

- [9] Colliver D G, Gates R S. Effect of data period-of-record on estimation of HVAC&R design temperatures[G]//ASHRAE Trans, 2000,106 (2): 466-474
- [10] Wilks D S. Statistical significance of long-rang “optimal climate normal” temperature and precipitation forecasts[J]. Journal of Climate, 1996 (9):827-839
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京:气象出版社, 2007: 240-244
- [12] 秦大河,丁一汇,苏纪兰,等. 中国气候与环境演变评估:中国气候与环境变化及未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2005(5):4-9
- [13] ASHRAE. ASHRAE handbook—fundamentals[M]. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc, 2009
- [14] 中国建筑科学研究院. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012

# 气候变化背景下室外计算干球温度统计时长的选取<sup>\*</sup>

天津大学 向操<sup>☆</sup> 田喆<sup>△</sup> 刘魁星  
天津市气候中心 李明财 郭军  
南京信息工程大学 史珺

**摘要** 阐述了气候变化背景下用于确定室外计算干球温度的气象数据统计时长的方法。基于确定统计时长的两个基本原则,根据标准差方法和最优气候均态模型,分别确定室外计算干球温度最小统计时长和气象要素最优平均数,通过两者的对比选取室外计算干球温度统计时长。以天津为例进行分析,结果表明,天津地区基于 ASHRAE 方法的累积发生频率为 0.4%,1.0%和 2.0%干球温度的统计时长应取 15 年,累积发生频率为 99.0%和 99.6%干球温度的统计时长应取 10 年;基于中国方法的供暖室外计算温度、冬季空调室外计算温度和夏季空调室外计算干球温度的统计时长分别应取 13,10 和 15 年。

**关键词** 气候变化 统计时长 室外计算干球温度 标准差方法 最优气候均态模型

## Determination of record period for outdoor design dry-bulb temperature against climate change background

By Xiang Cao<sup>★</sup>, Tian Zhe, Liu Kuixing, Li Mingcai, Guo Jun and Shi Jun

**Abstract** Describes the determining method, in which based on the two basic principles of determining the record period, the standard deviation method and optimal climate model of uniform status are used to calculate the minimal record period and the optimal average respectively. Compares the two values and determines the record period for the outdoor design dry-bulb temperatures. Taking Tianjin as an example, the record period for dry-bulb temperature is 15 years at cumulative frequency of 0.4%, 1.0% and 2.0% based on ASHRAE method, while 10 years at 99.0% and 99.6%. Based on Chinese method, the record period for the outdoor design temperature for heating, outdoor design temperature for winter air conditioning and outdoor design dry-bulb temperature for summer air conditioning should be 13, 10 and 15 years respectively.

**Keywords** climate change, record period, outdoor design dry-bulb temperature, standard deviation method, optimal climate model of uniform status

★ Tianjin University, Tianjin, China

①

### 0 引言

室外计算参数是暖通空调系统设计的基础数据,而具有一定统计时长的气象数据是确定室外计算参数的前提。所谓统计时长是指用于统计分析的气象数据的年份。为了保证暖通空调系统的合理设计与运行,室外计算参数应反映当地气候特点,一方面,气候系统自身具有一定的波动性,室外

计算参数的确定应基于当地当前的气候平均态(气候系统有一个慢变的平均值,被定义为气候平均态);另一方面,气候平均态又呈现一定的变化趋

①☆ 向操,男,1988年2月生,在读硕士研究生

△ 田喆(通信作者)

