

室外综合温度的时空变化特征及影响因子分析

李 涛^{1,2}, 刘青霞¹, 尤靖楠¹, 毛前军¹, 刘艳峰²

(1. 武汉科技大学 城市建设学院, 湖北 武汉 430065; 2. 绿色建筑国家重点实验室(XAUAT), 陕西 西安 710055)

摘要: 依据典型年气象数据, 从建筑围护结构的朝向、季节、地理纬度和海拔高度等方面, 对室外综合温度的时间和空间变化特性进行了分析。研究发现到达围护结构外表面太阳辐射强度是室外综合温度产生朝向差异的直接因素, 季节变化影响室外空气温度进而影响室外综合温度的大小; 随纬度降低, 各朝向室外综合温度逐渐增大, 随海拔高度的增加, 太阳辐射强度对室外综合温度的影响高于室外空气温度。以室外综合温度、采暖室外计算温度计算建筑围护结构基本耗热量, 发现采用前者比后者计算得到的基本耗热量小 31.4%, 采用室外综合温度计算所得结果更接近实际值。研究成果可为掌握室外综合温度时空变化特性以及建筑围护结构采暖热负荷的计算提供依据。

关键词: 室外综合温度; 室外空气温度; 太阳辐射强度; 基本耗热量; 朝向修正率

中图分类号: TU201

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)06-0905-07

Analysis of variation characteristics and influencing factors of outdoor comprehensive temperature

LI Tao^{1,2}, LIU Qingxia¹, YOU Jingnan¹, MAO Qianjun¹, LIU Yanfeng²

(1. School of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China;

2. State Key Laboratory of Green Building, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on typical year meteorological data, the study analyzes the temporal and spatial variation characteristics of the outdoor integrated temperature from the orientation, season, geographic latitude and altitude of the building envelope. The results show that the solar radiation intensity reaching the outer surface of the envelope is a direct factor of the orientation difference of outdoor comprehensive temperature, and the changes of season affects the variations of the outdoor air temperature and then influence the outdoor comprehensive temperature. With the decreases of latitude, the outdoor comprehensive temperature increases gradually. With the increase of altitude, the influence of solar radiation intensity on outdoor comprehensive temperature is higher than that of outdoor air temperature. The basic heat consumption of building envelope is calculated by outdoor comprehensive temperature and outdoor heating temperature. It is found that the basic heat consumption calculated by the former is 31.4% lower than that calculated by the latter, and the results calculated by the outdoor comprehensive temperature is closer to the actual values. The researches can provide a basis for understanding the spatio-temporal variation of outdoor comprehensive temperature and calculating the heating heat load of building envelope.

Key words: outdoor comprehensive temperature; outdoor air temperature; solar radiation intensity; basic heat consumption; orientation correction rate

确定合理的室外设计计算温度, 是暖通空调系统负荷计算中的一个关键问题^[1-2], 也是暖通界长期以来讨论较多的问题之一。冷负荷计算考虑了太阳辐射, 热负荷计算通常忽略太阳辐射热作

用, 而采用采暖室外计算温度的稳态计算方法进行采暖热负荷的计算^[3]。实际上太阳辐射对建筑外围护结构传热存在着影响, 目前引入了朝向修正率^[4-7]的概念, 但朝向修正通常只给出了一个经验

值范围, 计算结果仍会存在一定的误差。

考虑了太阳辐射的室外综合温度^[8-11]作为建筑围护结构热工计算和空调负荷计算的关键参数^[12-13], 体现了室外空气温度、太阳直射辐射、天空散射辐射、地面反射辐射以及环境长波辐射对围护结构外表面的综合热作用^[14-16]。桑国臣等^[17]研究了拉萨地区节能墙体对于室外综合温度的作用, 给出墙体朝向、构造方式等因素对延迟时间和衰减倍数的影响。王磊等^[18]对环境空气综合温度做出研究, 借鉴室外综合温度, 提出环境空气综合温度, 用于供热系统在供暖期的运行调节。陈莉等^[19]研究发现用综合温度对建筑物的采暖能耗进行计算时更接近 Dest 模拟的真值, 估算的采暖能耗更加准确、简便, 且更节能。综上所述, 采用室外综合温度开展热负荷计算方法具有显著优势。

