

典型城市居住建筑室内设置温度对供暖供冷能耗的影响

刘 猛, 薛 凯, 衷逸群, 陈 希, 曹渝婧

(重庆大学 城市建设与环境工程学院; 绿色建筑与人居环境营造国际合作联合实验室;
国家级低碳绿色建筑国际联合研究中心, 重庆 400045)

摘 要:随着社会经济和城镇化进程的推进,人们对室内热环境的改善需求日益提升。室内设置温度对供暖供冷能耗有很大影响,通过选取中国不同气候区的典型城市,运用 DeST-h 能耗模拟软件,模拟分析了不同使用模式下,不同室内设置温度对建筑供暖供冷能耗的影响。结果表明,通过运行模式的调整,可以带来 40%~60% 的供暖供冷需求下降;通过适宜的室内温度设置,可以有效的延长非供暖供冷的时间,每降低要求 1 ℃,可以降低能耗 7% 左右。

关键词:供暖供冷;居住建筑;气候区;室内热环境;设置温度

中图分类号:TU831.1;TU832.1;TU833.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S1-0204-06

Impact of indoor setting temperature on heating and cooling energy consumption in selected cities

Liu Meng, Xue Kai, Zhong Yiqun, Chen Xi, Cao Yujing

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering; Joint International Research Laboratory of Green Building and Built Environment, Ministry of Education; National Centre for International Research of Low-carbon and Green Buildings, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China.)

Abstract: With the economic development and urbanization in China, the demand on improvement of indoor thermal environment has been increasing rapidly. Regarding the impact of Indoor setting temperature on energy consumption of heating and cooling, DeST-h is adopted for the investigation of some operation modes for some selected cities in different climate zones. It is found that 40%~60% reduction could be obtained with appropriate modes change. And non-heating-and-cooling period could be extend with appropriate indoor temperature setting, which could be found 7% reduction in energy consumption for 1 ℃ change.

Key words: heating and cooling; residential building; climate zone; indoor thermal environment; setting temperature

近 10 年来,中国社会经济与城镇化进程迅速发展。2005 年,国内生产总值为 184 937 亿元,城镇居民人均可支配收入为 10 493 元,城镇化率为 43%,2014 年国内生产总值达到 636 139 亿元,增加了 2 倍多,城镇居民人均可支配收入为 28 844 元,增加

了 175%,城镇化率提升到 54.77%^[1]。随着经济的发展,人们对室内环境,尤其是基本的室内热环境的改善需求也日益提升,2005 年,城镇居民家庭平均每百户空调拥有量为 80.7 台,2014 年,这一数字上升到 126.8 台,增长了 50%^[1]。

收稿日期:2015-09-16

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划重大项目(2013BAJ11B05)

作者简介:刘猛(1979-),男,教授,博士,主要从事绿色建筑技术、建筑节能研究,(E-mail) liumeng2033@126.com。

同时,随着人们对室内热环境需求的提升,居民供暖供冷能耗也日益增加,热泵型房间空调器是目前中国居民普遍采用的供暖供冷设施,室内设置温度是影响空调能耗的一大关键因素,中国现行规范^[2-3]也给出了空调温度设定的要求。其中,《民用建筑室内热湿环境评价标准》(GB 50785—2012)中要求冬季为 18~24 °C,夏季为 22~28 °C,《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736—2012)对室内设定温度进行了等级划分,其中供热工况一级为 22~24 °C,二级为 18~22 °C;供冷工况一级为 24~26 °C,二级为 26~28 °C。室内温度的设置不仅会影响供暖供冷时间,同时也会影响房间空调器的运行效率^[4]。而通过有效的技术集成以及人体自适应调节,可以有效的延长建筑室内非供暖供冷时间^[5-7],为了了解设置温度对空调能耗的影响,笔者选取中国 5 个热工分区的部分典型城市,通过能耗模拟分析在不同设置温度条件下供暖供冷能耗情况,并对其的节能潜力进行分析。

