

# 靠近迭代法获取湿球温度初探

刘银秀<sup>1</sup> 熊守权<sup>2</sup>

(1 湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074; 2 湖北省气象服务中心, 武汉 430205)

**摘要:** 主要探讨了通过靠近查询、迭代求算获取自动气象站湿球温度的方法。以戈夫-格雷奇 (Goff-Gratch) 公式为基础, 编制了湿球未结冰条件下, 气温  $t$  位于  $0 \sim 48 \text{ }^\circ\text{C}$ , 间隔为  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  的小型湿度查算表, 其中包含: 每个  $t$  值对应湿球温度  $t_w$ 、水汽压  $e$ 、相对湿度  $U$ 、气压订正参数  $n$ 。它可帮助满足自动气象站资料已知  $t_1$ 、 $e_1$ , 批量求算  $t_{w1}$  的工作。首先将  $t_1$ 、 $e_1$  表与小型湿度查算表进行联表靠近查询, 再以  $t$ 、 $e$ 、 $t_w$  为基础,  $e$  不变, 对  $t_w$  进行步长为正负  $0.1$  的迭代计算。迭代过程中,  $t$  随着  $t_w$  的值不断变化。令变化中的湿球温度为  $t'_w$ , 相应的气温为  $t'$ , 当  $|t' - t_1|$  为最小值时,  $t'_w$  便是所求的湿球温度  $t_{w1}$ , 为提高精度, 也可对  $t_{w1}$  进行适当订正。

**关键词:** 湿球温度, 靠近查询, 迭代求算

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.02.019

## Preliminary Study on Calculating Wet Ball Temperature Using a Near Iterative Method

Liu Yinxiu<sup>1</sup>, Xiong Shouquan<sup>2</sup>

(1 Hubei Meteorological Information and Technology Security Center, Wuhan 430074

2 Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430205)

**Abstract:** This paper mainly discusses the method of obtaining the wet ball temperature of automatic weather station by close query and iterative calculation. Based on the Goff-Gratch formula, a small humidity check scale with temperature at  $0 \sim 48 \text{ }^\circ\text{C}$  and intervals of  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  under unfrozen conditions is prepared. This check scale includes wet ball temperature  $t_w$ , vapor pressure  $e$ , relative humidity  $U$ , and pressure correction parameter  $n$  at each  $t$  value. The small humidity checklist can enable the calculation of  $t_{w1}$  in batch using automatic weather station data such as  $t_1$  and  $e_1$ . First, the  $t_1$  and  $e_1$  tables are linked to the small humidity checklist to make a close query. Secondly, an iterative calculation of  $t_w$  with a step length of  $\pm 0.1$  is performed using  $t$ ,  $e$ , and  $t_w$  values while keep  $e$  value unchanged. During this iteration,  $t$  changes with the value of  $t_w$ . Assume that the temperature of the changing wet ball is  $t'_w$  and the corresponding air temperature is  $t'$ . The  $t'_w$  is the solution of wet ball temperature  $t_{w1}$  when  $|t' - t_1|$  reaches the minimum value. In order to improve the accuracy,  $t_{w1}$  can be adjusted appropriately.

**Keywords:** wet ball temperature, close to query, iterative calculation

### 0 引言

湿球温度是表征大气物理状态的一个要素。是气象台站曾经的最基本测定项目之一。进入21世纪后, 由于我国地面气象观测系统的自动化, 相对湿度值由仪器自动测定, 各气象台站基本停止了湿球温度要素观测, 但在实际气象服务中, 有时还要用到湿球温度: 如核电厂冷却塔设计中, 确定最终热阱系统的容量时, 必须规定设计基准气象参数, 首先确认了内陆核电站最终热阱关键气象参数之一为空气湿球温度<sup>[1]</sup>; 再如大容量火电机组凉水塔效率的计算<sup>[2]</sup>; 还

