

Low-E 镀膜玻璃应用及大规模镀膜技术的发展

Development of Large Scale Coating Technology and Application of Low-E Glass

施玉安

上海北玻镀膜技术工业有限公司 上海 201614

摘要 近年来，我国 Low-E 镀膜玻璃的生产和应用发展迅速。本文介绍了 Low-E 镀膜玻璃的功能特点、市场前景和生产工艺，对大面积镀膜设备的发展和结构组成做了详细的归纳。

Abstract In recent years, the production and application of Low-E glass develops rapidly. The paper gives an introduction into the function, market outlook and production process of Low-E glass and the development and configuration of large scale coating machine.

关键词 低辐射 磁控溅射 镀膜

Key word Low-E emissivity megnetron sputtering coating

1 引言

玻璃是重要的建筑材料，随着对建筑物装饰性要求的不断提高，玻璃在建筑行业中的使用量也不断增大。由于建筑玻璃引起的制冷和供暖能耗在整个建筑能耗中占有很大的比重，因此减小这部分能耗，是降低建筑能耗的一种非常有效的方法。Low-E 玻璃由于其较低的红外辐射率而具有优异的节能效果，被誉为21世纪的节能环保玻璃。大面积镀膜技术是实现工业化生产 Low-E 玻璃的最主要的技术之一。

2 Low-E 玻璃简介

低辐射玻璃，即 Low-E 玻璃，一般是由多层金属或金属氧化物和衬底组成的膜系产品。根据用途 Low-E 玻璃主要可以分为高透型 Low-E 玻璃，遮阳型低 Low-E 玻璃和双银 Low-E 玻璃 等几种类型。与普通的建筑玻璃相比，Low-E 玻璃具有以下功能特点：

2.1 良好的节能性。冬季室内温度高于室外，门窗玻璃的热损失是建筑物能耗的主要部分，有关研究资料表明，玻璃内表面的传热以热辐射为主，约占58%。当镀上一层以银为基础的低辐射膜后，其辐射率可降至0.1以下。因此，Low-E 玻璃可大大降低因热辐射而造成的室内热能的流失。夏季室内温度高于室外，由于 Low-E 玻璃对近远红外线有很高的反射率，因此可以有效地阻挡室外红外线辐射进入室内，大幅度的降低室内空调设备的制冷量。因此 Low-E 玻璃具有良好的节能效果。

2.2 良好的光学性能。Low-E 玻璃在可见光波段具有较高的透过率，可达80%以上，可以使室内更多地自然采光，为人们营造了柔和舒适的光环境，同时又节省了照明能耗。

2.3 减小环境污染。住宅与公共建筑能耗排放大量的 CO₂，约占全球排放 CO₂总量的1/3，同时也排放了大量的 SO₂、NO_x、悬浮颗粒物和其它污染物，对人类的生存环境造成了很大的影响。Low-E 玻璃的使用减小了建筑物能量的损耗，即减少了污染物的排放量。对保护自然环境具有重要的现实意义。

同时，Low-E 玻璃还具有减小紫外线辐射和降低噪声污染等优点。

Low-E 玻璃的上述特性使其在发达国家获得了日益广泛的应用。在欧美国家，加工玻璃的产量平均约占平板玻璃原片总产量的70%~80%。在政府及有关法规的推动下，Low-E 玻璃已成为节能门窗及幕墙用玻璃的必选产品和国家的重要环保产品。目前，我国政府已出台了一系列新的建筑节能

政策和法规，积极推动节能建筑的推广。同时我国经济的快速增长带动了中高档建筑玻璃的消费增长，近年来，Low-E 玻璃的需求量逐步增加，我国每年的建筑面积约增加20亿平方米。

