

火力發電廠的供水

蘇聯 維·恩·波克羅夫斯基著

電業管理總局設計管理局東北設計分局合譯
偉 肇 强

霍 宏 先 李 鐵 民校訂

燃料工業出版社

火力發電廠的供水

蘇聯 維·恩·波克羅夫斯基著

電業管理總局東北設計分局合譯
惲 肇 強

霍 宏 先 李 鐵 民校訂

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書論述汽輪機、蒸汽機及內燃機發電廠的供水問題，並詳細介紹在各種條件下發電廠所採用的供水系統。各章分別論述供水來源、水泵站、取水設備、水道及水井、冷水池及冷水塔、供水系統的技術經濟指標等。

本書可供從事火力發電廠供水工作的設計、建築、運行等人員以及一般熱機技術人員參考。

火 力 發 電 廠 的 供 水

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)1950年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 В. Н. ПОКРОВСКИЙ 著

電業管理總局東北設計分局
譚 肇 強 合譯

霍 宏 先 李 鐵 民校訂

燃 料 工 業 出 版 社 出 版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：朱雅軒 校對：周金英 趙葆玲

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

書號231 * 寬99 * 8.0 × 1092 1/4 開本 * 6 1/4 印張 * 180 千字 * 定價13,000元

一九五四年七月北京第一版第一次印刷(1—4,200冊)

版權所有★不許翻印

原 作 者 序

設計和建設火力發電廠，必須解決極重要的供水問題。當發電廠必須建設在缺水地區時，這一問題就更爲複雜了。

在歷次斯大林五年計劃的年代裏，蘇聯已建設了許多工業或市政公用的大型地區發電廠及中小型火力發電廠。

在設計各種用途的發電廠方面，在個別發電廠建築物的佈置方面（包括取水及水的分流設備在內），蘇聯的動力工作者積累了極豐富的經驗。

在火力發電廠建築及運行方面的課程及參考資料中，論及供水問題者不多；而在一般供水課程中，對於保證工業企業，特別是火力發電用水的問題又不够注意。

作者鑒於關於火力發電廠供水問題的最後著作（電力設備的供水，阿·姆·羅曼諾夫著），還是在14年以前出版，其內容已經陳舊，所以抱定目的來彌補我們著作中的上述缺陷。

在編著此書時，也參考了我們設計及業務改進機構（熱力電力設計局，市政電力設計局，國家電力事業聯合改進局等）的豐富的經驗。

必須指出，這些機構的工作人員，以及〔維傑捏耶夫全蘇水力技術科學研究所〕及〔德傑爾斯基全蘇熱力技術研究所〕的工作人員已經首先在工程實踐中作出了下列的著作：〔冷水池計算的原理〕（恩·姆·拜爾納德斯基、阿·阿·彼得洛夫、帕·維·普羅斯庫雅科夫等著），〔人工冷卻設備的一些計算方法〕（阿·伊·阿里菲耶夫、勒·德·別爾曼、格·格·德若倪拜科夫、恩·恩·傑廉基耶夫著），〔在有限制水源地點及條件複雜的取水地點的供水系統〕（斯·恩·布克蕭瓦奈、克·普·達吳加菲特、維·依·歐拜里吳斯、維·維·帕諾夫等著），〔在長時間極寒冷地區的供水〕（耶·雅·格耶爾曼諾夫、斯·維·克魯傑斯基著）。

本書爲篇幅所限，不能詳細敘述這類建築物構造上的各部分；但

是作者預期對於初次參加這項工作的設計人員，作為對火力發電廠供水的一般知識，則是足夠的。

應注意到，本書不僅可供供水建築人員參考，而且可供熱力技師、機械師等參考。作者編寫了供水的水源一章，並在此章內簡單地敘述了水文學的原理。

作者對書評家科學院士，勒·德·別爾曼及講師維·普·西羅特金表示深切的感謝，他們的寶貴意見已經在本書內考慮進去。同樣地也對格·姆·波日科斯切帕年柯及普·依·沙姆梭諾夫表示謝意，他們供給許多數據、表格和圖解。編輯依·依·阿依切斯達特在本書出版時給予極大的幫助，並此表示衷心的謝意。