1 研究方法

运用 DeST-h 能耗模拟软件^[8],选取 5 个气候区的典型城市,包括:夏热冬暖地区(广州、福州),温和地区(昆明),夏热冬冷地区(重庆、长沙、杭州、上

海),寒冷地区(北京、西安),严寒地区(哈尔滨)。选取典型居住建筑户型,平面设计及物理模型如图 1、图 2,模型围护结构及内扰设置见表 1、表 2。不同气候区的供暖季和供冷季日期见表 3。

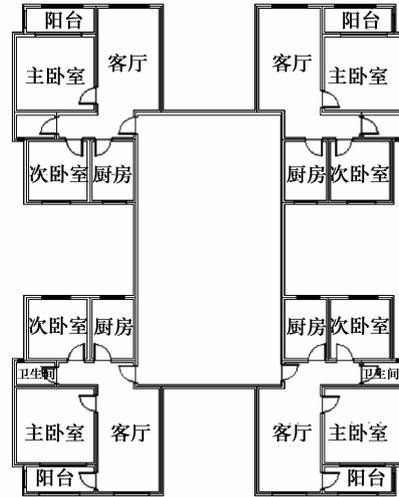


图 1 建筑平面设计图

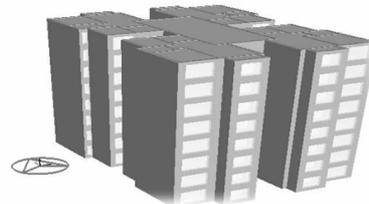


图 2 DeST 模型

表 1 围护结构参数及室内热扰

围护结构名称	围护结构材料	传热系数 $K/(W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1})$		
		夏热冬暖	夏热冬冷及温和	严寒及寒冷
外墙	钢筋混凝土+聚苯颗粒保温砂浆	1.5	1.0	0.6
内墙	钢筋混凝土+膨胀聚苯板	2.218	2.218	2.218
屋面	水泥砂浆+多孔混凝土+1 钢筋混凝土+水泥砂浆	1.0	0.8	0.45
楼地	混凝土楼地			
楼板	水泥砂浆+钢筋混凝土+水泥砂浆	3.055	3.055	3.055
外窗	普通中空	3.1	3.1	3.1

表 2 室内热扰

气密性/ h^{-1}	人员数	照明/W	设备/W
1.0	2	5	卧室 12.7 客厅 9.3

表 3 不同气候区供暖供冷季

气候区	供暖季起止日期	供冷季起止日期
夏热冬暖地区	12-01—02-28	04-15—10-15
温和地区	12-01—02-28	05-01—09-30
夏热冬冷地区	12-01—02-28	05-01—09-30
寒冷地区	11-15—03-15	06-01—08-31
严寒地区	11-15—03-15	06-01—08-31

同时,为考虑空调运行模式的影响,考虑 3 种基本模式,如表 4。

表 4 运行模式设置

模式	房间空调器运行设置
模式 1	客厅全天开启 卧室全天开启
模式 2	客厅与卧室:工作日 18:00—6:00 周末 9:00—6:00
模式 3	客厅:工作日 18:00—22:00,周末 9:00—12:00 和 14:00—22:00 卧室:工作日 22:00—6:00,周末 12:00—14:00 和 22:00—6:00

选取 4 层某户型(如图 1 虚线框)进行全年供暖供冷负荷统计,设置房间空调器供冷季能效比为 3(设置温度为 30 °C 时),供暖季能效比为 2.5(设置温度为 16 °C 时)。根据逆卡诺循环原理,当蒸发温度降低 1 °C,制冷系数降低 3%~4%,冷凝温度升高 1 °C,制热系数降低 2%~3%^[9]。考虑不同设置温度对季节能效比的影响,各设置温度能效比如表 5。

表 5 不同设置温度的能效比

设置温度/°C		能效比 COP	
夏季	冬季	夏季	冬季
30	16	3.0	2.5
28	18	2.8	2.4
26	20	2.7	2.3
24	22	2.5	2.2
22	24	2.3	2.1

