

中等專業學校教學用書

化工过程及设备

下 冊

A. H. 普蘭諾夫斯基 B. M. 拉 姆

C. 3. 卡 崗 著



化学工業出版社



中等專業學校教學用書

化 工 过 程 及 設 备

下 冊

A. H. 普蘭諾夫斯基 B. M. 拉姆

C. 3. 卡 崗 著

化工部中等專業學校教師合譯

化 学 工 業 出 版 社

А. Н. ПЛАНОВСКИЙ · В. М. РАММ · С. З. КАГАН

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ГОСХИМИЗДАТ (МОСКВА · 1955)

化工过程及设备 下册

化工部中等专业学校教师合译

化学工业出版社（北京安定门外和平北路）出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 092 号

北京市印刷一厂印刷 新华书店发行

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$

1957 年 12 月第 1 版

印张：9 $\frac{1}{2}$

1958 年 5 月第 2 次印刷

字数：247 千字

印数：1534—4541

定 价：(10)1.60 元

书号：15063·0170

1958年5月
第2次印刷

下冊目錄

热 过 程

第十一章 傳热学基础	267
第 79 节 基本定义	267
第 80 节 热量平衡	268
第 81 节 热量傳遞的方程式	271
第 82 节 通过間壁的傳热	274
第 83 节 平均溫度势	279
第 84 节 傳热中若干实际問題的解决	284
第 85 节 对流	285
第 86 节 輻射	287
第 87 节 损失于周圍介質中的热量	303
第 88 节 間歇的換热过程	304
第十二章 加热和冷却的方法	305
第 89 节 烟道气加热	306
第 90 节 水蒸汽加热	309
第 91 节 热水加热	313
第 92 节 高温加热剂	314
第 93 节 电流加热	316
第 94 节 冷却剂	317
第十三章 換热設備	320
第 95 节 分类	320
第 96 节 換热器的構造	321
第 97 节 換热設備的比較和選擇	332
第 98 节 換热設備的使用	333
第 99 节 換热設備的計算	334
第 100 节 蓄热式和混合式換热設備	339
第十四章 蒸發	342
第 101 节 概論	342
第 102 节 蒸發方法	342
第 103 节 蒸發器的構造	344
第 104 节 蒸發器的使用	352

第 105 节	蒸發器的計算	353
第 106 节	多效蒸發裝置	358
第 107 节	多效蒸發裝置的計算	365
第 108 节	蒸發裝置中真空的造成	367
第十五章	結晶	372
第 109 节	概論	372
第 110 节	結晶器的構造	373
第 111 节	結晶器的計算	378
第十六章	冷冻裝置	381
第 112 节	概論	381
第 113 节	制冷的热力学原理	382
第 114 节	壓縮冷冻机	385
第 115 节	冷冻剂。壓縮冷冻机的構造	392
第 116 节	消耗热量制冷的冷冻机	395
第 117 节	变热器	399
第 118 节	用深度冷冻法分离气体混合物和液化气体	401
扩散过程		
第十七章	傳質过程的理論	412
第 119 节	扩散过程概論	412
第 120 节	各相組成的表示方法	413
第 121 节	相間的平衡	417
第 122 节	傳質过程的物料平衡	418
第 123 节	傳質方程式	419
第 124 节	相間的換質过程	421
第 125 节	平均推动力和傳質过程的計算方法	423
第 126 节	傳質和傳热共同存在的过程	433
第十八章	吸收	435
第 127 节	概論	435
第 128 节	吸收的物理基础	435
第 129 节	吸收器的構造	438
第 130 节	解吸	446
第 131 节	吸收裝置的流程	447
第 132 节	填充吸收器的計算	443
第 133 节	鼓泡吸收器的計算	456