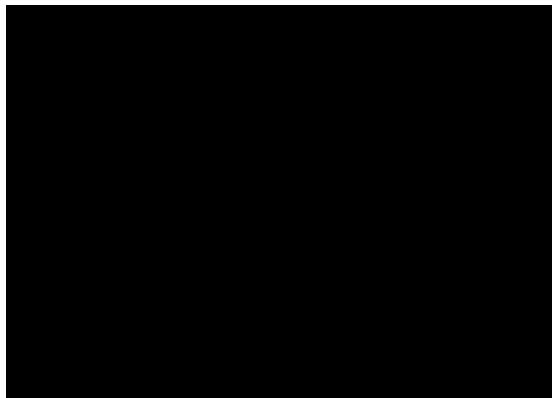


图1 中国 Low-E 玻璃需求量趋势

3 Low-E 玻璃的生产工艺

目前，建筑用镀膜玻璃常用的生产方法有在线镀膜法和离线镀膜法。在线镀膜法是指在浮法玻璃冷却工艺过程中完成镀膜。在线镀膜玻璃的生产主要采用热喷涂法和化学气相沉积法，两种工艺都是化学成膜。离线镀膜法是指将浮法玻璃作为原材料，在独立的镀膜设备中完成对浮法玻璃镀膜。离线镀膜玻璃生产既可采用化学成膜工艺，也可采用物理成膜工艺。磁控溅射镀膜技术是目前国际上普遍采用的 Low-E 玻璃离线镀膜工艺。图2为常规离线镀膜玻璃结构示意图。

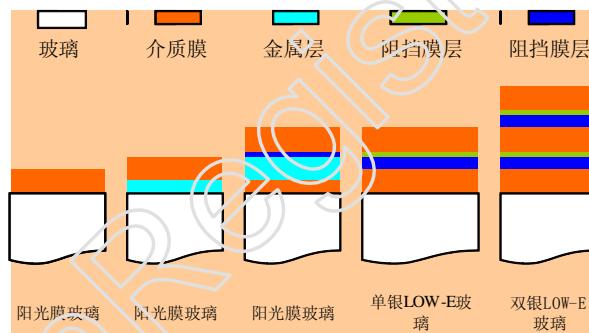


图2 常规离线镀膜玻璃结构示意图。

一般来说，离线 Low-E 玻璃（采用磁控溅射镀膜技术）相对在线 Low-E 玻璃具有产品品种丰富、工艺灵活、节能效果好、质量稳定、色差易控制、技术成熟和后期补片容易等优点。

4 Low-E 镀膜设备的发展及结构组成

欧洲的制造商最早于60年代末开始在实验室研究 Low-E 玻璃。1978年，美国 Interpane 公司成功地将 Low-E 玻璃应用到建筑物上。1985年英国 Pilkinton 公司实现了 Low-E 玻璃的商业化生产。此后，Low-E 镀膜技术在欧美国家取得了飞速的发展。

我国 Low-E 镀膜技术起步较晚。南玻集团于1997年从美国引进第一条商业化 Low-E 镀膜玻璃生产线，实现了 Low-E 镀膜玻璃的国产化。此后，国内许多玻璃公司相继引进国外的镀膜玻璃生产线。2006年，北玻公司开始研制具有自主知识产权的大型镀膜设备，并于2008年1月成功生产出合格的 Low-E 玻璃产品，于2008年5月开始商业化生产可钢化 Low-E 玻璃产品，同时 Low-E 玻璃和镀膜设备成功进入市场，实现了订单生产和大型 Low-E 镀膜设备的国产化。

Low-E 镀膜设备结构复杂，涵盖机械设计制造、真空技术、物理学、材料学、力学和控制工程等多方面的学科知识。按制膜工艺划分，可分为前处理系统、溅射镀膜系统和后处理系统。按功能