目 錄

原作者序

總 論	6
-----------	---

第一章 汽輪機發電廠水的用途

1. 凝汽設備	7
2. 凝汽器的工作	9
3. 供給凝汽器的冷却水流量	11
4. 發電機空氣及氣體冷却器所需的冷却水量	19
5. 冷油器所需的冷却水量	22
6. 冷却軸承、輔助機械及壓縮機冷水套所需水量	23
7. 蒸汽鍋爐補充水、熱力網供水及清潔爐煙所需水量	26
8. 水力除灰	27
9. 飲用生活用水及消防水所需水量	30
10. 相對的及絕對的用水量	32
11. 水的質量	33

第二章 蒸汽機發電廠的供水

1. 總的水量及供水系統	35
2. 混合式凝汽器	37

第三章 內燃機發電廠的供水

1. 冷却原動機個別部分的用水	39
2. 其他用水	41
3. 水的質量	42
4. 蘇聯製造的內燃機之簡單數據	44

第四章 水 源

1. 表面水源	44
2. 逕流的變化定律及其大小的計算	47
3. 表面水源的水溫	51
4. 表面水源水的其他性質	53
5. 地下水源	55

第五章 汽輪機發電廠供水系統

1. 貫流系統（開放式系統）	56
2. 凝汽器串聯組合的貫流系統	65
3. 循環供水	66
4. 混合系統	76
5. 飲用生活用水及消防用水的管道	80
6. 水由排除煤灰和煤渣的外部系統	81

第六章 汽輪機發電廠之水泵

1. 循環水泵之水頭與容量	84
2. 循環水泵容量及其數目之決定	87
3. 循環水泵的型式及其特性	89
4. 並聯運行的條件	94
5. 補給水泵、飲用生活用水水泵及消防水泵	94

第七章 水泵室及取水設備

1. 取水池	95
2. 江岸水泵室	99

第八章 水道、水井及管路零件

1. 進水溝及排水溝（封閉式水溝）	105
2. 壓力水管	113
3. 水井	113
4. 壓力和無壓力水道及土質明溝水力計算基礎	116
5. 考慮發電廠擴充之條件	119

第九章 內燃機發電廠的供水系統

1. 供水系統	120
2. 壓力水箱及備用水箱	125
3. 工作上的監察	126
4. 水泵	127
5. 冷却水及排氣中熱量的利用	129

第十章 冷却設備、冷却池

1. 總論	130
2. 冷却池	132
3. 水池冷却能力	133

4.水池的水平衡·····	139
5.冷却池系統之水工建築·····	141
6.防止生草及積泥的方法·····	147

第十一章 噴水池

1.總論·····	147
2.噴嘴及其特性·····	148
3.噴水池之大小·····	155
4.冷却水的溫度·····	155
5.噴水池防水保護面及水管·····	156
6.噴水設備架設在天然貯水池上·····	158
7.不能收回的水的損失·····	159

第十二章 冷水塔

1.開放式冷水塔·····	161
2.塔型冷水塔·····	165
3.機力通風冷水塔·····	173
4.分水裝置及貯水池·····	175
5.水量損失·····	178

第十三章 各種型式冷却設備之比較

第十四章 發電廠供水系統的技術經濟指標

1.發電廠供水建築的相對費用·····	181
2.建造各種單獨建築物所需的材料及工作量(概略數據)·····	182
3.每年運行維護費用·····	185
4.技術經濟計算實例·····	188