依据标准规范规定,将供冷/供暖设定温度均划分 5 个档,分别为供冷(22、24、26、28、30 °C)、供暖(16、18、20、22、24 °C),选取不同气候区共计 10 个典型城市,模拟 3 种不同作息模式下的典型户供冷季累计供冷量以及供暖季累计供热量。

2 分析与讨论

2.1 模式 1(全时间全空间)

空调运行模式为全天 24 h 开启状态时,夏季随着设定温度的升高,供冷季累计供冷量逐渐降低。冬季随着设定温度的升高,供热季累计供热量逐渐升高。根据表 4 中不同温度下能效比,将供冷供热量转化为耗电量,如图 3 和 4,统计不同气候区供冷

季与供暖季累计单位空调面积耗电量。

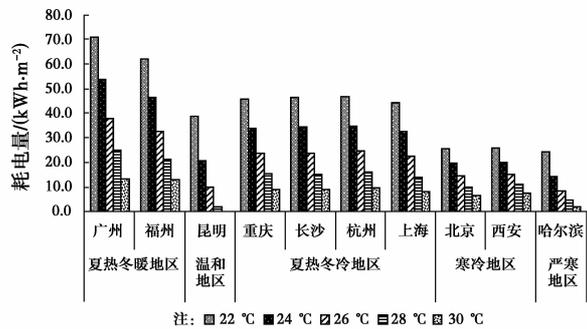


图 3 模式 1 供冷季累计耗电量

对于供冷季:

1)夏热冬暖地区(广州、福州),室内设置温度为 22 °C 时,累计能耗大约为 62~70 kWh/m²,当设置温度为 30 °C 时,降低到 13 kWh/m²,每 2 °C 降低约 20%。

2)温和地区(昆明),室内设置温度为 22 °C 时,累计能耗约为 39 kWh/m²,当设置温度为 30 °C 时,降低到 0.47 kWh/m²,基本无供冷需求,每 2 °C 降低约 25%。

3)夏热冬冷地区(重庆、长沙、杭州、上海),室内设置温度为 22 °C 时,累计能耗约为 45 kWh/m²,当设置温度为 30 °C 时,降低到 9 kWh/m²,每 2 °C 降低约 20%。

4)寒冷地区(北京、西安),室内设置温度为 22 °C 时,累计能耗约为 25 kWh/m²,当设置温度为 30 °C 时,降低到 7 kWh/m²,每 2 °C 降低约 18%。

5)严寒地区(哈尔滨),室内设置温度为 22 °C 时,累计能耗平均为 25 kWh/m²,当设置温度为 30 °C 时,降低到 2 kWh/m²,每 2 °C 降低约 23%。

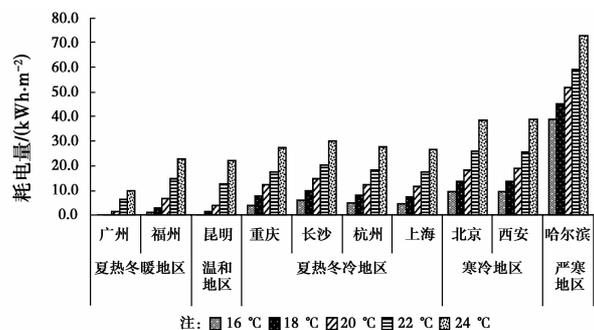


图 4 模式 1 供暖季累计耗电量

对于供暖季:

1)夏热冬暖地区(广州、福州),室内设置温度为 24 °C 时,累计能耗约为 10~22 kWh/m²,不同城市

间差异较大;当设置温度为 16 ℃ 时,降低到 0.4 kWh/m²,基本无供暖需求,每 2 ℃ 降低 24%。

2) 温和地区(昆明),室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗为 22 kWh/m²,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到 0.20 kWh/m²,基本无供暖需求,每 2 ℃ 降低 25%。

3) 夏热冬冷地区(重庆、长沙、杭州、上海),室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗平均为 26~30 kWh/m²,不同城市间差异较小;当设置温度为 16 ℃ 时,降低到约 5 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 21%。

4) 寒冷地区(北京、西安),室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗约为 39 kWh/m²,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到 9 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 19%。

