科学技术情报研究所重庆分所 编译
科学技术文献出版社重庆分社 出版
重庆市市中区胜利路91号

新华书店重庆发行所 发行
重庆新华印刷厂 印刷

开本: 787 × 1092 毫米¹/₁₆ 印张: 3 字数: 8万
1975年10月第1版 1975年10月第1次印刷
印数: 5000

书号: 15176·112

定价: 0.30元

毛 主 席 语 录

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

目 录

一、电力工业节约燃料，提高机组效率的方向·····	(1)
二、火力发电设备及其运行方法的改进·····	(2)
三、火力发电设备的维修管理·····	(12)
四、供热和发电的联合系统·····	(21)
五、蒸汽-燃气联合循环系统·····	(23)
六、钾/蒸汽联合循环·····	(26)
七、余热利用·····	(28)
八、余热锅炉·····	(33)
九、蒸发冷却·····	(38)
十、利用蒸汽喷射器节约能量·····	(41)
十一、“冷”、“热”式电气除尘器的实用设计参数·····	(44)

电力工业节约燃料，提高机组效率的方向

电力工业节约燃料，提高机组效率的可能性大致分为下列几方面：

一、改进现有技术以提高燃料的利用率和提高现有设备的热效率；二、加强设备的维修管理；三、垃圾燃烧热的利用；四、发展供热电厂；五、发展蓄热材料；六、燃气轮机与汽轮机的联合循环；七、超低温送电可以减少送电费用；八、余热的利用，包括发电厂蒸汽的利用；九、新能源利用技术的研究，包括原子能发电、磁流体发电、燃料电池、太阳能的利用、海洋能的利用、地热和风力的利用等。

原子能发电

普通的火力发电厂热效率只达到40%，而快中子增殖反应堆发电厂，70—80%的铀能量可转换为电能。目前轻水反应堆发电厂的发电热耗比近代燃煤发电厂的热耗低，轻水反应堆的纯热耗，一般1瓩约为10000—11000 BTU (1BTU = 0.252大卡)，高温气体冷却反应堆的纯热耗，1瓩约为8200—8600 BTU。

磁流体发电

磁流体发电原理很简单，主要有两种方法：一是使气体加温到5500℃，使其离子化，很明显，这一方法不易实现。另一种方法是在气体中撒少量铯或钾作种子，那么在大约2200℃的较低温度下就离子化。作为大型发电设备，气体的速度要求达到大约2000哩/时，并需要4000—60000高斯的强磁场，这样强的磁场，等于现在最大型发电机磁场的2—4倍，只有用超导才能得到。因此目前要解决的技术问题还很多，而且即使克服了上述全部困难，但排气的气体中将有SO₂和大量的NO_x，必须加以除去才能适合环境保护的需要。同时磁流体发电只能作为联合循环的一部分才是合理的，因为排出的气体温度高达1830℃，必须加以利用。以目前情况考虑，如果和使用油或天然气作燃料的进气温度为1320℃的燃气、蒸汽联合循环发电相比较，磁流体发电效率不会高，而投资却要高得多。所以认为，这是一种还有待研究的发电方法。美国目前只进行一些基础研究。苏联即将完成一台功率为7.5万瓩的磁流体发电机组U-25，其中2.5万瓩系

利用磁流体发电，5万瓩系由蒸汽发电。

地热发电

地热发电虽然是经济的，但从能源来说较为有限。目前仅限于用天然蒸汽发电，而用热水发电，是否经济，还不能肯定。最近对利用地热热水发电已开始进行研究，即采用热交换器、碳氟(氟利昂)汽轮机，使用80—100℃的热水。迄今国外采用地热热水的例子还没有，在美国碳氟价格高，开始试制使用异丁烷的汽轮机(碳氟汽轮机的工作原理参见“余热利用”章节中的碳氟汽轮机)。在这种发电方式中，是将地热热水引入热交换器，使异丁烷加热后送到汽轮机，亦即将喷井喷出的流体，保持高温高压很快地送到热交换器，这样就提高了热能的利用效率。从热交换器排出的废热水再送回还原井。地热发电给环境保护带来一系列问题，空气污染、热污染、水污染、噪音、地面下沉、地下水沾污以及有可能引起地震等。这些问题均不能忽视，需要研究解决。

燃料电池

对于燃料电池可用来发电的大致可分成两类：一类是以氢为燃料的低温(150℃)电池，虽可以用天然气为燃料，但因为要设置改性装置使效率大为降低。另一类是高温(760℃)燃料电池，用高温固体电解质并可燃用煤气，效率可达60%，但目前还只是做了一些工作。

太阳能的利用

目前都只是个别地区小规模在进行，如生产盐、蒸馏水或用以加热水等等。照射到地面上的太阳能量平均大体上是1瓩/米²，只有在沙漠日照强烈的地区才较高。如果能充分利用太阳能量，估计可以满足人类对电力需要的15—20%，但必须要解决比目前更为有效的收集太阳辐射能的设备，要使太阳能有效地转变为汽轮机需要的蒸汽，以及解决有效热能利用，看来这一问题目前和聚变能的利用处于探索阶段。

总的来看，从节约燃料和提高机组效率实现

能实现的是燃气-蒸汽联合循环发电、利用增殖反应堆的原子能发电,以及改进现有燃油和燃煤的发电设备。

此外利用工厂的余热发电是回收热量、节约燃料的方法之一,发电设备可利用碳氟汽轮机,因为这种

发电设备的加热源只要 100°C 就可以。这种发电设备完全可以用在电弧炉的余热回收,炉体的冷却水(余热)均可作为这种发电设备的热源。抽汽式汽轮机的低压蒸汽也可作为这种发电设备的热源。

火力发电设备及其运行方法的改进

下面介绍一些国家为了提高热效率,在过去所进行的设备改进、运行操作中的注意事项。

一、火力发电设备的改进

(1) 蒸汽参数的提高

提高火电厂热效率的最主要途径,是改进热循环和提高蒸汽参数。1936—1940年以前,日本火电厂采用的汽压为 40公斤/厘米^2 ,汽温为 450°C ,但到了1941—1945年,由于日本的设计制造技术和金属材料显著地发展,已采用高温高压蒸汽参数。汽压,1956年已超过 100公斤/厘米^2 ,1959年达到了 169公斤/厘米^2 的亚临界压力;而汽温,1955年已采用 500°C ,1959年采用 560°C 进行运行。最近热循环也已经采用再热再生循环以代替从前的再生循环,汽轮机排汽湿度降低了,通过疏水防止了汽轮机末级叶片的腐蚀,与此同时,汽轮机和电厂的热效率都有显著的提高。

1955年以后建设的7.5万瓩以上的火电厂,全部是再热再生循环的。从理论上讲,再生、再热级数越多效率越高,但从经济上看,建设费用增加,抵消了火电厂全厂热效率的提高,所以现在大型火电厂一般都是一级再热、八级再生预热。

1959年以后不久,上述蒸汽参数有了变化。1967年,东京电力公司崎崎火电厂在日本首先采用 246公斤/厘米^2 的超临界压力蒸汽参数。接着陆续建设了45万瓩级以上的超临界压力大容量的设备,收到了良好的实际运行效果。

在50年代中期,由于燃料价格相当高,美国和西德曾制造了较高蒸汽参数(压力达到 350公斤/厘米^2 温度 650°C)热力系统复杂(蒸汽二次中间过热,给水多级再生预热)的大型蒸汽动力装置。以后停止了这种机组的制造。美国广泛采用超临界的大型机组,压力 170公斤/厘米^2 ,过热温度从 565 降到 537°C 。

