

高等学校交流讲义

蒸汽锅炉的燃料、燃烧 理论及设备

秦裕琨等编著

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书是在苏联专家讲义的基础上并总结了几年来的教学經驗編写而成的。书中介绍了燃料的性质及其燃燒产物的計算；詳細地敘述了煤粉制备設備的工作原理和設計方法；并对燃燒理論也作了扼要的敘述；最后还討論了各种燃燒設備的結構、工作过程以及主要的計算和选择方法。

本书可作为高等学校鍋炉专业五年制本科的教材，也可作为三年制专修科的主要教学参考书，同时可供本专业工程技术人员参考。

蒸汽鍋炉的燃料、燃燒

理論及設備

秦裕琨等編著

(利用原机械工业出版社紙型)

*

第一机械工业部教材編审委员会編輯(北京复兴門外三里河第一机械工业部)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路內10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $20^{3/8}$ ·字数484,000

1963年10月北京第一版·1963年10月北京第一次印刷

印数0001—580·定价(10-5)2.40元

*

統一书号: K15165·2391(一机-495)

前 言

我校鍋爐專業自1954年成立以來，一直採用蘇聯教學資料作為專業課的教材。根據幾年來的教學經驗和在工作崗位上的畢業學生反映，這些資料既反映了現代科學技術的最新成就，同時也是密切聯繫生產實際的。學生到工作崗位後，能夠很快地在已學專業知識的基礎上鞏固發展，解決生產中的一些問題。

但是，教材缺乏還是目前我專業教學工作中所存在的一項重大問題。首先，由於蘇聯資料原文的較多，已譯成中文的很少，不便于學生課內閱讀，而現有的中文書籍有的在內容上、有的在系統完整性上尚不適合作為高等學校鍋爐專業的教材。其次，我們過去所用的專家講義寫得較精簡，缺乏供學生課後閱讀的參考書籍，其中部分章節由於鍋爐技術的向前發展和新的設計計算標準的採用，也有修改和補充的必要。此外，原用的教材在聯繫我國生產實際方面還很不足，同時也不能滿足在教學改革後對培養學生質量日益提高的要求；而這一點是我們這次在編寫教材工作中所特別注意的一個問題。

根據以上原因，我們在總結已有教學經驗的基礎上將過去採用的講義按我校教育計劃的要求加以修改補充，編印成冊，擬在一、二年內分批在校內外出版。計有：鍋爐原理及設計（包括：燃料、燃燒理論及設備，鍋爐設計，鍋內過程三冊）、鍋爐輔助設備、鍋爐鋼及強度計算、鍋爐骨架及基礎以及各課的實驗指導書和習題集等。這些書籍可作為高等學校和中等技術學校鍋爐專業和熱能動力裝置專業的教學參考書，也可供本專業生產技術人員學習和工作參考之用。

由於時間短促，在教材中收集的有關我國的生產資料特別是我們在大躍進中的技術成就，仍感不足，尚待今後陸續補充。

鑒於我們的教學經驗和生產技術知識的不足，各書中錯誤遺漏之處，在所難免，尚希校內外同志不吝提出寶貴意見。

本書第十二章由秦裕琨、莊逢辰同志共同編寫，其他部分由秦裕琨同志編寫。

哈爾濱工業大學鍋爐教研室

1959年10月

304, 75/06

目 录

第一章 緒論.....	1
§1. 鍋炉的作用和种类(1) §2. 鍋炉设备的簡單介紹(2) §3. 鍋炉的輔助設備(6) §4. 鍋 炉的基本特性(7) §5. 我国电力工业和鍋炉制造工业的发展(9)	
第二章 燃料.....	10
§1. 动力燃料(10) §2. 燃料的形成(12) §3. 燃料的成分(13) §4. 燃料的发热值(17) §5. 灰 分(19) §6. 水分(23) §7. 揮发物和焦(25) §8. 固体燃料(27) §9. 液体燃料(30) §10. 气 体燃料(31)	
第三章 燃燒产物的計算.....	32
§1. 空气需要量(32) §2. 完全燃燒时的燃燒产物(34) §3. 烟气分析和不完全燃燒时的燃燒产 物(36) §4. 空气过剩系数的測定(41) §5. 燃燒产物的焓(43) §6. 气体燃料的燃燒产物(45)	
第四章 燃燒设备的分类和热平衡.....	46
§1. 燃燒设备的分类(46) §2. 鍋炉的热平衡(49) §3. 机械未完全燃燒 損失(51) §4. 化学未 完全燃燒損失(53) §5. 排烟損失(54) §6. 散热損失(55) §7. 灰渣物理热損失(57) §8. 鍋 炉的效率和燃料消耗量(58) §9. 鍋炉的热力試驗(59)	
第五章 煤粉制备.....	60
§1. 煤粉的一般性质(61) §2. 燃料的磨碎定律(64) §3. 煤粉的經濟細度(67) §4. 原煤准 备(68) §5. 燃料的干燥(74) §6. 煤粉分离設備(80) §7. 球磨机(89) §8. 中速磨煤机(98) §9. 高速磨煤机(106) §10. 煤粉制备系統(117) §11. 煤粉制备系統的热力計算和干燥产量的 計算(124) §12. 空气平衡(131) §13. 煤粉制备系統的选择和計算(133) §14. 煤粉制备系統 的其他設備(135) §15. 煤粉的爆炸及其防止措施(140)	
第六章 燃燒过程的物理化学基础	143
§1. 质量作用定律和化学平衡(143) §2. 分解(146) §3. 化学反应速度(147) §4. 溫度对化学 反应速度的影响(149) §5. 压力对化学反应速度的影响(151) §6. 固体表面上气体的反 应(152) §7. 連鎖反应(153) §8. 連鎖反应动力学(155)	
第七章 紊流扩散	156
§1. 气体中的分子轉移現象(156) §2. 紊流轉移(157) §3. 对流傳热和固体表面附近的轉移 現象(158) §4. 紊流自由射流(160) §5. 气流中的射流(164)	
第八章 燃燒过程的热力理論	166
§1. 可燃气体混合物的着火(166) §2. 絕热气流中的热力工况(168) §3. 当有外界热交换时气 流中的热力工况(171)	
第九章 气体燃料的燃燒	173
§1. 火焰傳播理論(173) §2. 火焰傳播速度和气体混合物的参数以及性质之間的关系(177)	

