

147352

溫濕圖在通風計算中的應用

A. B. 涅斯捷林科著

6
3645

建築工程出版社

147352

566

5/3645

K1

溫濕圖在通風計算中的应用

冶金工業部有色冶金設計院翻譯科 譯

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本書闡述了與空氣狀態變化有關的各種通風計算的圖解算法，列舉了排熱與排濕氣車間的通風、空氣調節和熱風采暖的主要實例，同時還用溫濕圖對通風系統的自動控制過程作了分析。

本書系以采暖通風工程師和專家為對象而寫成的，同時它也可以作為高等建築學校高年級學生的參考書。

原本說明

書 名 ПРИМЕНЕНИЕ I—d-ДИАГРАММЫ В РАСЧЕТАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

作 者 А. В. Нестеренко

出版者 Государственное издательство строительной литературы

出版地點及年份 Москва—1950—Ленинград

溫濕圖在通風計算中的應用

冶金工業部有色冶金設計院翻譯科 譯

*

建築工程出版社出版（北京市學廠門外南風土路）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第352號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號728 81千字 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 3 $\frac{7}{16}$ 插頁1

1958年3月第1版 1958年3月第1次印刷

印數：1—2,100冊 定價（10）0.70元

前 言

促使著者出版本書的原因,是現今的技術書籍對於用溫濕圖進行通風計算的方法還沒有給以充分的闡明。

著者編寫本書的目的,是向設計工作者介紹在進行與空氣狀態變化有關的計算時如何應用圖解法。

在編寫本書的過程中,承蒙 А.П.烏施科娃 (Ушкова) 大力協助,著者在此謹表謝忱。

目 录

前 言	3
緒 論	6
第一章 湿空气的性质和空气状态变化在温湿图中的表示法	7
(一) 空气的化学成分	7
(二) 湿空气的物理性质	7
(三) 湿空气温湿图	10
(四) 湿空气状态变化在温湿图中的表示法	13
(五) 空气状态变化的典型情况与其在温湿图中的表示法	14
(六) 角度比例	18
(七) 角系数分子和分母的符号对于过程幅射线方向的影响	19
(八) 角度比例分度规	21
(九) 空气的混合	23
(十) 用温湿图根据干湿球温度计的读数计算空气湿度	25
(十一) 图解法同分析法的比较	27
第二章 换气的图解算法	29
(一) 产生热和湿的房间的通风空气量的图解算法	29
(二) 利用再循环空气时确定通风空气量的图解法	34
(三) 用图解算法确定不同情况下的送入空气的参数	35
第三章 空气调节的图解算法	43
(一) 空气绝热加湿过程的作图法	43
(二) 减湿降温时的空气状态变化过程在温湿图上的作图法	57
(三) 从空气完全调节装置中的喷雾空间出来的空气终状态的确定	59
(四) 空气减湿降温过程的图解作图法	61

(五) 在冬季空气调节过程的作图中确定送入空气参数的方法	68
(六) 空气状态变化角系数各不相同但共用一个空气调节装置的两个房间用的空气完全调节过程作图法	69
(七) 热水加湿空气法	72
(八) 在喷雾室中用冷直流水使空气降温的图解算法	76
(九) 室内空气补充加湿用的通风装置的图解算法 (夏季情况)	78
(十) 空气用过热水降温法	80
(十一) 空气借吸湿作用的减湿法	82
第四章 在通风计算中使用图解法的个别情况	84
(一) 湿车间通风的图解计算	84
(二) 除雾装置的图解算法	92
(三) 由产生蒸汽的设备防止扩散装置所排出的空气量的图解算法	94
(四) 用图解法检查外圍结构内表面的结露情况	96
(五) 热风采暖的图解算法	97
(六) 室内空气温度和湿度的调节	102
附 录	105

緒 論

由于工业、公用和市政建筑的建設事业蓬勃发展,特别是在战后五年計劃期間,摆在通风設計工程师面前的重要任务是:要在最短的期限內給国家做出这些建筑物的优良通风設計。而大量建筑(如有余热和余湿的車間、热車間、需要有空气調节和热风采暖設備的公用建筑、澡塘和洗衣房等)的通风計算都是要牽涉到空气状态的变化。

