

高等學校教學用書

熱 力 網

Е. Я. СОКОЛОВ 著
孫 可 宗 譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



熱 力 網

Е. Я. 沙科洛夫 著
孫 可 宗 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國家動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 在 1948 年出版的沙科洛夫 (Е. Я. Соколов) 教授著的“熱力網” (Тепловые сети) 譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為動力高等工業學校的教科書。

本書內容包括：合產供熱的能力基礎；熱力網的理論和計算方法；供熱系統；備熱裝置，熱力網和用戶引入裝置等的主要構件之構造；熱力網的使用知識等。

熱力網的設計和使用所必需的參考材料列於書末附錄中。

本書著者 Е. Я. Соколов 是榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院教授。

本書譯者為北京農業機械化學院孫可宗同志。

熱 力 網

書號131 (課126)

沙 科 洛 夫 著
孫 可 宗 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版
北 京 珠 瑣 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)

新 華 書 店 總 經 售

上 海 市 印 刷 二 廠 印 刷

上 海 七 浦 路 四 七 一 號

開本787×1092 1/25 印張16 2/12.5 字數 814,000

一九五四年十一月上海第一版

印數 1—2,500

一九五四年十一月上海第一次印刷

定價 羊 22,000

序

本書是按照高等動力工程學校“熱力網”課程的教學大綱編寫而成的。

本書係作教科書之用，其篇幅多少、材料安排以及闡述方式都是根據這種用途來決定的。

“熱力網”課程為熱力工程系全部各專業學生的必修課程。因為“熱力網”課程的各章對於修習熱能的工業利用專業的學生要較動力廠設計專業的學生論述得更為詳細，故本書中有一部分材料用小號鉛字印出。用小號鉛字排印的材料，僅對於熱能工業利用專業的學生才是必修的。

但是所有的例題雖然都用小號鉛字排印，不在此限。

著者本人對戈路伯蹉夫(В. А. Голубцов)教授，科甘(Д. Я. Коган)技術科學候補博士，審閱者戈必葉夫(С. Ф. Копьев)教授和技術科學候補博士格羅莫夫(Н. К. Громов)深致謝忱，由於他們在校閱本書時曾提出許多有益的意見。

此外，著者認為應當指出在原稿的修飾工作上編輯者赫雷波夫(Б. М. Хлыбов)工程師所做的工作以及戈爾羅斯塔依-波里斯卡(М. М. Горноста́й-Польска)同志所給與的幫助。

著 者

目 錄

序

緒論	1
----	---

第一章 合產供熱的能力基礎	7
---------------	---

第二章 熱能的消費	14
-----------	----

2,1. 熱載荷的分類	14
2,2. 季節性載荷	15
2,3. 工藝載荷和熱水供應	26
2,4. 總載荷	27
2,5. 熱區圖	30

第三章 供熱系統	32
----------	----

3,1. 熱介質的準備	32
3,2. 水系	37
3,3. 汽系	50
3,4. 熱介質和供熱系統的選擇	59

第四章 放熱工況	62
----------	----

4,1. 調節系統	62
4,2. 質的調節	67
4,3. 量的調節	78
4,4. 綜合調節	82
4,5. 撤汽工況和調節系統	92

第五章 水力計算	98
----------	----

5,1. 水力計算的問題	98
5,2. 基本計算式	98
5,3. 水壓圖	117
5,4. 分支熱力網的計算法	123
5,5. 決定汽管末端的蒸汽狀態	125
5,6. 決定循環水泵的各參數	127
5,7. 熱力網水力計算實例	128

