

# 【建筑光学】公众号 ARCHITECTURAL OPTICS

## 原创文章汇编

主编：许海凤

撰稿：苑静、武文杰、吴筱、钟星辉等

编辑：魏薇

顾问：张喆民 黄达泉 王威

扫描二维码关注公众号



# C 公司简介

## Company Profile

科学为本 务实创新 诚信于人 协同发展

### ▪ 专注光学 ▪

北京奥博泰科技有限公司为国家高新技术企业，专业从事建筑光学、物理光学、光电技术方面的技术与产品研发，具有近百人的专业技术、制造与服务团队。在建筑节能方面，致力于建筑节能检测仪器的研发生产与服务。

### 研究方向：

- 建筑节能玻璃生产过程光学性能检测与质量控制
- 建筑节能玻璃的成品光热性能检测技术与仪器
- 幕墙与门窗玻璃的现场光热参数检验技术与仪器
- 绿色建筑舒适度、节能性能检测与网络监测

### 主编参编 建筑玻璃行业相关标准

- GB/T 9086-2007 用于色度和光度测量的标准白板
- GB 50033-2013 建筑采光设计标准
- GB/T 36142-2018 建筑玻璃颜色及色差的测量方法
- GB/T 36261-2018 建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法
- GB/T 36403-2018 红外光学玻璃红外透过率测试方法 傅里叶变换法
- GB/T 36405-2018 平板玻璃应力检测方法
- GB/T 37240-2018 晶体硅光伏组件盖板玻璃透光性能测试评价方法
- GB/T 5702-2019 光源显色性评价方法
- JC/T 2304-2015 建筑用保温隔热玻璃技术条件
- JC/T 782-2017 玻璃纤维增强塑料可见光透射比试验方法
- JJF (建材) 153-2018 建筑玻璃用分光光度计校准规范
- JJF (建材) 154-2018 建筑玻璃用便携式测色仪校准规范
- JJF (建材) 159-2019 光学法玻璃测厚仪校准规范
- JJF (建材) 160-2019 光热反射镜反射比测量仪校准规范
- JC/T 2450-2018 被动房透明部分用玻璃
- GSB 02-3411-2017 低辐射镀膜玻璃 (Low-E玻璃) 光热参数标准样品
- GSB 02-3413-2017 镀膜玻璃可见光反射比标准样品
- GSB 02-3414-2017 镀膜玻璃可见光透射比标准样品
- HB002-2014 被动式低能耗建筑透明部分用玻璃
- T/ZZB 0305-2018 减反射膜光伏玻璃
- T/ZB H012-2019 被动式超低能建筑透明部分用玻璃



## 门窗幕墙玻璃性能

### 传热系数

- ✓ 普通中空玻璃
- ✓ Low-E中空玻璃
- ✓ 三玻两腔Low-E中空玻璃

### 光热参数

- ✓ 可见光透射比 $\tau_v$
- ✓ 可见光反射比 $\rho_v$
- ✓ 光热比LSG
- ✓ 红外热能总透射比 $g_{IR}$
- ✓ 太阳能总透射比 $g$
- ✓ 遮阳系数Sc

### 颜色色差

- ✓ 玻璃透、反射颜色
- ✓ 玻璃色差

### 钢化应力

- ✓ 钢化玻璃应力定量测试：不仅可测表面应力值，还可测厚度方向压应力和张应力分布曲线

### 玻璃结构

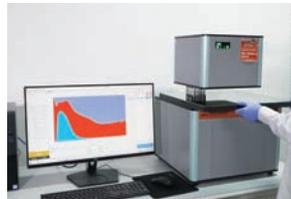
- ✓ 每片玻璃及每层腔体厚度
- ✓ Low-E判别，辐射率测量

### 氩气含量

量化品质  
Quantify Quality 质



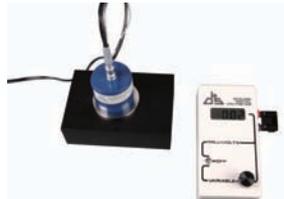
**GlasSmart1000**  
便携式节能玻璃现场综合测试系统



**GlasSpec2500**  
节能玻璃光热参数综合测试仪



**GlassMeter800K**  
中空玻璃传热系数测量仪



**AE1**  
D&S辐射率测量仪



**AE1-A**  
智能辐射率测量仪



**GlassQ3000**  
手持宽光谱测色仪



**GlasStress SCALP-05**  
便携式智能应力分析仪



**SPARKLIKE LASER**  
激光气体分析仪



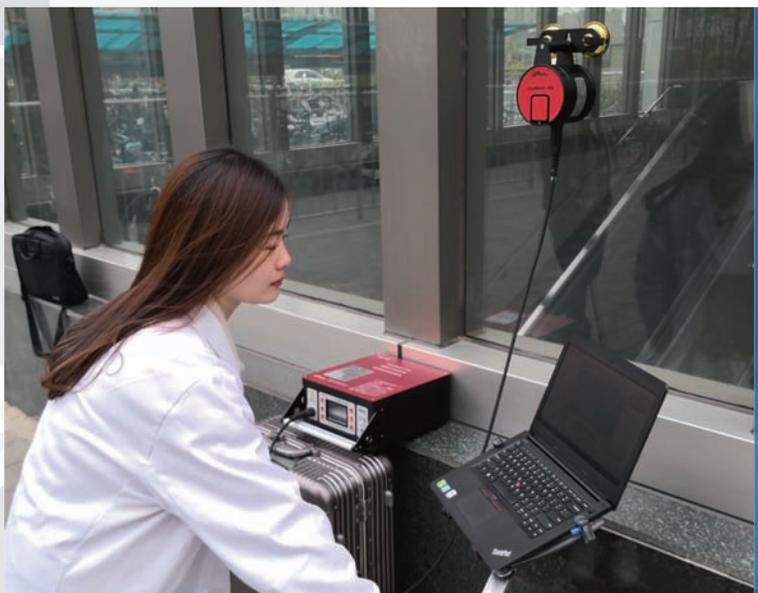
**SPARKLIKE HANDHELD**  
手持式惰性气体分析仪

尽显精彩  
Discover Color 彩

# GlasSmart1000 (慧眼1000)

## 便携式节能玻璃现场综合测试系统

相关标准：GB/T 36261《建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》。  
ISO 9050, ISO 10292, ISO 15099, GB/T 2680, GB/T 22476, EN673, JGJ151。



20分钟即可测得全套光学及热工参数  
(K值、SHGC等)

工程现场、实验室均可使用

直接测量双玻、三玻，无需拆片

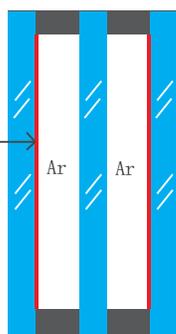
WiFi连接，锂电池供电

向导式测量、智能操控、简单易用

专业的光谱分析仪器

### 可测参数

- Low-E膜的位置
- Low-E膜辐射率



- 传热系数  $K$
- 可见光透射比  $\tau_v$
- 可见光反射比  $\rho_v$
- 遮阳系数  $S_c$
- 太阳能总透射比  $g$
- 每片玻璃厚度
- 整体厚度
- 腔体厚度
- 光热比  $LSG$
- 太阳红外热能总透射比  $g_{IR}$

### 功能特点

- 全部基础参数测量\***，透反射光谱、玻璃及气体间隔层厚度、膜面位置、膜面辐射率；
  - 标准计算**，全套光学及热工参数按照相关标准计算；
  - 整体无损测量**，可直接测量中空玻璃整体光学及热工参数，无需拆解中空玻璃，无需将玻璃裁切为小样；
  - 现场测量**，可直接对已安装的玻璃制品进行现场测量；
  - 向导式测量**，全套指标向导式测量，简单易用，非专业人士易于掌握；
  - 全功能软件**，完成所有参数的测量与计算功能；
  - 测值保障**，由中国计量科学研究院量值传递，测值可溯源；
  - 无线WiFi连接**，仪器与计算机通过WiFi连接，锂电池供电，不受现场工地条件限制，方便现场测量。
- \*注：特殊结构除外。**

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

# GlasSpec2500

## 节能玻璃光热参数综合测试仪

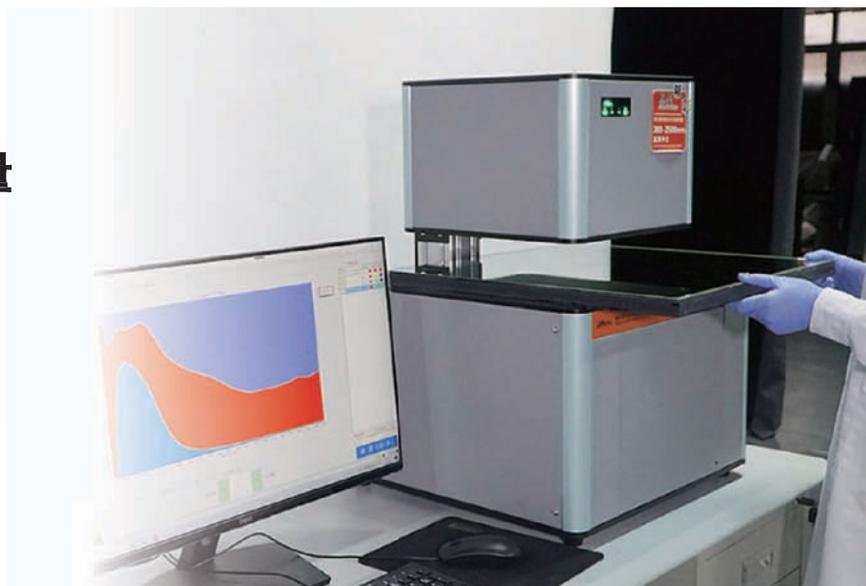
相关标准：GB/T 2680，GB/T 22476，JGJ/T 151，ISO 9050，ISO 10292，ISO15099，EN673，NFRC 100。

宽光谱分光光谱测量

中空玻璃直接测量

无损快速测量

可测大样片



GlasSpec2500用于建筑节能玻璃的整体光热性能测量，是专门为玻璃行业设计的实用快速测量仪器，不仅可以测量单片玻璃的光学参数，还可以对中空玻璃的光学和热工参数直接测量，无需破坏中空玻璃结构，满足生产厂家和质检部门的实际需要。

### 可测参数

光谱透射比  $\tau(\lambda)$ 、光谱反射比  $\rho(\lambda)$ ；  
紫外透射比  $\tau_{uv}$ 、可见光透射比  $\tau_v$ 、可见光反射比  $\rho_v$ ；  
太阳光直接透射比  $\tau_e$ 、太阳光直接反射比  $\rho_e$ 、太阳光直接吸收比  $\alpha_e$ ；  
太阳光红外直接透射比  $\tau_{IR}$ 、太阳光红外直接反射比  $\rho_{IR}$ ；  
太阳能总透射比  $g$ 、太阳能红外热能总透射比  $g_{IR}$ ；遮阳系数  $SC$ ；  
传热系数  $K(Ug)$ 、光热比  $LSG$ ；  
Low-E 膜面位置、Low-E 膜面辐射率、玻璃厚度和气体间隔层厚度。（需配合GlassMeter800K使用）

### 功能特点

1. 光谱分光测量，测量速度快，满足大批量测量要求；
2. 透反射光谱、玻璃及气体间隔层厚度、膜面位置、膜面辐射率全部基础参数测量；
3. 整体测量，可直接测量中空玻璃整体光学及热工参数，无需拆解中空玻璃，可直接测量厚度6+12A+6+12A+6以下大尺寸中空玻璃；
4. 无损测量，无需将玻璃裁切为小样，最大可测量距玻璃边部200mm处的任意尺寸玻璃；
5. 整体测量时间短，全套光热参数约5分钟全部测量完毕；
6. 支持多种标准计算，支持中国、美国、欧洲等热工计算标准；
7. 向导式测量，全套指标向导式测量，简单易用；
8. 全功能软件，集光谱测量、光学参数计算、热工参数计算软件于一体，一个软件完成所有参数的测量与计算功能；
9. 测值保障，由中国计量科学研究院量值传递，测值可溯源。

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

# GlassMeter800K 中空玻璃传热系数测量仪

相关标准：GB/T 36261 《建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》。



**集多功能于一身  
可测厚度、膜面位置、  
膜面辐射率、传热系数  
测量速度快**

## 功能特点

- 快速直测Low-E中空玻璃传热系数；
- 智能控制，自动测量，适合对幕墙玻璃进行现场测量；
- 可准确测量多腔中空玻璃的玻璃及中空腔厚度，并识别Low-E膜面位置及辐射率；
- 便携式仪器，可充电锂电池供电。

## 规格参数

项目	参数	项目	参数
外形尺寸(mm)	240×135×50	重量(g)	约800
可测最厚中空玻璃	6+16A+6+16A+6	可测最小尺寸(mm)	200×100×2
充电时间	3h	使用时间	2h~3h
充电电源	5V, 2A	充电电池	ICR 18650, 3.7V, 2200mAh
工作温度	-10~40℃	工作环境	<90%相对湿度
测量最大允许误差	传热系数	±0.1 (传热系数<2.0)	
		±0.2 (传热系数≥2.0)	
	厚度	±0.1mm (仪器直接接触的玻璃)	
		±0.2mm (仪器未直接接触的玻璃、中空腔)	
限制条件	不能测量压花玻璃、彩釉玻璃、磨砂玻璃等具有散射特性的玻璃； 对厚度<20mm的夹胶玻璃，厚度测量最大允许误差为±0.2mm； 测量时避免阳光直射测量窗口，不能避免时应采取挡光措施。		

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

# AE1 D&S辐射率测量仪



操作简单  
快速测量

## 功能特点

- 本仪器为便携式辐射率测量仪，可用于各种材料辐射量率的测量。

## 适用对象

本仪器适用于如下材料的测量：

Low-E镀膜玻璃、太阳能吸收膜层材料  
隔热保温材料、伪装涂层  
航空航天特种涂层

## 规格参数

项目	参数
输出方式	数字显示
重复性	±0.01发射单位
预热时间	30分钟
电源	可选配配套锂电池用于现场测量
探头尺寸	Φ55mm 50mm
测量表	150mm 85mm 68mm
仪器箱	33cm 40cm 18cm

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

# AE1-A 智能辐射率测量仪

- 操作简单
- 测量快速
- 重复性高
- 性价比高



## 功能特点

本仪器为便携式辐射率测量仪，内置锂电池，可单手操作，操作过程直观简便，测量精度高，可以用于各种材料辐射率的现场测量。

## 适用对象

本仪器适用于如下材料的测量：

Low-E镀膜玻璃、太阳能吸收膜层材料  
隔热保温材料、伪装涂层  
航空航天特种涂层

## 规格参数

项目	参数	项目	参数
尺寸(mm)	Φ68x158	可测范围	0.05~0.87
重量	540g	最大允许误差	0.02
工作温度	0~40℃	工作环境	<90%相对湿度
充电时间	3h	锂电池-(不可拆卸)	ICR18650 DC3.7V/2200mAh x4
使用时间	6h		

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

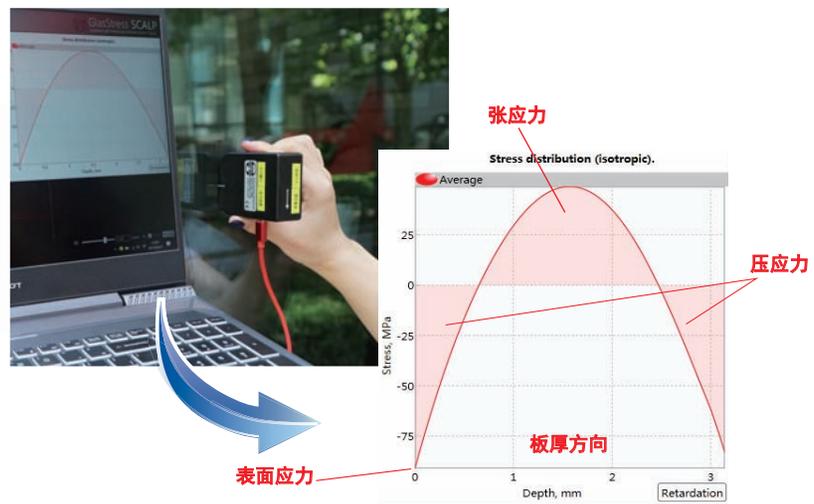
# GlasStress SCALP-05 便携式智能应力分析仪

自动快捷进行现场定量测量应力的便携式仪器。

相关标准：GB 15763.2 《建筑用安全玻璃 第2部分钢化玻璃》

JG/T 455 《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》。

**自动快速测量  
应力层分布测量  
现场测量已安装玻璃  
操作简单**



本仪器采用了动态激光偏振散射法，通过偏振激光技术、高速图像采集技术和数字化偏光器技术对玻璃的应力状态进行测量。不仅能够测量表面应力，也可以测量玻璃在板厚方向上的应力分布。仪器具有小巧便携、测量速度快、自动测量的优点，连接笔记本或平板电脑即可进行现场测量。

## 功能

- 可测量建筑用退火玻璃、热增强玻璃、钢化玻璃、汽车玻璃、光伏玻璃的表面及内部应力分布。

## 规格参数

项目	参数
测量深度范围	1~5mm
测量表面应力范围	> 1.0Mpa
探头外形尺寸	56mm×28mm×76mm
电源及接口	5V, 500mA, USB 2.0
可测量表面	空气面、锡面、压花面
限制条件	不能从高反射的膜面、减反射膜面、丝网印面测量
	测量时避免阳光直射测量窗口，不能避免时采取挡光措施

\*仪器需额外配备笔记本或平板电脑。

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

北京奥博泰科技有限公司为本仪器在中国区的授权经销商，负责中国区与销售相关的一切工作。

# GLASS-Q 3000 手持宽光谱测色仪

相关标准：GB/T 3977，GB/T 3978，GB/T 2680，GB/T 18091，GB/T 21086，ISO 10526，ISO 10527，ISO 9050。



分光光谱测量  
可测透反射颜色  
透射分体测量  
可测大板玻璃  
小样片、大板、中空

本仪器适用于建筑玻璃、汽车玻璃等行业，测量各种玻璃在380nm~1000nm波长范围内的光谱透射比、光谱反射比、颜色和色差。用于玻璃制造商、门窗幕墙公司生产过程的质量控制，以及质检机构、监理等对进场和已安装玻璃进行质量监督和验收。

可测参数：380nm~1000nm反射光谱、透射光谱；

可见光反射比、平均反射比、Yxy、CIE L\*a\*b\*、色差 $\Delta E$ ；

可见光透射比、平均透射比、Yxy、CIE L\*a\*b\*、色差 $\Delta E$ 。

## 规格参数

项目	参数	项目	参数
光谱测量范围	380~1000nm	仪器重量	约2.2kg
波长测量间隔	1nm	仪器尺寸	约 280×120×240 mm
波长计算间隔	5nm	仪器光源	仪器用卤素灯
测量几何条件	8°/8°	数据存储	SD卡
测量时间	约1秒	通讯接口	Micro USB
可测玻璃厚度	45mm 可直接测量6+12A+6+12A+6中空玻璃	电源规格	测色仪主机锂电池：7.4V 5000mAh 透射光源锂电池：7.4V 2200mAh

备注：厂家有权修改技术参数，请以实际产品和所附说明书为准。

# SPARKLIKE LASER™ 激光气体分析系列™

采用可调谐半导体激光吸收光谱技术, 无损测量中空玻璃内绝缘气体含量。

**采用TDLAS技术  
无损测量  
可测玻璃厚度  
及间隔层厚度**



SPARKLIKE激光  
集成系统™



SPARKLIKE手提版  
激光气体分析仪™ 2.0

本仪器用于检测节能型双玻单腔或者三玻两腔充气中空玻璃内的惰性气体含量, 无需破坏中空玻璃结构或在间隔层内搁置附件, 不受镀膜和夹胶片的限制。

# SPARKLIKE HANDHELD™ 手持式惰性气体分析仪™

采用等离子发射光谱技术, 无损测量中空玻璃内氩气和氪气含量。

**采用PES技术  
不破坏中空玻璃结构  
测值准确 重复性高**



本仪器采用世界上首款无损测量技术, 在不破坏中空玻璃结构的前提下测量其间隔层内惰性气体含量, 如氩气和氪气。

## 前 言

首先，感谢广大读者的支持与关注。

公众号“建筑光学”于2017年4月14日与大家见面，截止到2019年底，已发表原创文章86篇，其中单篇文章最高访问量达8019次。

2017年、2018年已分别单独成册，本汇编整理了“建筑光学”公众号2019年全年的原创文章，在此，向积极参与撰写论文的行业人士表示诚挚感谢和敬意。本汇编中文章难免存在一些错误，望广大读者和同行批评指正。

建立“建筑光学”的目的为普及光学基础知识，探讨和交流光学在建筑领域的应用技术，希望能为建筑采光设计、建筑节能设计以及新型建筑材料的研发与应用工作者提供一些帮助。希望利用该平台，促进跨专业、多学科深入技术交流。

在希望大家持续关注“建筑光学”的同时，也欢迎更多的行业人士参与投稿，可将稿件发送至建筑光学邮箱：[wechat@aoptek.com](mailto:wechat@aoptek.com)，联系电话：010-51122611，51122586。

二〇二〇年六月

# 目 录

## 【标准篇】

《建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》标准的解读.....	- 1 -
新版《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》与老标准的异同（门窗热工参数部分）.....	- 10 -
建筑节能 80%，门窗人你准备好了吗？.....	- 17 -

## 【节能玻璃】

谈谈玻璃厚度在玻璃质量评价中的重要性.....	- 25 -
浅谈幕墙玻璃的变形.....	- 31 -
到底该如何评价玻璃幕墙的反射比？.....	- 35 -
超低能耗建筑用高性能节能玻璃简介.....	- 40 -
带您认识在线 Low-E 玻璃.....	- 43 -
高性能玻璃节能与舒适性分析.....	- 49 -
暖边间隔条如何影响玻璃和整窗的 K 值.....	- 54 -
浅析环境温度对中空玻璃腔体厚度的影响.....	- 56 -

## 【玻璃检测】

关于仪器校准的那些事.....	- 59 -
为什么通用测色仪不一定对建筑玻璃“通用”.....	- 63 -
为什么要对于质量控制设备进行年度校准和保养服务.....	- 66 -
中空玻璃测厚仪的隐藏玩法.....	- 72 -
浅谈建筑玻璃的颜色测量.....	- 76 -
材料的透光性能及测量.....	- 82 -
人眼观察颜色可靠吗？.....	- 85 -
节能玻璃上墙后，K 值和 SC 值等参数还能测吗？.....	- 90 -

## 【资料收藏】

什么是色差？英文你写对了吗？.....	- 97 -
玻璃的颜色透射指数知多少？.....	- 101 -
关于玻璃锡面知多少.....	- 106 -
什么是 Low-E 玻璃的面电阻，有什么作用.....	- 110 -
浅析三银 Low-E 玻璃偏角变色现象成因与控制.....	- 113 -

# 《GB/T 36261-2018 建筑用节能玻璃光学及热工参数 现场测量技术条件与计算方法》标准的解读

作者：武文杰，苑静      【建筑光学】公众号 2019.12.24 发布

**摘要：**GB/T 36261-2018 的发布为建筑用节能玻璃的现场测量提供了理论与技术支持，具有重要的意义。本文介绍了 GB/T 36261-2018 的主要内容，并给出了标准中关键技术的可行性分析与关键参数的确定方法。旨在通过对该标准的解读与推广，推动建筑用节能玻璃的现场测量技术的发展与应用。

**Abstract:** GB/T 36261-2018, provide theoretical and technological support for on-site test specification of energy saving glass for building, is of great significance for construction material industry. The main works of this paper are to introduce the main contents, demonstrate the feasibility of key techniques and discuss the selection of the key parameters of GB/T 36261-2018. The aim of the present paper is to promote the development and application of on-site test specification of energy saving glass for building by the interpretation and promotion of GB/T 36261-2018.

