

一种新的计算冰面饱和水汽压方法

刘公波 胡志晋

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

综述了国内外近似计算平面饱和水汽压公式,给出了较为精确、简单的平冰面饱和水汽压计算式,并与 Wexler 等的计算结果进行了比较。

关键词: 冰面饱和 饱和水汽压 近似计算式

1 在近似计算平面饱和水汽压的诸多公式中, WMO 一直推荐使用 Goff-Gratch 公式^[1,2],由该公式计算的水汽压值作为气象标准采用。受国际温标变化等因素的影响, Goff-Gratch 公式的系数在不断变化,1966年 IMT(国际气象用表)^[3]采用的 Goff-Gratch 公式为:

$$\begin{aligned} \log e_w = & 10.79574(1 - T_0/T) \\ & - 5.02800 \log(T/T_0) \\ & + 1.50475 \times 10^{-4} \\ & \times [1 - 10^{-9.2999(T/T_0)^2}] \\ & + 0.42873 \times 10^{-3} \\ & \times [10^{4.76955(1-T/T_0)} - 1] \\ & + 0.78614 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \log e_i = & -9.09685(T_0/T - 1) \\ & - 3.56654 \log(T/T_0) \\ & + 0.87682(1 - T/T_0) \\ & + 0.78614 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $T_0 = 273.16\text{K}$, $T = 273.15 + t$, t 为摄氏温标。

由于 Goff-Gratch 公式比较复杂,气象范围内还经常采用一些形式简单的近似公式,其中有 Tetens 公式、Bolton 公式^[4]等。Tetens 公式的误差比较大,特别在负温区误差随温

度降低而增大,在 -50°C 平水面饱和水汽压、平冰面饱和水汽压与 Goff-Gratch 的数据分别相差 4.3% 和 3%^[5]。Bolton 公式用于平水面饱和状态,在 $-35 \sim +35^\circ\text{C}$ 范围内的误差为 10^{-3} 量级,因此在很多情况下可以替代 Goff-Gratch 公式。但 Bolton 公式没有平冰面饱和水汽压的表达式。

2 除 Goff-Gratch 公式外,从 70 年代 Wexler 和 Greenspan 提出并发展了另一套较为精确的平面饱和水汽压计算公式^[6,7],采用 1968 年国际温标的 Wexler-Greenspan 公式:

(1) 平水面饱和水汽压:

$$\ln e_w = \sum_{i=0}^6 g_i T^{i-2} + g_7 \ln T_{68} \quad (3)$$

T_{68} 表示 1968 年国际实用温标 (IPTS-68)

$$\begin{aligned} g_0 = & -0.29912729 \times 10^{-4} \\ g_1 = & -0.60170128 \times 10^4 \\ g_2 = & 0.1887643854 \times 10^2 \\ g_3 = & -0.28354721 \times 10^{-1} \\ g_4 = & 0.17838301 \times 10^{-4} \\ g_5 = & -0.84150417 \times 10^{-8} \\ g_6 = & 0.44412543 \times 10^{-12} \\ g_7 = & 0.2858487 \times 10^1 \end{aligned}$$

(2) 平冰面饱和水汽压:

$$\ln e_w = \sum_{i=0}^2 l_i T^{i-1} + l_3 \ln T_{68} \quad (4)$$

T_0 为水的三相点温度, e_0 为水的三相点

水汽压;

$$l_0 = -0.57170491 \times 10^4$$

$$l_1 = 0.9158658955 \times 10^4$$

$$l_2 = -0.74950412 \times 10^{-2}$$

$$l_3 = 0.36067657 \times 10^3$$

Wexler 公式与平面饱和水汽压的一些精确测量值具有比较高的吻合度, 相对误差大多比测量值的不确定度低, 因此是比较好的湿度标准^[8]。

3 国内也有一些简单的平面饱和水汽压公式, 如钟志武、范金鹏的指数表达式^[9]:

(1) 平水面饱和水汽压:

$$\log e_w = (10.286 \times T - 2148.4909) / (T - 35.85) \quad (5)$$

(2) 平冰面饱和水汽压:

$$\log e_i = 12.5633 - 2670.59/T \quad (6)$$

该公式的优点是与 Goff-Gratch 和 Wexler - Greenspan 公式都比较接近, 在 $-60 \sim +60^\circ\text{C}$ 范围内与上述二式的最大相对偏差小于 0.2%。

4 为了在数值模式中考虑比较详细的云物

理过程, 需要比较简单并且有较高精度的饱和水汽压计算公式, 在 Anthes 等人的中尺度模式中采用了一个比目前各近似计算式都更为简单的形式^[9]:

$$e_w = 6.11 \times e^{(19.84859 - 5418.12/T)} \quad (7)$$

式(7)的误差比较大, $-50 \sim +50^\circ\text{C}$ 范围内为 10^{-2} 到 10^{-1} 。由于在该模式中没有冰相云物理过程, 故而也没有给出相应的冰面饱和水汽压计算公式。

