

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.03.015



# 寒冷地区建筑负荷对围护结构热工参数的敏感性分析

王 焱<sup>a,b</sup>, 胡文婷<sup>a</sup>, 孙鹏宝<sup>a</sup>, 王继承<sup>a</sup>

(兰州交通大学 a. 环境与市政工程学院 b. 铁道车辆热工教育部重点实验室, 兰州, 730070)

**摘要:**为研究建筑围护结构属性对同一热工分区不同城市节能建筑负荷影响的敏感性,以同属于寒冷地区的兰州和郑州为研究目标所在城市,在节能65%的前提下将4种外墙、3种外窗和4种窗墙比进行组合得到了48个可能的办公建筑围护结构计算房间。分别计算了这些房间的冷负荷、热负荷和全年总负荷并分析了各热工参数对负荷的影响。通过与基准房间负荷对比,获得了具有不同热工性能的计算房间的节能率及最优的办公建筑围护结构。

**关键词:**寒冷地区;建筑节能;围护结构;建筑负荷;优化设计

**中图分类号:**TU832 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)03-0108-08

## Analysis of sensibility of building load to building envelope thermal parameters in cold zone

Wang Ye<sup>a,b</sup>, Hu Wenting<sup>a</sup>, Sun Pengbao<sup>a</sup>, Wang Jicheng<sup>a</sup>

(a. School of Environmental and Municipal Engineering; b. Key Laboratory of Railway Vehicle Thermal Engineering, Ministry of Education of China, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, P. R. China)

**Abstract:** Two cities located in cold zone, Lanzhou and Zhengzhou were selected to study the relationship between the building envelope properties and the building heating and cooling load. Under the condition of energy efficient rate 65%, four types of walls, three types of windows and four window-to-wall ratios were assembled into 48 types of office building envelopes as the calculating rooms. The annual heating and cooling loads of the calculating rooms were obtained and the influence of thermal performance on building load was analyzed. The energy saving ratio and the optimal building envelope for each city were determined by comparing with the annual total load of baseline room,.

**Key words:** cold zone; building energy efficient; building envelope; heating and cooling load; optimization design

建筑围护结构对室外条件的热反应取决于其各组成部分材料的热性能和它的自身结构,其热工性能是影响建筑能效的决定性因素<sup>[1-2]</sup>。随着建筑节能目标的不断提升,与建筑围护结构有关的研究也

**收稿日期:**2014-11-06

**基金项目:**国家自然科学基金(51266004,51476073);甘肃省自然科学基金(1308RJZA151)

**作者简介:**王焱(1972-),男,博士,教授,主要从事暖通空调、强化传热研究,(E-mail)wangye@mail.lzjtu.cn.

**Received:**2014-11-06

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 51266004, 51476073); Gansu Province Natural Science Foundation (No. 1308RJZA151)

**Author brief:** Wang Ye(1972-), PhD, professor, main research interests: heating ventilation and air conditioning, heat transfer enhancement. (E-mail)wangye@mail.lzjtu.cn.

取得了大量的成果<sup>[3-8]</sup>。文献[9]对现有公共节能建筑围护结构进行了热工性能优化,从建筑方位、窗墙比、保温材料和窗户类型几个方面对优化方案进行了技术经济分析。文献[10]研究了中国夏热冬冷地区 4 个城市高层建筑围护结构热工性能在不同季节的主要影响因素。文献[11]分析了不同建筑围护结构外表面装饰材料在太阳辐射作用下对建筑耗热的影响。文献[12]对 112 种墙和屋顶不同材料组合构成的建筑物进行计算,得到了满足节能建筑标准要求的隔热层参数,并对计算结果进行了实验验证。文献[13]在分析了建筑围护结构中 6 个因素对建筑运行能耗影响的基础上,采用正交试验设计方法对建筑围护结构进行了优化设计。由于中国寒冷地区在地域和低温时段上的大跨度特点,决定了建筑围护结构热工性能在不同城市必然表现出不同的耗能特性<sup>[14]</sup>。那么,对于具有同一热工属性的围护结构建筑物在同一热工分区不同城市负荷间的差异究竟

如何呢?关于这一问题,目前还未见报道。本文选取同属寒冷地区的兰州和郑州作为研究目标所在城市,因为它们分别属于中温带大陆性气候区和暖温带亚湿润季风气候区<sup>[15]</sup>,在耗能方式和对能耗影响的敏感程度也会有所不同,以此为基础进行建筑围护结构优化设计,以获得同一热工分区不同城市最佳节能建筑。

