

动力工业中的高压技术 论文集

第四辑 锅炉机组

苏联A.C.郭尔什科夫等主编

电力工业出版社

动力工业中的高压技术 论文集

第四輯 鍋爐机組

打
A.C. 郭尔什科夫 H.Л. 奥依文
苏联 B.П. 罗瑪金 П.Я. 裘林 主編

陈 珩譯

电力工业出版社

內 容 提 要

“动力工业中的高压蒸汽”是一部论文集，这些论文詳述了高压设备工作的最主要特征。在这部论文集中收集了有关下列問題的六輯論文：根据全苏热工研究院的研究成果所闡明的高压蒸汽的热力学性質；高压设备的水处理、在鍋爐机組及汽輪机水汽通路中的結垢；高压设备的金屬工作特征；鍋爐机組的热力系統、爐內过程；高压设备所用配件及其檢修；以及高压汽輪机等。

这部论文集是供科学研究、設計及調整机构的工作人员以及高等学校的教师应用的。

本書譯本分六輯出版，本輯系原書的第四部分，其中收集了关于高压蒸汽鍋爐的重要論文十七篇。这些論文对于高压蒸汽鍋爐工作的特征、蒸汽温度条件及調节性能、爐水的品質及循环、鍋爐机組的自动調整等問題作了詳尽的論述。本輯可供从事于高压鍋爐的研究、設計、制造、安裝、調整、运行、檢修、改进等工作的工程技术人员以及高等学校动力工程各系鍋爐專業的教師和学生应用。

А. С. ГОРШКОВ Н. Л. ОЙВИН
В. П. РОМАДИН П. Я. ТЮРИН

ПАР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ СБОРНИК СТАТЕЙ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1950

动力工业中的高压蒸汽

論 文 集

第四輯 鍋爐机組

根据苏联国立动力出版社1950年莫斯科版翻譯

陈 珩譯

*

565R136

电力工业出版社出版(北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業證許可証出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 21+印張 * 447千字 * 定价(第10类)2.90元

1957年7月北京第1版

1957年7月北京第1次印刷(0001—3,300册)

目 录

第四輯 鍋爐机組

高压鍋爐机組	С. Я. 闊尔尼茨基著 (2)
高压鍋爐的温度条件和調节品質	П. Я. 裴林著 (61)
全苏热工研究院型小尺寸管式空气預热器在高压鍋爐机組中的应用	Н. В. 庫茲涅佐夫及 Е. Я. 紀托娃 合著 (116)
由过热器管壁对高压过热蒸汽的放热系数	В. Л. 雷利区克著 (125)
苏联发电厂高压鍋爐机組的过热器工作情况	Л. В. 克洛里著 (140)
高压过热器管子系統排列的計算方法	Е. Г. 吉尔希金著 (162)
鍋爐蒸汽空間容积和水容积对蒸汽品質的影响	М. Д. 巴那兴科著 (187)
高压鍋爐的分离系統	М. Д. 巴那兴科及 Э. М. 利夫希茲合著 (210)
补給化学淨化水的高压鍋爐的运行	М. Д. 巴那兴科、А. А. 柯脫及 А. И. 菲利莫諾夫合著 (227)
高压鍋爐水汽流分离汽鼓的工作	А. И. 菲利莫諾夫著 (241)
在高压鍋爐中采用帶外置式旋風分离器的分段蒸發	М. Д. 巴那兴科著 (259)
汽水混合物在横置的受热爐管中流动时的阻力	А. А. 阿尔曼特著 (270)
关于高压鍋爐中的自然循环和循环回路的安排問題	К. Ф. 罗达紀斯著 (283)
在自然循环的高压鍋爐爐管中自由水面的形成条件	В. А. 洛克兴及 Н. И. 济尔諾夫合著 (298)
水平的及斜置的受热管子金屬在高压下的温度条件	К. Ф. 罗达紀斯著 (315)
直流式高压鍋爐的自动化	В. Д. 米洛諾夫著 (338)
高规范蒸汽鍋爐机組中各項过程的自动調节	Е. П. 斯傑芬尼著 (349)
参考文献	(370)

高压鍋爐机組

苏联 工学博士С. Я. 闊尔尼茨基教授著

引 言

在近几年来，苏联的鍋爐技术是在突飞猛进地發展着。在很多工段上，过去和現在，苏联的鍋爐技术始終佔着真正的先进领导地位。苏联可以因在很多部門的最偉大成就而自豪，像解决了燃燒低品質和非常难燒的燃料(無烟末煤、泥煤、多灰和高水分的煤等)的問題一样，解决了防止鍋爐結熔渣的問題，裝置兩面受照射的水冷壁管，創造完全新型的爐內系統(直流式鍋爐，分段蒸發的鍋爐)，按燃料进行鍋爐机組的統一化，燃料的新磨制及干燥方法，对鍋爐机組热力工作及自然循环工作过程的理論进行研究，直流式鍋爐机組元件內的流体动力学，蒸汽的分离和淨化等等。苏联的設計師們創造了、又由苏联的机器制造工厂制成了多种型号的創造性的鍋爐机組，这些机組保证了苏联动力工業的正常發展。

自从偉大的十月社会主义革命以来的 32 年中，苏联的鍋爐技术从設備蒸發量不超过 15—20 吨/小时进展到 200—230 吨/小时及更大，压力由不超过 13—16 大气压进展到 100 大气压及更高，汽温由不超过 325—350°C 进展到 510°C 及更高。远在 1931 年就已經开始应用了第一台試驗的 Л. К. 拉姆金直流式鍋爐，而在 1933 年，第一台在当时为最大、压力为 140 大气压的工業用拉姆金直流式鍋爐机組也投入运行了。到目前为止，苏联的热能动力工業已經掌握了高压鍋爐机組的生产和运行，而且在这些鍋爐中，高位能的蒸汽是靠燃用高水分和多灰的原始載能物質(燃料)而得到的——像莫斯科区褐煤、無烟末煤、烟煤选煤时所剔出的多灰廢煤等。

