

高等學校教學用書

普通熱工學

第二冊

С. Я. КОРНИЦКИЙ等主編
東北工學院熱工教研組譯

高等教育出版社

72.54
917
:2

高等學校教學用書



普通熱工學

第二冊

С. Я. 闊爾尼茨基 主編
Я. М. 魯濱斯坦
東北工學院熱工教研組譯

3595/15

3595/15

高等教育出版社



本書係根據蘇聯動力出版社(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。

本書分三冊出版。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、蒸汽機及蒸汽發電廠。

第三冊內容為“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 二 冊

С. Я. 闊爾尼茨基 主編
Я. М. 魯濱斯坦

東北工學院熱工教研組譯

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)

上海三星印刷廠印刷 新華書店總經售

書號 15010·375 開本 850×1168 1/32 印張 9 7/16 插頁 4 字數 212,000

一九五三年十一月龍門聯合書局初版

一九五七年二月新一版

一九五七年二月上海第一次印刷

印數 1—3,000

定價(10) ¥ 1.50

第 二 部 分

蒸 汽 循 環

目 錄

第二部分 蒸汽循環

第三編 鍋 爐 設 備

第3-1章 鍋爐設備與鍋爐裝置的一般說明	1
3-1 蒸汽製造過程及鍋爐部件	1
3-2 鍋爐設備的基本性質	7
3-3 蘇聯在鍋爐工業上的發展	9
第3-2章 鍋爐燃料	15
3-4 燃料的成分及發熱量	15
3-5 燃料燃燒產物	20
3-6 燃料的實際分類和燃料性質的鑑別	31
3-7 蘇聯的燃料資源	37
第3-3章 水	42
3-8 天然水,它的混合物和基本特性	42
3-9 水溶液的某些特性	45
3-10 供水來源的特性	48
第3-4章 爐	50
3-11 燃燒過程和爐的型式	50

01603

3-12	灰的性質和爐的冷卻	60
3-13	竈爐	64
3-14	煤粉備製	80
3-15	室爐	88
第 3-5 章 汽鍋、鍋爐設備的部件		100
3-16	自然循環的蒸汽發生過程與汽鍋的型式	100
3-17	水垢的形成與防止方法	106
3-18	金屬的腐蝕	111
3-19	火管鍋爐	113
3-20	臥式水管與立式水管鍋爐	117
3-21	自然循環鍋爐中汽水混合物的運動	124
3-22	鹽隨蒸汽帶走及鍋爐水的規範	127
3-23	過熱器、省煤器、空氣預熱器	134
3-24	鍋爐的汽水筒、集管、管	139
第 3-6 章 鍋爐設備		142
3-25	鍋爐設備的熱平衡	142
3-26	自然循環的鍋爐設備	148
3-27	單流的和其他型式的鍋爐設備	155
3-28	鍋爐設備熱計算的基礎	162
3-29	鍋爐設備中空氣和燃燒產物的運動	180
3-30	鍋爐設備的支架、磚牆及配件	183
3-31	鍋爐設備的起動、停爐及調整	187

第四編 蒸 汽 機

第 4-1 章 蒸汽機及其工作的基本概念	195
4-1 緒論	195
4-2 蒸汽機的設備及工作原理	201
4-3 蒸汽機的工作過程	207
4-4 內部熱交換及壓縮	215
第 4-2 章 蒸汽機的構造	220
4-5 蒸汽機分類的原則和構造舉例	220
第 4-3 章 蒸汽機的計算要素及其效率	231
4-6 示功圖及用以決定機器功率和耗汽量	231
4-7 機器汽缸基本尺寸的決定	236
4-8 蒸汽機的效率	239
4-9 耗汽率和小時耗汽量	243
第 4-4 章 蒸汽分配	247
4-10 滑瓣式蒸汽分配機構	247
4-11 提瓣式蒸汽分配機構	262
4-12 反轉的蒸汽分配機構	269
第 4-5 章 蒸汽機的調整	272
4-13 調整系統的工作	272
4-14 速度調整器的構造	281