有湿热地区城市热环境评价<sup>[3]</sup>等。如何获取新时期湿球温度的历史资料, 不少学者进行了诸多探索。王海军<sup>[4]</sup>为解决无湿球温度资料给工程设计带来的问题, 分别设计了逼近法 (实际上就是迭代法) 和多元回归法估计湿球温度, 指出采用逼近法估计湿球温度误差很小; 湿球结冰对湿球温度的估计影响不大。目前国内很多学者多以气象学公式为基础, 运用迭代法来完成湿球温度的插补<sup>[5-8]</sup>。朱业玉等<sup>[9]</sup>根据气压分布型特点和分段函数, 提出利用干球温度和相对湿度来计算湿球温度的新方法。

魏华兵等<sup>[6]</sup>利用湿球温度的经验公式计算初始值, 采用Excel电子表格完成湿球温度的迭代计算自动气象站湿球温度, 并指出“迭代法进行推算时, 要先

收稿日期: 2018年8月22日; 修回日期: 2019年1月10日  
第一作者: 刘银秀, (1962—), Email: lyxqsq@163.com  
通信作者: 熊守权, (1961—), Email: 2697789280@qq.com

给迭代变量赋予一个初始值，而初始值的选用对迭代过程的计算至关重要”。并根据指定气象站实测的气温和相对湿度资料用泰勒多项展开式对参数进行求算初始值，其初始值结果是“只有在气温为10~20℃，相对湿度为80%~90%时，计算误差稳定，而其他情况下，误差很不稳定，误差有时超过10%”。另外，其初始值资料不具备普适性。

朱业玉等<sup>[9]</sup>、魏华兵<sup>[6]</sup>在湿球温度求算过程中均使用了相对湿度。在《湿球温度查算表（甲种本）》中，相对湿度的分布情况比较宽泛：在气温相同的情况下，一个相对湿度可以对应3~6个湿球温度值。如  $t=48\text{℃}$ ， $U=1\%$ 时，对应了6个湿球温度值； $t=45\text{℃}$ ， $U=15\%$ 时，对应了4个湿球温度值； $t=36\text{℃}$ ， $U=13\%$ 时，对应了3个湿球温度值。程智等<sup>[5]</sup>指出，“从干球温度以下15℃的范围内选取湿球温度的估计值，每次将湿球温度估计值递增0.01℃（根据实际经验，15℃的范围是足够宽的），因此可以得到 $m+1$ 个估计值”迭代次数1500次。

在实际气象资料服务中，作者感觉上述方法实现起来不够简捷，试图利用湖北省70多个站的近50万条包含湿球温度的历史记录，通过SQL Server数据库查询手段，采用气温、水汽压相等或约等的方法，对近年的资料进行关联查询获取湿球温度，以满足客户所需。但出现了要么找不到匹配值，要么找到了多个相互差异较大的值。受人工从《湿球温度查算表（甲种本）》中反查湿球温度过程的启发，盟生了建立“小型湿度查算表”，以水汽压不变、气温逼近的原理进行迭代计算的思路。

## 1 资料来源与方法

本文使用实际观测数据作为测试数据，为湖北气象档案室提供的区站号57476、57482两个站1981—1991年5—9月的定时观测数据，含定时气温、定时水汽压、定时相对湿度、定时气压、定时湿球温度等多个要素，共计11780条实测记录（剔除不明记录后）。

### 1.1 基本原理

《湿度查算表(甲种本)》中，湿度查算表是以戈夫-格雷奇(Goff-Gratch)公式为基础编制的。考虑到实际应用，如核电厂冷却塔设计中，所需资料均是相对高温的情况，故本文只进行了湿球未结冰(纯水)状态下湿球温度的计算方法探讨。

(Goff-Gratch)公式中，纯水面饱和水汽压

$$\lg e_w = 10.79574 \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right) - 5.02800 \lg \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1.50475 \times 10^{-4} \left[ 1 - 10^{-8.2969 \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right)} \right] + 0.42873 \times 10^{-3} \left[ 10^{4.76955 \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right)} - 1 \right] + 0.78614$$

式中，纯水面饱和水汽压 $e_w$ （单位：hPa，温度范围：-49.9~49.9℃）； $T_1=273.16\text{K}$ （水的三相点温度）； $T(\text{K})=273.15+t\text{℃}$ （绝对温度）。