在西欧一些国家出现过类似的趋势。不采用已掌握的主要原因是大大地降低燃料费用。另外一

个原因,从分析大容量机组的运行特性说明,最高参数的机组远不是最经济的。例如,美国联邦动力委员会每年公布的报告单中。最经济的动力机组除采用了一次中间过热的超临界参数机组外,还有很多普通参数(170公斤/厘米^2 , $537/537^{\circ}\text{C}$)的机组。在1967—1970年四年期间只有下列五台机组列为最经济的机组:马尔萨耳火电厂1号和2号机组,埃迪斯顿火电厂1号和2号机组和逊特-克列尔火电厂6号机组。马尔萨耳火电厂1号和2号机组(170公斤/厘米^2 , $565/537^{\circ}\text{C}$)的单位燃料消耗平均约为303克标准燃料/(瓩·小时),埃迪斯顿火电厂1号机组(世界上最高参数: 350公斤/厘米^2 , 650°C ,一次中间过热, $565/565^{\circ}\text{C}$)的单位燃料消耗平均约为304克标准燃料/(瓩·小时);埃迪斯顿火电厂2号机组(250公斤/厘米^2 , $565/565/565^{\circ}\text{C}$)约为306克标准燃料/(瓩·小时),逊特-克列尔火电厂(170公斤/厘米^2 , $565/537^{\circ}\text{C}$)约为307克标准燃料/(瓩·小时),这些指标均换算为 Q_{th} 。

这些机组投入运行的时间:马尔萨耳火电厂于1965和1966年投产,埃迪斯顿于1960年投产,逊特-克列尔火电厂于1961年投产。根据上述情况,美国火电厂的最高经济性不但最高参数的机组可以达到,而且一般参数的机组也可达到,但必须有十分完善的运行组织。

一般地说,采用超临界压力蒸汽时效率高,但是锅炉和汽轮机却受到结构和材料方面的限制,造价很高,因此认为只有大型机组才有利。然而日本四国电力公司坂出火电厂鉴于最近的技术进步情况和超临界压力设备的实际运行效果,开始在35万瓩的2号汽轮机上采用超临界压力蒸汽参数(246公斤/厘米^2 , $538/566^{\circ}\text{C}$),从1972年7月正式投入运行以来,现在正顺利地继续进行高效率运行。

表1列出了有代表性的日本发电设备容量不同的火力发电厂的热效率。大体上容量增加一倍热效率增加2%。日本60万瓩级的火力发电厂热效率大致已达到上限,由于目前材料和系统技术受到限制,把电厂的

日本发电厂设备热效率

表1

机 组 容 量 (万瓩)	汽 轮 机 入 口		煤·重油两用发电厂			重 油 发 电 厂		
	压 力 (公斤/厘米 ²)	温 度 (℃)	设备热 损 失 (%)	发电厂设 计热效率 (%)	厂用电 率 (%)	设备热 损 失 (%)	发电厂设 计热效率 (%)	厂用电率
6.6	88	510	0.8	32.9	6.4	0.8	33.0	5.4
7.5	102	538/538	0.8	36.2	6.4	0.8	36.3	5.4
12.5	127	538/538	0.7	36.7	6.4	0.7	36.8	5.4
15.6	169	566/538	0.6	39.1	6.2	0.6	39.2	5.0
25	169	566/538	0.5	38.7	4.2	0.5	38.8	3.0
37.5	169	566/538	0.5	39.0	4.2	0.5	39.1	3.0
45	246	538/552/566					40.2	
50	246	538/538					39.4	
60	246	538/566					40.3	

热效率进一步提高已有困难。近年来一些国家着手研究热效率较高的发电方式。

(2) 凝汽器的改进

要使凝汽式汽轮机中的蒸汽能更多地做功，必须尽可能地在凝汽器中保持高度的真空。真空是依靠蒸汽凝结时体积显著减小而获得，因此冷却水温度越

低，冷却效果越好，真空度就越高。

但是冷却水温度受自然条件影响，水量和冷却面积增加到超出了必要范围时，就要增加建设费用，因而最近的大容量汽轮机通常是采用722毫米汞柱的真空度（在冷却水温度低的地方，也有一部分采用730毫米汞柱的真空度）。

在最近的大型汽轮机中开始采用复压式凝汽器，将两个以上的汽轮机排汽引入真空度不同的蒸汽箱（高压侧、低压侧）并将冷却水串流送入其中进行冷凝。和旧式的凝汽器相比较，在按照同一冷却面积和同一冷却水量进行设计的情况下，平均真空度和电厂热效率都得到了提高。表2所示的是日本四国电力公司坂出火电厂2号汽轮机中所采用的复压式凝汽器与从前的单压式凝汽器的比较，从表中可以看出，低压侧的真空度大大提高了，总的真空度也提高了。

在运行中，凝汽器铜管积了水垢和堵满杂质时会使凝汽器的真空度降低，为了防止出现这种情况，多半设置反洗装置和海绵球式连续清洗装置。

反洗装置是借助反洗阀改变流经凝汽器冷却管的水流方向以防止杂质堵塞的装置，图1示出了该装置的原理图。

复压式凝汽器的规格

表2

型 式	复 压 式		单压式	
	低 压 侧	高 压 侧		
	表面冷却式，单流，分成两半，连续使用			
	复 压 式			
冷却面积 (米 ²)	8435	9565	18000	
冷却水量 (米 ³ /分)	700	700	700	
冷却水入口 温度(℃)	21	25.22	21	
真 空 度	726.6	719.7	722	
(毫米汞柱)	722.9			
饱和温度(℃)	30.85	34.20	33.14	
冷却管材料	冷却部分BSTF-2 13156根			14146根
和根数	空气冷却部分CNTF-3 990根			
冷却管尺寸	25.4φ×1245t×16000l			

注：复压式凝汽器的平均值表示已计及冷却面积的加权平均值。

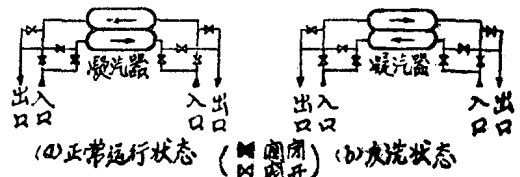


图1 凝汽器反洗装置

海绵球式连续清洗装置如图2所示,许多特殊海绵球随着冷却水由冷却管中通过,把附着在管壁上的水垢擦洗掉,海绵球经凝汽器出口过滤器回收回收装置中,然后再送入凝汽器,进行连续清洗。

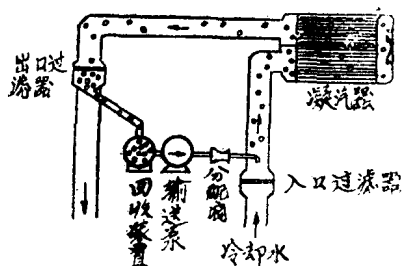


图2 凝汽器连续清洗装置

(3) 锅炉的改进

近代大型锅炉的热效率超过90%,也是不稀奇的。这除了循环方式、炉膛结构、燃烧装置和自动控制装置的改进之外,还由于各种各样热力设备改进的结果,如给水处理装置和处理方法的改进使传热效率提高,余热回收和保温技术的提高使散热量减少等等。现就鼓风方式和炉壁结构方面的问题加以叙述。

40年代中期以前,锅炉的鼓风是采用送风机和吸风机,使炉内压力保持略低于大气压的负压的运行方式,而近几年,由于把燃烧室结构设计成密闭式的,故广泛采用了只用送风机,使炉内压力保持在大气压以上的微正压运行方式。

采用微正压运行方式和炉膛密闭结构,空气既不会漏入锅炉,也能减少炉内烟气漏出,从而可以采取低氧燃烧,减少排烟损失,与负压运行方式相比较,锅炉效率也提高了0.2—0.6%。另外,由于不要吸风机,除了能够减少鼓风所需的动力之外,还具有能够比较简单地进行风量调节以解决负荷变动的优点。

燃烧室的最初气密结构如图3(a)所示,水管紧挨着配置,构成炉壁壁面,水管外侧设置内护板,并将其焊接,做成不能通气的结构;而最近的燃烧室气密结构如图3(b)所示,多半是在管与管之间加一翅片或铁片,焊接成镶板形状的焊接整体结构,它与护板相比较,具有更好的气密性能。

