

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.109



严寒地区民用建筑热工设计 二级分区指标适用性分析

文泽球¹, 刘衍¹, 杨柳¹, 李晨¹, 董宏²

(1. 西安建筑科技大学 西部绿色建筑国家重点实验室; 建筑学院, 西安 710055;

2. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘要:严寒地区分布范围广、气候条件复杂, 现行标准规范以基准温度 18 °C 的采暖度日数 (HDD18) 作为分区指标, 将严寒地区划分为 3 个二级气候区。为分析该指标的适用性, 通过 EnergyPlus 软件模拟并地较典型建筑在严寒地区 61 个城市的年累计热负荷差异, 对比部分城市之间的气候特征, 分析城市的 HDD18 与建筑年累计热负荷的关系, 探讨 HDD18 分区指标的适用地区。结果表明: 在 HDD18 相近的条件下, 西部高海拔地区城市的建筑年累计热负荷显著低于东部城市; HDD18 与建筑年累计热负荷仅在太阳辐射量及夏季温度差异较小的地区呈线性关系; HDD18 作为分区指标, 适用于太阳辐射及夏季温度差异小的地区, 严寒地区宜结合太阳辐射等因素划分二级分区。

关键词:建筑热工设计分区; 严寒地区; 建筑负荷; 太阳辐射; 度日数

中图分类号: TU119.6 文献标志码: A 文章编号: 2096-6717(2019)05-0183-08

Applicability analysis of the second level index for dividing climate region for building thermal design in severe cold climate zone

Wen Zeqiu¹, Liu Yan¹, Yang Liu¹, Li Chen¹, Dong Hong²

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China; School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China; 2. China Academy of Building Research, Beijing 100013, P. R. China)

Abstract: The severe cold climate zone in China has a wide distribution range with complex climate conditions, which was divided into 3 subzones according to heating degree days based on 18 °C (HDD18). In order to investigate the rationality of the current second level index for dividing climate region for building thermal design, the annual cumulative heating loads of typical buildings in 61 cities in severe cold climate zone were simulated by EnergyPlus software. The climatic characteristics of several cities were compared and the relationship between HDD18 and annual cumulative building heating load were explored. The results show that the annual cumulative building heating load in low-altitude region is much higher

收稿日期: 2019-01-12

基金项目: 国家自然科学基金(51838011, 51808429); 陕西省重点研发计划(2017ZDXM-SF-076)

作者简介: 文泽球(1995-), 男, 主要从事建筑气候与节能研究, wenzequi@qq.com。

杨柳(通信作者), 女, 博士, 教授, yangliu@xauat.edu.cn。

Received: 2019-01-12

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51838011, 51808429); Shaanxi Province Key Research and Development Plan (No. 2017ZDXM-SF-076).

Author brief: Wen Zeqiu (1995-), research interests: building climate and building energy, E-mail: wenzequi@qq.com.
Yang Liu (corresponding author), PhD, professor, E-mail: yangliu@xauat.edu.cn.

than that in high-altitude region with similar HDD18. The annual cumulative building heating load is linearly correlated with HDD18 only in the regions with small differences in solar radiation intensity and summer temperature. Therefore, HDD18 is suitable for zoning in areas with small differences in solar radiation and summer temperature, which should be combined with the solar radiation to divide climate region in severe cold climate zone.

Keywords: dividing climate region for building thermal design; severe cold climate zone; building load; solar radiation; degree days

为创造舒适的居住空间,在气候多样化地区划分不同的气候区,研究建筑热环境和气候的关系,进而制定不同的建筑设计原则来指导建筑设计^[1]。中国建筑热工设计分区主要适用于建筑热工设计,随着绿色建筑理念的不断深入和建筑节能环保研究的不断创新,建筑热工设计分区逐渐开始应用于建筑节能环保领域^[2-3]。《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)^[4]采用度日数作为二级指标,对原有的一级分区细分和完善,提高了分区的准确性;节能标准根据各个二级区的气候特点,规定了围护结构传热系数、窗墙面积比等,提高了中国建筑节能水平;同时,方便了建筑师及工程师在节能工作中的应用;不需借助复杂难懂的模拟软件就能使建筑能耗控制在合理的范围内。因此,合理的划分气候区对建筑热工设计和提高建筑节能水平具有重要意义。

