

第23篇 物 性 检 测 仪 表

主编及编写单位

成都仪器厂

合稿人

武宝琦

编写人

郭益容 许永泉

2007

常用符号表

A ——干湿球系数	R_o ——外筒内圆半径
D ——剪切速率	Re ——雷诺数
e_s ——饱和蒸汽压	r ——质量混合比
e_{si} ——冰面上的饱和蒸汽压	T_c ——测试室温度
e_{sw} ——水面上的饱和蒸汽压	T_s ——饱和器温度
F ——压缩因数；克当量电解常数	t_d ——气体的露点温度
J_o —— γ 射线通过介质前的强度	V_p ——体积比水蒸汽浓度
J —— γ 射线通过介质后的强度	V_v ——水蒸汽体积
M_c ——湿基水分含量	W_p ——质量比水蒸汽浓度
M_R ——干基水分含量	W' ——干物质的重量
m_g ——干气体质量	x_v ——水蒸汽的摩尔分数
m_v ——水蒸汽质量	ϵ_m ——湿物质的介电常数
p_c ——测试室压力	ϵ_1 ——水的介电常数
p_R ——压比	ϵ_2 ——干物质的介电常数
p_s ——饱和器压力	η_a ——表现粘度
q ——含湿量	μ_m ——介质的质量吸收系数
R_b ——内筒外圆半径	τ_y ——屈服值

第1章 概 论

物性检测仪表是测量某些物质性质的仪表。物质的性质，含义甚广，但在仪表分类时，通常将检测某些与物质组成有密切关系的物理特性的检测仪表，如湿度计、水分计、粘度计、密度计等单独分为一类，称为物性检测仪表。

物性检测仪表可以用来监视、控制工业生产，提高产品的质量和产量，改善劳动条件和保证安全。但是物性检测仪表可通过直接测量原料、半成品及最终产品的性能和质量来控制生产，比间接参数控制的方法好。例如通过检测生产过程中温度、压力等间接参数，是不易直接肯定最终产品的质量；而检测产品的粘度、水分、密度等参数，就可以直接控制产品的质量。工业生产中的质量控制仪表，很多都属于物性检测仪表，特别在化工、石油、轻工、食品等工业生产部门更是如此。

物性检测仪表所采用的工作原理多种多样，涉及的范围很广，其品种、规格繁多。因此使用者欲选择一种适合于使用要求的物性检测仪表往往比选择其它仪表要困难一些。有时，制造厂必须按照使

用部门的生产条件和要求专门设计制造。

物性检测仪表是检测多种物性参数的一类仪表，如按测量对象来分，主要包括湿度计、水分计、粘度计、密度计和比重计等类。

选用物性检测仪表的一般步骤如下：

1) 首先要明确使用该种仪表的目的和作用（包括改进产品质量、提高产量、节约劳动力和有效利用原材料、加强环境保护及安全等）；

2) 明确需要检测试样的具体情况（包括试样状态、试样类型、待测参数的变化范围、背景组分等）；

3) 明确仪表的安装形式（仪表架、仪表板），采用何种显示仪以及自动控制的要求（输出信号与调节器的配合）。

4) 将各种类型的仪表的技术规格、性能、特点、安装取样方式（包括：测量范围、精确度、灵敏度、选择性、响应时间等）与测检对象和要求进行全面比较，以便选定一种合用的仪表。

第2章 湿 度 计

1 概述

通常把气体中含有水蒸气的多少称为湿度，把测量气体湿度的仪器叫做湿度计，湿度可以用绝对湿度或相对湿度来表示。

1) 绝对湿度 表示气体的绝对含水量，即只要湿度一定，气体的水蒸气含量也就确定了。常用的有以下几种：

(1) 水蒸气分压力 简称蒸气压，是指压力一定时，湿气体的水蒸气分压力。正如大气压力一样，可以用 mmHg、mbar 或 Pa 来表示。对理想气体而言，其表达式为

$$e = x_v p \quad (23.2-1)$$

式中 e —— 蒸气压 mmHg

x_v —— 湿气体中水蒸气的摩尔分数

p —— 湿气体压力 mmHg

其中 $x_v = (m_v/M_v) / [(m_g/M_g) + (m_v/M_v)]$

(23.2-2)

或 $x_v = (m_v/m_g) / [(M_v/M_g) + (m_v/m_g)]$

(23.2-3)

式中 m_v —— 湿气体中水蒸气质量

m_g —— 湿气体中干气体质量

M_v —— 水蒸气分子量

M_g —— 干气体分子量（多组分气体用表观分子量）

m_v/M_v —— 湿气体中水蒸气的摩尔数

m_g/M_g ——湿气体中干气体的摩尔数

m_v/m_g ——质量混合比 r

对于湿空气来说, 已知标准组分的干空气分子量 $M_a = 28.9645$, 水蒸气分子量 $M_v = 18.01534$ (以 $C^{12} = 12$)。 m_a 是湿空气中干空气质量, 则质量混合比 $r = m_v/m_a$ 。代入公式 (23.2-3) 和 (23.2-1), 可得到湿空气的蒸气压计算公式

$$e = [r / (0.62198 + r)] \times p \quad (23.2-4)$$

蒸气压 e 与别的气体的存在无关, 或者说与气体的组分无关。

在保持恒定温度的密闭空间里, 气体与水 (纯液相或纯固相) 的表面接触, 这时气体的蒸气压就是该温度下的最大蒸气压, 称为饱和蒸气压。饱和蒸气压与气体的压力无关, 仅是温度的函数。

$$\left. \begin{array}{l} \text{水面上} \quad e_{s,w} = f_w(t) \\ \text{冰面上} \quad e_{s,i} = f_i(t) \end{array} \right\} \quad (23.2-5)$$

不同温度下的饱和蒸气压, 见表 23.2-1、表 23.2-2 和表 23.2-3。

表 23.2-1 0°C 以上水面上的饱和蒸气压

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m ³]
	Smithsonian		I. C. T. ①	
	[mbar]	[mmHg]	[mmHg]	
0	6.1078	4.581	4.579	4.847
1	6.5662	4.925	4.926	5.132
2	7.0547	5.291	5.294	5.559
3	7.5753	5.682	5.685	5.947
4	8.1294	6.098	6.101	6.360
5	8.7192	6.540	6.543	6.797
6	9.3465	7.011	7.013	7.260
7	10.013	7.510	7.513	7.750
8	10.722	8.042	8.045	8.270
9	11.474	8.606	8.609	8.819
10	12.272	9.208	9.209	9.319
11	13.119	9.841	9.844	10.01
12	14.017	10.508	10.518	10.66
13	14.969	11.227	11.231	11.35
14	15.977	11.984	11.987	12.07
15	17.044	12.784	12.788	12.83
16	18.173	13.631	13.634	13.63
17	19.367	14.526	14.530	14.48
18	20.630	15.474	15.477	15.37
19	21.964	16.474	16.477	16.31
20	23.373	17.531	17.535	17.30
21	24.861	18.647	18.650	18.34
22	26.430	19.825	19.827	19.43
23	28.086	21.067	21.068	20.58
24	29.831	22.375	22.377	21.78
25	31.671	23.755	23.756	23.05