第十五章 運行上的困難及其對策

1.取水建築·····	193
2.水道·····	197
3.人工冷却設備·····	198
4.冷却池·····	201

總 論

火力發電廠用水的性質及水量，與設備的規模、型式及自然條件有關。

裝有汽輪機及蒸汽機的火力發電廠中，水是用以使鍋爐內發生蒸汽、冷凝汽輪機的排汽、冷却油及空氣、輸送灰渣、清淨爐煙以及飲用、防火等。最大數量的水是用在凝結蒸汽及冷却方面。

每 1 瓩設備容量冷却水的單位流量如下：裝有大型高壓汽輪機的發電廠為 0.16—0.20 立方公尺/小時；裝有大型中壓汽輪機的發電廠為 0.20—0.25 立方公尺/小時；裝有小型中壓汽輪機（容量 2500—6000 瓩）的發電廠為 0.35—0.45 立方公尺/小時。

因此裝有總容量為 40 萬瓩的中壓汽輪機發電廠的循環冷却水量為 80 000—100 000 立方公尺/小時，或 22—28 立方公尺/秒，這大大超過了蘇聯中等含水量河流的最小流量。

取水與水泵設備、水道、淨水及冷却裝置對這樣的水量來說都是大規模的非常複雜的建築物。所以在設計新火力發電廠及選擇廠址時對供水問題須給以應有的注意。

很多情況下尤其在建立凝汽式地區發電廠時，供水條件是選擇廠址的最重要條件。位於俄喀河的「加西爾斯基」國家區域發電廠可作為一個例子，燃料由莫斯科近郊煤礦區運來。在若干枯旱地區，火力發電廠建立在那些可能建築供給發電廠所需水量的水庫的地點。

從供水條件的觀點上來看，小型發電廠的佈置所遇到的困難較小，但由於供水設備的建築費及運行維護費也應按設備的規模而減少以致也常使設計發生困難。

若干小型火力發電廠（例如市政公用發電廠）採用內燃機作為原動機。內燃機需要水來冷却氣缸套及其他元件，並引水入水室與壓縮機冷却器中。每瓩的單位流量為 0.04—0.05 立方公尺/小時，即比小型汽輪機發電廠單位流量減小了 $\frac{8}{9}$ — $\frac{9}{10}$ 。

許多發電廠採用燃氣輪機(帶有較高溫度)，需要冷卻導葉、轉子、有時以及工作輪葉。按白留道夫氏的資料，燃氣輪機所需要的冷卻水量是同容量汽輪機發電廠的3—5%。具有中間空氣冷卻器的雙軸燃氣輪機所需冷卻水量是汽輪機發電廠流量的20—25%。

大型汽輪機火力發電廠的冷卻用水及其他工業用水的總流量見表1。表2中列有小型汽輪機蒸汽機及內燃機發電廠的總流量。

大型汽輪機火力發電廠水的流量

表 1

汽輪機容量，千瓩 流量，千立方公尺/小時	300	200	100	50	25	12
中壓	60—75	40—50	20—26	10—13	5—6	2.5—3.0
高壓	48—60	32—40	16—20	8—10	4—5	—

裝有小型汽輪機、蒸汽機、內燃機的火力發電廠水的流量

表 2

設備容量，千瓩 流量，千立方公尺/小時：	6	5	2	1
小型汽輪機	2—3	1.8—2.2	0.7—1.0	0.5—0.8
蒸汽機	—	—	0.50—0.55	0.25—0.28
內燃機	0.25—0.30	0.16—0.20	0.08—0.10	0.04—0.05

