

高压鍋炉机组的 制造和运行

苏联 M.A. 斯狄里柯維奇
M.C. 希克洛勃 Л.Б. 克洛里主編
石 尙 达譯

水利电力出版社

序 言

在偉大的卫国战争胜利結束以后，苏联人民就投入了整个国民經济，首先是动力事业的恢复和全面发展工作。

战后苏联动力事业的发展，在技术上有着极大的提高。其中意义最大的是轉向采用高温、高压蒸汽的大型火力发电站。这一轉变是在极短的时期內完成的。战前苏联只有一座采用高压蒸汽的发电站，現在則已有相当大的一部分电能是由高压蒸汽产生。

所有新近設計和建造的大型蒸汽动力设备，都是采用高压蒸汽来进行工作的。掌握这些设备一般还比較順利，短时期內就可以做到。目前，苏联的鍋炉制造事业已取得了很大的发展，并已順利地掌握了許多压力为 100 大气压、蒸汽温度为 510°C 的大型自然循环鍋炉机組和大型直流鍋炉机組的生产。

社会主义现实生活的要求——即在国民經济中尽量地节约燃料，决定了动力事业向高压蒸汽方面的发展。这一轉变的高速进行，与苏联广大的动力工作者以最快速度掌握高压设备(包括鍋炉设备在內)的制造和运行經驗是分不开的。因此，首先就要求在发电站、制造厂和科学研究部門的工作人員中間广泛地交流經驗。

苏联科学院动力研究所高参数蒸汽委员会鍋炉分部召开的这次报告会就是为了这一目的。在本論文集內刊出了会上发表的著作。

参加这次会议的人員有：几个生产高压鍋炉机組的主要工厂的代表，几乎所有采用高参数蒸汽工作的发电站的代表，調整部門和苏联科学院及工业部門的科学研究所的代表。由于这次会议参加的人員相当广泛，因此可以收集和总结到許多資料，这些資料对科学-技术部門來說是非常有用的。在会议上，科学研究人員、調整人員和工厂及发电站的工作人員一起配合工作，这种合作是共产主义社会中学术人員和生产人員团结的重要形式之一。

可以認為，在本論文集中刊出的資料，总结了前一阶段高压鍋炉设备制造和运行方面的发展情况。这些資料对科学-技术工作者，首先对原有和新建的高压发电站的运行人員有很大帮助。

苏联科学院动力研究所高参数蒸汽委员会主席

Г.М. 克尔齐柴諾夫斯基院士

目 錄

原編者的話

第一部分 高压鍋爐机組的制造

“紅色鍋爐工作者”工厂高压鍋爐机組的制造·····	В.И.舒托夫 (7)
波道尔奥尔忠尼启則工厂高压鍋爐机組的制造·····	И.Е.勃拉烏吉 (13)
高压鍋爐汽鼓鍛件的制造·····	И.С.克瓦吉尔 (24)

第二部分 高压鍋爐机組的运行

苏联发电站的高压鍋爐机組和它們在掌握时期內的运行·····	Л.Б.克洛里 (29)
掌握高压汽鼓式鍋爐机組的經驗·····	И.Г.斯特拉托諾夫 (50)
动力系統中高压鍋爐机組运行方面的 一些总结·····	Я.М.奥斯特洛夫斯基, С.Е.希茨曼 (70)
第一批ТII-230型高压鍋爐机組的起動和調整·····	И.К.巴尔什杰因 (111)
蒸汽压力为80絕對大气压和温度为500°C的 鍋爐机組的运行·····	В.П.杜勃尼茨基 (120)
以无烟末煤和天然煤气为燃料的高压鍋爐机組的掌握·····	И.И.戈良斯基 (128)
某热电站鍋爐机組的运行总结·····	В.Г.查哈列夫斯基, И.А.謝尔盖也夫 (137)
直流鍋爐机組的工作情况及其鍋內汽水过程方面的一些数据·····	И.И.柯歇列夫 (147)
拉姆辛型直流鍋爐运行方面的一些总结·····	В.М.拉里奥諾夫 (169)

原編者的話

第二次世界大战以后，苏联动力事业的恢复和发展，主要是建立在高温高压蒸汽动力设备的基础上。在一个短短的时期内，在一些原有和新建的发电站中，已經有不少高压的鍋炉和汽輪机投入了运行。目前，由高参数蒸汽设备发出的电能，在电站部火力发电站发出的电能总量中所占的比重已超出25%，在个别的动力系統中甚至达到了50%。

目前，苏联的鍋炉制造厂正在成批地生产着能够燃燒各种动力燃料、蒸发量为230及170吨/小时的高压汽鼓式鍋炉和直流鍋炉。在这些鍋炉中配备着国产的一切必需的輔助设备、管道和汽水附件。在汽鼓生产方面，也取得了很大的成就。目前，用碳素鋼来制造汽鼓并没有使高压鍋炉的生产受到妨碍。

在苏联現代的鍋炉制造方面，水冷壁鍋炉的型式巩固地被肯定了下来。这种型式最早是在苏联拟定，并且还在30年代的时候，在苏联生产的中压鍋炉中，就已被广泛地采用了。在自然循环的鍋炉机組中，用蒸发受热面做水冷壁，把燃燒室全部遮滿。在直流鍋炉方面，燃燒室內除了蒸发受热面以外，还包含有一部分加热水和使蒸汽过热用的受热面。当采用高压蒸汽时，由于蒸汽的物理特性和烟气与加热工質之間的平均温差的减少，鍋炉机組的水冷壁連接方式就变得更有依据和更为合理了。

这种連接方式大大地簡化了自然循环鍋炉的水冷壁系統(循环系統)，使它变得更为简单，区分更为明显，因而也就更为可靠。順便可以指出：由于对循环現象有了清楚的物理概念和經過苏联热力工作者的仔細研究，得出了一套循环的計算方法后，才保证了自然循环高压鍋炉机組水冷壁系統工作的可靠性。根据上面已經提到的高压鍋炉的特性，在高压鍋炉机組中，过热器和省煤器的受热面积应该大大增加。与中压鍋炉比較，高压鍋炉的过热器是在烟气温度和蒸汽温度更高的情况下工作。这样一来，在高参数蒸汽设备方面，对过热器的材料、結構、布置方式和运行情况就需要提出特殊的要求。

苏联的冶金部門已經順利地担負起了大量生产高压过热器管的任务。目前采用的含有鉻鉬的珠光体合金鋼已經完全能够适应温度的需要；在这种温度条件下工作时，金屬已不在彈性区域，而是处在塑性变形状态。

在最近成批生产的鍋炉机組中，过热器結構方面尽量爭取使各蛇形管中的温度偏差减少。这种温度偏差有时可能会剧烈增大，特别是在压力很高的情况下更为敏感(有关这一方面的資料参考鍋炉制造厂工作人員的論文)。与此同时，鍋炉机組的运行情况在根本上决定于过热器工作的可靠性，因为沿机組寬度方向，由于蛇形管吸热不均匀所产生的局部蒸汽温度过高和蒸汽温度的經常跳動，会引起金屬蠕变速度的剧烈上升。

