

高等學校教學用書

普通熱工學

第一冊

С. Я. КОРНИЦКИЙ 等主編

李 佑 華 譯

高等教育出版社

72.54
917
=1

高等學校教學用書



普通熱工學

第一冊

С. Я. 闊爾尼茨基 主編
Я. М. 魯濱斯坦
李 佑 華 譯

三六二 / 12

高等[教育]出版社

本書係根據蘇聯國營動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的闊爾尼茨基 (С. Я. Корницкий) 和魯濱斯坦 (Я. М. Рубинштейн) 主編“普通熱工學” (Общая теплотехника) 1952 年增訂版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等學校教學參考書。

本書分四冊出版。第一冊內容為工程熱力學及傳熱學。工程熱力學部分論述熱力學的諸定律及其應用，並論述各種熱機與熱裝置的諸循環。傳熱學部分則論述傳導、對流、輻射三種傳熱方式的傳熱理論。

第二、三冊簡稱為“蒸汽循環”，其中包括蒸汽動力裝置的所有材料，即鍋爐燃料、鍋爐組合、蒸汽機、汽輪機及蒸汽發電站。

第四冊內容為“氣體循環”，在此部分中論述發動機燃料、內燃機、燃氣輪機及內燃機站等問題。

本書原由龍門聯合書局出版，現轉移我社出版，用該局原紙型重印。

普 通 熱 工 學

第 一 冊

С. Я. 闊爾尼茨基 主編
Я. М. 魯濱斯坦

李佑華譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

上海協興印刷廠印刷 新華書店總經售

書號 15010-374 開本 850×1168 1/32 印張 9 7/16 插頁 2 字數 215,000

一九五三年九月龍門聯合書局初版

一九五七年一月新一版

一九五七年一月上海第一次印刷

印數 1—3,000

定價 (10) 洋 1.50

第二版序

現今不僅在發電廠上廣泛地利用着熱能，而且在其他各種工業部門中和在運輸上也在廣泛地利用着熱能。因此在培養各種專門技能的工程師時，使他們瞭解各種過程並通曉現代熱力工程所應用的各機組的構造是更加必要的。根據這個，熱工學這門科學就成了作為培養各專業工程師基礎的最重要的普通工程課之一。

本書的第一版出版於1948年。在準備第二版的時候，將現時不甚重要的材料皆換以考慮到在最近幾年內熱力工程的發展的新材料。幾乎各編的篇幅皆稍縮減。〔燃氣輪機〕一編例外，此編在本版中被補充一些有關本國構造的新資料。為了更便於使用本書起見，非與所有專業有關的材料以及部分參考資料是用小號字排版的，這小號字在閱讀時可以不看而不致於破壞敘述的連貫性。

本書總的結構仍與前版同。在第一部分中論述熱工學的理論基礎。第二與第三部分是按照工質的種類編成的。這樣可使每一部分皆可能具有必要程度的完善性。在簡稱〔蒸汽循環〕的第二部分中敘述關於汽動力裝置的全部材料，由鍋爐燃料起至蒸汽發電廠止。與此類似，在總標題為〔氣體循環〕的第三部分中依次敘述關於利用氣體作工質的熱力裝置的材料，由發動機燃料起至燃氣輪機及內燃機動力廠止。

熱工學的諸編現時都是發展很深入而且很多成為獨立的科目。在這樣的條件下來創作符合於現代知識水平的熱工學教程，對任何個人來說不是一件容易的事，因此本書是著者們集體寫成的，他們之間的分工情形如下：

