

高等林业院校交流讲义

木材水热处理

南京林学院木材学及木材水热处理教研组编

木材机械加工专业用

农业出版社

前 言

本教材是以原华东华中区高等林业院校教材編审委员会 1959 年編著的“木材干燥学”为基础,增加了有关木材水热处理工艺的理論、实施与設計計算等部分編写而成的。

編写工作是在我院党委领导下进行的。由梁世鎮同志执笔編写,由本課程教学小組的教师与进修教师集体整理。但由于編者水平有限,书中存在的缺陷与錯誤在所难免。希望讀者在使用过程中提出宝贵意見。

本教材的編写工作还得到了东北林学院朱政賢等同志的热忱帮助,謹表示感謝。

編 者

1961 年 5 月

目 录

前言

緒論	1
第一章 对流傳热介质的基本性质	3
§ 1. 湿空气及其特性	3
§ 2. 湿空气的 Id -图	5
§ 3. ty -图	10
§ 4. 炉气体的参数。 Ida -图	14
第二章 与水热处理有关的木材的性质	17
§ 5. 木材中的水分	17
§ 6. 吸湿与解吸。平衡含水率与稳定含水率	18
§ 7. 木材的热学性质、电学性质及可塑性	19
第三章 水热处理中加热过程的規律性	24
§ 8. 热傳遞的基本公式	24
§ 9. 对流傳热时对有关加热速度課題的解答	26
§ 10. 木材中的冰的融解	33
§ 11. 非对流傳热时对有关加热課題的解答	34
第四章 木材干燥与吸湿过程的規律性	38
§ 12. 干燥过程中木材内水分的移动	38
§ 13. 木材在气体介质中干燥过程的計算	41
§ 14. 关于快速干燥的一般原則	46
§ 15. 木材在干燥过程中的应力与变形	49
§ 16. 編制干燥基准的原則	53
§ 17. 木材在高频电流电場中干燥的特点	54
§ 18. 木材在嫌水性液体中干燥的特点	55
§ 19. 木材对流变湿过程的計算	57
第五章 木材的蒸、煮、浸注的实施与設備	59
§ 20. 木材蒸、煮作业的应用	59
§ 21. 木材蒸、煮的設備	59
附. 木材的浸注	62
第六章 成材窑干的設備	65
§ 22. 干燥窑的分类	65
§ 23. 对成材窑干設備的要求	66
§ 24. 干燥窑的建筑和主要設備	66
§ 25. 各种干燥窑的作用原理	74

第七章 窑干的实施	85
§ 26. 干燥窑工作前准备情况的检查	85
§ 27. 干燥前材料的堆积	86
§ 28. 在干燥过程中检验木材含水率变化与应力变化的方法	89
§ 29. 窑的开动。材料的预热(材料的初步处理)	95
§ 30. 干燥基准的选定	97
§ 31. 木材干燥过程的进行	111
§ 32. 材料的中間处理	112
§ 33. 材料的終了处理与窑干的結束	113
§ 34. 木材在窑干过程中可能产生的缺陷及其預防	116
§ 35. 干燥记录卡片	117
第八章 成材大气干燥与特种干燥法的实施	118
§ 36. 大气干燥的实施	118
§ 37. 木材在嫌水液体中干燥的实施	121
§ 38. 木材在高频率电流电场中干燥的实施	123
§ 39. 輻射干燥(紅外線干燥)	128
第九章 单板及細小木料的干燥	133
§ 40. 单板干燥的特点和方法	133
§ 41. 滾筒式干燥室内单板的干燥	134
§ 42. 帶式干燥室	140
§ 43. 涂胶单板及浸胶单板的干燥	141
§ 44. 細小木料的干燥	142
第十章 水热处理装置的设计、計算与試驗	145
§ 45. 成材干燥窑的设计任务	145
§ 46. 干燥方式与窑型的选择。窑数的計算。干燥車間的设计	145
§ 47. 周期式蒸汽干燥窑的热力計算	151
§ 48. 連續式蒸汽干燥窑热力計算的特点	160
§ 49. 周期式噴气气体干燥窑的热力計算的特点	162
§ 50. 連續式噴气气体干燥窑的热力計算的特点	165
§ 51. 燃燒室的主要参数的确定	165
§ 52. 干燥窑的气体动力計算	166
§ 53. 进气道和排气道的計算	174
§ 54. 成材干燥窑的試驗	175
§ 55. 单板干燥装置計算的特点	176
§ 56. 細碎木料干燥装置計算的特点	179
§ 57. 蒸木煮木装置計算的特点	181

主要参考文献

緒 論

我国的木材加工工业，在党的正确领导和总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，得到了迅速的发展。

木材加工工业生产中，除了锯、刨、刨等作业外，还有蒸、煮、干燥、调湿等作业。蒸木与煮木着重在提高木材的温度，不要求改变木材的含水率；木材干燥要求在提高木材温度的基础上排除木材中的水分；调湿则要求在较小幅度内提高或降低木材的含水率。这些作业均以木材和周围介质之间的热交换和水分交换为基础，因之可以总括地叫做木材水热处理。

木材水热处理对于国民经济有着重要意义。

1. 良好的干燥可以提高木材的强度，改善胶合和装饰的质量，防止变形和开裂，而保证木制品加工和使用的质量。

2. 木材经过干燥，可以防止腐朽，减轻重量，节约运输力。我国每年有大量的木材从林区外运，在运输过程中如是湿材，不但易遭菌害，发生腐朽，而且由于所含的水分太多太重，对运输很不经济。如果事先进行适当的干燥，使其含水率降低到30%以下，则可节约大量的运输力。