温 度 〔℃〕	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 〔g/m ³ 〕
	Smithsonian		I. C. T.	
	〔mbar〕	〔mmHg〕	〔mmHg〕	
26	33.608	25.206	25.209	24.38
27	35.649	26.739	26.739	25.78
28	37.796	28.349	28.349	27.24
29	40.055	30.043	30.043	28.78
30	42.430	31.826	31.824	30.38
31	44.926	33.698	33.695	32.07
32	47.551	35.696	35.663	33.83
33	50.307	37.731	37.729	35.68
34	53.200	39.903	39.898	37.61
35	56.236	42.181	42.175	39.63
36	59.422	44.556	44.563	41.75
37	62.762	47.076	47.067	43.96
38	66.264	49.702	49.692	46.26
39	69.934	52.455	52.442	48.67
40	73.777	55.337	55.324	51.19
41	77.802	58.357	58.34	53.82
42	82.015	61.506	61.50	56.56
43	86.423	64.830	64.80	59.41
44	91.034	68.258	68.26	62.39
45	95.855	71.897	71.88	65.50
46	100.89	75.073	75.65	68.73
47	106.16	79.627	79.60	72.10
48	111.66	83.752	83.71	75.61
49	117.40	88.058	88.02	79.26
50	123.40	92.557	92.51	83.06
51	129.65	97.208	97.20	87.01
52	136.17	102.136	102.09	91.12
53	142.98	107.244	107.20	95.39
54	150.07	112.561	112.51	99.83
55	157.46	118.105	118.04	104.4
56	165.16	123.882	123.80	109.2
57	173.18	129.896	129.82	114.2
58	181.53	136.157	136.08	119.4
59	190.22	142.677	142.60	124.7
60	199.26	149.457	149.38	130.3
61	208.67	156.51	156.43	—
62	218.45	163.85	163.77	—
63	228.61	171.46	171.38	—
64	239.18	179.40	179.31	—
65	250.16	187.67	187.54	—
66	261.56	196.15	196.09	—
67	273.40	205.07	204.96	—
68	285.70	214.30	214.17	—
69	298.45	223.86	223.73	—
70	311.69	233.79	233.7	—
71	325.42	244.08	243.9	—
72	339.65	254.76	254.6	—
73	354.41	265.82	265.7	—
74	369.71	277.30	277.2	—
75	385.56	289.19	289.1	—
76	401.98	301.51	301.4	—
77	418.98	314.27	314.1	—
78	436.59	327.48	327.3	—
79	454.81	341.30	341.0	—
80	473.67	355.23	355.1	—

① I. C. T., International Critical Tables.

(续)

温 度	饱 和 蒸 气 压			水 含 量
	Smithsonian		[. C. T.]	
	[mbar]	[mm Hg]		
[°C]				[g / m ³]
81	493.17	369.91	369.7	—
82	513.35	385.05	384.9	—
83	534.22	400.70	400.6	—
84	555.80	416.88	416.8	—
85	578.09	433.61	433.6	—
86	601.13	450.88	450.9	—
87	624.94	468.74	468.7	—
88	649.53	487.19	487.1	—
89	674.92	506.24	506.1	—
90	701.13	525.89	525.76	—
91	728.19	546.19	546.05	—
92	756.11	567.13	566.99	—
93	784.92	588.74	588.60	—
94	814.63	611.02	610.90	—
95	845.28	634.01	633.90	—
96	876.88	657.71	657.62	—
97	909.45	682.15	682.07	—
98	943.02	707.33	707.27	—
99	977.61	733.27	733.24	—
100	1013.25	760.00	760.00	—

表23.2-2 0°C以下水面上的饱和蒸气压

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m³]
	Smithsonian	I. C. T.	Landolt	
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	
- 0	4.5812	4.579	4.579	4.847
- 1	4.2588	4.258	4.256	4.523
- 2	3.9568	3.956	3.952	4.217
- 3	3.6739	3.673	3.669	3.930
- 4	3.4091	3.410	3.404	3.660
- 5	3.1613	3.163	3.158	3.407
- 6	2.9298	2.931	2.928	3.169
- 7	2.7135	2.715	2.712	2.946
- 8	2.5115	2.514	2.509	2.737
- 9	2.3230	2.326	2.320	2.541
-10	2.1472	2.149	2.143	2.358
-11	1.9834	1.987	1.979	2.181
-12	1.8308	1.834	1.826	2.026
-13	1.6888	1.691	1.684	1.876
-14	1.5568	1.560	1.551	1.736
-15	1.4340	1.436	1.429	1.605
-16	1.3199		1.315	1.483
-17	1.2140			1.369
-18	1.1159			1.264
-19	1.0149			1.165
-20	0.9406			1.074
-21	0.8626			0.9884
-22	0.7904			0.9093
-23	0.7237			0.8359
-24	0.6621			0.7678
-25	0.6053			0.7047

(续)

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m³]
	Smithsonian	I. C. T.	Landolt	
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	
-26	0.5529			0.6463
-27	0.5046			0.5922
-28	0.4601			0.5422
-29	0.4192			0.4960
-30	0.3816			0.4534
-31	0.3471			0.4141
-32	0.3154			0.3779
-33	0.2864			0.3445
-34	0.2597			0.3138
-35	0.2354			0.2856
-36	0.2132			0.2597
-37	0.1928			0.2359
-38	0.1742			0.2141
-39	0.1573			0.1940
-40	0.1418			0.1757
-41	0.1278			0.1590
-42	0.1151			0.1438
-43	0.1034			0.1298
-44	0.09293			0.1172
-45	0.08333			0.1055
-46	0.07471			0.09501
-47	0.06689			0.08544
-48	0.05982			0.07675
-49	0.05343			0.06886
-50	0.04767			0.06171

表23.2-3 冰面上的饱和蒸气压

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m³]
	Smithsonian	I. C. T.	Landolt	
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	
- 0	4.581	4.579	4.579	4.847
- 1	4.218	4.217	4.216	4.479
- 2	3.880	3.880	3.879	4.136
- 3	3.568	3.568	3.566	3.817
- 4	3.279	3.280	3.276	3.521
- 5	3.011	3.013	3.008	3.246
- 6	2.764	2.765	2.761	2.990
- 7	2.534	2.537	2.532	2.752
- 8	2.323	2.326	2.321	2.532
- 9	2.128	2.131	2.125	2.328
-10	1.948	1.950	1.946	2.139
-11	1.782	1.785	1.780	1.964
-12	1.629	1.632	1.627	1.803
-13	1.488	1.490	1.486	1.653
-14	1.358	1.361	1.357	1.515
-15	1.239	1.241	1.238	1.387
-16	1.130	1.132	1.128	1.269
-17	1.028	1.031	1.027	1.160
-18	0.9361	0.939	0.935	1.060
-19	0.8513	0.854	0.850	0.9678
-20	0.7741	0.776	0.772	0.8835

(续)

(续)

