

◆ 陈云生 编著

环境试验与 环境试验设备用 湿度查算手册



 中国标准出版社

环境试验与环境试验设备用 湿度查算手册

陈云生 编著

中国标准出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

环境试验与环境试验设备用湿度查算手册/陈云生编
著. —北京:中国标准出版社,2007
ISBN 978-7-5066-4553-9

I. 环… II. 陈… III. 湿度-计算-手册 IV. P412.
13-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 152880 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 322 千字
2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

*

定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533

序

空气湿度是表征大气物理状态的重要参数,也是环境试验与环境试验设备中经常使用的重要技术参数。

环境试验的科研人员、环境试验设备企业的科技人员几乎每天都要接触湿度测量与控制问题。

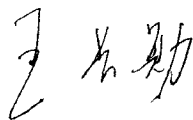
目前,用于湿球法测量或控制环境试验箱(室)的相对湿度,是仍在普遍使用的一种传统方法。

《湿度查算手册》是应用这种方法的便捷工具。它可以帮助人们获得比较理想的温、湿度环境,也可以帮助人们获得比较准确的温、湿度测量数据。这对提高环境试验的质量及环境试验报告的质量,促进环境试验领域同行之间的交流,会有很大的作用。

这套新编制的《环境试验与环境试验设备用湿度查算手册》是我公司技术人员在总结多年实践经验,与许多同行专家进行交流的基础上,逐渐编制而成的。该查算手册适当扩大了GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算手册》的下限温度及相对湿度查算范围,也适当扩大了中央气象局编《湿度查算表》(甲种本)的上限温度。查算手册中相对湿度的大气压力修正方法与其他湿度查算表相比,独有特点。查算手册对不同风速下的相对湿度查算,也进行了有益的探索。查算手册中还编制了饱和水汽压、露点温度、水汽密度、湿空气密度、干空气密度、混合比、比湿等查算表,为读者提供参考。

我国环境试验设备行业,不但要为国民经济各领域提供优良的产品服务,还应充分利用企业的优势,为用户提供优良的技术服务。

我一向重视和鼓励企业科技人员钻研产品设计、工艺技术,同时也重视和鼓励对相关基础课题的研究。我高兴地向读者推荐这本书,希望它能为我国环境试验与环境试验设备的技术发展,起到抛砖引玉或添砖加瓦的作用。



(重庆四达试验设备有限公司总经理)

2007年6月于重庆

前 言

多年来,我们在环境试验设备的设计、调试与测量等实践工作中,一直采用中央气象局 1986 年编制的《湿度查算表》和 GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》。在与环境试验设备用户及湿度控制、测试仪表制造商的技术人员交流中,知道他们也采用上述湿度查算表。

中央气象局编制的《湿度查算表》,没有 +50℃ 以上温度范围的相对湿度查算数据,而这正是环境试验与环境试验设备经常使用的温度范围。

GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》给出了 4 个大气压与 4 个 A 值(对应风速为 0.4m/s、0.8m/s、2.5m/s)的相对湿度查算表。试验箱(室)所处的大气压环境及工作空间的风速往往不是该标准中规定的数值。

我国幅员广大,各地海拔高度和大气压差异不小。如北京海拔约 31.2m,西宁海拔约 2261.2m,两地年平均大气压相差约 23kPa。如在两地测出相同的干球温度、湿球温度、风速,它所表示的相对湿度是不同的,特别在低温低湿时不可忽略。

一些技术文献与技术实践表明,风速对相对湿度测量结果的影响比较大,在低风速时影响更大。

为工作方便,作者十多年前在上述两个相对湿度查算的基础上,编制了温度范围为 10℃~90℃ 的不同 A 值的相对湿度查算表,后来又增加了以 10kPa 为单位的相对湿度大气压力修正表。其中有的查算表在产品使用说明书中采用。

处理好风速 v 与 A 值的关系是应用相对湿度查算表的关键。作者为此进行过多年的探索。本湿度查算手册中的两个(球状与柱状干湿球温度表)风速 v 与 A 值的关系式,是根据中央气象局编《湿度查算表》和 GB/T 6999—1986 给定的数据,用最小二乘法与计算机搜索法相结合的方法获得的。它可能不是最好的经验公式,但可能是比较可行的经验公式。

