

中央人民政府高等教育部介紹

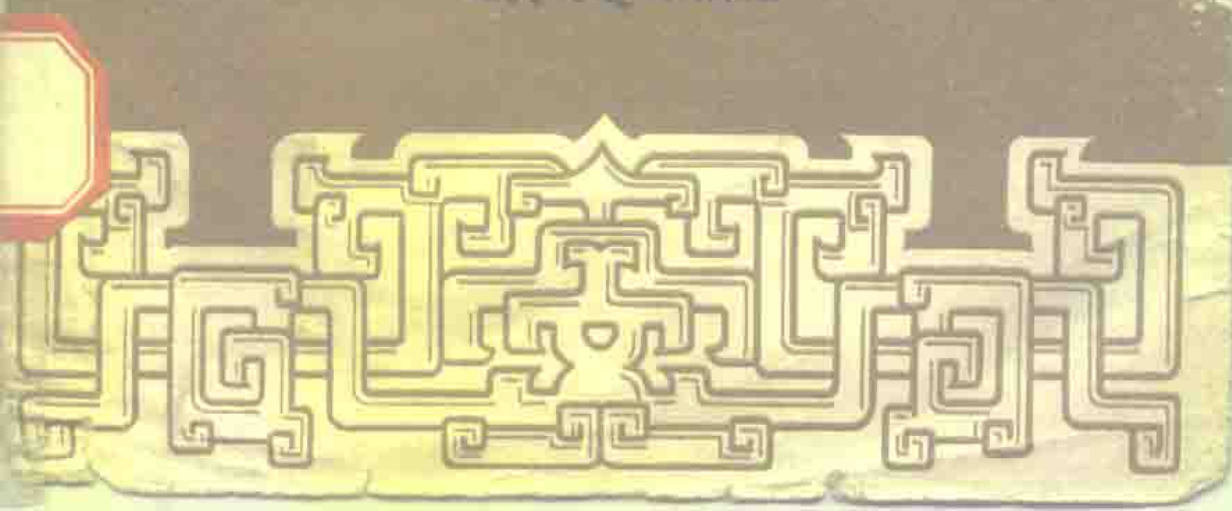
高等學校教材試用本

船用熱交換器計算

A. C. 英國柯天福

協教田 等譯

人民交通出版社



船用熱交換器計算

A. C. 茨岡柯夫著
初 秋 田 等 譯

人民交通出版社

船用熱交換器計算

原 著 者 蘇 聯 茨 岡 柯 夫

翻 譯 者 初 秋 田 等

出 版 者 人 民 交 通 出 版 社
(北京北兵馬司一號)

發 行 者 新 華 書 店

全書214×1085=232,190字

1954年5月初版 印數1—3500冊(1)

定價14,000元

內 容 提 要

本書係根據蘇聯船舶製造出版社(Государственное издательство судостроительной литературы)出版的茨岡柯夫(А. С. Цыганков)著「船用熱交換器計算」(Расчеты судовых теплообменных аппаратов)1948年列寧格勒版譯出。

本書總結了在實際操作中所積累起來的有系統的計算資料，這些資料，能使技術人員(計算員和熱工設計師)花費極少的時間進行完美正確的計算；也可以作為造船專科學校和中等技術學校的教材。

參加本書翻譯工作的為大連工學院龍期偉、周懷忠、初秋田、李克永、袁懋林、陳未遠、孫得成、馬希援、朱文倩、于明義、崔秀毓、牟邦立、金巨年、武繼榮(以譯頁多少為序)等十四人。譯稿曾經袁宗虞、陳甘棠先生審閱，並有一部分由高崑玉同志校閱。

目 錄

序 言	1
基本因數的符號	3
因次的簡化符號	4
第一章 熱的計算	
§1. 壓力與真空	5
2. 溫度與溫度差	9
3. 容積	20
4. 熱容量	22
5. 導熱性	24
6. 黏度	26
7. 速度	29
8. 流量與數量	34
9. 傳熱係數與給熱係數	41
10. 熱負荷與熱應力	63
11. 若干構造因素的計算法	66
第二章 阻力計算	
§12. 器械中的壓力損失	71
13. 摩擦阻力係數	77
14. 局部阻力係數	81
15. 流出係數	93
第三章 材料及其許用應力之選擇	
§16. 鋼	97
17. 有色合金及有色金屬	103
18. 鑄鐵鑄件	105
19. 塾料（塾緊材料）	106