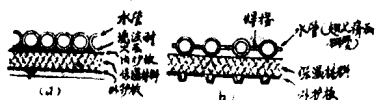


图3 锅炉燃烧室的气密结构

(4) 厂用辅机的改进

要提高全厂的热效率,必须想办法减低辅机动力。从前专烧重油的火电厂,厂用电率(厂用电量/发电量)一般为5%左右,最近采取了下列措施来减低辅机动力:

- ①将锅炉设计成微正压运行方式,省掉吸风机设备;
- ②利用送风机上的可变螺距调节机构来调节风量,低负荷时采用效率高的轴流式送风机;
- ③给水泵采用汽轮机抽汽的汽动泵运行方式;
- ④辅机容量采用适当的余量,避免采用过大的设备。

采取上述措施之后,最近的火电厂厂用电率出现为2—3%的情况。

二、运行方法的改进

1. 火电厂热效率的控制

火电厂的热效率是随着负荷的增减、汽压,汽温的波动、燃料的种类和组成等运行条件以及大气温度、海水(河水)温度等周围条件的变化而变化。所以热效率在运行中时刻都在变化着,要正确掌握热效率的变化几乎是不可能的。为此,日本四国电力公司以1972年度的实际发电情况为基础编写了根据海水温度、大气温度和利用率进行修正的标准效率计算式,将每日的实际效率与该标准值进行比较,对现在的运行效率是否符合要求加以控制。如果继续存在未达到标准值的状态,就调查其原因,这样便能够早期发现热效率下降的情况而加以处理。

标准效率计算式如下:

$$\eta_p = a + bx + cx^2 + d(t_w - T_w) + e(T_a - t_a) + y$$

式中: η_p 是全厂热效率(%); x 是汽轮机利用率(热效率)(%); T_w , t_w 是冷却水温度的标准值和现在值; T_a , t_a 是室外气温的标准值和现在值; y 是取决于重油混烧率的变数; a , b , c , d , e 是常数。

美国马尔萨耳火电厂采用电子连续控制系统测定运行指标的误差,对机组运行指标发生误差造成的燃料过量消耗按下列情况进行计算:

- 1) 过热蒸汽温度降低10℃相当于燃料过量消耗0.18%。
- 2) 过热蒸汽压力下降1个大气压相当于燃料过量消耗:100%负荷时为0.05%,50%负荷时为0.08%,25%负荷时为0.11%;
- 3) 蒸汽中间过热温度下降10℃,相当于燃料过量消耗0.225%;

4) 中间过热器流体阻力比中间过热初始压力提高1%，相当于燃料过量消耗0.1%；

5) 除盐水的补充量增加1%（由于水在循环过程中的消耗）相当于燃料过量消耗0.15%；

6) 抽汽阻力比计算值高0.5公斤/厘米²时相当于燃料过量消耗：在最高压力抽汽时为0.15%，在其余压力抽汽时为0.05%；

7) 抽汽后的给水温度误差计算值10℃时相当于燃料过量消耗：即在最高压力抽汽时相当于燃料过量消耗如下：在最高压力抽汽时，大约为0.4%，在最低压力抽汽时接近0.2%，在其余压力抽汽时约为0.1%。

采用这种燃料过量消耗指标跟踪系统可促使工作人员不断地消除出现的故障，这些故障往往是引起燃料过量消耗的原因，从而使检修工作人员组织最合理的检修工作。

法国电力公司已经多年采用热力经济性的控制系统：对于每一台机组规定出原始“基本”热耗大卡/(瓩·小时)（即在最有条件下表征机组的理想工作）。热耗的误差可分为二类即与运行没有关系的和有关系的，第一类与运行没有关系的是：设备供货者没有执行供货保证、外部空气温度与额定温度的误差，燃料质量的误差、与规定的负荷曲线图的误差。第二类与运行有关系的是：参数的降低、污染、汽和水的损失、漏风等。发电厂把自动记录仪的记录带和运行日志等原始资料寄给法国电力管理局。这些资料在巴黎中央计算站进行处理，把计算出的每种设备的燃料过量消耗量送回发电厂。

除对运行指标进行分析外，还制定提高不经济设备的经济性的操作制度，操作人员可以根据这些制度反映出的问题提出设备检修的申请。法国电力公司在最近几年来采取这些组织措施在电厂经济性方面获得了创记录的指标：单位燃料消耗比英国通用火电厂低19%，比西德低15%，比美国低7%，比意大利低5%。同时应考虑较低容量和机组基本部分的参数（38台12.5万瓩机组，125公斤/厘米²，540/540℃，37台25万瓩机组，163公斤/厘米²，565/565℃，只有4台60万瓩机组，163公斤/厘米²，565/565℃）以及电厂各种复杂的不良的燃料平衡结构。

从上面列举的例子可以说明，改善组织措施一方面可以提高火电厂的经济性，另一方面把机组的参数扩大到可能的极限和使热力系统复杂化也可以提高经济性。无疑地这两种提高火电厂经济性的途径不会矛盾的。此外提高火电厂机组的机动性要求条件，也是动力工程最有希望的发展方向。

捷克斯洛伐克为了降低大型凝汽式电厂的燃料消耗率，采取了下列措施。

(a) 制定蒸汽循环热平衡法

发电和供电的热消耗率是判断运行经济性能的主要指标。目前在大多数场合下发电设备，也即锅炉、汽轮机、发电机、变压器系按机组的形式布置，这些指标作为机组经济运行基本准则有较大的意义。机组的总热消耗率可以用下列简单式子平均地加以确定

$$q = \frac{Mu \cdot Q_{nsu}}{N_{sv}} \text{ (大卡/瓩·小时)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：Mu为投入燃料量[公斤/时]

Q_{nsu}——燃料热值[大卡/公斤]

N_{sv}——发电机功率[瓩]

从上述关系式可以看出，在发电的生产过程中可以确定燃料中的投入热量并直接测量出所发的电能，则能轻而易举地确定这一指标。然而事实是，大功率机组对投入锅炉的固体燃料热量的直接确定是不够精确的，在燃用液体燃料或气体燃料场合下采用这种方法来测定机组的热消耗量才有其优点。然而在燃用固体燃料的机组还是在长期平衡情况下采用这种方法。

这样测定热消耗率的一个缺点是其状态不能对机组主要元件的各动力热平衡进行分析以求出各种损失的绝对值及研究其对热消耗率恶化的影响。这种热平衡方式也不适用于机组运行的直接最佳化，因为即使是用这种方法测得的热消耗率（相对于保证值的误差）只指示出消耗率的差别，但本身并不指示（能发现）出产生这一误差的根源和原因。

因此经常采用以详细确定生产机组各部分偶然效率的动力损失为依据的方法。在采用凝汽式机组发电时能量流过程的热消耗率（包括主要损失）与下列系数有关：

锅炉机组的	η_k
蒸汽管道的	η_p
汽轮机的	η_T
发电机的	η_G
自身耗量的	η_{e1}
变压器的	η_{TR}

在各系数已知时可以利用下列关系式来确定热消耗率

$$q = \frac{860}{\eta} \text{ (大卡/瓩·小时)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{式中：} \eta = \eta_k \cdot \eta_p \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{e1} \cdot \eta_{TR} \dots\dots\dots (3)$$

这种热消耗率估计法在机组各部分必要测量的范围上要求很苛刻，因为大部分场合下各项测量工作必须同时进行，以便能消除各种运行误差的影响。蒸汽

发生器的效率 η_k 可以由损失以间接方法来确定,汽轮机效率 η_T 的确定要求精确确定膨胀线。蒸汽管道的效率 η_p 一般是根据测量蒸汽管道绝热的表面温度通过热损失以间接测量来确定的。发电机的效率 η_g 和变压器的效率 η_{TR} 可以足够精确地取自生产或设计资料。自身消耗电能的效率可由下列关系式来确定之

$$\eta_{e1} = \frac{N_{sv} - N_{v1}}{N_{sv}} \cdot 100(\%) \dots \dots \dots (4)$$

式中: N_{sv} 为(输出)功率[瓩]

N_{v1} ——机组的自身消耗电能[瓩]