在这种情况下使用图解法,不仅可以將所考虑的过程明显的繪出,而且还可以大大的减少設計人員花在运算和选择合适方案上的時間。

計算干燥过程的經驗表明,使用根据俄罗斯学者Л. К. 拉姆津(Рамзин)教授在苏联首先制成的温湿图而制定的图解法有很多优点。

在需要通风的房間內,由于室內放出热和湿而引起的空气状态变化,以及在空气調节室內处理空气时所发生的空气状态变化,都和干燥过程有某些类似。因此,通风过程的計算也可以借温湿图来进行。

В. Н. 維堅涅索夫(Веденисов)工程师、Д. Л. 波里亚柯夫(Поляков)工程师和 Б. М. 李亞霍夫(Ляхов)講師,在做紡織廠的通风計算时,首先利用了这种图。

В. В. 巴图林(Батурин)、Н. В. 杰格嘉列夫(Дегтярев)、Н. С. 索罗金(Сорокин)講師和 П. Н. 卡米涅夫(Каменев)、Р. И. 盖赫特(Гехт)教授等人,則在通风計算中应用图解法的数学法方面,都曾經作出很大的貢獻。

毫无疑义,图解計算法在不久的将来一定会被广泛应用。

然而,应用温湿图的图解計算法在现有的技术書籍中仍然沒有得到充分的闡明。

本書的目的就是要按照有系統的程序來說明温湿图在通风計算中的应用,并借以促进温湿图的推广。

第一章 湿空气的性质和空气状态 变化在温湿图中的表示法

(一) 空气的化学成分

大气基本上是两种气体的混合物。这两种气体就是氧和氮。除此而外,在大气中还存在着一定数量的二氧化碳、氩和水蒸汽等。

上述元素含量的重量百分比列举如下:

氧——23.1%	氮——75.5%
二氧化碳——0.3~0.5%	氩——1.3%

在饱和状态的空气中,水蒸汽的含量与温度和空气压力有关,水蒸汽的含量随着空气温度的增高而增加。

(二) 湿空气的物理性质

1. 大气空气的计示大气压力。我们将把大气空气看做是由干空气和水蒸汽所构成的气体混合物。大气空气的计示大气压力(B)就是由于空气和水蒸汽的分压力所构成的:

$$B = h_1 + h_w \text{ (公厘水银柱)}, \quad (1)$$

式中: h_1 ——干空气分压力(公厘水银柱);

h_w ——水蒸汽分压力(公厘水银柱)。

在非饱和状态的空气中,水蒸汽是呈过热状态存在着的,因为它的温度较饱和蒸汽的温度为高。

2. 绝对湿度。绝对湿度是1立方公尺湿空气中所含水蒸汽的重量,以公斤计算。

3. 空气含湿量。在混合气体中,同1公斤干空气相适应的水蒸汽重量(克),称为空气含湿量(d)。空气含湿量可根据下列公式求得:

$$d = 622 \frac{h_w}{B - h_w} \text{ 克/公斤干空气。} \quad (2)$$

4. 相对湿度。1立方公尺湿空气中所含水蒸汽的重量,与同体积湿空气在同一温度和饱和状态时所含水蒸汽的比值的比,称为湿空气的相对湿度 φ :

$$\varphi = \frac{d'}{d'_s} \times 100 = \frac{h_w}{h_{w_s}} \times 100\%, \quad (3)$$

式中: φ ——相对湿度(%);

d' ——1立方公尺空气在某一温度及某一饱和状态下的含湿量(克);

d'_s ——1立方公尺空气在同一温度及饱和状态下的含湿量(克);

h_{w_s} ——在同一温度及饱和状态下的水蒸汽分压力。

5. 干空气的重量。在标准计示大气压力下,干空气的单位体积重量,只与空气的温度有关。当 $t=0^\circ$, $B=760$ 公厘水银柱时,1立方公尺干空气的重量为1.293公斤/立方公尺。当温度变化时,空气的单位体积重量,与空气体积膨胀系数 $\left(\alpha = \frac{1}{273}\right)$ 成正比而变。

6. 不同温度下空气体积的变化。当温度为 t 时,如果空气体积为 L_t 立方公尺,则当 $t_0=0^\circ$ 时,该空气体积即将等于:

$$L_0 = \frac{L_t}{1 + \frac{1}{273}t} \text{ 立方公尺。} \quad (4)$$

如已知 0° 时的空气体积,则 t° 时的体积将为:

$$L_t = L_0 \left(1 + \frac{1}{273}t \right) \text{ 立方公尺。} \quad (5)$$

如已知温度 t 时的体积,则温度 t_1 时的体积可以由下式求得:

① 相对湿度也可以用水蒸汽分压力的比值表示。

$$L_{t_1} = \frac{L_t \left(1 + \frac{1}{273} t_1 \right)}{\left(1 + \frac{1}{273} t \right)} \text{立方公尺。} \quad (6)$$

7. 湿空气的重量。湿空气的重量是由 1 立方公尺湿空气中所含干空气的重量($g_{c y x}$)和水蒸汽重量($g_{o . n}$)所构成的,即:

$$g_{o . a} = g_{c y x} + g_{o . n} \text{公斤/立方公尺。} \quad (7)$$

反之: $g_{c y x} = \frac{L - h_w}{2.153T} \text{公斤,}$

式中: 2.153——干空气的气体常数(当以公斤/平方公尺为单位测定压力时);

T ——空气的绝对温度;

$$g_{o . n} = \frac{h_w}{3.461T} \text{公斤,}$$

式中: 3.461——水蒸汽的气体常数(当以公斤/平方公尺为单位测定压力时)。

将以上的数值代入公式(7)则得:

$$g_{o . a} = \frac{L - h_w}{2.153T} + \frac{h_w}{3.461T} \text{公斤/立方公尺。} \quad (7')$$

8. 湿空气的热容量。使 1 公斤湿空气温度升高 1°C 所需的热量,称为湿空气的热容量:

$$c_{o . a} = \frac{c_o + \frac{d}{1000} c_n}{1 + \frac{d}{1000}} \text{千卡/公斤} \cdot \text{度,} \quad (8)$$

式中: c_n ——蒸汽的平均热容量(约为 0.46 千卡/公斤·度);

c_o ——干空气的热容量(约为 0.24 千卡/公斤·度)。

9. 湿空气的含热量。湿空气的含热量是干空气与水蒸汽含热量的代数和。

一般,当温度为 t 时, $1 + \frac{d}{1000}$ 公斤空气蒸汽混合气体的含热量,可由下式求得:

$$I = 0.24t + (0.46t + 595) \frac{d}{1000} \text{ 千卡/公斤干空气, } (9)$$

式中: $0.24t$ ——干空气的含热量;

$0.46t \frac{d}{1000}$ ——空气中所含过热水蒸汽的热量;

$595 \frac{d}{1000}$ —— 0° 时的汽化潜热。

(三) 湿空气温湿图

Л. К. 拉姆津教授利用公式(9)制成了温湿图。该图已得到广泛的应用。温湿图表示已知压力下的空气各主要参数,如 t, φ, I, d 和 h_w 等的图解关系。温湿图是用斜坐标法制成的,其坐标轴之间的角度 $\alpha = 135^\circ$ (图1)在辅助的水平轴 Od_1 上,以一定的比例,间隔为1克,截取含湿量的诸值,经过所得各点引垂线,这些垂线即表示固定含湿量($d = \text{常数}$)。

在纵坐标轴上,以二倍于水平轴上点距的距离,代表含热量1千卡,在 O 点以上的为正数含热量, O 点以下的为负数含热量。经过所得各点引 $I = \text{常数}$ 的固定含热量直线,以 135° 角同 $d = \text{常数}$ 的直线相交(即平行于主轴 Od)。

在这样做出的坐标网上(由平行四边形所构成的),再做等温线($t = \text{常数}$),和固定相对湿度的线($\varphi = \text{常数}$)。

如果 $t = \text{常数}$,则方程式(9)将是一个直线方程式,这样,等温线也将是直线,因此,可以根据两点将它们划出。为了划出 $t = 0^\circ$ 的等温线,现取空气的两个临界状态,即 $\varphi = 0\%$ (绝对干燥)和 $\varphi = 100\%$ (饱和)。因为 $t = 0, \varphi = 0$ 和 $d = 0$,所以 $I = 0$ 。由此可见,等于零的这条等温线,应该通过坐标原点。

其次,当 $\varphi = 100\%$ 时,可根据公式(2)求 d_s :

$$d_s = 622 \frac{h_{ws}}{B - h_{ws}} = 622 \times \frac{4.6}{745 - 4.6} = 3.87.$$

