

湿焓图功能的程序化设计

黄凤良, 张 颢

(南京师范大学 控制科学与工程系, 江苏 南京 210042)

[摘要] $H-I$ 图在工程实际中具有广泛的应用, 但该图在适用范围、确定精度以及方便性等方面存在严重不足. 为了解决这些问题, 提出了用程序实现该图功能的方法, 并在详细研究该程序总体结构、各模块功能及算法的基础上, 设计了相应程序, 最后通过算例对该程序的可行性及优越性进行了验证. 结果表明: 实现湿焓图功能的程序能够非常方便地确定出湿空气的状态, 并且确定精度得到了提高, 而且程序本身可以克服原图在总压偏离常压时无法使用的局限性.

[关键词] 湿焓图, 程序化设计, 湿空气, 湿度

[中图分类号] TQ015.9; TP311.1; TP319, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292(2004)02-0041-04

确定湿空气状态的 $H-I$ 图是按湿空气的总压 P_z 为 1.013×10^5 Pa 绘制而成, 使用中根据描述湿空气状态的两个独立参数, 先由 $H-I$ 图查得湿空气状态点, 再得到描述湿空气状态的其它参数^[1]. 但该图在使用中存在有一定的缺陷: (1) 当系统的总压偏离常压较大时, 不能直接使用该图; (2) 直接用该图来确定湿空气的状态点和有关的参数时人为误差较大, 甚至在进一步的计算中会导致计算失败; (3) 该图较为复杂, 认识、熟悉该图需要一个过程, 对非化工专业的人员而言是一个颇费时间的问题. 因此, 提供一种快捷、精确、有效的方法来确定湿空气的状态点和有关参数对于工程实际具有重要意义.

以计算机为工具, 将 $H-I$ 图的功能改用计算机软件来实现, 确定湿空气状态点和参数的过程借助计算机完成, 其精确度、效率及使用性能必然会得到较大提高. 下面将对此进行详细的讨论, 以期为实际中的设计计算提供快速、精确、有效的方法.

1 程序总体结构的确定

描述湿空气状态的量有: $P_z, H, t, I, \varphi, P_f, t_w, t_{as}, t_d$, 其中 $t_w \approx t_{as}$. 除 P_z 作为总体参量考虑外, 计有 7 个参量, 参量的对数共有 C_2^7 对, 其中 H 和 P_f , H 和 t_d , P_f 和 t_d 为非独立的参量对, 故确定湿空气状态量的方法共有 18 种, 即:

$$H \begin{cases} t \\ I \\ \varphi \\ t_w \end{cases} \begin{cases} I \\ \varphi \\ P_f \\ t_w \\ t_d \end{cases} \begin{cases} \varphi \\ P_f \\ t_w \\ t_d \end{cases} \begin{cases} P_f \\ t_w \\ t_d \end{cases} \begin{cases} P_f \{ t_w \\ t_d \} \end{cases}$$

经分析可知, H, t 参量对除自身可确定其它各量外, 还被其它参量对调用, 与其一起实现确定其它各参量的功能. 因此, H, t 参量对可以作为最小程序模块.

分别以相应的两参量名为子程序名, 则程序的总体结构如图 1 所示.

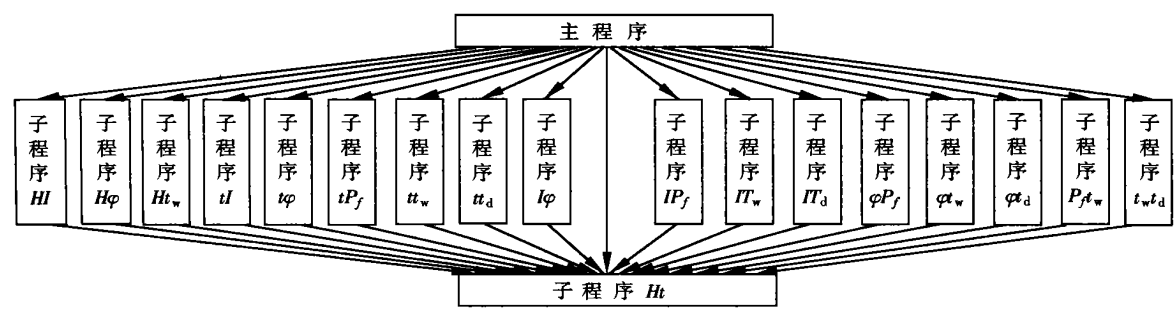


图 1 程序总体结构图

2 各程序模块的功能算法

2.1 Ht 子程序功能算法

在 Ht 子程序功能中, H 、 t 为已知, 由 H 得:

$$P_f = \frac{P_z \times H}{0.622 + H};$$

由 t 查表得 P_s , 直接求得 $I = (1.01 + 1.88H)t + r_0 \times H$; 则: $\varphi = \frac{P_f}{P_s} \times 100\%$. t_{as} 用试差法确定. 设 $t_{as1} = t_0$, 由 t_{as1} 查表得 P_{as} , 则:

$$\begin{cases} H_{as} = 0.622 \times \frac{P_{as}}{P_z - P_{as}} \\ t_{as} = t - \frac{r_0}{1.01 + 1.88 \cdot H}(H_{as} - H) \end{cases}$$

若 $|t_{as} - t_{as1}| > \varepsilon$, 则调整 t_{as1} 重复上述过程, 直到 $|t_{as} - t_{as1}| \leq \varepsilon$, 则可得到 t_{as} , 即得: $t_w \approx t_{as}$.

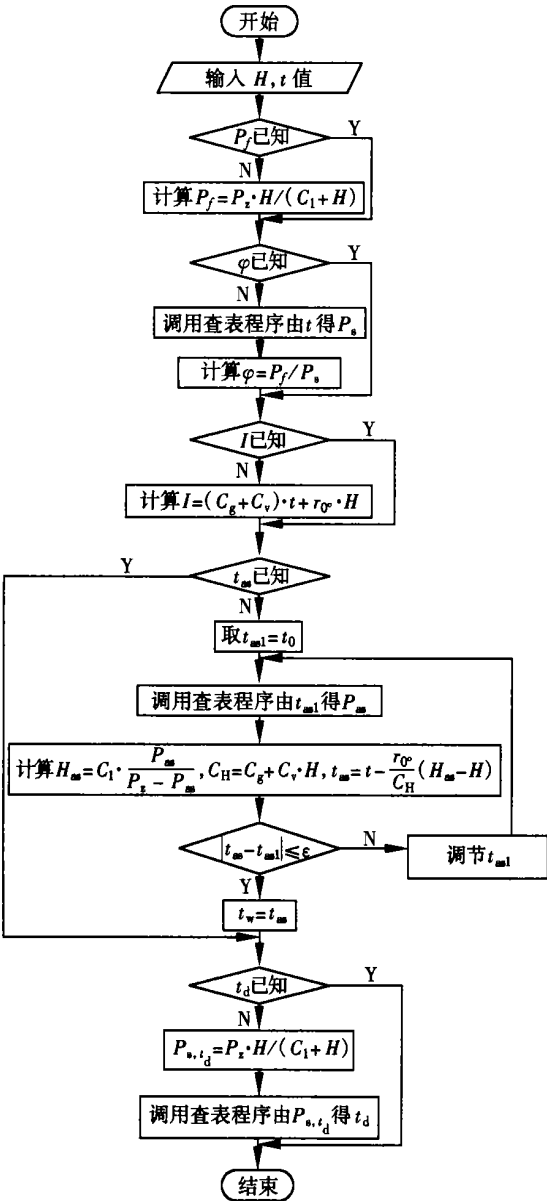


图 2 Ht 子程序算法框图

又: $P_{s,t_d} = \frac{P_z \cdot H}{0.622 + H}$, 由 P_{s,t_d} 查表可求得 t_d . 则描述湿空气状态的 8 个量: $H, t, I, \varphi, P_f, t_w, t_{as}, t_d$ 均可得到, 其具体算法如图 2 所示.

2.2 其它子程序功能算法

确定以 Ht 子程序为最小程序模块, 被其它子程序调用协助实现确定湿空气状态的功能后, 其它子程序模块就以确定 H 、 t 为主要功能; 同时, 设置已知或已求出量的标志量, 作为调用 Ht 子程序的开关量. 鉴于 $I \varphi$ 和 φt_w 子程序中需要用试差法确定有关参数, 算法略显复杂, 以图 3 和图 4 表示外, 其它部分子程序的主要算法见表 1.

