

# 两种逐时温度算法下的暖通空调设计温度比较

霍旭杰<sup>1</sup>, 杨 柳<sup>1</sup>, 王玉英<sup>2,3</sup>, 闫友菲<sup>2</sup>, 张彦云<sup>3</sup>

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055;

3. 西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**为比较不同原始数据来源所引起的暖通设计温度差异,以中国建筑热工设计分区的五个典型代表城市 1971~2000 年的调和分析和三次样条逐时干球温度结果,采用 ASHRAE 不保证率方法统计了供暖设计温度和空调设计温度,定量分析了 ASHRAE 设计温度以及中国规范中的供暖室外计算温度和夏季空调室外计算干球温度的差异,以及对典型代表城市耗热量的影响。结果表明调和分析方法比三次样条方法具有略高的极端高温和略低的极端低温,调和分析和三次样条计算结果均能基本反映当地温度特征。中国地面台站观测气象数据与 ASHRAE 逐时气象数据在供暖设计干球温度和制冷设计干球温度的绝对误差分别约为 $-1.0^{\circ}\text{C}$ 和 $0.6^{\circ}\text{C}$ ,所引起的围护结构耗热量的绝对误差约为 $0.9\text{ W/m}^2$ ,且在三次样条方法下的供暖设计温度和围护结构耗热量更接近于 ASHRAE 设计值与其耗热量结果。

**关键词:**供暖设计温度; 制冷设计温度; 调和分析; 三次样条

中图分类号: TU111.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2016)01-0148-07

## Comparison of design temperature for HVAC system using two hourly temperature calculation methods

HUO Xujie<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>1</sup>, WANG Yuying<sup>2,3</sup>, YAN Youfei<sup>2</sup>, ZHANG Yanyun<sup>3</sup>

(1. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech, Xi'an 710055, China; 2. School of Science, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 3. School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** In this paper, five cities located in thermal design zones were selected, respectively, for which hourly temperature are calculated using Fourier series and cubic spline function in 1971~2000. Heating and cooling dry-bulb temperature are calculated through ASHRAE method, comparing with not only ASHRAE and Chinese design temperature for HAVC equipment, but also with the corresponding heating loss based on the temperatures. The study is aimed to analyze the differences between Chinese observational data and ASHRAE. The results indicate higher extreme temperature using Fourier series, both hourly temperature results are basically in coincidence with the local climate. The absolute errors in terms of heating and cooling dry-bulb temperature related to Chinese surface observational data and ASHRAE hourly data are  $1.0^{\circ}\text{C}$  and  $0.6^{\circ}\text{C}$  respectively, which leads to approximately  $0.9\text{ W/m}^2$  heating loss. Heating and cooling dry-bulb temperatures using cubic spline function are closer to ASHRAE results.

**Key words:** Heating temperature; cooling temperature; Fourier series; cubic spline function

准确代表当地气候特征的室外空气计算参数是暖通空调设计的基础<sup>[1-2]</sup>。《民用建筑供暖通风与空气调节规范》GB50736-2012(以下简称规范)室外空气计算参数来源于中国地面观测气象数据,故中国暖通空调设计人员均采用其统计结果。暖通空调设计气象参数通常采用“不保证”统计方法,其统计时长一般选择 30 年<sup>[3]</sup>,由于中国气象台站观测条件的限值,室外计算参数以每日 4 次定时观测数据,采用以不保证天(h)数方法统计<sup>[4]</sup>。而美国气象观测台站则能提供统计年份逐时数据,ASHRAE 手册供暖空调设计温度则以不保证率方法统计<sup>[5]</sup>。原始气象数据来源、记录格式、统计方法的差异使得中国规范暖通空调设计温度与 ASHRAE 手册中的结果有一定偏差<sup>[4]</sup>。

