

苏联直流锅炉

B·B·波利亚柯夫編著

中国工业出版社

苏联直流锅炉

B. B. 波利亚柯夫 編著

严金綏、周仲璋、葛友康 譯

楊立洲、唐国琛 校

中国工业出版社

本书概述了莫斯科动力局第九热电站的工作人员在掌握和改善苏联第一台工业直流锅炉过程中的经验。

书中对锅炉的结构、调整、运行指标、水质情况、热工监督、远距离操纵、工况调节、水动力学问题等均分章说明。

书末对直流锅炉的发展远景作了概括的叙述。

本书可供从事设计与制造直流锅炉的工程技术人员参考，也可作为本专业大学师生的参考书。

В. В. ПОЛЯКОВ

‘СОВЕТСКИЕ ПРЯМОТОЧНЫЕ КОТЛЫ’

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1958年第一版

* * *

苏联直流锅炉

严金綏、周仲璋、葛友康译

楊立洲、唐国琛校

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张16⁵/₈·字数259,000

1962年3月北京第一版·1962年3月北京第一次印刷

印数0001—1,120·定价（10-6）1.40元

*

统一书号：15165·399（一机-68）

目 次

原序.....	4
第一章 鍋炉結構及其运行的可靠性.....	5
第二章 鍋炉的調整和运行指标.....	42
第三章 直流鍋炉的水质情况.....	58
第四章 第一台工业用直流鍋炉的热工监督、調整和远距离操纵.....	79
第五章 直流鍋炉的工况調整.....	87
第六章 直流鍋炉的水动力学問題.....	109
第七章 直流鍋炉制造的发展.....	123
第八章 直流鍋炉的应用及发展远景.....	144
附录 第一台工业直流鍋炉的事故停炉.....	167
参考文献.....	170

原 序

本书概述了苏联第一个高蒸汽参数电站——莫斯科动力管理局第九热电站的工作人员在掌握和改善 И. К. 拉姆金教授的第一台工业直流锅炉的工作方面所经历的道路。

书中阐述了苏联直流锅炉制造业发展远景的现代状况。

И. К. 拉姆金教授创造了世界实践中第一台高蒸汽参数(140 绝对大气压, 500°C) 和具有当时最高蒸发量的工业直流锅炉。

该锅炉乃是直流锅炉制造业采用高蒸汽参数的先驱者。

虽然在设计和制造该锅炉时, 对金属在高温高压下的工作尚没有什么足够的经验, 但直流锅炉制造局(БПК)大胆而正确地决定了锅炉受热面和蒸汽导管的钢号选择问题。这应当认为是它在发展高蒸汽参数锅炉方面的巨大成就。

在观察了第九热电站和直流锅炉制造局全体人员辛勤劳动的成果后, 可以看到, 作为锅炉结构基础的大多数技术决定是正确的。

第一台工业锅炉掌握的经验以鲜明的说服力证明了我们党关于大胆采用新技术思想和先进科学成就这一要求的深刻正确性。

从第一台工业直流锅炉起动到现在已过去 23 年多了。

这台锅炉的运行经验是大有教益和极为有用的: 它查明了一系列的原则, 利用这些原则就可创造新的锅炉结构并使之服务于苏联应用高参数蒸汽的事业。

最近几年来出现了一些具有新的比较完善的结构和大蒸发量的直流锅炉。在不久的将来一定可期望生产出超高蒸汽参数的锅炉。

为了贯彻苏联共产党第二十次党代表大会关于不断促使技术进步的指示, 第九热电站的全体人员装置了化学高效除盐设备。1957 年对补给 20~40% 化学除盐水的第一台直流锅炉进行了运行试验。试验证明, 当用化学除盐水补偿的循环中冷凝水损失量在 40% 以下时, 直流锅炉完全可能长期运行。

改用化学除盐水供给大型工业直流锅炉的转变, 乃是在进一步发展直流锅炉制造业的道路上一个崭新的里程碑。

本书由下列作者集体写成: И. Р. 巴然诺夫, А. А. 达维道夫, И. П. 达浮道夫, Б. Я. 杰列克吐尔, П. С. 米哈依连柯, Ф. П. 巴甫洛夫, Б. И. 塞依宁和 Б. И. 什姆克列尔。

В. 波路柯夫

第一章 鍋炉結構及其运行的可靠性

1. 鍋炉系統的說明

第一台工业用直流鍋炉的結構是Л.К.拉姆金教授在1931~1932年設計成的。鍋炉的施工图和鍋炉的制造是由以列宁命名的涅瓦机器制造厂完成的。鍋炉机組完全由国产材料制成。

鍋炉設計成蒸汽工作压力为140大气压和温度 500°C ，当給水温度为 $200\sim 210^{\circ}\text{C}$ 时蒸发量为 $150\sim 200$ 吨/时。鍋炉有一个压力为25大气压的中間过热器，以便把蒸汽温度由 260° 提高到 380°C 。