20. 保溫材料	108
----------------	-----

第四章 强度計算

§21. 圓筒的計算	110
22. 凸形頂蓋和底的計算	115
23. 平面器壁，平面頂及平底的計算	120
24. 銅和黃銅容器壁的計算	124
25. 鑄鐵容器壁的計算	126
26. 矩形容器壁及其加強的計算	128
27. 開口的加強計算	129
28. 管板的計算	130
29. 法蘭的計算	135
30. 器械伸縮裝置的計算	137
31. 透鏡形伸縮節的計算	139
32. 管子的計算	142
33. 螺釘和雙頭螺釘的計算	145
34. 鉚接縫的計算	149

第五章 附錄

I. $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 間的乾燥飽和蒸汽	152
I. 飽和蒸汽	155
II. 過熱蒸汽	161
IV. 水蒸汽的物理常數	165
V. 在壓力 $P=1 \text{ кг. см}^2$ 時乾燥空氣的物理常數	167
VI. 石油類物理常數	168
VII. 水的物理常數	169
VIII. 海水物理常數	170
IX. 自然循環管式海船的補給，添加，鍋爐水的組成（質量）標準	171
X. 英制公制單位換算	172
XI. 船的热交換器設計與製造時應用到的主要規格一覽表	175
XII. 最典型的热交換器熱量計算	179
俄中文字詞對照表	211

參考文獻	210
------------	-----

序 言

約在 200 年前 (1763 年)，俄國偉大的發明家 И. И. 波爾卓諾夫在造成了第一台工業蒸汽機後 (在瓦特蒸汽機出現前 20 年)，首先提議以熱水供給蒸汽鍋爐。這是第一次實際運用熱交換器作輔助設備，此後在動力設備的各個部門中，尤其在商船和軍艦上就開始廣泛採用熱交換器了。

雖然熱交換器祇用來保證機器能正常工作，提高設備的經濟性，但無論船上的動力設備是如何簡單，如沒有熱交換器，那還是不可想像的。

然而在技術參考書中還沒有一本有系統地說明船用熱交換器計算問題的書。出版本書的目的就是想供給設計工作人員們一本符合現代技術知識水平的參考書，能以極少的時間從事完美、正確的計算。

工程師 А. С. 茨岡柯夫的著作總結了在實際操作過程中所積累起來的計算資料。本書將彌補技術叢書中存在的缺陷——缺少一本有關船上設備的參考書，而船上設備却有着許多與其他固定裝置不相同的特點。

船用熱交換器一般係指藉助於蒸汽、氣體和液體的壓力而工作的器械和容器。它們保障熱從一個物體傳至另一個物體，供機器裝置和鍋爐裝置之用。

本書沒有涉及理論計算，大部分是實際材料。是一本參考性質的書籍，內容系統地分為五章：

第一章——「熱的計算」 本章包括了計算時必需的公式、圖表和其他計算材料。藉助於它們可以計算出熱交換器的各種性能。此外，還有一些常用的和我們推薦大家使用的基本因素的原始數據，同時還有一些輔助圖表，但圖表中未列入不必要的統計，有時甚至一些圖解也都刪去了。

第二章——「阻力計算」 說明了計算熱交換器中各種阻力損失係數的方法。同時，還包括實際使用時所需的輔助圖表和略圖說明。

第三章——「材料及其許用應力之選擇」 包括製造熱交換器的零件時所用主要材料一覽表，材料的商標、特性和主要的使用方法及有關各種材料的機械特性，許用應力與溫度、負荷和其他影響，選擇許用應力的因素的關係圖表和資料。