**关键词：**节能玻璃，光热参数，直接测量

**Keywords:** energy saving glass, optical and thermal parameters, direct-measuring

## 1 引言

目前，建筑节能已经成为全世界的共识，建筑门窗、幕墙作为围护结构节能的薄弱环节，成为建筑节能中最受关注的重点。用于建筑上的节能玻璃主要有中空玻璃、Low-E 中空玻璃、真空及复合中空玻璃等产品，如何准确测量其光热性能，评价其节能效果，对于生产和使用方均十分重要<sup>[1,2]</sup>。国际上的 ISO 9050 标准、国内建筑行业的 GB/T 2680 与 JGJ/T 151 等光热参数计算标准中的计算方法，需要将中空玻璃拆成单片，分片检测，再按照理论公式计算，获得合成中空后整体玻璃的节能特性<sup>[3-5]</sup>。整个操作过程较为复杂，需要多次测量数据，效率不高。特别重要的一点是测量时须将原有的玻璃结构破坏，不能直接对已安装在建筑上的各类节能玻璃进行检测，因此无法确认已安装玻璃的实际光热性能与设计值的一致性。

《GB/T 36261-2018 建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》建立了一套适用于在工程现场或既有建筑上对于即将或已经安装的玻璃产品的光学及热工参数的检测技术规范，使其更适合行业采纳和应用。为使该标准能更好的服务于建筑玻璃行业，有必要对该标准中的关键性内容进行解读。

## 2 标准的主要内容和适用范围

GB/T 36261-2018 是在 GB/T 2680 与 JGJ/T 151 的基础上，结合行业内建筑玻璃产品及相关检测仪器的发展现状，充分考虑了建筑玻璃现场光热参数测量的特殊性后编制的科学、易用的标准。

标准给出了光热参数、光热计算用基础参数的定义及符号，以方便使用方更好的理解标准并规范专业用语；根据光热参数在计算过程中所需的基础参数及采用的标准，给出了测试原理；创新的提出了整体直接测量法（无损测量法），并根据整体直接测量法适用情况的不同，将光热参数的测试分为两类，以方便标准的使用；对光热计算用基础参数的测量做出规定，并给出了光热参数的计算公式；对于不能通过整体直接测量法获得热工参数的玻璃，用附录 A 中的方法对替代样品与被测

样品进行一致性验证并通过后，热工参数可通过测量替代样品获得。

该标准适用于已安装和待安装的建筑用节能玻璃光学及热工参数的现场测试。

### 3 测试原理与测试方法

标准对可见光透/反射比、太阳光直接透/反射比、太阳能总透射比、太阳能红外热能总透射比及传热系数的测试原理及测量方法进行了规定。

#### 3.1 测试原理

被测玻璃的光热参数可将测量获得的基础参数按照 GB/T 2680 和 JCJ/T 151 计算获得<sup>[4,5]</sup>，玻璃光热参数计算及采用标准如图 1 所示。

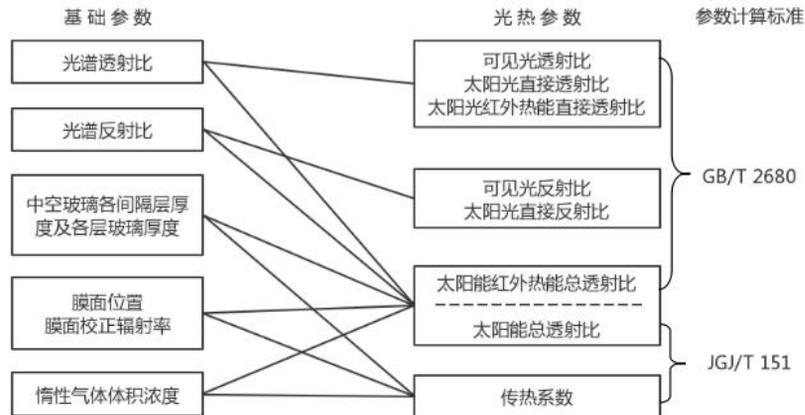


图 1 光热参数计算及采用标准示意图

玻璃整体可见光透/反射比计算过程中所用  $D_{\lambda}V(\lambda)\Delta\lambda$  的值见附录 B，玻璃整体太阳光直接透/反射比、太阳光红外热能直接透射比计算过程中所用的  $S_{\lambda}\Delta\lambda$  的值见附录 C。建筑玻璃光热参数的计算公式及要求这里不再赘述，读者请自行查阅标准中的相关条款。

#### 3.2 测量方法

传统的中空玻璃整体光谱透射比、反射比的实验室测试方法为分片测量法，该方法需要将中空玻璃拆成单片，分片检测，再按照理论公式计算，获得合成中空后整体玻璃的节能特性，测试过程繁琐且不能对已经安装的玻璃成品进行无损检测。所以 GB/T 36261-2018 创新的提出了整体直接测量法（无损测量法），该方法可直接测量获得中空玻璃整体的光热参数，不需要繁琐的分片测量与计算，提高了效率，不需要将原有的玻璃结构进行拆解，可直接对工程现场已安装或未安装的中空玻璃进行测量，满足了现场测试的各种要求。

##### 3.2.1 整体直接测量法及可行性分析

为了验证该方法的可行性，必须将整体直接测量法与传统的分片测量法所得测量数据进行对比分析。目前主流建筑节能玻璃的组成结构为 6Low-e (2#)+12Air+6Clear，以此结构为例做计算分析。分别采用整体直接测量法和传统分片测量法测量中空玻璃整体光谱透射比、反射比，计算所得透反射数据对比如表 1、图 2 所示。

表 1 分别采用整体直接测量法和传统分片测量法获得的光谱透/反射比数据

	T (%)	R (%)
传统分片测量计算值	28.88	16.83
直接整体实测值	28.79	16.90
差值	0.09	-0.07

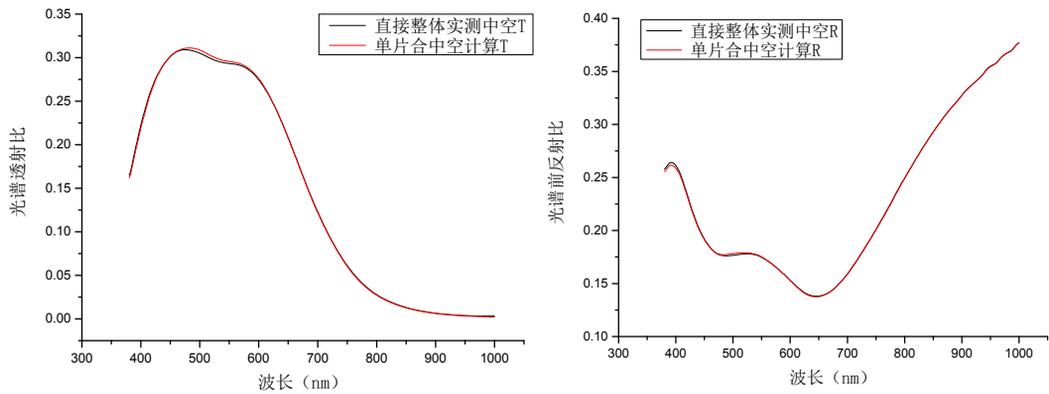


图2 分别采用整体直接测量法和传统分片测量法获得的光谱透/反射比数据对比

结果显示，整体直接测量中空玻璃所得透射比、反射比与分片测量计算所得透射比、反射比差值较小，在 0.1%以内，远小于产品允许最大差值。所以整体直接测量法可代替传统分片测量计算法测量中空玻璃整体透射比、反射比。

### 3.2.2 测试分类

根据整体直接测量法适用情况的不同，本标准将光热参数的测试分为两类。第一类是现场能采用整体直接测量法直接测试全部光热参数的建筑玻璃测试；第二类是现场只能采用整体直接测量法直接测试光学参数，不能直接测试热工参数的建筑玻璃测试，对于这类测试中热工参数的测量方法会在本文的第 5 章给出。具体现场测试适用的常见建筑玻璃类型见表 2。

表 2 现场测试适用的常见建筑玻璃类型

玻璃产品类型		光热参数							测试分类	
		可见光透射比 $\tau_v$	可见光反射比 $\rho_v$	太阳光直接透射比 $\tau_e$	太阳光直接反射比 $\rho_e$	太阳光红外热能直接透射比 $\tau_{IR}$	太阳能总透射比 $g$	传热系数 $K$		太阳能红外热能总透射比 $g_{IR}$
单片玻璃		√	√	√	√	√	√	√	√	一类
夹层玻璃		√	√	√	√	√	√	√	√	一类
未镀膜中空玻璃		√	√	√	√	√	√	√	√	一类
镀膜单腔中空玻璃	两面及以下镀膜	√	√	√	√	√	√	√	√	一类
	两面以上镀膜	√	√	√	√	√	×	×	×	二类
镀膜多腔中空玻璃	两面及以下镀膜	√	√	√	√	√	√	√	√	一类
	两面以上镀膜	√	√	√	√	√	×	×	×	二类
真空玻璃		√	√	√	√	√	×	×	×	二类
注1：√——代表适用；×——代表不适用。										
注2：光学参数测试不适用于表面为散射特性的玻璃，如压花玻璃、磨砂玻璃、彩釉玻璃等。										

## 4 关于光热计算用基础参数的规定

建筑玻璃的光热参数测试，需先测试各层玻璃及间隔层厚度、膜层位置、校正辐射率、光谱透射比、光谱反射比、中空腔惰性气体体积浓度等基础参数。标准中的第6章对光热计算用基础参数的测试条件、测试方法、仪器最大允许误差有着详细的规定。这些基础参数的规定和确定需要说明一下。

### 4.1 关于玻璃及间隔层厚度的规定

该标准规定：用于测量玻璃组成结构的仪器应能现场整体测量各片玻璃及间隔层厚度，仪器的最大允许误差应不大于0.2mm。

玻璃厚度是玻璃的重要指标，对光热参数的影响很大，GB11614、GB15763.1、GB15763.2等很多标准都对玻璃厚度的允许偏差作出了规定<sup>[6-8]</sup>。本标准在既有标准的基础上，充分考虑了现场测量仪器的特点及现阶段行业的仪器测量水平，规定仪器的最大允许误差应不大于0.2mm。

### 4.2 关于光谱透/反射比测量的规定

#### 4.2.1 光谱透/反射比波长范围的确定

不同于实验室仪器相对稳定的测试环境，现场测试仪器要应对各种复杂的环境，并且为了提高便携性会尽可能减小仪器体积。如果可以在对测试结果影响极小的情况下，适当减少可测波段范围，则可以减少仪器体积，并提高现场测试仪器的便携性与稳定性。所以标准中对波长范围的规定为：300nm~2500nm，至少应包含380nm~2500nm。

相对于300nm~2500nm波段范围，使用380nm~2500nm波段范围计算时，对光谱透/反射比产生的影响很有必要讨论一下。分别用300nm~2500nm与380nm~2500nm的波段范围的光谱数据来计算不同类型玻璃的太阳光直接透/反射比，验证数据如下：

对于各种未镀膜玻璃，380~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接透射比相对300~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接透射比偏差值的区间为[0.69%，0.10%]，偏差平均值0.46%。380~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接反射比相对300~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接反射比偏差值区间为[0.02%，-0.02%]，偏差平均值0.005%。如图3所示。

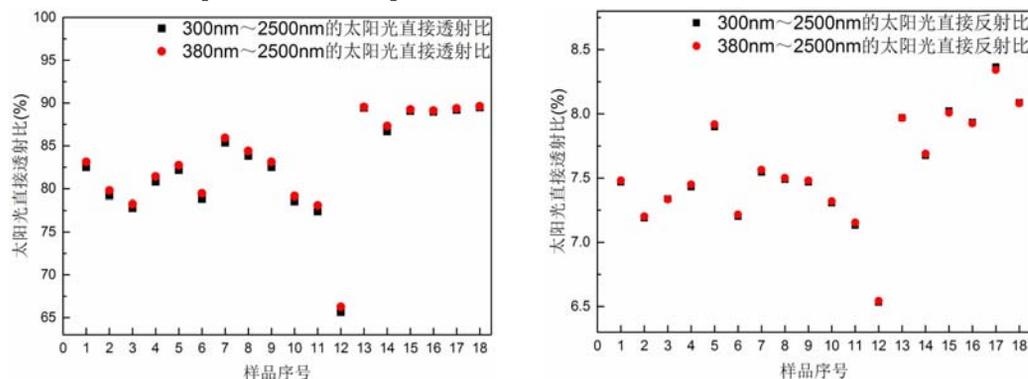


图3 各种未镀膜玻璃300~2500nm与380~2500nm波段范围计算的太阳光直接透/反射比对比

对于各种镀膜玻璃，380~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接透射比相对300~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接透射比偏差值区间为[0.74%，-0.29%]，偏差平均值0.39%。380~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接透射比相对300~2500nm波段范围计算获得的太阳光直接反射比偏差值区间为[1.22%，-0.04%]，偏差平均值0.37%。如图4所示。

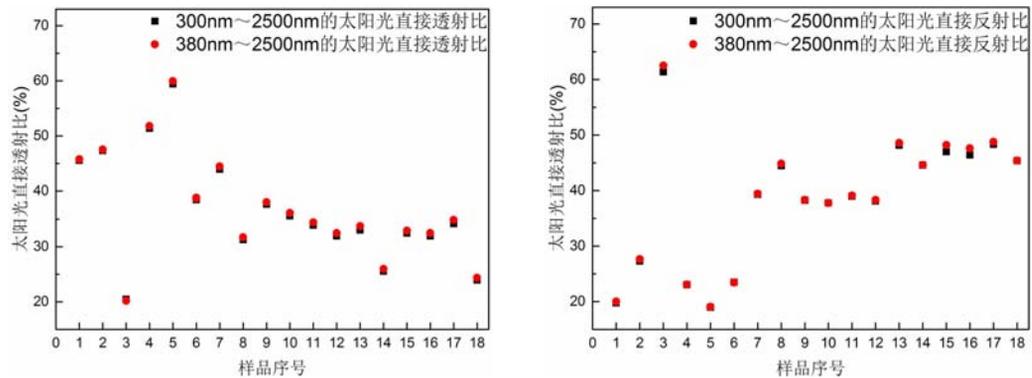


图4 各种镀膜玻璃 300~2500nm 与 380~2500nm 波段范围计算的太阳光直接透/反射比对比

综合以上各种镀膜玻璃和未镀膜玻璃太阳光直接透反射比计算结果可见, 300nm~380nm 波段光谱数据对计算结果产生的偏差较小, 在 1.22%以内, 小于镀膜玻璃产品允许最大差值的 1/2。所以 380nm~2500nm 波段光谱数据可作为太阳光直接透射比和反射比的计算波段, 即: 光谱条件中的波长范围为 300nm~2500nm, 至少应包含 380nm~2500nm。

#### 4.2.2 对测试几何条件的规定

光谱透/反射比采用光谱分光光度法进行测量。本标准规定: 选用 8°: 8°的几何条件, 照明光束的光轴与试样表面法线的夹角不超过 10°, 照明光束中任一光线与光轴的夹角不超过 5°。此规定参考了国家标准 GB/T 2680 中对光谱透/反射比的照明和观测几何条件的规定<sup>[4]</sup>。

测量透射比时, 测量仪器应能接收到中空玻璃各面经多次反射而出射的透射光, 测量反射比时, 测量仪器应能接收到中空玻璃各面经多次反射而出射的反射光。入射光束投射到中空玻璃试样后, 在其入射表面发生单次反射, 在玻璃系统内部发生无穷多次反射, 光束经过多次反射后出射, 被接收端探测器模块收集。根据测试精度要求的不同, 可以有选择的控制接收光束条件, 接收到的光束经历反射次数越多, 测试获得数据越接近理想情况。

#### 4.2.3 对仪器最大允许误差的规定

该标准规定: 测量可见光透射比和太阳光直接透射比的最大允许误差不应大于 0.01; 测量可见光反射比和太阳光直接反射比的最大允许误差不应大于 0.02。

最新版的 GB/T 2680 即将发布, 其中规定了仪器测量透/反射比的准确度应在 1%内。但 GB/T 2680 更多的是用于实验室仪器, 本标准在 GB/T 2680 的基础上, 充分考虑了现场测量仪器的特点及现阶段行业的发展, 规定测量可见光透射比和太阳光直接透射比的最大允许误差不应大于 0.01; 测量可见光反射比和太阳光直接反射比的最大允许误差不应大于 0.02。

#### 4.3 仪器测量辐射率的最大允许误差的确定

中空玻璃膜面辐射率采用无损测量法测量, 辐射率为膜面校正辐射率。测量位置距玻璃试样边部应大于 100mm。经数据的统计分析后, 确定仪器测量最大允许误差不应大于 0.02, 分析过程如下:

选择 6Low-e (2#) +12Air+6Clear 的玻璃结构做计算统计分析。由辐射率测量偏差导致计算传热系数 K 值的偏差统计结果如下:

根据 JCJ/T 151 中的公式, 通过辐射率计算得到的传热系数 K 值如图 5 所示。

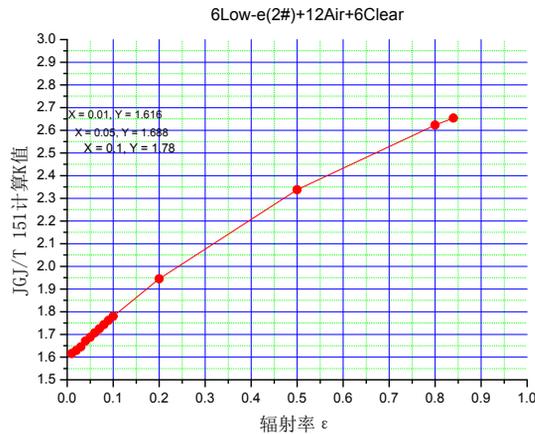


图5 通过辐射率计算得到的传热系数K值

辐射率 $\epsilon$ 在 0.01~0.1 范围内， $\epsilon$ 值偏差在 0.02 以内时，计算所得 K 值偏差在 0.039 以内；辐射率 $\epsilon$ 在 0.11~0.2 范围内， $\epsilon$ 值偏差在 0.02 以内时，计算所得 K 值偏差在 0.034 以内；辐射率 $\epsilon$ 在 0.11~0.2 范围内， $\epsilon$ 值偏差在 0.03 以内时，计算所得 K 值偏差在 0.051 以内。

综合以上统计结果可见，辐射率仪器测量的最大允许误差不应大于 0.020。

#### 4.4 关于中空腔惰性气体体积浓度测量的规定

该标准规定中空腔惰性气体体积浓度采用无损测量法测量，仪器的最大允许误差不应大于 3.5%。并对中空腔惰性气体体积浓度的测量方法进行了规定。

中空腔惰性气体体积浓度无损测量法原理为：利用高压放电，使高压火花导致中空玻璃内惰性气体被击穿，释放出的光线进入设备的光谱仪中，光谱仪对光线进行测量并通过微处理器对测量信息进行分析，从而得出惰性气体含量。目前，行业内多采用激光气体分析仪来无损测量中空玻璃内惰性气体含量，这类型的仪器无需破坏中空玻璃结构，也无需在间隔层内搁置附件，可穿透镀膜和夹胶片，可应用于实验室测量，也可以集成到客户既有的中空玻璃生产线上，实现在线测量。

《JG/T 454-2014 建筑门窗、幕墙中空玻璃性能现场检测方法》规定<sup>[9]</sup>：中空玻璃中间层惰性气体含量大于 80%时，测量精度应不大于 2%（体积分数）；中空玻璃中间层气体含量介于 50%~80%时，测量精度应不大于 5%（体积分数）。GB/T 36261-2018 在既有标准的基础上，充分考虑了现阶段行业的发展水平，确定仪器的最大允许误差不应大于 3.5%。

中空腔惰性气体体积浓度的测量方法参考《JCJ/T 324 建筑幕墙工程检测方法标准》中的相关方法以及现阶段行业内玻璃产品与测量仪器的实际情况进行确定<sup>[10]</sup>。

## 5 第二类测试中热工参数的测试方法及可行性分析

对于适用于第二类测试的建筑玻璃，光学参数（可见光透射比、可见光反射比、太阳光直接透射比、太阳光直接反射比及太阳光红外热能直接透射比）可采用无损测试法进行现场直接测试，而热工参数（太阳能总透射比、传热系数及太阳能红外热能总透射比）却无法通过测量获得。为了解决第二类测试中热工参数的测量问题，该标准在附录 A 中提出了一种方法：将实际被测中空玻璃样品和替代样品的各片玻璃用间隔条组成的相同结构试样放入仪器中，进行太阳光波段范围内中空玻璃整体的光谱透射比及光谱反射比测量，如果测得两种样品的光谱特性一致（两种样品的被测参数差值 $<0.03$ ），则可认为替代试样与被测中空玻璃的其他特性也一致，即通过了一致性验证，这时可用小块替代样品代替被测玻璃制品进行实验室分片测试获得被测玻璃制品的热工参数。

有必要对附录 A 中的一致性验证方法进行可行性分析，选用典型的 6Low-e (2#)+12Air+6Clear 玻璃结构做计算分析，选用北京奥博泰科技有限公司的 GlasSmart1000 便携式节能玻璃现场综合测试系统对玻璃的光热参数进行测量，仪器外观与操作界面如图 6 所示。



图 6 GlasSmart1000 便携式节能玻璃现场综合测试系统的外观与操作界面

### 5.1 同等材料的小块样品与玻璃制成品的一致性验证

选用单银大中空玻璃作为被验证样品，选用同等材料单片小块单银玻璃和单片小块白玻作为小块替代样品，将小块单银与小块白玻组合为对应大中空玻璃相同配置的模拟中空玻璃，按照“附录 A 小块样品与玻璃制成品的一致性验证方法”与大中空玻璃进行一致性验证测试及判定。

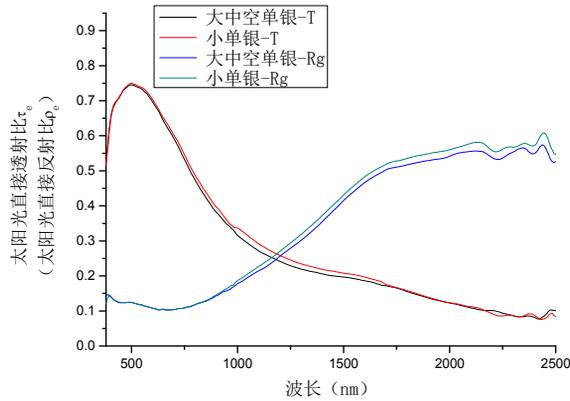


图 7 单银大中空与同等材料的单银小块模拟中空玻璃的太阳光直接透/反射比数据对比

表 3 单银大中空与同等材料的单银小块模拟中空玻璃的太阳光直接透/反射比数据

	单银大中空玻璃制成品	小块单银模拟中空	差值绝对值
太阳光直接透射比 $\tau_e$	0.504	0.514	0.01
太阳光直接反射比 $\rho_e$	0.178	0.182	0.004
可见光透射比 $\tau_v$	0.722	0.734	0.012
可见光反射比 $\rho_v$	0.114	0.112	0.002

测试数据如图 7、表 3。太阳光直接透射比差值的绝对值 $\Delta\tau_e=0.001<0.03$ ；太阳光直接反射比差值的绝对值 $\Delta\rho_e=0.004<0.03$ ；10 点比对波长对应透射光谱数据差值绝对值的平均值 $\overline{\Delta\tau}=0.0119<0.03$ ；10 点比对波长对应反射光谱数据差值绝对值的平均值 $\overline{\Delta\rho}=0.0062<0.03$ 。同时满足了四个判定条件，可以认定所提供小块替代测量样品与被测中空玻璃制成品的热工参数具有一致性。

### 5.2 不同材料的小块样品与玻璃制成品的不一致性验证

选用单银大中空玻璃作为被验证样品，选用不同材料的单片小块双银玻璃和单片小块白玻作为小块替代样品小块双银玻璃与小块白玻组合为对应大中空玻璃相同配置的模拟中空玻璃，按照“附录 A 小块样品与玻璃制成品的一致性验证方法”与大中空玻璃进行不一致性验证测试及判定。

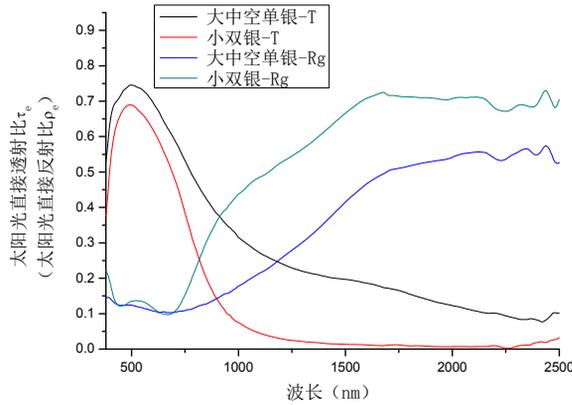


图 8 单银大中空与双银小块模拟中空玻璃的太阳光直接透/反射比数据对比

表 4 单银大中空与双银小块模拟中空玻璃的太阳光直接透/反射比数据

	单银大中空玻璃制成品	小块双银模拟中空	差值绝对值
太阳光直接透射比 $\tau_e$	0.504	0.367	0.138
太阳光直接反射比 $\rho_e$	0.178	0.282	0.104
可见光透射比 $\tau_v$	0.722	0.651	0.071
可见光反射比 $\rho_v$	0.114	0.123	0.009

测试数据如图 8、表 4。太阳光直接透射比差值的绝对值 $\Delta\tau_e=0.138>0.03$ ；太阳光直接反射比差值的绝对值 $\Delta\rho_e=0.104>0.03$ ；10 点比对波长对应透射光谱数据差值绝对值的平均值 $\overline{\Delta\tau}=0.162>0.03$ ；10 点比对波长对应反射光谱数据差值绝对值的平均值 $\overline{\Delta\rho}=0.142>0.03$ 。不能同时满足四个判定条件，所以可以认定所提供小块替代测量样品与被测中空玻璃制成品的热工参数不具有一致性。值得注意的是，二者的可见光反射比很接近，即通过人眼是无法分辨二者材料的差异，但是却可以通过该标准附录 A 中的方法准确判断出二者材料的差异。

综合以上验证数据，可见该标准附录 A 中所提供的一致性验证方法可以对小块替代样品与被测中空玻璃制成品进行准确的一致性判定，从而解决了第二类测试中不能现场检测热工参数的难题，防止送检样品与被测中空玻璃制成品不一致的现象。

## 6 其他说明

### 6.1 被测玻璃表面特性

由于本标准规定的测量几何条件只适用于镜面样品的测量，所以本标准关于光学参数测量的规定不适用于表面为散射特性的玻璃，如压花玻璃、磨砂玻璃、彩釉玻璃等。

### 6.2 紫外光相关参数的缺失

考虑到现场测量仪器对便携性、稳定性和综合测试成本的要求，以及玻璃行业对现场光热参数

测试精度水平的要求，并经过分析不同波长波段对最终结果的影响，本标准规定仪器的可测波段为至少包含 380nm~2500nm，所以本标准中未对紫外光相关参数作出规定。

## 7 总结

建筑用节能玻璃的光学及热工的参数的现场测量具有重要的意义，GB/T36261-2018 的发布为建筑用节能玻璃的现场测量提供了必要的理论与技术指导。本文介绍了 GB/T36261-2018 的主要内容，分析了标准中整体直接测量法（无损测量法）、小块样品与玻璃制成品的一致性验证方法的可行性，并给出了仪器测量各参数的最大允许误差、可测波段、测量几何条件等关键参数的确定方法及原因。有助于本标准的推广与宣贯，对建筑玻璃行业的健康发展有重要意义。

## 参考文献

- [1] 万成龙, 潘 振, 王洪涛, 等. 建筑门窗玻璃幕墙传热系数现场测试研究[J]. 建筑节能, 2017, 45(322): 64-69.
- [2] 王伶. 新型节能中空玻璃节能参数的检测与计算[J]. 玻璃, 2017, 8: 7-13.
- [3] ISO 9050-2003. Glass in building—Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors[S].
- [4] GB/T 2680-1994. 建筑玻璃可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比及有关窗玻璃参数的测定[S].
- [5] JGJ/T 151. 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程[S].
- [6] GB 11614-2009. 平板玻璃[S].
- [7] GB 15763.1-2009. 建筑用安全玻璃 防火玻璃[S].
- [8] GB 15763.2-2005. 建筑用钢化玻璃 第2部分: 钢化玻璃[S].
- [9] JG/T 455-2014. 建筑门窗幕墙用钢化玻璃[S].
- [10] JCJ/T 324. 建筑幕墙工程检测方法标准[S].

