

# 关于民用建筑通风 室内外计算参数的思考

重庆大学 付祥钊<sup>☆</sup> 陈 敏

**摘要** 分析了我国民用建筑通风现状,认为现有的通风室内外设计计算参数不尽合理。建议重新确定通风室内外设计计算参数,根据室内热舒适要求确定通风室内设计计算温度。从划分建筑环境工程节能季节入手,确定城市通风季节,进而确定通风时段,根据通风季节通风时段内的室外空气干球温度的最大值确定通风室外设计计算温度。

**关键词** 通风室内外计算参数 通风时段 通风季节 民用建筑

## Considerations in indoor and outdoor air design conditions for ventilation in civil buildings

By Fu Xiangzhao<sup>★</sup> and Chen Min

**Abstract** Analyses the ventilation status of civil buildings in China. Thinks that the existing indoor and outdoor air design conditions for ventilation are not reasonable to some extent. Proposes to reconsider the determination of the conditions and to determine indoor design temperature for ventilation based on thermal comfort. Beginning with dividing energy saving seasons of building environment, divides the ventilation seasons of cities, and consequently determines the ventilation period. Outdoor air design conditions for ventilation should be determined according to the maximum value of outdoor air dry-bulb temperature within the period of the ventilation season.

**Keywords** indoor and outdoor air design conditions for ventilation, ventilation period, ventilation season, civil building

★ Chongqing University, Chongqing, China

①

### 1 民用建筑通风的重要性

通风,是指把建筑物内污浊的空气直接或净化后排至室外,再把新鲜的空气补充进来,从而营造良好的室内空气环境和保护大气环境<sup>[1-2]</sup>。通风分为卫生通风和热舒适通风。为了保证人们的正常工作和生活,所有民用建筑时时刻刻都需要通风。对比分析通风与供暖空调发现,供暖、空调只是部分时间、部分建筑的补充需要,对于民用建筑,通风不仅是建筑的基本需求,还是建筑节能的关键。通风能减少供暖空调系统的运行时间,降低建筑能耗。通风的重要性大于供暖空调。

### 2 民用建筑通风现状

#### 2.1 民用建筑普遍存在通风不良的现象

在社会调查中,“通风不良”是主要的不满意因素之一,社会反映强烈;“开着窗空调”的现象也屡见不鲜:出现这些现象的根本原因是卫生通风不良。

有些酒店、商场等人员密度大的场所,由于热舒适通风设计不良,在过渡季节甚至冬季仍需启动制冷机。在 SARS 和甲型 H1N1 流感等流行性疾病肆虐的时候,很多民用建筑由于开窗面积不够或气流组织形式不合理而缺乏应对疾病的基本通风能力。

#### 2.2 民用建筑通风落后于供暖空调

无论是在工程技术研究方面,还是在工程实践方面,民用建筑的通风都落后于供暖和空调。具体表现在以下几个方面。

##### 1) 理论和技术研究

通风工程理论的系统性和深度落后于供暖空

①☆ 付祥钊,男,1948年12月生,研究生,教授,博士生导师  
400045 重庆大学 B 区城市建设与环境工程学院  
(023) 65127539

E-mail: xiangzhaof@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-07-17

修回日期:2010-12-03

调,通风技术的完整性和系统性也落后于供暖空调。对于供暖空调系统,温湿度具有可调性,人们可以通过控制、调节室内温湿度使室内热湿环境满足要求。但是,人们却无法调节室内空气的新鲜度。虽然舒适空调本来包含卫生通风的功能,但工程设计人员往往只重温湿度,不重通风。在温湿度上精益求精,在空气清洁上敷衍了事,甚至在有些时候,供暖空调系统成为了室内空气污染源。

## 2) 标准规范中的要求

在相关标准规范中供暖空调的条文多是具体的、可操作的,而通风方面的条文多是原则性的或不适用的。例如,通风量是民用建筑通风工程重要的参数,但通风量的确定缺乏科学性和可操作性。关于最小新风量,GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》<sup>[3]</sup>(以下简称《规范》)第 3.1.9 条规定:民用建筑人员所需最小新风量按国家现行有关卫生标准确定。由于缺乏系统完整的工程方法

