

基于 ERA5 数据生成阳江近海室外空气计算参数

肖国锋¹, 何娜萍¹, 盖世博², 尹凯丽², 谢静超²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 广东 510799;

2. 北京工业大学 绿色建筑环境与节能技术北京市重点实验室, 北京 100124)

摘要: 现行 GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》缺少海域室外空气计算参数。基于 1985—2014 年 ERA5 数据生成阳江近海室外空气计算参数。首先以中国气象局提供的阳江地面实测数据为基准, 通过偏差分析验证了基于 ERA5 数据生成室外空气计算参数是可行的。然后基于 ERA5 数据生成沿阳江陆地(21.9°N, 111.96°E)减小六次 0.25° 纬度的海域室外空气计算参数, 包括夏季空气调节室外计算干球温度、湿球温度、日平均温度, 冬季空气调节室外计算温度、相对湿度, 夏季通风室外计算温度、相对湿度, 冬季通风室外计算温度。由阳江陆地(21.9°N, 111.96°E)至海域(20.4°N, 111.96°E), 夏季空气调节室外计算干球温度降低了 3.6℃, 冬季空气调节室外计算干球温度升高了 7℃, 夏季通风室外计算相对湿度升高了 12.5%。如果海域选用就近陆地城市的室外空气计算参数, 将影响设备选型。

关键词: ERA5 数据; 室外空气计算参数; 海域; 设备选型

中图分类号: TU111

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)06-0912-07

Generating Yangjiang offshore outdoor air calculation parameters based on ERA5 data

XIAO Guofeng¹, HE Naping¹, GAI Shibo², YIN Kaili², XIE Jingchao²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangdong 510799, China;

2. Key Laboratory of Green Built Environment and Energy Efficient Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The GB50736—2012 “Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings” lacks the outdoor design conditions in sea areas. This paper generates outdoor design conditions for Yangjiang offshore based on ERA5 data from 1985—2014. Firstly, based on the ground measured data of Yangjiang provided by the China Meteorological Administration, the deviation analysis verified that it is feasible to generate outdoor design conditions based on ERA5 data. Then, based on the ERA5 data, the outdoor air calculation parameters for the sea area with six 0.25° latitude decreases along the Yangjiang land (21.9°N, 111.96°E) were generated, including the outdoor design dry-bulb temperature, wet-bulb temperature and mean daily temperature for summer air conditioning, outdoor design temperature and relative humidity for winter air conditioning, outdoor design temperature and relative humidity for summer ventilation, and outdoor design temperature for winter ventilation. From Yangjiang land (21.9°N, 111.96°E) to the sea (20.4°N, 111.96°E), the outdoor design dry-bulb temperature for summer air conditioning decreases by 3.6℃, and the outdoor design dry-bulb temperature for winter air conditioning increases by 7℃, and the outdoor design relative humidity for summer ventilation increases by 12.5%. If the sea area selects the outdoor design conditions of the nearby land city, it will affect the equipment selection.

Key words: ERA5 data, outdoor air calculation parameters, sea area, equipment selection

随着经济高速发展, 能源需求不断提高。海上风电作为一种可靠、不占用土地的可再生能源, 近年来发展迅速^[1-2]。根据我国各省的规划, 更大规模(总装机容量 2 GW 级以上)和更远离岸距离(大于 100 km)的海上风电集中送出的工程开发近在咫尺。海上换流站是海上风电送出的关键。为

收稿日期: 2022-10-17 修回日期: 2023-11-27

基金项目: 海上电力平台环控系统研究基金资助项目(EV06721W); 国家自然科学基金重点项目(51838011)

第一作者: 肖国锋(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力工程暖通设计, E-mail: xiaoguofeng@gedi.com.cn