干、湿球温度求空气中水汽压的计算公式

$$e = e_{t_w} - AP(t - t_w) \quad (2)$$

$t$ 为干球温度， $t_w$ 为湿球温度，单位℃； $e_{t_w}$ 为湿球温度 $t_w$ 所对应的纯水面饱和水汽压， $A$ 为干湿表系数。

湿度查算表中，取 $P=1000\text{hPa}$ ；在湿球未结冰时， $A=0.667 \times 10^{-3} (\text{℃}^{-1})$

由式(2)推导

$$t = \frac{e_{t_w} - e}{AP} + t_w \quad (3)$$

在式(3)中，变化的 $e_{t_w}$ 和 $t_w$ 对应变化的 $t$ ，故推出公式(4)

$$t' = \frac{e'_{t_w} - e}{AP} + t'_w \quad (4)$$

另外，《湿球温度查算表（甲种本）》湿球温度气压订正值 $\Delta t_w$ （℃）的公式为

$$\Delta t_w = \frac{n}{10} \times \frac{AP_0 - A_i P}{500A} \quad (5)$$

$P$ 为实测本站气压； $P_0=1000\text{hPa}$ ； $A$ 的意义和取值同上，百叶箱通风干湿表 $A=A_i$ 。

### 1.2 靠近迭代法实现步骤

靠近迭代法实现中，主要借助了SQL Server数据库、VBA两个工具。

首先需要建立一个纯水面饱和水汽压函数。利用式(1)，通过自变量气温 $t$ 可以直接获取对应的纯水面饱和水汽压 $e_w$ 。湿球温度 $t_w$ 所对应的纯水面饱和水汽压 $e_{t_w}$ 需要也通过此函数获得；其次建立小型湿度查算表：应用饱和水汽压函数和上述原理，构建从0~48℃，步长为3℃的小型湿度查算表（下称“小型湿度查算表”，示例见表1）。共包含0℃、3℃、6℃、9℃……直到39℃、42℃、45℃、48℃共17个气温对应的湿度查算表，总计2844条记录。每条记录含5个字段： $t$ 、 $t_w$ 、 $U$ 、 $e$ 、 $n$ 分别表示气温（干球温度）、湿球温度、相对湿度、水汽压、对湿球温度进行气压订正时的订正参数。

被计算对象（实际观测数据）的对应数据入库，

表1 小型湿度查算表示例  
Table 1 Example of a small humidity checklist

$t$	$t_w$	$U$	$e$	$n$	$t$	$t_w$	$U$	$e$	$n$
30	10.9	1	0.3	41	39	16.0	4	2.8	42
30	11.0	1	0.4	41	39	16.1	4	3	41
30	11.1	1	0.6	41	39	16.2	5	3.2	41
30	11.2	2	0.8	40	39	16.3	5	3.4	41
30	11.3	2	0.9	40	39	16.4	5	3.6	40
30	12.4	6	2.7	36	42	16.7	3	2.1	45
30	12.5	7	2.8	36	42	16.8	3	2.3	44
30	12.6	7	3	35	42	16.9	3	2.5	44
30	12.7	7	3.1	35	42	17.0	3	2.7	44
30	12.8	8	3.3	35	42	17.1	4	2.9	43
30	12.9	8	3.5	35	42	17.2	4	3.1	43
30	13.0	8	3.6	34	42	17.3	4	3.3	43
30	13.1	9	3.8	34	42	17.4	4	3.5	42
30	13.7	11	4.8	32	45	17.8	2	2.2	46
33	29.1	75	37.7	4	45	17.9	3	2.4	46
33	29.2	76	38	4	45	18.0	3	2.6	45
33	29.6	78	39.2	4	45	18.4	4	3.4	44
33	29.7	79	39.5	4	48	19.4	3	3.4	46
36	33.9	87	51.5	2	48	19.5	3	3.6	45
36	34.0	87	51.9	2	48	19.6	3	3.9	45
36	34.1	88	52.2	2	48	19.7	4	4.1	45
36	34.2	89	52.6	2	48	19.8	4	4.3	44
36	34.3	89	53	2	48	19.9	4	4.5	44
36	34.4	90	53.3	1	48	20.0	4	4.7	44
36	34.5	90	53.7	1	48	20.1	4	4.9	43