在資本主义国家中，沒有一个国家能够像苏联这样利用范围那末广泛的燃料来生产高压蒸汽，苏联主要是利用按可燃性、結渣性以及总的惰性填充物來說是非常难燒的燃料。在美国也有很多高压設備，然而，美国所“夸揚”的高压鍋爐技术，只是解决了以燃用高品質烟煤为基础来取得高规范蒸汽时的最簡單而最容易解决的問題。在战时，美国人曾試圖解决在他們的高压設備中燃用灰分較高和結渣性較强的煤的問題，但仍旧沒有解决。美国的無烟煤比苏联的無烟煤所含的單發分高得多，按性質來說已較接近于貧煤了，可是在美国的高压設備中，实际上無烟煤还是沒有得到利用。在德国，潮湿的褐煤是在高压机組中燃用的，然而，說到高灰分和結渣性，就是对于德国人，也是沒有得到解决的問題。

苏联的高压鍋爐技术的成就是偉大的。同时，还有很多工作正在进行。我們的党和苏維埃政权对于动力工業是極为关怀的。由于苏維埃社会主义国家經濟的高度發展，由于有極大的可能使我們的設計人員、制造人員、安裝人員、运行人員和学者的集体始終如一地密切合作进行工作，并且他們都滿怀着社会主义国家公民所具有的社会主义意識，就为苏联鍋爐技术的进一步飞速和不斷發展，以及在苏联發电厂內高规范蒸汽生产的迅速增長創造了必要的先决条件。

在战前几年中，由于受了許多因素的影响(对这些問題的分析已超出本文范围以外)^①，全部爐膛加水冷壁的鍋爐机組型式已經逐步定型了，并且或多或少地在大型的动力工業中确立并佔据了优先的地位。这些鍋爐机組的特性，除了已經指出的純辐射性特色以外，在自然循环的鍋爐中还有：鍋爐本身受热面(蒸發受热面)大部分做成水冷壁管，沿着烟气流过的方向依次首先把过热器安排在对流受热区域内，其次安排省煤器(在必要的情况下，可采用“沸騰式”的，也就是在它的热的一端有蒸發部分)，最后安排空气預热器。在直流式鍋爐机組中，不但鍋爐受热面可以利用爐膛的水冷壁，而且一部分省煤器和过热器受热面也可以利用水冷壁管，然而，所謂过渡的区域，也就是說蒸發过程完成和蒸汽开始过热的区域，在所有最近的几种直流式鍋爐机組的标本中，却都由爐膛外移出去裝置在机組的对流受热省煤器前面的热强度比較低的对流受热部分內。在燃用具有很高結渣性的苏联燃料的条件下，燃燒产物在机組辐射受热区域和对流受热区域分界处(爐膛出口处)的温度，一般采用为 1100°C ，而空气則預热到約 260°C 。

鍋爐机組加水冷壁的观念是基于很深的理論研究的，同时还要进行必要的設計工作，这种观念和研究工作也是在苏联提出和进行的。在圖1中所示为全苏热工研究院研究成功的試驗性鍋爐机組的設計圖，这远在1926年就由該院正式公佈了。这座鍋爐机組的構造及一般佈置情况，与我們所熟悉的、在鍋爐技术进一步發展的情况下所制成的不同。然而，应当指出，这一設計圖是为压力是100大气压、温度是 450°C 的純水冷壁型鍋爐机組而拟定的，在这設計圖中，把全部鍋爐受热面都佈置在爐膛范围以內，并且热力系統也經過周密地考虑，在爐膛后面接入了高压过热器，接着安放把蒸汽在17绝对大气压下由 250°C 过热到 360°C 的中間过热器，后面是把水由 100°C 預热到 200°C 的高压省煤器和把空气温度提高到 200°C 的空气預热器，最后是把給水由 50°C 加热到 100°C 的生鉄翼管式低压省煤器(16绝对大气压)。机組是按效率等于90%进行設計的。

造成帶有上述热力系統的水冷壁式鍋爐机組、产生較高和很高规范的蒸汽，是鍋爐技术的巨大成就。水冷壁型的水管式鍋爐机組很可能还是要長久地保持它超过其他型式鍋爐机組的优越地位。同时，在最近的时期內，正在积聚着而且在