§3. 均匀气体混合物的层流燃烧(178) §4. 均匀气体混合物的紊流燃烧(180) §5. 气体燃料的扩散燃烧(182) §6. 气体燃料的合理燃烧(185) §7. 气体燃料的燃烧设备(189)

第十章 固体燃料的燃烧 198

§1. 固体燃料的燃烧过程(198) §2. 碳的燃烧速度(199) §3. 扩散燃烧和动力燃烧(201)
§4. 内部燃烧(204) §5. 二次反应的影响(207) §6. 固体燃料燃烧的热力工况(208) §7. 燃料层中的燃烧过程(210) §8. 煤粉气流的燃烧过程和强化方法(213)

第十一章 层燃炉 219

§1. 手烧炉(219) §2. 除渣与加煤的机械化(225) §3. 链条炉(230) §4. 具有抛煤机的链条炉(241) §5. 撥火板炉(244) §6. 竖井炉(247) §7. 倾斜往复炉篦(249) §8. 下饲式炉(250)
§9. 二次风(251) §10. 层燃炉的选择和主要尺寸的确定(253)

第十二章 煤粉炉 256

§1. 喷燃器(256) §2. 喷燃器的布置和炉内气体流动情况(264) §3. 竖井式磨煤机的喷口(268)
§4. 水冷壁(272) §5. 点火设备(277) §6. 煤粉炉中的结渣过程(279) §7. 煤粉炉的热力特性(282) §8. 煤粉炉的运行(285) §9. 煤粉炉的设计(286) §10. 液态排渣炉(289) §11. 具有热灰斗的炉子(296)

第十三章 旋风炉 297

§1. 卧式旋风炉(298) §2. 立式旋风炉(304) §3. 旋风炉的发展(307)

第十四章 液体燃料的燃烧 309

§1. 液体燃料的燃烧过程(309) §2. 液体燃料的雾化(311) §3. 离心式机械喷嘴的工作原理和计算(312) §4. 液体燃料的燃烧设备(315)

参考文献 319

第一章 緒 論

§1. 鍋爐的作用和種類

蒸汽鍋爐是用來生產蒸汽的設備，所得蒸汽，可通至汽輪機使它轉動，並帶動發電機發出電能，也可以供給工業及日常生活的需要。在近代蒸汽動力裝置中，水幾乎是唯一的工質。在鍋爐中，水首先被加熱到沸點，然後蒸發、過熱。鍋爐中能量的來源是燃料，它在燃燒時產生高溫煙氣，然後依靠熱交換將熱量由煙氣傳給工質。

鍋爐按其用途可以分為以下三類：

動力鍋爐 用於火力發電廠中，所產生的蒸汽通往汽輪機發電。一般是大型鍋爐，蒸汽壓力也較高。

工業供熱鍋爐 所產生的蒸汽供應工業企業的工藝過程需要和采暖需要。所謂工藝過程需要包括：加熱、乾燥、精餾以及帶動某些機械設備的蒸汽原動機等。一般是中、小型鍋爐，蒸汽壓力不高。

供熱鍋爐 產生蒸汽和熱水以供應建築物的采暖需要。一般是低壓小型鍋爐。

此外還有運輸工具上用的鍋爐，如機車鍋爐和船用鍋爐。

本書以討論動力鍋爐為主。

電力工業是供應各種工業、農業、運輸業和日常生活所需能量的工業。決定任何一個國家國民經濟順利發展的主要因素之一，是保證供應工業、農業、運輸業和日常生活以足夠的和不斷斷的電能和熱能。

“現代工農業的發展是和電力密切不可分的，每一種工業產品都有它一定的耗電定額。為了充分發揮每個工業部門的潛力，就需要有足夠的電力供應。和其他工業生產比較起來，由於設備本身的定額容量的限制，電力生產的潛力是有一定限度的，而且產品又不能儲存；同時，發電、送電、變電、用電等全套設備的生產也比較複雜。電力工業本身的這些特點說明應當使它留有余地，有一定的後備力量，才能隨時滿足整個工業迅速發展的需要，而不致成為阻礙工業發展的薄弱環節。從第一個五年計劃特別是1958年全面大躍進的實踐中，我們認識到，在整個工業高速度發展中，電力必須有更快的發展速度，必須使它成為名符其實的‘先行官’”(1959年1月6日人民日報社論)。

列寧說：“共產主義就是蘇維埃政權加全國電氣化。”因此，發電量的增長，在整個國民經濟的發展過程中，應該是高速度的。

現在，電力生產主要依靠水力發電廠和火力發電廠。一般說來，水力發電廠的優點是：不需要燃料，因此水力發電廠生產的電能比火力發電廠便宜；運行方便；消耗鋼材少。我國水力資源很豐富，占世界第一位。而且我國水力資源分布全國各地，地形條件也好，水力發電事業在我國將會有很大發展。水力發電廠的主要缺點是：建設投資較大；施工期長；必需靠近水源；發電量有季節性，為了充分利用水能，還必需有火力發電廠配合。