含区站号、时间、 $t_1$ 、 $p_1$ 、 $e_1$ 等信息；在入库时，要加上一个“序号”字段，为后期的各项处理，提供一个纽带。先用结构查询语言联表查询，查询条件为 $|e_1 - e| \leq 0.2$ ， $|t_1 - t| \geq -3$ 和 $|t_1 - t| \leq 10$ ，然后对查询结果进行迭代。

### 1.2.1 靠近迭代法整个流程变量说明

$t$ 、 $e$ 、 $t_w$ 分别为从“小型湿度查算表”获取的气温、水汽压及对应的湿球温度； $t_1$ 、 $e_1$ 、 $t_{w1}$ 分别为观测值气温、水汽压及对应的需要求取的湿球温度； $t'$ 、 $t'_w$ 分别为迭代时的临时气温值、迭代时的临时湿球温度，二者均随迭代的推进持续变化。 $\Delta t_w = \pm 0.1$ ，为 $t'_w$ 的迭代步长。 $\text{dif}_t = |t_1 - t'|$ 为迭代时的临时气温值与观测值气温的差值绝对值，是控制迭代终点的关键变量。 $k$ 代表迭代次数。

### 1.2.2 迭代方法与经验

靠近迭代法是指利用式(4)，以 $t$ 所对应的湿球温度 $t_w$ 为基础，当 $t_1 < t$ 时， $\Delta t_w = -0.1$ ，称为负向迭代；反之，当 $t_1 > t$ 时， $\Delta t_w = 0.1$ ，称为正向迭代。在正常迭代过程中， $\text{dif}_t$ 会渐渐由大变小，到达谷点（通常低于0.5）以后，再开始渐渐由小变大（见图1）。

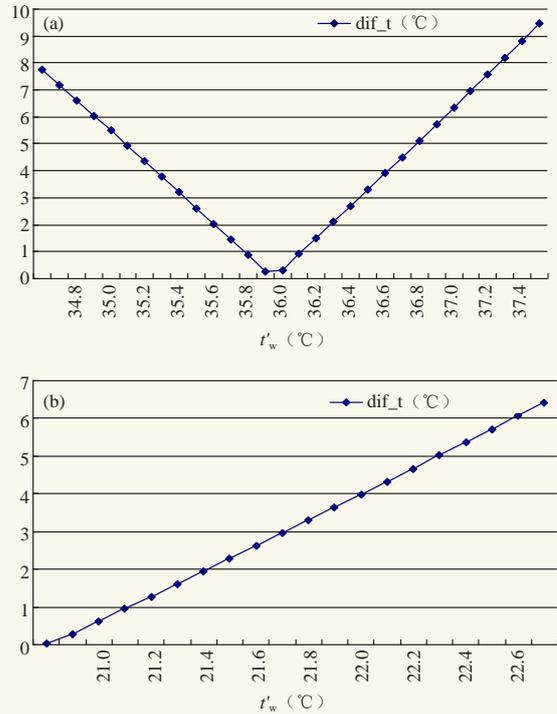


图1 dif<sub>t</sub>随 $t'_w$ 的变化图  
Fig. 1 The change of dif<sub>t</sub> with  $t'_w$

$\text{dif}_t$ 的谷点，所对应的临时 $t'_w$ 便是迭代所求的湿球温度。

图1a为 $t=40$ ， $e=51.6$ ， $t_w=34.7$ ， $t_1=48$ 时， $\text{dif}_t$ 随 $t'_w$ 的变化图。图中，谷点 $t_{w1}=36.0$ ， $\text{dif}_t=0.278427$ 。

根据作者迭代经验，运用本迭代法时需要注意如下几点：

- 1) 迭代起点为 $t'_w = t_w$ 。当 $\text{dif}_t$ 单调上升时， $t_{w1}$ 会在起点。例如图1b： $t=24$ ， $e=22.6$ ， $t_w=20.9$ ， $t_1=24.1$ 时， $t_{w1}=20.9$ 。
- 2) 取迭代结果时，需满足 $t_{w1} < t_1$ 。
- 3) 迭代次数的上限设为100次足以满足迭代需求。
- 4)  $\text{dif}_t$ 的谷点上限值设为 $0.5^\circ\text{C}$ 。

