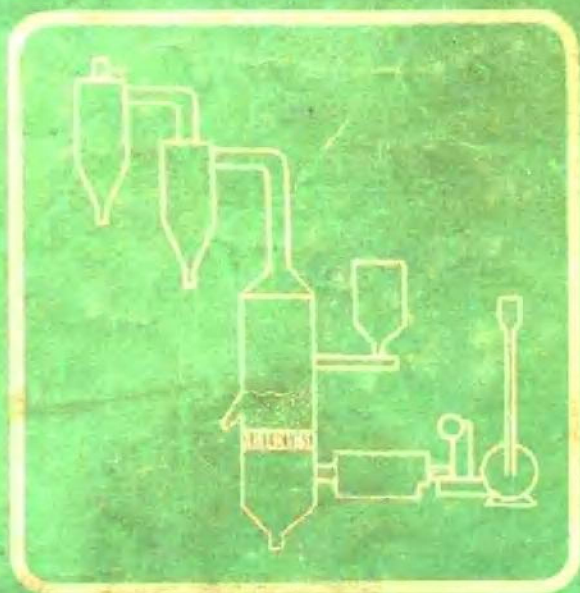


# 干燥装置手册

〔日〕 桐米良三 主编

秦霁光 王忠洁 常国琴 译



上海科学技术出版社

79.515  
482

# 干燥装置手册

日本粉体工业协会编  
桐 荣 良 三 主编  
秦霁光 王志洁 常国琴 译

zk238/02

上海科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书介绍了各种干燥器的特性、结构和应用范围,并以实例列举了各种干燥器的具体应用。对于主要的干燥器,还以计算例题讲解了计算方法。同时,对干燥器的附属设备亦作了较为详细的说明。它是一本以现场技术人员具体掌握干燥操作及干燥装置为宗旨的书籍。

本书可供科研、设计人员以及大专院校师生参考,对于现场技术人员亦是一本很实用的手册。

封面设计      周兰英

### 干 燥 装 置 手 册

日本粉体工业协会编

桐 荣 良 三    主编

秦霁光 王志洁 常国琴 译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

总发行所上海发行所发行 江苏扬中印刷厂印刷

开本 850×1166 1/32 印张 7.125 字数 186,000

1983年10月第1版 1986年12月第2次印刷

印数 12,001—14,000

统一书号: 15119·2287    定价: (科四) 1.20 元

## 译 序

干燥操作是化工、轻工以及食品等工业部门广为应用的单元操作之一。为了满足现场技术人员的需要,日本粉体工业协会干燥分会组织了二十七位作者合编了这本手册,由桐荣良三担任主编。

本手册除了对干燥基础理论、干燥器的选择方法、各种型式的干燥器以及附属设备进行介绍外,对干燥器的发展方向也作了简要说明。它对于如何选择、使用以及粗略计算干燥装置很有实用价值。

随着我国化工、轻工以及食品等工业的日益发展,广大科研、设计以及现场技术人员迫切需要有一本实用性的读物,以便较全面地了解各种干燥装置的特点,选好并用好干燥器,为四化服务。为此,我们翻译了这本手册,希望手册的出版能对提高我国现有干燥操作水平有所裨益。

本手册由化工部化工机械研究院秦霁光、王志洁和常国琴共同译出,并由秦霁光对全书作了校核。由于我们水平不高,肯定会在不少错误,请读者不吝指教,给予批评指正。

译 者

## 前 言

干燥操作是应用极广的单元操作之一。因被干燥物料形态悬殊,故处理它们的干燥器亦型式繁多。干燥器正由低效通用向高效专用发展。对于各种干燥器,正确地掌握其特点和结构,选择适合于物料及其处理条件的干燥器最为重要。这方面的专著已有《乾燥装置》(桐荣良三编,日刊工業新聞社出版)。但因此书颇深,现场技术人员迫切希望有一本通俗、简要介绍干燥器特征及其结构的读物。为此,日本粉体工业协会的干燥分会组织编写了本书,并以《干燥装置手册》命名出版。