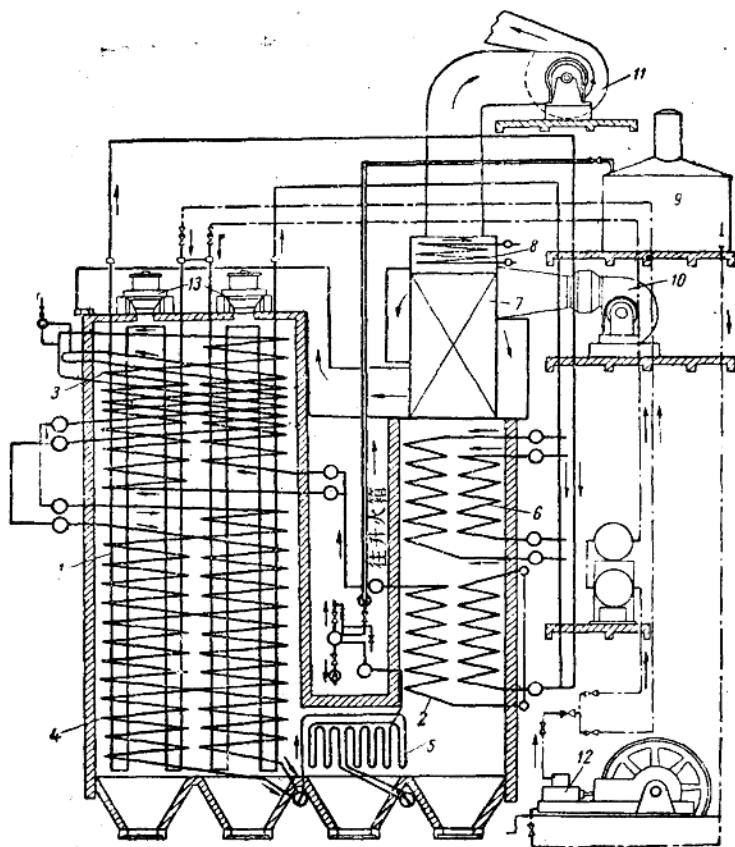


图 1-1 第一台工业用直流鍋炉的原理系統:

- 1—悬吊管； 2—省煤器； 3—上辐射部(BPЧ)； 4—下辐射部(HPЧ)；
 5—对流蒸汽过热器； 6—中間蒸汽过热器； 7—空气预热器； 8—低压
 省煤器； 9—升火箱； 10—鼓风机； 11—引风机； 12—往复式給水
 泵； 13—煤粉燃燒器。

鍋爐可以工作于高压,也可工作于中压。工作于中压时,中間过热器接在高压过热器后面作为过热蒸汽管道的一部分。

鍋爐机組制成U形,燃燒器布置在炉室頂部。

鍋爐机組作这样的布置是不得已的,因为机組是为了安装在一个已建成的鍋爐房內(通风設備在除氧层上面)而設計的。在运行中这种布置沒有引起任何不方便。

直流鍋爐裝在从前供蒸发量为 50 吨/时的本生鍋爐用的小房間里。

正如鍋爐的原理系統所示(图 1-1),水被往复式給水泵在 105°C 温度下先送至再生式加热器,由此流向炉室水冷壁的悬吊管,然后进入对流省煤器;从省煤器出来,水就沿着由 24 根管子組成的管束順次通过炉室水冷壁的上輻射部(BPЧ),而后通过下輻射部(HPЧ)。

按工质的凝聚状态,上輻射部可分为輻射省煤器,鍋爐的蒸发区和輻射过热器。上輻射部的这些区段中的每个区段的受热面不是确定不移的数值;它随鍋爐机組的負荷而变化。

过热蒸汽由上輻射部出来,經過混合联箱流入下輻射部,后者(也包括制粒器——指一种噴水器——譯者)全部是輻射过热器。下一步的蒸汽过热是在位于炉室烟氣出口的对流蒸汽过热器中实现的。 500°C 过热蒸汽的汇集联箱布置在鍋爐的操作平台上。

上輻射部和下輻射部的管束是这样悬挂在炉室內的:它們将炉室分成四个象限,构成了炉室的双面曝光水冷壁(图 1-2),炉室烟氣順次冲刷上輻射部,下輻射部,对流过热器,对流省煤器,二次过热器和最后的空气預热器。引風机和鼓风机,如上所述,位于鍋爐的頂部平面。

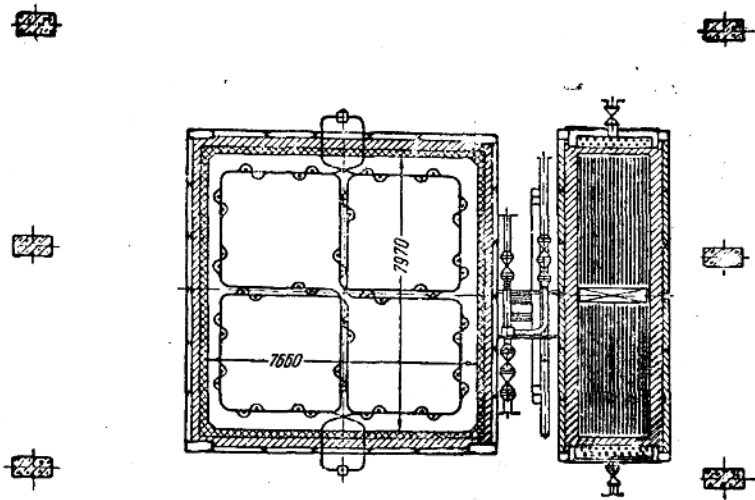


图 1-2 第一台工业用直流鍋爐的平面布置图。

在这台鍋爐中(在 1953 年进行改装以前)蒸发告終和过热开始的区域位于上輻射部中段,即在炉室負荷高的区域。自然,这就对給水品質提出了严格的和較高的要求。

双面曝光的炉室水冷壁,其全部管子受热面的热强度是靠爐水冷壁热强度的 $2\sim 2.5$ 倍。这就保証较好地利用受热面和促使管子的热負荷在沿每根管的长度及其周界上都很均匀。

