

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.04.007



气候变化对中国寒冷和夏热冬暖城市 建筑能耗的影响

许馨尹¹, 于军琪¹, 李红莲^{1,2}, 杨柳²

(1. 西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 建筑学院 西安, 710055)

摘要: 气候变暖已对建筑全生命周期的运行状况产生了不可忽略的影响, 准确评估气候变化下的建筑能耗对建筑方案设计和既有建筑的节能改造具有重要意义。进行气候变化下建筑能耗的精确预测, 必须拥有未来的逐时气象数据。以寒冷地区北京和夏热冬暖地区广州为研究对象, 将挑选的两个城市典型气象年为基线气候, 结合全球模式下的预测气象数据, 应用变形法修正 TMY 的气象参数, 得到直至本世纪末的 10 个节点年逐时气象文件, 并进行了全年能耗模拟, 预估了两个城市的办公建筑在气候变化下建筑能耗的变化趋势。结果表明: 在两种预测排放情景下, 干球温度、含湿量和太阳辐射均呈增加趋势; 北京采暖能耗显著降低、制冷能耗增加, 总能耗减少, 广州采暖能耗降低、制冷能耗显著增加, 总能耗增加。

关键词: 气候变化; 变形法; 建筑能耗

中图分类号: TU111.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2016)04-0039-07

Climate change effect on building energy consumption in cold and hot summer and warm winter zone of China

Xu Xinyin¹, Yu Junqi¹, Li Honglian^{1,2}, Yangliu²

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China; 2. College of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: Climate warming has a non-negligible impact on the whole life of building. Accurate assessment of building energy consumption under climate change is important for energy-saving building design and existing building. Climate is the basis for building energy simulation. The global warming will cause the change of building energy consumption. In order to study the impact of climate change on the building energy consumption, the future hourly meteorological parameters are necessary. Based on the latest prediction, the 'morphing' methodology is utilized for transforming current Typical Meteorological Year

收稿日期: 2016-01-10

基金项目: 省部级自然科学基金(2014KW17、教外司留【2014】1685号); 国家杰出青年科学基金(51325803); 国家自然科学基金(2010100106)

作者简介: 许馨尹(1990-), 女, 主要从事建筑气候与节能研究, (E-mail) 845140325@qq.com。

李红莲(通信作者), 女, 博士, 副教授, (E-mail) lihonglian_lhl@163.com。

Received: 2016-01-10

Foundation item: Provincial Natural Science Foundation of China (No. 2014KW17, 教外司留【2014】1685号); National Science Fund of Distinguished Young Scholars (No. 51325803); National Natural Science Foundation of China (No. 2010100106)

Author brief: Xu Xinyin (1990-), main research interests: building climate and building energy conservation, (E-mail) 845140325@qq.com.

Li Honglian (corresponding author), PhD, associate professor, (E-mail) lihonglian_lhl@163.com.

(TMY) into future hourly meteorological file. A high office building is simulated respectively in two different regions Beijing and Guangzhou. The results show that the dry-bulb temperature, moisture content and the solar radiation have an increased trend. In Beijing, the reduction in heating consumption outweighed the increase in summer cooling, which led to the increase of the total energy consumption, but Guangzhou is opposite.

Keywords: climate change; morphing methodology; building energy consumption

外部气候变化与建筑物系统动态关系越来越复杂,建筑所在地区气候影响着建筑围护结构的设计、室内热舒适状况、暖通空调系统及设备的选型等^[1-2]。为此,研究气候变化下建筑物的能耗需求,对建筑师进行合理优化设计有着指导性作用。

目前,对于气候变化下建筑物的能源需求研究多关注稳态法,研究方法单一,主要涉及的是不同气候模式下对温度的预测:侯证^[3]和 Mark 等^[4]采用度日法探讨了气候变化对中国典型代表城市的能耗影响,结果表明在不同气候区气候变化对能耗影响不同,由南至北影响递减,降温需求起主导作用;张海东^[5]和田喆^[6]建立统计回归方程研究了温度变化对采暖能耗影响的关系模式得出温度异常变化显著地影响着采暖能源需求的结论;Joseph 等^[7-8]和 Kevin 等^[9-10]运用主成分分析法建立了气象参数与能源的相关性、将气象数据干球温度、湿球温度、太阳辐射进行研究汇总为一个参数来评估气候变化对建筑环境的影响;随着研究的深入,文献[11-12]采用 3 个气候模式的集合平均值作为数据源,挑选未来节能分析气象年,通过两次空间插值获得未来气象数据,并应用 DOE2 模拟软件对我国不同气候区的建筑进行了建筑能耗模拟,得到居住建筑采暖能耗较少,制冷能耗增加、总建筑能耗增加的变化规律。

