

玻璃幕墙结构与节能性能优化探讨

李 伟¹ 刘培建² 薛 原²

1. 济南轨道交通集团资源经营管理有限公司 山东济南 250000

2. 中建八局第二建设有限公司 山东济南 250000

摘要: 随着现代建筑技术的进步,玻璃幕墙作为体现建筑美学与实用功能的核心构件,普遍应用于高层建筑和公共设施,其结构设计是否合理,不仅关乎建筑物的安全与稳定性,还直接关乎建筑的节能特性,本文聚焦玻璃幕墙结构设计的基本原则与类型展开分析,结合不同构造形式在风荷载、热胀冷缩以及受力变形等方面的适应特性,思索节能性能的优化途径,为现代绿色建筑应用玻璃幕墙提供技术支撑及设计依据,促进建筑行业的可持续进步。

关键词: 玻璃幕墙; 结构设计; 节能性能; 双层幕墙; 建筑节能

引言

玻璃幕墙在现代建筑中的采用日益普遍,既兼备装饰性,又有功能性,其设计必须满足结构安全的基本要求,还应响应建筑节能国家政策,贴合绿色建筑发展趋势,传统玻璃幕墙在隔热、遮阳以及能耗控制上依旧有一定局限,急需凭借结构设计的优化与新型节能技术的集成,提升其综合表现,本文围绕结构与节能两方面,系统探究玻璃幕墙设计要点及优化措施,以求为工程实践提供参照。

一、玻璃幕墙结构设计的基本要求与类型分析

1. 结构安全性要求

玻璃幕墙作为建筑外围护系统组成的一部分,首要前提是在设计中保障其结构安全性,抗风压能力对幕墙在高层或复杂风环境下的稳定性起着直接作用,设计时需依照建筑高度、地理位置及区域风压值开展结构计算,使幕墙系统具有充足的承载力。尤其在高层建造的建筑里,应采用经试验核准的型材截面与支撑体系,进而提升抗风性能,在地震多发之地,抗震性能设计特别关键,幕墙系统应具备优良的变形协调能力,有能力吸收地震



图1 玻璃幕墙

的能量,又可保障玻璃构件在震动中的完好性。如图1所示。

2. 幕墙支撑方式分类

玻璃幕墙按照支撑结构的差异,可区分成多种形式,其中单元式、构件式及全玻璃幕墙系统最为普遍,单元式幕墙系统采用工厂预制、现场吊装的手段,把幕墙分割成若干安装单元,各单元内包含竖框、横框、玻璃与附件,现场实施安装时效率高,接缝处理合乎标准,气密性及水密性处于较好水平,适用于高层跟超高层建筑。构件式幕墙系统是现场逐步安装好立柱、横梁,然后装配玻璃板块的结构形式,现场施工呈现出高灵活性,利于实施局部调整工作,只是施工周期相对拖长,对现场施工质量的把控要求较高,多用于中低层建筑或是造型复杂的立面设计之处,全玻璃幕墙系统突出强调极致的透明及美观效果,多存在于商业展示面或公共建筑的入口。

3. 构造节点设计要点

在玻璃幕墙设计的工作里,构造节点是实现安全性与功能达成的关键连接位置,合理的节点设计对整体性能存在影响,也直接影响着施工及维护的效率,作为玻璃安装的核心技术之一,是嵌固方式选择,常见嵌固形式有四边嵌固、两边嵌固以及点支式固定等。其中四边嵌固结构的稳定性佳,频繁用于大面积玻璃幕墙;通风带和开启窗区域宜采用两边嵌固;点支式固定以简洁美观备受称赞,但需要玻璃强度达到较高水平且孔位精确,宜应用在局部景观,密封系统构造跟幕墙的气密性、水密性以及隔热性能直接挂钩,往往采用硅酮耐候密封胶和EPDM橡胶密封条联合的方式,组成双道或多道密封格局,密封胶的粘接宽度及深度需与国家标准相符,规避热胀冷缩引起的开裂或脱胶问题出现,设计时还应充

分考量热胀冷缩的应对办法。

二、玻璃幕墙节能性能影响因素分析

1. 玻璃材料性能对节能的影响

玻璃材料的物理和光学性能直接左右着幕墙系统的隔热、保温及采光效果，是实现节能目的的关键要素，现代幕墙设计大量应用了Low-E玻璃，该物体表面镀有一层金属或金属氧化物薄膜，可有效反射出红外线，减缓热量的传导，同时维持着良好的透光性能。此类玻璃特别适配夏季炎热、冬季寒冷的区域，可明显降低空调及供暖能耗，作为幕墙节能结构核心材料的中空玻璃，其构造大多是两片或多片玻璃之间夹着空气或者惰性气体层，构建起热阻隔层，大幅提升保温隔热能力，利用惰性气体填充可减少对流与热传导，是提升整体热工性能的关键途径，选择性吸收玻璃可按需求吸收或反射不同波段的太阳辐射，对建筑内部温度的控制起到积极功效。