## 1 建筑模型

### 1.1 基准房间

为了对不同围护结构计算房间综合性能进行评价,引入一个外形、大小、朝向、内部空间划分和使用功能等基本信息与计算房间相同的假想房间,即为基准房间。兰州、郑州两地的基准房间外墙采用 300 mm 厚黏土多孔砖,窗户为 6 mm 单层玻璃塑钢窗,南北向窗墙比取 0.35。该基准建筑没有采取任何保温、遮阳措施,其热工参数如表 1 所示。

表 1 基准房间热工参数

Table 1 Thermal parameters of standard room

结构组成(由外到内)	厚度 $\delta$ / mm	导热系数 $\lambda$ / [W · (m <sup>2</sup> · K) <sup>-1</sup> ]	导热修正系数 $\beta$	传热系数 $K$ / [W · (m <sup>2</sup> · K) <sup>-1</sup> ]			
				兰州		郑州	
				冬季	夏季	冬季	夏季
黏土多孔砖	300	0.58	1.00	1.456	1.434	1.496	1.470
塑钢单层普通玻璃	6	0.76	1.00	4.521	4.298	4.971	4.664

### 1.2 计算房间

计算房间如图 1 所示,其进深 × 开间 × 高 = 6.3 m × 4.0 m × 3.3 m。该房间位于一幢 6 层办公楼的 3 层西南角位置,西墙和南墙为外墙。窗户在南墙上。墙体内壁面换热系数取 8.7 W/(m<sup>2</sup> · K),外壁面换热系数在不同地区受风速影响较大,应按季节根据文献[16]中给定值采用内插法来确定,如表 2 所示。围护结构均按节能 65% 标准要求进行设计,其热工参数如表 3 和表 4 所示。建筑体形系数为 0.25,窗墙比分别取 0.15、0.20、0.25、0.30,均符合文献[17]要求。以下计算分析中,不考虑邻室传热。

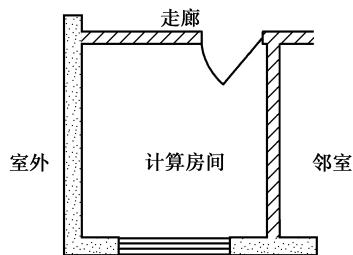


图 1 计算房间平面图

Fig. 1 calculating room

表 2 建筑内外壁面换热系数

Table 2 Heat transfer coefficients of outer and

inner wall surfaces W · (m<sup>2</sup> · K)<sup>-1</sup>

城市	季节	内壁面	外壁面
兰州	夏季	8.7	15.36
	冬季	8.7	18.36
郑州	夏季	8.7	20.72
	冬季	8.7	27.52

表 3 外墙构造及热工参数

Table 3 Outerwall construct and thermal parameters

编号	结构组成(由外到内)	厚度 $\delta$ /mm	导热系数 $\lambda$ /[W · (m <sup>2</sup> · K) <sup>-1</sup> ]	导热修正 系数 $\beta$	传热系数 K/[W · (m <sup>2</sup> · K) <sup>-1</sup> ]			
					兰州		郑州	
					冬季	夏季	冬季	夏季
墙 1	耐碱破纤网格布抗裂砂浆	0	0.93	1				
	膨胀聚苯板	85	0.042	1.2				
	水泥砂浆(标准组)	20	0.93	1	0.464	0.461	0.468	0.465
	混凝土空心砌块	300	1.166	1				
	聚合物砂浆	20	0.93	1				
墙 2	专用饰面砂浆与涂料	20	0.93	1				
	膨胀聚苯板	50	0.042	1.2				
	加气混凝土泡沫混凝土 700	200	0.22	1.25	0.517	0.514	0.522	0.519
	石灰、水泥、砂、砂浆	20	0.87	1				
墙 3	专用饰面砂浆与涂料	20	0.93	1				
	膨胀聚苯板	50	0.042	1.2				
	烧结多孔砖	370	0.58	1	0.542	0.539	0.548	0.544
	石灰、水泥、砂、砂浆	20	0.87	1				
墙 4	专用饰面砂浆与涂料	20	0.93	1				
	膨胀聚苯板	50	0.042	1.2				
	轻砂浆砌筑粘土砖砌体	370	0.76	1	0.591	0.587	0.597	0.593
	石灰、水泥、砂、砂浆	20	0.87	1				

表 4 几种外窗的传热系数  $K_c$ 。

Table 4 Heat transfer coefficients of windows

[W · (m<sup>2</sup> · K)<sup>-1</sup>]