- 布留多夫 (В. П. Блюдов) — 第 IX 編,
維魯波夫 (Д. Н. Вырубов) — 第 VII, VIII, X 編,
闊爾尼茨基 (С. Я. Корницкий) — 第 III 編及引言,
利特溫 (А. М. Литвин) — 第 I 編,
陸克尼茨基 (В. В. Лукницкий) — 第 VI 編,
莫羅奏夫 (Н. Г. Морозов) — 第 IV 編,
坡羅好羅夫 (Ф. Г. Прохоров) — 第 III 編, 第 3-3 章, § 3-17.3-18,
6-7 及 § 3-22 與 6-8 的各一部分,
魯濱斯坦 (Я. М. Рубинштейн) — 第 II 編,
雅庫布 (Б. М. Якуб) — 第 V 編。

在準備本版的時候，那些關於詳細評論基輔工學院講座與托木斯克基洛夫工學院(Томский политехнический институт им. Кирова)講座的寶貴介紹，在莫斯科莫洛托夫動力學院熱工者技術研究組(НТО)會議上討論本書時所作的指示，一些熱工工程師與教員以及本版評閱者開爾齊里(Л. И. Керцелли)教授等的意見，皆被加以利用與考慮。集體著者對這些團體與個人表示深切的謝意。著者們願以感謝的心情來接受在本書第二版出版後可能發生的所有更進一步的批評。

С. Я. 闊爾尼茨基
Я. М. 魯濱斯坦

第一 部 分

熱工理論基礎

引 言

動力工程是從事取得與分配工業用能(電能、機械能、熱能)的工業部門,它的發展在國家的國民經濟中起着決定性的作用,可以保證達到為創造共產主義社會的物質技術基礎所必要的最高生產率。

蘇聯國民經濟的巨大成長與高速發展引起了能量消耗的飛速增加。在從社會主義社會逐漸過渡到共產主義社會的期間內,當着在電氣化的基礎上來實現生產過程(首先是最繁重的生產過程)的綜合機械化與自動化,並使運輸與農業電氣化的時候,動力的發展具有特別重大的意義。

現時主要是利用兩種自然的能源——水的落能(水力)與燃料的化學能。使水力變為電力的工業企業與廠稱為**水力發電廠**。

為了利用燃料的化學能,使燃料進行燃燒,在燃料燃燒後,燃料燃燒所產生的熱變為機械能,然後或直接被利用或再進一步地被變成更適當的能量形式——電能。同時燃燒生成的熱既可利用於操作過程又可利用於取暖裝置。以生產各種能為目的的企業與廠稱為**熱動力廠**(或**熱力廠**或**熱廠**)。

這樣,作為工業一部門的熱動力工程便成了動力工程的最重要部分之一。熱工學是一門研究燃料化學能的利用方法和研究燃料化學能變為熱能、機械能(電能)的諸定律的科學課目,它研究參加於這些過程的諸物質(燃料、水、燃料燃燒生成物、蒸汽),研究使燃料化學能變為熱能、機械能所使用的裝置,機械與輔助設備等的構造及它們運行的原理,研究它們相互聯繫的式與共同運轉的系統,以及研究在日常生活

與其他各方面的許多有關於工業(工業熱力工程)各部門技術所需要的熱能之利用問題。

熱工科學是比較年青的一種科學;它只有約 200 年的歷史。在熱理論與熱工的發展中,俄國的學者、工程師與革新者們起着突出的作用。

在熱理論的領域內第一次真正的科學概念是在十八世紀的中葉由於天才的俄國學者羅蒙諾索夫(М. В. Ломоносов)院士的努力創造出來的。羅蒙諾索夫推翻了從前曾佔優勢的假科學的、形而上學的[熱素][學說],用自己的理論著作與實驗工作奠定了近代的物質分子運動學說的基礎與熱的機械學說的基礎,並確定了熱能與機械能之間的關係為能量不滅總定律的表現之一。跟隨羅蒙諾索夫的著作之後,偉大的俄國發明家波爾宗諾夫(И. И. Ползунов)創造了世界上第一個萬能蒸汽機(汽力裝置),在這件事情上,他先於英國人瓦特二十年。因此,俄國是給熱及熱力工程的發展打下了基礎的兩大發明的誕生地。