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m³]
	Smithso- nian	I. C. T.	Landolt	
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	
-21	0.7028	0.705	0.701	0.8053
-22	0.6377	0.640	0.636	0.7356
-23	0.5782	0.580	0.576	0.6678
-24	0.5239	0.526	0.521	0.6075
-25	0.4743	0.476	0.471	0.5521
-26	0.4290	0.430	0.425	0.5015
-27	0.3878	0.389	0.383	0.4551
-28	0.3502	0.351	0.345	0.4127
-29	0.3160	0.317	0.311	0.3739
-30	0.2849	0.2859	0.280	0.3385
-31	0.2566	0.2575	0.252	0.3061
-32	0.2309	0.2318	0.227	0.2767
-33	0.2077	0.2084	0.205	0.2498
-34	0.1866	0.1873	0.185	0.2254
-35	0.1675	0.1681	0.167	0.2032
-36	0.1502	0.1507	0.150	0.1829
-37	0.1346	0.1351	0.134	0.1646
-38	0.1205	0.1209	0.119	0.1480
-39	0.1077	0.1081	0.105	0.1329
-40	0.09623	0.0966	0.093	0.1192
-41	0.08588	0.0862	0.083	0.1069
-42	0.07658	0.0768	0.074	0.09570
-43	0.06824	0.0684	0.066	0.08565
-44	0.06073	0.0609	0.058	0.07656
-45	0.05399	0.0541	0.052	0.06836
-46	0.04795	0.0481	0.047	0.06098
-47	0.04254	0.0426	0.042	0.05433
-48	0.03770	0.0378	0.037	0.04837
-49	0.03337	0.0334	0.033	0.04301
-50	0.02951	0.0295	0.029	0.03821
-51	0.02607	0.0261	0.025	0.03390
-52	0.02300	0.0230	0.022	0.03005
-53	0.02027	0.0203	0.019	0.02660
-54	0.01785	0.0178	0.017	0.02353
-55	0.01569	0.0157	0.015	0.02078
-56	0.013786	0.0138	0.013	0.01834
-57	0.012091	0.0121	0.011	0.01616
-58	0.010598	0.0106	0.009	0.01423
-59	0.009271	0.0092	0.008	0.01251
-60	0.008101	0.00808	0.007	0.01093
-61	0.007075	0.00703	0.006	0.009633
-62	0.006168	0.00614	0.005	0.008438
-63	0.005370	0.00534	0.004	0.007381
-64	0.004669	0.00464	0.003	0.006449
-65	0.004055	0.00403	0.002	0.005627
-66	0.003516	0.00349		0.004903
-67	0.003045	0.00302		0.004267
-68	0.002633	0.00261		0.003708
-69	0.002274	0.00225		0.003218
-70	0.001961	0.00194		0.002789
-71	0.001689	0.00167		0.002414
-72	0.001452	0.00143		0.002085
-73	0.001247	0.00123		0.001799
-74	0.001069	0.00105		0.001550
-75	0.000915	0.00090		0.001334

温 度 [°C]	饱 和 蒸 气 压			水 含 量 [g/m³]
	Smithso- nian	I. C. T.	Landolt	
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	
-76	0.0007816	0.00077		0.001145
-77	0.0006671	0.00066		0.0009824
-78	0.0005683	0.00056		0.0008413
-79	0.0004833	0.00047		0.0007191
-80	0.0004104	0.00040		0.0006138
-81	0.0003479	0.00034		0.0005230
-82	0.0002944	0.00029		0.000449
-83	0.0002487	0.00024		0.0003778
-84	0.0002097	0.00020		0.0003203
-85	0.0001765	0.00017		0.0002710
-86	0.0001483	0.00014		0.0002289
-87	0.0001244	0.00012		0.0001930
-88	0.0001041	0.00010		0.0001624
-89	0.0000870	0.000084		0.0001365
-90	0.0000725	0.000070		0.0001140
-91	0.00006037	0.000058		0.00009574
-92	0.00005064	0.000048		0.00007996
-93	0.00004157	0.000040		0.00006665
-94	0.00003438	0.000033		0.00005544
-95	0.00002838	0.000027		0.00004602
-96	0.00002338	0.000022		0.00003812
-97	0.00001921	0.000018		0.00003150
-98	0.00001576	0.000015		0.00002599
-99	0.00001285	0.000012		0.00002139
-100	0.00001052			0.00001756

(2) 水含量 是指单位体积湿气体中含有的水蒸气质量。表达式为

$$D = m_v / V \quad (23.2-6)$$

式中 D —— 水含量 g/m^3

m_v —— 湿气体中水蒸气质量 g

V —— 湿气体体积 m^3

水含量 D 与蒸气压 e 之间有如下关系:

$$e = \frac{22.41 \times 760}{18.016 \times 1000 \times 273} T D \quad (23.2-7)$$

式中 e —— 湿气体的蒸气压 mmHg

T —— 湿气体温度 K

D —— 湿气体水含量 g/m^3

(3) 质量混合比 简称混合比, 是指湿气体中水蒸气质量与干气体质量的比。表达式为

$$r = m_v / m_g \quad (23.2-8)$$

式中 r —— 混合比

m_v —— 湿气体中水蒸气质量 kg

m_g —— 湿气体中干气体质量 kg

混合比 r 与蒸气压 e 之间的关系是:

$$r = A_d e / (p - e) \quad (23.2-9)$$

式中 r ——湿气体的混合比

A_d ——与气体有关的量, 对于空气来说 $A_d = 0.622$

e ——湿气体的蒸气压 mmHg

p ——湿气体压力 mmHg

(4) 比湿 是指湿气体中, 水蒸气质量与湿气体质量之比, 即

$$s = m_v/m \quad (23.2-10)$$

式中 s ——比湿

m_v ——湿气体中水蒸气质量 kg

m ——湿气体质量 kg

比湿 s 与蒸气压 e 之间有如下关系:

$$s = A_d e / [p - (1 - A_d) e] \quad (23.2-11)$$

式中 s ——湿气体的比湿

A_d ——与气体有关的量, 对于空气来说 $A_d = 0.622$

e ——湿气体的蒸气压 mmHg

p ——湿气体压力 mmHg

(5) 含湿量 是指1公斤干气体中含有水蒸气的克数。表达式为

$$q = m_v/m_g \quad (23.2-12)$$

式中 q ——含湿量 g/kg

m_v ——湿气体中水蒸气质量 g

m_g ——湿气体中干气体质量 kg

含湿量 q 与蒸气压 e 之间有如下关系:

$$q = 10^3 A_d e / (p - e) \quad (23.2-13)$$

式中 q ——湿气体的含湿量 g/kg

A_d ——与气体有关的量, 对于空气来说 $A_d = 0.622$

e ——湿气体的蒸气压 mmHg

p ——湿气体压力 mmHg

(6) 水蒸气浓度 有两种表示方法: 质量比和体积比。

质量比水蒸气浓度, 是指湿气体中, 水蒸气质量与湿气体质量的比值, 其表达式为

$$W_p = (m_v/m) \times 100 \quad (23.2-14)$$

式中 W_p ——质量比水蒸气浓度 %

m_v ——湿气体中水蒸气质量

m ——湿气体质量

m 和 m_v 取相同的计量单位。对于低湿气体, 公式 (23.2-14) 右端可再乘以 10^4 , 所得结果为 ppm_w。

体积比水蒸气浓度, 是指湿气体中, 水蒸气体积与湿气体体积的比值, 其表达式为

$$V_p = (V_v/V) \times 100 \quad (23.2-15)$$

式中 V_p ——体积比水蒸气浓度 %

V_v ——湿气体中水蒸气体积

V ——湿气体体积

V 和 V_v 取相同的计量单位。对于低湿气体, 公式 (23.2-15) 右端可再乘以 10^4 , 所得结果为 ppm_v。

(7) 露点 全称是热力学露点温度, 即保持压力不变, 降低湿气体温度到饱和和凝露, 此时的温度称为湿气体的露点; 0℃以下有时结成霜, 便叫做霜点。显然, 气体中蒸气含量愈多, 露点温度愈高。