## 2 结果与分析

作者共进行了两种数据测试：在实际观测数据测试的基础上，为了考察靠近迭代法在各个数据段湿球温度结果的准确度，又进行了典型数据测试。

### 2.1 实际观测数据测试

选取江汉平原西部荆州和北部的孝感（区站号分别为57476、57482）两个站1981—1991年5—9月的定时观测数据，含定时气温、定时水汽压、定时相对湿度、定时气压、定时湿球温度等多个要素，共计11780条实测记录（剔除不明记录后）。通过与“小型湿度查算表”联合查询共查出60838条记录。实测

记录每条对应1~21条查询结果(表2)。

表2 实测记录数对应查询结果数分布情况表(单位:条)  
Table 2 The number of measured records corresponding to the distribution of query results (unit: record)

查询结果数	1	2	3	4~8	9~13	14~18	20	21	合计
实测记录数	67	1716	1040	7709	1158	88	1	1	11780

60838条记录迭代次数分布情况:迭代次数出现次数最少1次,最多52次,87.2%的记录迭代次数在15次以内;92.9%的记录迭代次数在20次以内;98.5%的记录迭代次数在30次以内;迭代次数在35次以上的只有0.5%的记录。

设 $t'_{w1}$ 为测试对象历史资料中已有的与 $t_1$ 、 $e_1$ 对应的湿球温度。 $t''_{w1}$ 为 $t_1$ 、 $e_1$ 人工查算纸质《湿球温度查算表(甲种本)》得到的湿球温度。

计算湿球温度结果与实际观测结果的差值绝对值,共有53416条记录(占总数的87.8%) $|t'_{w1}-t_{w1}| \leq 0.2$ ,共有57277条记录(占总数的94%) $|t'_{w1}-t_{w1}| \leq 0.3$ 。对剩余的3561条 $|t'_{w1}-t_{w1}| > 0.3$ 的记录,在《湿球温度查算表(甲种本)》中,逐条通过实测气温、实测水汽压反查湿球温度:求算湿球温度结果与反查结果的差值绝对值,3373条 $|t''_{w1}-t_{w1}| \leq 0.1$ ,只有186条 $|t''_{w1}-t_{w1}| = 0.2$ 。

因此,求算湿球温度结果与实际观测结果的差值绝对值均 $\leq 0.3$ ,其中共有56977条记录(占总数93.7%) $\leq 0.2$ 。因此,当一条实测记录对应多条查询结果时,选取其中任一条结果均是可行的。

## 2.2 典型数据测试

选择0、5、10、15、20、25、30、35、40、45℃共10个 $t$ 值,每个 $t$ 值对应5个相对湿度值, $U$ 值分别为10%(或者5%)、30%、50%、70%、95%,合计50条记录。计算50条记录各自对应的 $e$ 值,通过查《湿度查算表(甲种本)》获取相应的 $t_w$ 值。

50条记录,每条分别人为相应设置2组 $t_1$ 、 $e_1$ 值( $|e_1-e|=0.2$ ),整个典型数据测试共100条数据:一组 $t_1 < t$ ,另一组 $t_1 > t$ ,两组中 $|t_1-t|$ 接近5℃。当 $t_1 < t$ 时,二者差距要小一点。因为差距大了会超出极限情况:如 $t=0$ , $e=5.8$ ,取 $t_1=-0.3$ 。若 $t_1=-3$ ,对应的饱和水汽压仅为4.9,以上数值为基础负向迭代时, $e=5.8$ 就超出了极限,这种情况在实际中基本不会出现。迭代结果见表3(因表格太大,省略了5、15、25、30、35、45℃等 $t$ 值)。

设 $t''_{w0}$ 为 $t_1$ 、 $e$ 人工查算纸质《湿球温度查算表(甲种本)》得到的湿球温度, $t'_{w1}$ 为 $t_1$ 、 $e_1$ 人工查算纸质《湿球温度查算表(甲种本)》得到的湿球温度。

从表3可见,最大迭代次数 $< 30$ ;  $|t''_{w0}-t_{w1}| \leq 0.1$ ,其中96%的结果为0.0,表明迭代法的迭代精度在0.1以内; $|t'_{w1}-t_{w1}| \leq 0.2$ ,其中18%的结果为0.2,误差稍大,如果通过后文所述 $e-e_1$ 的水汽压差值订正,湿球温度订正后的误差均在0.1以内。