第一章 汽輪機發電廠水的用途

1. 凝 汽 設 備

所謂汽輪機的內能(不計機械損失)等於：

$$N_i = \frac{1}{102} (H_i \cdot D_K \cdot 427) \text{ 瓩}, \quad (1)$$

式中 H_i ——汽輪機內全部有效熱降；

D_K ——通過汽輪機的蒸汽流量。

汽輪發電機的電能等於

$$N = N_i \eta_m \eta_g, \quad (2)$$

式中 η_m ——汽輪機效率；

η_g ——發電機效率。

這樣，汽輪機的工作情況，首先可由熱降 H_i 的數值來判斷，而 H_i 可由 JS -圖求出。

在同一蒸汽流量 D_K 的情況下， H_i 值愈大，所能獲得的能量亦愈大。

在一定的蒸汽起始規範下，含熱降的大小，主要是根據汽輪機內最後的排汽壓力（背壓力）如何而決定。

例如：當起始汽壓為 90 絕對大氣壓，汽溫為 500°C ，蒸汽含熱量為 810 大卡/公斤時，在汽輪機內有效熱降相對增加的數字如下：

排汽壓力，絕對大氣壓	1.0	0.2	0.07	0.04
含熱量，大卡/公斤	630	584	556.5	543
有效熱降，大卡/公斤	180	236	253.5	267

這樣，當排汽壓力為 0.04 絕對大氣壓時，汽輪機內的有效熱降約比排汽壓力為 1.0 絕對大氣壓（即工作後的蒸汽放至大氣中）時增加了 0.5 倍。

凝汽設備保證蒸汽自汽輪機排出時低於大氣壓力，在凝汽設備內蒸汽被水冷卻，而進入凝汽器中的空氣則為抽氣器抽出去。

從這裏很明顯地知道，備有汽輪機或蒸汽機的火力發電廠安裝凝汽設備，是有很大大意義的。

汽輪機凝汽設備內部的真空度是極高的，在凝汽器中壓力保持在 0.03~0.08 公斤/平方公分的範圍內。

測量真空（即大氣壓力與凝汽器內的壓力差）是用水銀真空表，以公厘水銀柱高來表示的。如真空為 H ，而該處的大氣（氣壓表的）壓力為 B ，則由下式可求出以百分數表示的真空數值

$$V = \frac{H}{B} \cdot 100\% . \quad (3)$$

為了鑑定汽輪機及凝汽設備的工作情況，必須知道排汽的絕對壓力，即凝汽器內的絕對壓力 P_K 。

有時製造廠供給真空 V 的數值，用技術大氣壓的百分數來表示。
知道了 V 值，就很容易得到凝汽器內的絕對壓力：

$$P_K = \left(1.0 - \frac{V}{100} \right) \text{公斤/平方公分。} \quad (4)$$

100- V 的差數是表示在這種情況時的絕對壓力值，以大氣壓力的百分數表示之。

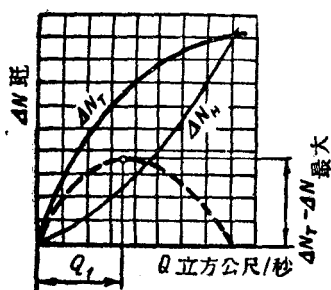


圖 1 汽輪機微增出力，循環水泵能量的消耗及所獲得的電能與冷却水流量間的關係

汽輪機的汽耗隨着凝汽器內壓力的下降，即隨着真空的提高而下降。在同一凝汽器內，蒸汽起始規範及中間抽汽情形保持一定，冷却水溫度等不變，如要得到較高的真空，則需要更多的冷却水量。

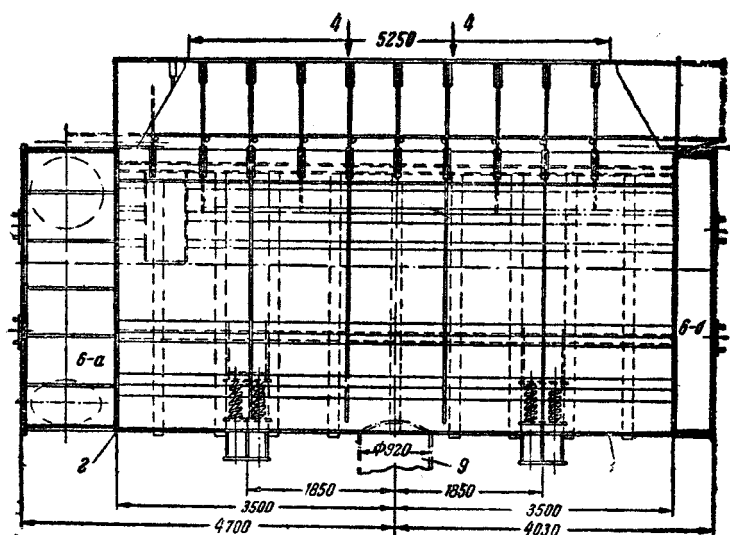
在汽輪機的某些固定出力下，增加了冷却水量，一方面是節約了燃煤量，但另一方面，循環水泵電動機所需的能量消耗增加了，這當然也就增加了廠用電的消耗。

