

从物理学角度看节能玻璃

赵洪波

我国正处于建设的鼎盛时期，每年建成房屋近 20 亿平方米，而能达到国家规定节能标准的建筑只占 10%左右；且在即有的约 400 亿平方米建筑中，95%以上是高耗能建筑。可见，在我国推行节能建筑已刻不容缓。影响建筑能耗最直接的因素是建筑维护结构的保温与隔热性能，门窗又是其中最薄弱的环节。据统计，在建筑中门窗玻璃的能耗约占建筑总能耗的 35%左右，因此节能玻璃的应用在建筑节能中具有重要意义。

一、与节能玻璃相关的物理学原理及概念

建筑是如何通过门窗玻璃传热的呢？我们知道，热量传递有热传导、对流和辐射三种基本方式。热传导依靠物质的分子、原子或电子的移动或（和）振动来传递热量。对流传热依靠流体微团的宏观运动来传递热量，所以它只能在流体中存在。辐射传热是通过电磁波传递热量，不需要物质作媒介。玻璃传热是热传导、辐射两种方式同时进行、综合作用的结果（见图 1）。

太阳辐射能量的 97%集中在波长为 $0.3\sim 2.5\mu\text{m}$ 的范围内，包括紫外线、可见光和红外线，这部分能量从室外进入室内；而室内物体的辐射以 $2.5\mu\text{m}$ 以上的红外线为主。冬季，我们希望室外的辐射能量尽可能多的进入室内，而室内的辐射能量不要外泄（见图 2），因此，选择具有一定物理特性的窗玻璃就成为建筑保温隔热的关键。

为了下文叙述方便，先介绍几个和玻璃传热有关的物理概念。

透射率 透过材料的光通量与入射到材料表面上的光通量的百分比称为透射率。

辐射率 黑体被定义为在任意温度下，吸收并发射最大的辐射能的物体。物体表面的辐射率定义为物体表面辐射的热量与黑体在同一表面辐射热量之比。

传热系数 在稳定传热条件下，围护结构两侧空气温差为 1 开，1 小时内通过 1 平方米面积传递的热量称为该材料的传热系数，单位为瓦/平方米·开（ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ）。传热系数数值越低，玻璃的保温性能就越好。

热阻 反映阻止热量传递能力的综合参量。当热量在物体内部以热传导的方式传递时，对于热流经过的截面积不变的平板，导热热阻为传热系数的倒数，单位为平方米·开/瓦。

遮蔽系数 表征窗玻璃在无其他遮阳措施情况下对太阳辐射透射得热的减弱程度。其数值为透过窗玻璃的太阳辐射得热与透过相同尺寸但无玻璃的开口进入室内的太阳辐射得热的比率。

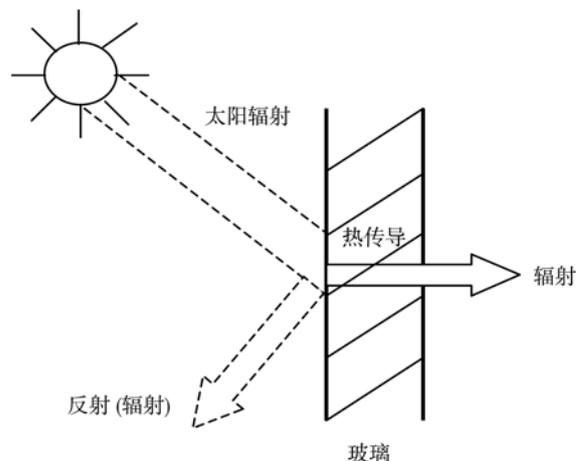


图 1 玻璃传热示意图

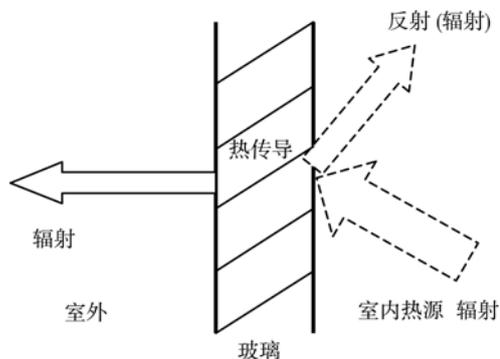


图 2 玻璃由室内向室外传热示意图

二、节能玻璃的种类及物理特性

节能玻璃主要有镀膜玻璃、中空玻璃、真空玻璃、贴膜玻璃等，为了将节能玻璃的特性与普通玻璃进行比较，在此也列出了普通透明玻璃。

普通透明玻璃 透射率约为 85%，它对阳光辐射阻挡能力很差，绝大部分的太阳辐射能量可透过玻璃进入室内。夏季白天进入室内的太阳辐射

能量远大于玻璃向外辐射散发的热量，室内温度升高。该种玻璃的传热系数为 $5.8\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ，若是内外温差为 15°C ，则因热传导而透过玻璃的热量就大于 $80\text{W}/\text{m}^2$ 。普通透明玻璃的辐射率为 0.84，冬季，玻璃吸收室内热量后向外辐射，使室内温度降低，无法有效地阻挡室内热量泄向室外。单片透明玻璃的保温、隔热性能确实很差，不宜直接用于设有暖通或空调设施的建筑物。