本书具体地叙述了各种干燥器的特性、结构、应用范围,列举了许多运转实例,并力求从事干燥操作的现场技术人员能容易理解。对于主要的干燥器,以具体实例列举了估算装置大小的粗略计算方法。同时,对干燥基础理论亦作了浅易介绍,概述了干燥器的选择和比较。另外,以单独一章对干燥器的附属设备作了较为详尽的说明,此亦为本书的特色。总之,它是一本以现场技术人员具体掌握干燥操作及干燥装置为宗旨的书籍。

应当指出,本书系由很多著者合作写成,虽力求统一,但必然存在矛盾。执笔者均是现在活跃在第一线的工作人员,借此机会对他们在百忙中辛勤参加编写表示感谢,并对在本书编著时曾引用过的各种文献及产品样本等的著者和有关公司致以深切的谢意,尤其是本书从《乾燥装置》中大量的而不是个别的引用,在此一并表示感谢。

我们希望本书对提高日本的干燥技术有所裨益。

主编 桐荣良三

一九七八年一月

# 目 录

## 译 序 前 言

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>1. 干燥的基础</b> .....    | <b>1</b>  |
| 1.1 干燥特性曲线 .....         | 1         |
| 1.2 恒速干燥速率 $R_c$ .....   | 3         |
| 1.3 降速干燥速率 $R_d$ .....   | 7         |
| 1.4 临界含水率 $w_c$ .....    | 11        |
| 1.5 平衡含水率 $w_e$ .....    | 12        |
| 1.6 湿度图 .....            | 12        |
| <b>2. 干燥器的选择</b> .....   | <b>15</b> |
| 2.1 选择的基础 .....          | 15        |
| 2.1.1 干燥操作的特性 .....      | 15        |
| 2.1.2 选择前应讨论的事项 .....    | 16        |
| 2.2 装置的选择 .....          | 17        |
| 2.3 各种装置的特性 .....        | 21        |
| 2.4 装置大小的概算 .....        | 26        |
| <b>3. 各类干燥器</b> .....    | <b>30</b> |
| 3.1 物料静置型或物料输送型干燥器 ..... | 30        |
| 3.1.1 箱型(间歇式)干燥器 .....   | 30        |
| 3.1.2 通风带式干燥器 .....      | 34        |
| 3.1.3 喷射流(喷嘴喷射)干燥器 ..... | 39        |
| 3.1.4 通风立式(移动床)干燥器 ..... | 44        |
| 3.2 搅拌型干燥器 .....         | 50        |
| 3.2.1 圆筒型和槽型搅拌干燥器 .....  | 50        |

