

高等學校教學用書

# 船用蒸汽鍋爐

B. M. 布茲尼克著

高等教育出版社

45.11/4047

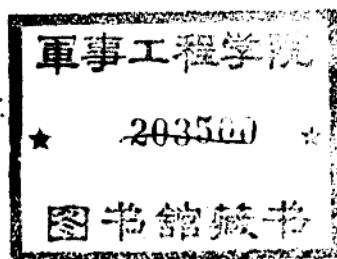
16840

高等学校教学用书



# 船用蒸汽锅炉

B. M. 布兹尼克著  
馬春霆 陈之航 王宝忠译



高等教育出版社

本書系根据苏联国立造船工業出版社 (Государственное союзное издательство судостроительной промышленности) 出版、布茲尼克 (В. М. Бузник) 著“船用蒸汽鍋爐” (Судовые паровые котлы) 1954 年版譯出。原書經苏联高等教育部多科性工学院及机器制造高等学校主管司审定为造船学院教科書。

本書敘述了船用蒸汽鍋爐的理論、構造、設計基础和运行。

本書由馬春霆(第一至四,十一至二十三章),陈之航(第五至九,二十六,二十八章)及王宝忠(第十,二十四,二十五,二十七,二十九章)合譯,并由馬春霆校閱和整理。

## 船 用 蒸 汽 鍋 爐

---

B. M. 布茲尼克 著

馬春霆 陈之航 王宝忠 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京华印書局印刷 新华書店發行

---

統一書号15010·682 開本787×1092 1/16 印張20 7/8 字數458,000 印數0001—1,000  
1958年7月第1版 1958年7月北京第1次印刷 定價(10) 2.60

## 序

現代的蒸汽鍋爐是一個複雜的組合體。在鍋爐工作時發生複雜的物理-化學過程：燃料在爐中燃燒並發生輻射放熱；煙氣在煙道中流動並發生對流及輻射放熱；汽化、汽水分離、循環等等。

鍋爐的構造也是極其複雜的，這是因為：現代的船用鍋爐要在小重量及小尺度的條件下保證有大的蒸汽產量，就應當在高的熱負荷下進行工作。

這就使得蒸汽鍋爐教程的著述感到困難，因為有很多鍋爐技術的局部問題在目前已成為內容豐富的獨立科目了。

作者力求闡明鍋爐內所發生的過程的物理實質，指出理論與實踐的聯繫以及船用蒸汽鍋爐的發展途徑等等，但是作者不得不縮小本教程中的個別章節而講述最主要的內容，因為要作更詳細的講述便會增加本書的篇幅。

作者向技術科學博士捷施金（В. Н. Дешкин）教授、叶寧（В. И. Енин）和施伐爾茨曼（С. М. Шварцман）副教授對本書提出寶貴的意見表示感謝，並向列寧格勒加里寧工學院“蒸汽鍋爐及鍋爐設備”教研室和以海軍上將馬卡洛夫（С. О. Макаров）命名的尼古拉也夫造船學院“船用蒸汽鍋爐”教研室全體工作人員對本書原稿的討論並提出有益的意見及指教表示感謝。

作者

# 目 录

|          |    |
|----------|----|
| 序 .....  | ii |
| 緒論 ..... | 1  |

## 第一篇 船用蒸汽鍋爐的理論

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 第一章 船用蒸汽鍋爐的燃料 .....                    | 9  |
| § 1. 固体燃料和液体燃料的主要特性 .....              | 9  |
| 燃料的元素成分和發热量 .....                      | 9  |
| 液体燃料的物理-化学性質 .....                     | 11 |
| 固体燃料的物理-化学性質 .....                     | 11 |
| § 2. 船用蒸汽鍋爐所用燃料的种类 .....               | 15 |
| 对燃料的要求 .....                           | 15 |
| 各种主要燃料的簡要特性 .....                      | 15 |
| 第二章 燃料的燃燒和燃燒产物 .....                   | 17 |
| § 1. 燃料燃燒的基本方程式 .....                  | 17 |
| 鏈式燃燒理論的概念 .....                        | 17 |
| 蓋斯定律·燃燒計算反应 .....                      | 17 |
| § 2. 燃燒所需的空气量 .....                    | 20 |
| 燃燒 1 千克燃料所需的理論空气量 .....                | 20 |
| 燃燒 1 千克燃料所需的实际空气量·过量空气<br>系数 .....     | 21 |
| § 3. 燃燒产物的成分和体积 .....                  | 21 |
| 按燃燒計算反应的数据确定燃燒产物的体积 .....              | 21 |
| 按烟气分析确定燃燒产物的体积 .....                   | 22 |
| § 4. 按燃燒产物分析的数据确定过量空气系数 .....          | 24 |
| § 5. 烟气的焓· $I-t$ 圖的繪制 .....            | 28 |
| 第三章 爐子裝置的理論 .....                      | 29 |
| § 1. 爐内过程的基本型式 .....                   | 29 |
| § 2. 固体燃料成層燃燒的物理-化学基础 .....            | 32 |
| § 3. 液体燃料的大炬燃燒 .....                   | 33 |
| 液体燃料燃燒过程的物理基础 .....                    | 33 |
| 离心式喷射器的理論基础和計算 .....                   | 35 |
| § 4. 固体燃料的大炬燃燒 .....                   | 39 |
| 磨煤过程的主要特性 .....                        | 39 |
| 煤粉燃燒的理論基础 .....                        | 41 |
| 第四章 鍋爐的热特性和热平衡 .....                   | 43 |
| § 1. 鍋爐中的热損失 .....                     | 43 |
| 排烟热損失 .....                            | 43 |
| 化学不完全燃燒热損失 .....                       | 45 |
| 机械不完全燃燒热損失 .....                       | 45 |
| 散入周圍介質中的热損失 .....                      | 46 |
| § 2. 鍋爐中有效利用的热量 .....                  | 47 |
| § 3. 鍋爐热平衡 .....                       | 49 |
| 無空气預热器的鍋爐热平衡方程式 .....                  | 49 |
| 有空气預热器的鍋爐热平衡方程式 .....                  | 49 |
| 鍋爐初步热平衡的編制 .....                       | 50 |
| 按計算結果进行鍋爐热平衡結算 .....                   | 51 |
| 第五章 鍋爐爐子中热交換的計算 .....                  | 52 |
| § 1. 爐子計算的共同問題 .....                   | 52 |
| 确定鍋爐有效辐射受热面 .....                      | 52 |
| 确定角系数 .....                            | 53 |
| 确定爐子中放出的热量和理論燃燒温度 .....                | 56 |
| § 2. 全苏联热工研究所(ВТИ)的方法 .....            | 57 |
| 基本計算公式的推导 .....                        | 57 |
| 确定火炬的平均温度 .....                        | 58 |
| 确定气体層有效厚度 .....                        | 59 |
| 确定在爐烟的黑度 .....                         | 60 |
| ВТИ 方法的計算步驟 .....                      | 62 |
| § 3. 中央鍋爐透平研究所(ЦКТИ)的方法 .....          | 63 |
| 鍋内热交換基本計算公式的推导 .....                   | 63 |
| 确定爐子黑度 .....                           | 64 |
| ЦКТИ 方法的計算步驟 .....                     | 65 |
| § 4. 苏联科学院动力研究所(ЭНИН АН СССР)的方法 ..... | 66 |
| 基本計算公式的推导 .....                        | 66 |
| ЭНИН 方法的計算步驟 .....                     | 68 |
| 第六章 对流受热面的計算 .....                     | 69 |
| § 1. 基本計算公式的推导 .....                   | 69 |
| § 2. 确定接触放热系数 .....                    | 70 |
| 整理試驗数据和建立計算公式的一般原則 .....               | 70 |
| 确定橫向冲刷管束时的放热系数的公式 .....                | 72 |
| 确定縱向冲刷管束时的放热系数的公式 .....                | 74 |
| 从烟气到垂直平壁的接触放热系数 .....                  | 75 |
| § 3. 确定烟气的辐射放热系数 .....                 | 76 |
| § 4. 受热面污垢程度和冲刷完全性的估計 .....            | 78 |
| § 5. 确定平均温度差 .....                     | 80 |
| 基本計算公式 .....                           | 80 |
| 确定热交換流体各种相互流动方式的平均温度差 .....            | 81 |
| § 6. 对流受热面計算的若干附帶問題 .....              | 84 |
| 裝有管子的烟道断面縮小系数 .....                    | 84 |
| 确定烟道的有效断面和烟气流速 .....                   | 85 |
| 确定烟气流平均温度 .....                        | 85 |
| 第七章 烟气和空气阻力的計算 .....                   | 86 |
| § 1. 放热与气体阻力之間的关系 .....                | 86 |

