

332477

工业部图书馆
馆藏

锅炉机组的改装

〔苏联〕Г.И.泽姆梁斯基等 著



中国工业出版社

42
843

鍋 炉 机 組 的 改 装

〔苏联〕Г.И.泽姆梁斯基等 著

徐 东 流 译

中 国 工 业 出 版 社

本书介绍发电厂各种型式锅炉机组改装的有关资料；介绍了成功的和失败的改装经验，列有不少数据，可供我国从事电厂锅炉运行和检修的工程技术人员参考。

Г. И. Землянский Я. М. Островский

Е. А. Радомский

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Госэнергоиздат Москва—1962

锅炉机组的改装

徐 东 流 译

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京修门内大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ ·印张 $12^{1/8}$ ·字数238,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—3,020·定价(科四)1.20元

统一书号: 15165·4032(水电-528)

目 录

序言	1
第一章 燃用莫斯科近郊煤的鍋炉	6
1-1 莫斯科近郊煤的特性	6
1-2 ЛМЗ厂制造的蒸发量150/180吨/小时、34绝对大气压、425°C的鍋炉	7
1-3 蒸发量180吨/小时、100绝对大气压、510°C鍋炉	12
1-4 蒸发量230吨/小时、110绝对大气压、510°CТН-230-2型鍋炉（对流受热面的改装）	20
1-5 ТН-230-1型鍋炉	28
1-6 ТН-200-1型鍋炉（改建对流竖井）	41
第二章 燃用頓巴斯貧煤和半无烟煤的鍋炉	45
2-1 頓巴斯貧煤和半无烟煤的特性	45
2-2 ЛМЗ厂制造的蒸发量180吨/小时、34绝对大气压、425°C三汽鼓鍋炉	46
2-3 蒸发量32/40吨/小时、60绝对大气压、485°C三汽鼓鍋炉	73
第三章 燃用泥煤的鍋炉	81
3-1 鑄切泥煤的特性	81
3-2 燃用鑄切泥煤的炉子	81
3-3 燃用泥煤的鍋炉在改装时的基本状况	83
3-4 蒸发量90吨/小时、21绝对大气压、400°C三汽鼓鍋炉	84
3-5 蒸发量50吨/小时、32绝对大气压、400°C单汽鼓鍋炉	86
3-6 МЭИ-Мосэнерго结构的鑄切泥煤噴燃装置	90
3-7 蒸发量50吨/小时、18绝对大气压、400°C四汽鼓鍋炉	96
第四章 燃用重油的鍋炉	99
4-1 重油的特性	99
4-2 蒸发量85吨/小时、28绝对大气压、400°C单汽鼓鍋炉	100
4-3 蒸发量55吨/小时、90绝对大气压、490°C单汽鼓鍋炉	106
4-4 蒸发量13吨/小时、60绝对大气压、390°C鍋炉	114
第五章 鍋炉改用天然气的改装	119
5-1 天然气的特性及其燃烧方法	119
5-2 鍋炉房的煤气供应	122
5-3 发电厂里燃烧天然气用的噴燃器	129
5-4 鍋炉改用天然气的实例和結果	138
第六章 供热用低压省煤器	146
第七章 对流受热面飞灰磨損和腐蝕的防止設施	155
7-1 防止受热面飞灰磨損用的內装式除尘器	155
7-2 对流受热面的防腐蝕設施	175
縮写字代表的机关名称	189
参考文献	190

序 言

虽然新型鍋炉的数量在日益增加着，但是要調換不經濟的老式鍋炉設備，未必一定合适。因而在发电厂实际运行中，对于最大限度地利用現有鍋炉設備，并把它們进行現代化改装和改建的問題予以很大的注意。

除了把老式鍋炉进行改装以外，在許多情况下还对新装設的鍋炉通过一系列改建工作加以調整，以便达到設計参数和所需的可靠性和經濟性。

鍋炉机組的改装設計工作由动力系统区域管理局的設計科及許多設計单位負責，在某些情况下則由鍋炉制造厂来进行。

在改装鍋炉时，各个单位对同一类型的鍋炉在結構上却有不同方案，并且所采用的方案往往沒有充分的依据，以致使投資、工作量和金属消耗量都增加。

鍋炉机組的改装設計包括：改装的依据，結構設計以及技术方案的选择，以保証最低的工作量和金属消耗量。

进行改装的合理性根据技术經濟核算来确定。这种技术經濟核算主要是說明所制定的措施的投資的回收期限。

在本文作者領導和参与下所完成的鍋炉机組的改装工作，能使鍋炉的蒸发量、經濟性及可靠性都得到提高，其投資在1~3年内即可得到回收。

鍋炉需要改装的主要原因是：鍋炉机組改用燃料品种，增大蒸发量，提高經濟性，提高可靠性以及延长連續运行時間。

改变鍋炉所用的燃料品种通常是由于該发电厂所在地区的燃料平衡发生了变化。

燃料品种的改变常有下列形式，如由块状泥煤改用鏟切泥煤，由含灰量少的褐煤改用含灰量多的褐煤，由含硫量高的褐煤改用貧煤和无烟煤屑，由固体燃料改用液体或气体燃料，以及将层式燃烧的鍋炉改为采用同一种燃料的悬浮燃烧鍋炉。

在改变燃料种类或其燃烧方法时，由于鍋炉机組的所有部件在結構上几乎都得改变，因此需要很大的改装工作量。

鍋炉由层式燃烧改为悬浮燃烧时，改装工作量最大。

在这种情况下需要：1) 建造一新的炉膛和相应的水冷壁，并装設噴燃裝置(在某些情况下必須抬高鍋炉)；2) 建立一煤粉制备系統；3) 加大过热器和省煤器的受热面；4) 由于要提高空气的預热溫度，因而必需加大或調換空气預热器，特別在燃用潮湿燃料或者揮发分少的燃料时；5) 改造具有分段蒸发組織的汽鼓內部裝置；6) 装設效率不低于90~95%的除尘設備。