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 3.2.2 | 真空干燥器 .....               | 62  |
| 3.2.3 | 圆盘干燥器 .....               | 63  |
| 3.2.4 | 回转干燥器 .....               | 71  |
| 3.2.5 | 带水蒸气加热管的回转干燥器 .....       | 81  |
| 3.2.6 | 通风回转干燥器 .....             | 85  |
| 3.2.7 | 流化床干燥器 .....              | 91  |
| 3.3   | 热风输送型干燥器 .....            | 111 |
| 3.3.1 | 喷雾干燥器 .....               | 111 |
| 3.3.2 | 气流干燥器 .....               | 121 |
| 3.4   | 接触加热型圆筒干燥器 .....          | 132 |
| 3.4.1 | 圆筒干燥器 .....               | 132 |
| 3.4.2 | 多圆筒干燥器 .....              | 133 |
| 3.5   | 冷冻干燥器 .....               | 144 |
| 3.6   | 过热蒸汽干燥器 .....             | 148 |
| 3.7   | 远红外线干燥器 .....             | 152 |
| 3.8   | 微波干燥器 .....               | 156 |
| 4.    | 附属设备 .....                | 161 |
| 4.1   | 热源及其装置 .....              | 161 |
| 4.1.1 | 热源的分类与选择 .....            | 161 |
| 4.1.2 | 直接式热风发生装置 .....           | 162 |
| 4.1.3 | 各种燃烧装置的附属设备及其使用注意事项 ..... | 168 |
| 4.1.4 | 间接热风发生装置 .....            | 171 |
| 4.1.5 | 其它 .....                  | 173 |
| 4.2   | 送排风设备 .....               | 173 |
| 4.2.1 | 送排风装置的分类 .....            | 173 |
| 4.2.2 | 特性与用途 .....               | 174 |
| 4.2.3 | 特性-阻力曲线及工作点 .....         | 174 |
| 4.2.4 | 操作注意事项 .....              | 174 |
| 4.3   | 定量加料器 .....               | 177 |
| 4.3.1 | 螺旋加料器 .....               | 179 |
| 4.3.2 | 圆盘加料器 .....               | 181 |
| 4.3.3 | 旋转加料器 .....               | 181 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 4.3.4 | 振动加料器 .....             | 182 |
| 4.3.5 | 带式加料器 .....             | 183 |
| 4.4   | 排料器 .....               | 183 |
| 4.4.1 | 旋转阀 .....               | 184 |
| 4.4.2 | 双闸板阀 .....              | 185 |
| 4.4.3 | 橡胶阀槽 .....              | 186 |
| 4.4.4 | 螺旋输送机 .....             | 186 |
| 4.5   | 安全装置 .....              | 187 |
| 4.5.1 | 概要 .....                | 187 |
| 4.5.2 | 干燥器事故的防止 .....          | 187 |
| 4.5.3 | 安全装置 .....              | 188 |
| 4.6   | 其它 .....                | 190 |
| 4.6.1 | 粘附 .....                | 190 |
| 4.6.2 | 密封性 .....               | 191 |
| 5     | 干燥器的比较 .....            | 192 |
| 5.1   | 实例一 .....               | 192 |
| 5.2   | 实例二 .....               | 200 |
| 6     | 干燥器的发展方向 .....          | 203 |
| 6.1   | 环境保护和干燥操作 .....         | 203 |
| 6.2   | 干燥中的节能 .....            | 204 |
| 6.3   | 引人注目的干燥方式和干燥器 .....     | 205 |
| 6.3.1 | 气体循环式干燥 .....           | 205 |
| 6.3.2 | 过热水蒸气(蒸汽)干燥 .....       | 206 |
| 6.3.3 | 间接加热式干燥 .....           | 206 |
| 6.3.4 | 热敏感物料及无菌物料的干燥 .....     | 206 |
| 6.4   | 干燥器的组合与含水率的控制 .....     | 207 |
| 6.5   | 干燥操作与其它操作的组合 .....      | 207 |
| 6.6   | 干燥器的安全措施 .....          | 208 |
| 附录    | .....                   | 209 |
| 1.    | 水蒸气压力、饱和湿度、饱和焓的数值 ..... | 209 |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 2. 饱和水蒸气表 .....           | 211 |
| 3. 气体的粘度图 .....           | 212 |
| 4. 基础单位换算表 .....          | 212 |
| 5. 干燥装置主要材料的导热系数及比热 ..... | 219 |
| 6. 空气在不同温度下的物理性质 .....    | 219 |
| 7. 空气、氮气、水蒸气的定压摩尔比热 ..... | 220 |

# 1. 干燥的基础

干燥操作是采用某种方式将热量传给含水物料，且将此热量作为潜热而使水分蒸发分离的操作。干燥中最为重要的，是使热量最有效地传给物料，但这一准则在实际设计和运转中由于种种原因很难完全遵守。

物料的含水量，一般多用相对于物料总量的水分含量，即湿量基准的水分含量  $w_w$  来表示。但因干燥时物料的总量变化，所以采用以干量基准的含水率  $w_d$  较为方便。 $w_d$  与  $w_w$  之间有如下关系

$$\begin{aligned}w_d &= \frac{w_w}{1 - w_w} \\w_w &= \frac{w_d}{1 + w_d}\end{aligned}\tag{1.1}$$