第十九章 萃取	460
第 134 节 概論.....	460
第 135 节 萃取的物理基础.....	460
第 136 节 萃取器的構造.....	461
第 137 节 萃取器的計算.....	461
第二十章 精餾	467
第 138 节 概論.....	467
第 139 节 液体混合物及其蒸气的基本性質.....	468
第 140 节 精餾的物料平衡和热量平衡.....	478
第 141 节 精餾裝置的流程.....	486
第 142 节 精餾設備的構造.....	491
第 143 节 精餾裝置的操作.....	492
第 144 节 液态气体的精餾.....	493
第 145 节 精餾塔的計算.....	494
第 146 节 簡單蒸餾.....	498
第 147 节 特殊形式的蒸餾.....	501
第二十一章 吸附	505
第 148 节 概論.....	505
第 149 节 吸附理論.....	506
第 150 节 吸附器的構造.....	508
第 151 节 吸附器的計算.....	514
第二十二章 干燥	519
第 152 节 概論.....	519
第 153 节 干燥靜力学.....	520
第 154 节 湿气体(空气)的性質.....	523
第 155 节 湿空气的 $I-x$ 圖.....	525
第 156 节 干燥的物料平衡和热量平衡.....	529
第 157 节 干燥过程在 $I-x$ 圖上的表示.....	535
第 158 节 干燥流程.....	537
第 159 节 干燥动力学.....	541
第 160 节 干燥裝置.....	545
第 161 节 干燥器的比較和選擇.....	559
第 162 节 干燥器的計算.....	560
第 163 节 特殊的干燥方法.....	567
参考文献	570

热 过 程

第十一章 傳热学基础

第 79 节 基本定义

在热过程中，热量从某一物質傳遞至另一物質。为了使热有可能自發地傳遞，其中一个物質的温度必須比另一物質为高。参与傳热（热交換）过程的两个物質称为載热体。在热交換过程中，具有較高温度而放出热量的物質，称为热載热体，而具有較低温度接受热量的物質則称为冷載热体。

如过程进行的目的在于傳热給冷載热体，那末参与此过程的热載热体称为加热剂。如过程的目的是从热載热体中取出热量，則帶走热量的冷載热体称为冷却剂。

热过程的进行有兩種基本方法：兩載热体直接接触的方法以及热量通过隔开兩載热体的間壁傳遞的方法。

当直接接触傳热时，兩种載热体通常混合在一起，但这并不总是允許的，因此这种方法采用得比較少，虽然它在設備裝置上簡單得多。

当通过間壁傳热时，載热体彼此不相混合，而分別沿單独的通道运动。將兩載热体隔开的壁面用来傳遞热量，称为換热面。

傳热过程分稳定的和不稳定的兩種。在稳定过程中設備每一点上的温度不随時間而改变，在不稳定过程中温度則随時間而改变。稳定过程符合于設備中具有恒定条件的連續操作情况，而不稳定过程則發生在間歇操作的設備中，以及当开动、停車及条件改变时的連續操作設備中。

兩物体間的傳热可借热傳导、对流和輻射的方法。

热傳导 傳热是物体中各个質点直接接触时的热量轉移。質

点間能量的傳遞是由于質点振动所致，而它們之間的相对位置并没有移动。

对流傳热仅發生于液体和气体中，并發生在液体（或气体）的質点有移动的情况下。質点的移动或者是由于全部液体或气体的运动（被迫的或强制的对流）所造成，或者是由于不同点上密度有差别的緣故，而此差別則是由于在液体或气体內温度分布得不均匀所引起的（自由的或自然的对流）。对流永远伴随有热傳导傳热。

輻射傳热是以电磁波的形式所进行的能量轉移。此时热能轉变为輻射能（輻射），通过空間而被另一物体吸收后，重新又轉变为热能（吸收）。

上述各种傳热方式很少单独遇到，而通常总是彼此相伴的（复杂的换热）。例如当通过間壁傳热时，热量从热載热体傳給間壁及从間壁傳給冷載热体都是通过对流方式，而通过間壁时则为热傳导方式。

从热表面散热到周圍介質中系借对流和輻射两种方式进行。

第 80 节 热量平衡

a) 热量平衡方程式

当热量从一載热体傳給另一載热体时，热載热体的热含量減少而冷載热体的热含量增加。設热載热体的量为 G 仟克/小时，其最初和最終的热含量为 I_1 和 I_2 仟卡/仟克。冷載热体的量为 g 仟克/小时，其最初和最終的热含量为 i_1 和 i_2 仟卡/仟克。