在以後的時期,俄國在熱工領域內的研究也大大地超過了西歐與美國的科學技術水平很多,特別是在研究的深度方面更是如此。

這樣,奧卡托夫(М. Ф. Окатов)、維師涅哥拉德斯基(И. А. Вышнеградский)、傑爾諾夫(Д. С. Зернов)、拉德齊克(А. А. Радциг)創作了古典的熱力學教程。切列辛(С. Я. Терешин)、米赫爾遜(В. А. Михельсон)、烏里雅寧(В. А. Ульянин)等曾研究出傳熱上最重要的諸問題。基爾皮柴夫(В. Л. Кирпичев)創立了相似理論的基礎。最偉大的俄國學者之一、週期定律的創始人門德烈也夫(Д. И. Менделеев),爲了發展我們祖國的燃料工業,對俄國的燃料作了豐富的研究。彼得羅夫(Н. П. Петров)、坡列得切錢斯基(А. И. Предтеченский)、哥里涅威茨基(В. И. Гриневецкий)、基爾師(К. В. Кириш)、拉德齊哥(А. А. Радциг)等用他們

科學的著作與實際的活動打下了鍋爐與熱機的科學設計基礎。

祖國的工業也逐漸地發展了，製造出了鍋爐、蒸汽機、汽輪機、內燃機以及適當的輔助設備。

1885年，在俄國（在從前的沙皇村，現今的普希金城）建立了第一個發電廠，容量為505仟瓦。以後在許多工業區——頓巴斯、巴庫、機械製造中心與紡織工業中心，開始建立了發電廠。到1900年，這些發電廠的總容量達到了80000仟瓦左右，到1913年時，俄國公共使用的發電廠的容量增加至260000仟瓦，所有發電廠的容量約增加至1100000仟瓦，而發電量接近於20億仟瓦小時。在1913年突出的俄國工程師克拉遜（Р. Э. Класон）建設了世界上第一個以泥煤為燃料的大發電廠。

雖然工業資本主義制度在俄國發展很快，雖然俄國電力的成長比較迅速，但是沙皇時代的俄國工業按其發展的水平來說還是落後於其他資本主義國家的。沙皇時代的俄國的動力也是落後的，它像其他許多工業部門一樣處於對外國資本家的奴役依賴地位。

偉大的十月社會主義革命，根本改變了我們祖國的動力發展的條件。

馬克思主義的創始者們指出了工業上使用電氣的巨大革命意義。因此，在1883年恩格斯在論遠距離電力輸送（馬克思與恩格斯文選第28卷，289頁）中寫過：「……這發現幾乎把工業從地方條件所定的一切界限下徹底解放出來，使利用最遠方的水力亦成為可能，假如在開始這發現只對城市有利，則歸根到底，這發現就成為消除城市與鄉村間的對立的最有力的槓桿」。

在偉大的十月社會主義革命後，列寧在他天才的著作：「科學技術工作的計劃草案」（1918年4月）中指出，在改造俄國工業與經濟高漲的計劃中應包含「特別注意工業與運輸的電氣化和使電氣應用於農業。

利用劣等燃料(泥煤、較劣等的煤),並以最少的燃料開採費與運送費來獲得電力¹(列寧文選第27卷第288頁)。這些話已變成了行動。按照列寧所提出的任務,在1920年擬定了俄國電氣化國家計劃(ГОЭЛП),該計劃為社會主義計劃的古典型式。斯大林同志堅決地支持俄國電氣化國家計劃,在他給列寧的信中對此計劃給了以下的評價:¹毫無疑義的,這是一個真正統一的與真正全國性的經濟計劃的精巧草案。在蘇維埃的上層建築下面將經濟落後的俄國建設起來的這個現代唯一的馬克思主義的企圖,在技術生產基礎的現時條件下是真正現實的,而且是唯一可能的¹(斯大林文選第5卷第50頁)。