在本論文集的一些論文中，对于鍋炉机組的运行特性和結構特性作了詳細的介紹。这些特性对保持过热器中稳定而均匀的蒸汽温度起着决定性的作用。从这些論文中看出，对于新的高压鍋炉，在調整和掌握运行阶段，应该特別注意燃燒室工作情况的均匀性和稳定性。但是要在容积很大、热强度較低($Q/V_m = 110 - 150 \times 10^3$ 大卡/公尺³·小时)

的燃燒室內部保證工作時不發生顯著的溫度偏斜和溫度波動，却是一件相當困難的事。解決這一問題的途徑，是合理地控制燃燒和調整送風。目前在某些機組中，例如帶有豎井式磨煤機的鍋爐，在燃燒室出口仍很難保證溫度場的均勻分布。

對高參數蒸汽設備來說，保持經常穩定的過熱蒸汽溫度有着很大的作用，同時也是相當困難的事。現有高壓鍋爐蒸汽溫度調節的方法很不一致。在選擇最合理的溫度調節方式和調節器結構的看法上也存在着分歧。

在學術方面展開各種意見的辯論和自由爭鳴有着很大的意義。因此，在編制本論文集時，尽可能地保留個別作者——指工廠、研究機構、調整機構和發電站的代表——對鍋爐設備工作方面某些問題的看法。

例如在對待過熱蒸汽溫度調節方面，從本論文集中就可以找到各種不同的觀點。關於這一問題，編者認為需要注意下列情況。

鍋爐製造廠最主要的任務，是使製造出來的鍋爐機組的過熱溫度與負荷及其他工況因素的關係較小。但由輻射部分及對流部分聯合組成的過熱器，卻沒有受到製造廠應有的重視。在蘇聯許多現有的機組中，這種過熱器的工作情況是相當可靠的，過熱溫度也一直比較均勻，原因是對流過熱器和輻射過熱器的過熱溫度與負荷之間的關係恰好相反。

對於裝有輻射-對流過熱器的鍋爐來說，實際上並不一定需要調節過熱溫度，或者只要對過熱溫度進行範圍不大的“細調節”，這種細調節可以利用任何一種目前已經採用的降溫器，並且在這種情況下，降溫器的缺點也可以大大減輕。

例如，可以採用：

以給水來冷卻蒸汽的表面冷卻式降溫器。當過熱溫度比較穩定時，在飽和蒸汽方面形成的凝結水數量不多，不會引起過熱器工作上很大的困難，而且由於過熱溫度調節和鍋爐給水調節之間不協調所造成的困難（對帶有這種型式降溫器的機組來說，這些困難是不可避免的）也並不嚴重。

以鍋爐水來冷卻蒸汽的表面冷卻式降溫器，當蒸汽冷卻幅度不大時，這種降溫器的受熱面積、重量和成本將是完全合適的。

至於混合冷卻式（噴水式）降溫器，雖然它具有很多優點，但近來由於高壓鍋爐改為用化學淨化補充水，這種降溫器的使用受到了很大的限制。儘管在採用噴水冷卻式降溫器時需要裝上一套水泵、水箱和連接管道，褫奪了這種降溫器的基本優點——簡單，但是如果能夠掌握高壓、小容量的水泵的生產，則這種噴水冷卻式降溫器還是有可能得到很大的推廣。

過熱溫度的自動調節是必不可少的。當過熱器由對流部分和輻射部分聯合組成時，過熱溫度與負荷的關係較小，此時過熱溫度的調節就可以大大簡化。

目前，高壓鍋爐設備主要的損壞，是在省煤器管子的焊接接頭上出現隙縫。關於隙縫形成的原因，在看法上還存在着分歧，也沒有肯定的意見。

在這一問題上，根據現有各方面的資料看來，大多數的隙縫都是由於工廠焊縫或安裝焊縫的質量不高，以及對焊接質量缺乏嚴格檢查所引起的。這一點必須引起工廠、安裝人員和檢修人員的極大注意。在焊接方面應該盡量採用焊接研究所提出的建議。對製造廠來說，則應該積極掌握新的檢查缺陷的有效方法，並把它用在省煤器的製造上。

然而，曾經有人錯誤地認為：高压鍋爐省煤器多次損壞的原因，僅僅在於焊接的質量不高。忽視某些運行因素的影響同樣是不允許的，因為這些運行因素會引起焊接接頭中原有缺陷的擴大。

這些因素可能是溫度的周期波動，引起波動的原因是由於鍋爐機組的工作情況不穩定。對省煤器的工作來說，升火期間是經常引起不穩定情況的一個重要階段。在這一階段，省煤器有着各種不同的冷卻方法，有時這種冷卻方法的本身就可能是引起省煤器蛇形管溫度劇烈變化的原因。例如，在升火結束階段，當鍋爐周期地補充給水時，補充給水的溫度與機組中原來循環着的鍋爐水溫度相差 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。

鍋爐的給水情況有時很不正常，當時水位雖保持得很好，但水量卻變動很大。例如，在很多裝着單沖量給水自動器的鍋爐中，就存在着這種現象。

隨着省煤器進水數量的變化，開始沸騰點的位置也要發生變動，相應地就會引起溫度的變化。

當給水加熱系統中某一部分切斷時，給水溫度隨着發生變化，這樣也會對省煤器的焊接接頭發生不良的影響，而這些焊接接頭卻正是省煤器中最薄弱的地方。所有這些問題，象從省煤器工作可靠性出發得出最適宜的給水狀況的問題一樣，應該作為今後研究的對象。

鍋爐的水質狀況，在高压時具有重要的意義，尤其需要進行專門的研究。因此，蘇聯科學院動力研究所高參數蒸汽委員會出版了一本論文集^①，專門討論這一方面的問題。在本論文集中，關於水質狀況的問題，則放在與高压鍋爐的運行情況一起來加以說明。可以看出，在個別論文中，標志着鍋爐水質狀況的指標並不一致，這種差別可能是由於各發電站、研究機構和調整機構所採用的分析方法不一致而引起的。

在本論文集的各篇論文中，提到了高压鍋爐設備運行方面的許多重要和次要的問題，而且都作了說明。從這些問題中，特別應該提到的是下列幾點：

鍋爐機組的煙氣嚴密性 高压鍋爐機組的煙氣嚴密性，對它們工作的可靠性和經濟性起着決定性的作用。關於這一點已不止一次提到。儘管如此，這一問題還是應該每次都提出來，原因是它產生的影響很壞。大量的漏風對機組所有部件的工作都起着不良的作用。目前，在這一問題上還沒有得到恰當的處理，如工廠製造出來的鍋爐並不能長期保持漏風數值不變，運行時漏風數值的測量不可靠和沒有及時消滅漏風的根源等等。結果，鍋爐機組的經濟性比設計的數值要低得多，而且對流受熱面的熱力情況也大大惡化。