然而目前关于室外综合温度变化特征及影响因素研究较少。室外气温和太阳辐射是影响室外综合温度的重要基础气象参数, 且室外气温和太阳辐射之间存在着某种随动关系, 这使得室外综合温度的变化特征及其影响因素显得十分复杂。本文从影响围护结构接收太阳辐射量的主要因素: 建筑围护结构的朝向、季节、地理纬度和海拔高度等方面, 对室外综合温度的时间变化特性和空间变化特性进行分析, 并掌握不同影响因子室外综合温度变化特征, 以期对建筑围护结构采暖热负荷的计算提供参考依据。

1 室外综合温度

所谓室外综合温度, 即将太阳辐射和环境长波辐射等效为温度值, 结合室外空气温度得到的当量室外温度。室外综合温度的计算以建筑围护结构外表面热平衡为基础。根据建筑围护结构外表面热平衡, 围护结构外表面得热量为

$$q = q_s + q_c - q_r \quad (1)$$

式中: q_s 为围护结构外表面太阳辐射得热量, 其包括太阳直射辐射、天空散射辐射和地面反射辐射, 地面反射辐射相对于太阳直射辐射、天空散射辐射较小, 一般可忽略不计, W/m^2 ; q_c 为围护结构表面对流换热量, W/m^2 ; q_r 为围护结构外表面与环境长波辐射换热量, W/m^2 。

其中, 围护结构外表面太阳辐射得热量和对流换热量可分别表示为

$$q_s = \alpha_s I \quad (2)$$

$$q_c = h_o (t_a - t_{wo}) \quad (3)$$

式中: α_s 为围护结构外表面太阳辐射的吸收率; I 为太阳辐射强度, W/m^2 ; h_o 为围护结构外表面对流换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; t_a 为室外空气温度, $^{\circ}C$; t_{wo} 为围护结构外表面温度, $^{\circ}C$ 。

以室外综合温度 t_z 作为计算围护结构外表面得热量的边界温度, 则有以下式

$$q = h_z (t_z - t_{wo}) \quad (4)$$

式中: h_z 为综合换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$, 为了简化计算假设可用外表面对流换热系数 h_o 代替表示。联立上述公式(1)~(4), 分析可得室外综合温度表达式为

$$t_z = t_a + \frac{\alpha_s I}{h_o} - \frac{q_r}{h_o} \quad (5)$$

由于天空和环境长波辐射强度相对较小, 一般在工程计算中, 室外综合温度通常不考虑天空和环境长波辐射对围护结构外表面的热作用^[20]。因此, 式(5)也可简化为

$$t_z = t_a + \frac{\alpha_s I}{h_o} \quad (6)$$

可见, 室外综合温度主要受室外空气温度和太阳辐射影响, 其中室外空气温度各方向可认为是相等的, 而太阳辐射, 尤其是直射辐射, 具有明显的朝向差异, 并且这种差异随朝向、季节、地理纬度以及海拔高度而改变。

2 室外综合温度的时空变化特征

室外综合温度的对比分析采用室外空气温度和太阳辐射强度计算, 数据来源中国建筑热环境分析专用气象数据集^[21-22]中的室外气象参数。涉及到不同朝向、不同月份、不同纬度城市 and 不同海拔城市的室外空气温度和太阳辐射强度。由于每天各时刻气象数据具有随机性, 为使分析结果具有代表性, 研究依据典型年气象数据, 对每天对应时刻气象参数取平均值, 建立平均日作为该月的典型日。为便于计算, 设定围护结构外表面对流换热系数取 $23 W/(m^2 \cdot K)$, 围护结构外表面材料的太阳辐射吸收系数取 $0.7^{[19]}$ 。

2.1 随朝向变化特征

以拉萨地区为例, 1月份建筑围护结构各朝向室外综合温度日变化特征分别如图1所示。由图可知, 各朝向室外综合温度日变化特性具有明显差异。由于同一区域室外空气温度相同, 无朝向差异; 太阳辐射强度是室外综合温度产生朝向差异的直接因素, 而各朝向所能接收到的太阳辐射随时间变化存在显著差异。

