

交通系統中等專業學校試用教材

船舶蒸汽鍋爐

湖北省交通學校 編



人民交通出版社

交通系統中等專業學校試用教材

船舶蒸汽鍋爐

(河船輪機管理專業用)

湖北省交通學校 編

人民交通出版社

交通系統中等專業學校試用教材

船 舶 蒸 汽 鍋 爐

湖 北 省 交 通 學 校 編

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 廠 印 刷

*

1961年6月北京第一版 1962年9月北京第二次印刷

開本：850×1168_{毫米} 印張：9 $\frac{1}{4}$ 張 插頁1

全書：227,000字 印數：2,126—3,175冊

統一書號：15044·6210

定價(10)：1.55元

本書作为交通系統中等专业学校河船輪机管理专业試用教材，亦可供交通部門有关专业人員工作或业余學習的參攷。

希望使用本教材的單位或个人，多多提出改进意見，逕寄湖北省交通学校，以便再版时修改。

目 录

前言	5
----------	---

第一篇 船用蒸汽锅炉的构造

第一章 船用锅炉的分类和主要特性	7
§ 1 船舶动力装置的概念	7
§ 2 船用锅炉的分类	9
§ 3 锅炉的主要特性	10
§ 4 对船用蒸汽锅炉的要求	12
第二章 火管锅炉	13
§ 5 回焰式火管锅炉概说	13
§ 6 回焰式火管锅炉的外壳构造	16
§ 7 炉膛	21
§ 8 燃烧室	23
§ 9 烟管	25
§ 10 牵条	26
§ 11 烟箱、烟道和烟筒	29
§ 12 直焰式火管锅炉	30
第三章 自然循环式水管锅炉	32
§ 13 自然循环的基本概念	32
§ 14 双侧式（人字式）水管锅炉	34
§ 15 单侧式水管锅炉	44
§ 16 双路循环式水管锅炉	51
§ 17 联箱式水管锅炉	52
§ 18 自然循环式水管锅炉的优缺点	54
§ 19 联合式锅炉	55
第四章 特种锅炉	57

§ 20	强制循环式水管锅炉	57
§ 21	原子能锅炉的一般概念	60
§ 22	船用原子能动力装置的优越性	64

第二篇 燃料、燃料燃烧和炉膛装置与设备

第五章	燃料	65
§ 23	燃料的基本知识	65
§ 24	燃料的组成	66
§ 25	燃料的发热量	69
§ 26	标准燃料和燃料的热当量, 燃料技术当量	73
§ 27	固体燃料的技术性质	74
§ 28	固体燃料的技术分析	76
第六章	燃料的燃烧和燃烧产物	78
§ 29	燃料中可燃成分的燃烧	78
§ 30	燃烧所需要的空气量	80
§ 31	燃烧产物的成分和体积	83
§ 32	过剩空气系数的计算	90
§ 33	烟气的焓和 $I-t$ 图的绘制	93
第七章	炉膛装置和设备	95
§ 34	燃煤炉膛的机械化	95
§ 35	输煤机械化	101
§ 36	燃煤炉膛的除渣机械化	105
§ 37	煤粉的燃烧	108
§ 38	燃油系统及喷油器	112

第三篇 附件、辅助受热装置和锅炉设备的自动调节

第八章	附件	115
§ 39	锅炉外壳上附件的用途和布置	115
§ 40	容水空间附件的构造	116
§ 41	容汽空间附件的构造	124
§ 42	水管锅炉汽水筒的内部附件	130
§ 43	其他附件	132

第九章 輔助受熱裝置	136
§ 44 蒸汽過熱器	136
§ 45 過熱蒸汽溫度的調節	140
§ 46 給水的加熱	142
§ 47 空氣預熱器	146
第十章 鍋爐設備的自動調節	148
§ 48 直接作用式調節器	148
§ 49 間接作用式液力調節器	150
§ 50 給水量的自動調節	157
§ 51 燃燒過程的自動調節	162

第四篇 爐水處理和鍋爐維護管理

第十一章 爐水處理	166
§ 52 不良水質對鍋爐的危害	166
§ 53 爐水的分析	168
§ 54 爐外水處理	171
§ 55 爐內水處理	178
第十二章 鍋爐維護與管理	181
§ 56 鍋爐運行前的准备工作	181
§ 57 鍋爐運行時的管理	185
§ 58 爐膛的管理	191
§ 59 鍋爐在工作時的故障及其消除	195
§ 60 鍋爐的壓火、熄火、清洗和封存	198
§ 61 鍋爐的技術監督	201

