

蒸汽機車理论与計算

B. И. 叶 文 闊
B. Ф. 別 洛 夫 著
A. A. 別 爾 金

人民鐵道出版社

本書闡述了蒸汽機車鍋爐和汽機的热工原理，研究了蒸汽機車动力問題，举出了計算蒸汽機車零件强度以及設計和選擇現代蒸汽機車主要尺寸的基本資料。

本書供蒸汽機車設計、制造、运用和修理等部門工程師、技術員参考并可作为鐵道学院和鐵路中等專業學校教学参考書。

本書第一至第十章由邱祥魁翻譯，潘世宁校閱；第十一、十二章由潘世宁翻譯。

蒸汽機車理論与計算

ТЕОРИЯ И РАСЧЁТ ПАРОВОЗА

В. И. ЕВЕНКО

苏联 В. Ф. БЕЛОВ 著

А. А. БЕЛЯНКИН

苏联国家鐵路運輸出版社 (1951 年莫斯科俄文版)

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1951

邱 祥 魁 等 譯

潘 世 宁 校 閱

人民鐵道出版社出版 (北京市霞公府 17 号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第 010 号

北京市新中印刷厂印 新华書店發行

書号 741 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ • 印張 $11 \frac{1}{4}$ • 字数 287 千

1957 年 5 月第 1 版

1957 年 5 月第 1 次印刷

印数: 2,485 冊 定价: (10)1.90 元

著者的話

蒸汽機車是鐵路運輸業中一種主要型類的機車。它在最近將來的鐵路發展上仍能保持其主要地位。

所以說進一步改進蒸汽機車、提高其經濟性和運用上的可靠性、提高照管和修理機車的技術水平是一種最重要而且具有巨大人民經濟意義的問題。要想解決這個問題，如果沒有高深的理論知識，如果在設計、製造和運用蒸汽機車的具體工作中不善於運用各種理論，那是不可想像的。

現代的蒸汽機車理論是許多科學、技術活動家們集體創造的。

俄國的科學家和工程師們在發展蒸汽機車製造的理論和實踐上貢獻很大。他們的著作在很大程度上全都超越了國外的技術見解。

1867年已經出版有И.М.烈別杰維依教授第一次編著的蒸汽機車曲綫通過和動力學的著作。

A.A.郝洛金茨基、K.YO.切格林斯基等同志在機車車輛與綫路相互作用方面作了很寶貴的研究。

1872年A.П.包羅金工程師首先提出在蒸汽機車上採用蒸汽復脹的概念。

他還在1881年首創了世界上第一座蒸汽機車試驗室。

Н.П.彼得羅夫是列車牽引理論的創始者。他的行車阻力理論及摩擦係數與閘瓦壓力論證等著作對於蒸汽機車的設計和運用都起了很大的作用。

俄國工程師們是實行蒸汽機車上蒸汽過熱法的發起人。1898年蒸汽機車上已經裝有戈盧賓斯基式過熱裝置，1899年蒸汽機車上已經裝有斯盧茨基式過熱裝置。

Е.Е.諾利泰茵工程師特別是A.C.拉耶夫斯基關於均衡鉄計算的著作已經大大超越了專家們的著作。

值得提出的是俄国各先进科学家和工程师們总是在努力于蒸汽機車科学試驗工作，因为只有在科学試驗中才能檢查出某种理論的正确性。正因为这样，所以俄国才成为機車試驗研究方法的發源地。世界上最先开始蒸汽機車牽引試驗的也是在俄国，目的就是为着計算蒸汽機車牽引和消耗的性能。

1906年設立了專門的“蒸汽機車試驗所”，該所进行了很多次关于牽引和热力性能的試驗工作。

由于俄国蒸汽機車的實驗研究和理論的水平高度發展，所以在当时已經制造出下列在世界上最經濟的而且最好的蒸汽機車：1911年按照 Б.С.馬勒好夫斯基設計制造的1-3-1C型客运機車和1913年按照 Б.И.勞坡深斯基設計制造的0-5-0Д型貨运機車。