① 可參閱第133—136号“全苏热工研究院学报”。

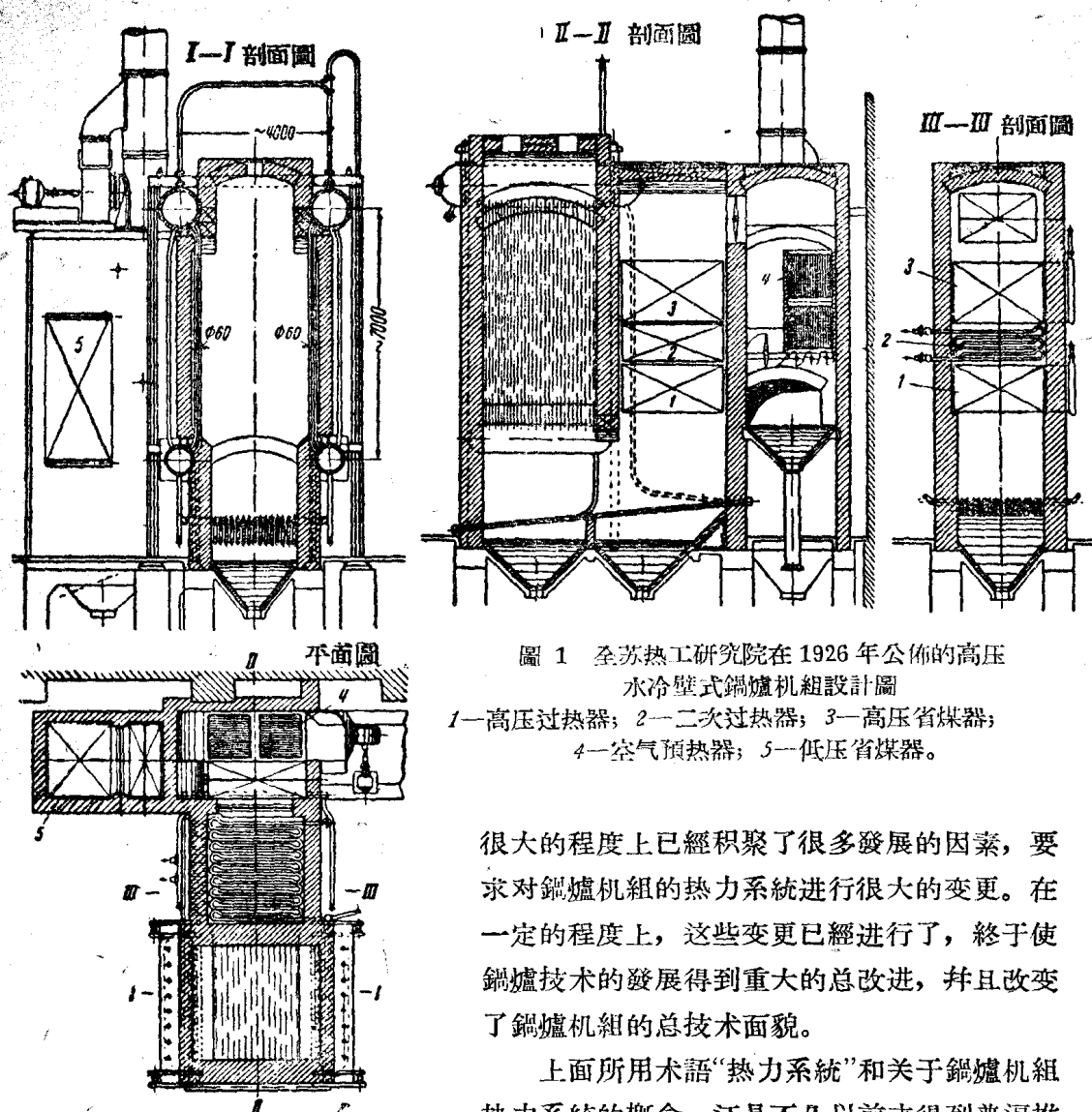


圖 1 全苏热工研究院在 1926 年公佈的高压
水冷壁式鍋爐机組設計圖
1—高压过热器；2—二次过热器；3—高压省煤器；
4—空气預热器；5—低压省煤器。

很大的程度上已經积聚了很多發展的因素，要求对鍋爐机組的热力系統进行很大的变更。在一定的程度上，这些变更已經进行了，終于使鍋爐技术的發展得到重大的总改进，并且改变了鍋爐机組的总技术面貌。

上面所用术语“热力系統”和关于鍋爐机組热力系統的概念，还是不久以前才得到普遍推广的。在鍋爐机組(除爐子和磚砌部分外)还只是由單純的鍋爐組成时，它不但起着使水蒸發的作用，还起着使水預热和輸出飽和蒸汽的作用，那时不但鍋爐机組热力系統的概念不存在，就連鍋爐机組的概念也不存在。“鍋爐”这一概念和术语(按上面所述这个字的扩充意义)在这时期是完全适合而且足够的。蒸汽过热、給水在省煤器中預热以及后来的空气預热等过程的逐步引用，就由以前的單純鍋爐改造成了現代的鍋爐机組，同时，引用鍋爐机組热力系統的概念也成为合理而适当的了，后来，随着蒸汽規范的进一步提高，更成为必要的了。

使鍋爐机組热力系統發展的因素之一就是節約燃料的傾向。这个傾向首先表现在蒸汽規范的提高，这一点由后面將要叙述的可以知道，將使鍋爐机組各种受热面的分配比例和排列次序發生很大的变动。接着，由于要竭力提高爐子的效

率，产生了很多組織和調節爐膛燃燒过程的新方法以及新型的燃燒設備，提高了送入爐子的空气温度，变更了各种受热面的排列位置和相对大小。最后，显而易见，决定鍋爐机組主要損失(排烟損失)数值大小的排烟温度，也应随各种受热面的佈置次序而定。

对鍋爐机組热力系統發展有关的另一个因素，应認為是節約金屬的傾向。这个傾向表現在：选用更为合理的受热面構造形式、燃燒产物冲刷受热面的方法以及燃燒产物的流速，采用經完善改进的机組循环系統，减少汽鼓的数目而用联箱来代替等等。实现这一傾向的最主要方法之一，就是使燃燒产物与工質之間的温度差提到最高(按整个机組來說)，因为，我們已經知道，受热面的热强度主要是随下列数值而定的：

$$Q/H = k\Delta t \text{ 大卡/公尺}^2 \cdot \text{小时} \quad (1)$$

無疑，要提高蒸汽的规范和采用合金鋼和高度合金鋼更其需要加强这个傾向。当蒸汽的压力和温度提高到需要采用特別貴的鋼(特別是不銹鋼和奧司丁級的鋼等)时，尽可能節約这些鋼材將是拟定鍋爐机組热力系統的主要要求之一。

在一定的程度上，减少鍋爐机組重量(節約金屬)的傾向是提高机組效率(節約燃料)的傾向互相抵觸的，因为提高效率的方法之一，就是借增加后部对流受热面来降低排烟温度。在其他条件不变时，提高蒸汽规范也会使鍋爐机組的重量增加，并且还要像剛剛所提起的那樣，使它們的許多元件要用貴的合金鋼来制成。借改良鍋爐机組热力系統及內部系統、加强它的各元件中的热交換作用、大大改善及革新鍋爐制造工艺过程等方法来解决这些矛盾，是苏联鍋爐技術發展的最重要因素之一，这样結果就可造成更为經濟、輕巧而且在运行中可靠的鍋爐机組了。

可靠性、調節性能和經濟性

对于产生高规范蒸汽的鍋爐机組的可靠性，應該提出特別严格的要求，这不但有关于蒸汽生产过程的連續性，而且在相等的程度上也有关于机組工作的安全性。任何品質高的(效率高、重量輕等)鍋爐机組，假如它的工作不完全可靠或不能保証在所有的工作方式下可靠地工作，則它們是不可能受到重視的。

鍋爐技術的發展使蒸汽鍋爐以及后来的鍋爐机組成为一种复杂的結構，它应当按对它所預定的方式或运行曲綫进行工作。由于制造或計算錯誤，或者由于运用錯誤或不确当而使工作条件与額定的条件有偏差，会使机組中任一个別元件受到損害，这很容易轉变成事故。假如再像运行中常常遇到的、同时有好几种工作条件与正常条件有这样的偏差，那末事故就將成为常見的现象了。

