

蒸汽鍋爐的熱工計算手冊

唐子青 譯
徐世鈺 校
大東書局出版

蒸 汽 鍋 爐
的
熱 工 計 算 手 冊

唐 子 青 譯
銍 校

江苏工业学院图书馆
藏书章

大 東 書 局 出 版

原書名：Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und
Dampfkessel-Anlagen

原作者：Friedrich Nuber

原出版者：R. Oldenbourg München-Berlin

一九五二年12月再版

蒸汽鍋爐的熱工計算手冊

定價人民幣：18000元

版權所有

不准翻印

譯者 唐子青

校閱者 徐世銓

出版發行者 大東書局

上海福州路310號

印刷者 洪興印刷所

山海關路406弄



書號：5067(2001—4000)

原著第九版序言

本書初版在1921年出版，綜合報導當時本門實際的材料，接着很快地出版了適應進展步驟的1923, 1925, 1927, 1928, 1933, 1937, 和1938諸版。由於這種迅速的再版，可知本書充填了久缺的空隙，因而獲得了廣大的讀者，目前的第九版想必亦能如此。

這裏再畧述過去各版序言的內容。本書供給最重要的基礎，公式和經驗數值等互相關聯的一個概要，以便計算燃燒設備，汽鍋，過熱器，預熱器等，和一切必需的簡短說明。剖視事物的核心而避免長篇大論，因為本書是一本手冊，一個隨時在預備着出力的助手。本門範圍內雖然很有許多詳盡的教本，但是缺少一本真正的手冊，來解除費時的翻讀。

對於設計工程師，管理工程師，熱能工程師和專科學生，除了有關的教本外，一本手冊始終有它的需要性。

本書的組成，要使計算者常能認清互相的關係。運用理解力而不作機械的計算。因此本書不採用多表格式的計算，來模糊對於計算過程的清晰認識。同樣亦不採用慣例公式，因為對於較新的情況，常常可能得到錯誤的數值。

本書主要的對象是實際工作者，并非作為初學的基本教程。所以本書開端簡短地複述一般的基本知識，作為以後要論述各

節的必要的準備。

接着說明所要發生的水蒸汽的性質和可以用來發生水蒸汽的熱能來源。

以後就說明燃燒現象和燃燒的計算，燃燒的生成物(熱氣)和因此造成的火室溫度的計算。

至此必然地討論熱能損失和效率，以便計算燃料的消耗量。再利用汽化試驗來總結以前諸節的計算，作一實際的複核。

本書第一部至此結束，成一獨立的整體；主要含有管理工作者所需要的一切。

但設計工作者此外還需用本書的第二部，即依次討論熱能的傳遞，熱面，爐柵面，汽道，煙肉，通風機和導管的計算。

第三部的“蒸汽動力的產生”，“熱能經濟的工作管理”和“鍋爐設備最近的進展”對於兩者均為重要。

最後附列許多有用的數值表，作為本書的第四部。

管理工作者和設計工作者，均能按照次序得到所需要的一切；對於專科學生，本手冊可以作為進入實際工作的指針，作為準繩來整理以前學得的常很豐富但也很零亂的知識！

對於科學修養較差的或門外人，本書可供入門之用，進而鼓勵學習詳盡的專門著作。

爲了要使本書不致篇幅過巨和計算太繁，一切可簡化的都加以簡化。雖然因此亦損害了計算的準確性，但所得的結果一般已夠滿意，因為熱能傳遞的全部計算還不能十分可靠，常須參照現有的經驗數值。

第九版各節一般均經審核，“一般的基本知識”，“水蒸汽”和“熱能的傳遞”又經改編。新添入的有“本身的動力消耗”，“熱能交換器”，“熱能的混和”和“蒸汽動力的產生”，（代替以前的“高壓蒸汽”）。飽和蒸汽表和過熱蒸汽表換用較新而經節畧的1937 VDI-水蒸汽表。“全部計算”內添加新例：礦場動力廠熱工計算的實例，附有蒸汽壓力16—80atü時的經濟性計算。最後增添四十幅圖的索引和名辭索引(*)。本版編纂仍按以前各版的準繩：刪去錯誤，補入遺漏，配合進展但不過量擴大和繁化材料，使易於入門和易於使用。

對於一切書面的或口頭的指教，這裏再度表示謝忱，特許工程師Walz先生辛勞的工作，尤為感謝。

Düsseldorf, 1941年1月

Friedrich Nuber VDI

*) 譯者已略去

目 錄

第一 部

1. 一般的基本知識.....	1
2. 水蒸汽.....	10
3. 熱能的來源.....	17
4. 燃燒.....	22
5. 熱氣.....	42
6. 燃燒溫度和火室溫度.....	49
7. 熱能損失和效率.....	58
8. 燃料用量和汽化係數.....	69
9. 汽化試驗和熱能平衡表.....	70