# 新版《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》与老标准的异同 (门窗热工参数部分)

作者：许海凤      【建筑光学】公众号 2019. 2. 15 发布

2018年8月23日，住房和城乡建设部发布了关于行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》公开征求意见的通知，并公开了征求意见稿。



2019年1月7日，住房和城乡建设部发布了“关于发布行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》的公告”。《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ26-2018）自2019年8月1日起实施。原标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ26-2010）同时废止。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》的公告

日期：2019年01月07日

【文字大小：大 中 小】【打印】【关闭】

中华人民共和国住房和城乡建设部

公告

2018第327号

住房和城乡建设部关于发布行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》的公告

现批准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》为行业标准，编号为JGJ26-2018，自2019年8月1日起实施。第4.1.3、4.1.4、4.1.5、4.1.14、4.2.1、4.2.2、4.2.6、5.1.1、5.1.4、5.1.8、5.1.9、5.2.1、5.2.4、5.2.8、5.4.3、6.2.3、6.2.5、6.2.6、7.3.2条为强制性条文，必须严格执行。原《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ26-2010）同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018年12月18日

本文仔细对比了一下老标准与新标准中对门窗热工参数的要求，进行了归纳整理。特别提出，由于新标准尚未出版发行，以下数据来自于新标准的征集意见稿，本文仅供参考，实际参数要求请以最终发布稿为准。

首先，我们先来看看严寒和寒冷地区，到底指哪里呢？请看下图（本图摘自 GB 50176-2016 民用建筑热工设计规范附录 A 图 A.0.3）：

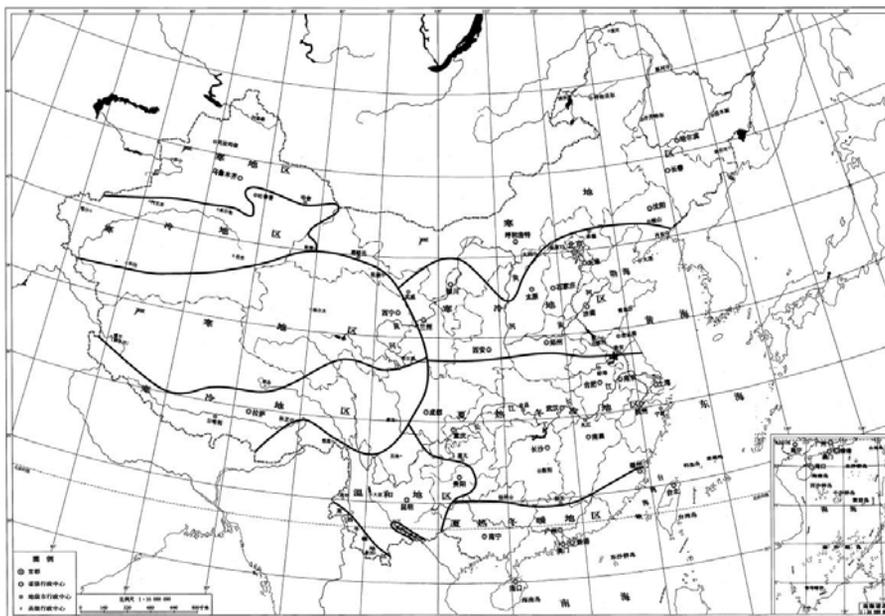


图 A.0.3 全国建筑热工设计一级区划 审图号：GS (2017) 690 号

接下来，再来看看新老标准对门窗热工参数 K 值和遮阳系数 SC 的要求到底有哪些不同吧。

## 1 对门窗传热系数 K 值的要求

严寒 A 区 (1A) 外窗传热系数 K 限值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]						
新标准			老标准			
窗墙比	≤3 层	≥4 层	窗墙比	≤3 层	4-8 层	≥9 层
窗墙面积比≤30%	1.4	1.6	窗墙面积比≤0.2	2.0	2.5	2.5
			0.2<窗墙面积比≤0.3	1.8	2.0	2.2
30%<窗墙面积比≤45%	1.4	1.6	0.3<窗墙面积比≤0.4	1.6	1.8	2.0
			0.4<窗墙面积比≤0.45	1.5	1.6	1.8

严寒 B 区 (1B) 外窗传热系数 K 限值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]						
新标准			老标准			
窗墙比	≤3 层	≥4 层	窗墙比	≤3 层	4-8 层	≥9 层
窗墙面积比≤30%	1.4	1.8	窗墙面积比≤0.2	2.0	2.5	2.5
			0.2<窗墙面积比≤0.3	1.8	2.2	2.2
30%<窗墙面积比≤45%	1.4	1.6	0.3<窗墙面积比≤0.4	1.6	1.9	2.0
			0.4<窗墙面积比≤0.45	1.5	1.7	1.8

严寒 C 区 (1C) 外窗传热系数 K 限值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]						
新标准			老标准			
窗墙比	≤3 层	≥4 层	窗墙比	≤3 层	4-8 层	≥9 层
窗墙面积比≤30%	1.6	2.0	窗墙面积比≤0.2	2.0	2.5	2.5
			0.2<窗墙面积比≤0.3	1.8	2.2	2.2
30%<窗墙面积比≤45%	1.4	1.8	0.3<窗墙面积比≤0.4	1.6	2.0	2.0
			0.4<窗墙面积比≤0.45	1.5	1.8	1.8

寒冷 A 区 (2A) 外窗传热系数 K 限值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]						
新标准			老标准			
窗墙比	≤3 层	≥4 层	窗墙比	≤3 层	4-8 层	≥9 层
窗墙面积比≤30%	1.8	2.2	窗墙面积比≤0.2	2.8	3.1	3.1
			0.2<窗墙面积比≤0.3	2.5	2.8	2.8
30%<窗墙面积比≤50%	1.5	2.0	0.3<窗墙面积比≤0.4	2.0	2.5	2.5
			0.4<窗墙面积比≤0.5	1.8	2.0	2.3

寒冷 B 区 (2B) 外窗传热系数 K 限值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]						
新标准			老标准			
窗墙比	≤3 层	≥4 层	窗墙比	≤3 层	4-8 层	≥9 层
窗墙面积比≤30%	1.8	2.2	窗墙面积比≤0.2	2.8	3.1	3.1
			0.2<窗墙面积比≤0.3	2.5	2.8	2.8
30%<窗墙面积比≤50%	1.5	2.0	0.3<窗墙面积比≤0.4	2.0	2.5	2.5
			0.4<窗墙面积比≤0.5	1.8	2.0	2.3

综合分析, 与老标准相比, 各个气候区外窗的传热系数 K 值限值均有下降的趋势, 最低达到了 1.4。结合我国目前的技术现状, 整窗传热系数预达到 1.4, 节能玻璃应谨慎选择, 普通的双玻中空玻璃已经无法满足要求, 建议选择三玻两腔中空玻璃或者真空复合中空玻璃等性能更好的产品, 典型玻璃配置如下表 (表格中数据为 WINDOW7.3 和 GlasSmart1000 3.3 计算所得, 边界条件依据中国标准 JGJ/T 151; 符号说明: A-空气, Ar-氩气, V-真空。)

三玻两腔单 Low-E 中空玻璃传热系数 K			
玻璃结构	Low-E 类型	Low-E 辐射率ε	传热系数 K
三玻两腔单 Low-E 中空 (氩气)	在线	0.18	1.34
6Low-E (2#) +9Ar+6+9Ar+6	单银	0.103	1.25
三玻两腔单 Low-E 中空 (氩气)	在线	0.18	1.31

6Low-E (2#) +9Ar+6+12Ar+6	单银	0.103	1.23
三玻两腔单 Low-E 中空 (氩气) 6Low-E (2#) +12Ar+6+12Ar+6	在线	0.18	1.22
	单银	0.13	1.17
		0.103	1.14
		0.072	1.10
三玻两腔单 Low-E 中空 (氩气)	在线	0.18	1.22
6Low-E (2#) +16Ar+6+16Ar+6	单银	0.103	1.14

三玻两腔双 Low-E 中空玻璃传热系数 K			
玻璃结构	Low-E 类型	Low-E 辐射率 $\epsilon$	传热系数 K
三玻两腔双 Low-E 中空 (氩气) 6Low-E (2#) +9Ar+6+9Ar+6Low-E(5#)	在线+在线	0.18, 0.18	1.07
	单银+单银	0.103, 0.103	0.97
		0.072, 0.072	0.92
三玻两腔双 Low-E 中空 (氩气) 6Low-E (2#) +9Ar+6+12Ar+6Low-E(5#)	在线+在线	0.18, 0.18	1.0
	单银+单银	0.103, 0.103	0.89
		0.072, 0.072	0.84
三玻两腔双 Low-E 中空 (氩气) 6Low-E (2#) +12Ar+6+12Ar+6Low-E(5#)	在线+在线	0.18, 0.18	0.94
	单银+单银	0.103, 0.103	0.83
		0.072, 0.072	0.78
三玻两腔双 Low-E 中空 (氩气) 6Low-E (2#) +16Ar+6+16Ar+6Low-E(5#)	在线+在线	0.18, 0.18	0.92
	单银+单银	0.103, 0.103	0.81
		0.072, 0.072	0.76

真空复合中空玻璃传热系数 K			
玻璃结构	Low-E 类型	Low-E 辐射率 $\epsilon$	传热系数 K
真空复合中空单 Low-E 6+12A+6Low-E (4#) +V+6	在线	0.18	0.83
	单银	0.13	0.72
		0.103	0.65
		0.072	0.56
真空复合中空双 Low-E 6Low-E (2#) +12A +6Low-E (4#) +V+6	在线+在线	0.18, 0.18	0.733
	单银+单银	0.103, 0.103	0.577
真空复合中空单 Low-E 6+12Ar+6Low-E (4#) +V+6	在线	0.18	0.81
	单银	0.103	0.64
真空复合中空单 Low-E 6+16Ar+6Low-E (4#) +V+6	在线	0.18	0.80
	单银	0.103	0.64

## 2 遮阳系数 SC 的要求

新标准和老标准对遮阳系数 SC 的限值如下表：

寒冷 B 区 (2B) 外窗夏季综合遮阳系数限值 (新标准)		
外窗的窗墙面积比	综合遮阳系数 SC (东、西向)	综合遮阳系数 SC (水平向)
20% < 窗墙面积比 ≤ 30%	—	0.40
30% < 窗墙面积比 ≤ 40%	0.45	—
40% < 窗墙面积比 ≤ 50%	0.35	—

寒冷 B 区 (2B) 外窗综合遮阳系数限值 (老标准)			
围护结构部位	遮阳系数 SC (东、西向/南、北向)		
	≤ 3 层	4-8 层	≥ 9 层
窗墙面积比 ≤ 20%	—	—	—
20% < 窗墙面积比 ≤ 30%	—	—	—
30% < 窗墙面积比 ≤ 40%	0.45/—	0.45/—	0.45/—

---

40%<窗墙面积比≤50%	0.35/—	0.35/—	0.35/—
---------------	--------	--------	--------

经对比，新老标准均对寒冷 B 区的遮阳系数提出了要求，但要求变化不大。

该标准的发布和实施，意味着我国对建筑节能的重视，从标准的层面引导绿色建筑的推广和普及。

窗户为整个建筑中热量流失的窗口，尤其在严寒和寒冷地区，冬季室内外温差较大，高性能窗户能够更好的阻止热量从室内流向室外。希望随着该标准的发布和实施，能够推动建筑用高性能门窗和节能玻璃在严寒和寒冷地区的大规模推广应用。

# 建筑节能 80%，门窗人你准备好了吗？

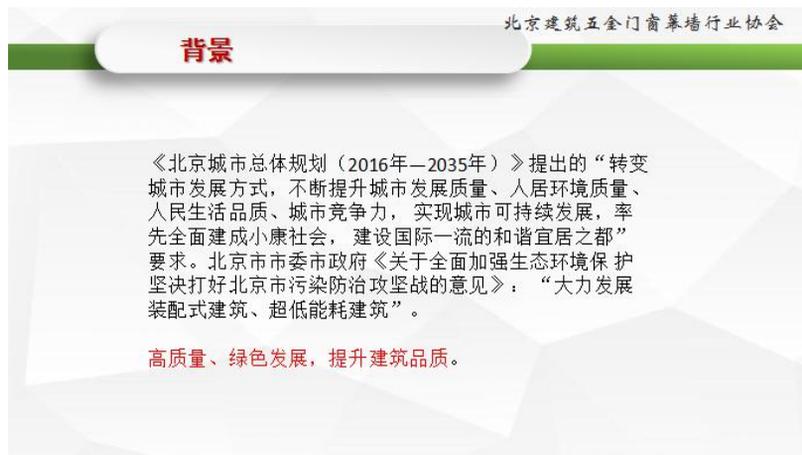
作者：权燕玲

【建筑光学】公众号 2019.8.7 发布

编者按：

随着建筑节能指标不断提升，对建筑外窗的要求也越来越高。在建筑节能方面，北京市作为全国的典范，始终走在前列。“十三五”《规划》中明确指出：“十三五”期间，需要修订北京市《居住建筑节能设计标准》，率先发布我国第五步居住建筑节能设计标准。

本期我们有幸请到了北京建筑五金门窗幕墙行业协会执行秘书长权燕玲女士，为大家讲解节能门窗技术的发展，并围绕北京市地方标准《居住建筑节能设计标准》和《居住建筑门窗工程技术规范》，介绍标准编制的启动等背景，以及节能 80%对门窗性能有哪些新的要求。



背景

关于2017年北京市地方标准拟立项项目的公示

近期我局组织了2017年北京市地方标准立项申报与审查工作。在公开征集项目建议、行业主管部门申报立项的基础上，落实《国务院深化标准化工作改革方案》、《首都标准化战略纲要》、《北京市人民政府关于加强城市管理与服务标准化建设的意见》和《北京市“十三五”时期标准化和计量发展规划》，根据首都经济社会发展的需求，围绕当前全市工作中重点需要解决的问题，对今年申报的235个项目进行了标准查新和立项初审，分领域组织了专家论证会，并召开了27个行业主管部门参加的立项协调会，提出了2017年北京市地方标准拟立项项目（见附件1）。现就上述结果征求意见。请将意见或建议填入《意见反馈表》（见附件2）中，于1月15日前将书面意见反馈至我局，同时将电子版发送至电子邮箱，逾期未反馈书面意见的，视为无意见。

- 附件：1.2017年北京市地方标准拟立项项目汇总表
2.意见反馈表

北京市质量技术监督局
2017年1月9日

背景

Table with columns A-H containing project details for 2017 Beijing local standards. Row 29 is highlighted in yellow.

背景

Web page for 2019 Beijing local standards announcement. Includes navigation bar, location, date (2019-01-22 13:52), and contact info (bzh@bjtsb.gov.cn).

背景

Table with columns A-O containing project details for 2019 Beijing local standards. Row 123 is highlighted in red.

正在修编的标准 节能率80%以上

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

- DB11/991 《居住建筑节能设计标准》
- DB11/1028 《居住建筑门窗工程技术规范》

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

02  
Part Two

门窗节能技术发展

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

**国内现状--75%建筑节能**

地区	整窗传热系数 (K值)
北京、天津、山东、河北地区	K值 ≤ 2.0、1.8、1.5
东北地区	K值 ≤ 2.0、1.8、1.5
上海地区	K值 ≤ 2.2、2.0、1.8
江苏、浙江省	K值 ≤ 2.4、2.0

目前，除北京外，山东、河北、天津等于2015年陆续出台75%的居住建筑节能设计标准。行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ26修编后其节能率将达到75%。

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

**被动窗发展**

住房和城乡建设部-科技发展中心

北京康居认证中心

2018年共发布六批  
22家64款产品

- 米兰之窗
- 和平
- 威卢克斯
- 嘉寓幕墙
- 西飞世纪
- 金诺迪迈
- 东邦绿建
- 康博达
- 住总门窗
- 森鹰窗业
- 兴安幕墙

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

**被动窗发展**

年份	被动窗产品款数	生产加工能力(万平方米)
2012	2	10.2
2013	2	14.5
2014	6	28.8
2015	16	121
2016统计	21	132.1

至2016年底，已建和在建被动窗项目全国有100多个，涵盖21个省市，其中公共建筑66项、居住建筑32项、工业建筑2项；严寒地区13项、寒冷地区62项、夏热冬冷地区14项、夏热冬暖地区11项；北京地区2项、河北和天津地区有8项。

MHAPWS135系列 北京建筑五金门窗幕墙行业协会



**Certificate**  
 Energy Performance Certificate  
 Product Name: MHAPWS135 Series Passive Window  
 Manufacturer: MHLUX  
 The following window units are covered by this certificate:  
 1. MHLUX MHAPWS135 Series Passive Window  
 The certificate is valid for the following window units:  
 1. MHLUX MHAPWS135 Series Passive Window  
 Thermal data:  

U-value	g-value	Light Transmittance
1.1	0.76	0.71

 MHLUX  
 www.mhlux.com

北京建工茵90系列玻璃钢被动窗 北京建筑五金门窗幕墙行业协会



**CERTIFICATE**  
 Energy Performance Certificate  
 Product Name: Beijing JGJ Y90 Series Fiberglass Passive Window  
 Manufacturer: Beijing JGJ Y90 Series Fiberglass Passive Window  
 The following window units are covered by this certificate:  
 1. Beijing JGJ Y90 Series Fiberglass Passive Window  
 Thermal data:  

U-value	g-value	Light Transmittance
1.1	0.76	0.71

 Beijing JGJ Y90 Series Fiberglass Passive Window  
 www.beijingjgjy90.com

海螺90系列塑料被动窗 北京建筑五金门窗幕墙行业协会



**CERTIFICATE**  
 Energy Performance Certificate  
 Product Name: Hailuo 90 Series Plastic Passive Window  
 Manufacturer: Hailuo 90 Series Plastic Passive Window  
 The following window units are covered by this certificate:  
 1. Hailuo 90 Series Plastic Passive Window  
 Thermal data:  

U-value	g-value	Light Transmittance
1.1	0.76	0.71

 Hailuo 90 Series Plastic Passive Window  
 www.hailuo90.com

LUXSYS 北京建筑五金门窗幕墙行业协会

朗尚-A101系列被动窗简介

基本结构	
主型材壁厚	1.6mm
框厚度尺寸	101mm
扇厚度尺寸	110.5mm
可视面高度	框料: 68.3-96.3mm 中框: 98.3-126.3mm 扇料: 44.3-67.3mm
标准玻璃厚度	47mm



玻璃  
玻璃压条  
PE泡沫条  
聚氨酯泡沫  
密封胶  
中间胶条  
扇边胶条  
窗框

增强纤维复合塑料窗 北京建筑五金门窗幕墙行业协会



这是德国瑞好公司的一款采用增强纤维材料的门窗，表面上看是塑料型材，实际上只是在表面含有一层塑料面层，内层则是增强纤维材料。少量胶体构造，内填充泡沫保温材料，保温性能极佳，是目前少有的几种被动窗产品。这种产品避免了塑料窗型材热胀冷缩的影响，同时外表面的装饰效果与塑料型材窗一样。综合了塑料和增强纤维材料的优势性能。在建筑节能领域具有较高的应用价值。

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

03  
Part Three

80%节能外窗指标解读

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

第五步节能 80%



北京市地方标准 DB  
 备案号: J13200-2013  
 居住建筑节能设计标准  
 Single Residential for Energy Efficiency of Residential Buildings  
 2013-06-14 发布 2013-07-01 实施  
 北京市住房和城乡建设委员会 北京市质量技术监督局 发布

北京市地方标准 DB  
 备案号: J13200-2013  
 居住建筑节能工程技术规范  
 Technical Specification for Energy Efficiency of Residential Buildings  
 2013-11-01 发布 2013-12-01 实施  
 北京市住房和城乡建设委员会 北京市质量技术监督局 发布

本次修编后的北京市《居住建筑节能设计标准》，节能率将达到80%以上，将成为我国第一个节能率达到80%的居住建筑节能设计标准

**第五步节能 80%** 北京建筑五金门窗幕墙行业协会

**围护结构传热系数K限值对比**

节能标准类型 部位	围护结构传热系数 (W/m <sup>2</sup> K)			
	本标准	被动房	德国	日本
外墙	0.23	0.18	0.28 热桥0.05	0.49
外窗	1.1	1.0	1.3 G=0.6	1.5
屋面	0.17	0.12	0.20	0.32
地面、地下室 外墙	热阻1.0	0.20	0.35	0.47
气密性换气次 数N50	--	0.6	0.6	--



北京建筑五金门窗幕墙行业协会

**外窗调研表**

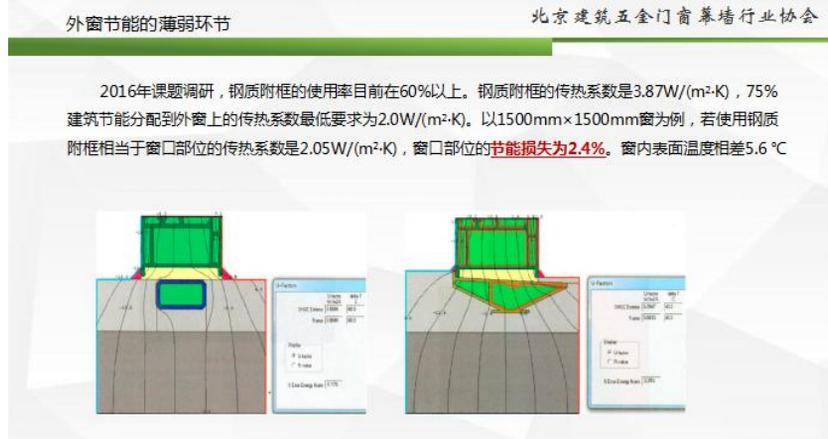
测试标准：尺寸1500mm\*1500mm，有一个开启扇。  
生产企业：\_\_\_\_\_

序号	产品名称			
玻璃面积 (m <sup>2</sup> )	玻璃配置 (包括层数、镀膜、间隔等)	玻璃传热系数 W/(m <sup>2</sup> K)	玻璃太阳得热系数	窗框型材 (包括材料、断热腔数、厚度) 整窗面积 (m <sup>2</sup> )
开启方式	框玻比	整窗传热系数 W/(m <sup>2</sup> K)	整窗太阳得热系数	可见光透射比 暖边 (包括暖边条材料、厚度等)
气密性等项	整窗出厂价格 (元)	安装方式增量成本 (元/m <sup>2</sup> )	密封胶使用寿命及价格	密封胶施工成本增量 (元/m <sup>2</sup> )

注：整窗传热系数小于等于1.1W/(m<sup>2</sup>K)。



- 外窗节能的薄弱环节 北京建筑五金门窗幕墙行业协会
- 1、门窗玻璃槽口中玻璃边缘与型材之间的空腔, 易形成对流, 造成热量的对流损失。
  - 2、合页位置的密封不到位造成热量流失。
  - 3、目前普遍使用的钢质副框造成门窗与墙体之间的热量损失。
  - 4、门窗与墙体连接处的空洞、密封不到位造成热量流失。



北京建筑五金门窗幕墙行业协会

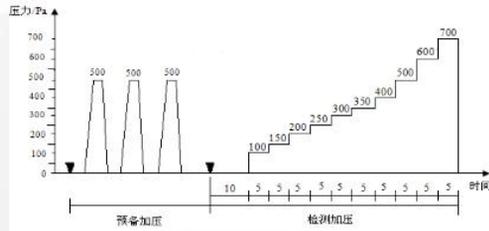
# 04

## Part Three

### 外窗主要性能解读

### 水密性能检测方法

#### 稳定加压法



#### 方法简述

稳定加压法: 2L/(m<sup>2</sup>.min)  
 波动加压法: 3L/(m<sup>2</sup>.min)  
 预淋10分钟, 稳压5分钟.

### 门窗水密性能设计指标确定

门窗的水密性能设计指标可按下式计算:  
 $\Delta P \geq C \mu_z W_0$  (4.3.1)  
 式中:  $\Delta P$ ——任意高度z处门窗的瞬时风速风压力差值 (Pa);  
 C——水密性能设计计算系数: 对于热带风暴和台风地区取值为0.5;  
 其它非热带风暴和台风地区取值为0.4;  
 $\mu_z$ ——风压高度变化系数;  
 $W_0$ ——地区基本风压 (Pa)。  
 计算结果: 1层最低133 Pa, 30层时最高为306 Pa。

表 4.3.2 建筑外门窗水密性能要求

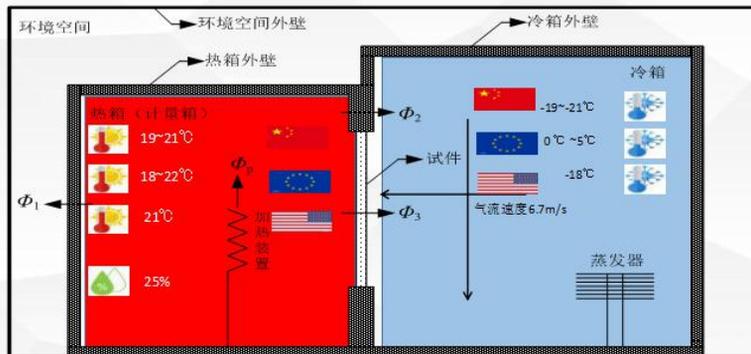
建筑层数	(1~3) 层建筑	(4~6) 层建筑	(7~9) 层建筑	≥10 层建筑
水密性能 $\Delta P$	≥150 Pa	≥200 Pa	≥200 Pa	≥250Pa, 且符合设计要求

### 国内外检测方法比较

#### 检测条件及方法比较

	国标GB7106	澳标AS047
检测顺序	气密-水密-抗风压变形 $P_1$ -抗风压反复受压 $P_2$ -安全检测 $P_3$	挠度变形-操作力-空气渗透-水密-极限强度
水密	稳定加压法: 2L/(m <sup>2</sup> .min) 波动加压法: 3L/(m <sup>2</sup> .min) 逐级加压, 出现渗漏为止。 预淋10 min, 每级保压5 min。 工程检测, 加压速度100Pa/s, 保压时间15min。 严重渗漏: 连成线	0.05/m <sup>2</sup> s (3L/(m <sup>2</sup> .min)) 按客户要求, 以设计风压的30%为参考, 但不应小于150Pa 预淋5 min, 匀速加载至试验压力, 加载时间宜控制在2分钟之内, 保持试验压力15分钟。 少许漏水: 5滴
	以挠度变形值确定压力 $P_1$ 。 中空玻璃, 挠度值取±1/450。	先确定试验压力, 再用挠度变形值判断是否满足。挠度值不应大于跨径1/250

### 测试原理图



北京建筑五金门窗幕墙行业协会

### 国内外建筑外窗传热系数测试条件

GB/T 8484		EN ISO 12567	
热箱	冷箱	热箱	冷箱
空气温度: 19~21°C	空气温度: -19~-21°C	空气温度: 18~22°C	空气温度: 0~5°C
空气相对湿度: ≤25%	—	空气相对湿度: 尽可能低, 避免出现湿度迁移现象	—
空气气流: 自然对流	空气气流: 3.0 ± 0.2m/s	空气气流: 自然对流	—

AMMA 1503	
热箱	冷箱
空气温度: 21°C	空气温度: -18°C
空气相对湿度: ≤25%	—
空气气流: 自然对流	垂直试件冷侧表面 气流速度6.7m/s

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

### 门窗性能测试结果影响因素

门窗性能如: 气密、水密、抗风压、隔声、传热系数、耐火完整性等, 其测试数据受以下因素影响, 有一条不同就不可相比较。

- 1、测试依据的标准, 包括测试条件、测试方法、判断方法。
- 2、测试用样品的材质、系列、结构、玻璃配置、密封措施。
- 3、相同结构配置的门窗其测试用样品的尺寸大小、分格形式。

北京建筑五金门窗幕墙行业协会

谢谢

**作者简介:**

权燕玲, 高级工程师, 北京建筑五金门窗幕墙行业协会执行秘书长, 从事五金、门窗、幕墙产品检验研究工作 30 余年。承担政府课题: 《建筑外门窗推优限劣政策研究》、《北京市建筑外窗专项管理措施研究》。标准编写: DB11/1028-2013《居住建筑门窗工程技术规范》、DBJ01-79-2004《住宅建筑门窗应用技术规范》、《建筑门窗节能认证技术规范》等。

## 谈谈玻璃厚度在玻璃质量评价中的重要性

作者：武文杰、苑静

【建筑光学】公众号 2019.1.3 发布

清晨，太阳慢慢地透过云霞，露出了早已涨的通红的脸庞，像一个害羞的小姑娘紧张的望着大地，微笑的发出第一缕光辉，暖暖的照进房间，把整个房间映成金色。在光从外界通过窗户照射到建筑物内部这个过程中，建筑玻璃扮演着很重要的角色，玻璃的厚度更是直接影响着建筑玻璃的传热系数、可见光透射比、太阳能总透射比、抗风压等性能。接下来让我们看一下玻璃厚度在建筑玻璃产品质量评价中的重要性吧！

### 1 啥？玻璃厚度？有那么重要吗？

是的，玻璃厚度这个参数不是一般的重要！玻璃厚度是玻璃的重要指标，主要是对安全性能的影响，同时对光热性能也有一定程度的影响。中空玻璃的厚度偏差过大影响玻璃的安装和密封性能。所以玻璃行业很多的标准都对玻璃厚度允许偏差及不同厚度所对应的面积有着明确的规定。

#### 1.1 玻璃行业标准中对玻璃厚度的允许偏差

(1) GB11614-2009《平板玻璃》对玻璃厚度允许偏差的规定见表1，新修订的标准对厚度偏差提出了更严格的要求。

表1 平板玻璃的厚度允许偏差

公称厚度/mm	厚度偏差/mm
2~6	±0.2
8~12	±0.3
15	±0.5
19	±0.7
22~25	±1

(2) GB15763.1-2001《建筑用安全玻璃 防火玻璃》对玻璃厚度允许偏差的规定见表2。

表2 防火玻璃的厚度允许偏差

玻璃类型	玻璃厚度/mm	厚度偏差/mm
单片玻璃	5~6	±0.2
	8~10	±0.3
	12	±0.4
	15	±0.6
	19	±1
复合玻璃	5~11	±1
	11~17	±1
	17~24	±1.3
	>24	±1.5

