

# 蒸汽機車工程

上 冊

孫 竹 生 編

龍門聯合書局出版

# 蒸汽機車工程

孫竹生編著

龍門聯合書局出版

## 前 言

從今年起，我們偉大的祖國開始了第一個五年建設計劃。如果這本關於鐵路運輸的基本動力——蒸汽機車的書的出版，能對於實現在這個新的歷史任務起一些作用，那便是很可喜的事了。

本書着重於蒸汽機車的理論和計算，有 1. 總論、2. 鍋爐、3. 汽機及走行部份、4. 車架部份四編，分兩冊出版，可作教本或參考書用。

本書除了介紹蘇聯先進經驗、指出蘇聯新式機車的設計優點外，並聯系了我國機車的設計。為便利讀者起見，茲將蘇聯在機車試驗方面習用的量摘述如下，以供參考：

1. 機車走行阻力指機車無火迴送時的走行阻力（包括煤水車走行阻力）。

2. 粘着係數  $\psi_0$  指對應最大平均輪周牽引力的粘着係數。

3. 機車牽引力  $F_0$  指機車輪周牽引力。

4. 機車馬力  $N_0$  指機車輪周馬力。

5. 鍋爐蒸發量  $D_m$  指不包括機車附件用汽的鍋爐蒸發量。

6. 鍋爐蒸發率是  $\frac{D_m}{H}$  ( $H$  = 鍋爐受熱面積)。

7. 汽耗率是  $\frac{D_m}{N_0}$ 。

8. 燃料的發熱量  $Q$  指燃料的低位發熱量。

9. 鍋爐效率  $\eta_0$  和機車效率  $\eta$  指對應低位發熱量的鍋爐效率和機車效率。

本書多承顧和生同志繪圖、吳翠微同志整稿，始得早日出版，特此誌謝。書中錯誤之處，熱烈地歡迎讀者提出批評及指正。

一九五三年八月一日 孫竹生

# 目 次

英美制與公制的單位換算表

飽和蒸汽表

水及過熱蒸汽表

## 第一編 總 論

第一章 機車概況 .....	1
第一節 機車發展簡史 .....	1
一 概論 二 時期的劃分	
第二節 我國機車的現況 .....	6
第三節 <u>蘇聯</u> 、 <u>美</u> 、 <u>英</u> 、 <u>德</u> 、 <u>日</u> 等國機車的現況 .....	11
第二章 機車的分類及用途 .....	27
第一節 機車的分類 .....	27
第二節 機車的用途 .....	28
一 調車機車 二 旅客機車 三 貨物機車	
第三章 正確的機車設計 .....	35
第一節 機車構造與牽引力及馬力 .....	35
第二節 機車構造與成批生產 .....	36
第三節 機車構造與運輸成本 .....	37
第四章 列車阻力 .....	40
第一節 走行阻力(平直路上的阻力) .....	40
一 <u>台維斯</u> 公式 二 <u>蘇聯</u> 公式 三 機車惰行阻力	

第二節	坡道阻力	52
第三節	曲線阻力	52
第四節	加速阻力	53
第五節	起動阻力	57
第六節	受天氣影響而增加的阻力	59
	一 風阻力 二 雪阻力 三 由於天氣寒冷而增加的阻力	
第七節	空氣調節裝置及電燈裝置對於旅客列車的阻力的影響	64
<b>第五章 機車牽引力及馬力</b> .....66		
第一節	蒸汽在汽缸內的工作壓力	67
第二節	往復部份的未均衡部份的慣性力予活塞工作壓力的影響	67
第三節	十字頭垂直力	71
	一 十字頭垂直力的最小值及最大值 二 十字頭垂直力對軸荷重的影響 三 斜式汽缸對軸荷重的影響	
第四節	輪周切線力	78
第五節	指示牽引力的變化	79
第六節	黏著係數	87
第七節	動軸數量及動軸荷重	97
第八節	限制速度	106
第九節	車輛限界	110
第十節	牽引力與馬力	113
第十一節	額定牽引力	115
	一 單式機車 二 複式機車 三 輔助機	
第十二節	牽引力與速度及斷汽的關係	118
	一 機械效率 二 指示係數與速度及斷汽的關係	
第十三節	影響蒸汽消耗率的因素	131
	一 過熱溫度及初壓力 二 動輪每分鐘數或活塞速度 三 汽缸斷汽 四 汽缸餘隙 五 汽缸反壓力 六 蒸汽洩漏 七 蒸汽膨脹次數	
第十四節	汽機熱平衡、汽機效率及機車效率	149