由鍋爐机組的設計来决定的最为通用的工作条件，可用下列众所週知的总热

平衡方程式来表示:

$$BQ_n^p \eta_{\kappa.a} = D\Delta i_{\kappa.a} \text{大卡/小时}, \quad (2)$$

由这方程式可以很容易得到略为变形的燃料蒸发率方程式, 就是:

$$\frac{Q_n^p}{u} = \frac{\Delta i_{\kappa.a}}{\eta_{\kappa.a}} \text{大卡/公斤}. \quad (3)$$

对于机组在利用一定燃料时的工作条件, 上列方程式的左面和燃料的蒸发率 u 成反比, 而

$$u = \frac{D}{B} \text{公斤/公斤}.$$

而这方程式的右面则就是机组产生 1 公斤蒸汽所消耗的燃料含热量, 即

$$\Delta I_{\kappa.a} = \frac{\Delta i_{\kappa.a}}{\eta_{\kappa.a}} \text{大卡/公斤}, \quad (4)$$

也就是说, 这是一个参数, 它的数值是否合于设计任务所定的范围是随机组的计算是否正确和运行是否完善而定的。

因而, 对于同一锅炉机组工作条件并且在用一定的燃料时, 最通用的机组热平衡形式, 就是燃料蒸发率和单位燃料热耗量之间的双曲线关系, 其形式为

$$u\Delta I_{\kappa.a} = Q_n^p = \text{常数}.$$

不可以轻视上面所得方程式的浅近性, 下面就可着重指出它的重要意义来。因为这个方程式概括了最通用的情况, 或者说它可以用于各种不同的设计负荷和锅炉机组的各种工作条件, 而 $\Delta I_{\kappa.a}$ 的数值, 由公式 (4) 中可以看出, 又是个复杂而综合性的参数, 不但随着烟气通道的工作特性而变, 而且也随着水汽通道的工作特性而变。所以可以明了, 对于这些规定条件的偏差, 必须认为, 即使不是完全不允许, 也只是在一定的有限范围内容许。上述情况, 不但适合于由于构造不完善和计算不准确而引起的与“规定”有偏差, 在相等的程度上也适合于由于运行不完善所引起的偏差。

相似而较为复杂的原则性关系, 不但可以按整个机组得出, 也可以按沿烟气通道依次排列的各个部分(锅炉和过热器的辐射受热部分、过热器和锅炉的对流受热部分及省煤器等)分别得出。显然, 锅炉个别元件的运行工作条件超出上述范围以外的数值, 也应限制在一定的限度以内。在这种情况下还有一点也是很重要的, 就是: 当机组中某一元件的工作情况超出规定的运行方式时, 其余元件的工作条件也就不可避免要或多或少地超出规定, 特别是按次序接在前述元件后面的各元件。

这种情况在按烟气通道或水汽通道接成并联的部分中也会发生。不言而喻, 前面所介绍的那些方程式对于锅炉机组的所有并联元件也是完全正确而且应当符

合的。所以，在鍋爐機組運行時，無論在受熱面外部或內部發生任何不加節制的偏單面情況，都是有害的。

無論哪一種偏單面情況，在很多場合下往往是設計不良的後果，或者是由于鍋爐機組和它的輔助設備的特徵。特別常見的有如下的幾種現象：由于給粉器的調節性能不良而造成送入爐膛的燃料量不均勻，送入爐膛的空氣量不均勻，在爐膛出口處（進入對流受熱面處）煙氣溫度分佈（溫度場）不均勻，煙氣流速局部過高和煙氣內飛灰濃度分佈（濃度場）不均勻，並聯在同一循環回路中的水冷壁沸水管或鍋爐對流部分的沸水管受熱不均勻（這種不均勻性往往是由于在回路中的水冷壁管上裝置了耐火物的引燃帶、由于水冷壁管的分組不正確或由于其他設計方面的原因造成的），等等。在鍋爐機組的內部，同樣也有相類似的種種現象，如：由于循環回路中送入的循環水量和它所吸收的熱量不相適應而使水循環回路受到牽制，給水在汽鼓中的分配不正確，將未充分預熱的水送入鍋爐內，汽鼓蒸汽空間的負荷不均勻，水汽分離裝置對同一循環回路中各元件所生的阻力不同，蒸汽在過熱器各根管子中的分配不均勻，由于過熱器受熱面積過大而使過熱溫度普遍過高，直流式鍋爐機組並聯工作的各根管匝設計阻力不同等等。

運行方式對於規定方式的偏差也是多種多樣的。

爐膛正常運行方式的破壞（由于運行方面的原因使爐膛內發生偏單面的情況、結渣、燃燒的不完全性提高、燃料磨得過粗、在受熱面區域內發生復燃現象等等），在很多情況下會使機組的工作完全被破壞，不但會降低它的蒸發量，而且使沿整個煙氣通道的溫度水準和分佈情況歪曲、使水循環顛倒、使個別沸水管內形成自由水面、使溫度伸縮縫中被污物塞滿、使管子脹口處出現環形裂紋、使過熱器管燒壞、甚至使空氣預熱器受熱面翹曲和過熱，至于使爐膛本身損壞及使機組的經濟性降低那是更不必說了。在極大多數情況下，爐膛的工作決定了整個鍋爐機組的可靠程度。

將未充分預熱的水送入鍋爐機組，也會使機組的所有各部分工作受到影響。給水在再生預熱系統中未充分預熱（和額定條件相比不充分），由于在一定的條件下要使 $\Delta I_{k.n}$ 及燃料消耗量增大，所以對結渣現象的發展有影響，會使過熱溫度普遍過高而使過熱器過度受熱。由于凝結水損失過多或其他原因迫使鍋爐用品質不如凝結水的給水進行工作，大家都知道，會使鍋爐沸水管及過熱器管過度受熱和使汽輪機結鹽垢等。至于使鍋爐在超過設計壓力的條件下工作，現在當然是不應該談起的。然而，即使在比設計壓力低的條件下工作，在一定的情況下（例如，在直流式鍋爐機組中），也可能是發生事故的根源之一。