(3) GB15763.2-2005《建筑用钢化玻璃 第2部分：钢化玻璃》对玻璃厚度允许偏差的规定：

表3 建筑用钢化玻璃的厚度允许偏差

公称厚度/mm	厚度偏差/mm
3、4、5、6	±0.2
8、10	±0.3
12	±0.4
15	±0.6
19	±1
>19	供需双方商定

1.2 玻璃厚度要求及其所对应的最大面积

玻璃有一定的自重，所以厚度一定的情况下，玻璃的面积不能过大。建筑玻璃的厚度、风荷载、玻璃的尺寸之间有一定的关系，JGJ102对玻璃的最大面积作出了详细的规定。

对于单片玻璃来说：

$$A = \frac{0.3\alpha_1}{\omega_k} \left( t + \frac{t^2}{4} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中 A——玻璃的允许最大面积(m<sup>2</sup>)；  
 $\omega_k$ ——玻璃的风荷载标准值(kN/m<sup>2</sup>)；  
 t——玻璃的厚度(mm)；  
 $\alpha_1$ ——玻璃种类调整系数。

表4 不同玻璃种类的调整系数  $\alpha_1$

品种	系数 $\alpha_1$
浮法玻璃厚度 3mm~6mm	1
浮法玻璃厚度 8mm~17mm	0.8
钢化玻璃	3
夹丝玻璃	0.7
夹丝压花玻璃	0.5
夹层玻璃	1.6

对于中空玻璃来说：

$$A = \left[ \frac{\alpha_2}{\omega_k} \left( t_2 + \frac{t_2^2}{4} \right) \right] \left[ 1 + \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^3 \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中 A——玻璃允许最大面积(m<sup>2</sup>)；  
 $\omega_k$ ——玻璃允许的最大风荷载标准值(kN/m<sup>2</sup>)；  
 $t_1$ ——中空玻璃中较薄玻璃的厚度(mm)；  
 $t_2$ ——中空玻璃中较厚玻璃的厚度(mm)；

$\alpha_2$ ——玻璃种类调整系数。用夹层玻璃制作的中空玻璃为 0.24，用普通玻璃制作的中空玻璃为 0.22，用钢化玻璃制作的中空玻璃为 0.66。

通过(1)、(2)式我们可以计算出每个玻璃厚度对应的最大面积。

另外 JGJ113-2015《建筑玻璃应用技术规程》与 JGJ102-2003《玻璃幕墙工程技术规范》对部分特殊用途玻璃的厚度有具体的规定：

(1) 活动门玻璃、固定门玻璃和落地窗玻璃若选用无框钢化玻璃，公称厚度应不小于 12mm；

(2) 人群中的公共场所和运动场所中装配的室内隔断玻璃，若选用有框钢化玻璃，公称厚度不小于 5mm，若选用无框玻璃，公称厚度不小于 10mm；

(3) 浴室内有框玻璃应使用公称厚度不小于 8mm 的钢化玻璃，无框玻璃应使用公称厚度不小于 12mm 的钢化玻璃；

(4) 对于栏板玻璃的选择，当栏板玻璃临空高度在 5m 或 5m 以下时，应使用公称厚度不小于 16.76mm 的钢化夹层玻璃，当栏板玻璃临空高度大于 5m 时，不得使用承受水平荷载的栏板玻璃。

(5) 地板玻璃必须采用夹层玻璃，点支撑地板玻璃必须采用钢化夹层玻璃。框支撑地板单片厚度不宜小于 8mm，点支撑地板玻璃单片厚度不宜小于 10mm。

## 2 别不信，这些特性都与玻璃厚度有关

### 2.1 玻璃厚度对可见光透射比的影响

可见光透射比也就是玻璃对可见光的透过能力。从表 5 中可以看出，随着玻璃厚度的增加，白玻及超白玻璃的可见光透射比都有不同程度的下降。

在多腔体中空玻璃应用时，由于玻璃片数多，要特别注意可见光透射比的问题。例如：三片 87% 的普通白玻构成的三玻两腔中空玻璃的可见光透射比就只有约 66%；而三片 91% 的超白玻璃同样的配置，可见光透射比能接近 76%，同时颜色差异性也较大。

表 5 典型普通白玻和超白玻璃可见光透射比

厚度/mm	可见光透射比/%	
	普通白玻	超白玻璃
3	90.3	91.6
5	89.4	91.5
6	88.9	91.3
8	87.9	91.3
10	87.0	91.1
12	86.0	91.0
15	84.6	90.8
19	82.8	90.5

### 2.2 玻璃厚度对太阳光透射比的影响

太阳光直接透射比定义为：波长范围 300nm~2500nm 太阳辐射透过被测物体的辐射通量与入射的辐射通量之比，图 1 中给出了不同厚度玻璃的太阳光光谱透射比曲线。

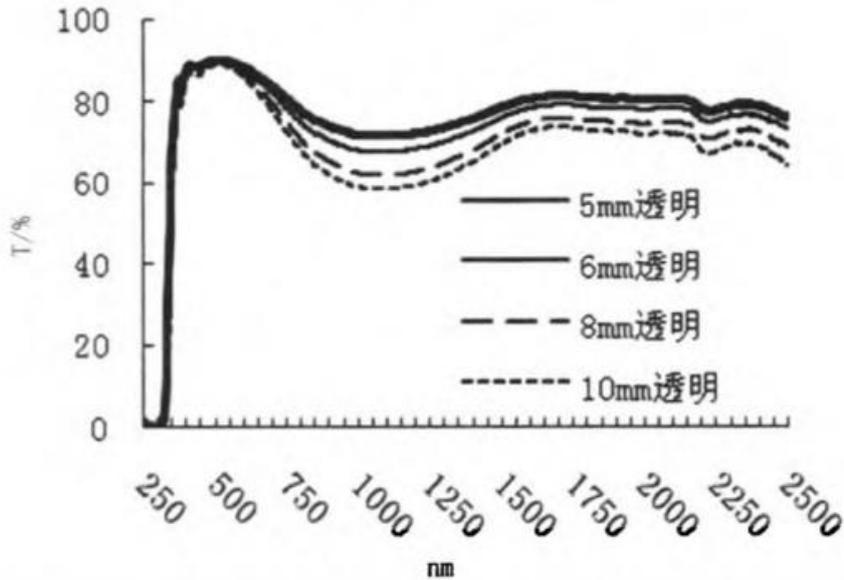


图 1 不同厚度玻璃的太阳光透射比<sup>[1]</sup>

### 2.3 玻璃厚度对传热系数的影响

JGJ/T 151 对传热系数的定义：两侧环境温度差为 1K (°C) 时，在单位时间内通过单位面积门窗或玻璃幕墙的热量，传热系数越小，保温能力越好。如图 2 所示，随着厚度的增加，玻璃的传热系数下降，厚度从 5mm 增加到 10mm，传热系数降低了约 2.43%<sup>[1,2]</sup>。跟我们平时的认知并不冲突，玻璃越厚保暖效果越好，但光的透射比也更低，至于如何权衡二者的利弊，我们往期的文章有着详细的介绍，这里不再赘述。

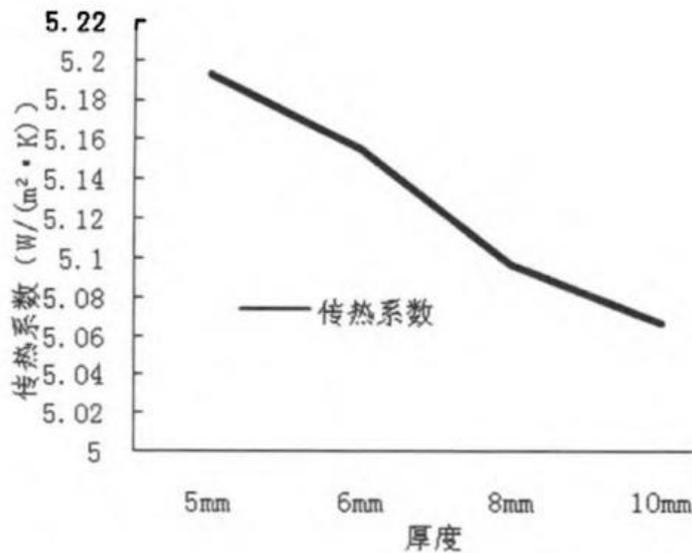


图 2 不同玻璃厚度的传热系数<sup>[2]</sup>

### 2.4 玻璃厚度对玻璃抗风压的影响

玻璃厚度、风荷载以及面积的公式(1)、(2)已在上一节的内容中给出，从公式中我们可以看出，在面积一定的条件下，玻璃越厚，其所能承受的最大风荷载就越大，抗风压能力越强。风荷载与风速的平方成正比，建筑物越高，风速越大，风荷载也越大，所以一般高层建筑用的玻璃会更厚。

以上这几个参数与我们的生活息息相关，选择厚度得当的玻璃会极大的提升我们的生活

质量。但玻璃的厚度应该怎样测量呢？玻璃都被安装在建筑物上了，还可以测量吗？

### 3 手下留情！不砸烂也能测！

这里给大家介绍两种常用的测厚方法，千分尺测量跟光学法测量。

#### 3.1 千分尺测量

根据标准 GB/T 11614-2009 《平板玻璃》：用符合 GB/T 1216 规定的分度值为 0.01 mm 的外径千分尺，在垂直于玻璃板拉引方向上测量 5 点，距边缘约 15 mm 向内各取一点，在两点中均分其余 3 点，取其平均值，即为玻璃的厚度（精确到 0.01 mm）。

想必大家也都能想到，这种测量方式需要千分尺同时触及玻璃的两面，对于已安装的玻璃“束手无策”。总不能为了测玻璃厚度，把装好的玻璃拆了吧？

#### 3.2 光学法测量

首先介绍一下光学法测厚仪的用途、结构及工作原理。

建筑玻璃光学法测厚仪是运用光学的方法测量玻璃或中空腔厚度的仪器，不同于传统的厚度量具如卡尺、千分尺，该仪器可以测量已安装玻璃及各种中空玻璃的玻璃厚度和中空腔厚度，也可用于浮法玻璃生产线上的在线厚度测量。系统由光源、光电传感器、系统控制及数据处理模块构成。

基本原理为光源（激光器）发出测量光束，经各面玻璃的折射和反射后，在传感器接收面上形成两个反射光斑，光斑位置与玻璃及中空腔厚度存在对应关系，可计算出各层玻璃及中空腔厚度。如图 3 所示。

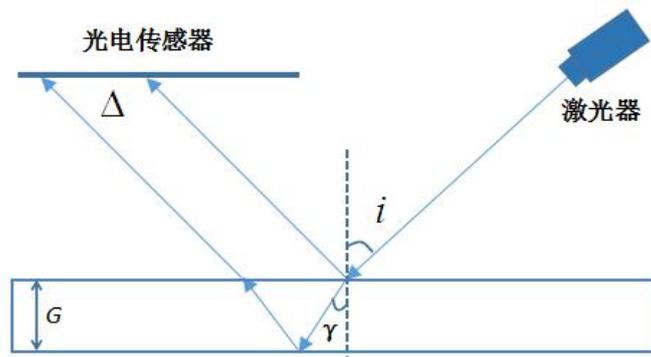


图 3 建筑玻璃光学法测厚仪原理图

根据菲涅尔公式及图 1 中的几何关系，得到玻璃厚度  $G$  的计算公式

$$G = \frac{\Delta}{2 \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{\sin i}{n} \right) \right]} \dots \dots \dots (2)$$

- 式中：  $i$  —— 光路入射角；
- $n$  —— 折射率；
- $\Delta$  —— 传感器接收面上两反射光斑的间距；
- $G$  —— 被测玻璃厚度。

大家都明白了吗？不明白也没关系，因为现在市面上已经有了这样的仪器了，买到手直接就能用。

### 4 广告时间到！

不知道大家有没有了解过北京奥博泰科技有限公司开发的 GlassMeter100 中空玻璃测厚

仪，该仪器可以测试已安装的玻璃；既可以测量单片玻璃又可测量中空玻璃，连中间的中空腔厚度都可以测量；精度高，测试时间快速，操作简单。



### 参考文献

- [1] 廖利娣. 厚度对玻璃节能性能的影响分析[J]. 广东建材, 2016, 6, 21-23.
- [2] Yueping Fang, Philip C. Eames, Brian Norton. Effect of glass thickness on the thermal performance of evacuated glazing[J]. *Solar Energy*, 2007, 81, 395 - 404.
- [3] GB/T 11614-2009. 平板玻璃[S].
- [4] GB/T 2680-1994. 建筑玻璃可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比及有关窗玻璃参数的测定[S].
- [5] JGJ/T 151-2008. 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程[S].
- [6] GB 15763.1-2001. 建筑用安全玻璃 防火玻璃[S].
- [7] GB 15763.2-2005. 建筑用钢化玻璃 第2部分：钢化玻璃[S].
- [8] JGJ 113-2015. 建筑玻璃应用技术规程[S].
- [9] JGJ 102-2003. 玻璃幕墙工程技术规范[S].

## 浅谈幕墙玻璃的变形

作者：吴筱

【建筑光学】公众号 2019.4.26 发布

### 1 什么情况？

现代化城市中几乎随处可见玻璃幕墙，只要你注意过幕墙反射的影像，这种情况你一定不陌生。



好端端的建筑在玻璃幕墙“眼里”扭曲了

由光的反射定律可知，物体经镜面所成的反射像形状取决于镜面的面形。平面镜所成的像与物体大小、方向均相同。镜面面形越接近平面，像与物体越接近。反之，像越失真。



注意雕塑银豆子和平静水面反射的影像

应用于幕墙建造的建筑玻璃大多为平板玻璃，但玻璃基片面形和安装工艺等因素导致幕墙表面不是特别平整，所以周围景物在其表面的反射影像会产生一定程度的失真。对于白云这类形状不规则的景物，我们不太容易注意到其反射影像的失真。但对于形状规则的景物，如笔直的高楼或旗杆，反射影像的失真就显得尤为明显。



## 2 为什么会这样？

《建筑安全玻璃管理规定》规定以玻璃作为建筑材料时，7层及7层以上建筑物外开窗、面积大于 $1.5\text{m}^2$ 的窗玻璃或玻璃底边离最终装修面小于 $500\text{mm}$ 的落地窗以及幕墙（全玻璃除外）必须使用安全玻璃。

这里所说的安全玻璃是指符合现行国家标准的钢化玻璃、夹层玻璃及由钢化玻璃或夹层玻璃组合加工而成的其他玻璃制品，如安全中空玻璃等。

一方面，玻璃在钢化过程中的温度控制不当会导致玻璃表面不同位置之间存在温差，导致玻璃弯曲。另一方面，钢化炉辊道的变形和磨损也会影响玻璃面形的平整度。在实际工程中，一些客户要求玻璃以统一的方向进入钢化炉，以尽量使安装上墙的钢化玻璃只向同一方向有形变。钢化过程中工艺控制的小细节都有可能影响到钢化玻璃的平整度。

因此，在中空玻璃合片前就对玻璃平整度进行严格把控是十分必要的。

GB 15763.2-2005《建筑用安全玻璃 第2部分钢化玻璃》对平面钢化玻璃的弯曲度做了规定，要求弓形弯曲度不应超过 $0.3\%$ ，波形弯曲度不应超过 $0.2\%$ 。T/ZBH 001-2017《建筑玻璃外观质量要求及评定》对于公称厚度不小于 $6\text{mm}$ 的钢化玻璃、夹层玻璃和中空玻璃规定弓形弯曲度应不大于 $0.15\%$ ，波形弯曲度应不大于 $0.12\text{mm}$ ，中部相邻两波峰差不大于 $0.076\text{mm}$ 。

中空玻璃受环境温度、海拔高度、风压等因素影响也会产生变形。

众所周知，气体会随环境温度变化而热胀冷缩，对于密封完好的中空玻璃，环境温度变化时中空腔不同位置的厚度是不同的，中间与边部的厚度差异尤其明显。

用一块尺寸为 1200×700mm 的 6Low-E+12A+6 中空玻璃做为测试样品，先后放置在室内和室外，静置一段时间后用 GlassMeter100 中空玻璃测厚仪测量其中空腔的中部、左边部和右边部厚度，数据见下表。

测试环境	环境温度	中空腔不同位置的厚度 (mm)		
		左边部	中部	右边部
室内	17℃	11.64	10.92	11.55
室外	-4℃	11.27	9.04	11.21



可以看出，在本测试条件下中空腔不同位置的厚度不同，中部的厚度小于边部，即该中空玻璃表面存在一定程度的凹陷。气温为 17℃ 时，中空腔的中部厚度比两边部厚度小约 0.7mm；气温为零下 4℃ 时，中空腔整体厚度有所减小，中部厚度比两边部厚度小约 2.2mm，即中空玻璃表面更加凹陷。

此外，安装工艺、位置偏差把控不当会使得整面幕墙的反射影像支离破碎，失去玻璃幕墙应有的美感。JGJ 139-2001《玻璃幕墙工程质量检验标准》对幕墙玻璃的平面度、相邻两玻璃之间的接缝高低差等参数进行了规定。

当然，也不乏有些幕墙的设计会造成这种情况。



### 3 小结

首先要明确，建筑幕墙不可能做成理想的镜面，反射像必然会存在或多或少的失真。此外，安装之后幕墙玻璃的形变是多种因素综合作用的结果。

在实际生产中，可以通过改进玻璃钢化工艺、给中空玻璃安装呼吸管或毛细管等方式改善建筑玻璃基片自身的平整度，并规范工厂质量检验手段。

幕墙设计时，为了减少变形，在五金件强度允许的情况下，可以加厚室外侧玻璃的厚度或者采用半钢化夹层玻璃。安装时考虑到结构、受力等因素，严格把控幕墙安装过程，在一定程度上减少对于周边景物的“扭曲”，体现玻璃幕墙应有的美观。

本文抛砖引玉，期待与同行和专家进一步深入探讨幕墙玻璃的变形问题。

#### 参考文献

- [1] 牛晓. 中空玻璃变形现象的分析[C]// 二〇一〇年全国铝门窗幕墙行业年会. 2010.
- [2] 许伟光. 对于门窗幕墙类中空玻璃的产生形变的分析[J]. 上海建材, 2011(3):25-26.
- [3] 樊葳, 楼涛明, 许谦. 幕墙玻璃光学变形现象的分析及控制[J]. 浙江建筑, 2012, 29(11):45-46.

# 到底该如何评价玻璃幕墙的反射比？

作者：苑静 【建筑光学】公众号 2019.3.1 发布

玻璃幕墙已经问世几十年了，其应用不仅使建筑外观优美，还使室内视野开阔、光线充足，其中节能镀膜玻璃的使用还使室内具有冬暖夏凉的节能效果，提升了人们室内体验的舒适水平。

但是，近些年随着各种镀膜玻璃的应用，玻璃室外侧反射比会比普通中空玻璃更高，由此引起玻璃幕墙的“光污染”不时成为热议话题。本文就这一话题展开一些讨论，不当之处欢迎批评指正。建筑玻璃的光污染通常是指当太阳光照射到建筑玻璃幕墙后，镜面反射光眩眼夺目，会造成人眼的不适，有些情况会对机动车驾驶员造成不良影响。这类似于当人眼目视前方时有个镜子在侧前方晃眼一样，容易使道路交通区域产生安全隐患，这种干扰光被称为光污染。

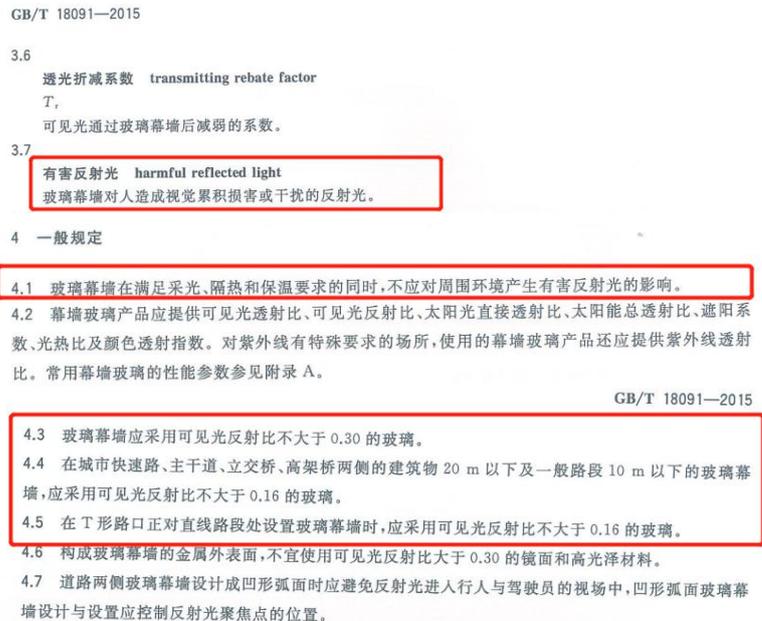
## 1 标准要求

鉴于玻璃幕墙的这一特性，在一些标准中，对建筑玻璃室外侧反射特性提出了说明和限制要求，整理如下：

### 1.1 GB/T 18091-2015 玻璃幕墙光热性能

- a) 4.3 玻璃幕墙应采用可见光反射比不大于 0.30 的玻璃。
- b) 4.4 在城市快速路、主干道、立交桥、高架桥两侧的建筑物 20m 以下及一般路段 10m 以下的玻璃幕墙，应采用可见光反射比不大于 0.16 的玻璃。
- c) 在 T 形路口正对直线路段处设置玻璃幕墙时，应采用可见光反射比不大于 0.16 的玻璃。

关键信息截图如下：



### 1.2 JGJ 102-2003 玻璃幕墙工程技术规范

- 4.2.9 玻璃幕墙应采用反射比不大于 0.30 的幕墙玻璃

关键信息截图如下：

4.2.7 有保温要求的玻璃幕墙应采用中空玻璃，必要时采用隔热铝合金型材；有隔热要求的玻璃幕墙宜设计适宜的遮阳装置或采用遮阳型玻璃。

4.2.8 玻璃幕墙的隔声性能设计应根据建筑物的使用功能和环境条件进行。

4.2.9 玻璃幕墙应采用反射比不大于 0.30 的幕墙玻璃，对有采光功能要求的玻璃幕墙，其采光折减系数不宜低于 0.20。

4.2.10 玻璃幕墙性能检测项目，应包括抗风压性能、气密性能和水密性能，必要时可增加平面内变形性能及其他性能检测。

4.2.11 玻璃幕墙的性能检测，应由国家认可的检测机构实施。检测试件的材质、构造、安装施工方法应与实际工程相同。

4.2.12 幕墙性能检测中，由于安装缺陷使某项性能未达到规定要求时，允许在改进安装工艺、修补缺陷后重新检测。检测报告中应叙述改进的内容，幕墙工程施工时应按改进后的安装工艺实

第 23 页

## 2 不同观点

但也有专家认为，玻璃幕墙重量轻、通透性好等优点是其他材料无法替代的，“一刀切”地否定玻璃幕墙的方式值得商榷，既不利于玻璃幕墙诸多优点的发挥，也增加了建筑工程成本，不利于建筑技术和城市现代化的向前发展。合理限制室外侧的反射比是必要的，但过分追求低反射比是不合适的，反而会产生新的问题。目前的 Low-E 节能玻璃幕墙，反射比已经比较低，所以并不是所有场合都会产生“光污染”。

## 3 什么引起的“光污染”

所以，下面我们就来探讨下所谓的“光污染”是否真的会造成光污染。

玻璃幕墙的广泛应用是自玻璃镀膜技术兴起而开始的，通过镀膜使得玻璃具有较高的反射比，便可以呈现很多颜色，在周围背景的衬托下形成美轮美奂、光怪陆离的效果。可以说没有一定的反射比就没有这样的视觉效果，而更严格的说这个反射比是指规则反射比，也就是一般说的镜面反射比，就像镜子一样通过规则反射能看到同一侧的影像。规则反射是将每一根入射光线都“规则”的反射到与入射光线法向夹角相同的方向。漫反射是将入射光通过物体表面散向各个方向。

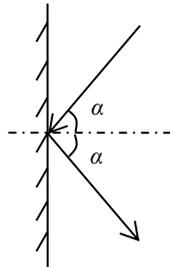


图 1 镜面反射示意图



图 2 漫反射示意图

一束阳光入射到一面玻璃幕墙和一面白色的墙面，对比两者反射效果区别如下：

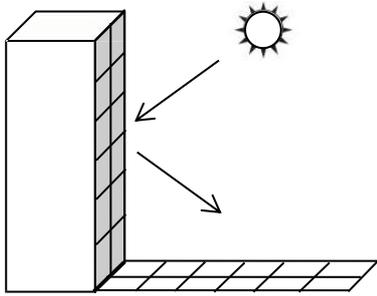


图 3 太阳光入射到玻璃幕墙后的效果

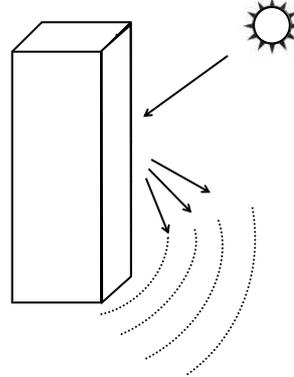


图 4 太阳光入射到白色墙面后的效果

玻璃幕墙会将照到它的光线按镜面反射方向规则的反射到地面形成相对应的被照区域，而涂料墙面则将入射光线散射到地面，近处亮、远处暗，是渐变的，不会形成明暗的明显分区。但当你眼睛直接望向这两面墙，情况就不一样了，如果角度合适的话玻璃幕墙中你会看到个“太阳”，但也只有一个太阳，如果玻璃幕墙的反射比较高，根据太阳方位的不同，就会在某个特定的镜像角度方向上形成刺眼的太阳反射光，没有太阳的区域就是对面的反射影像，并不是整面幕墙都那么刺眼。而涂料等漫射墙面就没有太阳的反射像。也就是很多人小时候曾用镜子反射太阳光到墙面或地面形成亮斑，而用一块白板就不行的道理是一样的。



#### 4 实际的玻璃幕墙“光污染”有那么严重吗？

玻璃的一个重要的特性就是镜面反射，否则就不会出现蓝天白云的反射像。另外现代的玻璃幕墙具有保温隔热、质轻、耐久等显著特点，目前还没有合适的替代品。

任何物体折射率高于空气表面足够光滑都存在程度大小不同的镜面反射比，例如汽车油

漆、抛光石材、光泽瓷砖等等。普通的双玻中空玻璃由于有两片玻璃，存在四个“玻璃-气体”界面，每个界面存在约 4% 的反射比，四个界面就约有 16%，实际上由于玻璃的吸收，反射比会更低一些。而当代的 Low-E 镀膜节能玻璃幕墙由于对反射效果、颜色、遮阳系数等参数的要求，不同玻璃的反射比一般在百分之十几到二十几之间，一般玻璃的反射比很难降到 10% 以下。而二、三十年前广泛应用的阳光控制膜的反射比很多都大于 30%，很容易形成所谓的“光污染”，幕墙的“光污染”也是那个时期产生的。实际上这种高反射的阳光控制膜早就开始逐渐被更节能的 Low-E 玻璃所代替了。

如今的“光污染”并没有早期那么严重，进一步压低室外侧反射比意义不大。一般通过 Low-E 膜层的合理设计，保证一个方向的反射功能的前提下减少另一个方向的反射比，可以有效降低反射比。

## 5 有必要将镜面反射比降到很低吗？

首先说明现在的薄膜技术已经非常发达，可以镀制千分之一以下的低反射膜，例如镜头内的光学镜片，强激光窗口；也可以镀制 99.99% 以上的高反射膜层，例如激光谐振腔的反射镜。但这样的高性能膜层大面积镀制是异常困难的，目前成本较高。