實際情況表明：在保持煙氣嚴密性方面，現有機組的狀況應尽可能地從根本上加以改善。設計人員、工廠中的車間工作人員、安裝人員、檢修人員和運行人員應該設法去提高這一方面的嚴密性。

在高压鍋爐機組中配備足夠數量的監督-測量儀表 標志着蘇聯動力事業現階段發展狀況，和採用高压蒸汽有着密切聯系的高度運行水平，不允許降低對高压鍋爐自動裝置及監督-測量儀表的要求。這些要求在本論文集中將加以闡述。

① “高压發電站的水處理和鍋爐內部的物理-化學過程”，蘇聯國立動力出版社，1951年出版。

同样也不允許采用不起作用或工作不正常的仪表，这和工作时运行人員沒有使用仪表的情况一样，应该受到禁止。

目前，已經积累了不少高压鍋炉机組运行方面的經驗，这里不但包括了塔岡洛格工厂和波道尔工厂生产的鍋炉在內，而且也包括了其他一些工厂生产的鍋炉。在許多原有和新建的发电站中，目前还正在繼續进行着高压鍋炉和高压汽輪机的安装。因此，必須很好地利用工厂、研究机构、調整机构和发电站中已經积累起来的关于高压設備制造、起动、調整和运行等方面的經驗。

为了交流現有掌握高压鍋炉的經驗，苏联科学院动力研究所高参数蒸汽委员会召开了这次科学技术报告会。会上，对高压鍋炉机組制造和运行方面的一些問題作了比較詳細的闡述。

会上报告的这些資料，都經過原作者的补充与發揮，用論文的形式收集在本論文集內予以出版。

我們非常希望讀者对本書的內容提出自己的見解，这些意見高参数蒸汽委员会将予以考虑。

原 編 者

第一部分 高压鍋炉机組的制造

“紅色鍋爐工作者”工厂高压鍋爐机組的制造

斯大林奖金获得者，工程师 B.И. 舒托夫

根据战后国内动力事业向更高蒸汽参数发展计划的要求，作为国内生产鍋炉主要工厂之一的“紅色鍋爐工作者”工厂就面临着要掌握高压自然循环鍋炉制造的任务。最初的目标是制造蒸发量为 230 吨/小时、压力为 100 大气压和过热蒸汽温度为 510°C 的鍋炉机組。

在拟訂技术設計时，工厂利用了原有类似型式鍋炉的初步設計。这种类似型式的鍋炉，早在战争期間就已經由列宁格勒金屬工厂鍋炉处設計出来。然而，在这次技术設計过程中，为了配合現場的生产条件，并考虑到电站部的希望，对不少部件和元件都作了相当大的修改。最后才完成了这台鍋炉的設計，并使它投入了生产。

工厂首先需要解决的是汽鼓的制造問題。在这一問題上曾拟定了用厚鋼板焊接来制造汽鼓和鍛造汽鼓的方案。根据这些方案，曾經研究过是否可能在工厂原有的卷板机上弯卷鋼板的问题，同时也提出了在重型机器制造部的某一工厂中鍛制汽鼓的問題。

最后决定在第一批鍋炉中采用鍛造汽鼓，由新克拉瑪道尔工厂制造。大汽鼓內徑为 1,300 公厘，厚度为 90 公厘，材料采用鉬鋼，由二个帶鍛制封头的筒身組成。小汽鼓內徑为 900 公厘，厚度为 70 公厘，整个由一个鍛件制成。在进行这一工作的同时，工厂还与某一金屬联合企业簽訂了合同，把由烏拉尔机器厂运来的胚料軋成鋼板，用它来制造焊接汽鼓。

ТН-230-1 型鍋炉(图 1)的設計考虑到了通用化的問題，这种机組可以用来燃燒苏联各种主要煤的煤粉。煤粉制备的型式有二种：鋼球磨煤机和豎井式磨煤机。所謂通用化就是在燃燒各种不同燃料时，最大限度地减少机組中需要改变的部件。对这一問題研究的結果，是这种鍋炉的燃燒室尺寸、鍋炉鋼架、空气預热器受热面、第一級过热器(沿烟气流方向)及第一級省煤器保持不变。随着燃料及煤粉系統改变的部分有：水冷壁下半部、第二級过热器和第二級省煤器。对于各种主要燃料的通用化程度示于第 16 頁的表上。

鋼架一直筑到鍋炉分場灰渣間的地平面上。

采用了很高的空气預热温度，随燃料不同而在 $360 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 的範圍內变动着。为了这一目的，空气預热器和省煤器都是两級式的，按交錯方式布置。

采用了新的循环系統和汽水分离系統，这种系統的特征是加装了一只前置汽鼓。前置汽鼓放在主汽鼓的上面，看不到水位，主要是起汽水分离作用。

根据这种連接方式，主汽鼓中沒有从蒸发受热面来的汽水混合物进去(所有水冷壁都接到較小的前置汽鼓)，水面就比較平稳，这在以后的实际运行中完全得到了証实。該鍋炉系采用两段蒸发，盐段放在汽鼓的两端，由部分側水冷壁組成。至于汽鼓內部設備