火力發電廠在必要時可以遠離燃料基地，因此廠址的選擇比較自由，可以靠近負荷中心；火力發電廠的建設比較便宜；施工期也比較短。在目前，以及在今後的一個相當

长的时期內，为了适应国家建設对电力的迫切需要，发展火电是具有很大意义的。火力发电厂的主要缺点是，要消耗燃料，因此电能成本比水力发电厂高。

此外，火力发电厂还有一个重要优点，就是它不仅可以供应电能，必要时还可以供应热能。

近年来，除了火力发电厂和水力发电厂以外，更出现了原子能发电厂。苏联于1954年建成了世界上第一座原子能发电厂。

就目前而论，原子能发电的成本较高，尤其是建設投資很大，所以只有在经历一定时期后才能过渡到利用原子能，特别是对于燃料和水力资源蕴藏量丰富的国家，在最近的年代里，甚至在最近的20~30年中，只有当原子能发电厂生产的电能比普通利用矿物燃料或水能的发电厂更便宜时，才有可能过渡到采用原子能。即使如此，矿物燃料还将继续利用相当长的时期。而且发展原子能工业还必需有强大的工业基础。

目前还不能說那一种型式的原子能发电厂最有前途，原子能动力工业还很年青，还是新发展起来的工业，但是可以相信，在最近时期內，几乎所有的原子能发电厂仍将利用水蒸汽作为工质，还必需有蒸汽发生器。在这个蒸汽发生器中，鍋内过程——水循环、水和蒸汽的傳热情况、保证蒸汽的清洁度、防止結垢、防止腐蝕等問題和普通的蒸汽鍋炉是一致的，其解决的途徑也是相同的。因此，在鍋炉工作者面前便提出了掌握原子能动力的新任务。

由以上討論可知，为了保证我国国民經济迅速发展所需要的能量，把我国建設成一个强大的社会主义工业国，必須大力发展电力工业和发电設備制造工业，包括鍋炉制造工业。

§2. 鍋炉設備的簡單介紹

鍋炉中的工质是水，能量的来源是燃料，燃料在空气中燃燒，同时就把自己的化学能轉变为燃燒产物的热能，然后再傳給水和蒸汽。因此，在鍋炉中所进行的基本过程就是：燃料的燃燒过程；燃料的燃燒产物（以及燃燒着的燃料本身）和鍋炉中工质（水和蒸汽）之間的热交换过程，以及蒸汽的发生过程。

供給鍋炉的水（即所謂給水）的温度总是低于沸点的，因此，鍋炉中蒸汽的发生过程又可以分成三个阶段：水的加热、蒸发和蒸汽过热。

图 1-1 中所示是旧式的最簡單的鍋炉簡图。它是由不大的炉子、鍋筒和炉墙所組成的。鍋筒的下半部充滿水，水位可以从玻璃水位計中看到。鍋筒中的压力用压力表指示。如果压力因某种原因而超过鍋炉設計的額定压力时，鍋炉的安全閥就会自动打开，放走一部分蒸汽，避免压力繼續升高，引起事故。

炉子由金属炉篦和炉膛（炉篦上的自由空間）組成。经过炉門将块状燃料抛在炉篦上，并从下面经过炉篦供給燃燒所需要的空气。燃料不仅在炉篦上燃燒，它的气化产物可在炉膛中繼續燃燒。这种炉子叫做层燃炉。

在炉中温度可达 $1,500^{\circ}\text{C}$ 以上，相当大量的热是靠輻射由炉中直接傳給鍋筒的。燃燒产生的高温烟气沿着鍋筒外壁流动，并将它的热量靠对流和輻射傳給鍋筒，而烟气温度則下降，最后由烟囱排出。

一面和工质接触，一面和烟气接触的金属面积叫做受热面，其大小用 H 米² 表示。

热量是经过金属壁傳給水。在鍋炉升火时，首先把水加热到沸点，然后开始蒸发。起

初鍋筒是密封的,热量主要消耗在增加鍋炉的压力。当鍋炉中的压力达到規定压力后,打开鍋炉的主蒸汽閥,开始供汽。此后,燃燒产物傳給鍋筒的热量和将水蒸发所消耗的热量之間保持平衡,因此鍋炉的压力也保持一定。

