



湿度换算软件包

吕国义 陈勇

(中航一集团北京长城计量测试技术研究所热学室, 北京市 1066#, 100095)

摘要 湿度不论是在科研领域还是在工业生产中, 都是很重要的一个环境参量指标, 在具体的应用中, 各领域对湿度参量的使用单位和范围要求是不同的, 由此我们编写了一套“湿度换算软件包”, 可以在湿度的不同参量和单位间进行换算的软件。本文主要介绍了该软件的主要功能、使用说明以及同国外其它同类软件的数据比对情况。

关键词 湿度 湿度换算 饱和水蒸气压力 相对湿度 露点 霜点 增强因子 换算软件

Abstract Regardless in the field of science or industries, humidity as a parameter of circumstance is very important. In the application concretely, different parameters of humidity are used, so we compile “The Software Package of Humidity Conversion”, which could get other humidity parameters for the need. This paper introduces the key function of the software, explanation of use and the result of data contrasted with foreign similar software.

Key words Humidity, Humidity conversion, Saturated vapor pressure, Relative humidity, Dew point, Frostpoint, Enhance factor, Conversion software

前言

湿度与温度一样, 是人们可以感知的, 广义上讲是定义水分含量的物理量, 主要用来描述空气(或其他气体)中的水汽含量。在一些实际研究或生产中, 需要根据一些已知的湿度参数值得到其它有关湿度不同的表达参数值, 为此我们编写了这套软件用来对湿度参数进行换算转化, 以满足其在各领域的特定需要。

地址: 江苏省常州市武青北路6号 听松大厦308室 邮编: 213000

电话: 0519-8012229 8015931 8015932 传真: 0519-8015930

EMAIL: CZUTA@163.COM 网址: http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

“湿度换算软件包”就是一通过已知湿度参量求其他湿度参量的计算软件。“软件包”程序的编写采用 Visual Basic 语言，软件设计的主体分两部分：第一部分，湿度参数换算，通过有限的几个已知参量值，同时借助相关的湿度计算公式，求出其它的一系列湿度参数值，从而满足生产和科研中的具体应用要求（不同领域对使用的湿度参量单位和范围要求不同）；第二部分，干湿球的相关计算，该部分程序既可以通过干湿球温度求相对湿度也可通过干球温度和相对湿度求湿球温度以及饱和水蒸气压力、露点温度等参量，可以替代干湿球湿度查算表，从而可以大大提高效率，减小人为的误差。

软件的主界面编写主要参考了英国 Michell Instruments Ltd 公司的湿度换算软件和美国 Thunder 公司的湿度换算软件 HumiCalc，并对计算结果进行了比对。干湿球计算的编写主要参考了国家气象局编写的《湿度查算表》一书，同时也将计算结果与查算表的例题进行了比对。通过以上比对的数据说明湿度换算软件包的计算出的参数值是准确、可靠的。

一、软件功能介绍

“湿度换算软件包”是在 Michell 和 Thunder 两公司湿度换算软件的基础上集二者的优势于一体，充分继承其优越性，并在此基础相应升级的湿度换算软件。软件的主体分三个界面：初始界面，湿度参数换算界面（第一部分）和干湿球湿度计算界面（第二部分），这里主要介绍一下后两个界面。

1、湿度参数换算

“湿度参数换算”界面主要是进行通过已知湿度参量求其它未知湿度参量，在这里程序中共计算出 27 种参量，其中 饱和槽水汽压 P_v ， 饱和槽温度 T_s ， 饱和槽压力 P_s ，只有在“双温工况”或“双压工况”才会呈现，这些参量几乎囊括了湿度方面所有的参量，基本上能够满足科研与生产的实际需要，下表对这些参量做了一一列举。

露点 T_d (°C)	霜点 T_f (°C)	测试室温度 (°C)	相对湿度 U (%RH)
饱和水气压 SWVP (Pa)	水气分压 WVP (Pa)	PPM(V)	PPM(W)
混合比 $R(V)$	混合比 $R(W)$	比湿 q (g/kg)	绝对湿度 d_v (g/m ³)
焓 H (kJ/kg 干空气)	增强因子 f (Tc)	增强因子 f (Td)	体积百分比 (%)