为准确判断和分析室外气候条件,优化暖通空调设计温度统计方法,有效分析建筑能耗指标,需进一步定量比较不同原始数据来源所引起的差异,但难点在于无法获得满足统计时长要求的逐时温度数据。虽然近年来中国部分台站已具备逐时气象数据观测条件,但能够满足统计时长的台站数量仍然有限。短期内室外空气计算参数比较分析仍将依赖于逐时温度数据的插值计算。

将四次定时温度插值为逐时温度方法主要有调和分析与三次样条等。张晴原在中国标准年气象研发时,依据中国地面观测数据库与最初中国观测数据,采用调和分析方法计算了逐时空气温度<sup>[6]</sup>。清华大学研究团队在中国热环境气象数据研究时,则以三次样条方法插值计算地面逐时的空气温度

[7]. Lam 等在研究中国城市的暖通空调设计温度时也采用了三次样条插值获得逐时干球温度数据[8].

本文选择建筑热工分区的五个典型代表城市(哈尔滨、西安、武汉、广州和贵阳),以 1971—2000 年地面观测台站的四次定时数据,分别采用以调和分析和三次样条方法计算了 1971—2000 年逐时温度,分析了五个典型代表城市的逐时温度频率.以不保证率方法统计了其供暖设计和空调设计干球温度,比较分析了不同暖通空调设计温度统计方法所引起的差异,ASHRAE 统计方法下不同的原始数据来源所引起差异,以及对围护结构耗热量影响.

## 1 逐时温度算法

### 1.1 调和分析

室外温度可表示为以 24 h 为变化周期的时间函数,可近似以傅里叶级数表示.但室外温度的变化具有随机性,需要依据测定值之类而得出的变化曲线改写为傅里叶级数形式的式子,称之为调和分析[9].

张晴原等在研发中国标准气象数据时,以调和分析方法将记录间隔为 3 h 气象数据插值为逐时数据[6].但中国地面观测气象台站提供的格式为每日 4 次定时,间隔为 6 h,故室外温度的傅里叶级数的表达式变为式(1)~(4)[6,9]:

$$f(t) = \sum_{n=1}^M a_n \sin(n\omega t) + b_0 + \sum_{n=1}^M b_n \cos(n\omega t) \quad (1)$$

$$a_n = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^3 f(k) \sin\left(\frac{n\omega k}{2}\right) \quad (2)$$

$$b_n = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^3 f(k) \cos\left(\frac{n\omega k}{2}\right) \quad (3)$$

$$b_0 = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^3 f(k) \quad (4)$$

式(1)~式(4)中, $t$ 为时刻; $a_n$ ,  $b_n$ ,  $b_0$ 分别为傅里叶系数, $\omega = \pi/12$ ,当采用每日 4 次定时温度时,波数 $k$ 的取值为 0~3.

为克服相邻日间的突变而实现平滑连接,本文也采用双波调和分析法保证相邻两天结果的平滑连接[6].有研究表明,通过比较双波调和计算结果与实际观测值,双波调和计算方法能够保证连续两天的平滑连接[10].

### 1.2 三次样条

三次样条方法具有二阶导数光滑的特点,可用于干球温度等随时间连续变化的插值中[11-12].研究表明,三次样条逐时温度的计算结果与实测结果的曲线基本吻合[7].三次样条计算步骤主要为:以每

日四次定时(02,08,14,20 时刻)以及日最高温度和日最低温度为基本插值点,计算出日最高/最低温度出现的时刻,采用的边界条件为日最高(低)温度处的一阶导数为 0[7],以保证日高(低)温度位于日逐时温度的极值点处.其他情况则以自然边界条件作为补充,从而计算出逐时干球温度.

## 2 典型代表城市的逐时温度出现频率

选择中国建筑热工设计分区(严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区以及夏热冬暖地区)的五个典型代表城市(哈尔滨、西安、武汉、贵阳和广州),以其 1971—2000 年的 4 次定时温度和日最高/最低温度,分别采用调和分析和三次样条方法计算了其逐时温度,统计了两种计算结果的温度出现频率,如图 1 所示.