事故的根源在很多情況下就是在不穩定狀態下的運行（升火、停爐、保持在熱備用情況下等）進行得不正確，還有就是機組在負荷劇烈波動的情況下進行工作。

由以上所述种种情况可知，倘鍋爐机組在与設計及計算时所假設及給定的条件有偏差的运行方式下工作，而这些偏差又是屬於机組的主要和原始的特性，也就是說屬於燃料和它的燃燒条件方面或屬於蒸汽和給水的规范方面的，那末就將造成極大的困难。这可以用实际工作的数据来証实，也可以用已有的、对鍋爐机組和它們的元件的事故进行分析所得的很多經驗来証实。

最后，运行的經驗指出，或者更准确一点說运行經驗証实了，在設計和計算不正确以及运行不正确的鍋爐机組中，还有在鍋爐机組內按發生任何一种損坏的可能性來說最危險的元件中，主要事故發源地总是在受热面的某些部分，这些地方的金屬在正常情况下原已在困难条件下工作了，如：在高温下、在应力交变和温度交变的条件下、在靜的过应力下、在爐水侵蝕作用下等等。首先，这就是鍋爐和过热器的受热面；在一定的程度上，省煤器的受热面，或者准确些說，它的最热部分，也屬於这种受热面部分。

应当注意到，在所謂平均蒸汽规范的条件，下，鍋爐及省煤器中較热的部分(沸腾部分)內水的沸点已經达 240°C 左右，而平均的过热蒸汽温度已經达 420°C 左右了。管壁的温度則相应地更高些。对于压力为 100 表大气压的鍋爐机組，給水的温度为 215°C ，而沸点則超过 310°C ；对于这种压力，过热蒸汽按照苏联国家标准采用等于 510°C 。在中等蒸汽规范的設備中，已遇見金屬蠕伸变形的現象了。然而，在这些設備中，当通常根据技术标准选用按金屬屈伏点計算的安全因数时，在正常情况下，金屬大多数是在它的彈性变形範圍內工作的。在这种蒸汽规范下，金屬塑性变形的發展是不大的；相应地，总計的殘余变形也是不大的。蠕伸变形現象对金屬工作的耐久性以及鍋爐机組元件工作可靠性有实际影响的情况，主要發生在机組的設計、計算和运行有錯誤时。

在产生高规范蒸汽的鍋爐机組中，情况就根本地改变了。在这些条件下，即使金屬所受应力并不高而是低于屈伏点的，在金屬內仍會發生或多或少的塑性变形，随温度高低及工作時間長短而定。蠕伸变形現象是按逐步扩大的方式进行的。在蠕伸变形过程中，金屬变为更脆了。由于蠕伸变形而造成的金屬破坏，在殘余变形并不甚大时就已發生。松弛現象(也就是在受应力的金屬內，在保持总变形不变的条件下由彈性变形部分过渡到塑性变形部分，因而引起的应力減低現象)，在上面所討論的条件下具有很重要的意义。

对于这样的工作条件，普通碳素鋼是不够坚固的。因此，为了制造过热器(或者它的最热部分)以及产生压力为 100 表大气压、温度为 500°C 的蒸汽的鍋爐机組某些其他元件，苏联鍋爐制造工業采用合金鋼、珠光体級的耐热鋼，这些合金鋼的主要合金元素，到目前为止都是采用鉻和鋁。然而，不可忘記，就是在采用合金鋼时，蠕伸变形現象仍旧是發生的，尽管是以較輕的形态發展。因此，产生中等规范蒸汽的鍋爐机組和高压鍋爐机組的工作条件，在性質上的区别是很大的，

必須时时加以注意。同时也應該考虑到，有很多因素的作用在鍋爐設備运行时不得不遭遇到，例如，能使金屬發生热疲劳的温度波动，金屬的腐蝕等，这些因素也要加强蠕伸变形現象。

考虑到上面所述的种种情况，必須下这样的断語，即：在高压及高温下工作的鍋爐机組，由于在慣常应用的彈性变形范围以外工作和受到塑性残余变形的作用，特別要遵守前面所述总的和局部的运行条件。因此，这些工作条件以及不完全遵守它們时会引起的后果已在前面指出，并且已簡短地分析过了。按實質來說，这也就是产生高规范蒸汽的鍋爐机組的主要特征之一——無論是直流式鍋爐机組或是自然循环的鍋爐机組。

爐膛工作的均匀性和稳定性是和前述使高压鍋爐机組工作正常而可靠的必要条件有关的。随煤粉制造系統的不同，这个要求，或多或少应向煤粉制造系統某些元件提出，而对相当的新型式和新系統也就必須进行实验性的檢驗。在所有的情况下，这要求对給粉器都是要提出的。

送入爐膛的燃料和空气是否均匀，在很大的程度上是随煤粉制造系統的構造和它与鍋爐机組的配合情况而定的。在我們的中压鍋爐設備中得到普遍推广的、在各个鍋爐机組的中間儲粉倉之間有交叉連通管的單位式煤粉制造閉式系統，不应因此就机械地搬到高压設備上来应用。在采用閉式系統时，在煤粉制造系統之間及鍋爐机組之間可能發生很大的調节牽制性。这由上面所述的观点來說，对爐膛工作是有不良影响的。由于这个緣故，自然就要建議利用开式系統的优点了。由这个观点來說，烘烤作用有联系性的开式系統(用抽取的烟气或全部排烟来烘烤燃料)具有一些优点，而独立(集中地)烘烤燃料的开式系統則有更多的优点。假如在現代化新技术水平上能全部采用集中制造煤粉的开式系統，就能为有效控制 and 均衡送入高压鍋爐机組爐膛內的空气量和帶有一定水分及具有一定細度的粉狀燃料量創造所有的必要条件，那末在这个方向又可以向前迈进一步了。

在所有的情况下，由于高压鍋爐机組金屬的温度条件以及总的工作条件有那些特征，就要求对所有各种偏單面現象(無論在机組的烟气一面或在机組的水汽一面)、結渣現象以及前面所說过的其他不正常現象都要提高警惕。这个警惕性無論在設計及制造鍋爐机組时或在設計鍋爐設備和它的輔助設備时以及在运行过程中，都应当表現出来。