露点 t_d 与水含量 D 之间有如下关系:

$$D/D_d = (273 + t_d)(273 + t) \quad (23.2-16)$$

式中 D ——温度 t 时, 湿气体的水含量 g/m³

D_d ——温度 t_d 时, 湿气体的水含量 g/m³

t ——湿气体温度 °C

t_d ——湿气体的露点温度 °C

2) 相对湿度 当压力和温度保持恒定, 湿气体的蒸气压与该温度下饱和蒸气压的百分比, 叫做湿气体的相对湿度, 其表达式为

$$\varphi = (e/e_s) \times 100 \quad (23.2-17)$$

式中 φ ——相对湿度 %

e ——湿气体蒸气压 mmHg

e_s ——温度等于湿气体温度时的饱和蒸气压 mmHg

因为 e_s 是温度的函数, 所以相对湿度不仅取决于水蒸气含量, 且与气体温度有关。

相对湿度 φ 与水含量 D 之间有如下关系:

$$D = \frac{\varphi}{100} \times \frac{1.058 e_s}{1 + 0.00367 t} \quad (23.2-18)$$

式中 D ——湿气体的水含量 g/m³

φ ——湿气体相对湿度 %

e_s ——温度等于湿气体温度 t 时的饱和蒸气压 mmHg

t ——湿气体温度 °C

2 测量空气相对湿度的湿度计

2.1 干湿球湿度计

2.1.1 工作原理

干湿球湿度计是利用两只温度计的读数来测量大气相对湿度。一只温度计的温包直接暴露在大气中测量大气的温度,称为干球;另一只的温包用经常保持润湿的棉织纱布包裹,称为湿球。当纱布表面的水分蒸发时,因吸收潜热而引起湿球温度下降。但水分蒸发的快慢与大气水蒸气含量有关,如大气已经饱和,水分不蒸发,则湿球温度也不会下降;反之,大气愈干燥,水分蒸发愈快,干球与湿球的温差也愈大。由于湿球表面是浸湿的,所以那里的蒸气压便是湿球温度时的饱和蒸气压 e'_s ,而且大气蒸气压 e 和 e'_s 的差与两只温度计的温差成比例,即

$$e - e'_s = K(t - t') \quad (23.2-19)$$

式中 e ——大气的蒸气压 mmHg

e'_s ——温度 t' 的饱和蒸气压 mmHg

K ——比例系数

t ——干球温度 $^{\circ}\text{C}$

t' ——湿球温度 $^{\circ}\text{C}$

比例系数 K 除与大气压力 P 成比例外,还与通过湿球的风速、温包的大小、纱布的厚薄、热辐射等因素有复杂的关系。但是,若使用规定结构的温度计,在一定的风速下,通过实验,可以精确地求出 K 值。不同温度下的饱和蒸气压 e'_s 是可以预先知道的,因此,测出 t 和 t' 便可以计算大气的蒸气压 e 。

在实际工作中是采用简化系数后的公式

$$e = e'_s - Ap(t - t') \quad (23.2-20)$$

式中 e ——大气的蒸气压 mmHg

e'_s ——温度 t' 的饱和蒸气压 mmHg

P ——大气压力 mmHg

t ——干球温度 $^{\circ}\text{C}$

t' ——湿球温度 $^{\circ}\text{C}$

A ——干湿球湿度计系数

这里,系数 A 主要受流过湿球的风速影响。从图23.2-1可以看到 A 值随风速 v 的增大而迅速减小,当风速大于 2.5m/s 时, A 即趋于常数。这时

$$A = 6.67 \times 10^{-4}$$

用公式(23.2-20)计算出 e 后,就可以进一步求得大气的相对湿度

$$\varphi = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (23.2-21)$$

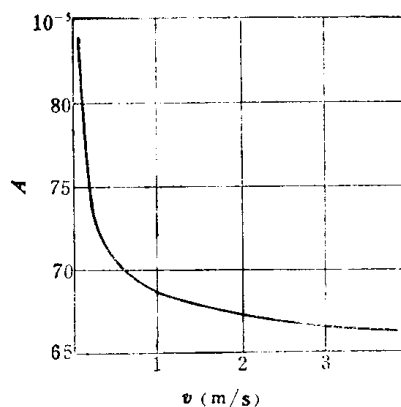


图23.2-1 系数 A 与气流速度 v 的关系

式中 φ ——大气相对湿度 %

e ——大气蒸气压 mmHg

e_s ——温度等于干球温度 t 的饱和蒸气压 mmHg

也可以预先画成图表,如表23.2-4便是干湿球温度与大气相对湿度的换算表,该表是以风速为 $1\sim 1.5\text{m/s}$,系数 $A = 8 \times 10^{-4}$ 计算的。

2.1.2 旋转式干湿球湿度计

如前所述,风速对于干湿球计的测量影响很大,为了消除这个影响,就要求流过湿球的风速大于 2.5m/s 。旋转式干湿球计便是依靠摇动手柄,使温度计绕轴旋转来获得所需的风速。仪器主要用于空调装置的检测点,或用以检验和校准毛发湿度计、薄膜湿度计以及膨胀式湿度计的零点和标度误差。

1) 结构 见图23.2-2,湿球温度计1的温包上包有棉织纱布,它和干球温度计2一起固定在安装板上。两只温度计要平行地错开安装,使湿球离手柄轴更远一些;这样做是为了在给纱布加水或当温度计旋转时,不致把水弄到干球上。