300072 天津市南开区卫津路 92 号天津大学环境科学与工程学院

(022) 27407800

E-mail: tianzhe@tju.edu.cn

收稿日期:2012-04-02

势<sup>[1]</sup>。因此,气象数据统计时长的选择十分关键,气象数据统计时长如果选择过短,就无法过滤掉气候系统本身的波动;气象数据统计时长如果选择过长,则削弱气候变化对室外计算参数带来的影响。一直以来,基于统计学观点,气象数据统计时长被普遍认为越长越能反映气候平均态。世界气象组织提出的气候标准平均态是指“period averages computed for a uniform and relatively long period comprising at least three consecutive 10-year periods”<sup>[2-3]</sup>,气象学界多用 30 a 来表征气候标准平均态。目前暖通空调的相关标准,包括 ASHRAE Handbook—Fundamentals、中国 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》等推荐用于确定室外计算参数的气象数据统计时长均为 30 a,主要依据上述气候标准平均态<sup>[4]</sup>。但是近年来,由于气候变化,很多学者认为 30 a 气候标准平均态的概念可能不再适用。Robert 等人通过分析 4 种气候预测模型的预测误差,发现 30 a 气候标准平均态模型仅适用于相对稳定的气候序列的预测,实际气温呈现迅速变化趋势,30 a 气候标准平均态不再适用于工程设计<sup>[5]</sup>;Huang 等人研究发现,相对于 30 a 而言,用更短统计时长的气象数据计算得到的气候平均态在预测未来气候时更加准确<sup>[6]</sup>;Snelling 则分别根据 15 a 统计时长和当地最大可能统计时长进行了室外计算参数的确定,并比较了各自平均每年的不保证时间及不保证时刻的最大持续时长,分析结果显示,用略短的统计时长确定室外计算参数可能更加有利<sup>[7]</sup>。上述研究表明,30 a 统计时长显得过长,无法反映气候变化的规律,因而,需要一个合适的统计时长来确保室外计算参数确定的合理性。

本文提出一种能够兼顾上述两方面基本要求的统计时长的确定方法,并通过案例分析对该方法进行详细说明。

## 1 方法

### 1.1 标准差方法

基于确定统计时长的第一个原则,需要寻找一种方法防止气象数据统计时长选择得过短。有学者曾经根据标准差方法研究了典型气象数据缺陷条件下(比如气象数据不完整,不充足)室外计算干球温度的不确定性,并推荐采用标准差 1 °C 对应的统计时长作为确定室外计算干球温度必需的最小

统计时长<sup>[8-9]</sup>。

标准差是数据分散程度的一种度量,标准差越小,代表这些数值越接近平均值。当以同一统计时长计算得到某一气象要素的序列平均值后,该平均值序列的标准差越小,就意味着它们偏离平均水平的程度越小,从而反映该统计时长越能过滤气候系统自身的波动。可见,标准差方法能够满足确定统计时长的第一个原则的要求,可防止统计时长选择得过短。

研究中并不直接计算不同统计时长时干球温度的平均值,而是根据不同的统计时长确定室外计算干球温度,两组数据序列的基本意义大致相同。另外,Kenneth 等人以标准差 1 °C 作为室外计算干球温度最小统计时长的判据,理由是距平均值 1 °C 标准差之内的数值所占的比率为全部数值的 68.2%<sup>[8]</sup>。

利用标准差方法确定室外计算干球温度最小统计时长的步骤如下:1) 收集足够的气象数据,确定室外计算干球温度的计算方法,如 ASHRAE Handbook—Fundamentals 和 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》规定的室外计算参数的确定方法(以下分别简称 ASHRAE 方法、中国方法);2) 计算不同统计时长  $n=1,2,\dots,N$  年时室外计算干球温度;3) 计算不同统计时长  $n=1,2,\dots,N$  年时室外计算干球温度的标准差,画出统计时长-标准差关系图;4) 利用某一标准差确定计算室外计算干球温度所要求的最小统计时长。本研究同样以标准差 1 °C 作为最小统计时长的判据。

### 1.2 最优气候均态模型

考虑到确定统计时长的第二个原则,需要一种方法确定能够反映气候变化规律的统计时长,防止气象数据统计时长选择得过长。气象领域常把若干年的气象要素平均值作为来年气象要素的预测依据,世界气象组织推荐采用最近 30 a 的气象要素的平均值作为来年气象要素的预测值,然而实践证明,最优的平均时长一般小于 30 a,这个最优的平均时长被定义为最优平均数  $K$ ,为了确定  $K$ ,美国气候预测中心提出最优气候均态(optimal climate normal)模型,用于短期的温度预测,该模型计算简便,而且预测效果并不比复杂模型差<sup>[6,10]</sup>。最优平均数  $K$  值的选择标准是,用  $K$  年的平均值作为来年的预测值能得到最好的预测。