設由热載热体流向冷載热体的热量为 Q 仟卡/小时（此热量称为设备的热負荷），而損失于周圍介質的热

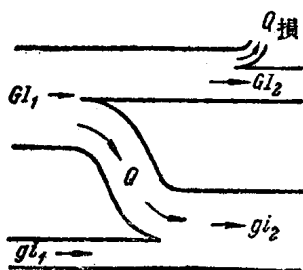


圖 11-1 換热設備的热量平衡

量为 $Q_{\text{損}}^{\text{①}}$ 仟卡/千克 (圖 11-1)。則热量平衡方程式为:

$$GI_1 + gi_1 = GI_2 + gi_2 + Q_{\text{損}}$$

或重新排列为下式

$$G(I_1 - I_2) = g(i_2 - i_1) + Q_{\text{損}}$$

$$\text{热量} \quad Q_{\text{熱}} = G(I_1 - I_2) \quad (11-1)$$

为热載热体給出的热量。

$$\text{而热量} \quad Q_{\text{冷}} = g(i_2 - i_1) \quad (11-2)$$

为傳給冷載热体的热量。

因此, 可得

$$Q_{\text{熱}} = Q_{\text{冷}} + Q_{\text{損}}$$

亦即由热載热体中取出之热, 一部分傳給冷載热体, 而另一部分損失到周圍介質中去了。

若損失于周圍介質中的热量来自热載热体(如圖 11-1 所示), 則热負荷 $Q = Q_{\text{冷}}$; 若热損失集中在冷載热体的这一面, 則热負荷 $Q = Q_{\text{熱}}$ 。

在生产設備中的热損失一般不大 (不超过 2—3%) 可略而不計。这样热平衡方程式可写成下式:

$$Q = Q_{\text{熱}} = Q_{\text{冷}}$$

或者

$$Q = G(I_1 - I_2) = g(i_2 - i_1) \quad (11-3)$$

6) 物态無改变时加热和冷却的热負荷計算

假如在設備中热載热体發生冷却, 則 $I_1 = CT_1$; $I_2 = CT_2$, 式中 C ——热載热体的比热 (仟卡/千克·度), 而 T_1 和 T_2 ——热載热体在設備进出口处的温度^②。則

$$Q_{\text{熱}} = GC(T_1 - T_2) = W \Delta T \quad (11-4)$$

① 在間歇过程中載热体量 (G, g) 和热量 ($Q, Q_{\text{損}}$) 取为一次操作所用的量 (仟克/操作, 仟卡/操作)。

② 在本章以及 12, 13 和 14 章中, 我們用符号 T 表示热載热体的温度, 單位为 $^{\circ}\text{C}$ (而不是 $^{\circ}\text{K}$) 在特殊情況下另加說明。

类似地，当冷载热体加热时

$$Q_{\text{冷}} = gc(t_2 - t_1) = w\Delta t \quad (11-5)$$

式中 c ——冷载热体的比热，仟卡/仟克 $^{\circ}\text{C}$ ；

t_1 和 t_2 ——冷载热体在设备进出口处的温度。

$\Delta T = T_1 - T_2$ 以及 $\Delta t = t_2 - t_1$ 之值称为温度升降，表示载热体在热交换过程中的温度变化（即热载热体的冷却和相应的冷载热体的加热）。载热体量及其比热的乘积称为水当量（ $W = GC$ 和 $w = gc$ ）。