通信作者: 盖世博(1994—), 男, 博士生, 主要从事建筑节能方面的研究, E-mail: 604885147@qq.com

满足海上换流站设计需要,提高设计水平,确保海上换流站各设备能稳定运行,需要科学、准确的室外空气计算参数。

室外空气计算参数是用于建筑负荷计算与设备选型的基础数据^[3-5]。从 TJ19—1975《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》到 GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》,我国已形成较为完备的室外计算参数确定体系^[6]。同时大量学者开展了包括“室外计算参数统计方法”^[7-9]、“同时发生的室外计算参数的确定方法”^[10]、“多不保证率的数据扩充”^[11]、“气候变化与统计年限对室外计算参数的影响”^[3, 12]等各方面研究。对于海洋设计参数, QHS 3008—2016《海上平台采暖通风空调冷库系统设计方法》^[13]给出了黄海、渤海、东海和南海的设计温度、湿度; ANSI/ASHRAE Standard 26—2010^[14]为海上平台提供了从 4℃ 到 50℃ 的设计温度,但数据范围过大,无法达到精细化设计的要求。由于目前各地实测海洋气象数据十分匮乏,海域地区室外空气计算参数的分析研究并不完善,直接影响海域建筑负荷计算与设备选型的准确性。现行 GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中,对于未记录的城市,其计算参数可参考就近或地理环境相近的城市确定^[15]。而海洋与陆地有截然不同的气候特点^[16]。为海域地区选用就近陆地的室外空气计算参数,其合理性有待商榷。综上,由于海陆气候特点不同,且随着工程需求与设计精度要求的提高,有必要生成近海海域室外空气计算参数。

本文以阳江(21.9°N, 111.96°E)及其近海区域为例,基于欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 简称 ECMWF)提供的近 30 年(1985—2014)第五代大气再分析资料(ECMWF Reanalysis v5, 简称 ERA5)生成该区域室外空气计算参数。并以中国气象局提供的阳江近 30 年(1985—2014)实测气象数据进行验证。技术路线如图 1 所示。本研究改善了海域地区室外空气计算参数参考就近城市取值的缺陷,为今后海域地区生成室外空气计算参数提供参考。

1 数据来源及方法

1.1 数据来源

本研究以阳江台站(21.9°N, 111.96°E)及其近海区域为研究区。气象数据来源于欧洲中期天气预报中心提供的 ERA5 再分析资料,地理范围

为 22~20.25°N, 111.75~112°E, 时间分辨率为 1 h, 网格分辨率为 0.25°×0.25°, 数据记录年限为 1985—2014 年。ERA5 再分析资料是 ECMWF 通过对各种来源(地面、船舶、无线电探空、测风气球、飞机、卫星等)的观测资料进行质量控制和同化处理,获得的第五代全球气候再分析资料,具有时间尺度长、数据稳定性好、覆盖空间范围广等优点^[17]。

同时以国家气象科学数据中心(<http://www.nmic.cn/>)提供的阳江台站地面实测气象数据集作为验证集,其气象记录间隔为 6 h。两类数据集获取的气象要素包括干球温度、相对湿度、大气压力,数据记录年限为 1985—2014 年。

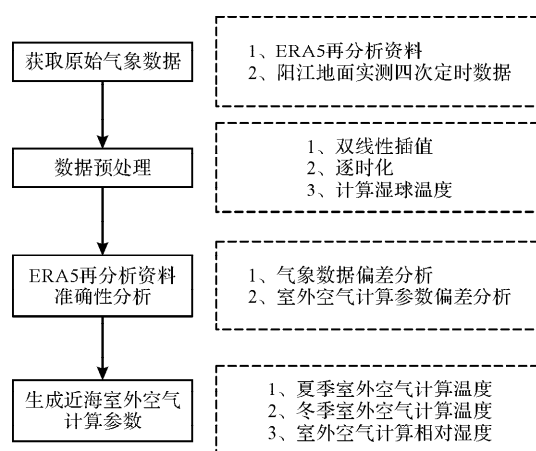


图 1 基于 ERA5 数据生成阳江及近海室外空气计算参数技术路线图

Fig. 1 Technical roadmap for generating outdoor air calculation parameters in Yangjiang offshore area based on ERA5 data

1.2 双线性插值方法

由于 ERA5 格网点坐标与气象观测站坐标并不重合,引入双线性插值方法将 ERA5 标准网格(0.25°×0.25°)点的数据空间插值到气象观测站的经纬度上^[18]。图 2(a)为双线性插值的原理图,其中 Q_{11} 、 Q_{12} 、 Q_{21} 、 Q_{22} 为已知点,首先在 x 方向进行线性插值得到 R_1 和 R_2 数值,然后在 y 方向进行线性插值得到未知点 P 的数据。双线性插值公式见(1)~(3)。