第 4-6 章 蒸汽機的維護	285
4-15 蒸汽機在正常運轉中的開動、停止及供應	285

第三編

鍋爐設備

第3-1章

鍋爐設備與鍋爐裝置的一般說明

3-1. 蒸汽製造過程及鍋爐部件

如本書第一編圖 1-69 所示,蒸汽循環必須具有製造蒸汽之特殊設備,此設備稱為鍋爐設備。這種設備與其輔助機構的綜合稱為鍋爐裝置。

用於鍋爐裝置中的原始工質為水,在鍋爐設備中由水產生水蒸汽。其他的工質到目前還未得到工業上廣泛地採用,因此在本書中不加以研究。

因為在現代的工業上,能量(電能、機械能、熱能)的消費大大地增加着,所以水蒸汽的製造就成為現代最發展的技術生產的一種。蒸汽製造的規模很大,而蒸汽應用的範圍又很廣(不但用於力能方面,而且也用於工業或取暖方面)。

在鍋爐裝置中,爲了把水變成水蒸汽所必需供給的能量,都是從燃料中取得的。燃料在空氣中燃燒,將燃料的化學能轉變成燃燒產物的熱能,此熱能傳給水及蒸汽。按照以上所述,鍋爐設備中製造蒸汽過程的基本要素有三:(1)燃料燃燒過程;(2)燃燒產物(及正在燃燒的燃

料)與鍋爐裝置中流體工質(水及蒸汽)之間的熱交換過程;(3)蒸汽的發生過程,此過程係由水的加熱,水的汽化及蒸汽的過熱等過程組成。爲了某些需要,有時僅製造飽和蒸汽。

鍋爐設備部件的受熱面用碳素鋼製成,而在製造高壓高溫蒸汽時則用合金鋼。圓筒被採用爲基本構造的形式:有時爲一直徑較大的長圓筒,有時是在構造上用任何形式的集管或聯箱來聯結的一束管子,有時則由這些部件任意組合而成。

圖 3-1 所示爲舊式鍋爐設備簡圖的一種,此設備由人工操作的小型爐、汽鍋、過熱器及磚牆組成。在此圖中,供給到設備中的水稱爲給水,給水流入鍋爐上部的圓筒內,此圓筒的直徑較大,稱爲鍋爐的汽水筒。給水從汽水筒下降至受燃料燃燒產物加熱的鍋爐管中,這些管子稱爲沸水管。在沸水管中形成的蒸汽進入汽水筒,再從汽水筒經由過熱器送至消費者。過熱器由直徑不大的平行管系所構成,這些管子的兩端都用集管來聯結。

如圖 3-1 所示的這種鍋爐稱爲水管鍋爐。按照沸水管的傾斜角度,可分爲臥式水管鍋爐及立式水管鍋爐。由於水管鍋爐的構造與生產量的不同,汽水筒的數目也不相同。在較舊的鍋爐中用到五個汽水筒,而現代的鍋爐通常祇用一個或兩個汽水筒。

爐的下部有金屬爐篦(見圖 3-1)。將成塊的燃料由上面拋至爐篦上,燃料燃燒所需要的空氣則由下面經過爐篦進入。燃料的燃燒過程是在高溫下進行(達 1500°C 以上),所以直接位於爐子上部的鍋爐水管能藉輻射方法從爐中吸取大量的熱。燃料的燃燒產物流過鍋爐氣路時,又不斷地向管束中傳熱;氣路係由裝置在沸水管上的導氣隔牆所組成。燃氣離開鍋爐最後的行程後,經過後磚牆的烟道口流出。爲了向爐內供給空氣及使燃燒產物沿鍋爐氣路流出,大都採用特殊的送