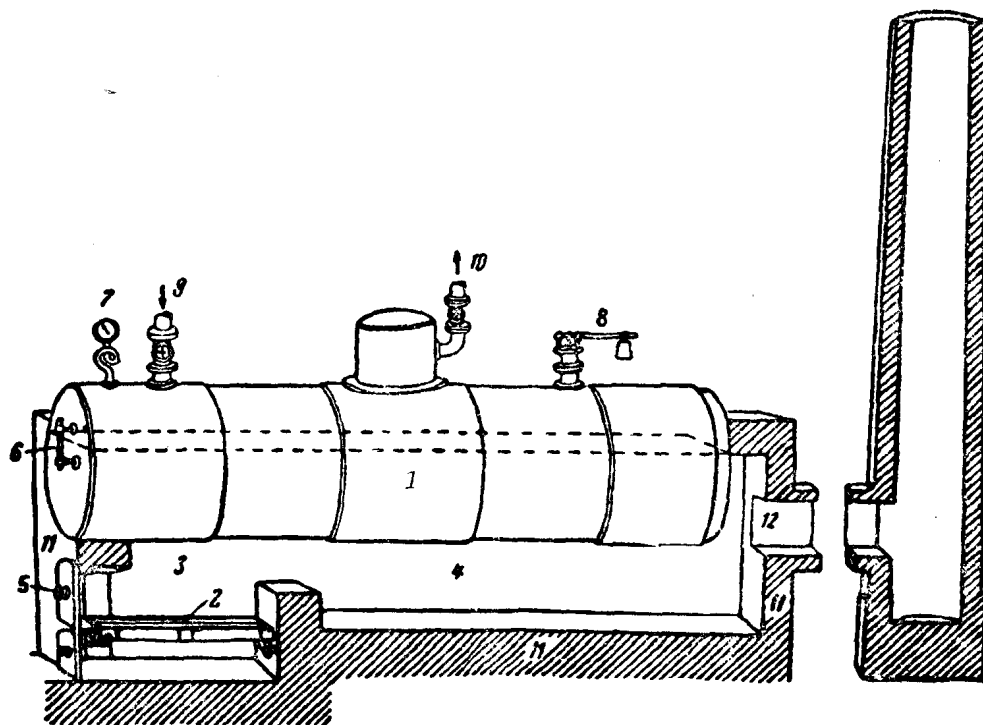


图 1-1 最简单的鍋炉簡图

1—鍋筒; 2—炉篦; 3—炉膛; 4—烟道; 5—炉門; 6—水位表; 7—压力表; 8—安全閥; 9—給水入口; 10—蒸汽出口; 11—炉牆; 12—烟氣出口。

随着工业的发展,要求制造較大型的鍋炉,为了增加受热面,需要采用几个較长而且直徑很大的圓筒。但是,圓筒壁的应力是和直徑成正比的,大直徑的圓筒妨碍了压力的提高。因此,鍋炉就过渡到用許多細管子来代替大圓筒,出現了水管鍋炉。

此外,燃燒設備也进一步发展了。层燃炉已不能滿足大型鍋炉的需要,而且不容易完全机械化自动化,于是开始采用煤粉炉。燃料在燃燒前經過預先加工,即将它碾碎、干燥并磨成粉末状态(80~95%的煤粉小于90微米),然后用热空气(200~400°C)将煤粉从噴燃器吹到炉膛中燃燒。煤粉的燃燒过程比煤块强烈,因为煤粉的反应面积大得多。在煤粉炉中可以燃燒质量較差的燃料。

图 1-2 所示是一个具有煤粉炉的大型現代化鍋炉的簡图。

煤粉經過噴燃器送入炉膛。这些噴燃器装在鍋炉的前牆。煤粉在炉膛中燃燒非常剧烈,温度很高,达1,500~1,600°C,为了保护炉牆,并且避免熔化的灰渣对炉牆的腐蝕作用,在炉膛四周布满水管,叫做水冷壁。由于在高温下輻射傳热最为有利,水冷壁也是非常有效的受热面。

在炉膛中大部分灰都已熔化成渣,大的渣粒由气流中落下,經過冷灰斗,落到除渣室中。大部分灰渣(85~90%)則随着烟氣飞走。在炉膛出口处,烟氣温度降到1,000~1,200°C左右,熔化的渣粒已凝結成固体。这种炉子叫做固体排渣炉。

燥燃料；同时，采用热空气也可以提高炉膛内的温度，从而使燃烧过程强化。烟气离开空气预热器时，温度已经降低到 $130\sim 160^{\circ}\text{C}$ 。

每小时产生230吨蒸汽的高压锅炉的高度约30米，宽度约10米，金属消耗量达1,000吨左右。

因此，现在已经从简单的由炉子和锅筒所构成的锅炉发展成为巨型而复杂的现代化的整套锅炉设备了。

这情况也反映到它的名称，它被称为锅炉机组，包括：炉膛、汽包、水冷壁、过热器、省煤器、空气预热器、砖墙、金属骨架、基础以及附件、配件和连接管道等。但是，通常还是简称做“锅炉”。

锅炉中的主要过程之一就是燃料的燃烧过程。在煤粉炉中，燃料在炉膛中一般只停留 $1\sim 2$ 秒钟。因此，必须保证燃烧过程强烈，使燃料在离开炉膛前已经燃烧完全。锅炉的经济性在相当大的程度上决定于燃烧情况。近年来，燃烧技术已取得很大发展，在锅炉中几乎可以燃烧各种燃料，燃烧过程可以完全自动调节，在强化燃烧方面也已取得了很大成就。随着煤粉炉的不断完善，更出现了旋风炉，碎煤粒被高速气流带进炉膛，在炉膛内旋转并强烈燃烧。

为了不断改进燃烧设备，必需对燃烧理论有深刻的研究。虽然人类早已知道利用火，但是，直到现在对于燃烧的研究还是很不够的，主要原因是在于燃烧过程的复杂性，它是一个复杂的物理化学过程。特别是固体燃料的燃烧理论，直到近三十年来才得到较完整的发展。

锅炉能安全工作的重要条件就是保证受热面管壁温度不太高。对于一般锅炉上所采用的碳素钢，管壁温度不应超过 500°C 。

炉膛内的烟气温度很高，为了保证水冷壁能安全工作，必需使水冷壁管内不断有汽水混合物流动，将金属管壁所获得的热量不断带走。汽水混合物的温度不会超过相应压力下的沸点，亦即不超过 $150\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，因此水冷壁可以得到充分冷却。如果因为某种原因，汽水混合物的运动局部停止了，则在这一部分水冷壁管内，汽水混合物不断蒸发，以致使蒸汽过热，这样在内管壁上流动的不是饱和温度的水膜，而是过热蒸汽，管壁温度迅速升高，以致使管子破裂。

现在最广泛采用的是自然循环锅炉。图1-3所示就是自然循环锅炉的一种。

自然循环的原理可用图1-3说明。当两端都和汽包相连的U形管的左边支管受热时，管中的水被加热到沸点并且部分蒸发，在这一管中出现了气泡。汽水混合物的比重比水小得多，以致U形管下部截面左右两侧所受的压力不相等，管中的水在此压力差作用下开始运动，左侧管中的汽水混合物不断上升进入汽包，而水则从右侧不受热的管子中下降，这样就形成了一个封闭的循环系统。在图1-2所示的锅炉中，水冷壁是上升管，而在炉墙外面有不受热的连接管，它是下降管，它们通过联箱相连接。