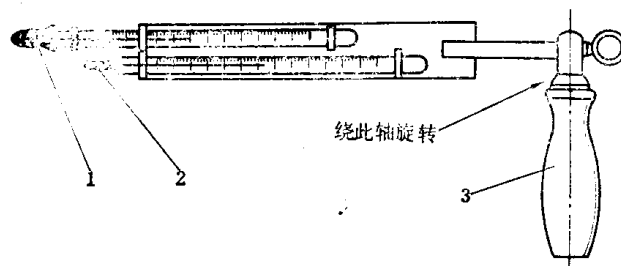


图23.2-2 旋转式干湿球湿度计

1—湿球温度计 2—干球温度计 3—手柄

2) 使用 操作时,先取清洁的水润湿纱布。

表23.2 4 干湿球温度-相对湿度换算表

湿球温度 t' [°C]	温度差 $t - t'$ [度]														
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
-20	69	40	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-18	73	48	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-16	77	55	35	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-14	80	61	43	27	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-12	82	66	50	36	22	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-10	85	70	56	43	31	20	10	—	—	—	—	—	—	—	—
-8	87	73	61	49	39	29	20	11	—	—	—	—	—	—	—
-6	88	76	65	55	45	36	28	20	13	—	—	—	—	—	—
-4	89	78	69	59	51	42	35	28	21	16	—	—	—	—	—
-2	90	80	71	63	55	48	41	35	28	23	17	—	—	—	—
0	90	81	72	64	56	49	42	35	29	24	13	—	—	—	—
2	91	83	75	67	60	53	47	41	35	31	20	12	—	—	—
4	92	84	77	70	63	57	51	46	40	36	27	19	12	—	—
6	92	85	79	72	66	60	55	50	45	40	32	25	18	12	—
8	93	86	80	74	69	63	58	53	49	45	37	30	23	18	13
10	94	87	81	76	71	66	61	56	52	48	41	34	28	23	18
12	94	88	83	78	73	68	64	59	55	51	44	38	32	27	22
14	95	89	84	79	75	70	66	62	58	53	47	41	36	31	26
16	95	89	85	80	76	72	68	64	60	56	50	44	39	34	30
18	95	90	86	81	77	73	69	66	62	59	53	47	42	37	33
20	95	91	86	82	78	75	71	68	64	61	55	50	45	40	36
22	95	91	87	83	79	76	72	69	66	63	57	52	47	43	39
24	96	92	87	84	80	77	73	70	67	64	58	54	49	45	41
26	96	92	88	85	81	78	74	71	69	66	60	56	51	47	43
28	96	92	89	85	82	79	75	73	70	67	62	57	53	49	45
30	96	93	89	86	83	80	76	74	71	68	63	59	54	50	47
32	96	93	90	86	83	80	77	75	72	69	65	60	56	52	48
34	96	93	90	87	84	81	78	75	73	70	66	61	57	53	50
36	97	93	90	87	84	82	79	76	74	71	66	62	58	54	51
38	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	67	63	59	56	52
40	97	94	91	88	85	83	80	78	75	73	68	64	60	57	53

注: t —— 干球温度 °C t' —— 湿球温度 °C

然后摇动手柄,使温度计绕轴迅速旋转15~20秒,转动停止后立即读数。重复这一过程,直到连续两次的湿球温度计读数都一致时为止。流过湿球的风速由转速和湿球与手柄轴的距离决定。测量结果用公式(23.2-20)和(23.2-21)计算,或从相应的换算表上读出。

为了得到正确的测量结果,必须注意以下几点:(1)必须用纯净的水润湿纱布,并保持清洁,不许用手指接触湿球。如果发现纱布脏了,应立即予以更换。(2)旋转时间主要靠经验确定,时间太短,湿球温度不会最大限度地降低;时间太长,纱布干了,湿球温度又会上升。(3)使用过程中应避免任何热辐射影响。(4)干湿球温度计除要求规格一致,精确度相同外,还应很好地配搭。例如,在70%RH,干球温度为21°C,如两只温度计

都偏高0.5°C,仅引入小于1%的误差;若一只读数准确,另一只偏高0.5°C,则将引入4%的误差。

3) 仪器的优缺点 这种湿度计构造简单,使用方便,只要细心操作,都可以获得较高的精确度。其缺点是,一旦操作失误,将导致严重的误差;测量过程中容易损坏温度计,因此要求使用者有熟练的操作技术;此外,它没有防热辐射的装置,不能在室外使用,也不能在有热辐射源的场合使用。

2.1.3 通风式干湿球湿度计

通风式干湿球湿度计克服了旋转式的缺点:减少了偶然误差;温度计不易损坏;有防热辐射的装置。计算公式与旋转式的相同,但可得到更高的精确度。

1) 结构 它是把两只温度计安放在双层圆筒的通风管里,一只温度计作湿球,温包缠有纱布;另一只作干球。通风管上部有一小型风扇,用发条机构带动叶片旋转,它可以提供 2.5m/s 以上的风速。圆筒被涂成银色,以防热辐射影响。还有一种通风式干湿球计是用小型电动机带动叶片,可以长时间地供给所需的风速。

2) 使用 要得到正确的测量结果,必须注意以下几点:(1) 湿球上的纱布只能包一层,而且不能起折皱,以防止湿球表面与纱布之间产生温差。(2) 浸泡纱布的水应是纯净的,若有盐分等不纯物溶入,湿球温度将偏高。纱布要保持清洁,经常用蒸馏水清洗或更换新纱布。(3) 在给湿球加水时,注意别沾湿了通风管的内壁,否则将影响湿球的蒸发量,引起测量误差。(4) 测量中,温度计示值一经稳定,应立即读数。若一次测量达不到稳定,可以拧紧发条,接着再测一次。(5) 读数时别靠得太近,以减少人体温度带来的影响。

2.1.4 工业用干湿球湿度计

工业用干湿球湿度计要求测量信号远传,能够自动记录、自动控制,所以采用膨胀式温度计、热电阻或热电偶等作感温元件。膨胀式温度计可以通过铠装毛细管直接带动温度记录笔。用热电阻配以改进的平衡电桥,把信号加以转换,便能直接读出相对湿度。采用热电偶测温,例如用偶丝直径 0.1mm 的铁-康铜热电偶,给湿球缠上 0.15mm 厚的木棉丝,其优点是,可以把风速降至 0.2m/s 而不影响测量的精确度,并且反应很快,这是由于湿球表面积非常小的缘故。下面以膨胀式温度计为例,介绍工业用干湿球湿度计。

1) 结构 如图23.2-3所示。它有两只膨胀式温度计,其中一只的感温部用浸在水箱6中的棉织吸水套包住,即图中的湿球温度计4;另一只是干球温度计5。仪器工作时,温度计通过铠装毛细管3带动干球温度记录笔1和湿球温度记录笔2,来记录测量的结果。水箱水位用供给连续的水流维持,或者用浮子开关控制。此外,还有一只电动吹风机供给湿球所必需的风速。如果仪器安装在流程