3. 对木材进行蒸或煮的热处理，可以提高木材的可塑性，而保证单板刨、刨或毛料弯曲的质量。

4. 对木材进行调湿处理（调整含水率），可以保证木材加工的精度。

总之，木材水热处理对于合理使用木材，节约木材，保证木材产品的质量等方面有其重要的作用。

我国劳动人民在长期的生产实践中，在木材水热处理技术方面积累了丰富的经验，但是在旧中国，由于帝国主义、官僚资本主义及封建主义的黑暗统治，木材加工工业萎缩不振，木材水热处理技术也长期地陷于落后状态。

新中国成立后，我国人民在伟大的党和毛主席的领导下，彻底解放了社会生产力，迅速地改变着一穷二白的面貌。随着社会主义经济建设的飞跃发展与木材机械加工工业的普遍兴建，木材水热处理的生产技术得到了迅速的发展。而且已由学习和沿用苏联的装置设计与工艺规程而逐步创造自己的工艺与装置，并已在有关科学研究与设计机构内设立了专业部门，在有关院校内开设了专业课程。但是无论在科学技术上或设备上，距社会主义建设事业的需要还很远。因此，我们必须继续深入生产实际，广泛总结生产经验，以促进木材水热处理科学技术水平的进一步发展。

木材水热处理课程所研究的对象，主要是以热湿气体、液体对木材进行处理，从而改变木材的温度和含水率的生产过程。

本課程以成材干燥为主，系統地研究有关木材水热处理的工艺理論、方法及装置設計，解决水热处理的技术問題，改进工艺設備，提高生产力。

学习本課程必須具有数学、物理、热工、电工、水力学、木材学、机械零件設計与厂內运输等一系列的基础理論知識。我們應該必須遵循实践——理論——实践的原則，深入生产实际，以全面系統地掌握有关木材水热处理的工艺理論和实际操作技术。

第一章 对流傳热介质的基本性质

以对流傳热方式对木材进行水热处理时,尤其是进行干燥处理时,所用的介质是湿空气与炉气体。以下阐述这些介质的基本特性,而着重于討論如何編制和应用查这些介质的各种参数的图表。

§ 1. 湿空气及其特性

1. 湿空气及其状态方程式

空气中常含有水蒸汽。含水蒸汽的空气叫做湿空气。

根据道尔顿定律,湿空气的总压 P 等于空气分压 $P_{\text{空}}$ 与水蒸汽分压 $P_{\text{汽}}$ 之和,即

$$P = P_{\text{空}} + P_{\text{汽}}. \quad (1)$$

干气体和湿气体均遵从理想气体的状态方程式(克莱普朗方程式)。即

$$Pv = RT. \quad (2)$$

式中:

P ——气体的压力[公斤/平方米];

v ——比容[立方米/公斤];

T ——绝对温度;

R ——气体常数,表示1公斤气体在压力不变的条件下,当它的温度升高 1°C 时,因膨胀而作的功,以公斤米/公斤 $^{\circ}\text{C}$ 計。空气的气体常数 $R_{\text{空}}$ 等于29.27公斤米/公斤 $^{\circ}\text{C}$;水蒸汽的气体常数 $R_{\text{汽}}$ 等于47.06公斤米/公斤 $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 空气的湿度

空气的湿度有两种概念,即:绝对湿度与相对湿度。

1) 绝对湿度 1立方米湿空气中的水蒸汽的重量,即空气中水蒸汽的重度,叫做空气的绝对湿度,用 $\gamma_{\text{汽}}$ 表示。在数值上 $\gamma_{\text{汽}}$ 是水蒸汽比容 $v_{\text{汽}}$ 的倒数,即

$$\gamma_{\text{汽}} = \frac{1}{v_{\text{汽}}} [\text{公斤/立方米}], \quad (3)$$

或

$$\gamma_{\text{汽}} = \frac{P_{\text{汽}}}{R_{\text{汽}}T} [\text{公斤/立方米}].$$

2) 湿容量 饱和空气的绝对湿度叫做空气的湿容量,用 $\gamma_{\text{飽}}$ 表示。

$$\gamma_{\text{飽}} = \frac{P_{\text{飽}}}{R_{\text{汽}} T} \text{ [公斤/立方米]。}$$

3) 相对湿度(一般简称湿度) 空气的相对湿度 φ 指空气绝对湿度 $\gamma_{\text{汽}}$ 对在同一温度下的空气湿容量 $\gamma_{\text{飽}}$ 的比率,即

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{汽}}}{\gamma_{\text{飽}}} \quad (4)$$

空气相对湿度说明在一定温度下,空气被水蒸汽所饱和的程度,常用百分率表示:

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{汽}}}{\gamma_{\text{飽}}} \cdot 100\%。$$

空气相对湿度等于空气中水蒸汽分压 $P_{\text{汽}}$ 对在同样温度下的饱和空气中水蒸汽分压 $P_{\text{飽}}$ 的比率,即

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{汽}}}{\gamma_{\text{飽}}} = \frac{P_{\text{汽}} \cdot R_{\text{汽}} \cdot T}{R_{\text{汽}} \cdot T \cdot P_{\text{飽}}} = \frac{P_{\text{汽}}}{P_{\text{飽}}} \quad (5)$$