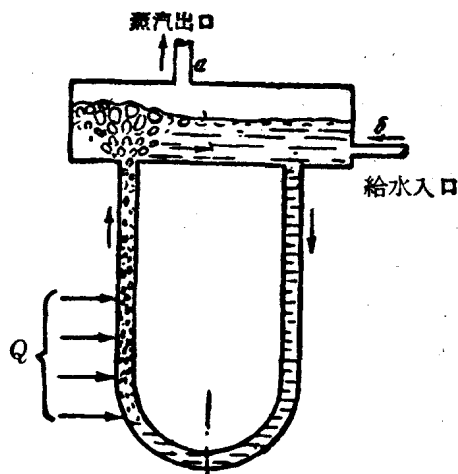


图1-3 自然循环原理图

保証水循环可靠是鍋炉安全工作的重要条件, 因此对于鍋炉水循环的研究具有很大意义。

在凝汽式发电厂中, 水形成一个封閉的循环。蒸汽經過汽輪机后, 仍旧凝結成水返回鍋炉。但是, 总要有少量的水和汽损失掉, 所以鍋炉一定要从外界水源补充一定量的水, 叫做补給水。我們都知道, 在天然水中总含有一些悬浮物和溶解的盐类, 其中包括鈣、鎂等盐类(即所謂硬度盐)。这些硬度盐类进入鍋炉后, 会沉积在受热面管子的內壁上, 形成水垢。水垢的导热系数很差, 使金属管壁的冷却情况恶化, 結果可能过热, 鋼的强度降低, 以致使管子在内压力作用下而破裂。

因此, 补給水必需預先經過处理, 此外, 还可以在鍋炉內加药, 使硬度盐变成悬浮的沉渣。

为了避免盐类和沉渣聚集在鍋炉中, 需要进行所謂排污, 即从鍋炉中排出一部分水, 从而也带走了一部分杂质。

在自然循环鍋炉中, 使循环系統封閉的是汽包, 它是一个直徑达1500~1800毫米的圓筒。在汽包中水和蒸汽分离, 水經下降管重新回到循环系統中去。汽包上部充滿着蒸汽, 叫做汽空間, 它用来使蒸汽中的水最后分离。如前所述, 在鍋炉水中总含有一些杂质, 如果这些杂质随水滴进入过热器, 則当水滴蒸发后, 杂质沉积在过热器管壁上, 可能使过热器管燒坏。蒸汽中也可能溶解一部分盐类, 如果含盐量过多, 則可能有一部分盐类沉积在汽輪机的叶片上, 使汽輪机的工况恶化, 功率降低。对于高压汽輪机, 每公斤蒸汽允許的含盐量不超过0.1毫克。

因此, 如何保証蒸汽品质, 保証良好的汽水分离, 也是一个重要問題。

除了自然循环鍋炉以外, 还有直流鍋炉。在直流鍋炉中, 水在水泵的作用下进入省煤器, 然后还是利用水泵的压力經過水冷壁和其他受热面。水逐渐被加热、蒸发, 并且最后过热到所需要的温度。

在直流鍋炉中, 工质不自然循环, 因此不需要汽包, 使鍋炉的金属消耗量大大降低。但是, 由于在直流鍋炉中水不断蒸发, 如果没有特殊設備, 不可能进行排污。这时, 随給水进入鍋炉的盐类, 或者沉积在受热面的管子上, 或者随蒸汽带走。但是, 这二种情形都是不希望有的, 所以直流鍋炉要求质量較高的給水。

最近几年来, 压力燃燒鍋炉配合蒸汽-燃气联合循环, 得到很大的发展。在压力燃燒鍋炉中, 烟气的压力約达3个大气压或更高, 烟气离开鍋炉后进入燃气輪机, 此燃气輪机除用来带动压气机外还可以发一部分电。鍋炉所产生的蒸汽仍然通往汽輪机带动发电机。由于鍋炉中的烟气是正压的, 燃燒过程和傳热过程都大为强化; 同时, 由于烟气离开鍋炉时的温度較高(通往燃气輪机), 鍋炉的金属消耗量大大节省。此外, 整个发电厂的循环效率也可以提高。

目前, 在压力燃燒鍋炉中燃燒气体和液体燃料的問題已初步解决, 但是还不能采用固体燃料, 主要是由于此时烟气中的飞灰将引起燃气輪机的强烈磨損。为解决此問題, 必需将燃料的絕大部分灰份在炉內除掉, 使烟气中几乎没有灰。

§3. 鍋炉的輔助設備

为了使鍋炉能正常工作, 还需要有一系列輔助設備为它服务。現列举其中的主要部分。

燃料的供应和处理设备 其作用在于：貯藏燃料、卸放运来的燃料，并运送燃料到碎煤设备，然后再将燃料送到锅炉車間的原煤斗中。

貯煤場是用来貯备燃料的，以供燃料来源暂时中断、或产地的燃料供应量临时减少时的需要。在貯煤場中应有卸煤和运煤设备。此外，还应进行下列处理工作：冬季使用水份較多的燃料时，应进行解冻；将煤块打碎到一定尺寸，其大小視具体燃燒方式而定；清除燃料中的金属杂质和木屑。