从图 1 中可知,哈尔滨调和分析和三次样条的逐时温频曲线几乎重合,冬季极端低温和夏季极端高温均分别约为 -38 和 39 °C.两条曲线总体平缓且绝大部分面积处于低温区域,在分别约 -20 °C、0 °C 和 20 °C 处均呈现了三个温频极值点,显示出哈尔滨全年逐时温度通常均处于冬季低温区域.其中,在 20 °C 处,调和分析的温频极值 0.32% 略高于三次样条的温频极值 0.29%.此外,哈尔滨的温频曲线仅有小部分面积处于高温区域,且未呈现高温频率极值点,显示出哈尔滨夏季高温持续时间十分短暂.因此,哈尔滨主要考虑冬季采暖需求,夏季则不考虑降温需求.

西安调和分析和三次样条的逐时温频曲线也几乎重合.冬季极端低温和夏季极端高温分别约为 -15 °C 和 42 °C.两条曲线覆盖的冬季低温面积均大于夏季高温面积,分别在约 0 °C 和 23 °C 处呈现两个温频极值点,高温区间则未出现明显的极值点,显示出西安冬季低温的持续时间大于夏季高温的持续时间,过渡季节温度波动不大,夏季高温持续时间短暂.因此,西安地区主要考虑冬季采暖需求,夏季降温需求则较小.

武汉调和分析和三次样条的逐时温频曲线也几乎重合.冬季极端低温和夏季极端高温分别约为 -18 °C 和 41 °C.两条曲线覆盖的冬季低温面积近似等于夏季高温面积,且分别在约 -6 °C 和 28 °C 处均呈现了温频极值点,显示出武汉全年中冬季低温的时间和夏季高温的时间大致相等,过渡季节温度总体波动不大.因此,武汉地区主要考虑冬季采暖需求,同时需考虑夏季降温需求.