第十五節	附件用汽及輔助機用汽 .....	153
	一 附件用汽 二 輔助機用汽	
第十六節	煤水車容量 .....	160
第十七節	牽引力的調節 .....	161
	一 蒸氣閥調節與回動手把調節 二 回動手把調節下的實際牽速 曲線	
第十八節	機車牽引性能的預測 .....	166
	一 基色爾公式 二 經驗估計法 三 對比法 四 機車 使用輔助機時的計算牽速曲線	
第六章	機車牽引定數 .....	207
第一節	限制坡上的平衡速度的類別 .....	207
第二節	牽引定數法 .....	209
	一 調整噸數法 二 換算輛數法 三 實際噸數法	
第七章	高速列車 .....	215
第一節	流線型機車的空氣阻力 .....	215
第二節	流線型列車的走行阻力 .....	218
第三節	減輕車輛重量與列車流線化的比較 .....	222
第八章	車輪直徑及汽缸尺寸 .....	225
第一節	車輪直徑 .....	225
	一 動輪直徑 二 導從輪直徑	
第二節	汽缸尺寸 .....	230
	一 活塞衝程 二 汽缸直徑	
<b>第二編 機車鍋爐</b>		
第一章	概論 .....	237
第一節	機車鍋爐簡述 .....	237
第二節	機車馬力與燃煤量 .....	237

第三節	機車構造係數 .....	242
第四節	機車鍋爐的構造因素 .....	245
	一 爐床面積 二 火箱容積、拱磚裝置及火箱受熱面積 三 拱 磚裝置 四 管受熱面積 五 爐床的空氣通過率 六 鍋 體的燃氣通過面積 七 過熱面積	
第二章	鍋爐構造及其強度計算 .....	258
第一節	火箱 .....	258
	一 火箱構成部份 二 火箱形式 三 後飯、喉頭和爐床的 傾斜 四 頂飯坡度 五 外火箱與內火箱間的距離 六 火 箱飯厚度 七 螺撐 八 拉撐	
第二節	鍋體 .....	271
	一 鍋筒 二 前管飯 三 煙管 四 鐘形汽室	
第三節	機車鍋爐的變形及應力 .....	288
第四節	鍋爐輪廓與機車式別 .....	291
第五節	爐床及灰箱 .....	293
第六節	鍋水循環裝置 .....	294
第七節	拱磚 .....	298
第八節	易熔塞 .....	298
第九節	洗口塞及放水閥 .....	300
第十節	鍋爐試驗 .....	302
第三章	電焊在機車鍋爐上的應用 .....	303
第一節	緒論 .....	303
第二節	電焊鍋爐的優點 .....	303
第三節	電焊鍋爐的焊條及熔劑 .....	304
第四節	鍋爐電焊應注意的事項 .....	305
第五節	工作溫度與焊縫的物理性質 .....	306
第六節	鍋爐電焊技術 .....	308
第七節	焊縫的檢查 .....	309
第八節	各種焊縫 .....	310

一 內外火箱的鉚縫	二 爐口的鉚縫	三 鍋筒、鐘形汽室 及前管板的鉚縫	四 電鉚接	五 煙道管的鉚縫
-----------	---------	----------------------	-------	----------