在悬浮燃烧条件下，燃用固体燃料的鍋炉改用液体或气体燃料时，所需的投資最低，因为在这种情况下，只需花少量人工来改建炉膛設備，以供装設噴燃器，同时对过热器作少許改变，而原有的对流受热面仍保持不动。

在鍋炉改用燃料品种并建造新的炉膛时，宜最大限度地提高鍋炉机組的蒸发量。

在这种情况下，鍋炉的极限蒸发量可按照炉膛的額定参数，即燃用該种燃料时炉膛出口的热强度和温度预先确定。

当燃料品种改变时，是否需要进行改装，应以技术經濟核算及确定投资的回收期限为根据。加大过热器的改装尤其需要技术經濟論証。

在这种情况下，改装的預算費用 C_M 应与下列費用进行比較：1) 装設适合于燃用該种燃料的定型鍋炉的預算造价 C_{K+C} (在該鍋炉房內有可能布置这一鍋炉时)，包括土建部分的费用；2) 不扩大蒸发量的改装鍋炉的預算費用 C'_M 加上新的鍋炉房 (用以增加給定的蒸汽蒸发量) 的預算造价 $C_{H.K.}$ 。改装的預算費用 C_M 应比上述两种情况中确定的投資少20~25%，或相当于：

$$C_M = (0.75 \sim 0.8) C_{K+C};$$

$$C_M = (0.75 \sim 0.8) (C'_M + C_{H.K.}).$$

同时，改装投資的最佳回收期限，視燃料的价格不得大于1.5~3.0年。

通常由于发电厂的热負荷或电負荷增大，而鍋炉的容量与汽輪机的功率不相应时，需提高現有鍋炉的蒸发量。

为提高鍋炉蒸发量所进行的改装的工作量，主要与燃用的燃料品种有关。燃用潮湿多灰份燃料时，改装工作量为最大，包括如下項目：加大炉膛的容积，輻射受热面和过热器的受热面；改建对流受热面，以获得所要求的經濟性和可靠性；改建分离設備；調換或改建通风装置。

在提高鍋炉的蒸发量时，其改装的技术經濟核算系根据：鍋炉改装的預算費用 C_M 与新的类似鍋炉房 (用以增大給定的鍋炉蒸发量 D_K) 的預算造价 ΔC_K 对比。在这种情况下，鍋炉的改装費用应该比用以增加蒸发量的新鍋炉房的造价低15~20%，即：

$$C_M = (0.8 \sim 0.85) \Delta C_K.$$

当 $C_M > \Delta C_K$ 时，要增大鍋炉房的蒸发量，应该依靠装設新鍋炉来实现。

要提高鍋炉机組的經濟性，需要通过减少热损失的途径来实现，因热损失决定着鍋炉設備的效率：

$$\eta_{K.Y} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) [\%].$$

鍋炉机組是否适宜改装，系根据技术經濟核算确定。技术經濟核算的內容是，根据任务来确定降低总损失及其各项损失的效果。

要降低上述热损失，就須改建鍋炉机組的各个部件。

例如，要减少随排烟带走的热损失 q_2 ，主要是依靠降低排烟溫度，减少空气的过剩量及其漏入量，因而需要改建对流豎井，有时甚至需要改建炉膛。

当排烟溫度常比計算值高得多时，就需要进行这种改建。

在表B-1中列出了說明鍋炉排烟溫度的計算值和实际数值之間不符合的运行資料，取自安装在莫斯科动力系統各发电厂里的某些鍋炉，燃用莫斯科近郊煤。

上述鍋炉 (其排烟溫度的有关数据列入表B-1中)，在燃用潮湿多灰分燃料时，其对流受热面受到强烈的飞灰磨損，从而会引起事故性停炉。

在燃用含硫燃料时，由于排烟冷却到140~145°C，因而在烟气低温区域内，給对流受

表 B-1

指 标 名 称	鍋 炉 型 式					
	КО-Ⅱ	ПК-6	ТН-230-1	ТН-230-2	ТН-240	ТН-200
排烟的計算溫度, °C	170	196	183	172	160	175
排烟的实际溫度, °C	220	225	210	185	135	210

热面的防腐造成很大的困难。

因此对于燃用多灰分含硫燃料的鍋炉, 在改建对流豎井中的受热面时, 要降低排烟溫度就必须同时采取措施来防止上述受热面受到腐蝕和飞灰磨損。

对于燃用潮湿的多灰分含硫燃料的鍋炉, 改建对流豎井的工作量大致如下: 1) 加大受热面, 省煤器及空气預热器; 2) 加寬对流豎井的烟道(或装置专门的设备), 以防止飞灰磨損; 管距的大小要选择得能保证标准规定的烟气速度; 3) 装置耐腐蝕受热面(鑄鉄的, 搪瓷的以及专门型式的), 以防止低溫区域内对流豎井下部受到腐蝕; 4) 装設保护装置, 以减少管子通过砖衬处、密封縫以及豎井周边胀縮节的漏风量。

通常在改建对流豎井时, 已装設的通风装置保留不变, 因为依靠降低排烟溫度和减小其流速, 即可使吸风机适应新的条件。

只有在某些情况下, 当空气預热器的受热面大大扩大, 送风机的現有額定风压裕量不足以克服空气通道的附加阻力时, 就必须改装送风机。

改建对流豎井在技术經濟方面的根据是看改建投資回收期限的长短。改建投資是依靠提高鍋炉效率所达到的节约燃料和改变通风用电来回收的, 这时必须在改建預算投資费用中扣除对流豎井的平均大修费用, 包括定期更换及修复对流受热面和对流豎井其他部件方面的费用。

在这种情况下, 回收期限可根据下列关系确定:

$$O = -\frac{C_p - C_{\kappa.p}}{g_z} [\text{年}],$$

式中 C_p ——改建对流豎井的預算费用, 卢布;