|                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| §2. 产生通風的方法.....88            | 确定循环线路的阻力.....124               |
| 自然抽風.....88                   | 确定有效压头.....126                  |
| 鼓風和人工抽風.....89                | 确定循环速度和循环倍率.....127             |
| §8 阻力的計算.....91               | §3. 强制循环計算的理論基础.....128         |
| 基本計算公式.....91                 | 强制循环的特点.....128                 |
| 鍋爐的烟气和空气阻力的計算步驟.....94        | 盤管流体动力特性方程式.....130             |
| 确定鍋爐中烟气和空气的流动阻力.....94        | §4. 循环线路稳定性的計算.....134          |
| 确定鼓風机和抽風机的出量.....101          |                                 |
| 論最有利的对流传热面管束的選擇.....101       |                                 |
| 第八章 鍋爐中的水和汽水混合物的循环.....103    | 第九章 为获得干燥和純淨蒸汽用的裝置的理論基础.....136 |
| §1. 自然循环計算的理論基础.....103       | §1. 鍋爐汽筒中所發生过程的物理实質.....136     |
| 自然循环过程的物理实質.....103           | §2. 船用鍋爐中的汽水分离方案.....139        |
| 确定鍋爐上升管的加热水区段高度.....104       | §3. 集汽管、分离器和多孔板計算的理論基础.....141  |
| 确定鍋爐上升管中的蒸汽速度.....106         |                                 |
| 确定汽水混合物的比重.....107            | 第十章 鍋爐在非設計-計算工况下的工作.....145     |
| 确定循环线路的阻力.....109             | §1. 概論.....145                  |
| 确定循环流动压头.....113              | §2. 燃料消耗量改变.....145             |
| 鍋爐中水循环可靠性的保証.....116          | §3. 过量空气系数改变.....146            |
| 循环計算的若干附帶問題.....120           | §4. 給水溫度改变.....147              |
| §2. 自然循环的計算方法.....122         | §5. 飽和蒸汽的湿度和数量改变.....149        |
| 計算步驟.....122                  | 蒸汽湿度改变.....149                  |
| 計算的原始数据.....123               | 飽和蒸汽量改变.....149                 |
| 确定下降管的排数和沸騰欠热的数值.....123      |                                 |
|                               |                                 |
| 第二篇 船用蒸汽鍋爐的構造                 |                                 |
| 第十一章 鍋爐構造总的發展方向.....151       | §1. 輔助鍋爐.....190                |
| §1. 鍋爐的用途和分类.....151          | §2. 廢热鍋爐.....192                |
| §2. 对船用蒸汽鍋爐的要求.....151        | 第十六章 燃燒固体燃料的爐子和裝置.....194       |
| §3. 鍋爐構造的主要發展方向.....152       | §1. 主要發展方向和分类.....194           |
| 第十二章 火管鍋爐.....154             | §2. 人工爐子.....196                |
| §1. 回焰式鍋爐.....154             | §3. 机械爐子.....198                |
| §2. 直焰式鍋爐.....158             | §4. 煤粉裝置.....200                |
| 第十三章 自然循环式水管鍋爐.....159        | 第十七章 燃燒液体燃料的爐子和裝置.....201       |
| §1. 立式水管鍋爐.....159            | §1. 噴射器的分类和对它的要求.....201        |
| 立式水管鍋爐結構形式的發展.....159         | §2. 机械式噴射器.....202              |
| 双烟道对称式鍋爐.....160              | §3. 旋轉式噴射器.....205              |
| 双烟道不对称式鍋爐.....164             | §4. 蒸汽式噴射器.....207              |
| 單烟道鍋爐.....166                 | §5. 噴射器的引火裝置.....207            |
| 蒸汽过热器具有單独爐子的鍋爐.....175        | 第十八章 蒸汽过热器的構造.....208           |
| §2. 双路循环式鍋爐.....176           | §1. 蒸汽过热器的用途、分类和对它的要求.....208   |
| §3. 分联箱式鍋爐.....179            | §2. 水管鍋爐的蒸汽过热器.....208          |
| 第十四章 多次强制循环式水管鍋爐和直流鍋爐.....181 | §3. 火管鍋爐的蒸汽过热器.....213          |
| §1. 出現的主要原因和發展方向.....181      | 第十九章 省煤器的構造.....215             |
| §2. 多次强制循环式鍋爐.....184         | §1. 省煤器的用途、分类和对它的要求.....215     |
| §3. 直流鍋爐.....185              | §2. 水管鍋爐的省煤器.....216            |
| §4. 高增压鍋爐.....188             | §3. 火管鍋爐的省煤器.....219            |
| 第十五章 輔助鍋爐和廢热鍋爐.....190        | 第二十章 空气预热器的構造.....220           |
|                               | §1. 空气预热器的用途、分类和对它的要求.....220   |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| § 2. 管式空气预热器 .....                   | 221 |
| § 3. 板式空气预热器 .....                   | 223 |
| <b>第二十一章 鍋爐內部裝置的構造</b> .....         | 224 |
| § 1. 水管鍋爐汽筒的內部裝置 .....               | 224 |
| § 2. 火管鍋爐鍋筒的內部裝置 .....               | 227 |
| <b>第二十二章 鍋爐骨架、复板、支座和輔設物的構造</b> ..... | 228 |
| § 1. 骨架和复板 .....                     | 228 |
| § 2. 鍋爐支座 .....                      | 231 |
| § 3. 鍋爐的輔設物 .....                    | 232 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第二十三章 鍋爐附件和自动調節裝置的構造</b> ..... | 234 |
| § 1. 附件的用途、分类和布置 .....            | 234 |
| § 2. 截止-隔离裝置 .....                | 235 |
| § 3. 安全閥 .....                    | 237 |
| § 4. 控制-測量仪表 .....                | 238 |
| § 5. 附件尺寸的确定和附件的選擇 .....          | 240 |
| § 6. 鍋爐自动調節裝置的構造 .....            | 242 |
| 自动調節裝置的用途和对它的要求 .....             | 242 |
| 自然循环式水管鍋爐的自动調節系統 .....            | 243 |
| 射流管的構造 .....                      | 244 |
| 給水調節器的構造 .....                    | 245 |