本手册给出了 14 个 A 值的相对湿度查算表和 14 个相应 A 值的相对湿度大气压力修正表。

本手册可满足温度范围 $10^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度范围 10% （或 20% ） $\sim 100\%$ ，风速 $0.1\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ ，大气压 $60\text{kPa} \sim 101.325\text{kPa}$ 范围内的相对湿度查算。如采用线性插值方法，其相对湿度插值误差一般不超过 0.1% 。

本手册编制了温度范围 $10^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度范围 $2\% \sim 100\%$ 的露点温度，其相对湿度间隔为 1% ，它对相对湿度的控制和测量都是有帮助的。

本手册还编制了水汽密度及大气压在 101.325kPa 、 100kPa 、 90kPa 、 80kPa 条件下的干空气密度、湿空气密度、湿空气中干空气密度、混合比、比湿等查算表。这些数据可在理论计算中应用。它们之间都有一定的换算关系。

本手册用相当篇幅探讨了干湿球法测量相对湿度的测量不确定度问题。

本手册可作为环境试验与环境试验设备领域、湿度控制与湿度测量仪表企业及其他相关专业的科研、工程技术人员的常备资料，方便查阅和参考。

在编制本手册的过程中，得到蒯正心、李龙春、胡学海、许凯高级工程师，古正宇、万斌工程师，张文姝的支持和帮助。

特别强调，由于重庆四达试验设备有限公司总经理王长勋的鼎力支持与资助，才使本手册得以顺利出版。

在此一并表示感谢！

本手册的绝大多数数据是编程由计算机计算的，少数数据是人工计算的。由于作者水平的限制及疏漏，对手册中可能出现的错误，请读者提出批评，并及时告之。

陈云生

2007 年 6 月

目 录

1	干湿球测湿法概述	1
2	几种相对湿度查算表	2
2.1	我国和英国、日本几种相对湿度查算表的比较	2
2.2	《湿度查算表》(甲种本与乙种本)	3
2.3	GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》	3
3	湿度查算手册编制说明	3
3.1	编制依据	3
3.2	最大干湿差值的选择	4
3.3	干湿差值个数的选择	4
3.4	相对湿度的大气压力修正	5
3.5	相对湿度的风速修正	5
3.6	纯水平液面饱和水汽压	6
3.7	露点温度	6
3.8	水汽密度	7
3.9	其他湿度参量	7
4	湿度查算手册相关计算公式	7
4.1	相对湿度计算公式	7
4.2	风速 v 与 A 值参考关系	7
4.2.1	GB/T 6999—1986 和《湿度查算表》列出的干湿表 系数 A 值	7
4.2.2	风速 v 与 A 值参考关系式	8
4.2.3	风速 v 与 A 值关系曲线	8
4.3	露点温度计算公式	9
4.4	水汽密度(绝对湿度)计算公式	9

4.5	干空气密度计算公式	9
4.6	混合比计算公式	9
4.7	比湿计算公式	9
4.8	湿空气密度计算公式	10
4.9	湿空气中干空气密度计算公式	10
4.10	纯水平液面饱和水汽压计算公式	10
4.11	相对湿度大气压修正计算公式	10
4.11.1	相对湿度大气压力修正表计算公式	10
4.11.2	计算压力修正值 p_x	11
4.11.3	用相对湿度大气压力修正表查算相对湿度计算公式	11
5	湿度查算手册使用方法	11
5.1	相对湿度查算方法	11
5.1.1	直接查表法	11
5.1.2	有相对湿度大气压力修正的查算方法	12
5.1.3	线性插值查算方法	12
5.1.4	计算方法	13
5.2	其他湿度参量查算方法	14
5.2.1	露点温度查算方法	14
5.2.2	水汽密度(绝对湿度)查算方法	14
5.2.3	干空气密度查算方法	14
5.2.4	混合比与比湿查算方法	14
5.2.5	湿空气密度与湿空气中干空气密度查算方法	14
5.2.6	湿度参量之间关系的计算	15
6	干湿球法测量相对湿度的测量不确定度评定	15
6.1	相对湿度测量过程及测量结果的获得	15
6.1.1	测量过程	15
6.1.2	测量结果的获得	15
6.2	相对湿度测量标准不确定度 A 类评定	16
6.3	相对湿度测量标准不确定度 B 类评定	16
6.3.1	相对湿度误差分析的数学模型	16
6.3.2	湿球温度误差引起相对湿度测量误差的分析	17
6.3.3	干球温度误差引起相对湿度测量误差的分析	17
6.3.4	干湿差误差引起相对湿度测量误差的分析	18
6.3.5	风速 v 与干湿表系数 A 等误差引起相对湿度测量误差的分析	18
6.3.6	大气压力误差引起相对湿度测量误差的分析	18
6.4	相对湿度合成标准不确定度与扩展不确定度	19
6.4.1	合成标准不确定度	19
6.4.2	扩展不确定度	19