在炉室中布置水平的蛇形管,它們成为双面水冷壁并将炉室分为四部分,这提高了鍋爐每吨重量的单位蒸发量。

在鍋炉的对流省煤器中进行水的高度預热,所以給水主要在省煤器对流部分預热,可以保証鍋炉最好的調节能能。

鍋炉设备的重量列于表 1-1。

表 1-1. 第一台工业用拉姆金直流鍋炉设备的重量

名 称	制 造 厂	重 量	
		吨	%
承压受热面 (包括备件和备用管)	H3Л	122.4	19.2
联箱, 汇集箱和三通 (包括备件)	“紅色布基洛維茲”和H3Л	25.9	4.0
高压连接管道 $\varnothing 159/125$ 毫米	H3Л	10.63	1.5
鍋炉范围内的小直径輔助管道	H3Л	4.2	0.7
高压和低压的法兰 (包括鍋炉房管道的輔助法兰)	“紅色布基洛維茲”和H3Л	13.3	2.1
在鍋炉房的輔助管道和部分总管道上的低压附件	H3Л	13.0	2.0
吹灰器	H3Л	6.9	1.1
輻射部和对流部的鋼架和煤斗框架	H3Л	125.5	19.5
烟囱架	H3Л	6.1	0.9
对流部: 輻射部和风道的护板	H3Л	37.9	5.9
安装配件和连接件	H3Л	9.7	1.5
特殊的双头螺絲和螺帽 (Дверь)	H3Л	5.0	0.8
2个引风机	H3Л	20.0	3.1
2个鼓风机	H3Л	8.0	1.2
平台和扶梯	H3Л	30.7	4.8
空气預热器	ЛМЗ	192.4	30.0
煤粉燃器	ЛМЗ	7.6	1.2
石油设备	ЛМЗ	3.0	1.5
共 計		642.23	100.0

2. 鍋炉的鋼結構

直流鍋炉鋼結構的特点是其重量比同样蒸发量和同压力的汽鼓鍋炉的鋼結構来得輕。在設計和制造第一台直流鍋炉时,它的鋼結構达到了最小的重量。

鋼結構由两个独立部分组成: 鍋炉輻射部分的鋼結構和对流部分的鋼結構(图 1-3)。

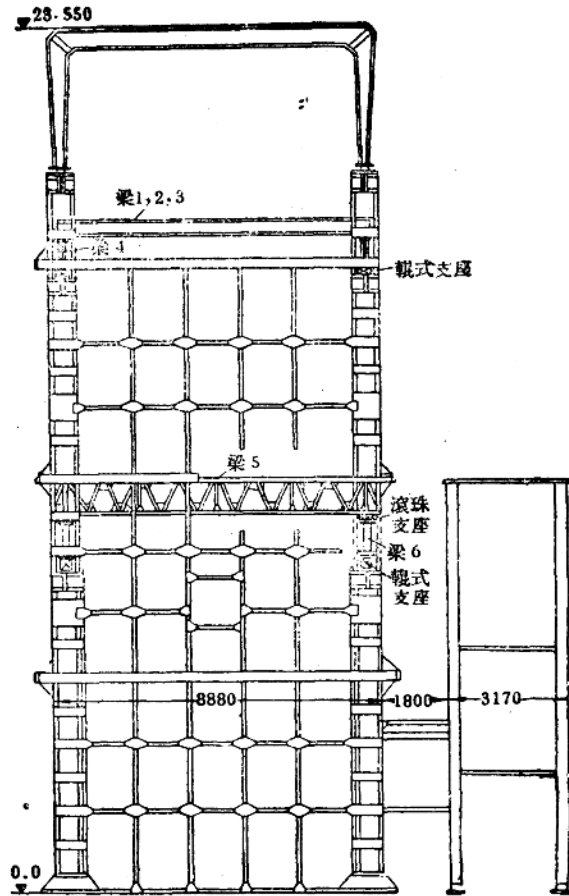


图 1-3 鍋爐的鋼結構 (側視圖)。

为了改善冷却条件,梁 4、5、6 等制成桁梁,由两根平面桁架組成。

为避免梁在温度变形时膨胀,各負荷梁都放在鞍式或滾珠支座上。

鍋爐对流部分的鋼結構由四根高 12.2 米的柱組成。在纵向方面用两根桁架在上面將鋼柱牢固地連接起来。桁架上放置空气預熱器的支承梁。在橫向方面用鉚接梁連接鋼柱,这些梁就作为二次过热器の上、下联箱的吊架。