下面简要介绍最优气候均态模型<sup>[11]</sup>。

假设某一气象要素序列  $x_i, i=1, 2, \dots, n$ 。构造序列:

$$x_{i,k} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_{i-j} \quad (1)$$

式中  $x_{i,k}$  为  $n_1+1, n_1+2, \dots, n_1+L$  的预测值;  $k$  为所计算的气候平均的年数,  $k=1, 2, \dots, n_1, i=n_1+1, n_1+2, \dots, n_1+L$ , 其中  $n_1$  为统计基本样本量,  $L$  为实验样本量。

再以预测值与实测值最接近为标准, 得出最优平均数  $K$ 。最常用的确定最优平均数的准则是最小绝对误差, 也即预测值与实测值的绝对误差最小时的  $k$  为最优平均数。

为了使得到的最优平均数能够充分体现气候变化的影响, 本研究采用滑动的基本样本及实验样本, 假定具备 1961—2010 年共 50 a 的气象数据, 以用 5 a 干球温度的平均值作为未来 1 a (即  $k=5, L=1$ ) 的预测值时为例说明确定最优平均数  $K$  的步骤: 1) 计算 1961—1965 年, 1962—1966 年,  $\dots$ , 2005—2009 年干球温度的平均值, 分别作为 1966, 1967,  $\dots$ , 2010 年干球温度的预测值, 并计算各次预测绝对误差的平均值; 2) 根据不同的  $(k, L)$  组合重复该计算过程, 最后可以得到不同  $L$  时绝对误差平均值随  $k$  值的变化曲线; 3) 所有曲线最小值或基本稳定时所对应的  $k$  值, 即为最优平均数  $K$ 。

### 1.3 室外计算干球温度统计时长的选取

最小统计时长和最优平均数确定以后, 通过对比最优平均数和最小统计时长来进行室外计算干球温度的统计时长的确定。即当最优平均数大于最小统计时长时, 以最优平均数作为室外计算干球温度的统计时长, 因为它不仅可以过滤掉气候系统自身的波动, 保证室外计算干球温度的合理计算, 还能较好地反映未来气候; 当最优平均数小于最小统计时长时, 以大于最小统计时长且预测绝对误差最小的平均数作为室外计算干球温度的统计时长, 因为需要优先保证室外计算干球温度的代表性, 然后再去寻求一个能够更好地反映未来气候的平均数。

## 2 案例分析

下面以天津为例介绍室外计算干球温度统计时长的确定过程。

### 2.1 参考案例

天津位于我国华北地区, 该地区气候增暖明

显。本研究采集了天津市气象台站 1961—2010 年逐时干球温度的气象数据, 通过分析发现, 该地区年平均温度增暖速度为  $0.45 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ , 见图 1。如

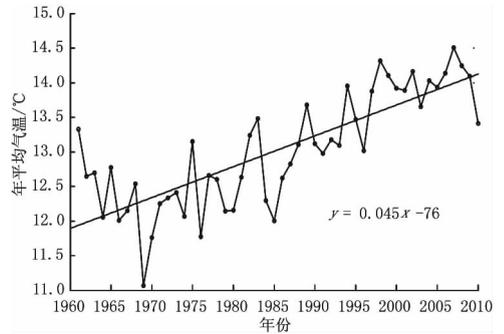


图 1 天津地区年平均气温变化趋势

此快的增暖幅度极有可能导致标准推荐的 30 a 标准统计时长在天津地区不再适用, 所以, 为了保证室外计算干球温度的合理计算, 应该首先确定它们的统计时长。

### 2.2 最优平均数的确定

由于有学者指出低温的增暖幅度明显强于高温<sup>[12]</sup>, 因而本研究分别分析了天津地区冬、夏季平均气温的变化趋势, 发现冬季平均气温的上升速度约为  $0.6 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ , 是夏季的 2 倍 (大约  $0.3 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ ), 见图 2, 这也意味着冬、夏季干球温度的最优平均数宜分别确定。