$$f(x, y_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad (1)$$

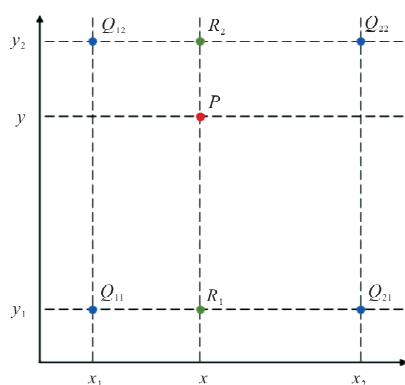
$$f(x, y_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \quad (2)$$

$$f(x, y) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2) \quad (3)$$

式中: $f(x, y)$ 为所要插值处理坐标 (x, y) 对应的数值; x_1 为所求插值点对应 ERA5 网格经度区间

的最小边界值; x_2 为所求插值点对应选取 ERA5 网格经度区间的最大边界值; y_1 为所求插值点对应选取 ERA5 网格纬度区间的最小边界值; y_2 为所求插值点对应选取 ERA5 网格纬度区间的最大边界值; Q_{11} 、 Q_{21} 、 Q_{12} 、 Q_{22} 分别为地理坐标 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_1) 、 (x_1, y_2) 、 (x_2, y_2) 对应的数值。

如 2(b) 所示, 采用双线性插值将 22~20.25°N, 111.75~112°E 范围内 ERA5 数据气象数据空间插值, 得到阳江地理坐标 A 点 (21.9°N, 111.96°E) 与沿着 111.96°E 依次减小六次 0.25° 纬度 (B~G 点) 对应的数据, 其中 A 点到 G 点约 166.7 km。



(a) 双线性插值原理图



(b) 阳江近海区域插值点

图 2 双线性插值原理图与阳江近海区域插值点

Fig. 2 Bilinear interpolation principle diagram and interpolation points in the Yangjiang offshore area

1.3 气象参数补全方法

由于阳江气象站实测数据为四次定时数据, 仅干球温度包含日极值数据, 需要对其进行逐时化处理。本研究参考《中国建筑热环境分析专用气象数据集》^[19] 的方法, 通过三次样条插值对气象数据进行逐时化处理。基于阳江实测干球温度数据, 按照四次定时和日最高、日最低温度划分插值区

间, 设置日最高温度和日最低温度插值点上的一阶导数为零, 通过第一类边界条件三次样条插值方法对干球温度进行逐时化处理。而对于湿球温度、相对湿度、大气压力来说, 由于其没有日极值数据, 所以直接按照自然边界条件进行逐时化处理。

ERA5 数据、阳江气象站实测数据都缺少湿球温度这一气象参数。本研究通过干球温度、露点温度和大气压等相关参数计算得到准确的湿球温度^[20]。

1.4 偏差分析方法

本研究采用平均绝对误差 (Mean Absolute Error, MAE)、Pearson 相关系数、标准均方根误差 (Normalized Root Mean Square Error, NRMSE), 对 ERA5 数据和实测数据进行统计分析。平均绝对误差表示 ERA5 数据与实测数据之间差值绝对值的平均值, MAE 值越小表明 ERA5 数据与实测数据之间的偏差越小, 计算方法见公式 (4)。Pearson 相关系数是衡量变量之间关联程度的统计指标, 相关系数的绝对值越大相关性越强, 相关系数绝对值在 0.8~1.0 范围内表示相关性极强^[21], 计算方法见公式 (5)。NRMSE 反应了预测值与实测值的接近程度, NRMSE 值越小表明预测值与实测值的一致性越好, NRMSE 在 10% 以内表明预测精度高^[22], 计算方法见公式 (6)。

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(v_i - w_i)|}{n} \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(w_i - \bar{w})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}} \quad (5)$$

$$NRMSE = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - w_i)^2}{n}} \right] \left/ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \right. \times 100\% \quad (6)$$

式中: v_i 为 ERA5 数据值, 该量的单位取决于要素类型; w_i 为实测数据值, 该量的单位取决于要素类型。

1.5 室外空气计算参数方法

根据 GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[7, 15], 计算夏季空气调节室外计算干球温度、夏季空气调节室外计算湿球温度、夏季空气调节室外计算日平均温度、冬季空气调节室外计算温度、冬季空气调节室外计算相对湿度、夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度、冬季通风室外计算温度, 具体计算方法如下:

(1) 夏季空气调节室外计算干球温度: 应采用

- 累年平均每年不保证 50 h 的干球温度.
- (2) 夏季空气调节室外计算湿球温度: 应采用累年平均每年不保证 50 h 的湿球温度.
- (3) 夏季空气调节室外计算日平均温度: 应采用累年平均每年不保证 5 d 的日平均温度.
- (4) 冬季空气调节室外计算温度: 应采用累年平均每年不保证 1 天的日平均温度.
- (5) 冬季空气调节室外计算相对湿度: 应采用历年最冷月月平均相对湿度的平均值.
- (6) 夏季通风室外计算温度: 应采用历年最热月 14 时平均温度的平均值.
- (7) 夏季通风室外计算相对湿度: 应采用历年最热月 14 时的平均相对湿度的平均值.
- (8) 冬季通风室外计算温度: 应采用历年最冷月月平均温度的平均值.

2 ERA5 数据准确性分析

2.1 气象数据偏差分析

本研究通过 ERA5 数据与阳江实测定时数据对比、逐时化处理后的数据对比两方面验证 ERA5 数据的准确性. 表 1 分别以阳江气象站四次定时实测数据与逐时数据为基准, 统计了 ERA5 数据在干球温度、相对湿度、大气压力、湿球温度参数上的偏差. 统计 ERA5 数据与阳江四次定时、逐时数据层面的平均绝对偏差, 干球温度的平均绝对偏差分别为 0.81℃、0.99℃, 相对湿度的平均绝对偏差分别为 5.01%、5.20%, 大气压力的平均绝对偏差分别为 4.37 hPa、4.35 hPa, 湿球温度的平均绝对偏差分别为 0.61℃、0.76℃. 统计 ERA5 数据与阳江四次定时、逐时数据层面的相关系数, 干球温度的平均绝对偏差分别为 0.98、0.98, 相对湿度的平均绝对偏差分别为 0.91、0.90, 大气压力的平均绝对偏差分别为 0.86、0.86, 湿球温度的平均绝对偏差分别为 0.99、0.99. 统计 ERA5 数据与阳江四次定时、逐时数据层面的标准均方根误差, 干球温度的平均绝对偏差分别为 4.71%、5.72%, 相对湿度的平均绝对偏差分别为 8.43%、8.68%, 大气压力的平均绝对偏差分别为 0.46%、0.46%, 湿球温度的平均绝对偏差分别为 3.97%、4.96%. ERA5 数据与定时实测数据偏差优于与逐时化处理数据的偏差, 这是由于定时数据是实测数据, 而三次样条插值是拟合值. 这也表明 ERA5 数据与实测数据偏差较小, 同时表明 ERA5 数据很好地表征了气象数据的日变化规律, 具有代表性.

综合来看, ERA5 数据各气象要素与地面观测数据的平均绝对偏差较小, R 在 0.86 以上, $NRMSE$ 在 8.68% 以下, 表明 ERA5 数据与地面观测数据偏差小、强相关性、一致性较好. 综上, ERA5 数据的可信度较高.

表 1 ERA5 数据与阳江地面实测数据偏差对比
Tab. 1 Comparision of deviation between ERA5 Yangjiang ground observation data

气象要素	平均绝对偏差	R	$NRMSE/\%$
与四次定时 干球温度/℃	0.81	0.98	4.71
数据对比 相对湿度/%	5.01	0.91	8.43
(样本量: 大气压力/hPa	4.37	0.86	0.46
43 800) 湿球温度/℃	0.61	0.99	3.97
与逐时 干球温度/℃	0.99	0.98	5.72
数据对比 相对湿度/%	5.20	0.90	8.68
(样本量: 大气压力/hPa	4.35	0.86	0.46
262 800) 湿球温度/℃	0.76	0.99	4.96

2.2 室外空气计算参数偏差分析

基于阳江(A 点)ERA5 数据与气象站逐时数据分别生成室外空气计算参数, 以探究 ERA5 数据在生成室外空气计算参数方面的准确性.

