

湿空气饱和水蒸气压数学计算式的拟合与优选

袁 江,胡明辅^{*},毕二朋,吴国玉

(昆明理工大学化学工程学院,云南 昆明 650500)

摘 要:在干燥过程计算中,湿空气在不同温度下的饱和水蒸气压是一个极其重要的参数.针对太阳能低温干燥技术,在 30~100 ℃ 的范围内,采用 Matlab 软件,拟合了 5 个湿空气饱和水蒸气压与温度的关系式,并与另外两个应用广泛的计算式进行了精度比较.结果表明:在此温度范围内本文拟合的饱和水蒸气压计算式精度较好.

关键词:湿空气;饱和水蒸气压;温度

中图分类号:TQ011

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.10.007

0 引 言

湿空气是干空气和水气的混合物.在多数干燥过程中,采用预热后的含有少量水气的空气作为干燥介质,预热后的空气与湿物料接触时即作为载热体把热量传递给湿物料,同时又作为载湿体带走从湿物料中逸出的水蒸气,从而干燥湿物料.此过程中,空气中的水气含量不断增加,空气温度逐渐降低.水蒸气在空气中的含量(即湿度),是干燥过程计算中必须知道的湿空气性质,在一定总压力下,空气的相对湿度为空气中水气分压与该空气温度下水的饱和蒸气压的比值,当水气分压达到该空气温度下水的饱和蒸气压时,湿空气被水气饱和,此时湿空气不能再作为干燥介质.由此可见,不同温度下的饱和水蒸气压在干燥过程计算中是一个重要的参数.

在工程计算中,一般可通过查表法获得此参数,但若要对过程进行计算机数值模拟,查表显然不能满足,必然要用到饱和水蒸气压与温度的关系式,所以确定一个简便又精确的饱和水蒸气压数学计算式是很重要的.前人也给出了很多计算饱和水蒸气压的经验方程,这些方程的繁简程度、适用温度范围、计算精度各异.本文针对太阳能低温干燥,介于其干燥温度一般在 100 ℃ 以下,参阅一些资料,在温度为 30~100 ℃ 的范围内,采用 Matlab 软件,拟合了 5 个湿空气饱和水蒸气压与温度的关系式,并与另外两个应用广泛的计算式进行了精度比较,结果表明在此温度范围内本文

拟合的饱和水蒸气压计算式精度较好.

1 饱和水蒸气压与温度的关系式

Antoine 方程是应用最普遍的饱和水蒸气压与温度的关系式,温度在 10~168 ℃ 范围内的 Antoine 方程^[1]为

$$\lg P_s = 7.074\,06 - \frac{1\,657.46}{t + 227.02} \quad (1)$$

式(1)中: P_s 为饱和水蒸气压,[(1)式的单位为 kPa,(2)~(7)式的单位均为 Pa]; t 为温度,℃ (下同).

当温度 t 在 0~200 ℃ 范围时,源自文献的计算式^[2]为:

$$\ln P_s = \frac{a_1}{T} + a_2 + a_3 T + a_4 T^2 + a_5 T^3 + a_6 T^4 + a_7 \ln T \quad (2)$$

式(2)中: $T = t + 273.15$,

$$a_1 = -5\,800.220\,6,$$

$$a_2 = 1.391\,499\,3,$$

$$a_3 = -0.048\,640\,239,$$

$$a_4 = 0.417\,647\,68 \times 10^{-4},$$

$$a_5 = -0.144\,520\,93 \times 10^{-7},$$

$$a_6 = 0, a_7 = 6.545\,967\,3.$$

参考纪威^[3]提出的方程形式,本文采用 Matlab 软件对 30~100 ℃ 温度范围内的饱和水蒸气压的实验值^[4]进行拟合,得到饱和水蒸气压的计算方程为:

$$\ln P_s = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 \quad (3)$$

收稿日期:2011-09-19

作者简介:袁 江(1988-),女,云南祥云人,在读硕士研究生.研究方向:环境调和型能源新技术.

* 通信联系人:胡明辅,男,教授,硕士生导师.研究方向:环境调和型能源新技术.