对于建筑用玻璃，实际并没有这么高的要求，从目前技术水平来看，已经可以批量生产双面镀制减反膜且反射比低于 1% 的玻璃，并且已批量应用在博物馆等保护用、展示用展窗和展柜。但对于建筑玻璃来说，过度降低反射比可能会带来如下问题：

- 1) 幕墙玻璃的镜面表现效果下降，蓝天白云会显得暗淡；
- 2) 颜色表现受到影响，可选颜色减少，色彩饱和度进一步降低；
- 3) 反射比降低了，就降低了幕墙的遮盖能力，室内物体如室内墙、柱、窗帘和家具等更容易从室外侧看到，严重影响美观。
- 4) 对于有些公共建筑，反射比过低，透射比过高，有可能增加室内炫光，再通过增加窗帘等遮光措施来弥补，又进一步影响了室外侧的美观性。

## 6 如何降低玻璃的反射比？

那建筑玻璃降低反射比的经济有效的方法是什么呢？可以采取以下方法：

- 1) 通过膜系设计减少 Low-E 膜层膜面一侧的反射比，并且不影响膜面的辐射率以及玻璃面一侧的反射特性；
- 2) 在非 Low-E 膜面镀减反射膜，可以将界面反射比从 4% 降到 1% 以下；
- 3) 室内观景需要的窗或幕墙，一方面通过降低玻璃的室内侧反射比，另一方面可以改变玻璃的安装角度，合理设计照明光源，减少光源在玻璃上的反射。
- 4) 可以通过对玻璃表面特性进行改良处理的方法来降低室外侧的整体的镜面反射比，比如采用带有装饰图案的彩釉玻璃，这样增加了漫反射区域占比，降低了容易引起光污染的镜面反射区域的占比，进而降低整体的反射比。再比如，可以采用压花玻璃（漫反射表面），但这样做的话，有一个弊端，就是看不到反射影像，因此，一般可以在不需要观景窗的部位采用压花玻璃来减少光污染问题。

## 7 引起光污染的玻璃反射比该怎样测量？

镜面反射或称为规则反射才是引起光污染的主因，所以反射比测量仪器一定是要规则反射比测试仪器，不能用漫射比测量仪器。

某地区在评价光污染时采用漫反射仪器测量玻璃样品，当测量白色彩釉玻璃时反射比超过 50%，貌似严重超过了某些标准的要求。其实彩釉玻璃的大部分反射是漫反射，是不会引起光污染的，如果用镜面反射比仪器测量镜面反射比一般不会超过 10%。所以标准中使用的

术语应更加严谨，将笼统的“反射比”改为“规则反射比”，这样实际测试和评价时，就不容易出问题了。

## 8 总结

1) 合理限制室外侧的反射比是必要的，但过分追求低反射比是不合适的，反而会产生新的问题。

2) 如果建筑设计时，一味的追求超低反射比，技术上可能会实现，但一定是以超高成本为代价。

3) 评价“光污染”特性，即测试反射比时，应严格分清楚镜面反射和漫反射，光污染是由镜面反射造成的，而不是漫反射。

4) 应根据建筑的使用性质、周边环境以及对周边行人车辆交通的影响，合理设计幕墙玻璃的透反射比和颜色，使其在满足功能性要求的前提下达到既美观又舒适的效果。

## 超低能耗建筑用高性能节能玻璃简介

作者：许海凤 【建筑光学】公众号 2019.5.19 发布

2018年3月15日，中证网发布了关于“全国人大代表、金晶科技董事长王刚建议：全面推广应用高性能节能玻璃”的报道。具体内容如下：

全国人大代表、金晶科技董事长王刚建议通过出台强制使用法规、政策补贴等措施，全面推广应用高性能节能玻璃，推进建筑节能。

王刚代表介绍，在500亿平方米左右的既有建筑中绝大部分没有采用节能玻璃，新建建筑中也只有不到10%采用高性能节能玻璃；如不采取有效措施，建筑能耗将继续增加。从技术角度来看，“遮阳”性能以玻璃镀膜技术实现，“保温”性能以Low-E镀膜玻璃中空或真空构造实现。近年来，我国节能玻璃研发和生产取得快速发展。我国Low-E节能玻璃生产线已有100多条，年产能超过3亿平方米，成为全球最大的Low-E镀膜玻璃生产加工中心和应用市场，规模位居世界第一，产能和产品质量可以满足全面推广后的市场需求。但目前，政策鼓励不足是制约推广普及高性能节能玻璃的最重要因素。

王刚代表就此提出四条建议，一是出台强制使用高性能节能玻璃的专项法规并加强监督执行；二是出台相应的补贴政策，对于使用了节能玻璃建筑，按照实际门窗的实际面积予以补贴，对于高性能节能玻璃的生产、开发予以鼓励支持；三是将门窗节能纳入工程验收体系，完善并严格执行建筑节能验收规范；四是竣工建筑节能验收时，对玻璃门窗进行专项节能验收。

那么什么是高性能节能玻璃？适用于超低能耗建筑用的高性能玻璃有哪些？所谓的“高性能”高在哪里？如何用具体参数加以体现？本文将围绕这几个问题，跟广大读者进行交流。

### 1 什么是高性能节能玻璃

近期发布的中国建筑玻璃与工业玻璃协会团体标准《高性能节能玻璃技术条件》T/ZBH 011-2019中规定：高性能节能玻璃，是指采用镀膜、中空和真空等工艺技术制备，具有显著保温隔热效果的建筑用玻璃制品。

### 2 适用于超低能耗建筑用的高性能节能玻璃有哪些？

超低能耗建筑大家已经不再陌生，目前在中国逐步推广中，是未来建筑发展的大趋势。毋庸置疑，超低能耗建筑要配高性能的节能玻璃，不同的地区还要选择不同性能的节能玻璃。近期发布的中国建筑玻璃与工业玻璃协会团体标准《被动式低能耗建筑透明部分用玻璃》T/ZBH 012-2019中对超低能耗建筑适用的节能玻璃分类如下：

按构成形式分为以下类别：中空玻璃、真空玻璃、真空复合中空玻璃、热镜膜中空玻璃。中空玻璃又分为：单腔中空玻璃、双腔中空玻璃、多腔中空玻璃等；真空复合中空玻璃分为：真空复合单腔中空玻璃，真空复合双腔中空玻璃等；热镜膜中空玻璃分为：双腔热镜膜中空玻璃，三腔热镜膜中空玻璃。

值得提出的是，高性能节能玻璃不仅限于标准中和本文提到的玻璃，新产品日新月异，如电致变色玻璃、气凝胶玻璃等等，都是性能优异的新产品。所以高性能玻璃并不是单纯的某几种玻璃，关键是保温隔热性能好，实现方式可以多种多样。

### 3 高性能节能玻璃组成的

典型的高性能节能玻璃关键要素如下图：



图1 高性能节能玻璃关键要素

《被动式低能耗建筑透明部分用玻璃》T/ZBH 012-2019 中，对材料及构造的关键要求如下：

- 多腔中空玻璃每个腔体内镀有 Low-E 膜的面数不宜超过 1 个。
- 真空玻璃 Low-E 膜面的位置应在真空腔内。
- 严寒、寒冷及夏热冬冷地区应采用暖边间隔条。
- 中空玻璃气体间隔层厚度不宜小于 9mm。
- 中空玻璃、热镜膜中空玻璃腔体内应充惰性气体，初始气体含量大于等于 85%。
- 第一道密封胶应使用丁基胶或热塑性间隔密封胶。
- 第二道密封胶宜采用聚硫胶，水气渗透率应小于等于  $15 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。
- 真空玻璃宜放置吸气材料。
- 真空玻璃封接材料不宜采用有机材料。

### 4 光热参数举例计算

由高性能节能玻璃的定义看出，高性能节能玻璃一定是具有“显著”的保温隔热效果，体现在具体的性能参数上面，应从传热系数  $K$  值、太阳能总透射比  $g$ 、遮阳系数  $S_c$ 、红外热能总透射比  $g_{IR}$  及可见光透射比  $T_v$  来加以控制。

本章节对部分高性能节能玻璃的参数做了举例计算，供大家参考。

表 1 部分高性能节能玻璃光热参数

玻璃结构	Low-E 类型	Low-E 玻璃辐射率 $\epsilon$	传热系数 K 值 W/ (m <sup>2</sup> ·k)	遮阳系数 Sc	太阳能总透射比 g	红外热能总透射比 gIR	可见光透射比 Tv
双腔中空玻璃 6Low-E+12Ar+6+12Ar+6Low-E	单银+单银	0.072, 0.072	0.78	0.587	0.511	0.259	0.725
	三银+单银	0.021, 0.072	0.74	0.345	0.300	0.023	0.610
双腔中空玻璃 6Low-E+16Ar+6+16Ar+6Low-E	单银+单银	0.072, 0.072	0.76	0.587	0.511	0.259	0.725
	三银+单银	0.021, 0.072	0.72	0.344	0.299	0.022	0.610
三腔中空玻璃 6Low-E+12Ar+6Low-E+12Ar+6+12Ar+6	单银+单银	0.072, 0.072	0.69	0.533	0.464	0.233	0.659
	三银+单银	0.021, 0.072	0.639	0.315	0.274	0.021	0.555
真空复合单中空玻璃 6+12Ar+6Low-E+V+6	单银	0.103	0.64	0.520	0.452	0.279	0.593
	双银	0.055	0.52	0.400	0.348	0.121	0.557
	三银	0.021	0.41	0.347	0.302	0.036	0.615
真空复合双中空玻璃 6Low-E+12Ar+6Low-E+V+6+12Ar+6	在线+在线	0.18, 0.18	0.58	0.523	0.455	0.344	0.517
	单银+单银	0.072, 0.072	0.41	0.517	0.450	0.213	0.659
	三银+单银	0.021, 0.072	0.40	0.309	0.269	0.018	0.555
双腔热镜膜中空玻璃 6+9Kr+TC88+9Kr+6	热镜膜	-	0.72	0.586	0.510	0.300	0.651



注：1.Ar-氩气，Kr-氪气，V-真空，TC88-热镜膜，HM88-热镜膜，如上数据为 WINDOW 7.3 软件计算所得。

2. 惰性气体含量按 90%计算。

最后，希望更多的同行能够认识到高性能节能玻璃，也希望政府能够出台政策，鼓励高性能节能玻璃的推广和应用。期待超低能耗建筑在中国有良好和快速的发展，让老百姓住上既节能、又舒适的好房子，享受到高性能玻璃带来的舒适体验。

扫描下方二维码，即可在线预览《被动式超低能耗建筑透明部分用玻璃》标准。



扫描二维码，在线预览该标准

# 带您认识在线 Low-E 玻璃

作者：邱珊珊、许海凤

【建筑光学】公众号 2019.9.20 发布

## 1 引言

随着经济和科学技术的不断发展，人们的生活也越来越丰富多彩。高层建筑拔地而起，汽车数量急剧增加，玻璃凭借着平整透明、色彩丰富、美观大方、易于清洗等优势，被广泛应用于建筑、汽车等领域，成为无可替代的建筑和汽车材料。随着人们对居住和工作环境的要求越来越高，玻璃也逐步从单纯的采光材料向着节约能源、保护隐私、减小噪声及优化环境等多种功能发展。

从技术研发来看，建筑节能是我国节能减排的重点之一。目前，我国建筑能耗约占社会总能耗的三分之一。据测算，在我国建筑能耗中，通过门窗传热能源消耗约占建筑能耗的 28%，通过门窗空气渗透能源消耗约占建筑能耗的 27%，总计门窗能耗占建筑能耗的 55%。高能耗比例高，使得建筑节能面临巨大压力。随着经济社会的发展，这一比例呈继续上升趋势，因此，玻璃门窗显然已成为建筑节能最薄弱也是最具节能潜力的环节。建筑玻璃种类繁多，其中低辐射镀膜玻璃（Low-E）因其显著的节能效果，在发明之初就引起了人们的关注。Low-E 玻璃不但可见光透过率高，而且具备很强的阻隔红外线的特点，能够发挥自然采光和隔热节能的双重功效，是目前公认的理想窗玻璃材料之一。在冬季，Low-E 玻璃可以有效地减少室内热量的外散流失，在夏季也能阻隔室外太阳光直接透射及二次辐射，从而发挥节能降耗的作用<sup>[1]</sup>。在建筑领域使用 Low-E 玻璃可以带来更大的节能减排效果，使用 Low-E 玻璃带来的成本在长期来看远远低于使用普通玻璃，对改善生活、工作环境，保护环境都具有十分重要的意义。

玻璃镀膜技术分为在线法和离线法两大类。其中，在玻璃的生产线上设置镀膜工艺程序，玻璃生产出来之后立即在它的高热表面进行化学反应镀膜，这种生产和深加工相结合的工艺称为在线镀膜。该工艺流程充分利用浮法玻璃新鲜洁净的表面和热能优势，省去了离线镀膜玻璃所用的输送、清洗等前处理程序和加热抽真空工序，其特定的镀膜气氛、温度、生产规模赋予了化学气相沉积镀膜玻璃很多优异的性能，玻璃表面沉积的透明导电薄膜是在线生产的氧化锡基薄膜，其具有可与建筑同寿命的高耐久性、硬度大、与玻璃基体结合牢固和成本较低的优势。

本文中通过测量两种原片玻璃和两种在线镀膜玻璃的光热性能，对照这四款玻璃的相关性能数据和曲线，更直观的展现了在线 Low-E 玻璃产品的优异节能效果。此外，分析了如何将在线 Low-E 与离线 Low-E 及真空玻璃配合，获得性能更加优异的节能玻璃。

## 2 测试仪器及样品

### 2.1 测试仪器如下：

表 1 测试仪器名称及型号

序号	仪器名称	仪器型号
1	建筑玻璃可见近红外分光光度计	GlasSpec2500（如图 1）
2	紫外可见分光光度计	TU1900
3	非接触式面电阻测试仪	Stratometer G

4	辐射率仪	AE1
5	便携式节能玻璃现场综合测试系统	GlasSmart1000 (如图 2)

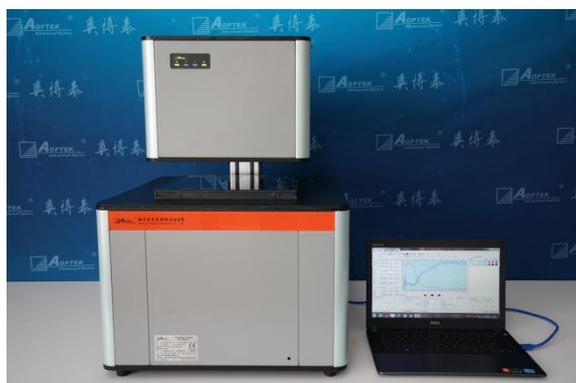


图 1 测试仪器 GlasSpec2500 (仪器链接)



图 2 测试仪器 GlasSmart1000 (仪器链接)

## 2.2 测试样品

测试样品如表 2:

表 2 测试样品信息

序号	样品名称	简称	样品厚度
1	白玻原片	普白	5mm
2	福特蓝色玻原片	蓝玻	5mm
3	在线阳光控制膜玻璃	在线银白膜	5mm
4	在线低辐射镀膜玻璃	在线 Low-E	5mm

## 3 检测及计算结果分析

### 3.1 单片玻璃测试光谱数据

利用分光光度计测量了四种样品在 190-2500nm 波长范围内的透过和反射性能, 四种样品在 190-2500nm 范围内的透反射曲线分别如图 3-图 6 所示。对照这四幅图, 可以看出, 在线 Low-E 玻璃对可见光有良好的透光性, 对红外光有很高的反射性, 所以在冬季, Low-E 玻璃可以有效地减少室内物体发射的红外电磁辐射, 减少室内热量的外散流失, 而在夏季, 同样能阻隔室外太阳光直接透射及二次辐射, 可以减少冬季采暖和夏季空调的运行费用, 从而起到节能降耗的作用。

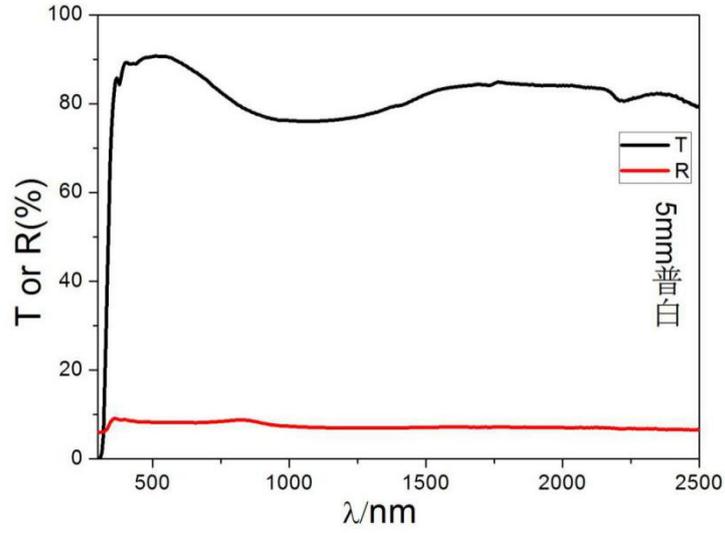


图3 190-2500nm 范围内，普通白玻(5mm)的透过和反射曲线

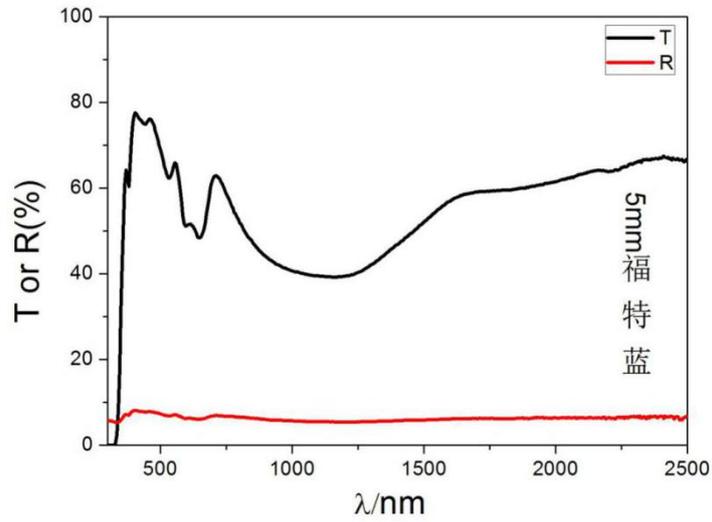


图4 190-2500nm 范围内，福特蓝色玻(5mm)的透过和反射曲线

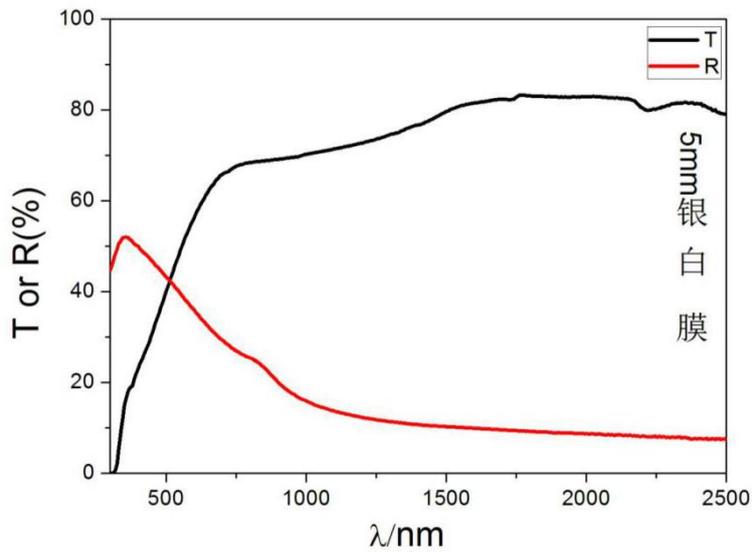


图5 190-2500nm 范围内，在线阳光控制膜玻璃(5mm)的透过和反射曲线

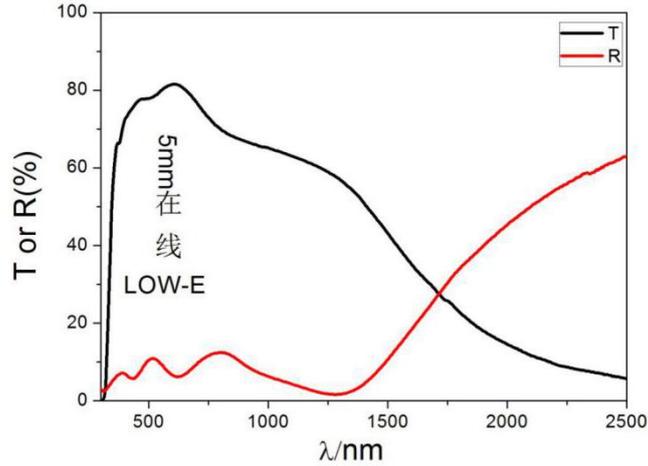


图 6 190-2500nm 范围内，在线 Low-E 膜玻璃(5mm)的透过和反射曲线

使用便携式节能玻璃现场综合测试系统 GlasSmart1000 对四种样品分别进行测量，所得热工数值如表 3 所示。

表 3 四种玻璃样品的热工参数数值

名称	$\tau_e$	$\rho_e$	$a_e$	$\tau_v$	$\rho_v$	$\tau_{IR}$	$\rho_{IR}$	$g$	SC	$g_{IR}$	LSG	K
普白	0.836	0.076	0.088	0.894	0.086	0.786	0.068	0.859	0.988	0.825	1.04	5.36
蓝玻	0.543	0.053	0.404	0.604	0.062	0.456	0.042	0.651	0.748	0.59	0.93	5.36
在线银白膜	0.616	0.177	0.207	0.555	0.255	0.695	0.105	0.671	0.771	0.748	0.83	5.39
在线 Low-E	0.684	0.102	0.214	0.793	0.102	0.565	0.111	0.715	0.822	0.612	1.11	3.56

注：

- $\tau_e$ : 太阳光直接透射比
- $\rho_e$ : 太阳光直接反射比
- $a_e$ : 太阳光直接吸收比
- $\tau_v$ : 可见光透射比
- $\rho_v$ : 可见光反射比
- $\tau_{IR}$ : 太阳光红外直接透射比
- $\rho_{IR}$ : 太阳光红外直接反射比
- $g$ : 太阳能总透射比
- SC: 遮阳系数
- $g_{IR}$ : 太阳能红外总透射比
- LSG: 光热比
- K: 冬季传热系数

从表 3 中的数据看出，普通白玻、色玻（福特蓝玻）和在线银白膜的 K 值均在 5.36 左右，色玻和在线银白膜玻璃样品的 SC 值比较低，在 0.75~0.77 之间，对于在线 Low-E 玻璃 K 值在 3.56 左右，SC 值 0.82 左右。与普通白玻相比，阳光控制膜玻璃能够降低 SC 值，而 K 值几乎不变；低辐射镀膜玻璃能合理控制 SC 的同时，大幅度降低 K 值。可以认为阳光控制膜玻璃的节能效果主要取决于遮阳系数 SC，低辐射镀膜玻璃的节能主要来自于 K 值和遮阳系数 SC 的综合作用，其中 K 值的保温作用更为突出。另外，Low-E 玻璃具备很强的阻隔红外线的特点的同时，保证可见光透过率较高（可见光透过率可达 80%），能够发挥隔热节能和自然采光的三重功效。

### 3.2 中空玻璃计算数据

将普白、在线银白膜和在线 Low-E 玻璃组合成中空玻璃（玻璃厚度均为 5mm），空气间隔层均为 12mm，计算得出的玻璃组件的光热参数如表 4 所示。

表 4 普白、在线银白膜和在线 Low-E 玻璃组合成中空玻璃后玻璃组件的光热参数数据

名称	T <sub>Sol</sub> (%)	R <sub>fSol</sub> (%)	R <sub>bSol</sub> (%)	T <sub>Vis</sub> (%)	R <sub>fVis</sub> (%)	R <sub>bVis</sub> (%)	T <sub>UV</sub> (%)	SHGC	K 值	SC
5 普白+12Air+5 普白	70.10	13.46	13.46	81.70	14.86	14.86	52.75	0.759	2.692	0.873
5 在线银白膜+12Air+5 普白	51.69	22.62	27.98	46.09	30.17	41.01	11.58	0.585	2.701	0.673
5 在线 Low-E+12Air+5 普白	55.87	13.37	15.52	72.42	13.00	15.37	40.19	0.625	1.927	0.719

从表 4 中可以看出，Low-E 玻璃与普白合成中空玻璃后，K 值降至 1.9 左右，SC 值在 0.72 左右，另外 Low-E 中空玻璃的可见光透过率仍比较高，在 72.5%左右，接近自然光，采光好，加上较低的 K 值，较高的 SC 值。

### 3.3 在线 Low-E 与离线 Low-E 搭配使用计算结果

在线 Low-E 配合离线 Low-E 使用（如图 7），K 值会更低，性能参数对比如表 5。

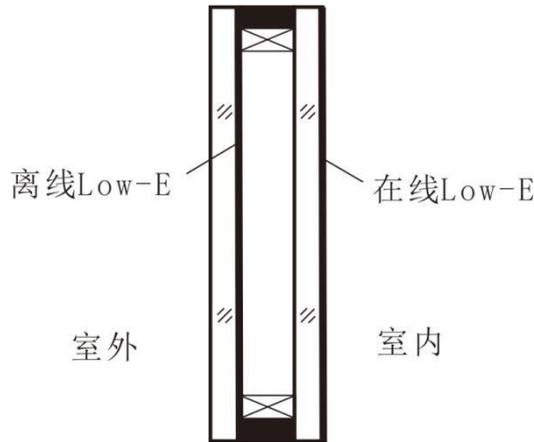


图 7 离线 Low-E 和在线 Low-E 配合使用示意图

表 5 在线 Low-E 与离线 Low-E 配合使用计算结果

玻璃结构	K 值	SC 值
6 单银离线 Low-E+9Ar+6 普白	1.65	0.57
6 单银离线 Low-E+9Ar+5 在线 Low-E	1.41	0.53
6 离线 Low-E+12Ar+6 普白	1.54	0.57
6 单银离线 Low-E+12Ar+5 在线 Low-E	1.31	0.53

由表 5 可见，在线 Low-E 与离线 Low-E 配合使用，在线膜层放置于室内侧空气面，可显著降低中空玻璃的 K 值，降低幅度约 0.23-0.24，同时，SC 值也得以降低。

之所以用在线 Low-E 后能够降低玻璃整体的 K 值，是和 K 值（公式中所述 U 值）的计算公式密切相关。

《建筑玻璃应用技术规程》JGJ113-2015 中附录 A 规定传热系数的计算如下：

2 单片玻璃和夹层玻璃传热系数应按下式计算：

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

式中： $U$ ——玻璃传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；  
 $h_e$ ——室外表面换热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；  
 $h_t$ ——玻璃热导 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；  
 $h_i$ ——室内表面换热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 。

其中室内表面换热系数  $h_i$  计算如下：

7 室内表面换热系数应按下式计算：

$$h_i = 3.6 + 4.4\varepsilon/0.837 \quad (\text{A. 0. 3-2})$$

式中： $h_i$ ——室内表面换热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；  
 $\varepsilon$ ——玻璃室内表面校正发射率。  
 如果玻璃室内表面未镀低辐射膜， $h_i$  可按  $8[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$  取值。

采用在线 Low-E 玻璃改变了玻璃室内表面校正发射率 $\varepsilon$ ，因此改变了室内表面换热系数，降低了玻璃的 K 值。

### 3.4 在线 Low-E 与真空玻璃配合使用

真空玻璃是一种保温性能极好的玻璃，深受超低能耗建筑、地标性建筑青睐，目前产能还较低，成本较高。真空玻璃工艺复杂、合格率低于中空玻璃，是其成本高居不下的原因之一。真空玻璃与 Low-E 玻璃是密不可分的，至少要有一片原片玻璃为 Low-E 玻璃，辐射传热才能够降低，进而整体的 K 值降低。真空玻璃生产过程中，由于加工周期长，工艺路线复杂，因为对 Low-E 膜层的耐磨性等物理性能要求较高，膜层的稳定性也是影响真空玻璃合格率的一个重要因素。

在线 Low-E 以“硬膜”而著称，膜层长时间暴露在空气中也没有氧化、变性问题，因此，更加适合与真空玻璃配合使用，合格率可能会有所提高。在线 Low-E 真空玻璃的 K 值等性能参数计算结果见表 6。

表 6 在线 Low-E 真空玻璃的热工参数

玻璃结构	K 值	SC 值
6 普白+V+6 普白	2.15	0.87
5 在线 Low-E+V+6 普白	0.90	0.77
6 普白+12Air+5 在线 Low-E+V+6 普白	0.75	0.68

由表 6 可见，在线 Low-E 作为真空玻璃的原片，真空玻璃的 K 值可降低到 0.9 以下，同时，真空玻璃的合格率可能会得以提升，成本得以降低，是真空玻璃技术发展的一个趋势。

## 4 结论

在线 Low-E 作为镀膜玻璃中的一支独秀，具有可与建筑同寿命的高耐久性、硬度大、与玻璃基体结合牢固和成本较低的优势。希望在线 Low-E 能够发挥其自身的优势，合理的用在建筑上，为中国的建筑节能做出突出贡献。

### 参考文献

[1] 莫建良. CVD 法 F 掺杂 SnO<sub>2</sub> 低辐射薄膜的制备、结构、性能及低辐射镀膜玻璃的产业化研究[D]. 浙江大学

# 高性能玻璃节能与舒适性分析

作者：许海凤 【建筑光学】公众号 2019.12.23 发布

**摘要：**本文介绍了高性能节能玻璃的分类，性能参数，分析了不同气候条件下高性能玻璃的舒适性特点。

**Abstract：** In this paper, we introduce the classification and performance parameters of high performance glass. We also introduce the relevant standards. At last, we analyze the comfortable capability of high performance glass.