文献[5-7]指出,在建筑围护结构参数确定的条件下,度日数能表征建筑累计负荷,温度是对建筑累计负荷影响显著的因素。因此,各国建筑法规通常以温度或度日数作为建筑气候分区指标。但是,对某些气候条件复杂的地区,仅采用这两个指标难以准确反映气候对建筑的影响。例如,文献[8]指出,在赤道附近的厄瓜多尔,湿度、太阳辐射等因素是分区的重要影响指标;文献[9]指出,太阳辐射是中国青藏高原地区能耗计算方法、节能设计策略区别于其他地区的关键因素;文献[10]指出,西藏地区外表面对流换热系数低、太阳辐射强,因此,单一的温度或度日数作为分区指标并不适用于所有地区,尤其是太阳辐射、湿度等差异较大的地区;文献[11]在建筑节能气候分区方面进行探讨,但对分区指标 HDD18 与建筑累计热负荷关系的分析较少。中国严寒地区分布较广,主要包括东北三省、内蒙古、青海、西藏北部、新疆北部、甘肃西部等地区,其中,青藏地区具有明显的高原气候特征,建筑设计要求应区别于其他地区。本文主要分析仅以 HDD18 作为

二级分区指标是否能较好地反映严寒地区气候对建筑累计负荷的影响。

1 典型建筑模型及参数设置

室外气象参数是影响建筑能耗的因素之一,相同建筑在不同地区的建筑能耗高低一定程度上反映了区域的气候差异^[12]。建筑负荷主要与围护结构热工性能和室外气候条件相关,而建筑能耗除此之外还与空调采暖系统有关^[13]。本文讨论建筑热工设计分区,采用建筑累计负荷进行分析更能反映气候对建筑本体的影响。

1.1 建筑模型

居住建筑参考《建筑设计资料集》^[14]中北方地区常见的建筑户型,多层办公建筑参考文献[15]中对严寒地区办公建筑的调研结果,建筑的朝向均为南向,建筑模型简化后,材料热物理性质参数及围护结构构造参考相应构造图集设置^[16-17],见表1、表2。高层居住建筑和多层居住建筑的标准层平面如图1(a)、(b)所示,建筑面积分别为7 985.88、1 152.90 m²,层高均为2.90 m,其中,高层住宅18层,多层住宅6层;多层办公建筑的标准层平面如图1(c)所示,建筑面积为4 536.00 m²,首层层高均为4.20 m,其余层高为3.60 m,共6层。

表1 材料热物理性质

Table 1 Thermophysical properties of building materials

材料名称	导热系数/ (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	密度/ (kg·m ⁻³)	比热容/ (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)
水泥砂浆	0.93	1 800	1 050
钢筋混凝土	1.74	2 500	920
加气混凝土 (轻混凝土)	0.18	700	1 050
多孔砖	0.51	1 440	1 050
EPS	0.04	20	1 400
XPS	0.036	35	1 380
岩棉板	0.047	100	840
聚氨酯泡沫	0.024	35	1 380

表 2 建筑围护结构构造

Table 2 Constructions of the model building envelope

建筑类型	围护结构	构造厚度/mm										传热系数/ (W·m ⁻² ·℃ ⁻¹)		
		水泥砂浆	钢筋混凝土	轻混凝土	多孔砖	EPS	XPS	岩棉板	聚氨酯泡沫	Low-E玻璃	空气层		玻璃	
多层居住	屋顶	20	100	30			50	100						0.25
	外墙	20			200	100								0.38
	外窗									6	12	6		1.77
高层居住	屋顶	20	100	30			150							0.22
	外墙	20	200			80								0.44
	外窗								6	12	6			1.77
多层办公	屋顶	20	100	30				80						0.23
	外墙	20		200					55					0.33
	外窗									6	12	6		1.77

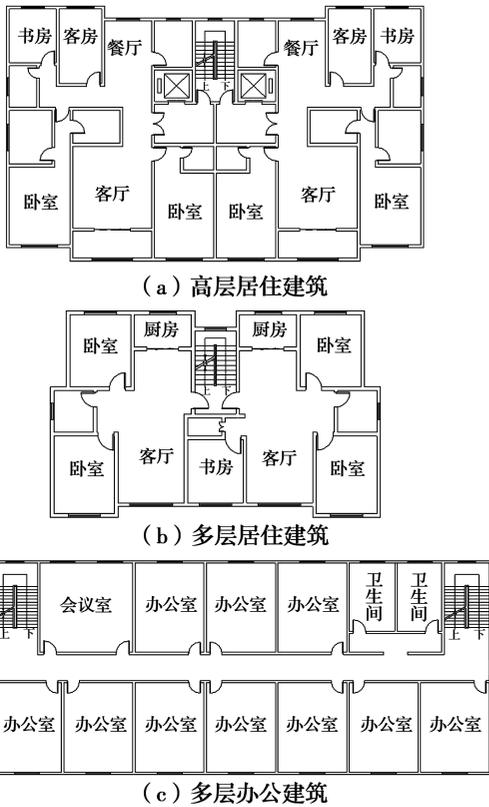


图 1 建筑标准层平面图

Fig. 1 Floor plan of simulated buildings

1.2 参数设置

采用 EnergyPlus 建筑能耗模拟软件,模拟和分析所选取的气象数据源于该软件官方网站的典型气象年数据,模拟时间为 1 月 1 日至 12 月 31 日。内外表面换热系数分别采用 TARP 算法、DOE-2 算法。居住建筑室内热源设为 3.8 W/m²,换气次数为 0.5 次/h^[18];办公建筑换气次数、人员逐时在室率、照明功率密度情况及电器设备功率密度情况等

均按照相应的节能设计标准设置^[19]。

2 结果与分析

2.1 各城市建筑累计热负荷的差异

图 2 为 3 种典型建筑在严寒地区 61 个城市的年累计热负荷,城市按照采暖度数从高到低排列。结果表明:即使是同一二级分区内的城市,建筑的年累计热负荷差异仍然显著,例如,同属于严寒 A 区的漠河,多层办公建筑年累计热负荷是曲麻莱的 4 倍以上;不同气候区之间建筑年累计热负荷的差异并不明显,例如,属于严寒 A 区的刚察等城市,建筑年累计热负荷与严寒 C 区的沈阳等城市相差较小。建筑围护结构参数确定的条件下,HDD18 是反映一个地区建筑累计热负荷的气候指标,而在严寒地区,度日数相近条件下,西部高海拔地区的建筑累计热负荷显著低于东部城市。因此,有必要进一步分析 HDD18 与建筑累计热负荷之间的关系及其他气象要素对建筑累计热负荷的影响。

2.2 城市间的气候特征对比

影响建筑累计负荷的气象要素较多^[20],刘大龙等^[6]通过敏感性分析法得出:对建筑采暖能耗影响较大的气象要素主要有温度、太阳辐射以及风速。本文主要从温度、太阳辐射及风速 3 个方面对比城市间气候特征,分析度日数相近条件下年累计热负荷差异较大的原因。选取度日数相差较小,且建筑年累计热负荷相差较大的城市作对比,分析城市间的气候特征见表 3。图 3 为对比组中各城市的月平均温度、高层住宅建筑月累计热负荷、月平均风速以及水平面太阳辐射量。

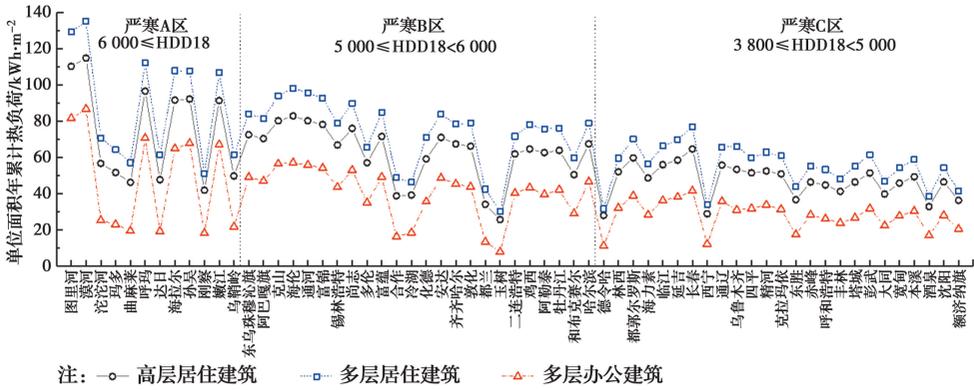


图 2 各城市建筑单位面积年累计热负荷

Fig. 2 Annual cumulative building heating load per unit area of each city

表 3 对比城市的基本信息

Table 3 Basic information of comparison group cities

对比组	对比城市	海拔/m	HDD18/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)	建筑单位面积年累计热负荷/($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$)		
				多层住宅	高层住宅	多层办公
a	沈阳	43	3 929	54.35	46.58	28.19
	酒泉	1 478	3 971	38.54	32.97	17.12
b	嫩江	243	6 352	106.92	91.53	67.23
	乌鞘岭	3 044	6 329	61.75	49.91	21.85

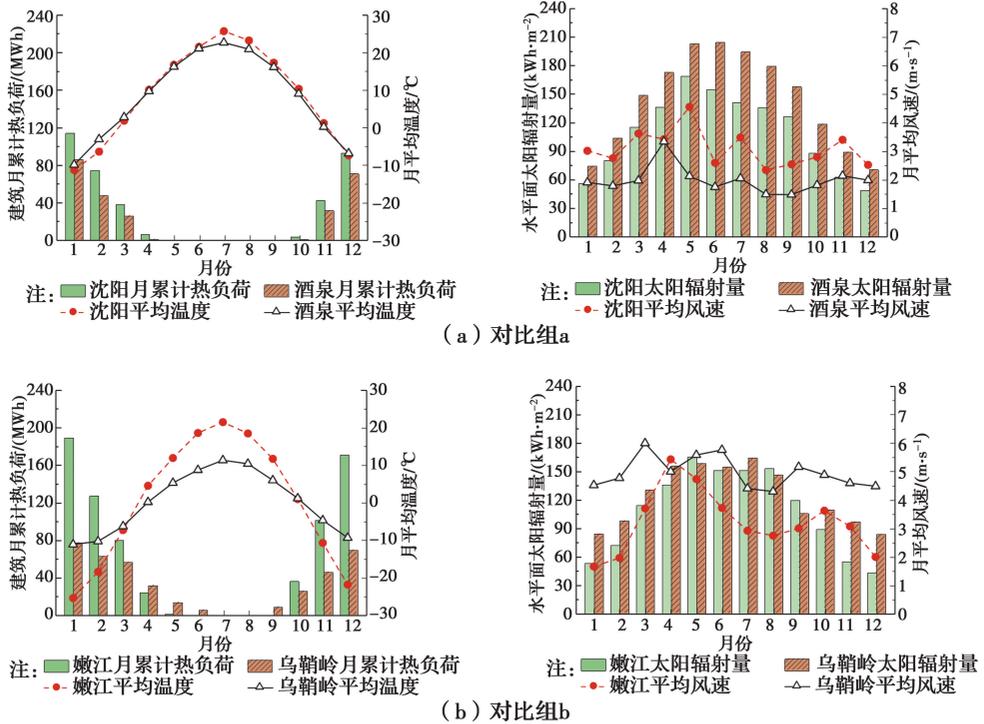


图 3 城市间气候特征对比

Fig. 3 Climate characteristics of comparison group cities

表 3 中 a 组,沈阳与酒泉月平均温度基本一致,而酒泉各月的太阳辐射总量高于沈阳,风速低于沈阳。综合来看,尽管两个地区 HDD18 仅相差 $42\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,

各月的平均温度也相差较小,而由于风速和太阳辐射的影响,酒泉的建筑累计热负荷低于沈阳。b 组中,嫩江与乌鞘岭各月平均温度存在较大差异,由于

乌鞘岭地处 3 000 m 以上的高海拔地区,夏季温度低,气温年较差远小于嫩江。即使是 7、8 月份,乌鞘岭的建筑月累计热负荷为零,但月平均温度低于 18 °C,计算 HDD18 时也被计入累加值。因此,尽管两个地区 HDD18 仅相差 23 °C · d,但各月平均温度和建筑累计热负荷存在明显差异。此外,在 3、10 月份,两地平均气温相差较小,乌鞘岭风速和太阳辐射均大于嫩江,而建筑累计热负荷低于嫩江,说明太阳辐射也是建筑累计负荷产生差异的原因,而风速影响相对较小。

综上,HDD18 相近的条件下,各城市典型建筑的年累计热负荷差异较大,一方面,与采暖度日数的统计方式有关,因部分地区夏季并没有热负荷,但平均温度低于 18 °C,在计算 HDD18 时也被计入累加值;另一方面,因各个地区的太阳辐射差异较大,导致部分温度相差较小的城市建筑累计热负荷却相差较大。对于风速,虽然同样影响建筑热负荷,但不是导致差异的主要原因。基于以上两个原因,可推测在建筑围护结构参数确定的条件下,HDD18 在太阳辐射量和夏季温度差异较小的地区能准确表征建筑累计热负荷。

2.3 建筑累计热负荷与 HDD18 的相关性分析

为验证以上结论,选择太阳辐射量和夏季温度差异较小的城市,分别分析 HDD18 与建筑累计热负荷之间的关系。参考中国太阳能资源分区^[21],将 61 个城市大致划分为 3 类,见表 4。分别分析每个区域城市的 HDD18 与建筑累计热负荷的关系。

表 4 严寒地区太阳能资源分区

Table 4 Solar energy distribution in severe cold climate zone

分类	年太阳辐射总量/(MJ · m ⁻²)	7 月平均温度/°C	地区
I	6 690~8 360	8~20	西藏、新疆南部、青海、甘肃北部
II	5 852~6 690	20~25	河北西北部、山西北部、内蒙古南部
III	5 016~5 852	20~25	新疆北部、吉林、辽宁、黑龙江

图 4 为 HDD18 与单位面积年累计热负荷的散点图,纵坐标表示所在城市建筑单位面积年累计热负荷,横坐标表示所在城市的 HDD18。由图 4 可知,部分采暖度日数相近的城市,建筑年累计热负荷差异较大。

图 5 为各地区多层住宅建筑单位面积年累计热负荷与 HDD18 散点图,随着度日数的增加,太阳辐

射总量高的 I 类地区,建筑累计热负荷的增加比太阳辐射总量低的 III 类地区缓慢。整个严寒地区,多层住宅单位面积年累计热负荷与 HDD18 的线性关系较弱,按照太阳辐射将严寒地区所参照的 61 个城市进行划分,分别对分类后的城市进行分析,发现 HDD18 与单位面积年累计热负荷之间呈现明显的线性关系。决定系数 R^2 在 3 类地区分别为 0.81、0.91、0.98。

对高层住宅和多层办公建筑的模拟结果,也有类似的规律。通过以上分析得出,在夏季温度和太阳辐射量差异较小的地区,建筑围护结构参数确定的条件下,HDD18 能准确表征建筑累计热负荷。

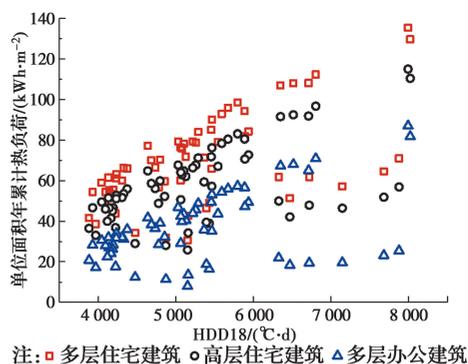


图 4 建筑单位面积年累计热负荷与 HDD18 的关系
Fig. 4 Relationship between annual cumulative building heating load per unit area and HDD18

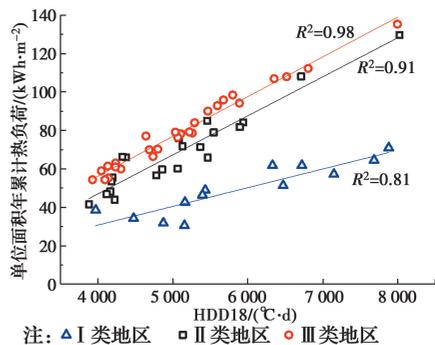


图 5 多层住宅单位面积年累计热负荷与 HDD18 的关系
Fig. 5 Relationship between annual cumulative building heating load of multi-storey residential and HDD18

3 采暖度日数在不同地区分区结果的评价

3.1 分区结果评价指标

Walsh 等^[22]提出了“误分类区平均百分比”(MPMA)的概念,并通过该指标评价建筑气候分区的合理性。图 6 为该指标计算的示例图,典型建筑

在不同城市得到的不同模拟结果,以 5 kWh/m^2 为一个区间,统计每个单位面积年累计热负荷区间段的城市个数,深色条形和浅色条形分别表示在 A 气候区和 B 气候区,处于各个单位面积年累计热负荷区间的城市个数。同一负荷区间内,两个气候区重叠部分的城市数量与总城市数量的比值为 PMA,多种建筑类型模拟结果得到的 PMA 值的平均值为 MPMA。MPMA 值越低,则说明分区结果相对更合理。

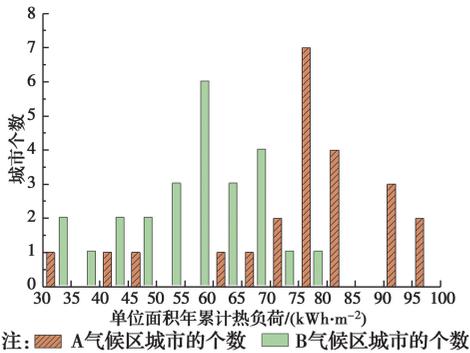


图 6 各负荷区间的城市个数

Fig. 6 Number of cities in each building heating load interval

PMA 值的计算公式为

$$PMA = \frac{\sum_{i=1}^n [I_i - \max(a_i, b_i)]}{I} \quad (1)$$

式中: I 为城市总数量; n 为负荷区间个数; I_i 为单位面积年累计热负荷处于 $(5i-5, 5i)$ 内的城市数量; b_i 为单位面积年累计热负荷处于 $(5i-5, 5i)$ 内属于 A 气候区的城市数量; c_i 为单位面积年累计热负荷处于 $(5i-5, 5i)$ 内属于 B 气候区的城市数量。

3.2 采暖度日数在不同地区分区结果的 MPMA 值

在 I、II、III 类地区,各城市 HDD18 与建筑单位面积年累计热负荷之间的相关系数不同,以下主要评价这 3 类地区及现行分区指标和方法得到的分区结果。如图 7 所示,分别计算 I、II、III 类地区分区结果的 MPMA 值。