輻射部分和对流部分的鋼結構彼此用一些梁來連接,并以这些梁作为对流过热器联箱和管子等吊架的支座。

設計鋼結構时取較高的許用应力,約 1200~1400 公斤/厘米²。

鍋爐鋼結構总重,包括煤斗框架約 111 吨。

鋼結構各部分重量列于表 1-2 中。

表 1-2 鋼結構零件重量

各 部 名 称	数 量	总 重, 公 斤
輻射部分的鋼柱	4	17000
梁 1、2、3	7	8120
梁 4	2	3500
梁 5、6	4	4200
弦杆	3	21600
鋼結構的构架	—	20700
煤斗框架	—	10600
对流部分鋼結構	—	25000
其它零件	—	14780
共 計		125500

3. 輻射受熱面

炉室水冷壁由上、下輻射部的管圈組成；它們固定在起輻射省煤器作用的垂直悬吊管上。由給水泵送来的水在这些管子中加热至 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

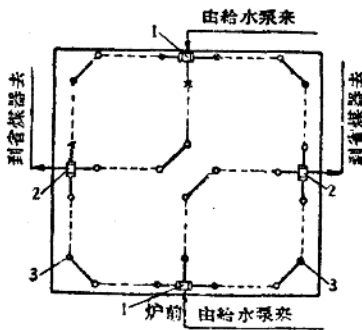


图 1-4 悬吊管原来位置的示意图:

1—进口联箱； 2—出口联箱；
3—悬吊管。

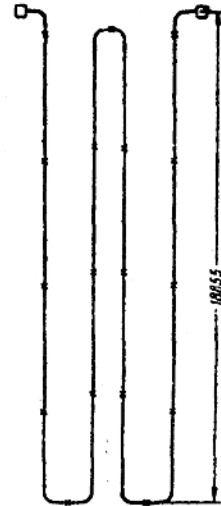


图 1-5 悬吊管組。

給水(图 1-4)从高压再生式加热器出来,送入悬吊管的两个进口联箱,后者位于炉室頂部热风道上面,鍋炉的前面和后面各一。由每一进口联箱引出三組并联的垂直悬吊管,它們分布于相应的炉室墙壁上。每組(图 1-5)由直徑为 70×8 毫米的四根悬吊管彼此順次連接而成。

悬吊管的出口联箱位于炉室側墙,与进口联箱处于同一水平面上。悬吊管挂在球式支座上,后者又固定在輻射部鋼架的 1、2 和 3 等梁上。有了球式支座,悬吊管在鍋炉运行时就可以輕微地移动。中間的悬吊管具有固定支座,以便固定整个系統的位置。

悬吊管用牌号 15XM 的鉻鉬鋼制造。

鍋炉的运行經驗表明,焊于悬吊管上的托架久而久之边缘逐渐燒燬,致使輻射受热面的管圈从其上滑落和使水冷壁管的正确节距遭受破坏。水冷壁管圈的滑落也会因悬吊管变形而发生。管圈的滑落使得管系在某些地方无規則地交織起来和使炉墙水冷程度不均匀。所以1948年用增加悬吊管数量的办法改装了用悬吊管紧固管圈的系統。在每組中接入8根管子,即垂直悬吊管的数量由24增加到48根,总的受热面积为167米²。为了保証可靠的紧固,在24根补装的悬吊管上的管圈做成带有特别的弯曲(图1-6),使它們牢牢箍住悬吊管而不让管圈滑落。

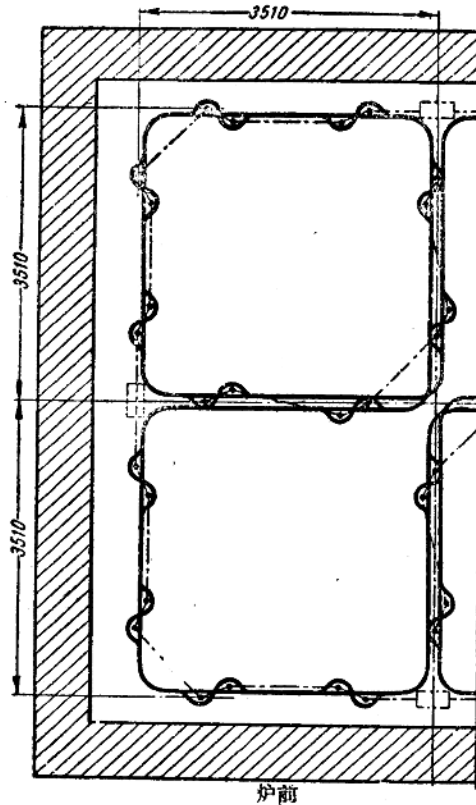


图 1-6 輻射部管子紧固的改变。

鍋炉輻射部分的管圈系統如图1-7所示。

在鍋炉豎井的后墙上安置两个进口联箱,水由省煤器送入此处,然后沿四条管路通入上輻射部全部的四个象限。

每一条管路由6根直徑42×6、节距120毫米的管圈組成,然后这些管圈轉为直徑54×7毫米、节距同上的管圈。

鍋炉上輻射部管圈在出口处轉入位于輻射豎井上側的一些三通管。这些三通管借助直徑40毫米的一些管閥而与上混合联箱連接;它們尚附加一些直徑20毫米的管閥,后者借助管子而与排污联箱連接。关闭直徑40毫米的管閥和开启直徑20毫米的管閥,就可使輻射受热面上部管圈中的任意管圈进行排污。