确定新风量,这条强制性条文在实施的过程中就缺乏可操作性。又如,虽然通风设计要求清洁气流从室内人员呼吸区到污染源再到排风口,但实际设计普遍不能满足这一要求。

## 3) 负荷计算

目前供暖负荷计算有完整的、系统的计算理论与方法,计算供暖热负荷时通常考虑围护结构温差传热、冷风渗透以及日射得热的影响,其中围护结构温差传热长期以来按稳态方法计算,理论上已经很成熟。空调负荷计算也有完整的、系统的计算理论,采用动态计算方法确定空调冷负荷。而通风负荷的计算则缺乏系统的计算方法,计算数据不完整,换气次数等经验数据也欠缺。

## 3 通风室内外计算参数存在的问题

### 3.1 民用建筑没有通风室内空气计算参数

《规范》中给出了民用建筑供暖、空调和生产厂房通风设计的室内计算参数,见表 1。

表 1 室内计算参数

供暖	舒适空调		生产厂房夏季工作地点温度/℃											
		冬	夏											
民用建筑主要	温度/℃	18~24	22~28	夏季通风室外计算温度	≤22	23	24	25	26	27	28	29~32	≥33	
房间宜采用	风速/(m/s)	≤0.2	≤0.3	允许温差	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
16~24℃	相对湿度/%	30~60	40~65	工作地点温度	≤32	32	32	32	32	32	32	32~35	35	
				高温作业休息室	26~30									

从表 1 中可以看出,《规范》中明确规定了民用建筑主要房间供暖室内计算温度,以及舒适空调的室内计算温度、相对湿度和风速,但缺乏民用建筑通风室内计算参数。

### 3.2 通风室外空气计算参数对民用建筑通风不适用

《规范》规定的通风室外计算温度主要用于工业建筑,冬季通风室外空气计算温度应为累年最冷月平均温度,夏季通风室外空气计算温度应为历年最热月 14:00 的月平均温度的平均值。按照《规范》确定的代表城市通风室外计算参数见表 2。

表 2 代表城市通风室外计算参数

	重庆	上海	北京	哈尔滨	昆明	广州
夏季通风室外计算温度/℃	32.4	30.8	29.9	26.8	23.1	31.9
夏季通风室外计算相对湿度/%	58	69	58	61	65	66
夏季室外平均风速/(m/s)	2.1	3.4	2.2	2.8	1.8	1.5
冬季通风室外计算温度/℃	5.2	3.5	-7.6	-24.7	4.9	10.3
冬季室外平均风速/(m/s)	0.8	3.3	2.7	3.2	2.0	2.4

从表 2 可以看出,6 个城市中只有哈尔滨和昆明夏季通风室外计算温度低于 27℃,北京接近 30℃,重庆、上海、广州都超过 30℃。哈尔滨、北京两地冬季通风室外计算温度分别为 -24.7℃ 和 -7.6

℃,即使是位于夏热冬暖地区的广州,冬季通风室外计算温度也只有 10.3℃。由此可见,上述通风室外计算参数不能用于热舒适通风。因为热舒适通风的前提是室外空气温湿度适宜,如果在上述气候条件下对民用建筑进行热舒适通风,不仅不会改善室内热湿环境,还会严重恶化室内热湿环境。对于卫生通风,采用上述室外计算参数也是不恰当的,计算出来的冷、热负荷会大于实际冷、热负荷。同时,《规范》确定的通风室外计算参数也不宜作为判断城市通风季节和建筑通风时段的依据。《规范》中规定的通风室外计算参数只适用于需要消除余热、余湿的生产厂房的室外气象条件,并不适用于民用建筑。