式(11-4)和(11-5)中系假定载热体的比热与温度无关。若比热随温度而变化，则在计算热含量时应该用由 0° 到 t 的平均比热。

$$I_1 = C_1 T_1; I_2 = C_2 T_2; i_1 = c_1 t_1; i_2 = c_2 t_2$$

式中 C_1 和 C_2 ——热载热体从 0° 到 T_1 和 T_2 的平均比热；

c_1 和 c_2 ——冷载热体从 0° 到 t_1 和 t_2 的平均比热。

在式(11-4)和(11-5)中应该代入 T_1 到 T_2 或 t_1 到 t_2 的温度间隔内的平均比热。它们的数值等于

$$C = \frac{I_1 - I_2}{T_1 - T_2} = \frac{C_1 T_1 - C_2 T_2}{T_1 - T_2}$$

$$c = \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} = \frac{c_2 t_2 - c_1 t_1}{t_2 - t_1}$$

从 0° 到 t 的平均比热可近似地等于 $t/2$ 时的真比热，而自 t_1 到 t_2 的平均比热则近似地等于 $\frac{t_1 + t_2}{2}$ 时的真比热。

Б) 热载热体冷凝时的热负荷计算

在此情况下，方程式(11-1)中 I_1 ——进入的蒸气态载热体的热含量， I_2 ——所得冷凝液的热含量。 GI_1 之值为液体在饱和温度 $T_{\text{饱和}}$ 时的热含量，消耗于汽化液体的热量即等于蒸气之冷凝热 $Q_{\text{冷凝}}$ ，以及消耗于使蒸气过热的热量 $Q_{\text{过热}}$ 等项之和，即

$$GI_1 = Q_{\text{过热}} + Q_{\text{冷凝}} + GC_{\text{液}} T_{\text{饱和}}$$

I_2 之值等于 $C_{\text{液}} T_2$ 而方程式(11-1)可写成下式

$$Q_{\text{热}} = G(I_1 - I_2) = Q_{\text{过热}} + Q_{\text{冷凝}} + Q_{\text{冷}} \quad (11-6)$$

且消耗于蒸气的过热。冷凝液的汽化和冷却等的热量，各等于：

$$Q_{\text{过热}} = GC_{\text{蒸气}} (T_1 - T_{\text{饱和}})$$

$$Q_{\text{冷凝}} = Gr$$

$$Q_{\text{冷}} = GC_{\text{液}} (T_{\text{饱和}} - T_2)$$

式中 $C_{\text{蒸气}}$ 和 $C_{\text{液}}$ ——蒸气和液体的比热，仟卡/仟克 $^{\circ}\text{C}$ ；

r ——汽化热，仟卡/仟克。

r) 冷载热体汽化时的热负荷计算

此情况下， i_2 为饱和蒸气的热含量（因汽化时获得的蒸气与液体相接触故为饱和），而 i_1 ——进入液体的热含量。 gi_2 是饱和温度 $t_{\text{饱和}}$ 下液体的热含量以及汽化热 $Q_{\text{汽化}}$ 之和，即：

$$gi_2 = gc_{\text{液}} t_{\text{饱和}} + Q_{\text{汽化}}$$

方程式(11-2)可写成：

$$Q_{\text{冷}} = g(i_2 - i_1) = Q_{\text{预热}} + Q_{\text{汽化}} \quad (11-7)$$

且消耗于将液体自 t_1 预热到 $t_{\text{饱和}}$ 时的热量为：

$$Q_{\text{预热}} = gc_{\text{液}} (t_{\text{饱和}} - t_1)$$

而消耗于汽化的热量为：

$$Q_{\text{汽化}} = gr$$

式中 $c_{\text{液}}$ ——液体的比热，仟卡/仟克 $^{\circ}\text{C}$ ；

r ——汽化热，仟卡/仟克。

第 81 节 热量传递的方程式

a) 传热方程式

为了使传热过程得以顺利进行，必须在热的和冷的载热体间存在着某一温度差。这个温度差是传热过程的推动力，称为温度势。若 T 为热载热体的温度， t 为冷载热体的温度，那末温度

势^①：

$$\theta = T - t$$

温度差愈大则热的傳遞速度愈高，而且由热載热体傳向冷載热体的热量（即設備的热負荷）与換热面积 F ，温度势 θ 和時間 τ 成正比：

$$Q = KF\theta\tau \quad (11-8)$$

式中 K ——比例常数，称为傳热系数，是当温度势为1度时在單位時間內通过單位面积的热量。如 Q 用仟卡， F 用米²，時間用小时以及 θ 用度表示，則傳热系数的因次为：

$$[K] = \left[\frac{Q}{F\tau\theta} \right] = \left[\frac{\text{仟卡}}{\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