地址：江苏省常州市武青北路6号 听松大厦308室 邮编：213000

电话：0519-8012229 8015931 8015932 传真：0519-8015930

EMAIL：CZUTA@163.COM 网址：http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

重量百分比 (%)	干空气密度 (g/m^3)	湿空气密度 (g/m^3)	水蒸气摩尔分数
干空气摩尔分数	含湿量 d (g/kg)	湿空气比容 (m^3/g)	饱和槽水汽压 P_v , Pa
饱和槽压力 P_s (Pa)	饱和槽温度 T_s ($^{\circ}\text{C}$)	增强因子 f (Ts)	

表 1

输入已知参量时,在输入的参量值后程序给出了该参数的单位选择,如所输入的参量为压力,则有 pa , kpa , bar , mbar, mmH₂o , mmHg , psia 等压力单位供选择,如所输入的参量为温度,则有 K , $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$ 等温度单位可供选择,只要输入对应单位的参量值就能计算出结果。如果所选单位中没有需要的单位,程序还在菜单栏的“选项”菜单中提供了压力和温度“单位转化”界面,其中包含了多种压力和温度单位,借助该界面可以转化到欲得到的单位。

在已知量的选择上,软件中把测试室的压力和温度作为已知条件,即在任何计算工况下都应该知道这两个条件,在此基础上程序提供了“相对湿度 U% ”、“露点 T_d ”、“霜点 T_f ”、“PPM(v)”和“质量混合比 R(w)”五项可供选择的已知量,若是选择双压或双温工况,还会增加“饱和槽温度 T_s ”、“饱和槽压力 P_s ”两项,在特定工况下只要知道其中的任何一个参量值就能计算出软件中所有的其它湿度参量值。

通常情况下软件一般是针对湿空气做湿度换算,但有时也需对其它不同气体,为此程序在“设置”中提供了“载气”选项,共有“空气”、“氢气”、“二氧化碳”、“氮气”、“天然气”和“其它”六项可以选择,默认情况下载气为空气,选择“氢气”、“二氧化碳”、“氮气”、“天然气”四种气体同空气的计算方法相同,只是程序在计算时取各自对应的分子量;如果选择“其它”,程序会弹出对话框要求输入该气体的分子量,所以不论是何种气体只要知道其分子量就能使用该软件对其进行湿度换算,具有广泛的实用性。

软件中添加了“使用增强因子”复选框,用于特殊情况下的计算,同时还提供了多种计算工况即“标准工况”、“气象工况”、“双温工况”和“双压工况”,针对使用者计算的要求可以相应的做出选择。

“标准工况”就是在通常情况下进行的计算,主要是用来进行不同湿度单位值之间的换算。

地址: 江苏省常州市武青北路6号 听松大厦308室 邮编: 213000

电话: 0519-8012229 8015931 8015932 传真: 0519-8015930

EMAIL: CZUTA@163.COM 网址: http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

“气象工况”主要用于气象方面的计算，同“标准工况”比只有一点区别，即在 0℃以下时液面饱和水汽压值的计算，根据世界气象组织（WHO）的规定，对低于 0℃时的相对湿度仍以过冷水即纯水液面饱和水汽压计算公式来计算饱和气压值，所以在计算饱和气压值时我们始终用纯水面上饱和气压值计算公式来计算（看成过冷水），下面以环境温度 -10℃为例给出了标准工况和气象工况下相对湿度对应的差别（如表 2）（2）。

环境温度（℃）	标准工况 RH%	气象工况 RH%	二者差值 Δ RH%
-10	100	91	9
-10	90	82	8
-10	70	64	7
-10	50	45	5
-10	30	27	3
-10	20	18	2
-10	10	9	1

表 2

“双温工况”和“双压工况”主要应用于在双温双压湿度发生器中的一些参量值的计算，也可以进行不同工况下的湿度参数值的换算。二者的基本原理是相同的，“双温工况”基本原理是将某一温度下和压力下被水汽饱和的湿空气或其它气体，在恒压条件下使其温度升高的设定值，通过道尔顿定律和气体状态方程即可计算出在较高温度下的气体的相对湿度；“双压工况”是指气体在加压下被水汽饱和然后减压膨胀，通过道尔顿定律和气体状态方程即可计算出低压下气体的相对湿度；通常情况下“双温工况”要求饱和槽和测试室的压力相等，“双压工况”要求饱和槽和测试室的温度相等，考虑到有时两者温度和压力同时不等的情况，即“双温双压”工况，程序做了相应的调整，在这二种工况下也都可以看成“双温双压”来计算，公式如下：