$C_{\kappa.p}$ ——对流豎井的平均大修费用, 卢布;

g_z ——依靠提高鍋炉效率所节约的燃料费用, 卢布/年。

必須指出, 通常改建是在鍋炉下一次大修时进行的, 因此在确定改建费用时也必须計入所需的大修费用 $C_{\kappa.p}$ 。根据莫斯科动力系統的运行和計算資料, 对流豎井改建投資的回收期限, 按燃料的价值和质量不超过两年半到三年。

若要依靠减小热損失($q_3 + q_4$)来提高鍋炉的效率, 則在鍋炉燃用半无烟煤和无烟煤屑的情况下改建工作量为最大。在这种情况下常采取下列措施: 更換噴燃装置; 部分地改造煤粉制造系統; 改建炉膛下部, 以便由固态排渣过渡到液态排渣; 以及加大空气預热器(在热空气溫度不足时)。

在层式燃烧含有大量碎末未經分类的普通煤种的情况下, 要装設专门的装置, 使不同

粒径的燃料能在炉排上按区分布，組織双段燃料燃烧系統以及二次送风。

在某些情况下，常将燃料层式燃烧改变为悬浮燃烧。

是否需要全部或部分改建的技术經濟根据，也是取决于依靠节约燃料和改变电力消耗达到的投資回收期限，即：

$$O = \frac{C_p}{g_z + g_s} [\text{年}],$$

在这种情况下，其回收期限可能要比改建对流豎井来得长，但是不应当超过三年。

考虑到散入周围介质的热损失 q_s 主要与砖衬和保温层的結構有关，特别是在炉膛和鍋炉区，在改建工程施工时，采用能保証符合发电厂技术运行規程要求的結構和材料。在个别情况下，砖衬的結構是根据可能得到的所需砖衬和保温材料的具体条件来設計的。

与提高鍋炉的可靠性和延长其連續运行時間有关的改建工程，无需專門的根据，因为这显然是必要的。它主要包括：

- 1) 消除輻射面和过热器的結渣；
- 2) 改造不可靠的循环回路及带有分段蒸发組織的汽水分离装置；
- 3) 装設防止飞灰磨損的装置和清除受热面污物的装置——吹灰装置，鋼珠清灰装置，加入附加剂（菱鎂矿及其他），清洗装置；
- 4) 設置清洗內部受热面的装置。

可是，虽然采取上述措施的必要性是明显的，但必須根据技术經濟核算来选择。

由上可見，鍋炉的改装和改建工作量，可有很大的差別——从鍋炉某些零件或部件的少量改造直到制造全部鍋炉零件（除汽鼓以外）。

改装和改建工作范围的选择問題，不仅要从技术方面来解决，同时也要考虑到在該种条件下进行所拟定的改装的可能性。

表 B-2

名 称	总 单 价 (卢布)
$P=39$ 绝对大气压的中压鍋炉的炉膛水冷壁(連同炉室一起)，米 ²	14.0
$P=100$ 绝对大气压的高压鍋炉的炉膛水冷壁(連同炉室一起)，米 ²	18.0
$P=39$ 绝对大气压的中压鍋炉的过热器(用20号鋼制造)，米 ²	28.0
$P=100$ 绝对大气压的高压鍋炉的过热器(用15XМ鋼制造)，米 ²	38.0
$P=39$ 绝对大气压的中压鍋炉的蛇形管式省煤器(用20号鋼制造)，米 ²	15.5
$P=110$ 绝对大气压的高压鍋炉的蛇形管式省煤器(用20号鋼制造)，米 ²	20.5
管式空气預热器，米 ²	5.5
用鑄鉄肋片管制造的空气預热器，米 ²	17.0
烟气空气管路，吨	322.0
金属結構，吨	263.5
鍋炉范围内的管路及配件，吨	700.0
砖衬(平均)，米 ³	110.0
絕热层(平均)，米 ³	87.0

根据表 B-2所列的单价来确定总改装費用时，必須計入在非工厂条件下制造上述設備时花在夹具上的費用，占所制設備的总价的10~15%。

对于所选定的改装方案，按照現行标准編制預算。

由于大规模的改装现有锅炉和非成套锅炉在技术上是很复杂的，因而必须预先根据方案来检查是否适宜装置新生产的锅炉设备，以更换拟改装的锅炉机组。在根据技术可能性和技术经济核算进行了这样的方案检查之后，就可作出全部还是部分改装锅炉的决定。

为了估计投资费用，在选择改装方案时，莫斯科电力设计院使用了表 B-2 中所列的锅炉机组元件的单价。

上述单价系根据 1961 年的价目表及设备 and 安装手册列出。

第一章 燃用莫斯科近郊煤的鍋炉

1-1 莫斯科近郊煤的特性

莫斯科动力系統和土拉动力系統各发电厂所采用的莫斯科近郊煤田的煤，其工作质的平均成分如下：

$$\begin{aligned}C^p &= 29.1\%; H^p = 2.2\%; O^p = 8.7\%; \\N^p &= 0.6\%; S_k^p = 1.7\%; S_{op}^p = 1.2\%; \\W^p &= 33.0\%; A^p = 23.5\%; V^p = 45.0\%; \\Q_u^p &= 2510 \text{ 大卡/公斤}.\end{aligned}$$

在某些矿井开采的煤中，水分、灰分和含硫量的最大值达到 $W_m^p = 37.0\%$ ； $A_m^p = 45\%$ ； $S_{op}^p = 3.5\%$ 。

灰分溶解温度特性在下列范围内波动：

$$t_1 = 1000 \sim 1500^\circ\text{C}; t_2 = 1050 \sim 1500^\circ\text{C}; t_3 = 1100 \sim 1500^\circ\text{C}.$$

在取平均值时，

$$t_{1cp} = 1050^\circ\text{C}; t_{2cp} = 1225^\circ\text{C}; t_{3cp} = 1280^\circ\text{C}.$$