第五篇 鍋爐熱平衡和熱計算

第十三章 鍋爐的熱平衡	206
§ 62 鍋爐中的熱損失	206
§ 63 排煙的熱損失	207
§ 64 化學不完全燃燒的熱損失	210
§ 65 機械不完全燃燒的熱損失	212
§ 66 散熱損失	213

§ 67 鍋爐效率	215
§ 68 燃料消耗量的求法	217
第十四章 鍋爐爐膛中熱交換的計算	217
§ 69 船用蒸汽鍋爐熱計算的目的和方法	217
§ 70 確定鍋爐有效輻射受熱面	220
§ 71 煙氣的初焓和爐膛的理論溫度	223
§ 72 確定煙焓的黑度	224
§ 73 根據季莫菲耶夫方法計算成層燃燒式和爐部燃燒式爐膛	226
第十五章 對流熱計算	228
§ 74 傳熱系數和放熱系數	228
§ 75 對流受熱面的確定	240
§ 76 平均溫度差的確定	242
§ 77 鍋爐蒸發受熱面的熱計算	248
§ 78 蒸汽過熱器的熱計算	250
§ 79 空氣預熱器的熱計算	251
§ 80 給水預熱器的熱計算	253

第六篇 鍋爐的通风計算和强度計算

第十六章 鍋爐的通风計算	256
§ 81 自然通风	256
§ 82 通风阻力的計算	259
§ 83 通风阻力的計算步驟	268
§ 84 鼓風機出量和馬力的計算	269
第十七章 鍋爐的强度計算	271
§ 85 蒸汽鍋爐的选材	271
§ 86 鉚接火管鍋爐的强度計算	277
§ 87 焊接火管鍋爐的强度計算	289
§ 88 水管鍋爐的强度計算	291

前 言

我国有长达一万二千多公里的海岸綫，到处密布着可以通航和可以开辟成航道的河流，遍地埋藏着丰富的燃料，特别是固体燃料——煤等。从合理使用固体燃料、充分利用資源和尽可能降低成本中，充分地証实了往复蒸汽机作为中小型船舶主机是有其独特的优越性和现实性的。另外，二十世紀初期，汽輪机一开始应用到船舶上，就以輕和馬力大的特点，成为大馬力船舶中占首要地位的动力机。

不管是往复蒸汽机或汽輪机，都是以水蒸汽作为工質的。水蒸汽是怎样来的呢？那就要依靠我們将要学的鍋爐了。鍋爐是一个复杂的整体，它能使燃料的化学能轉变为所要求参数（即一定压力和溫度）的蒸汽热能，来供应主机、輔机和日常生活需要。由此可見，船舶蒸汽鍋爐是船舶蒸汽动力装置中最基本的設備。

船舶蒸汽鍋爐的发展与陆用鍋爐的发展很难分开叙述，而蒸汽机鍋爐的构造发展史与第一个热机——蒸汽机的建造和改进是密切相联系的。在蒸汽机出現以前的鍋爐，仅用来滿足工艺上的需要（如煮沸用）。

世界上第一座万能蒸汽机是18世紀中叶俄国热工学家依·依·波尔宗諾夫发明的，而世界上第一艘蒸汽动力船是在1811年由俄国依若尔工厂制造的；接着蒸汽动力在軍艦、运输船上也得到广泛的运用。由于运输工具上采用了机器和鍋爐，便大大地推动了鍋爐的发展。伟大的十月社会主义革命后，苏联展开了研究鍋爐的設計和管理等理論問題，以及創造新結構等巨大工作；近来又出現了原子能鍋爐，为船舶蒸汽机的发展开辟了更加广闊的道路。

我国在解放前，由于帝国主义的长期掠夺、官僚資本主义的

垄断和封建势力的盘踞，工业极端落后，几乎没有鍋爐制造业；所謂一些冷工厂，也是設備陈旧，管理混乱，只能修修配配，根本談不上工艺过程的改进及研究工作。解放后，在党的正确领导下，鍋爐制造和其他事业一样亦有飞跃的发展，到1960年为止，全国除修建了一些大型的現代化鍋爐厂外，还对各地原有的鍋爐厂和鉄工厂进行了改建和扩建，尤其是1958年大跃进以来，地方工业遍地开花，許多中小型鍋爐厂象雨后春笋一样兴建起来，数目不可估量。