3. 空气的湿含量

空气的湿含量 d 指 1 公斤干空气所含有的水蒸汽重量的克数。

空气湿含量正比于水蒸汽重度对于空气重度的比率,即

$$d = \frac{\gamma_{\text{汽}}}{\gamma_{\text{空}}} \cdot 1000 \text{ [克/公斤干空气]。} \quad (6)$$

根据公式(2)和(6)加以适当的换算后,得水蒸汽分压和空气湿含量之间的关系,

$$d = 622 \frac{P_{\text{汽}}}{P - P_{\text{汽}}} \text{ [克/公斤]。} \quad (7)$$

和

$$P_{\text{汽}} = \frac{d \cdot P}{622 + d} \text{ [公斤/平方米]。} \quad (8)$$

公式(8)表明,在大气压力 P 不变化时,空气中水蒸汽的分压 $P_{\text{汽}}$ 只依空气湿含量 d 而变异。

4. 湿空气的热含量(焓)

湿空气的热含量是属于混合气体中的 1 公斤干空气的热量,或者是属于 $(1 + 0.001 d)$ 公斤湿空气的热量。 $(1 + 0.001 d)$ 公斤湿空气的热含量 I 等于 1 公斤干空气的热含量 $i_{\text{空}}$ 加上 $0.001 \times d$ 公斤水蒸汽的热含量 $i_{\text{汽}}$ 。即

$$I = i_{\text{空}} + 0.001 \times d \times i_{\text{汽}} \quad (9)$$

1 公斤干空气的热含量 $i_{\text{空}}$ 等于把空气从 0°C 烘热到 $t^\circ\text{C}$ 所需的热量。1 公斤水蒸汽的热含量 $i_{\text{汽}}$ 等于在 0°C 下蒸发 1 公斤水和把所形成的水蒸汽从 0° 加热到 t° 所需的热量。因此

$$i_{\text{空}} = C_{\text{空}} \times t,$$

$$i_{\text{汽}} = r_0 + C_{\text{汽}} \times t,$$

式中:

$C_{\text{空}}$ ——干空气的热容量, 等于 0.24 仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$;

$C_{\text{汽}}$ ——水蒸汽的热容量, 等于 0.46 仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$;

r_0 ——水的汽化热, 约等于 595 仟卡/公斤(在 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时)。

将以上数值代入公式(9), 得

$$I = 0.24t + 0.001d(595 + 0.46t) \text{ [仟卡/(1 + 0.001d)公斤]} \quad (10)$$

湿空气)。

§2. 湿空气的 Id —图

Л. К. 拉姆津教授在 1918 年首先提出综合湿空气的各种参数的 Id —图。此图使得技术人员在进行干燥器的计算时得到极大的方便。按照苏联中部各气象站五十年的数据, 拉姆津确定年平均大气压力 $P = 745$ 毫米汞柱, 在绘制他的 Id —图时即采用此值。这一数值对于中国的大部分地区也是适合的。以下要阐述的是 Л. В. 克列契托夫(Кречетов) 为木材干燥工艺特别编制的 Id —图的异版。

1. Id —图上的各组线系

Id —图上一一般包括七组线系(见附录 1)。即: 热含量等于常数 ($I = \text{const}$) 线系, 湿含量等于常数 ($d = \text{const}$) 线系, 温度等于常数 ($t = \text{const}$) 线系, 湿空气重度等于常数 ($\gamma = \text{const}$) 线系, 干空气比容 [或 $(1 + 0.001d)$ 公斤湿空气容积] 等于常数 ($v_0 = \text{const}$) 线系, 水蒸汽分压等于常数 ($P_{\text{汽}} = \text{const}$) 线系与空气相对湿度等于常数 ($\varphi = \text{const}$) 线系。为了使图面不致因线系复杂而难于应用, 往往将 $\gamma = \text{const}$ 和 $v_0 = \text{const}$ 两种线系从总图分出(见附录 3)。 Id —图上还可包括其他线系, 如象水蒸汽热含量等于常数 ($i_{\text{汽}} = \text{const}$) 线系。

Id —图上 $I = \text{const}$ 线是斜的, 刻度标示在直坐标上, $d = \text{const}$ 线是垂直的, 刻度标示在横坐标上。这两种线之间的交角等于 $90^{\circ} + \angle\beta$ (图 1), 即横坐标与 $I = \text{const}$ 线之间的交角为 $\angle\beta$ 。热含量 $I = 0.24t + 0.001d(595 + 0.46t)$ 。当 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时, $I_0 = 0.595d$ 。图上 I 的刻度 M_i 是 1 大卡 = 10 毫米; d 的刻度 M_d 是 1 克 = 1 毫米。因之

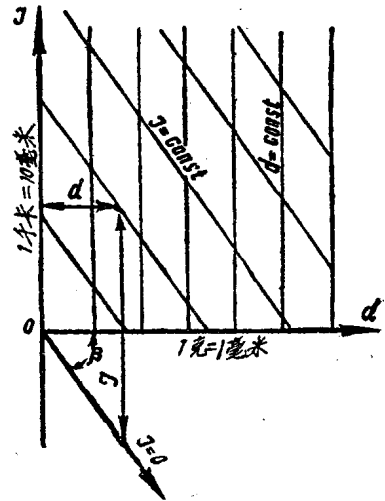


图 1 Id —图表的编构

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{AB}{OA} = \frac{I \cdot M_i}{d \cdot M_d} = \frac{0.595d \cdot M_i}{d \cdot M_d} = \frac{0.595 \cdot 10}{1} = 5.95$$

$$\operatorname{tg} \beta = 5.95, \quad \angle \beta = 80^\circ 28'.$$

2. Id —图的編构

如前所述,本书所引录的 Id —图是按大气压 $P=745$ 毫米汞柱編造的。当大气压的数值与 745 毫米汞柱相差过大时, Id —图則需另行編构。編构的步骤如下。