## 2.3 相关问题分析

### 2.3.1 水汽压相差0.2对湿球温度的影响

选取气温为0℃、6℃、12℃、21℃、30℃、45℃,相对湿度为5%、50%、95%时,从“小型湿度查算表”查询统计湿球温度每增加0.1℃时水汽压的变化值。

从表4可见,高温高湿的条件下,水汽压随湿球温度的变化大。在气温 $\leq 30$ ℃,无论相对湿度多少(或者温度低于36℃,且相对湿度低于50%)的前提下,当 $\Delta e = e - e_1 = 0.2$ 时,如果对迭代的湿球温度结果减去0.1;当 $\Delta e = e - e_1 = -0.2$ 时,如果对迭代的湿球温度结果加上0.1,湿球温度结果将更精确。一般湿度情况下,气温高于30℃时,水汽压的变化值0.2 hPa对湿球温度的精度影响在0.1℃以内,即使不结合 $e - e_1$ ,对迭代的湿球温度进行上述订正,所得湿球温度的误差 $\leq 0.2$ 。

典型数据测试中,通过 $e - e_1$ 的水汽压差值对湿球温度 $t_{w1}$ 结果订正,订正后的湿球温度与查《湿球温度查算表(甲种本)》的结果相差均在0.1以内(表3)。

实际观测数据测试中186条 $|t''_{w1}-t_{w1}| = 0.2$ 的记录,对应实测气温为15~30℃,其中的182条 $\Delta e = 0.2$ 或 $\Delta e = -0.2$ ,按上述规则进行了0.1℃的湿球温度 $t_{w1}$ 结果订正,进一步地提高了湿球温度求算结果的精度。

### 2.3.2 关于气压订正

整理式(5)得

$$\Delta t_w = \frac{n}{10} \times \frac{1000 - P}{500} \quad (6)$$

因为 $n > 0$ ,故 $|\Delta t_w|$ 与 $|1000 - P|$ 成正比。当 $n$ 一定时, $|1000 - P|$ 越大, $|\Delta t_w|$ 越大。 $|\Delta t_w|$ 与 $|1000 - P|$ 同号:当 $P > 1000$ 时, $\Delta t_w < 0$ ;当 $P < 1000$ 时, $\Delta t_w > 0$ 。利用式(6)计算,得湿球未结冰时的“百叶箱通风干湿度表湿球温度气压订正值表”(表5)。

湖北省非山区站,全年极端最高气压约为1040 hPa,极端最低气压约为980 hPa,最小相对湿度一般大于10%。当相对湿度 $> 10\%$ 时,利用“小型湿度查算表”查询, $n$ 值的最大值为34。从表5中可知,不进行气压订正,靠近迭代法所求湿球温度的误差绝

表3 不同温湿度段典型个例迭代情况表  
Table 3 Typical case of iterations of at different temperature and humidity sections