### 第三篇 船用蒸汽鍋爐的設計基础

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| <b>第二十四章 鍋爐尺寸的确定和热計算的方法</b> .....             | 248 |
| § 1. 自然循环立式水管鍋爐 .....                         | 248 |
| 鍋爐設計的任务 .....                                 | 248 |
| 确定鍋爐的尺寸 .....                                 | 248 |
| 鍋爐热計算的方法 .....                                | 251 |
| § 2. 直流鍋爐和多次强制循环式鍋爐 .....                     | 254 |
| 直流鍋爐热計算的方法 .....                              | 254 |
| 多次强制循环式鍋爐的布置特点 .....                          | 256 |
| § 3. 火管鍋爐 .....                               | 256 |
| 火管鍋爐热計算的特点 .....                              | 256 |
| 火管鍋爐热計算的方法 .....                              | 257 |
| § 4. 非設計-計算工况下的鍋爐計算 .....                     | 259 |
| <b>第二十五章 蒸發受热面、蒸汽过热器、省煤器和空气預熱器的設計基础</b> ..... | 260 |
| § 1. 蒸發受热面的設計基础 .....                         | 260 |
| 蒸發受热面的結構設計 .....                              | 260 |
| 鍋爐蒸發受热面的計算方面 .....                            | 262 |
| § 2. 蒸汽过热器的設計基础 .....                         | 262 |
| 蒸汽过热器的結構設計 .....                              | 262 |
| 蒸汽过热器的热計算和布置 .....                            | 263 |
| § 3. 省煤器的設計基础 .....                           | 266 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 省煤器的結構設計 .....             | 266 |
| 省煤器的布置和热計算 .....           | 268 |
| § 4. 空气預熱器的設計基础 .....      | 269 |
| 空气預熱器的結構設計 .....           | 269 |
| 空气預熱器的布置和热計算 .....         | 270 |
| <b>第二十六章 鍋爐的强度計算</b> ..... | 273 |
| § 1. 選擇材料的根据 .....         | 273 |
| § 2. 圓筒形鍋筒 .....           | 277 |
| 包板的計算 .....                | 277 |
| 管板的計算 .....                | 279 |
| § 3. 矩形剖面的鍋筒 .....         | 281 |
| 鍋筒的結構 .....                | 281 |
| 鍋筒的計算 .....                | 281 |
| § 4. 端板 .....              | 283 |
| 端板的結構 .....                | 283 |
| 凸形端板的計算 .....              | 284 |
| § 5. 焊接环和加强物 .....         | 285 |
| § 6. 蒸汽鍋爐零件的联接 .....       | 286 |
| 焊接 .....                   | 286 |
| 扩接 .....                   | 286 |
| 凸緣和双头螺栓 .....              | 287 |
| 人孔盖和手孔盖 .....              | 288 |
| § 7. 管子 .....              | 289 |
| 热水管 .....                  | 289 |
| 过热器管子 .....                | 290 |