## 4 确定民用建筑通风室内外计算参数的思路

### 4.1 民用建筑通风季节的室内热环境条件

对于民用建筑,通风季节室内热环境应满足的最基本要求是可居住。保持人体处于舒适的状态,能正常地生活、工作、学习和休息,是通风季节室内热环境的基本要求。本文采用的热舒适性模型不同于空调热舒适标准所基于的模型,也不是气候学领域的生物气象模型。空调领域的热舒适性标准是基

于空调环境下的热舒适模型,并不适用于通风环境。而现有基于生物气象模型的生物气象指数对于我国气候差异较大的特点并不具有普遍适用性。因此本论文采用了文献[4]提出的建筑节能季节舒适度模型——AT 模型。该模型是基于热平衡原理提出来的,将影响人体舒适度的 3 个因素(温度、湿度、衣着情况)都纳入了计算公式中,根据不同的室外日平均温度考虑了衣着情况。当日平均气温高于 21 ℃时,由于温度较高不考虑衣着影响,反之当气温低于 21 ℃时考虑人体衣服厚度。利用 AT 模型计算上海、武汉、北京的 AT 值,并与地方热舒适模型计算的结果相比较,结果显示 AT 模型与各地人体体感温度都具有很好的线性相关性,较气候学领域的生物气象指数更具有普遍适用性。结合 3 个城市的计算结果,AT 值在 15~28 ℃时为舒适区;当 AT < 15 ℃时,为冷不适;当 AT > 28 ℃时,为热不适。AT 值反映了人体的综合热舒适度情况。AT 值的简化计算公式及适用条件如下:

$$AT = \begin{cases} -1.481 + 0.916t_f + 0.949e_f & (t_a > 21 \text{ }^\circ\text{C}) \\ 8.152 + 0.665t_f - 0.645e_f & (t_a \leq 21 \text{ }^\circ\text{C}) \end{cases} \quad (1)$$

式中  $t_f$  为建筑在不使用供暖空调时室内的自然温度,℃;  $e_f$  为建筑在不使用供暖空调时室内的水蒸气压力,kPa;  $t_a$  为室外日平均温度,℃。

因此根据可居住性条件,通风季节有效实感温度在 15~28 ℃之间。

表 3 代表城市的通风季节

	重庆	上海	北京	哈尔滨	昆明	广州
起止日期	03-12-05-25, 10-03-11-26	03-22-06-04, 09-23-11-26	04-06-06-19, 09-03-10-27	04-21-09-27	02-10-06-24, 09-18-11-11	01-01-04-30, 10-18-12-31
时间/d	130	140	130	160	190	195
占全年比例/%	35.6	38.4	35.6	43.8	52.1	53.4

通风季节是基于城市层面划分的建筑节能季节。一个城市的通风季节划分不仅与自然气候条件有关,还受城市规划布局等自身条件形成的城市微气候的影响。通风季节的划分能在一定程度上反映城市的通风节能潜力。城市之间的气候差异造成了不同城市通风季节存在差异。

由于通风季节的划分指标为候平均值,而一天内室外气候条件是逐时变化的,因此通风季节并非每天 24 h 都满足热舒适通风要求,而是包括全天通风和间歇通风。当一天内室外逐时气候条件满足通风季节要求时,为全天通风;当一天内只有部

通风季节室内热环境除了要满足人体热舒适性要求,还要满足卫生学的要求。卫生学相关研究表明,室温低于 12 ℃或高于 30 ℃,人体机能的正常运行将受影响,尤其是血液循环和消化系统将不正常,在这种环境中,人体容易受寒或中暑,无法正常生活,典型情况是睡眠不好,或难以入眠,不能安心学习和工作。同时,热环境质量还会影响学习、工作效率。研究表明,在 25 ℃左右脑力劳动的工作效率最高,室温低于 18 ℃或高于 28 ℃,工作效率会急剧下降。同时,卫生学和医疗气候学的研究成果认为,当温度超过 25 ℃且相对湿度大于 70% 时需要除湿;当温度低于 18 ℃且相对湿度小于 40% 时需要加湿。由于干球温度与相对湿度之间存在耦合关系,选定一个新的参数——含湿量,根据上述干球温度要求,含湿量  $d_i \leq 14 \text{ g/kg}$ 。