- 1) 确定热含量等于常数 ($I=\text{const}$) 与湿含量等于常数 ($d=\text{const}$) 两种綫系的座标。
- 2) 确定湿含量 d 的刻度 (M_d)。繪出 $d=\text{const}$ 綫系。
- 3) 确定热含量 I 的刻度 (M_i)。确定出 $d=\text{const}$ 綫系的座标和 $I=\text{const}$ 綫系之間的夹角 $\angle \beta$ 。繪 $I=\text{const}$ 綫系。

- 4) 繪温度等于常数 ($t=\text{const}$) 綫系。根据公式(10),

$$t = \frac{I - 0.595d}{0.24 + 0.00046d} [^\circ\text{C}].$$

- 5) 繪水蒸汽分压等于常数 ($P_{\text{汽}}=\text{const}$) 綫系。根据公式(8),

$$P_{\text{汽}} = \frac{d \cdot P}{622 + d} [\text{毫米水柱}].$$

- 6) 繪空气相对湿度等于常数 ($\varphi=\text{const}$) 綫系。根据公式(5),

$$\varphi = \frac{P_{\text{汽}}}{P_{\text{飽}}} = \frac{d \cdot P}{622 + d} \cdot \frac{1}{P_{\text{飽}}}.$$

- 7) 繪湿空气重度等于常数 ($\gamma=\text{const}$) 綫系。湿空气的重度 γ 等于干空气的重度 $\gamma_{\text{空}}$ 与水蒸汽的重度 $\gamma_{\text{汽}}$ 之和,即

$$\gamma = \gamma_{\text{空}} + \gamma_{\text{汽}} = \frac{P - P_{\text{汽}}}{R_{\text{空}} \cdot T} + \frac{P_{\text{汽}}}{R_{\text{汽}} \cdot T} [\text{公斤/立方米}].$$

- 8) 繪湿空气的比容等于常数 ($v_0=\text{const}$) 綫系。湿空气的比容 v_0 等于 1 公斤干空气的比容 $v_{\text{空}}$ 或等于 $0.001d$ 公斤水蒸汽的比容 $v_{\text{汽}}$,即

$$v_0 = v_{\text{空}} = \frac{R_{\text{空}} \cdot T}{P - P_{\text{汽}}} [\text{立方米/公斤}]$$

$$\text{或} = \frac{0.001 \cdot d R_{\text{汽}} T}{P_{\text{汽}}} [\text{立方米/公斤}].$$

- 9) 除以上綫系外,还可繪出其他的空气参数等于常数的綫系。

3. Id —图的应用

- 1) 若已知两个参数,可以在图上查出湿空气的一切参数。
- 2) 分析和进行湿空气的加热或冷却过程的計算。
- 3) 进行蒸发过程的計算。
- 4) 确定两种或几种状态的空气混合物的特征。

4. 空气的加热与冷却。水分的蒸发。

1) 在 $I-d$ —图上表示空气的加热或冷却过程 空气的加热, 或空气与冷表面相接触时的冷却, 是在湿含量保持不变的情况下进行的。因之, 在 $I-d$ —图上, 表示在加热或冷却前的空气状态的点 a 将沿着垂直线移动(图 2)。

空气加热时, 它的温度 t 和热含量 I 升高, 而它的湿度 φ 却减小, 点 a 上升。冷却时点 a 向下移动。空气继续冷却, 它将在湿含量不变的情况下被水分所饱和。点 B 相当于这时的状态。

2) 露点温度 空气冷却到饱和状态时($\varphi=100\%$) 的温度叫做露点温度。如果饱和空气继续冷却, 它的湿含量将因一部分水分的排出而减小。这种水分将以露滴的形状呈现在冷却表面上。

3) 在 $I-d$ —图上表示水分的绝热蒸发过程 蒸发 1 公斤的温度 $t=0^\circ\text{C}$ 的液态水, 使其成为水蒸汽, 需要消耗 595 仟卡的热量。此热量叫做汽化潜热。在干燥木材时, 这个热量由空气(或其他介质)传给木材中的水分。但这个热量以后和被蒸发的水分(水蒸汽)又一起回到空气中。在一定条件下, 空气的热含量在蒸发过程中不增加也不减少。

在热含量不变的情况下水分蒸发的过程叫做绝热蒸发过程。此过程在 $I-d$ —图上由 a 点沿着热含量等于常数($I=\text{const}$) 线进行。空气的终点状态决定于此 $I=\text{const}$ 线与相对湿度等于常数($\varphi=\text{const}$) 线的交点 C (图 3)。