風及抽風設備。

爲了與外面溫度極高的燃氣相接觸的鍋爐金屬壁的工作可靠起見，必須使壁從內部劇烈冷卻，使其溫度盡可能接近汽水混合物的溫度，此溫度在鍋爐通常採用的壓力下是在 $150—350^{\circ}\text{C}$ 的範圍內，對於鍋爐鋼的堅固性來說還不致發生危險。當此溫度提高過多時，鍋爐鋼的堅固性將大爲減弱。藉鍋爐內部汽水混合物強烈的和穩定的運動，使壁內得到應有的冷卻。

在應用最廣的自然循環鍋爐內，受熱較烈的管中所發生的汽泡帶着水一起上升。這些管中汽水混合物的比重較和它聯結的下降管中（見圖3-1）汽水混合物的比重爲小，因下降管一般不受熱或僅受少量的熱。因此在鍋爐中形成一個閉合循環，其循環水量要超過蒸汽發生量好多倍。在鍋爐上部的汽水筒中蒸汽與水分離，汽水筒水面上的

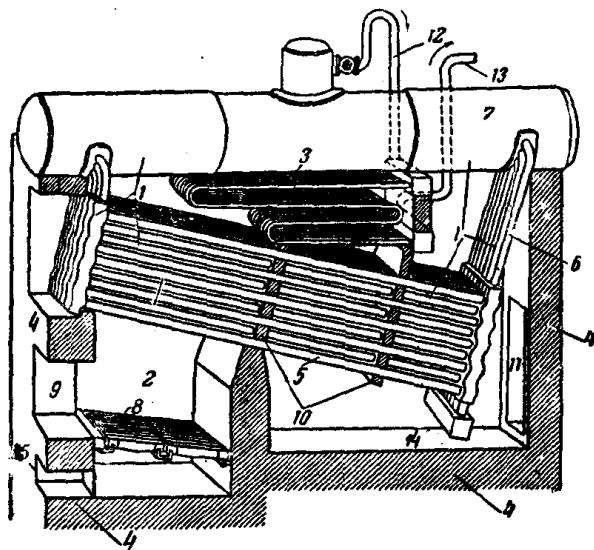


圖 3-1. 簡單小型鍋爐設備圖

- 1—汽鍋； 2—爐； 3—過熱器； 4—爐牆； 5—沸水管；
6—下降管； 7—汽水筒； 8—爐篦； 9—爐門； 10—導氣隔牆；
11—烟道； 12—聯結汽鍋與過熱器之蒸汽管道； 13—過熱蒸汽出口管道。

蒸汽空間即作為分離器或蒸汽乾燥器之用。

有的鍋爐汽水混合物係在水泵的作用下而運動，這種鍋爐稱為強制循環鍋爐。在最近二十年以來，直流鍋爐的採用愈來愈廣，在這種鍋爐中無所謂循環，流體係以直流方式（如同圖 3-1 中蒸汽流過過熱器）經過整個系統，漸漸受熱汽化，最後獲得了足夠的熱量而變成過熱蒸汽。

人工操作爐的尺寸、單位時間內爐中的燃煤量及這種鍋爐的蒸汽生產量都受到司爐者體力的限制。隨着工業的發展，能量的消費日益增加，因此必須增加蒸汽的總產量和每台鍋爐的蒸汽生產量。因為這個緣故，在現代鍋爐設備中機力操作裝置的鍋爐最為流行。蘇維埃社會主義國家特別關心到減輕與消滅司爐者的繁重的體力勞動，所以在蘇聯即使很小的爐子也都用機力操作。

圖 3-2 即為現代大型鍋爐設備圖。這種設備所用的燃料須預先在特製的磨煤機內磨成細小粉末，然後用空氣流經過特殊的噴燃器將粉末吹入室爐，煤粉在室爐中即刻燃盡。圖 3-2 所示的裝置中，所有沸水管或其主要部分係直接安裝在爐牆上。這種設備使燃燒產物進入最後受熱面時，有可能得到必要的冷卻（這種冷卻程度係根據燃料的特性與設備的構造而定），同時可以保護爐牆使不致受高溫和爐中煤灰熔化的影響，並且還能很好地利用輻射來傳熱，尤其在高温的情況下更為有利。