莫斯科动力系統各发电厂所采用的莫斯科近郊煤的平均灰分和平均水分的变化情况，

示于图1-1。

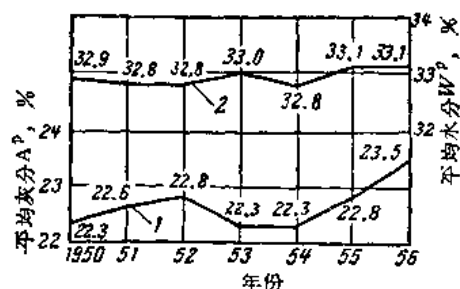


图 1-1 莫斯科动力系統各发电厂在1950~1956年期间燃用的莫斯科近郊煤的灰分和水分的平均值

1—灰分 $A^p, \%$; 2—水分 $W^p, \%$

根据个别发电厂的资料，灰分增加到28.7%（契列貝茨克国家地区发电厂），甚至更高。

莫斯科近郊煤中含硫量、灰分及水分较高，因而給設計新的鍋炉机組和改装現有鍋炉机組时造成了很大的困难。

从莫斯科近郊煤田中采掘出来的煤，用于莫斯科动力系統和土拉动力系統各发电厂的約占总产量的40%。

燃用莫斯科近郊煤的莫斯科动力系統和土拉动力系統各发电厂，鍋炉的总蒸发量高于10000吨/小时，其中有10台鍋炉燃用集中生产的煤粉，有22台鍋炉設有鋼球式磨煤机的单位制煤粉制造系統，有22台鍋炉装設豎井磨煤炉。在个别发电厂里，鍋炉的年平均效率达到88~89%。

为了燃用莫斯科近郊煤，采用各种类型的噴燃裝置，如設置在炉膛前墙或側墙上的渦流式噴燃器，角噴燃器以及回轉式噴燃器。

在燃用莫斯科近郊煤的莫斯科动力系統和土拉动力系統所属各发电厂里，所有的鍋炉不論燃烧方法如何，其燃烧过程基本上沒有化学不完全燃烧。机械不完全燃烧的热損失不

超过0.5~1.0%。总运行损失(q_3+q_4)=0.5~1.0%。

为了查明莫斯科近郊煤的灰分对磨细和燃烧的影响, 全苏热工研究院在具有竖井磨煤炉的 TII-230 型锅炉上进行了专门的试验。当干质灰分从33%增大到51%时, 燃料消耗量增大0.4倍, 进入炉膛的灰量, 在锅炉蒸发量不变的条件下, 增大1.1倍。

虽然煤的水分从34.4%降低到29%, 但是折算水分却从14.0%增大到15.9%, 因而使气体的容积增加了约14%。

试验表明, 机械不完全燃烧和灰渣物理热的热损失, 及厂用电能, 随燃煤灰分的增高而增大, 锅炉机组的效率则随之降低(图1-2)。

由于各个发电厂由排烟带走的热损失不同, 因而其锅炉机组的效率各有不同。

锅炉制造厂过去采用的计算排烟温度较高, 因而在许多燃用莫斯科近郊煤的发电厂里, 锅炉的效率本来就较低, 可是由于运行中排烟温度增高到200~220°C, 锅炉的效率就更加降低。

除了必须降低排烟温度以外, 也应提出减小热损失 q_2 的问题。减小这一热损失的方法是进一步改善燃烧过程和减小空气过剩系数到 $\alpha_r=1.15\sim1.25$ (视负荷而定), 以及减小锅炉机组中冷空气的漏入量。

在锅炉蒸发量保持不变而干质灰分从35%增大到50%时, 飞灰磨损加剧2倍。

下面列举许多燃用莫斯科近郊煤的锅炉为提高蒸发量、经济性以及其工作可靠性而进行改装的实例。

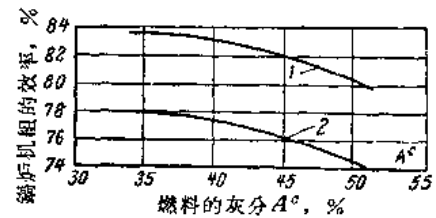


图 1-2 锅炉机组的效率与燃料灰分的关系($\frac{Q}{V}=110000\sim120000$ 大卡/米³·小时)
1—锅炉机组的毛效率, %; 2—锅炉机组的净效率

1-2 JM3厂制造的蒸发量150/180吨/小时、 34绝对大气压、425°C的锅炉

改装前锅炉的特性

锅炉是三汽鼓垂直水管锅炉, 受热面为2500米²(图1-3)。锅炉的额定蒸发量为150吨/小时, 最大连续蒸发量为180吨/小时, 蒸汽压力为34绝对大气压, 过热蒸汽的温度为425°C; 给水的温度为150°C, 热空气的温度为300°C, 排烟的温度(计算的)为170°C。在燃用莫斯科近郊煤时锅炉的计算效率 $\eta_k=82.0\%$ 。

水冷壁的辐射面为350米²; 炉膛容积为780米³, 装有10个涡流式喷燃器。

受热面为1400米²的过热器为逆流式, 用20号钢的 $\phi 38\times 3.5$ 毫米管子(顺列布置)制成, 蒸汽出口处(即烟气进口处)具有保护管圈。过热器的每一组是用三根蛇形管组成。