综合考虑可居住性和卫生要求,确定通风季节室内热环境计算参数为:  $12 \text{ }^\circ\text{C} \leq \text{干球温度 } t_{\text{干球}} \leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $d_i \leq 14 \text{ g/kg}$  且  $\varphi \geq 30\%$ 。

#### 4.2 合理划分民用建筑通风季节

根据通风季节室内热环境计算参数,以干球温度为第一判断参数、以含湿量为第二判断参数划分通风季节。为了减小天气随机性与波动性的影响,根据气象学中的定义,5 日为一候,3 候为一气,1 年 24 节气、72 候,合称气候,候平均值满足  $12 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\text{干球}} \leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $d_i \leq 14 \text{ g/kg}$  且  $\varphi \geq 30\%$ ,则划为通风季节。代表城市的通风季节划分结果见表 3<sup>[5]</sup>。

分时间室外气候条件满足通风季节要求,其余时间内不满足要求时,为间歇通风。室外气候条件满足通风要求的那段时间称为通风时段。

#### 4.3 确定民用建筑通风季节的通风设计日

确定民用建筑通风季节的通风设计日时应考虑两个因素:一是室外气象条件能否满足室内热舒适要求;二是节能性,避免出现通风设备容量偏大的情况。

根据 4.2 节中通风季节划分结果,结合典型气象年数据,得到重庆和北京地区通风季节室外空气干球温度变化曲线,见图 1,2。

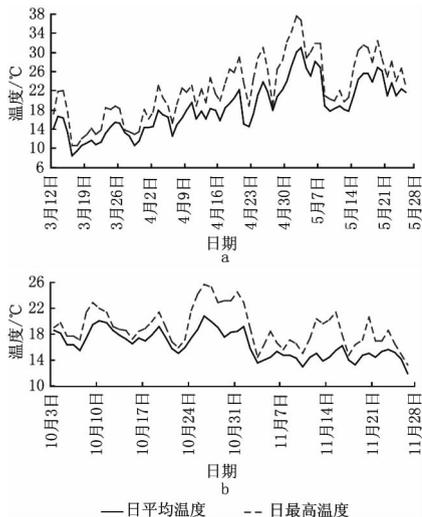


图1 重庆地区通风季节室外参数变化范围

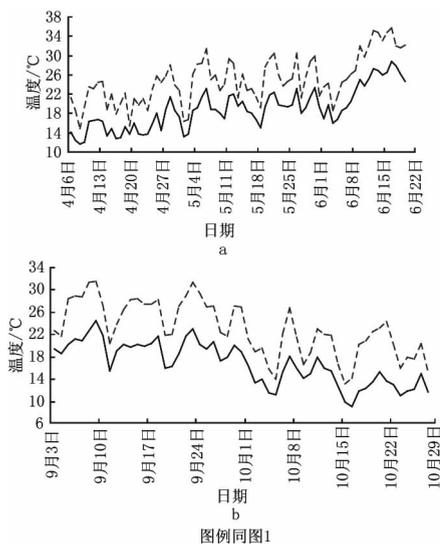


图2 北京地区通风季节室外参数变化范围

重庆地区室外日平均干球温度在热舒适范围外的时间为 11 d,日最高温度在热舒适范围外的时间为 20 d;北京地区室外日平均干球温度在热舒适范围外的时间为 7 d,日最高温度在热舒适范围外的时间为 32 d。

从热舒适要求来看,确定通风设计日时,应采用室外日平均干球温度。

由通风量来分析两种方法确定通风设计日的优劣。由空气热平衡可知:

$$Q_h + Q_s = \beta G c_p (t_n - t_w) \quad (2)$$

式中  $Q_h$  为围护结构得热量, kW;  $Q_s$  为室内热源散热量, kW;  $\beta$  为通风因数,一般房间可取 0.7~0.8;  $G$  为通风量, kg/s;  $c_p$  为空气比定压热容, kJ/