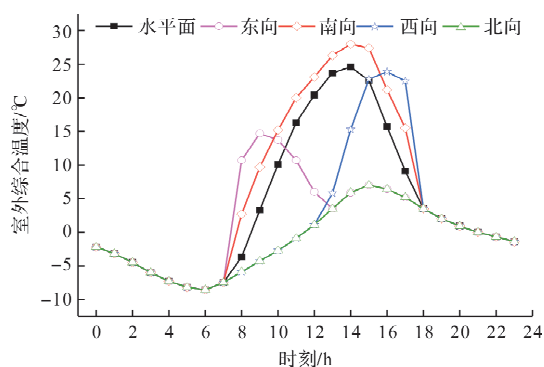


图1 各朝向室外综合温度日变化特性

Fig. 1 Daily variation characteristics of outdoor comprehensive temperature in each direction towards

对于北向,由于一天中接收不到太阳直射辐射,只受太阳散射辐射的影响,其在一天中变化很小,北向室外综合温度受室外空气温度的影响较大,其日变化曲线与室外空气温度十分接近。

东向室外综合温度在7:00—13:00之间有较大波动,在9:00达到峰值。这说明上午东向室外综合温度受太阳辐射影响较大。13:00以后东向室外综合温度与北向一致,这是因为下午太阳方位

角^[23]为正值,太阳直射西向,接受不到太阳直射辐射的缘故。

西向室外综合温度在12:00—18:00之间有较大变化。上午接受不到太阳直射辐射作用,与北向太阳辐射强度相同。西向室外综合温度在16:00达到最大,与北向室外综合温度峰值相差1小时左右。下午西向室外综合温度受太阳辐射影响更为显著。

对于南向和水平面,室外综合温度在7:00—18:00之间有较大变化。这说明二者昼间各时刻均受太阳直射辐射影响,故南向和水平面的室外综合温度除数值大小不同外,时间上具有高度的一致性。水平面室外综合温度低于南向室外综合温度,这是由于冬季太阳高度角较小,水平面太阳入射角小于垂直面,所以太阳辐射对垂直面的热作用较水平面要大。

2.2 随季节变化特征

研究选取拉萨地区气象数据为研究对象,分别选取1月、4月、7月、10月作为冬、春、夏、秋四季的代表月份。经对气象数据统计分析,得到室外综合温度季节变化特性如图2所示。