图 3 为两类数据集生成阳江室外空气计算参数的散点图. 由图可知, 基于 ERA5 数据与气象站逐时数据生成的室外空气计算参数较为接近. 相较于阳江(21.9°N, 111.96°E)实测数据生成的室外空气计算参数, ERA5 数据生成的夏季空气调节室外计算湿球温度偏差-0.8℃, 夏季空气调节室外计算干球温度、夏季空气调节室外计算日平均温度、夏季通风室外计算温度、冬季空气调节室外计算温度偏差均在一0.2~0.6℃内, 冬季通风室外计算温度两者相等; 冬季空气调节室外计算相对湿度与夏季通风室外计算相对湿度偏差分别为-1.1%、0.8%. 由于双线性插值方法没有考虑高程, 而陆地各点高程并不同, 且受植被与下垫面类型的影响, 可能导致了基于 ERA5 数据与气象站逐时数据生成的室外空气计算参数有一定偏差. 而海域各点高程差异较小, 由双线性插值导致的误差较小. 对于陆地建议基于气象站实测数据生成室外空气计算参数, 而对于海域可以基于 ERA5 数据生成室外空气计算参数. 整体来看, 基于 ERA5 数据与气象站逐时数据生成的室外空气计算参数较为接近, 室外计算温度偏差在 0.8℃内, 室外计算湿度在 1.1%内.

综上所述, ERA5 数据与气象站实测数据的偏差小、相关性强、一致性较好. 基于两类数据集

生成阳江室外空气计算参数较为接近,表明基于 ERA5 数据生成室外空气计算参数是可行的。

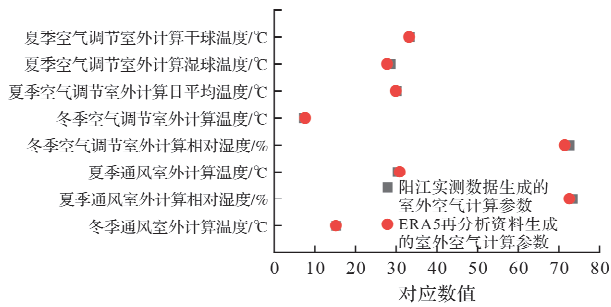


图3 阳江(A点)室外空气计算参数散点图

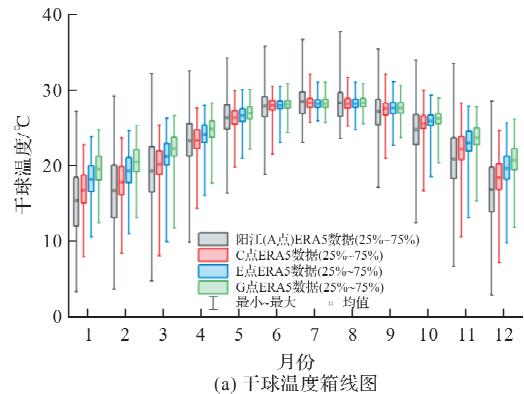
Fig. 3 Outdoor air calculation parameters in Yangjiang

3 近海与陆地气象特征差异分析

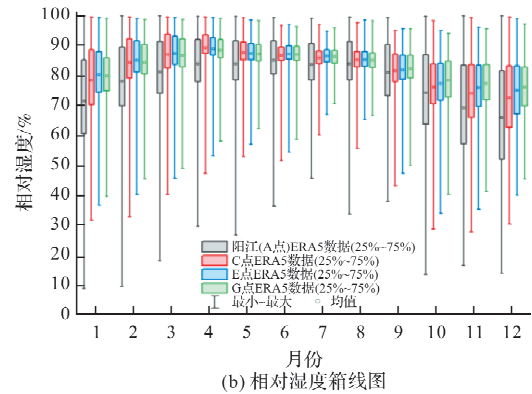
图4为阳江及其近海区域干球温度、相对湿度箱线图。由阳江(A点)到近海区域(C、E、G点),两类气象要素25%~75%分位区均逐渐上移,干球温度均值由15.2~28.4℃升高至19.5~28.2℃,相对湿度均值由66.7%~86.4%升高至76.2%~88.4%。近海区域G点相比于阳江(A点)干球温度最大值平均低4.7℃,干球温度最小值平均高6.8℃;相对湿度最大值接近,而最小值平均高29.5%。整体来看,由阳江陆地到近海区域干球温度、相对湿度平均值逐渐升高,而干球温度最大值降低,干球温度、相对湿度最小值升高,气象数据波动变小。

室外空气计算参数是通过对气象数据进行排序,结合不保证小时(日)方法生成的。由于近海区域与陆地的干球温度、相对湿度数据分布差异较大,基于近海区域与陆地气象数据生成的室外空