仿照式(7)我们给出了平冰面饱和水汽压计算公式:

$$e_i = 6.107 \times e^{(22.51637581 - 6150.573216/T)} \quad (8)$$

该式在 $0 \sim -66^\circ\text{C}$ 范围内与 IMT66 数据的误差小于 10^{-3} 量级(相对误差), 具体数据比较见表 1。按照 Wexler 的计算结果确定的平冰面饱和水汽压计算公式:

$$e_i = 6.11153 \times e^{(22.51184934 - 6149.28213467/T)} \quad (9)$$

该式的计算结果与 Wexler 数据的误差在 $0 \sim -69^\circ\text{C}$ 范围内小于 10^{-3} 量级(相对误差), 具体数据比较见表 2。

表 1 公式 8 与 IMT66 数据的比较(单位: hPa)

	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C	-70°C
IMT66	6.1064	2.5966	1.0315	0.37971	0.12829	0.039334	0.010800	0.0026136
公式 8	6.1070	2.5956	1.0311	0.37964	0.12830	0.039342	0.010797	0.0026092

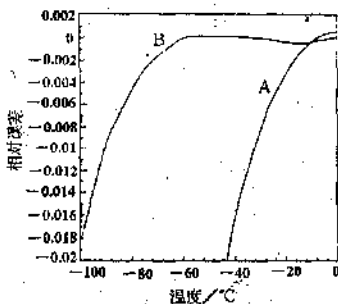


图 1 Tetens 公式(A)、近似计算式 8(B)与 IMT66 数据的相对误差

Tetens 公式当温度低于 -34°C , 误差超过 1%; 式(8)在 $0 \sim -66^\circ\text{C}$ 误差小于 10^{-3}

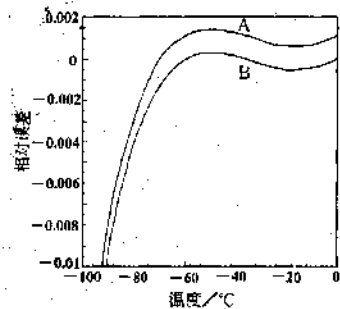


图 2 近似计算式 6(A)、9(B)与 Wexler 数据的相对误差

式(6)在 $-4 \sim +33^\circ\text{C}$ 和 $-63 \sim -74^\circ\text{C}$ 误差小于 10^{-3} , 式 9 在 $0 \sim -69^\circ\text{C}$ 误差小于 10^{-3}

表2 公式9与 Wexler-Greenspan 数据的比较(单位:hPa)

	0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃	-50℃	-60℃	-70℃
Wexler	6.11153	2.59922	1.03276	0.380238	0.128486	0.0394017	0.0108203	0.00261892
公式9	6.11153	2.59800	1.03223	0.380142	0.128499	0.0394130	0.0108199	0.00261538

e 指数表达式(8)、(9)形式简单,精度高
于其他简化式(相对误差见图1,图2),且适用
的温度范围比较广(0—66℃和0—
68℃),在大多数情况下可用作 Goff-Gratch
或 Wexler-Greenspan 公式的替代计算式。

参考文献

- 1 Goff, J. A. and S. Gratch. Trans. Am. Soc. Heating and Vent. Engr. ,48, 299, 1942.
- 2 Goff, J. A. , Humidity and Moisture. Vol. 3, A. Wexler Ed. P. 289, Reinhold Publ. Co. ,New York, 1965.

- 3 International Meteorological Tables. WMO-No. 188, TP94, 1966.
- 4 Bolton, D. , Mon. Wea. Rev. , 108, 1046, 1980.
- 5 Murray, F. W. . J. Appl. Meteor. , 6, 203, 1967.
- 6 Wexler, A. , and L. Greenspan. J. Res. NBS. (U. S.) , 75A(3), 213, 1971.
- 7 Wexler, A. , J. Res. NBS. (U. S.) , 81A(1), 5, 1977.
- 8 李英干, 范金鹏, 湿度测量, 第一章, 北京: 气象出版社, 1990.
- 9 Anthes et. al. Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4), 1987.

A New Method for Calculating the Saturated Water Vapor Pressure over Ice

Liu Gongbo Hu Zhijin

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081)

Abstract

Approximate formulas for calculating saturated water vapor pressure over ice are reviewed. A new and more accurate and simple approximate formula is given. Its calculation results are compared with other formulas.

Key Words: approximation calculation formula saturation over ice saturation water vapor pressure