第四章 燃料	320	
第一節 煤的分類及性質	320	
第二節 儲運時烟煤發熱量的貶值	326	
第三節 煤的自然	327	
第四節 機車用煤	327	
第五節 機械加煤與人工加煤	328	
第六節 石油及木柴	329	
第七節 燃料當量	332	
第五章 燃燒	336	
第一節 燃燒時理論上所需的空氣量與實際空氣量	336	
第二節 燃燒產物的重量(燃氣重量)	338	
第三節 送入火箱的熱量	338	
第四節 燃氣成份與過剩空氣比及煤的化學成份的關係	338	
第五節 燃燒時的熱損失	342	
第六節 燃燒溫度及燃氣含熱量	343	
第七節 飽和蒸汽機車的鍋爐熱平衡及鍋爐效率	345	
第八節 例題	347	
第六章 傳熱	354	
第一節 輻射傳熱	354	
第二節 對流傳熱及傳導傳熱	356	
第三節 鍋飯溫度	358	
第四節 鍋飯、鍋管和過熱管的材料——普通碳素鋼	361	
第五節 烟管的傳熱	365	
一 烟管的傳熱公式	二 例題	
第六節 焰管和過熱管的傳熱	373	
一 過熱器的種類	二 蒸汽乾度對於過熱溫度的影響	三 焰



管和過熱管的傳熱分析 四 燃氣的分配及第一段煙管的傳熱計算 五 第二段煙管及過熱器的傳熱計算 六 例題 七 影響過熱溫度的主要構造因素

第七節	過熱蒸汽機車的鍋爐熱平衡及鍋爐效率	407
第八節	過熱管的溫度	415
第七章	煙箱與通風	424
第一節	煙箱(鍋爐前端裝置)	424
第二節	通風原理	424
第三節	乏汽噴嘴的形式與效率	435
第四節	乏汽噴嘴的計算	440
第五節	乏汽噴嘴與煙囪	441
第六節	火星或煤渣	446
第七節	防止火星的裝置	448
第八節	送風器	452
第八章	鍋爐附件	460
第一節	蒸汽乾燥器	460
第二節	總汽閥	462
第三節	鍋爐安全閥	468
第四節	空氣預熱器	470
	一 空氣預熱器的功用 二 乏汽空氣預熱器的計算 三 燃氣空氣預熱的計算	
第五節	給水加熱器	477
	一 燃氣給水加熱器與乏汽給水加熱器 二 受熱面式乏汽給水加熱器的計算	
第六節	注水器	483
	一 概述 二 計算 三 例題	
第七節	添煤機	493
	一 概述 二 計算	
第九章	鍋爐給水	505

# 第一編 總論

## 第一章 機車概況

### 第一節 機車發展簡史

#### 一 概 論

機車的每一部份，都有它自己的發展歷史；其各部份的發展過程，雖可能很複雜、很曲折，但基本上不出乎兩大範疇：一為適應運輸需要的發展，也就是機車在牽引力和馬力上的發展，包括機車對於軌道的動力作用和安全通過曲線等問題；一為技術經濟的發展，也就是機車在提高熱效率上的發展。

#### A. 機車在適應運輸需要上的發展

這種發展過程，一方面可從動軸數和輔助軸數之多寡看出；一方面可從鍋爐受熱面積、爐床面積和汽壓等看出。

當動軸數量不斷增加，過度地加長了機車的固定輪距時，就發生了如何通過曲線的問題；後來，創造了二重及三重活節機車，將六個以上的動軸分組安置在相互連接而能相對轉動的個別車架上，才解決了這個問題。

因為機車速度增加而未及時注意到機車的動力作用，損壞了許多軌道和橋樑，乃引起機車均衡的研究。

1830年以後，鐵路上有了正式的客運，機車就分成以較低速度運轉的貨物機車和以較高速度運轉的旅客機車，直到有了客貨兩用的機

車,兩者之間的界限才冲淡了些。

隨着鐵路的發展,在山區有了特種齒輪機車,在工業上也因用途不同而有了各種工業用途的機車,如夏式機車、無火機車等。

起初,由於各國技術發展的不同,其機車設計也各不相同;後來通過技術學會、雜誌及展覽會等,交換了各種的知識和經驗,地方氣味才逐漸冲淡。

### B. 機車在技術經濟上的發展

機車效率直接間接影響國家的經濟利益。現在,機車馬力大者達6000—8000 Hp,如果不提高熱效率,這種大馬力機車就不可能在現在的鐵路限界內實現。提高熱效率包括:

1. 利用示功器改良閘動裝置,以改善機車的示功圖;
2. 應用蒸汽次第膨脹的原理(複式蒸汽機)、蒸汽單流的原理以及過熱蒸汽,以改善「初凝結」對於汽耗率的影響;
3. 添用拱磚裝置、給水加熱器和空氣預熱器;
4. 增加蒸汽工作溫度的差距:(甲)提高蒸汽壓力及過熱溫度;(乙)試用凝汽器、汽輪機等。

## 二 時期的劃分

蒸汽機車的發展過程,大略可分為六個時期:

第一期——“史前”時期(十九世紀前)

十九世紀前,鐵路和汽機已個別地互不相關地發展起來,為交通技術革命中起有重大作用的蒸汽機車準備了發明的條件。

第二期——成形時期(1800—1830年)

機車開始在鐵路上出現了,但其形態只是今日機車的雛形,必要的

附件還在隨時增加，也談不到什麼性能試驗。機車是這樣的不健全、不安全、不經濟，甚至馬與機車孰為優越的問題，都不能得到一個確切的答案。這一時期，機車發展得很慢。

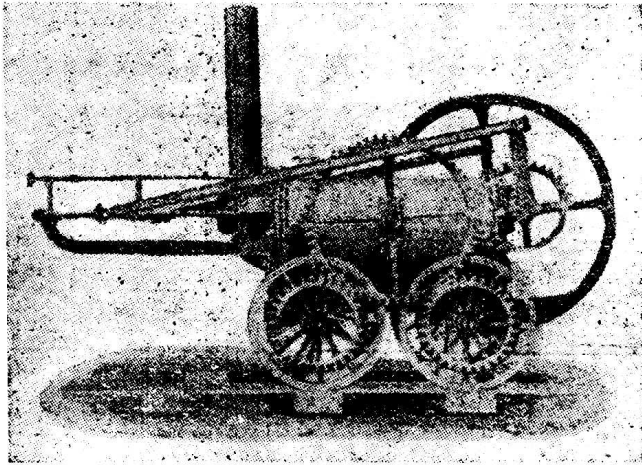


圖 I-1

圖 I-1 是 1803 年特萊維世克 (Richard Trevithick) 創造的在鐵路上運轉的第一台機車。車輪是由齒輪傳動的，有飛輪裝置，祇有一隻汽缸 (210×1370 mm)，鍋爐汽壓 = 3 kg/cm<sup>2</sup>，車重 4.5 ton，能以 8 km/h 的速度牽引 10 噸貨物和 70 名旅客。

### 第三期——定形時期(1830—1850 年)

1825 年，機車居然發展到有了一條卅公里長的公用鐵路。1829 年喬治-司蒂芬遜 (George Stephenson, 1781—1848) 用洛克特號 (Rocket) 機車 (圖 I-2) 正式證明了機車較馬的無比優越性。從此，鐵路里程開始迅速增加<sup>[註一]</sup>，不少國家並開辦了製造機車的工廠。這一時期，機車的構造進步得很快，各部份的基本形態也大致流傳至今。