5) 严寒地区(哈尔滨),室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗为 73 kWh/m²,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到约为 39 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 12%。

2.2 模式 2(部分时间全空间)

空调运行模式为客厅和卧室作息时间相同,即工作日开启时间为 18:00—6:00,周末为 9:00—6:00。同理,统计不同气候区供冷季与供暖季单位空调面积累计耗电量,如图 5、图 6。

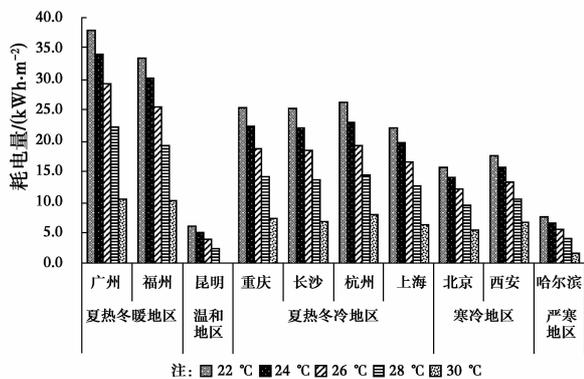


图 5 模式 2 供冷季累计耗电量

对于供冷季:

1) 夏热冬暖地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 33~38 kWh/m² 左右,当设置温度为 30 ℃ 时,降低到 10 kWh/m²,每 2 ℃ 降低约 18%。

2) 夏热冬冷地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为约 22~26 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,降低到约 7 kWh/m²,每 2 ℃ 降低约 18%。

3) 寒冷地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 16 kWh/m² 左右,当设置温度为 30 ℃ 时,降低到约 6 kWh/m²,每 2 ℃ 降低约 16%。

4) 严寒地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能

耗为 7.5 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,降低到 1.6 kWh/m²,每 2 ℃ 降低约 20%。

5) 温和地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 6 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,能耗为零,每 2 ℃ 降低 25%。

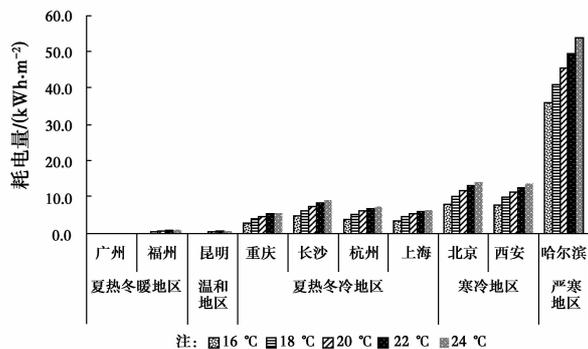


图 6 模式 2 供暖季累计耗电量

对于供暖季:

1) 夏热冬暖地区,几乎无能耗。

2) 夏热冬冷地区,室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗为 6~10 kWh/m²,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到约 3.9 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 20%。

3) 寒冷地区,室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗为 14 kWh/m² 左右,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到约 8 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 19%。

4) 严寒地区,室内设置温度为 24 ℃ 时,累计能耗为 54 kWh/m²,当设置温度为 16 ℃ 时,降低到 36 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 12%。

5) 温和地区,累计能耗始终不超过 1 kWh/m²,基本无供暖需求。

2.3 模式 3(部分空间部分时间)

空调运行模式为客厅:工作日 18:00—22:00,周末 9:00—12:00 和 14:00—22:00;卧室:工作日 22:00—6:00,周末 12:00—14:00 和 22:00—6:00。同模式一,统计不同气候区供冷季与供暖季单位空调面积累计耗电量,如图 7、图 8。

对于供冷季:

1) 夏热冬暖地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 30~35 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,降低到 8~10 kWh/m²,每 2 ℃ 降低 18%。

2) 温和地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 4.1 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,基本无供冷需求,每 2 ℃ 降低 25%。