h_{ws} 的值可由附表中查得(见附录)。

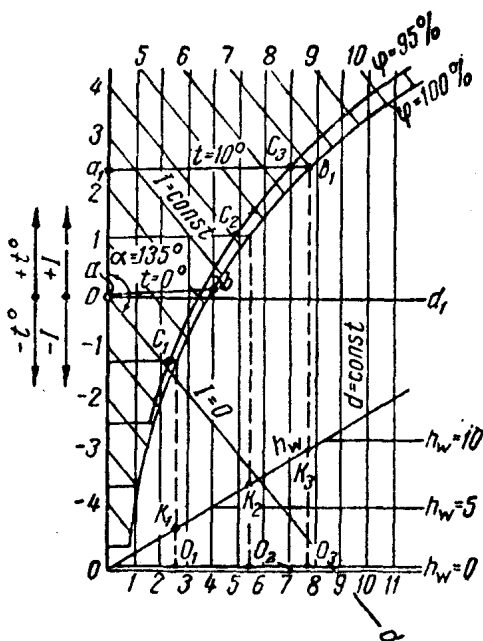


图 1

当 $t=0^\circ$, $d_s=3.87$ 克时, 空气的含热量为:

$$I = 595 \times \frac{3.87}{1000} = 2.3。$$

在 $I-d$ 坐标中, 根据所得的数据, 首先找出具有相当于 $I=0$ 和 $d=0$ 这样空气状态的参数的点 a (即元点), 再找出具有参数 $I=2.3$ 千卡和 $d_s=3.87$ 克的点 b , 以直线连接此两点, 即得出 $t=0^\circ$ 的等温线。

用同样方法可以画出其他任何一条等温线。再做一条 $t=10^\circ$ 的等温线。当 $t=10^\circ$, $\varphi=0\%$, $d=0$ 时, 根据公式 (9) 可得:

$$I = 0.24 \times 10 = 2.4。$$

当 $t=10^\circ$, $\varphi=100$ 时,

$$d_s = 622 \times \frac{9.165}{745 - 9.165} = 7.78。$$

$$I = 0.24 \times 10 + 0.595 \times 7.78 + 0.00046 \times 10 \times 7.78 = 2.4 + 4.64 + 0.0366 = 7.0766.$$

根据已求得的 I 与 d 的值, 在坐标网中找出各该点, 以直线连接此两点(点 a_1 和点 b_1), 即得 $t = 10^\circ$ 的等温线。

当使用温湿图时, 必须注意, 等温线并不互相平行, 因为他们倾向于 d 轴的角度是各不相同的。尤其是高温时, 其差别就愈加明显。

当作等温线时, 已经看到, 其右端是相当于空气饱和状态, 即 $\varphi = 100\%$ 。如将 $b, b_1, \dots$ 各点以曲线连接, 则可在图上得出一条相对湿度 $\varphi = 100\%$ 的曲线, 或者称为临界曲线。所有在曲线以上的部分, 都表示水蒸汽尚未达到饱和状态的空气。

为了画出 $\varphi = 95\%$ 的曲线, 首先必须算出在各种温度下相当于该饱和状态的含湿量, 然后在等温线上找出 $C_1, C_2, C_3, \dots$ 各点(要与所求得的含湿量相符), 将这些点用曲线连接, 即得 $\varphi = 95\%$ 的曲线。

用同样的方法可以作出其余的曲线。

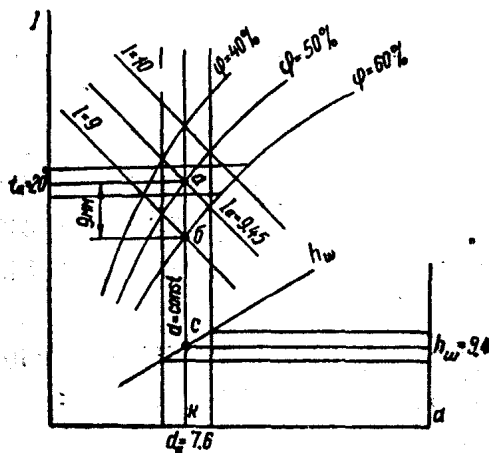


图 2

为了在图的右侧做分压力直线, 在与纵坐标轴相平行的直线上, 作出以公厘水银柱为单位的分压力标度, 自 $h_w = 0$ 开始, 至该图面可能达到的 h_w 值为止。比例应尽可能选择较大者, 但需要考虑到, 不要让 h_w 直线与 $\varphi = 100\%$ 的曲线相交。在直线 t 与曲线 $\varphi = 100\%$ 的交点处通过的诸垂线(见虚线)

上, 按照所采用的 h_w 比例, 自 $h_w = 0$ 的水平线向上截取线段 $K_1 O_1$ 、

K_2O_2 和 K_3O_3 等,此各綫段的长短,要相当于在各該温度下飽和空气中所含水蒸汽的分压力的值(此分压力的值可从附录的表中查得)。如此得出的綫段端点(K_1 、 K_2 和 K_3 等),以 h_w 曲綫連接,这条曲綫差不多是一条直綫。