在連續过程中热負荷 Q 理解为單位時間內所傳遞的热量（仟卡/小时），因此方程式(11-8)可写成下式：

$$Q = KF\theta \quad (11-9)$$

在換热过程中通常諸載热体的温度都在变化着，因而其温度势也在变化着，因此在应用式(11-8)和(11-9)时应代以某一平均温度势 $\theta_{\text{平均}}$ 。平均温度势的計算將在以后討論。

6) 热傳导方程式

若热量的傳遞系借傳导的方法通过間壁，那末，按照傅利叶定律，被傳遞的热量与間壁的表面积 F ，間壁兩边的温度差 $\theta_{\text{壁}} = t_{\text{壁1}} - t_{\text{壁2}}$ 和時間 τ 成正比，而与壁厚 δ 成反比，即

$$Q = \frac{\lambda F (t_{\text{壁1}} - t_{\text{壁2}}) \cdot \tau}{\delta} = \frac{\lambda F \theta_{\text{壁}} \tau}{\delta} \quad (11-10)$$

式中 $t_{\text{壁1}}$ 和 $t_{\text{壁2}}$ ——間壁兩边表面的温度。

比例系数 λ 称为热傳导系数（或简称导热系数），其因次为

$$[\lambda] = \left[\frac{Q\delta}{F\tau\theta_{\text{壁}}} \right] = \left[\frac{\text{仟卡}}{\text{米} \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

① 在文献中时常采用 Δ （代替 θ ）表示温度势。

它与傳热系数的因次的差别在于其中的直綫尺寸(米)是一次方。热傳导系数是每單位厚度上温度降为 1° 时每小时通过單位面积的热量。此一系数依間壁材料的性質及其温度而定。温度升高时大多数固体和气体的导热系数随着上升,而液体的导热系数(除水和某些液体外)則随着下降。

方程式(11-10)称为傳导方程式,与傳热方程式(11-8)的差别是以 λ/δ 来代替傳热系数 K 。

Б) 对流傳热方程式

在对流傳热时載热体沿間壁表面运动,并通过間壁傳遞热量,这时在間壁的表面上形成層流的边界層。热量系借傳导的方式通过此一边界層来傳遞;而在边界層外載热体的主体中,在每一个横断面上的温度几乎保持不变,只是随着离开間壁而有很小的变化。在載热体主体中温度所以得以均衡,是由于其各个質点的运动而使載热体受到攪拌的結果。此种攪拌作用随着流体湍流程度的增加而加强,因而使边界層厚度减小、而使被傳遞的热量增加。

設液体主体和壁表面的温度差为 $\theta_{\text{部分}}$, 則根据牛頓定律, 傳过的热量与面积、部分温度势 $\theta_{\text{部分}}$ 及時間三者成正比:

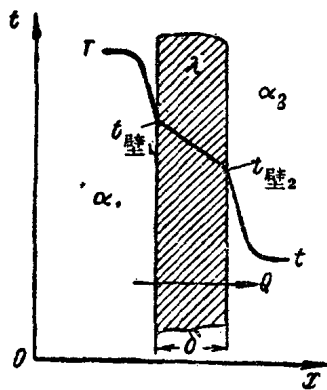
$$Q = \alpha F \theta_{\text{部分}} \tau \quad (11-11)$$

对流傳热方程式的此种形式与傳热方程式(11-8)相仿,其区别只在于后者的 θ 是兩載热体間的温度差,而在方程式(11-11)中的則是等于載热体与壁之間的部分温度势 $\theta_{\text{部分}}$ 。方程式(11-11)中的 α 称为給热系数,其因次和傳热系数相同(仟卡/米²·小时·°C)。