(kg·°C);  $t_n$  为室内设计温度, °C;  $t_w$  为通风季节室外计算温度, °C。

根据式(2),可得到民用建筑通风季节的设计通风量:

$$G = \frac{Q_h + Q_s}{\beta c_p (t_n - t_w)} \quad (3)$$

由式(3)可知,室内外温差越大,所需的通风量越小。重庆地区通风季节日最高温度比日平均温度高 0.5~8.6 °C,北京地区通风季节日最高温度比日平均温度高 2.8~10 °C。由此可知,采用平均干球温度确定的通风量明显小于采用最高温度确定的通风量。

综合热舒适要求和节能性两方面的因素,建议采用日平均干球温度确定通风设计日,通风设计日当天的室外日平均干球温度在 12~28 °C 范围内。

由于室外温度是逐时变化的,室外日平均温度在 12~28 °C 范围内,并不意味着全天 24 h 室外逐时温度都在此范围内。当某一时刻的室外空气温度高于 28 °C 或低于 12 °C 时,此时室外气候条件比较恶劣,不应进行热舒适通风。对于某一时刻而言,如果室外空气温度在 12~28 °C 范围内,则该时刻可以进行热舒适通风。这些适宜进行热舒适通风的时刻就形成了通风时段。

#### 4.4 确定民用建筑通风设计日的通风时段

根据上述的分析可知,通风时段是根据逐时的室外气候条件确定的。即某一时段内室外空气逐时温度均符合  $12\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_w \leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 含湿量  $d_i \leq 14\text{ g/kg}$  且  $\varphi \geq 30\%$  的条件,该时段适宜通风,为通风时段。利用典型气象年的室外逐时气象数据,得到了重庆市和北京市的通风时段。表 4,5 为重庆市通风季节内的通风时段和非通风季节内的通风时段。

从通风时段划分结果可知,重庆市通风季节内通风时段共 2 444 h,非通风季节内通风时段共 809 h,全年通风时段共 3 253 h,占全年总时间的 37.1%。通风季节内全天通风的时间为 78 d,其余 52 d 为间歇通风。重庆地区 7,8 月部分夜间时段以及凌晨时刻,室外干球温度在 12~28 °C 范围内,但含湿量大于 14 g/kg,需要先对室外空气进行除湿,才能送入室内进行热舒适通风。