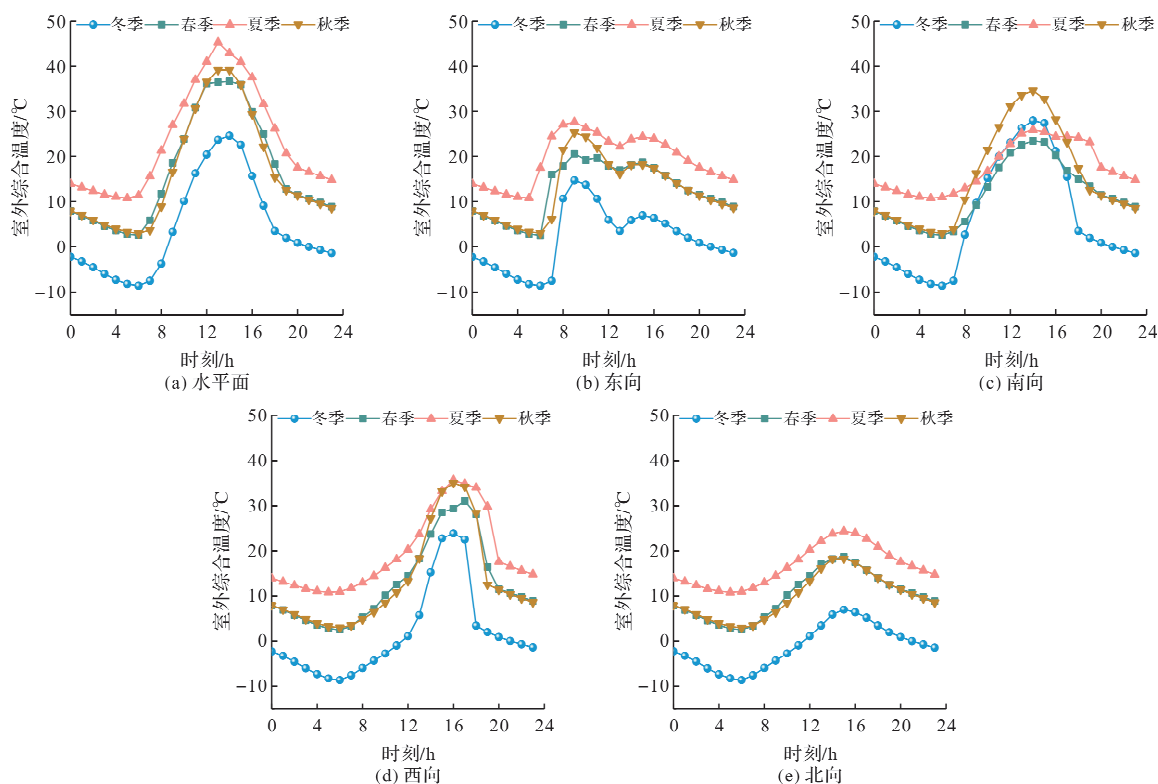


图2 室外综合温度季节变化特征

Fig. 2 Seasonal variation characteristics of outdoor comprehensive temperature

由图2可知,随季节变化,室外综合温度的大小同室外空气温度变化一样具有明显的季节性。水平面、南北向室外综合温度峰值出现时间并无明显差异,而东向室外综合温度峰值出现在10时

左右,西向出现在16时左右。这是由于太阳方位角随着一天内时间变化对水平面、南北向的太阳辐射强度影响较小,而对于东西向的太阳辐射强度影响较大。

对于水平面,由于太阳高度角的升高和太阳辐射光线到达地面路径缩短引起了太阳辐射强度的增强.室外综合温度峰值从冬季到夏季上升了 20°C ,高于室外空气温度峰值上升的 15°C .

对于南向,从冬季到夏季,太阳高度角的增大,显著地削弱了南向太阳辐射的强度.而室外空气温度的升高,使得冬夏季南向室外综合温度变化较小.对于北向,从冬季到夏季,太阳散射

辐射强度增强,对室外综合温度升高有一定影响,但影响程度较小,室外空气温度对北向室外综合温度仍起主要作用.

2.3 随纬度变化特征

为了比较不同纬度地区室外综合温度,根据纬度的变化,选取三个城市:哈尔滨($N 45.76^{\circ}$)、北京($N 39.90^{\circ}$)、郑州($N 34.76^{\circ}$),各城市室外综合温度计算结果如图3所示.