2、干湿球湿度计算

地址：江苏省常州市武青北路 6 号 听松大厦 308 室 邮编：213000

电话：0519-8012229 8015931 8015932 传真：0519-8015930

EMAIL：CZUTA@163.COM 网址：http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

对于该部分程序中提供了通过干球温度与湿球温度求相对湿度以及通过干球温度与相对湿度求湿球温度等，两种计算工况。程序中始终把干球温度和测试室的压力当作已知量，而湿球温度和相对湿度是通过下拉框的选择来确定的，如果选择“湿球温度”作为已知条件，则需对下面的“条件判断”栏中湿球是否结冰项做出选择；如果选择了“相对湿度”，“条件判断”栏就会呈灰色（失效），即不必对是否结冰做选择。

程序中对“湿球温度”的计算采用了迭代法，由于查阅了大量的文献和资料中都没有找到关于直接求球湿球温度的公式，所以我们就利用湿空气水汽分压的计算公式，采用迭代法来计算湿球温度，由于这个过程比较复杂，这里不详细介绍。

计算中，干湿表系数 A 是一个关键的参量，A 选择的是否准确对整个计算结果的影响很大，为此在该赋值框下有一“Help”帮助菜单，给出了 A 值的通常选取情况，内容如下（6）：

干湿表型号	$A_i \times 10^{-3} (\text{ }^\circ\text{C}^{-1})$	
	湿球未结冰	湿球结冰
通风干湿表（通风速度 2.5m/s）	0.662	0.584
球状干湿表（自然通风）	0.857	0.756
柱状干湿表（自然通风）	0.815	0.719
球状干湿表（自然通风速度 0.8m/s）	0.7947	0.7947

表 3

在低速和自然通风条件下，影响 A 值的主要因素是通风速度，这里我们给出干湿表系数 A 的一个经验计算公式：（7）

$$(2)$$

V- 空气流过湿球四周的速度， m/s.

在实际应用中我们也可以根据该公式来选取 A 值。以上主要是干湿球湿度计算的主要内容。

3、饱和水蒸气压公式

地址：江苏省常州市武青北路6号 听松大厦308室 邮编：213000

电话：0519-8012229 8015931 8015932 传真：0519-8015930

EMAIL：CZUTA@163.COM 网址：http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

在湿度换算中，核心部分就是饱和水蒸气压的计算公式，其他参量的计算基本上都是通过其得到的，因此饱和水蒸气压公式地选择对程序的计算结果的准确以及精度影响显得尤为重要。目前来看，计算饱和水蒸气压公式很多，如克拉柏龙-克劳修斯方程、卡末林 - 昂尼斯方程、Goff-Grattch 饱和水汽压公式等等很多，通过查阅资料比对筛选我们最后选择了如下的饱和水蒸气压公式（本文中提到的公式没有特殊说明都是采用 90 温标）（1）：

其中 g_i 和 k_i 为系数（1）。

二、程序使用说明

通过上面的介绍我们对程序的概况有了大致的了解，程序的使用相对来说也比较简单，在明确计算工况和已知条件并在程序中做出相应的选择后即可得到结果。

在计算出的湿度参量方面为了方便软件使用者对这些参量的理解，程序对其都做了注释，在使用中只需将鼠标在该参量上稍作停留就能看到对该参量的解释。

程序中对已知参量是有条件限制的，即公式的使用范围，其中露点温度的范围是 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；环境温度的范围也是 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度是 0% 至 100%（公式使用条件本身要求）。

三、同国外软件数据比对结果

为了验证该软件计算出的湿度参量值的准确性，我们将得到的数据同国外的同类软件（英国 Michell Instruments Ltd 公司的湿度换算软件和美国 Thunder 公司的湿度换算软件 HumiCalc）作比较，根据不同的工况和已知条件我们共做了 18 组数据比对，下面从中任选一组并对比对的结果做简要的分析。

1、湿度参数换算部分比对的已知条件及其结果

地址：江苏省常州市武青北路 6 号 听松大厦 308 室 邮编：213000

电话：0519-8012229 8015931 8015932 传真：0519-8015930

EMAIL：CZUTA@163.COM 网址：http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



已知条件：模式为“标准工况”（测试室压力为标准大气压 101325Pa），已知参量“相对湿度 %RH”，载气为“空气”，未使用增强因子（空白处表明该软件中没有该参量的计算值，表中 (3)-(1) 和 (3)-(2) 代表相对误差值）：