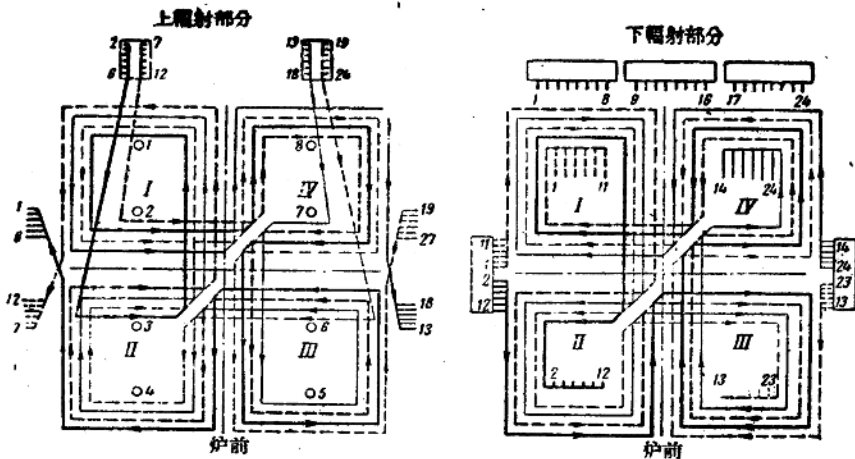


图 1-7 锅炉辐射部分的管圈系统。

这样，在上辐射部的出口处形成了颇为笨重的、且带有大量高压附件的排污系统。

锅炉的运行表明没有必要利用这些排污阀，故后来整个上述系统被取消了。上辐射部的出口管圈直接就和位于锅炉侧墙上面的各混合联箱连接。

就这样，取消了48个阀门，24个三通管和相应数量的连接法兰。为了改善管圈的水动力特性，以便稳定上辐射部各管圈出口处的蒸汽温度，在从24根管圈转为19根管圈的入口处安置了直径10.5~14毫米的节流圈。给水在上辐射部中加热至沸腾温度，然后变成蒸汽并稍稍过热后进入混合联箱。

锅炉上辐射部管子的实际受热面为530米²。

蒸汽从上辐射部的出口混合联箱出来，经过下行蒸汽导管，沿锅炉两侧进入下辐射部的进口联箱。

锅炉下辐射部的四条并联管路，每条都由6根直径60×7.5管子组成，同时这些管圈和上辐射部的管圈一样，也通过炉室全部的四个象限，借此使它们达到比较均匀的受热和形成炉室下部的双面曝光水冷壁。

在作为辐射过热器的下辐射部管圈中，蒸汽顺着烟气的流动方向由上往下地流动。在辐射竖井下面，管圈转入制粒器，该制粒器上的直径60×7.5毫米的管子通向对流过热器的进口联箱。

表1-3所列数据表示辐射受热面在最初完成时其各部分的特性。

表 1-3

名 称	度量单位	管 径 ， 毫 米				共 计
		42/30	54/40	60/45	70/54	
蒸汽或水的管路长度	米	141.2	24.8	71.8	79.4	317.2
全部制造面积	米 ²	447	101	325	105	978
全部受热面积	米 ²	440.6	91	314.6	83.5	929.7
总重	公斤	18272	4847	19806	6321	49246
钢的牌号	—	15M	15M	15M	15XM	—

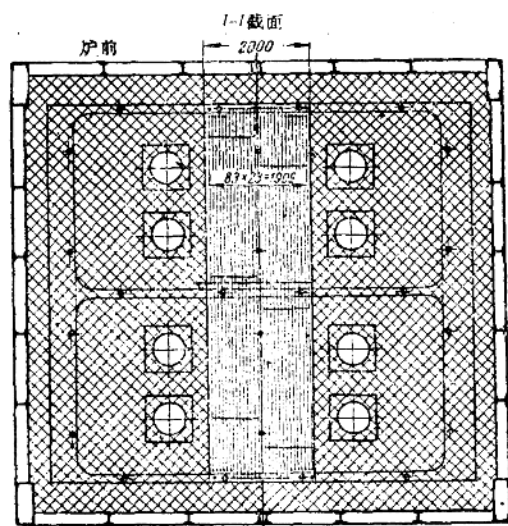
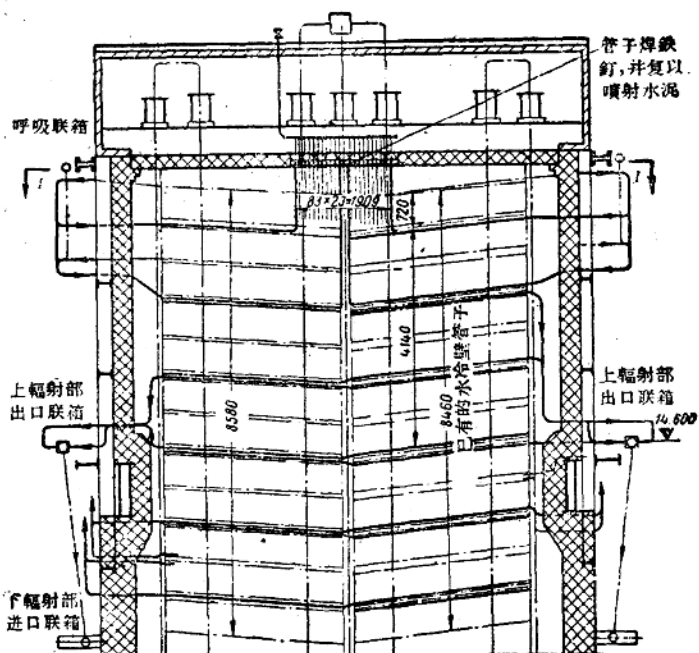