火力发电厂中的燃料消耗量很大。例如，一台每小时生产 230 吨蒸汽的鍋炉，每小时消耗的燃料达 30 吨。

煤粉制备设备 近代大型火力发电厂中都使用煤粉炉。从原煤制造成煤粉需要一系列的設備，在这些设备中，燃料被干燥，磨碎成粉末，最后用空气送到炉膛中燃燒。

水处理设备 如前所述，水中所含杂质会給鍋炉带来严重的后果（結垢、腐蝕、蒸汽品质降低等）。因此，給水必需經過一系列的处理，例如：过滤、軟化、除盐、脱氧等。对于直流鍋炉，要求給水含盐量不大于 0.08 毫克/公斤。

給水设备 其作用是将給水輸送到鍋炉中去。对于現代化自然循环鍋炉，只要停止給水不到半分钟，鍋炉就会因缺水而发生事故。所以，必需保証給水设备安全可靠。在火力发电厂中通常采用离心泵。

通风设备 其作用是将空气送入炉膛（經過空气預热器），并将烟气排入大气。对于小型鍋炉，一般利用烟囱抽烟气。烟囱的作用原理在于：烟气的温度較高，因此烟囱中烟气的比重小于大气中空气的比重，利用空气柱和烟气柱之間的压力差，就造成所謂自然通风。在現代化大型鍋炉中，烟气的阻力很大，需要采用机械通风，也就是在鍋炉尾部装引风机来抽烟气。这时烟囱的主要作用是保持环境卫生，烟囱愈高，烟气中的灰就能愈好地分散在大气中。空气一般用送风机压进炉膛。

除灰设备 当燃燒多灰分燃料时，一台每小时产生 230 吨蒸汽的鍋炉所产生的灰渣可达 10 吨/时。在火力发电厂中，一般利用水力将灰渣冲走。在小型鍋炉房中，也可以利用风力除灰渣或机械除灰渣。

除尘设备 在鍋炉中燃燒煤粉时，一般有 85~90% 灰随烟气飞走。假如鍋炉車間內有 4 台鍋炉运行，每台鍋炉产生 230 吨/时蒸汽，燃料消耗量共为 120 吨/时，而燃料中 30% 是灰分，則随烟气飞走的灰将达 870 吨/日。飞灰对环境卫生有严重的影响，对人体和植物都有害，对某些化工、食品等工业部門的产品质量也有不良影响。因此，在火力发电厂中必需裝置除尘设备，清除烟气中的大部分飞灰。

除上述设备外，在鍋炉車間还需有：各种汽水管道路，自动調节装置，远距离操纵裝置，以及各种測量仪表等设备。

鍋炉机組及其各种輔助设备有时总称为鍋炉设备。

§4. 鍋炉的基本特性

鍋炉的基本特性包括：蒸发量、蒸汽参数和給水温度等。

鍋炉的蒸发量用吨/时或公斤/时表示。过去认为可以用鍋炉受热面的大小来准确估計它的蒸发量。但是，由于鍋炉型式和蒸汽参数的不断发展，并且在鍋炉尾部出現了尾部受热面（省煤器和空气預热器），而单位面积尾部受热面的吸热量和炉膛內的水冷壁大不相同；因此，受热面的大小已不能表示鍋炉的容量，只是在某些小型鍋炉中，有时还

采用锅炉受热面的大小来表示锅炉的容量。

以前,在有些国家,蒸发量用两个数值表示,这两个数值一般写成分数形式,分子代表正常蒸发量,分母代表最大长期蒸发量。所谓锅炉的正常蒸发量,就是锅炉在正常运行条件下能产生的蒸汽量,它应该接近于最经济的工作情况。所谓最大长期蒸发量,就是大于正常蒸发量25%的蒸发量。

近年来,一般都已采用额定蒸发量来代替这两个概念。它就是最大长期蒸发量,即锅炉在长时期运行期间内,能保持规定的参数,而不降低经济性时,所能达到的最大蒸发量,用符号 D 表示。

蒸汽的参数就是锅炉出口处(主蒸汽阀出口)的压力和温度,用 P_{ne} 和 t_{ne} 表示。此外,还必需注意到蒸汽的清洁度(即含盐量)。

随着锅炉的用途不同,它的蒸发量和蒸汽参数也不同。

采暖和工业采暖锅炉一般蒸发量不大,蒸汽参数也低。

表 1-1 中所列是1958年我国第一机械工业部批准的小型锅炉参数容量暂行标准。

小型锅炉的用途很广,所以应有足够的品种以满足各种需要。但是,品种太多就不能使产品标准化和通用化,将增加成本和延长生产周期;影响产品质量的提高;此外,附件和配件都不能标准化和互换,因此也是不利的。

表 1-1 小型锅炉参数容量暂行标准

锅炉出口处蒸汽的工作压力 (表大气压)	6	8	13	(16)	25
蒸汽温度 (°C)	饱和	饱和	饱和, 300 250, 350	350 375	400 420
给水温度 (°C)	20	20	50 (100)	100	100
锅炉蒸发量(吨/时)	0.1	0.1			
	0.2	0.2			
	0.4	0.4			
	0.7	0.7			
	1	1			
	1.5	1.5	1.5		
	2	2	2		
	3	3	3		
		4	4		
			6.5	6.5	6.5
			10	10	10
			15	15	15
			20	20	20
			(未定)	(未定)	(未定)

注: 1. 在额定负荷下汽温的允许偏差范围为 $\pm 15^{\circ}\text{C}$;

2. 16表大气压的系列只有在配合原有动力设备时采用。

动力锅炉一般是中型或大型的,蒸汽参数也较高。由于发电设备牵涉很广,为了便于配套,以及降低成本和缩短生产周期等,发电设备也必须系列化。目前已经生产的大中型发电机组基本上分为: 6,000 瓩、12,000 瓩、25,000 瓩、50,000 瓩、100,000 瓩、200,000 瓩等。

