

燃用无烟煤的30万千瓦机组的液态除渣炉 膛在西德埃尔费林发电厂的初步运行经验

[西德] H·洛茨 W·勒斯勒尔

引 言

Elektromark为西德西南地区一个具有约130万千瓦装机功率的地区性供电企业。隶属于该企业的埃尔费林发电厂的第一台发电设备是于1911年建造的。采用液态除渣炉膛的新型30万千瓦机组于1982年年中投入运行。本文简要介绍了这一设备,并报道了锅炉装置的初步运行经验。

水—蒸汽循环

设备是以3500小时/年全负荷利用率来规划的。根据这一要求和邻近的22万千瓦机组的运行经验,选用了如下所示的主要设计数据。

E4型机组的设计数据如下:

蒸汽锅炉

制造厂: 巴布科克

结构: 强制循环

蒸汽功率: 高压蒸汽/再热蒸汽
千克/秒 278/250

允许表压力: 高压蒸汽/再热蒸汽
巴 220/55

工作压力: 高压蒸汽/再热蒸汽
巴 199/47.5

工作温度: 高压蒸汽/再热蒸汽
℃ 535/535

给水温度: ℃ 255

排烟温度: ℃ 130

低负荷装置: 带有循环泵的分选器

炉膛: 双液态除渣炉

磨煤机数量/磨煤机型号 4/MPS170

| | |
|---------------|---------------------------|
| 每台磨煤机的燃烧器数量 | 4 |
| 每台液态除渣炉的燃烧器数量 | 8 |
| 燃烧器总量 | 16 |
| 燃烧器型式: | 多级涡流式燃烧器 |
| 汽轮机组 | |
| 制造厂: | BBC |
| 发电机功率 | 兆伏安/兆瓦 400/330 |
| 蒸汽温度 | 高压蒸汽/再热蒸汽 ℃ 530/530 |
| 蒸汽压力 | 高压蒸汽/再热蒸汽 巴 189.6/43.7 |
| 蒸汽温度 | 高压—出口 ℃ 327 |
| 排汽压力 | 巴 0.068 |
| 冷却水温度 | ℃ 21.5 |
| 排汽流道: | 2 |
| 排汽截面 | 米 ² 2×7.1 |
| 末级叶片长度 | 毫米 867 |

热线图

热线图具有以下特点(图1)

——一次中间过热

——带有4个低压加热器的7级给水加热

——两个高压加热器

蒸汽锅炉装有一个全负荷涡轮给水泵,以保证给水供应。给水泵的水由与给水箱平行安置的取水口56提供。在甩负荷和再冷工况下,涡轮泵的蒸汽取自冷再热器,而在启动时可利用来自辅助蒸汽管系的蒸汽。