即通过这两值的直接测量来确定。

经常采用的确定机组热消耗率的另一种方法是测量汽轮机组的热消耗。汽轮机组中应用的热可以根据测量机组的热平衡和质量平衡由下式来确定:

$$Q_v = M_1 i_1 - M_{nv} i_{nv} + M_3 i_3 - M_2 i_2 - M_{vmp} i_{vmp} + M_{pv} i_{pv} \text{ [大卡/时]} \dots \dots \dots (5)$$

式中: M_1, M_2, M_3 为在汽轮机上测得的新蒸汽、返回蒸汽和过热蒸汽的重量[公斤/时]

M_{nv} ——进入锅炉前的给水数量[公斤/时]

M_{vmp} ——向加热蒸汽的喷水量[公斤/时]

i_1, i_2, i_3 ——新蒸汽、返回蒸汽和输出的过热蒸汽的含热量[大卡/公斤]

i_{nv} ——进入锅炉前给水的含热量[大卡/公斤]

i_{vmp} ——向加热蒸汽喷水的含热量[大卡/公斤]
热消耗率可由下式确定是:

$$q = \frac{Q_v}{M_{sv} \eta_k \eta_p \eta_{e1} \eta_{TR}} \text{ [大卡/瓩·小时]} \dots \dots \dots (6)$$

捷克斯洛伐克 ORGREZ 国营企业在合理化和检验测量情况下采用了这些方法。

在通过直接测量来确定热消耗率时必须根据各测量值的相对误差确定其规定的精度公差区。在比较完善而且技术掌握较充分的测量过程中测量机组热消耗率的公差区可达到测量值的 $\pm 3\%$ 。

自1959年起在FMPE各电厂中就利用这些方法计算燃料的计划量,分析燃料的实际消耗量和计算电力系统中的能量消耗技术经济标准与负载的分配。电厂能量消耗的最终(结果)标准由锅炉、汽机热损失、散热损失,以及厂用电消耗量等的能量消耗的各分标准构成。最终标准决定用于供电的燃料消耗率并能借助分标准来表示:

$$S_{pa1}^{DO} = \frac{M_{pa1}}{Q_{vyr}} \cdot \frac{Q_{vyr}}{Q_{dod}} \cdot \frac{Q_{e1}}{E_{sv}} \cdot \frac{E_{sv}}{E_{po}} = m_{pa1} \cdot k_q \cdot q \cdot k_e \text{ (吨/兆瓦·小时)} \dots \dots \dots (7)$$

式中:

M_{pa1} 为燃用燃料量 [吨]

Q_{vyr} ——在锅炉中生产的热[大卡]

Q_{dod} ——由锅炉车间的纯供热量[大卡]

Q_{e1} ——发电所需的热量[大卡]

E_{sv} ——输出端上测量的电能产量[兆瓦·小时]

E_{Do} ——供电量[兆瓦·小时]

m_{pa1} ——生产热的燃料消耗率(锅炉车间的分标准)[吨/大卡]

k_q ——自身消耗和热损失系数(配汽和自身热耗分标准)[大卡/大卡]

q ——用于发电的热消耗率(机房分标准)[大卡/兆瓦·小时]

k_e ——用于供电的自身消耗电能系数(自身消耗电能分标准)

在对能量流作数量鉴定(判断)时,在电厂的生产过程中,那些不能转换到预定型式的所有能量被当作热损失从能量定义的物理概念角度来看能量是既不能消耗也不能损失的,这一点已由热力学第一定律所规定。因此在决定能量平衡过程的质量场合下既需要从物质守恒定律出发,也需要从能量守恒定律角度来补充和平衡发出的能量,并考虑到热力学的第二定律。鉴别有限和无限变换的能量。鉴于能量的变化是以电位升降为条件的,能量变化的能力取决于环境的状态。达到转变级 e 根据能量的种类和环境条件可能达到0至1的数值。在能量是变换为所谓有用能量的场合下,则1和 e 之差 $a(a=1-e)$ 就代表损失的程度(级)。

可变换能量称为可发挥能量,不可变换的能量称为不可发挥的能量。任何数量的能量 W 都由可发挥的能量 E 和不可发挥的能量 A 所组成,其关系如下:

$$W = E + A \text{ 或 } \frac{E}{W} + \frac{A}{W} = 1 \dots \dots \dots (8)$$

式中: $\frac{E}{W}$ (e)值和 $\frac{A}{W}$ (a)值从能量转变的角度来看表示能量的成分。

物质的能发挥能量由下式规定:

$$E = I_1 - I_2 - T_2(S_1 - S_2) \dots \dots \dots (9)$$

其不能发挥的能量

$$A = T_2(S_1 - S_2) \dots \dots \dots (10)$$

式中 I 为含热量(焓、热焓), S 为熵, $T(^{\circ}K)$ 为温度,指数 1 为环境的开始状态,指数 2 环境的平衡状态。在开始温度 T 时热流 W 的能发挥能量可由下式规定:

$$E = W \frac{T - T_2}{T} = W \left(1 - \frac{T_2}{T} \right) \dots \dots \dots (11)$$

而能发挥的动力值 $e = \frac{E}{W} = 1 - \frac{T_2}{T}$,这一关系式代表着

查尔诺托夫循环的理论效率 ϵ 、 a 值与 $\frac{T_2}{T}$ 的函数关系示于图4中。能发挥的能量意味着在考虑到环境条件下一定能量所能得到的最大的功。每一个过程中凡没有得到有益的功而能位降低就应当认为是损失，即使在该过程中总能量保留不变。可以蒸汽发生器的蒸汽和燃烧产物之间的温度差($\Delta t \approx 500^\circ\text{C}$)为例，低的热效率是热势损失的原因。

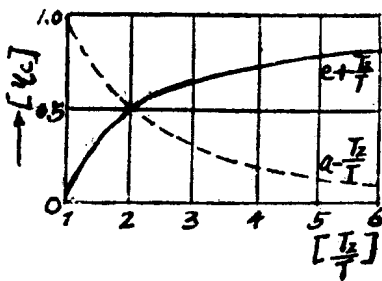


图4 ϵ 、 a 、 $\frac{T_2}{T}$ 的函数关系

对火电厂蒸汽生产过程的两种鉴定方法(动力热平衡和可发挥能量平衡)导致从损失和效率角度对生产机组各部分进行判断的观点上的差别。

总而言之,对于研究发展方向和新锅炉的结构,有时甚至是旧设备的改装来说,根据可发挥能量平衡来鉴定电厂运行的经济性能尤其有意义;对于运行的机组来说多半用动力热平衡法来鉴定循环就够了。

(b) 生产机组损失的分析方法

电能生产的工艺过程在于逐步改变能量的各种类型,同时产生出从使用角度来看应当认为是损失的这样的能量形式。从产生损失的原因角度来判断,损失可以有两种性质。首先,是由于电能生产过程本身不完善所引起的能量损失,它是这一过程中必然伴随发生的而且在生产机组该热力系统图布置情况下及其各单元的结构形式下这种损失是不能消除的(避免的)。损失的大小可由机组各分设备的计算、设计经济指标来确定,这些指标与这些零件的设计技术水平有关,并以燃料的利用能达到最高程度为指标的先决条件。在这些先决条件下只有当设备在设计的运行工况下能达到预定的经济指标时,才能达到燃料消耗率的最佳值。然而,电厂运行的主要经济指标——燃料消耗率除了受到设备各部分的设计和结构的影响外,还与运行情况有关,这就造成燃料消耗率的误差。

其次,由于机组运行工况不同而产生的燃料消耗率误差,这种误差可以分为两类:

a) 由于电厂中机组本身生产过程的不同状态和控制所造成的误差。

b) 由于外部原因所造成的误差。

属于a)类的,并对燃料消耗率恶化影响最大的主要原因有:

在锅炉的调节范围内没有遵守新蒸汽和再热蒸汽的额定参数;

由于余气不同,煤粉粒度和燃料的热值不同而使锅炉燃烧工况的经济性能恶化;