第二 部

10. 熱能的傳遞.....	74
11. 汽鍋熱面.....	94
12. 過熱器熱面.....	103
13. 後接熱面.....	109
14. 熱面的分配.....	120
15. 熱能交換器.....	125
16. 熱能的混和.....	128
17. 熱能貯存器.....	132

18. 爐柵面和火室的大小	135
19. 氣道	139
20. 煙肉	141
21. 吸風通風和壓風通風	145
22. 導管	150

第三部

23. 蒸汽動力的產生	153
24. 熱能經濟的工作管理	184
25. 近年來蒸汽鍋爐設備的進展	192
26. 全部鍋爐設備的計算範例	213

第四部(附錄)

27. 飽和蒸汽表	278
28. 過熱蒸汽表	281
29. 煙肉通風強度表	284
30. 水的密度, 容積和比熱(0° — $320^{\circ}C$)	285
31. 氣體的比熱	286
32. 固體和液體的比熱	287
33. 熱能傳導係數	287
34. 熱膨脹係數	287
35. 容積重量	287
36. 平均對數溫度差的決定	288
37. 汽鍋的去鹽	289
38. 鈉鹽數	289

(另附Mollier-i-s圖一大幅)

第一 部

1. 一般的基本知識

1-1. 溫 度

溫度以後均採用攝氏度 $^{\circ}C$ ，以 t 來表示。此外還有所謂“絕對溫度” T ，起點在攝氏表 0 下 273° ，即“絕對零度”為 -273° ，絕對溫度 $T=t+273^{\circ}$ 。

(例如： $t=30^{\circ}$ ， $T=30+273=303^{\circ}$)

1-2. 壓 力

1 公制(工程)氣壓 $= 1at = 1kg/cm^2 = 0^{\circ}C$ 時 $735.5mmHg$ 或 $+4^{\circ}C$ 時 $10 mH_2O$ 的壓力。

總壓力超出 $1at$ (大氣壓力) 的部分稱為超壓力，總壓力亦可稱為絕對壓力；在熱工學上常用絕對壓力 atu ，在鍋爐工程上常用超壓力 $atü$ 來計算。(例如： $12 atu = 11atü$)

大氣平均壓力 b (氣壓計位標)，在海平面上為 $760mmHg$ ，在拔海 M 時為

$M=0 \quad 100 \quad 200 \quad 300 \quad 400 \quad 500 \quad 600 \quad 700 \quad 800 \quad 900 \quad 1000 \quad 1500 \quad m$

$b=760 \quad 751 \quad 742 \quad 733 \quad 724 \quad 716 \quad 708 \quad 700 \quad 692 \quad 684 \quad 676 \quad 636 \quad mmHg$

1 物理氣壓 $= 1Atm = 1.033 kg/cm^2 = 0^{\circ}C$ 時 $760 mmHg$ 或

+4°C 時 10.33 mH_2O 的壓力。

以後用物理氣壓計算時，必附註“0°，和 760 $mmHg$ ”，用公制氣壓時，用記號 at ， ata ， $atli$ 。

1—3. 氣體容積，標準立方公尺 (Nm^3)

氣體的容積在 -273° 時為 $V = 0m^3$ 。

氣體加熱時，容積膨脹，而且溫度每增高 1° ，容積必增加它在 0° 和 760 $mmHg$ 時容積 V_0 的 $1/273$ ($=0.00367$)。氣體在 $0^\circ C$ ，760 $mmHg$ 的狀況叫標準狀況。此種狀況的氣體 $1m^3$ 稱為 1 標準立方公尺 (Nm^3)。氣體加熱至 t° 時，容積增為

$$V_t = V_0(1 + 0.00367 \cdot t) \quad m^3 \quad (1)$$

在氣壓 (氣壓計位標) b 時為：

$$V_t' = V_t \cdot \frac{760}{b} \quad m^3 \quad (2)$$

例1: (1) 3000 Nm^3 氣體加熱至 200° 時，容積增為

$$3000 \cdot (1 + 0.00367 \cdot 200) = 5202 \quad m^3。$$

(2) 在拔海 $M = 500m$ 即 $b = 716mmHg$ 和 0° 時，3000 Nm^3 氣體的容積為 $3000 \cdot 760 / 716 = 3180 \quad m^3$ 。