作为高压溢流系统和低压旁路系统按目前通用的布置方式安装了2×50%旁路系统。以同样的功率分配方式设置了再热器安全阀。

蒸汽锅炉

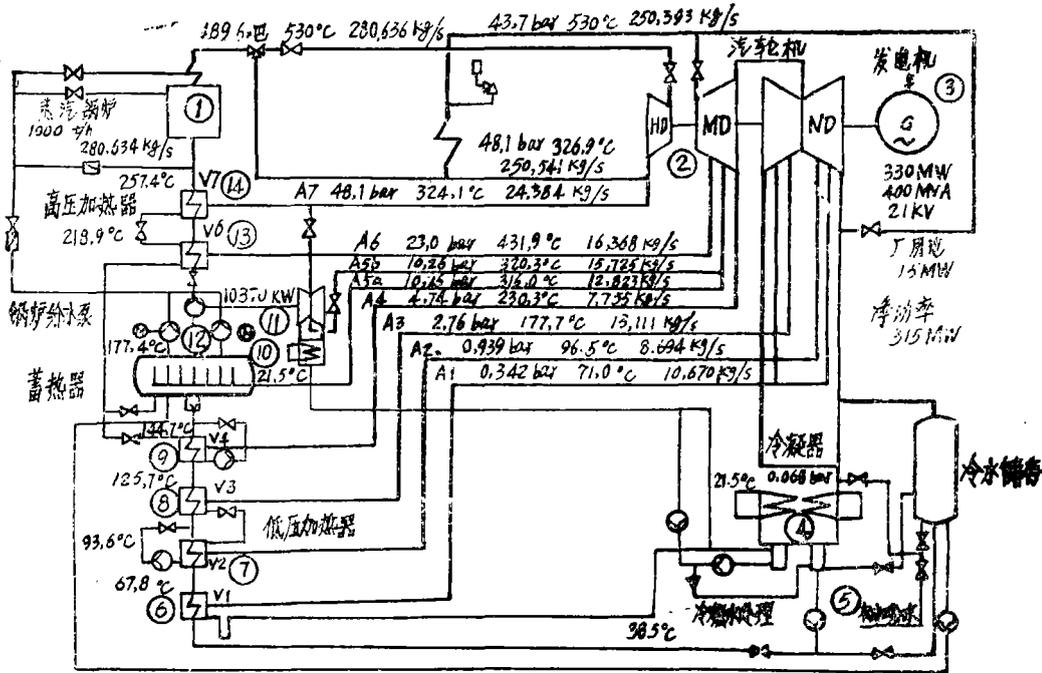


图1 E4型30万千瓦机组热线图

1. 锅炉; 2. 冷凝式汽轮机; 3. 三相发电机; 4. 冷凝器; 5. 主冷凝水泵;
6. 低压加热器1; 7. 低压加热器2; 8. 低压加热器3; 9. 低压加热器4;
10. 带除氧器的存储容器; 11. 全负荷涡轮泵; 12. 两个电动半负荷泵;
13. 高压加热器6; 14. 高压加热器7

蒸汽锅炉为一台带滑动蒸发点的强制循环锅炉(图2)。炉膛壁和部分辐射烟道布置有蒸发受热面。16个燃烧器的中心管空气喷口和煤粉空气喷口的冷却管均由经济器后的全部给水来冷却。在蒸发受热面之后,布置有水分离器,水位容器和一个在启动工况及低于40%的低负荷工况下使用的循环装置。分为5个受热面的高压过热器为双管路的。并在最后一个受热面之前作交叉布置。

分成两个受热面的再热器也为双管路的,在两个受热面之间作交叉式布置。炉膛由一个双液态除渣燃烧室组成,该燃烧室顶部布置有涡流式分级燃烧器。每个燃烧室均装有两排燃烧器,每排4个。4排燃烧器的每一排配有一个MPS170型中速磨煤机。按西德工业标准,0.09毫米筛孔,残留物为20%时,每台磨煤机的磨制出力为31.6吨/小时。因为所予定的燃用燃料范围中包括有劣质煤(表1),所以选用了液态除渣式燃烧装置。

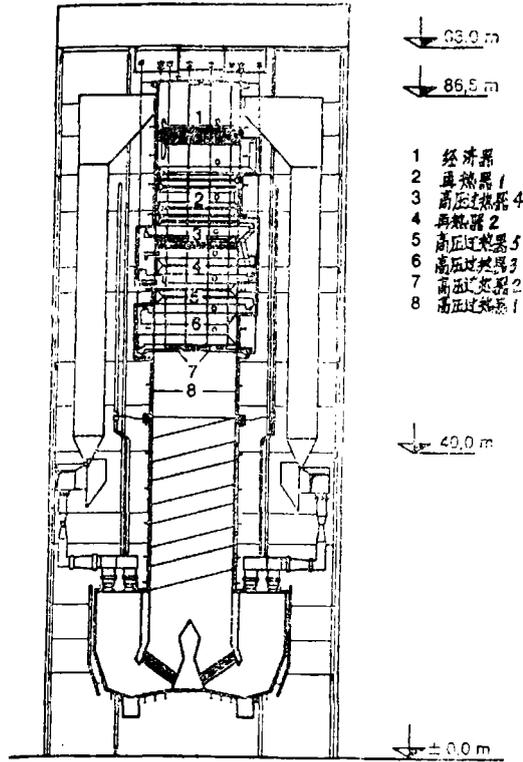


图2 E4型30万千瓦机组的强制循环蒸汽锅炉纵向剖面图

| 燃 料 | 计 算 值 | 实 用 值 |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 低发热值 | 23.46至27.65兆焦耳/千克 (5600—6000大卡/千克) | 22.9至27.4兆焦耳/千克 (5500—6540大卡/千克) |
| 挥发分 (不含水和灰分) | 20—30% | 25—26% |
| 灰分 (原始状态) | 20—13% | 22—10% |
| 水 (原始状态) | 12—7% | 12—9% |
| 硫 | 1% | 1% |