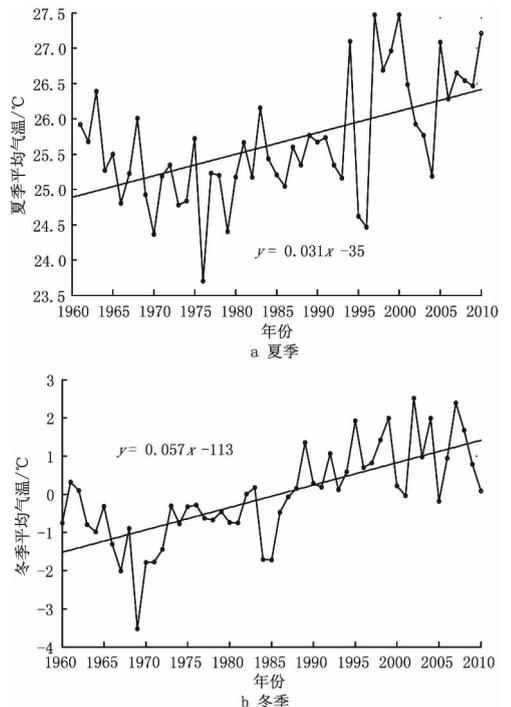


图 2 天津地区冬夏季平均气温变化趋势

为了保证得到的最优平均数能充分体现气候变化的影响,计算过程中采用滑动的基本样本和实验样本。同时,考虑到气象部门每隔 10 a 重新计算一次气候平均态模型,所以本研究采用  $L=9, k$  的取值范围为 5~32 a。计算得到冬、夏季平均绝对误差随平均数  $k$  的变化曲线,如图 3 所示。对于

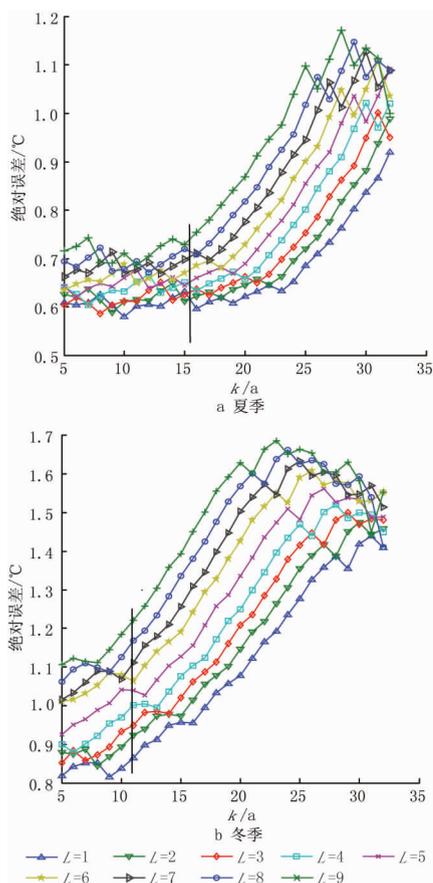


图 3 冬、夏季干球温度平均绝对误差随  $k$  值变化曲线

冬、夏季,  $k=30$  a 时平均绝对误差均达到了一个相当大的值,这也意味着标准推荐的 30 a 统计时长在天津地区不太适用。当  $k$  小于 15 a 以后,夏季平均绝对误差的波动已经很小,基本达到稳定,所以以  $K=15$  a 作为夏季干球温度的最优平均数。与夏季相比,冬季平均绝对误差相对较大,可能是由于其增暖幅度较大所致,当  $k$  小于 10 a 以后,尽管平均绝对误差曲线仍呈下降趋势,但是幅度已经开始减缓,个别  $L$  对应的平均绝对误差曲线甚至开始呈现出波动状态,对所有  $L$  的平均绝对误差取平均值,发现该平均值在  $k$  小于 10 a 以后减小趋势已经相对十分微弱,因而以  $K=10$  a 作为冬季干球温度的最优平均数。