气计算参数也会有所差异。因此有必要区别海陆分别生成室外空气计算参数。



(a) 干球温度箱线图



(b) 相对湿度箱线图

图4 阳江及其近海区域气象 ERA5 数据箱线图

Fig. 4 Boxplot of meteorological ERA5 data of Yangjiang

4 基于 ERA5 数据生成室外空气计算参数

4.1 室外空气计算参数结果

基于 ERA5 数据,计算了阳江及其近海区域七组(A-G点)室外空气计算参数,结果见表2。

表2 基于 ERA5 数据生成的阳江及其近海区域室外空气计算参数

Tab. 2 Outdoor air calculation parameters for Yangjiang and its offshore areas generated based on ERA5 data

位置	A(阳江)	B	C	D	E	F	G
纬度/°N	21.9	21.65	21.4	21.15	20.9	20.65	20.4
经度/°E	111.96	111.96	111.96	111.96	111.96	111.96	111.96
夏季空气调节室外计算干球温度/℃	33.2	31.6	29.8	29.7	29.6	29.6	29.6
夏季空气调节室外计算湿球温度/℃	27.8	27.7	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
夏季空气调节室外计算日平均温度/℃	29.9	29.8	29.3	29.3	29.2	29.2	29.3
冬季空气调节室外计算温度/℃	7.6	9.2	10.9	11.9	12.9	13.8	14.6
冬季空气调节室外计算相对湿度/%	71.5	74.0	78.3	79.7	80.2	80.2	79.8
夏季通风室外计算温度/℃	30.9	29.9	28.4	28.4	28.3	28.3	28.3
夏季通风室外计算相对湿度/%	72.6	77.7	84.1	84.4	84.9	85.1	85.1
冬季通风室外计算温度/℃	15.2	16.0	16.7	17.4	18.1	18.9	19.5

4.2 阳江陆地至近海区域计算参数变化分析

图5为基于 ERA5 数据生成的阳江及其近海区域夏季室外空气计算温度、冬季室外空气计算温度、室外空气计算相对湿度的点线图。

由图可知,从21.9°N~20.4°N随着地理位置

由阳江陆地移向海域,夏季空气调节室外计算干球温度、夏季通风室外计算温度逐渐降低,分别从33.2℃降低至29.6℃,30.9℃降低至28.3℃;夏季空气调节室外计算湿球温度、夏季空气调节室外计算日平均温度略有降低,分别从27.8℃降

低至 27.6℃, 29.9℃降低至 29.3℃. 冬季空气调节室外计算温度、冬季通风室外计算温度逐渐升高, 分别从 7.6℃升高至 14.6℃, 15.2℃升高至 19.5℃; 冬季空气调节室外计算相对湿度、夏季通风室外计算相对湿度逐渐升高, 分别从 71.5%升高至 79.8%, 72.6%升高至 85.1%.