裝在爐牆上的受熱面稱為水冷壁；受熱面的基本部分位於爐內的鍋爐叫做水冷壁鍋爐。

水的加熱及其汽化都在如圖 3-1 所示的鍋爐中發生，而由於多次的循環，鍋爐內部的溫度很接近於沸騰溫度。燃燒產物流經氣路時已將其大部分熱量傳給受熱面，因此在最後的氣路中，對保證劇烈的熱交

換來說，燃燒產物的溫度與爐內溫度之差已不夠大。此時在鍋爐受熱面中，使燃燒產物的溫度得到進一步的下降是比較困難的，所以燃燒產物從設備中排出時還不夠冷，從而引起過多的熱損失。

因此在現代設備中，於鍋爐外另設附加的受熱面，稱為省煤器，給水在進入鍋爐本體之前，先在省煤器中預先加熱。省煤器和過熱器一樣，也是由很多平行管所構成（見圖 3-2），這些管子的兩端也都用集管

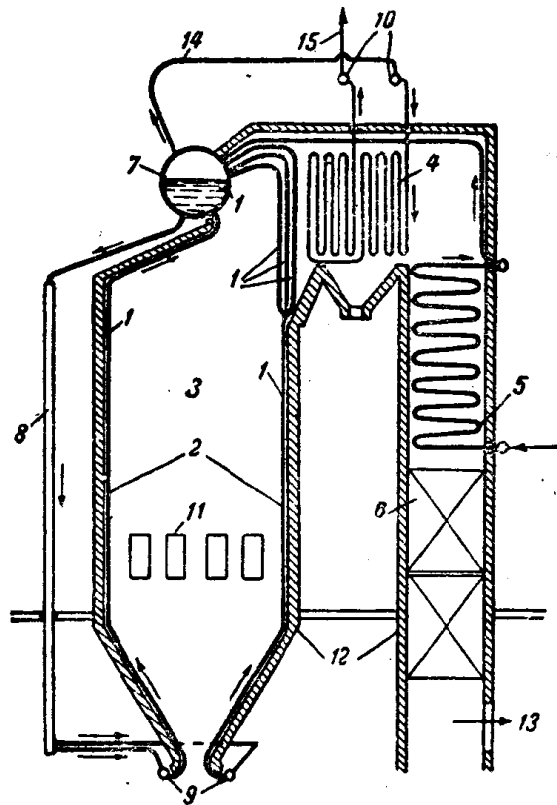


圖 3-2. 現代大型鍋爐圖

- | | | | |
|----------|-------------------|--------------|--------|
| 1—汽鍋； | 2—水冷壁； | 3—爐； | 4—過熱器； |
| 5—省煤器； | 6—空氣預熱器； | 7—汽水筒； | 8—下降管； |
| 9—水冷壁集管； | 10—過熱器集管； | 11—噴燃器； | 12—爐牆； |
| 13—烟氣出口； | 14—聯結汽鍋與過熱器的蒸汽管道； | 15—過熱蒸汽出口管道。 | |

來聯結，並且也是直流方式而沒有循環；因此在省煤器中水的平均溫度遠較鍋爐中為低，而溫度差則較鍋爐中為高。

由於使用預熱空氣，可使燃燒過程及一系列的燃料備製（粉碎）工作加快。而且，在現代具有回熱設備的蒸汽發電廠中，流往鍋爐的給水都有相當高的溫度，省煤器未必能使離開設備的煙氣達到應有的冷卻程度。所以在現代鍋爐中還包括另一種受熱面，稱為空氣預熱器（見圖 3-2）。在空氣預熱器中藉燃燒產物的再度冷卻，使送入爐中的空氣得以預熱。