第六章 水力工況	135
----------	-----

6,1. 水力特性	135
6,2. 水力工況的計算	138
6,3. 水力安定性	143

第七章 熱力網的構造	149
7.1. 熱力網平面圖的區劃	149
7.2. 管的路線	152
7.3. 管路建築的構造	155
7.4. 熱絕緣	168
第八章 熱能計算	175
8.1. 基本計算式	175
8.2. 熱能計算法	183
8.3. 熱損失和絕緣效率	189
8.4. 熱介質的溫度降和凝結水的形成	190
8.5. 絕緣厚度的選定	193
第九章 熱能輸送的經濟學	196
9.1. 技術經濟的計算法	196
9.2. 燃料的節省	197
9.3. 熱力網的價值	204
9.4. 用戶系統的價值	207
9.5. 熱介質的輸送費	209
9.6. 熱損失的價值	211
9.7. 選定最佳撤汽壓力	213
9.8. 選定最佳溫度圖	216
9.9. 選定經濟壓頭損失	222
第十章 備熱裝置	226
10.1. 備熱裝置的型式	226
10.2. 水加熱裝置(構造和工作原理)	226
10.3. 蒸發裝置(構造和工作原理)	239
10.4. 熱面式備熱裝置的熱能計算和水力計算	242
10.5. 混合式備熱裝置的熱能計算和水力計算	245
10.6. 機械式和化學式熱力壓縮機	249
10.7. 蒸汽噴射壓縮機和水力噴射泵	254
第十一章 機械設備及其計算	278
11.1. 管及管接合	278
11.2. 支座	289
11.3. 支承構造	302
11.4. 補償器	305
11.5. 關斷配件和調節配件	324
第十二章 熱力網的運行	329
12.1. 運行的組織	329
12.2. 熱力網的驗收	330

12, 3. 熱力網開始運行的步驟.....	332
12, 4. 供熱系統的工況及其調節.....	335
12, 5. 自動化.....	340
12, 6. 熱量的統計.....	353
12, 7. 損壞的發現和消除.....	357
12, 8. 腐蝕之防止.....	359
12, 9. 設備的工作及其修理.....	365
附錄.....	369
參考書目.....	387
俄中名詞對照表.....	390

熱 力 網

緒 論

“合產供熱”(теплофикация)爲在熱能和電能(機械能)綜合生產基礎上的集中供熱(централизованное теплоснабжение)。

合產供熱由於把電能生產過程與集中供熱的熱能供應結合起來，因而有效地提高火力發電站的效率；同時合產供熱由於熱能消費制度的組織合理以及熱損失的減小，因而使供熱的價格降低。

除合產供熱方式外，由中心鍋爐供熱的集中供熱也有廣泛的採用。這種集中供熱沒有合產供熱的主要優點——即有效地提高電能生產的效率。但是在很多情況下，這種集中供熱與由各個地方鍋爐的供熱比較，仍有一些優點(如鍋爐損小較小，供熱的調節，工作費較低等)，使它仍是最好的供熱方式。

合產供熱裝置的有效程度比集中供熱的大得很多，因此在蘇聯社會主義經濟的條件下，普遍地採用合產供熱。

合產供熱除燃料節省外還具有許多其他的優點，即：

а)可能利用本地的低級的燃料作爲供熱之能源，但在個別用熱戶的小型鍋爐中要燃燒這種煤是極端困難的；

б)減少熱力企業所需的投資額和金屬消耗量，這是由於企業的併大和總後備減小的緣故；

в)精簡工作人員並減低整個動力企業的工作費用，這是由於機組的併大和繁重工作的機械化而獲得的結果；

г)建築物的使用面積增大，因爲各住宅和公共建築物內毋須安裝單個的鍋爐。

合產供熱的基本觀念老早已經引起全世界先進的動力工作人員的注意。但是在私人資本主義的社會條件下，合產供熱事業的發展遭遇到極大的阻礙，因為它的發展是與計劃建設有關的。

雖然美國早在 70 年前，西歐在將近 50 年以前已經開始發展集中供熱，但是直到今日集中供熱在彼處尙未能成為一般動力企業中的重要因素。美國在十年以前實質上沒有發展合產供熱，只有一些由中心鍋爐供熱的集中供熱。僅在第二次世界大戰開始前不久的時期中，熱電廠才在美國的大城市出現（如紐約，密爾窩基，蘭新等）。近十年來美國之建築熱電廠，在很大程度上是由於美國人考慮了蘇聯合產供熱的良好經驗才這樣做的。