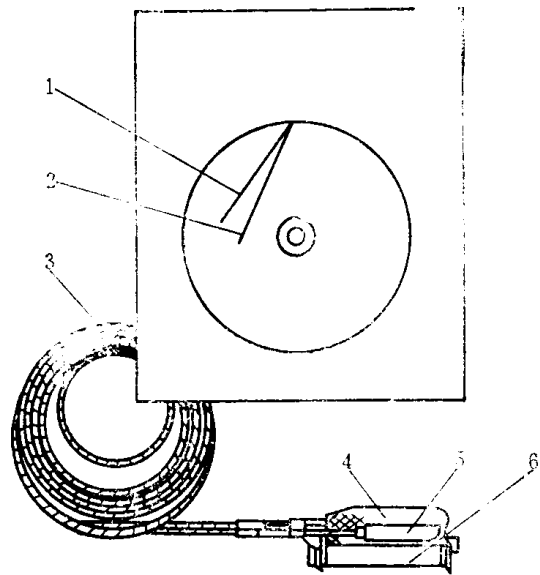


图23.2-3 工业用干湿球湿度计

1—干球记录笔 2—湿球记录笔 3—铠装毛细管
4—湿球温度计 5—干球温度计 6—水箱

管道上,管内又有足够的风速,则可省掉吹风机。

另一种结构不用棉织吸水套,而采用多孔的陶瓷或粉末冶金套,把水送至温度计与套子之间的环形空间,如图23.2-4所示。水流经过滤器和两个阀

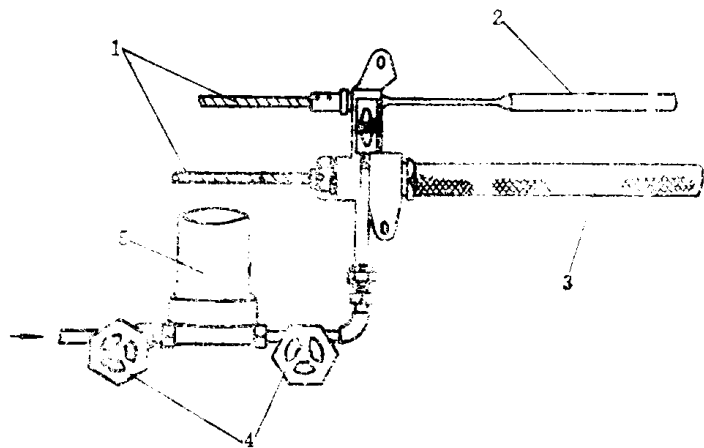


图23.2-4 用机械控制湿球多孔套水流量

1—通往记录仪的毛细管 2—干球温度计 3—湿球上的多孔套 4—阀 5—过滤器

后,送往多孔套。

2) 使用 干湿球湿度计是干燥作业方面的通用仪器,也常用于空调测量。使用中应注意以下几点:(1) 吸水套要经常保持润湿,并使用纯净的水,水温尽可能与湿球温度一致。(2) 通过湿球的风速应大于 3m/s 。(3) 安装时要防止因热辐射或热传导在湿球上引起热交换。

3) 仪器的优缺点 这类仪器制造技术简单, 价格便宜, 应用较为普遍。但抗污染能力差; 维护虽然简单, 却要定期照看, 因此已逐步为电湿度计所取代。

2.2 毛发湿度计

1) 工作原理与结构 毛发湿度计是利用毛发因吸湿脱湿而伸缩的性质来测量大气相对湿度。人发以及大多数有机材料都能从周围大气中吸收水分, 吸收的量取决于大气的温度和蒸气压。人发吸湿后就会变长, 其伸长 X 与大气相对湿度 φ 有指数函数的关系

$$X = K \log \varphi \quad (23.2-22)$$

当相对湿度从90%变到20%时, 毛发长度约收缩1%。

毛发湿度计的结构见图23.2-5。为了提高毛发元件的强度, 因此把好些人发并联使用, 一般是制成10~20根一束, 但彼此间要留出空隙, 让水蒸气与之自由接触; 还要求都在相等的张力下开始工作, 以使每根人发都真正地起作用。为了增加毛发元件的吸湿性和伸缩长度, 需用乙醚、汽油及苛性钾清洗脱脂, 并进行压延处理。制成的毛发元件, 一端固定在安装板上, 另一端与杠杆机构相联。当大气相对湿度变化时, 毛发元件1随之伸缩, 通过杠杆机构把位移量放大后, 再带动指针2, 从相对湿度标度3读出测量结果。

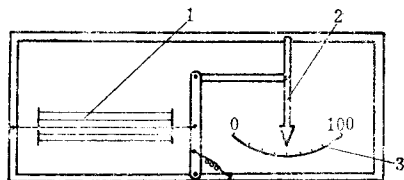


图23.2-5 毛发湿度计

1—毛发元件 2—指针 3—相对湿度标度

除人发外, 还可以用牛肠膜和人造纤维之类的材料制成湿敏伸缩元件。这类元件比毛发元件灵敏度高, 伸缩量大, 但是形变严重。

2) 使用 毛发湿度计是测湿仪器中结构最简单, 使用最普遍的仪器, 主要用来测量和控制环境空间的相对湿度。使用中应注意以下几点: (1) 测量范围, 就毛发元件本身来说, 可以响应到100%RH, 但在高湿或低湿的环境下会产生永久

性形变, 带来测量误差。所以, 仪器虽然带有一个从0~100%RH的刻度, 但是最好在15~90%RH范围内使用。(2) 仪器可以在-18~+70℃环境温度内工作, 但在60℃以上时, 毛发元件的特性会发生变化, 因此, 不能长期置于60℃以上的地方。在低温时, 元件反应极慢, 这是因为随着气温降低, 毛发内部水分的扩散速度减慢了; 还有, 在低温的大气中能为毛发吸收的水分也太少。(3) 仪器的精确度为3~5%, 长期使用的仪器要求定期校验, 一般是3~6个月校准一次。仪器用旋转式或通风式干湿球计校准。(4) 毛发元件易受灰尘的污染, 应经常用柔软的笔尖轻轻地拂落, 或用水酒精清洗。(5) 氨、硫化物、酚会引起毛发变质, 因此, 不要在有这些物质的场合使用。

3) 仪器的优缺点 毛发湿度计结构简单, 量程宽, 直接读数。但响应慢, 误差大, 不能用作精确测量; 仪器虽然简单, 但要制造出高性能毛发元件却并非易事; 此外, 毛发元件超限使用会产生永久性形变, 使特性变坏。

2.3 电湿度计

2.3.1 电导湿度计

1) 工作原理与结构 电导湿度计是利用吸湿物的阻抗随相对湿度变化的性质, 通过湿度—阻抗关系来进行测量。

感湿元件的结构见图23.2-6。把聚乙烯乙酸或聚乙烯醇加水分解成胶状物, 再按0.5~1%的比例, 把氯化锂盐饱和溶液掺入, 混合均匀后, 涂敷在圆柱形塑料骨架2上。待干后, 平行地绕上两根铂金丝, 即图中的双股螺旋线圈1。由于氯化锂盐的饱和蒸气压比在同一温度下纯净水低得多, 它便

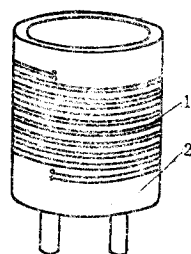


图23.2-6 测量湿度的电导池

1—用铂金丝绕制的双股螺旋线圈

2—涂有吸湿材料的塑料骨架

从周围气体中吸收水分而潮解。吸收的量,即盐浓度改变的大小,由气体湿度而定,浓度和温度的变化又引起阻抗改变。用适当的电桥或电位计测出此阻抗,便是大气相对湿度的量值,所以,这种感湿元件又叫做“电导池”。

这样的—个电导池大约可以构成25%RH的测量范围,电阻大致从0.02MΩ变到10MΩ。当温度恒定时,电阻的对数与相对湿度大体上成比例关系。故欲在全量程范围内测量,需配备5个盐浓度不一样的电导池,一般来说,用于高湿的,盐浓度也要求大些。