第四章——「強度計算」 包括計算熱交換器各種零件的強度時所必需的

重要的公式，圖表和其他計算材料。並簡要地指出了應如何挑選常用的和我們推薦大家使用的計算因素數據和構造零件。

第五章——〔附錄〕 補充了在計算時所必需的輔助資料。

本書供技術人員（計算員和熱工設計師），特別是重新回到設計局和工廠工作的專家們做參考。同時也可作為造船專科學校和中等技術學校學生的參考書。

船舶製造出版社出版了工程師 A.C.茨岡柯夫的著作〔船用熱交換器計算〕，希望能以此彌補過去在技術叢書中存在的缺陷，並首先在這裏向那些對本書出版提出要求和希望的專家們致謝。

A. Д. 契爾諾夫 (Чернов)

基本因數的符號

因 素 名 稱	符 號	因 素 名 稱	符 號
長度 Длина.....	l	絕對黏度係數 Коэффициент аб- солютной вязкости	μ
寬度 Ширина	b	動力黏度係數 Коэффициент ки- нематической вязкости	ν
高度, 深度 Высота, глубина	h	雷諾準數 Критерий Рейнольдса	Re
直徑 Диаметр.....	d	波蘭特準數 Критерий Прандтля	Pr
半徑 Радиус.....	r	畢克利準數 Критерий Пекле	Pe
面積 Площадь.....	F	集中心力 Сосредоточенная сила...	P, F
表面積 Поверхность	S	勻佈載荷 Нагрузка равномерно распределенная	q
體積 Объем.....	V	臨界力 Критическая сила.....	$P_{кр}$
重量 Вес	G	絕對伸長 Удлинение абсолют- ное.....	Δl
重度 Удельный вес.....	γ	相對伸長 Удлинение относи- тельное.....	δ
比容 Удельный объем.....	v	斷面壓縮比 Поперечное сжатие относительное.....	ψ
質量 Масса	m	撓度 Прогиб	f
密度 Плотность.....	ρ	扭轉角 Угол поворота.....	α
鹽度 Соленость	s	慣性半徑 Радиус инерции.....	i
時間 Время.....	t	慣性矩 Момент инерции	I
速度 Скорость	v, w, u, c	極 慣 性 矩 Полярный момент инерции	I_0
重力 加速度 Ускорение силы тяжести	g	抵抗矩 Момент сопротивления	W
流量 Расход.....	G, Q	彈性模數 Модуль упругости	E
溫度 Температура.....	t	剪力模數 Модуль сдвига.....	G
絕對溫度 Абсолютная темпера- тура	T	泊松比 Коэффициент Пуассона...	μ
溫度差 Разность температур....	Δt	強度限 Предел прочности.....	σ_b
蒸汽熱含量 Теплосодержание пара	i	屈伏限 Предел текучести.....	σ_s
液體熱含量 Теплосодержание жидкости	q	彈性限 Предел упругости.....	σ_e
氣化熱 Теплота парообразова- ния.....	r	比例極限 Предел пропорцио- нальности	σ_p
蒸汽的乾度 Степень сухости пара	x	硬度 Твердость	H
熱容量 Теплоемкость	c	許用拉應力 Допускаемое на- пряжениe на растяжение.....	R_x
導熱性 Теплопроводность.....	λ	許用壓縮應力 Допускаемое на- пряжениe на сжатие	R_z
溫度傳導係數 Коэффициент тем- пературо-проводности	a	許用彎曲應力 Допускаемое на- пряжениe на изгиб	R_b
線膨脹係數 Коэффициент линей- ного расширения	α	許用剪應力 Допускаемое на- пряжениe на срез	R_{cp}
氣體常數 Газовая постоянная....	R	許用壓碎應力 Допускаемое на- пряжениe на смятие.....	R_{cm}
給熱係數 Коэффициент теплоот- дачи	α	安全係數 Запас прочности.....	k
熱量 Количество тепла	Q	壁的厚度 Толщина стенки.....	s
熱損失係數 Коэффициент потери тепла.....	η	腐蝕裕度, Прибавка на кор- розию, овальность и пр.	C
冷卻比 Кратность охлаждения....	m	鐸 縫 強度 係 數 Коэффициент прочности шва	φ
壓力 Давление	P	管數或螺釘數 Количество труб, болтов	z
抽空度 Разрежение	P_h	管間距, 螺釘間距, 鐸釘間距 Шаг трубок, болтов, заклепок	t
壓頭 (壓力差) Напор.....	H	振動頻率 Частота колебаний....	n
壓力損失 Потеря давления....	ΔP	管板的填充係數 Коэффициент за- полнения трубной доски.....	$\eta_{тр}$
壓頭損失 Потеря напора.....	h		
水力半徑 Гидравлический диа- метр	d_h		
摩擦係數 Коэффициент трения....	f		
局部阻力係數 Коэффициент ме- стного сопротивления.....	ζ		
速度係數 Коэффициент скорости	φ		
壓縮係數 Коэффициент сжатия....	ε		
流出係數 Коэффициент расхода....	μ		