TG再循环系统的工况变化(1. 高压给水加热器不运行, 2. 低压滑动除气装置不运行, 3. 再循环系统的NT部分不运行, 4. 汽动给水泵不运行, 5. 空气蒸汽加热器运行);

自身消耗热能的变化,自身消耗电能的变化和工作物质的损失;

由于设备状态恶化而引起的变化,如MO损坏,锅炉受热面堵塞,冷凝器堵塞包括TG真空系统不严密等。

在多数场合下设备的操作和维护活动在很大程度上对误差有影响。可以通过提高运行管理(控制)技术水平和实行合理的设备维护来弥补,属于b)类的大都是由外部因素所造成的一些影响,其中最主要的有下列数种:

由生产计划造成的燃料消耗率的误差,也即由于汽轮机的启动、停机和改变机组的负载而造成的;

由于频率调节而造成的燃料消耗率的误差;

由于气候条件造成的误差(冷却水温度的变化,吸入锅炉的空气温度的变化);

由于供给燃料质量变化而引起的燃料消耗率的误差;

为用户供热的变化;

上述由于设备运行工况的不同,或由于生产设备状态的不同而造成的燃料消耗率有决定意义的误差,在对运行条件下所达到的燃料消耗率与设备在设计时预计的(假定的)燃料消耗量进行比较和鉴定时是应当考虑到的。此外为了使机组的运行经济指标能够加以对比,应在相同的前提下进行试验或计算,以确定这些指标。

因此应根据设计用附加的百分比来改正机组的正常运行状态,在这种情况下确定燃料消耗率的主要数值。根据当前捷克斯洛伐克的实践对于锅炉间和汽机间来说,为确定燃料消耗率的主要数值考虑采用如下的附加百分比:

在燃料库和运输过程中燃料的损失	0.5%
主要参数波动	0.5%

由于TG功率变化而造成的锅炉效率的变化0.3%
 由于功率变化的影响TG热消耗(比)的变化0.5%
 锅炉间自用生产蒸汽的热消耗量 1.2%
 锅炉表面的散热损失 0.5%
 季节气温波动对冷却水温度的影响 1.5%
 大修间隔(2年)内设备效率的恶化 1%
 由于频率调节而造成的恶化
 ±15%区 2%
 ±7至10%区 1%
 ±5%以下的区 0%
 装机容量的运行小时(基准7000小时/年)
 在 $\tau = 4000$ 小时/年时 6%

根据上面列出的供确定燃料的基本消耗率的这些附加百分数可以明显看出, 这些数值是不能忽视的, 因为对于装机容量运行小时为7000小时/年的机组的运行来说, 总附加百分数在无频率调节运行时为6%, 而在有频率调节的运行时为8%。为了能相应地确定各附加百分数的高度需要改进机组热系统图算法, 使能够对不同运行工况和燃料消耗率误差的影响作个别地比较, 或以电厂运行中取得的试验数值来补充计数。

降低燃料消耗率的任务主要通过下列措施来加以保证: 找到并迅速掌握燃料消耗率比电力系统平均数低的新型发电机组, 对运行机组实现技术的和更精细的技术组织措施并进一步使电力系统管理方法明确化。

捷克斯洛伐克在大型凝汽式机组中实施完全热力自动控制法, 这种方法使得能够对由于机组运行工况变化所产生的误差进行详细的分析。正如从生产机组损失的分析中看出的一样, 这种控制方法使得能够保证迅速地采取正确的措施以便在该运行情况下达到最佳工况。

2. 凝汽器性能的控制

对燃料消耗影响最大的是保持凝汽器的真空度。当全部蒸汽流入凝汽器时, 真空由38恶化到50毫米汞柱, 这说明燃料过量消耗0.6%, 或高于10大卡/(瓩·小时)(超过1.5克标准燃料/(瓩·小时))。当流入凝汽器的蒸汽最少时, 这种经济性的恶化还要高。图5中所示为凝汽器在不同负荷下, 额定真空的误差对燃料消耗的影响。

凝汽器真空度下降对发电效率有很大影响, 使真空度下降的主要原因如下:

- ① 冷却水温度和流量;
- ② 凝汽器铜管的清洁度;
- ③ 凝汽器中漏进了空气;
- ④ 抽气器性能下降。

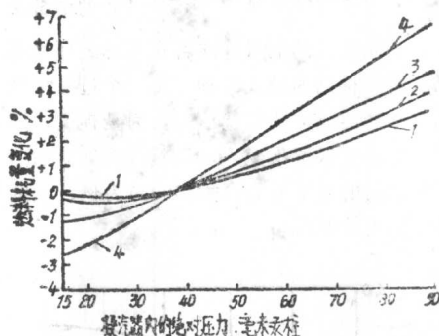


图5 凝汽器真空与单位燃料消耗的变化关系

- 1——额定负荷; 2——5/6负荷;
 3——2/3负荷; 4——1/2负荷。

(a) 冷却水温度与循环水泵运行台数

日本电厂的冷却水一般是使用海水, 因此受海水的温度影响。真空度超过一定值时就发生过冷却, 反之汽轮机效率下降, 热耗增加。冷却水量一定时冷却水温度、负荷和真空度的关系如下, 例如海水温度21℃, 额定出力25万瓩, 要维持722毫米汞柱规定的真空度, 需要有两台循环水泵进行运行, 而冬季海水温度降低到14℃时, 只需一台循环水泵运行, 就能保持上述规定的真空度。

循环水泵台数根据负荷和海水温度进行确定, 并且要使真空度变化所引起的热效率变化, 与循环水泵动力增减的关系保持最经济的关系。图6示出了在考虑到送电端效率的情况下确定水泵运行台数的例子。

(b) 凝汽器铜管的清洁度

凝汽器铜管的清洁度用 $\frac{\text{实际传热率}}{\text{标准传热率}}$ 表示, 而实际的传热率用下式求得:

$$K = \frac{G \times C}{S} \log_e \frac{t-t_1}{t-t_2} \quad (\text{大卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C})$$

式中: G是冷却水量(公斤/小时); C是冷却水比热(大

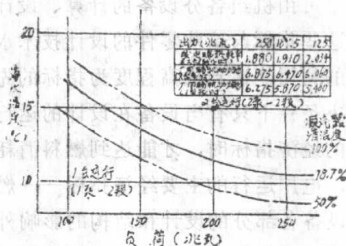


图6 计及送电端效率的经济循环水泵运行台数

卡/公斤℃)；S是凝汽器冷却面积(米²)；t是凝汽器饱和蒸汽温度(℃)；t₁是凝汽器入口冷却水温度(℃)；t₂是凝汽器出口冷却水温度(℃)。

求实际传热率时测定的温差(t-t₂)很小。该测定误差对清洁度影响很大，所以要精确地测定真空度和海水温度。

为了保持清洁度，如果火电厂设有反洗装置和海绵球式连续清洗装置，可采取定期运行的方法。但如果不设上述设备，则可在低负荷时将其中一个系列的凝汽器停机，用尼龙刷、橡皮弹或高压喷射清洗器进行清洗。清洗时间间隔视海水污染程度而定，但用人工清洗方法时，清洗一次可恢复几毫米汞柱的真空度。

在美国马尔萨耳火电厂，当真空度有明显的恶化时，操作人员立刻开始寻找不严密处，检查循环泵和其他设备(这些设备都会影响真空)的运行是否正常。如果真空度的恶化过程发生得慢，但是连续的，则需要清洗凝汽器。在有备用机组的情况下，如果由于真空恶化造成的燃料过量消耗仍然比凝汽器的清洗费用大时应停机。

最近苏联很多工业发电厂(凝汽式汽轮机)的中等蒸汽参数汽轮机改为背压运行、组织调节抽汽或改为恶化真空运行工况的汽轮机。采取这些措施的目的是减少循环水的热损失，循环水的热损失占发电量的50—60%。