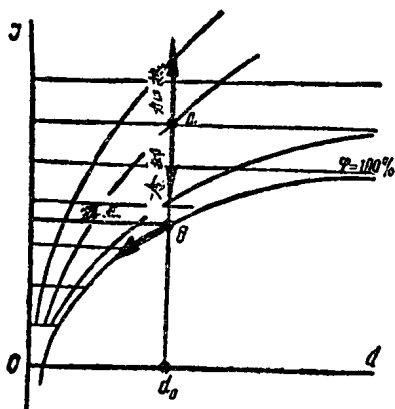


图 2 $I-d$ —图上空气的加热与冷却的过程

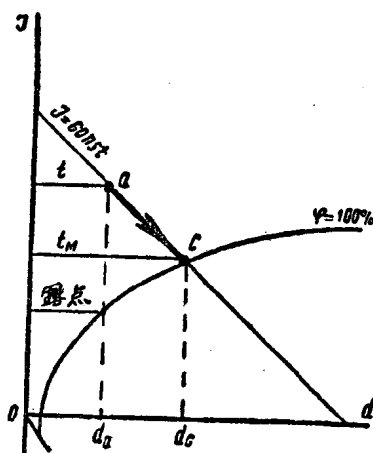


图 3 $I-d$ —图表上 $I=\text{const}$ 时的蒸发过程

$\varphi=100\%$ 时的 C 点的温度为 $t_{\text{湿}}$ (或 t_M)。在热含量不变的情况下, 此温度叫做蒸发时的冷却极限温度。对于由两支温度计组成的湿度计来说, 此温度叫做湿球温度。

湿度计的另一支温度计所指示的温度叫做干球温度 $t_{\text{干}}$ 。干球与湿球二者的温度差 $t_{\text{干}} - t_{\text{湿}}$ 指明了空气汽化水分的能力。故叫做干燥势 ε 。并作为汽化和干燥过程的热计算的基础。

4) 实际蒸发过程 水分由木材中蒸发时的绝热过程的真正形式在干燥窑内是看不到的。吸收着水蒸汽的空气中的热含量将要增大。在水分蒸发过程中此空气的状态将沿着倾斜

角稍小于 $I=\text{const}$ 线而变化。

在湿含量差 d_0-d_a 很小时, 在技术计算中可以认为此情况下的蒸发过程就沿着 $I=\text{const}$ 线进行。

在各种干燥装置内建立有效的蒸发过程时, 必须考虑透过装置的壁壳的热损失。此时蒸发过程将沿着倾斜角比 $I=\text{const}$ 线为大的 $B-d$ 线进行(图4)。过程终点(d 点)的热含量将比开始时的(B 点)小些。所小的值 $\Delta I=Cd_0$ 。

如果被干材料没有经过预热, 那末, 在蒸发的同时空气中所含的热量还消耗于烘热木材与运载材堆的小车。此时, Id —图上的蒸发过程将更加急剧地向下倾斜而接近于沿着 $d=\text{const}$ 线进行的冷却过程。

5. 两种或几种状态的空气相混合的过程

1) 干燥窑内空气混合的实况 图5示两种状态的空气在窑内相混合的过程。点0代表新鲜空气的状态(J_0, d_0), 点2代表废气的状态(J_2, d_2), 点 CM 代表混合后的空气的状态(J_{CM}, d_{CM})。

设状态为0的新鲜空气有 g_0 公斤, 状态为2的循环着的废气有 $g_{循}$ 公斤, 而且 $g_{循}:g_0=n$, n 是循环空气的补充系数, 又叫做混合比例系数, 由此,

$$J_0 + J_2 n = J_{CM}(n+1), \quad (11)$$

$$d_0 + d_2 n = d_{CM}(n+1), \quad (12)$$

$$J_{CM} - J_0 = n(J_2 - J_{CM}), \quad (13)$$

$$d_{CM} - d_0 = n(d_2 - d_{CM}). \quad (14)$$

2) 混合过程在 Id —图上表示 若在 Id —图上把表示混合物的组成部分的两点联结成直线, 则确定混合物状态的 CM 点必在此直线上(图5)。若已知混合物的湿含量 d_{CM} 或循环空气的补充系数(混合比例系数) n , 即可能轻易地求出混合点在直线上的位置。技术计算中往往需要算出 n 的数值,

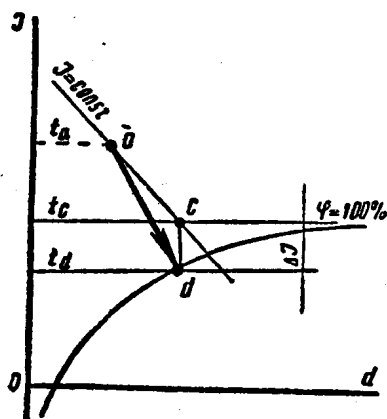


图4 在 Id —图表上考虑到透过窑壳的热量损失的水分蒸发过程

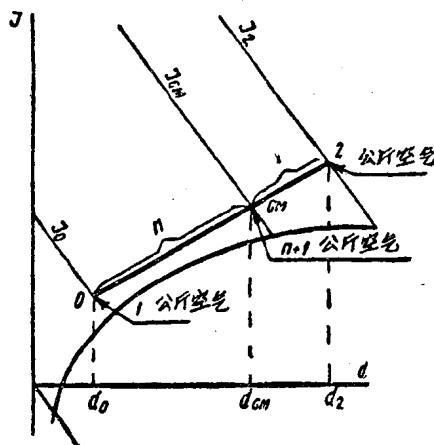


图5 两种状态的空气的混合点

$$n = \frac{d_{CM} - d_0}{d_2 - d_{CM}} \quad (15)$$

3) 三种及多种状态的空气的混合 在混合几种状态的空气时,最后混合物的特征可用空气混合过程依次图解的方式求出。设需要混合三种状态的空气: 状态为 J_1, d_1 的空气 1 分, 状态为 J_2, d_2 的空气 m 分, 状态为 J_3, d_3 的空气 n 分(图 6)。