动力锅炉按其压力可以分为中压和高压两类。

蒸汽的参数愈高,发电厂的效率也愈高,因此,近年来蒸汽的参数不断提高。决定高压锅炉参数的主要因素是珠光体合金钢所能承受的最高温度。温度更高的话,将使用昂贵的高合金奥氏体钢,目前还未获得普遍推广。

高压锅炉要消耗较多的合金钢，成本也较高，特别是高压汽轮机的金属消耗量和加工量都要比中压多。为了节省钢材，迅速发展电力工业，我国在现阶段发展中压锅炉仍具有重要的意义。

我国现在所采用的蒸汽参数是：

1. 32大气压、425°C，给水温度为150°C。用这个参数生产蒸发量为130吨/时的锅炉。此参数未获大量采用。

2. 39大气压、450°C，给水温度为150°C或172°C。用这个参数生产蒸发量从35吨/时到280吨/时的锅炉。这是中压锅炉主要采用的参数。

3. 100大气压、510°C，给水温度为215°C。用这个参数生产蒸发量230吨/时和410吨/时的锅炉。这是高压锅炉。

近几年来，由于动力工业的迅速发展，更出现了超高压和超临界压力的巨型锅炉。在国外，有的国家将大量采用900吨/时、250大气压、580°C，二次过热570°C的锅炉，以配合30万千瓦的汽轮发电机组；并准备采用300大气压、650°C的蒸汽参数；还将用以上两种参数制造60万千瓦的汽轮发电机组。也有的国家正在制造的容量最大的锅炉是1315吨/时、247大气压、565°C的锅炉，以配合45万千瓦的汽轮发电机组，和制造的容量最大的锅炉是1770吨/时、169大气压、569°C的锅炉，以配合55万千瓦的汽轮发电机组。

§5. 我国电力工业和锅炉制造工业的发展

在1949年中华人民共和国成立的时候，全国发电设备容量很小，而且都是分散的小型设备，发电站的平均容量只7,000瓩，25大气压以下的锅炉占86%。在解放前，几乎没有锅炉制造工业，仅有几个人工操作的小型工厂，以修理和装配为主。

但是，建国十年来，我国的电力工业获得了惊人的发展。十年来，平均每年发电量的增长速度达25.4%。

到1957年，发电设备容量比解放前增长133%。

在1958年，和我国各项建设事业一样，电力工业也有了一个很大的跃进，发电设备容量增长49%，发电量也增长了42%。

1959年是继续大跃进的一年，发电量比大跃进的1958年增长了51%，提前三年达到了第二个五年计划的指标。1959年新建和扩建的发电设备容量，相当于1958年年底全国发电设备总容量的50.9%。

我国历年来发电量的发展见表1-2。

表 1-2 我国电力工业的发展

年 度	发 电 量
1941	59.5亿度(解放前最高值)
1949	43.0亿度
1952	72.6亿度
1957	193.0亿度
1958	275.0亿度
1959	415.0亿度

为了满足我国电力工业迅速发展的需要，必须大力发展发电设备制造工业。在动力锅炉制造方面，解放后，在党的领导下，已能制造多种中压和高压动力锅炉。在煤耗方

面不仅有了大大的下降，而且用劣质煤代替优质煤。

在发电设备方面，从1952年到1957年就增加到将近30倍。

建国十几年来，我国的电力工业和发电设备制造工业已经取得了辉煌的成就，这样的发展速度是史无前例的。可以确信，在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，和国民经济的其他部门一样，我国的电力工业和发电设备制造工业仍将以持续跃进的步伐前进。

第二章 燃 料

§1. 动力燃料

所谓燃料就是可以用来取得大量热能的物质，而且这热能在技术上是可能利用的，在经济上也是合理的。

目前，世界上主要利用的燃料是有机燃料，例如：煤、泥煤、油页岩、天然气、石油制品等。

不久以前，开始利用所谓核子燃料，即利用某些重元素的同位素的原子核分裂时放出的热量。主要的核子燃料是铀 U^{235} 、钚 Pu^{239} 和铀 U^{233} 。核子燃料的发热值约为200亿大卡/公斤。

天然铀中主要是 U^{238} ，只有0.714%是 U^{235} 。但是在反应堆中， U^{238} 受到照射以后可以变成钚 Pu^{239} ；此外，钍 Th^{232} 受到照射以后可以变成铀 U^{233} 。钚 Pu^{239} 和铀 U^{233} 是核子燃料。

表2-1中列出世界上的能量资源(不包括木质燃料和水能)。由表可知，核子燃料占世界能量资源的95.6%，而有机燃料占4.4%。但是，由于在反应堆中，分裂是不完全的，部分原子(15~20%)获得中子后变成无法利用的铀 U^{236} 和钚 Pu^{240} 。此外，当核子燃料分裂一小部分以后，必需经过加工，以除去分裂产物。在加工时，不可避免的要有些损失。实际上可能利用的核子燃料很难超过15~20%。如考虑到上述情况，则在世界能量资源中，核子燃料所占比重约为80%，而有机燃料约为20%。

如果热核反应的工业利用获得解决，亦即利用轻元素的同位素的原子核结合成为较重元素的原子核从而获得热能，则世界上的能量资源可以说是无穷无尽的。最主要的热核反应是利用重氢 $H^2(D)$ 结合成氦 He^4 。虽然水中的重氢含量极少，但是世界上水的数量是极为可观的，因此水中所包含的能量资源几乎是无穷无尽的。