(3) 在此一拔海高度時加熱至 200° ，3000 Nm^3 氣體的容積為 $5202 \cdot 760 / 716 = 5520 \quad m^3$ 。

註：利用“ Nm^3 ”的定義，即可互相比較不同的氣體。

1—4. 熱量單位，熱能和功能

工程上的熱量單位用尅卡 $kcal$ ，即 $1kg$ 水自 14.5° 加熱至 15.5° 所需的熱量。

熱工學第一定律 (1842年 Robert Mayer 創立)：熱能和功能

兩者間有一定的當量，即

$$Q = J \cdot A \quad \text{kcal} \quad (3)$$

式中 Q = 加入或放出的熱能，用 kcal 計

J = 熱功當量 = $\frac{1}{427}$

A = 功能，用 mkg 計。

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg},$$

$$1 \text{ mkg} = \frac{1}{427} \text{ kcal},$$

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/sec} = 0.736 \text{ kW},$$

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ mkg/sec} = 1.36 \text{ PS},$$

$$1 \text{ PSh} = 75 \cdot 3600 = 270000 \text{ mkg} = 632.3 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 102 \cdot 3600 = 367200 \text{ mkg} \approx 860 \text{ kcal}.$$

1-5. 比熱

固體或液體的比熱 c 即為使 1kg 固體或液體溫度增高 1° 所需加入的熱量。

水的比熱 $c \approx 1$ ，在溫度不高時可 $c = 1$ 。準確數值可見表 IV-30。

氣體或蒸汽的比熱在定壓情形（即壓力不變）時，以 kg 計量則用 c_p 表示，以 Nm^3 計量則用 C_p 表示。

c_p 或 C_p 為使 1kg 或 Nm^3 的氣體或蒸汽在定壓下溫度增高 1° 所需加入的熱量。

註：定容時氣體或蒸汽的比熱 c_v 或 C_v ，此處不加討論。

比熱隨固體、液體、氣體或蒸汽的溫度而變；但自對於水的

變動一般可畧而不計，例如自 300° 加熱至 301° 比自 10° 加熱至 11° 需要更多的熱量。

要顧到此種事實，所以計算時必須使用 0° 和 t° 間的平均比熱，即自 0° 加熱至 t° 或自 t° 冷卻至 0° 時的計算需用平均數值的 c , c_p 或 C_p 。

1-6. 焓、攝取熱能、放出熱能

x kg 固體或液體在 t° 時所含有的熱量稱為焓，其值為

$$Q = x \cdot t \cdot c \text{ kcal} \quad (4)$$

x kg 氣體或蒸汽在 t° 時的焓為

$$Q = x \cdot t \cdot c_p \text{ kcal} \quad (5)$$

x Nm³ 氣體或蒸汽在 t° 時的焓為

$$Q = x \cdot t \cdot C_p \text{ kcal} \quad (6)$$

例2. (1) 水 ($c=1$) 1500 kg 自 30° 加熱至 100° ，此時水的攝取熱能為

$$Q = 1500 \cdot 1 \cdot 100 - 1500 \cdot 1 \cdot 30 = 105000 \text{ kcal}。$$

(2) 氣體 20000 Nm³ 自 600° ($C_p=0.324$) 冷卻至 200° ($C_p=0.316$)，此時氣體的放出熱能為

$$Q = 20000 (0.324 \cdot 600 - 0.316 \cdot 200) = 2624000 \text{ kcal}。$$

1-7. 混和溫度

混和時一般必為：攝取熱能 = 放出熱能，所以水混和時 (參見1) 可得

$$x(t_x - t_m) = y(t_m - t_y) \text{ kcal} \quad (7)$$

式中 x 和 y 為所混合的二水量， t_x 和 t_y ，為它們所有的溫度，并

設 $t_x > t_y$, t_m 為所得的混和溫度。

由公式(7)即可求得混和溫度

$$t_m = \frac{x \cdot t_x + y \cdot t_y}{x + y} \quad ^\circ\text{C} \quad (8)$$

如混和溫度已知而水量 x 未知, 則要達到預期的混和溫度 t_m 所需要的水量為

$$x = \frac{y(t_m - t_y)}{t_x - t_m} \quad \text{kg} \quad (9)$$

氣體互相混和時要顧到各不相同的比熱, 所以氣體用 kg 計量時, 如氣量為 x, y , 相當的比熱為 c_{px}, c_{py} , 氣體溫度為 t_x, t_y 和 t_m , 則可得

$$x \cdot c_{px} \cdot (t_x - t_m) = y \cdot c_{py} (t_m - t_y) \quad \text{kcal} \quad (10)$$

$$t_m = \frac{x \cdot c_{px} \cdot t_x + y \cdot c_{py} \cdot t_y}{x \cdot c_{px} + y \cdot c_{py}} \quad ^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$x = \frac{y \cdot c_{py} \cdot (t_m - t_y)}{c_{px} (t_x - t_m)} \quad \text{kg} \quad (12)$$