在蘇維埃第八次代表大會(1920年12月)上,在關於人民委員會工作的報告裏,當列寧談論俄國電氣化國家計劃時,他把此計劃稱為我們黨的第二綱領。在同一次蘇維埃代表大會上,列寧公式化了已成為歷史的口號:¹共產主義是蘇維埃政權加上全國電氣化¹(列寧文選第31卷第484頁)。其次(同處):¹只有在國家將被電氣化的時候,只有當着在工業、農業與運輸業的下面築起現代的大規模工業的技術基礎的時候,只有在這個時候我們一定最後勝利¹。最後,在列寧同志在共產國際第三次代表大會(1921年6月)上的報告的大綱中,在¹社會主義底物質基礎和俄國電氣化計劃¹這部分中寫着:¹社會主義底唯一物質基礎,就是同時也能改造農業的大機器工業。但問題還不能局限於這個一般的原理,必須把這原理加以具體化。所謂適合於最新技術水準並能改造農業的大工業,也就是全國電氣化¹(列寧文選第32卷第435頁)。

我們黨和蘇維埃國家的領袖列寧和斯大林的關於發展蘇維埃動力的指示,我們過去在實行着,而現在更以日益增長的規模在實行着。

俄國電氣化國家計劃預算在10到15年之內建設30個大發電廠,其中20個為火力發電廠,10個為水力發電廠。在1925年,蘇聯發電

廠達到 1397000 仟瓦的容量，生產 2925000000 仟瓦小時的電力。到 1931 年，俄國電氣化國家計劃已超過完成計劃很多。在第一個斯大林五年計劃的期間內，我們發電廠的總容量增加了兩倍，發電量增加了 2.3 倍。在蘇聯按人口計算的耗電量在 1937 年時增到 215 仟瓦小時，較之 1913 年時的 8 仟瓦小時增加了很多。這時的蘇聯按產電量來說在世界上佔第三位，超過法國、英國和日本。在戰前 1940 年時，蘇聯發電廠的容量共計為 10700000 仟瓦左右，而產電量為 480 億仟瓦小時。終於在 1951 年時蘇聯的產電量達到了 1040 億仟瓦小時，也就是說超過了英、法兩國產電量之和。

在斯大林五年計劃的這些年裏，蘇聯的設計師們創造了非常多的技術先進的、獨創的和經濟的各種鍋爐、汽輪機和熱動力廠的其他各種設備，而新建的熱力機械製造工廠使熱力機械製造的生產達到了相當的水平，從而使得國家得以從這種設備的進口下解放了出來。同時並進行了掌握當地燃料與劣等燃料的巨大工作，也進行了掌握新式設備，提高其運轉安全、性能及經濟等的巨大工作。

黨和政府很注意蘇聯熱力工程的更進一步的發展。進行着創立熱工科學機關和培養高度熟練的動力專家的巨大工作。

蘇聯的學者們繼續發揚着俄國在熱工方面的比較優良的傳統，運用着發展科學與科學應用於實踐的馬列主義理論，完成着斯大林同志對我們科學所提出來的任務，在與工業工作者們的密切合作下勝利地開展着在熱力裝置運轉過程的理論領域內的研究工作，勝利地開展着對熱力裝置各元件間的相互聯系的研究工作，勝利地開展着創造新式設備及創造其完善的運轉方法。

蘇聯熱工的發展與美國和資本主義世界其他各國的極經驗的和極折衷的熱工發展有根本上的不同，他們那種熱工發展在頗大的程度上

是由公司性質與資本主義競爭的想法來確定的。在研究水和蒸汽的熱力性質，相似理論及其實際應用，燃燒理論，創造當地燃料與劣等燃料的燃燒方法，單流鍋爐製造，給水處理法及給水加工法，汽輪機之調節，創造高效率輕型內燃機與燃氣輪機，運用高參量蒸汽，創作發電廠的合理熱圖案等等的領域內，我們學者們的成就按其科學價值來說，超過了在此領域內的外國成就很多。