表 4

数据比对结果总的来看，Michell 和 Thunder 的软件同本“软件包”数据比较相差很小，最大的相对误差没有超过万分之三，可以软件的计算结果精度较高。但从结果中也能明显发现凡是不涉及分子量的一些参量（如 PPM(V)、混合比 R(V)、体积百分比等）的比对结果相对误差在 0.001% 以内，而涉及分子量的一些参量（如 PPM(W)、混合比 R(W)、重量百分比、密度、比湿等）的比对结果相对误差在 0.02% 以上，说明软件在饱和水蒸汽压的计算公式上是基本相同的，而在水和空气的分子量的选取以及有效位数的保留上有所不同（我们取水的分子量 $M_{H_2O} = 18.0153$ ，空气的分子量 $M_{air} = 28.9635$ (4)），因此需要查阅更权威或国际上通用的分子量数据，并保留更多的有效位数，保证软件包计算的准确度和精度。

2、干湿球湿度计算比对的已知条件及其结果

这部分主要同《湿度查算表》一书中的例题作比对，已知条件都在数据的列表中呈现，（比对结果见附表 1 和附表 2）下面根据数据的比对结果进行扼要的分析。

从列表中可以看出，相对湿度的绝对误差符合湿度查算的误差范围要求（ $\pm 0.5\%$ ）；饱和水蒸汽压力（ $\pm 0.2\text{Pa}$ ）和露点温度的值同例题的值相差也较小（ $\pm 0.9\text{ }^\circ\text{C}$ ）；但在低压与低湿情况下，通过程序计算的数据与干湿表中的数据差异较大，分析发现在低压与低湿情况下查表过程中近似取的值较多，尤其是在该条件下引入订正系数 n ，反复查算，使不确定因素增加，从而带来较大的误差。

附表 1 中最后两行即柱状干湿表和球状干湿表，通过选择程序中的对 A_i 值的选择来改变此条件下的干湿表系数 A_i 值，比对发现，计算出的值也较理想，接近例题中查表所得的值，绝对误差很小（所有值的误差都在 ± 0.5 范围内）。通过干球温度和相对湿度计算湿球温度时（参见表 15），求出的饱和压力值和露点温度值较好（绝对误差在 ± 0.05 之内，结果很接近）。

地址：江苏省常州市武青北路 6 号 听松大厦 308 室 邮编：213000

电话：0519-8012229 8015931 8015932 传真：0519-8015930

EMAIL：CZUTA@163.COM 网址：http://www.czuta.cn http://www.czuta.com



常州优达电子科技有限公司

总的来看,因为湿度查算表采用的订正系数 n 修正所引入的误差较大,且保留位数很有限,因此可以肯定的说,必定会被湿度计算软件所取代,只是存在一个时间延续的问题。

三、总结

从软件的使用以及数据比对的过程中发现本软件无论从功能还是计算结果的准确度来看都可以和英国 Michell Instruments Ltd

公司的湿度换算软件以及美国 Thunder 公司的湿度换算软件 HumiCalc 相媲美,甚至在某些方面超过这些软件,在以后的工作中我们会不断实践、比对及时发现问题,不断做出改进,进一步完善从而使其更加完美。

参考文献:

- (1) Bob Hardy, ITS-90 FORMULATIONS FOR VAPOR PRESSURE, FROSTPOINT TEMPERATURE, DEWPOINT TEMPERATURE, AND ENHANCEMENT FACTORS IN THE RANGE -100 TO +100 C, Thunder Scientific Corporation, Albuquerque, NM, USA
- (2) A Guide to the Measurement of Humidity, The Institute of Measurement and Control 87 Gower St. London , WC1E 6AA .
- (3) 沈维道、郑佩芝、蒋淡安等, 工程热力学 (第二版), 高等教育出版社
- (4) 国防科工委科技与质量司组织编写, 热学计量 (计量培训教材), 原子能出版社
- (5) 孙晋涛, 硅酸盐工业热工基础, 武汉工业大学出版社 (高等学校试用教材)
- (6) 国家气象局编, 湿度查算表, 气象出版社
- (7) 272 — A 型干湿计产品说明书, 上海医用仪表厂

地址: 江苏省常州市武青北路6号 听松大厦308室 邮编: 213000

电话: 0519-8012229 8015931 8015932 传真: 0519-8015930

EMAIL: CZUTA@163.COM 网址: http://www.czuta.cn http://www.czuta.com