首先求混合 1 分 J_1, d_1 状态的空气和 m 分 J_2, d_2 状态的空气所形成的混合物的特征。第一次混合物的分量是 $m+1$ 分。

其次使 $(m+1)$ 分状态为 J_{CM}, d_{CM} 的空气与 n 分状态为 J_3, d_3 的空气相混合, 所得到的状态为 J_{CM2}, d_{CM2} 的第二次混合物的分量是 $(m+1)+n$ 分。

4) 混合点的虚假状态与真实状态 如果用上述方法求出的混合点 CM' 位于 $\varphi=100\%$ 线的下方(图 7), 那末, 这一点就不是真实的, 而是虚假的。为了求出混合物的真正状态, 必

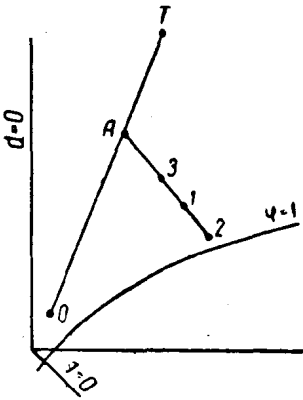


图 6 三种及多种状态的空气的混合

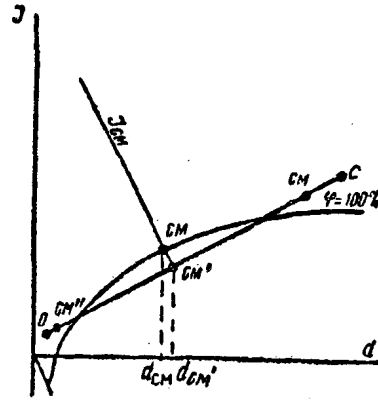


图 7 真实混合点的确定

须通过 CM' 点引直线 $I_{CM} = \text{const}$, 在 $I_{CM} = \text{const}$ 线和 $\varphi=100\%$ 线相交处找到 CM 点, 这一点才能表明在混合后所得湿空气的真实状态。

5) 空气与水蒸汽相混合 干燥处理业务中常需进行喷蒸处理。在此场合下, 空气状态为已知(J_1, d_1), 混合后的状态点则是预先指定的 (J_{CM}, d_{CM})。此时需了解蒸汽的热含量, 即每公斤蒸汽所含有的热量 $i_{\text{汽}}$ 。以此为基础可求出, 需若干公斤的蒸汽才能满足喷蒸处理的要求。

设在状态为 J_1, d_1 的空气中加入 1 公斤热含量为 $i_{\text{汽}}$ 的蒸汽, 所得混合气体的状态为 J_{CM}, d_{CM} , 其中干空气的重量为 n_{CM} 公斤, 则

$$i_{\text{汽}} + n_{CM} J_1 = n_{CM} J_{CM}, \quad (16)$$

$$J_{CM} = J_1 + \frac{i_{\text{汽}}}{n_{CM}}, \quad (17)$$

$$d_{CM} = d_1 + \frac{1000}{n_{CM}}, \quad (18)$$

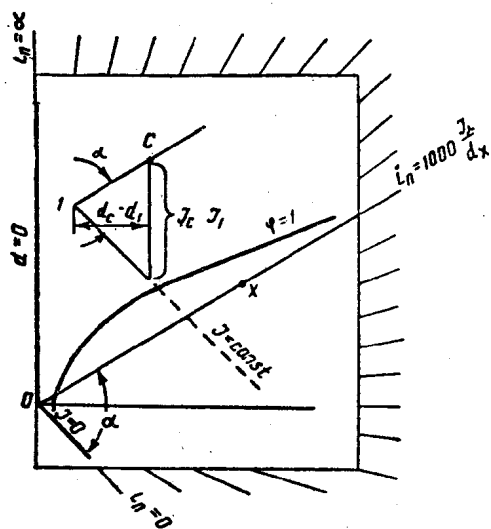


图8 空气与水蒸汽相混合

用等式(18)除等式(17),并加以适当换算,得

$$i_{\text{汽}} = 1000 \frac{J_{0M} - J_1}{d_{0M} - d_1} \text{ [仟卡/公斤]}. \quad (19)$$

在 I - d 图上 (图8), 以点1代表状态为 $J_1 d_1$ 的空气, 在此空气加入若干数量的蒸汽, 使混合点 C 的状态为 $J_0 d_0$ 。直线 $1-C$ 与 $I = \text{const}$ 线之间的夹角为 α , 今由座标原点 O ($J_0 = 0, d_0 = 0$) 作与 $1-C$ 相平行的直线 $O-x$, 则 $O-x$ 线与 $I = \text{const}$ 线之间的夹角也为 α 。因之 $\frac{J_x - J_0}{d_x - d_0} = \frac{J_0 - J_1}{d_0 - d_1}$ 。将此关系代入公式(19), 得知

$$i_{\text{汽}} = 1000 \frac{I_x}{d_x} \text{ [仟卡/公斤]}.$$

由上可知, 从座标原点出发向外作放射线, 可得蒸汽热含量 $i_{\text{汽}} = 1000 \frac{J_x}{d_x}$ 线系。范围由 O 到 ∞ 的 $i_{\text{汽}}$ 的数值标绘在附录的 I - d 图上。