(c) 凝汽器漏入空气量

定期测定从抽气器抽出的空气量以观察其变化倾向，这样就能够比较容易地对漏入空气量加以控制。

(d) 抽气器性能的降低

可根据抽气器蒸汽阀开度、蒸汽压力和排出空气量的测定来判定抽气器的性能。

3. 锅炉排烟损失的降低

降低排烟损失的措施如下：①降低排烟温度；②低氧运行(减少排烟量)。

(a) 降低排烟温度

锅炉排烟中通常含有百万分之十到百万分之三十由SO₂转化而成的SO₃，它在空气预热器低温部分和烟道中达到露点时会使金属腐蚀。烧重油的锅炉中以降低烟气温度来防止腐蚀，因此通常在空气预热器前面设置蒸汽式空气预热器，使排烟温度维持在露点以上。容克式(旋转式空气预热器)空气预热器一般按照下列温度来控制：

$$\frac{\text{空气预热器出口烟气温} + \text{空气预热器入口空气温度}}{2}$$

$$= 105 - 110^{\circ}\text{C}$$

但是最近出现采用含硫量低的燃料的趋向，因此

必须按照燃料的情况来调节排烟温度。

(b) 低氧运行(低过量空气运行)

所谓低O₂运行，系指燃料在锅炉内燃烧时，采用尽量低的过量空气即近于理论空气量的一种燃烧方法。

采用低过量空气燃油的方式是六十年代锅炉技术的一大进展，自从西德和英国研究推行以来，目前各国大型燃油炉上都已采用。

燃烧燃料所必需的空气量称为理论空气量，烧重油时约为11标准米³/公斤。

但是要达到完全燃烧仅有上述空气量是不够的，必须供给过量的空气。实际空气量与理论空气量之比为过量空气系数。从理论上讲，系数越接近于1效率越高。过量空气系数可通过对燃烧气体中的O₂%值的测定，用下式求得：

$$m = \frac{21}{21 - O_2}$$

亦即只要尽量地使过量O₂接近于零，在这样状态下进行燃烧(低氧燃烧)，就能够减低排烟损失。但是过量O₂，低于一定限度时，燃烧损失就要增加，锅炉的总效率就不一定能够提高。图7是O₂%的变化与排烟温度和锅炉效率的关系。

(1) 低O₂运行的优点

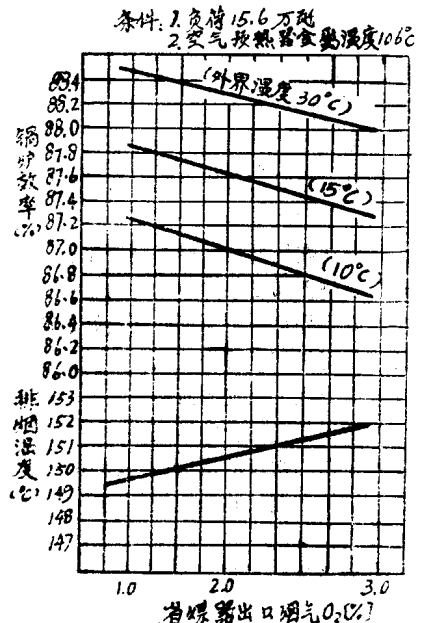


图7 O₂%的变化与排烟温度和锅炉效率(烧重油)的关系

①由于排烟损失减少,提高了设备效率。

过量空气从10%降低到5%,锅炉的效率约提高0.2%,发电效率约提高0.1%,过量空气接近零时,锅炉效率的变化量反而相反,随着燃烧用空气量的减少,不完全燃烧热损失增加。

②风机电耗的减少。

过量空气减少5%,供给锅炉的空气量大约减少5%。由于空气量的减少,直接减少了风机的电耗,结果导致厂用电耗减少。此外,随着空气减少,空气预热器内的风压下降,空气预热器的漏风量也减少,因而提高了锅炉的热效率。

③低 O_2 运行除提高热效率外,还可以减轻空气预热器的低温腐蚀,降低烟气的酸露点和 NO_x 的生成率。由于烟气酸露点的降低,可以进一步降低排烟温度,减少热损失。

(2) 低 O_2 运行的一些问题

①烟尘量的增加。

过量空气极度地减少,使燃料在燃烧时得不到足够的空气,导致不完全燃烧烟气的产生和烟尘量的增加。

②蒸汽温度下降。

由于燃烧烟气量的减少,导致锅炉受热面的受热量减少,因而降低锅炉的蒸汽温度。

③燃烧的稳定性下降。

随着过量空气的下降,燃烧的稳定性也下降,适应于负荷变动的随动控制发生恶化。为了防止蒸汽温度的下降,采用增加再循环烟气量的运行操作方法更会使燃烧的稳定性下降。

(3) 措施

采用低氧运行时,必须采取下列措施,以确保燃烧的稳定性。

①对重原油燃烧器要进行充分的控制;

②每个燃烧器都要保持最适当的燃料空气系数;

③负荷发生变化时,为了能够很好地调节风量以避免风量不足冒黑烟,必须在风量自动调节系统上增设能够保证充分供应空气的回路。

④开发适于低 O_2 运行的燃烧装置。在设计时对燃料油的雾化、与二次风的适当混合、燃料-空气分布的均匀、控制装置和测试装置性能的提高等都要采取措施。

⑤必须熟悉燃烧器喷嘴性能的管理、燃料油流量的均一化、最佳二次风量的调整、再循环烟气量的管理、 O_2 的管理、对于负荷变动的处理等。

⑥其也。对于自动燃烧控制装置随动性的改善, O_2 测定器可靠性的提高等都有必要进行研究。

(4) 在制定低 O_2 运行指标时的一般倾向。对于原有设备,在制定低 O_2 运行的指标值时,一般大致如下:

① $O_2 = 0.8-1.2\%$ 范围内锅炉达到最高效率(设计 $O_2 = 2\%$ 左右的锅炉)。

②除尘器入口的烟尘量在100毫克/标准米³以下。

③在稳定的燃烧范围内,调节可能极限的 O_2 量(不冒黑烟,火焰不是局部地接触锅炉壁)。

④对于新设备,大部分锅炉在设计、制造时考虑 $O_2 = 1.0\%$ 以下。

4. 变压(减压)运行方式

现在大多数汽轮机是依靠其入口蒸汽调节阀(进汽阀)的开闭来控制蒸汽流量以调节负荷,因而在低负荷时效率很低。变压运行是一种在低负荷时汽轮机入口蒸汽压力降低到额定值以下的运行方法,现在西德、日本(西德在六十年代已普遍采用这种技术)已广泛采用这种方法。

(a) 变压运行的效果

这种运行方法由于压力的降低,从理论上讲,似乎热循环效率降低了,但是由于下列损失的减少,可提高发电总效率:

①主蒸汽压力降低时,由于开大调节阀而减少了这里的节流损失,所以可提高汽轮机内部的效率;

②负荷降低时有关锅炉特性的过热蒸汽和中间再热蒸汽的温度都要降低,但是采用变压运行方法之后,过热蒸汽能够保持高温,因此可提高热循环效率。也就是说压力低的蒸汽比热小,供给一定量的燃料就能提高温度。并且因为压力降低时饱和蒸汽温度下降,与过热器中的烟气温度的差增大,所以吸热量增加,蒸汽温度提高。

例如出力为12.5万瓩、额定汽压为127公斤/厘米²、温度为538/538℃的火电厂,当负荷为3.5万瓩时以80公斤/厘米²的压力进行运行,可提高火电厂效率0.3%。不过在屡次采取变压运行时,必须随着负荷的下降用人工来改变调节汽压的给定值,因而锅炉燃烧会出现脉动不稳定的现象。而且采取人工调节方法存在着加重运行人员工作负担等问题。

为了解决上述问题,日本四国电力公司新德岛发电厂设计了随着负荷变化而自动改变汽压调节装置给定值的回路,实行了变压运行操作全盘自动化。

另一方面值得重视的是,日本东京电力公司大井火电厂35万瓩的3号汽轮机(汽压250公斤/厘米²,汽温538/538℃),在低负荷时汽轮机蒸汽调节阀的开度几乎是完全打开的,1/4—4/4负荷时的出力调整是在锅炉发生蒸汽压力70—250公斤/厘米²范围内进行调