美國的各熱電廠，其中大多數是用高壓蒸汽形式的熱能來供給用戶，這樣做大大地降低了合產供熱的動力效用。

合產供熱在西歐的發展，直至目前為止照例仍僅限於一些單獨的小型裝置（漢堡，德來斯頓等地）。

在蘇聯已經造成了合產供熱發展的最有利條件。在我們的國家內，合產供熱是動力事業發展計劃的組成部分，也是祖國電氣化計劃的組成部分。

蘇聯的合產供熱是在 1924 年打下基礎的。在這一年由弗·弗·德米特里葉夫教授（В. В. Дмитриев）和勒·勒·金楷爾（Л. Л. Гинтер）工程師的發起，從列寧格勒第三電力站至第一個用熱戶間敷設一條熱力管，並且該管於 1924 年 11 月 25 日開始輸送熱能。

莫斯科於 1928 年建設了第一個合產供熱裝置。由全蘇熱力工程研究所的熱電廠輸送熱能至該區的各工業用熱戶。

列寧格勒和莫斯科兩地第一批合產供熱裝置的開工，刺激了其他蘇聯城市合產供熱事業的發展。

在 1931 年 6 月聯共（布）中央全體會議上作出決議之後，蘇聯的合產供熱開始了普遍地發展。由斯大林同志提出而為全會所通過的該決

議案中指出：

“聯共(布)中央認為今後的國家電氣化方案應當充分地考慮到大規模建設大型熱電廠的任務，首先要在大工業中心建立熱電廠，無論是原有的工業中心(莫斯科，列寧格勒，哈爾科夫等)，還是新的工業中心(齊略賓斯克，史大林格勒等)”。

聯共中央六月全會的決議案是蘇聯動力工程師的奮鬥綱領。

從蘇聯第一個合產供熱裝置開始工作直至偉大的衛國戰爭開始之前的十七年中，蘇聯的合產供熱事業得到了輝煌的成就。在大多數的老城市中以及在斯大林五年計劃的年代中所興建的新城市和新工業區全都建設了熱電廠和熱力網。每年由於合產供熱所節省下來的比較燃料在百萬噸以上。

根據現有合產供熱裝置的能率，電能和熱能的綜合生產量，熱力網的長度等比較之，蘇聯的都超過西歐國家的總和。

在偉大的衛國戰爭的初期，德國法西斯侵略者佔領了蘇聯的大片領土，給予合產供熱企業以巨大的破壞。位在德國佔領區的合產供熱裝置全部被毀。雖然如此，蘇聯在偉大衛國戰爭的年代中合產供熱裝置的能率仍然有增無減，這是由於在烏拉爾，西伯利亞和伏爾加等區在戰爭年月中所進行的大規模合產供熱裝置的建設以及驅逐了德寇之後合產供熱事業的迅速恢復的緣故。

在斯大林五年計劃的時期中，蘇聯合產供熱事業的發展速度可以由下給資料說明之[參考書目 55]：

	1929 年	1933 年	1938 年	1940 年	1944 年	1946 年
合產供熱式汽輪機的能率……	1	8.8	23.2	35	38.3	43.5
放熱量……	1	5.5	20.5	22	28	31
熱力網的長度……	1	5.25	24.3	26.2	37	39.2

(1929 年的數量指標取定為 1)

上給數據指明蘇聯在合產供熱開始利用後的 17 個年頭中，根據數量指標看，合產供熱裝置共增長了 30—40 倍。這樣的合產供熱事業之發展速度為全世界任何其他國家所沒有的。

蘇聯國家經濟的恢復與發展的五年計劃(1946—1950)規定了今後合產供熱事業的鉅大發展。五年計劃的法令指示說：

“完成 37 個地區的火力發電站的建設，其中的 21 個為熱電廠……繼續發展下列城市的合產供熱事業：莫斯科，列寧格勒，基也輔，哈爾科夫，斯維爾德洛夫斯克，頓河岸羅斯托夫”。