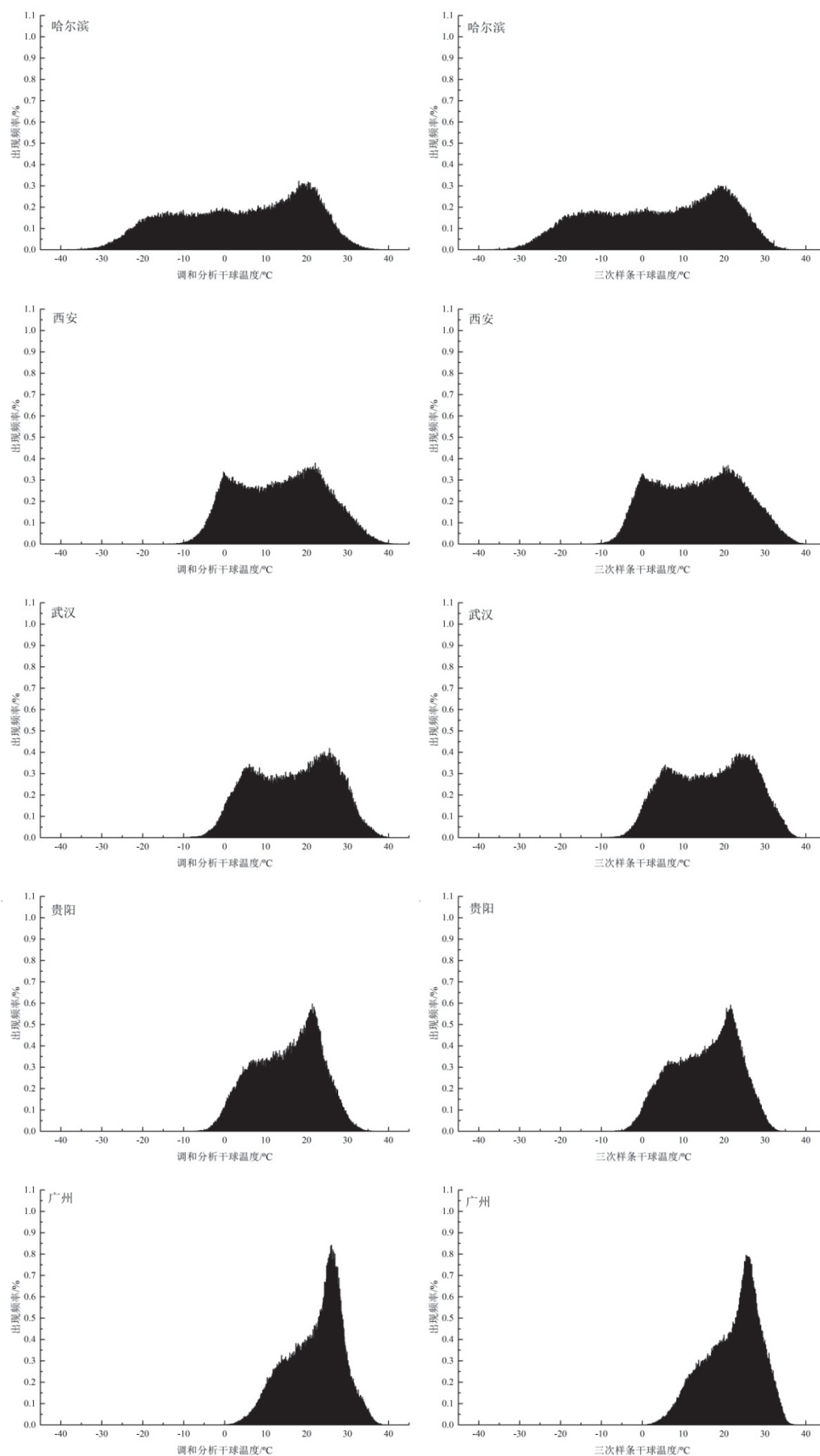


图1 三次样条和调和分析方法下逐时温度出现频率

Fig1 Frequency of occurrence of hourly temperature results using Fourier series and cubic spline function

广州调和分析和三次样条的逐时温频曲线也几乎重合. 冬季极端温度和夏季极端温度均分别约为-5℃和42℃. 两条逐时干球温度频率曲线覆盖的冬季低温面积明显小于夏季高温面积, 且仅在约27℃处均呈现出温频极值, 且调和分析的温频0.84%略高于三次样条曲线的温频0.78%. 显示出广州的冬季低温时间远小于夏季高温时间, 过渡季节不明显. 因此, 广州地区主要考虑夏季制冷需求, 可不考虑冬季采暖需求.

贵阳调和分析和三次样条的逐时温频曲线也几乎重合. 冬季极端温度和夏季极端温度均分别约为-8℃和35℃. 两条曲线覆盖的冬季低温面积略大于夏季高温面积, 且分别在约6℃和22℃处均呈现出两个温频极值点, 显示出贵阳处于温和气候条件下, 冬季降温并不剧烈, 且低温持续时间短暂, 夏季温度则较温和. 因此, 贵阳地区的冬季采暖需求量不大, 夏季则不考虑制冷需求.

从上述分析可知, 调和分析和三次样条计算结果均能基本反映当地温度特征, 调和分析方法比三次样条方法具有略高的极端高温和略低的极端低温. 因此, 两种逐时温度算法均可用于ASHRAE设计温度的统计中.

3 ASHRAE 方法暖通空调设计温度统计结果

为比较不同原始数据来源所引起的差异, 本文分别依据五个典型代表城市(哈尔滨、西安、武汉、广州和贵阳)的调和分析和三次样条计算结果, 统计了累积出现频率分别为99.0%和99.6%的供暖设计干球温度和累积出现频率分别为0.4%、1%和2%

的空调设计干球温度, 如表1所示.