### 第四篇 鍋爐的运行、水处理和試驗

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第二十七章 鍋爐的运行</b> .....         | 291 |
| § 1. 提高鍋爐工作經濟指标的方法 .....         | 291 |
| § 2. 鍋爐起用前的准备工作、鍋爐的起用和停止工作 ..... | 292 |
| § 3. 鍋爐工作时的管理 .....              | 294 |
| § 4. 鍋爐的清洗、保存和檢驗 .....           | 295 |
| 洗爐 .....                         | 295 |
| 鍋爐不工作时的保存 .....                  | 296 |
| 鍋爐的檢驗 .....                      | 297 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第二十八章 水处理</b> .....   | 298 |
| § 1. 船用蒸汽鍋爐的給水和鍋爐水 ..... | 298 |
| 水垢的形成 .....              | 299 |
| 鍋爐中的腐蝕过程 .....           | 300 |
| 起泡沫和从鍋爐中帶出水分 .....       | 301 |
| 水的特性及其中杂质濃度的标准 .....     | 301 |
| § 2. 水处理的方法 .....        | 302 |
| 爐外水处理 .....              | 302 |
| 爐內水处理 .....              | 305 |

|                                 |     |                    |     |
|---------------------------------|-----|--------------------|-----|
| § 3. 水品質的監督 .....               | 307 | 溫度的測量 .....        | 311 |
| 第二十九章 船用鍋爐的試驗 .....             | 308 | 物質數量的測量 .....      | 315 |
| § 1. 船用鍋爐試驗的目的和種類 .....         | 308 | 煙氣分析 .....         | 316 |
| § 2. 壓力、溫度、物質數量的測量方法和煙氣分析 ..... | 309 | § 3. 鍋爐試驗的進行 ..... | 318 |
| 壓力的測量 .....                     | 309 | § 4. 試驗結果的整理 ..... | 320 |
|                                 |     | 中俄名詞對照表 .....      | 324 |

## 緒 論

### § 1. 蒸汽鍋爐——船舶动力裝置最重要的組成部分

船舶动力裝置保證船舶以一定的速度航行，并保證所有与控制船舶和裝卸貨物等有关的各种操作过程的机械化。在船舶动力裝置的工作中，蒸汽鍋爐占有非常重要的地位。它制造蒸汽供应主机、輔机和船上日常生活的需用。

鍋爐是一个复杂的組合体。在鍋爐中使燃料的化学能轉变为所需参数下的水蒸汽的热能，即轉变为一定压力和温度下的蒸汽的热能。鍋爐中工作过程的工質是空气、燃料、燃料燃烧产物(烟气)、水和蒸汽。

圖 1 所表示的是高压(蒸汽压力为 50 絕對气压，蒸汽温度为  $450^{\circ}\text{C}$ ) 船舶动力裝置的热力綫圖，由圖上可以看出此裝置中各工質所經過的路綫。

在圖中示出的是一个水管鍋爐，它的主要部分是：

а) 爐子 1，在爐子中燃料进行燃烧，燃烧所产生的热以輻射方式傳給鍋爐的輻射受热面；

б) 由上升管 2 和不受热的下降管 3 組成的蒸發受热面，在上升管中爐水依靠燃料在爐子中燃烧所产生的热量而汽化；

в) 由上升管 2 和下降管 3 連接起来的水筒 4 和汽筒 5；

г) 蒸汽过热器 6，用来使蒸汽过热到指定的温度；

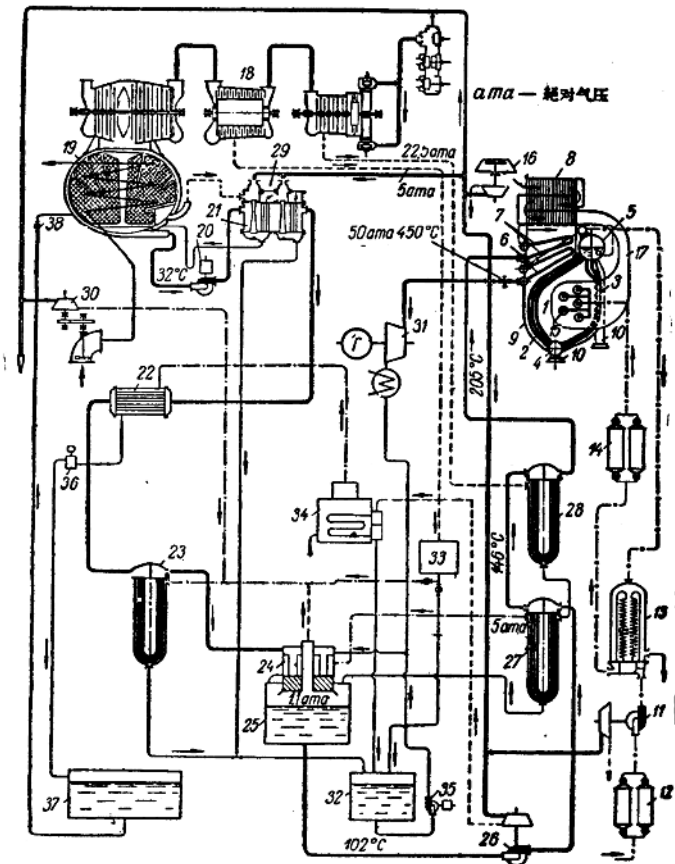


圖 1. 船舶动力裝置的热力綫圖。

- л) 省煤器 7, 它利用排出烟气的热量加热给水;
- е) 空气预热器 8, 它利用热的排烟以预热进入炉子的空气;
- ж) 构架和复板 9, 它们构成锅炉烟道;
- з) 锅炉支座 10, 用来将锅炉固定在基座上。

锅炉和整个动力装置的工作概况如下<sup>①</sup>。

锅炉工作时, 燃油泵 11 从常用油柜经滤器 12 将重油吸入, 并在压力为 22—30 绝对气压下, 经重油预热器 13 和滤器 14 压送到喷射器 15。重油从喷射器喷出时呈雾状, 并在炉内与空气混合而燃烧。

燃烧所必需的空气由鼓风机 16 供入空气预热器 8, 在其中预热到 210—220°C, 然后沿空气通路 17 进入锅炉前面的喷射器调风装置, 最后由调风装置进入炉子。