### 2.3 最小统计时长的确定

本研究分别根据 ASHRAE 方法和中国方法计算相关的室外计算干球温度,包括 ASHRAE 方法累积发生频率分别为 0.4%, 1.0%, 2.0%, 99.0%, 99.6% 时的干球温度和中国方法的供暖室外计算温度、冬季空调室外计算温度、夏季空调室外计算干球温度。两种方法均根据不保证率统计法确定上述参数,但是对应参数所选取的不保证率并不相同,另外用于确定冬季室外计算干球温度的基本气象要素也不相同(ASHRAE 方法,小时温度;中国方法,日平均温度),关于两种方法的详细说明可参见文献[13-14]。本文分析选取的气象数据为 1978—2010 年的逐时干球温度。依据前述计算步骤,得到统计时长与标准差的关系,如图 4 所示。

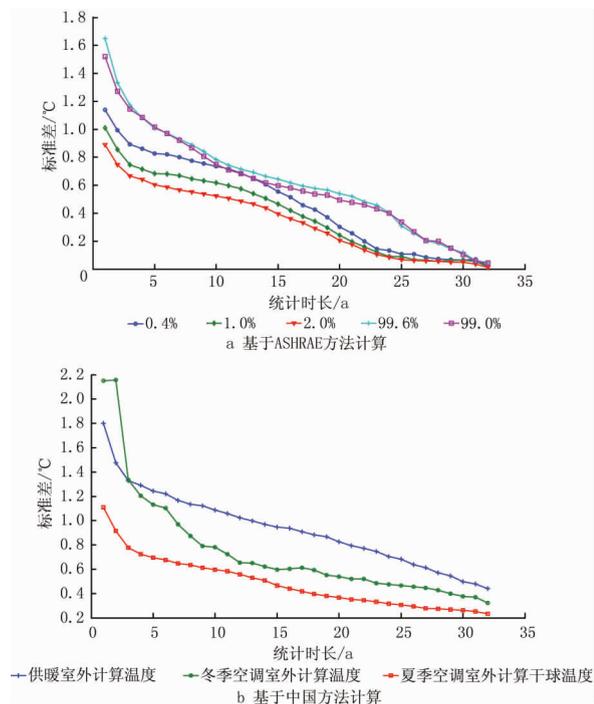


图 4 统计时长与标准差的关系

图 4 显示,随着统计时长增加,标准差下降,这也证实了统计时长越长越能过滤掉气候系统本身的波动。冬季室外计算干球温度的标准差明显大于夏季,可能是由于冬季增暖速率大于夏季所致。各参数的最小统计时长见表 1。

表 1 显示,ASHRAE 方法累积发生频率为 99.6% 和 99.0% 时干球温度要求的最小统计时长为 6 a,累积发生频率为 0.4% 和 1.0% 时干球温度要求的最小统计时长为 2 a,累积发生频率为 2.0%

表1 各参数的最小统计时长

	最小统计时长/a	标准差/℃
累积发生频率 0.4% 干球温度	2	0.992 3
累积发生频率 1.0% 干球温度	2	0.854 2
累积发生频率 2.0% 干球温度	1	0.890 4
累积发生频率 99.6% 干球温度	6	0.974 5
累积发生频率 99.0% 干球温度	6	0.969 5
供暖室外计算温度	13	0.997 3
冬季空调室外计算温度	7	0.968 5
夏季空调室外计算干球温度	2	0.913 7

时干球温度要求的最小统计时长仅为 1 a;中国方法的供暖室外计算温度、冬季空调室外计算温度和夏季空调室外计算干球温度要求的最小统计时长分别为 13,7,2 a。

#### 2.4 室外计算干球温度统计时长的选取

分析表 1 知道,除了中国方法的供暖室外计算温度以外,其他室外计算干球温度要求的最小统计时长均小于它们相应的最优平均数,所以应该以最优平均数作为它们的统计时长。而对于供暖室外计算温度,大于其最小统计时长并且平均绝对误差最小的平均数是 13 a,从而应该以 13 a 作为它的统计时长。各参数应取的统计时长及对应的标准差见表 2。