每个煤粉燃烧器内装有点火用重油燃烧器。所安装的重油燃烧器功率为煤粉燃烧功率的45%。重油燃烧器用紫外线监控器，煤粉燃烧器用红外线监控器分别加以控制。16个涡流燃烧器均为分级燃烧器，以减少 No_x 排放物 (图3)。

从电气除尘器和排烟道的灰斗出来的飞灰被送入收集仓，再从那儿经过布置在燃烧室侧壁的飞灰燃烧器重新喷入炉膛。

在辐射炉膛内装有72个单喷咀吹灰器，对流受热面区布置有24个可伸缩的吹灰器 (长度大约12米)。再生式空气预热器的冷侧

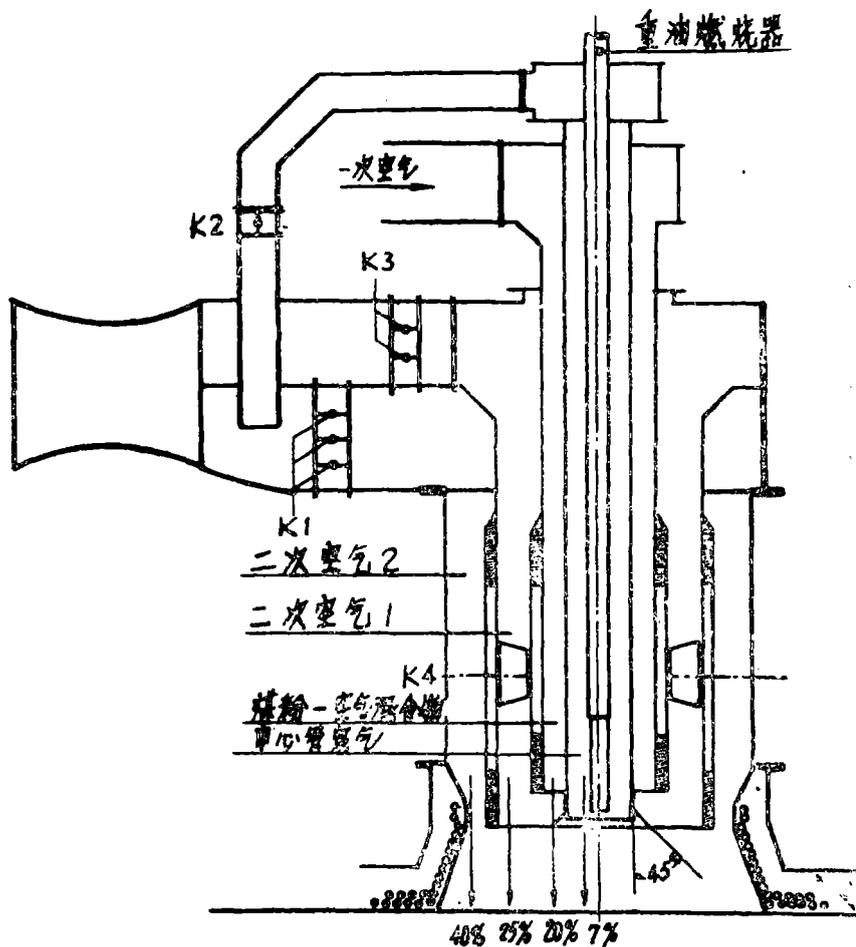


图3 带有挡板和空气分配机构的燃烧器

和热侧也用蒸汽吹灰器来保持洁净。

试运转

1981年7月10日,即建设工程开始后的第26个月对蒸汽锅炉进行了加压试验。一个月后,个别系统开始运转。带有辅助蒸汽管道的两台燃用煤气的辅助蒸汽锅炉作为第一台设备投入运行。主冷却系统和辅助冷却水系统于10月和11月开始工作。一次、二次冷凝水泵和两台电动给水泵在清洗循环系统时进行试验运转。决定用冲洗和吹洗来清洗循环系统、锅炉和蒸汽管道。用经过处理的 *Deionat* (pH值为9—9.5) 来冲洗冷凝水系统。在高压过热器注满水的条件下,用电动给水泵来冲洗给水容器、带旁通管路的高压加热器、经济器、蒸发器以及包括喷水管道在内的起动容器。冷水蓄水池和给水容器这时充当了冲洗水容器,其总容积为400米³。冲洗能力为1200吨/小时。每10分钟进行12次清洗冲程。冲洗结束后,在排出的冲洗水中可测出 Fe_2O_3 为 $500\mu\text{g}/\text{l}$ 。当使用经过处理的 *Deionat* 时,冲洗过程在120℃的温度下进行,倒数第一个冲洗过程(用苛性钠和磷酸钠进行处理),在180℃温度下进行。用 *Deionat* 进行二次冲洗。高压过热器连同蒸汽管路,一直到汽轮机快速关闭阀,并由此再经过临时管道到大气为止均要用蒸汽进行吹洗。总共11个吹洗操作所需要的蒸汽可由锅炉设备以40%的重油燃烧功率来产生。29个其它的吹洗操作按下述路线进行:经高压旁路系统、冷再热器管路、再热器直至中压快速关闭阀前的热再热器管路和低压旁路系统,并从那儿通过吹洗用临时管路直到通大气为止。吹洗结束后,在锅炉循环回路内可测得下列数值:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 200\mu\text{g}/\text{l}; \text{SiO}_2 = 160\mu\text{g}/\text{l}$$

在吹洗操作过程中可在锅炉上对膨胀和拉伸量进行首次测量。通过这种方式可提前监控所予期的膨胀值。1982年4月20日,在吹洗操作后,首次通过旁路将用重油燃烧产