第 82 节 通过間壁的傳热

a) 平 壁

以下来研究热量从热载热体通过平壁，傳向冷载热体的复杂过程。圖 11-2 表示温度变化的情况：在热载热体的一边温度从 T 变化到 $t_{\text{壁}1}$ ，沿壁厚从 $t_{\text{壁}1}$ 受到 $t_{\text{壁}2}$ ，而在冷载热体的一边从 $t_{\text{壁}2}$ 变到 t 。



写出借对流从热载热体傳向壁，借热傳导通过壁及借对流从壁傳向冷载热体的各个傳热方程式：

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \alpha_1 F (T - t_{\text{壁}1}) \\ Q_{\text{壁}} &= \frac{\lambda}{\delta} F (t_{\text{壁}1} - t_{\text{壁}2}) \\ Q_2 &= \alpha_2 F (t_{\text{壁}2} - t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A})$$

式中 α_1 和 α_2 ——从热载热体傳向壁以及从壁傳向冷载热体的給热系数。

圖 11-2 通过平壁的傳热

换热面积 F 与壁面积相等，对于平壁而言是一个不变的数值。

在稳定过程中，由热载热体傳給壁的热量 (Q_1)、通过壁的热量 ($Q_{\text{壁}}$) 以及从壁傳給冷载热体的热量 (Q_2) 皆相等，即：

$$Q_1 = Q_{\text{壁}} = Q_2 = Q$$

从方程組 (A) 中計算部分温度差：

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= T - t_{\text{壁}1} = \frac{Q}{\alpha_1 F} \\ \theta_{\text{壁}} &= t_{\text{壁}1} - t_{\text{壁}2} = \frac{Q}{\frac{\lambda}{\delta} F} \\ \theta_2 &= t_{\text{壁}2} - t = \frac{Q}{\alpha_2 F} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B})$$

而从方程式 (11-9) 得总温度差：

$$\theta = T - t = \frac{Q}{KF} \quad (\text{B})$$

設 $q = \frac{Q}{F}$ ，為單位時間內通過單位面積的热量，稱為熱負荷率（它的因次是 千卡/米²·小時）。

量 $r_1 = \frac{1}{\alpha_1}$ 和 $r_2 = \frac{1}{\alpha_2}$ 是給熱系数的倒数，稱為热量通过載熱体边界層的热阻。同樣， $r_{\text{壁}} = \delta/\lambda$ 為間壁的热阻，而 $r = \frac{1}{K}$ 為热量由一載熱体傳向另一載熱体时的总热阻。热阻的因次為 米²·小時·度/千卡。

將熱負荷率和热阻引入，則方程式 (B) 可写成下式：

$$\theta_1 = q \cdot r_1; \quad \theta_{\text{壁}} = q r_{\text{壁}}; \quad \theta_2 = q \cdot r_2 \quad (\text{Г})$$

而方程式 (B) 为

$$\theta = q \cdot r \quad (\text{Д})$$

显然因为总温度势等于各部分温度势之和（參閱圖11-2）：

$$\theta = \theta_1 + \theta_{\text{壁}} + \theta_2$$

故將式 (Г) 和 (Д) 所表示的 θ_1 、 $\theta_{\text{壁}}$ 、 θ_2 和 θ 的值代入，消去 q ，得：

$$r = r_1 + r_{\text{壁}} + r_2 \quad (\text{E})$$

即总热阻等于各部分热阻之和。

將以上导出的热阻 r 、 r_1 、 $r_{\text{壁}}$ 和 r_2 之值代入，得：

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

或

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (11-12)$$

此方程式極為重要，因为若已知兩載熱体的給熱系数 α_1 和 α_2 ，以及間壁的厚度 δ 和导热系数 λ 时，就可以算出傳熱系数之值。

若壁由几層組成，厚度各为 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 ……，导热系数各为 λ_1 、

$\lambda_2, \lambda_3, \dots$ (圖 11-3), 則各層的热阻等于 $\frac{\delta_1}{\lambda_1}, \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \frac{\delta_3}{\lambda_3}, \dots$,