热反射镀膜玻璃 是在玻璃表面镀一层或多层如铬、钛或不锈钢等金属或其化合物组成的薄膜，对可见光有适当的透射率，对近红外线有较高的反射率，对紫外线有很低的透过率。因金属膜对红外线的反射作用，使其具有丰富的颜色，因而对建筑物具有装饰效果。夏季热反射玻璃的隔热作用十分明显，能有效地限制进入室内的太阳热量。尤其当它被安装在建筑的西侧，能大大减弱西晒阳光的辐射热量。适用于夏热冬暖地区，能有效降低冷气设备的运行费用。但这种玻璃在限制阳光热辐射的同时，也限制了进入室内的可见光，这会影响到室内的自然采光。

低辐射镀膜玻璃 也称 Low-E 玻璃，是在玻璃表面镀上多层金属银或其他化合物组成的膜系产品，其镀膜层具有对可见光高透过及对中远红外线高反射的特性。Low-E 玻璃对可见光的透射率可达 80% 以上，而反射率一般在 11% 以下，这使其与热反射镀膜玻璃相比，光学性能大为改观。既保证了建筑物的采光，又避免了玻璃幕墙、中空玻璃门窗光反射所造成的光污染。而且，Low-E 玻璃可阻挡 55% 左右的紫外线进入室内，也起到了一定的防紫外线作用。Low-E 玻璃的辐射率在 0.35~0.5 之间，比普通透明玻璃低很多，用 Low-E 玻璃制造建筑物门窗，可大大降低因辐射而造成的室内热能向室外的传递，有利于冬季室内温度的保持，达到节能的效果。北京奥林匹克篮球馆，采用了 Low-E 玻璃合成的中空玻璃幕墙体系。据报道，与普通单片玻璃比较，夏季就可以节能 60% 以上，冬季可以节能 70% 以上。

贴膜玻璃 由玻璃材料和贴膜两部分组成。贴膜是由特殊的聚脂薄膜作为基材，镀上各种不同的高反射率金属或金属氧化物涂层。它不仅能反射较宽频带的红外线，还具有较高的可见光透射率，而且具有选择性透光性能。例如可见光透射率高

达 70% 以上，而对红外线和紫外线的反射率在 75% 以上，在 3mm 厚普通玻璃上贴一层隔热膜片后，太阳热辐射透过减少 82.5%，其传热系数降为 $3.93\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。而且这种玻璃膜直接贴在玻璃表面，具有极强的韧性，不同种类的膜和玻璃配合使用，可达到不同要求的安全和节能效果。

目前，此类玻璃贴膜在国内已广泛用于银行的防弹玻璃，大厦的玻璃幕墙上。例如，国家大剧院的安全贴膜玻璃，不仅起到保温的作用，而且减少了玻璃破碎可能引起的对人体的伤害，同时阻隔了 99% 以上的紫外线。

中空玻璃 由两片或多片平板玻璃组合而成，在两层玻璃之间用金属框隔开，四周再用密封胶或焊接密封而形成隔层空间，内部充入干燥的空气或惰性气体层。中空玻璃的空腔内形成了一定厚度的密闭气体层，由于气体的传热系数远小于玻璃的传热系数，因此中空玻璃具有了较好的隔热能力，在国外建筑中大量使用。中空玻璃具有防寒隔热、隔音、防结露，使用寿命长等特性。如果中空玻璃的内层玻璃改用 Low-E 玻璃，会有更好效果。

表 1 节能玻璃的主要性能

性能品种	透射率 (%)	辐射率	传热系数 ($\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$)	遮蔽系数
普通透明玻璃	85	0.84	5.8	0.93
热反射镀膜玻璃	77	0.15	5.7	0.55
低辐射镀膜玻璃	>80	0.35~0.50	1.76~1.99	0.66~0.73
贴膜玻璃	>70	<0.15	3.9	/
Low-E 中空玻璃	56	3	1.82	0.47~0.66

随着能源问题的日益突出和“可持续发展”理念的推广，我国已经制定了建筑节能标准，广大建筑工作者也相当重视相应的设计和施工。但目前，我国的建筑节能水平还落后于发达国家。如欧美国家建筑已普遍采用节能玻璃，但由于初次投资要比普通玻璃高很多，而节能效果的收益要在较长一段时间才能显现，因此目前在我国大面积推广还存在一定困难。但相信，随着我国经济的发展和提高，节能玻璃会逐渐走进千家万户。

(河北秦皇岛市第三建筑公司 066000)