式(3)中: $b_0=6.421\ 159\ 750$,
 $b_1=0.072\ 112\ 940\ 17$,
 $b_2=2.811\ 365\ 347\times10^{-4}$,
 $b_3=8.328\ 574\ 000\times10^{-7}$,
 $b_4=1.278\ 220\ 000\times10^{-9}$.

同样的方法,参考基尔霍夫方程形式^[5],本文拟合得到的饱和水蒸气压计算方程为:

$$\ln P_s=54.450\ 734-\frac{6\ 562.779\ 8}{T}-4.278\ 575\ 0\ \ln T$$
 (4)

参考 Riedel 方程形式^[6],本文拟合得到的饱和水蒸气压计算方程为:

$$\ln P_r=c_1+\frac{c_2}{T_r}+c_3\ln T_r+c_4\ T_r^6$$
 (5)

式(5)中: $c_1=10.048\ 753\ 71$,
 $c_2=-10.644\ 004\ 77$,
 $c_3=-5.415\ 653\ 988$,
 $c_4=1.330\ 852\ 680$,

$P_r=\frac{P_s}{P_c}, T_r=\frac{T}{T_c}$, P_c 、 T_c 为临界压力和临界温度,对水蒸气 $P_c=220\ 640\ 00\ \text{Pa}$, $T_c=647.3\ \text{K}$.

参考 Riedel-Plank-Miller 方程形式^[6],本文拟合得到的饱和水蒸气压计算方程为:

$$\ln P_s=d_1+\frac{d_2}{T}+d_3\ T+d_4\ T^3$$
 (6)

式(6)中: $d_1=33.240\ 307\ 18$,
 $d_2=-6\ 307.734\ 604$,
 $d_3=-0.014\ 562\ 100\ 37$,
 $d_4=1.2\times10^{-8}$.

此外,本文作者还提出了一个新的模型,同样采用 Matlab 软件对 30~100 ℃ 温度范围内的饱和水蒸气压的实验值进行拟合,得到饱和水蒸气压的计算方程为:

$$\lg P_s=e_1+\frac{e_2}{T}+e_3\ T+e_4\ T^2$$
 (7)

式(7)中: $e_1=15.233\ 116\ 19$,
 $e_2=-2\ 806.323\ 803\ 14$,
 $e_3=-0.009\ 878\ 99$,
 $e_4=7.035\ 1\times10^{-6}$.

说明:(1)、(2)两式完全是引用参考文献的;而(3)~(6)式的形式是资料中查到的,式中的系数是本文作者拟合的,(7)式是由作者完全提出的,且(3)~(7)的使用范围只能在 30~100 ℃ 内.

2 各计算式的精度分析

分别将(1)~(7)式的饱和水蒸气压计算值与实验值进行比较分析,结果如图 1、2 所示.

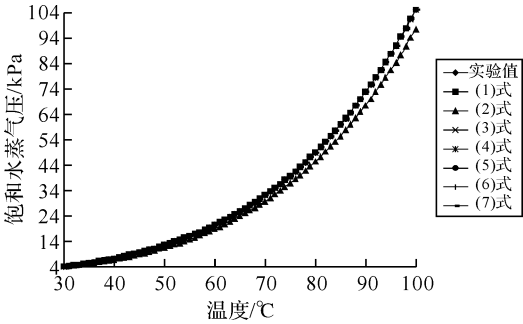


图 1 各计算式的饱和水蒸气压值与实验值的比较
Fig. 1 Comparison of saturated water vapor pressure values calculated by the formulas with the experimental values