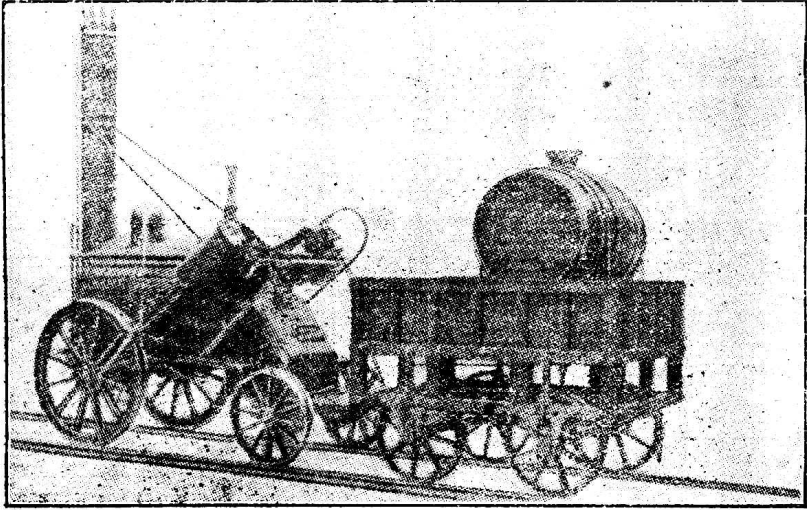


圖 I-2

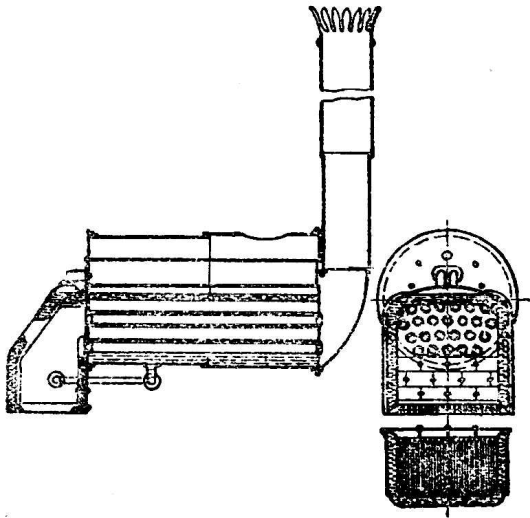


圖 I-3

採用烟管式鍋爐(圖 I-3)以加強鍋爐的蒸發是洛克特號機車的基本特點。這台機車曾以 56 km/h 的平均速度,牽引了 13 噸重的列車(當  $V=50$  km/h 時,馬力=16 Hp,煤耗率高達 25 kg/ Hp)。其主要尺寸及重量如下:

汽缸尺寸	204×419 mm	
鍋爐汽壓	3.52 kg/cm <sup>2</sup>	
爐床面積	0.65 m <sup>2</sup>	
受熱面積	火箱	1.86 m <sup>2</sup>
	烟管	10.94 m <sup>2</sup>
	共計	12.80 m <sup>2</sup>
烟管	數量	25
	長度	1800 mm
	直徑	78 mm
動輪直徑	1435 mm	
機車重量	4.32 ton	
煤水車重量	3.25 ton	
機車連煤水車重量	7.57 ton	

第四期——解決牽引力和馬力如何提高的時期(1850-1900年)

這一時期，由於工業的迅速發展，鐵路運輸量的不斷增加，發生了如何提高牽引力和馬力的問題。機車從第三期的二或三動軸進步到四動軸。自 1876 年發明自動軛鈎解除了舊式軛鈎對於機車牽引力的束縛之後，又出現了牽引力更大的五動軸、六動軸機車。1884 年，發明了活節機車，解決了長輪距機車通過曲線的問題。本期的後半期（1875—1900 年），廣泛地應用蒸汽兩次膨脹原理，改進了機車的技術經濟。

九十年代末期，世界上已有鐵路八十萬公里；研究已久的蒸汽過熱原理，亦由實驗階段逐漸步入實際應用的階段。

#### 第五期——進一步發展時期（1900—1920 年）

這一時期，由於廣泛地採用過熱、給水加熱等裝置，進一步提高了機車的熱效率（煤耗率減低至 1.15—1.4 kg/HP）、牽引力和馬力。

#### 第六期——探求新設計時期（1920 年以後）

1937 年，世界鐵路里程已增為 1,280,000 公里。除電力機車、內燃機車、燃氣輪機車等也絡繹加入了鐵路的隊伍外，蒸汽機車的性能更為改善。近年來試用乏汽輪抽氣機、凝汽器、空氣預熱器、煤粉、高壓鍋爐以及汽輪機等，都是企圖提高蒸汽機車熱效率的新設計。在蘇聯，一方面因為新的社會主義制度的鞏固，科學和技術得以最高的速度發展；一方面因為社會主義社會把節約當做創造經濟的內部積累的極重要的條件；所以到第二次世界大戰時，蘇聯在提高蒸汽機車熱效率、減輕製造成本等方面的具體成就（如廣泛採用 JI-40 型過熱器、全電鉚鍋爐等），便遠超過資本主義國家了。