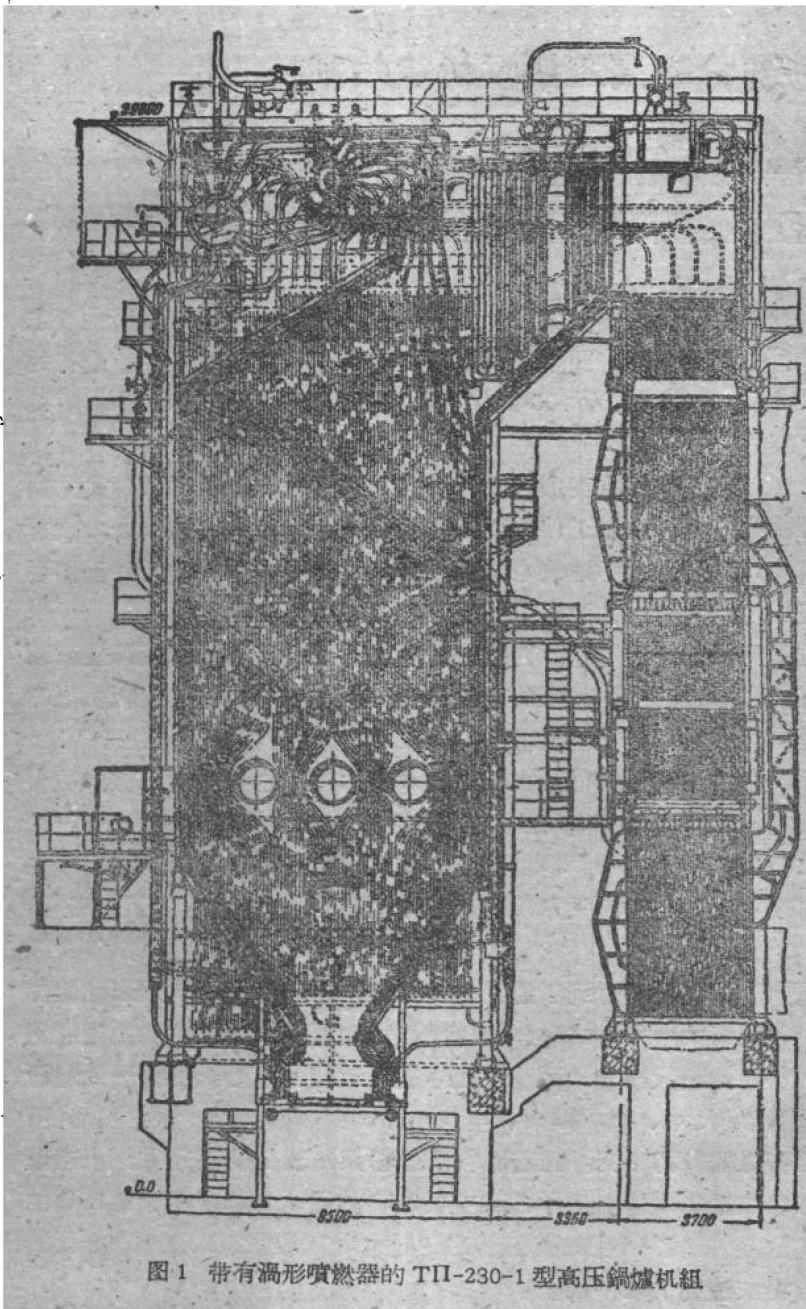


图1 带有渦形噴燃器的 TII-230-1 型高压鍋爐机組

和水循环方面的問題，則根据工厂委托，由中央鍋炉汽輪机研究所加以研究，并以研究所的建議为基础作出了工作图。

在过热温度調节方面，采用了由蛇形管組成的降温器，放在飽和蒸汽一端。把給水母管中的水引来冷却蒸汽，然后再流到省煤器中去。

在生产出第一批 TII-230-1 型鍋炉机組后，在結構方面工厂又作了部分的修改。改进了过热器的連接系統，办法是使蒸汽得到混和，并且通过中間联箱把左面一半的蒸汽通到右面一半中去，以消除在鍋炉中由于烟气偏斜而可能引起的不良影响(图2)。

采取这些措施的目的，是为了使各蛇形管中的蒸汽温度得到最大程度的均匀，因为即使在某些蛇形管中蒸汽温度与計算温度 510°C 差异并不

很大的情况下，管子的工作条件就已經相当不利。

此外，省煤器和空气預热器中的烟气速度也降低了一些，目的是当燃燒多灰燃料时管子的磨損可以輕一些。

經過上述修改和在結構方面作了一些改进以后，就得出了第二种現代化的 TII-230-2 型鍋炉机組。

由于蒸汽参数很高，机組中不少部件都需要用合金鋼来制造。例如汽鼓就采用过含

鉬量为0.5%的15M号低合金鋼^①，这种鋼材在高温下具有較高的屈服点。制造汽鼓的鋼材当温度为350°C时，也就是說，当温度接近于实际运行条件($t_{nac}=316^{\circ}\text{C}$ ，汽鼓内压力 $P=110$ 大气压)时，屈服点应该等于22~25公斤/公厘²。过热器联箱同样也曾用过15M号鋼材来制造。第一級过热器(按烟气流方向)管子由牌号为15XM的鉬鉍鋼制造，原因是这些管子工作时烟气温度和蒸汽温度都相当高。15XM号鋼材的含鉬量为0.8~1.1%，含鉍量为0.4~0.6%，属于蠕变性能的較稳定的一类鋼材。机組中其余的受压部件：如省煤器、第二級过热器及水冷壁管等，则都是由牌号为CT-20的碳素鋼材制成的。在制造鍋炉机組时，全部合金鋼材的消耗并不大，只約占整个重量的14%左右。在这些合金鋼中既包括了受压的部件，也包括了其他的部件，如需要采用耐热鋼材(9M-211)制造的过热器吊架等等。

这样一来，尽管与“微高压”(40大气压左右——譯者)鍋炉比較，蒸汽温度和蒸汽压力要增高很多，但鍋炉机組基本上并不需要特殊的材料(从冶金工厂中取得这些材料，是比較困难的)。

工厂在制造第一台高压鍋炉时，曾作了不少的研究工作和准备工作。当时要求工厂解决的主要問題是焊接問題。象上面所提到的情况那样，由新克拉瑪道尔工厂供給的大汽鼓是先做成两半，然后再在塔岡洛格工厂(ТКЗ)中用一环形焊缝把它們焊接起来。因此，必須掌握鉬鋼的焊接，但这类鋼材以前工厂并没有用过，何况壁又相当厚。根据这种情况，工厂做了很多有关手工焊接用焊条及涂药的选择、焊接规范和焊缝热处理等問題的研究工作。

最后，成功地訂出了下列的汽鼓焊接工艺：焊接时先进行預热，并同时加热到180~200°C。当焊缝填到将近一半壁厚时，把汽鼓送入炉内进行回火处理。以后，等汽鼓冷到200°C时，再进行其余一半壁厚的焊接。焊好以后，最后再进行一次热处理(图3)。

燃 料 及 燃 烧 室	鍋 爐 机 組 的 部 件 名 称												
	鋼 架	汽 鼓	上 部 水 冷 壁	下 部 水 冷 壁	第 一 級 過 熱 器	第 二 級 過 熱 器	第 一 級 省 煤 器	第 二 級 省 煤 器	空 氣 預 熱 器	鍋爐的金屬(燃燒室下部除外)	金屬(燃燒室下部的)	平台(低下一層除外)	低下一層的
TII-230型和TII-170型鍋爐机组													
1. 褐煤煤粉；帶有鋼球磨煤机的燃燒室	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2. 褐煤；帶有豎井式磨煤机的燃燒室	+	+	+	M	+	+	+	+	+	+	M	M	M ^②
3. 无烟煤煤粉；帶有球磨机的燃燒室	+	+	+	M	+	M	+	+	+	+	M	+	M ^②
4. 烟煤煤粉	+	+	+	+	+	M	+	M	+	+	+	+	M ^②
5. 煤粉及高爐煤气的混合物	+	+	+	M	+	M	+	+	+	+	M	+	M ^②