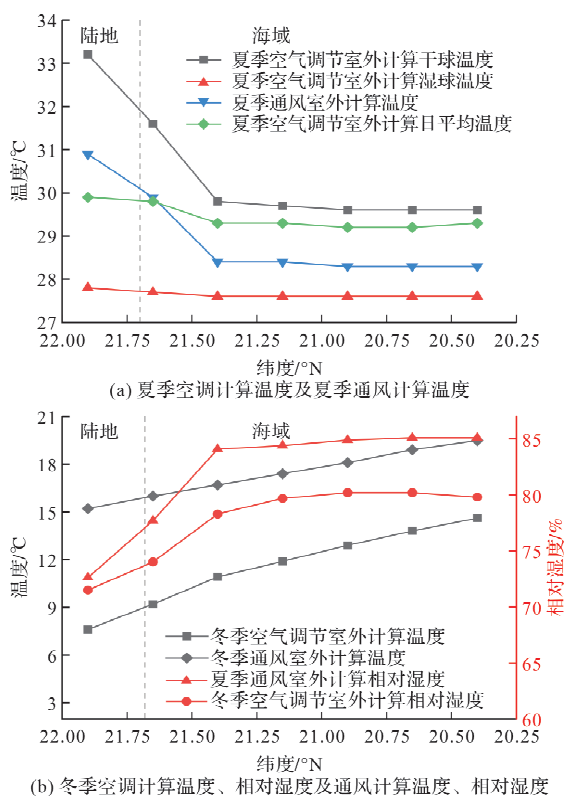


图5 阳江及其近海区域室外空气计算参数

Fig. 5 Outdoor air calculation parameters in Yangjiang and its offshore areas

由阳江陆地(21.9°N, 111.96°E)至海域(20.4°N, 111.96°E), 夏季室外空气计算温度的降低, 将导致新风负荷降低, 使室内的制冷能耗降低, 有利于节能工作. 冬季室外空气计算温度的上升, 有利于减少冬季空调设计负荷, 具有明显的节能潜力^[23]. 室外空气计算相对湿度的升高, 会增加除湿负荷. 综上, 海域与相近的陆地的室外空气计算参数并不相同. 如果海域选用就近陆地城市的室外空气计算参数, 将影响设备选型.

5 结论

本文以阳江及其近海区域为例, 首先采用双线性插值对近 30 年(1985—2014)ERA5 数据空间插值, 得到阳江及其近海区域 ERA5 数据. 并以中国气象局提供的阳江实测气象数据为基准, 分别从气象数据、室外空气计算参数两方面验证 ERA5 数据准确性. 最后基于 ERA5 数据生成阳江及其近海区域室外空气计算参数. 主要结论如下:

(1)ERA5 数据各气象要素与地面观测数据的平均绝对偏差较小, R 在 0.86 以上, $NRMSE$ 在

8.68%以下, 表明 ERA5 数据的可信度较高. 就阳江而言, 基于 ERA5 数据与气象站逐时数据生成的室外空气计算参数较为接近, 室外计算温度偏差在 0.8℃内, 室外计算湿度偏差在 1.1%内. 基于 ERA5 数据生成室外空气计算参数是可行的;

(2)基于 ERA5 数据生成沿阳江陆地(21.9°N, 111.96°E)减小六次 0.25°纬度的海域室外空气计算参数, 包括夏季空气调节室外计算干球温度、夏季空气调节室外计算湿球温度、夏季空气调节室外计算日平均温度、冬季空气调节室外计算温度、冬季空气调节室外计算相对湿度、夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度、冬季通风室外计算温度;

(3)由阳江陆地(21.9°N, 111.96°E)至海域(20.4°N, 111.96°E), 夏季空气调节室外计算干球温度从 33.2℃降低至 29.6℃; 冬季空气调节室外计算温度从 7.6℃升高至 14.6℃; 夏季通风室外计算相对湿度从 72.6%升高至 85.1%. 海域与相近的陆地的室外空气计算参数并不相同. 如果海域选用就近陆地城市的室外空气计算参数, 将影响设备选型.

参考文献 References

- [1] PAPADIS E, TSATSARONIS G. Challenges in the decarbonization of the energy sector [J]. Energy, 2020, 205:118025.
- [2] MENG YQ, YAN SH, WU K, et al. Comparative economic analysis of low frequency AC transmission system for the integration of large offshore wind farms [J]. Renewable Energy, 2021, 179: 1955-1968.
- [3] 杨柳, 齐静妍, 霍旭杰, 等. 气候变化对室外设计条件和冷负荷峰值的影响[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(4): 463-471, 524.
YANG Liu, QI Jingyan, HUO Xujie, et al. Impact of climate change outdoor design conditions and reduction in peak cooling loads[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2021, 53(4): 463-471, 524.
- [4] 曾婷婷, 王玉娇, 刘鸣, 等. 基于不同室外气候条件下蒸发冷却空调系统的性能分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(6): 921-926, 946.
ZENG Tingting, WANG YUjiao, LIU Ming, et al. Performance analysis of evaporative cooling air-conditioning system under different outdoor climate conditions[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2021, 53(6): 921-926, 946.
- [5] HAN O, LI AG, DONG XW, et al. Determination of HVAC meteorological parameters for floating nuclear power stations (FNPSs) in the area of China sea and its vicinity[J]. Energy, 2021, 233: 121084.
- [6] 杨柳, 刘衍, 端木琳, 等. 建筑节能设计基础参数的研究进展[J]. 建筑科学, 2021, 37(6): 155-163, 205.
YANG L, LIU Y, DUANMU L, et al. Research pro-