生的蒸汽排入冷凝器,这一机组也随时可以煤粉燃烧方式运行。从1982年4月22日至5月31日,经事先喷沙处理后对燃烧室灌注了捣料。

全部组件(喷冷却水系统开始一直到给水系统和汽轮机组)均在具备全套的保护和监控设备的情况下起动。

1982年6月2日,首次燃用了煤,在用旁路系统工作了仅4个小时后,便起动汽轮机,并达到工作转速。在第一次冲转前蒸汽纯度为 $30\mu\text{g}/\text{l}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $16\mu\text{g}/\text{l}\text{SiO}_2$, 在承载后上述数值在短期内增加到 $60\mu\text{g}/\text{l}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $38\mu\text{g}/\text{l}\text{SiO}_2$ 。

1982年6月19日至27日对汽轮机组的轴承进行了检测。紧接着进行试运行(每天起动一次)。试运行过程中进行了调整和运行最佳化工作。

运行经验

蒸汽锅炉

就蒸汽锅炉来说,除了下面所提到的通过采取改进措施能加以排除的现象外,没有出现大的故障。随着燃煤炉膛的投入运行,从煤仓卸煤出现过一些困难。虽然原煤仓(钢结构)下部用 *V2A*,上部用 *Supralen(RCH 1000)* 复盖,但仅容积的50%~70%能用于煤的运送。对此采取的第二个措施是在加煤槽口的下面装上一个溜煤板,它能使煤流进磨煤机给煤机的卸料区。这是一项改进措施,但解决得并不理想。只有在煤仓出料口中间部位装上一块隔板后,才使煤能均匀地排出,这样,整个煤仓容积得到了有效利用。

为了获得尽可能高的溶化率,对5排捕集篦栅选用了小的节距。在试验阶段,在低负荷工况下烧结和熔化的灰粒使捕集篦栅受到极度堵塞,以至于后来无法作全负荷运行。由于部分地完全阻塞集篦栅所造成的高的压力损失,所以一次空气送风机无法产生压送全负荷下的一次空气量所需的压头。对由5排错列布置的双管所组成的捕集篦栅作

了些改动(图4),使下面一排管的水平方向节距以及5排管子的垂直节距保持不变,仅第2—5排的水平节距由300毫米增加到600毫米。由于个别管子受到膨胀阻碍,变弯后脱离了同心线,所以在改变节距值的同时,对捕集篦栅配置了膨胀肘管。在作了以上改动后,即使在低负荷下运行较长时间,只要才能保证充分的溶化度,捕集篦栅就不再发生阻塞现象。

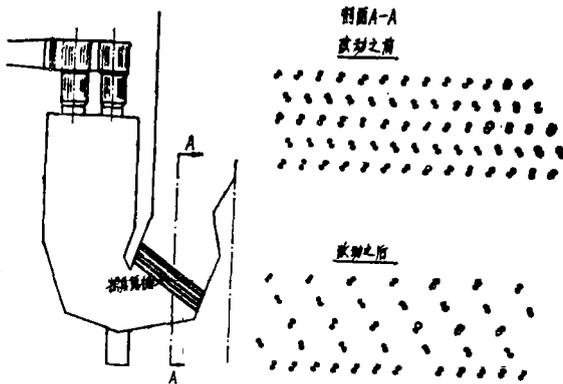


图4 对捕集篦栅所作的改动(剖面)