上述研究表明气候变暖必将对建筑全生命周期运营过程能耗产生显著影响,但现有的研究对精确反映采暖空调能耗峰值及细部变化存在明显不足,具有一定的局限性。在现有的建筑能耗动态分析方法中,逐时动态建筑能耗的模拟已成为建筑节能研究与实践的核心技术和重要工具。国际上模拟建筑能耗的软件(EnergyPlus, DOE-2, Dest 等)都需输入建筑所在地区的逐时气象参数,运行计算出建筑能耗。但目前用于建筑全年能耗模拟的逐时气象参数是基于历史观测数据生成的典型气象年,不适用于未来气候条件下的建筑能源需求预测。因此,未来建筑能源需求预测的重要前提就是产生基于气候变化预估的未来逐时气象参数文件,探讨未来气候变化对能源需求影响。

1 方 法

利用 Sandia 国家实验室方法挑选了北京和广州的典型气象年 TMY (Typical Meteorological Year) 作为基线气候,采用 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 公布的 A1B 和 B1 两种预测排放情景下的月尺度预测气象数据,以此修正 TMY 的干球温度、含湿量和太阳辐射等气象参数,得到 2010 年始直至本世纪末 2100 年的 10 个节点年的逐时气象文件。

1.1 数据来源

全球和区域气候变化涉及未来人口、经济、技术驱动力以及由此产生的温室气体排放,所以,不同排放量下全球气候变化的预测模式有很多。政府气候变化专门委员 IPCC2007 年发布了第 4 次评估报告,引用了 20 多个复杂的全球气候系统模式,对过去气候变化进行模拟并对未来全球气候变化进行预估。研究表明多个模式的平均值预测效果优于单个模式,为此 IPCC 第 4 次报告将 20 多个不同分辨率的全球气候系统模式及一个区域气候模式的模拟结果,经过插值降尺度,多模式平均计算制作成不同情景下的月尺度平均资料^[13]。SRES 情景是目前广泛使用的气候预测情景。当前中国处于经济稳步增长的发展时期,新的和更高效的技术被迅速引进,能源结构由化石燃料密集型向能源平衡型结构过渡,且经济结构向服务和信息经济方向更加迅速地调整。SRES 中的 A1B 及 B1 情景分别代表中排放和低排放场景,是符合中国可持续发展国情的情景,与中国未来的能源结构变化及发展模式一致,本文选择 A1B 及 B1 情景的预测数据进行研究。

1.2 现有基准气象参数

建筑能耗模拟通常使用的是 TMY 的逐时气象数据。国际上公认的挑选典型年的方法是 Sandia 国家实验室方法,选取最能代表室外气候特征的气象参数干球温度、露点温度、风速以及水平面总辐射,依照对建筑能耗影响的大小赋予不同的权重因子进行汇总。世界气象组织建议使用平均周期 30

年来定义一个气候基准,本文通过 Sandia 实验室方法,采用 1971—2000 年的中国地面历史观测气象数据作为数据源挑选出 TMY 作为基准气候,保证了气象数据基准的质量及高分辨率,结合 IPCC 中 SRES 情景下的 A1B 及 B1 场景的最新预测结果,修正得到未来的逐时气象数据。

2005 年, Belcher 等首先提出了未来气候设计气象参数的转化方法——“Morphing”方法^[14],随后不同的国外学者均用此方法对星级建筑、办公建筑、商业建筑等进行了能源预测^[15-19]。变形方法包括 3 个操作:1)位移;2)线性拉伸(缩放);3)位移和线性

拉伸相结合。通过以上 3 个操作将已有的气象参数时间序列与气候变化相结合,生成新的气象参数文件,并且保留了已有气象参数的物理特征,基于以上原因,此方法在未来气候变化对建筑能耗的影响研究领域得到了广泛应用。