## 第二節 我國機車的現況

我國鐵路雖然已經有了八十年的歷史，但是在封建制度和外國侵

略者的長期摧殘下，發展是很慢的。解放後，鐵路掌握在人民手中，短短三年，我們不僅修復了一萬多公里鐵路，而且還添築了一千二百公里新路，使全國通車里程增至二萬四千公里，1952年的運輸功量增至595億噸公里。現在，國家已經開始進入大規模經濟建設的新階段，人民鐵道及機車車輛工業，即將隨著祖國的工業化迅速發展。

目前，我國最普遍的旅客機車是4-6-2式 $\text{CT}_6$ 型機車，最普遍的貨物機車是2-8-2式 $\text{CT}_5$ 型機車，這些都是強而有力使用方便的機車，十分適合於我國現階段鐵路運輸的需要。

京綏線上，運轉於南口康莊間（最大坡度=33.3%）的2-8+8-2式活節機車是亞洲牽引力最大的機車。

我國鐵路的軌距=1435 mm，車輛鈎高=880 mm。第I-1表是我國主要機車的主要尺寸及重量：



第 I-1 表

車 別	京綏線 2-8+ 8-2		粵漢線 4-8-4		津浦線 2-10-2		龍海線 2-10-2		П 巧 一 (1936) 2-8-2		П 巧 四 (1935) 2-8-2		П 巧 六 (1936- 1937) 2-8-2		久 丁 三 (1934- 1936) 4-6-2		久 丁 六 (1935) 4-6-2		久 丁 七 (1934) 4-6-2	
	汽 缸	直徑, mm	610, 965	530	560	645	580	710	710	710	710	630	580	580	530	570	600	660	660	710
	行程, mm	710	750	710	710	710	710	710	710	710	760	710	710	660	660	710	660	660	710	710
導輪直徑, mm		—	920	950	920	840	920	920	840	840	8,400	840	840	840	840	920	840	840	920	920
動輪直徑, mm		1,270	1,750	1,372	1,400	1,370	1,400	1,400	1,370	1,370	1,500	1,370	1,370	1,750	1,750	2,000	1,750	1,750	2,000	2,000
從輪直徑, mm		—	1,100	1,100	1,100	1,120	1,100	1,100	1,120	1,120	1,120	1,120	1,000	1,000	1,120	1,270	1,000	1,120	1,270	1,270
機車固定輪距, mm		4,495; 4,495	5,700	4,350	6,400	4,420	6,400	6,400	4,420	4,800	4,800	4,800	4,410	3,660	3,660	4,160	3,660	3,660	4,160	4,160
機車輪距, mm		16,435	13,395	11,300	12,455	10,192	12,455	12,455	10,192	10,710	10,710	10,710	9,530	7,790	7,790	11,000	10,110	10,110	11,000	11,000
煤水車輪距, mm		—	9,050	5,450	—	7,434	—	—	7,434	6,438	6,438	6,438	5,890	5,890	5,890	7,925	6,350	6,350	7,925	7,925
機車連煤水車輪距, mm		25,985	25,625	19,450	21,340	20,780	21,340	21,340	20,780	20,531	20,531	20,531	18,580	18,840	18,840	22,405	19,580	19,580	22,405	22,405
軌距距離, mm		—	28,410	21,470	—	23,750	—	—	23,750	23,142	23,142	23,142	21,174	21,504	21,504	25,675	22,424	22,424	25,675	25,675
矽 管	直徑, mm	140	89	137	137	137	137	137	137	90	90	90	137	137	137	90	137	137	90	90
	數量	48	120	28	44	36	36	44	36	140	140	140	24	26	26	36	36	36	132	132