表2 各参数应取的统计时长及标准差

	最优统计时长/a	标准差/℃
累积发生频率 0.4% 干球温度	15	0.555 6
累积发生频率 1.0% 干球温度	15	0.465 0
累积发生频率 2.0% 干球温度	15	0.393 7
累积发生频率 99.6% 干球温度	10	0.783 5
累积发生频率 99.0% 干球温度	10	0.750 4
供暖室外计算温度	13	0.997 3
冬季空调室外计算温度	10	0.781 9
夏季空调室外计算干球温度	15	0.467 3

ASHRAE 方法累积发生频率为 0.4%、1.0% 和 2.0% 干球温度的统计时长应取为 15 a,99.0% 和 99.6% 干球温度的统计时长应取为 10 a;中国方法的供暖室外计算温度、冬季空调室外计算温度和夏季空调室外计算干球温度的统计时长分别应取为 13,10 和 15 a。分别以各自应取的统计时长和 30 a 标准统计时长(统计时间段均至 2010 年)为基础计算得到室外计算干球温度对比,见表 3。

表3 各参数应取统计时长和 30 a 标准时长下的室外计算温度

	室外计算温度	
	统计时长	30 a 标准时长
累积发生频率 0.4% 干球温度	35.5	34.8
累积发生频率 1.0% 干球温度	34.0	33.4
累积发生频率 2.0% 干球温度	32.7	32.1
累积发生频率 99.6% 干球温度	-9.1	-9.6
累积发生频率 99.0% 干球温度	-7.4	-8.2
供暖室外计算温度	-5.9	-6.2
冬季空调室外计算温度	-8.8	-8.9
夏季空调室外计算干球温度	34.9	34.3

较短的统计时长使得以其为基础计算得到的室外计算干球温度相对略高,考虑到气候的持续变化,以该统计时长为基础计算得到的室外计算干球温度在未来必然会更加适用。

### 3 结论

本研究通过对比气象要素的最优平均数和确定室外计算干球温度要求的最小统计时长,阐述了气候变化背景下用于确定室外计算干球温度的气象数据统计时长的方法,建议在室外计算干球温度确定之前,应预先采用该方法计算出气象数据的统计时长。本文利用天津市气象台站 1961—2010 年的逐时气象数据进行了案例分析,结果表明,天津地区按照 ASHRAE 方法累积发生频率为 0.4%、1.0% 和 2.0% 干球温度的统计时长应取为 15 a,累积发生频率为 99.0% 和 99.6% 干球温度的统计时长应取为 10 a;按照中国方法供暖室外计算温度、冬季空调室外计算温度和夏季空调室外计算干球温度的统计时长分别应取为 13,10,15 a。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007 synthesis report [R], 2008
- [2] Omar B, Hama K. The role of climatological normals in a changing climate [R]. World Meteorological Organization, 2007
- [3] Anthony A, Russell S V. The definition of the standard WMO climate normal [J]. American Meteorological Society, 2011(7): 699-704
- [4] Didier T. Influence of long-term trends and period of record selection on the calculation of climatic design conditions and degree days[G] // ASHRAE Trans, 2010, 216(1): 447-460
- [5] Robert E L, Konstantin Y V, Marina M T, et al. Estimation and extrapolation of climate normals and climate trends[J]. American Meteorological Society, 2007(46): 1759-1776
- [6] Huang J, Van den Dool H M, Anthony G B. Long-lead seasonal temperature prediction using optimal climate normals[J]. Climate, 1996(9): 809-817
- [7] Snelling H J. Duration study for heating and air-conditioning design temperatures [G] // ASHRAE Trans, 1985, 91(2):125-140
- [8] Kenneth G H, Kenneth E K. Sources of uncertainty in the calculation of design weather conditions in the ASHRAE Handbook of Fundamentals [G] // ASHRAE Trans, 2005, 111(2): 317-326