从上述例子可知，我国鍋爐制造工业的发展速度是很快的；十一年多的光輝史績，使我們完全坚信，在党的英明领导下，我国的鍋爐制造业和其他工业一样，将会有更大的跃进。

第一篇 船用蒸汽鍋爐的构造

第一章 船用鍋爐的分类和主要特性

§ 1 船舶动力装置的概念

机械船的开动，一般都是依靠把鍋爐爐膛中（蒸汽机船上）或在內燃机气缸中（內燃机船上）的燃料燃烧的热能变为轉动明輪或螺旋桨的机械能。

为了达到这个目的所必需的机械和保証船舶正常工作的各种设备，即为船舶蒸汽动力装置或船舶內燃动力装置。

船舶蒸汽动力装置的工質是水蒸汽，主要組成部分有：

1. 蒸汽鍋爐 在鍋爐中，把燃料燃烧所获得的热传递給水，使水蒸发并产生具有一定压力和溫度的蒸汽。

2. 主蒸汽发动机 在蒸汽机中使水蒸汽的热能变为机械能，用以轉动明輪或螺旋桨，使船舶推进。

3. 輔机 这是用以輔助船舶航行的其他机械装置，即配合鍋爐、主机和整个船舶所用的輔助机械，如蒸汽发电机、舵机、錨机、起貨机、抽取水和油的泵以及送空气入鍋爐爐膛的鼓风机等。

蒸汽动力装置除上述主要組成部分外，还有輸送蒸汽、水或其他液体的管系；为与輔助管系有所区别起見，联接鍋爐与主机的管系称主蒸汽管系。

图 1 是船舶蒸汽动力装置的簡图。燃料的燃烧在蒸汽鍋爐的爐膛 2 内进行。燃料燃烧所产生的烟气，流經燃烧室 3 和烟管 4，把本身的热量传给爐内的水，然后进入烟箱 5，經空气預热器 6 的管群由烟筒 7 排出，鼓风机 8 迫使空气流經空气預热器的管間，再进入爐膛下面的空間 9。

蒸汽自鍋爐經主停汽閥 10 进入主蒸汽管 11，再沿主蒸汽管进

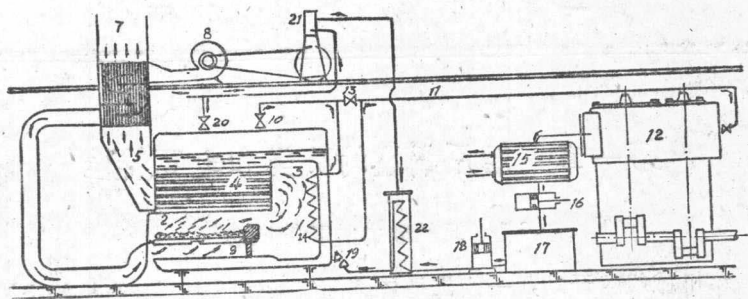


图 1

入主机12，如将阀13关闭，蒸汽即进入锅炉燃烧室3内的蒸汽过热器14，经过热后，进入蒸汽机。自蒸汽机排出的乏汽进入冷凝器15中；冷凝器的管中不断有舷外的循环的海水，乏汽与冷却的管壁接触后，就被冷却、并凝结起来，湿空气泵16将冷凝水（蒸汽冷凝所成的水）自冷凝器15中抽出，打入热水井17，给水泵18则将水自此经过止回阀19而送入锅炉。

蒸汽除至主停汽阀10外，在锅炉上还设有副停汽阀20；蒸汽经过此阀流入辅机管系，图中带动鼓风机8的蒸汽机21所用的蒸汽便由此阀供给。辅机乏汽通常都被用来预热专用的给水预热器22内的给水，给水由给水泵18压出，经过给水预热器的管子后打入锅炉。

图1为一大概示意图，当然不适合于所有船舶的实际应用；但由图可以看出，水是在蒸汽动力装置内形成一个封闭的循环线路：锅炉→蒸汽过热器→蒸汽机→冷凝器→空气泵→热水井→给水泵→给水预热器→锅炉。

船舶内燃动力装置，其工质是可燃气体的。它由主内燃机及辅助内燃机构成（辅助内燃机用以带动发电机等），暖气与日常生活上所用的蒸汽由辅助蒸汽锅炉产生为主。

一般来说，蒸汽动力装置比内燃机动力装置的经济性较差，但在海河船舶上仍继续广泛使用，它的理由首先是因为蒸汽动力装置使用固体燃料。此外，蒸汽机的动力装置具有高度的机动性

能，这是由于它在各种运行情况下工作稳定，换向迅速，并且初轉矩大；因此在破冰船及拖輪上使用蒸汽机极为有效。再者，蒸汽机馬力在2500以內者，与其他同馬力的发动机比較，則具有相当高的效率。

