

既有建筑玻璃幕墙节能改造浅析

杨俊勇¹ 田丁丁²

1. 中国重型机械有限公司 北京 100070

2. 中电投工程研究检测评定中心有限公司 北京 100142

摘要：玻璃幕墙是我国八十年代初大量采用的建筑外围护结构模式，但90%以上为非节能低档幕墙，存在传热系数大、太阳得热系数高等问题，致使建筑冷热负荷波动大、局部温差大，普通空调难满足需求，室内热舒适性差。本文针对玻璃幕墙建筑室内热环境常见问题进行分析，并提出解决对策。

关键词：双层玻璃幕墙；通风；节能改造

0 引言

现代建筑中，玻璃幕墙因视觉独特、通透感强被公共建筑广泛应用。但既有玻璃幕墙问题多，在建筑能耗中外幕墙及门窗占比30-60%，非节能低档幕墙能耗占比更高且浪费大，节能改造紧迫。当前改造重点是提升节能、安全与舒适性。本文以北京某办公楼为例，分析其玻璃幕墙节能改造。

1 建筑物基本信息

某办公楼位于北京丰台区，2014年建成。长42.5m、宽26.3m、高63.75m，地上13层地下3层，建筑面积1.5万㎡，外立面是单层T16mm钢化玻璃幕墙。1层为大堂前台；2、3层为会议室；4层是资料室；5层以上为办公用房。采用中央空调制冷供热，供暖季11月至次年3月，制冷季5月-9月，部分楼层加装VRV多联机辅助调控温度。

1.1 现状分析

(1) 冬季单层玻璃幕墙热惰性小，夜间停暖后室内升温负荷大、能耗高，早晨室内仅7-8℃。

(2) 室内南北温差大，晴天太阳辐射使室温波动剧烈，远超舒适范围，阳面办公室温度过高需开空调降温，阴面室温仅18℃左右，员工热舒适性差。

(3) 单层玻璃幕墙透光率高致光污染，阳光直射显示器，用全遮光窗帘晴天也需开灯，浪费能源。

1.2 整改思路

(1) 增加一层玻璃幕墙形成热通道幕墙，夏季利用“烟囱效应”降温，冬季产生温室效应保温降耗。

(2) 通道幕墙内装通风系统，利用南北幕墙温差交换冷热空气，平衡温度、降低能耗。

(3) 南侧幕墙通道加装可调节遮阳帘，减少太阳辐射和光污染。

2 玻璃幕墙结构改造

内循环双层通风式玻璃幕墙设计思路

空气流动与洁净对办公环境舒适度及健康至关重要。内循环双层玻璃幕墙外层全封闭，可阻隔外部污染。

2.1 玻璃幕墙构造改造设计

新增内层幕墙拟用TYPEGL-103-A,B,C16MM中空单元，含：

- 外侧6MM单片防火玻璃（DFB）
- 16MM空气层
- 内侧6MM透明Low-E玻璃，外部可见光反射率11%

幕墙分格（500mm+2500mm+700mm）×1800mm，新增与原有幕墙构成封闭式双层结构，500mm通道形成空气夹层，提升隔热性，节能降噪又美观。

考虑太阳辐射影响，南侧办公区阳光充足时，墙体部分吸热致能耗增加，冬季北京阳光斜射还会造成光污染。因此，通道内可装电动遮阳帘，并设可开式窗户，便于保洁、维修与自然通风。

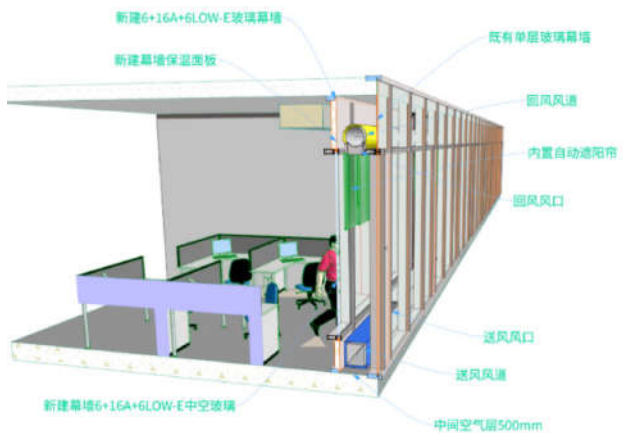


图1 内循环双层通风式玻璃幕墙详图

2.2 功能设计

(1) 通风设计

在幕墙通道顶部设回风风道及回风口，下部装送风道和送风口。冬季太阳辐射时，南面顶部回风抽热空气

送北面增温，北面回风吸冷空气送南面降温，若北面无法有效降温，北侧新风口开启，新鲜空气进入南面继续降温后排出室外，通过控制进风量调节室内温湿度。设计通风结构时，交错排列进、出风口可避免气流短路及二次污染，合理位置是设在同一水平面且保持最大垂直距离。外界风压大或隔音要求低时全开风口，增强气流循环；室外静风且太阳辐射强时，采用“错位通风模式”，利用热压实现热交换。

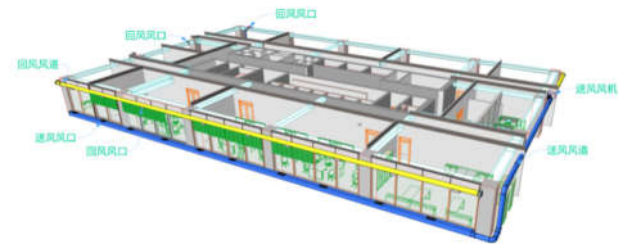


图2 玻璃幕墙内置通风系统图

(2) 隔热保温设计

寒冷季，内外层幕墙关闭，通道内空气层形成“温室效应”。设计时，间层表面采用低辐射玻璃减少辐射换热，内框用断热型材降低导热系数。炎热季，热通道内遮阳百叶阻挡太阳辐射，安装位置靠近外层幕墙且距内层不少于15毫米，热空气通过热压或风压排出室外。外层用钢化玻璃，内层用6+16A+6Low-E中空玻璃，热通道设遮阳设施，非可视部分用岩棉，保证隔热保温。

(3) 防火防烟设计

进风口铝单板下、出风口上和百叶下放防火岩棉，以镀锌铝板承托。面板用中空防火玻璃，防火分区内层幕墙用夹胶防火玻璃阻断，保证耐火极限达标。做好层间防火，安装时用防火岩棉和镀锌钢板封堵缝隙，进、出风口侧壁也填充防火岩棉，降低火灾时“烟囱效应”影响。新建幕墙玻璃占比由100%降至68%，提高保温节能效果。

(4) 防尘与清洁设计

进、出风口设可拆卸防尘装置，户外通风装置随外墙清洗定期清洁。新建南北侧玻璃设检修口，便于维修和清洁。

3 双层通风玻璃幕墙热工计算

双层通风玻璃幕墙热工效率计算复杂，国内尚无计算规范，本工程依实际情况估算说明效率。冬季最不利工况为晚上无阳光辐射时，此时热通道进出风口关闭，形成密封空气隔热层，建筑热负荷主要为内层幕墙热传导负荷及室内暖空气渗漏负荷。

3.1 既有幕墙传热系数计算

既有幕墙单元采用16mm单层钢化玻璃，铝框宽60mm、壁厚5mm。

铝框面积 = 0.12×3.9+0.18×1.23 = 0.689m²

玻璃面积 = 3.72×1.23 = 4.576m²

16mm玻璃部分传热阻

$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0.016}{0.76} = 0.021 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$

式中：R：6mm透明玻璃的热阻 (m²·K/W)

$\delta = 0.006\text{m}, \lambda = 0.76\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

围护结构的传热阻按下式计算

冬季 $R_0 = R_i + R + R_e = 0.11 + 0.021 + 0.04 = 0.171 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$

$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.171} = 5.85\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

夏季 $R_0 = R_i + R + R_e = 0.11 + 0.021 + 0.05 = 0.181 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$

$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.181} = 5.52\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

式中： R_0 ：围护结构的传热阻；

$R_i = 0.11; R_e = 0.04/0.05\text{m}^2 \cdot \text{K/W};$

R：围护结构热阻 (m²·K/W)

铝框部分传热阻 (据厂家参数)：

冬季 $R_0 = 0.24, K = 1/0.24 = 4.17\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

夏季 $R_0 = 0.25, K = 1/0.25 = 4\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

既有幕墙传热系数：

冬季 $K = \frac{5.85 \times 4.576 + 4.17 \times 0.689}{4.576 + 0.689} = 5.63\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

夏季 $K = \frac{5.85 \times 4.576 + 4 \times 0.689}{4.576 + 0.689} = 5.6\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