城市	季节	PVC 框	塑钢中空	断热铝合
		Low-E 中空玻璃 (外窗 1)	玻璃 (外窗 2)	金低辐射 中空玻璃 (外窗 3)
兰州	夏季	1.732 2	2.349 6	2.996 2
	冬季	1.753 2	2.398 6	3.051 5
郑州	夏季	1.765 8	2.428 7	3.085 8
	冬季	1.790 3	2.489 6	3.105 4

## 2 负荷计算

### 2.1 供暖期与空调期确定

供暖期以兰州和郑州当地政府关于供暖起止日期的文件规定为准,兰州供暖期为 11 月 1 日至次年 3 月 31 日,共 150 d;郑州供暖期为 11 月 15 日至次年 3 月 15 日,共 120 d。

建筑能耗分析用的 DOE2 软件中,是将 5 月 1 日至 10 月 31 日设定为空调期。实际上由于建筑气

候环境的多变性及复杂性,各地的经济水平、人们的生活习惯等各不相同,使得这一设定的空调期在不同城市能耗统计中均存在较大误差。考虑到所研究城市气候特点并不需要整日连续开启空调,室外白天高温温度波经围护结构的延迟导致晚间室内温度可能较高,这可以通过开窗等措施以自然通风方式来降低室内温度。因此,根据文献[18]中的统计数据,将兰州在 6 月 1 日至 8 月 31 日期间逐时温度高于 26 °C 的小时数折算为 20 个空调连续运行日;将郑州在 6 月 1 日至 9 月 15 日期间逐时温度高于 26 °C 的小时数折算为 49 个空调连续运行日。这一确定方法和当地实际气温变化以及人们日常生活中的节约行为是一致的。

### 2.2 热负荷计算

供暖房间热负荷包括围护结构耗热量、冷风渗透耗热量。分别计算如下:

2.2.1 围护结构耗热量 围护结构耗热量包括围护结构基本耗热量和附加耗热量两部分。

围护结构基本耗热量:

$$Q_j = KF(t_n - t_w)\alpha \quad (1)$$

式中:  $K$  为该面围护结构的传热系数,

$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;  $F$  为该面围护结构的面积,  $m^2$ ;  $t_n$  为室内空气计算温度,  $18^\circ C$ ;  $t_w$  为供暖室外计算温度, 兰州为  $-9.0^\circ C$ , 郑州为  $-3.8^\circ C$ ;  $\alpha$  为温差修正系数, 外墙取 1.0。附加耗热量:

$$Q_{ij} = Q_j(1 + \beta_{ch} + \beta_f)(1 + \beta_{ig})(1 + \beta_{jan}) \quad (2)$$

式中:  $\beta_{ch}$  为朝向修正率, 取  $-20\%$ ;  $\beta_f$  为风力附加修正率, 取 0;  $\beta_{ig}$  为房高修正率,  $2(H-4) \leq 15$ ,  $H$  为房间净高,  $m$ ;  $\beta_{jan}$  为间歇修正率, 取 0。

### 2.2.2 冷风渗透耗热量

$$Q_{st} = 0.278C_p V \rho_w \cdot (t_n - t_w) \quad (3)$$

式中:  $Q_{st}$  为冷风渗透耗热量,  $W$ ;  $C_p$  为干空气定压比热容,  $C_p = 1.01 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ C)$ ;  $\rho_w$  为供暖室外计算温度下的空气密度, 兰州取  $1.298 \text{ kg}/m^3$ , 郑州取  $1.322 \text{ kg}/m^3$ ;  $V$  为房间的冷风渗透体积流量,  $m^3/h$ , 采用换气次数法估算冷风渗透体积流量  $V$ 。

$$V = n \cdot V_f \quad (4)$$

式中:  $n$  为换气次数,  $1/h$ , 取 0.5;  $V_f$  为房间净体积,  $m^3$ 。

## 2.3 冷负荷计算

冷负荷是指由于室内外温差和太阳辐射作用, 通过建筑围护结构传入室内的热量形成的冷负荷。主要由透过玻璃窗的日射得热引起的冷负荷、玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷、围护结构瞬变传热引起的冷负荷、内部热源引起的冷负荷 4 部分组成。