由于以上所述的一切情况，还需要指出，不少鍋爐机組的型号是按蒸發量来定的，这个型号的根据是：当机組的蒸發量超过型号所称的額定值时，机組的或它的任何一个部件的工作可靠性就要降低了。这不能認為是正确的。对于高压鍋爐机組，特別重要的是應該沒有蒸發量的事故性限度，或者根本就沒有这种由于工作可靠性因素所造成的蒸發量限度。因此鍋爐机組的蒸發量型号，首先应按对机組所給定的热力經濟性来决定。在这样定出的額定蒸發量下，高压鍋爐机組对

結渣、調節性、蒸汽的分离等的可靠性來說，应还有儲备能力。这个可靠性的儲备能力，首先應該尽最大可能利用先进技术成就来获得。

鍋爐机組的动稳定性(調節的稳定性)是它的非常重要的特性。可惜，鍋爐机組的調節問題是研究得很不够的。关于这方面的某些資料，已在本書后面所載的П. Я. 裴林的論文中述及。根据現有的資料可以这样說：在鍋爐机組的調節特性中，它承受負荷的能力(增荷性能)和它的总惰性特征都是具有重要意义的。机組对于送入爐膛的燃料量的变更反应得快以及当按燃料來說負荷升高(或降低)时、在自然循环的鍋爐中压力升高(或降低)得慢或在直流式鍋爐中过热蒸汽温度升高(或降低)得慢，可以減輕鍋爐机組的調節工作，因而可以作为机組調節性能良好的証明。蒸汽規范的提高对这些特性有很重要的影响。

要使机組当負荷在相当广的範圍内变动时还可能保持給定的蒸汽規范，特别是过热蒸汽温度，也具有同样重要的意义。倘發电厂在蒸汽温度低于額定值的条件下运行，必然会使得采用高規范蒸汽时所能获得的經濟优越性損失一部分，而过热度过高却又是完全不容許的，因为过热器、管道、配件等的金屬，就是在額定的过热度下也已在非常困难的条件下工作了。因此，在高压高温蒸汽的条件下，前述因素有时对鍋爐机組的結構、佈置和热力系統有很大的影响，特别是在产生超高規范蒸汽的情况下，有时甚至有决定性的影响。

在高压鍋爐机組中，要保持給定的蒸汽規范，主要是靠合理組成热力系統来实现的。这对于直流式鍋爐机組和自然循环的鍋爐机組都是一样的，并且，对于自然循环的鍋爐机組，相当的可靠經驗至今还只是限于压力不超过100—140大气压的情况。在另一方面，随着汽压的提高，采用任何类型的汽温調節器都逐渐成为不适当了，这些汽温調節器有时本身不够可靠，有时構造太复杂而且价貴，往往使机組及整个發电厂的連絡系統大大地复杂化，并且总是要使机組的整个調節系統發生扰乱而使系統复杂化，这是由于在一定的程度上要使給水量的調節和过热温度的調節發生牽制性，又使各个个别受热面的工作条件和总热負荷等歪曲。因此，特别是在有些情况下，当对机組的热力系統在过热蒸汽温度調節方面所提出的要求与在節約燃料和金屬以及保証机組工作可靠方面所提出的要求相互符合，或者并不冲突时，由合理的热力系統所能造成的过热蒸汽温度可能調節範圍应完全加以利用，而补充的特別調節設備只应执行最后的修整調節任务。

关于鍋爐机組的調節問題和它們的动稳定性，上面所簡單叙述的一些問題都只說到机組在最高限度負荷下的情况，不可不对机組在最低限度負荷下的情况进行討論。这个下限是由粉狀燃料在爐膛空間热負荷不高时燃燒过程的稳定性来决定的，在目前这个数值还是很高的。对于高压鍋爐机組，由于要求燃燒过程的均匀性、稳定性和調節性能都很好，最好要使爐膛稳定工作的負荷下限大大降低。

要解决这个問題，显然要对工業設備进行不少的研究工作和試驗工作。有充

分的根据可以預計，采用开式磨煤系統及消除煤粉制造和爐子調节的牽制性，可以在这一方向迈进重要的一步。

在鍋爐机組的一般調节問題范圍中，自然也包括不稳定运行方式如何进行的問題，其中包括：升火、停爐、把它們維持在热备用状态下等。在高规范蒸汽的条件下，这些問題具有很重大的意义。然而，闡明这些問題已經超出本文的范围了。

最后，还应指出，鍋爐机組的調节問題，只有在正确組織运行监督、远距离操縱和自动調节等系統的情况下，才可能順利地解决。高压鍋爐机組金屬工作条件的特点，要求在供应这些机組时要配有整套的必要檢查-測量仪表和自动調节仪器。沒有配有所有这些仪器的高压鍋爐机組是不許啓用的。若能对高规范蒸汽的过热器的自动保护問題加以考虑和研究，則是更为适当了。

在蒸汽生产过程的燃燒技术方面，發展的主要困难，会在燃用难引燃的（揮發分低、水分高的）、难燃燒的（高灰分的）和結熔渣的燃料时遭遇到。已經知道，在苏联进行国家工業化的初期，外国較好的厂家，曾經为了供应能燃用無烟煤（希吉洛夫斯克国家地区發电厂）、莫斯科近郊煤（卡希尔）和基茲洛夫斯克煤（培雷时涅克）的鍋爐机組而遭遇到巨大的失敗。燃用“非头等”燃料（列宁語）的任务，是完全由苏联热力工作者独立胜利完成的，这样就使得能在用地方燃料的基础上广泛發展动力的建設。解决这問題的主要方法是預行制备燃料（烘干和磨細，使具有每一具体情况所要求的細度和顆粒成分）和采用改善的火室爐，它的气体动力情况經過仔細考虑、水冷壁經過扩充而且是用預热空气进行工作的。