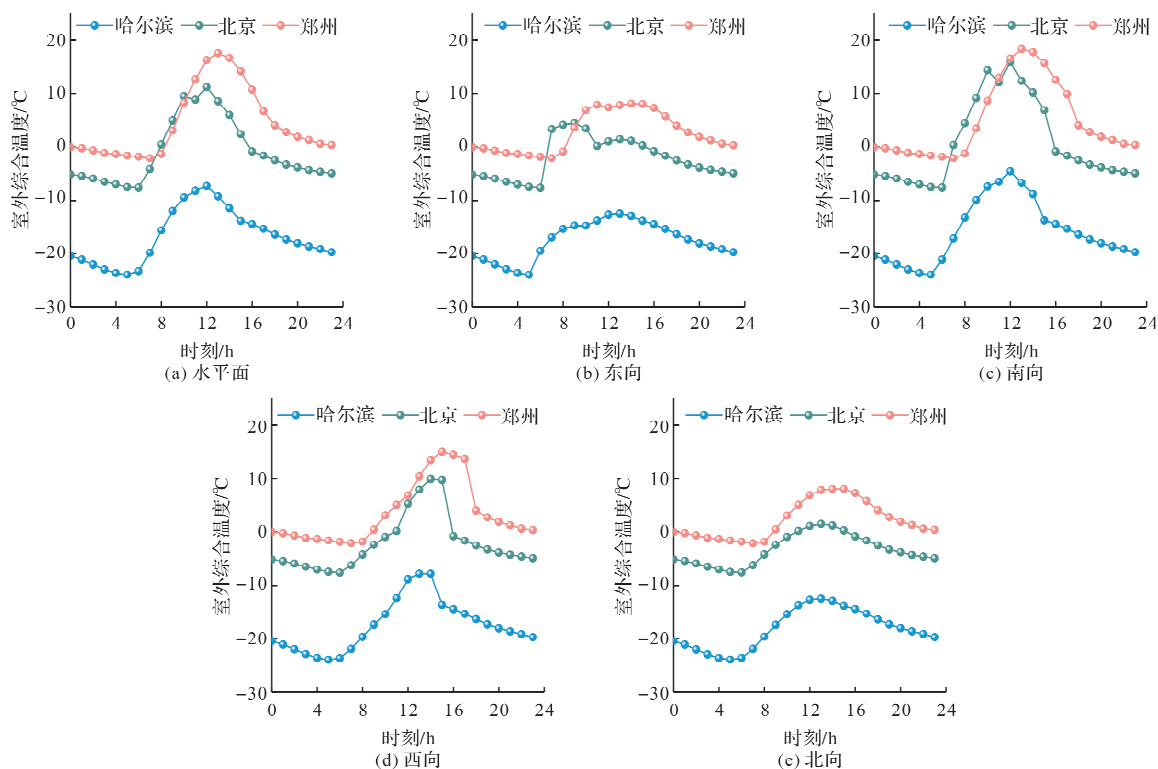


图3 不同纬度室外综合温度变化特性

Fig. 3 The variation characteristics of outdoor comprehensive temperature at different latitudes

由图3可知,随着纬度的逐渐降低,从哈尔滨到郑州,受室外空气温度影响,各朝向室外综合温度逐渐增大.从哈尔滨到郑州,纬度降低了 11° ,室外空气温度峰值升高不足 20°C ,而各朝向上室外综合温度峰值变化幅度均超过了 21°C .表明各朝向太阳辐射强度对室外综合温度的影响较大,其中对水平面和南向影响最大.

纬度的降低使太阳辐射对室外综合温度变化的影响逐渐增强.这是因为随纬度降低,太阳高度角变大,同时太阳辐射到达地面路程变短,太阳辐射被大气削弱作用减小,太阳辐射强度增大,故室外气温和各朝向太阳辐射强度随之增大.另一方面,太阳高度角的增大,对水平面太阳辐射强度增强是有利的,但对垂直面是不利的;随纬度降低,水平面太阳辐射强度上升幅度要大于垂直面.

2.4 随海拔高度变化特征

根据海拔高度不同,选取拉萨($3\,650\text{ m}$)、昆明($1\,891\text{ m}$)和海口(70 m)作为典型城市.各城市室外综合温度计算结果如图4所示.

由图4可知,依据北向室外综合温度可见从拉萨到昆明再到海口,室外空气温度逐渐升高,但其他朝向却出现了明显的差异性变化.因此可见太阳辐射强度对于其他朝向的室外综合温度影响较大.随纬度降低,太阳辐射强度逐渐降低,这是因为从拉萨到海口,海拔高度是降低的.拉萨海拔最高,空气最为稀薄,尘埃和水汽含量少,大气透明度最好,太阳辐射强度最强^[24].海口地区太阳辐射强度最弱,海拔最低,但空气温度最高.这是因为海口地区空气潮湿,天空中云量较多,大气透明度相对拉萨和昆明地区较差.到达地面的太阳辐射热被地面吸收后,地面向天空的