3.2 新建幕墙传热系数计算

新建幕墙单元玻璃配置：6+16A+6Low-E，铝框宽60mm、壁厚5mm。

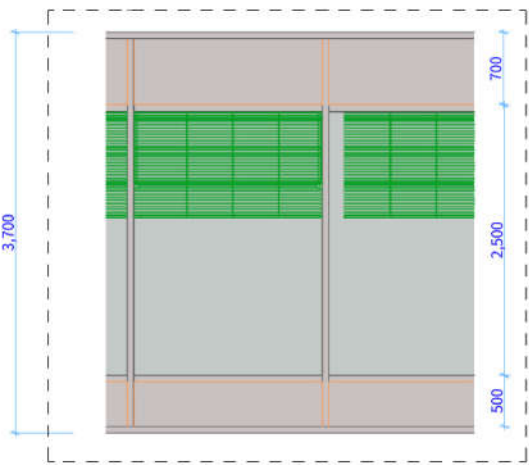


图3 新建幕墙分格方案

铝框面积: $0.123.7+0.181.56=0.7248\text{m}^2$

玻璃面积: $2.5*(1.8-0.12)=4.2\text{m}^2$

保温铝面板面积: $(1.2-0.12)*(1.8-0.12)=1.8144\text{m}^2$

(1) 6+16A+6Low-E玻璃热工计算

6mmLow-E玻璃的热阻(内层)

$$R_1 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0.006}{0.32} = 0.019 (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$$

式中: R_1 ——6mmLow-E玻璃的热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$)

$\delta = 0.006\text{m}$, $\lambda = 0.32\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

6mm玻璃部分传热阻(外层)

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0.006}{0.76} = 0.0079 (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$$

式中: R : 6mm透明玻璃的热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$)

$\delta = 0.006\text{m}$, $\lambda = 0.76\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

16A空气层的热阻

$$\text{冬季} K = \frac{3.04 \times 4.2 + 4.17 \times 0.7248 + 0.15 \times 1.8144 + 0.46 \times 1.8144}{4.2 + 1.8144 + 0.7248} = 2.93 \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{夏季} K = \frac{3.14 \times 4.2 + 4 \times 0.7248 + 0.16 \times 1.8144 + 0.46 \times 1.8144}{4.2 + 1.8144 + 0.7248} = 3.00 \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

新建内层幕墙为6+16A+6Low-E玻璃幕墙,与外层既有玻璃幕墙间空气层厚500mm,组成双层通风幕墙。

双层通风幕墙热阻计算方法

$$\text{围护结构总传热系数} K = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_0 + \sum R + R_i}$$

式中: R ——围护结构总热阻 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

R_0 ——外表面换热阻 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

R_i ——内表面换热阻 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

$\sum R$ ——围护结构热阻 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

外表面换热阻 R_0 取 $0.04\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$, 内表面换热阻 R_i 取 $0.11\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

围护结构热阻 $\sum R = \text{外幕墙热阻} R + \text{空气层热阻} R + \text{内幕墙热阻} R$

外层(单片白片玻璃) $R_{\text{外}} = 0.171\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

内层(6+16A+6Low-E) $R_{\text{内}} = 0.34\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

空气层($\Delta t = 20^\circ\text{C}$, $\delta = 0.5\text{m}$) $R_{\text{空}} = 0.0314\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

总热阻 $\sum R = 0.5424\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

总传热系数 $K = 1 / \sum R = 1.84\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$, 比单层白片玻璃幕墙($K = 5.85\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$)小约68%, 能耗可节约68%左右。

按规范插值, 冬季 $R_a = 0.152\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$, 夏季 $R_a = 0.132\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

6+16A+6Low-E玻璃传热阻

冬季: $R_0 = 0.3289\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$, $K = 3.04\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

夏季: $R_0 = 0.3189\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$, $K = 3.14\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

(2) 保温铝面板

5mm铝板部分

冬季 $R_0 = 0.11 + 0.005 / 203 + 0.04 = 0.15\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

夏季 $R_0 = 0.11 + 0.005 / 203 + 0.05 = 0.16\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

23mm保温部分传热阻

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0.023}{0.05} = 0.46 (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$$

式中: R : 23mm保温棉部分的热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$)

$\delta = 0.023\text{m}$, $\lambda = 0.05\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

新建内层幕墙传热系数

4 结束语

(1) 双层通风幕墙提升办公环境舒适度, 减少温度波动不适感; 过滤阳光, 避免“光污染”与显示屏眩光。(2) 中间层遮阳百叶防日晒且不影响立面, 可动态调节, 减缓家具老化。(3) 新建幕墙玻璃占比降至68%, 保温节能效果提升。

我国能耗形势严峻, 节能为重要产业政策。建筑幕墙应紧跟发展要求, 以政策、市场、技术为导向, 研发新型节能幕墙, 完善现有产品。需有超前意识, 借鉴国外技术, 重点提升北方严寒地区幕墙保温性能。封闭式双层幕墙热工分析要多因素考量, 选合适材料与技术可提升性能、降低能耗、增强美观性。

参考文献

[1] 中国建筑科学研究院. 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: 15-17

[2] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能检测标准: JGJ/T177—2009[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 19

[3] 民用建筑热工设计规范 GB50176-93