因 次 的 簡 化 符 號

大多數物理量的因次有着它特有的符號，這些符號簡化的表示了被研究的物理量之單位與長度，重量（力），時間之間存在着什麼關係。

因 次 的 名 稱	符 號	因 次 的 名 稱	符 號
噸 Тонна	m	每平方米每小時的仟克數 Килограммы на метр квадратный час	$kg/m^2 \text{ час}$
仟克 Килограмм	kg	每平方米的仟克秒 Кило- граммы секунда на метр квадратный	$kg \text{ сек.}/m^2$
克 Грамм	g	仟克-秒/(米) ² Килограм- мы в секундах на метр в 4-й степени	$kg \text{ сек.}/m^4$
毫克 Миллиграмм	mg	每立升的毫克數 Милли- граммы на литр	mg/l
米 Метр	m	每秒米 Метры в секунду	$m/\text{сек.}$
厘米 Сантиметр	cm	每秒每秒米數 Метры в се- кунду квадрат	$m/\text{сек}^2$
毫米 Миллиметр	mm	每秒平方米 Метры квад- ратные в секунду	$m^2/\text{сек.}$
分 Минута	$min.$	每小時平方米 Метры квад- ратные в час	$m^2/\text{час}$
秒 Секунда	$сек.$	每小時每度(°C)的平方米數 Метры квадратные на час градус	$m^2/\text{час}^\circ C$
攝氏溫度 Градус Цельсия	$^\circ C$	每仟克的立方米數 Метры кубические на килограмм	m^3/kg
絕對溫度 Градус абсолют- ный	$^\circ K$	每小時每立方米的立方米數 Метры кубические на метр кубический час	$m^3/m^3 \text{ час}$
安格拉度 Градус Энглера	$^\circ E$	每小時的仟卡數 Килокало- рии в час	$kcal/\text{час}$
布蘭特度 Градус Бранита	$^\circ B$	每仟克的仟卡數 Килокало- рии на килограмм	$kcal/kg$
百分比 Процент	$\%$	每仟克每度(°C)仟卡數 Ки- локалории на килограмм градус	$kcal/kg^\circ C$
仟卡 Килокалория	$kcal$	每小時每度(°C)每米的仟卡 數 Килокалории на метр час градус	$kcal/m \text{ час}^\circ C$
絕對大氣壓 Атмосфера аб- солютная	$атм$	每平方米每小時每度的仟卡 數 Килокалории на метр квадратный час градус	$kcal/m^2 \text{ час}^\circ C$
表壓(大氣壓) Атмосфера избыточная	$атм$		
平方米 Метр квадратный	m^2		
立方米 Метр кубический	m^3		
米(水柱高) Метр вода- ного столба	$m \text{ вод. ст.}$		
米(水銀柱高)(汞柱) Метр ртутного столба	$m \text{ рт. ст.}$		
立升 Литр	l		
仟克米 Килограммометр	kgm		
每小時公斤數 Килограммы в час	$kg/\text{час}$		
每平方米仟克數 Килограм- мы на метр квадратный	kg/m^2		
每平方厘米的仟克數 Кило- граммы на сантиметр квадратный	kg/cm^2		
每平方毫米的仟克數 Кило- граммы на миллиметр квадратный	kg/mm^2		
每立方米的仟克數 Кило- граммы на метр куб- ический	kg/m^3		