§ 2 船用鍋炉的分类

目前船用鍋爐的种类已随鍋爐制造工业的发展而趋于繁多，按其用途可分为主鍋爐（产生供应主机和輔机用的蒸汽）和輔鍋爐（主要供生活上的需要，有时也供某些輔机使用）；它們相互間的区别主要是在于蒸汽参数、蒸汽产量大小以及尺寸的不同。

船舶蒸汽鍋爐按其压力^①可分为低压（15表压以下）、中压（40表压以下）和高压（40表压以上）鍋爐；按燃料使用可分为燃煤、燃油、木柴、煤气和废气鍋爐；按构造則可分为三种基本类型：

1. 火管鍋爐 烟气在管內流动、水在管外流动的鍋爐。
2. 水管鍋爐 烟气在管外流动、水在管內流动的鍋爐。
3. 联合鍋爐 烟气通过装有少数水管的火管鍋爐。

火管鍋爐根据它們烟气流动方向的特点又可分为：回焰式和直焰式两种。前者爐膛和烟管是互相平行布置，而烟气在其中以彼此相反的方向流动的；后者爐膛和烟管則是串联布置，而烟气在其中按一个方向流动的。

水管鍋爐根据它們的爐水循环、管子的安装角和烟道布置的特点又可分为：

1. 自然循环式和强制循环式 前者水的流动是由于水和汽水混合物的比重差而产生的；后者借水泵的作用使水沿着管子流动。

2. 立式和联箱式 前者鍋爐的管子是垂直排列的或者是与水平綫成 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的傾斜角；后者鍋爐的管子与水平綫成 $15^{\circ}\sim$

① 鍋爐按压力分类是随着鍋爐制造业的發展而不断改变的。

20° 的傾斜角。

3. 雙側式和單側式 前者煙氣分別向兩側流動後由煙筒排出；後者鍋爐中煙氣向單側流動後由煙筒排出。

過去，船用鍋爐中以火管鍋爐為多，我國除沿海及長江船舶有採用水管鍋爐外，內河船舶幾乎全為火管鍋爐；然而就鍋爐發展的趨勢來看，水管鍋爐已逐漸代替火管鍋爐而廣泛採用于運輸船舶上。

§ 3 鍋爐的主要特性

一面與熱煙氣接觸、一面與水或蒸汽接觸的爐壁或管壁的表麵稱為鍋爐受熱麵，它傳播水或蒸汽所需要的熱，因此，受熱麵的大小可以部分地表示鍋爐生產蒸汽的能力。

受熱麵總是以煙氣側、即煙氣接觸的那一面來計算，因為煙氣側將熱傳給壁比由壁將熱傳給水要差些；當煙氣在管內流動時（火管鍋爐），計算其內部表麵積，煙氣在管外流動時（水管鍋爐）計算其外部表麵積。

通過對鍋爐特性的研究，可以使我們客觀地從各方面來評定鍋爐的結構。在進行設計時，為了預先評定鍋爐的各個部分和選擇它們的尺寸等等，需要特別廣泛地利用這些特性。鍋爐的主要特性可由下列幾點組成：

1. 蒸汽參數 ($P \cdot t \cdot x$) 決定鍋爐所生產的蒸汽質量的蒸汽壓力、溫度、干度等；過熱蒸汽的狀態決定于壓力和溫度，而飽和蒸汽決定于壓力和干度。

蒸汽的溫度和壓力對於蒸汽動力裝置的經濟性來說具有很大意義，往復機一般採用溫度為 300~350°C 的過熱蒸汽，而汽輪機採用 400~450°C 和更高些的過熱蒸汽。

2. 鍋爐蒸发量 鍋爐每小時產生蒸汽的數量，用 D 公斤/時（或噸/時）來表示。

3. 鍋爐蒸发率（又稱單位汽化率） 鍋爐蒸发量與鍋爐蒸发受熱麵之比，即：

$$y = \frac{D}{H_k} \text{ (公斤/米}^2 \cdot \text{时)} \quad (1)$$

式中: D ——鍋爐蒸发量 (公斤/时);

H_k ——鍋爐蒸发受热面 (米²)。

蒸发率表示鍋爐蒸发受热面的工作强度, 即表示由每 1 平方米鍋爐蒸发受热面所产生多少公斤的蒸汽。这个特性是个平均值, 因为受热面各部分是以不同的强度工作的。

4. 鍋爐受热面的单位热负荷 1 平方米的鍋爐受热面每小时所承受的平均热量, 即:

$$q_H = \frac{Q}{H} \text{ (仟卡/米}^2 \cdot \text{时)} \quad (2)$$

式中: H ——鍋爐总受热面, 它包括省煤器受热面、鍋爐蒸发受热面和蒸汽过热器受热面 (米²)。

5. 鍋爐的相对重量 装有爐水的鍋爐总重量与鍋爐每小时蒸汽产量的比, 即:

$$g = \frac{G_k}{D} \text{ (公斤/公斤/时)} \quad (3)$$

式中: G_k ——鍋爐連水的全部重量 (公斤)。

6. 鍋爐的相对体积 鍋爐所占有的体积与其蒸汽产量之比, 即:

$$U = \frac{V_k}{D} \text{ (米}^3 \cdot \text{吨/时)} \quad (4)$$

式中: V_k ——鍋爐所占有的体积 (米³)。

7. 炉膛的单位热负荷 每小时燃料在爐膛中完全燃烧所产生的热量和爐膛容积之比, 即:

$$q_T = \frac{BQ_H^p}{V_T} \text{ (仟卡/米}^3 \cdot \text{时)} \quad (5)$$

式中: V_T ——鍋爐各爐膛空間的总容积 (米³);

B ——每小时燃烧燃料的公斤数 (公斤/时);

Q_H^P —— 燃料的低发热量 (仟卡/公斤)。

8. 炉箴的单位重量负荷 每小时炉箴上所燃烧的燃料数量和炉箴面积之比, 即:

$$b_R = \frac{B}{R} \text{ (公斤/米}^2 \cdot \text{时)} \quad (6)$$

式中: R —— 炉箴的总面积 (米²)。

9. 锅炉效率 η_K 是锅炉用来产生蒸汽的总热量与加入炉膛中的燃料在完全燃烧时所发出的热量的比, 它说明锅炉工作的经济性。

$$\eta_K = \frac{Q_1}{Q_H^P} \quad (7)$$

式中: Q_1 —— 锅炉的有效利用热量 (仟卡/公斤)。

不同锅炉的锅炉效率相差很大, 一般船用火管锅炉效率为70~80%, 水管锅炉烧煤时的效率为80~85%, 烧油的为85~93%。

§ 4 对船用蒸汽锅炉的要求

为了尽可能增加船舶载运量, 提高经济性和保证船舶的安全航行, 对船用锅炉有以下的要求:

1. 重量轻、尺寸小, 使船舶的载运量大, 耗用金属少。
2. 工作可靠、耐久, 管理简便。
3. 经济, 保证燃料 (包括低级燃料) 的有效燃烧, 造价、维修费低廉。
4. 升汽快, 即一台锅炉自点火起到出现工作压力时所需的时间短。
5. 稳定的蒸汽压力, 使锅炉内蒸汽压力在任何情况下变化不大。
6. 给水质量低。
7. 燃烧过程机械化、自动化, 以减轻劳动量。

第二章 火管鍋爐

§ 5 回焰式火管鍋爐概說

回焰式鍋爐按其接合的方式可分鉚接和焊接兩種如圖 2 和圖 3 所示。應用焊接可以縮短鍋爐修造的過程與時間，還可以提高工作質量和減輕結構的重量等，所以它代替了鉚接而被日益推廣。

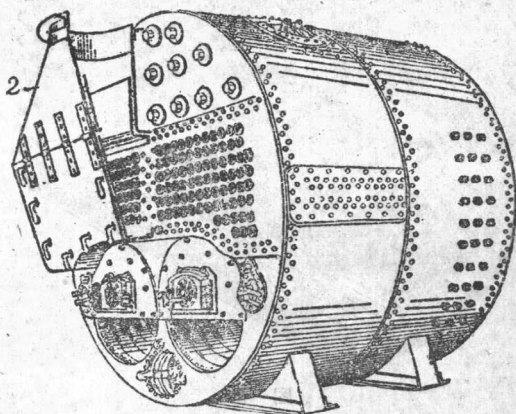


圖 2

現在根據圖 4 來說明回焰式鍋爐。鍋爐的圓筒形部分 1 叫做鍋筒(爐殼)，鍋筒兩端用前端板(前封頭) 2 和后端板(後封頭) 3 封閉；在前端板的下面開有兩個圓形孔，這是爐膛(爐胆) 4 的前端板聯接地方；爐膛的後端聯接在長方形燃燒室 5 的前壁 10 中。鍋爐是采用固體燃料成層燃燒的方法，在爐膛內裝有爐篦 6，爐篦上面的空間 7 稱為燃燒空間，爐篦下面的空間 8 稱為灰坑；燃燒所需的空氣通過灰坑進入爐篦，灰分和熔渣經爐篦間隙落到灰坑中。

爐篦不裝到爐膛的末端；在爐篦後端砌有矮牆 9；矮牆的作用是使爐篦上的塊狀燃料不致落到燃燒室中；此外，由於爐膛末