§ 3. t - y 图

1. t - y 图上的各种线系

在木材干燥作业中近年来趋向于采取 100°C 以上的高温基准, 而又要求避免木材的热分解。在此条件下一般采用高温高湿的空气或稍混杂有空气的常压过热蒸汽作为干燥介质。此时介质的某些状态参数, 例如 100°C 以上时的 φ 的数值, 在 I - d 图上不能准确的表示。 t - y 图就是为补足 I - d 图之不足而编构的 (见附录4)。

t - y 图以1公斤含有 y 公斤空气的水蒸汽的状态作为编构的基础。这一概念正好和 I - d 图以干空气的湿含量作为编构基础的概念相反。 t - y 图以介质的温度 $t^\circ\text{C}$ 为纵座标, 以1公斤水蒸汽的空气含量 y 为横座标。命名的由来即在于此。

t - y 图上绘有 $\varphi = \text{const}$ 曲线线系。此线系在温度低于 100°C 时确定空气的相对湿度, 在温度高于 100°C 时, 则确定干燥介质中的水蒸汽的相对压力。

图上绘有热含量 (焓) $i_y = \text{const}$ 和 $i_x = \text{const}$ 两种线系。用实线绘出的 $i_y = \text{const}$ 线系确定1公斤水蒸汽与 y 公斤空气二者的热含量之和; 用虚线绘出的 $i_x = \text{const}$ 线系确定1公斤干空气与 $\frac{1}{y}$ 公斤水蒸汽二者的热含量之和。这两种线系与 I - d 图上的 $I = \text{const}$ 线系相当。

图上还繪有干燥介质的重度 $\gamma = \text{const}$ 綫系, 用点綫表示。

$\varphi = \text{const}$ 綫系与 $\gamma = \text{const}$ 綫系的編构, 均以大气压力等于 760 毫米汞柱为准。

图上还繪有五条輔助刻度, 用来确定干燥介质的如下一些参数:

- 1) 1 公斤水蒸—汽空气混合物, 在常压 (760 毫米汞柱) 下的比热容量 C_p [仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$]——第一条水平輔助刻度;
- 2) 干燥介质中的水蒸汽的分压力 $P_{\text{汽}}$ [公斤/厘米 2]——第二条水平輔助刻度;
- 3) 饱和蒸汽的压力 P' [公斤/厘米 2]——图左第一条纵行輔助刻度;
- 4) 汽化潜热 r [仟卡/公斤]——图左第二条纵行輔助刻度;
- 5) 被干材料中所含水分的绝对粘度系数的倒数 (流度) $\frac{1}{\mu} \left[10^8 \frac{\text{米}^2}{\text{公斤秒}} \right]$ ——图右纵行輔助刻度。

2. ty —图的理論基础

編构 ty —图所根据的理論公式基本上和在 §1 “湿空气及其特性” 中所提出的一致, 但由于 ty —图以 1 公斤蒸汽的空气含量 y 为編构基础, 故具体公式及数据有某些不同。

根据前述概念, y 值等于干燥介质中所含空气的重量 $G_{\text{空}}$ [公斤] 对所含水蒸汽重量 $G_{\text{汽}}$ [公斤] 的比值, 即

$$y = \frac{G_{\text{空}}}{G_{\text{汽}}} \quad (20)$$

气体的状态方程式可写作

$$PV = GRT, \quad (21)$$

因之, 干燥介质的重量

$$G = \frac{V}{T} \cdot \frac{P}{R},$$

由公式(1)

$$P = P_{\text{空}} + P_{\text{汽}},$$

以 P' 表示饱和蒸汽的压力, 則

$$P_{\text{汽}} = \varphi P', \quad P_{\text{空}} = P - \varphi P';$$

代入方程式, 得知蒸汽重量为

$$G_{\text{汽}} = \frac{V}{T} \cdot \frac{\varphi P'}{R_{\text{汽}}} \text{ [公斤]},$$

空气的重量为

$$G_{\text{空}} = \frac{V}{T} \cdot \frac{P - \varphi P'}{R_{\text{空}}} \text{ [公斤]}。$$

将以上数值代入公式(20), 則

$$y = \frac{G_{\text{空}}}{G_{\text{汽}}} = \frac{R_{\text{汽}}}{R_{\text{空}}} \cdot \frac{P - \varphi P'}{\varphi P'}。$$

然后以 $R_{\text{汽}}=47.06$ [公斤·米/公斤°C] 与 $R_{\text{空}}=29.27$ [公斤·米/公斤°C], 以及 $P=760$ 毫米汞柱=10332 [公斤/平方米] 代入上式, 得

$$y = \frac{47.06}{29.27} \cdot \frac{10332 - \varphi P'}{\varphi P'} = 1.61 \frac{10332 - \varphi P'}{\varphi P'}. \quad (22)$$

由方程式(22)确定 φ , 得

$$\varphi = \frac{10332}{P'} \cdot \frac{1.61}{1.61 + y}, \quad (23)$$

式中的饱和蒸汽压 P' 的数值可从水蒸汽表中查得。

介质中水蒸汽分压

$$P_{\text{汽}} = \varphi P' = 10332 \frac{1.61}{1.61 + y} \left[\frac{\text{公斤}}{\text{米}^2} \right] \quad (24)$$

热含量 i_y 由下列諸部分组成:

$$i_y = r_0 + C_{\text{汽}} t + C_{\text{空}} t y; \quad (25)$$

式中 r_0 、 $C_{\text{汽}}$ 与 $C_{\text{空}}$ 的数值見公式(9)的解释, 因之,

$$i_y = 595 + 0.46 t + 0.24 t y \left[\frac{\text{仟卡}}{1 \text{ 公斤蒸汽} + y \text{ 公斤空气}} \right]. \quad (26)$$

热含量 i_x 等于以 y 除 i_y 所得的商, 即

$$i_x = \frac{595 + 0.46 t}{y} + 0.24 t \left[\frac{\text{仟卡}}{1 \text{ 公斤干空气} + \frac{1}{y} \text{ 蒸汽}} \right]. \quad (27)$$