为了加以区别，称  $w_d$  为含水率\*（干基）， $w_w$  为水分（湿基），以下若无特殊说明，用  $w$  表示  $w_d$ 。

## 1.1 干燥特性曲线

若将非常潮湿的物料置于一定的干燥条件下，例如在有一定温度、湿度和风速的过量空气流中，测定被干燥物料的重量和温度随时间的变化，则得图 1.1 所示的关系。

干燥过程可分为如下三个阶段：I. 物料预热阶段；II. 恒速干燥阶段和 III. 降速干燥阶段。非常潮湿的物料因其表面有液态水存在，若将任一温度的物料置于稳定干燥条件下，则其温度近似等于热风的湿球温度  $t_w$ ，到达此温度前的阶段称为 I 阶段。在随后的第 II 阶段中，限于表面存有液态水，物料温度约恒等于  $t_w$ 。

---

\* 此处所指含水率有的书亦称为湿含量或含湿量。——译注

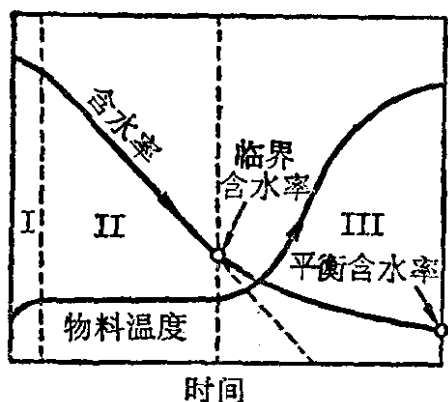


图 1.1 含水率、温度与时间的关系

传入的热量只用来蒸发物料表面的水分。如图所示,在第 II 阶段中平均含水率  $w$  随时间成比例减少,因此其干燥速率不变,亦即其干燥速率为恒速。在第 III 阶段中,物料表面已无液态水存在,亦即若水分由物料内部的扩散慢于物料表面的

蒸发,则物料表面将变干,其温度开始上升。因此,随着传入热量的减少,由于热量消耗于蒸发水分和加热物料,所以干燥速率很快降低,最后达到平衡含水率  $w_0$  而终止。I 与 II 交点处的平均含水率称为临界含水率(临界湿含量)  $w_c$ 。从任意的平均含水率中减去  $w_0$  所得的水分称为自由含水率  $F$ ,这是干燥时可以除去的水分。对于 II、III 阶段很长的物料,第 I 阶段可以忽略,湿度低时或根据物料的特性亦可无第 II 阶段。

干燥条件可分为与物料接触并使物料干燥的外部条件和物料本身所具有的内部条件两种。外部条件包括热量传入方式和所产生蒸汽的除去方式;内部条件则是物料本身的成分、形状、含水率和平衡含水率等。干燥速率可用  $R$ (公斤-水/时·米<sup>2</sup>-干燥面积)或

$R_w$ (公斤-水/时·公斤-无水物料)来表示,  $R$  与  $R_w$  有如下关系

$$R = R_w(W/A)$$

式中:  $W$ ——干物料质量(公斤);

$A$ ——干燥面积(米<sup>2</sup>)。

将此干燥速率对  $w$  进行标绘,可得图示干燥特性曲线。在图 1.1 中,平均含水率曲线对时间的斜率是  $R_w$ 。若将  $R_w$ (或  $R$ )对  $w$  标绘可得图 1.2\*。

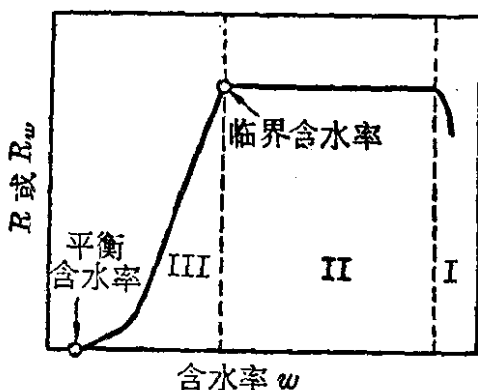


图 1.2 干燥特性曲线

\* 忽视物料表面积收缩时,会使恒速干燥速率  $R$  产生误差。

## 1.2 恒速干燥速率 $R_c$

$R_c$  仅由外部干燥条件决定。当物料用热风加热时, 由于物料温度  $t_w$  变为湿球温度, 所以单位面积的受热量为  $h_c(t-t_w)$  (千卡/时·米<sup>2</sup>),  $R_c$ (公斤/时·米<sup>2</sup>)可用下式表示

$$R_c = \frac{h_c(t-t_w)}{\lambda_w} \quad (1.2)$$

式中:  $h_c$ ——给热系数(千卡/时·米<sup>2</sup>·°C);