炉子中产生的烟气在通过锅炉蒸发受热面、蒸汽过热器和省煤器的各管束以及通过空气预热器管子的内部时, 将其本身大量的热量放出, 然后排入烟囱。蒸汽由汽筒 5 进入蒸汽过热器过热, 由此再进入主透平 18, 从主透平 18 再排入主凝汽器 19。

凝水用电动凝水泵 20 由主凝汽器中抽出, 然后压往二级喷汽抽气器的冷却器 21, 在此稍被预热。之后凝水进入蒸发器 34 的凝汽器 22、低压预热器 23 和除气器 24, 然后进入水箱 25。水箱 25 用压力为 1.1 绝对气压的蒸汽垫密封, 以防空气从外面漏入水箱。已除气的凝水用给水泵 26 由水箱 25 中抽出, 并经高压预热器 27 和 28 送入省煤器 7。给水在省煤器中预热后沿给水管路进入汽筒。

由锅炉引出的一部分蒸汽通到给水泵 26 的原动机、二级喷汽抽气器 29、循环水泵的原动机 30 和透平发电机的原动机 31 中去。透平发电机发出的电能供应船舶和动力装置的需用。

透平发电机 31 有独立的凝汽设备。这个凝汽器的凝水被引入除气器, 然后进入水箱 25。

带动循环水泵的透平 30 的乏汽被引入低压预热器 23 中, 作为预热主凝水之用, 然后被导入水箱 32。

给水泵 26 的透平的乏汽进入压力为 5 绝对气压的汽管, 主透平的第二次撤汽也是通过这个汽管进行的。

主透平的第一次撤汽用来预热第二级高压给水预热器 28 中的给水, 撤汽的压力为 22.5 绝对气压。具有 5 绝对气压的蒸汽用来加热第一级给水预热器 27 的给水。主透平的第二次撤汽和主给水泵的乏汽 (压力为 5 绝对气压) 供给船舶一般需要用汽接受器组 33、蒸发器 34 和第一级预热器 27。

由给水预热器 27 出来的凝水进入水箱 25; 由船舶一般需要用汽接受器出来的凝水和乏汽进入水箱 32 或低压预热器 23。蒸发器 34 的凝水则进入水箱 32, 由此用凝水泵 35 压入除气器 24, 然后再进入水箱 25。

由蒸发器 34 出来的二次蒸汽进入凝汽器 22。其凝水用湿空气泵 36 由凝汽器 22 中抽出, 送到备用蒸馏水箱 37 中去。在需用时, 可经阀 38 将蒸馏水供入主凝汽器。

<sup>①</sup> 关于火管锅炉和水管锅炉的结构详见第十二章和第十三章。

以上所講的就是船舶動力裝置工作的總熱力綫圖。

現在我們來研究這個裝置的循環。在  $T-S$  圖上(圖 2)表出工質狀態的變化。 $M$  點表示工質(凝水)的初態。在給水泵中的壓縮作用幾乎不會改變給水的溫度和熵,所以可認為表示給水離開給水泵時狀態的  $A$  點同  $M$  點重合。爐水在鍋爐中的等壓加熱用等壓綫  $AB$  表示,可以認為  $AB$  綫是與下極限曲綫相重合的。

$B$  點表示爐水在沸騰溫度  $t_n$  下的狀態。在  $t = \text{常數}$  下進行的汽化過程用與橫坐標軸相平行的直綫  $BC$  表示,而蒸汽的過熱(近於  $P = \text{常數}$ )用等壓綫  $DE$  表示。

$E$  點表示蒸汽離開蒸汽過熱器時的狀態。蒸汽在透平中的絕熱膨脹用平行於縱坐標軸的直綫  $EF$  表示。膨脹終止於  $F$  點。蒸汽在凝汽器中的凝結過程用綫  $FM$  ( $P = \text{常數}$ )表示。

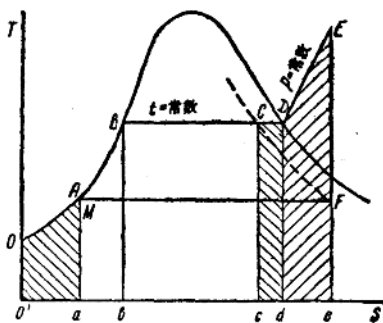


圖 2. 在  $T-S$  圖中蒸汽動力裝置的工質狀態變化循環。

循環在  $M$  點閉合,以後又再重複。蒸汽動力裝置循環的各個過程是在其各不同的組成部分中完成的。在鍋爐中進行的過程用綫  $ABCDE$  表示。

$C$  點決定鍋爐中濕飽和蒸汽的狀態。在鍋爐蒸發受熱面上產生一千克濕蒸汽的耗熱量是

$$\text{面積 } ABCca = i_n + xr - i_{n,B} = i_x - i_{n,B}, \text{ 千卡/千克,}$$

式中  $i_n$ ——在飽和溫度下的液體焓,千卡/千克;

$x$ —— $C$  點處蒸汽的干度;

$r$ ——液體的蒸發熱,千卡/千克;

$i_{n,B}$ —— $A$  點處給水的焓,千卡/千克。

$E$  點決定過熱蒸汽離開蒸汽過熱器時的狀態。在蒸汽過熱器中用於使蒸汽干燥的耗熱量是

$$\text{面積 } CDdc = (1-x)r, \text{ 千卡/千克,}$$

而用於使蒸汽過熱的耗熱量是

$$\text{面積 } DEed = C_p(t_{ne} - t_n), \text{ 千卡/千克。}$$

因此,在蒸汽過熱器中的耗熱量可用使蒸汽干燥和過熱的過程曲綫  $CDE$  下面的面積  $CDEec$  表示,並可由下式求出

$$(1-x)r + C_p(t_{ne} - t_n) = i_{ne} - i_x,$$

式中  $i_{ne}$ —— $E$  點處過熱蒸汽的焓,千卡/千克;