在這五年中在莫斯科應當建設 75 千米的熱力網。

同時期中其他城市的合產供熱事業也必須有很大的發展。

五年計劃的勝利完成將把蘇聯的合產供熱事業更加提高一步。

蘇聯是全世界上第一個在有計劃的科學的基礎上發展合產供熱的國家，因此對於許多主要的合產供熱的技術問題，在蘇聯已經得到較在西歐或美國不同的根本的解決。

蘇聯合產供熱事業的初期發展，是以熱能和電能綜合生產的地區熱電廠為基礎的。

蘇聯各城市的合產供熱，主要利用水為熱力網的熱介質。蘇聯今日擁有全世界能率最大的水網。採用水為熱介質就可能利用合產供熱式汽輪機撤汽口的低壓蒸汽以作供熱之用。城市的主要熱載荷通常能够用 1.2—2.5 氣壓蒸汽的熱能來滿足。利用低壓乏汽將會提高合產供熱的有效程度，這是由於以單位需熱量為準的比發電量提高了的緣故。

在美國大多採用壓力較高的(5—15 氣壓)蒸汽為熱介質，這就嚴重地降低了合產供熱的有效程度。

許多有關技術原理的改進，可靠性和合產供熱有效程度的提高等技術問題，解決它們的榮譽都屬於蘇聯的科學家和工程師們。

在蘇聯由於合產供熱的普遍發展已經把創造高能率合產供熱式汽輪機的課題提到工作日程上了。這個課題已經被蘇聯的汽輪機設計師

和製造師所勝利地解決。

列寧格勒的斯大林金屬製造廠(ИМЗ)從 1934 年起已經製造祖國設計的合產供熱式汽輪機。該工廠已被指定要大量生產供蒸汽初態為 29 氣壓, 400°C 用的, 功率為 25000 千瓦的合產供熱式汽輪機。目前這種汽輪機是蘇聯大多數熱電廠的基本設備。

近數年來蘇聯動力機械工程師們已經研究出供蒸汽初態 90 氣壓, 480°C 用的高能率合產供熱式汽輪機的構造。

蘇聯的工程師們已經設計了並且建造了在熱電廠內為循環水和熱用的高能率的汽-水換熱器, 也創造了用戶引入裝置的有效且緊湊的分節式水-水加熱器的構造。

蘇聯的科學研究所(波爾茹諾夫中央鍋爐汽輪機研究所 ИКТИ 和捷爾森斯基全蘇熱力工程研究所 ВТИ)已經研究出為提高蒸汽壓力用的蒸汽壓縮機的理論和計算方法以及它的構造。熱力站設備和工業設備都需要採用這個裝置。

蘇聯工程師已經研究出在各種敷設條件下地下熱力管路的構造以及熱力網和用戶引入裝置的設備。

簡單, 可靠, 經濟是蘇聯合產供熱企業的法則。

為力求供熱系統的簡單和價廉, 蘇聯的合產供熱技術人員在偉大的衛國戰爭期間及其以前, 已經研究出新的簡單化的備熱裝置, 熱力網和用戶引入裝置等的配置。

直接取用廢熱水作為熱水供應的方案以及有關的新的備熱方法(已經由蘇聯 ОРГРЭС 所研究出來), 使熱力網和用戶引入裝置的價值降低並且使工業和發電站的低能位的廢熱能夠利用為熱水供應之用。

全蘇熱力工程研究所與基洛夫工廠(Кировский завод)所合作研究出來的水的混合加熱系統已被應用於很多的蘇聯的工業部門中以利用鍛壓車間的廢汽, 使金屬消耗量和備熱裝置的購置費大為減少。

蘇聯的科學研究所和使用保養機關(ВТИ, ОРГРЭС, Теплосеть Мос-

энерго—莫斯科動力熱網局)等研究出熱力網,用戶引入裝置和熱力站裝置等水力制度和熱力制度自動調節儀器的多種新型構造。

蘇聯科學家也創造了許多新型的計量和統計耗熱量用的儀器構造(量熱器,耗熱計等等)。

在蘇聯已經把合產供熱主要部分之一的熱力網的理論發展了而且系統化了。

對於熱力網的理論加以研究並發展成爲一門獨立科學的功績,首推蘇聯的科學家們。無論在西歐或是美國都還沒有創立這門科學。

第一章 合產供熱的能力基礎

熱電廠(теплоэлектроцентраль)發出電能和熱能兩種形式的能。這兩種能的經濟價值並不相等,因此我們不得機械地僅用1千瓦小時等於860千卡的當量值來比較他們。電能是比較完善的,同時也是比較貴重的能的形式。產生電能所損失的能量較之產生熱能的損失要太多。