**关键词：**高性能玻璃，节能玻璃，舒适性，中空玻璃，真空玻璃

**Key words:** High performance glass, Energy-saving glass, Comfort, Insulating glass unit, Vacuum glazing

随着建筑节能标准的不断提高，以及人民生活水平的改进，我国对高性能节能玻璃的需求日益增长。

2018年3月15日，中证网发布了关于“全国人大代表、金晶科技董事长王刚建议：全面推广应用高性能节能玻璃”的报道。具体内容如下：

全国人大代表、金晶科技董事长王刚建议通过出台强制使用法规、政策补贴等措施，全面推广应用高性能节能玻璃，推进建筑节能。

王刚代表介绍，在500亿平方米左右的既有建筑中绝大部分没有采用节能玻璃，新建建筑中也只有不到10%采用高性能节能玻璃；如不采取有效措施，建筑能耗将继续增加。从技术角度来看，“遮阳”性能以玻璃镀膜技术实现，“保温”性能以Low-E镀膜玻璃中空或真空构造实现。近年来，我国节能玻璃研发和生产取得快速发展。我国Low-E节能玻璃生产线已有100多条，年产能超过3亿平方米，成为全球最大的Low-E镀膜玻璃生产加工中心和应用市场，规模位居世界第一，产能和产品质量可以满足全面推广后的市场需求。但目前，政策鼓励不足是制约推广普及高性能节能玻璃的最重要因素。

王刚代表就此提出四条建议，一是出台强制使用高性能节能玻璃的专项法规并加强监督执行；二是出台相应的补贴政策，对于使用了节能玻璃建筑，按照实际门窗的实际面积予以补贴，对于高性能节能玻璃的生产、开发予以鼓励支持；三是将门窗节能纳入工程验收体系，完善并严格执行建筑节能验收规范；四是竣工建筑节能验收时，对玻璃门窗进行专项节能验收。

那么什么是高性能节能玻璃？高性能玻璃有哪些类型？所谓的“高性能”高在哪里？如何用具体参数加以体现？高性能玻璃给人带来哪些舒适的体验？本文将围绕这几个问题，跟广大读者进行交流。

## 1 什么是高性能节能玻璃

近期发布的中国建筑玻璃与工业玻璃协会团体标准《高性能节能玻璃技术条件》T/ZBH 011-2019中规定：高性能节能玻璃，是指采用镀膜、中空和真空等工艺技术制备，具有显著保温隔热效果的建筑用玻璃制品。

## 2 高性能节能玻璃分类

超低能耗建筑大家已经不再陌生，目前在中国逐步推广中，是未来建筑发展的大趋势。毋庸置疑，超低能耗建筑要配高性能的节能玻璃，不同的地区还要选择不同性能的节能玻璃。近期发布的中国建筑玻璃与工业玻璃协会团体标准《被动式低能耗建筑透明部分用玻璃》

T/ZBH 012-2019 中对超低能耗建筑适用的节能玻璃分类如下：

按构成形式分为以下类别：中空玻璃、真空玻璃、真空复合中空玻璃、热镜膜中空玻璃。中空玻璃又分为：单腔中空玻璃、双腔中空玻璃、多腔中空玻璃等；真空复合中空玻璃分为：真空复合单腔中空玻璃，真空复合双腔中空玻璃等；热镜膜中空玻璃分为：双腔热镜膜中空玻璃，三腔热镜膜中空玻璃。以上几种玻璃的结构示意图见图 1~图 3。

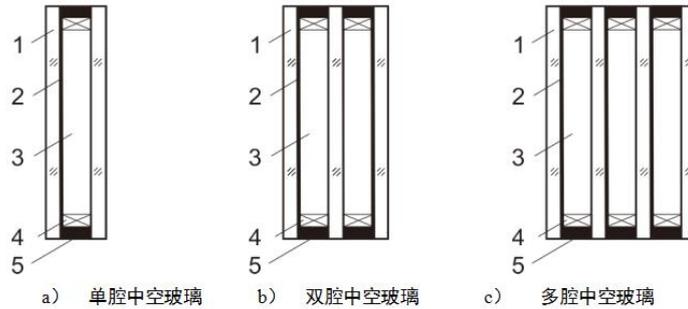


图 1 中空玻璃示意图

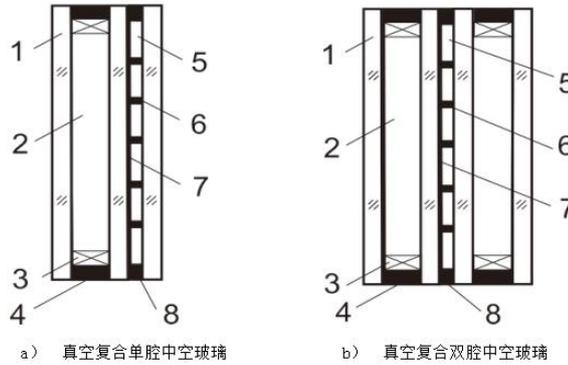


图 2 真空复合中空玻璃示意图

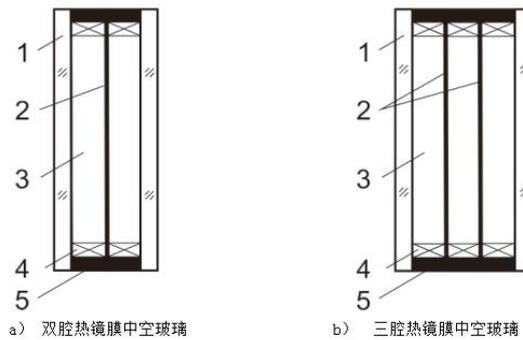


图 3 热镜膜中空玻璃示意图

值得提出的是，高性能节能玻璃不仅限于标准中和本文提到的玻璃，新产品日新月异，如电致变色玻璃、气凝胶玻璃等等，都是性能优异的新产品。所以高性能玻璃并不是单纯的某几种玻璃，关键是保温隔热性能好，实现方式可以多种多样。

### 3 高性能玻璃关键要素

高性能玻璃相关的标准目前有 2 个，分别是《被动式低能耗建筑透明部分用玻璃》T/ZBH 012-2019 和《高性能节能玻璃技术条件》T/ZBH 011-2019。

其中《被动式低能耗建筑透明部分用玻璃》T/ZBH 012-2019 中，对材料及构造的关键

要求如下：

- ❖ 多腔中空玻璃每个腔体内镀有 Low-E 膜的面数不宜超过 1 个。
- ❖ 真空玻璃 Low-E 膜面的位置应在真空腔内。
- ❖ 严寒、寒冷及夏热冬冷地区应采用暖边间隔条。
- ❖ 中空玻璃气体间隔层厚度不宜小于 9mm。
- ❖ 中空玻璃、热镜膜中空玻璃腔体内应充惰性气体，初始气体含量大于等于 85%。
- ❖ 第一道密封胶应使用丁基胶或热塑性间隔密封胶。
- ❖ 第二道密封胶宜采用聚硫胶，水气渗透率应小于等于 15 g/ (m<sup>2</sup> · d) 。
- ❖ 真空玻璃宜放置吸气材料。
- ❖ 真空玻璃封接材料不宜采用有机材料。

此外，该标准给出了不同地区玻璃的光热参数要求（可见光透射比  $\tau_v$ 、传热系数 K、太阳能总透射比 g、太阳红外热能总透射比  $g_{IR}$ ），并规定了相应的试验方法，值得提出的是，光热参数除了传统的检测方法外，增加了整体无损检测方法，可以按《建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》GB/T 36261-2018 规定的方法进行测试。

此外，在附录部分，给出了附录 A 太阳红外热能总透射比  $g_{IR}$  计算公式，附录 B 外窗规格、分格形式及玻璃规格，附录 C 各种玻璃典型结构及厚度以及真空复合中空玻璃传热系数 K 值计算方法。 $g_{IR}$  对行业技术人员来说还算是有些陌生的一个概念，附录 A 的给出，便于技术人员更深刻的理解  $g_{IR}$  的定义并掌握其计算方法，附录 B 有助于推动被动式建筑采用标准化的外窗和玻璃，有利于降低材料成本，并控制产品质量。附录 D 真空复合中空玻璃传热系数 K 值计算方法的给出，便于工程技术人员计算真空复合中空玻璃的传热系数，不需要同时参考多个标准。

#### 4 高性能玻璃的光热参数

由高性能节能玻璃的定义看出，高性能节能玻璃一定是具有“显著”的保温隔热效果，体现在具体的性能参数上面，应从传热系数 K 值、太阳能总透射比 g、遮阳系数 Sc、红外热能总透射比  $g_{IR}$  及可见光透射比  $T_v$  来加以控制。

本章节对部分高性能节能玻璃的参数做了举例计算，供大家参考。

表 1 部分高性能玻璃光热参数

玻璃结构	Low-E 类型	Low-E 玻璃辐射率 $\epsilon$	传热系数 K 值 W/ (m <sup>2</sup> ·k)	遮阳系数 Sc	太阳能总透射比 g	红外热能总透射比 $g_{IR}$	可见光透射比 $T_v$
双腔中空玻璃 6Low-E+12Ar+6+12Ar+6Low-E	单银+单银	0.072, 0.072	0.78	0.587	0.511	0.259	0.725
	三银+单银	0.021, 0.072	0.74	0.345	0.300	0.023	0.610
双腔中空玻璃 6Low-E+16Ar+6+16Ar+6Low-E	单银+单银	0.072, 0.072	0.76	0.587	0.511	0.259	0.725
	三银+单银	0.021, 0.072	0.72	0.344	0.299	0.022	0.610
三腔中空玻璃 6Low-E+12Ar+6Low-E+12Ar+6+12Ar+6	单银+单银	0.072, 0.072	0.69	0.533	0.464	0.233	0.659
	三银+单银	0.021, 0.072	0.639	0.315	0.274	0.021	0.555
真空复合单中空玻璃 6+12Ar+6Low-E+V+6	单银	0.103	0.64	0.520	0.452	0.279	0.593
	双银	0.055	0.52	0.400	0.348	0.121	0.557
	三银	0.021	0.41	0.347	0.302	0.036	0.615

真空复合双中空玻璃 6Low-E+12Ar+6Low-E+V+6+12A r+6	在线+在线	0.18, 0.18	0.58	0.523	0.455	0.344	0.517
	单银+单银	0.072, 0.072	0.41	0.517	0.450	0.213	0.659
	三银+单银	0.021, 0.072	0.40	0.309	0.269	0.018	0.555
双腔热镜膜中空玻璃 6白玻+9Kr+TC88+9Kr+6白玻	热镜膜	-	0.72	0.586	0.510	0.300	0.651

注：1. A-空气, Ar-氩气, Kr-氪气, V-真空, TC88-热镜膜, HM88-热镜膜, 如上数据为 WINDOW 7.3 软件计算所得。

2. 惰性气体含量按 90%计算。

## 5 高性能玻璃的舒适性分析

### 5.1 表面温度及防结露性能

在严寒的冬季，站在窗边，我们会感受到冷飕飕的风，身体有不舒服的感觉，这是“冷辐射”。但如果采用高性能的玻璃，这种冷飕飕的感觉会得以明显改善，主要是因为，采用高性能玻璃，保温性能更好，可以更好的隔绝室内外热量的传递，因此室内侧玻璃表面的温度较高，与室内空气的温差较小，冷辐射现象会得以改善。

下面对普通玻璃和高性能玻璃在不同的环境温度下分别进行计算，大家能够通过数据看到不同玻璃类型，室内侧玻璃表面温度的明显差异。（表 2）

表 2 普通玻璃和高性能玻璃在不同环境温度下室内测玻璃表面温度对比

玻璃结构	传热系数 K 值 W/ (m <sup>2</sup> ·k)	环境条件	室内表面温度	室内玻璃与空气 温度差
单腔中空玻璃 (普通玻璃) 6Low-E+12Ar+6	1.52	室外-20℃ 室内 20℃	12.6℃	7.4℃
		室外-10℃ 室内 20℃	14.5℃	5.5℃
双腔中空玻璃 6Low-E+12Ar+6+12Ar+6Low -E	0.74	室外-20℃ 室内 20℃	16.4℃	3.6℃
		室外-10℃ 室内 20℃	17.3℃	2.7℃
真空复合单中空玻璃 6+12Ar+6Low-E+V+6	0.52	室外-20℃ 室内 20℃	17.5	2.5℃
		室外-10℃ 室内 20℃	18	2℃

河北省地方标准《被动式低能耗居住建筑节能设计标准》（DB13(J)/T177-2015）中规定，室内温度宜为 20~26℃，围护结构内表面温度不得低于室内温度 3℃，门窗的室内一侧不出现结露现象。结合上述表格，只有部分高性能的玻璃能够达到要求，普通玻璃无法满足。

室内测玻璃表面的温度的高低，也是决定玻璃表面是否会结露的重要因素，当玻璃表面温度低于室内环境下（室内空气的温度和湿度）的露点温度时，玻璃表面就会结露，因此，在严寒的冬季，室内测玻璃温度表面越高越好。显然，高性能的节能玻璃，其表面温度要明显高于普通玻璃，更加接近室内温度，可有效避免结露现象的产生，提高舒适性。

## 5.2 隔声性能

高性能玻璃不仅仅具有优异的节能特性,还应具有良好的隔声特性,以提高环境舒适性。典型玻璃的计权隔声量  $R_w$  如表 3 所示:

表 3 典型玻璃的计权隔声量  $R_w$

玻璃类型	厚度 (mm)	玻璃配置	隔声量 $R_w$ (dB)
单腔中空玻璃 (普通中空玻璃)	20	5+9A+6	约 33
	24	5+12A+6	约 34
双腔中空玻璃	42	6+12A+6+15A+5	约 38
真空玻璃	10	TL5+V+5	约 37
真空复合双中空玻璃	38	T5+9A+TL5+V+T5+9 A+T5	约 40
中空+真空+夹胶复合玻璃	30.14	T5+9A+TL5+V+T5+1. 14PVB+T5	约 42

备注: 玻璃隔声量的计算较为复杂,如上表格仅供参考,具体数值应通过专业的测试设备来测试。

高性能玻璃一般被低能耗建筑所采用,低能耗建筑一般对室内环境会有具体的规定,例如,河北省地方标准《被动式低能耗居住建筑节能设计标准》(DB13(J)/T177-2015)中规定,卧室、起居室和书房的噪声要小于等于 30dB(A)。真空复合中空玻璃以及三玻中空玻璃隔声性能好于普通中空玻璃,如果需要进一步提高玻璃的隔声性能,采用夹胶玻璃是比较好的选择。此外,可以采用不等厚设计,来减少共振,以提高玻璃的隔声性能。

最后,希望更多的同行能够认识到高性能节能玻璃,也希望政府能够出台政策,鼓励高性能节能玻璃的推广和应用。期待超低能耗建筑在中国有良好和快速的发展,让老百姓住上既节能、又舒适的好房子,享受到高性能玻璃带来的舒适体验。

## 暖边间隔条如何影响玻璃和整窗的 K 值

作者：许海凤、李进

【建筑光学】公众号 2019.12.30 发布

前些天，在微信群中，行业专家对暖边是否会降低玻璃的 K 值，展开了热烈的讨论，现结合作者本人的工作经验，将该话题进行归纳总结，不妥之处，请大家指正。

### 1 什么是暖边间隔条

行业标准 JC/T 2453-2018 中规定，暖边间隔条（以下简称“暖边”）的定义为，由低热导率材料组成，用于降低中空玻璃边部热传导的间隔条。主要包括刚性暖边间隔条和柔性暖边间隔条。

标准中规定，暖边间隔条的暖边温差导热值应不大于 0.007W/K。

### 2 暖边如何影响玻璃 K 值

玻璃为整窗的重要组成部分，因此，玻璃的 K 值降低，可有效降低整窗的 K 值。在实际计算整窗 K 值时，选取的玻璃的 K 值为中心 K 值。而暖边的贡献无法体现在玻璃的中心 K 值上面，但暖边确实会降低玻璃的边部传热，进而缓解边部热桥和冷桥效应，减少边部结露现象。

### 3 暖边如何影响整窗的 K 值

在相同的玻璃结构和型材下，若玻璃边部采用暖边，可以减小边缘线传热系数，进而降低整窗的 K 值。

整窗传热系数计算原理见图 1，普通铝间隔条与暖边间隔条热工对比见图 2。

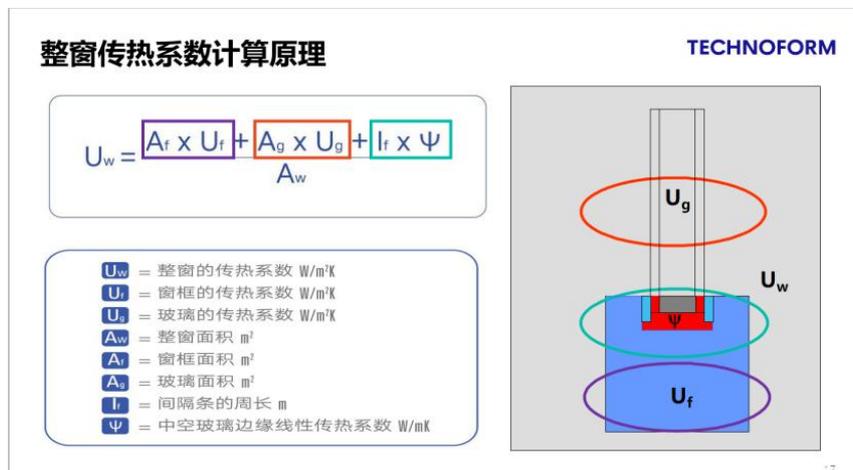


图 1 整窗传热系数计算原理（图片来源：泰诺风）

TGI-spacer M间隔条与铝间隔条热工对比 TECHNOFORM

铝间隔条 Aluminum Spacer	铝间隔条 Aluminum Spacer		TGI-Spacer M		TGI-Spacer Precision	
	玻璃 Glazing	双层中空玻璃 2 IG	三层中空玻璃 3 IG	双层中空玻璃 2 IG	三层中空玻璃 3 IG	双层中空玻璃 2 IG
中空玻璃边缘的ψ值 ψ value	0.100 W/mK	0.100 W/mK	0.049 W/mK	0.045 W/mK	0.036 W/mK	0.031 W/mK
整窗传热系数 U <sub>w</sub> 值 U <sub>w</sub> window	1.52 W/m²K	1.26 W/m²K	1.39 W/m²K	1.12 W/m²K	1.36 W/m²K	1.09 W/m²K
温度系数 f <sub>lin</sub> Temperature factor f <sub>lin</sub>	0.53	0.60	0.66	0.73	0.69	0.76
中空玻璃内表面温度 Surface temp. T <sub>int</sub> at +10°C, +20°C	8.3	10.1	11.5	13.3	12.4	14.1

$\psi_{Alu} - \psi_{TGI} = 0.100 - 0.049 = 0.051$

$\psi_{Alu} - \psi_{TGI} = 0.100 - 0.045 = 0.055$

双层中空玻璃中，TGI暖边间隔条和铝间隔条的线性传热系数之差为：0.051

三层中空玻璃中，TGI暖边间隔条和铝间隔条的线性传热系数之差为：0.055

图 2 普通铝间隔条与暖边间隔条热工对比举例计算（图片来源：泰诺风）

#### 4 中空玻璃传热系数 K 值计算小程序为什么不加暖边选项

由奥博泰公司开发的微信小程序于 2018 年 12 月 6 日正式上线。该小程序的功能为：通过输入玻璃结构：玻璃层厚度、气体间隔层厚度、Low-E 膜面位置、膜面辐射率值、间隔层惰性气体体积浓度，即可计算得到此结构下四个不同标准（中国、ISO、美国和欧洲标准）下玻璃的传热系数 K 值。

该小程序发布后，有很多做暖边的朋友咨询，为什么不能选择暖边结构？看了上面的分析，我想大家应该比较清楚了，该小程序计算的是玻璃的中心 K 值，和边部结构没有关系。还没关注该小程序的，可以通过扫描下方二维码关注：



中空玻璃传热系数 K 值计算小程序

#### 5 结论

暖边对整窗 K 值的降低会有所贡献，对缓解边部传热，缓解边部结露现象，会起到明显的作用。但实际参与计算时，标准中一般使用玻璃的中心 K，而暖边不会影响玻璃的中心 K 值。我们不容忽视暖边的作用，但应对暖边的贡献有清晰的概念。

本文抛砖引玉，不妥之处，请大家多多指正！

# 浅析环境温度对中空玻璃腔体厚度的影响

作者：王政阅、崔玉斌

【建筑光学】公众号 2019.8.9 发布

**摘要：**本文通过分析环境温度对中空玻璃腔体厚度变化的影响，得出结论中空玻璃中心区域腔体厚度在一定温度范围内与温度的变化呈线性正相关性。

**Abstract:** In this paper the conclusion was drawn that cavity thickness of IGU's central area has a linear positive correlation with the temperature in a certain range based on the analysis of the effect of ambient temperature on the cavity thickness of IGU.

**关键词：**环境温度 中空玻璃 线性正相关性

**Keywords:** Ambient temperature Insulating Glass Unit Linear Positive Correlation

## 1 引言

随着幕墙用中空玻璃的应用越来越广泛，中空玻璃的变形问题也变得越来越敏感和越来越突出。幕墙用中空玻璃的变形主要由幕墙施工安装工艺和玻璃自身变形两个因素造成。其中幕墙施工安装工艺的影响包括以下几点：（1）由于固定压块上紧固螺栓的松紧程度不同，不同工人安装时施加的应力不同，造成铝合金副框上固定压块与玻璃表面接触区域的受压情况不一样，如果固定压块的间距不一，变形将更加严重。（2）副框与主次龙骨之间的橡胶垫片硬度不够，在螺栓固定点施加了应力后，固定点的位置也会产生不平整现象。（3）龙骨安装时，如果同一主龙骨两侧的次龙骨进出位置不在同一面上，或者是两根主龙骨上下横龙骨不在同一进出面上，就会造成安装后不平整现象<sup>[1]</sup>。

而玻璃自身变形主要由系统变形和构件变形两部分造成。通常，我们可以将中空玻璃看作一个相对稳定、相对封闭、相对独立的玻璃系统，但对于幕墙用中空玻璃而言，这个玻璃系统就成为幕墙系统的一个构件，其稳定性、封闭性、独立性都将被打破。因此，对于幕墙用中空玻璃系统而言，其变形是一个动态过程，因为这种变形主要由中空玻璃腔体厚度的变化引起，所以对于已经服役的中空玻璃而言，其相对密封腔体的厚度将和幕墙用其他材料一样受到环境温度、环境气压、风荷载、雪荷载等自然因素的影响。因为上述因素对中空玻璃腔体厚度的影响具有波动性、叠加性、不确定性，所以本文将重点只对中空玻璃腔体厚度受环境温度的影响做一些讨论，文中讨论的内容将不考虑其他环境因素（气压等）、施工安装因素、构件自身变形等。

## 2 实验

### 2.1 样品制作

使用德国Byschonic中空玻璃生产线，在某一时间范围内，生产一组尺寸1000mm×1500mm样品，样品均采用丁基胶和结构胶的双道密封形式，样品类型包括CLR-D.Low-E-8+12A+CLR-8，CLR-D.Low-E-8+12Ar+CLR-8，CLR-S.Low-E-8+12A+CLR-8，CLR-S.Low-E-8+12Ar+CLR-8，CLR-D.Low-E-6+12A+CLR-6，所有样品均使用12A铝间隔条，其中CLR-D.Low-E-8表示8mm白玻基片上镀的双银Low-E玻璃，CLR-S.Low-E-8表示8mm白玻基片上镀的单银Low-E玻璃。

### 2.2 试验方法

合片后12小时，对所有中空玻璃样品表面的五个区域进行腔体厚度的监控测量。测量

区域为矩形中空玻璃对角线相交的中心区 P1，以及对角线上距离边部约 30mm 的方形角部区 P2、P3、P4、P5。测量仪器使用 GlassMeter 中空玻璃测厚仪，该仪器技术基于光学三角厚度测量原理，使用激光作为光源，线阵光电传感器进行反射光位置探测，测量结果稳定，分辨率能达到 0.01mm。

### 2.3 结果与讨论

通过若干温度点对应的中空玻璃腔体厚度测量值，绘制了两个变量的散点图。首先以样品 CLR-D. Low-E-8+12A+CLR-8 为例，从图 1 可以看出，中空玻璃中心区 P1 的厚度变化非常明显，在记录的温度范围内(-3℃~30℃)，P1 的厚度变化范围达到约 3.5mm，角部区 P2~P5 的变化在 0.4mm 左右。结合环境温度对样品中心区 P1 的厚度变化数据，考虑到试验本身只讨论温度变化的影响，所以对中心区 P1 对应的数据进行一元线性拟合。从结果可以看出，作为响应变量的样品腔体厚度与自变量温度间线性正相关，线性相关性极强，消除自变量个数影响的 R<sup>2</sup> 修正值为 0.9365，相关系数 r 为 0.9677，从回归方程看，在上述温度范围内，温度每变化 10℃，中空玻璃腔体厚度变化约 0.95mm。