在發展蘇聯熱力工程中起着很大作用的有：由列寧發起而在 1921 年創立的獲得勞動紅旗勳章的德傑爾任斯基全蘇熱工學院（ВТИ），波爾宗諾夫中央鍋爐輪機學院（ЦКТИ），蘇聯科學院克爾日壤諾夫斯基（Г. М. Кржижановский）動力研究所（ЭНИН），以及一些個曾完成了得過斯大林獎金的許多突出的科學研究的高等學校的科學實驗室。

所述的一切使我們能夠像一般在我們高等學校裏所念的普通熱工教程和專門熱工教程以及熱力機械製造教程等一樣，只用自己祖國的材料來編寫這門教程。

蘇聯的動力在世界上是最先進的。還是在本世紀三十年代之初，在我們的國家就建築了並開始經營了第一個最大的單流鍋爐組合，它生產的蒸汽是當時最高的壓力 140 工業用大氣壓力。在我們的國家自己出產帶有氫氣冷卻式發電機的單軸汽輪機，其容量為 100000 仟瓦，轉速為 3000 轉/分，蒸汽壓力為 90 工業用大氣壓力，蒸汽溫度為 500°C 。在現在正大量生產着以高參量蒸汽來運行的鍋爐組合與汽輪機。在 1951 年，高壓裝置佔使用於火力發電廠上的所有新容量的 70%。用於生產電力上的比燃料消耗量顯著地減少了，在 1951 年，減少到每仟瓦小時消耗 531 克的燃料，也就是說，較在戰前 1940 年時減少 11%。現時正在建築着用 170 工業用大氣壓力， 550°C 的超高參量的蒸汽來運行的發電廠。類此裝置資本主義世界是不知道的。

基本上用當地的和劣等的燃料作為火力發電廠的基礎，這是由社會主義制度的優越性所確定的我們動力的一個特點。蘇聯的動力完全解決了列寧所提出的掌握「劣」等燃料的任務。多數的火力發電廠是用新煤區與新鑛產地的煤來運行的，這些新煤區與新鑛產地被試掘和被發展在烏拉爾、西西伯利亞、東西伯利亞、遠東、莫斯科近郊、烏克蘭、格魯吉亞、卡查赫斯坦、烏茲別克蘇維埃社會主義共和國、塔什克蘇維埃社會主義共和國、基爾吉茲蘇維埃社會主義共和國、巴什基里亞、科米蘇維埃社會主義自治共和國等地，並且多數的火力發電廠也用泥煤和其他劣等燃料來運行。同時在美國、英國和其他資本主義國家裏，為了經常動力的需要，到現時還繼續兇猛地消耗着高價的煤，劣等燃料幾乎不被利用，因之他們也就不能掌握劣等燃料的燃燒技術。

廣泛地發展兼供熱發電廠，也就是說，廣泛地發展電力與熱力的聯合集中生產。兼供熱發電廠顯著地減低了在生產能量上的燃料消耗量，並使動力提高至高的技術水平。蘇聯在發展兼供熱發電廠方面在世界上佔第一位。在資本主義國家裏，由於生產各種能量的各企業主間的競爭和不可能有計劃地發展動力本身與動力的消費者——工業的其他各部門，因而兼供熱發電廠的運用受到了阻礙。

蘇聯兼供熱發電廠的成就使得關於遠距離供熱的問題能夠提到日程上。氣體燃料的天然產地的發展以及固體燃料氣體化的成功使得我們的國家已在現在能夠廣泛地發展着遠距離氣體供應，這種遠距離氣體供應首先是供給日常生活需要以及市政經濟的某些需要所使用的氣體。

建築用高壓輸電線互相連接的大的發電廠區，這是同樣由於社會主義制度及其計劃經濟所產生的蘇聯動力的一個極重要的特點，因而建立了作為各大地區人民經濟的動力骨幹的並具有大的機動性、安全