偉大的十月社会主义革命，建立了新的生产关系，并創建了發展祖国生产力的絕對可能性。

列宁-斯大林的党自苏联政权的最初年代起就已經而且現在仍是特別注意着社会主义鉄路運輸業和其主要的机务部門的發展。

1918年經列宁的發起，設立了交通科学實驗院（現在为交通部中央科学研究院）。

在1931年建成了世界上唯一的試驗機車环行綫。在环行綫上所进行的機車各种試驗，就奠定了現代許多的科学的總結和結論的基础。

苏联鉄路科学家們的著作都享有盛名。

С.П.西罗棉特尼科夫院士根据这些丰富的試驗材料就首先著作出了世界上唯一的蒸汽機車热力計算教程。

С.П.西罗棉特尼科夫的著作建立了蒸汽機車鍋爐和汽机設計的科学基础。

Н.И.別洛閣教授在發展蒸汽機車热力計算的理論上作了很寶貴的貢獻。

由于苏联科学家 В.Ф.依哥尔欽柯、А.М.巴比契科夫等的

著作就使着列車牽引的這門科學更趨完善。

在研究機車動力方面取得了顯著的成就，特別是К.П.克羅斯夫關於蒸汽機車通過曲綫區段的著作在祖國機車製造理論上是一個新的貢獻。

А.И.道林業夫研究出有科學根據的制定蒸汽機車燃料消耗定額方法。他還提出一些計算運用蒸汽機車的煤、水消耗量和機械功的圖解方法。

由於理論與實踐密切結合，蒸汽機車製造廠全體設計人員，在К.Н.蘇什金、Б.С.波茲德尼亞闊夫、Л.С.列別江斯基、П.М.沙洛依闊、М.Н.舒金等領導下已經設計製造出蘇聯的很完善的帶蒸汽凝結裝置的С^у、ФД、ИС、СО型的蒸汽機車和在戰后斯大林五年計劃中第一台Л型蒸汽機車。

鐵路運輸業中有很多發明家和斯達漢諾夫工作者都來參加製造和改進我國機車的工作。

差不多蘇聯所有的蒸汽機車上都裝有И.О.特洛費莫夫式分動閘。И.К.馬特羅索夫和Ф.П.卡贊切夫式的制動機比較外國最好型式的制動機優越得很多。

先進司機—斯達漢諾夫工作者П.Ф.克利涅諾斯、А.П.巴巴文、Л.А.克洛布闊夫、Н.А.魯寧、В.Г.布拉日諾夫、Г.С.舒米洛夫等由於自己的創造性勞動，就在蒸汽機車運用上挖掘了很多的潛力，因而幫助了我們在設計和運用蒸汽機車的實踐和理論上作了重要的修正。

本書敘述國產蒸汽機車的理論和計算的各項主要問題並參考蘇聯科學家們在最近時期編著的這一方面的著作。

著者目的是希望這本書可能對運輸部門的工程技術人員和革新者們以及學校的學員們在進一步改進和更好運用蒸汽機車的實踐活動中有所幫助。

著者非常歡迎讀者對本書內容所提供的一切意見和希望。

最後謹向對本書鍋爐熱工一章內提出寶貴意見的技術科學博

士 Н.И. 別洛闊教授表示誠懇的謝意。

同时也向对本書作出評論有助于改善書中內容的 А.А. 齐尔闊夫教授表示謝意。

В. 叶 文 闊

В. 別 洛 夫

А. 別 俩 金

目 录

第一編 鍋 爐

第一章 鍋爐热工	1
§ 1. 燃料及其特性	2
§ 2. 燃料的燃燒产物数量	9
§ 3. 燃燒产物的含热量	12
§ 4. 火箱中之热平衡及热傳遞	14
§ 5. 机械的不完全燃燒的热量損失	20
§ 6. 化学的不完全燃燒的热量損失	23
§ 7. 气流分路系数	25
§ 8. 小烟管的热傳遞	27
§ 9. 大烟管的热傳遞	35
§ 10. 排出燃气帶出的热量損失	41
§ 11. 由于鍋爐冷却的热量損失	42
§ 12. 热平衡, 鍋爐效率和蒸發量	43
§ 13. 过热蒸汽溫度	48
§ 14. 鍋爐热力計算例題	50
第二章 鍋爐零件的强度計算	71
§ 1. 内外火箱飯	73
§ 2. 側飯和頂飯螺撑	75
§ 3. 外火箱后飯的結合	76
§ 4. 鍋胴部分	78
§ 5. 大烟管和小烟管	80
§ 6. 前管飯	81
§ 7. 汽包	83
§ 8. 鍋胴开口处的补强	84