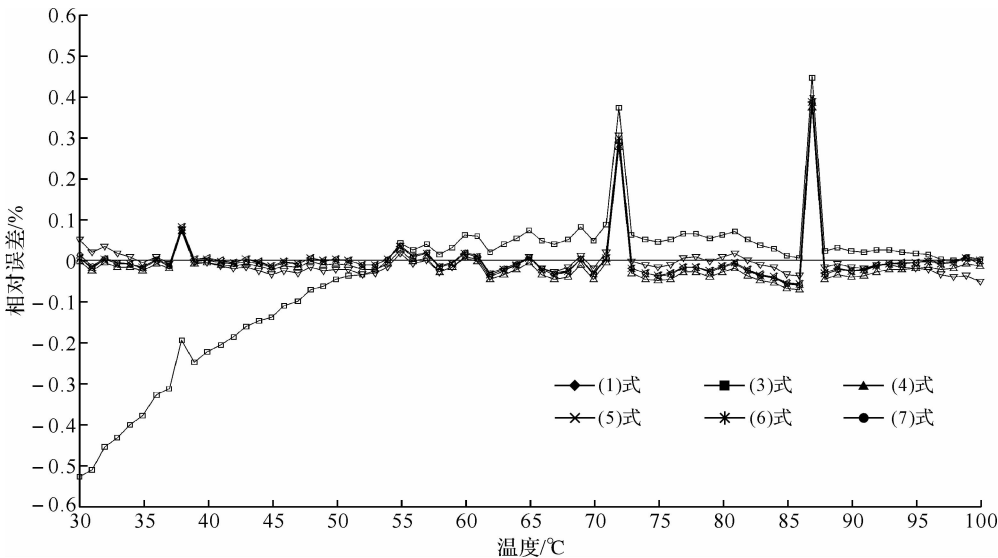


图 2 各计算式的相对误差
Fig. 2 The relative error of the saturated water vapor pressure formulas

显而易见,图 1 中(2)式的饱和水蒸气压计算值与实验值偏离较大,而(1)式及(3)~(7)式的计算值偏离相对较小.事实上,(2)式的相对误差在 7.2%左右,误差较大,不推荐使用.

再对(1)式及(3)~(7)式进行精度分析如图 2 所示,可以看出,(1)式即 Antoine 方程几乎在整个温度范围内的相对误差都要大于(3)~(7)式,相比于(3)~(7)式,Antoine 方程的精度相对较低,尤其当温度低于 50℃时较为突出.而在太阳能低温干燥过程中,不难会出现阴雨天或多云天气,此时,经太阳能集热器预热后的热空气温度可能会低于 50℃,这时用计算精度较高的计算式(3)~(7)式计算饱和水蒸气压会更好一些.

而对于(3)~(7)式,它们的计算精度相差不大:最大相对误差分别为 0.384 1%、0.403 2%、0.386 1%、0.371 9%、0.386 8%,而平均相对误差分别为 0.025 92%、0.029 40%、0.025 40%、0.033 62%、0.025 28%.可以看出,用本文提出的模型拟合的计算式(7)的精度要略优于用原有模型拟合出的计算式(3)~(6)式,但差异较小,在工程计算中,这样的差异是可以接受的,所以,本文拟合的(3)

~(7)式都可用于 30~100℃温度范围内的饱和水蒸气压的计算,而且(4)、(6)、(7)形式相对简便.

3 结 语

在 30~100℃的温度范围内,本文拟合的饱和水蒸气压计算式(3)~(7)式精度较好,优于 Antoine 方程,其中由本文作者提出并拟合得到的计算式模型(7)的精度相对最高,且形式简便,可供太阳能低温干燥及其他相关研究参考使用.

参考文献:

[1] 王志魁. 化工原理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
[2] 赵荣义,范存养,薛殿华,等. 空气调节[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
[3] 纪威. 湿空气热力参数的计算方程[J]. 内蒙古工学院学报,1992,11(2):63~70.
[4] 潘永康,王喜忠,刘相东. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
[5] 韩学孟. 一种实用的水饱和和蒸气压拟合方程[J]. 山西农业大学学报,1996,16(3):278~280.
[6] 时钧,汪家鼎,余国琮,等. 化学工程手册:上卷[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社,1996.

Formulas fitting and optimizing of saturated water vapor pressure of moist air

YUAN Jiang ,HU Ming-fu ,BI Er-peng ,WU Guo-yu

(Faculty of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500,China)

Abstract: The saturated water vapor pressure is an extremely important parameter in the calculation of the drying process. For the solar low-temperature drying, five formulas of saturated water vapor pressure at 30℃ to 100℃ were fitted using Matlab in this paper. Their accuracy was compared with other two widely used formulas. It show that the formulas fitted in this paper are better.

Key words: moist air; saturated water vapor pressure; temperature

本文编辑:龚晓宁