而所有間壁的热阻为:

$$r_{\text{壁}} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots = \sum \frac{\delta}{\lambda}$$

在此情况下, 方程式(11-12)

可写成下式:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

(11-13)

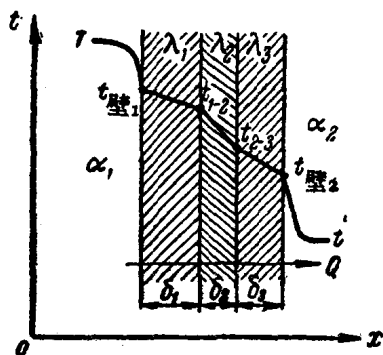


圖 11-3 通过多層平壁的傳热

再回头来看方程式(E)。从

此一方程式可見, 总热阻 r 永远大于每一个分热阻, 即:

$$r > r_1; r > r_{\text{壁}}; r > r_2$$

或將热阻之值代入,

$$\frac{1}{K} > \frac{1}{\alpha_1}; \frac{1}{K} > \frac{\delta}{\lambda}; \frac{1}{K} < \frac{1}{\alpha_2}$$

其倒数則相应地为:

$$K < \alpha_1; K < \frac{\delta}{\lambda}; K > \alpha_2$$

即傳热系数 K 永远小于任何一个給热系数 α_1 或 α_2 。

用式(D)表示的傳热方程式可写成下式:

$$q = \frac{\theta}{r} \quad (11-14)$$

此种形式的傳热方程式与电工学中的欧姆定律相仿, 其中温度势相当于电动势, 热阻相当于电阻, 而热負荷率則相当于电流 (与过滤方程式相比較时, 其中 ΔP 类似于电动势, R 相当于电阻, 而 w 相当于电流)。

6) 圓筒壁

非平壁兩面的面積是不相等的 (F_1 和 F_2)。因此 274 頁中的方程式 (6) 應寫成下列形式:

$$\theta_1 = \frac{Q}{\alpha_1 F_1}; \quad \theta_{\text{壁}} = \sum \frac{Q}{\frac{\lambda}{\delta} F_{\text{平均}}}; \quad \theta_2 = \frac{Q}{\alpha_2 F_2}$$

式中 $F_{\text{平均}}$ ——相應壁層的平均面積。

將這些方程式相加並使其和(B)式左端相等, 得:

$$\frac{1}{KF} = \frac{1}{\alpha_1 F_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda F_{\text{平均}}} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}$$

由此,

$$K = \frac{1}{F \left(\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda F_{\text{平均}}} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} \right)} \quad (11-15)$$

在此方程式中, 總熱阻仍然為 $r = \frac{1}{K}$, 而部分熱阻為:

$$r_1 = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{F}{F_1}; \quad r_{\text{壁}} = \sum \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F}{F_{\text{平均}}}; \quad r_2 = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{F}{F_2}$$

在方程式(11-15)中傳熱係數與系對某一計算面積 F 而言, F 可以取為 F_1 , 或 F_2 或平均面積 $F_{\text{平均}}$ 。

對於圓筒壁而言, 可用直徑之比來代替面積之比。若取 d_1 為計算直徑 (熱載熱體這一邊), 則:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{d_1}{d_{\text{平均}}} + \frac{d_1}{\alpha_2 d_2}} \quad (11-16)$$

而若取 d_2 為計算直徑 (冷載熱體這一邊), 則:

$$K = \frac{1}{\frac{d_2}{\alpha_1 d_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{d_2}{d_{\text{平均}}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (11-16a)$$

壁層的平均直徑 $d_{\text{平均}}$ 系根據外徑 $d_{\text{外}}$ 和內徑 $d_{\text{內}}$ 按下式計算

$$d_{\text{平均}} = \frac{d_{\text{外}} - d_{\text{內}}}{2.3 \lg \frac{d_{\text{外}}}{d_{\text{內}}}} \quad (11-17)$$

假如 $\frac{d_{\text{外}}}{d_{\text{內}}} < 2$, 則按式(11-17)計算的對數平均值可用算術平均值來代替: