

DOI:10.11918/202011020

建筑能耗计算的海洋气象参数逐时化方法

闫秀英¹,高嘉仪¹,刘大龙²

(1. 西安建筑科技大学 建筑设备科学与工程学院,西安 710055;2. 西安建筑科技大学 建筑学院,西安 710055)

摘要:为获取适用于海洋性气候条件下关键节能气象参数的逐时化方法,针对温度、露点温度、相对湿度、风速、大气压5种节能计算气象参数,通过对比内陆代表城市和沿海代表城市,分析了线性插值、三次样条插值、分段三次 Hermite 插值、Akima 插值和径向基插值法在海洋性气候条件下的适用性及特点。研究表明:海洋性气候条件下,冬季温度最佳插值法为三次样条插值,湿度为 Akima 插值,夏季温度和湿度的最佳插值法同为分段三次 Hermite 插值;露点温度的最佳插值法在冬、夏两季同为线性插值法,风速和大气压的最佳插值法在冬、夏两季同为 Akima 插值法;不同气象参数的插值准确性在相同的季节整体变化趋势相同,夏季插值精度由小到大为风速、露点温度、湿度、温度、大气压,冬季为露点温度、风速、湿度、温度、大气压。露点温度、湿度和风速插值精度受地域影响程度较大,三者受地域影响由小到大依次为湿度、露点温度和风速。温度、大气压数据插值精度受地域影响小。

关键词:节能气象参数;逐时化;插值方法;海洋性气候;适用性分析

中图分类号: TU119.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2022)06-0156-07

Hourly method of marine meteorological parameters for building energy consumption calculation

YAN Xiuying¹,GAO Jiayi¹,LIU Dalong²

(1. School of Building Services Science and Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;
2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: To obtain the suitable hourly methods for key energy-saving meteorological parameters under maritime climate condition, this study analyzed five energy-saving meteorological parameters including temperature, dew point temperature, relative humidity, wind speed, and atmospheric pressure. By comparing representative inland and coastal cities, the applicability and characteristics of linear interpolation, cubic spline interpolation, piecewise cubic Hermite interpolation, Akima interpolation, and radial basis function interpolation in maritime climate conditions were discussed. Results show that under maritime climate conditions, the best interpolation method for winter temperature was cubic spline interpolation, and that for humidity was Akima interpolation; the best interpolation method for summer temperature and humidity was piecewise cubic Hermite interpolation. The best interpolation method for dew point temperature was linear interpolation in both winter and summer, and that for wind speed and atmospheric pressure was Akima interpolation in both winter and summer. The interpolation accuracy of different meteorological parameters had the same overall trend in the same season. The interpolation accuracy in summer from small to large was wind speed, dew point temperature, humidity, temperature, and atmospheric pressure, and that in winter was dew point temperature, wind speed, humidity, temperature, and atmospheric pressure. The interpolation accuracy of dew point temperature, humidity, and wind speed was greatly affected by the region, and they were affected in an ascending order of humidity, dew point temperature, and wind speed. The interpolation accuracy of temperature and atmospheric pressure data was less affected by the region.

Keywords: energy-saving meteorological parameters; hourly method; interpolation method; maritime climate; applicability analysis

建筑节能技术是社会可持续发展的一项重要举措^[1]。气象参数是建筑节能计算和设计的重要基

础。更是动态建筑能耗模拟计算不可或缺的关键输入数据。模拟结果的可靠性很大程度上取决逐时气象数据的准确性^[2]。21 世纪是海洋的世纪,因此海岛建设成为海洋发展的重点方向。海域岛礁低能耗建筑的开发建设进程不断加快。然而,海域气象站由于地理位置、资金和设备故障等各种因素的影响,气象监测数据缺测漏测严重,能耗模拟用各气象参

收稿日期: 2020-11-04
基金项目:国家自然科学基金(51878536,51590913);“十三五”国家重点研发计划子课题(2018YFC0704505)
作者简介: 闫秀英(1980—),女,副教授;
刘大龙(1976—),男,副教授,博士生导师
通信作者: 刘大龙,coffeevc@xauat.edu.cn

数原始数据量少,逐时数据更是难以直接获取。因此,海域精确的逐时气象数据获取便成了海域岛礁建筑节能设计过程中需要解决的首要问题之一。海洋性气候与大陆性气候存在显著不同^[3]。研究适用于海洋性气候条件下的逐时化方法对建筑节能设计的理论研究和具体实践应用均具有重要现实意义。

气象数据的逐时化方法缺少针对特定的气候条件适用性的研究。气象数据逐时化方法中,三次样条插值法和线性插值法一直备受青睐。潘霄等^[4]研究发现,在低空天气状况良好条件下,三次样条插值适用于对上海地区探空气温的逐时化。张彦云等^[5]对上海某台站的干球温度,分别采用调和分析和三次样条方法计算其全年逐时温度,发现三次样条方法的计算精度高于调和分析。朱业玉等^[6]对河南省 5 个站台的气温观测数据采用三次样条插值法计算逐时气温发现,三次样条插值可以有效模拟实际气温的变化特征且适宜于其他连续性变化的气象要素(如水汽压、相对湿度和风速)的逐时化。Pernigotto 等^[7]采用三次样条插值法对相对湿度、露点温度和风速数据进行月间平滑处理,取得了较为满意的插值结果。高庆龙等^[8]采用线性插值和三次样条插值计算西安市逐时相对湿度,发现线性插值计算生成的逐时相对湿度与实测值更吻合。Karim 等^[9]针对风速数据构建了三次样条插值法并证明该方法可获得给定域内较为准确的风速插值曲线。

分段三次 Hermite 插值和 Akima 插值在多个领域得到广泛使用,但较少应用于气象数据插值计算。安云飞^[10]采用分段三次 Hermite 插值方法有效提升了卫星速度插值精度和计算速度。杨创艳等^[11]采用分段三次 Hermite 插值代替 LCD 中的三次样条插值,结果表明该方法可提高信号的分解精度。何桂芳等^[12]将 Akima 算法应用于等高线山顶点提取及其高程插值,证明该方法具有更高的算法效率,且能

保证更高正确率和精度。雷庆坤等^[13]采用 Akima 插值法改进 LMD 和广义神经网络 (GRNN) 算法来预测风速,有效提高了预测精度。

径向基插值法常被应用于气象数据的空间插值,周银明等^[14]基于浙江省的气象数据,分别采用反距离权重法 (Inverse distance weighted, IDW) 和径向基函数法 (Radial Basis Function, RBF) 对各个气象因子进行插值比较。结果表明 RBF 更适合作为缺失气象数据的补全方法。李强^[15]针对黄土高原南部地区 2010 年的年平均气温进行空间插值,并利用交叉检验方法对插值精度进行了评估,得出径向基函数法最好的结论。

为研究建筑能耗模拟用气象参数逐时化方法在海洋性气候条件下的适用性,针对温度、露点温度、相对湿度、风速、大气压 5 种能耗计算气象参数,选取中国 3 个海洋性气候代表城市和 3 个大陆性气候代表城市,对比了线性插值、三次样条插值、分段三次 Hermite 插值、Akima 插值和径向基插值法并分析了其适用性,研究了海洋性气候条件下气象参数逐时化方法的特点。

1 站点选取及数据来源

1.1 站点选取

本文为研究气象参数逐时化方法在海洋性气候条件的适用性,选取站点须具有海洋性气候特点。中国唯有南海地处亚洲大陆南部热带和亚热带区域,热带海洋性气候显著且与大陆气候存在明显差异^[16]。然南海岛礁气象监测数据大量缺失,无法满足研究需求,故选取与南海海域相邻,具有热带海洋性气候特点沿海城市——厦门、海口和三亚的气象数据作为研究对象。为对比海洋性气候特征,选取大陆性气候的乌鲁木齐、呼和浩特和兰州 3 个城市作为对比。各代表城市站点的具体信息见表 1。

表 1 代表城市站点具体信息

Tab. 1 Specific information of representative city sites

代表城市	北纬/(°)	东经/(°)	海拔/m	采暖期日数 HDD18/(℃·d)	空调期日数 CDD26/(℃·d)
厦门	24. 51	118. 09	8	490	178
海口	20. 03	110. 37	21	75	427
三亚	18. 25	109. 50	26	3	498
乌鲁木齐	43. 84	87. 57	648	4 329	36
呼和浩特	40. 79	111. 69	1084	4 186	11
兰州	36. 06	103. 83	1947	3 094	16

1.2 数据来源

对比的标准数据采用 Meteonorm 软件生成的逐时数据。Meteonorm 是一个全面的气象计算软件,

包含太阳能及应用气象学的全球气象数据库,数据来源于瑞士 Meteonorm 研究所。其数据的有效性得到业界的认可。Nematchoua 等^[17]使用 Meteonorm

数据结合 Energyplus 评估了气候变化对印度洋地区 6 个不同国家的医院对供热和制冷能源的需求影响。考虑各站点季节数据特点,选取每个代表城市

典型气象年逐时数据中大暑(7 月 22 日)前后共 7 d 和大寒(1 月 20 日)前后共 7 d 逐时数据作为夏季和冬季实验数据。具体内容见表 2。

表 2 实验数据具体信息
Tab.2 Specific information of experimental data

数据时间	采样间隔/h	气象参数
冬季:1 月 17 日 1 时-1 月 23 日 24 时	1	温度(℃)、露点温度(℃)、湿度(%)、风速(m/s)、大气压(Pa)
夏季:7 月 20 日 1 时-7 月 26 日 24 时	1	

为验证岛礁站点与沿海站点数据的一致性,选取实测观测的西沙月均气温与三亚的数据库数据进行对比,结果如图 1 所示。沿海站点与南海岛礁站点的气温在数值上虽有差异,但变化趋势基本相似。因此南部沿海城市站点的气象数据对于南海岛礁气象数据的研究具有极高的参考价值。

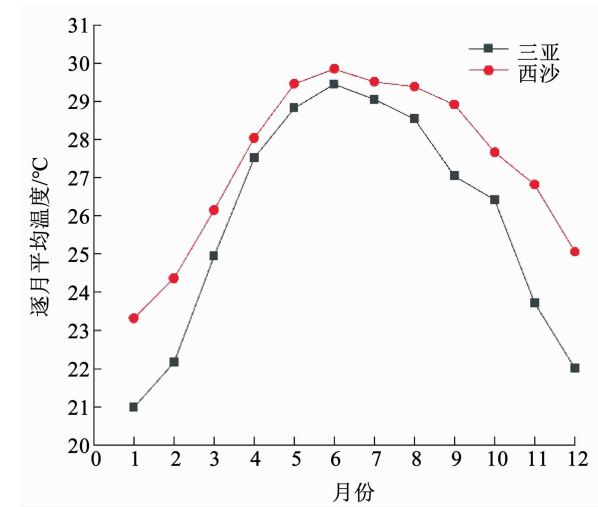


图 1 沿海与岛礁逐月平均温度对比

Fig.1 Comparison of monthly mean temperature between coastal and island cities

2 气象参数逐时化方法

2.1 线性插值

线性插值是指插值函数为一次多项式的插值方式,其在插值节点上的插值误差为零。相比其他插值方式,线性插值具有稳定性好、收敛性有保证且易于实现的特点,可以用来近似代替原函数,因而被广泛应用于气象数据的逐时化。

2.2 三次样条插值

三次样条插值法是较为理想的插值方法之一,其可插值的气象参数种类宽泛且插值结果较为准确。三次样条插值法将插值区间分成若干子区间分段进行插值,重点关注各区间函数的单调性和凹凸性,具有最佳逼近和最优收敛的特性,插值曲线光滑。因此,对于变化曲线较为平滑的气象数据具有很好的插值效果。

2.3 分段三次 Hermite 插值

分段三次 Hermite 插值曲线在节点处连续,但由于没有考虑二阶导数的连续性,其插值曲线不如三次样条曲线光滑,若数据由平滑函数的值组成,则三次样条插值可获得更精确的结果。对于不平滑的数据,分段三次 Hermite 插值具有无过冲且振荡较少的优点。由于气候差异,气象数据可能存在无明显规律且易发生突变的情况,采用分段三次 Hermite 插值法对于此类数据可能会有较好的插值结果,故选取该方法作为本文逐时化方法之一,研究其在海洋性气候条件下的适用性。

2.4 Akima 插值

Akima 插值法在各子区间内采用三次多项式函数逼近,利用一个点加上该点前后各两点共 5 个数据点来计算中间点的导数值,是一种一阶光滑性的局域插值法,保证一阶导数连续的同时只用到部分邻近数据,插值曲线的光滑性、保形性和抗扰性比三次样条更好。但 Akima 插值从未用于气象数据的插值计算中,顾及三次样条插值在气象数据逐时化中的普遍优越性,将 Akima 插值法应用于气象数据的逐时化并研究其适用性。

2.5 径向基插值

径向基插值是基于径向基函数的插值方法,“通过引入核函数”来刻画数据的局部化特征。径向基函数是一类特殊的基函数,最常用基函数的就是“高斯基函数”。径向基插值常被应用于气象数据的空间插值并能取得较好的插值结果。本文将将其应用于一维气象数据的插值并研究其适用性。

3 研究方法及评价指标

3.1 研究方法

中国较早在西沙建有固定的气象观测站点,可观测常规气象参数,气温、相对湿度、风速风向等,西沙只有 4 次定时观测数据。2012 年 5 月新增永兴岛、黄岩岛和永暑岛的定点天气预报,增加了太阳辐射、酸雨、紫外线强度等参数的观测。因此基于定点观测数据进行逐时化插值的研究具有重要的现实意

义。本文选取站点时间间隔为 3 h 的温度、露点温度、相对湿度、风速以及大气压数据。分别采用线性插值、三次样条插值、分段三次 Hermite 插值、Akima 插值和径向基插值法对站点的定时数据进行插值。计算各站点插值的逐时数据与观测数据之间的误差,作为代表各站点气象参数逐时化结果有效性和准确性的评判标准。

3.2 评价指标

为了比较各插值方法的适用性,采用以下两种误差评价指标。

1) 和方差 SSE (Sum of Squares due to Error) 计算公式为

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \tag{1}$$

2) 决定系数 R^2 (R-Squared) 计算公式为

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_i (\bar{y} - y_i)^2} \tag{2}$$

式中: y_i 为第 i 个真实值, $\hat{y}_i$ 为第 i 个预测值, $\bar{y}$ 为样本真实值的平均值, n 为样本总数。

SSE 计算的是预测数据与真实数据对应点的残差的平方和,数值大小取决于模型计算数据本身。数值越小表明模型预测结果越精确。因 SSE 计算无范围限制,为得到更为精确评价结果,加入决定系数 R^2 用来进一步评价模型的拟合优度。 R^2 的取值范围为[0,1]。 R^2 越接近 1 表明预测值与真实值的拟合效果越好,模型的适用性越高。两种评价指标结合,可表明真实值与预测值之间的偏差大小;可分析真实值与预测值之间整体的拟合情况;可对比不同量纲气象参数之间的误差情况。

4 气象参数逐时化结果分析

4.1 温度实验结果对比分析

图 2 为各站点计算逐时温度数据与观测值之间的冬季 SSE(条形)图和夏季 SSE(折线)图。分析发现:海洋性气候条件下温度数据的逐时化结果与观测值之间的 SSE 在冬、夏季均低于大陆性气候站点,且各站点之间误差波动较为平缓,而大陆性气候站点之间的插值误差随站点纬度下降及海拔升高而增大。体现出海洋性气候条件下温度数据的逐时化精度受地域影响较小,海洋气候下冬季最佳插值方法为三次样条插值法,而大陆气候条件下冬季的最优插值法不同于海洋气候为 Akima 插值法。夏季情况下,分段三次 Hermite 插值在两种气候条件下

大部分站点都能取得最优的插值效果,线性插值误差在所有站点都为最大。

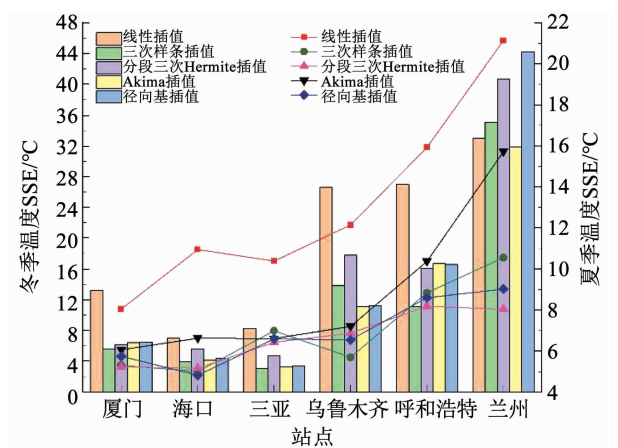


图 2 温度插值和方差

Fig. 2 SSE of temperature interpolation

4.2 露点温度实验结果对比分析

图 3 为各站点逐时露点温度数据与观测值之间的冬季 SSE(条形)图和夏季 SSE(折线)图。对比分析发现:海洋性气候条件下各站点露点温度 SSE 在冬季普遍大于大陆性气候站点而在夏季普遍小于大陆性气候站点(除兰州外),此时线性插值计算得到逐时露点温度数据精度最高。大陆性气候条件下,夏季插值方法的选择受地域影响较大而冬季较小,此时分段三次 Hermite 插值为最优方法。从数轴范围看,两种气候条件下,夏季 SSE 的变化范围几乎是冬季 SSE 变化范围的 4 倍,表明冬季露点温度数据的逐时化精度高于夏季。但海洋性气候条件下冬、夏两季的插值误差差异较小而大陆性气候地区冬、夏两季插值误差差异较大。

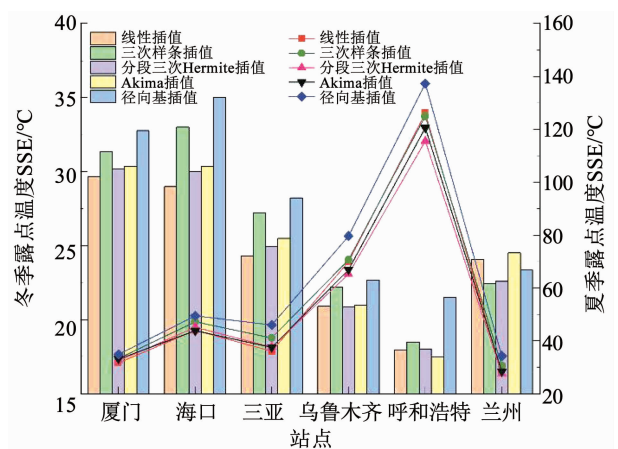


图 3 露点温度插值和方差

Fig. 3 SSE of dew point temperature interpolation

4.3 相对湿度实验结果对比分析

图 4 为各站点逐时相对湿度数据与观测值之间

的冬季 SSE (条形) 图和夏季 SSE (折线) 图。对比分析发现: 在海洋性气候条件下, 各站点夏季湿度 SSE 均大于冬季, 表明夏季湿度数据的插值精度低于冬季, 冬季湿度的最佳插值法为 Akima 插值法而夏季湿度的最佳插值法为分段三次 Hermite 插值。大陆性气候地区除呼和浩特以外夏季湿度 SSE 均小于冬季, 夏季湿度数据的插值精度高于冬季, 冬季湿度的最佳插值法随站点的改变而改变, 乌鲁木齐、呼和浩特、兰州冬季湿度的最佳插值法分别为分段三次 Hermite 插值、Akima 插值和线性插值, 表明大陆性气候条件下湿度数据的最佳插值法受地域影响较大, 夏季湿度最佳插值法与海洋性气候条件下相同, 为分段三次 Hermite 插值。

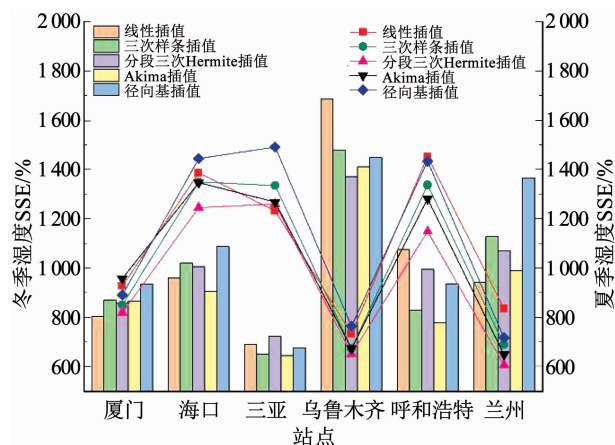


图 4 湿度插值和方差

Fig. 4 SSE of humidity interpolation

4.4 风速实验结果对比分析

图 5 为插值得到各站点逐时风速数据与观测值之间的冬季 SSE (条形) 图和夏季 SSE (折线) 图。对比分析发现: 海洋性气候条件下风速数据的插值 SSE 在冬、夏两季均随站点经度下降而减小且远低于大陆性气候站点。从数轴上看, 两种气候条件下, 各站点冬季风速 SSE 均高于夏季, 但海洋性气候条件下冬、夏两季差异较小且随站点纬度下降方法间的差异被削弱, 而大陆性气候条件下冬、夏两季 SSE 差异较大, 且冬季 SSE 变化较为平缓而夏季波动较为剧烈。Akima 插值法反演逐时风速的模拟结果在冬、夏两季大部分站点误差最小, 方法最优。

4.5 大气压实验结果对比分析

图 6 为插值得到各站点逐时大气压数据与观测值之间的冬季 SSE (条形) 图和夏季 SSE (折线) 图。对比分析发现: 海洋性气候条件下冬、夏两季插值方法的差异造成了较大的误差差别, 且夏季 SSE 小于冬季但变化趋势基本一致。大陆性气候条件下, 除乌鲁木齐, 其他站点均满足夏季 SSE 小于冬季。表

明两种气候条件下, 夏季逐时化精度显著高于冬季。Akima 插值在所有站点的冬、夏两季均具有最好的计算精度。

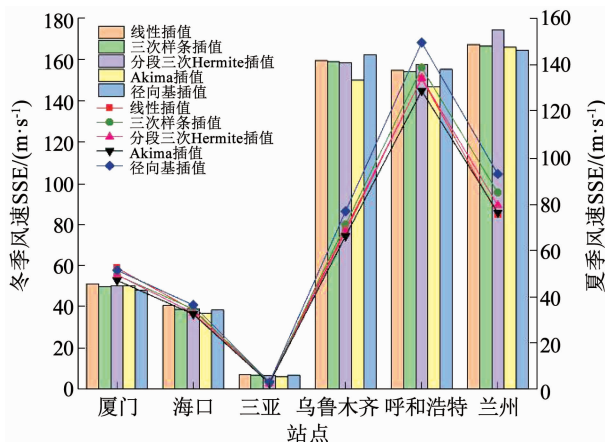


图 5 风速插值和方差

Fig. 5 SSE of wind speed interpolation

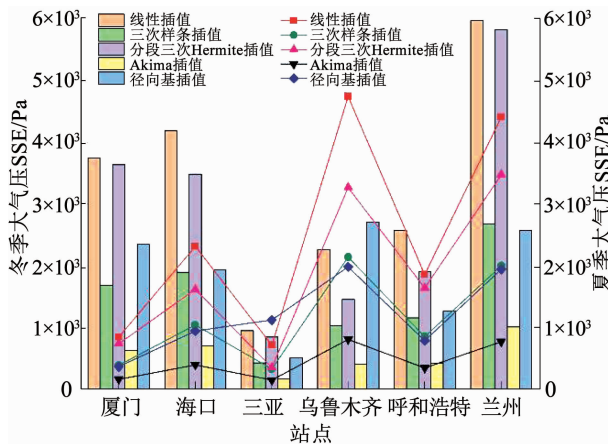


图 6 大气压插值和方差

Fig. 6 SSE of atmospheric pressure interpolation

4.6 不同气象参数实验结果对比分析

分析各站点的 5 种插值方法的决定系数 R^2 可以发现: 5 种插值方法逐时化结果的决定系数表现出总体相同的变化趋势。因为 5 种方法的变化趋势基本相同, 只给出了三次样条插值和三次 Hermite 插值的图形 (这两种方法的海洋适用性较好), 如图 7、8 所示。

由图 7、8 看出, 风速的标准值与插值结果相关性最差, R^2 的最小值 (0.656) 产生于乌鲁木齐冬季 (径向基插值)。海洋性气候条件下冬、夏两季的风速数据拟合度均显著优于大陆气候站点。露点温度夏季的 R^2 总体上高于风速低于湿度, 且海洋性气候条件下露点温度拟合度稍弱于大陆性气候站点; 冬季大陆性气候条件下露点温度 R^2 高于湿度低于温度, 露点温度 R^2 最大值 (0.984) 产生于呼和浩特冬季 (Akima 插值), 最小值 (0.688) 产生于三亚夏季 (径向基插值)。

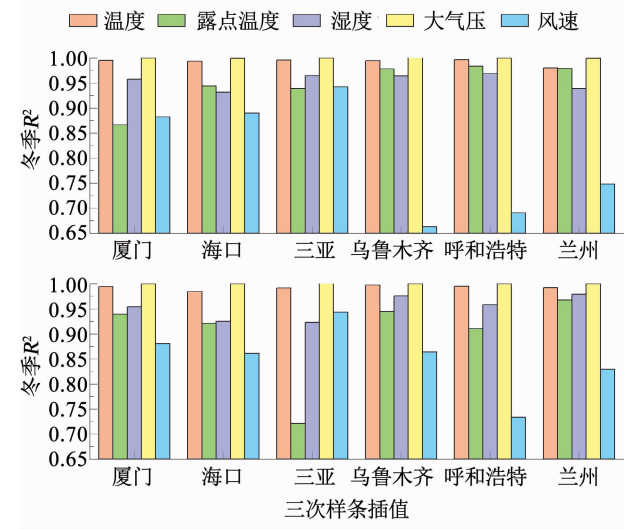


图 7 三次样条插值决定系数

Fig. 7 R^2 of cubic spline interpolation

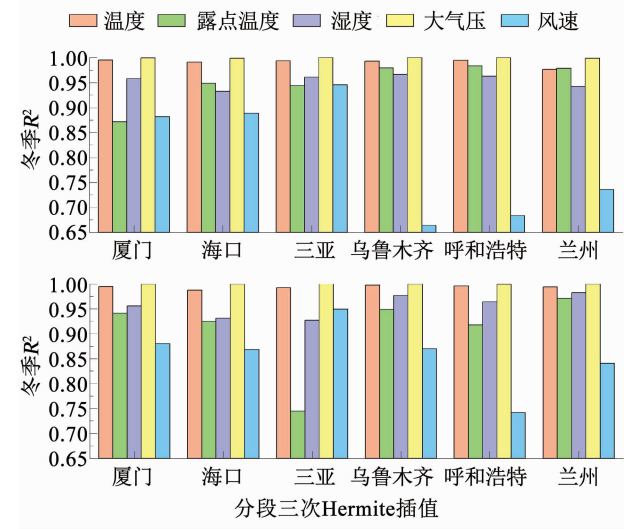


图 8 分段三次 Hermite 插值决定系数

Fig. 8 R^2 of piecewise cubic Hermite interpolation

海洋性气候条件下夏季湿度数据拟合优度大于大陆性气候站点, R^2 最大值(0.982)产生于兰州夏季(分段三次 Hermite 插值)。最小值(0.913)产生于三亚夏季(径向基插值); 温度在大部分站点逐时化结果与观测值之间具有较高的相关性, 插值精度仅次于大气压。温度 R^2 的最大值(0.998)产生于乌鲁木齐夏季(三次样条插值), 最小值(0.974)产生于兰州冬季(径向基插值)。大气压数据的 R^2 的最大值(0.999)产生于海口夏季(Akima 插值)。最小值(0.997)产生于兰州冬季(线性插值)。大气压插值精度在 5 种气象参数中最高。

温度、大气压数据的 R^2 均稳定在 0.974 以上且随站点变化数值波动较小, 插值精度受地域影响小。湿度、露点温度、风速数据的 R^2 随站点改变数值波动较大, 由大到小依次为风速、露点温度、湿度, 体现

出这 3 种气象参数的插值精度受地域影响的程度的差异。

5 结 论

1) 温度和湿度的最佳插值法有季节性差异。冬季温度的最佳插值法为三次样条插值, 湿度为 Akima 插值, 夏季分段三次 Hermite 插值对于温湿度均具有最好的插值精度。露点温度、风速和大气压的最佳插值法无季节性差异, 露点温度为线性插值法, 风速和大气压同为 Akima 插值法。

2) 夏季风速数据的插值可靠性最低, 其次是露点温度、湿度、温度, 大气压数据的插值精度最高。冬季露点温度的插值精度低于风速, 插值精度由小到大为露点温度、风速、湿度、温度和大气压。

3) 温度、大气压数据插值精度受地域影响小。湿度、露点温度、风速插值精度随站点改变数值波动较明显, 受地域影响的程度由大到小依次为风速、露点温度和湿度。

4) 海洋性气候和大陆性气候条件下各气象参数适用的插值方法和计算精度均存在明显差异, 应根据气候特征选择合适的逐时化计算方法。

后续研究中, 应针对特殊气候区研究适用的逐时化方法以获取描述当地天气状况更为精确的逐时气象数据, 为建筑能耗模拟及节能设计研究做好基础数据的准备工作。

参考文献

[1] LI B Z, YAO R M. Building energy efficiency for sustainable development in China: Challenges and opportunities[J]. Building Research and Information, 2012, 40(4): 417. DOI:10.1080/09613218.2012.682419

[2] PIETER W. Building performance analysis[M]. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 2018. DOI:10.1002/9781119341901

[3] BAI Lujian, YANG Liu, SONG Bing, et al. A new approach to develop a climate classification for building energy efficiency addressing Chinese climate characteristics[J]. Energy, 2020, 195: 116982. DOI:10.1016/j.energy.2020.116982

[4] 潘霄, 叶小岭, 熊雄, 等. 基于三次样条插值的探空气温质量控制研究[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(2): 90

PAN Xiao, YE Xiaoling, XIONG Xiong, et al. Research on quality control of air temperature based on cubic spline interpolation[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2019, 40(2): 90. DOI:10.3969/j.issn.1673-8411.2019.02.021

[5] 张彦云, 王玉英, 霍旭杰, 等. 建筑热环境分析干球温度逐时计算方法比较: 以上海地区为例[J]. 暖通空调, 2017, 47(3): 108

ZHANG Yanyun, WANG Yuying, HUO Xujie, et al. Comparison of hourly dry-bulb temperature calculation methods for analysis of building thermal environment: Taking Shanghai area as an example[J]. HVAC, 2017, 47(3): 108