但是，到目前为止，主要利用的燃料还是有机燃料。以后所讨论的只是指有机燃料。

工业上常用的有机燃料可以分为以下几类(表2-2)：

燃料在工业上的用途非常广，如冶金工业、化学工业、食品工业以及其他工业部门都需要利用燃料。在动力工业上利用的燃料就称为动力燃料。

为了合理地利用国家资源，促进国民经济的迅速发展，应当按照国家的燃料政策使用燃料。燃料政策决定于国家的燃料资源和国民经济的发展情况。

其他工业部门常对燃料有一系列的要求。例如：冶金部门用的煤要求焦有一定的机械强度，含硫量不大；运输部门用的燃料要求发热值高；而动力工业对燃料并无特殊要求。因此，为了充分利用国家资源，节省运输力和降低成本，应当尽可能利用电厂附近的劣质燃料。

表 2-1

世界能量资源^① (不包括木质燃料和水能)

燃 料	世界貯藏量 (亿吨或 10^{12} 米 ³)	发 热 值 (大卡/公斤或大卡/米 ³)	具有的能量 (10^{15} 瓩·小时)	百 分 比 (%)
有 机 燃 料				
固体燃料	37000	5000~7000	25	4
石 油	1007	10000	1.17	0.19
油 頁 岩	860	10000	1	0.16
天 然 气	15.7	90000	0.17	0.03
总 計			~27	4.4
核 子 燃 料				
鈾	$25 \cdot 10^{-4}$	$19.6 \cdot 10^9$	570	99
鈾	$1 \cdot 10^{-4}$	$19.6 \cdot 10^9$	23	3.6
总 計			593	95.6
共			~620	100

①: 杂志“Вопрос ядерной энергетики” 1957年第一期。

表 2-2

有 机 燃 料 的 分 类

物 态	固 体	液 体	气 体
天 然 燃 料	木 柴 泥 煤 褐 煤 烟 煤 无 烟 煤	石 油	天 然 气
人 工 燃 料	焦 半 焦 煤 餅 木 炭	汽 油 柴 油 酒 精	发生炉煤气 地下气化煤气
副 产 品	选煤副产品 煤 屑 木 屑 植 物 皮 壳	重 油	高 炉 煤 气 炼 焦 炉 煤 气

劣质燃料大致可以分为四类：即天然劣质煤(如褐煤、露头煤)、选煤副产品(如中煤、煤泥)、炼焦和炼铁的副产品(如瓦斯、焦末)、油頁岩。这些燃料的特点是水分大(可达40%)，灰分高(可达30~50%)，发热值低(2,000~2,500大卡/公斤，甚至更低)，有的挥发物少。燃烧这样的燃料是很困难的，必须采取一系列技术措施和组织措施。我国解放后在这一方面进行了很多的工作，已取得了巨大成就。从1952年到1958年，发电厂燃烧的低质煤约占全部用煤量的32%。

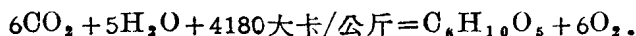
液体燃料和气体燃料也可以作为动力燃料，这决定于各国的资源情况。例如，苏联七年计划规定优先发展石油工业和天然气工业，并且扩大石油和天然气在动力燃料方面的应用。因为苏联的石油和天然气的蕴藏量很丰富，而开采天然气的成本比煤低6.6倍，开采石油的成本比煤低2.6倍。此外，可使社会劳动力获得很大节约，基本建设速度加快。

燃料综合利用是合理利用燃料的一个重要方向。煤除可以用作燃料外，还因煤本身是一种高分子化合物，所以它还是许多工业产品的原料。煤的动力——化学综合利用，就是把煤中所有的能量和各种化学产品，在同一工艺流程中加以回收和利用。例如，火力发电厂用的燃料，除用作发电外，同时可生产一系列的液体燃料、化学产品和煤气等，还可利用灰渣制造水泥等建筑材料，也能提取其他有价值的无机物质。这种燃料综合利用将给国民经济带来很大利益。

§2. 燃料的形成

煤的前身是植物，由煤层中常常可以发现植物残骸的痕迹，就可以证实这一点。

植物的叶绿素能从空气中吸取二氧化碳，并在太阳能作用下组成纤维。因此，煤所具有的化学能也是来自太阳。组成纤维的反应大致按下列方程式进行：



所以每公斤纤维贮藏4,180大卡/公斤太阳能。组成纤维的碳、氢、氧也就是煤的基本成分。

煤可以分为两大类：即腐植煤和腐泥煤。

腐植煤是由枯死的高等多细胞陆生植物的有机体所形成的。植物的有机体在有氧气自由进入的条件下，会迅速腐烂以致完全分解。但是聚集在沼泽中死去的高等植物有机体却和上述情况不同，它很快被水淹没，空气不能自由进入。因此死亡的植物残骸不能完全分解，而进行菌解作用。所谓菌解作用，就是以细菌作用为主，在没有充分供给空气的环境下，缓慢进行的一种作用。

高等植物的主要组成成分是纤维素(达70%)和木质素(20~30%)，此外还有蜡、树脂和脂肪等。经过菌解作用，植物的各组成成分分解。在腐植煤中，主要的成碳质是木质素。蜡、树脂和脂肪很稳定，它们转化后成为沥青质。其他成分在生物化学和化学过程的作用下分解，或成为气体逸出，或溶于地下水被带走，这样就形成了泥煤。

在形成泥煤的阶段中，部分植物体(木质素和纤维素)分解成腐植酸，沥青化的作用过程不很显著。在泥煤中还有未分解的木质素、纤维素和树脂等，它们还保留原有植物形态的残留物(根、茎、叶及树皮)。

当地壳下沉的速度超过植物堆集的速度时，泥煤被岩石层复盖。在地热和压力作用下，进行碳化作用。泥煤逐渐变成坚实的物质，部分腐植酸变为腐植煤，这样便形成了