板式空气预热器的受热面为8200米², 没有省煤器。

煤粉制备系统是三风机式, 具有中间煤粉仓。

鍋爐的干燥磨煤設備，是由兩台 287/510 型鋼球式磨煤機組成，具有管式干燥器， $\phi 1000$ 毫米，磨煤機的出力（按無煙煤末而言）為16噸/小時。

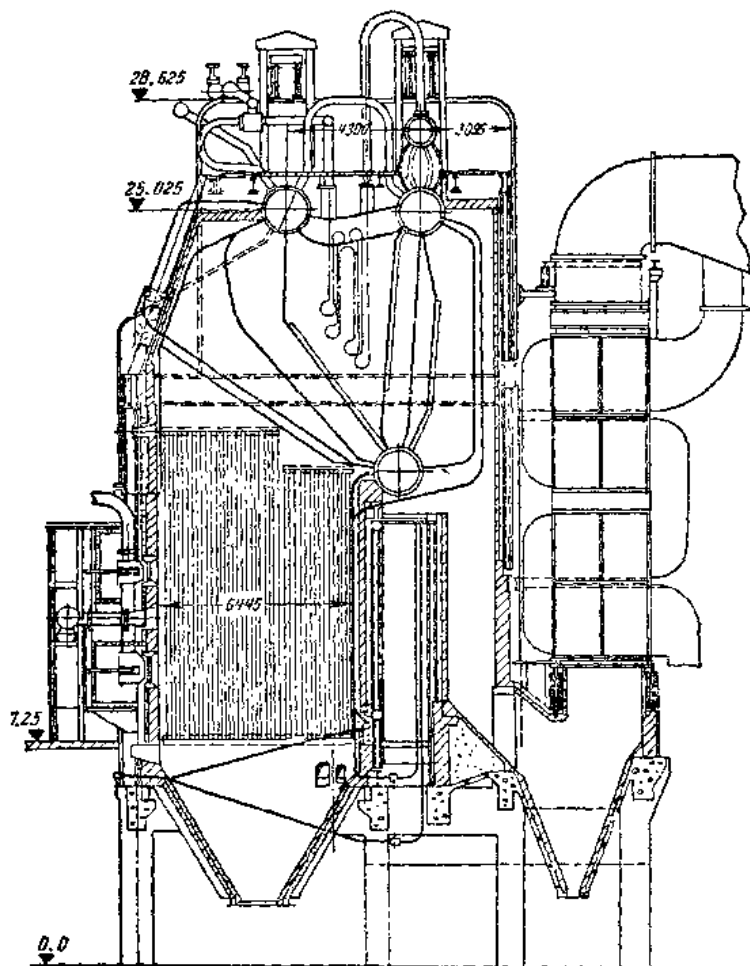


圖 1-3 JM3 廠制造的蒸發量150/180噸/小時、34絕對大氣壓、425°C鍋爐（改裝前）

鍋爐的通风裝置包括：兩台吸風機，每台出力為 360000 米³/小時，風壓為250毫米水柱；兩台送風機，每台出力為155000米³/小時，風壓為300毫米水柱。

根據實際運行資料，在鍋爐負荷為180噸/小時時，排煙溫度為200~210°C，鍋爐的效率 $\eta_k=80.0\%$ 。

鍋 爐 的 改 裝

鍋爐的改裝設計以下列給定參數為依據：鍋爐的負荷為220噸/小時，蒸汽壓力為32絕對大氣壓，過熱蒸汽溫度為425°C，給水溫度為 150°C，熱空氣溫度為 300°C，排煙溫度為 160°C；燃料為莫斯科近郊煤， $Q_k=2510$ 大卡/公斤， $W^p=34.38\%$ 以及 $A^p=19.04\%$ 。

為了將鍋爐的蒸發量從160噸/小時提高到220噸/小時，改變了爐膛的結構和水冷壁。由於設置了冷灰斗，使爐膛的容積增大到900米³（圖1-4）。

水冷壁用 $\phi 83 \times 3.5$ 毫米的管子制成；侧面的、后面的以及正面水冷壁的上部，管距为 100 毫米（ $\frac{s}{d}=1.31$ ）。正面水冷壁在喷燃器区域内的管距为 200 毫米；冷灰斗前壁的管距为 135 毫米。炉膛和锅炉管束的总辐射面为 508.4 米^2 。炉膛的水冷化程度为 0.87。

炉膛出口烟气的计算温度，当锅炉负荷为 220 吨/小时时为 1140°C ，而热强度为 175×10^3 大卡/米²·小时。

水冷壁的给水来自锅炉的下汽鼓。从侧面和后面水冷壁出来的汽水混合物被引入上面后汽鼓，而从正面水冷壁中出来的汽水混合物，则被引入前汽鼓。水冷壁给水管的总截面，分别取水冷壁管总截面的 20% 和 25%。

喷燃器 现有炉膛外形的截面尺寸为 6.4×11.8 米时，炉膛前面装置 10 个 Бабкок-ТКЗ 结构的煤粉喷燃器，沿炉膛高度分两排布置。每个喷燃器的出力为每小时 7 吨原煤。在两个喷燃器里装置了马弗喷燃器，供升火用。

锅炉的三风机式煤粉制造系统改建为单风机式。

过热器 由工厂供应的过热器工作年数已多，管子已经损坏，由于蒸汽沿蛇形管分布不均匀，蒸汽速度低，在锅炉负荷为 160 吨/小时时为 12 米/秒，并且有烟气走廊存在，因而工作不可靠。

由于蒸汽流速低，在管圈内引起水力差异，致使壁温升高到 450°C 以上。

在过热器的出口处装设 15XM 合金钢制的保护管圈，也不能完全消除过热器的事故。

新的受热面为 1360 米^2 的过热器结构（图 1-5），用 38×3.5 毫米的管子做成，每列由两个并列的蛇形管组成。在锅炉给定负荷 220 吨/小时时，使过热器中蒸汽的平均流速提高到 27 米/秒。