序号	$t$	$e$	$t_w$	$U$	$t_1$	$e_1$	$t'_{w1}$	$t'_{w0}$	计算 $t_{w1}$	迭代次数 $k$	$e-e_1$	订正后的 $t_{w1}$	订正后的误差
1	0	0.6	-5.3	10	-0.5	0.8	-5.4	-5.6	-5.6	4	-0.2	-5.5	0.1
2	0	0.6	-5.3	10	2.4	0.4	-3.9	-3.7	-3.7	17	0.2	-3.8	-0.1
3	0	1.8	-4.1	30	-1	1.6	-4.9	-4.7	-4.7	7	0.2	-4.8	-0.1
4	0	1.8	-4.1	30	1.9	2	-2.6	-2.8	-2.8	14	-0.2	-2.7	0.1
5	0	3.1	-2.8	50	-2	3.3	-3.9	-4.1	-4.1	14	-0.2	-4	0.1
6	0	3.1	-2.8	50	2.5	2.9	-1.4	-1.2	-1.2	17	0.2	-1.3	-0.1
7	0	4.3	-1.7	70	-3	4.5	-3.4	-3.6	-3.6	20	-0.2	-3.5	0.1
8	0	4.3	-1.7	70	4	4.1	0.6	0.8	0.8	26	0.2	0.7	-0.1
9	0	5.8	-0.3	95	-0.3	5.6	-0.6	-0.5	-0.5	3	0.2	-0.6	0
10	0	5.8	-0.3	95	4	5.6	1.9	2.1	2.1	25	0.2	2	-0.1
21	10	1.2	1.6	10	6	1.4	-0.6	-0.8	-0.8	25	-0.2	-0.7	0.1
22	10	1.2	1.6	10	14	1	3.6	3.8	3.8	23	0.2	3.7	-0.1
23	10	3.7	3.7	30	6	3.9	1.6	1.4	1.4	24	-0.2	1.5	0.1
24	10	3.7	3.7	30	14	3.5	5.6	5.8	5.8	22	0.2	5.7	-0.1
25	10	6.1	5.6	50	6	6.3	3.6	3.4	3.4	23	-0.2	3.5	0.1
26	10	6.1	5.6	50	14	5.9	7.4	7.6	7.6	21	0.2	7.5	-0.1
27	10	8.6	7.4	70	6	8.4	5.3	5.4	5.4	21	0.2	5.3	0
28	10	8.6	7.4	70	14	8.8	9.5	9.3	9.3	20	-0.2	9.4	0.1
29	10	11.7	9.6	95	9.8	11.9	9.7	9.5	9.5	2	-0.2	9.6	0.1
30	10	11.7	9.6	95	14	11.5	11.3	11.4	11.4	19	0.2	11.3	0
41	20	1.2	6.9	5	15	1	4.2	4.2	4.3	27	0.2	4.2	0
42	20	1.2	6.9	5	25	1.4	9.4	9.3	9.3	25	-0.2	9.4	0
43	20	7	10.9	30	15	7.2	8.8	8.7	8.7	23	-0.2	8.8	0
44	20	7	10.9	30	25	6.8	12.9	13	13	22	0.2	12.9	0
45	20	11.7	13.9	50	15	11.5	11.7	11.8	11.8	22	0.2	11.7	0
46	20	11.7	13.9	50	25	11.9	15.9	15.8	15.7	19	-0.2	15.8	0.1
47	20	16.4	16.5	70	15	16.2	14.5	14.7	14.6	20	0.2	14.5	0
48	20	16.4	16.5	70	25	16.6	18.3	18.2	18.2	18	-0.2	18.3	0
49	20	22.2	19.5	95	19.5	22	19.2	19.3	19.3	3	0.2	19.2	0
50	20	22.2	19.5	95	25	22.4	21.1	21	21	16	-0.2	21.1	0
91	45	4.8	19.1	5	40	4.6	17.3	17.4	17.4	18	0.2	17.3	0
92	45	4.8	19.1	5	49	5	20.5	20.4	20.4	14	-0.2	20.5	0
93	45	28.8	28.8	30	40	29	27.7	27.7	27.7	12	-0.2	27.8	-0.1
94	45	28.8	28.8	30	49	28.6	29.6	29.7	29.7	10	0.2	29.6	0
95	45	47.9	34.6	50	40	47.7	33.6	33.6	33.6	11	0.2	33.5	0.1
96	45	47.9	34.6	50	49	48.1	35.3	35.3	35.3	8	-0.2	35.4	-0.1
97	45	67.1	39.3	70	40	66.9	38.5	38.5	38.5	9	0.2	38.4	0.1
98	45	67.1	39.3	70	49	67.3	39.9	39.9	39.9	7	-0.2	40	-0.1
99	45	91.1	44.1	95	44.4	91.3	44.1	44.1	44.1	1	-0.2	44.2	-0.1
100	45	91.1	44.1	95	49	90.9	44.6	44.6	44.6	6	0.2	44.5	0.1