2.3.1 透过玻璃窗的日射得热引起的冷负荷 透过玻璃窗进入室内的日射得热分为两部分, 即透过玻璃窗直接进入室内的太阳辐射热和窗玻璃吸收太阳辐射后传入室内的热量。透过玻璃窗进入室内的日射得热形成的逐时冷负荷按式(5)计算。

$$Q_{(\tau)1} = C_a F_c C_s C_i D_{jmax} C_{LQ} \quad (5)$$

式中:  $Q_{(\tau)1}$  为透过玻璃窗的日射得热引起的冷负荷,  $W$ ;  $F_c$  为窗口面积,  $m^2$ ;  $C_a$  为有效面积系数;  $C_s$  为窗玻璃的遮阳系数;  $C_i$  为窗内遮阳设施的遮阳系数;  $D_{jmax}$  为日射得热因数;  $C_{LQ}$  为窗玻璃冷负荷系数。

2.3.2 玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷 通过玻璃窗的瞬变传热引起的逐时冷负荷按式(6)计算。

$$Q_{(\tau)2} = K_c F_c (t_{c(\tau)} - t_n) \quad (6)$$

式中:  $Q_{(\tau)2}$  为外玻璃窗的逐时冷负荷,  $W$ ;  $K_c$  为外玻璃窗的传热系数,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;  $t_{c(\tau)}$  为外玻璃窗的冷负荷计算温度的逐时值,  $^\circ C$ 。

2.3.3 围护结构瞬变传热引起的冷负荷 这里的围护结构主要指外墙和屋面部分。通过外墙和屋面

瞬变传热引起的逐时冷负荷按式(7)计算。

$$Q_{(\tau)3} = KF (t_{w(\tau)} - t_n) \quad (7)$$

式中:  $Q_{(\tau)3}$  为通过外墙和屋面的逐时冷负荷,  $W$ ;  $t_{w(\tau)}$  为外墙和屋面的冷负荷计算温度的逐时值,  $^\circ C$ 。

2.3.4 内部热源引起的冷负荷 室内热源散热主要指室内工艺设备散热、照明散热和人体散热 3 部分。

#### 1) 人体散热形成的冷负荷

人体散热形成的冷负荷包括了由显热散热和潜热散热引起的冷负荷两部分。显热散热引起的冷负荷按式(8)计算。

$$Q_{x(\tau)} = q_s n \varphi C_{LQ} \quad (8)$$

式中:  $Q_{x(\tau)}$  为人体显热散热形成的冷负荷,  $W$ ;  $q_s$  为不同室温和劳动性质成年男子显热散热量,  $W$ ;  $n$  为室内全部人数;  $\varphi$  为群集系数, 办公室群集系数取  $\varphi = 0.90$ ;  $C_{LQ}$  为人体显热散热冷负荷系数。

人体潜热散热引起的冷负荷按式(9)计算。

$$Q_{q(\tau)} = q_1 n \varphi \quad (9)$$

式中:  $Q_{q(\tau)}$  为人体潜热散热形成的冷负荷,  $W$ ;  $q_1$  为不同室温和劳动性质成年男子潜热散热量  $W$ 。

#### 2) 照明散热形成的冷负荷

照明灯具散热形成的逐时冷负荷按式(10)计算。

$$Q_{d(\tau)} = 1000 n_1 n_2 N C_{LQ} \quad (10)$$

式中:  $Q_{d(\tau)}$  为照明散热形成的冷负荷,  $W$ ;  $n_1$  为镇流器消耗功率系数, 取 1.0;  $n_2$  为灯罩隔热系数, 取 0.55;  $N$  为照明工具所需功率,  $kW$ ;  $C_{LQ}$  为照明散热冷负荷系数。

#### 3) 室内设备散热形成的冷负荷

室内电脑、电视机等的散热形成的冷负荷按式(11)计算<sup>[19]</sup>。

$$Q_{s(\tau)} = 1000 \cdot C_{LQ} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot N / \eta \quad (11)$$

式中:  $Q_{s(\tau)}$  为室内设备散热形成的冷负荷,  $W$ ;  $C_{LQ}$  为设备散热冷负荷系数;  $N$  为电动设备的安装功率,  $kW$ ;  $\eta$  为电动机效率;  $n_1$  为利用系数, 即电动机最大实效功率与安装功率之比, 一般可取  $0.7 \sim 0.9$ ;  $n_2$  为电动机负荷系数, 对计算机可取 1.0;  $n_3$  为同时使用系数, 一般取  $0.5 \sim 0.8$ 。