第一章

熱的計算

§1 壓力與真空

壓力係指作用於單位面積上之力。壓力在工程上的單位，稱作工程大氣壓——相當於 1kg 之力作用於 1cm^2 上。

真空係指外界的大氣壓力與在該處測量所得的絕對壓力之差數；而表壓是絕對壓力與大氣壓之差數。

壓力通常以 kg/cm^2 表示；絕對壓力以（絕對大氣壓）表示，但真空以汞柱或水柱高的毫米表示，也可用百分率表示。

標準大氣壓：

$$B = 760\text{mm} \text{ [汞柱]}。$$

工程大氣壓：

$$P = 1 \text{ [大氣壓]} = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 735.6\text{mm} \text{ [汞柱]} \text{ 在 } 0^\circ\text{C} \\ (= 737.4\text{mm} \text{ 汞柱在 } 15^\circ\text{C}) \approx 10\text{m} \text{ [水柱]} \text{ 在 } 4^\circ\text{C}。$$

絕對壓力或實際壓力：

$$\left. \begin{aligned} P_a &= P_b + P, \\ P_a &= P_b - P_h, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

式中 P_b —— 大氣壓；

P —— 表壓（氣壓計的讀數）；

P_h —— 真空度（真空計的讀數）。

液體中任一點的壓力：

$$P = P_0 + \gamma z, \text{ kg}/\text{m}^2, \dots\dots\dots (2)$$

式中 P_0 —— 液體表面上的壓力， kg/m^2 ；

z —— 該點與液面之距離， m ；

γ —— 液體比重， kg/m^3 。

液體作用於垂直平壁上的總壓力：

$$P = (P_0 + \gamma z_{\text{CT}}) F, \text{ kg}/\text{m}^2, \dots\dots\dots (3)$$

式中 z_{CT} —— 壁的幾何中心下沉的深度， m ；

F —— 壁的面積, M^2 。

液體作用於斜壁上的總壓力:

$$P = (P_0 + \gamma z_{CT}) F \cos \alpha, \text{KL/M}^2, \dots \dots \dots (4)$$

式中 α —— 作用力與器壁的法線所成的角度。

附註: 在決定曲面壁上的壓力時, 則公式(4)中 F 為曲面壁在與力作用相垂直的方向的投影面積。

蒸汽(пар)或氣體(газ)壓力(特性方程式):

$$P = \frac{RT}{v}, \text{KL/M}^2, \dots \dots \dots (5)$$

式中 $T = 273 + t^\circ\text{C}$ —— 絕對溫度, ($^\circ\text{K}$);

v —— 比容, M^3/KL ;

R —— 氣體常數, $\text{KL}\cdot\text{M}/\text{KL}^\circ\text{C}$:

飽和水蒸汽 $R = 46.95$,

空氣 $R = 29.27$ 。

在冷凝器中的絕對壓力 可以用下列公式表示:

$$\left. \begin{aligned} P_K &= b - h, \text{MM [汞柱]}, \\ P_K &= \frac{b - h}{735.6}, \text{ [絕對大氣壓]}, \\ P_v &= \left(1 - \frac{P_h}{100}\right) 735.6 \text{ MM [汞柱]}. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

式中 b —— 氣壓計的讀數, MM ;

h —— 真空計的讀數, MM ;

P_h —— 冷凝器中的真空度, %。

冷凝器中的真空度:

$$P_h = \frac{735.6 - P_v}{735.6} \times 100\%, \dots \dots \dots (7)$$

式中 P_v —— 與(6)式中同。

附註: 用幾種不同溫度的冷却水在冷凝器中一般所能得到的真空度。

$t_1, ^\circ\text{C}$	10~15	20~25	50
$P_h, \%$	95~96	93~94	90

冷凝器內混合氣體的壓力：

$$P_{\text{混合}} = P_{\text{H}} + P_{\text{B}}, \text{ MM [汞柱]}, \dots\dots\dots (8)$$