① 当燃燒很湿的燃料时予以改变。

② 随厂房布置情况而改变。

符号+表示不变部件。

符号M表示变动部件。

① 后来汽鼓已改由不含鉬的鋼材来制造。

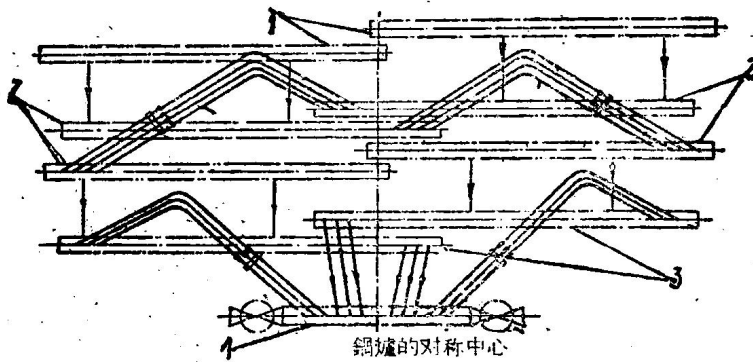


图2 TII-230-2型鍋爐過熱器連接系統圖

- 1—直徑為325/255的飽和蒸汽聯箱；2—直徑為273/203的中間聯箱；
3—直徑為325/225的過熱蒸汽聯箱；4—直徑為325/225的集汽聯箱。

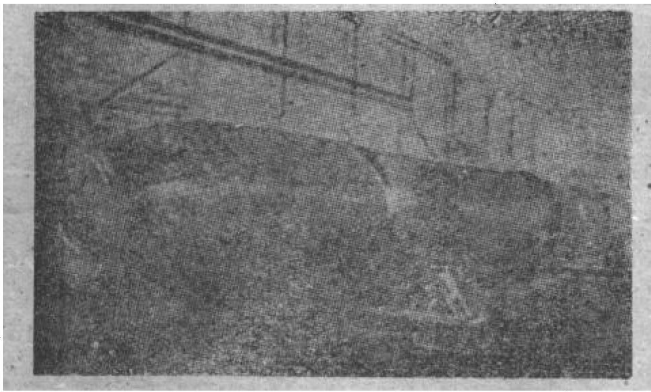


图3 TII-230型鍋爐大汽鼓的焊接

驗的結果看來，工廠已掌握了在自動焊接機上的厚板環形焊縫的潛弧焊工作。進行焊接的方法，與手工焊接一樣，也是先預熱，然後再中間回火。在焊接的最後階段，把焊縫的內部頂端削去，用手工進行封底焊。

手工焊接時採用塔岡洛格工廠牌號為15M的電焊條，焊絲材料為含鉬量0.5%的鉬鋼。

自動焊接時採用牌號為15M的焊絲和牌號為ΦII-5的焊劑。在樣品破壞試驗中所得到的焊縫的機械性能如下：

對手工焊接的焊縫來說， $\sigma_B = 46 \sim 50.2$ 公斤/公厘²， $\sigma_S = 30.8 \sim 37.5$ 公斤/公厘²， $\alpha_k = 11.6 \sim 14.8$ 公斤-公尺/公分²，彎曲角180°，

對自動焊接的焊縫來說， $\sigma_B = 55 \sim 56$ 公斤/公厘²， $\sigma_S = 31.4 \sim 33.2$ 公斤/公厘²， $\alpha_k = 11.3 \sim 18.8$ 公斤-公尺/公分²，彎曲角180°。

除了汽鼓的焊接以外，工廠還掌握了管壁較厚（壁厚為5公厘，在“微高壓”鍋爐中採用3.5公厘）的、由鉻鉬合金鋼製成的過熱器管的對接焊，以及由不同鋼材（鉻鉬鋼與鉬鋼、鉻鉬鋼與碳素鋼、碳素鋼與鉬鋼等）組成的其他一些部件和零件的電弧焊。

除了焊接問題外，在工廠里還展開了各種鍋爐元件製造工藝的研究工作，並且在這一工作上，碰到了許多新的問題。例如，管壁較厚的管子的彎曲，焊好管接頭以後聯箱的校正，某些部件的熱處理等。由於採用了新的結構形式和新的零件尺寸，因而也擬定

第一只汽鼓的熱處理是先正火，接着就進行回火。為了防止汽鼓可能發生變形（如變扁）起見，在進行正火時，于汽鼓內部沿長度方向每隔1.5~1.8公尺裝上一個鑄鐵的撐架，然而，進一步的研究証明了在不進行正火的情況下，焊縫的質量也完全可靠。因此，為了免去裝置鑄鐵撐架這一繁重的操作，同時也為了使熱處理後（在機械工廠中進行）汽鼓的金屬性能仍能保持而不受正火過程中冷卻速度過大的影響，塔岡洛格工廠決定對焊縫不進行正火，而只採用回火處理。

同時，在工廠中也展開了焊劑層下厚板自動潛弧焊的試驗工作。根據試

了許多新的工夾具。

由于高压鍋炉生产数量的增加，重型机器工业部作出了关于在烏拉尔重型机器厂制造汽鼓的决定。根据該厂的生产条件，从1948年起由該厂提供汽鼓^①。汽鼓由二个鍛造筒身和二个冲压封头組成(图4)。二筒身之間和封头与圓柱形筒身之間的焊接，則在塔爾洛格鍋炉制造厂中按前面提到的方法进行。

在工厂原有的卷板机上对厚鋼板所作的弯卷試驗証明了有可能制造焊接汽鼓。这种厚鋼板系由某一金属联合企业中取得。随着厂內装設了新的大型卷板机，塔爾洛格鍋炉制造厂也就轉到了

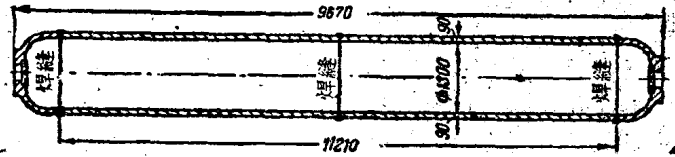


图4 由两段带有焊接封头的筒身所組成的汽鼓

焊接汽鼓的生产。制造这种汽鼓的主要工作是：个别弯卷各块鋼板（由2块到4块，数目由汽鼓本身的尺寸决定），使之由一条縱向縫綫焊成筒身。各段筒身之間以及封头与筒身之間則互相对接。在烏拉尔重型机器厂中，封头是用冲压的方法制造出来的。

这样一来，生产汽鼓的能力就大大提高，完全保证了汽鼓的需要量。

第一台高压鍋炉是在1947年制成的，从那时算起，工厂已生产了許多台ТН-230型机组，这些机组燃燒着各种不同的燃料：如装着鋼球磨煤机燃燒莫斯科近郊煤，装着豎井式磨煤机燃燒莫斯科近郊煤、无烟末煤、頓巴斯貧煤等等。

在1948年最初两台鍋炉投入运行以后，只中断过一段很短的时间（約一个半月）。两台鍋炉中有一台是装着鋼球磨煤机，燃燒莫斯科近郊煤；另一台虽同样也是燃燒莫斯科近郊煤，但却配备着带有豎井式磨煤机的燃燒室。鍋炉机组是在沒有发生特殊困难的情况下投入运行的，但是这两台鍋炉的过热温度却都显得过高，开始时主要的原因是燃燒情况沒有調整好。然而，根据調整初期的状况表明：过热器的受热面积太大了一些。看来似乎蛇形管在过热器烟道內的受热情况比假設的要好得多。此外，过热器还受到很强的輻射作用，这在設計时并没有加以考虑。只有当把受热面积减少26%左右以后，过热蒸汽的温度才接近于計算的数值。