當汽輪機的進汽量固定不變時，凝汽器的真空變壞(減少)，將引起汽輪發電機的出力減少。從循環水泵電能的消耗與由於凝汽器真空變化而發生的汽輪機出力變更的比較，可得到最適當的循環水的流量(圖1)。用上述方法，來決定運行中合理的循環水量，已得到廣泛的應用。

2. 凝汽器的工作

蒸汽的凝結與熱量的分泌相聯繫，此熱量是用冷却水來帶去的。近代的汽輪機都應用表面式凝汽器，在凝汽器內水和汽之間被管壁隔開。

表面式凝汽器(圖2)的組成，有外殼1，其端部蓋有管板2，在管板上固定着管子3。在本體的兩端有水箱，經此引入、分配並排出冷却水。要冷凝的蒸汽，從汽輪機經過喉管4，和管群相接觸，將熱



循環水進水側圖

凝汽器中部斷面圖

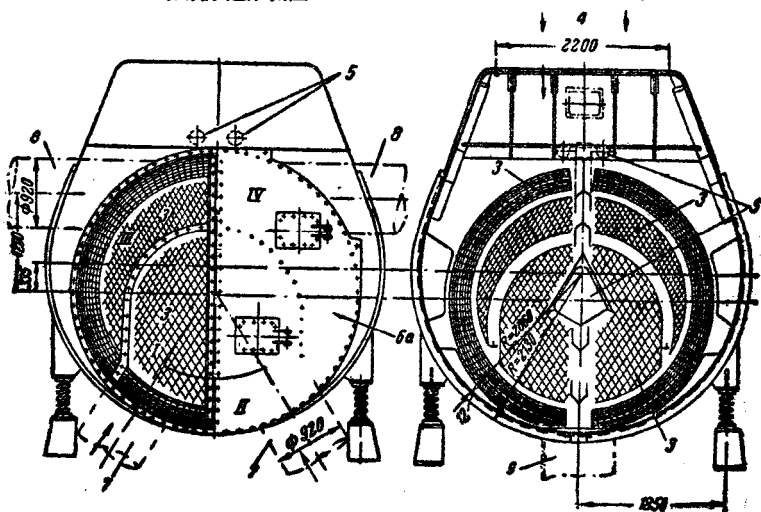


圖 2 雙回路凝汽器圖

1—凝汽器外殼；2—管板；3—凝汽器管子；4—排汽進口；5—蒸汽及空氣混合物之出口；6a—前部水箱；6b—後部水箱；7—冷水進口；8—熱水出口；9—凝結水出口。

能傳給在管內流過的冷却水。經冷凝後的蒸汽變成水滴或水流落至凝汽器本體的最低部分，再沿管道引至凝結水泵去。爲了排除凝汽器內隨蒸汽帶入的及經不嚴密之處漏入的空氣，裝設有與空氣泵相連接的管道 5。

水箱內進出水的情況與凝汽器的結構，特別是與水在凝汽器內從進口到出口所走路程上的回路數目有關。

爲了保證在運行中清洗凝汽器而不停下汽輪機，凝汽器在冷却水側分成兩半，每一部分均有獨立的進水和出水；並且兩水箱也用垂直的間壁各隔爲兩部分。圖 2 同時表示雙回路凝汽器的間隔設備。冷却水從一個管道流入前面水箱 6a 的 I 區，順着左下部的水管進入後面水箱 6b，再從左上部的水管經水箱 6a 處的 III 區而出。凝汽器右半邊被引往第二條管道的水所走的路徑和左邊相同（經過第 II 及 IV 區）。