$i_x$ —— $C$  點處濕蒸汽的焓,千卡/千克。

這樣,在鍋爐中由已經預熱的給水( $A$  點)產生一千克的過熱蒸汽( $E$  點)所消耗的热量,在  $T-S$  圖上可用面積  $ABCDEea$  表示。這項热量等于

$$\Delta i = i_x - i_{n,B} + i_{ne} - i_x = i_{ne} - i_{n,B}.$$

这一节所研究的只是蒸汽动力装置工作的基本原理。关于蒸汽动力装置理论和设计方面的更详细知识可在苏联学者华西里也夫 (B. K. Васильев) 的著作中得到<sup>①</sup>。

## § 2. 船用蒸汽锅炉的主要特性

通过实践拟定的某些锅炉特性, 多少使我们能够客观地从各方面来评定锅炉的结构。在进行设计时, 为了预先评定锅炉的各个部分和为了选择它们的尺寸等等, 需要特别广泛地利用这些特性。锅炉的主要特性有: 蒸汽参数、蒸发量、蒸发率、受热面热负荷、锅炉效率、相对重量、相对体积、炉膛热负荷和炉篦重量负荷。锅炉所生蒸汽的质量由其参数来决定。过热蒸汽的状态决定于两个参数: 压力和温度, 而饱和蒸汽的状态则决定于压力和干度。

根据工作压力的大小, 锅炉可分为低压锅炉 (15 表气压以下)、中压锅炉 (40 表气压以下) 和高压锅炉 (40 表气压以上)。

应该指出, 这样的分法并不是固定不变的。现代的海船一般都装有中压的和高压的水管锅炉。蒸汽的温度和压力对于蒸汽动力装置的经济性来说具有巨大意义。

蒸汽机动力装置一般采用温度为 300—350°C 的过热蒸汽, 而透平动力装置采用 400—450°C 和更高温度的过热蒸汽。

锅炉每小时产生的蒸汽量叫做锅炉的蒸汽产量。主锅炉的蒸汽产量在 1—2 吨/时到 120—160 吨/时的范围内。

锅炉蒸汽产量与锅炉蒸发受热面之比叫做锅炉的蒸发率, 即

$$y = \frac{D}{H_K}, \text{ 千克/米}^2\text{时,}$$

式中  $D$ ——锅炉的蒸汽产量, 千克/时;

$H_K$ ——锅炉蒸发受热面, 米<sup>2</sup>。

蒸发率表示锅炉受热面工作的强度, 即表示由每一平方米锅炉受热面能生产多少千克的蒸汽。应该指出, 这个特性是平均的, 因为受热面各部分是以不同的强度工作的。火管锅炉的蒸发率等于 12—27 千克/米<sup>2</sup>时, 低负荷水管锅炉等于 20—50 千克/米<sup>2</sup>时, 高负荷的水管锅炉等于 80—120 千克/米<sup>2</sup>时和更高的数值。

1 米<sup>2</sup>受热面每小时所接受的热量叫做锅炉受热面热负荷, 即

$$q_T = \frac{Q}{H} = \frac{D(i_n - i_{n.B})}{H}, \text{ 千卡/米}^2\text{时,}$$

式中  $H$ ——锅炉总受热面, 米<sup>2</sup>;

$i_n$ ——锅炉所生蒸汽的焓, 千卡/千克;

$i_{n.B}$ ——给水的焓, 千卡/千克。

锅炉各受热面的热负荷具有不同的数值; 例如, 高负荷锅炉辐射受热面的热负荷是 (4.5—

① 华西里也夫著: “船舶蒸汽动力装置设计”, 苏联国立造船工业出版社, 卷 I, 1940 年; 卷 II, 1947 年。

$5.0) \times 10^5$  千卡/米<sup>2</sup>时,而对流受热面的是  $(2.0-6.5) \times 10^5$  千卡/米<sup>2</sup> 时和更高的数值。

鍋爐中有效利用的热量与燃料在爐中燃燒所放出的热量之比叫做鍋爐效率,即

$$\eta_k = \frac{D(i_{ne} - i_{n,b})}{BQ_p},$$

式中  $i_{ne}$ ——过热蒸汽的焓,千卡/千克;

$B$ ——燃料消耗量,千克/时;

$Q_p$ ——燃料的低發热量,千卡/千克。

效率表示鍋爐工作的經濟性,不同鍋爐的效率相差很大。例如,燒油的高負荷鍋爐,其效率一般是 77%—83% 和更高些,而低負荷鍋爐的是 88%—92%。

鍋爐連水的全部重量与鍋爐每小时蒸汽产量之比叫做鍋爐的相对重量,即

$$g = \frac{G_k}{D}, \text{ 千克/千克/时。}$$

高負荷鍋爐的相对重量一般是 0.65—0.75 千克/千克/时和更高些,而低負荷鍋爐的多半是在 2.5—5.0 千克/千克/时的范围内。

鍋爐的体积与其蒸汽产量之比叫做鍋爐的相对体积,即

$$v = \frac{V_k}{D}, \text{ 米}^3/\text{吨/时},$$

式中  $V_k$ ——鍋爐的体积。

高負荷鍋爐的相对体积约为 1.8—2.0 米<sup>3</sup>/吨/时,而低負荷鍋爐的是 10—12 米<sup>3</sup>/吨/时。

每小时在爐子中放出的热量与爐子容积之比叫做爐子容积热負荷,即

$$q_r = \frac{Q_r}{V_r}, \text{ 千卡/米}^3\text{时。}$$

高負荷鍋爐是以高的爐子容积热負荷工作的,等于  $(2-3.5) \times 10^6$  千卡/米<sup>3</sup> 时和更高的数值,而低負荷鍋爐是以低的爐子容积热負荷工作的,通常是等于  $(4.0-8.0) \times 10^5$  千卡/米<sup>3</sup> 时。

每小时在爐篦上燃燒的燃料量与爐篦面积之比叫做爐篦重量負荷,即

$$b_p = \frac{B}{F_p} \text{ 千克/米}^2\text{时。}$$

重量負荷决定于爐子裝置的結構,人工爐子是 90—100 千克/米<sup>2</sup> 时,机械爐子是 180—200 千克/米<sup>2</sup> 时和更高的数值。