除了总的蒸汽温度超出計算数值以外，沿寬度方向，各蛇形管之間温度的分布也并不均匀。这种現象主要是由于燃燒室工作不良所引起的。在带着煤粉噴燃器的鍋炉中，由于給粉机的缺陷和煤粉管道中煤粉速度过高，往往会使噴燃器的工作情况变得很不均匀。

第一台装着豎井式磨煤机、燃燒莫斯科近郊煤的大型鍋炉机组的燃燒情况同样也不够正常。在燃燒室及整个机组密封方面的安装缺陷、在擋板操縱机构方面的安装缺陷、以及风口制造不良等情形，往往会使得送风状况（指一次风和二次风的比例、上面风口和下面风口进风量的比例）很难維持正常。

在机组烟道密封方面，进行了不少工作，并且还校正了其他的一些安装缺陷。自此以后，就有可能使送风情况保持得比較正常，这一点很快就表现在燃燒室的工作中。同

① 关于在烏拉尔重型机器厂中生产汽鼓更詳細的資料，可参考本論文集中И.С.克瓦吉尔的論文。

时发现；装在該机組上的“柯米加”工厂第一批生产出来的新型磨煤机的通风性能良好。一般說来，这是一个相当有利的因素，对解决磨煤机及燃燒室合理的送风問題帮助很大。

在工厂参加的情况下，中央鍋炉汽輪机研究所的工作組进行了調整工作。随着这一工作的展开，燃燒情况有了很大的改善；当磨煤机正常工作时，蒸汽温度分布的不均匀情况已逐渐減輕。在高負荷时，特别是在接近額定負荷的情况下，鍋炉机組的工作情况依旧相当正常。

这两台鍋炉在調整以后的工作指标与中央鍋炉汽輪机研究所工作組的試驗指标非常接近。这些指标現已放在工厂的保証書內^①。

該机組在运行期間发现的第二个缺陷，是在省煤器的焊接接头上出現隙縫。尽管制造厂及安装单位对这些管子都做过水压試驗，但在鍋炉起動以后，不仅在工厂焊縫，而且在安装焊縫上都开始有隙縫出現。这种現象随着不合格焊接接头的剔除，在运行过程中是逐渐減輕的，在几千个焊縫中，一共出現了几十个隙縫。虽然，数目并不大，但这种情况对运行是非常不利的，因此，工厂采取了各种各样的措施，来消灭这一現象。如管子焊接时十分細心，并且是根据工厂制定的新工艺来进行焊接。

在第一台鍋炉起動时，做了一次水循环和蒸汽品質的檢查，檢查是在鍋炉采用凝結水的情况下进行。測量結果得出：与設計数值相当接近，并且运行时在这一方面也沒有发生过什么困难。

鍋炉机組对工作情况的变动相当敏感，而且也很容易調整。这样一来，在負荷变动的情况下，工作就可以大大簡化。这种灵敏性对采用自动化特別有利，也特別需要。在优点方面，應該指出的是这种机組的升火比較迅速(4~5小时)，并且在升火期間不会发生任何的困难。

这样，苏联第一批自然循环高压鍋炉机組在起動和运行初期的情况表明：这些鍋炉是相当可靠的，在技术上和經濟上都能符合要求。

借着这些鍋炉机組的出产和結構改进后的TII-230-2型鍋炉的成批生产，工厂基本上已解决了在国内动力部門中推广采用高压鍋炉設備的任务。

进一步推广高压蒸汽(温度为 510°C 时，压力为100~110大气压)的采用，反映在工厂方面，主要是鍋炉型号的扩充。用同样的蒸汽参数，造出了蒸发量为170吨/小时的鍋炉机組。

这种鍋炉的結構，在原則上与TII-230型鍋炉並沒有区别；考虑到第一批230吨/小时鍋炉安装和起動的經驗，在TII-170型鍋炉机組中，除了用表面冷却式降温器来調节过热蒸汽温度以外，还考虑了采用烟气調节的方案。这一措施使調节的范围可以扩大，这对燃燒混合燃料，例如燒高炉煤气和煤粉的机組，尤其重要。

在这种鍋炉的結構方面，还考虑到了广泛采用組合安装的可能性。

以后的工作，主要是放在研究和制造液态出渣及燃燒气体燃料的鍋炉机組上。

同时，在生产蒸汽参数更高的鍋炉方面，工厂也作了巨大的努力，进行了不少的工作。

① 关于TII-230型机組調整方面更詳細的資料，参考本論文集中H. K. 巴尔什杰因、Л. М. 奥斯特洛夫斯基及С. Е. 希英曼的論文。

波道尔奥尔忠尼启则工厂高压鍋爐机組的制造

斯大林奖金获得者，工程师И.В.勃拉烏吉

总 論

波道尔奥尔忠尼启则工厂(ЗИО)在偉大卫国战争时期1943年，就已經組織了高压鍋爐机組的生产，并在1945年造出了第一台高压的直流鍋爐。以后的几年中工厂又掌握了高压汽鼓式鍋爐机組及发电站管道的生产。

从1943年以后的一段时期中，工厂解决了制造高压鍋爐机組的一切主要困难，現在，工厂已經轉到了只生产这样的鍋爐。在1945~1947年間，由于不易取得鍛制汽鼓，因而工厂就确定了首先掌握高压直流鍋爐机組的必要性。从苏联其他工厂掌握了高压鍋爐汽鼓的生产以后，本厂也就开始生产高压汽鼓式鍋爐。

工厂在生产高压鍋爐机組方面解决了以下的一些主要問題：

1.完成了几种高压鍋爐机組結構的設計：

a)汽鼓式鍋爐——ПК-10型；

б)直流鍋爐——51-СII、66-СII及67-СII型。

2.制訂和在生产中貫徹了由牌号为20、15M及15XM鋼管制成的高压受热面的制造工艺；

3.制訂和在生产中貫徹了由牌号为20及15M鋼材制成的高压管道(厚壁管)的弯管工艺；

4.掌握了由鉬鋼制成的高压鍋爐汽鼓的焊接；

5.掌握了高压鍋爐中联箱、法兰接头、成形件及其他一些零件的生产。

工厂只生产下列蒸汽参数的大型鍋爐机組：

鍋爐机組出口蒸汽压力为100~120大气压，蒸发量为230~240吨/小时，过热器出口处的蒸汽温度为510°C。

当轉到生产高压鍋爐机組时，除了要掌握新工艺以外，在工厂面前还摆着这样一个

表1 奥尔忠尼启则工厂制造的35表压力和100表压力鍋爐机組的比較数据

名 称	ПК-9型汽鼓式鍋爐	ПК-10型汽鼓式鍋爐	66-СII型直流鍋爐
蒸发量(吨/小时)	200	230	230
出口蒸汽压力(表压力)	31.5	100	100
蒸汽温度(°C)	420	510	510
煤的产地	基捷罗夫	康恩	彼巧尔
燃料发热值(大卡/公斤)	5,380	3,200	4,210
鍋爐机組的設計效率(%)	92	90	90
排烟温度(°C)	144	163	180
重量(%)	100	135	105
制造工作量(%)	100	185	145
成本(%)	100	190	140