从表1可知, 五个典型代表城市在不保证率方法下的供暖设计温度均小于ASHRAE中的设计值, 空调设计温度则总体略高于ASHRAE设计值. 五个典型代表城市的供暖设计干球温度随着严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区和夏热冬暖地区的排列依次升高, 从低到高分别为, 哈尔滨、西安、武汉、贵阳和广州, 显示出从北到南, 典型代表城市的供暖设计温度逐渐升高. 空调设计干球温度的排列则呈现出高低两部分. 空调设计干球温度较高的城市包括西安、武汉和广州. 其中, 西安和武汉的空调设计干球温度约35℃, 略高于广州的约34℃. 空调设计干球温度较低的城市包括哈尔滨和贵阳. 哈尔滨和贵阳均约30℃, 显示出典型代表城市的空调设计温度受纬度变化影响较小.

为比较不同原始气象数据来源所引起的暖通设计温度差异, 分别计算了两种算法下的供暖(空调)设计干球温度与ASHRAE设计温度值的绝对误差, 如表2和表3所示.

从表2可知, 在调和分析和三次样条方法下的供暖设计温度结果均略小于ASHRAE设计值. 其中, 当累积出现频率为99.6%时, 五个典型代表城市的调和分析和三次样条统计结果与ASHRAE设计值的绝对误差平均值分别为-1.2℃和-0.9℃; 当累积出现频率为99%时, 调和分析和三次样条的统计结果与ASHRAE设计温度的绝对误差平均值分别为-1.1℃和-0.7℃, 显示出中国地面台站观测数据与ASHRAE逐时气象数据在供暖设计干球温度的误差约为-1.0℃, 且三次样条方法的统计结果更接近于ASHRAE设计值.

表 1 五个典型代表城市供暖设计温度和制冷设计温度  
Tab.1 Heating and cooling temperature designed for five typical cities

城市	结果	供暖设计干球温度/℃		制冷设计干球温度/℃		
		99.6%	99%	0.4%	1%	2%
哈尔滨	调和分析	-29.9	-27.4	32.6	30.6	28.8
	三次样条	-29.4	-27.2	31.9	30.2	28.9
	ASHRAE	-28.4	-25.9	31.1	29.6	28.2
	GB50736-2012	-24.2			30.7	
西安	调和分析	-7.7	-6.1	36.9	35.1	33.3
	三次样条	-6.8	-5.3	36.2	34.7	33.2
	ASHRAE	-6.3	-4.8	35.9	34.4	33.0
	GB50736-2012	-3.4			35.0	
武汉	调和分析	-3.9	-2.3	36.6	35.2	33.7
	三次样条	-3.6	-2.0	35.6	34.7	33.6
	ASHRAE	-2.2	-1.0	35.7	34.6	33.5
	GB50736-2012	-0.3			35.2	



续表 1

贵阳	调和分析	-2.6	-1.5	31.8	30.3	29.1
	三次样条	-2.5	-1.1	30.9	29.9	28.9
	ASHRAE	-2.3	-1.1	30.3	29.3	28.4
	GB50736-2012	-0.3		30.1		
广州	调和分析	4.5	6.1	35.9	34.9	33.7
	三次样条	4.6	6.3	34.7	33.9	33.0
	ASHRAE	5.8	7.0	35.0	34.1	33.2
	GB50736-2012	8.0		34.2		

表 2 供暖设计干球温度与 ASHRAE 设计值的绝对误差

Tab.2 Absolute errors between heating temperature results and ASHRAE parameters

	哈尔滨		西安		武汉		贵阳		广州	
	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%
调和分析	-1.5	-1.5	-1.4	-1.3	-1.7	-1.3	-0.3	-0.4	-1.3	-0.9
三次样条	-1.0	-1.3	-0.5	-0.5	-1.4	-1.0	-0.2	0	-1.2	-0.7