过热器系统采取逆流式，装有保护管圈，管子交错排列。横向管距 $s_1=100$ 毫米。为

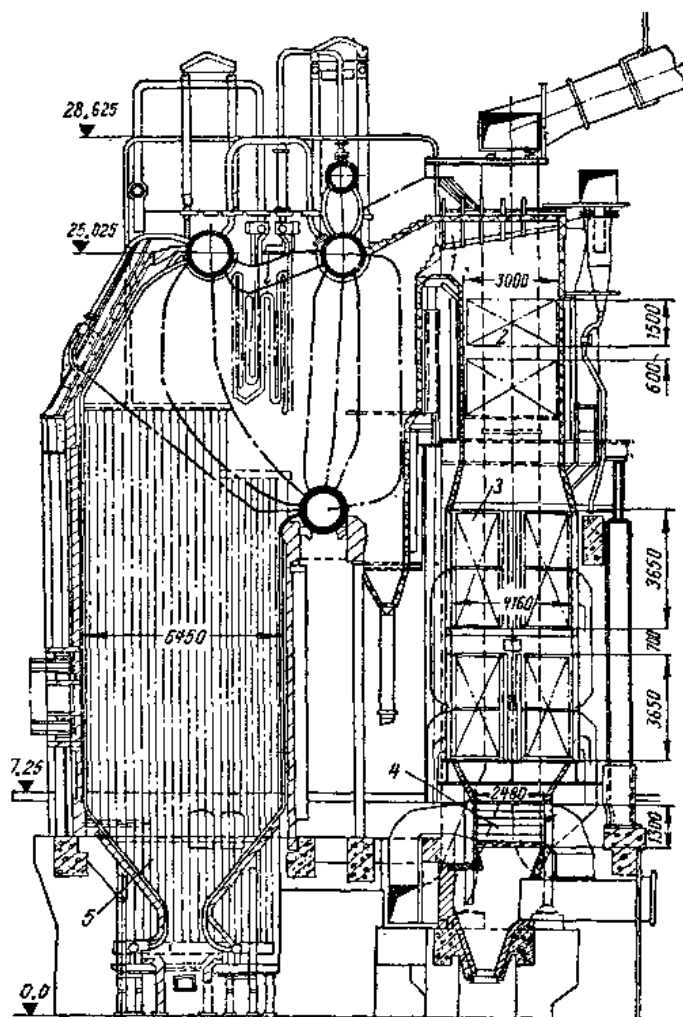


图 1-4 经过改装蒸发量提高到 220 吨/小时的 JM3 厂制造的锅炉（改装前的情形示于图 1-3，150/180 吨/小时，34 绝对大气压， 425°C ）

1—内装式百叶窗除尘器；2—省煤器；3—第二级空气预热器；4—第一级铸铁空气预热器；5—冷灰斗

了混合蒸汽，装置了混合联箱和交叉管。

过热蒸汽温度是通过喷嘴喷入凝结水来调节的，喷嘴装在干汽鼓和过热器进汽联箱之间的连接蒸汽管上。凝结水由发电厂里的直流锅炉和高压锅炉的给水管道的供给。凝结水的供给系统和喷射装置示于图 1-6 中。

锅炉的对流竖井 在锅炉给定负荷220吨/小时、排烟温度 160°C 的情况下，对流竖井中的受热面的布置，曾按下列两个方案进行过研究。

1) 双级空气预热器，在两级中间布置附加的省煤器；

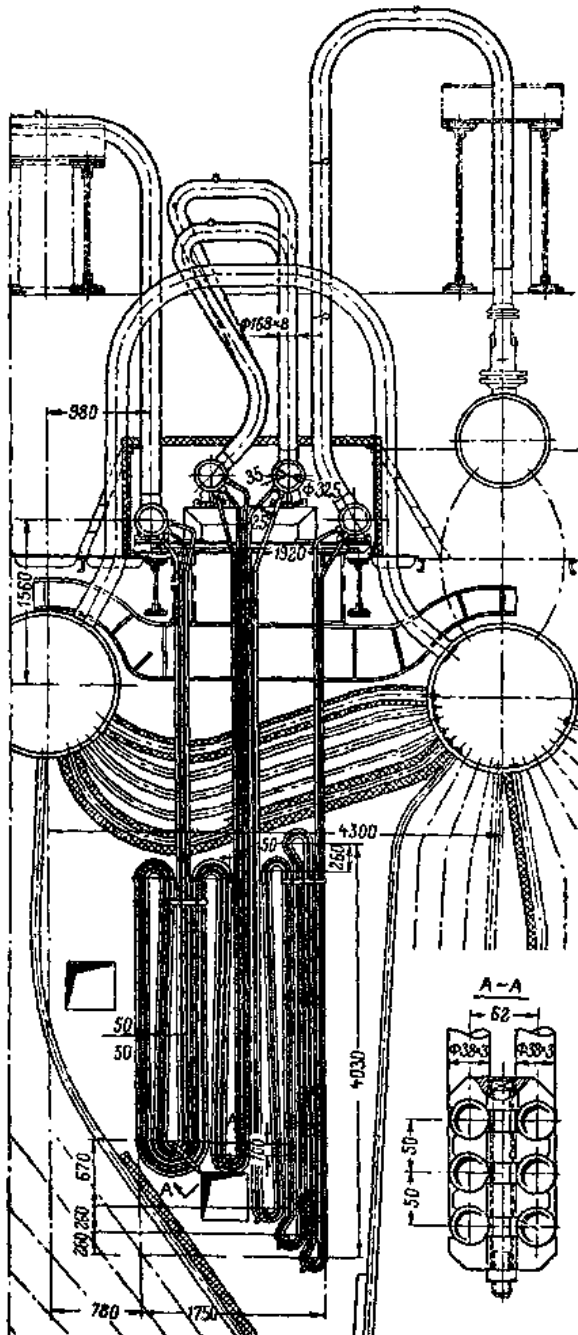


图 1-5 JM3厂制造的锅炉(图1-4)中的过热器，受热面为 1360米^2

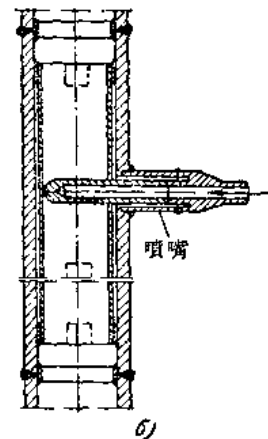
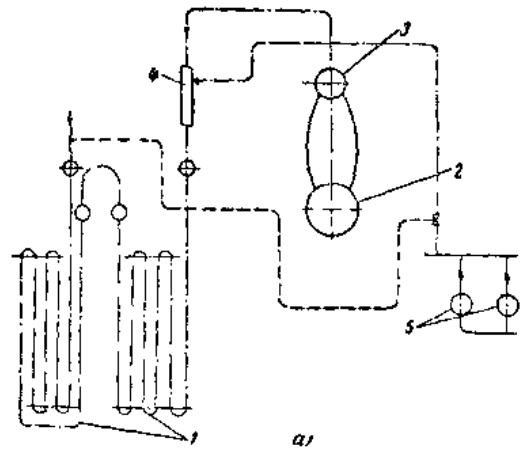