第三章 排烟裝置85

- § 1. 排烟裝置的功用85
- § 2. 排烟裝置的功率及其效率89
- § 3. 排烟裝置對汽機背壓的影響93
- § 4. 排烟裝置主要尺寸的決定97

第二編 汽 機

第四章 汽機熱工104

- § 1. 蒸汽在汽機汽缸中的作用104
- § 2. 蒸汽機車功率和牽引力106
- § 3. 汽機每單位馬力-小時的蒸汽消耗量及其經濟性110
- § 4. 汽機中的熱量損失113
- § 5. 過熱蒸汽對汽機經濟性的影響117
- § 6. 汽機的实际效率118
- § 7. 汽機預想性能圖的繪制119
- § 8. 蒸汽機車整體經濟性126

第五章 機車汽機的蒸汽分配129

- § 1. 閥的部分品129
- § 2. 極綫圖133
- § 3. 橢圓圖136
- § 4. 月牙板機構139
- § 5. 蒸汽分配中的誤差144
- § 6. 確定閥裝置內部機構的尺寸149
- § 7. 確定月牙板機構的尺寸153
- § 8. 繪制蒸汽分配圖面156
- § 9. 逆汽制動和絕汽運轉159

第六章 汽機零件強度的計算161

- § 1. 汽缸162
- § 2. 聯軸164

§ 3. 鞣鞣杆	167
§ 4. 十字头	171
§ 5. 滑鈑	179
§ 6. 搖杆	181
§ 7. 連杆	191
§ 8. 曲拐銷	195

第七章 蒸汽機車均衡..... 199

§ 1. 总論	199
§ 2. 旋轉質量慣性力的均衡方法	204
§ 3. 搖杆和十字头-鞣鞣系統慣性力的均衡	207
§ 4. 关于均重計算的概念	218

第三編 車 架

第八章 機車曲綫通过.....229

§ 1. 总論	229
§ 2. 几何的曲綫通过	236
§ 3. 动力的曲綫通过	248
§ 4. 在作动力的曲綫通过时的精确計算	261

第九章 車架部零件强度的計算

§ 1. 主車架的計算	265
§ 2. 鍋爐火箱后膨脹鈑的計算	271
§ 3. 軸的計算	277
§ 4. 彈簧的計算	280

第十章 蒸汽機車的重量分配

第四編 蒸汽機車設計基础

第十一章 选择蒸汽機車主要尺寸.....307

§ 1. 機車車輛限界	307
§ 2. 列車阻力	308

§ 3. 粘着重量和粘着牽引力	313
§ 4. 軸載荷（軸重）和動軸的數目	315
§ 5. 蒸汽機車的型式和在運行整備狀態的重量	316
§ 6. 選擇鍋爐主要尺寸	317
§ 7. 選擇汽機尺寸和車輪直徑	320
§ 8. 導輪和從輪的直徑	323
§ 9. 機車的初步草圖	324
§ 10. 管板排列和校驗鍋爐傳熱面積	328
§ 11. 蒸汽機車的初步重量分配	331
§ 12. 牽引特性	332
§ 13. 某些蘇聯蒸汽機車的特性	334
第十二章 蒸汽機車熱工方面的現代化及試驗研究	341
§ 1. 蒸汽機車熱工方面的現代化	341
§ 2. 提高蒸汽機車運用的可靠性	344
§ 3. 蒸汽機車工作的試驗研究	347
參考文獻	349

第一編 鍋 爐

第一章 鍋爐熱工

鍋爐是蒸汽機車最重要的部分。鍋爐的任務就是保證按工作壓力供給汽機所需要的過熱蒸汽。在鍋爐的工作中可以清楚地分為三個基本過程：（a）燃料燃燒並發出熱能；（b）在鍋爐中產生飽和蒸汽；（c）由飽和蒸汽變成過熱蒸汽。