問題，即制造这种鍋炉机組时，与以前工厂生产的35大气压的鍋炉机組比較，工作量要大大增加。表1中的数据表明了由奥尔忠尼启則工厂制造的几种鍋炉机組，在金屬消耗量、制造工作量及成本方面的一些比較指标。

在参考表1数据时，應該注意到这些鍋炉机組的工作条件并不一致，淨效率也不一样。尽管工厂生产高压鍋炉机組已有很长一段时期，但投入运行的台数并不多。因此，单靠已投入运行的鍋炉机組的試驗还不足以对鍋炉的运行性能作出全面的評價。

一些設計数据

工厂生产的鍋炉机組的主要型式如下：

a. ПК-10型汽鼓式鍋炉机組；这类鍋炉配有豎井式磨煤机时，在燃燒室內进行火焰燃燒；配有鋼球磨煤机时則燃燒煤粉。第一种鍋炉的牌号为 ПК-10И，第二种鍋炉的牌号为 ПК-10ИІ；

6.51-СII型和66-СII型直流鍋炉；采用火室燃燒，与鋼球磨煤机配合一起工作。

在表2中列出了这些鍋炉机組热力工作的特性数据。

ПК-10型鍋炉机組示于图1和图2上。燃燒室容积为1,210公尺³。选用了較低的热强度， Q/V 約为130,000大卡/公尺³·小时。燃燒室尺寸对燃燒各种不同的燃料来说是通用的，允許装煤粉噴燃器或豎井式磨煤机。

汽鼓直徑为1,300公厘，分离汽鼓直徑为900公厘，系包括在水冷壁受热面的循环系統內。

在燃燒室的前后水冷壁部分不装中間联箱。水冷壁受热面积为660公尺²。水冷壁管子直徑为76×65公厘，由

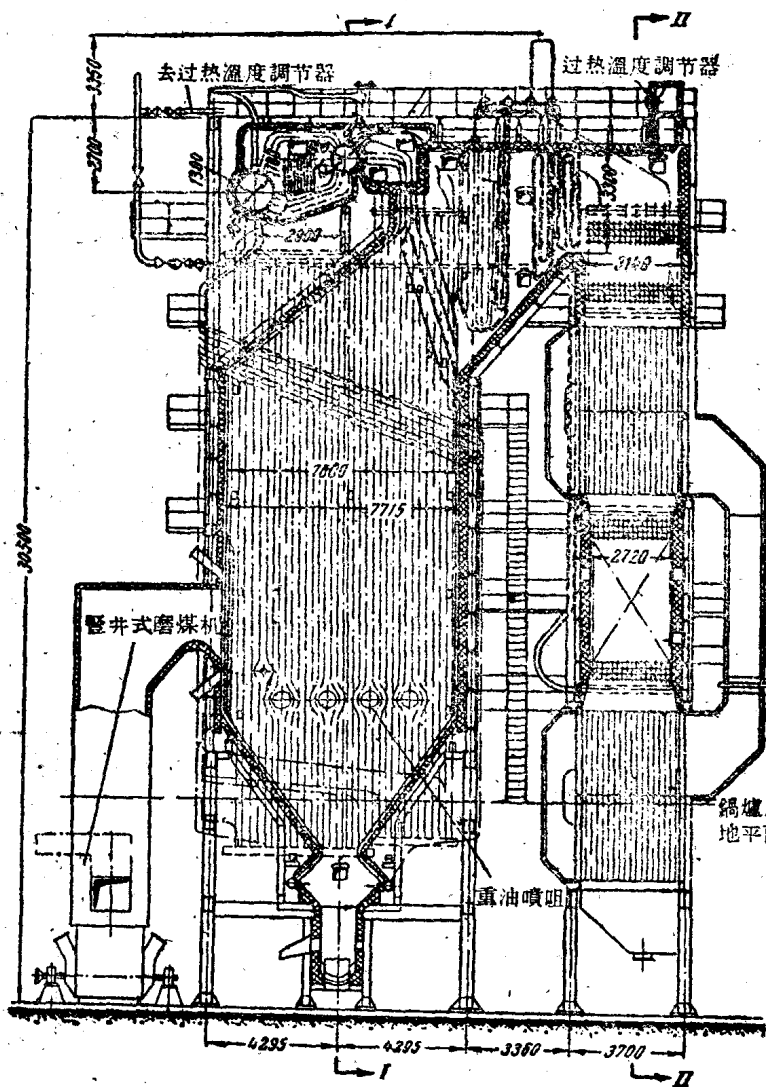


图1 ПК-10ИІ型高压鍋爐机組的縱剖視圖

牌号为 15 M 的鉬鋼制成。

水冷壁进水管的断面积为：

前水冷壁	30%
后水冷壁	30%
側水冷壁	40%

在燃燒不同燃料时，过热器的尺寸并不一样，其受热面积变动在 1300 公尺²到 2500 公尺²之間。“冷段”过热器由 20 号碳素鋼管制成，直径为 38 × 29 公厘。“热段”过热器蛇形管的直径为 42 × 32 公厘，由牌号为 15XM 的鉬鉍鋼制成。过热器的连接系統，与以往所采用的各种连接系統都不一样。过热器的“冷段”由一組管束构成，沿机組整个宽度方向均匀地进汽，这一部分蛇形管按“逆流”方式连接。过热器的“热段”沿机組的宽度方向分为三組管束，“热段”边上兩組管束和“冷段”的整个管束用交叉管连接起来（采用交叉连接的目的，是为了减少烟气偏斜对各管子中蒸汽过热温度的影响）。“热段”中間的一組管束，則是边上兩組管束出口联箱的延續，这样，蒸汽是从两端取得的。过热器的连接系統示于图 3。很明显，采取这些措施是为了要保証各蛇形管之間最小的温度偏差；保証沿鍋炉宽度方向均匀地进汽。由于蒸汽交叉流动和过热器各組管束在烟道宽度方向适当的布置，减少了烟气偏斜的不良影响，并且还保証了蒸汽在由一組管束进入另一組管束时得到混和。当进入最后一組管束时，全部蒸汽以 22 公尺/秒左右的速度流过联箱的端面。