式中 P_{H} ——蒸汽分壓, MM [汞柱];

P_{B} ——空氣分壓, MM [汞柱]。

附註：蒸汽空氣混合氣中，蒸汽的分壓可按水蒸汽和混合氣溫度的關係表查得。

蒸汽空氣混合氣的蒸汽分壓：

$$P_{\text{H}} = \frac{P_{\text{CM}}}{1 + 0.625 \frac{G}{D}}, \text{ MM [汞柱]}, \dots\dots\dots (9)$$

式中 P_{CM} ——冷凝器內混合氣總壓, MM [汞柱];

G ——空氣量, $\text{kg}/\text{小時}$;

D ——進入冷凝器的蒸汽量, $\text{kg}/\text{小時}$ 。

蒸汽臨界壓力（絕對大氣壓）：

$$\left. \begin{array}{l} \text{飽和蒸汽 } P_{\text{臨界}} = 0.577 P_0 \\ \text{過熱蒸汽 } P_{\text{臨界}} = 0.574 P_0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

式中 P_0 ——蒸汽最初壓力 [絕對大氣壓]。

水蒸汽的壓力——見附錄 I~IV。

計算壓力的選擇

冷凝器，油冷却器，凝液冷却器，以及其他類似設備的泵接頭內冷却水的壓力和在蒸發器的預熱器內，被預熱的輸外給水的壓力，是根據所需克服的管系的壓力降和安置在管系內的管件和裝置的壓力降，以及最後的反壓力等條件而決定的。