本文对未来气象参数的预测,由于未来气象参数获取的限制,涉及干球温度、太阳辐射和含湿量;预测气象数据中风速未知,风速保持不变;在计算相对湿度的过程中,由于气压未知,通过与其他气象参数的相关关系计算得出。各气象参数具体处理方法如表 1 所示。

表 1 各气象参数变形的具体方法

Table 1 The morphing method of different meteorological parameters

操作气象参数	线性拉伸	线性拉伸与位移相结合
干球温度		$\partial dbt_m = \frac{\Delta TMAX_m - \Delta TMIN_m}{[dbt_{0max}]_m - [dbt_{0min}]_m}$ $dbt = dbt_0 + \Delta TEMP_m + \partial dbt_m \times (dbt_0 - [dbt_0]_m)$
太阳辐射	$\partial gsr_m = 1 + \left(\frac{\Delta DSWF_m}{[gsr_0]_m} \right) \quad gsr = \partial gsr_m \times gsr_0$	
含湿量	$\partial S_m = 1 + \frac{SPHU_m}{100} \quad S = \partial S_m \times S_0$	

注:相对湿度可通过预测干球温度和含湿量计算^[20];太阳直射、散射的缩放因子与水平太阳总辐射一致。

1.3 分区和代表城市的选择

气候变暖将导致建筑总能耗和能耗结构的变化,一般规律表现为采暖能耗的降低和降温能耗的增加。考虑到气候变暖的季节差异以及空间分布差异,直观地体现气候变化对建筑能耗的影响,选取寒冷地区北京和夏热冬暖地区广州作为代表城市。因同一气候地不同城市具有相似的气候特征,且同一气候区建筑节能标准、建筑构造及采暖降温方式基本相同,故选取典型气候区的代表城市作为研究对象。

1.4 寒冷地区及夏热冬暖地区气候变化预测结果分析
寒冷地区北京及夏热冬暖地区广州在 IPCC 公

布的 SRES 情景中 A1B 和 B1 情景下的年均干球温度、含湿量和太阳辐射增幅情况见表 2、3 所示。可知北京和广州地区干球温度和含湿量的总体趋势是增加的,与全球变暖的预测相符。在 A1B 排放情景下,北京、广州年平均温度分别升高约 2.7、3.3℃,在 B1 排放情景下,干球温度的变化分别为 0.9、1.8℃。含湿量的变化,寒冷地区北京的增加高于夏热冬暖地区广州。与基准气候参照相比,太阳辐射是增加的,但直至本世纪末,变化趋势不明显且趋于稳定。

表 2 A1B 情景下的年均干球温度、含湿量和太阳辐射增幅情况

Table 2 The change of dry bulb temperature, moisture content and solar radiation under SRES A1B

气象参数	城市	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
干球温度/℃	北京	-0.84	-0.98	-0.47	0.28	0.43	0.88	1.75	1.66	1.69	2.66
	广州	0.25	-0.04	-0.07	0.84	1.15	2.44	2.25	2.75	3.21	3.31
含湿量/(kg·kg ⁻¹)	北京	-1.29	1.68	4.64	4.12	7.17	14.30	12.20	14.00	18.50	25.30
	广州	5.86	8.86	3.86	11.90	17.90	28.90	25.90	27.90	33.90	35.90
太阳辐射/(W·m ⁻²)	北京	48.77	42.31	40.92	53.80	48.08	37.83	47.85	45.66	45.98	37.89
	广州	71.57	55.29	66.24	69.12	60.91	67.15	71.73	74.92	74.00	67.69

表 3 B1 情景下的年均干球温度、含水量和太阳辐射增幅情况

Table 3 The change of dry bulb temperature, moisture content and solar radiation under SRES B1

气象参数	城市	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
干球温度/ $^{\circ}\text{C}$	北京	-1.10	-1.32	-0.23	-0.70	-0.05	0.78	-0.21	0.54	0.93	0.92
	广州	-0.22	-0.21	1.16	0.72	1.27	1.78	1.53	1.20	2.74	1.73
含水量/ $(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$	北京	-5.37	-0.84	0.95	1.18	3.15	8.65	10.00	8.29	11.70	14.60
	广州	3.86	5.86	14.90	15.90	13.90	21.90	20.90	18.90	26.90	18.90
太阳辐射/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	北京	47.61	46.85	52.54	44.14	51.03	45.52	50.12	51.68	43.95	43.41
	广州	72.84	63.65	71.11	51.85	77.14	71.98	75.26	61.74	90.93	80.61