如氣體用 Nm^3 計量時, 同樣可得

$$x \cdot C_{px} (t_x - t_m) = y \cdot C_{py} (t_m - t_y) \quad \text{kcal}$$

$$t_m = \frac{x \cdot C_{px} \cdot t_x + y \cdot C_{py} \cdot t_y}{x \cdot C_{px} + y \cdot C_{py}} \quad ^\circ\text{C} \quad (13)$$

$$x = \frac{y \cdot C_{py} \cdot (t_m - t_y)}{C_{px} \cdot (t_x - t_m)} \quad \text{Nm}^3 \quad (14)$$

例3. (1) 100° 水 600 kg 和 40° 水 1000 kg 相混和時, 由公式(8)

可得混和溫度

$$t_m = \frac{600 \cdot 100 + 1000 \cdot 40}{600 + 1000} = 62.5^\circ$$

(2) 600° 氣體 ($c_p = 0.259$) 8000 kg 和 200° 氣體 ($c_p = 0.252$) 2000 kg 相混合時, 由公式(11)

$$(8) \quad t_m = \frac{8000 \cdot 0.259 \cdot 600 + 2000 \cdot 0.252 \cdot 200}{8000 \cdot 0.259 + 2000 \cdot 0.252} = 523^{\circ}$$

(3) 600° 氣體 ($C_p = 0.324$) 6000 Nm^3 和 200° 氣體 ($C_p = 0.316$) 3000 Nm^3 相混合時, 由公式(14)可得

$$(8) \quad t_m = \frac{6000 \cdot 0.324 \cdot 600 + 3000 \cdot 0.316 \cdot 200}{6000 \cdot 0.324 + 3000 \cdot 0.316} = 470^{\circ}$$

1-8. 比重, 比容

1 dm^3 水在 $+4^{\circ}$ 時重 1 kg , 即水的比重 $\gamma = 1$ 。

固體和液體的比重, 是據水在 $\gamma = 1$ 時 1 dm^3 所有的重量。

例如鐵的 $\gamma = 7.8$, 即 1 dm^3 鐵重 7.8 kg 。

氣體和蒸汽的比重為 1 Nm^3 氣體或蒸汽的重量對於 $+4^{\circ}$ 水 1 dm^3 的重量所成的比。例如乾燥空氣在 0° 和 760 mm Hg 時 $\gamma = 1.293$, 即 1 Nm^3 空氣重 1.293 kg ; 水蒸汽在 0° 和 760 mm Hg 時 $\gamma = 0.804$, 即 1 Nm^3 水蒸汽重 0.804 kg 。氣體和水蒸汽的比重亦可直接用 22.4 除分子量而求得。(見表 4 氣體表)

根據 Avogadro 定律: 各種氣體 22.4 Nm^3 內含有同數的分子, 而知分子量即此 22.4 Nm^3 (分子容積) 的重量。例如 $22.4 \text{ Nm}^3 \text{ N}_2$ 重 28 kg , 即 N_2 的分子量為 28 , 所以 N_2 的 $\gamma = 28/22.4 \approx 1.25$ 。

氣體的比重, 如以空氣的 $\gamma = 1$ 為根據, 稱為密度, 即 0° 和 760 mm Hg 時氣體密度 $= \gamma/1.293$ 。

$$\left. \begin{aligned} x \text{ dm}^3 \text{ 固體或液體重 } & x \cdot \gamma \text{ kg} \\ x \text{ Nm}^3 \text{ 氣體或水蒸汽重 } & x \cdot \gamma \text{ kg} \end{aligned} \right\} (16a)$$

1kg 固體、液體、氣體或水蒸汽的容積稱為比容 v 。

$$v = 1/\gamma, \text{ 即 } 1 \text{ kg 有容積 } 1/\gamma \text{ dm}^3 \text{ 或 Nm}^3.$$