为了举出該图的实际应用范例,现在就用該图求 I_a 、 d_a 和 h_{wa} 的值,并假定其余的两个空气参数为已知的,即: $t_a = +20^\circ$, $\varphi_a = 50\%$ 。

在图中找出表示所給出的空气状态的点。該点在 $t = +20^\circ$ 的等温綫与 $\varphi = 50\%$ 的曲綫的交点上(图 2 上的 a 点)。

然后再在图上找出該点的其他参数。沿通过 a 点的固定含湿量的綫往下查,在横坐标軸上便可讀出含湿量的值为 $d_a = 7.6$ 克。既知 a 点是在 9 和 10 千卡的固定含热量綫(絕热綫)的中間,现在即可確定 a 点的含热量。为此,需量 ab 綫的长度,量得为 9 公厘。按含热量的比例計算,則相当于 $9:20 = 0.45$ 千卡。將所得的值加在下面最近的一条等于 9.0 千卡的絕热綫上,則得: $I_a = 9.0 + 0.45 = 9.45$ 千卡,这就是所求的空气含热量。

分压力的值依綫段 OK 决定。根据所采用的分压力比例,此綫段相当于: $h_w = 9.4$ 公厘水銀柱。

(四) 湿空气状态变化在温湿图中的表示法

在通风实践中,常常需要把空气蒸汽混合气体,从一种状态轉变为另一种状态,如增温、降温、加湿和减湿等。

这些过程在温湿图上常用輻射綫,也就是表示湿空气状态变化的直綫来表示。

如空气始状态的参数为 I_1 、 d_1 ,終状态参数为 I_2 、 d_2 ,則下面的比值,即
$$\frac{I_2 - I_1}{(d_2 - d_1) \frac{1}{1000}} = \epsilon \left(\text{或} \frac{\Delta I}{\Delta d} = \epsilon \right),$$
 就是温湿图中

表示空气状态变化过程的直綫的角系数。我們在下面就把这条表示空气状态变化特征的綫,称为过程輻射綫。

用同一角系数值表示的各种空气状态的变化,对于 1 公斤的湿气,其单位热量增加值是相同的。

这样,如果空气的始参数和角系数是已知的,則在图中作过程

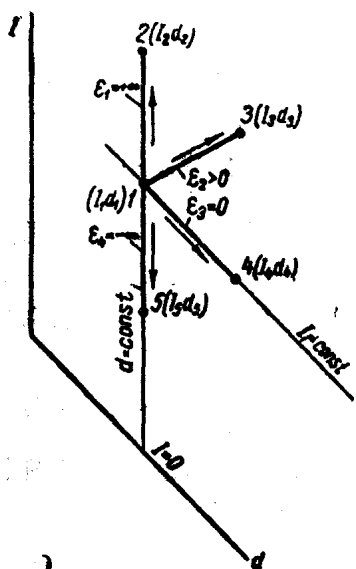
輻射線的問題,就可以歸納為:在斜坐標內,根據已知點與角系數作直線。

(五) 空氣狀態變化的典型情況與其在 溫濕圖中的表示法

第一種情況。將始參數為 I_1, d_1 的空氣蒸汽混合氣體增溫,但不要改變其含濕量,也就是: $d_1 = d_2 = \text{常數}$ 。

因為這一過程是在含濕量不變的情況下完成的,所以表示該狀態變化的輻射線應該同 $d = \text{常數}$ 的線相平行。當 $I_2 > I_1$ 時,角系數的方程式如下:

$$\epsilon_1 = -\frac{I_2 - I_1}{(d_2 - d_1) \frac{1}{1000}} = \frac{I_2 - I_1}{0} = +\infty. \quad (10)$$



所得的角系數值表明,空氣加熱過程是按照自參數為 I_1, d_1 的點 1 向上引的垂線進行,而終止於在同一直線上參數為 I_2, d_2 的點 2 (圖 3)。

