

关于夏季空气调节室外空气 计算参数的讨论*

清华大学 赵康[☆] 刘晓华 张涛 江亿

摘要 根据我国室外气象数据,比较了由历年平均不保证 50 h 干、湿球温度计算得到的含湿量与根据气象数据历年平均不保证 50 h 统计得到的含湿量的差异。考虑到室外气候条件对建筑热环境和不同设备空气热湿处理过程的影响,建议在空调设计中根据影响因素不同选取相应的室外空气设计参数。采用国家气象局 1971—2003 年的气象数据,得到全国 31 个主要城市分别以空气干、湿球温度和露点温度为主的 3 种设计指标。

关键词 气象参数 干球温度 湿球温度 露点温度

Discussion on outdoor air design conditions for summer air conditioning

By Zhao Kang[★], Liu Xiaohua, Zhang Tao and Jiang Yi

Abstract According to the outdoor meteorological data of China, compares the difference between the humidity ratio calculated based on annual dry-bulb and wet-bulb temperature under the condition of not guaranteeing 50 hours average per year and the annual statistical humidity ratio under the condition of not guaranteeing 50 hours average per year. Comprehensively considering the influence of outdoor conditions on indoor thermal environment and the air handling process of different equipment, suggests that corresponding outdoor design conditions should be selected according to different influence factors in air conditioning design. Using the meteorological data from 1971 to 2003 by the China Meteorological Bureau, gains three design indices of 31 China's main cities in which dry-bulb, wet-bulb and dew-point temperature are respectively used as a key factor.

Keywords meteorological data, dry-bulb temperature, wet-bulb temperature, dew-point temperature

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

0 引言

20 世纪以来空调技术的发展很大程度上提高了人居环境品质。在室内环境营造过程中,室外气候条件,包括室外空气干球温度、湿球温度(或比焓)、露点温度(或含湿量),都是影响建筑热环境的重要参数,这些参数对不同空气处理设备的热湿处理过程也有直接影响。干球温度影响围护结构传热、设备冷却效果;当室外大气压力确定时,湿球温度与比焓一一对应,影响冷却塔、蒸发冷却器等设备的热湿处理效果;对于湿度处理设备而言,与空气露点直接相关的含湿量则是影响除湿设备效果的主要空气参数。因此,在空调系统设计中,合理

的室外空气计算参数至关重要。

目前,我国采用的夏季空气调节室外空气设计参数是《采暖通风与空气调节设计规范》^[1-2](以下简称《设计规范》)中规定的按历年平均不保证 50 h 统计的计算干球温度和计算湿球温度。GBJ 19—87《设计规范》^[1]采用 1951—1980 年气象数据给出了一些主要城市的干球温度和湿球温度设计值。2004 年起施行的 GB 50019—2003《设计规范》^[2]对室外空气计算参数的规定与 GBJ 19—

①☆ 赵康,女,1987 年 10 月生,在读博士研究生
100084 清华大学建筑技术科学系
(010) 62773772
E-mail:zhao-k06@mails.tsinghua.edu.cn
收稿日期:2010-09-19

87^[1]一致。2005 年出版的《中国建筑热环境分析专用气象数据集》(以下简称《建筑气象集》)^[3], 按照 GB 50019—2003《设计规范》^[2]的要求, 采用 1971—2003 年中国气象资料统计出了计算干球温度和计算湿球温度。该数据集采用的气象数据来源于 270 个遍布全国各个气候区的国家地面气象观测站, 并经过了较严格的质量控制, 因此更能有效反映各地区近年气象情况。

设计空调系统时, 露点温度(含湿量)是通过室外计算干球温度和计算湿球温度确定的。但在实际情况下, 室外干球温度、湿球温度及露点温度(含湿量)通常并不在同一时刻达到最高值, 以这种方法来确定露点温度就可能无法保证湿度控制的满足率要求。以北京为例, 按照文献^[3]中历年气象数据统计, 夏季空调室外计算干球温度为 33.6 °C, 湿球温度为 26.3 °C, 由此计算得到露点温度为 24.0 °C, 与之对应的含湿量为 18.9 g/kg。而在该露点温度(含湿量)水平下, 经统计平均每年不保证时间约为 220 h, 远超过干、湿球温度不保证的 50 h。因此, 目前以室外计算干球温度和湿球温度来确定露点温度(含湿量)的方法没有充分体现露点温度的重要性。随着人们对湿度调节的重视和越来越多的除湿设备应用于空调系统中, 现有的室外空气计算参数已不能满足其湿度处理的需求。所以, 在选取室外气象参数时除了应当给出干球温度和湿球温度外, 还应当给出室外计算露点温度。

ASHRAE 手册根据不同空气参数对空气处理设备的影响, 分别给出了不保证率为 0.4%, 1.0% 和 2.0% 三种水平下(相当于不保证 35 h, 88 h, 175 h)的室外设计干球温度、湿球温度和露点温度, 并给出了不同类型温度设计值的伴随参数^[4-5], 如在给出室外设计干球温度的同时给出该设计点时的平均湿球温度, 给出室外设计露点温度的同时给出该设计点时的平均干球温度。

本文根据国家气象局典型气象站 1971—2003 年的测试数据, 对比了由不保证 50 h 干、湿球温度计算得到的含湿量值与根据气象数据按不保证 50 h 统计得到的含湿量值的差异; 根据空调系统设计需要, 按照历年平均不保证 50 h 的干球温度、湿球温度和含湿量, 统计出了夏季空调室外计算干、湿球和露点温度及相应伴随参数, 供设计人员进行各

类负荷计算和设备选型参考。

1 我国室外气象参数分析

中国气象局等单位收集了 1971—2003 年全国 270 个遍布各个气候区的国家地面气象观测站的气象数据, 其中国家基准气候站 134 个, 逐时记录观测数据; 国家基本气候站 136 个, 每天 4 次定时观测数据。在实测数据基础上, 挑选具有代表性的全年逐时气象数据(定时观测数据通过插值等计算获得), 建立了典型气象年, 以充分反映长期的气象变化规律^[3]。

依据文献^[3]中北京、上海和广州 3 个城市的典型年逐时数据, 笔者得到 3 个城市全年室外空气状况分布, 如图 1 所示。图 1 中点 A, B, C 分别表示该城市全年干球、湿球温度和露点温度最高点。

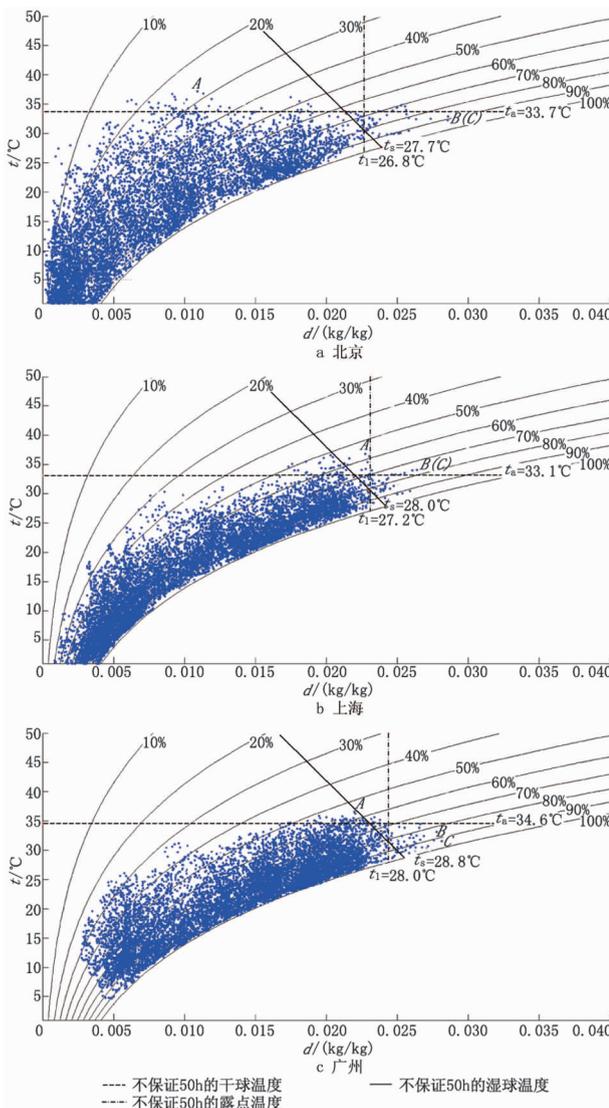


图 1 3 个城市全年气象数据(图中未标出 0 °C 以下数据点)

从图中可见,干球温度、湿球温度和露点温度的最高值不在同一时刻发生:干球温度最高时刻室外空气湿度未必最高,露点温度最高时刻室外空气温度也未必最高,湿球温度最高的时刻可能发生在空气温度和湿度二者都较高的时候。

不考虑极端温度情况,从不保证 50 h 的干球温度、湿球温度和露点温度来看,室外空气温度和湿度也无必然联系。图 1 中不保证 50 h 的干球温度线与不保证 50 h 的湿球温度线交点对应的含湿

量值低于不保证 50 h 的含湿量值,对应露点温度也低于不保证 50 h 含湿量所对应的露点温度。通过对全国一些主要城市的干球温度、湿球温度和含湿量进行统计(结果见表 1),得到了同样结论,由不保证 50 h 的干球温度和不保证 50 h 的湿球温度计算得到的含湿量低于相应城市不保证 50 h 的含湿量。而空气湿度作为有湿度控制要求的空调系统、除湿设备热湿处理中的关键参数,露点温度(含湿量)的设计值将影响空调系统的效果。

表 1 一些主要城市夏季室外空气参数

文 献	室外大气压力/ Pa	不保证 50 h 干球 温度/°C	不保证 50 h 湿球 温度/°C	含湿量计算值/ (g/kg)	不保证 50 h 含湿量/ (g/kg)
北京	《设计规范》	99 860	33.2	26.4	19.3
	《建筑气象集》	99 987	33.6	26.3	18.9
天津	《设计规范》	100 480	33.4	26.9	20.0
	《建筑气象集》	100 287	33.9	26.9	19.8
石家庄	《设计规范》	99 560	35.1	26.6	18.9
	《建筑气象集》	99 390	35.2	26.8	19.3
太原	《设计规范》	91 920	31.2	23.4	16.8
	《建筑气象集》	91 847	31.6	23.8	17.3
呼和浩特	《设计规范》	88 940	29.9	20.8	13.8
	《建筑气象集》	88 837	30.7	21.0	13.8
沈阳	《设计规范》	100 070	31.4	25.4	18.3
	《建筑气象集》	99 850	31.4	25.2	18.0
长春	《设计规范》	97 700	30.5	24.2	17.2
	《建筑气象集》	97 680	30.4	24.0	16.9
哈尔滨	《设计规范》	98 510	30.3	23.4	15.8
	《建筑气象集》	98 677	30.6	23.8	16.3
上海	《设计规范》	100 530	34.0	28.2	22.1
	《建筑气象集》	100 573	34.6	28.2	21.9
南京	《设计规范》	100 400	35.0	28.3	21.9
	《建筑气象集》	100 250	34.8	28.1	21.7
杭州	《设计规范》	100 050	35.7	28.5	22.1
	《建筑气象集》	99 980	35.7	27.9	21.0
合肥	《设计规范》	100 090	35.0	28.2	21.8
	《建筑气象集》	99 907	35.1	28.1	21.6
福州	《设计规范》	99 640	35.2	28.0	21.5
	《建筑气象集》	99 743	36.0	28.1	21.3
南昌	《设计规范》	99 910	35.6	27.9	21.0
	《建筑气象集》	99 867	35.6	28.3	21.8
济南	《设计规范》	99 850	34.8	26.7	19.2
	《建筑气象集》	99 727	34.8	27.0	19.7
郑州	《设计规范》	99 170	35.6	27.4	20.3
	《建筑气象集》	98 907	35.0	27.5	20.8
武汉	《设计规范》	100 170	35.2	28.2	21.7
	《建筑气象集》	99 967	35.3	28.4	22.1
长沙	《设计规范》	99 940	35.8	27.7	20.6
	《建筑气象集》	99 563	35.6	28.1	21.5
广州	《设计规范》	100 450	33.5	27.7	21.4
	《建筑气象集》	100 287	34.2	27.8	21.3

续表

文 献	室外大气压力/ Pa	不保证 50 h 干球 温度/°C	不保证 50 h 湿球 温度/°C	含湿量计算值/ (g/kg)	不保证 50 h 含湿量/ (g/kg)
海口	《设计规范》	100 240	34.5	27.9	21.4
	《建筑气象集》	100 340	35.1	28.1	21.5
南宁	《设计规范》	99 600	34.2	27.5	20.9
	《建筑气象集》	100 340	34.4	27.9	21.4
成都	《设计规范》	94 770	31.6	26.7	21.8
	《建筑气象集》	100 340	31.9	26.4	19.8
重庆	《设计规范》	97 320	36.5	27.3	20.2
	《建筑气象集》	97 310	36.3	27.3	20.3
贵阳	《设计规范》	88 790	30.0	23.0	17.4
	《建筑气象集》	88 817	30.1	23.0	17.3
昆明	《设计规范》	80 800	25.8	19.9	15.9
	《建筑气象集》	80 733	26.3	19.9	15.7
拉萨	《设计规范》	65 230	22.8	13.5	11.2
	《建筑气象集》	65 200	24.0	13.5	10.8
西安	《设计规范》	95 920	35.2	26.0	18.7
	《建筑气象集》	95 707	35.1	25.8	18.4
兰州	《设计规范》	84 310	30.5	20.2	13.6
	《建筑气象集》	84 150	31.3	20.1	13.2
西宁	《设计规范》	77 350	25.9	16.4	11.4
	《建筑气象集》	77 057	26.4	16.6	11.5
银川	《设计规范》	88 350	30.6	22.0	15.6
	《建筑气象集》	88 137	31.3	22.2	15.6
乌鲁木齐	《设计规范》	90 670	34.1	18.5	8.5
	《建筑气象集》	93 213	33.4	18.3	8.1

注:1) 含湿量计算值是由不保证 50 h 的干、湿球温度计算得到的含湿量值;2) 《设计规范》指文献[1]。

2 夏季空气调节室外空气计算参数的选取

经上文对室外气象参数的分析得到,空气的温度和湿度变化相对独立,由统计得到的不同室外空气设计参数间不存在确定关系。而建筑热湿负荷和各种空气热湿处理过程(设备)受不同空气参数的影响程度不一样。因此,为满足空调系统在各种室外工况下(除部分极端情况)室内热湿环境处理的要求,应根据影响因素的不同,设置与选择合理的室外空气设计参数。

考虑到干球温度、湿球温度(比焓)和露点温度(含湿量)分别对围护结构传热、蒸发冷却、除湿等的显著影响,按主要影响因素(温度、比焓和湿度)的不同,给出分别以空气干球温度、湿球温度和露点温度为主的 3 种设计指标(见表 2)。其中,干球温度与建筑显热负荷相关,可作为建筑围护结构传热等显热负荷计算的依据;湿球温度代表室外空气比焓的情况,冷却塔、蒸发冷却器等设备的设计选型应以此为基础;露点温度代表室外空气湿度的情况,对湿度控制有要求的空调系统、除湿设备的设计选型中就应该根据露点温度进行计算分析。

此外,在具体设计计算中,涉及空气状态、热湿处理设备容量等,除主要影响因素外,还需要给出相应的其他空气参数。因此,在主要温度指标基础

上,给出该温度水平上的另一温度参数的平均值,以反映该设计工况的整体特征。以除湿设备选型设计为例,除空气含湿量(露点温度)这个主要影响因素外,设备容量选择还与空气干球温度相关,因此在露点温度设计值的基础上,给出了相应的平均干球温度。按建筑热环境中一般温度测量精度,以露点温度在设计值 ± 0.5 °C 范围内^[4-5]的所有空气状态点的平均干球温度作为该露点温度下的干球温度,以反映该湿度水平下空气的干球温度情况。同理,表 2 中给出了与各主要温度指标相应的其他温度指标。

为方便空调系统设计,本文依照上述原理列举了 31 个主要城市分别以室外空气干球温度、湿球温度和露点温度为主的 3 种设计参数值(见表 2),原始数据来源于《建筑气象集》统计数据。考虑到经济性影响,3 种设计参数值中的主要影响因素的温度指标(计算干球温度 DB ,计算湿球温度 WB ,计算露点温度 DP)按照历年平均不保证 50 h 的方法统计而得。其中, DB 和 WB 按照 GB 50019—2003《设计规范》^[2]进行统计;参照温度统计方法,统计各城市历年平均不保证 50 h 的含湿量,在当地夏季室外大气压力下,计算得到相应的 DP 作为露点温度设计参数。与主要影响因素的温度指

表2 一些主要城市夏季室外空气设计参数

	夏季室外大气 压力/Pa	计算干球温度 t_a /°C		计算湿球温度 t_{s1} /°C		计算露点温度 t_d /°C	
		DB	MWB	WB	MDB	DP	MDB
北京	99 987	33.6	23.2	26.3	29.9	25.4	28.7
天津	100 287	33.9	24.1	26.9	30.3	26.2	29.5
石家庄	99 390	35.2	23.9	26.8	30.8	25.9	29.8
太原	91 847	31.6	21.1	23.8	28.5	22.6	26.5
呼和浩特	88 837	30.7	18.4	21.0	26.7	19.5	24.0
沈阳	99 850	31.4	23.6	25.2	28.9	24.3	27.7
长春	97 680	30.4	21.6	24.0	27.4	23.3	26.6
哈尔滨	98 677	30.6	21.4	23.8	27.3	23.0	26.3
上海	100 573	34.6	27.5	28.2	31.8	27.4	29.8
南京	100 250	34.8	27.2	28.1	32.3	27.2	30.9
杭州	99 980	35.7	27.2	27.9	33.3	26.7	30.7
合肥	99 907	35.1	27.1	28.1	32.7	27.2	30.8
福州	99 743	36.0	27.4	28.1	34.4	26.6	32.0
南昌	99 867	35.6	27.4	28.3	32.7	27.3	31.0
济南	99 727	34.8	24.0	27.0	31.6	25.8	30.0
郑州	98 907	35.0	24.9	27.5	31.3	26.6	30.1
武汉	99 967	35.3	27.4	28.4	32.6	27.5	30.7
长沙	99 563	36.5	27.4	29.0	33.1	26.9	30.7
广州	100 287	34.2	26.9	27.8	32.0	26.8	29.6
海口	100 340	35.1	27.4	28.1	32.8	27.1	30.2
南宁	100 340	34.4	26.9	27.9	32.3	27.0	29.9
成都	100 340	31.9	25.3	26.4	30.0	26.7	29.1
重庆	97 310	36.3	26.4	27.3	32.9	26.2	30.6
贵阳	88 817	30.1	21.9	23.0	27.9	21.8	25.5
昆明	80 733	26.3	17.5	19.9	25.2	18.8	22.2
拉萨	65 200	24.0	12.0	13.5	20.5	11.3	16.2
西安	95 707	35.1	23.7	25.8	31.5	24.5	29.9
兰州	84 150	31.3	18.6	20.1	28.0	17.9	24.7
西宁	77 057	26.4	15.4	16.6	23.0	14.8	19.9
银川	88 137	31.3	20.5	22.2	28.4	20.5	26.4
乌鲁木齐	93 213	33.4	17.4	18.3	29.3	15.4	20.9

注:MDB为在计算湿球/露点温度 ± 0.5 °C范围内的平均干球温度,°C;MWB为在计算干球温度 ± 0.5 °C范围内的平均湿球温度,°C。

标相对应的其他平均温度指标(MWB, MDB)是在主要温度指标 ± 0.5 °C范围内的所有空气点的统计平均值。

3 结语

本文根据国家气象局采集的气象数据,对比了由历年平均不保证50 h干、湿球温度计算得到的含湿量值与根据气象数据按不保证50 h统计得到的含湿量值的差异。考虑到室外气候条件对建筑热环境和设备空气热湿处理过程的不同影响,建议在空调设计中应根据影响因素不同,选取合适的室外空气设计参数,并通过气象数据统计给出设计值。在此基础上,采用国家气象局1971—2003年的气象数据,给出了31个主要城市分别以空气干球温度、湿球温度和露点温度为主的3种设计指标,供设计人员参考。

参考文献:

[1] 中国有色金属工业总公司. GBJ 19—87 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1989

[2] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2004

[3] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005

[4] Colliver D G, Burks T F, Gates R S, et al. Development of the design climatic data for the 1997 ASHRAE handbook—Fundamentals[G]//ASHRAE Trans,2000,106(1): 929—940

[5] ASHRAE. 2001 ASHRAE handbook—Fundamentals A[M]. Atlanta: ASHRAE Inc, 2001

作者更正

《暖通空调》2010年第12期第80页页脚“国家自然科学基金资助项目(编号:50578049),国家科技支撑计划子课题(编号:2006BAJ01A09,2008BAJ12B05)”应为“国家自然科学基金资助项目(编号:50578049,51008042,51078053)”。

(迟光亮 张吉礼 赵天怡)