雙回路凝汽器的應用最爲廣泛。一回路和三回路凝汽器應用較少。

在一回路的凝汽器中，水由前面的水箱從管群內流過經後面水箱到排出管中。在三回路的凝汽器中，水沿着凝汽器本體的長度來回三次，這兩種情況，水都是由凝汽器的一端流入而從另一端流出。

當有選擇凝汽器構造的可能時，其回路數應依可獲得之水量、供水的遠近及水昇的高度等來決定。

在水量的大小不受限制，及供水距離短，水昇不高時，最好採用一回路凝汽器。在相反的情況下，應採用多回路凝汽器。

低壓部分蒸汽爲兩面分流式的大型汽輪機，每一台機器須備有兩台凝汽器。

表 3 是蘇聯出品的凝汽器所具有的基本特性。

3. 供給凝汽器的冷却水流量

供給凝汽器的冷却水（循環水）流量，可由熱平衡公式來確定：

$$Q\Delta t = D_k(i_k - t_k), \quad (5)$$

式中 Q ——循環水流量，噸/小時；

Δt ——經過凝汽器後冷却水溫度的昇高 $^{\circ}\text{C}$ ；

汽輪機凝汽器的特性

表 3

凝汽器型式	汽輪機型式	冷却面積 平方公尺	管 子			凝汽器無水 時之重量 噸	回路數	凝 汽 器 水 阻	
			數	直徑 公厘	長度 公厘			流量*立方 公尺/小時	水頭損失 公尺水柱
小 型 汽 輪 機 用 的 凝 汽 器									
OK-30	OK-30	343	1730	17/19	3560	8.9	3	1080/1200	4.5/5.8
C-26	CR-26	243	1400	17/19	3100	7.2	2	1350	4.8
C-20	CR-20	176	1020	17/19	3100	6.6	2	800	4.8
TH-65	TH-65	840	3600	17/19	4160	22.6	3	2400	3.8
用於容量為 25 (400) 瓩中壓汽輪機的兩面分流式凝汽器									
24-K-1	AK-25-1	1900	4600	22/24	5564	75	2	5000	3.1
24-K-2		1900	4600	22/24	5564	75	2	5000	3.1
24-K-2		1750	4150	22/24	5564	65	2	5000	3.9
24-K-3		1900	4600	22/24	5564	65	2	5000	3.1
24-K-3		1750	4150	22/24	5564	65	2	5000	3.9
24-K-4		1590	5690	17/19	4770	47	2	5000	4.7
24-K-5	AT-25-1	1590	5690	17/19	4770	30	2	5000	4.7
24-K-6		1590	5690	17/19	4770	53	2	5000	4.7
25-K-1		1260	4236	17/19	5070	37	2	5000	9.4
25-K-2		1250	4182	17/19	5070	23	2	5000	9.4
25-K-3		1350	4640	17/19	5070	28	2	5000	8.0
25-K-4		1480	4850	17/19	5170	43.5	2	5000	6.9
25-K-5	AK-25-2	1390	3610	22/24	5170	43.5	2	5000	3.6
25-K-6		1480	4850	17/19	5170	35.5	2	5000	6.9