第二種情況。空氣蒸汽混合氣體同時吸收熱和濕。如空氣始狀態與第一種情況相同,即參數為 I_1, d_1 (點 1),而終狀態將為 I_2, d_2 ,則所求的輻射線方向,將取決於下列比值:

$$\epsilon_2 = \frac{I_2 - I_1}{(d_2 - d_1) \frac{1}{1000}} > 0, \quad (11)$$

它相當於圖 3 上所畫出的 1—3 輻射線的方向。

第三種情況。空氣蒸汽混合氣體吸濕,但不變含熱量: $I_1 = I_2 = \text{常數}$ (絕熱過程)。因為該過程是在固定含熱量下完成的,那么

表示此变化的辐射线，应该同 $I = \text{常数}$ 的直线相平行。如始状态同前，其参数仍为 I_1 、 d_1 (点1)，则此种情况下的辐射线方向将以下列的角系数值决定：

$$\epsilon_3 = \frac{I_4 - I_1}{(d_4 - d_1) \frac{1}{1000}} = \frac{0}{(d_4 - d_1) \frac{1}{1000}} = 0. \quad (12)$$

这就是说，该过程是按 $I_1 = \text{常数}$ 的线 (图3直线1—4) 进行的。

第四种情况。空气蒸汽混合气体在含热量不变的条件下散热， $d_1 = d_5 = \text{常数}$ ，也就是说，过程像在第一种情况下那样，将以平行于 $d = \text{常数}$ 的辐射线表示，只有其方向是自点1向下。

设采用与上面相同的空气始状态，即参数为 I_1 、 d_1 (当 $I_5 < I_1$ 时)，即可得角系数的数学方程式：

$$\epsilon_4 = \frac{I_5 - I_1}{(d_5 - d_1) \frac{1}{1000}} = \frac{I_5 - I_1}{0} = -\infty. \quad (13)$$

所得的 ϵ_4 的值表明，该过程可由平行于 $d = \text{常数}$ 的直线表示，并在进行中降低了温度。也就是说，辐射线1—5是自点1起平行于纵坐标轴而下行 (向温度降低的方向)。

为了说明上述各点，现在就空气状态变化的具体情况加以研究。

向空气蒸汽混合气体中加入水蒸汽，加入的数量为每 L 公斤空气加水蒸汽 g 克。空气蒸汽混合气体始状态的参数为 I_1 、 d_1 。要求找出该过程辐射线的方向，并确定和水蒸汽混合后的空气终状态的参数 I_2 、 d_2 。

现在写出空气热平衡式：

$$I_1 + \frac{g i_n}{L} = I_2 \text{ 或 } I_2 - I_1 = \frac{g i_n}{L}, \quad (a)$$

式中： i_n ——进入空气中的水蒸汽的含热量。

类似(a)式，可以写出湿平衡式：

$$d_1 + \frac{g}{L} = d_2 \text{ 或 } d_2 - d_1 = \frac{g}{L}, \quad (6)$$

以方程式(6)除方程式(a),則得:

$$\epsilon = \frac{I_2 - I_1}{(d_2 - d_1) \frac{1}{1000}} = i_n. \quad (B)$$

为了在温湿图上作过程輻射綫,将等式(B)写成下列形式:

$$\epsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} = i_n = \frac{a}{b},$$

式中 a 和 b 是对于点 1 的坐标的增加值,此增加值可以为任意数值,但其比值应该是不变的,并等于 ϵ 。通常, a 和 b 的值应在图上所具有的 I 和 d 的比例范围内采取。

在图上作过程輻射綫要从参数为已知数之点开始。在此种情况下,这样的点便是空气始状态 (I_1, d_1 参数) 的点 (图 4 点 1)。自該点向上按照含热量的比例取出 a 的值,而自点 1 (点 e) 的横坐标綫按照含湿量比例截取 b 的值。

經点 e 引 $I_c = \text{常数}$ 的綫,經点 K 引 $d_k = \text{常数}$ 的綫,两坐标綫的交点 m 应该是在所求的輻射綫方向上。

經点 1 和点 m 引直綫,即可得到所求的同水蒸汽混合时的空气状态变化过程輻射綫方向。

空气終状态的含湿量可以根据(6)式求得:

$$d_2 = d_1 + \frac{g}{L}.$$

在横坐标軸上找出 d_2 的相应值,引 $d_2 = \text{常数}$ 的綫与过程輻射綫方向相交。

这样求得的两条直綫的交点 2,即具有符合于所求的空气終状态的参数 (I_2, d_2, φ_2 和 t_2)。

为了說明在温湿图上作图的方法,现举例如下:

例:設进入空气中的水蒸汽含热量为 $i_n = 640$ 千卡/公斤,空气始状态的参数为: $I_1 = 7.6$ 千卡和 $d_1 = 4.6$ 克,进入空气中的水蒸汽量 $g = 10000$