鍋爐熱工學即研究如何保證鍋爐應有的效能並有效地最大限度地利用燃料在燃燒中所發出來的熱量問題。

爐床面積是表示蒸汽機車鍋爐功率的基本特性。但鍋爐工作不僅僅決定於爐床面積，而尚有鍋爐的其他主要尺寸，如：火箱容積，火箱傳熱面積，蒸發面積，過熱管傳熱面積，大、小煙管的流通斷面積，大、小煙管直徑及其長度，蒸汽空間的容積等等。

提高蒸汽機車的經濟性，亦即提高蒸汽機車效率是一項特殊的任務，因為在我們的國家里，蒸汽機車是燃料的最大消耗者。用於鐵路運輸上的燃料已超過蘇聯總用煤量的 30% 以上。其中蒸汽機車就用了 80% 左右。因此，如能將蒸汽機車的經濟效果提高 1%，就可給國家節省數十萬噸煤。這就是說為什麼研究影響鍋爐和汽機效率的各種因素，是富有國家意義的重要問題。

由於蘇聯科學家們的 effort，創立了關於蒸汽機車熱工學這一完整的科學，這就使對現有蒸汽機車的熱力過程的分析和對新設計的蒸汽機車正確地評定它們的發展成為可能。

在蒸汽機車熱工的分析工作方面，首先是由俄國工程師 A. II. 包羅金和 E. E. 諾利泰茵完成的。

諾利泰茵工程師關於蒸汽機車鍋爐熱工計算的理論在 C. II. 西羅棉特尼科夫院士的名著里獲得了進一步的發展。

C. II. 西羅棉特尼科夫院士對最不同型式蒸汽機車的試驗資料進行了30年左右的 research，根據熱工學的一般原理和直接由蒸汽機車熱力牽引試驗所得的綜合的結果，制訂了蒸汽機車熱工計算的方法。

И. И. 別洛閣教授是祖國蒸汽機車熱工學的另一代表人物。他根據試驗的結果和一般熱工學最近的成就，在1935~1938年發表了一系列的著作，闡明了蒸汽機車鍋爐的計算方法。

我們對鍋爐熱工的計算是按別洛閣教授的方法。編著本章所採用的 И. И. 別洛閣教授主要著作一覽表附在本書的末頁。

§ 1. 燃料及其特性

表現各種燃料特性的首先是元素成分。

燃料按重量的元素成分如下：

C——燃料內炭的含量（為燃料總重量的%）；

H——氫的含量；

S_н——揮發（可燃的）硫^①的含量；

O——氧的含量；

N——氮的含量；

A——燃料的灰分（不能燃燒的礦物混合物的含量）；

W——燃料所含水分。

因此

$$C + H + S_{н} + O + N + A + W = 100\%。$$

① 燃料中所含的硫，分為揮發硫（可燃硫）和硫酸鹽（不能燃燒的硫）。

為了熱工計算，主要應知道在燃料中含有的揮發硫，因為硫酸鹽並不燃燒並且包括在燃料的灰分中。

在研究燃料的元素成分时，普通把工作燃料与干燥燃料可燃体和有机体区别开。

装到煤水車上的燃料叫做工作燃料。其元素成分为：

$$C^p + H^p + S_x^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%。$$

关于干燥燃料的概念是指不含水分的（完全干燥的）燃料。干燥燃料的元素成分为：

$$(C + H + S_x + O + N)^o + A^o = 100\%。$$

不含水分和灰分的燃料叫做燃料的可燃体：

$$C^r + H^r + S_x^r + O^r + N^r = 100\%。$$

燃料的有机体具有下列成分：

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%。$$

从燃料的一种元素成分换算成另一种时，可利用表1的换算系数。

表1

已知成分 試求	工 作 燃 料	干 燥 燃 料	可 燃 体	有 机 体
工作燃料.....	1	$1 - \frac{W^p}{100}$	$1 - \frac{A^p + W^p}{100}$	$1 - \frac{S_x^p + A^p + W^p}{100}$
干燥燃料.....	$\frac{100}{100 - W^p}$	1	$1 - \frac{A^o}{100}$	$1 - \frac{S_x^o + A^o}{100}$
可燃体.....	$\frac{100}{100 - (A^p + W^p)}$	$\frac{100}{100 - A^o}$	1	$1 - \frac{S_x^r}{100}$
有机体.....	$\frac{100}{100 - (S_x^p + A^p + W^p)}$	$\frac{100}{100 - (S_x^o + A^o)}$	$\frac{100}{100 - S_x^r}$	1