图 1-6 喷入凝结水以调节过热蒸汽温度

a—线路图；b—凝结水喷射装置
1—过热器；2—后汽鼓；3—干汽鼓；4—喷射装置；5—直流锅炉的给水泵

2) 单級空气預热器, 沿着烟气流动方向布置在省煤器的后面。

在这两个方案中均裝設尺寸小的管式空气預热器。这种預热器是由全苏热工研究院設計的, 用 $\phi 40 \times 1.5$ 毫米的管子做成, 双側供給空气。由于鍋炉后面的烟气温度較低, 等于 490°C , 双級布置在减少受热面方面并不有利。

对流受热面包括: 在第一方案中, 省煤器为 1800米^2 , 空气預热器为 10000米^2 ; 第二方案中, 省煤器为 1240米^2 , 空气預热器为 11500米^2 。

施工設計系根据单級布置的方案来完成, 因为在双級布置中, 由于省煤器的受热面較大, 用于构架和空气管道上的附加金属消耗量增多, 其投資也就大得多。

为了防止省煤器和空气預热器的管子受到飞灰磨損, 对流豎井的入口处設置了 ВТИ-Мосэнергoproект 結構臥置的內裝式百叶窗除尘器。

第一級空气預热器是用肋片鑄鉄管做成, 以防止腐蝕。在鑄鉄空气預热器內預定将空气預热到 95°C , 借以保証管式空气預热器的冷端壁温不低于 143°C 。

根据改裝設計, 尾部受热面的計算指标列在表1-1中。

表 1-1

指 标 名 称	数 值	指 标 名 称	数 值
原始数据		空气速度, 米/秒	7.75
鍋炉負荷, 吨/小时	220	入口空气温度, $^{\circ}\text{C}$	95
蒸汽压力, 绝对大气压	34	出口空气温度, $^{\circ}\text{C}$	292
过热蒸汽温度, $^{\circ}\text{C}$	425	出口烟气温度, $^{\circ}\text{C}$	186
給水温度, $^{\circ}\text{C}$	150	計算传热系数, 大卡/米 ² ·小时· $^{\circ}\text{C}$	17.7
排烟温度, $^{\circ}\text{C}$	156	壁温, $^{\circ}\text{C}$	~143
鍋炉机組的效率, %	88.9	鑄鉄空气預热器	
燃料的每小时消耗量, 吨/小时	58.4	受热面, 米 ²	1360
省 煤 器		管子长度, 米	2.48
省煤器前的烟气温度, $^{\circ}\text{C}$	490	管子排数(沿深度方向)	5
受热面, 米 ²	1240	入口烟气温度, $^{\circ}\text{C}$	186
管子直径——外径/內径, 毫米	38/30	入口空气温度, $^{\circ}\text{C}$	40
管距(錯列) s_1 , 毫米	100	出口空气温度, $^{\circ}\text{C}$	95
管距 s_2 , 毫米	144	排烟温度, $^{\circ}\text{C}$	156
烟气通道的截面, 米 ²	16.3	烟气速度, 米/秒	13
烟气的平均速度, 米/秒	12.5	空气速度, 米/秒	16
入口水温, $^{\circ}\text{C}$	150	传热系数, 大卡/米 ² ·小时· $^{\circ}\text{C}$	21.3
出口水温, $^{\circ}\text{C}$	202	烟气側的阻力	
传热系数, 大卡/米 ² ·小时· $^{\circ}\text{C}$	56	省煤器阻力, 毫米水柱	80
管式空气預热器		管式空气預热器阻力, 毫米水柱	49
空气預热器前的烟气温度, $^{\circ}\text{C}$	335	烟气側的总阻力, 毫米水柱	145
受热面, 米 ²	11500	空气側的阻力	
管子直径, 毫米	40/37	鑄鉄空气預热器阻力, 毫米水柱	45
管距 s_1 , 毫米	60	管式空气預热器阻力, 毫米水柱	152
管距 s_2 , 毫米	40	空气側的总阻力, 毫米水柱	197
烟气速度, 米/秒	12		

改装后鍋炉的运行工作指标

鍋炉的蒸发量为200~220吨/小时，排烟温度为160~170°C，热空气的温度为290°C，鑄鉄空气預热器后的空气温度为86~90°C。鍋炉的效率为88~88.5%。

鑄鉄空气預热器烟气側的阻力为20毫米水柱，管式空气預热器烟气側的阻力为45毫米水柱。鑄鉄空气預热器空气側的阻力为50毫米水柱，管式空气預热器空气側的阻力为160毫米水柱。

在5年內的运行观察表明，管式和鑄鉄空气預热器的受热面状况良好，管式空气預热器沒有发现腐蝕。

装置百叶窗除尘器，可以消除省煤器和管式空气預热器的管子受到飞灰磨損。

1-3 蒸发量180吨/小时、100絕对大气压、510°C 鍋炉

改装前鍋炉的特性

希哈式鍋炉（图1-7）具有下列計算特性：

鍋炉蒸发量为180吨/小时，蒸汽压力为100絕对大气压，过热蒸汽温度为510°C，給水温度为200°C。

炉膛容积为1400米³，宽度为9.5米，深度为9.0米，輻射面650米²。炉膛水冷壁用 $\phi 70/5$ 的管子做成，管距为140毫米 $\left(\frac{s}{d}=2\right)$ 。