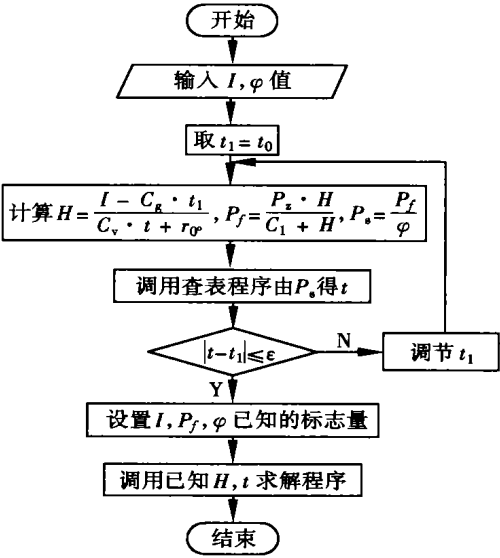


图 3 I phi 子程序算法框图

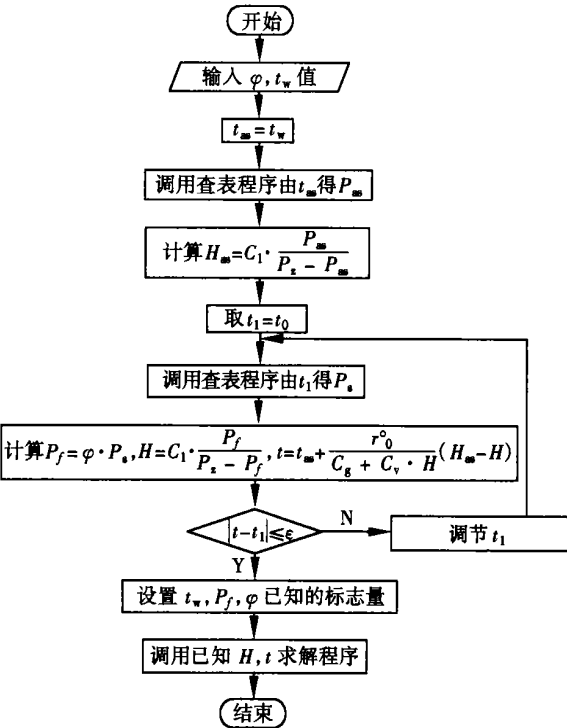


图 4 phi t_w 子程序算法框图

表1 其它部分子程序算法

子程序名	<i>H</i> 确定法	<i>t</i> 确定法
<i>H</i> ₁ 子程序	<i>H</i> 已知	$t = (I - r_0 \cdot H) / (g^+ \cdot v \cdot H)$
<i>H</i> Ψ 子程序	<i>H</i> 已知	$P_s = P_z \cdot H / (\Psi (1 + H))$ 由 <i>P_s</i> 查表得 <i>t</i>
<i>H</i> <i>t_w</i> 子程序	<i>H</i> 已知	$t_{as} = t_w$, 由 <i>t_{as}</i> 查表得 <i>P_{as}</i> , $t = t_w + r_0 \cdot (1 \cdot P_{as} / (P_z - P_{as}) - H) / (g^+ \cdot v \cdot H)$
<i>t</i> ₁ 子程序	$H = (I - r_0 \cdot t) / (v \cdot t + r_0)$	<i>t</i> 已知
<i>t</i> Ψ 子程序	由 <i>t</i> 查表得 <i>P_s</i> , $H = 1 \cdot P_s \cdot \Psi / (P_z - P_s \cdot \Psi)$	<i>t</i> 已知
<i>t</i> <i>P_f</i> 子程序	$H = 1 \cdot P_f / (P_z - P_f)$ $t_{as} = t_w$, 由 <i>t_{as}</i> 查表得 <i>P_{as}</i>	<i>t</i> 已知
<i>t_w</i> 子程序	$H = \left(1 \cdot \frac{P_{as}}{(P_z - P_{as})} \right) - \frac{(t - t_{as}) \cdot \left(\frac{g^+ \cdot v \cdot 1 \cdot P_{as}}{(P_z - P_{as})} \right)}{(r_0 - v \cdot (t - t_{as}))}$	<i>t</i> 已知
<i>t_d</i> 子程序	由 <i>t_d</i> 查表得 <i>P_{s, t_d}</i> , $H = \frac{1 \cdot P_{s, t_d}}{(P_z - P_{s, t_d})}$	<i>t</i> 已知
<i>l</i> <i>P_f</i> 子程序	$H = 1 \cdot P_f / (P_z - P_f)$	$t = (I - r_0 \cdot H) / (g^+ \cdot v \cdot H)$
<i>l</i> <i>t_w</i> 子程序	$H = \left(\frac{t_{as} = t_w, \text{由 } t_{as} \text{ 查表得 } P_{as}}{I - g^+ \cdot t_{as} - r_0 \cdot \left(1 \cdot \frac{P_{as}}{(P_z - P_{as})} \right)} \right)$	$t = (I - r_0 \cdot H) / (g^+ \cdot v \cdot H)$