例1. 已知工作燃料 (Ⅱ 种煤) 的元素成分为:

C ^p	H ^p	S _Ⅱ ^p	O ^p	N ^p	A ^p	W ^p
57.5	4.2	3.6	9.2	1.2	11.8	12.5

試求干燥燃料的灰分。

按表 1 取換算系数:

$$K = \frac{100}{100 - W^p} = \frac{100}{100 - 12.5} = 1.143;$$

$$A^c = KA^p = 1.143 \times 11.8 = 13.5\%.$$

例2. 已知燃料的可燃体的成分:

C ^r	H ^r	S _Ⅱ ^r	O ^r	N ^r
81.0	5.4	3.8	8.3	1.5

同时已知工作燃料的灰分和水分:

$$A^p = 12.3\%, \quad W^p = 5.5\%.$$

試求工作燃料的成分。

从表 1 查出为了由可燃体的成分換算成工作燃料成分的系数:

$$K = 1 - \frac{A^p + W^p}{100} = 1 - \frac{12.3 + 5.5}{100} = 0.822.$$

$$C^p = KC^r = 0.822 \times 81 = 66.7\%$$

$$H^p = KH^r = 0.822 \times 5.4 = 4.4\%$$

$$S_{Ⅱ}^p = KS_{Ⅱ}^r = 0.822 \times 3.8 = 3.1\%$$

$$O^p = KO^r = 0.822 \times 8.3 = 6.8\%$$

$$N^p = KN^r = 0.822 \times 1.5 = 1.2\%$$

$$A^p = 12.3\%$$

$$W^p = 5.5\%$$

$$100\%$$

燃料的可燃体中所含的揮發分 V^r 和焦炭 K^r 的重量是燃料

的很重要的特性:

$$V^r + K^r = 100\%。$$

假如燃料含的揮發分少，則燃燒过程主要發生在爐床上的煤層內。假如燃料含的揮發分多，則燃燒过程有很大部分是在火箱空間內進行。

焦炭是由煤分解出氣體生成物（揮發分）之後的硬的殘留物體。

按焦炭的性質把煤分為粘結性的（IIЖ、IIС、I 種煤）和非粘結性的（劣質煤，無煙煤）。

粘性煤的焦炭熔成相當堅固的多孔的塊狀。非粘性煤的焦炭則為分散的小塊甚至粉狀。

焦炭熔成塊狀時可減少煤的極小塊飛揚到煙管內的損失並提高焚火的經濟性。反之，焦炭成粉狀時就增大飛揚損失並減低焚火的經濟性。

灰分熔化溫度是燃料重要特性之一。當灰分熔化後，爐渣將爐床通氣孔堵塞，阻礙空氣接近燃料的燃燒層並破壞正常的燃燒過程。灰分熔化溫度低於 1200°C 的算作易熔灰分，從 1200 到 1400°C 的——中級熔化灰分並把高於 1400°C 的——難熔化的灰分。