长波辐射受云层阻挡,一部分被吸收,一部分被反射回地面,从而使得地面向外界散失热量较少。

地面蓄热增多,使地面温升较高,进而使得地表与空气换热量增大,气温最高^[25]。

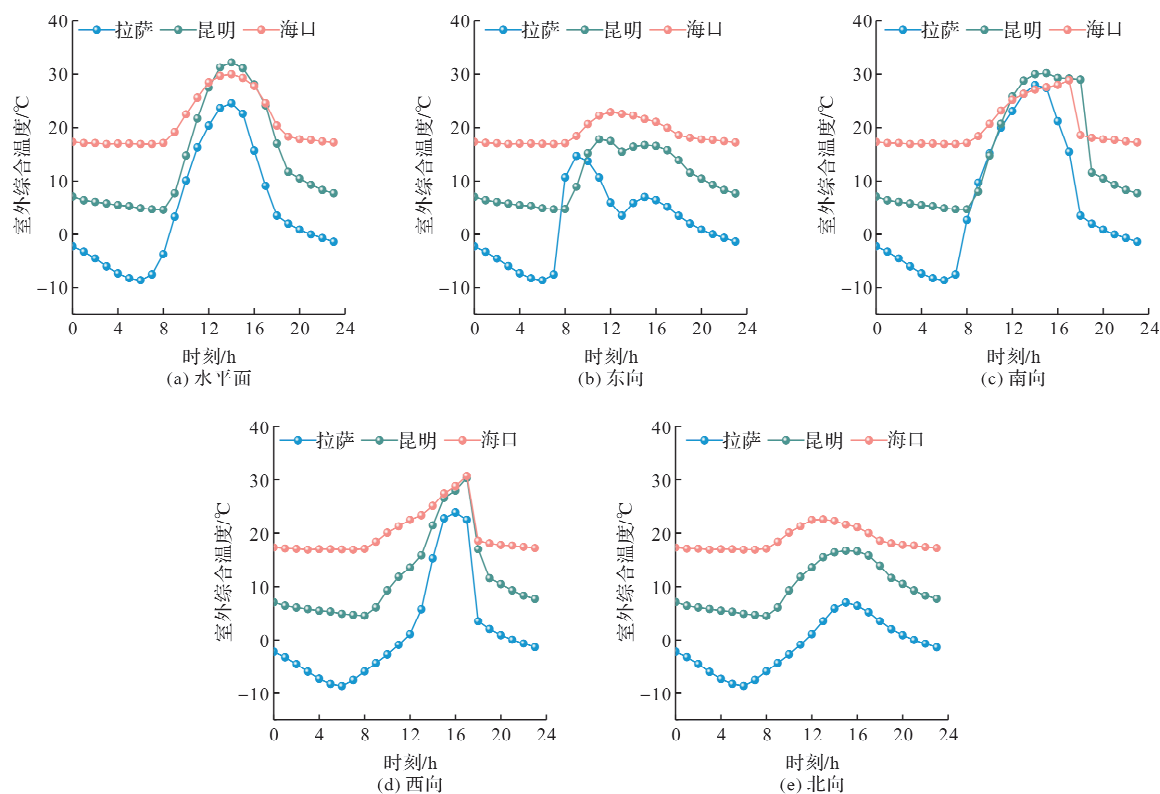


图4 不同海拔高度室外综合温度变化曲线

Fig. 4 The variation characteristics of outdoor comprehensive temperature at different altitudes

3 建筑围护结构基本耗热量计算

以拉萨地区为例,选取某典型居住建筑户型,建筑围护结构热工参数以《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ26—2018》^[26]中的限值为基准,其中外墙、屋面、外窗和周边地面的传热系数分别为 0.45、0.25、2.00 和 1.60 W/(m²·K),在同样的建筑以及室内采暖设计温度为 18℃ 的边界条件下,对采暖季建筑单位面积的基本耗热量进行计算,围护结构基本耗热量计算方法采用《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50736—2012》^[27]中的稳态算法,采暖室外计算温度分别采用室外综合温度、室外计算温度两种不同温度的计算结果,并对比了考虑不同大小朝向修正率后的基本耗热量,计算结果如图 5 所示。

根据计算结果可知,采用室外综合温度比采用采暖室外计算温度得到的基本耗热量小 31.4%,这是由于采暖室外计算温度仅仅考虑了室外空气温度对围护结构的热作用,但建筑围护结构的外表面除与室外空气发生热交换外,还受太阳辐射热作用,而采用朝向修正率修正后的基本耗热量和采暖室外计算温度得到的基本耗热量相差不大,

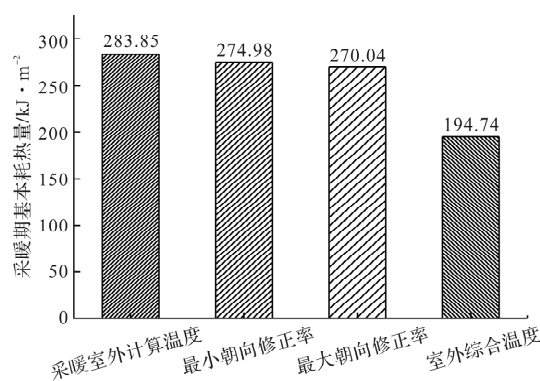


图5 采暖期建筑围护结构基本耗热量计算

Fig. 5 The basic heat consumption calculation of the building enclosure structure during the heating period

前后仅比后者小 3.1%~4.9%,朝向修正率对采暖基本耗热量的修正并未产生显著效果,这是因为朝向修正率只是特定围护结构热工参数下的经验值,不适用于不同围护结构热工参数的情况。