节的, 由于研究出了新的变压运行方式, 使1/2负荷下的发电效率提高了百分之一。

③给水泵功率的减少。

恒速的电动给水泵, 负荷为一定时, 由于泵的输出量不变, 给水泵的动力几乎不变, 在热效率上没有优点, 而汽动给水泵和变速的电动给水泵在变压运行时, 可以节约泵的功率。变压运行时热效率的改善例子如图8所示。变压运行除热效率得到改善外, 由于压力下降, 锅炉耐压部分的应力得到减轻, 随着蒸汽比容的增加, 传热管组内向下流动部分的流量分配得到稳定, 防止了部分过热, 蒸汽温度的变化小时, 由于蒸汽体积的增加, 防止了部分蒸汽的流入和温度降的减少等, 使汽轮机的热应力减少, 因而减轻设备的工作条件。

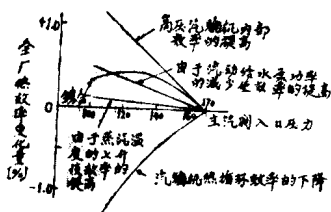


图8 变压运行时全厂热效率变化量的例子

变压运行在热力学上的损失, 是循环热效率的下降(这是额定压力低的旧式火力发电厂热效率降低的原因之一), 这从热效率上来说, 是唯一不利的一点。

(b)变压运行中应注意的事项

①变压运行时, 由于受变压的影响, 对锅炉汽鼓水位、锅炉的燃烧状态、过热器管和再热器管的温度等应十分注意。

②对于恒速泵, 由于给水控制阀的调节, 压差变大, 造成阀座过早磨损, 因此对长时间的变压运行, 应采取必要的措施。

③汽动给水泵在低负荷从锅炉供给蒸汽时, 由于蒸汽压力下降, 驱动汽轮机的高压阀容量不足, 泵得不到所需要的功率, 因而使变压的幅度受到限制。

④当负荷相当低时, 蒸汽温度特性好的锅炉可使过热蒸汽温度保持额定温度, 在变压运行时为了控制蒸汽温度的上升, 采用喷水和减少烟气再循环量的方法。喷水量的增加导致热循环效率的降低, 因而减少了变压在效率上的好处。

⑤随着压力降低, 锅炉所保持的热量减少, 因而降低了负荷变动的适应性。

(c)变压运行的实施方法

变压运行的实施方法有下列两种: 进汽阀开度固定, 用增减主蒸汽压力的方法来控制负荷; 阀开度不固定, 降低蒸汽压力, 用增减进汽阀的开度来控制出力。

日本关西电力公司的变压运行方式主要是采用后者, 多数机组的变压将额定压力169公斤/厘米²下降到100公斤/厘米²。

5. 厂用电的节约

给水泵、循环水泵、凝结水泵、吸风机、送风机等辅机, 当发电机为额定出力时, 一般是按照两台运行进行设计的。随着发电机负荷的降低, 必须适当地将上述辅机从两台运行切换成一台运行, 以达到节约厂用电, 提高供电量之目的。

给水泵、凝结水泵和循环水泵等出入口分别设计成并列运行, 因而在切换操作没有什么特殊问题, 但是风道中设有空气预热器、锅炉炉膛和除尘器等设备, 鼓风机阻力不一定相同, 因此当一台运行时将产生风或烟气偏流, 故必须充分注意采取措施以避免对各部分不良的影响。

6. 其他措施

保持和提高热效率的其他措施如下:

- ①保持汽轮机在正常运行中的入口蒸汽参数;
- ②正确进行吹灰以保持锅炉受热面清洁;
- ③彻底控制水质以减少排污热损失;
- ④缩短启动时间以减少启动损失;
- ⑤减少启动时的疏水量和排污量;
- ⑥减少部分漏汽。

最近日本的火电厂大体上对上述各项都管理得彻底, 因而损失比较少。

火力发电设备的维修管理

一、汽轮机凝汽器冷却表面的清洗方法

汽轮机凝汽器冷却表面的清洗方法可采用停机和不停机两种。不停机清洗比较合理。凝汽器的化学清洗是在冷却水中加入 U-64 西利隆酸化合物, 将西利隆在 60—70℃ 温度下和冷却水混合, 而后通过凝汽器管子。由于水在冷却管内的流速不大, 这种方法的清洗效果不好。也可采用 1—2% (在某种情况下可提高浓度) 的盐酸溶液加入 1% 的 Rodine-213 抑制剂 (根据计算, 1 升 HCl 加入 1 毫克), 盐酸溶液放入冷却水进水管, 放入数量为 1—2 升/分。研究表明, 这种溶液对金属的影响极小。在开始五分钟金属损耗量为 0.2 毫克, 在完全清除污垢所必需的其余时间, 金属损耗甚微。为了预防结垢, 有时在冷却水加入 350—500 毫克/升的六聚偏磷酸钠。为了清除微生物采用冷

却水加氯处理的方法, 但凝汽器出口处的氯含量(残余), 每 1 升冷却水应低于 0.5 毫克。

普遍采用橡皮球清洗凝汽器管子(图 1)。球不断地循环以清洗凝汽器管子。用海绵状橡皮制造的球, 其直径应大于被清洗管子内径的 10%。海绵橡皮球外表面可涂一层磨料, 这样可延长球的使用寿命, 扩大清洗效果, 但球的直径应等于管子直径。采用硬球时, 球径应比管子内径小 2 毫米。

在清洗时球本身被磨损, 在开始 100 小时内无护盖层的球, 磨损 5%, 其结果失去清洗效果。第二种球的磨损取决于磨料层的磨损程度。磨料层可保持一个月。球再涂上磨料层又可恢复使用。当管内水流速度为 2 米/秒时循环系统内装载的球数量为管子总数的 10%, 清洗时球在各个管子内均匀分布进行循环。每隔 2000 小时必须检查管子, 不允许球堵塞在管内以致管子受到腐蚀。同样应清除掉冷却水内的植物和纤维, 以防捕集网堵塞和球不能返回。

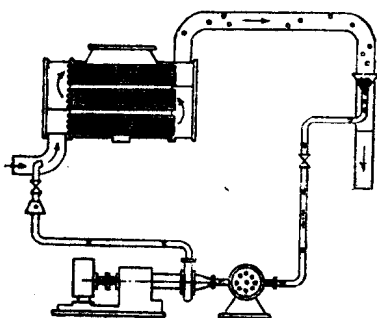


图 1 用橡皮球清洗凝汽器管子的装置

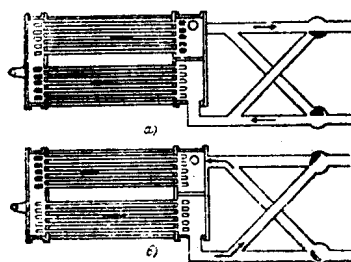


图 2 用刷子清洗凝汽器管子的装置

a——水流正常方向, b——水流反方向。

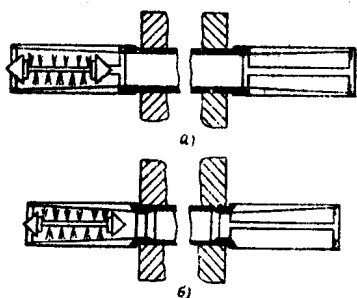


图 3 带刷子的套管的固定方法

a——套管套在冷却管上时的刷子

b——套管插入冷却管内时的刷子

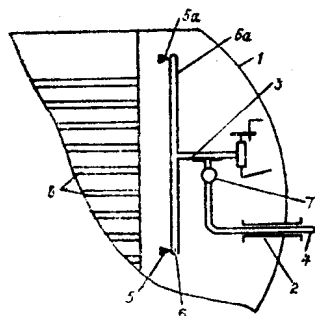


图 4 用水喷射方法清洗管子的装置

西德MAN公司设计了一种用专用刷子清洗凝汽器管子的装置(图2)。利用冷却水运动方向的变化,使刷子在管内运动。每根管子装有一把刷子,而在管子两端固定一个套管以接收刷子。套管可套在管子上,也可插入(图3)。当凝汽器正常运行时,刷子位于管子出口侧套管内。当将凝汽器内的冷却水改变向相反的方向流动时,在刷子头部产生负压,在此负压作用下,刷子脱离套管进入管内。当水流通过刷子头部与管子内壁形成的环形缝时,产生一种力,迫使刷子移动,随后刷子速度减慢。管内的水速为0.6米/秒,而管内的压降为0.6米水柱,刷子的运动速度几乎比水速慢一半,从管壁刮下的污垢被水流带走。对于大型凝汽器,操纵控制挡板以改变冷却水流方向。