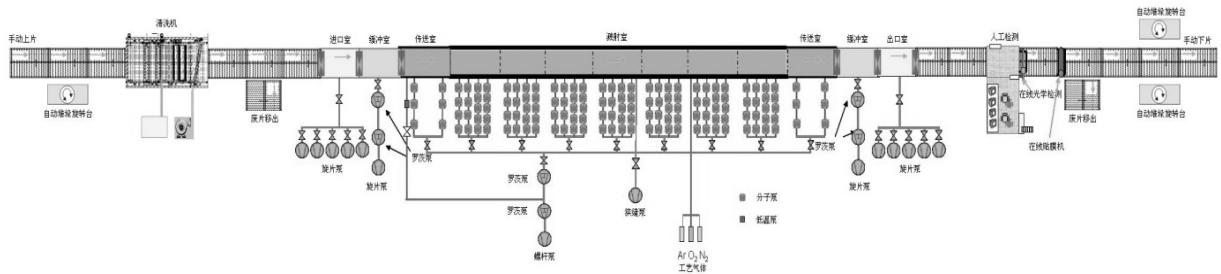


图3 “领航者”CE2540H5-14/15的结构示意图

划分，主要包括真空获得系统，溅射器件系统，传动系统，电气控制系统，工艺辅助系统、外围设备、水电气及动力配套系统。下面作者将以北玻公司的“领航者”CE2540H5-14/15为例来介绍Low-E镀膜设备的组成及关键技术。图3是“领航者”CE2540H5-14/15的结构示意图，可持续生产可钢Low-E玻璃、双银Low-E玻璃和阳光控制膜玻璃，设备的主要技术参数为：本底真空为 5×10^{-6} mbar，生产节拍为60S，基片厚度为3~19mm，最大加工尺寸为 2540×3660 mm，横向均匀性 $\Delta E < 1.5$ 。

4.1 溅射器件系统。溅射器件系统是Low-E镀膜设备的关键部分，用来实现把靶材沉积到玻璃基片上，主要包括阴极盖板、双平面阴极、单平面阴极、旋转阴极、溅射挡板、工艺气路、阴极电源、靶材等。溅射系统的性能关系到沉积速率、薄膜均匀性、溅射稳定性和靶材利用率等关键问题，其中阴极的设计最为关键。“领航者”中的阴极采用有限元分析和电磁学模拟并优化阴极的电磁场分布，采用自主研发的三维磁场测量系统测量磁钢的空间磁场分布及安装调整磁钢，长度方向上靶材表面平行感应强度分布的均匀性<2%，平面阴极的靶材利用率约为40%，旋转阴极的靶材利用率>90%；精细的端头结构设计保证了旋转阴极长期工作的稳定性，缩短了维护周期，提高了工作效率；充分的水冷结构设计可保证靶材上高功率密度的施加。

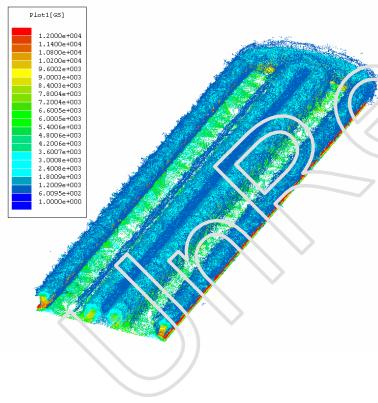


图4 平面阴极空间磁场分布

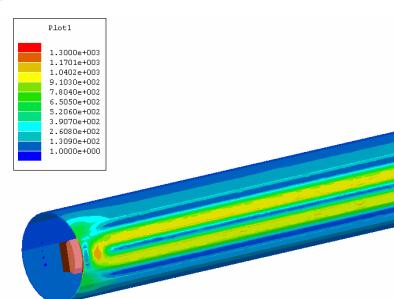


图5 旋转阴极靶材表面平行磁感应强度分布

4.2 真空获得系统。主要包括真空腔室、真空获得管道、门阀、锁阀、传动缝隙阀、狭缝抽气、真空泵、真空测量器件等。“领航者”采用最先进的干泵和分子泵配置，杜绝真空室返油污染，运行可靠、高效；泵位、阴极位独立布置，气氛隔离效果好；真空腔室的模块化设计和加工，提高了腔室设计和加工效率，提高了重大部件的加工质量和互换性，腔室之间布置锁阀装置便于真空集成和单腔室维护。

4.3 传动系统。主要包括传动辊道、同步带轮、轴承及轴承座、电机、磁流体密封、光电传感器等。“领航者”传送系统是由辊轮和同步带相连完成玻璃传送，玻璃的最大传送速度为60m/min，传送系统的传动电机与每个室的传送辊轮之间通过磁流体密封连接。玻璃定位的检测系统是由放置于传送横梁上的光电开关来完成的。