3) 夏热冬冷地区,室内设置温度为 22 ℃ 时,累计能耗为 20~25 kWh/m²,当设置温度为 30 ℃ 时,

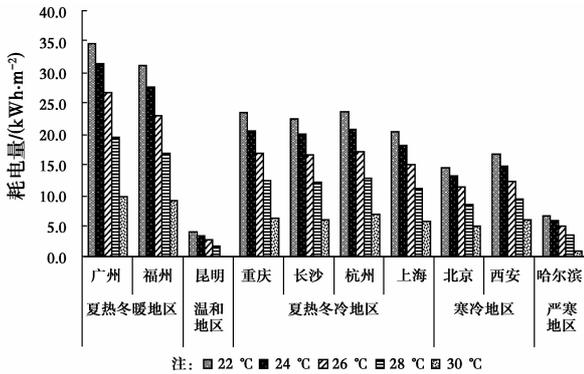


图 7 模式 3 供冷季累计耗电量

降低到 6~8 kWh/m², 每 2℃ 降低 18%。

4) 寒冷地区, 室内设置温度为 22℃ 时, 累计能耗为 15~18 kWh/m², 当设置温度为 30℃ 时, 降低到 5 kWh/m², 每 2℃ 降低 16%。

5) 严寒地区, 室内设置温度为 22℃ 时, 累计能耗为 6~8 kWh/m², 当设置温度为 30℃ 时, 降低到 1 kWh/m², 基本无供冷需求, 每 2℃ 降低 21%。

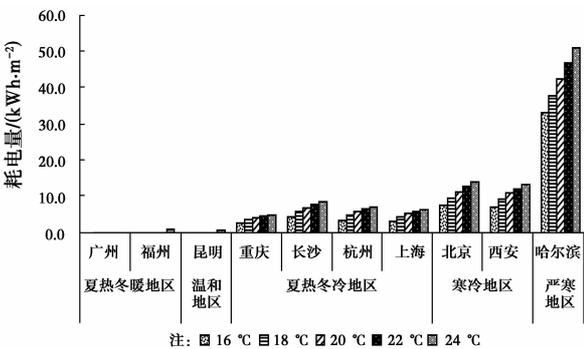


图 8 模式 3 供暖季累计耗电量

对于供暖季:

1) 夏热冬暖地区, 室内设置温度为 24℃ 时, 累计能耗为 0.4 kWh/m², 当设置温度为 16℃ 时, 基本无供暖需求, 每 2℃ 降低 25%。

2) 温和地区, 室内设置温度为 24℃ 时, 累计能耗为 0.5 kWh/m², 当设置温度为 16℃ 时, 降低到 0.18 kWh/m², 基本无供暖需求, 每 2℃ 降低 16%。

3) 夏热冬冷地区, 室内设置温度为 24℃ 时, 累计能耗为 6~8 kWh/m², 当设置温度为 16℃ 时, 降低到 4 kWh/m², 每 2℃ 降低 12%。

4) 寒冷地区, 室内设置温度为 24℃ 时, 累计能耗为 13~15 kWh/m², 当设置温度为 16℃ 时, 降低到 6~8 kWh/m², 每 2℃ 降低 11%。

5) 严寒地区, 室内设置温度为 24℃ 时, 累计能耗平均为 50 kWh/m², 当设置温度为 16℃ 时, 降低

到约 33 kWh/m², 每 2℃ 降低 9%。

2.4 节能减排潜力分析

为了更加清晰了解空调运行方式、室内设定温度对能耗的影响, 确定 5 种方案, 并从耗电量及二氧化碳排放量角度分析两种措施下居住建筑节能减排潜力。其中方案 1、2、3 确定为能耗最大(供冷供暖设定温度分别为 22℃ 与 24℃)时的 3 种作息, 方案 4、5 分别确定为理想作息下规范推荐值(供冷供暖设定温度分别为 26℃ 与 18℃)以及空调运行最优条件(供冷供暖设定温度分别为 30℃ 与 16℃), 并将供冷季与供暖季单位空调面积累计耗电量叠加作为该地区全年单位空调面积耗电量, 见表 6。

表 6 居住建筑节能减排潜力分析方案

方案	空调运行模式	室内设定温度 (供冷/供暖)/℃
方案 1	模式 1	22/24
方案 2	模式 2	22/24
方案 3	模式 3	22/24
方案 4	模式 3	26/18
方案 5	模式 3	30/16