对捕集篦栅管的管子损坏原因进行了分析,发现温度骤变是其起因。因此,选择了一个捕集篦栅管,在其表面作了温度测量。测量结果表明(图5)温度波动最高达240℃,频率为0.25~0.5/分,这些温度波动是在启动和停机工况下当新蒸汽压力低于80巴,新蒸汽流量约400吨的情况下出现的,在本生锅炉上很罕见的那种所谓蒸发器动态不稳定性—仅出现在少数捕集篦栅管上。通过以下各种措施:即改变管圈节流量以提高有关管子内的流量,改变启动和停机方式,在蒸汽压力为80巴时,将自然的滑动压力改为突然转折特性曲线和新蒸汽压力低于80巴时限制燃烧功率就可使温度偏差值不超过30℃。此后再没有出现这种类型的损坏。

NO_x 排放量低的涡流分级燃烧器

整个燃烧空气分成4个分流(图3),从中心向外,中心管空气内部,接着是带有

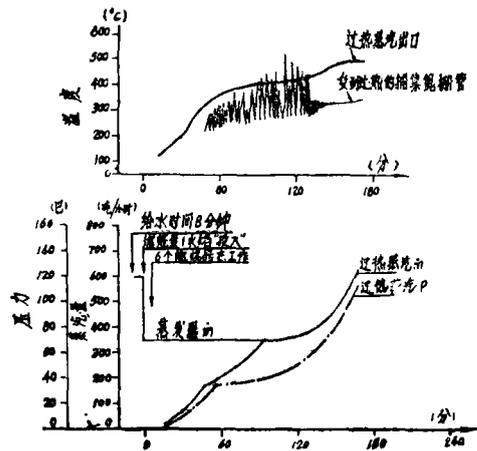


图5 启动工况下蒸发器内的温度波动

煤粉的一次空气,带有涡旋的二次空气1,外面为不带涡旋的二次空气2。

每个燃烧器的中心管空气和二次空气1通过两个闸板 K_2 和 K_3 及涡旋梯形块 K_4 加以调节。闸板 K_2 和 K_3 及涡旋闸板 K_4 装有变速驱动装置,而且通过燃烧器调节进入需要固定的启动位置,也就是说,对于12种不同的运行方式(表2)。闸板1根据燃料进给量来调节燃烧器的燃烧空气。通过给煤机转数和油量计数器来确定被调参数,对于每个燃烧器都要同时测量它的空气量(二次空气1和2及中心管空气),而对于每台磨煤机,即四个所属的燃烧器,要同时测量磨煤机空气量。

尽管这种昂贵的单项空气调节装置在机组投入运行时,需为调节花费很多时间,然而它工作得很顺利。闸板 K_2 、 K_3 和 K_4 通过3台并行的可编程序HSS31型计算机加以控制,这3台计算机还负责整个炉膛侧的联锁动作。计算机采用的是2V3电路。

位于中心空气管下端的转向锥体不仅对煤的点火而且对 NO_x 含量都有重大影响。转向锥体的角度越大,点火就越好,但 NO_x 含量也就越高。由于燃料品种范围广,把转向锥体角度定为45°。测得的 NO_x 值为1600至

分级涡流燃烧器的闸板操纵图表

表 2

| 工 作 方 式 | K 1 | K 2 | K 3 | K 4 |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | 调节闸板 二次空气 2 | 调节闸板 中心管空气 | 调节闸板 二次空气 1 | 旋涡闸板 二次空气 1 |
| | 调 节 数 | | | |
| 冷却空气 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 锅炉通风 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 起动调节（重油）和燃烧室通风 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 燃油运行 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| 起动—混烧运行：重油和贫煤 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 起动—混烧运行：油和气煤 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| 运行：用油和贫煤起动—混烧运行 贫煤和重油 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| 运行：油和气煤 运行：气煤 | 5 | 2 | 3 | 2 |
| 运行：贫煤 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| 直接用贫煤点火 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 直接用气煤点火 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 起动—混烧运行：气煤和重油 | 5 | 3 | 2 | 2 |