6.5	相对湿度查算表标准测量不确定度 B 类评定	19
6.5.1	风速 v 与 A 值参考关系式的影响	20
6.5.2	编表的 A 值间隔的影响	20
6.5.3	相对湿度值有效数字的影响	20
6.5.4	湿度查算表误差与标准不确定度 B 类评定举例	20
6.6	相对湿度测量不确定度 B 类评定举例	21
7	相对湿度及相关参数查算表	23
表 1	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.00117\text{°C}^{-1}$	24
表 1a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.00117\text{°C}^{-1}$	28
表 2	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.0011\text{°C}^{-1}$	32
表 2a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.0011\text{°C}^{-1}$	36
表 3	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.00104\text{°C}^{-1}$	40
表 3a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.00104\text{°C}^{-1}$	44
表 4	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000996\text{°C}^{-1}$	48
表 4a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000996\text{°C}^{-1}$	52
表 5	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000951\text{°C}^{-1}$	56
表 5a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000951\text{°C}^{-1}$	60
表 6	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000905\text{°C}^{-1}$	64
表 6a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000905\text{°C}^{-1}$	68
表 7	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000857\text{°C}^{-1}$	72
表 7a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000857\text{°C}^{-1}$	76
表 8	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000815\text{°C}^{-1}$	80
表 8a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000815\text{°C}^{-1}$	84
表 9	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.0007947\text{°C}^{-1}$	88
表 9a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.0007947\text{°C}^{-1}$	92
表 10	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000759\text{°C}^{-1}$	96
表 10a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000759\text{°C}^{-1}$	100
表 11	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000725\text{°C}^{-1}$	104
表 11a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000725\text{°C}^{-1}$	108
表 12	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000693\text{°C}^{-1}$	112
表 12a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000693\text{°C}^{-1}$	116
表 13	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000667\text{°C}^{-1}$	120
表 13a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000667\text{°C}^{-1}$	124
表 14	相对湿度查算表 $p=100\text{kPa}$ $A=0.000662\text{°C}^{-1}$	128
表 14a	相对湿度大气压力修正表 ($\Delta p=10\text{kPa}$) $p=100\text{kPa}$ $A=0.000662\text{°C}^{-1}$	132
表 15	A 值适用风速范围参照表	136
表 16	纯水平液面饱和和水汽压查算表	137
表 17	不同资料、标准的饱和和水汽压对照表	139
表 18	露点温度查算表	140
表 19	水汽密度查算表	152

表 20	湿空气密度、湿空气中干空气密度查算表 ($p=101.325\text{kPa}$)	164
表 21	湿空气密度、湿空气中干空气密度查算表 ($p=100\text{kPa}$)	168
表 22	湿空气密度、湿空气中干空气密度查算表 ($p=90\text{kPa}$)	172
表 23	湿空气密度、湿空气中干空气密度查算表 ($p=80\text{kPa}$)	176
表 24	干空气密度、混合比、比湿查算表 ($p=101.325\text{kPa}$)	180
表 25	干空气密度、混合比、比湿查算表 ($p=100\text{kPa}$)	184
表 26	干空气密度、混合比、比湿查算表 ($p=90\text{kPa}$)	188
表 27	干空气密度、混合比、比湿查算表 ($p=80\text{kPa}$)	192
表 28	我国主要城市和地区大气压资料	196
附录 1	单个相对湿度值的 QBASIC 计算程序举例	203
附录 2	单个露点温度值的 QBASIC 计算程序举例	204
附录 3	单个水汽密度值的 QBASIC 计算程序举例	205
· 参考文献		206

1 干湿球测湿法概述^[1]

1750年, Richman发现, 当温度计的温泡上有水时, 它所指示的温度低于周围空气的温度。经研究, 这种致冷现象是由于水蒸发造成的。干球和湿球的温度差, 即干湿差, 不仅取决于温度和空气中的含湿量, 而且和湿球表面空气的流速有关, 因而相应的表叫做通风干湿表。

1799年 Lesslie 利用干湿球法的测湿原理制造了一种初期的湿度计。

1802年, Boechman 制造了以他的名字命名的干湿球湿度计。其后, 这种湿度计又得到进一步改进, 无论在结构形式或测量准确度方面均已进入实用阶段。它由两支规格尽可能相同的温度计组成, 其中一支的温泡用丝绸包着并通过上水芯子和盛水容器相连。

1836年, Manson 使这种湿度计商品化。

1860年 Negretli 生产的湿度计中已有了最高和最低温度计的使用, 干湿差可以自记, 以便记录夜间无人观测时的湿度值。

从19世纪初起, 人们开始对湿度理论进行深入的研究, 其中心内容是风速的影响。在此期间, 从事干湿球温度计研究的学者存在湿球理论方面的分歧, 其原因在于当时缺乏湿度计的生产知识和统一的计量标准。直到19世纪末, 在干湿球系数 A 值上的分歧才初步获得解决, 但在理论和实践上仍存在矛盾之处。

19世纪20年代到30年代, Apjohn 和 August 基于对流理论建立了干湿球方程。该世纪后半期, Maxwell 根据扩散理论导出了完全相同的结果。他们的研究构成了湿球理论的基础。Ferrel 给出采用强烈通风的 Assmann 干湿表的湿球系数 A 值为 $6.70 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。Wyleie 对干湿表的理论和实践进行了深入的研究, 并取得了进展, 为通风干湿表的国际化做了准备。

有人统计, 到20世纪60年代, 有上千篇的文献研究干湿球测湿法的理论与实际问题: 一个是温度测量方法问题; 另一个是建立在对流平衡和扩散理论基础上的干湿球基础理论的研究。其目的是使干湿球系数 A 的理论值和实际值统一起来, 或者说, 确定更准确的 A 值, 以提高方法的可靠性与重复性。

由于电子技术与计算机技术的飞跃发展, 用干湿球法测试相对湿度的自动化、数据显示、数据存储、数据处理、远距离传输等方面都达到非常方便和快捷的程度。但在诸如 A 值的研究方面, 就我国环境试验与环境试验设备领域的实际应用状况而言, 还没有更大的进展。

关于用干湿球法测量相对湿度的国际标准及国家标准(见参考文献[2]~[10]), 是20世纪中后期逐渐建立起来的。

尽管干湿球测湿法基本上是一种间接测量方法, 无论在理论上和实践中都存在许多不足, 但它经过200多年的理论探讨和实践的考验, 仍具有相当坚实的理论和实践基础。在众多湿度测试方法中, 干湿球测湿法一直占有牢固的地位, 在环境试验与环境试验设备领域得到广泛应用, 这一点是不容置疑的。

2 几种相对湿度查算表

2.1 我国和英国、日本几种相对湿度查算表的比较

我国和英国、日本都有各自的相对湿度查算表,几种表的主要不同之处见表 2.1。

表 2.1 几种相对湿度查算表的比较

查算表名称	《湿度查算表》 (1986 年甲种本 ^[7])	GB/T 6999—1986 《环境试验用相对湿度查算表》 ^[8]	BS 4833:1986 《用于环境试验与控制的湿度查算表》 ^[9]	JISZ8806:2001 《湿度——测定方法》 ^[10]
温度范围	-20℃~49.9℃	15℃~100℃	1℃~99℃	-5℃~99℃
最大干湿差	31.2℃	16℃	40℃	48℃
干湿差值个数	132 个	140 个	120 个	72 个
相对湿度范围	40℃时:1%~100% 80℃时:1%~100%	40℃时:21.8%~100% 80℃时:48%~100%	40℃时: 21.2%~100% 80℃时: 23%~100%	40℃时: 21.3%~100% 80℃时: 10%~100%
相对湿度间隔	1%	40℃、60%时:1% 80℃、60%时:0.6%	40℃、60%时:0.9% 80℃、60%时:0.6%	40℃、60%时:1% 80℃、60%时:3%
相对湿度有效数字	2 位数(整数)	3 位数(小数点后 1 位数)	3 位数(小数点后 1 位数)	2 位数(整数)
数据量	约 50 万个	约 50 万个	约 1 万个	约 6000 个
气压范围及查表方法	500mbar~1100mbar 采用 n 值修正干湿差的方法	采用分别编制 110、100、90、80 (kPa) 4 个查算表的方法	定值为 1013hPa	定值为 101325Pa
风速修正方法	以 $A=0.000667\text{℃}^{-1}$ (柱状 3.5m/s) 为主查算表,采用 4 个补充表修正的方法(风速为 2.5m/s; 0.8m/s; 0.4m/s)	采用分别编制(相同气压的)4 个 A 值的查算表的方法	定值为 $A=0.000666\text{K}^{-1}$	定值为通风干湿计用湿度表。另单独给出 3 个 A 值的比较查算表

2.2 《湿度查算表》(甲种本与乙种本)

该查算表是我国气象领域的权威湿度查算表,自1986年公布起,至今仍在使用。它以百叶窗通风干湿表的湿度查算表为主表($p=100\text{kPa}$, $A=0.000667\text{°C}^{-1}$, $v=3.5\text{m/s}$),其他大气压力及不同型号干湿表,则采用 n 值修正干湿差 Δt 的方法查算相对湿度。

对环境试验与环境试验设备领域来说,它的不足是没有 $+50\text{°C}$ 以上温度范围的相对湿度查算数据。而这正是环境试验与环境试验设备经常使用的。如美国军用标准 MIL-STD-810F《国防部试验方法标准环境工程考虑和实验室试验》方法507.4“湿度”一节中指出:虽然温度为 60°C 、相对湿度为95%的组合环境在自然界中不会出现,但这样的温度和相对湿度值在过去已经指明了装备潜在问题的部位。^[11]

基于上述原因,有关国际标准(ISO、IEC)、国家标准(GB)、国军标(GJB)、行业标准(JB)、国外标准(MIL、ASTM、BS、DIN、JIS)等都有进行超过自然界实际温、湿度范围的恒定湿热与交变湿热试验的规定。^[12]

2.3 GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》

该查算表有4个大气压(110kPa、100kPa、90kPa、80kPa)、3个风速(0.4m/s、0.8m/s、2.5m/s)、4个A值(0.000857°C^{-1} 、 0.000815°C^{-1} 、 0.0007947°C^{-1} 、 0.000662°C^{-1})的相对湿度查算表。该查算表使用的计算公式、风速、A值与《湿度查算表》(甲种本与乙种本)完全相同,但增加了 $50\text{°C}\sim 100\text{°C}$ 的温度范围。它是至今仍然有效的国家标准,在环境试验与环境试验设备领域得到广泛使用。

但是,它没有说明在3个风速值之外不同风速条件下的相对湿度查算问题,也没有说明4个大气压值之外不同大气压条件下的相对湿度查算问题。而这些风速与大气压力在环境试验与环境试验设备领域中是经常遇到的。

该查算表的干湿差($\Delta t=t-t_w$)最大值为 16°C ,许多高温低湿的数据就查不到。例如: 80°C 时,45%及以下的相对湿度数据就查不到。

3 湿度查算手册编制说明

3.1 编制依据

本手册中相对湿度查算表的主要依据是《湿度查算表》(甲种本)和 GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》。它以上述两个湿度查算表给定的风速 v 与A值为基础,选择环境试验与环境试验设备领域常用的温度查算范围($10\text{°C}\sim 90\text{°C}$),探寻球状干湿表与柱状干湿表风速 v 与A值的关系式,编制不同A值(风速)的相对湿度查算表。通过对大气压力对相对湿度影响的探寻,编制了不同A值(风速)的相对湿度大气压力修正表。

纯水平液面饱和水汽压采用中央气象局1975年编《气象常用表》中的经验公式计算。

本手册中的相对湿度查算表,在温度、大气压、A 值与上述两个查算表重叠的部分,数据几乎完全相同。只有极个别的数据差异 $\pm 0.1\%$ 。

本手册中的露点温度、水汽密度、干空气密度、湿空气密度、湿空气中干空气密度、混合比、比湿等查算表主要依据相关的教科书、设计手册、技术标准中的计算公式编制。

3.2 最大干湿差值的选择

本手册中相对湿度查算表的干球温度与湿球温度之差,即最大干湿差值($\Delta t = t - t_w$)选择为 34°C 。在此干湿差值条件下,相对湿度查算范围比 GB/T 6999—1986 有扩大,可满足绝大多数环境试验与环境试验设备湿度使用范围的需要。

例如:干球温度 $t = 40^\circ\text{C}$ 时,最大干湿差 $\Delta t = 34^\circ\text{C}$,可查相对湿度范围为 $2.4\% \sim 100\%$;干球温度 $t = 80^\circ\text{C}$ 时,最大干湿差 $\Delta t = 34^\circ\text{C}$,可查相对湿度范围为 $15.5\% \sim 100\%$ 。

3.3 干湿差值个数的选择

本手册中相对湿度查算表的干湿差值个数为 36 个,约为 GB/T 6999—1986 的 $1/4$,这样就大大减少了手册的篇幅。

为了保证查算精度, Δt 在 $0^\circ\text{C} \sim 0.5^\circ\text{C}$ 范围内间隔为 0.1°C ; Δt 在 $0.5^\circ\text{C} \sim 6^\circ\text{C}$ 范围内间隔为 0.5°C ; Δt 在 $6^\circ\text{C} \sim 16^\circ\text{C}$ 范围内间隔 1°C ; Δt 在 $16^\circ\text{C} \sim 34^\circ\text{C}$ 范围内间隔为 2°C 。

在本手册中相对湿度查算表相邻的温度、湿度范围内,其数值可以近似为线性规律看待,采用线性插值方法得到的相对湿度值,其插值误差一般不超过 0.1% 。

表 3.1 是 $p = 100\text{kPa}$ 、 $A = 0.000815^\circ\text{C}^{-1}$ 、 $t = 50^\circ\text{C}$ 时,本查算手册查算值(与线性插值)与 GB/T 6999 相对湿度查算值的比较。标有☆的为手册相对湿度值的线性插值。

表 3.1 本手册与 GB/T 6999 相对湿度值的比较

$t - t_w / ^\circ\text{C}$	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
GB/T 6999 $r/\%$	74.4	73.5	72.5	71.6	70.7	69.8	68.9	68.0	67.2	66.3	65.4
本手册 $r/\%$	74.4	☆ 73.5	☆ 72.6	☆ 71.6	☆ 70.7	69.8	☆ 68.9	☆ 68.0	☆ 67.2	☆ 66.3	65.4

表 3.2 是 $p = 100\text{kPa}$ 、 $A = 0.000667^\circ\text{C}^{-1}$ 、 $t = 40^\circ\text{C}$ 时,本手册查算值(与线性插值)与《湿度查算表》(甲种本)相对湿度查算值的比较。

表 3.2 本手册与《湿度查算表》相对湿度值的比较

$t - t_w / ^\circ\text{C}$	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.6	6.8	7
湿度查算表 $r/\%$	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62
本手册 $r/\%$	71.7	☆ 70.7	☆ 69.7	☆ 68.7	☆ 67.7	66.7	☆ 65.7	☆ 64.8	☆ 63.8	☆ 62.9	61.9

3.4 相对湿度的大气压力修正

本湿度查算手册给出了与 14 个相对湿度查算表(A 值)对应的相对湿度大气压力修正表。它比较好地解决了从 101.3kPa 到 70kPa(海平面到海拔 3000m 左右地面的大气压力,约占中国国土面积的 74%)范围内相对湿度查算中的压力修正问题。从理论上讲,该查算表的相对湿度大气压力修正还可扩大到 50kPa。

采用相对湿度大气压力修正表(以 10kPa 为修正单位编制)是本湿度查算手册的主要特点之一。它免去了编制不同气压下相对湿度查算表的麻烦,也可方便地对不同大气压(非 10kPa 的倍数)的相对湿度进行修正。

当 A 值确定时,大气压值与相对湿度呈线性变化关系。因此该方法使其相对湿度的大气压力修正比较直观与方便。

3.5 相对湿度的风速修正

在 GB/T 6999—1986 给定的 4 个 A 值的基础上,增加了 $0.00117^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.0011^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.00104^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000996^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000951^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000905^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000759^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000725^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000693^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、 $0.000667^{\circ}\text{C}^{-1}$ 共 10 个 A 值的相对湿度查算表(其中 $0.000667^{\circ}\text{C}^{-1}$ 是中央气象局编《湿度查算表》采用而 GB/T 6999—1986 未采用的),并给出了风速 v 与 A 值的经验公式与参考的对应数据,尽可能减少不同风速条件下的相对湿度查算误差。

表 3.3 给出了不同温湿度条件下系数 A 的变化引起的相对湿度误差,该表给定大气压 $p=100\text{kPa}$ 。

本手册给出的球状与柱状水银温度表风速 v 与 A 值关系的经验公式,是根据《湿度查算表》(甲种本)和 GB/T 6999—1986《环境试验用相对湿度查算表》给出的 A 值数据,采用计算机搜索法与最小二乘法相结合的方法,利用计算机从上万个数学模型中自动筛选求得的。这也是本湿度查算手册的主要特点之一。^{[13]、[14]}

对于其他规格的干湿球温度表,如果知道了它的风速 v 与 A 值的关系,仍然可以使用本湿度查算手册,只不过对应的风速可能有变化。这应引起读者的充分重视。

有资料表明,通风干湿表系数 A 是湿球直径、通风速度、温度、压力和气流中水分含量的函数。严格说来,A 值随每一支具体的干湿表及其所处的热力学和动力学状态的不同而异。作为标准的通风干湿表应与更高一级的湿度标准对比来确定其 A 值。世界气象组织仪表和观测方法委员会提倡这样做。但在各种工程和测量中,当通风速度足够大,例如在 $2.5\text{m/s}\sim 3\text{m/s}$ 及以上时,尽管按不同的理论和实践方法得到的 A 值有所不同,但其差值不太大时,由此产生的相对湿度误差在一定范围内,故把 A 当作常数。另外,考虑到实践中湿度量值的连续性,各国对于长期沿用的 A 值,一般不予更改。