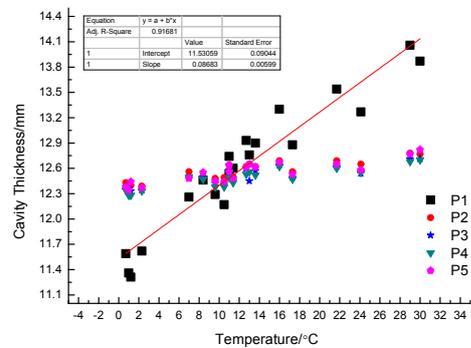
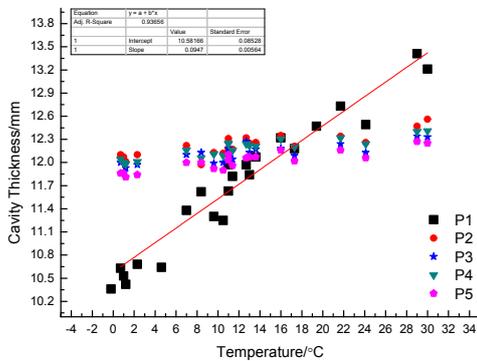


图 1 双银中空玻璃样品腔体厚度随温度变化趋势 图 2 双银充气中空玻璃样品腔体厚度随温度变化趋势

利用同样方法分析 CLR-D. Low-E-8+12Ar+CLR-8 充气中空玻璃样品，从图 2 可以看出，中空玻璃中心区 P1 的厚度变化仍然非常明显，在记录的温度范围内(-3℃~30℃)，P1 的厚度变化范围达到约 3.2mm，角部区 P2~P5 的变化也在 0.4mm 左右。中心区 P1 对应的数据进行一元线性拟合后，作为响应变量的样品腔体厚度与自变量温度间也是线性正相关，线性相关性极强。同时，计算得到消除自变量个数影响的 R<sup>2</sup> 修正值为 0.9168，相关系数 r 为 0.9575，从回归方程看，在上述温度范围内，温度每变化 10℃，中空玻璃腔体厚度变化约 0.87mm。

对于常温常压下的气体，可根据理想气体方程  $pV=nRT$  计算气体体积随温度的变化，因为环境温度变化是中空玻璃腔体内气体温度变化主要原因，所以可以确定环境温度与中空玻璃腔内气体体积存在着正向相关的联系。但中空玻璃的内外片玻璃受结构胶约束，所以体积的变化在中空玻璃中部区域由腔体厚度(或由外部反射影像的变形程度)直观显现出来。

对比图 1 和图 2 中的拟合曲线可以看出，普通中空玻璃中心区腔体厚度随温度变化的幅度比充气中空玻璃的稍明显一些，也就是拟合的直线更陡一些。这可能与空气与氩气导热能力有关，在一定温度区间空气的导热系数要高于氩气，所以相同环境温度下，充气中空玻璃的腔体温度的变化更迟缓些，腔体厚度的变化也相应小一些。

另外，对比两个线性回归方程的截距发现，充气中空玻璃的腔体厚度普遍比不充气中空玻璃的大近 1mm。因此，将 CLR-D. Low-E-8+12A+CLR-8 和 CLR-D. Low-E-8+12Ar+CLR-8 两个样品中心区 P1 的数据做进一步比较做出图 3 的散点图。可以看出，从样品制作好以后，一直到跟踪温度变化对腔体厚度的影响，充气中空玻璃的中心区腔体一直比普通中空玻璃更加凸起。

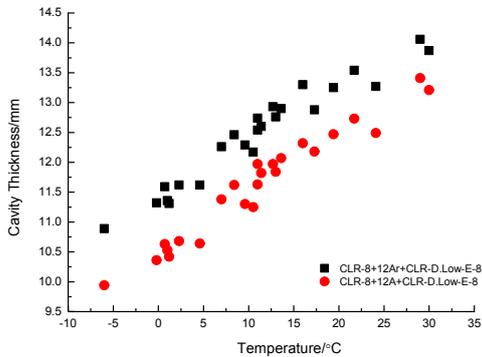


图3 充气样品与普通样品 P1 区腔体厚度变化对比

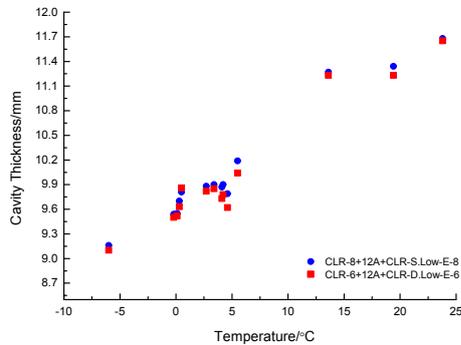


图4 不同类型中空玻璃样品 P1 区腔体厚度变化对比

考虑到空气和氩气中水气含量的差异，生产样品时的环境为温度约  $T=13^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度约  $\Phi=80\%$ ，查表可知该温度下水的饱和蒸气压为  $P_{sb}=1.498\times 10^3\text{Pa}$ ，按照天津地区的海拔，生产过程的大气压力基本稳定在  $1\text{atm}=101.325\times 10^3\text{Pa}$ ，根据公式  $d=622\cdot P_s/(P-P_s)$ ，其中  $P$  为大气压力(单位为 Pa)， $P_s$  为水蒸气分压力(Pa)，可以计算生产过程中空气中的含湿量  $d=7.44\text{g/kg}$  干空气= $9.22\text{g/m}^3$  干空气，根据该状态下水蒸气的密度，可以估算出水蒸气的体积比约占 7%。因此，分子筛对中空玻璃密封腔体内水蒸气的吸收是腔体产生收缩的原因之一。

从 CLR-S.Low-E-8+12A+CLR-8 和 CLR-D.Low-E-6+12A+CLR-6 两组不同类型样品 P1 区的数据比较可以发现，腔体的厚度变化受玻璃厚度的影响相对较小，受膜层的影响也相对较小，主要影响因素就是腔体内空气的温度，当膜片玻璃二次热辐射有利于腔内空气升温时，腔体的膨胀将更加明显。

### 3 结论

本文从环境温度的角度简单分析了中空玻璃腔体厚度随温度变化发生的膨胀收缩现象，在玻璃尺寸和温度范围相对固定的条件下，中空玻璃中心区域腔体厚度与温度呈现极高的线性正相关性。

#### 参考文献

[1] 陈文南. 玻璃幕墙版面不平整产生的原因及解决办法[J]. 安徽玻璃, 2014(1)

#### 作者简介

王政阅 (Wang Zhengyue)，男，工程师，硕士研究生，工作单位：台玻天津玻璃有限公司，地址：天津市静海经济开发区天宇科技园泰安路 5 号，E-mail: 3106141@qq.com。

# 关于仪器校准的那些事

作者：武文杰

【建筑光学】公众号 2019.11.29 发布

在经过长时间的工作与生活后，我们的身体可能会或多或少的出现一些毛病，而有些毛病我们自身是无法察觉的，所以很多单位都会定期组织员工去医院进行全面体检，检查的结果会在体检报告单上详细列出来，然后我们可以根据体检报告单对症下药。与人体类似，仪器在使用一段时间后，也会出现或多或少的误差，所以要定期的对仪器进行校准，将校准结果在校准证书上呈现出来，然后我们可以根据校准证书对仪器进行相应的调整。上文中提到了校准，那么什么是校准？为什么要进行校准？应该怎样进行校准活动呢？让我们接着往下看。

## 1 什么是校准？

校准的定义为：在规定条件下，为确定计量器具示值误差的一组操作。它通常是指在测量设备上标记刻度，或计算出仪器偏离标准的程度，值得注意的是校准活动并不进行合格性判断。2013年3月份，国务院发布了《计量发展规划（2013-2020年）》，该文件提出了计量发展的量化目标，对包括校准规范在内的计量标准与国家标准物质的制定提出了要求，体现了国家对校准等计量活动的重视与支持。校准真的那么重要吗？让我们接着往下看。

## 2 为什么要对仪器进行校准？

仪器在工作过程中受到诸多因素的影响，导致仪器的测值会随时间变化而发生漂移，而校准就是及时发现这种漂移，保证生产质量。以光学仪器为例，光学仪器通常是光学、机械、电子三种要素的综合体，很多都属于精密仪器的范畴。首先，温度会对仪器产生影响，由于仪器各部分的材料随温度的热膨胀不同，导致仪器各部分不可避免的发生变形，影响仪器的性能，在很多的情况下，温度已成为影响仪器性能的主要因素。其次，偏高的湿度也会影响仪器的测值，工业生产过程中，为了防止静电对人体和仪器造成伤害，通常会对车间进行一定程度的加湿，而对于某些精密的光学仪器来说，并不适合在这样的环境中运行，除了会使仪器电路发生故障外，空气中的水汽也会在光学镜头上凝结，使镜头透光率降低，影响仪器的测值。除此之外，空气中的灰尘、工作环境中的振动、机械部件油脂的挥发、微生物的繁殖等因素都会影响光学仪器的性能，这里不再赘述。

仪器工作环境与工作过程中有太多的因素都会影响仪器的性能，而很多情况下，肉眼是无法察觉仪器性能变化的，或者当仪器出现肉眼可见的性能变化时，该仪器已经对企业造成了大量的损失。芬兰斯巴莱克公司的 Jolkkonen 先生经过多年的统计分析后指出：没有经过年度校准和维护的质量控制设备，其测量准确度显著下降，可能导致企业的隐形成本和风险增加十倍。所以对仪器进行及时的校准非常重要，仪器校准的重要性主要体现在以下方面：

### 2.1 保证产品质量

质量是一个永恒的话题，仪器校准是产品质量最基础的保障。一个企业要想提升产品质量必须首先抓好仪器校准管理，仪器校准管理是企业生产和经营管理中一项不可缺少的技术基础。

### 2.2 降低成本

从长远来看，校准可以减少高昂的“错误成本”。如图1所示，实际的错误成本包括一般错误计算成本（维修工作，损失和回收）与错误中所隐藏的成本（交货问题，形象受损，加班，未利用的生产能力，增加的生产成本，订单的损失，计划延后，员工流动）。发现仪器测量不准确时，我们通常不得不停止和重新启动进程，而发现这些不准确的地方所花费的时间越长，错误的代价就越大。



图1 实际错误成本

### 2.3 提高安全性

任何生产过程与产品使用过程首先考虑的就是人员与仪器的安全。仪器微小的变化可能带来较大的安全隐患，而通过校准活动，可以在很大程度上提高安全性。

### 2.4 仪器的无故障时间延长

随着时间的推移，任何测量装置的准确度都会下降，图2是Jolkkonen先生的统计数据，当设备在过去的12-18个月里未接受校准服务，设备的测量准确度会降低50%，如果24个月里未接受校准服务，设备测量的准确度有可能会降低100%。对仪器进行及时的校准，可以及时发现并解决问题，使仪器有更长时间的无故障“服役期”。

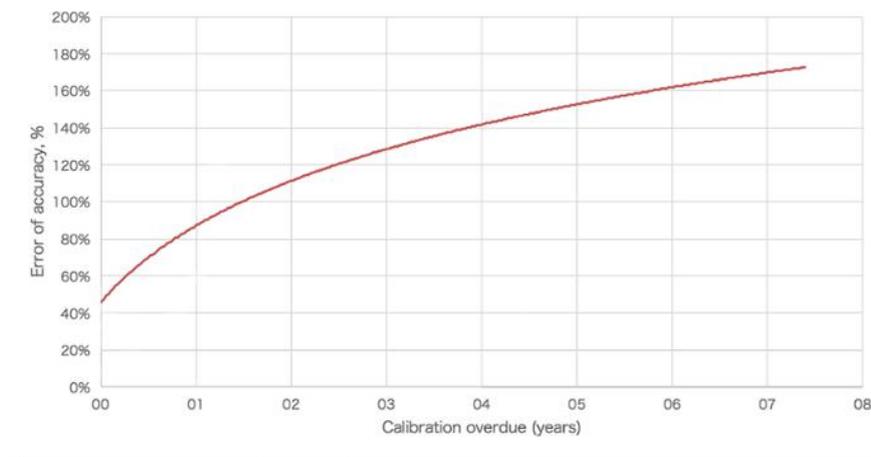


图2 逾期校准对准确度的误差的影响

## 3 如何进行校准

对于有校准规范的仪器，校准过程应遵循校准规范中的相关规定，将可溯源的外部标准（通常是国家标准样品或标准物质、计量基准仪器）的标准值与仪器的测得值相比较，得到仪器的示值误差。例如，我们要对北京奥博泰科技有限公司的GlasSpec2500节能玻璃光热参数综合测试仪进行校准（仪器外观见图3），该仪器可测玻璃的可见光透反射比、太阳光直接透反射比等光学参数。目前有该类仪器专用的校准规范：JJF（建材）153-2018《建筑玻璃用分光光度计校准规范》，根据校准规范中的规定，选择GSB 02-3411《低辐射镀膜玻璃（Low-E玻璃）光热参数标准样品》、GSB 02-3413《镀膜玻璃可见光反射比标准样品》、GSB 02-3414《镀膜玻璃可见光透射比标准样品》作为校准用标准样品，标准样品外观见图4。根据校准规范中的方法对仪器进行校准，并出具校准证书。



图 3 GlasSpec2500 节能玻璃光热参数综合测试仪



图 4 GSB 02-3411、GSB 02-3413 与 GSB 02-3414 标准样品

对于没有校准规范的仪器，首先应选择正确的溯源标准，然后依据满足顾客需要的国际标准、国家标准、行业标准中的方法，或依据检定规程中的相关部分，或依据由设备制造商指定的方法对仪器进行校准，得到仪器的示值误差并出具校准证书。例如，我们要对北京奥博泰科技有限公司的 SGT-3 安全玻璃透射比测定仪进行校准，仪器外形图见图 5，该仪器可测汽车玻璃或其他安全玻璃、夹层玻璃、调光玻璃的等产品的可见光透射比，目前没有此类仪器的校准规范。选择适用于被校仪器的有证标准样品或由计量基准器具标定的有标准值的标准样品作为校准用安全玻璃标准样品，标准样品或计量基准器具应溯源至 GB/T 5137.2 《汽车安全玻璃试验方法 第 2 部分：光学性能试验》与 ISO 3538 《道路车辆 安全玻璃材料 光学性能试验方法》，被校仪器按照 GB/T 5137.2 中的试验方法对标准样品进行测试，得到仪器示值误差并出具校准证书。需要注意的是，对于没有校准规范的仪器，一定要正确的选择溯源标准，否则会給生产活动带来很多未知的隐患。



图 5 SGT-3 安全玻璃透射比测定仪

获得校准证书后，我们可以根据校准证书中的示值误差决定要不要调整仪器、调整仪器的哪些部分、怎样调整仪器、由企业内部人员调整还是由厂家调整，如果仪器不能通过调整而恢复性能，

则应购置符合生产要求的仪器以保证生产质量。

#### 4 什么时候进行校准？

这个问题不能一概而论，应随仪器、环境和应用的不同而有所不同。

(1) 根据用户合同、行业规定、相关标准的规定，对仪器进行周期性的校准。例如 JJF（建材）153-2018《建筑玻璃用分光光度计校准规范》中明确规定复校时间间隔不超过 1 年。

(2) 新仪器投产后，工程师对新产品进行特征分析后进行校准，得到仪器的运行状态，以确保新仪器满足技术要求。

(3) 怀疑测量错误，或者仪器过载或跌落时。通过校准确认仪器工作是否正常，例如：仪器跌落时可能会造成内部线路与外壳接触，应及时通过校准来发现并排除问题。

#### 5 我们所做的努力

仪器的校准活动已经成为国家经济的重要技术基础，北京奥博泰科技有限公司一直致力于校准体系的构建与完善，目前已发布的校准规范有 2 项，4 项校准规范即将发布，2 项校准规范正处于起草阶段。另外，已发布的国家标准样品有 4 项，2 项国家标准样品正处于立项阶段。已发布的校准规范与国家标准样品如下：

- (1) JJF（建材）153-2018 建筑玻璃用分光光度计校准规范。
- (2) JJF（建材）154-2018 建筑玻璃用便携式测色仪校准规范。
- (3) GSB 02-3411-2017 低辐射镀膜玻璃（Low-E 玻璃）光热参数标准样品。
- (4) GSB 02-3412-2017 太阳能电池用超白压花玻璃太阳光有效透射比标准样品。
- (5) GSB 02-3413-2017 镀膜玻璃可见光反射比标准样品。
- (6) GSB 02-3414-2017 镀膜玻璃可见光透射比标准样品。

# 为什么通用测色仪不一定对建筑玻璃“通用”

作者：吴筱

【建筑光学】公众号 2019.1.26 发布

## 1 玻璃颜色的形成

光在经过一片玻璃时是这样传播的：

入射光中的一小部分（约 4%）在玻璃前表面发生规则反射，产生光泽；同时，入射光中的大部分在玻璃表面发生折射后进入玻璃内部，成为规则透射光。规则透射光被玻璃微粒折射和选择性吸收后光谱成分改变，小部分光被玻璃后表面反射回到玻璃内部，再透过前表面回到空气中，大部分光透过后表面出射。

由此可见，玻璃的反射颜色不仅与玻璃内、外表面的反射特性相关，也受到玻璃本体透射颜色的影响。

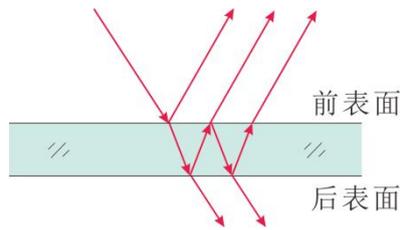


图 1 光在玻璃表面的规则反射和内部的规则透射

## 2. 通用测色仪为什么不一定适用于建筑玻璃？

目前广泛使用光谱光度测色法测量物体颜色，相应的仪器直接测量样品的光谱透射比和光谱反射比，按 CIE 推荐的标准照明体和标准观察者条件计算得到相对色刺激函数，再按颜色公式计算得到透射、反射颜色。

通用测色仪主要用于测量纸张印刷品、建筑涂料、汽车内饰等不透明材料的漫反射颜色。与这些材料不同，建筑玻璃由于通常承担着采光的功能，具有很高的可见光透射比，故其颜色与各片玻璃表面反射特性和玻璃本体透射特性相关。也就是说，必须准确测出其光谱透、反射比才能有效测量建筑玻璃的颜色。为此，仪器必须能接收到光经建筑玻璃各表面直接反射和多次反射后的透射光、反射光信号。

以  $8^\circ$  : de 测量几何条件为例，通用测色仪的内部光路示意图如下，照明光束以  $8^\circ$  入射角照射被测样品表面，被反射回积分球测量孔内，经积分球内壁多次漫反射后进入光电探测器。可见，当被测样品到积分球口超过一定距离 H 时，其表面反射信号将不能被有效接收。

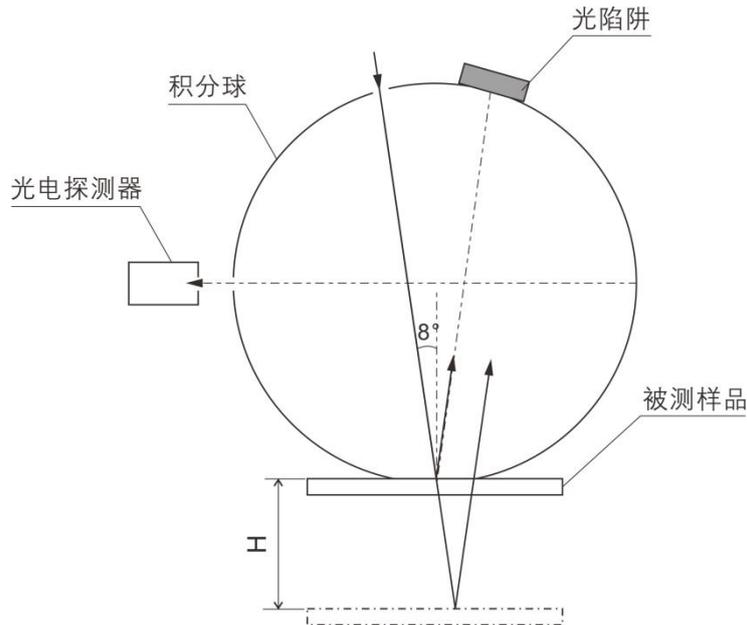


图2 通用测色仪的反射测量光路示意图

举例来说，按积分球内径 150mm、测量孔直径 25mm 计算，当 H 超过 44.47mm 时，积分球就无法有效接收到该样品的反射光信号。对于积分球测量孔直径小于 25mm 的仪器，相应的 H 会更小。所以说，通用测色仪不适合测量多片玻璃，特别是厚度较大的中空玻璃。

-----分割线-----

此外，采用通用测色仪测物体反射颜色时，校准时参比标准板紧贴积分球测量孔放置，测量过程中被测样品也需紧贴积分球测量孔。建筑玻璃通常由两片或两片以上玻璃构成，当一侧紧贴积分球口时，另一侧必然距离积分球测量孔较远，这会给测量结果带来一定误差（可以采用相应措施修正测量结果）。

综上所述，通用测色仪不一定对测量建筑玻璃通用。

### 3 建筑玻璃颜色测量，有专用的仪器吗？

当然有。

能够准确测量建筑玻璃颜色的光谱光度测色仪器必须满足以下条件：

- (1) 建筑玻璃通常具有规则透射和规则反射特性，仪器应能测量透射颜色和反射颜色；
- (2) 光路结构满足适用于玻璃的规则透射、反射几何条件——透射测量为垂直入射/垂直接收，反射测量为  $8^\circ$  照明/ $8^\circ$  接收；
- (3) 对于常见规格的建筑玻璃，能探测到经各表面直接反射和多次反射后的光信号；
- (4) 仪器的测量误差、测值重复性等性能参数应满足相应规定。

不仅如此，采用规则透射、规则反射几何条件测量颜色时，只要样品各表面反射信号均能被探测到，样品表面距积分球的距离对测量结果几乎不产生影响。

下面两图分别是光谱光度测色法透射测量装置和反射测量装置的示意图。

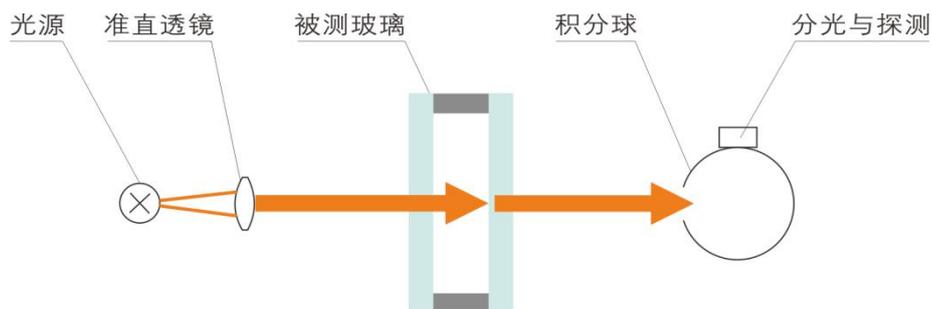


图3 光谱光度测色法透射测量装置示意图

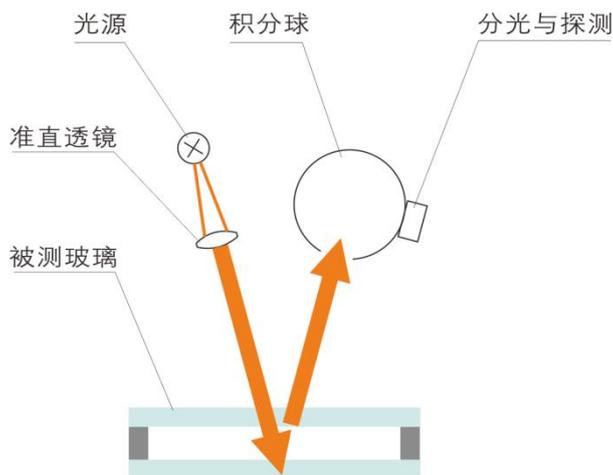


图4 光谱光度测色法反射测量装置示意图

相应的仪器大家都不陌生，就是 GlassQ 3000 手持式宽光谱测色仪——专用于测量建筑玻璃规则透射、反射颜色的神器。仪器的透射测量几何条件为垂直入射/垂直接收，反射测量几何条件为  $8^\circ$  照明/ $8^\circ$  接收，并根据被测玻璃表面多次反射的光计算透射、反射颜色。仪器符合标准 GB/T 3977、GB/T 3978、GB/T 2680。能够快速测量并直读色坐标  $Y_{xy}$ 、 $L^*a^*b^*$ 、色差、光谱曲线等颜色参数，可以通过下面的小视频了解它~



扫描二维码观看仪器视频

# 为什么要对于质量控制设备进行 年度校准和保养服务

作者：芬兰斯巴莱克

【建筑光学】公众号 2019.6.28 发布

随着高性能节能玻璃的推广，越来越多的同行关注节能玻璃是否充惰性气体，含量是多少以及如何无损检测？目前无损检测惰性气体含量的方法包括等离子发射光谱法和可调谐半导体激光法，两种方法均是基于光学原理，可以快速、无损检测中空玻璃腔体中的惰性气体含量。目前，基于这两种检测方法的检测仪器已经在全球推广使用，在使用中由于条件的变化以及仪器自身测量数据的偏差，需对仪器进行严格的定期维护，其测值的准确性值得使用者特别关注。

以下是来自芬兰斯巴莱克公司的专业人士为大家介绍为什么质量控制设备要进行年度校准和保养。

SPARKLIKE CARE AND CALIBRATION, INTERVIEWS, QUALITY CONTROL

斯巴莱克校准服务，访谈，质量控制

This blog post was written based on an interview with M.Sc. (Chem.) Santtu Jolkkonen, Sparklike's Service and Maintenance Manager, who has been working as technical support specialist for Sparklike over a decade. The topic was centered around the question why should quality control equipment be serviced regularly. In order to find compelling argumentation to this question, Mr. Jolkkonen used analysis data that clearly showed an important decline in the measurement accuracy for quality control devices that had not gone through annual calibration and maintenance. Furthermore, Mr. Jolkkonen made important reference to the popular concept of The Rule of Ten, according to which improper maintenance of quality control equipment can lead to hidden costs and risks to multiply by 10-fold.

此篇博文基于对芬兰斯巴莱克有限公司维护服务经理 Santtu Jolkkonen 先生的访谈所撰写。Jolkkonen 先生在芬兰斯巴莱克有限公司作为技术支持专员服务已有十多年。这个话题围绕着为什么要对质量控制设备做定期的校准和维护。为了找到对于这一问题令人信服的论证，Jolkkonen 先生提供了其多年来积累的分析数据，清楚地显示了没有经过年度校准和维护的质量控制设备其测量准确度显著下降。此外，Jolkkonen 先生还重点提到了《十倍法则》，根据这一概念，质量控制设备的不当维护可能导致隐形成本和风险增加十倍。



Figure 1. Santtu Jolkkonen, Service and Maintenance Manager

图 1. Santtu Jolkkonen 先生，维护服务经理

"In order to better understand the need for annual calibration for any equipment, let alone for devices that are used daily for quality control, a good starting point is to compare the device's measurement accuracy before and after the device has undergone appropriate calibration and maintenance service." Mr. Jolkkonen says.