發熱量是各種燃料的最主要的特性。

1 公斤燃料完全燃燒後發出來的熱量叫做燃料的發熱量。發熱量分為高、低兩種。

燃料的高發熱量 Q_B 是在氫（作為燃料的組成部分）燃燒完了並變成凝結水的條件下所發出來的熱量。

低發熱量 Q_H 是在氫（作為燃料的組成部分）燃燒完了並變成過熱蒸汽的條件下所發出來的熱量。

燃料高、低發熱量之間的關係以方程式表之為：

$$Q_H = Q_B - 6(9H + W) \frac{\text{大卡}}{\text{公斤}}。$$

式中 H 和 W——燃料含有的氢和水分的重量%。

無論在蒸汽機車鍋爐和固定鍋爐中当燃料在燃燒中生成之水蒸汽并不凝結，所以所有的热力計算都按低發热量进行。

工作燃料發热量以 Q_H^p 表示之。

蒸汽機車上用的燃料主要是煤。

在表 2 中指出了各种煤的平均元素成分和發热量，并且也指出了其他几种頓涅茨区和莫斯科附近褐煤的性質。

表 2

煤种	元素成分(%)							Q_H^p	揮發分 V ^r %	灰化 分溫度 °C	粘 結 性	燃燒性質与 灰分之生成
	CP	HP	S _π ^p	OP	NP	AP	WP					
長焰煤 Д.....	57.5	4.2	3.6	9.2	1.2	11.8	12.5	5 440	43	1210	非粘 結的	燃燒性好，燃燒 穩定；燃燒殘 留物成松軟的 塊和灰，有时 成熔化層。
气体煤 Г.....	66.7	4.4	3.1	6.8	1.2	12.3	5.5	6 305	39	1220	粘結 的	容易燃燒，燃燒 穩定；当火層 薄时灰層成松 軟多孔狀。
鍋爐用油 質煤 ПЖ....	64.1	3.9	3.7	4.3	1.2	19.3	3.5	6 155	32	1210	粘結 的	燃燒性好，結成 堅固緊密的焦 層，需要由上 边用火鉤切 开；火箱內殘 留物堅硬，但 是能通風的爐 碓。
鍋爐用粘 結煤 ПС....	71.3	3.6	2.5	2.4	1.2	16.0	3.0	6 655	15	1190	粘結 適度	燃燒性中等，燃 燒中成耀目的 白色火焰， 火層多孔能通 風；爐碓松軟。
劣質煤 Т.....	76.8	3.6	1.7	2.0	1.3	11.6	3.0	7 035	12	1200	非粘 結的	燃燒點高，須要 有白熱的火 層，在火層薄 的时候，有良 好的白色火 焰。火層厚时 就熄滅；爐碓 緊密，在焚火 不当时即將火 床孔堵塞。

續表 2

煤 种	元素成分(%)							Q_H^p	揮 發 分 Vr%	灰化 分溫 焙度 °C	粘 結 性	燃燒性質與 灰分之生成
	CP	HP	S_H^p	OP	NP	AP	WP					
無烟煤 A	79.0	1.5	1.6	1.5	0.9	10.5	5.0	6710	3.5	1280	非粘 結的	燃燒困難，在工作情況不變時，則燃燒火焰成白色；在工作條件變化時可能造成煤爐和熄滅
褐煤（莫 斯科附 近煤）...	33.0	2.4	2.3	9.9	0.6	16.8	33	2830	45	1350 ~1500	非粘 結的	燃燒點低；燃燒後殘留灰分和煤粉；個別的煤，爐渣密度中等

在表 3 中簡明地列舉了頓涅茨區無烟煤的性質(按種類別)。

表 3

無烟煤種類	AP (%)	WP (%)	Q_H^p (大卡/公斤)	塊的尺寸 (公厘)	粉煤含量 (%)
片狀的 AII	4.3	5	7250	>100	5
大胡桃大的 AK	5.2	5	7190	25~100	6~10
小胡桃大的 AM	10.9	5	6710	13~25	7~12
向日葵子大的 AC	11.9	5	6600	6~13	10~14
普通沒有片狀的 APIII	11.9	5	6590	0~100	20~35

在蒸汽機車上對各種牌號煤的混合煤使用的很廣。這種燃燒煤的方法是最有效的，因為用選擇各種牌號煤的比例的方法，把某一種煤的缺點（例如劣質煤在燃燒中飛揚損失很大）被另一種煤的優點（例如 IIЖ 或 ПС 煤粘結性很強）所補償。

對這一問題在交通部燃料局工作者 Л.Г. 穆爾津和 Б.Н. 爵什金著的“機車燃料的節約”（國家鐵路運輸出版社1948年，56~57頁）一書中所述：