此外，为了使蛇形管得到良好的冷却，蒸汽在最“热段”部分蛇形管中的速度达到了 25 公尺/秒。

省煤器与空气預热器交错布置。省煤器受热面积約为 2,750 公尺²。为了便于修理、检查和减少飞灰磨損起見，沿高度方向，把省煤器划分为几組管束。

空气預热器是兩級式的，受热面积約为 11,000 公尺²。由直径为 51 × 48 公厘的焊接鋼管組成。

鍋炉机組的鋼架筑到灰渣間的地平面上。采用輕型炉墙，其厚度为 320 公厘。

鍋炉（指蒸发部分——譯者）的水容积为 53 公尺³。汽容积为 19 公尺³。如果要灌滿整

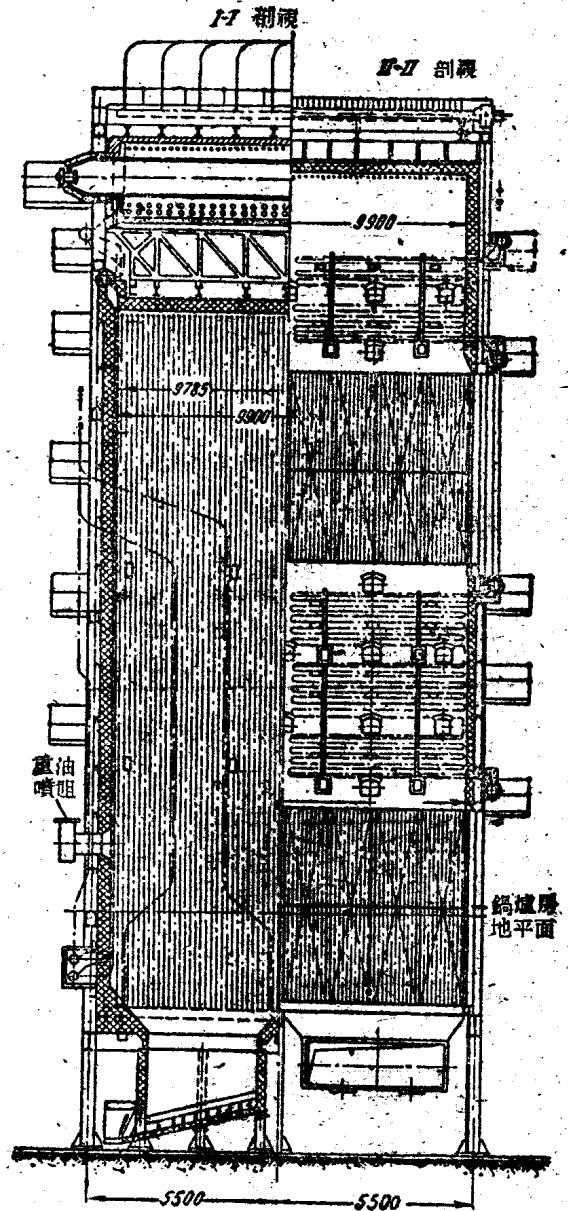


图2 ПК-10III型鍋爐机組的橫剖視圖

表 2

奥尔忠尼启则工厂鍋爐机組的設計数据

机 組 型 式	HK-10II	HK-10III	HK-10III	51-CH	66-CH
名 称	舒什图列帕煤	錘切泥煤	康恩煤	莫斯科近郊煤	彼巧尔煤
燃 料	舒什图列帕煤	錘切泥煤	康恩煤	莫斯科近郊煤	彼巧尔煤
燃 燒 室 型 式	噴燃器布置在四角上	配豎井式磨煤机	配豎井式磨煤机	噴燃器布置在前墙	噴燃器布置在前墙
效率(%)	87	85	90	85	90
燃燒室热强度(大卡/公尺 ³ ·时)	130,000	132,000	128,000	117,000	110,000
烟气温(°C)	燃燒室出口	1,190	1,100	1,130	1,100
	排烟温度	160	180	163	224
空气預热温度(°C)	360	410	360	440	395
烟 气 平 均 速 度 (公尺/秒)	过热器 { 第一部分	7.5	10.0	8.5	15.8
	{ 第二部分	9.7	14.8	11.2	8.2
	省煤器 { 上 部	9.7	14.8	11.2	14.0
	{ 下 部	8.1	12.0	9.2	10.0
	空气預热 { 上 部	13.9	21.0	15.8	21.6
	{ 下 部	11.4	15.9	12.4	16.0
在空气預热器中的空气平均速度 (公尺/秒)	上 部	9.2	13.1	11.0	10.7
	下 部	7.3	9.1	8.0	7.3

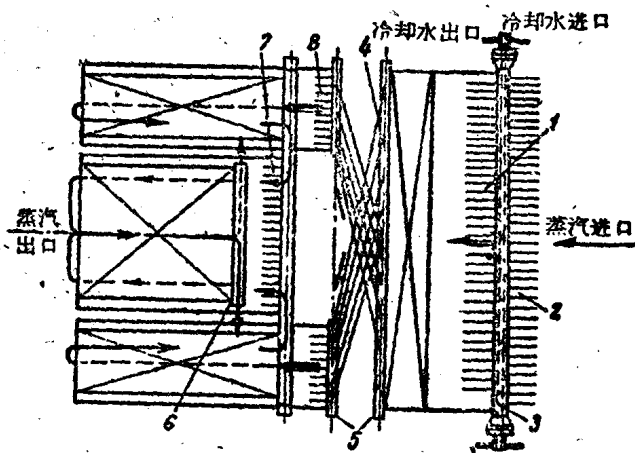


图 3 HK-10型鍋爐机組过热器的连接系統图

1—过热器蛇形管(直径为38×4.5公厘,共104对); 2—饱和蒸汽管(直径为42×5,共103根顶部管子); 3—过热温度调节器联箱,直径为325×35; 4—連通管,直径为108×9; 5—联箱,直径为273×35; 6—联箱,直径为325×35; 7—过热器蛇形管(直径为42×5,共48对); 8—过热器蛇形管(直径为42×5,共56对)。

式,而噴水調节則不仅操作困难,并且还不能完全防止过热器蛇形管和汽輪机叶片积盐堵塞的現象。

轉动式噴燃器可以使火焰沿燃燒室高度方向上下移动,从而就合理地解决了在較大的范围内調节过热温度的問題。

轉动式噴燃器的結構示于图 4。

噴燃器的轉动是靠装着按钮的远距离控制的减速器来实现的。

个汽水系統,大約需要100公尺³的水。

HK-10III型鍋爐机組装着4台豎井式磨煤机,按扇形布置在燃燒室的前面。

HK-10II型鍋爐机組采用鋼球磨煤机,在燃燒室角上装着轉动式的噴燃器。

解决关于在燃燒室角上裝置轉动式噴燃器的問題,对于鍋爐制造部門來說,还是一个新的課題。采取这种措施的原因,是因为以往所采用的过热蒸汽温度調节方法有着以下的缺点:表面冷却式降温器的調节范围不大,在烟气温調节方面沒有适当的結構型