$t$ ——热风温度(°C);

$\lambda_w$ —— $t_w$  时的蒸发潜热(千卡/公斤)。

如果考虑传质, 则有

$$R_c = k(H_w - H) \quad (1.3)$$

式中:  $k$ ——传质系数(公斤/时·米<sup>2</sup>· $\Delta H$ );

$H$ ——热风湿度(公斤-蒸汽/公斤-干气体);

$H_w$ —— $t_w$  时的饱和湿度。

对于空气-水蒸气系统, 下述刘易斯法则近似成立

$$\frac{h_c}{k} \approx C_H \quad (1.4)$$

式中:  $C_H$ ——热风的湿比热(千卡/公斤-干气体·°C)。

因此,

$$R_c = \frac{h_c}{\lambda_w} (t-t_w) = k(H_w - H) = \frac{h_c}{C_H} (H_w - H) \quad (1.5)$$

将放在盘形容器中的物料置于热风中干燥时, 虽然物料上下两面受热, 但仅有上面被干燥。这时

$$\begin{aligned} R_c &= (t-t_m) \left( h_c + \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{l_t}{k_t} + \frac{l}{k_s}} \right) \frac{1}{\lambda_m} \\ &= k(H_m - H) = \frac{h_c}{C_H} (H_m - H) \end{aligned} \quad (1.6)$$

式中:  $t_m$ ——比  $t_w$  高的物料表面温度(°C);

$H_m$ ——与  $t_m$  对应的饱和湿度(公斤-蒸汽/公斤-干气体);

$\lambda_m$ —— $t_m$  时的蒸发潜热(千卡/公斤);

$l_t, l$ ——容器和物料层的厚度(米);

$k_t, k_o$ ——容器和物料层的导热系数(千卡/时·米·°C)。

在式(1.6)中,  $t_m$  与  $H_m$  必须相互满足, 所以可用试差法求解式(1.6)。 $k_o$  的值约为 1.5~3 千卡/时·米·°C。

除对流传热外, 还存有热传导时(如图 1.3 所示), 则

$$R_o = \left[ h_o(t - t_m) + \left( \frac{t_k - t_m}{\frac{l_t}{k_t} + \frac{l}{k_o}} \right) \frac{A_k}{A} \right] \frac{1}{\lambda_m} \\ = k(H_m - H) = \frac{h_o}{C_H}(H_m - H) \quad (1.7)$$

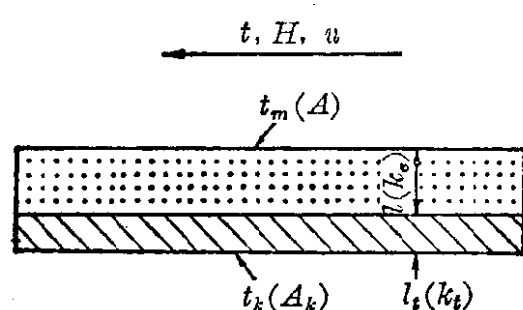
式中:  $t_k$ ——热源温度(°C);

$A_k$ ——热传导面积(米<sup>2</sup>);

$A$ ——对流传热(或干燥)面积(米<sup>2</sup>)。

进一步计及辐射传热时

$$R_o = \left[ h_o(t - t_m) + \left( \frac{1}{\frac{l_t}{k_t} + \frac{l}{k_o}} \right) (t_k - t_m) \frac{A_k}{A} \right. \\ \left. + h_r(t_r - t_m) \frac{A_r}{A} \right] \frac{1}{\lambda_m} = \frac{h_o}{C_H}(H_m - H) \quad (1.8)$$



式中:  $A_r$ ——辐射传热面积(米<sup>2</sup>);