表 3.3 不同温湿度条件下系数 A 的变化引起的相对湿度误差

干湿表系数 $A/\times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		6.62	6.67	6.93	7.25	7.59	7.947	8.15	8.57	9.05	9.51	9.96	10.4	11	11.7
球状干湿表 对应风速/(m/s)		2.5	2.4	2	1.3	0.92	0.8	0.59	0.4	0.35	0.28	0.24	0.2	0.17	0.14
柱状干湿表对 应风速/(m/s)		4.4	3.5	1.6	0.94	0.63	0.46	0.4	0.31	0.24	0.2	0.17	0.15	0.12	0.11
温度 / $^\circ\text{C}$	相对湿度 /%	相对湿度误差(设 $A=0.000815^\circ\text{C}^{-1}$ 时,误差为 0)													
90	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	70	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
	50	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8
	30	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4
65	90	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
	70	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1
	50	0.8	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.2	-1.5	-1.8
	30	1.2	1.2	1	0.7	0.5	0.2	0	-0.3	-0.7	-1.1	-1.4	-1.6	-2.3	-2.8
40	90	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
	70	1.1	1	0.9	0.6	0.4	0.1	0	-0.3	-0.7	-1	-1.4	-1.7	-2.1	-2.7
	50	2	1.8	1.6	1.2	0.7	0.3	0	-0.6	-1.2	-1.9	-2.5	-3.1	-3.9	-4.8
	30	3.1	2.8	2.5	1.8	1.1	0.4	0	-0.9	-1.9	-2.8	-3.7	-4.6	-5.8	-7.2
15	90	0.9	0.8	0.7	0.5	0.3	0.1	0	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.4	-1.7	-2.1
	70	2.7	2.6	2.1	1.6	1	0.4	0	-0.7	-1.6	-2.4	-3.2	-3.9	-5	-6.2
	50	4.5	4.3	4	2.9	1.8	0.7	0	-1.3	-3.3	-4.4	-5.8	-7.3	-9.2	-11.4
	30	6.3	6.1	5.7	4.2	2.6	1	0	-2	-4.2	-6.4	-8.5	-10.5	-13.3	-16.6

3.6 纯水平液面饱和水汽压

本手册的纯水平液面饱和水汽压采用中央气象局 1975 年版《气象常用表》的经验公式,而不是采用《湿度查算表》(甲种本)和 GB/T 6999—1986 引用的戈夫—格雷奇公式。

这两个公式计算的饱和水汽压值,相对误差不超过 0.001,由此计算的相对湿度误差可以忽略不计。

美国、英国、德国、日本有关标准给出的纯水平液面饱和水汽压的经验公式都不同,但其数值的差异也很小。

3.7 露点温度

本手册中露点温度查算表计算公式,是根据英国标准给出的饱和水汽压公式,经过推导后获得的。

本手册给出了温度为 $10^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$,相对湿度为 2%~100%范围内的露点温度查算表,其温度间隔为 1°C ,相对湿度间隔为 1%。

3.8 水汽密度

水汽密度,也称为绝对湿度,指单位容积空气中所含的水汽质量。绝对湿度能表示空气中水汽的绝对含量。它是环境试验与环境试验设备中经常用到的参量。绝对湿度不能直接测量,它是通过其他湿度参量的测量间接计算出来的。

本手册给出了温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $2\%\sim 100\%$ 范围内的水汽密度,其温度间隔为 1°C ,相对湿度间隔为 1% 。

3.9 其他湿度参量

本手册还编制了大气压力为 101.325kPa 、 100kPa 、 90kPa 、 80kPa 条件下,温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $10\%\sim 100\%$ 范围内的湿空气密度、湿空气中干空气密度、混合比、比湿查算表。还有上述大气压力与温度范围内的干空气密度表。

上述参量常用于理论计算。相对湿度、饱和水汽压、露点温度、水汽密度、干空气密度、湿空气密度、湿空气中的干空气密度、混合比、比湿,它们之间有着密切的关系。这些查算表可帮助读者更直观地理解它们之间的数量关系,又免去了繁琐的计算之苦。这对于环境试验与环境试验设备的技术人员对湿度测量进行深入研究时,它可能是十分有益的。

4 湿度查算手册相关计算公式

4.1 相对湿度计算公式^[8]

相对湿度计算公式如下:

$$r = \frac{e}{e_w} = \frac{e_{tw} - Ap(t - t_w)}{e_w} \times 100 \dots \dots \dots (4.1)$$

式中: r ——相对湿度, %;

e ——实际水汽压, kPa;

e_w ——干球温度 t 所对应的纯水平液面饱和水汽压, kPa;

e_{tw} ——湿球温度 t_w 所对应的纯水平液面饱和水汽压, kPa;

A ——干湿表系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; 其值由干湿球温度表球部的风速等因素决定;

p ——实验箱、室所处当地大气压, kPa。

4.2 风速 v 与 A 值参考关系

4.2.1 GB/T 6999—1986 和《湿度查算表》列出的干湿表系数 A 值

GB/T 6999—1986 和《湿度查算表》列出的干湿表系数 A 值见表 4.1。