如图 9, 为 5 种方案下, 不同气候区单位空调面积累计耗电量。

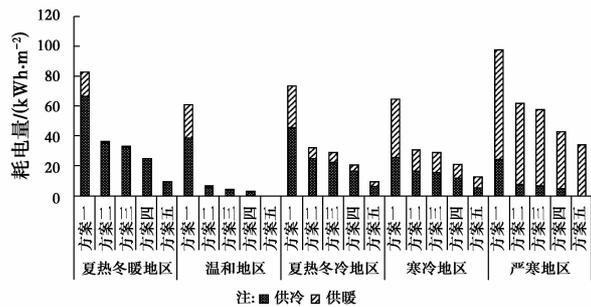


图 9 不同气候区单位空调面积累计耗电量

由图 9 可以看出, 从全年角度来看, 不同气候区单位面积累计耗电量不同, 严寒地区供暖季约占全年能耗的 85%, 夏热冬暖地区供冷季能耗约占全年能耗的 92%, 总体来看, 全年单位空调面积能耗: 严寒地区 > 夏热冬暖地区 > 夏热冬冷地区 > 寒冷地区 > 温和地区。

选择的 3 种不同运行模式, 分别代表 3 种不同空调使用特点, 模式 1 空调全天 24 h 开启, 属于全空间全时间使用, 能耗最大, 类似于北方传统集中供暖模式; 模式 2 空调卧室均采用部分时间, 属于部分

时间全空间模式,能耗较大,类似于家庭中央空调系统运行模式;而模式 3 属于目前典型的南方分散供暖供冷模式。可以看到不同气候区,模式的改变所带来的节能潜力有所不同,当由模式 1 变为模式 2,平均能耗下降 50.6%,全国范围来看,按照目前各地区居住建筑面积(夏热冬冷地区 65 亿 m²,夏热冬暖及温和地区 45 亿 m²,严寒及寒冷地区 80 亿 m²),取 0.65 的系数折合为空调面积,整体上全年耗电量,将由 9 396.2 亿 kWh 降低至 4 378.1 亿 kWh,节能 5 018.2 亿 kWh,按照 2014 年中国 6 000 kW 及以上电厂发电标准煤耗为 300 g/kWh^[10],节能量 53%,折合发电煤耗 1.5 亿 t。同理,由模式 1 变为模式 2,将由 9 396.2 亿 kWh 降低至 4 021.8 亿 kWh,节能量达到 57%,折合发电煤耗 1.6 亿 t。

为了确定室内设定温度对能耗的影响,对比分析方案 3、4、5(温度变化约 8 ℃),经计算,方案 4、5(累计耗电量 2 945.1 亿 kWh、1 756.4 亿 kWh)较方案 3(累计耗电量 4 021.8 亿 kWh)分别节能 27%、56%,分别折合 0.3 亿 t 标煤与 0.7 亿 t 标煤,平均每降低要求 1 ℃,降低能耗约 7%左右,并有效延长了非供暖供冷时间。

此外,依据国家发展和改革委员会数据 2012 年中国区域电网平均 CO₂ 排放因子^[11],可以计算出 CO₂ 减排潜力,提取出模型 10 个城市的数据,见表 7。

表 7 2012 年中国区域电网平均 CO₂ 排放因子

气候区	城市	碳排放因子/ (kg·kWh ⁻¹)
夏热冬暖地区	广州	0.527 1
夏热冬暖地区	福州	0.703 5
温和地区	昆明	0.527 1
夏热冬冷地区	重庆	0.525 7
夏热冬冷地区	长沙	0.525 7
夏热冬冷地区	杭州	0.703 5
夏热冬冷地区	上海	0.703 5
寒冷地区	北京	0.884 3
寒冷地区	西安	0.667 1
严寒地区	哈尔滨	0.776 9