<i>l</i> <i>t_d</i> 子程序	由 <i>t_d</i> 查表得 <i>P_{s, t_d}</i> , $H = \frac{1 \cdot P_{s, t_d}}{(P_z - P_{s, t_d})}$	$t = (I - r_0 \cdot H) / (g^+ \cdot v \cdot H)$
Ψ <i>P_f</i> 子程序	$H = \frac{1 \cdot P_f}{(P_z - P_f)}$	$P_s = \frac{P_f}{\Psi}$, 由 <i>P_s</i> 查表得 <i>t</i>
Ψ <i>t_d</i> 子程序	由 <i>t_d</i> 查表得 <i>P_{s, t_d}</i> , $H = \frac{1 \cdot P_{s, t_d}}{(P_z - P_{s, t_d})}$	$P_s = \frac{P_{s, t_d}}{\Psi}$ 由 <i>P_s</i> 查表得 <i>t</i>
<i>P_f</i> <i>t_w</i> 子程序	$H = \frac{1 \cdot P_f}{(P_z - P_f)}$	$t_{as} = t_w$, 由 <i>t_{as}</i> 查表得 <i>P_{as}</i> , $r_0 \cdot \left(\frac{0.622 \cdot P_{as}}{(P_z - P_{as})} - H \right)$ $t = t_w + \frac{r_0 \cdot \left(\frac{0.622 \cdot P_{as}}{(P_z - P_{as})} - H \right)}{(g^+ \cdot v \cdot H)}$
<i>t_w</i> <i>t_d</i> 子程序	由 <i>t_d</i> 查表得 <i>P_{s, t_d}</i> , $H = \frac{1 \cdot P_{s, t_d}}{(P_z - P_{s, t_d})}$	$t_{as} = t_w$, 由 <i>t_{as}</i> 查表得 <i>P_{as}</i> , $r_0 \cdot \left(\frac{0.622 \cdot P_{as}}{(P_z - P_{as})} - H \right)$ $t = t_w + \frac{r_0 \cdot \left(\frac{0.622 \cdot P_{as}}{(P_z - P_{as})} - H \right)}{(g^+ \cdot v \cdot H)}$

2.3 查表过程的程序化算法

由温度得到该温度下水的饱和蒸气压以及由水的饱和蒸气压得到该压力下温度的过程, 是通过查饱和蒸气压表来实现的, 对于表中没有的数值, 利用插值方法得到. 这一过程在本程序设计中采用下述方法实现: 把水的饱和蒸气压表中温度、压力存储在两数组之中, 数组的相同下标对应温度和压力在表中的同一位置, 即数组中的温度和压力如表中一样有一一对应的关系, 利用搜索和插值即可得到要查的压力或温度. 具体的算法见图 5.

2.4 主程序的功能及算法

由于各子程序能完成由一对独立参量确定其它各参量的过程, 从而完成湿空气状态点参量的确定, 因而主程序的功能主要是提供一些常量以及协调好各程序之间的关系. 具体算法见图 6.