整个清洗过程包括正常系统的恢复在内约为30秒。清洗的时间间隔根据冷却水的脏污程度确定,每8小时至少清洗一次,即每班一次。刷子用耐水温100℃的塑料制成,在此温度下刷子不软化,刷子的使用寿命约为5年。

用刷子的清洗方法适用于使用海水或河水作为冷却水的凝汽器。运行经验表明,这种清洗系统完全是正确的。在系统整个运行时间内,凝汽器内保持了正常的真空。此外,用橡皮球连续清洗使凝汽器的热传导稳定,用刷子定期清洗只能短期改善凝汽器的工作。

东德采用水流喷射的清洗装置(图4),喷嘴对着凝汽器管子移动。图中构件如下:4——相对于旋转中心线弯成直角的压力管;1——凝汽器端盖;2——填料型轴承;7——管子4端部喷嘴,水流从此喷嘴喷出,产生反作用力迫使压力管和整个系统围绕轴承2中心旋转。管端联结有支杆3和双臂管6,双臂管两端装有喷嘴5、5a,用来冲洗凝汽器管子8。

其他清洗方法还有热力方法或水锤法。这两种方法需停运凝汽器时进行。在干燥情况下具有龟裂特性的沉积物,可采用热力法从冷却表面上除掉。由于这种方法简单,在很多国家得到广泛推广。清洗过程按如下顺序进行。将半面凝汽器与运行的汽轮机断开,排除冷却水。稍微提高乏汽温度,并用降低汽轮机负荷的方法保持在允许的范围内。一部分乏汽热量通过管壁传递到沉积物。沉积物受到干燥,发生龟裂,并从管子表面上脱落。用风扇从水室检查孔吹进空气以带走干燥时产生的水蒸汽。干燥的脱落沉积物可用压缩空气通过软管把它吹走或用带压循环水快速注水系统的水冲走。在某种情况下是在停机时用热空气的热量或热凝结水(用80℃的凝结水灌入凝汽器蒸汽侧,直灌到颈部)热量使沉积物干燥。在送入凝汽器之前

的大气应在蒸汽热风机或电气热风机内进行加热。有时在运行的汽轮机利用加热的空气来干燥沉积物。加速干燥过程可以加快沉积物的龟裂和脱落,并缩短凝汽器的清洗时间。下面介绍苏联热工研究所乌拉尔分所对这种方法的实验室研究。根据实验证实,材料的干燥过程取决于蒸发水分的排除和引入热量的强度。引入热量的强度要看载热介质的温度而定。当利用乏汽的热量时,温度的提高受到汽轮机尾部结构的限制。提高吹入空气的温度必须装设热风机。提高吹入空气的温度并加大吹入空气量可以加快蒸发水分的排除。因为在提高温度时,被水蒸汽饱和的空气湿度增加,则在凝汽器入口处相同的空气流量和相对湿度下,被带走的水蒸汽也增加。因此提高热势就能减小空气流量,加热所需的能量消耗不大。对沉积物干燥的理论和实验过程进行分析说明,在汽轮机运行时凝汽器采用热力法清洗,把大气加热到与乏汽相等的温度可以使速度加快三分之一到一倍。空气可以在热交换器内用凝汽器干燥过程中排出的蒸汽空气混合物废热进行预热。从30万瓩机组的计算表明,利用这样的废热加热空气与空气在电气热风机内加热或用汽轮机抽汽的蒸汽加热相比较,在干燥沉积物期间可节约能量80—85瓩·小时。热力清洗法利用空气作为排湿介质取决于大气条件。因此在一年的不同季节里,当凝汽器的污染程度相同时,沉积物的干燥时间是不一样的。对于运行的30万瓩机组,利用机器房内不加热的空气来吹洗凝汽器管子,干燥时间为8—12小时。如果在真空条件下干燥沉积物可以使热力清洗法得到最大限度的强化。用真空接触法干燥热表面上的材料适合于化学工业和食品工业上应用。在火力发电厂利用此原理干燥凝汽器内的沉积物同样容易实现。真空接触干燥与大气条件无关,因为排湿介质是蒸汽本身。由于沉积物的被复盖表面(被加热的表面)和暴露表面之间的温度梯度大(正的),干燥过程加快2—2.5倍。

沉积物采用真空接触干燥法不必打开水室的检查孔,因而不会恶化汽机房空气的卫生状况,因为沉积物有机成分的分解物在干燥时是随水喷射器排到循环水管。热表面上的沉积物采用真空接触干燥法的实验表明,当饱和温度恰好等于热表面温度的真空中进行干燥已足够强烈。进一步提高真空虽然加快了干燥过程,但会引起非结合的水分激烈沸腾和沉积物起泡。在0.05绝对大气压下饱和温度为32.5℃时进行干燥,被干燥的沉积物表面出现气泡,而在0.1绝对大气压下沉积物表面没有出现气泡。在0.1绝对大气压下进行干燥恰好等于饱和温度45.5℃。起泡的干燥沉积物与管子表面有很大的粘着力,致使形成气泡的地点沉积



图 5

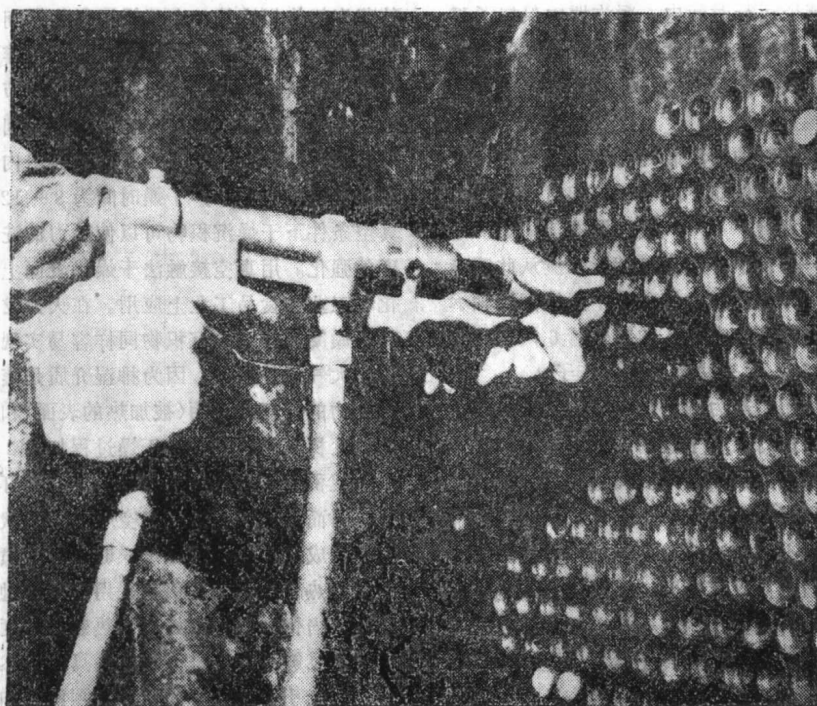


图 6

〔编者注：西安热工研究所出版的《热力发电》，1974，№7，134—147页“关于汽轮机凝汽器连续清洗”一文中，对胶球连续清洗和刷子连续清洗的工作原理、系统、装置以及试验、运行情况作了较详细的叙述〕