表 3 空调设计干球温度与 ASHRAE 设计值的绝对误差

Tab.3 Absolute errors between cooling temperature results and ASHRAE parameters

	哈尔滨			西安			武汉			贵阳			广州		
	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%
调和分析	1.5	1.0	0.6	1.0	0.6	0.3	0.9	0.6	0.2	1.5	1.0	0.7	0.9	0.8	0.5
三次样条	0.8	0.6	0.7	0.3	0.3	0.2	-0.1	0.1	0.1	0.6	0.6	0.5	-0.3	-0.2	-0.2

从表 3 可知,在调和分析和三次样条方法下空调设计温度结果总体均略大于 ASHRAE 设计值.其中,当累积出现频率为 0.4%时,调和分析和三次样条的统计结果与 ASHRAE 设计值的绝对误差平均值分别为 1.2 ℃和 0.3 ℃;当累积出现频率为 1%时,调和分析和三次样条的统计结果与 ASHRAE 设计值的绝对误差平均值分别为 0.8 ℃和 0.3 ℃;当累积出现频率为 2%时,调和分析和三次样条的统计结果与 ASHRAE 设计值的绝对误差平均值分别为 0.5 ℃和 0.3 ℃.显示出中国地面台站观测数据与 ASHRAE 逐时气象数据在空调设计干球温度的误差约为 0.6 ℃,且在三次样条方法下的统计结果更接近于 ASHRAE 设计值.

4 不同供暖设计温度导致的围护结构耗热量差异

供暖设计温度是围护结构耗热量计算与判断建筑热负荷的重要基础参数.为探讨供暖设计温度所引起的围护结构耗热量差异,以五个典型代表城市的不保证率供暖设计温度、ASHRAE 供暖设计温度参数以及中国规范中的供暖室外计算温度分别计算了的围护结构耗热量,为简化比较,五个典型代表城市的冬季室内计算温度均设定为 18 ℃<sup>[3]</sup>,同时按照中国节能设计规范中围护结构传热系数限值的规定,选取哈尔滨、西安、武汉、广州和贵阳的围护结构传热系数分别为 0.45、0.65、0.9、1.3

和 1.0 W/m<sup>2</sup>K<sup>[13-16]</sup>,计算了五个典型代表在不同供暖设计温度结果下的围护结构耗热量,如图 2 所示.

从图 2 中可知,五个典型代表城市在不保证率供暖设计干球温度下的围护结构耗热量均略高于在 ASHRAE 设计温度下的围护结构耗热量,调和与分析统计结果的围护结构耗热量高于三次样条. ASHRAE 供暖设计干球温度参数的耗热量均小于中国规范中供暖室外计算温度下的耗热量.

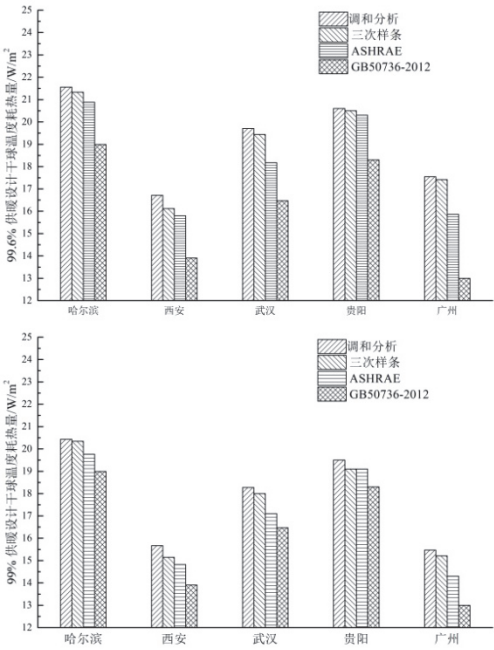


图 2 99.6%和 99%累积频率的供暖设计干球温度的耗热量  
Fig.2 Heating loss results based on 99.6% and 99% heating temperature