## 2.4 基准房间负荷计算

根据基准房间围护结构参数及两城市相关设计参数, 按照 2.1~2.3 节计算过程, 可得基准房间负荷, 如表 5 所示。

表 5 基准房间负荷汇总表

Table 5 Heating and cooling loads of standard room

城市	总冷负荷/ ( $10^6$ kW)	总热负荷/ ( $10^6$ kW)	全年总负 荷/( $10^6$ kW)
兰州	2.0	19.45	21.45
郑州	6.34	12.73	19.07

## 2.5 热工参数对负荷的影响

表 3 中 4 种外墙类型、表 4 中 3 种外窗类型以及 4 个窗墙比组合,形成 48 个不同热工属性的围护结构计算房间。按照 2.1~2.3 节计算过程,可得不同房间在不同季节位于不同城市时的年累积供暖热负荷、年累积空调冷负荷以及全年总负荷。下面给出其他条件不变,外墙类型、外窗类型以及窗墙比变化时不同计算房间负荷计算结果。

2.5.1 外墙类型对负荷的影响 图 2 为外墙传热系数变化时计算房间在两地的负荷计算结果,兰州和郑州地区各 12 种方案。图 2(a)为外窗 1、窗墙比取 0.15、4 种外墙类型对应的负荷计算结果;图 2(b)为外窗 2、窗墙比取 0.2 时 4 种外墙类型对应的负

荷计算结果;图 2(c)为外窗 3、窗墙比取 0.25 时 4 种外墙类型对应的负荷计算结果。图 2(a)中 4 个方案对应热负荷均在  $7.0 \times 10^6 \sim 8.5 \times 10^6$  kW 之间变化;图 2(b)中 4 个方案对应热负荷均在  $8.3 \times 10^6 \sim 9.7 \times 10^6$  kW 之间变化;图 2(c)中 4 个方案对应热负荷均超过了  $9.8 \times 10^6$  kW。各方案对应的空调冷负荷在兰州和郑州地分别稳定在  $2 \times 10^6$  和  $6.0 \times 10^6$  kW 左右。外墙传热系数增大 27.4%,窗墙比为 0.15 时,方案 4 比方案 1 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 19.0%和 20.4%,窗墙比为 0.2 时,方案 20 比方案 17 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 15.8%和 17.1%,窗墙比为 0.25 时,方案 36 比方案 33 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 13.2%和 14.4%。这说明即使按照 65%的节能标准选择围护结构,具有不同参数的围护结构组合对应的热负荷差异也很大,而且,同一围护结构建筑物在郑州地区的热负荷对外墙类型的敏感性要高于在兰州地区的情况。这也为地方设计规范和节能标准的制定、实施提供了思路。

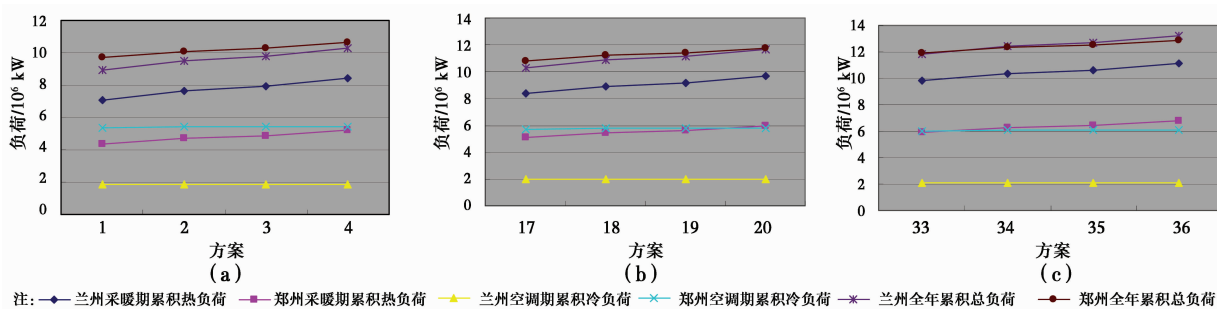


图 2 外墙类型对两地建筑负荷的影响

Fig. 2 Influence of outwall type on building load of two cities

2.5.2 外窗类型对负荷的影响 图 3 为不同外窗类型时计算房间在两地的负荷计算结果,兰州和郑州地区各 12 种方案。图 3(a)为外墙 1、窗墙比取 0.15 时 4 种外窗类型对应的负荷计算结果;图 3(b)为外墙 2、窗墙比取 0.2 时 4 种外窗类型对应的负荷计算结果;图 3(c)为外墙 3、窗墙比取 0.25 时 4 种外窗类型对应的负荷计算结果;图 3(d)为外墙 4、窗墙比取 0.3 时 4 种外窗类型对应的负荷计算结果。各方案对应的空调冷负荷在兰州地区基本上稳定在  $2 \times 10^6$  kW 左右,在郑州地区基本上稳定在  $6.0 \times 10^6$  kW 左右。外窗传热系数增大 74%,窗墙比为 0.15 时,方案 9 比方案 1 的供暖期累积热负荷在兰