一般水的計算壓力是：

1) 對於冷凝器和油冷却器來說

$$P = 8 \sim 25 \text{ MM [水柱]},$$

2) 對於蒸發器來說

$$P = 15 \sim 40 \text{ MM [水柱]}。$$

I 級給水預熱器的加熱蒸汽的壓力 一般是接近於：

$$P = 1.5 \sim 2.5 \text{ [絕對大氣壓]}。$$

因為在預熱器內水的預熱，主要是利用自機械鍋爐設備的輔助機構所來

的廢蒸汽。

I級或II級給水預熱器的加熱蒸汽的壓力，是5〔絕對大氣壓〕或大於5〔絕對大氣壓〕，爲了這一目的，要利用反壓力已增加的輔助機械或主要汽輪機的廢汽。

在石油預熱器內加熱蒸汽的壓力 一般高於石油的壓力3~5〔絕對大氣壓〕。在大多數的情況下是在這樣一個範圍內：

$$P=20\sim 25\text{〔絕對大氣壓〕}。$$

對於某些類型噴霧器，石油壓力可以達到40〔大氣壓〕。在這種情況下，最好是應用高參數蒸汽工作的分段石油預熱器；在石油壓力高過普通蒸汽時也要用這種分段石油預熱器。

蒸發器內加熱蒸汽（一級蒸汽）的壓力 建議採用：

1）對真空蒸發器來說（一般以來自輔助機械的廢汽作爲加熱蒸汽），用

$$P=1.5\sim 2.5\text{〔絕對大氣壓〕}；$$

2）對操作在一大氣壓以上的蒸發器來說（同樣採用廢汽，或採用擴散的新蒸汽），用

$$P=3\sim 5\text{〔絕對大氣壓〕}。$$

在污垢的蛇管加熱器內，爲了保持生產效率，加熱蒸汽的壓力可增加至

$$P=8\text{〔絕對大氣壓〕}。$$

一級蒸發器內二次蒸汽的壓力(P_2)照例採用：

1）對於真空蒸發器 0.5~0.8〔絕對大氣壓〕；

2）對於真空“循環”蒸發器 0.3~0.7〔絕對大氣壓〕；

3）對於二級真空蒸發器 0.6~0.8〔絕對大氣壓〕在第I級；

$$0.2\sim 0.4\text{〔絕對大氣壓〕在第II級；}$$

4）對於常壓，或一大氣壓以上的蒸發器 1.0~2.0〔絕對大氣壓〕。

對於常壓或真空去氣器，加熱蒸汽（一般用廢汽）的壓力爲：

$$P=1.2\sim 2.0\text{〔絕對大氣壓〕}。$$

去氣器殼內操作壓力爲：

1）真空去氣器 0.1或0.1 以上〔絕對大氣壓〕；

2）常壓去氣器 1.1~1.4〔絕對大氣壓〕。

蒸汽空氣噴射器內操作蒸汽壓力一般爲：

$$P\geq 10\text{〔絕對大氣壓〕}。$$

冷凝器內真空度 決定於一系列的因素（其中最主要的是溫度和冷卻水量）一般是處在以下的範圍內：

1) 船舶渦輪裝置：

從 $P_h = 95\%$ 在 $t_1 = 15^\circ\text{C}$ 時

到 $P_h = 90\%$ 在 $t_1 = 30^\circ\text{C}$ 時；

2) 固定裝置：

$P_h = 96 \sim 97.5\%$ 在 $t_1 = 10 \sim 15^\circ\text{C}$ 時

或者當用無限制的河水冷卻時；

3) 蒸汽機的真空度主要是受汽缸尺寸 $H\Delta$ 的限制，一般在下列範圍內：

$P_h = 85 \sim 87\%$ 。

冷凝器內抽空空氣處附近的絕對壓力應不小於 25 mm [汞柱] 以避免排除空氣設備內能量的過度耗損和增加設備的尺寸：

$$P_v = P_v - \Delta P > 25\text{ mm (汞柱)},$$

式中 P_v —— 冷凝器內絕對壓力， mm [汞柱]；

ΔP —— 冷凝器內蒸汽阻力， mm [汞柱]。

§2 溫度與溫度差

術語“溫度”是標誌着以國際溫標來測量一物體熱的程度。在國際溫標中，以在標準壓力下水的熔點作為 0°C 而水的沸點作為 100°C 。國際溫標以 $^\circ\text{C}$ 表示之。

從絕對零度開始計算的溫度叫絕對零度，以 $^\circ\text{K}$ 表示之。

絕對溫度：

$$T = 273 + t, ^\circ\text{K}, \dots\dots\dots (11)$$

式中 t —— 溫度， $^\circ\text{C}$ 。

帶熱體的平均溫度：

$$t_{\text{平均}} = \frac{t_1 + t_2}{2}, ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (12)$$

式中 t_1 —— 帶熱體的最初溫度， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 —— 帶熱體的最後溫度， $^\circ\text{C}$ 。

混合物平均溫度：

$$t_{\text{混合}} = \frac{G_1 c_1 t_1 + G_2 c_2 t_2 + \dots}{G_1 c_1 + G_2 c_2 + \dots}, ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (13)$$

式中 G_1, G_2 —— 混合物各組成部分的重量, kg ;

c_1, c_2 —— 各組成部分的平均熱容量, $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$;

t_1, t_2 —— 各組成部分的溫度, $^\circ\text{C}$ 。

二帶熱體的間壁的平均溫度:

$$t_{\text{CT}}^{\text{cp(平均)}} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_1 + t_2}{2} + \frac{t'_1 + t'_2}{2} \right), ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (14)$$

式中 t_1, t'_1 —— 帶熱體的最初溫度, $^\circ\text{C}$;

t_2, t'_2 —— 帶熱體的最後溫度, $^\circ\text{C}$ 。

壁表面的平均溫度:

$$t_T \approx \frac{1}{2} (t_{\text{cp}} + t_{\text{CT}}), ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (15)$$

式中 t_{cp} —— 帶熱體的平均溫度, $^\circ\text{C}$;

t_{CT} —— 壁的平均溫度, $^\circ\text{C}$ 。

附註: 當帶熱體的溫度差不大時, 壁表面溫度的近似值可利用公式(14), (15)計算。

單層壁表面的溫度:

1) 內壁表面的溫度:

$$t_{\text{CT1}} = \frac{a_1 t_1 + A t_2}{a_1 + A}, ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (16)$$

$$t_{\text{CT1}} = t_{\text{CT2}} + q \frac{s}{\lambda}, ^\circ\text{C}; \dots\dots\dots (17)$$

2) 外壁表面的溫度:

$$t_{\text{CT2}} = \frac{t_1 + t_2 a_2 B}{1 + a_2 B}, ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (18)$$

$$t_{\text{CT2}} = t_{\text{CT1}} - q \frac{s}{\lambda}, ^\circ\text{C}, \dots\dots\dots (19)$$

式中 t_1 —— 壁內流體溫度, $^\circ\text{C}$;

t_2 —— 壁外流體溫度, $^\circ\text{C}$;

a_1 —— 壁內流體的給熱係數, $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}$;

a_2 —— 壁外流體的給熱係數, $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}$;

q —— 1m^2 壁面所傳遞的熱量, $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{小時}$;

s —— 壁厚, m ;

λ —— 壁的導熱係數, $\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}$;

$$A = \frac{1}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad B = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda}.$$

圖解法決定器壁表面上的溫度

器壁表面溫度 t_{cr1} 和 t_{cr2} 可用下面圖解法求得 (圖 1)。

在 x 軸上取長 $\frac{s}{\lambda}$ 再在 $\frac{s}{\lambda}$ 兩端點兩個方向各取長等於 $\frac{1}{\alpha_1}$ 和 $\frac{1}{\alpha_2}$ ，並在此兩點向上作垂直線。

在距離 x 軸 t_1 及 t_2 處作平行於 x 軸之溫度線，與垂直線相交於 a, b 兩點。以直線連接此兩點，則與器壁相交於 c 及 d ，未知之溫度 t_{cr1} 及 t_{cr2} 即可求得。

平均溫度：

$$t_r = 0.9 t_{cp} + 0.1 t_{cr}, \quad ^\circ\text{C}, \quad \dots\dots (20)$$

式中 t_{cp} ——帶熱體的平均溫度， $^\circ\text{C}$ ；

t_{cr} ——器壁之平均溫度， $^\circ\text{C}$ 。

界層之平均溫度：

$$t_{rp} = 0.5 (t_{cp} + t_{cr}), \quad ^\circ\text{C}, \quad \dots\dots (21)$$

式中 t_{cp} ——流體之平均溫度， $^\circ\text{C}$ ；

t_{cr} ——器壁溫度， $^\circ\text{C}$ ，由式 (16) ~ (19) 求得或用圖解法求得。

附註：公式 (14) ~ (21) 用來求物理參數 (常數)，這些參數是爲了熱交換和流體阻力公式用的。

爲了計算熱流的影響，各個作者根據實驗得出熱交換與液體阻力的計算公式採用不同的計算溫度的方法。其中之一是採用器壁溫度 (t_{cr}) 作爲計算溫度，由式 (16) ~ (19) 算出；其次採用流體平均溫度 (t_{cp})，由 (12) 式算出；再次採用互相結合的辦法；而多數的作者，用界層之平均溫度，或是液膜平均溫度 (t_{rp})，由 (31) 式算出。最後一個辦法是被廣泛採用的。

在計算熱交換與流體阻力而利用某些算式時，必須要知道該式中所採用的溫度的取法。

兩層器壁的表面溫度 (圖 2)：

1) 第一層器壁外表面的溫度：

$$t_{cr1} = \frac{\left(\alpha_1 c + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} D\right) t_1 + D t_2}{\alpha_1 c + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} D + D}, \quad ^\circ\text{C}; \quad \dots\dots (22)$$

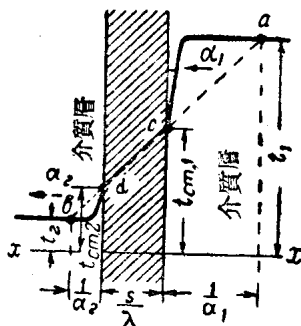


圖 1. 器壁表面溫度的決定