目前，在生产蒸汽的过程中，主要的热量損失是排烟損失和机械未完全燃燒損失。假如沒有其他損失，那末鍋爐机組的效率（总效率）可以用下面的方程式来确定

$$\eta_{k.a} = (c_1 - c_2 W^n)(c_3 - c_4 A^n), \quad (5)$$

式中 W^n 及 A^n ——各为燃料的折算水分和折算灰分（即每 1000 大卡/公斤 低位發热量所帶水分和灰分的百分数，或： $W^n = Wp / \frac{Q_n''}{1000}$ ， $A^n = Ap / \frac{Q_n''}{1000}$ 。——譯者）

而系数 c_1 、 c_2 、 c_3 及 c_4 ，对于火室爐，在給定的过剩空气量和排烟温度下，主要是随燃料的品种（無烟煤、烟煤、褐煤）和燃料所具有的揮發分高低而定的。

不难看出，所得的公式对于数值 W^n 和 A^n 來說是对称的。

假如必須考虑化学未完全燃燒損失和燃燒殘渣的物理热量，那末它們的数值可以由公式（5）的右面減除。倘考虑散給周圍环境的損失，也不会使这公式改变形态；各系数（ c_1 至 c_4 ）在这时对于不同蒸發量的鍋爐机組所采用的数值略为不同。

各种不同烟煤和無烟煤的折算水分是很接近的，而按絕對值來說也是不大的。因此，对于每一标号的一定种类的燃料，在其他条件都相同时，鍋爐机組的

效率只是随折算灰分而定,而且是它的直綫函数。这反映在圖 2 中所示的曲綫上,在繪制这些曲綫时,除上述的条件以外,还假定对于所有的干燃料,排烟温度均为 145°C 。

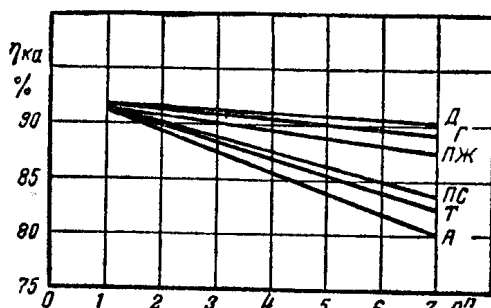


圖 2 对于各种不同标号的烟煤和無烟煤,鍋爐机組效率与折算灰分的关系曲綫

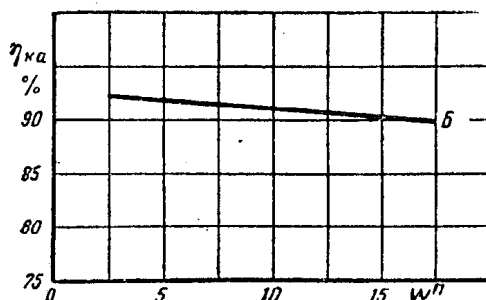


圖 3 对于褐煤,鍋爐机組效率和折算水分的关系曲綫

对于褐煤(当和前述兩类燃料一样,把它們放在火室爐內燃燒时),系数 c_4 是很小的,以至于在这种情况下折算灰分对鍋爐机組效率的影响可以略而不計。因此,在其他条件都相同时,在这种情况下鍋爐机組效率只和折算水分有关,而且是它的直綫函数。这种情况示于圖 3 中。在繪制这曲綫时認为,当折算水分由 0 增加到 15 时,排烟温度由 145°C 升高到 160°C 。

上面所介紹的圖綫指示着苏联鍋爐机組制造技术和燃燒技术所已达到的高度經濟水平。然而,与此同时,对于烟煤一类,当折算灰分增高时,所得到的是一組分散得相当厉害的直綫。这証明在所述情况下有可能、也有必要在减少低揮發分燃料的机械未完全燃燒損失方面进一步努力。对于高压鍋爐机組,这尤其重要;首先是因为:水平更高的(在采用高压时应認为是这样的)新技术完全应和更完善的燃料燃燒技术相当;其次是因为:按性質來說,在由于采用高规范蒸汽所能得到的燃料節約中,在这种情况下有很大一部分是靠减少爐子中的損失而达到的;第三則因为:燃燒經濟性的降低往往引起經濟性本身不够稳定以及燃燒过程整个进行得不够稳定,或者就是这些現象的表征。对于高压的鍋爐机組,燃燒过程进行得不稳定是特別不好的。

对于褐煤,当它們的折算水分提高时,效率之所以降低,是由于排烟損失的增高。由圖 3 中可以看出,把燃料由折算水分为 15 烘干到折算水分为 5,就可以使效率約提高 1.5—2%,也就是說可提高很可觀的数值。固然,这个節約有一部分是由于在計算中采用了一定的排烟温度差異 (10°C);但是,如后面將要指出的,对于在这里进行比較的燃料折算水分來說,要保持排烟温度相同,会使燃用潮湿燃料的鍋爐增加大量的后部受热面。在这种情况下,如果注意到在高压下省煤器的受热面單位面积重量要增加,那末最正确的解决方法將是轉向采用开式磨煤系統了,关于这种系統的其他优点在上面已經提出了。

爐 子

應該注意到，前面所介紹的高壓鍋爐機組的經濟性特性曲線，對於不同的燃料來說，是當機組在不同爐膛容積熱強度下進行工作時得出的。根據已有的經驗來判斷，褐煤可以在很高的爐膛容積熱強度下燃燒。對於煙煤，倘燃料所具有的揮發分越高，則按燃燒條件所容許的爐膛空間熱強度愈低。

在另一方面，仍舊應該考慮到高壓鍋爐機組按燃料品種而言的必要通用性，並且非常希望能把它們標準化起來。這對於爐子也是一樣，它們的尺寸在所有的情況下最好不要按所研究的最有利的燃料來決定。因此，對於高壓鍋爐機組，把所有送入爐子的空氣全部予以高度預熱，可以認為是無條件有利的，而且也是必要的。這樣的預熱（達 400°C ，在將來還可能更高），在一定的程度上消除了各種不同燃料由於揮發分不同在燃燒過程中的差異，而且除此以外，也改善了對於所有燃料而言各燃燒階段的穩定性，或者在所有情況下使得能提高爐膛的加水冷壁程度，又可以使得爐膛在不到全負荷時的工作穩定性改善，並且根本地提高了爐膛燃燒過程的穩定性。對於高壓鍋爐機組，所有這些都是極端重要的。