对值不超过0.2℃。

对于特殊条件下，有特殊需求时，亦可依据表5对 $t_{w1}$ 进行 $n$ 值订正。

### 3 结论与讨论

本文探讨了气温在-5~49.9℃，水汽压已知，湿球未结冰条件下的自动气象站湿球温度求算方法。以建立饱和水汽压函数为基础，构建了步长为3℃的

“小型湿度查算表”，是解决湿球温度迭代计算初始值难题的新尝试；经人工抽查校对，“小型湿度查算表”与《湿球温度查算表（甲种本）》相关内容几乎完全一致，更符合传统的气象标准；王海军、魏华兵、程智均是以气温不变，水汽压逼近的原理进行迭代计算的，而本文中靠近迭代法，是以水汽压不变，气温逼近的原理进行迭代计算，是不同于众学者方法

表4 不同温湿条件下 $\Delta t_w=0.1$ 时 $\Delta e$ 值表  
Table 4  $\Delta e$  value for different temperature and humidity  
( $\Delta t_w=0.1$ )

气温/°C	相对湿度/%	$\Delta e/hPa$	气温/°C	相对湿度/%	$\Delta e/hPa$
0	5	0.1	21	95	0.2~0.3
0	50	0.1	30	5	0.1~0.2
0	95	0.1	30	50	0.2~0.3
6	5	0.1	30	95	0.3
6	50	0.1~0.2	36	5	0.1~0.2
6	95	0.1~0.2	36	50	0.2~0.3
12	5	0.1~0.2	36	95	0.3~0.4
12	50	0.1~0.2	45	5	0.2~0.3
12	95	0.1~0.2	45	50	0.3~0.4
21	5	0.1~0.2	45	95	0.5~0.6
21	50	0.2			

的一种新的尝试；迭代过程试验最大值52次，控制在100次以内即可，节省了迭代时间。

典型数据测试所得湿球温度与查《湿球温度查算表（甲种本）》的结果误差均在0.1或以内；历史数据测试误差93.7%在0.2或以内，所有误差在0.3或以内（其中不排除历史资料自身问题）。靠近查询、迭代求算获取自动气象站湿球温度的方法测试效果良好。

如果想进一步提高计算精度，不妨建立步长为2℃甚至1℃的小型湿度查算表，其记录数在10000条以内。用以上思路，得到小时甚至分钟的湿球温度记录也很容易。如因特殊需求，湿球结冰条件下的湿球温度求算方法也可以依本文思路进行探求。

表5 百叶箱通风干湿表湿球温度气压订正值表  
Table 5 Corrected value of air pressure from louver box  
ventilation dry and wet table wet bulb temperature

$P$	$\Delta t_w$	$n$	$P$	$\Delta t_w$	$n$
920	0.1	6	920	0.2	13
930	0.1	7	930	0.2	14
940	0.1	8	940	0.2	17
950	0.1	10	950	0.2	20
960	0.1	13	960	0.2	25
970	0.1	17	970	0.2	34
980	0.1	25	980	0.2	50
990	0.1	50	990	0.2	100
1000	0	0	1000	0	0
1010	-0.1	50	1010	-0.2	100
1020	-0.1	25	1020	-0.2	50
1030	-0.1	17	1030	-0.2	34
1040	-0.1	13	1040	-0.2	25

### 参考文献

- [1] 袁业畅, 陈正洪. 大畈核电站拟址空气湿球温度推算. 气象, 2008, 34(11): 69-73.
- [2] 王春亮, 王滨. 330 MW 机组凉水塔综合节能改造. 华电技术, 2013, 35(11): 93.
- [3] 张磊, 孟庆林, 赵立华, 等. 湿热地区城市热环境评价指标的简化计算方法. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2008, 36(11): 96.
- [4] 王海军. 两种湿球温度估计方法比较及误差分析. 气象, 2011, 37(4): 497-502.
- [5] 程智, 吴必文, 朱保林, 等. 湿球温度循环迭代算法及其应用. 气象, 2011, 37(1): 112-115.
- [6] 魏华兵, 郭江峰. 自动气象站湿球温度快速计算方法. 气象, 2011, 37(8): 1038-1041.
- [7] 赵永胜, 刘德平, 胡长权. 无资料地区湿球温度计算方法研究. 电力勘测设计, 2009(5): 32-35.
- [8] 胡进宝. 西北无资料地区湿球温度计算方法研究. 电力勘测设计, 2011(4): 21-23.
- [9] 朱业玉, 陈辉, 姬兴杰. 基于分段函数法计算湿球温度研究. 气象, 2011, 37(4): 497-502.