上述关于鍋爐各种特性的数据都是平均值;实际上可能大些或小些。

### § 3. 本国学者在鍋爐制造業發展中的作用

工業式蒸汽机和鍋爐的建造是依靠了热工理論的發展才成为可能的,这一理論的奠基者就是偉大的俄国学者罗蒙諾索夫 (М. В. Ломоносов)。1744—1745 年,罗蒙諾索夫根据他所研究的物質結構的原子—分子理論在热工方面第一个創立了真正的科学概念。

卓越的俄国發明家波尔祖諾夫 (И. И. Ползунов) 在 1763—1765 年制造了第一座通用蒸汽机。为了获得蒸汽, 波尔祖諾夫制造了蒸汽鍋爐, 这座蒸汽鍋爐就是为工业目的而用的第一座鍋爐。

罗蒙諾索夫和波尔祖諾夫的工作为俄国發展热力工程提供了理論的和实践的前提。俄国的第一艘蒸汽机船是在 1815 年建造的。从这时起船用鍋爐的制造業便开始發展起来了。

本国学者而特别是我們苏維埃时代的学者, 在船用蒸汽鍋爐的理論和結構的發展方面作出了巨大的貢獻, 因为在苏維埃时代里为有成效的創造性劳动提供了一切条件。自从有蒸汽船那一天起, 船用鍋爐制造業便走上了巨大發展的道路。

在十九世紀的上半世紀, 船上主要裝設迴廊式鍋爐, 以后是裝設箱形鍋爐和回焰式鍋爐, 而到十九世紀末便采用了水管鍋爐。

在俄国曾建造过本国型式的直焰式鍋爐和回焰式鍋爐。在十九世紀六十年代出現了第一批水管鍋爐。水管鍋爐到十九世紀末在俄国艦隊上得到了广泛的应用。就在这个时候俄国的工厂开始了水管鍋爐的制造。

从十九世紀七十年代起, 在蒸汽船队中, 火管鍋爐占有主要地位; 在河船上采用直焰式鍋爐, 在海船上采用回焰式鍋爐。从十九世紀八十年代起, 在鍋爐結構方面出現了很多不同的見解。有 50 多种的結構型式曾在船上得到了实际的应用。

在船用鍋爐結構發展方面俄国的工程师和技師們起了卓越的作用: 卡拉施尼科夫 (В. И. Калашников) 建造了 150 多座蒸汽鍋爐, 其中有許多鍋爐的結構是獨創的; 特威尔斯柯伊 (И. И. Тверской) 曾提議和建造了新式的船用水管鍋爐; 特威尔斯柯伊在改进俄国軍艦鍋爐方面进行过巨大的工作; 庫茲明斯基 (П. Д. Кузьминский) 和巴式宁 (Н. Ф. Пашнин) 曾提議建造一种獨創結構的直流鍋爐, 其受热面是由兩圈螺旋狀的管子構成的; 塔布列維奇 (В. В. Табулевич) 是許多种直流鍋爐的設計人; 多尔格連柯 (В. Я. Долголенко) 曾設計过新穎的分联箱式鍋爐, 它曾被裝在本国的軍艦上和外國的艦船上。

船用蒸汽鍋爐結構的發展是在热工理論全面發展的基础上才成为可能的。繼俄国热工奠基人罗蒙諾索夫和波尔祖諾夫之后, 鍋爐制造理論基础的进一步發展是由許多著名的俄国学者来完成的。威师涅格拉德斯基 (И. А. Вышнеградский) 創立了热的机械理論和蒸汽鍋爐在运行过程中的动力稳定性問題; 沙宗諾夫 (В. Сазонов) 和巴果金 (А. Погодин) 首先研究了蒸汽鍋爐的水循环問題; 阿雷莫夫 (И. П. Алымов) 奠定了蒸汽鍋爐通風計算的基础; 門捷列也夫 (Д. И. Менделеев)、盖斯 (П. И. Гесс)、捷普 (Г. Ф. Депп) 等創立了燃燒过程和燃料合理燃燒的科学基础; 格利涅維茨基 (И. В. Гриневецкий)、格夫里連柯 (А. И. Гавриленко)、基尔施 (К. В. Кирш)、普列德切欽斯基 (А. И. Предтеченский) 等創立了蒸汽鍋爐理論計算的基础, 并拟定了鍋爐制造的一般原則<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> 詳見以后所述, 以及下列各書: 馬特維也夫 (Г. А. Матвеев) “祖國鍋爐制造業的历史”, 蘇聯國立機器制造書籍出版社, 1950 年; 庫塔切拉茲 (С. С. Кутагеладзе) 和祖開爾曼 (Р. В. Цукерман): “俄国学者和工程师在鍋爐技术方面的工作概要”, 蘇聯國立动力出版社, 1951 年。

在偉大的十月社会主义革命以後，鍋爐製造業以前所未有的速度開始發展。從蘇維埃政權建立的初期起，共產黨就對科學的發展給予了極大的注意。

在國內戰爭正緊張的時期，黨根據最先進的技術，根據國家電氣化擬定了根本改造國民經濟的計劃——俄羅斯國家電氣化計劃。這個計劃由1920年12月召開的第八次蘇維埃代表大會所批准。為了實現這個計劃，需要全力發展科學工作和實際工作。

1921年7月勞動和國防委員會決定成立以捷爾任斯基(Ф. Э. Дзержинский)命名的全蘇熱工研究所(ВТИ)。1927年成立了中央鍋爐透平研究所[現在為以波爾祖諾夫命名的中央鍋爐透平研究所(ЦКТИ)]。這兩個研究所以及蘇聯科學院動力研究所等在蘇聯固定式鍋爐製造和船用鍋爐製造的發展事業中起着領導的作用。在這些研究所中曾研究過蒸汽鍋爐現代理論的主要問題。