图 1-8 鍋炉上辐射部的补充水冷壁。

应当特別指出, 就在这第一台工业直流鍋炉中的蒸发部分已經由两种直径: 42×6 和 54×7 毫米的管子組成, 以便促使鍋炉有稳定的水动力特性。

鍋炉在用頓尼茨貧煤工作时, 长时间的运行經驗表明, 帶有 120 毫米大节距管圈的炉室水冷壁并不能保証可靠地保护炉室磚墙。当砌体厚度为两块磚时, 炉室上部的磚墙經过在 150 吨/时負荷下工作 1000~1500 小时后被燒穿。

为了提高鍋炉磚墙工作的可靠性,1953年第九热电站根据直流鍋炉制造局的设计,用补充水冷壁的方法改装了上辐射部分。用直径 54×7 毫米管子制成的管圈顺次和上辐射部的出口管圈连接,并且由上往下是用120毫米的节距。它们位于由 42×6 毫米管子制成的各上行管圈之间。这样,在改装后炉墙方面的水冷壁管圈的节距就成为60毫米。上辐射部的各混合联箱略有下移,这就缩短了它们在它们和下辐射部进口联箱之间的旁路蒸汽导管的长度。

补充水冷壁(图1-8)做在4500毫米宽的辐射部分上;如前所述,它由牌号为15XM、直径 54×7 的钢管制成,总长1060米,重8.6吨。

后来的运行经验证实了装置补充水冷壁的效果。上辐射部分炉室的砖墙已可靠地工作了三年。

4. 对流受热面

一次对流蒸汽过热器位于鍋炉的辐射和对流竖井之间的交界段处。过热器由三个垂直分段组成,而每个分段则由 $\varnothing 42 \times 6$ 毫米管子制成的24根平行管圈组成。对流蒸汽过热器的总面积在最初完成时为171米²。蒸汽由下辐射部的制粒器引入联箱,再由联箱进入对流过热器。蒸汽通过过热器管圈后,以140大气压的压力和500°C的温度汇集到上汇集联箱中,由此再沿 $\varnothing 159 \times 17$ 的三条蒸汽导管被引入鍋炉的汇集用的蒸汽分配箱。

对流过热器的管圈最初用15M钼钼制造,此外,头几排管圈没有拉开。当鍋炉改燃贫煤时在运行过程中开始发现过热器的头几排管圈强烈结渣,各管圈中温度差别很大。结果发现某些管圈的管子有很大的蠕变速度,因此曾发生过热器管爆裂的事故。

1938年完成了对流过热器的第一次改装。头几排管子布置得有较大的节距,同时过热器由牌号15XM的钼钼制成,此外,它的受热面增加了49米²,达到了220米²。

在第一次改装以后,过热器正面管圈的结渣略有减少,但是各管圈蒸汽温度的差别仍旧很大,它降低了过热器管工作的可靠性。

1948年进行了对流过热器的第二次改装。每段的各进口联箱均换以一个总的混合联箱(图1-9),后者用来预先混和由下辐射部进入对流过热器管圈的全部蒸汽。此外,在过热器中附加地安置了中间混合联箱,蒸汽由此出来被引入对流过热器的第二部分管圈,以便进一步过热至500°C。过热器的受热面再一次大大地增加,并达到430米²。

进行改装的结果各管圈的温度偏差急速降低。从前它为 $\pm 50^\circ\text{C}$,而现在只在 $\pm 10^\circ\text{C}$ 的范围内了。

同时出口联箱中蒸汽温度的波动为 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

对流过热器的混合联箱是用直径 357×58 毫米的钼钼制造的。联箱金属由于内压力而引起的最大应力(考虑管孔减弱)为 $\sigma = 5.7$ 公斤/毫米²。蒸汽过热器管圈由直径 42×6 毫米的15XM牌号的钢管制成。由于内压力而引起的管壁应力为 $\sigma = 4.2$ 公斤/毫米²。

上述用混合联箱来改装对流过热器的方法保证了过热器可靠和长期的工作。

对流省煤器布置在鍋炉对流竖井的下部。省煤器由总面积为444米²的两个分段组成。每一分段由44根直径 42×6 毫米管子制的管圈组成。

炉室竖井的悬吊管是属于辐射省煤器部分,给水在其中加热以后进入省煤器下部的进口联箱。通过省煤器管圈以后,给水从它上部的出口联箱出来沿管道进入鍋炉水冷壁上辐射部的两个进口联箱,这两联箱,如前所述,位于鍋炉后墙。