表 4 重庆市通风季节内的通风时段

日期	通风时段	日期	通风时段	日期	通风时段	日期	通风时段
3月12日	全天	4月15日	全天	5月12日	全天	10月28日	全天
3月13日	全天	4月16日	全天	5月13日	全天	10月29日	全天
3月14日	00:00—03:00 07:00—23:00	4月17日	全天	5月14日	全天	10月30日	全天
3月15日	00:00—14:00	4月18日	全天	5月15日	00:00—12:00 19:00—23:00	10月31日	全天
3月19日	14:00—19:00	4月19日	全天	5月16日	00:00—12:00	11月1日	全天
3月20日	12:00—21:00	4月20日	00:00—13:00 16:00—23:00	5月22日	01:00—05:00	11月2日	全天
3月21日	14:00—17:00	4月21日	全天	5月23日	11:00—23:00	11月3日	全天
3月22日	14:00—23:00	4月22日	00:00—03:00 07:00—23:00	5月24日	00:00—16:00	11月4日	全天
3月23日	11:00—23:00	4月23日	00:00—02:00 08:00—23:00	5月25日	14:00—20:00	11月5日	00:00—01:00 08:00—23:00
3月24日	00:00—02:00 07:00—23:00	4月24日	00:00—13:00 17:00—23:00	10月3日	全天	11月6日	全天
3月25日	全天	4月25日	00:00—11:00 18:00—23:00	10月4日	全天	11月7日	全天
3月26日	全天	4月26日	全天	10月5日	全天	11月8日	全天
3月27日	07:00—23:00	4月27日	全天	10月6日	全天	11月9日	全天
3月28日	00:00—02:00 07:00—21:00	4月28日	全天	10月7日	全天	11月10日	全天
3月30日	15:00—23:00	4月29日	00:00—14:00 17:00—23:00	10月8日	全天	11月11日	全天
3月31日	00:00—02:00 08:00—23:00	4月30日	00:00—11:00 20:00—23:00	10月9日	全天	11月12日	全天
4月1日	全天	5月1日	00:00—11:00	10月10日	全天	11月13日	10:00—23:00
4月2日	全天	5月2日	00:00—08:00	10月11日	全天	11月14日	09:00—23:00
4月3日	全天	5月3日	02:00—08:00	10月12日	全天	11月15日	00:00—02:00 09:00—23:00
4月4日	全天	5月4日	04:00—23:00	10月13日	全天	11月16日	全天
4月5日	全天	5月5日	00:00—13:00 20:00—23:00	10月14日	全天	11月17日	全天
4月6日	00:00—13:00	5月6日	00:00—11:00	10月15日	全天	11月18日	09:00—23:00
4月7日	01:00—05:00 07:00—23:00	5月7日	00:00—08:00	10月16日	全天	11月19日	全天
4月8日	00:00—03:00 07:00—23:00	5月8日	全天	10月17日	全天	11月20日	00:00—03:00 08:00—23:00
4月9日	全天	5月9日	全天	10月18日	全天	11月21日	00:00—03:00 08:00—23:00
4月10日	全天	5月10日	全天	10月19日	全天	11月22日	全天
4月11日	全天	5月11日	全天	10月20日	全天	11月23日	全天
4月12日	全天			10月21日	全天	11月24日	全天
4月13日	全天			10月22日	全天	11月25日	全天
4月14日	全天			10月23日	全天	11月26日	00:00—06:00 11:00—14:00
				10月24日	全天		
				10月25日	全天		
				10月26日	全天		
				10月27日	全天		

北京市通风季节内通风时段共 2 337 h, 非通风季节内通风时段共 967 h, 全年通风时段共 3 304 h, 占全年总时间的 37.7%。通风季节内全天通风的时间为 44 d, 其余 86 d 为间歇通风。与重庆地区相比, 北京地区非通风季节内的通风时段集中在 7, 8 月的夜间及清晨。这是因为北京地区夏季部分夜间及清晨时分, 不仅室外干球温度在 12~28℃ 范围内, 而且含湿量也小于 14 g/kg, 符合民用建筑热舒适通风要求。

#### 4.5 确定民用建筑通风设计日的室外设计参数

根据民用建筑通风季节通风时段室外空气干球温度确定通风设计日的室外设计计算参数。统计分析重庆地区和北京地区民用建筑通风季节通风时段室外空气干球温度, 得到重庆地区通风设计日内全天室外空气干球温度最高值为 20.3℃, 最低值为 15.2℃, 平均值为 17.6℃; 北京地区通风设计日内全天室外空气干球温度最高值为 23.8℃, 最低值为 12.4℃, 平均值为 18.1℃。