$h_r$ ——辐射传热系数(千卡/时·米<sup>2</sup>·°C)。

计算  $h_r$  时所需的物料黑

图 1.3 对流传热与传导传热示意图

度系数常取为 0.9~0.95。

$h_o$  值根据物料与热风接触状况由下述方法确定。

(i) 热风在板状物料间平行流动时

$$h_o = CG_m^{0.8} \quad (1.9)$$

式中:  $C=0.013\sim 0.0176$ ;

$G_m$ ——热风的质量速度( $=u\rho_g$ ) (公斤/时·米<sup>2</sup>);

$u$ ——热风速度(米/时);

$\rho_g$ ——热风密度(公斤/米<sup>3</sup>)。

(ii) 单一球形颗粒与热风接触时

$$Nu=2+0.65Re^{1/3}Pr^{1/3} \quad (1.10)$$

式中:  $Nu$ ——努歇尔数( $=h_c D_p/k_g$ );

$Re$ ——雷诺数( $=D_p u \rho_g/\mu_g$ );

$Pr$ ——普朗特数( $=C_p \mu_g/k_g$ )  $=0.7$  (空气等双原子气体时);

$D_p$ ——球径(米);

$k_g$ ——热风的导热系数(千卡/时·米·°C);

$\mu_g$ ——热风粘度(公斤/米·时);

$C_p$ ——热风定压比热(千卡/公斤·°C)。

固定床颗粒与热风之间的传热可参阅文献<sup>1)</sup>。

【例 1.1】 (1) 将厚度 3 厘米的板状物料置于金属网上, 送入温度 65°C、 $H=0.02$  公斤-蒸汽/公斤-干气体、 $u=3$  米/秒 且与板状物料平行流动的空气中进行干燥;

(2) 将此物料置于厚度为 2 毫米的不锈钢盘内进行干燥, 不锈钢的导热系数为 22 千卡/时·米·°C, 物料的导热系数为 2.0 千卡/时·米·°C;

(3) 将此盘置于 130°C 的热板上。

试求上述三种情况的恒速干燥速率, 并比较干燥能力。

【解】 由湿度图图 1.10, 空气在 65°C、 $H=0.02$  时的湿比容  $v_H=0.988$  米<sup>3</sup>/公斤-干气体, 因此质量速度  $G_m$  为

$$G_m=3 \times 3600(1+0.02)/0.988=11150 \text{ 公斤/米}^2 \cdot \text{时}$$

由式(1.9)

$$h_c=0.013(11150)^{0.8}=0.013 \times 1720=22.4$$

由湿度图图 1.10 可得, 相应于此空气条件下的  $v_H=0.988$ 、

1) 桐柴良三編: 乾燥裝置, 日刊工業新聞社, (1966)p.16.

$t_w=33.8^{\circ}\text{C}$ 、 $H_w=0.0336$  公斤-蒸汽/公斤-干气体、 $\lambda_w=577$  千卡/公斤·米、 $C_H=0.249$  千卡/ $^{\circ}\text{C}$ ·公斤-干气体。

(1) 由式(1.2)

$$R_{c_1}=22.4(65-33.8)/577=1.21 \text{ 公斤/时}\cdot\text{米}^2$$

由式(1.5)

$$R_{c_1}=(22.4/0.249)(0.0336-0.020)=1.22 \text{ 公斤/时}\cdot\text{米}^2$$

两者大体一致。

(2) 由式(1.6)

$$\begin{aligned} R_{c_1} &= \left\{ 22.4 + 1 / \left( \frac{1}{22.4} + \frac{0.002}{22} + \frac{0.03}{2.0} \right) \right\} (65 - t_m) / \lambda_m \\ &= (22.4/0.249) (H_m - 0.02) \end{aligned}$$

用图 1.10 采用试差法可得,  $t_m=37.0^{\circ}\text{C}$ 、 $H_m=0.0412$ 、 $\lambda_m=575.2$  时, 上式成立。将数值代入, 可得

$$R_{c_1}=1.9 \text{ 公斤/时}\cdot\text{米}^2$$

(3) 在式(1.7)中, 若取  $A_k=A$ , 则

$$\begin{aligned} R_{c_1} &= [22.4(65 - t_m) + (120 - t_m) / (0.002/22 \\ &\quad + 0.03/2.0)] / \lambda_m \\ &= (22.4/0.249) (H_m - 0.02) \end{aligned}$$