例如鐵的 $\gamma = 7.8, v = \frac{1}{7.8} = 0.128$, 即 1 kg 鐵的容積為 0.128 dm^3 ; 乾燥空氣的 $\gamma = 1.293, v = \frac{1}{1.293} = 0.773$, 即 1 kg 空氣的容積為 0.773 Nm^3 。

$$\left. \begin{aligned} x \text{ kg 固體或液體的容積爲 } & x \cdot v \text{ dm}^3 \\ x \text{ kg 氣體或水蒸汽的容積爲 } & x \cdot v \text{ Nm}^3 \end{aligned} \right\} (16b)$$

1-9. 溫度增高時固體的長度變化, 熱壓力

固體的線膨脹係數 α 即指增高溫度 1° 所得的單位長度增加。如固體的長度為 $l \text{ cm}$, 自 t_1° 加熱至 t_2° , 則長度的增加為

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) \text{ cm} \quad (17)$$

線膨脹係數 α (表 IV-34) 隨溫度升降而有變化:

	自 0° 加熱至 1° 時	自 t_1° 加熱至 t_2° 時
熔鋼	$\alpha = 0.00011181$	$\alpha = 0.00011181 + 0.000000053(t_1 + t_2)$
鑄鐵	$= 0.00009794$	$= 0.00009794 + 0.000000057(t_1 + t_2)$

所以熔鋼自 0° 加熱至 100° 時

$$\alpha = 0.00001181 + 0.000000053(0 + 100)$$

$$= 0.000011711$$

自 20° 加熱至 100° 時

$$\alpha = 0.00001181 + 0.000000053(20 + 100)$$

$$= 0.000011817$$

如加熱增長後的長度為 l_1 ，則

$$l_1 = l + l \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{cm} \quad (18)$$

或如已知 l_1 ，自 t_2° 冷卻至 t_1° 時，可得

$$l = \frac{l_1}{1 + \alpha(t_2 - t_1)} \quad \text{cm} \quad (19)$$

例4. (1) 一熔鋼桿長 600 cm ，自 20° 加熱至 100° ，其長度因之增加

$$\Delta l = 600 \cdot 0.000011817(100 - 20) = 0.567216 \text{ cm}$$

$$\text{即 } l_1 = 600 + 0.567 = 600.567 \text{ cm}$$

(2) 一熔鋼桿在 100° 時長 600.567 cm ，如冷卻至 20° ，則其長度當縮短至

$$l = \frac{600.567}{1 + 0.000011817(100 - 20)} = 600 \text{ cm}$$

所以冷卻時長度減短了 0.567 cm 。

如加熱時的膨脹或冷卻時的收縮受到阻止，固體內部就會產生熱應力 σ ：

$$\sigma = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \cdot E \quad \text{kg/cm}^2 \quad (20)$$

熱應力和固體的長度，斷面積無關，式中 E 即所謂固體的彈性模數，熔鋼的 $E = 2100000$ ，鑄鐵的 $E = 750000$ 至 1050000 kg/cm^2 。

阻止長度發生變化時，物體承受處必須承受的力量為

$$P = \sigma \cdot f \quad \text{kg} \quad (21)$$

式中 f 為物體的斷面積，用 cm^2 計量。

例5. (1) 一熔鋼桿自 20° 加熱至 100° ，如其膨脹因有承受物而受阻，桿內所產生的“壓應力”為

$$\sigma = 0.000011817(100 - 20) \cdot 2100000 \approx 1985 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 如相反地使熔鋼桿自 100° 冷卻至 20° 時不能收縮，桿內即發生同樣大小的“拉應力”。

(3) 在熔鋼桿斷面積 $f = 5 \text{ cm}^2$ 時，承受物必須承受的力量為

$$P = 1985 \cdot 5 = 9925 \text{ kg}$$

例6. 一“行動鍋爐”長 4.5 m ，在汽壓 10 atü 時，溫度約為 180° ，但鍋爐的支架溫度，在冬季最低可至 -20° 。此種情況可得

$$\alpha = 0.000011181 + 0.0000000053(180 - 20)$$

$$= 0.00012029$$

所以鍋爐對於支架的長度增加為

$$\Delta l = l_1 - l = 450 \cdot 0.00012029(180 + 20) = 1.0826 \text{ cm}$$

鍋爐在支架上必須有 $\sim 11 \text{ mm}$ 的移動性，否則必然產生不容許的高應力，此應力在鍋爐本體內為壓應力，支架內為拉應力，兩應力均為

$$\sigma = 0.00012029 \cdot (180 + 20) \cdot 2100000 \approx 5052 \text{ kg/cm}^2$$

由此等例可知固體內部因溫度變化而產生的應力，必須應用“彈性的接合”，“彈簧的平差”和“膨脹間隙”等方法來防止，以