- gress on the fundamental parameters for building energy efficiency design in China[J]. Building Science, 2021, 37(6): 155-163, 205.
- [7] 崔莹, 燕达, 任兆成, 等. 室外空气计算参数统计方法的研究及更新[J]. 暖通空调, 2016, 46(7): 47-53. CUI Ying, YAN Da, REN Zhaocheng, et al. Research and update on statistical method of outdoor air design parameters[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2016, 46(7): 47-53.
- [8] 刘艳峰, 杨黎黎, 王登甲. 间歇采暖室外计算温度取值方法讨论[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2017, 49(4): 536-541. LIU Yanfeng, YANG Lili, WANG Dengjia. The discussion of value methods used in the outdoor calculated temperature of intermittent heating[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2017, 49(4): 536-541.
- [9] 刘艳峰, 吴美玲, 王莹莹, 等. 基于二元超阈值模型的空调室外计算干湿球温度确定方法研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(6): 890-898. LIU Yanfeng, WU Meiling, WANG Yingying, et al. Study on the determination method of the outdoor design dry-bulb and wet-bulb temperature for air conditioning based on binary super-threshold model[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2019, 51(6): 890-898.
- [10] 吴仕海, 陈友明, 方政诚, 等. 空调设计用同时发生室外气象参数生成模型优化[J]. 建筑科学, 2020, 36(10): 1-11. WU Shihai, CHEN Youming, FANG Zhengcheng, et al. Model optimization of coincident meteorological parameters for risk-based air-conditioning design[J]. Building Science, 2020, 36(10): 1-11.
- [11] 周敏, 杨若溪, 王晶轩. 气象参数统计年限更新与多不保证率扩充在暖通设计中的应用研究[J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(11): 91-95. ZHOU Min, YANG Ruoxi, WANG Jingxuan. Application of updated statistical years of meteorological parameters and expanded multi-non-assurance rate in HVAC design[J]. Building Energy Efficiency, 2021, 49(11): 91-95.
- [12] CAO JF, LI MC, WANG M, et al. Effects of climate change on outdoor meteorological parameters for building energy-saving design in the different climate zones of China[J]. Energy and Buildings, 2017, 146: 65-72.
- [13] 中国海洋石油总公司. 海上平台采暖通风空调冷库系统设计方法: Q/HS 3008—2016[S]. 北京: 石油工业出版社出版, 2017. China National Offshore Oil Corporation. Method of design for heating, ventilation, air-conditioning and refrigerating on the offshore platforms; Q/HS 3008—2016[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.
- [14] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 26-2010. Mechanical refrigeration and air-conditioning installations aboard ship[S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Inc, 2010.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB50736—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB50736—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [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): 191-198. CUI Yaping, XIE Jingchao, ZHANG Xiaojing, et al. Sealand climate differences and ocean building climate partition situation in our country[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(2): 191-198.
- [17] HERBACH H, BELL B, BERRISFORD P, et al. The ERA5 global reanalysis[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, 146(730): 1999-2049.
- [18] 宋亚娟, 宋振亚, 秦渭华, 等. 三种再分析气温数据在浙江周边岛屿的适用性评估[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(4): 13. SONG Yajuan, SONG Zhenya, QIN Weihua, et al. Evaluation of surface air temperature in three reanalysis datasets on islands adjacent to Zhejiang[J]. Advances in Marine Science, 2018, 36(4): 13.
- [19] 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 Data Room of Meteorological Information Center of China Meteorological Administration, Department of Building Technology Science, Tsinghua University. Special meteorological data set for analysis of thermal environment of buildings in China[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005.
- [20] ASHRAE. ASHRAE handbook of fundamentals[M]. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, 1997.
- [21] CORD AF, KLEIN D, MORA F, et al. Comparing the suitability of classified land cover data and remote sensing variables for modeling distribution patterns of plants[J]. Ecological Modelling, 2014, 272: 129-140.
- [22] JAMIESON PD, PORTER JR, WILSON DR. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand[J]. Field Crops Research, 1991, 27(4): 337-350.
- [23] 周杰, 刘晓冉, 朱浩楠, 等. 气候变化对重庆地区建筑节能设计气象参数的影响[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(4): 88-96. ZHOU Jie, LIU Xiaoran, ZHU Haonan, et al. Effect of Climate Change on Meteorological Parameters for the Building Energy-Saving Design in Chongqing[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2020, 43(4): 88-96.

(编辑 吴海西)