可以做出不同城市在 5 种方案下的单位空调面积 CO₂ 排放量,见图 10。

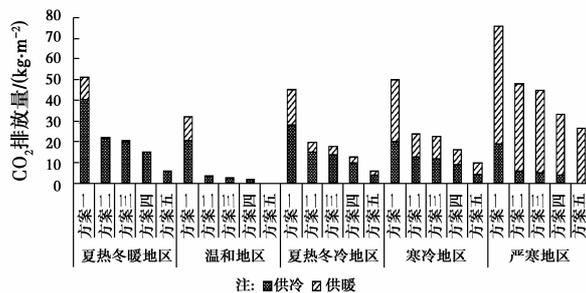


图 10 不同气候区单位空调面积 CO₂ 排放量

根据目前不同气候区居住建筑规模,同理可以计算出采用不同方案后 CO₂ 减排量,总体来看,方案 2(3.1 亿 t)较方案 1(6.4 亿 t),全国全年 CO₂ 减排率为 52%,达 3.3 亿 t。采用方案 3 作息,减排量达 3.6 亿 t。

同理采用不同室内设置温度后,减排率分别达 27%与 55%,减少排放量分别为 0.8 亿 t 与 1.6 亿 t。如图 11,分别为采用 5 种不同方案后,CO₂ 减少量,可以明显看到,CO₂ 排放量可大大降低,减排量达 5.1 亿 t。

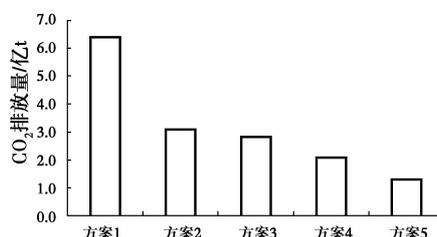


图 11 CO₂ 减排量

3 结 论

空调运行模式及室内设置温度对减少居住建筑供暖供冷能耗有明显的效果,不仅能够节约一次能源消耗量,同时将产生巨大的节能减排潜力。

1)通过 3 种不同模式的设置,空调运行方式由全时间全空间运行方式改为部分时间全空间模式的运行方式后,可减少煤耗达 1.5 亿 t;而当改为部分空间部分时间后,煤耗节省量可达 1.6 亿 t,可见通过运行模式调整,可以带来 40%~60%的节能潜力。

2)供暖季,室内设置温度每降低 1 ℃,可带来节能潜力 6%~8%;供冷季,室内设置温度每升高 1 ℃,可带来节能潜力 6%~9%。

3)以模式 3(冬季设置为 24 ℃,夏季设置为 22 ℃)为基准,若采用全空间全时间模式,能耗会增

加 137%，若设置适宜室内温度，可有效延长非供暖供冷时间，减少能耗 56%。

参考文献：

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2005—2014[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2014.
- [2] 中华人民共和国建设部. GB 50785—2012 民用建筑室内热湿环境评价标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [4] 李兆坚, 江亿. 北京市住宅空调负荷和能耗特性研究[J]. 暖通空调, 2006, 36(8): 6-11.
- [5] Yao R M, Li B Z, Liu J. A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV) [J]. Building and Environment, 2009, 44 (10): 2089-2096.
- [6] Yao R M, Liu J, Li B Z. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms [J]. Applied Energy, 2010, 87(3): 1015-1022.
- [7] Yao R M, Li B Z, Steemers K, et al. Assessing the natural ventilation cooling potential of office buildings in different climate zones in China [J]. Renewable Energy, 2009, 34(12): 2697-2705.
- [8] 燕达, 谢晓娜, 宋芳婷, 等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第一讲建筑模拟技术与 DeST 发展简介[J]. 暖通空调, 2004, 34(7): 48-56.
- [9] 郑慧明, 邹磊, 徐祯祥, 等. 论蒸发温度和冷凝温度对制冷效率的影响[J]. 发电与空调, 2013, 34(2): 32-35.
- [10] 中电联规划与统计信息部. 2014 年电力统计基本数据一览表 [EB/OL]. <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/>.
- [11] 国家发改委. 2011 年和 2012 年中国区域电网平均二氧化碳排放因子[EB/OL]. [2014-12-7].

(编辑 胡英奎)