中壓(29氣壓 400°C)凝結式發電站,它的電能生產效率介於20—25%之間,可是地區用的小型鍋爐的熱能生產效率則約為50—60%。

在熱電廠應用熱能和電能綜合生產的情況下,燃料的熱能大約有65—75%是被有效利用了的。因此,在熱電廠中每產生一單位熱能的燃料消耗量將較在地區鍋爐所消耗的為少,兩消耗量的比值約為1.3—1.5,而在熱電廠中每產生一單位電能的燃料消耗量將較凝結式發電站的小得很多,兩者的比值約為3。

為了估算合產供熱(теплофикация)的有效程度(эффективность),時常利用所謂燃料利用係數(коэффициент использования топлива)。該係數(用符號 η_u 表示)是熱電廠發出的熱能及電能熱當量之和與燃燒了的燃料熱能的比值:

$$\eta_u = \frac{Q + 860 \vartheta}{Bq_p}, \quad (1, 1)$$

式裏的 Q —熱電廠輸出的熱能量,千卡;

ϑ —熱電廠輸出的電能量,千瓦時;

B —燃燒了的燃料量,千克;

q_p —燃料的低熱值,千卡/千克。

燃料利用係數並不能給予合產供熱的國民經濟有效程度以正確的指量。這是由於式(1, 1)中,電能是直接用它的熱當量(860千卡/千瓦

時)換算成爲熱能而和直接發生的熱能相加的結果。

減低熱電廠的發電量,則由於熱能產量的增加,造成了燃料利用係數的某些提高,這是由於汽輪發電機的機電損失(электромеханическая потеря)減小的緣故。但合產供熱的國民經濟的有效程度則行降低,因爲熱電廠所發不足產量額之電能必須由效率較低的凝結式發電站發出。

增加熱電廠的發電量,就提高了熱電合產的國民經濟有效程度,因爲最昂貴形式的能量(電能)生產系統之燃料消耗量減少了,雖然在此情況下熱電廠的燃料利用係數(η_u)有一些降低。

根據燃料節省量來評定合產供熱的有效程度是最便利的,這個燃料節省量可以從滿足熱能和電能的需要量而定出。

設在熱能和電能綜合生產情況下的燃料消耗量用符號 B_k 表示,而在兩種能量分別生產情況下生產同量能量的燃料消耗量用符號 B_p 表示,則 $\frac{B_k}{B_p}$ 比值可以表明熱電合產方式與分產方式比較的有效程度。

熱電廠中熱能和電能(不計凝結蒸汽部分在撤汽口以後所發出之電能 $\ominus$)綜合生產的燃料消耗量可以由下列兩項之和決定之:

$$B_k = B_{k,э} + B_{k,m}, \quad (1, 2)$$

式中 $B_{k,э}$ —生產電能的燃料消耗量;

$B_{k,m}$ —生產熱能的燃料消耗量。

如果將燃料總消耗量 B_k 按照與熱能及電能的熱當量比例地加以分配,則上式中的二項可以由下列二式決定之[參考書目 12]:

$$B_{k,э} = yQ \frac{860}{7000 \eta'_k \eta'_{э,м}} = 0.123 \frac{yQ}{\eta'_k \eta'_{э,м}} \text{ 千克比較燃料 } \ominus; \quad (1, 3)$$

$$B_{k,m} = Q \frac{10^6}{7000 \eta'_k} = 143 \frac{Q}{\eta'_k} \text{ 千克比較燃料}, \quad (1, 4)$$

$\ominus$ конденсационная выработка.