州和郑州地区分别增大了 11.9%和 12.7%,窗墙比为 0.2 时,方案 22 比方案 14 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 13.8%和 14.9%,窗墙比为 0.25 时,方案 35 比方案 27 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 15.4%和 16.9%,窗墙比为 0.3 时,方案 48 比方案 40 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 16.8%和 18.3%。可以看出,外窗属性对郑州地区建筑热负荷的影响要比兰州地区明显一些,但随着外墙传热系数和窗墙比的同时增大,这一差异在逐渐减小。

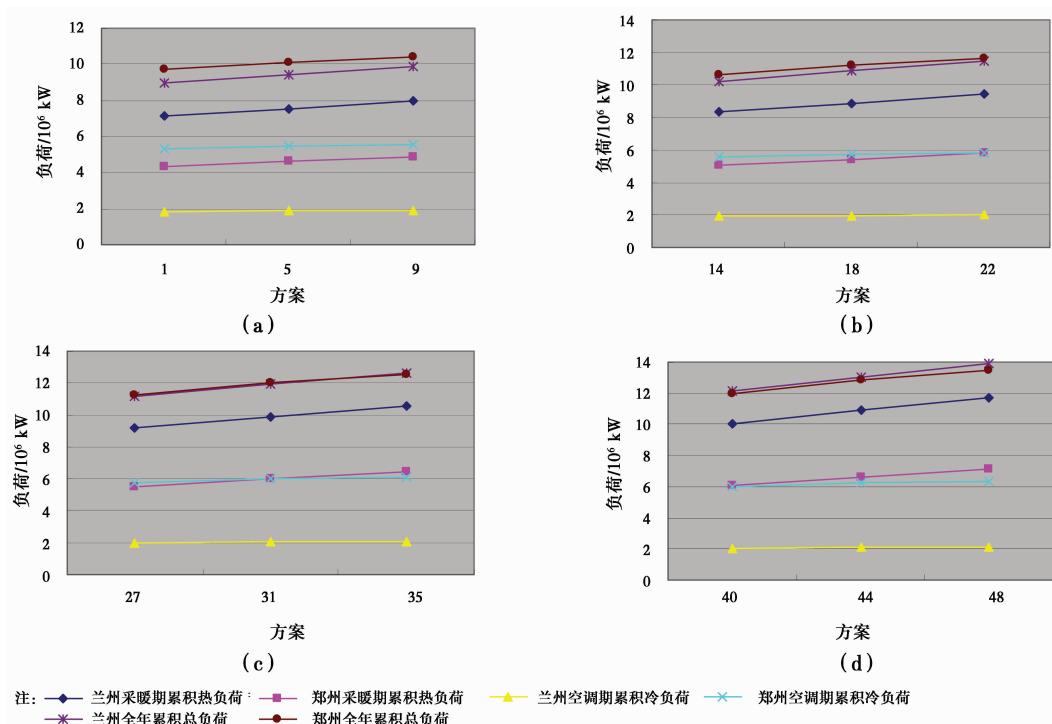


图 3 外窗类型对两地建筑负荷的影响

Fig. 3 Influence of window type on building load of two cities

2.5.3 不同窗墙比下负荷比较 图 4 为不同窗墙比时计算房间在两地的负荷计算结果,兰州和郑州地区各 12 种方案。图 4(a)为外墙 1、外窗 1 时 4 种窗墙比对应的负荷计算结果;图 4(b)为外墙 2、外窗 2 时 4 种窗墙比对应的负荷计算结果;图 4(c)为外墙 3、外窗 3 时 4 种窗墙比对应的负荷计算结果。各方案对应的空调冷负荷在兰州和郑州地区分别在  $2 \times 10^6$  和  $6.0 \times 10^6 \text{ kW}$  左右。窗墙比增大了 100%，

方案 37 比方案 1 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 23.8% 和 19.9%，方案 42 比方案 6 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 25.7% 和 22.7%，方案 47 比方案 11 的供暖期累积热负荷在兰州和郑州地区分别增大了 28.3% 和 25.4%。窗墙比对兰州地区建筑热负荷的影响要比郑州明显一些,但随着外窗和外墙传热系数同时增大,窗墙比对建筑热负荷的影响在逐渐减弱。