现在已经研制出许多功能相当而结构更加简单的电导池。例如,一种经过特殊处理的塑料薄窄条;还有一种是选择具有适当表面的陶瓷材料,在它的表面用贵金属沉积出相互交错的梳状电极;也有把偏磷酸盐蒸镀在玻璃板上的。尽管形式各异,但它们的工作原理与基本特性是相似的。

2) 仪器的使用及优缺点 电导湿度计主要用于空调与干燥作业方面。仪器的量程是,被测气体的相对湿度不能小于吸湿盐的最小平衡相对湿度。当采用氯化锂盐时,其下限值为:

温度 °C	下限值 RH%
0	14.7
25	12.0
50	11.4

仪器的精确度为1.5~3%。响应时间在室温下,当相对湿度变化20%为60~100秒;在0℃以下,将大大增长。使用中应注意以下几点:(1)不能给电导池加上直流电,因为这会使电解质产生极化。(2)不要用手触摸或对着电导池呼吸,避免造成污损。(3)不能在相对湿度接近100%的高湿环境中长期使用。

与干湿球计相比,电导湿度计结构简单,抗污染力强;感湿元件体积小,可以直接插入容器进行测量;容易实现自动记录和自动控制。但是,由于电导受盐浓度和温度的共同影响,因此电导池的温度系数大,仪器必须有温度补偿装置,或查图表进行温度修正;此外,电导池将随时间老化,故需定期校准或更新。

2.3.2 氯化锂盐湿度计

1) 工作原理 用一只加热式氯化锂露点测头

测量气体的露点,再用一只热电阻测头测量气体的温度,这样由露点和温度便可求得气体的相对湿度,或者从表23.2.5中查出。露点测头采用低压交流电加热氯化锂盐,使盐的饱和蒸气压与气体蒸气压达到平衡,这时的温度叫做平衡温度;也就是说,在平衡温度时,氯化锂盐的饱和蒸气压就代表气体的蒸气压。平衡温度用露点测头中的电阻温度计测知,因此,电阻与露点便有相应的关系。

选用适当的电桥把电阻信号加以转换,如图23.2-7所示。露点测头的电阻 R_D 与温度测头电阻 R_T 组成电桥的两个桥臂, R_1 与 R_2 组成另两个桥臂;调节 R_3 的阻值,使电桥在测量起点时输出为零。设在某一温度下,气体的相对湿度增大,露点升高, R_D 随之变大,引起A点电位上升,结果输出电压增加;反之亦然。电桥输出电压的高低反映着相对湿度的变化。但是,即使气体的露点不变,当温度变动时,相对湿度也会跟着变化,电阻 R_T 就是用作温度校正的。现设气体露点恒定,温度升高,相对湿度下降,此时 R_T 随之增大,引起B点电位上升,结果输出电压减小,与相对湿度下降是一致的。电桥的工作电压以及桥臂阻抗都可以预先设定,所以输出电压与相对湿度之间便有相应的关系。

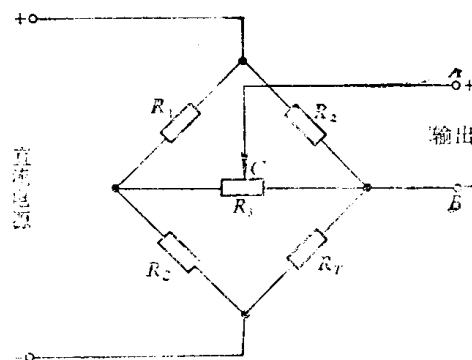


图23.2-7 氯化锂盐湿度计测量电路原理图

R_1, R_2 —平衡电阻 R_3 —零点调节电阻
 R_D —露点测头输出电阻 R_T —温度测头输出电阻

2) 仪器的使用与优缺点 使用时把露点测头与温度测头一起插入被测气体中,由电源箱供给交流25V的加热电源和电桥用1.5V直流电源。测头电阻 R_D 和 R_T 用导线接至电源箱,与 R_1, R_2 和 R_3 构成测量电桥。输出电压接至按相对湿度标度的表头、记录仪或执行器。仪器测量范围为20~100%RH,精确度优于3%。

(续)

含湿量 [g/kg]	饱和蒸气压 Smithsonian [mmHg]	露点 [°C]	干 球 温 度 [°C]																
			-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14
0.2332	0.2349	-30	10090.281	173.566	460.155	449.344	740.536	833.530	427.725	223.021	019.117	516.014	613.412	311.215	211.215	211.215	211.215	211.215	211.215
0.2587	0.3166	-29	10090.281	573.666	660.354	649.645	040.837	133.830	728.025	523.321	219.417	716.214	813.012	511.410	510.510	510.510	510.510	510.510	510.510
0.2867	0.3502	-28	10090.381	673.866	860.654	849.845	241.137	434.131	028.325	823.521	519.618	016.415	113.812	711.610	710.710	710.710	710.710	710.710	710.710
0.3175	0.3878	-27	10090.481	874.067	1160.855	250.145	641.137	734.331	328.626	123.821	819.918	216.715	314.012	911.811	811.811	811.811	811.811	811.811	811.811
0.3513	0.4290	-26	10090.481	974.267	361.055	450.445	841.738	034.631	628.826	324.122	020.218	516.915	514.213	113.113	113.113	113.113	113.113	113.113	113.113
0.3884	0.4743	-25	10090.582	074.467	561.355	750.746	142.038	334.931	929.126	624.322	320.418	717.215	811.511	511.511	511.511	511.511	511.511	511.511	511.511
0.4290	0.5239	-24	10090.682	174.567	761.556	051.045	442.338	635.232	229.425	924.622	620.719	017.416	016.016	016.016	016.016	016.016	016.016	016.016	016.016
0.4735	0.5782	-23	10090.782	274.767	961.856	251.246	742.638	835.532	429.727	221.922	820.919	217.617	617.617	617.617	617.617	617.617	617.617	617.617	617.617
0.5223	0.6377	-22	10090.782	474.968	162.656	451.547	042.830	135.832	730.027	425.223	121.219	419.419	419.419	419.419	419.419	419.419	419.419	419.419	419.419
0.5757	0.7028	-21	10090.882	675.168	462.256	751.847	243.139	436.133	030.227	725.423	321.423	321.423	321.423	321.423	321.423	321.423	321.423	321.423	321.423

含湿量 [g/kg]	饱和蒸气压 Smithsonian [mmHg]	露点 [°C]	干 球 温 度 [°C]																
			-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6							
0.2332	0.2849	-30																	
0.2587	0.3160	-29																	
0.2867	0.3502	-28																	
0.3175	0.3878	-27	10.9																
0.3513	0.4290	-26	12.0	11.0	10.2														
0.3884	0.4743	-25	13.3	12.2	11.2	10.4													
0.4290	0.5239	-24	14.7	13.5	12.4	11.4	10.6												
0.4735	0.5782	-23	16.2	14.9	13.7	12.6	11.7	10.9	10.2										
0.5223	0.6377	-22	17.9	16.4	15.1	13.9	12.9	12.6	11.2	10.4									
0.5757	0.7028	-21	19.7	18.1	16.7	15.3	14.3	13.3	12.4	11.5	10.7	10.0							

(续)