干燥介质的重度用下式确定:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{G_{\text{汽}} + G_{\text{空}}}{V}, \quad (28)$$

而介质的容积 V 等于

$$V = \frac{T}{P} (R_{\text{汽}} G_{\text{汽}} + R_{\text{空}} G_{\text{空}}), \quad (29)$$

因之,

$$\gamma = \frac{P}{T} \cdot \frac{G_{\text{汽}} + G_{\text{空}}}{R_{\text{汽}} G_{\text{汽}} + R_{\text{空}} G_{\text{空}}}. \quad (30)$$

将各有关数值代入公式(30), 并且以 y 代 $\frac{G_{\text{空}}}{G_{\text{汽}}}$, 得

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{10332}{273 + t} \cdot \frac{1 + y}{47.06 + 29.27 y} \\ &= \frac{1 + y}{(273 + t)(0.00456 + 0.00283 y)} \left[\frac{\text{公斤}}{\text{立方米}} \right]. \end{aligned} \quad (31)$$

干燥介质在常压(760 毫米汞柱)下的热容量 C_P 按下式計算:

$$C_P = \frac{C_{\text{汽}} + C_{\text{空}} \cdot y}{1 + y} = \frac{0.46 + 0.24 y}{1 + y} \left[\frac{\text{仟卡}}{\text{公斤}^\circ\text{C}} \right]. \quad (32)$$

3. 利用 ty —图查各种参数的示例

1) 設若置于干燥窑內的湿度計指明干球温度 $t_{\text{干}}=130^{\circ}\text{C}$ 和湿球温度 $t_{\text{湿}}=90^{\circ}\text{C}$ 。求干燥介质的各种参数。

解答如下:

查出 $t=90^{\circ}\text{C}$ 綫与 $\varphi=1.0$ 綫的交点。由此交点出发,沿平行于热含量 $i_x=\text{const}$ 的虛綫向上延伸到和 $t=130^{\circ}\text{C}$ 的温度綫相交。此点即表明干燥介质在 ty —图上的状态。由此点垂直向下降到水平刻度,查得讀数为 0.75。这意味着,干燥介质每含 1 公斤的过热蒸汽,同时必然还含有 0.75 公斤的空气。或者說,介质中含有 43% 的空气与 57% 的水蒸汽。表证干燥介质状态的点位于热含量 $i_y=670$ 与 680 二綫之間,即,由 1 公斤水蒸汽与 0.75 公斤空气組成的干燥介质的热含量为 678 仟卡;沿 $i_x=\text{const}$ 虛綫查得热含量为 900 仟卡,这 900 仟卡就是由 1 公斤干空气和 $\frac{1}{0.75}$ 公斤(1.3 公斤)蒸汽所組成的干燥介质的热含量。

根据干燥介质的重度等于常数的点綫得知 $\gamma=0.645$ [公斤/立方米]。由干燥介质的状态点垂直向下降到第一条水平輔助刻度,查得干燥介质的比热容量 $C_p=0.363$ [仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$]。垂直下降到第二条水平輔助刻度,查得介质中的水蒸汽的分压力 $P_{\text{汽}}=0.675$ [公斤/平方厘米]。

延长温度綫 $t=130^{\circ}\text{C}$ 到和图左的第一条輔助刻度相交,得知在温度等于 130°C 时饱和蒸汽的压力 $P'=2.75$ [公斤/平方厘米]。由 $t=130^{\circ}\text{C}$ 点作与基本温度刻度相垂直的綫到和第二纵行輔助刻度相交,从而查得汽化潜热 $r=518$ [仟卡/公斤]。

湿球温度可以代表被干材料的温度。因之,延伸 $t=90^{\circ}\text{C}$ 綫到和图右纵行輔助刻度相交,查得被干材料内的水分的流度 $\frac{1}{\mu}=31 \times 10^3 \left[\frac{\text{米}^2}{\text{公斤秒}} \right]$ 。

2) 設若干干燥窑內的湿度計指明 $t_{\text{干}}=70^{\circ}\text{C}$ 与 $t_{\text{湿}}=50^{\circ}\text{C}$, 并且已知每小时通过材堆的干燥介质为 50000 米³, 在通过材堆后介质的温度降低 2°C , 求干燥介质每小时消耗于水分蒸发的热量。

解答步骤如下:

首先查出温度綫 $t_{\text{湿}}=50^{\circ}\text{C}$ 与饱和綫 $\varphi=1.0$ 的交点。由此点平行于虛綫(i_x)向上延伸到和温度綫 $t_{\text{干}}=70^{\circ}\text{C}$ 相交。查出干燥介质的重度 $\gamma=0.94$ [公斤/立方米]。因此,每小时通过材堆的干燥介质为 $0.94 \times 50000 = 47000$ 公斤。由介质状态点垂直向下,降到第一条水平輔助刻度,求得介质的热容量 $C_p=0.255$ [仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$]。由此可知,干燥介质每小时消耗于水分汽化的热量为 $0.255 \times 2 \times 47000 = 24000$ [仟卡/小时]。

設若在 110°C 的过热蒸汽內进行干燥,每小时通过材堆的介质为 100000 米³。求每小时消耗于水分的热量。

解答: 在基本温度刻度上找出 110°C 的点。查知干燥介质的重度 $\gamma=0.58$ [公斤/米³]。在第一条水平輔助刻度上讀出热容量 $C_p=0.46$ [仟卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$]。由此可知,倘若干