[6] 朱业玉, 宋丽莉, 姬兴杰, 等. 基于分段三次样条函数逐时气象

- 资料模拟方法研究[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(2): 44
- ZHU Yeyu, SONG Lili, JI Xingjie, et al. Modeling method of hourly meteorological data based on piecewise cubic spline function[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2017, 33(2): 44. DOI: 10.3969/j. issn. 1673-503X. 2017. 02. 006
- [7] PERNIGOTTO G, PRADA A, GASPARELLA A. Extreme reference years for building energy performance simulation[J]. Journal of Building Performance Simulation, 2020, 13(2): 152. DOI: 10.1080/19401493. 2019. 1585477
- [8] 高庆龙, 杨柳, 刘大龙, 等. 建筑热环境模拟分析用逐时相对湿度生成方法[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(6): 203
- GAO Qinglong, YANG Liu, LIU Dalong, et al. The method of getting hourly relative humidity for building thermal condition simulation[J]. Sichuan Building Science, 2007, 33(6): 203. DOI: 10.3969/j. issn. 1008-1933. 2007. 06. 051
- [9] BIN ABDUL KARIM S A, KUMAR RAJUS S S. Wind velocity data interpolation using rational cubic spline[J]. MATEC Web of Conferences, 2018, 225: 04006. DOI: 10.1051/mateconf/201822504006
- [10] 安云飞. 一种用于 BDS-3 接收机的分段 Hermite 插值方法[J]. 全球定位系统, 2020, 45(4): 95
- AN Yunfei. A piecewise Hermite interpolation method for BDS-3 receiver[J]. GNSS World of China, 2020, 45(4): 95. DOI: 10.13442/j. gnss. 1008-9268. 2020. 04. 015
- [11] 杨创艳, 王晓东, 罗亭, 等. 一种改进的 LCD 滚动轴承故障特征提取方法[J]. 机械科学与技术, 2020, 40(1): 22
- YANG Chuangyan, WANG Xiaodong, LUO Ting, et al. An improved LCD fault features extraction method for rolling bearing [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2020, 40(1): 22. DOI: 10.13433/j. cnki. 1003-8728. 20190335
- [12] 何桂芳, 刘民士, 费立凡. 基于改进 AKIMA 算法的等高线山顶点提取[J]. 测绘科学技术学报, 2019, 36(4): 400
- HE Guifang, LIU Minshi, FEI Lifan. Peak extraction from contour based on the improved AKIMA algorithm[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2019, 36(4): 400. DOI: 10.3969/j. issn. 1673-6338. 2019. 04. 013
- [13] 雷庆坤, 李生虎, 陈曦鸣, 等. 基于改进的 LMD 和 GRNN 组合风速预测[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015, 38(7): 891
- LEI Qingkun, LI Shenghu, CHEN Ximin, et al. Composite wind speed forecasting model based on improved LMD and GRNN[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2015, 38(7): 891. DOI: 10.3969/j. issn. 1003-5060. 2015. 07. 006
- [14] 周银明, 吴达胜. 基于 RBF 和 IDW 的气象要素插值方法比较[J]. 计算机时代, 2019(10): 8
- ZHOU Yingming, WU Dasheng. Comparison of RBF and IDW interpolation methods in interpolation of meteorological elements [J]. Computer Era, 2019(10): 8. DOI: 10.16644/j. cnki. cn33-1094/tp. 2019. 10. 003
- [15] 李强. 基于地统计的区域气象要素空间插值与分布研究[J]. 资源开发与市场, 2012, 28(5): 393
- LI Qiang. Spatial interpolation method and spatial distribution characteristics of Temperature and precipitation in south loess plateau[J]. Resource Development and Market, 2012, 28(5): 393. DOI: 10.3969/j. issn. 1005-8141. 2012. 05. 004
- [16] 崔亚平, 谢静超, 张晓静, 等. 中国海陆气候差异性及其海域建筑气候区划现状[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(2): 191
- CUI Yaping, XIE Jingchao, ZHANG Xiaojing, et al. Sea-land climate differences and ocean building climate partition situation in our country[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(2): 191. DOI: 10.11918/j. issn. 0367-6234. 201709096
- [17] NEMATCHOUA M K, YVON A, KALAMEU O, et al. Impact of climate change on demands for heating and cooling energy in hospitals: An in-depth case study of six islands located in the Indian Ocean region[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 44: 629. DOI: 10.1016/j. scs. 2018. 10. 031

(编辑 张 红)