3 算例

文献[1]中有一例: 总压 *P_z* = 101.3 kPa, 湿度

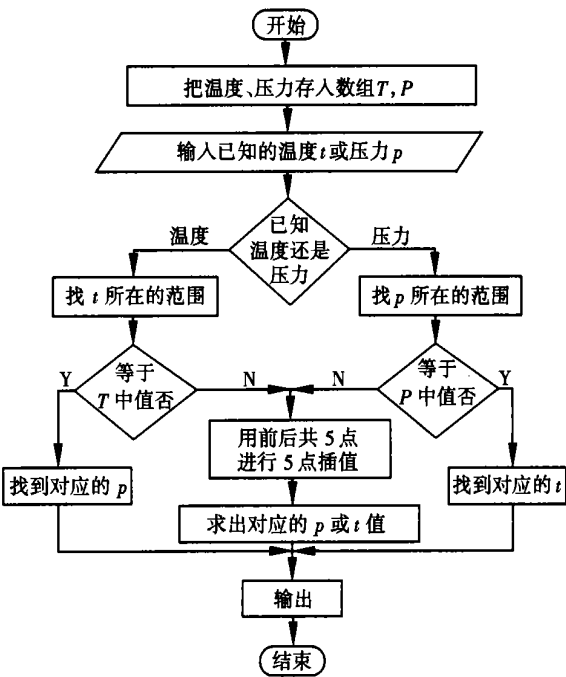


图5 查表过程的程序化算法框图

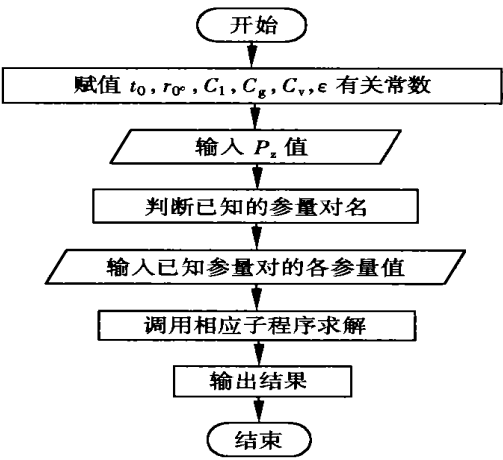


图 6 主程序算法框图

$H = 0.024 \text{ kg/kg}$ 绝干气, 温度 $t = 30^\circ\text{C}$, 由 $H-I$ 图得到的湿空气的状态值为: $I = 91.4 \text{ kJ/kg}$, $\varphi = 89\%$, $P_f = 3.763 \text{ kPa}$, $t_w = t_{as} = 28.35^\circ\text{C}$, $t_d = 27.5^\circ\text{C}$.

运用上述程序进行计算, 结果为: $I = 91.4136 \text{ kJ/kg}$, $\varphi = 8.860639\text{E}-01$, $P_f = 3.763468 \text{ kPa}$, $t_w = t_{as} = 28.374420^\circ\text{C}$, $t_d = 27.915430^\circ\text{C}$. 可见, 运行程序的结果与给出的结果吻合很好, 而且精度得以提高.

4 结论

通过讨论, 得出以下结论:

- (1) 由确定湿空气状态的算法设计出了相应的计算程序, 实现了 $H-I$ 图功能的程序化;
- (2) 通过算例验证了计算程序的可行性及优越性;
- (3) 计算程序以总压 P_z 为总体参数, 当系统的总压为非常压时, 仍能确定出湿空气的状态, 解决了 $H-I$ 图在系统总压偏离常压时无法直接使用的问题.

符号说明

c : 比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;	下标 l: 初始的;
i : 常数, 0.622;	下标 as: 绝热饱和;
H : 空气的湿度, $\text{kg 水}/\text{kg 绝干气}$;	下标 d: 露点温度下的;
I : 湿空气的焓, kJ/kg ;	下标 g: 空气的;
P : 湿空气的压力, Pa ;	下标 H: 湿的;
R : 水蒸气的潜热, kJ/kg ;	下标 S: 饱和的;
t : 温度, $^\circ\text{C}$;	下标 t_d : 露点温度下的;
φ : 湿空气的相对湿度百分数	下标 v: 水气的;
下标 0: 当 0°C 时;	下标 w: 湿的;
下标 0: 给定的;	下标 z: 总的.

[参考文献]

[1] 天津大学化工原理教研室. 化工原理(下)[M]. 第 2 版. 天津: 天津科学技术出版社, 1987. 283-289.

Design on Programmed Function of Humidity-Enthalpy Chart

HUANG Fengliang, ZHANG Zhao

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: The Humidity-Enthalpy chart is widely used in engineering practice. But there are some heavy shortcomings in its use, such as range of applicability, precision of definition and convenience of use. In order to solve those problems, a method, in which the function of Humidity-Enthalpy chart is completed by program, is presented. On the basis of studying the global structure of the program, the algorithm and the function of every functional module, the general program is obtained. With examples, the correctness and advantage are verified. The results show the state of wet gas can be conveniently got with the program and the precision can be improved. At the same time, the limitation, that the original Humidity-Enthalpy chart can not be used when the pressure deviates from normal pressure, can be overcome with the program.

Key words: Humidity-Enthalpy chart, programmed design, wet gas, humidity

[责任编辑: 严海琳]