含 湿 量		饱 和 蒸 气 压	露 点	干 球 温 度																										
[g/kg]		Smithsonian [mmHg]	[°C]	[°C]																										
				-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
0.6342	0.7741	-26	100	90.9	82.7	75.3	68.5	62.5	57.0	52.0	47.5	43.4	39.7	36.4	33.3	30.5	28.0	25.7	23.6	21.7	20.0	18.4	16.9	15.7	14.6	13.6	12.7	11.8	11.0	
0.6975	0.8513	-19	100	90.9	82.7	75.3	68.5	62.5	57.0	52.0	47.5	43.4	39.7	36.4	33.3	30.5	28.0	25.7	23.6	21.7	20.0	18.4	16.9	15.7	14.6	13.6	12.7	11.8	11.0	
0.7670	0.9361	-18	100	91.1	82.8	75.6	68.9	62.9	57.5	52.5	48.0	44.0	40.3	36.9	33.9	31.1	28.5	26.2	24.1	22.2	20.4	18.7	17.1	15.6	14.3	13.2	12.2	11.3	10.4	
0.8424	1.028	-17	100	91.1	82.8	75.6	68.9	62.9	57.5	52.5	48.0	44.0	40.3	36.9	33.9	31.1	28.5	26.2	24.1	22.2	20.4	18.7	17.1	15.6	14.3	13.2	12.2	11.3	10.4	
0.9311	1.130	-16	100	91.2	83.0	75.7	69.1	63.1	57.7	52.7	48.2	44.2	40.5	37.1	33.7	30.3	26.9	23.5	20.1	16.7	13.3	9.9	6.5	3.1	0.0	-3.3	-6.7	-10.1	-13.5	
0.016	1.239	-15	100	91.2	83.0	75.7	69.1	63.1	57.7	52.7	48.2	44.2	40.5	37.1	33.7	30.3	26.9	23.5	20.1	16.7	13.3	9.9	6.5	3.1	0.0	-3.3	-6.7	-10.1	-13.5	
1.113	1.358	-14	100	91.3	83.3	76.0	69.5	63.5	58.1	53.2	48.7	44.7	41.0	37.6	34.2	30.8	27.4	24.0	20.6	17.2	13.8	10.4	7.0	3.6	0.2	-3.2	-6.6	-10.0	-13.4	
1.220	1.488	-13	100	91.3	83.3	76.0	69.5	63.5	58.1	53.2	48.7	44.7	41.0	37.6	34.2	30.8	27.4	24.0	20.6	17.2	13.8	10.4	7.0	3.6	0.2	-3.2	-6.6	-10.0	-13.4	
1.336	1.629	-12	100	91.4	83.4	76.1	69.6	63.6	58.2	53.3	48.8	44.8	41.1	37.7	34.3	30.9	27.5	24.1	20.7	17.3	13.9	10.5	7.1	3.7	0.3	-3.1	-6.5	-9.9	-13.3	
1.462	1.782	-11	100	91.4	83.4	76.1	69.6	63.6	58.2	53.3	48.8	44.8	41.1	37.7	34.3	30.9	27.5	24.1	20.7	17.3	13.9	10.5	7.1	3.7	0.3	-3.1	-6.5	-9.9	-13.3	

含 湿 量		饱 和 蒸 气 压	露 点	干 球 温 度													
[g/kg]		Smithsonian [mmHg]	[°C]	[°C]													
				7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.6342	0.7741	-20	10.3														
0.6975	0.8513	-19	11.3	10.6													
0.7670	0.9361	-18	12.5	11.6	10.9	10.2											
0.8424	1.028	-17	13.7	12.8	11.9	11.2	10.4										
0.9311	1.130	-16	15.0	14.0	13.1	12.3	11.5	10.8	10.1								
0.016	1.239	-15	16.5	15.4	14.4	13.4	12.6	11.8	11.0	10.3							
1.113	1.358	-14	18.1	16.9	15.8	14.7	13.8	12.9	12.1	11.3	10.6						
1.220	1.488	-13	19.8	18.5	17.3	16.2	15.1	14.2	13.2	12.4	11.6	10.9	10.2				
1.336	1.629	-12	21.7	20.2	18.9	17.7	16.6	15.5	14.5	13.6	12.7	12.0	11.2	10.5			
1.462	1.782	-11	23.7	22.2	20.7	19.4	18.1	17.0	15.9	14.9	13.9	13.1	12.3	11.5	10.8	10.2	

(续)

含湿量 [g/kg]	饱和蒸汽压 Smithsonian [mmHg]	露点 [°C]	干 球 温 度 [°C]														
			-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1.598	1.948	-10	10091.583	876.970	564.759	454.650	246.242	539.636	834.331	929.827	825.924	222.621	219.818	517.416	215.214	3	4
1.746	2.128	-9	10091.684	077.070	764.959	654.850	446.443	240.237	434.932	530.428	326.524	723.121	620.219	017.816	615.6	5	6
1.907	2.323	-8	10091.784	077.270	865.159	955.150	747.243	940.938	135.533	130.028	927.025	223.622	120.719	418.217	0	6	7
2.081	2.534	-7	10091.784	277.371	065.360	155.351	447.944	641.638	736.133	731.529	427.525	724.122	621.119	818.6	1	7	8
2.270	2.764	-6	10091.884	377.571	265.560	356.152	248.645	342.339	436.834	432.130	028.126	324.623	121.620	3	2	8	9
2.474	3.011	-5	10091.884	477.671	465.761	156.953	049.446	042.940	137.435	032.730	628.626	825.123	622.1	1	3	9	10
2.695	3.279	-4	10091.984	577.771	666.662	057.753	850.146	843.740	838.135	633.331	229.227	425.624	0	2	4	10	11
2.934	3.568	-3	10092.084	677.972	467.462	858.554	650.947	544.441	438.736	234.031	829.827	926.2	5	2	5	11	12
3.192	3.880	-2	10092.084	778.873	368.363	659.355	351.748	245.142	139.436	934.632	430.428	5	2	5	2	12	13
3.471	4.218	-1	10092.185	679.774	269.264	560.256	252.449	045.842	940.137	635.233	030.9	5	2	5	2	13	14

含湿量 [g/kg]	饱和蒸汽压 Smithsonian [mmHg]	露点 [°C]	干 球 温 度 [°C]														
			17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
			32	33	34	35											
1.598	1.948	-10	13.412	611.811	110.4												
1.746	2.128	-9	14.613	812.912	111.410	710.1											
1.907	2.323	-8	16.015	014.113	212.411	711.010.4											
2.081	2.534	-7	17.416	415.414	413.612	812.011.310.710.0											
2.270	2.764	-6	19.017	916.815	814.813	913.112.411.611.010.3											
2.474	3.011	-5	20.719	418.317	216.115	214.313.412.711.911.310.610.0											
2.695	3.279	-4	22.621	219.918	717.616	515.614.613.813.012.411.610.910.3											
2.934	3.568	-3	24.623	021.620.419.118.016	915.915.014.213.312.611.911.210.6												
3.192	3.880	-2	26.725	123.622.120.119.618.417.315.414.513.712.912.211.510.910.3													
3.471	4.218	-1	29.027	225.624.122.621.320.018.617.816.715.814.914.013.212.511.811.210.610.0													