表5 重庆市非通风季节内的通风时段

日期	通风时段	日期	通风时段	日期	通风时段	日期	通风时段
1月1日	11:00—19:00	5月26日	20:00—23:00	9月18日	00:00—12:00	11月30日	11:00—17:00
1月2日	12:00—21:00	5月27日	04:00—05:00		18:00—23:00	12月2日	12:00—23:00
1月3日	08:00—18:00		08:00—13:00	9月19日	全天	12月3日	08:00—19:00
1月14日	13:00—17:00		22:00—23:00	9月20日	全天	12月4日	09:00—20:00
1月28日	14:00—16:00	5月28日	00:00—20:00	9月21日	全天	12月5日	09:00—20:00
1月29日	13:00—19:00	5月29日	10:00—13:00	9月22日	全天	12月6日	10:00—23:00
1月30日	11:00—18:00	5月30日	07:00—23:00	9月23日	全天	12月7日	00:00—09:00
1月31日	15:00—18:00	5月31日	全天	9月25日	11:00—23:00	12月11日	11:00—16:00
2月2日	13:00—20:00	6月1日	00:00—12:00	9月26日	全天	12月12日	11:00—17:00
2月3日	13:00—19:00		20:00—23:00	9月27日	全天	12月15日	14:00—18:00
2月4日	12:00—23:00	6月2日	00:00—10:00	9月28日	全天	12月19日	14:00—17:00
2月5日	11:00—23:00		20:00—23:00	9月29日	全天	12月20日	12:00—18:00
2月6日	全天	6月3日	00:00—10:00	9月30日	全天	12月23日	11:00—19:00
2月7日	00:00—06:00	6月5日	01:00—06:00	10月1日	全天	12月24日	11:00—18:00
	09:00—14:00		14:00—23:00	10月2日	全天	12月25日	11:00—16:00
2月24日	14:00—16:00	6月6日	00:00—03:00	11月28日	09:00—23:00	12月31日	12:00—19:00
3月10日	13:00—21:00	9月17日	20:00—23:00	11月29日	00:00—03:00		
3月11日	11:00—23:00				07:00—19:00		

根据通风季节气象资料,参考 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》中确定供暖与空调计算室外温度采用的不保证总天数的平均值的方法来确定通风设计计算日。按照“不保证小时数”确定的各城市通风室外计算参数见表6。

表6 各城市通风设计计算日室外日平均干球温度/℃

	通风季节室外计算温度					
	重庆	上海	北京	哈尔滨	昆明	广州
不保证 50 h	29.3	27.2	31.3	30.5	26.2	28.2
不保证 75 h	28.3	26.6	30.3	29.9	25.9	27.8
不保证 100 h	27.6	26.1	29.4	29.3	25.6	27.4
不保证 125 h	27.0	25.7	28.8	28.8	25.3	27.1

对比两种通风室外计算参数的确定方法,综合考虑室内热舒适条件和经济性因素,采用典型气象年数据得到的通风设计日通风时段室外空气干球温度的最高值为通风室外计算温度,即重庆地区通风室外计算干球温度为 20.3℃,北京地区通风室外计算干球温度为 23.8℃。

## 5 结论

5.1 通风是民用建筑的基本要求,是改善室内空气品质和建筑节能的关键措施之一。

5.2 目前民用建筑通风理论和技术都落后于供暖空调,民用建筑的通风效果普遍不佳。

5.3 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》中的通风室外计算温度适用于工业热车间的排热,不适用于民用建筑的热舒适通风,而且缺少民用建筑通风室内计算参数。

5.4 建议按室内热舒适要求确定民用建筑通风室内计算干球温度范围,为 12~28℃。确定各城市的民用建筑通风季节、通风时段,采用通风季节通风时段室外空气干球温度的最高值确定通风设计室外计算温度,得到重庆、北京地区通风室外计算干球温度分别为 20.3℃和 23.8℃。

## 参考文献:

- [1] 孙一坚. 工业通风[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,1994
- [2] 朱颖心. 建筑环境学[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [3] 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
- [4] 付祥钊. 建筑节能原理与技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,2008
- [5] 张慧玲. 建筑节能气候适应性的时域划分研究[D]. 重庆:重庆大学,2009
- [6] 赵荣义,范存养. 空气调节[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2003
- [7] 张慧玲,付祥钊. 长江流域住宅建筑节能季节划分及能耗影响[J]. 暖通空调,2009,39(8):62-65,124
- [8] 付祥钊,孙婵娟. 长江流域居住建筑节能思路及技术体系研究[J]. 暖通空调,2009,39(10):69-73
- [9] 李先庭. 我国通风领域面临的挑战[J]. 暖通空调,2008,38(2):31-38