4.4 电气控制系统。主要包括电源柜、控制柜、控制系统、电箱、PLC及工控机、变压器、光眼、

上位监控机、PLC 主机、DP 从站、工业以太网等组成。“领航者”控制系统采用某公司可编程序控制器作为现场控制，工业控制计算机作为上位控制，组成的网络对镀膜生产线的工艺过程进行系统控制（控制的对象包括：真空泵系统；传送系统；电源系统；气体流量控制系统和系统间所有相关的互锁和连锁控制）。操作者可以容易地控制镀膜生产线的工艺过程和设备的动作流程。

4.5 工艺辅助系统。主要包括工艺气体及控制、光学在线测量、内部冷却及加热系统、气动控制等。

“领航者”提供独立分配的 Ar、O₂、N₂工艺气体，采用5段供气补偿和进口质量流量计，保证膜层的多样化和膜厚的均匀性；配置了多点位膜系自动检测监控系统，确保了镀膜质量和产品的延续性。

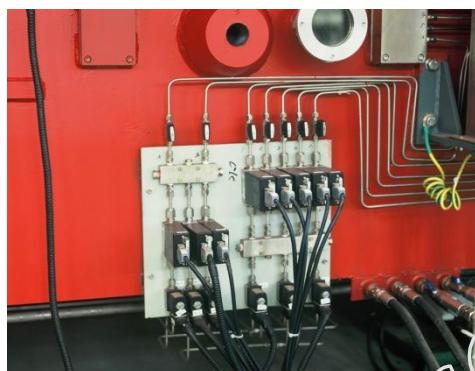


图6 工艺气体的分配系统

4.6 镀膜外围设备。主要包括清洗机、上下片台、自动装卸片台、传动片台、检测片台、贴膜机、喷粉机、换靶小车，水电气及动力配套系统。“领航者”配置了高性能镀膜用清洗机，实现多级清洗，可抛除玻璃表面老化层，保证玻璃表面洁净，有利于获得结合牢固、致密无针孔缺陷的膜层；配置了高速装卸片台，提高了生产效率。

5 大面积镀膜设备国产化的设想

改革开放以来，我国经济取得了飞速发展，玻璃加工设备产业已具有一定规模和品牌，积累了一定的资金和技术实力，民族工业的实力和创新能力得到了极大提高，国内大面积镀膜设备的发展已取得了阶段性的成果。但在大面积镀膜设备国产化的过程中必须考虑以下几点：

把性能放在第一位，不能为降低成本简化配置。大规模镀膜技术成功的关键在于设备的连续稳定性，对各个子系统都有严格的要求，关键系统的配置降低导致产品质量和稳定生产受到严重影响。

国产过程要循序渐进。对于大规模镀膜设备国产化的初期，国产大中型部件的使用，如分子泵、电源等有一个使用磨合和提高过程，对于高端设备的系统设计，同样有一个性能协调要求，不可舍本逐末；

供应商不仅要提供过硬镀膜设备，更要提供完善的真空技术及工艺解决方案。对于目前市场的需求和发展，必须提供先进的镀膜工艺和各种产品方案。为客户着想，提供和培训技术管理人才，使用户能尽快适应产业和技术发展要求，促进企业尽快成长。

加快自主创新步伐，对于大规模镀膜技术的核心技术必须在消化吸收的基础上进行独创研发，企业在须拥有自主知识产权和核心技术，以不断提高技术和降低成本。始终保持技术领先和优越的产品内涵。

作者简介

施玉安 (Shi Yu'an)，1963年出生，男，江苏人，同济大学机械制造专业研究生毕业，工学硕士，工程师。1989年3月参加工作，先后任中国南玻集团下属企业设备工程师、生产主任、质控部经理、经营部经理；集团分公司经理，市场部经理，工程玻璃事业部副总经理。浙江玻璃股份有限公司副总经理，浙江过程玻璃有限公司董事总经理。目前，任上海北玻镀膜技术工业有限公司总经理。

多次在境内外接受管理和技术培训。长期从事 Low-E 玻璃及工程玻璃产业的隔离和研究，成功研发国内第一条具有自主知识产权的商用的龟波磁控溅射镀膜生产线，并获多项发明专利。工作单位：上海北玻镀膜技术工业有限公司（Shanghai Northglass Coating Technology Industrial Co., LTD.），通讯地址：上海松江科技园区光华路328号，邮编201614。

E-mail: shi_ya@163.net

Unregistered