由图 7 可知,III 类地区的 MPMA 值最低,因此,分区结果相对更合理。对于整个严寒地区,MPMA 值为 21.80%,高于 3 类地区中的任何一类,该结果也说明 HDD18 与建筑年累计热负荷之间的相关系数越高,则按照 HDD18 划分的分区更准确。因此,HDD18 作为分区指标,更适合于太阳辐射量以及夏季温度差异较小的地区。

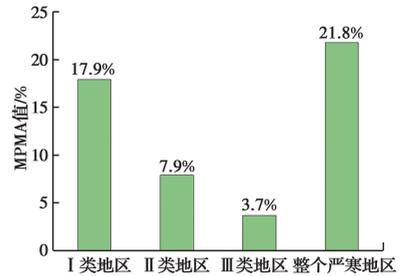


图 7 各地区 MPMA 值

Fig. 7 MPMA values in different regions

4 结论

从气候对建筑负荷影响的角度对严寒地区现行的二级分区指标进行了分析,主要得出以下结论:

1) 中国西部高海拔地区太阳辐射量大,夏季平均温度低。采暖度日数相近的条件下,中国西部高海拔地区城市的建筑年累计热负荷显著低于中国东部城市。

2) 对整个严寒地区而言,HDD18 与建筑年累计热负荷线性相关性较弱,因而,在围护结构参数确定条件下,难以准确表征建筑年累计热负荷;而对于严寒地区中太阳辐射量差异较小的地区,HDD18 与建筑年累计热负荷之间则呈现明显的线性相关。

3) 从气候对建筑负荷影响的角度分析,HDD18 适合在太阳辐射量和夏季温度差异较小的地区作为分区指标,而中国严寒地区东西部太阳辐射量差异较大,严寒地区宜结合太阳辐射等因素划分二级分区。

严寒地区地形地貌较复杂,青藏高原地区气候特征与其他地区有显著差异,主要体现在太阳辐射强、日照时数长、夏季温度低、温度年较差小,因而,仅采用 HDD18 作为指标难以区分气候差异对建筑年累计热负荷的影响。在完善严寒地区二级分区时,增设划分高寒地区指标(如太阳辐射、7 月平均温度等),将高海拔地区单独划为一个二级分区,进而制定更符合气候特点的设计策略。

参考文献:

- [1] 杨柳. 建筑气候分析与设计策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.
- YANG L. Climatic analysis and architectural design strategies for bio-climatic design [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2003. (in Chinese)