根據以上所述，所謂綜合的鍋爐設備即為製造蒸汽的全部設備，此設備由汽鍋、爐、過熱器、省煤器和空氣預熱器、以及爐牆和支持它們的鋼架所組成，也包括同它們在一起的輔助部分（附件、配件、支持物及懸撐物等）及其內部聯結管道（汽鍋和省煤器間的聯結管道、汽鍋和過熱器間的聯結管道、給水至水冷壁的聯結管道、從水冷壁出來的汽水混合物的聯結管道以及空氣管道等）。以上所以沒有提到水冷壁，因為它們是經常作為其他受熱面的一部分：大多數的情況下都作為汽鍋受熱面的一部分，有時也作為過熱器或省煤器的一部分。

很明顯地，水蒸汽製造過程中相互作用的原始物質，除了燃料和水外，還必須有空氣，因為要維持燃料的燃燒，必須供給空氣中的氧。這種情況下，空氣中的氮是完全無用的物質。

通常燃料中也含有大量的無用物質，如灰及水分。特別是灰，它不但在燃燒過程中不起作用，而且是過多熱損失的來源（和水分一樣），同時在燃燒的高溫下大都熔化並弄髒受熱面等。所以無論在設計或運轉鍋爐裝置時，必須考慮到這些情況。

在純冷凝式發電廠中，因為離開蒸汽原動機的已冷凝的蒸汽要以冷凝水的形態重新送回鍋爐，所以水形成了一個閉合循環。但是在供

給熱消費者以蒸汽的某些裝置中，則部分的水不能重行收回。此外在循環系統中，往往有少量的水和蒸汽洩漏。因此鍋爐設備時常由外面水源得到某些數量的水，而這些水往往含有某些機械的懸浮物或溶解物質等無用的雜質。

蒸汽的製造過程是連續和長期進行的過程，所以在鍋爐給水中，祇要含有少量礦物質或有機物，日子一久這些混合物便逐漸聚集。爲了阻止鍋爐設備中混合物的聚集，便不得不應用一些特殊的器具來預先處理給水。保證受熱面上不積垢，也就是說，當水汽化時阻止鹽類在鍋爐內壁沉澱成堅固的水垢，是非常重要的。當這些沉澱的水垢存在時，將使鍋爐金屬壁的內部冷卻不良，金屬也因過度受熱而減低其堅固性。

鍋爐裝置須附有許多輔助機構，這些輔助機構都是爲鍋爐設備服務的。有的專用於個別鍋爐，有的爲所有的鍋爐所共用，有的則集中在鍋爐車間附近的一個獨立車間內。

這些輔助機構和車間包括燃料倉庫、送燃料入鍋爐的機構、從鍋爐裝置中集灰和除灰的機構、製粉煤和送粉煤的機構、給水加熱機構、給水泵、給水管道、送汽管道、自動控制調節器、遙遠控制器等等。其中和鍋爐設備最密切的某些輔助機構將在本篇中研究，其餘則在蒸汽動力廠一篇中討論。

3-2. 鍋爐設備的基本性質

鍋爐設備產品的基本性質決定於其所製造蒸汽的質與量。

鍋爐設備的蒸汽生產量（即生產量）在現時都用 [噸]/[小時] 或 [公斤]/[小時] 表示。

以前，鍋爐設備的生產量都用鍋爐受熱面積 [米]² 來表示。但是，由於鍋爐式樣的繁多和所發生蒸汽的參數不同，加以鍋爐設備中一系列附加受熱面的出現（已在 § 3-1 中述過），

這種方法已不足以表明現代鍋爐設備的性質。

近來把在正常使用的情況下鍋爐的蒸汽生產量稱為正常的蒸汽生產量，此時的蒸汽生產量大約與其工作最經濟時的蒸汽生產量相同。我們稱最大蒸汽生產量為最大連續的生產量，這時的生產量約比正常的生產量大 25%。這兩個概念可從實用中體會。通常鍋爐設備的生產量用一分數表示，分子為正常生產量，而分母則表示最大生產量。