2 气候变化对办公建筑采暖制冷能耗的影响

2.1 建筑模型的建立

研究气候变化下的建筑能耗变化,对寒冷地区和夏热冬暖地区建立了典型办公建筑的模型,建模建筑为一栋 20 层的办公建筑,北轴夹角为 0° ,标准层为 $37.8 \text{ m} \times 31.5 \text{ m}$ 平面,层高 3.8 m ,总建筑面积为 $23\,814 \text{ m}^2$,其中空调区域面积为 $21\,609 \text{ m}^2$,分布在建筑周围的 4 个区,参照国家及各地方建筑标准^[21],分别对各个城市的办公建筑围护结构进行设计,图 1 为建筑示意图,表 4 为基准建筑基本概况,建立的办公建筑典型模型基本能够反映两个代表城市建筑普遍情况。由于气候的变暖会导致室外温度升高使室内环境控制要求也有可能发生变化,在未来夏季设定温度将可能会是 27 或者 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在 2005 年,日本政府大楼将夏季设定温度提高至 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,这对建筑的节能将会产生很大的影响^[22]。至本世纪末随着气候变暖办公建筑的使用模式也会有所变化。但为了比较气象参数对建筑能耗的影响,办公

建筑的内部负荷、室内设计工况及暖通空调系统保持一致,且符合相应的建筑设计、节能设计标准,表 5 为基准建筑能耗模拟基本参数设置。

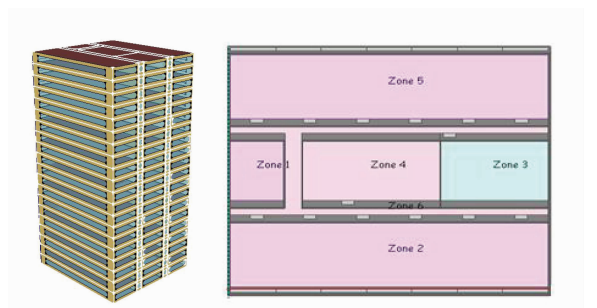


图 1 典型办公建筑示意图

Fig. 1 The sketch map of the typical office building

表 4 基准建筑基本情况

Table 4 The overview of the baseline building

城市	气候	体形系数	渗透率/(ach)	传热系数/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$		
				外墙	屋顶	窗户
北京	寒冷	0.15	0.5	0.6	0.55	2.7
广州	夏热冬冷	0.15	0.5	1.5	0.9	3.5

表 5 基准建筑基本参数设置

Table 5 The device parameters of the baseline building

室内温度设计工况		室内负荷照明			暖通空调		
夏季/ $^{\circ}\text{C}$	冬季/ $^{\circ}\text{C}$	人员密度/ $(\text{m}^2 \cdot \text{per}^{-1})$	照明密度/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	设备密度/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	空气处理机组	制冷	采暖
26	20	8	11	13	变风量再热	离心式 COP=4.7	燃气锅炉 BE=0.89

2.2 气候变化下的采暖和制冷能耗

利用变形法生成未来两种排放场景下寒冷及夏热冬暖地区代表城市能耗模拟所需逐时气象数据,并转换成 EPW 文件格式,采用能耗模拟 Energy Plus 软件对两个地区典型建筑进行建筑能耗模拟。

在两种排放情景下,分别对两个城市以 10 a 为节点进行了 40 次模拟得出未来气候变化下的采暖制冷能耗。

图 2 表明了 A1B 和 B1 排放情景下,以 10 a 为节点 2 个城市办公建筑总能耗的变化情况。由图

可知气候变化对建筑能耗有显著影响,其中 A1B 情景因表征着更高的排放场景,总能耗整体增加趋势较 B1 更明显。A1B 排放情景下,广州地区在 2050 年总能耗增加了 27 MJ/m²,至 2100 年总能耗增加 51 MJ/m²;北京的总能耗整体呈减少趋势,2050 年

能耗减少 26 MJ/m²,2100 年能耗减少 89 MJ/m²。B1 排放情景下,广州地区在 2050 年总能耗增加了 24 MJ/m²,至 2100 年总能耗增加 36 MJ/m²;北京地区在 2050 年能耗减少 41 MJ/m²,2100 年能耗减少 52 MJ/m²。

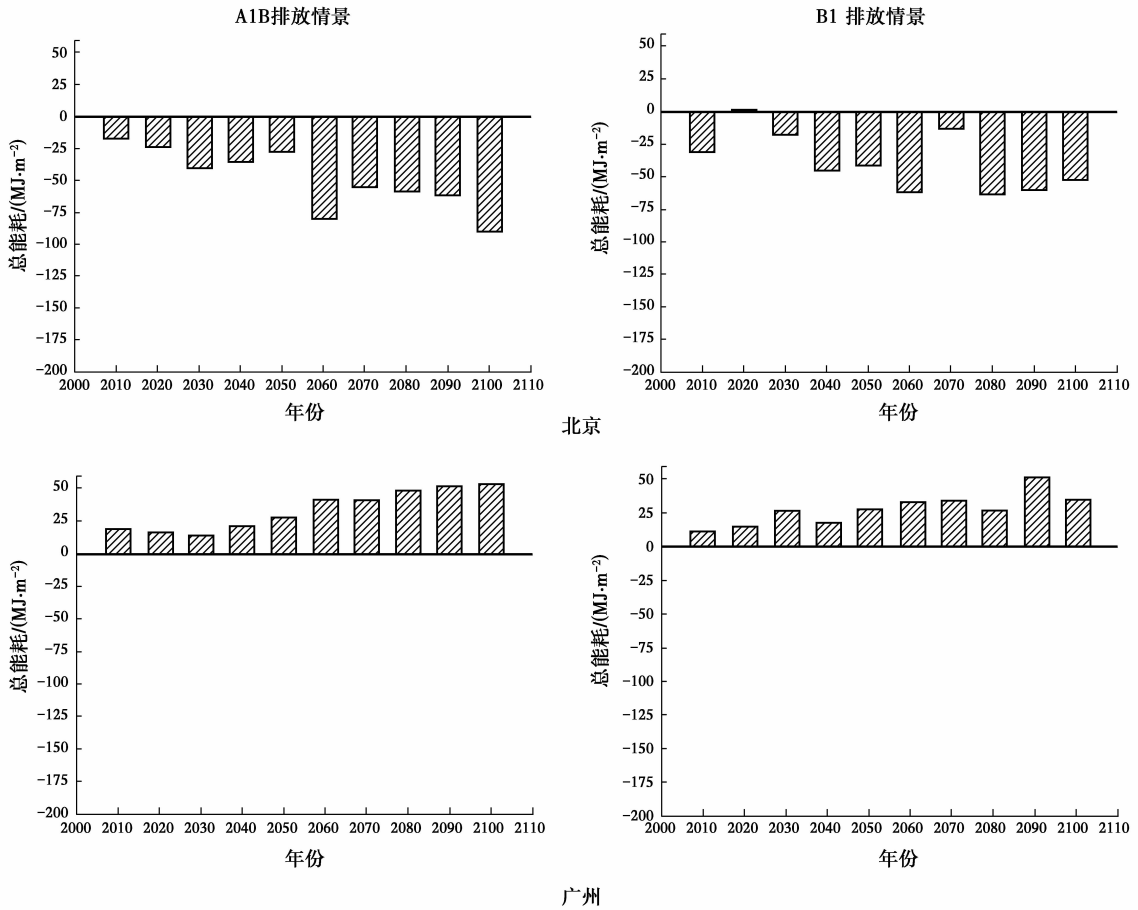


图2 两种情景下两个城市的办公建筑年总能耗变化

Fig. 2 The yearly energy consumption of the office building in the two cities under SRES A1B and B 1

表6为两种排放情景在2050和2100年两个节点年,两个城市办公建筑的采暖、制冷及总能耗情况。结果表明:在以夏季制冷能耗为主的气候区广州,制冷能耗的增加量大于采暖能耗的减少量导致总能耗增加,在以冬季采暖能耗为主的气候区北京则出现相反情况,采暖能耗的减少量大于制冷能耗的增加量导致总建筑能耗的减少。在A1B情景下,广州地区制冷能耗的增加量大于采暖能耗的减少量,与基准气候TMY的采暖能耗217.15 MJ/m²、制冷能耗26.13 MJ/m²相比,2050年的制冷能耗为249.12 MJ/m²,采暖能耗为11.45 MJ/m²;北京地区,与基准气候TMY的制冷能耗122.75 MJ/m²和采暖278.52 MJ/m²比,在A1B情景下2100年制冷能耗为141.75 MJ/m²,

采暖能耗为166.04 MJ/m²。模拟结果表明,随着气候的变暖,到21世纪末,B1情景下夏热冬暖地区采暖能耗减少69.6%,制冷能耗增加19%,总能耗增加5.0%;寒冷地区采暖能耗减少23.5%,制冷能耗增加9.6%,总能耗减少6.4%。A1B情景下夏热冬暖地区采暖能耗减少77.3%,制冷能耗增加26.8%,总能耗增加7.1%;寒冷地区采暖能耗减少40.4%,制冷能耗增加15.5%,总能耗减少11.1%。A1B和B1情景代表着中国未来可能的两种能源结构变化及发展模式,月尺度数据较为适用于中国,Joseph等^[8]及朱明亚等^[23]通过预测气候变化对建筑能耗的影响也得出了相同的规律,但本文能较够细致客观地反映了建筑未来能耗变化规律。

表 6 两种排放情景下 2050 和 2100 年典型气候代表城市办公建筑的制冷、采暖和总能耗
Table 6 The cooling, heating and total energy consumption of the typical office building
in 2050 and 2100 under SRES A1B and B1

代表城市	年份	A1B 排放情景			B1 排放情景		
		制冷能耗/ (MJ·m ⁻²)	采暖能耗/ (MJ·m ⁻²)	总能耗/ (MJ·m ⁻²)	制冷能耗/ (MJ·m ⁻²)	采暖能耗/ (MJ·m ⁻²)	总能耗/ (MJ·m ⁻²)
北京	TMY	122.75	278.52	806.64	122.75	278.52	806.64
	2050	133.66	239.57	780.30	129.83	230.04	765.88
	2100	141.75	166.04	716.77	134.57	213.13	754.80
广州	TMY	217.15	26.13	716.71	217.15	26.13	716.71
	2050	249.12	11.45	743.37	251.84	8.00	740.76
	2100	275.39	5.93	768.09	258.45	7.94	752.35

3 结 论

基于 TMY 及 IPCC 预测未来 100 年气象参数的月均值,由 Morphing 方法得到未来近 100 年两种排放情景下每隔 10 a 的逐时气象数据,通过建筑模型建模,运用 EnergyPlus 动态能耗模拟软件下模拟了两种气候条件下代表城市办公建筑的能耗情况。

夏热冬暖地区主要以制冷能耗为主,仅有少量采暖能耗,该地区制冷能耗的增加量高于采暖能耗的减少量导致了总能耗的增加。而寒冷地区主要以采暖为主兼顾制冷,该地区采暖能耗的减少量高于制冷能耗的增加量导致了总能耗的减少。AB1 情景代表中排放情景,气候变暖较低排放情景 B1 更为明显,模拟结果也显示了在 A1B 情景下夏热冬冷地区建筑的能耗高于 B1 情景,在寒冷地区能耗减少较 B1 情景更明显。

中国目前的建筑节能重点区域是炎热和寒冷地区,研究表明,未来气候变暖对建筑的能耗产生重大影响。在未来气候持续变暖的条件下,节能的主要方向应是减少制冷能耗。典型气象年与气候预测相结合的方法为研究未来气候变化对能源需求的影响提供了重要依据。

参考文献:

[1] WAN K K W, LI D H W, PAN W, et al. Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications [J]. Applied Energy, 2012, 97(3): 274-282.

[2] DIRKS J A, GORRISSEN W J, HATHAWAY J H. Impacts of climate change on energy consumption and peak demand in buildings: A detailed regional approach [J]. Energy, 2015, 79: 20-32.