蘇聯學者基爾彼巧夫(М. В. Кирпичев)和他的學派創立了相似理論和模化理論。蘇聯學者安吐菲也夫(В. М. Антуфьев)、卡扎欽科(Л. С. Козаченко)和別列茨基(Г. С. Белецкий)等根據這些理論對流換熱方面進行了許多的試驗研究。由這些研究的結果，得出了固定式蒸汽鍋爐和船用蒸汽鍋爐熱計算時求放熱系數用的計算公式。

燃燒理論和爐子裝置理論是由克諾烈(Г. Ф. Кнорре)及其學派創立的。

在輻射熱交換和創造鍋爐爐子計算方法方面，蘇聯學者拉姆金(Л. К. Рамзин)、古爾維奇(А. М. Гурвич)、季莫費也夫(В. Н. Тимофеев)、康納科夫(П. К. Конаков)等起了主導作用。由蘇聯學者所創立的可靠的爐子計算方法在設計船用蒸汽鍋爐時得到了廣泛的應用。

蘇聯學者創立了蒸汽分離的理論，並建造了現代結構的蒸汽分離設備。在這方面，布林諾夫(К. А. Блинов)和蘇哈列夫(Е. И. Сухарев)等的工作是眾所周知的。

蘇聯學者斯特里科維奇(М. А. Стрикович)、彼切爾森(Л. Ф. Петерсон)、柯斯切林(С. И. Костерин)、切列托夫(С. Г. Телетов)、羅達契斯(К. Ф. Родатис)等創立了現代的水循環計算方法。他們在這方面進行了許多的試驗研究之後，總結出了實際的計算方法。

根據這些試驗研究工作，波爾祖諾夫中央鍋爐透平研究所於1950年出版了水循環計算標準，可用於船用蒸汽鍋爐水循環的計算。

波爾祖諾夫中央鍋爐透平研究所在蒸汽鍋爐熱計算方面總結了極其豐富的材料，並於1937年出版了蒸汽鍋爐熱計算標準。其後，由於積累了很多新的試驗材料，該標準又修訂了一次，並於1945年再版。同樣，在制訂鍋爐氣體阻力計算標準和強度計算標準方面也進行了類似的工作。中央鍋爐透平研究所的所有這些標準的材料（熱計算標準、氣體阻力計算標準和強度計算標準）在船用蒸汽鍋爐的設計中都廣泛地應用着。

蘇聯進行的巨大科學研究工作使得鍋爐設計師們能夠設計出頭等的固定式蒸汽鍋爐和船用蒸汽鍋爐。

在研究本國船用蒸汽鍋爐的理論和結構方面，舒林斯基(М. И. Шулинский)、加薩諾夫(Г. А. Гасанов)、捷施金(В. П. Дешкин)、別洛烏索夫(Н. С. Белоусов)、巴巴沙年(Л. А. Бабаджанян)、尼柯諾夫(А. А. Никонов)、拉夫羅夫(П. И. Лавров)等起着積極的作用。

鍋爐製造業的進一步發展在蘇聯有着廣闊的前途。根據蘇聯共產黨第十九次代表大會關於1951—1955年發展蘇聯國民經濟的第五個五年計劃的指示，在五年中鍋爐的生產將增加到2.7倍。

第五個五年計劃中規定，在鍋爐製造方面要進行巨大的科學研究工作，以便把鍋爐製造的技術提到更高的水平。

在科學工作者和生產人員創造性合作的基礎上，蘇聯科學將得到越來越新的成就。

在蘇聯學者、設計師和工人的面前，為創造性勞動提供了一切的可能，因為蘇聯共產黨經常地關懷着蘇聯的科學，關懷着我們偉大祖國的繁榮。

# 第一篇 船用蒸汽鍋爐的理論

## 第一章 船用蒸汽鍋爐的燃料

### § 1. 固体燃料和液体燃料的主要特性

#### 燃料的元素成分和發热量

固体燃料和液体燃料的元素成分通常用重量百分数表示成下列的公式:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\% . \quad (1)$$

这就是所謂燃料的工作質, 燃料就是以这样的成分送入爐子中的。燃料的可燃元素是碳、氢和硫。碳  $C^p$  是燃料的主要組成部分, 它在燃料中不是呈自由状态存在, 而是以同氢、氧及硫相化合的状态存在的。

氢  $H^p$  在所有的燃料中其含量都是 3—5%, 唯有在重油中其含量可达 12—14%。在燃料中氢是以各种化合物的状态存在的, 其中包括同氧的化合物。能燃燒的只是不同燃料中的氧相化合的氢。

硫  $S^p$  在燃料中主要有两种形式: 金屬硫化物( $FeS_2$ ,  $ZnS$  等)和硫酸的化合物(硫酸鹽)。第一种形式的硫可以燃燒, 是揮發性的可燃硫。第二种形式的硫是同氧相化合的, 不能燃燒, 它通常含在燃料的不可燃矿物杂质中, 在燃燒后成为灰渣  $A^p$ 。燃料中可燃成分愈多, 其發热量就愈高, 即一千克燃料燃燒时所放出的热量就愈多。

燃料中的氧  $O^p$  不能放出热量, 它氧化燃料的可燃元素而形成它們的化合物, 同时使燃料的热价值降低。燃料中氧的含量由百分之零点几(例如在重油中)到 40—45% (在木柴中)。

氮  $N^p$  是惰性元素, 不参与燃燒反应(在燃料中通常含有 1—2% 的氮)。

灰分  $A^p$  是燃料中不燃的矿物質。燃料中的灰分含量由百分之零点几(例如在重油中)到 40—45% (在油頁岩中)。

燃料中所含的水分  $W^p$  使燃料的热价值下降, 因为使水分蒸發要消耗燃料的一部分热量。

燃料的工作質能够說明进入爐內的燃料是什么样的燃料。但工作質不可能充分地判定燃料的可燃性。

燃料的工作質是不稳定的, 因为随着燃料开采、运输和保存方法的不同, 其中所含的灰分和水分相差就很大。因此, 在进行各种計算和研究燃料性質时, 必須將燃料的某些成分去掉, 而利用人为創造的主要成分导出物。

例如, 从燃料工作質中去掉水分, 則得出干質

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100\% ,$$