五个典型代表城市的围护结构耗热量从高到

低依次为哈尔滨、贵阳、武汉、广州和西安，显示出供暖设计温度和围护结构传热系数对耗热量的影响，哈尔滨的供暖设计温度极低，其围护结构耗热量较大；寒冷地区围护结构传热系数的规定较为严格，故西安具有最低的供暖需求。夏热冬冷地区围护结构传热系数以及武汉的供暖设计温度均位于中间，其围护结构耗热量居中。温和地区围护结

构传热系数较大，故贵阳的围护结构耗热量较高。夏热冬暖地区多采用轻型围护结构，其围护结构耗热量略小。

为比较分析在供暖设计干球温度所引起的耗热量差异，分别计算了在调和分析与三次样条的供暖设计干球温度统计结果的耗热量与 ASHRAE 设计值的耗热量间的绝对误差，如表 4 所示。

表 4 供暖设计干球温度与 ASHRAE 设计值围护结构耗热量的绝对误差  
Tab.4 Absolute errors of heating loss between heating temperature results and ASHRAE parameters

	哈尔滨		西安		武汉		贵阳		广州	
	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%	99.6%	99%
调和分析	0.68	0.67	0.91	1.30	1.53	1.17	1.10	0.40	1.69	1.17
三次样条	0.45	0.58	0.32	0.33	1.26	0.90	1.00	0.00	1.56	0.91

从表 4 可知，调和分析和三次样条设计温度下围护结构耗热量均大于 ASHRAE 设计温度下的耗热量。其中，当采用 99.6% 的供暖设计干球温度时，调和分析和三次样条的耗热量结果与 ASHRAE 设计值耗热量的绝对误差平均值分别为 1.2 和 0.9 W/m<sup>2</sup>；当采用 99% 的供暖设计干球温度时，调和分析和三次样条的耗热量结果与 ASHRAE 设计值耗热量的绝对误差平均值分别为 0.9 和 0.5 W/m<sup>2</sup>。显示出中国地面观测台站的原始气象数据与 ASHRAE 逐时气象数据在围护结构耗热量的绝对误差约为 0.9 W/m<sup>2</sup>，且在三次样条供暖设计干球温度的耗热量更接近于 ASHRAE 设计值的耗热量。

5 结论

(1) 调和分析比三次样条具有更高极端高温和略低的极端低温计算结果，两种方法下的逐时温度结果均能基本反映当地温度特征，均可用于 ASHRAE 设计温度的统计中。

(2) 中国地面台站观测的原始气象数据与 ASHRAE 逐时气象数据在供暖设计干球温度和制冷设计干球温度的绝对误差分别约为 -1.0℃ 和 0.6℃，且在三次样条方法下的统计结果更接近于 ASHRAE 设计值。

(3) 我国地面台站观测的原始气象数据与 ASHRAE 逐时气象数据在围护结构耗热量的绝对误差约为 0.9 W/m<sup>2</sup>，且在三次样条供暖设计干球温度的耗热量更接近于 ASHRAE 设计值的耗热量。

参考文献 References

[1] COLLIVER D G, GATES R S. Effect of data period-of-record on estimation of HVAC & R design temperatures [J].ASHRAE Transactions, 2000, 106:466-474.  
[2] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers[S]. ASHRAE handbook-1997