[3] 侯证. 用度日法分析气候变化对建筑采暖能耗的影响 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.

HOU Z. Analysing climate changing impact on building energy consumption of heating by method of degree-days [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2007. (in Chinese)

[4] MARK F J, ABUBAKR S B, PATRICK A, et al. Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files [J]. Energy and Building, 2008, 40(12): 2148-2168.

[5] 张海东. 气候变化对我国取暖和降温耗能的影响及优化研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.

ZHANG H D. Influence of climate change on warming/cooling energy consumption and optimization [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2007. (in Chinese)

[6] 田喆. 城市热岛效应分析及其对建筑空调采暖能耗影响的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2005.

TIAN Z. Analysis of urban heat island and study on impact of UHI on building HVAC energy consumption [D]. Tianjin: Tianjin University, 2005. (in Chinese)

[7] JOSEPH C L, KEVIN K W W, TONY N T L. An analysis of future building energy use in subtropical Hong Kong [J]. Energy, 2010, 35(3): 1482-1490.

[8] JOSEPH C L, KEVIN K W W, TONY N T L. Principal component analysis and long-term building energy simulation correlation [J]. Energy Conversion and Management, 2010, 51(1): 135-139.

[9] KEVIN K W W, DANNY H W L, LIU D L. Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates [J]. Building and Environment, 2010, 46(1): 223-224.

[10] KEVIN K W W, DANNY H W L, JOSEPH C L. Assessment of climate change impact on building energy

- use and mitigation measures in subtropical climates [J]. *Energy*, 2011, 36(3):1404-1414.
- [11] 刘大龙,刘加平,杨柳,等. 气候变化下建筑能耗模拟气象数据研究[J]. *土木与环境工程*, 2012, 34(2): 110-114.
- LIU D L, LIU J P, YANG L, et al. Analysis on simulation meteorological data under climate change [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2012, 34(2):110-114. (in Chinese)
- [12] 刘大龙,刘加平,杨柳,等. 气候变化下我国建筑能耗演化规律研究[J]. *太阳能学报*, 2012, 34(2):110-114.
- LIU D L, LIU J P, YANG L, et al. Building energy consumption principia under climate change in China [J]. *Acta Energae Solaris Sinica*, 2012, 34(2): 439-444. (in Chinese)
- [13] 罗勇. 气候变化业务[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- LUO Y. Climate change business[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2012. (in Chinese)
- [14] BELCHER S E, HACKER J N, POWELL D S. Constructing design weather data for future climates [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2005, 26(1):49-61.
- [15] YAU Y H, HASBI S. A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, 18(2):430-441.
- [16] JENTSCH M, F JAMES P A B, BOURIKAS L, et al. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates [J]. *Renewable Energy*, 2013, 55(4):514-524.
- [17] BERGER T, AMANN C, FORMAYER H, et al. Impacts of climate change upon cooling and heating energy demand of office buildings in Vienna, Austria [J]. *Energy & Buildings*, 2014, 80: 517-530.
- [18] WANG H, CHEN Q. Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States [J]. *Energy & Buildings*, 2014, 82:428-436.
- [19] FARROU I, KOLOKO M, SANTAMOURIS M. Building envelope design for climate change mitigation: a case study of hotels in Greece [J]. *International Journal of Sustainable Energy*, 2014:1-24.
- [20] 刘大龙. 区域气候预测与建筑能耗演化规律研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2011.
- LIU D L. The study of building energy consumption based on climate prediction [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国建设部. 公共建筑节能设计标准:GB 50189—2009 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009: 2-70.
- Design standard for energy efficiency of public buildings [S]; GB 50189—2009. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese)
- [22] ROAF S, NICOL F, HUMPHREYS M, et al. Twentieth century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings [J]. *Architectural Science Review*, 2010, 53:65-77.
- [23] 朱明亚,潘毅群,华沙晶,等. 气候变化条件下中国典型城市未来天气参数与建筑能源需求预测[J]. *建筑节能*, 2013, 41(265):57-64.
- ZHU M Y, PAN Y Q, HUA S J, et al. Prediction of future weather data and building energy demand for representative cities in china under climate change [J]. *Building Energy Efficiency*, 2013, 41(265): 57-64. (in Chinese)

(编辑 胡玲)