性和經濟性的區域系統。當然也包括建築大規模工業企業所直屬的大的兼供熱發電廠在內的這種建設動力的系統還是由俄國電氣化國家計劃所擬定的，並已光輝地證明了這是正確的。更進一步的發展蘇聯動力使得隣近區域的電力系統得以接近，同時使得它們能夠聯合成為統一的高壓電力系統，並且具有更高的安全性、機動性、經濟性、統一調度管理、發達的自動化及其他。

無論區域電力系統或逐漸建立起來的統一電力系統都不只包括火力發電廠並且還包括水力發電廠。按照俄國電氣化國家計劃所建立的窩爾加河水力發電廠是蘇聯電氣化的首創物之一。以後還建築了許多的水力發電廠，其中最大的是德涅泊爾河水力發電廠。由偉大的斯大林發起，現時正在窩爾加河、德涅泊爾河、頓河及阿姆河進行着建設世界上最大的水力工程建築。建設這些建築是偉大的斯大林的改造自然計劃的一部分，因此這些建築被我們的人民正確地稱為建設共產主義社會。一些新的最大的水力發電廠（庫依貝舍夫水力發電廠、斯大林格勒水力發電廠、卡霍夫克水力發電廠）和運河（窩爾加-頓運河、土爾克明尼亞總運河及其他）不僅更加增大了我們動力的實力，而且還使得我們能夠用灌溉易旱田地的方法來創建新的高度發展的農業區。

偉大列寧的話：「共產主義是蘇維埃政權加上全國電氣化」正在這樣地被實現着。

目 錄

第一部分 熱工理論基礎

引言

第一編 工程熱力學

第 1-1 章	理想氣體的性質	1
1-1	工質	1
1-2	理想氣體定律	7
1-3	理想混合氣體	13
1-4	理想氣體的比熱	19
第 1-2 章	熱力學定律及其應用	28
1-5	熱力學定律	28
1-6	定容與定壓狀態變化過程	38
1-7	狀態參數: 焓與熵	44
1-8	等溫與絕熱狀態變化過程	51
1-9	氣體的多變狀態變化過程	55
1-10	氣體狀態變化的循環過程	64
1-11	加諾循環	66
1-12	實際氣體的熵。不可逆過程中熵的變化	72
1-13	水蒸汽。蒸汽發生過程	81

1-14	水蒸汽狀態參數的確定	88
1-15	水蒸汽的 Ts 圖和 is 圖	94
1-16	水蒸汽的狀態變化。克拉貝洪-克勞修斯方程式	100
1-17	氣體與蒸汽的流動	104
1-18	氣體和蒸汽的節流	114
1-19	濕空氣	116
第 1-3 章	熱機與熱裝置的循環	123
1-20	內燃機與燃氣輪機的循環	123
1-21	壓縮機的功	138
1-22	蒸汽動力廠循環	145
1-23	複雜循環	156
1-24	製冷裝置循環	170

第二編 傳熱學

第 2-1 章	熱傳導。在熱交換器中之傳熱	175
2-1	熱交換的種類	175
2-2	熱傳導	176
2-3	經過壁的傳熱	183
2-4	平均溫度差	189
第 2-2 章	相似原理	198
2-5	流體動力學的某些原理	198
2-6	相似原理的意義與一般結論	207
2-7	流體動力相似	213

2-8 熱相似·····	219
第 2-3 章 對流熱交換 ·····	224
2-9 縱向流動·····	224
2-10 橫向外側流動·····	232
2-11 自由流動·····	236
2-12 物態變化下的散熱·····	239
第 2-4 章 輻射熱交換 ·····	249
2-13 熱輻射的本質與基本概念·····	249
2-14 輻射的基本定律·····	252
2-15 二物體間的熱交換·····	262
2-16 氣體的吸收與輻射·····	270