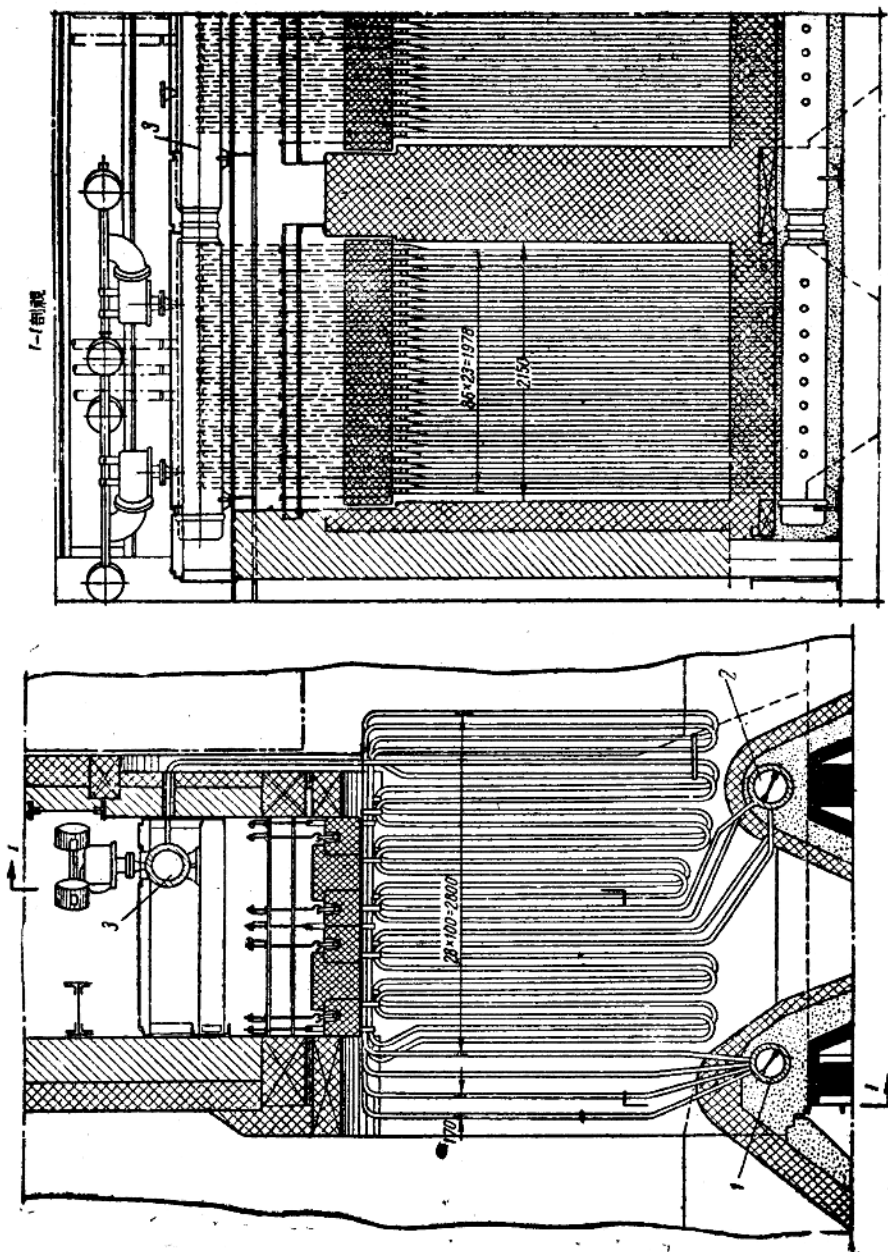


图 1-9 改装后的对流过热器：
 1—进口混合联箱； 2—中间混合联箱； 3—出口联箱。

在最初安置省煤器各段时是平行连接的。在这种连接方式
0.5米/秒。

为

当接有第二级高压再生加热器时,对流省煤器出口的水温接近沸腾温度。在这种情况下,如果水在省煤器管圈中以上述很小的速度流动时,则常发生“软化”的事故情况和个别管子的损坏。这些情况常引起不利的“干”停炉,即必需立即停止给水泵。由于有沉重的炉墙,故甚至停止燃烧器工作后,辐射受热面管子仍处于异常危险的温度条件下。所以为了缩小省煤器各管圈中的水温不均匀,1948年对它进行了改装,两段省煤器按水流方向串联。这就使省煤器管圈中的水速提高一倍,并保证它可靠地工作。

二次蒸汽过热器布置在锅炉的对流竖井中,按烟气流程方向,它在省煤器上面。二次过热器分隔成两半。每一半由38根直径70×3毫米管子制的平行连接管圈组成,并且又循序地分成两个管段。二次过热器的总受热面等于794米²。

二次过热器设计成能使锅炉总蒸发量的85~100%的蒸汽通过它。进入二次过热器上联箱的是从电站高压前置式透平中出来的压力为26大气压和温度为280°C的蒸汽。在再次过热后,蒸汽以380~400°C的温度从二次过热器中出来,进入下联箱,由此再流向中压透平。在60吨/时左右的最小的锅炉负荷下,二次蒸汽过热器可以完全取消。