- [2] 《民用建筑热工设计规范》编制组. 民用建筑热工设计规范技术导则[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 65-73.
Establishment of Code for Thermal Design of Civil Buildings. Technical guidelines of code for thermal design of civil buildings [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2017: 65-73. (in Chinese)
- [3] LIU Y, YANG L, ZHENG W X, et al. A novel building energy efficiency evaluation index: Establishment of calculation model and application [J]. Energy Conversion and Management, 2018, 166: 522-533.
- [4] 民用建筑热工设计规范:GB 50176—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
Code for thermal design of civil building: GB 50176-2016 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2016. (in Chinese)
- [5] BHATNAGAR M, MATHUR J, GARG V. Determining base temperature for heating and cooling degree-days for India [J]. Journal of Building Engineering, 2018, 18: 270-280.
- [6] 刘大龙, 刘加平, 侯立强, 等. 气象要素对建筑能耗的效用差异性 [J]. 太阳能学报, 2017, 38(7): 1794-1800.
LIU D L, LIU J P, HOU L Q, et al. Differentiation analysis of meteorological parameters affecting building energy consumption [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2017, 38(7): 1794-1800. (in Chinese)
- [7] QUAYLE R G, DIAZ H F. Heating degree day data applied to residential heating energy consumption [J]. Journal of Applied Meteorology, 1980, 19(3): 241-246.
- [8] WALSH A, CÓSTOLA D, LABAKI L C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs [J]. Building and Environment, 2017, 112: 337-350.
- [9] 刘大龙, 刘加平, 张习龙, 等. 青藏高原气候条件下的建筑能耗分析 [J]. 太阳能学报, 2016, 37(8): 2167-2172.
LIU D L, LIU J P, ZHANG X L, et al. Building energy consumption analysis in climatic condition of tibetan plateau [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2016, 37(8): 2167-2172. (in Chinese)
- [10] 刘加平, 杨柳, 刘艳峰, 等. 西藏高原低能耗建筑设计关键技术研究与应用 [J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 40-46.
LIU J P, YANG L, LIU Y F, et al. Key technological research and application of low energy consumption building design in Tibet [J]. Strategic Study of CAE, 2011, 13(10): 40-46. (in Chinese)
- [11] 付祥钊, 张慧玲, 黄光德, 等. 关于中国建筑节能气候分区的探讨 [J]. 暖通空调, 2008, 38(2): 44-47, 17.
FU X Z, ZHANG H L, HUANG G D, et al. Discussion of climatic regions of building energy efficiency in China [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2008, 38(2): 44-47, 17. (in Chinese)
- [12] 徐云飞, 李琼, 孟庆林, 等. 南海岛屿气象参数与建筑能耗分析 [J]. 土木建筑与环境工程, 2018, 40(4): 42-47.
XU Y F, LI Q, MENG Q L, et al. Meteorological parameters and building energy consumption analysis of South China Sea islands [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2018, 40(4): 42-47. (in Chinese)
- [13] 韩学廷, 李国富, 邹志胜. 关于围护结构热工性能权衡判断法的讨论 [J]. 建筑节能, 2011, 39(11): 44-46, 53.
HAN X T, LI G F, ZOU Z S. Methodology for building envelope trade-off option [J]. Building Energy Efficiency, 2011, 39(11): 44-46, 53. (in Chinese)
- [14] 中国建筑学会, 中国建筑学会建筑师分会, 华东建筑集团股份有限公司. 融合之间—转型中的当代中国建筑 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Architectural Society of China, Institute of Chinese Architects, East China Construction Group Co. Ltd. Fusion and harmony-contemporary Chinese architecture in the process of transition [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2017. (in Chinese)
- [15] 张冉. 严寒地区低能耗多层办公建筑形态设计参数模拟研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
ZHANG R. Shape design parameters study of multilayer office building with low energy consumption in severe cold region based on digital simulation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014. (in Chinese)
- [16] 外墙外保温建筑构造:10J121 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
Constructions of exterior wall external thermal insulation: 10J121 [S]. Beijing: China Planning Press, 2010. (in Chinese)
- [17] 公共建筑节能构造:06J908—1 [S]. 北京: 中国计划出

- 出版社, 2006.
- Public building energy conservation structure charts: 06J908-1 [S]. Beijing: China Planning Press, 2006. (in Chinese)
- [18] 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ 26—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zone: JGJ 26—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)
- [19] 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- Design standard for energy efficiency of public buildings: GB 50189—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015. (in Chinese)
- [20] 杨柳, 张辰, 刘衍, 等. 建筑外表面换热系数取值方法对建筑负荷预测的影响[J]. 暖通空调, 2018, 48(9): 11-18.
- YANG L, ZHANG C, LIU Y, et al. Influence of selection methods of external surface heat transfer coefficient on building load forecasting [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2018, 48(9): 11-18. (in Chinese)
- [21] 王峥, 任毅. 我国太阳能资源的利用现状与产业发展[J]. 资源与产业, 2010, 12(2): 89-92.
- WANG Z, REN Y, WANG Z. Utilization and development of solar energy industry in China [J]. Resources & Industries, 2010, 12(2): 89-92. (in Chinese)
- [22] WALSH A, CÓSTOLA D, LABAKI L C. Performance-based validation of climatic zoning for building energy efficiency applications [J]. Applied Energy, 2018, 212: 416-427.

(编辑 邓云)