25-K-7	AT-25-1	2150	6000	17/19	6075	54.5	2	5000	4.7
25-K-8	AT-25-1	2150	6000	17/19	6075	44.6	2	5000	4.7
25-K-9	AK-25-1	1950	4300	22/24	6080	54.5	2	5000	3.0
25-K-10	AK-25-1	1950	4300	22/24	6080	44.6	2	5000	—
用於容量為 50 000 瓩中壓汽輪機的兩面分流式凝汽器									
50-K-1	AK-50-1	3120	6200	23/25	6470	140	2	11 000	6.0
50-K-2	AK-50-1	3120	6200	23/25	6470	151	2	11 000	6.0
50-K-3	AK-50-1	3120	6200	23/25	6470	85	2	11 000	6.0
50-K-4	AT-50-1	3600	8150	17/19	7490	82	1	11 000	3.4
50-K-5	AK-50-2	3400	6200	23/25	7490	81	2	11 000	6.6
50-K-6	BT-50-1	5520	6518	23/25	6480	88	2	11 000	4.9
50-K-7	AK-50-1	3400	6200	23/25	7090	64	2	11 000	6.6
50-K-8	AK-50-1	3400	6200	23/25	7090	66	2	11 000	6.6
用於容量為 100 000 瓩列寧格勒斯大林金屬工廠(JIM3)中壓汽輪機的凝汽器 (每一台汽輪機有兩台凝汽器)									
100-K-1	AK-100-1	2×3600	2×8150	17/19	7490	2×80	1	2×13 000	3.4
高壓汽輪機用的凝汽器									
25-KUC-4	BT-25-4	2000	4420	22/24	6000	—	2	4500	2.25
25-KUC-5	BT-25-5	1750	3880	22/24	6060	31.7	2	4500	2.85
50-KUC-1	BK-50-1	3400	6200	23/25	7000	63	2	8000	3.5
50-KUC-2	BK-50-1	3000	5450	23/25	7000	—	2	8000	6.6
2×100-KUC-1	BK-100-2	2×2800	2×6350	17/19	7400	—	1	2×13000	4.2
									5.1

* 依據該廠個別特性來確定。

D_K ——冷凝蒸汽流量，噸/小時；

i_K ——進入凝汽器時的蒸汽含熱量，大卡/公斤；

t_K ——凝結水含熱量（溫度），即從凝汽器送至鍋爐重新利用的凝結水的含熱量，大卡/公斤；

$i_K - t_K$ ——蒸汽交給循環水的熱量，大卡/公斤。

冷却水流量與冷凝蒸汽流量的重量比，稱為冷却倍數，通常用 m 來表示：

$$m = \frac{Q}{D_K} = \frac{i_K - t_K}{\Delta t} \text{ 公斤水/公斤汽。} \quad (6)$$

在多回路凝汽器中的 m 值約為 50~70，單回路凝汽器的 m 值約為 100~110。

研究一定大小及構造的凝汽器的可能工作條件，係根據其特性曲線來進行。

通常製造廠家的凝汽器特性曲線，為在一定冷却水量但在不同的水溫下，凝汽器內的真空或絕對壓力與流入凝汽器蒸汽量的曲線關係。

圖 3 表示 50 000 瓩汽輪機凝汽器當冷却水量為 11 000 噸/小時的典型特性曲線，凝汽器水側的冷却面積 $F_{\text{вод}} = 3270$ 平方公尺，蒸汽側的冷却面積 $F_{\text{пар}} = 3550$ 平方公尺。

曲線給出了絕對壓力 p_K 與單位蒸汽負荷 $\frac{D_K}{F_{\text{вод}}}$ （即凝汽器每一單位面積所冷凝的蒸汽量），當水溫從 1 到 30°C 時的關係。

有了這類座標圖組，可以得到最便於解決供水問題的凝汽器的特性曲線，即（1）當凝汽器的蒸汽負荷為一定時，凝汽器內真空或絕對壓力與不同溫度下的冷却水量的關係；（2）凝汽器內真空或絕對壓力與冷却倍數的關係（圖 4）。這些曲線對進行技術經濟的計算更加便利了。

知道了流入凝汽器的蒸汽量（ D_K ），冷却水量（ Q ），以及一年內不同季節時的水溫（ t_1 ），即可求出凝汽器內的絕對壓力或真空。

根據真空可以得到在不同的水量及水溫下的電能生產不足的相對