采用室外综合温度计算围护结构基本耗热量时考虑了围护结构的太阳辐射得热量,所得结果更符合实际情况,更接近实际值^[19]。考虑了太阳辐射得热量的采用室外综合温度计算方法所得的建筑能耗要小,因此需要向建筑供给的能量可以减少进而实现节能。

4 结论

本文分析了建筑围护结构不同朝向、不同季节、不同地理纬度及海拔高度城市等室外综合温度的变化规律,通过采暖期建筑围护结构基本耗热量计算,最终得出如下几点结论:

(1)太阳辐射是室外综合温度产生朝向差异的直接因素,拉萨地区太阳方位角的变化,使得各朝向室外综合温度存在显著差异;太阳高度角决定了水平面和垂直面室外综合温度的差异.季节变化的直接影响室外空气温度,太阳高度角和太阳辐射光线到达地面路径长度的改变影响各朝向室外综合温度的大小;

(2)随纬度降低,太阳高度角变大,同时太阳辐射到达地面路程变短,室外空气温和各朝向太阳辐射强度随之增大,各朝向室外综合温度逐渐增大,水平面上升幅度略大于垂直面.随海拔高度的增加,太阳辐射强度对室外综合温度的影响增强,室外空气温度的影响减弱;

(3)对拉萨等太阳辐射朝向差异强烈的地区,采用室外综合温度比采用采暖室外计算温度得到的基本耗热量小31.4%,采用采暖室外计算温度的负荷计算结果偏大,建议采用室外综合温度进行采暖热负荷的计算,所得结果更接近实际值.

参考文献 References

- [1] 洪天真,江亿.冬季供暖系统负荷计算用的室外综合计算温度[J].暖通空调,1993,23(3):10-13,9.
HONG Tianzhen, JIANG Yi. Comprehensive outdoor temperature for calculation of heating system load in winter[J]. HVAC, 1993, 23(3):10-13, 9.
- [2] 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.
- [3] 陈洁,罗智星,杨柳.干热干冷地区室外综合温度计算模型适用性分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(3):439-444,451.
CHEN Jie, LUO Zhixing, YANG Liu. Applicability analysis of outdoor integrated temperature calculation model in dry-hot and dry-cold areas[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2021, 53(3): 439-444, 451.

- [4] 张方遒.采暖热负荷朝向修正率的计算[J].煤气与热力,2001,21(1):84,86.
ZHANG Fangzun. Calculation of direction correction rate of heating heat load[J]. Gas and Heat, 2001, 21(1): 84, 86.
- [5] 刘艳峰,王登甲,张薇.民用建筑围护结构负荷与节能朝向修正率[J].暖通空调,2013,43(2):80-82.
LIU Yanfeng, WANG Dengjia, ZHANG Wei. Civil building envelope structure load and energy-saving orientation correction rate[J]. HVAC, 2013, 43(2): 80-82.
- [6] 吴继臣.关于采暖热负荷朝向修正的研究[J].低温建筑技术,2001(4):40-42.
WU Jichen. Research on the direction correction of heating load[J]. Low Temperature Building Technology, 2001(4): 40-42.
- [7] 张大显.西藏地区民用建筑采暖热负荷朝向修正率研究[D].西安:西安建筑科技大学,2010.
ZHANG Daxian. Research on the correction rate of heating load direction of civil buildings in Tibet[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2010.
- [8] DAVID B, DANIEL S, ALEXIS P, et al. Optimization of energy saving with adaptive setpoint temperatures by calculating the prevailing mean outdoor air temperature[J]. Building and Environment, 2020, 170: 0360-1323.
- [9] 刘凌,刘加平.基于室外空气综合温度的墙体非对称式保温设计原理的应用分析研究[J].建筑科学,2019,35(8):65-68,75.
LIU Ling, LIU Jiaping. Application analysis and research on the design principle of asymmetric wall insulation based on the comprehensive outdoor air temperature[J]. Building Science, 2019, 35(8): 65-68, 75.
- [10] DANIELE T, EVA S, PAOLO C. Cost-optimal sizing of solar thermal and photovoltaic systems for the heating and cooling needs of a nearly zero-energy building: Design methodology and model description[J]. Energy Procedia, 2016, 91: 517-527.
- [11] TSILINGIRIS P T. On the transient thermal behaviour of structural walls: The combined effect of time varying solar radiation and ambient temperature[J]. Renewable Energy, 2002, 27(2): 319-336.
- [12] 钱文波,罗清平.典型功能房间空调负荷计算和分析[J].建筑工程技术与设计,2017(19):1192-1194.
QIAN Wenbo, LUO Qingping. Calculation and analysis of air-conditioning load in typical functional rooms[J]. Construction Engineering Technology and Design, 2017(19): 1192-1194.
- [13] AZKORRA-LARRINAGA Z, ERKOREKA-GONZ?