2. 幕墙构造对热工性能的影响

玻璃幕墙构造形式及其细节设计对热传导路径与能量流动意义重大，立面朝向直接关联着太阳辐射能的吸收量，南向立面冬季可获得更多日照，北向立面光照少，不过热损失却大，设计时需依据具体项目的朝向，对不同构造开展热工优化，实际节能效果的好坏由接缝密封性能起决定性作用。必须保证幕墙面板间接缝的气密性和水密性，同时杜绝热量沿缝隙逸散，采用高弹性耐候密封胶或多道密封结构能够有效降低空气渗透率与热流交换，由此减少能源消耗，高性能幕墙系统的技术难点里有冷桥效应控制，金属型材呈现出强导热性，在热工设计时容易形成热桥，引起室内热量散发，经由设置隔热断桥、填充绝热材料或对构造节点布置做优化，可以在不造成结构强度降低的条件下，大幅减弱热桥效应，增强节能成效。

3. 外部环境及节能设计的关联性

玻璃幕墙的节能设计不能与建筑所在的气候区及外部环境条件分离，各气候区域在建筑节能要求上的差异十分显著，寒冷地区需着重把控保温性能和热损失，应选用高保温中空玻璃及内侧遮阳系统；炎热地区则需优先考量遮阳降温的能力，建议采用外遮阳百叶以及高反射Low-E玻璃。阳光直射强度直接掌控着幕墙在不同时间段的热负荷，就西晒立面与大面积玻璃立面而言，应当采用遮阳设计、反射性涂层或自动调光玻璃控制太阳能得热，避免室内温度急剧上扬，增进冷负荷效率，周边环境遮阳条件也是不可忽视的要素，若建筑物周边存在高大植被、邻近建筑或构筑物，可产生自然遮阳效果，设计时应当充分利用这些有利情形，合理调配采光开口与幕墙分区，进而实现整体节能功效。

三、玻璃幕墙节能优化设计策略

1. 复合型玻璃系统应用

复合型玻璃系统凭借多种玻璃材料与结构形式的结合，增进幕墙在保温、隔热以及光学性能的综合表现，在实际的工程场景里，最常采用的是双层中空玻璃、三层玻璃系统以及Low-E镀膜玻璃与中空层的集成组合，这些系统可切实减少建筑外围护结构的热损耗，同时实现自然采光还达成视觉通透。三层玻璃结构可把传热系数，比起传统单层玻璃系统，节能效果提升接近60%，中空层厚度（一般是12mm至16mm之间）、填充气体类型（像氩气或氟气）显著影响节能成效，充氩气的中空玻璃系统，热导率可降低大约30%，光电玻璃跟光伏玻璃相结合，也在某些绿色建筑中达成了“发电+隔热”的双重功用，有力提升幕墙系统的能效等级及可持续性。

2. 遮阳与通风系统集成设计

遮阳系统与通风设计成为玻璃幕墙实现夏季降温、冬季保温的关键技术方法，外遮阳系统（如铝合金百叶、金属格栅）能直接把进入室内的太阳辐射阻挡在外，降低冷负荷水平；内遮阳系统能增进视觉的舒适体验，然而隔热效果方面稍差一点，多数高性能幕墙系统采用外遮阳跟中空玻璃的搭配模式，实现更理想的节能控制。从通风设计层面，双层通风幕墙结构正逐渐变为节能建筑的关键潮流，该结构在内外幕墙彼此之间形成空气夹层，依靠自然或机械通风带走积累的热量，增进热环境调节成效，双层通风幕墙可令建筑整体能耗降低15%~25%，且大幅提升室内舒适度，遮阳与通风系统集成要结合建筑立面朝向、外部气候及使用功能开展差异化设计，尤其在东西走向的立面，需着重强化遮阳控制系统，进而降低夏季太阳辐射的负载。

3. 动态响应与智能控制策略

伴随智能建筑的发展进程，玻璃幕墙节能优化设计渐渐朝着动态响应及智能控制方向转化，诸如电致变色玻璃、液晶调光玻璃这类调光玻璃，可按照光照强度或用户需求自动调节透明度，调控光线透过量与热量吸纳，阻止眩光出现以降低空调能耗，与建筑能源管理系统（BEMS）配合，可实现对幕墙遮阳系统、通风装置、调光玻璃的智能联合控制，使节能策略能响应时间段、季节性及天气变化。部分高端办公建筑已达成BEMS与幕墙系统集成，年综合能耗的降幅为20%以上，若温度、光照、风速等多维度传感器嵌入幕墙结构后，系统可即时采集外部环境数据，进而自适应调整幕墙运行参数，实现幕墙从“静态构造”到“智能组件”的重大跨越，切实支撑绿色智慧建筑的发展。如表1所示：