1947 年訂立的全蘇國家標準 (ГОСТ) 3619-49，統一規定了用更明確的概念來代替以往鍋爐的正常生產量與最大生產量的概念。新的規定係以額定生產量（也就是最大連續生產量）來表示。所謂額定生產量就是鍋爐設備在連續運轉時期、不擾亂工作制度和保持合格蒸汽參數而能穩定地得到的生產量，並且在使用該設備所規定的燃料時都能保證此生產量。

壓力和溫度兩個參數是鍋爐所製造的過熱蒸汽的基本性質。因為鍋爐水中有某些混合物，有一部分混合物能隨蒸汽由鍋爐流出，所以應將蒸汽的清潔程度也列為蒸汽性質之一。

從蒸汽發生過程中相互作用的原始工質來看，應把鍋爐工作所用燃料的種類、供給鍋爐的給水的溫度和給水的清潔程度，列為鍋爐設備最重要的性質。

鍋爐設備的經濟性可用效率（利用係數） $\eta_{\kappa,a}$ 表示，此效率即為蒸汽得到的熱量與燃料燃燒時所能發出的全部熱量之比。假設

B ([公斤]/[小時])——燃料消耗量；

Q_H^p ([大卡]/[公斤])——1 [公斤]燃料完全燃燒所能發出的熱量；

D ([公斤]/[小時])——鍋爐的蒸汽生產量；

$i_{n,s}, i_n$ ([大卡]/[公斤])——給水與過熱蒸汽的熱含；

則和鍋爐產品的性質與重量、燃料與給水的性質及鍋爐熱效率等相關聯的一般熱平衡方程式（不計鍋爐內水的損失）如下：

$$BQ_H^p\eta_{\kappa,a} = D(i_n - i_{n,s}) \text{ [大卡]/[小時]}. \quad (3-1)$$

效率是鍋爐設備的最重要的運轉經濟特性。而鍋爐每單位生產量在結構上的金屬材料使用量(或設備的價值)也具有很大的意義。在某種程度上減少這種金屬重量(金屬材料的經濟)的意圖,與增加鍋爐效率(節省燃料)的意圖是彼此矛盾的(例如 §3-1 中關於安裝附加受熱面以減低烟氣出口溫度的問題)。這個矛盾的解決是使鍋爐工業向前發展最重要因素之一。這樣發展的結果將產生輕便、經濟及在運用上可靠的鍋爐。

對於鍋爐設備工作的可靠性提出嚴格的要求。在連續運轉期間穩定地供應消費者以一定參數的蒸汽是最主要的要求之一,尤其是在蒸汽發電廠裏;有的鍋爐不停地運轉達 100—120 晝夜之久。在高壓鍋爐中,運轉的安全性是另一基本要求。汽鍋的爆炸、鍋爐中沸水管及其他管子的爆炸,以及爐和烟道中的爆炸有時可引起人身事故。

3-3. 蘇聯在鍋爐工業上的發展

隨着羅蒙諾索夫在熱理論方面的天才發現(見本書第一篇),俄國機械學者波爾松諾夫(И. И. Ползунов)在世界上第一個發明了通用的蒸汽機,可以直接帶動工具機。波爾松諾夫的工作,在本書第四篇中將作較詳細的介紹,此處僅指出:當第一台蒸汽機(“火力機”)發明時,所謂蒸汽機係指蒸汽動力廠,包括鍋爐在內的一種綜合裝置。但是在那時候,波爾松諾夫已經很好地估計到優良蒸汽發生器所具有的重大意義,現代的鍋爐工業界還在繼續進行這方面的研究和改善;並且他還進行了蒸汽發生過程的有趣的試驗。爲了改善鍋爐本身運轉的穩定性和可靠性,波爾松諾夫又添設了給水自動調節器,此調節器由浮子做成,依靠鍋爐中水面的變化而改變供給鍋爐的水量。當自動調整裝置更進一步地應用到鍋爐裝置運轉中的今天,很明顯地可以看出這個改善