运行证明,二次蒸汽过热器工作的缺点是管圈U形接头的飞灰磨损。为了防止这种现象,在所有的U形接头上装了保护罩。

表1-4中列举了锅炉承压对流受热面的一些特性数据:

表 1-4

受热面名称	总的受热面,米 ²		管圈总重(不计联箱),公斤		管圈的管子 直径,毫米	管子的牌号
	改装前	改装后	改装前	改装后		
一次对流蒸汽过热器	171	430	6900	17370	42/30	15XM
对流省煤器	444	444	17940	17940	42/30	碳钢
二次蒸汽过热器	794	794	18000	18000	70/64	同上

空气预热器布置在锅炉的对流竖井中,按烟气流程方向在二次蒸汽过热器后面。

起初装的是列宁格勒金属工厂制造的总受热面为8472米²的板式空气预热器(图1-10)。

1953年板式空气预热器换成了外形尺寸较小的管式,此外,还在新的空气预热器后面(按烟气流程方向)补充装了个低压省煤器。

如图1-11所示,新的管式空气预热器由6个管束组成,每个管束都有1100米²的受热面,并且均由1113根直径40×1.5毫米,长7878毫米的管子组成。一个管束重等于13.5吨,而空气预热器总重为81吨[●]。

当进口温度为30°C时,空气预热器出口的空气温度等于350°C。

● 板式空气预热器重192.4吨。

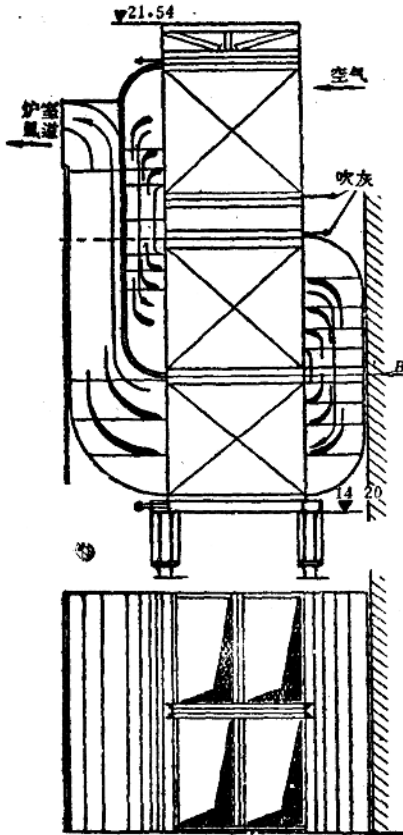


图 1-10 板式空气预热器
(侧视图和平面剖视图)。

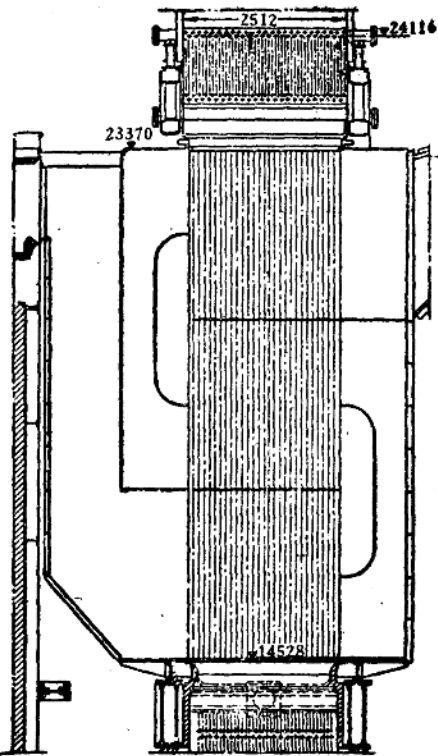


图 1-11 管式空气预热器
装置总图。

5. 锅炉改装结果

进行改装以后,当锅炉平均蒸发量约为 115 吨/时时,排烟温度从 210°C 降低到 190°C ,即降低了 20°C ;但是,带走的可燃物含量仍照旧 (10~11%); 锅炉机组的总效率提高了 1.5%,即达到了 87.5%。炉室的砖墙已处于较好的、比较可靠的工作条件之下: 上辐射部分和钢架卸载桁架等区域内的砖墙烧毁现象大大减少。锅炉机组工作 18000 小时以后,砖墙情况仍然良好。情况仍旧不良的是炉室的悬吊炉顶。在锅炉运行初期,1934 年,由于异型砖质量不好,它的热稳定性(它可用失重开始前和失重 20% 时的热交换数量来表示)小,悬吊炉顶曾烧毁。在换上具有较高的热稳定性(当失重 20% 时热交换数达 11)的新砖以后,悬吊炉顶的情况有所改善。但是以后炉顶在运行时,直到最近时期,又常发生这种情况: 每经 2000~3000 小时工作以后要停炉来修理烧穿了炉顶。炉顶损坏处位于第 I、III 和 IV 各象限的燃烧器之间。除炉顶烧毁外,在砖墙的接缝处尚发生熔化现象,形成带有缝隙的火口,面积约为 150毫米^2 ,分布于整个炉顶表面。