表1 节能系统对比数据

幕墙系统类型	平均传热系数 (U值) W/(m ² ·K)	年均节能率 (与普通玻璃幕墙比)	适用建筑类型
单层普通玻璃幕墙	5.8	0%	一般商业楼宇
双层中空玻璃幕墙	2.5	30%	商业综合体、办公楼
Low-E中空玻璃幕墙	1.8	45%	高端写字楼、政府建筑
三层中空玻璃幕墙	1.0	60%	超低能耗建筑、寒冷地区建筑
双层通风幕墙(智能控制)	1.2	65%	被动式节能建筑、总部大楼

四、典型幕墙结构与节能设计案例分析

1. 商业办公楼玻璃幕墙节能设计

作为建筑类型，商业办公楼是玻璃幕墙应用最广的之一，其节能设计重点是把控好空调负荷、优化自然采光并提升室内舒适度，顾及白天办公时段光照强烈的特征，普遍采用Low-E中空玻璃系统，以此实现高透光、低辐射的双重节能效能，举某大型商务写字楼这个例子，东、西立面采用外遮阳百叶和双层中空Low-E玻璃组合，实现U值控制在1.8 W/(m²·K)以下，同时搭建光控系统对玻璃透光率进行调节，降低人工照明能耗水平。建筑北侧采用无遮阳的设计模式，以达到获取均匀日光、减少热负荷的目的，而南侧凭借植被遮阳和反射涂层控制太阳能得热量，该办公楼还引进了智能化通风系统，在春秋两季无需启动空调时，外幕墙自动把通风模块开启，实现自然空气的顺畅流通，该“智能+构造”组合模式显著削减了能耗，也提升了室内的空气品质，全年节能率能达35%~40%的水平。

2. 公共建筑(如机场、展馆)幕墙设计

公共建筑如机场、展馆这类公共建筑，存在体量大、立面高、人员密度大的现象，对幕墙结构稳定性及节能性能提出更高标准要求，以某国际机场候机楼做例子，该设计是采用钢结构支撑全玻璃幕墙系统，高度竟达20米，突出视觉上的通透与空间的开放感，为应对大面积玻璃造成的热量积聚难题，幕墙采纳了三层中空玻璃，且在外层融入了智能调光玻璃系统，若日照强烈便自动变暗，切实有效地阻隔超过50%的太阳热辐射。往中空层中填充氩气，与低辐射涂层玻璃相结合，把传热系数把控在1.2 W/(m²·K)以内，该机场为幕墙夹层设计了可控百叶系统，依照太阳角度自动变换遮阳角度，最大程度地借助自然光，控制室内温度升高幅度，冬季时把夹层通风系统关闭，造就稳定的空气保温带，大幅削减采暖能耗。

3. 超高层建筑幕墙系统优化应用

超高层建筑基于高度、风压及太阳辐射强度等复杂环境因素的状况，给玻璃幕墙的结构稳定性及热工性能提出了极高要求，像某300米超高层综合体项目就很典

型，其幕墙系统采用的是单元式双层通风幕墙结构，既保证了幕墙的抗风稳定性，还达成了十分显著的节能成效。该系统的外层采用夹胶钢化玻璃，内层采用的是Low-E中空玻璃，中间弄出一个厚度约400mm的通风夹层，于夹层顶部设置可控排风口，顺应风压的变动调节空气流通，夏季自动把热量排出去，冬季造就静止气体保温带，实现系统整体U值控制在1.1 W/。幕墙面板预先装设了光照传感器及风速监测装置，系统会基于楼层位置以及实时气候去调节遮阳叶片开合角度，以此实现采光与遮阳的平衡，调研结果表明，该超高层项目比传统幕墙系统在全年制冷与采暖时分别节省能耗22%和28%，也极大提升了建筑的运行效率以及运维智能化层级。

结语

玻璃幕墙作为建筑外围护结构的关键组成，其结构安全性及节能性能，已成为现代建筑设计的重要考量点，运用科学的结构设计、恰当的材料挑选及智能化系统集成，可极大提升玻璃幕墙的综合性能，达成安全性跟节能性的有机统一，伴随新材料及新技术的发展，玻璃幕墙将更进一步朝着绿色、智能、高效方向迈进，本文探讨的结构优化及节能策略，有着良好的工程应用价值潜力，为实际项目设计给予理论及技术支持。

参考文献

- [1] 林树敏. 超大玻璃幕墙结构设计中的力学性能分析[J]. 中国住宅设施, 2024 (S1): 70-72.
- [2] 张磊. 钢结构玻璃幕墙的施工技术探讨[J]. 工程建设与设计, 2024 (21): 209-211. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2024.11.063.
- [3] 林新贵. 复杂异形结构幕墙单元体的深化设计[J]. 福建建材, 2024 (10): 101-103.
- [4] 雷明辉. 构件式玻璃幕墙支承结构的设计研究[J]. 江西建材, 2024 (09): 144-146.
- [5] 姜行. 建筑玻璃幕墙施工技术难点及应对措施[J]. 散装水泥, 2024 (03): 25-27.