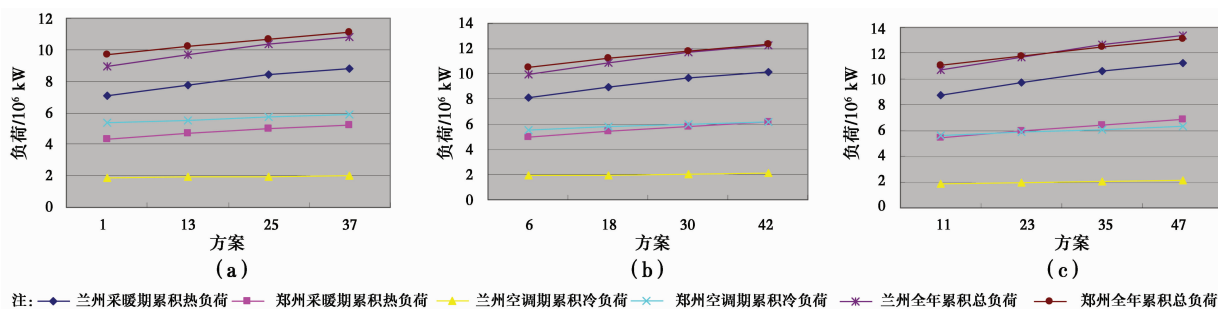


图 4 外窗类型对两地建筑负荷的影响

Fig. 4 Influence of window-to-wall ratio on building load of two cities

2.5.4 各因素综合影响下负荷及节能率比较 图 5 为各因素综合影响下 48 种围护结构构造方案对应的建筑负荷在兰州和郑州两地区的变化趋势。可以看出,兰州地区的冷负荷随各因素变化很微弱,但热负荷变化显著,呈锯齿状分布,年总负荷变化趋势

与热负荷变化趋势比较接近;郑州地区的冷负荷随各因素变化也很微弱,热负荷变化较显著,也呈锯齿状分布,年总负荷变化趋势与热负荷变化趋势比较接近。对于前 24 种方案,郑州的全年累积总负荷稍高于兰州地区的水平,后面 24 种方案,两者基本



持平。

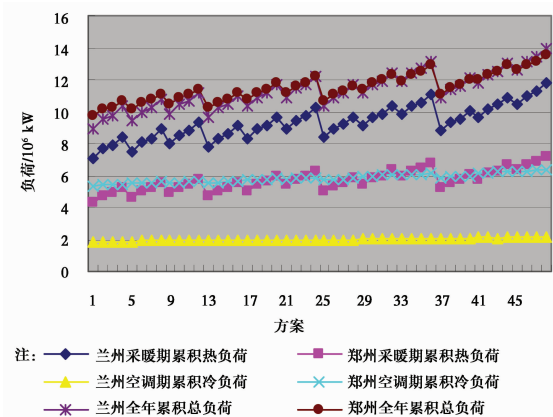


图 5 各因素综合影响下建筑负荷

Fig. 5 Building loads under collective factors

图 6 为不同方案构造围护结构对应的负荷与基准建筑围护结构对应的负荷相比较所得节能率计算结果。可以看出,兰州地区的节能率变化范围基本上在 35%~58%之间波动,在 48 种构造方案中,方案 1 的节能率最高,为 58%,方案 48 的节能率最低,为 35%;郑州地区的节能率变化范围基本上在 29%~49%之间波动,在 48 种构造方案中,方案 1 的节能率最高,为 49%,方案 48 的节能率最低,为 29%。这说明围护结构热工性能对建筑负荷的敏感

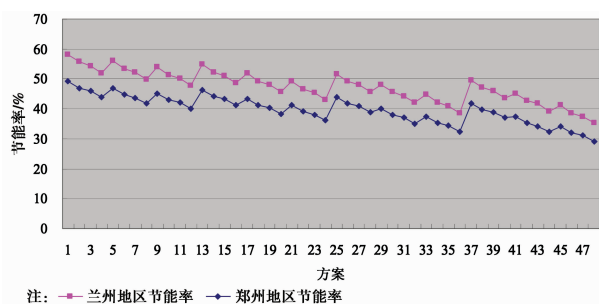


图 6 节能率比较

Fig. 6 Comparison of energy saving

性是气候条件密切相关的,如何合理结合当地气候特征优化建筑围护结构是建筑节能工作的重要内容之一。

### 3 结论

以兰州和郑州地区作为研究对象所在城市,4 种外墙类型、3 种外窗类型及 4 个窗墙比组合形成 48 种可能的围护结构,计算了年热负荷、年冷负荷以及全年总负荷,比较了各计算房间在兰州和郑州地区的节能率。得到了如下主要结论:

1) 按照 65% 的节能标准选择围护结构,具有不

同参数的围护结构组合对应的热负荷差异也很大,而且,同一围护结构建筑物在郑州地区的热负荷对外墙类型的敏感性要高于在兰州地区的情况。

2) 外窗类型对郑州地区建筑热负荷的影响要比对兰州地区建筑热负荷的影响明显,但随着外墙传热系数和窗墙比的同时增大,这一差异在逐渐减小。

3) 窗墙比对兰州地区建筑热负荷的影响要比对郑州地区建筑热负荷的影响明显,但随着窗户和外墙传热系数的同时增大,窗墙比对建筑热负荷的影响在逐渐减弱。

4) 获得了同属寒冷地区的兰州和郑州地区的最优建筑围护结构,相对于本文构造的基准建筑,在兰州和郑州地区的节能率分别为 58% 和 49%。

### 参考文献:

- [1] Balaji N C, Venkatarama R B V. Discerning heat transfer in building materials [J]. Energy Procedia, 2014, 54: 654-668.
- [2] Hu R, Niu J L. A review of the application of radiant cooling & heating systems in Mainland China [J]. Energy and Buildings, 2012, 52: 11-19.
- [3] Zou P H, Zhao Q F, Ren X C, et al. Study on the rule of indoor air temperature falling in damage accident of heat-supply network [J]. Journal of Harbin Institute of Technology: New Series, 2007, 14: 190-193.
- [4] Zhou J J, Zhang G Q, Lin Y L, et al. Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings [J]. Energy and Buildings, 2008, 40(6): 979-986.
- [5] Carlini M, Allegrini E, Zilli D, et al. Simulating heat transfers through the building envelope: A useful tool in the economical assessment [J]. Energy Procedia, 2014, 45: 395-404.
- [6] Sotchi N, Chaker A. Numerical analysis of simultaneous heat and mass transfer in cork lightweight concretes used in building envelopes [J]. Physics Procedia, 2014, 55: 429-436.
- [7] Dong H R, Qi S M. Application of double-sided heat flow meter in testing of overall heat transfer coefficient of building envelope [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 353/354/355/356: 2872-2876.
- [8] Petrosova D V, Kuzmenko N M, Petrosov D V. A field experimental investigation of the thermal regime of lightweight building envelope construction [J]. Magazine of Civil Engineering, 2013, 43(8): 31-37.

- [9] Huang J N, Lyu H L, Gao T, et al. Thermal properties optimization of envelope in energy-saving renovation of existing public buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 75: 504-510.
- [10] Yu J H, Tian L W, Yang C Z, et al. Sensitivity analysis of energy performance for high-rise residential envelope in hot summer and cold winter zone of China [J]. *Energy and Buildings*, 2013, 64: 264-274.
- [11] Chen J P, Dong H R. Influence of solar radiation of external decorative materials on heat consumption of buildings [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 512/513/514/515: 2758-2761.
- [12] Ashok K, Suman B M. Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate [J]. *Building & Environment*, 2013, 59: 635-643.
- [13] Zhu J J, Chew D A S, Lyu S N, et al. Optimization method for building envelope design to minimize carbon emissions of building operational energy consumption using orthogonal experimental design (OED) [J]. *Habitat International*, 2013, 37: 148-154.
- [14] GB 50176—93 民用建筑节能设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.  
GB 50176—93 Civil building energy saving design specification [S]. Beijing: China Building Industry Press, 1993.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB 50178—1993 建筑气候区划标准[S]. 北京:中国计划出版社,1993.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50178—1993 Standard of climatic regionalization for architecture [S]. Beijing: China Planning Press, 1993.
- [16] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.  
Lu Y Q. Practical heating air conditioning design manual [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.
- [17] 中华人民共和国建设部. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50189—2005 Design standard for energy efficiency of public buildings [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2005.
- [18] 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 information center data room of China meteorological administration, Department of building science of Tsinghua University. China building thermal environment analysis of meteorological data [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005.
- [19] 陆亚俊,马最良,邹平华. 暖通空调[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2007.  
Lu Y J, Ma Z L, Zou P H. Heating, ventilation and air conditioning [M]. second edition. Beijing: China Building Industry Press, 2007.

(编辑 王秀玲)