为了磨細燃料，在炉膛的四角装置四台豎井式磨煤机，每台出力为20吨/小时。

沿烟气流动方向装設的对流受热面的特性列入表1-2中。

表 1-2

受 热 面 名 称	面 积 (米 ²)	管子直径和 管壁厚度 (毫米)	管 距 (毫米)	
			s_1	s_2
費斯頓管	81.5	70×5	280	290
第一級臥式过热器	785	38×5	100	75
第二級臥式过热器	1000	38×5	100	75
二次蒸汽过热器 ($p=25$ 絕对大气压; $t_{\text{sat}}=420^\circ\text{C}$) ^①	900	38×5	100	75
第三級鑄鉄空气預热器，用肋片管制成	2310	—	150	250
省煤器	2350	32×3.5	50	50
第二級板式空气預热器	5040	—	烟气間隙 18毫米	空气間隙 15毫米
第一級空气預热器，用肋片鑄鉄管制成	1350	—	150	250

① 該鍋炉配合蒸汽中間过热的汽輪机工作。

費斯頓管和省煤器的管子按錯列布置。过热器的管子用硅鋼制成。过热器装在用耐热鋼制的吊架上。

过热器系統是双級式，第一級过热器分成两束，布置在烟道的兩側，而第二級过热器布置在第一級管束的中間。在第一級和第二級过热器之間装置了圓筒形噴水式減溫器，其

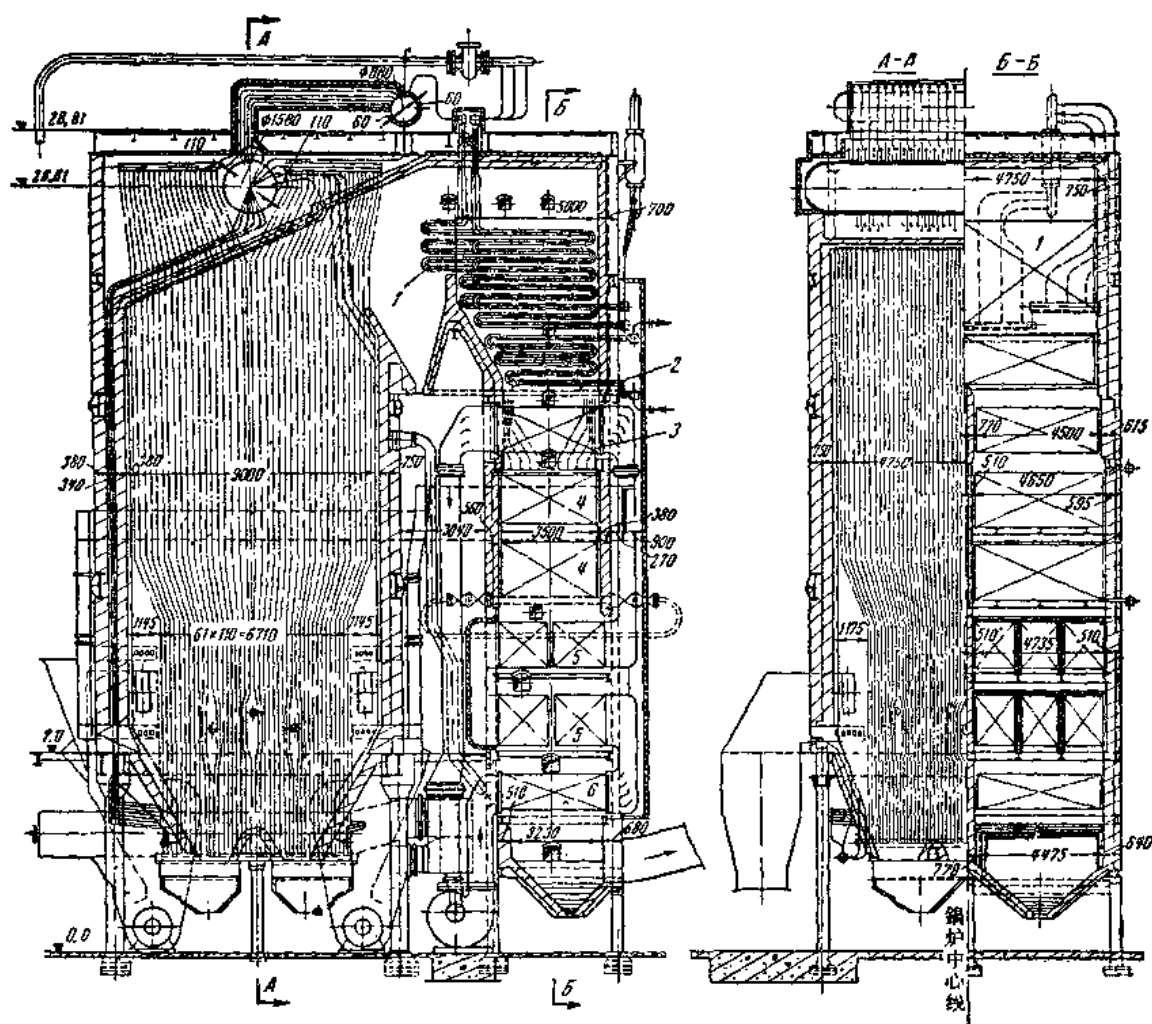


图 1-7 蒸发量180吨/小时，100绝对大气压，510°C的锅炉（改装前）

1—过热器；2—二次蒸汽过热器；3—第三级铸铁空气预热器；4—省煤器；5—第二级板式空气预热器；6—第一级铸铁空气预热器

下部用拉希克环堵塞。

第三级空气预热器用耐热铸铁管制成。

锅炉经过长期使用，在运行过程中发现下列缺点：炉膛结渣，因而锅炉的负荷不能高于140吨/小时；蒸汽的过热度较高，因而喷射需用的凝结水量在30吨/小时以上，蒸汽过热器吊架断裂。

锅炉的改装

在进行改装设计（图1-8），使锅炉改燃莫斯科近郊煤时，最大限度地利用了原公司供应的受热面（除了已磨损的以外）。锅炉的计算负荷采用220吨/小时，蒸汽参数为100绝对大气压，500°C。

由于到设计时（1946年）为止，还没有足够的大型竖井磨煤机以莫斯科近郊煤工作的