- LEZ A, FLORES-ABASCAL I, et al. Defining the cooling and heating solar efficiency of a building component skin; application to a modular living wall[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2022, 210: 118403.
- [14] 魏园园, 杨锦涛. 太阳能在西藏地区民用建筑采暖工程中的应用——采暖热负荷朝向修正率研究[C]//第五届中国中西部地区土木建筑学术年会论文集. 乌鲁木齐:新疆大学出版社, 2015: 337-344.
- WEI Yuanyuan, YANG Jintao. The application of solar energy in the heating engineering of civil buildings in Tibet[C]//Proceedings of the Fifth annual conference of civil engineering and architecture in China's central and Western regions. Urumqi: Xinjiang University Press, 2015: 337-344.
- [15] 寿先方. 围护结构传热系数现场检测及热量传递过程分析[D]. 上海: 东华大学, 2015.
- SHOU Xianfang. On-site detection of heat transfer coefficient of envelope structure and analysis of heat transfer process[D]. Shanghai: Donghua University, 2015.
- [16] HIMANSHU D. Principles of energy conversion and noise characterization in air ventilation ducts exposed to solar radiation[J]. *Applied Energy*, 2019, 242: 1320-1345.
- [17] 桑国臣, 朱轶韵, 刘加平, 等. 拉萨地区节能墙体对室外综合温度扰量的频率响应[J]. *西安理工大学学报*, 2011, 27(2): 177-184.
- SANG Guochen, ZHU Zhiyun, LIU Jiaping, et al. Frequency response of energy-saving wall in Lhasa area to the disturbance of outdoor comprehensive temperature[J]. *J. of Xi'an University of Technology*, 2011, 27(2): 177-184.
- [18] 王磊, 方修睦. 环境空气综合温度研究[J]. *煤气与热力*, 2019, 39(7): 28-32.
- WANG Lei, FANG Xiukui. Research on comprehensive temperature of ambient air[J]. *Gas and Heat*, 2019, 39(7): 28-32.
- [19] 陈莉, 方蕾, 李帅, 等. 用综合温度法进行建筑物采暖能耗模拟与估算初探[J]. *建筑节能*, 2019, 47(7): 16-21.
- CHEN Li, FANG Lei, LI Shuai, et al. Preliminary study on simulation and estimation of building heating energy consumption with the equivalent temperature method[J]. *Building Energy Efficiency*, 2019, 47(7): 16-21.
- [20] 刘加平. 建筑物理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- LIU Jiaping. Building physics[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.
- [21] 中国气象局气象信息中心室, 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.
- Department of Building Technology and Science, Tsinghua University. Special meteorological data set for thermal environment analysis of buildings in China [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2005.
- [22] CUI Ying, YAN Da, HONG Tianzhen, et al. Comparison of typical year and multiyear building simulations using a 55-year actual weather data set from China[J]. *Applied Energy*, 2017, 195: 890-904.
- [23] 贺晓雷, 于贺军, 李建英, 等. 太阳方位角的公式求解及其应用[J]. *太阳能学报*, 2008, 29(1): 69-73.
- HE Xiaolei, YU Hejun, LI Jianying, et al. Solving the formula of the sun's azimuth angle and its application[J]. *Acta Solar Energy*, 2008, 29(1): 69-73.
- [24] LIU Yanfeng, ZHOU Yong, WANG Dengjia, et al. Classification of solar radiation zones and general models for estimating the daily global solar radiation on horizontal surfaces in China [J]. *Energy Conversion and Management*, 2017, 154(15): 168-179.
- [25] JAMEL Chakchak, NUMAN Sabit Cetin. Investigating the impact of weather parameters selection on the prediction of solar radiation under different genera of cloud cover: A case-study in a subtropical location[J]. *Measurement*, 2021, 176: 109159.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ26—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones: JGJ26—2018[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2018.
- [27] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 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, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB50736—2012[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012.

(编辑 吴海西)