$\ominus$ условное топливо, 比較燃料, 每千克的低熱值以 7000 千卡計。

式中 Q —由合產過程所生產的熱量，百萬千卡；

y —以單位撤汽的熱產量為準的比發電量，千瓦時/百萬千卡；故

乘積 yQ 等於用合產方式所生產的電能，以千瓦時為單位；

η'_k —發電站的鍋爐效率；

$\eta_{\Sigma, m}$ —汽輪發電機的機電效率。

y 值由下式求出：

$$y = \frac{H_0 \eta_{oi} \eta_{\Sigma, m} \cdot 10^6}{860(i_2 - t_k)} = 1160 \frac{H_0 \eta_{oi} \eta_{\Sigma, m}}{(i_2 - t_k)} \text{ 千瓦時/百萬千卡, } (1, 5)$$

式中 H_0 —蒸汽在汽輪機中由初態至撤汽壓力間的絕熱焓降 $\ominus$ ，千卡/千克；

η_{oi} —汽輪機內部相對效率 $\ominus$ ；

i_2 —汽輪機撤汽口蒸汽的焓(теплосодержание)，千卡/千克；

t_k —撤汽之熱被利用後其凝結水的溫度， $^{\circ}\text{C}$ 。

用分別生產方式產生同量熱能和電能的燃料消耗量同樣地也可以用兩項之和表示：

$$B_p = B_{p, \Sigma} + B_{p, m}, \quad (1, 6)$$

式裏的 $B_{p, \Sigma}$ —凝結式發電站產生同量電能的燃料消耗量；

$B_{p, m}$ —地區用鍋爐產生同量熱能的燃料消耗量。

這兩項又可以分別表示為：

$$B_{p, \Sigma} = yQ \frac{860}{7000 \eta'_k \eta_{ia} \eta_{\Sigma, m}} = 0.123 \frac{yQ}{\eta'_k \eta_{ia} \eta_{\Sigma, m}} \text{ 千克比較燃料, } (1, 7)$$

$$B_{p, m} = \eta_c Q \frac{10^6}{7000 \eta_k} = 143 \frac{\eta_c}{\eta_k} Q \text{ 千克比較燃料, } (1, 8)$$

式裏的 η_{ia} —凝結式發電站的內絕對效率；

η_k —各用熱戶鍋爐的效率；

η_c —熱力網的效率。

$\ominus$ адиабатический перепад пара.

$\ominus$ внутренний относительный к. п. д.

對於普通情形可以採用如下的各效率值：

發電站的鍋爐效率…………… $\eta'_k = 0.8 - 0.85$

各用熱戶的鍋爐效率…………… $\eta_k = 0.5 - 0.6$

汽輪發電機的機電效率…………… $\eta_{\Sigma M} = 0.85 - 0.9$

熱力網的效率…………… $\eta_c = 0.9 - 0.95$

比較熱電合產和熱電分產的兩燃料消耗量式可以看出前者主要的燃料節省量是由於電能生產。

用熱電分產方式和熱電合產方式產生同量電能的二燃料消耗量的比值爲：

$$\frac{B_{p.\Sigma}}{B_{k.\Sigma}} = \frac{1}{\eta_{ia}} \quad (1, 9)$$

普通壓力(29 大氣壓 400°C)的凝結式發電站的內絕對效率設爲 $\eta_{ia} \approx 0.3$; 則 $\frac{B_{p.\Sigma}}{B_{k.\Sigma}}$ 比值等於 3—3.3, 就是用熱電合產方式發電的燃料消耗量僅爲凝結式發電站發出同量電能所需燃料消耗量的 1/3 至 1/3.3。

兩種方式比較的熱能生產的燃料節省較上值小得很多。

用熱電分產方式和熱電合產方式產生同量熱能的二燃料消耗量的比值爲：

$$\frac{B_{p.m}}{B_{k.m}} = \frac{\eta_c \eta'_k}{\eta_k} \quad (1, 10)$$

當 $\eta_c = 0.9$, $\eta'_k = 0.8$ 和 $\eta_k = 0.6$, 則該比值 $\frac{B_{p.m}}{B_{k.m}} = \frac{0.9(0.8)}{0.6} = 1.2$ 。

根據式(1, 2—1, 8)不難找得用熱電合產方式對於熱電分產方式產生同量能量的燃料消耗量的比值：

$$\frac{B_k}{B_p} = \frac{1 + 1160 \frac{\eta_{\Sigma M}}{y}}{\frac{1}{\eta_{ia}} + 1160 \frac{\eta_c \eta'_k \eta_{\Sigma M}}{\eta_k y}} \quad (1, 11)$$

通常情況下各量可以採用如下的值：