1700毫克/米³，（也就是在5%O₂含量下求得NO₂）。在这里，燃烧是在O₂含量为2.1—2.7%（在辐射烟道内测得）下进行。

在电气除尘器灰分中的未燃物为1.5~3.5%。在起动后的头5个小时里，亦出现过7%的数值。在低负荷工况下（单室运行13万千瓦）未燃物增加10%。

其它运行结果

通过验收试验汽轮机组和锅炉设备性能担保值得到了证实。验收试验中测得总出力为31.5万千瓦时的单位热耗为2156大卡/千瓦小时（净值）。自1982年11月以来，平均的设备利用率为90%以上。从82年11月至83年7月这段期间，设备的使用率折算成12个

月来计算时为3645全负荷利用小时，因此符合所期望的利用率（图6）。

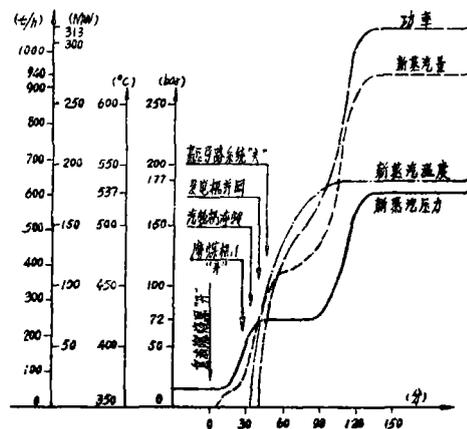


图 6 E4型30万千瓦机组的总发电量和利用率

自1983年6月以来,炉膛燃用了Sophia—Jakoba煤矿的劣质煤和低挥发分煤混合燃料,其混合比例为:劣质煤80%,低挥发分煤20%。

Sophia—Jakoba煤的分析数据如下:

| | | |
|-------------|---------|-------|
| 发热值 | 千焦耳/千克 | 28470 |
| | (大卡/千克) | 6800) |
| 含灰量(原始状态) | % | 8—11 |
| 含水量 | % | 10—13 |
| 挥发分(不含水和灰分) | % | 7.5 |

当给煤机转数不低于全负荷值的75%时,这一混合燃料可在无重油辅助燃烧的情况下用。这一数值可通过煤粉燃烧火焰的红外线监测器的火焰信号来加以测定。

1983年7月11日至83年8月21日这段假期期间,从星期一至星期五,机组每天都启动一次。

对此,得到如下启动时间(平均值)

——晚间停机后启动(8到10小时)

从“重油燃烧器点火起”到“发电机并网”需40分钟(图7)

——周末停机后启动(大约56小时)

从“重油燃烧器点火起到发电机并网”需1小时24分(图8)。

冷却水、冷凝水、给水等整个系统的投入运行和点火准备就绪前的予通风时间共需45分钟左右。

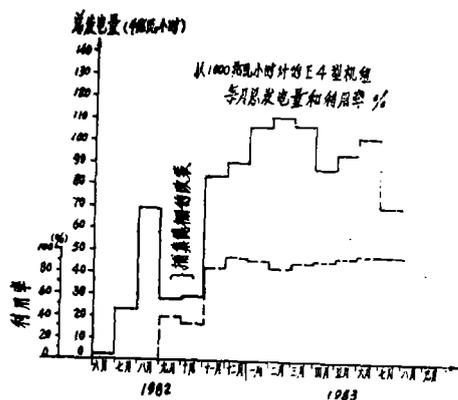


图7 E4型30万千瓦机组的热态启动(停机8至10小时后)

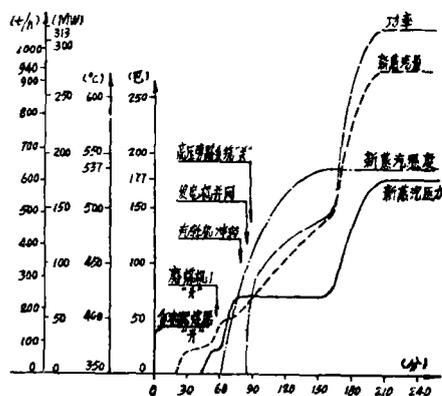


图8 E4型30万千瓦机组的热态启动(周末停机56小时后)

参考文献略

[王玉华译自VGB1983年第12期,余永清校]