亦采用试差法求解, 在  $t_m=54.5^{\circ}\text{C}$ 、 $H_m=0.110$  时上式成立,  $R_{c_1}=8.10$  公斤/时·米<sup>2</sup>。

由于(1)是两面进行干燥, 其它是一面进行干燥, 所以单位面积的干燥能力比为

$$R_{c_1} \times 2 : R_{c_2} : R_{c_3} = 1.21 \times 2 : 1.90 : 8.10 = 1 : 0.778 : 3.32$$

【例 1.2】 试求直径为 2 毫米的水滴, 在温度为  $120^{\circ}\text{C}$ 、 $H=0.02$ 、 $u=0.5$  米/秒的空气中干燥时的干燥速率。

【解】 由湿度图图 1.10 可知, 此空气的  $t_w=41.8^{\circ}\text{C}$ 、 $\lambda_w=572.5$ 、 $v_H=1.148$ 。另外, 此条件下的空气导热系数和粘度为  $k_g^*=0.0284$ 、 $\mu_g^*=223 \times 10^{-6}$  泊  $=22.3 \times 10^{-6}$  公斤/米·秒、 $\rho_g=(1+H)/v_H=(1+0.02)/1.148=0.889$ 。

\* 数据摘自《化学工学便览》, 丸善, (1976)p.51。

将以上数值代入式(1.10), 得

$$\begin{aligned} & h_c \times 2 \times 10^{-3} / 0.0284 \\ &= 2 + 0.65 (2 \times 10^{-3} \times 0.5 \times 0.889 / 22.3 \times 10^{-6})^{1/2} (0.7)^{1/3} \\ &= 2 + 0.65 (39.9)^{1/2} (0.7)^{1/3} \\ &= 2 + 0.65 \times 6.3 \times 0.888 \\ &= 2 + 3.64 = 5.64 \\ & h_c = 5.64 \times 0.0284 / (2 \times 10^{-3}) = 80^* \\ & R_c = 80 (120 - 41.8) / 572.5 = 10.93^{**} (\text{公斤/时} \cdot \text{米}^2) \end{aligned}$$

### 1.3 降速干燥速率 $R_d$

$R_d$  显然受物料的物性和干燥方法的影响。物料有非吸附性物料和吸附性物料(细胞质物料)等各种含水状态。干燥物的形态则有粉粒状、片状、板状、成形状、长幅状乃至液滴状。这些物料干燥时, 可采用热风对流加热、热传导或辐射加热, 也可采用过热蒸汽或在真空中进行干燥等各种方法。

根据上述情况, 在干燥过程中物料内水分减少的状态, 亦即水分分布各有不同,  $R_d$  亦随之改变。例如, 当以热风干燥堆积成 3 厘米厚的潮湿非吸附性物料砂层和潮湿吸附性物料活性氧化铝层时, 物料内的水分分布随时间的变化如图 1.4 所示, 此时的干燥特性曲线如图 1.5 所示。可以看出, 两种物料有明显的差异。同时, 由于在恒速干燥阶段物料表面的蒸发速率等于恒速干燥速率, 因此, 恒速干燥速率计算与物料内的水分分布无关。本书省略有关干燥机理的讨论, 仅对各种物料的干燥实验结果及现有的降速干燥曲线进行分类, 并介绍推算降速干燥时间的方法。

(1) 粉粒状物料的搅拌干燥、液滴的干燥以及薄物料层的干燥等, 大多数是如图 1.6 所示的降速干燥速率与含水率成比例减少的情况。此外, 即使是上述以外的情况, 其实验结果近似呈直线