在用開式磨煤系統的條件下，一次空氣和二次空氣都可以是經過預熱的也應該是經過預熱的。高度預熱空氣，也可以幫助安排液態除渣。

高壓鍋爐機組的爐子部分，在進一步大力發展方面是有遠大前途的。考慮到，現代化的爐子不但應執行經濟而強烈地燒完燃料的任務，而且應執行使灰分沉下和有效進行熱交換的任務，採用液態除渣和兩面受照射的水冷壁，必須認為是發展前途中最为接近的途徑。

在用液態除渣方式時，爐膛容積可以得到最完全的利用。在用液態除渣式的爐子中，隨着需要的程度，可以把灰槽區域所有的輻射受熱面全部用火泥遮蓋起來，這就使爐膛中的高溫區域擴充了。還有一種情況當然也是同樣重要的，就是：這種型式的爐子下面並未裝有冷灰斗而是裝着熱的爐底，在爐底內裝滿溫度接近火焰溫度的熔渣，並且，除此以外，在這種爐子內應消除下部的漏入空氣現象。擴充了爐膛內的高溫區域、使火束接近周圍的側牆和爐底并使熔化的灰分積附在它們上面，這些都是在干式粒狀除灰時所不希望有的，而在液態除渣時，不但容許而且希望有這些情況。

高溫區域的擴充對於引燃和整個燃燒過程的穩定性都是有利的，並且可以幫助減少由於燃燒不完全所造成的損失。因此，有根據可以期望，在用液態除渣式的爐子中，特別是在用高度預熱的空氣和開式磨煤系統來進行工作時，對於各種燃料（也包括無煙煤在內），由於燃燒不完全所造成的損失將為最小。也可以推測，用這些爐子可以在很大的程度上消除在用各種不同燃料時按燃燒條件所容

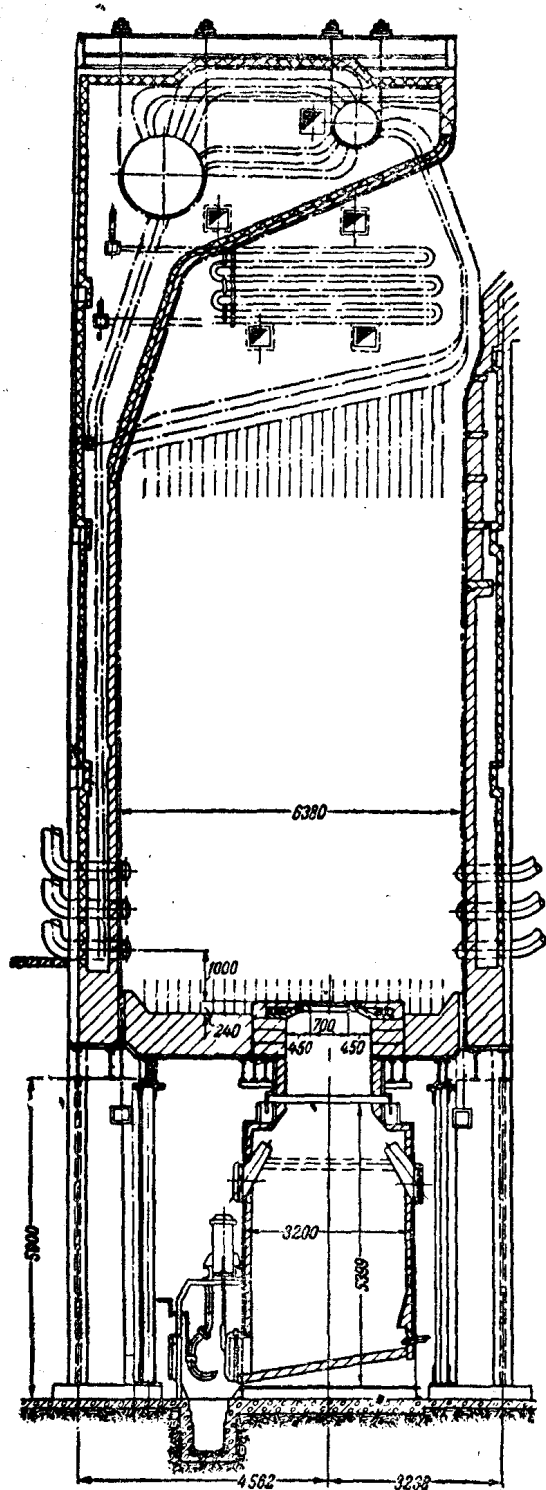


圖 4 單燃燒室的液態除渣式爐子簡圖

許的爐膛容積熱強度之間的差異。最后，在液態除渣的爐子中沉下的灰分，將比粒狀除渣的爐子中多，因而，在其他條件都相同時，機組對流受熱段進口部分的結渣現象將較輕，對流受熱面的積灰和磨損現象也將較輕。所有這些現象都是對高壓鍋爐機組有非常重要的意義的，可以為它們的工作平穩和可靠創造必要的條件。

在蘇聯，已有一些裝有蘇聯式液態除渣爐子的高壓鍋爐機組在工作着了。這些機組之一的簡圖示於圖4中。這就是所謂單燃燒室的爐子，它的最大優點之一就是構造簡單。在圖5中表示着帶雙燃燒室的高壓鍋爐機組設計簡圖。這種爐子的工作原理大家都已經知道，而它的結構是比較複雜的。它的優點可以認為是明顯地把兩個區域劃分開。在第一燃燒室內，直接借輻射傳遞的熱量最少，因此，就很穩定地實現了燃料的引燃、燃燒過程以及灰分熔化過程的主要部分。第二種型式爐子的高度比第一種型式的低得多，而深度却深得多。這些現象在佈置用液態除渣式爐子的高壓鍋爐機組時應當予以考慮。

為了最有效地運用液態除渣式爐子，必須解決收集熔渣中所含熱量的問題。當由爐子中排出的熔渣溫度為 1500°C 時，被它帶走的物理熱量損失，包括熔化熱在內，可用下式求得：

$$q_{\text{ф}} = 0.44 \frac{a_{\text{ш}}}{100} A^n \%,$$

式中 A^n ——仍舊是燃料的折算灰分；