fundamentals.  
[3] DIDIER Thevenard. Influence of long-term trends and period of record selection on the calculation of climatic design conditions and degree days[G]. ASHRAE Transactions, 2010, 216(1):447-460.  
[4] 中国建筑科学研究院.民用建筑供暖通风与空气调节规范: GB50736-2012[S].北京:中国建筑工业出版社, 2012. China Academy of Building Research, Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB50736-2012 [S].Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.  
[5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers[S]. ASHRAE handbook-2009 fundamentals, 2009.  
[6] 张晴原, 杨洪兴. 建筑用标准气象数据手册[M].北京: 中国建筑工业出版社, 2012. ZHANG Qingyuan, YANG Hongxing. Typical meteorological database handbook for buildings [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.  
[7] 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. Meteorological information center of China Meteorological Administration, Department of architecture and technology of Tsinghua University. Special meteorological data set for analysis of thermal environment of building in China[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.  
[8] LAM J C, TSANG C L, YANG L, et al. Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China [J]. Building and Environment, 2005,40: 277-296.  
[9] 木村建一.建筑设备基础理论[M]. 单寄平,译. 北京:中国建筑工业出版社,1982. KIMURA Kenichi,. Basic theory of building equipment [M]. SHAN Jiping, Translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 1982.  
[10] ZHANG Q Y. Development of the typical meteorological database for Chinese locations [J]. Energy and Buildings, 2006,38: 1320-1326.  
[11] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. 北京: 清华大学出版社,2008. LI Qingyang, WANG Nengchao, YI Dayi. Numerical analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2008.

- [12] 李百战, 田胜元. 用样条函数构成室外逐时温度的插值方法及其误差估计[J]. 重庆建筑工程学院学报, 1990,2(12):24-30.  
LI Baizhan, TIAN Shengyuan. The method of forming hourly outdoor temperature by spline functions and analysis of errors[J]. Journal of Chongqing institute of architecture and engineering, 1990,2(12):24-30.
- [13] 中国建筑科学研究院. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ26-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
China Academy of Building Research, Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones: JGJ26-2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [14] 中国建筑科学研究院. 夏热冬冷居住建筑节能设计标准: JGJ134-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
China Academy of Building Research, Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone: JGJ134-2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [15] 中国建筑科学研究院, 广东省建筑科学研究院. 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准: JGJ75-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.  
China Academy of Building Research, Academy of Building Research of Guangzhou Province. Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and warm winter zone: JGJ75-2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [16] 贵州省建设厅. 贵州省居住建筑节能设计标准: DBJ52/49-2008 [S]. 贵阳: 贵州省建设厅, 2008.  
Architectural Design & Research Institute in Guizhou Province. Design standard for energy efficiency of residential buildings of Guizhou: DBJ52/49-2008 [S]. Guiyang: Architectural Design & Research Institute in Guizhou Province, 2008.

(编辑 桂智刚)

(上接第147页)

## 参考文献 References

- [1] 王清勤, 叶凌. 美国绿色建筑评估体系 LEED 修订新版简介与分析[J]. 暖通空调, 2012,42(10):54-59.  
WANG Qingqin, YE Ling. On green building evaluation system: LEED 2012 in United States [J]. HV&AC, 2012,42(10):54-59.
- [2] 黄辰颢, 彭小云, 陶贵. 美国绿色建筑评估体系 LEED V4 修订及变化研究[J]. 建筑节能, 2014,42(7): 96-100.  
HUANG Chenxie, PENG Xiaoyun, TAO Gui. Modification and Changes of LEED V4 Rating System [J]. Building Energy Efficiency, 2014,42(7):96-100.
- [3] 周同, 刘从红. LEED-NC4.0 与 LEED-NC2009 建筑节能评价指标对比研究[J]. 建筑节能, 2014,42(7):91-95.  
ZHOU Tong, LIU Conghong. Comparative analysis on the evaluating indicators of building energy efficiency in LEED-NC4.0 and LEED-NC2009[J]. Building Energy Efficiency, 2014,42(7):91-95.
- [4] 黄俊鹏, 王莹. LEED GA/LEED AP 备考指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 56-103.  
HUANG Junpeng, WANG Ying. LEED GA/LEED AP preparation guide[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013: 56-103.
- [5] USGBC. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System [S]. USGBC, 2008.
- [6] USGBC. LEED v4 for Building Design and Construction (Ballot Version)[S]. USGBC, 2013.
- [7] USGBC. LEED v4 User Guide [S]. USGBC, 2013.

(编辑 桂智刚)