\* 原文 85 有误, 已予更正。——译注

\*\* 原文 11.6 有误, 已予更正。——译注



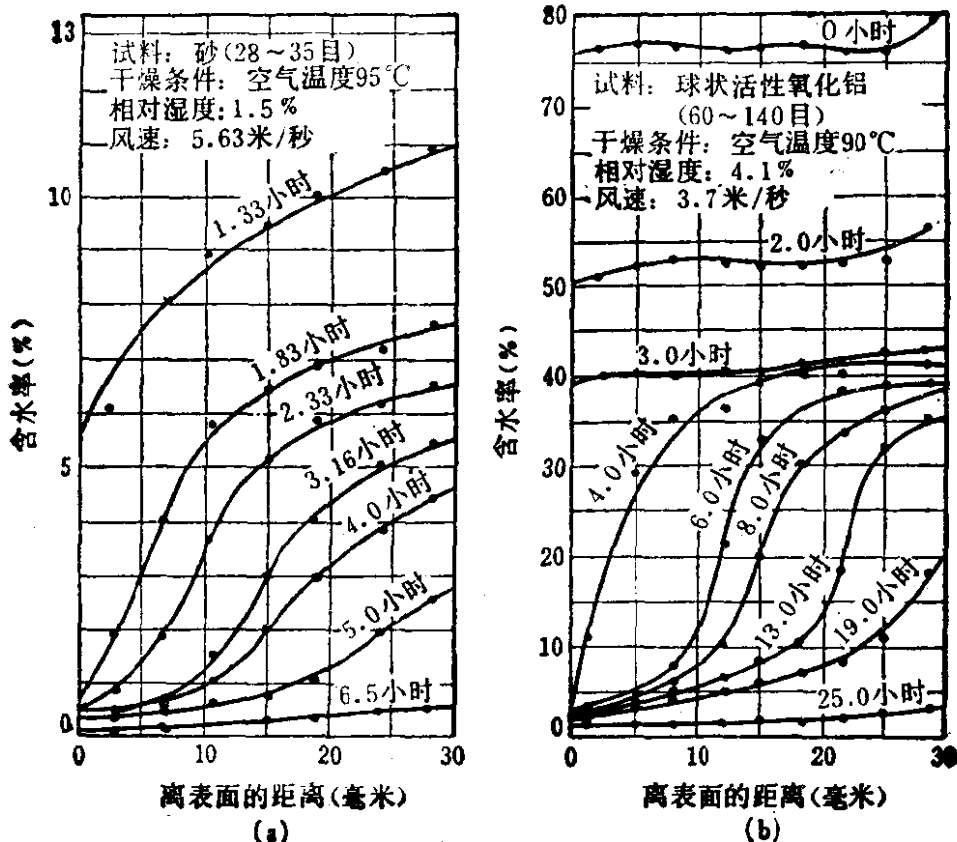


图 1.4 各种物料的含水率分布曲线

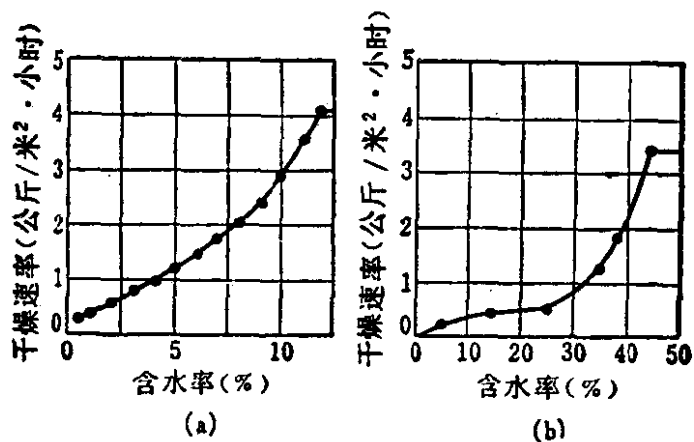


图 1.5 干燥特性曲线

(试料, 干燥条件分别与图 1.4(a), (b) 相对应)

的例子也不少。此时, 自由含水率为  $F(=w-w_e)$  时的  $R_a$  为

$$R_a = \left\{ \frac{W(-dw)}{A d\theta} \right\}_a = R_c \frac{F}{F_c} \quad (1.11)$$

式中:  $F_c(=w_c-w_e)$ ——自由临界含水率;

$w_c, w_e$ ——临界含水率及平衡含水率。