“为了更好地理解对任何设备进行年度校准和保养的必要性，更不用说每天都要用的质量控制设备，一个很好的起点是对设备进行对比试验，即设备在被合理校准和保养服务之前与之后设备的测量准确度” Jolkkonen 先生说。

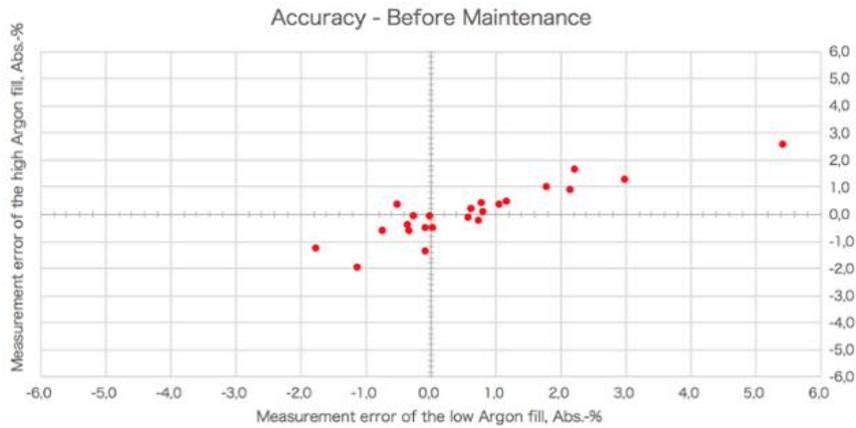
As can be seen from the graphs number 1 and 2 below, the device's measurement accuracy and precision increase significantly after its maintenance and re-calibration. The results are from 25 Sparklike Handheld™ devices for which Mr. Jolkkonen performed calibration and maintenance service. These devices have been developed to analyze insulating glass gas fill without breaking the insulating glass unit (IGU).

从下列图 1 和图 2 可以看出，设备测量的准确度和精度在经过维护和校准后得到很大的提升。这些是 Jolkkonen 先生对 25 台 Sparklike 手持式惰性气体分析仪™执行了校准和维护服务后所记录的结果。这些设备是专为分析充气中空玻璃间隔层内惰性气体含量而研发的，检测过程无需破坏中空玻璃结构。

"By observing the graphs below, it's clear that the amount of the errors and how much device's maintenance is overdue, are almost directly proportional. However, the direction of the error is not linear. In other words, the error could be +1 % today and -1,5 % next week", Mr. Jolkkonen says. "It's clear that the accuracy and precision of the measurements are key elements when evaluating product quality," he concludes.

“通过观察以下图示，可以非常清晰地看到误差值和设备维护是否过期是直接成比例的关系。然而，误差的趋势并非线性。换句话说，误差今天可能是+1%，下周可能是-1.5%” Jolkkonen 先生说，

“很明显，测量的准确度和精度在评估产品质量时是关键要素”他总结道。

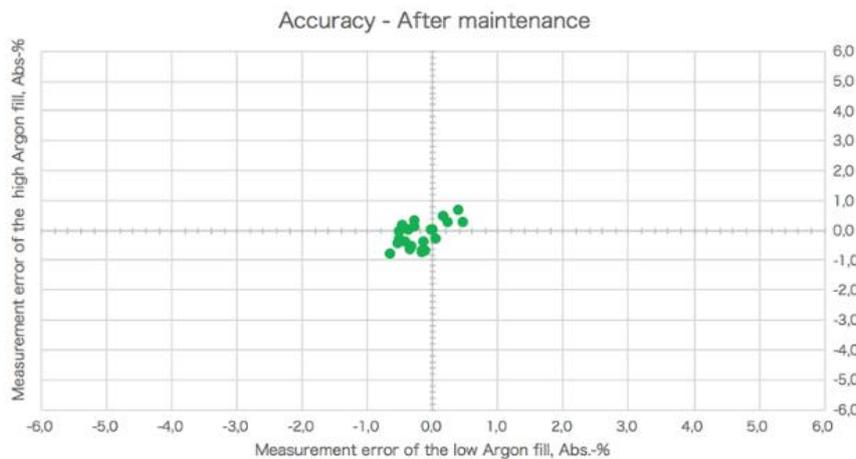


**Accuracy -Before Maintenance: 准确度 - 维护前**

**Measurement error of low Argon fill :** 在低氩气含量时，测量误差，绝对值-%

**Measurement error of high Argon fill:** 在高氩气含量时，测量误差，绝对值-%

图 1.设备维护和校准前的测量准确度



**Accuracy -After Maintenance: 准确度 - 维护后**

**Measurement error of low Argon fill :** 在低氩气含量时，测量误差，绝对值-%

**Measurement error of high Argon fill:** 在高氩气含量时，测量误差，绝对值-%

图 2. 设备维护和校准前的测量准确度

"Like any other measurement device, also Sparklike devices™ allow reference measurements with the goal of adjusting the measurement results by using calculated coefficient figures. However, it is important to remember that this will lead to reduced measurement accuracy due to the lack of reproducibility and repeatability of the measurement results. That is, if the device does not undergo proper annual maintenance. This is partly caused by the fact that instrumental analysis devices contain multiple wear and tear parts that require annual revision. In the case of Sparklike Handheld™ devices, this means the replacement of oxygen filters, optical fiber and electrodes. When left unrevised, this can cause severe deficiencies in measurement accuracy," Mr Jolkkonen continues.

“如其他检测设备一样，Sparklike 分析仪™允许参考测量，目的是通过计算协同系数来调整测量结果。然而，有一个重点需要记住的就是，由于测量结果缺乏复现性和重复性，将导致测量精度降

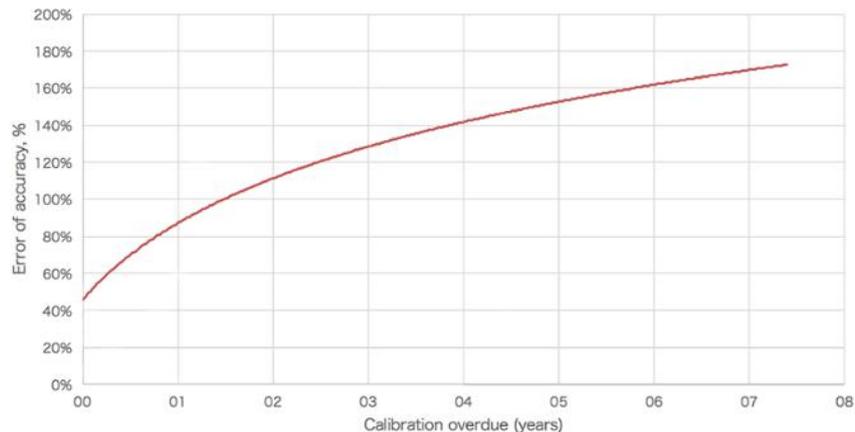
低。也就是说，如果设备没有经过适当的年度保养和校准。造成这种情况的部分原因是检测设备含有多个磨损部件，需要每年进行修正。对于 Sparklike 手持式惰性气体分析仪™来说，这意味着更换氧气过滤器，光学光纤和电极。如果不对它们进行及时修正，可能会导致测量精度远远达不到要求” Jolkkonen 先生继续说道。

In addition, in order to gain further understanding what neglecting to ensure proper calibration and maintenance to your quality control equipment can cause, it's important to observe what happens to the device measurement accuracy over time.

另外，为了进一步地了解由于忽视所使用的质量控制设备正确的校准和维护可能导致的后果，观察设备随时间变化测量的准确度和精度情况很重要。

Looking at the graph number 3, it quickly becomes evident how profound effect annual maintenance has on instrumental analysis devices. "When the device has not been services for the last 12 to 18 months, device's measurement accuracy reduces by 50%. More alarmingly, if the annual calibration is overdue by 24 months, the device measurement accuracy can be reduced by even 100%, " Mr. Jolkkonen summarizes.

从图 3 可以看出，很快就能发现每年的维护对检测设备有着深远的影响。“当设备在过去的 12-18 个月里未接受校准保修服务，设备的测量准确度会降低 50%。更令人担忧的是，如果年度校准保养服务逾期 24 个月，设备测量的准确度有可能会降低 100%” Jolkkonen 先生总结道。



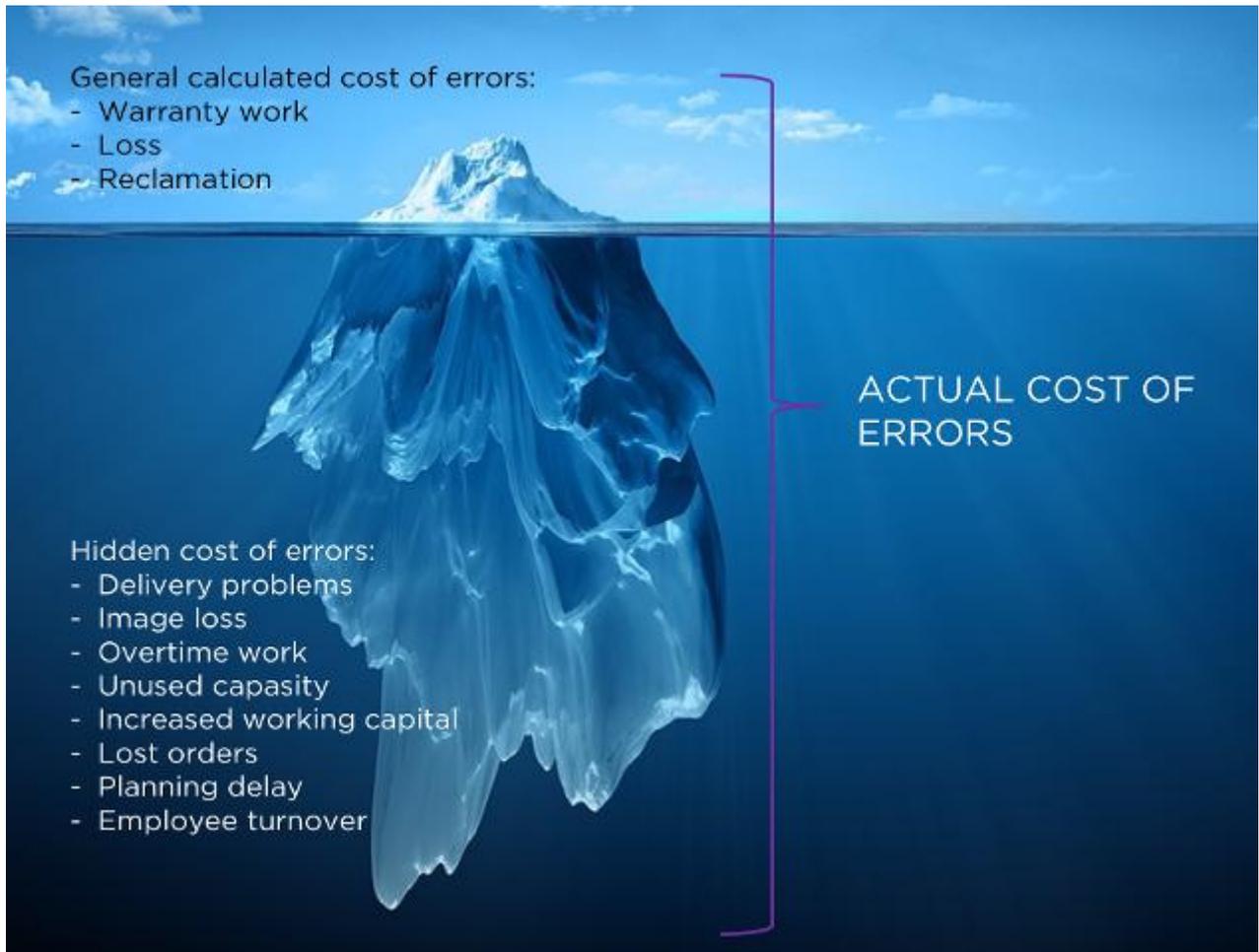
Calibration overdue: 准确度误差, 单位: %

Error of accuracy: 校准逾期时间(单位: 年)

图 3. 逾期校准对准确度的误差的影响

Another equally important reason for annual calibration and maintenance of quality control devices is avoiding the hidden costs and risks associated to imperfect production quality measures. "In the past, insulating glass manufacturers might have hesitated on using their resources to acquire comprehensive quality control equipment. However, it's important to realize that these hidden cost and risks associate to improper production quality processes are much greater than the cost of quality equipment itself, " Mr. Jolkkonen says. The following figure number 2 clearly demonstrates how much of the actual costs are due to the hidden cost of errors.

每年对质量控制设备进行校准和维护的另一个同样重要的原因是避免与不完善的生产过程控制措施相关的隐形成本和风险。“在过去，中空玻璃深加工企业可能在购买综合质量控制设备方面犹豫不决。然而，重要的是意识到这些与不适当的生产过程控制相关的隐形成本和风险远远大于质量控制设备本身” Jolkkonen 先生说。下面的图 2 清晰地展示了实际成本中有多少是由于错误的隐藏成本造成的。



一般计算错误成本：保修工作，损失和回收

错误中所隐藏的成本：交货问题，形象受损，加班，未利用的生产能力，增加的生产成本，订单的损失，计划延后，员工流动

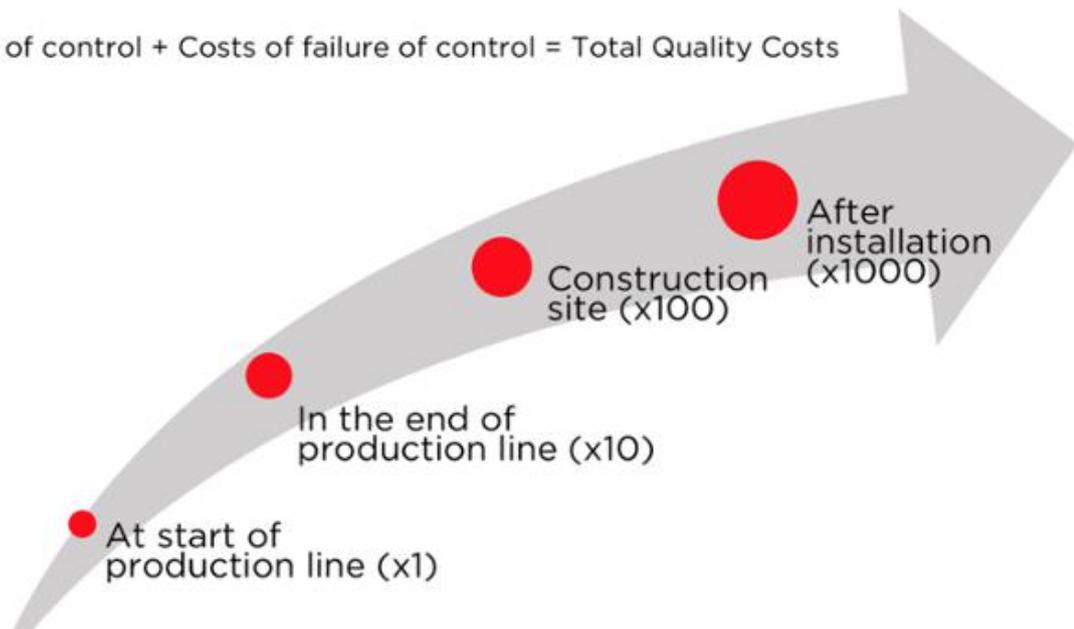
错误的实际成本

图 2. 实际的错误成本包括一般计算错误成本和错误中所隐藏的成本

Furthermore, as can be seen from the figure number 3 below, at every step of the supply chain, the costs and/or risks due to poor quality multiply in 10-fold. Once a low-quality product moves forward in the supply chain, the costs due to production errors multiply 10-folds. This phenomenon is known in the literature as The Rule of Ten.

此外，从下面的图 3 中可以看出，在供应链的每一步中，由于质量差导致的成本和/或风险都是原本的 10 倍。一旦低质量的产品进入供应链并向前段移动，由于生产错误造成的成本就会增加 10 倍。这种现象在文献中被称为“十倍法则”。

Costs of control + Costs of failure of control = Total Quality Costs



Cost of control + cost of failure of control = total quality costs

控制成本 + 控制失败成本 = 总质量成本

At start of production line, in the end of production line, construction site, after installation

在生产线开始, 在生产线尾端, 施工现场, 安装完成

Figure 3. The multiplication of total quality costs and/or risks at every step of the supply chain

图 3. 总质量成本和/或供应链每一步风险的倍增关系

The total quality cost is a sum of the costs of control and the costs of failure of control. In the above figure, the supply chain includes steps starting from the beginning of the production line all the way until the installation of the windows has been done. At this point, the risks and/or costs are already 1000 times greater than in the beginning.

总质量成本是控制成本和控制失败成本的总和。上图中，供应链包含了从生产线开始直到门窗安装完成。此时，风险和/或成本已经是开始时的 1000 倍。

"In the end of the day, every company is as good as the quality of their devices and services. Therefore, I find it hard to believe that any company would voluntarily give competitive advantage to their competition due to their improper quality management," Mr. Jolkkonen concludes.

“在今天，每家公司所有设备和提供的服务质量都一样好。因此，我很难相信任何一家公司会因为质量管理不当而自愿将其竞争优势交给对手” Jolkkonen 先生得出这样的结论。

作者：芬兰斯巴莱克有限公司 维护服务经理 Santtu Jolkkonen

翻译：芬兰斯巴莱克有限公司 上海代表处 胡湘春

## 中空玻璃测厚仪的隐藏玩法

作者：吴筱      【建筑光学】公众号 2019.6.14 发布

GlassMeter100 中空玻璃测厚仪是专用于中空玻璃结构测量的仪器，不仅能测普通中空玻璃，双 Low-E 三玻两腔也不在话下，而且只需从一侧就能测出完整结构，能分辨出每一片玻璃和中空腔的厚度。它小巧便携、测量快速，特别适合对已安装建筑玻璃进行现场测量，而且具有很高的测量精度。



图1 测量三玻两腔中空玻璃



图2 测量窗玻璃

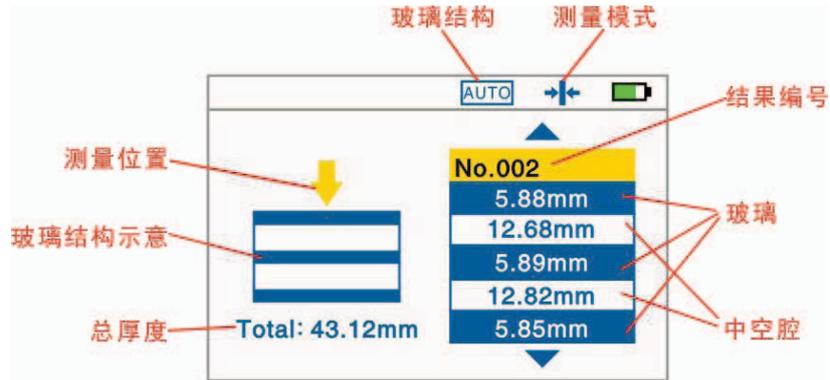


图3 测量结果显示得清楚又直白~

这些我们都知道啦，还有什么隐藏玩法吗？

为了发掘 GlassMeter100 的隐藏玩法，我们做了三个实验。

## 1 实验一

将一块 1200×700mm 的 6Low-E+12A+6 的中空玻璃样品放在室内、室外，测量不同温度条件下的中空腔中部、左右边部厚度变化，数据见表 1。

表 1 不同温度条件下的中空腔厚度

编号	环境	气温	中空腔不同位置的厚度 (mm)		
			左边部	中间	右边部
1	室内	17℃	11.64	10.92	11.55
2	室外	-4℃	11.27	9.04	11.21
3		-2℃	11.26	9.04	11.20
4		-3℃	11.27	9.01	11.11

由表 1 可以看出，在近 20 度的温差下，中空腔中部厚度变化明显，达到 1.9mm，左、右边部厚度也发生了变化，但由于边部距间隔条只有约 30mm 的距离，其厚度变化量最大只有不到 0.4mm。说明在一定的温度条件下，可以通过测量中空腔的厚度及变化量来判断中空玻璃的密封是否完好。

## 2 实验二

用仪器在不同时刻对四块已安装的中空玻璃进行了中空腔厚度测量，这四块玻璃中 1#、2#密封完好，3#疑似密封失效，4#密封完全失效。每两小时测一次，测试数据见表 2，中空腔厚度随时刻（温度）变化的曲线如图 4 所示。

表 2 已安装中空玻璃在不同温度下的中空腔厚度

时刻	中部厚度与边部平均厚度的差值 (mm) (均无日照)			
	1#中空玻璃	2#中空玻璃	3#中空玻璃	4#中空玻璃
06:00	-0.78	-0.11	-0.26	-0.26
08:00	-0.75	-0.11	-0.25	-0.27
11:00	-0.53	-0.04	-0.24	-0.28
13:00	-0.18	0.08	-0.24	-0.27
15:00	-0.22	0.15	-0.3	-0.28

18:00	-0.52	-0.06	-0.31	-0.26
20:00	-0.51	-0.06	-0.23	-0.25
22:00	-0.5	-0.05	-0.31	-0.26
Max	-0.18	0.15	-0.23	-0.25
Min	-0.78	-0.11	-0.31	-0.28
Max-Min	0.60	0.26	0.08	0.03

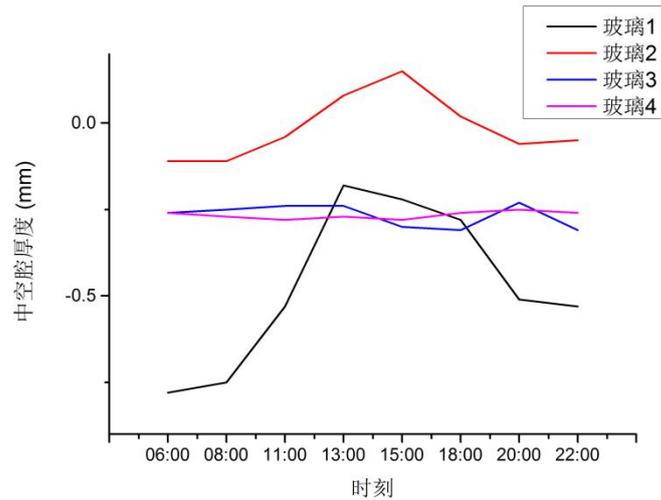


图 4 中空腔厚度-时刻曲线

由图 4 不难看出，1#、2#两块玻璃的中空腔厚度变化明显，3#玻璃的中空腔厚度变化较小，4#玻璃的中空腔厚度无明显变化。可以判断 1#、2#密封完好、3#疑似密封失效、4#密封完全失效。与实际相符。

如果中空腔厚度均匀，则疑似失效，需在其他温度条件下再次进行测量，进一步确定其密封是否失效。

### 3 实验三

在室内温度 13.5℃，室外温度-1℃的条件下，对 20 块已安装中空玻璃的中间及左右边部的中空腔厚度进行测量，数据见表 3。

表 3 已安装中空玻璃不同测量位置的中空腔厚度

玻璃编号	中空腔厚度测量数据(mm)			
	左边部	中间	右边部	Max-Min
1	9.68	9.47	9.51	0.21
2	9.33	8.21	9.62	1.41
3	9.71	11.67	9.98	1.96
4	9.44	9.00	9.22	0.44
5	9.90	9.65	10.10	0.45
6	10.12	10.19	10.14	0.07
7	10.06	10.83	9.94	0.89

8	9.78	9.91	10.01	0.23
9	10.21	9.84	9.96	0.37
10	10.41	10.92	10.73	0.51
11	9.49	8.79	9.31	0.70
12	9.42	9.01	9.75	0.74
13	9.79	9.45	9.73	0.34
14	10.32	12.67	10.61	2.35
15	9.98	10.53	9.93	0.60
16	10.76	10.29	10.07	0.69
17	11.89	12.26	12.07	0.37
18	11.97	9.30	11.95	2.67
19	11.67	8.58	11.80	3.22
20	11.98	9.77	12.10	2.33

由表 3 数据初步判断 6#玻璃疑似密封失效，其余 19 块整窗玻璃均密封完好。此时需要对 6#玻璃在其他温度条件下进行测量，若其中空腔在不同位置的厚度仍无明显差异，则可以基本确定该玻璃密封失效。

第二天中午十一点，在室内温度 13.7℃，室外温度 3℃的条件下，对 6#玻璃再次测量。测得其左边部、中间、右边部的中空腔厚度分别为 10.34mm、10.75mm、10.39mm，相差最大值为 0.41mm，说明该玻璃密封完好。

#### 4 结论

中空玻璃的气体密封耐久性能是其质量的重要判断依据之一，而目前尚无针对这一问题的简单有效的检测方法。

对于密封完好的中空玻璃，当温度变化时，中空腔不同位置的厚度一定不同，中间与边部的厚度差异尤其明显。若中空腔的厚度均匀，则说明中空玻璃内外气压趋于一致，此时可能存在漏气现象。故可以通过测量中空玻璃不同位置的中空腔厚度细微变化和差异，来初步检测中空玻璃是否密封失效。

所以，如果一定要找隐藏玩法，可以用 GlassMeter100 看看你家的中空玻璃密封失效了没。

# 浅谈建筑玻璃的颜色测量

作者：吴筱

【建筑光学】公众号 2019.5.10 发布

**摘要** 本文结合新发布国家标准 GB/T 36142-2018《建筑玻璃颜色及色差的测量方法》阐述了建筑玻璃颜色测量的测量计算条件和测量方法，介绍了一种适合现场检测的专用玻璃颜色测量仪器及其应用。

**关键词** 建筑玻璃；反射颜色；透射颜色；现场检测

## 1 前言

近年来，我国对于建筑节能的要求越来越高，颜色及色差是衡量建筑玻璃质量的重要指标之一。国家标准对建筑玻璃的颜色、色差等参数有详细规定，如表 1 所示。

表 1 国家标准对建筑玻璃颜色参数的规定

标准名称及标准号	章节号	颜色参数
GB/T 18091-2015 玻璃幕墙光热性能	5.2.2	同一玻璃产品的反射颜色差 $\Delta E$ 应不大于 3CIELAB 的色差单位。
	5.2.3	颜色透射指数应按表 3 进行分级，有辨色要求的幕墙的颜色透射指数 $R_a^T$ 应不低于 80。
GB/T 11976-2015 建筑外窗采光性能分级及检测方法	4.3	建筑外窗的颜色透射指数 ( $R_a$ ) 应按表 2 进行分级，详细内容省略。
GB/T 21086-2007 建筑幕墙	5.1.8.1	有辨色要求的幕墙，其颜色透射指数不宜低于 $R_a80$ 。
GB/T 18915.2-2013 镀膜玻璃 第 2 部分：低辐射镀膜玻璃	5.5	低辐射镀膜玻璃的颜色均匀性，以 CIELAB 均匀色空间的色差 $\Delta E_{ab}^*$ 来表示。其色差应不大于 2.5。

在玻璃幕墙需要更换某一部分的情况下，通常要求所更换的玻璃构件与已安装玻璃构件具有相同的光学特性和热工特性。准确地检测已安装玻璃的颜色能够为配片、补片提供理论支撑，有助于保证更换后的玻璃构件与已安装玻璃构件具有相同的光学特性。

因此，科学有效地检测建筑玻璃的颜色、色差等参数在建筑玻璃质量检测中十分重要。

## 2 建筑玻璃的颜色

当光照射到幕墙、门窗的玻璃表面，主要会产生规则反射和规则透射。我们通常看到的建筑玻璃颜色并不是其本身的表面颜色，而是经玻璃透射或反射的景物颜色。

### 2.1 建筑玻璃的反射颜色

光在一片玻璃的两表面均发生典型的菲涅尔反射，在前表面几乎为无选择性反射，后表面的反射光两次透过玻璃，故反射颜色受玻璃本体透射颜色的影响。普通白玻的反射颜色很浅，着色玻璃的反射颜色呈现相应的颜色。

通过镀膜能使玻璃表面对可见光选择性反射和吸收，从而改变玻璃的反射颜色。在保证可见光透射比的条件下，对膜层进行优化设计可使某波段的可见光被选择性反射或吸收，从而达到建筑色彩设计的目的。目前，Low-E 玻璃的反射颜色一般以膜层的干涉色为主。

由于玻璃表面对光的规则反射现象，从室外观察玻璃幕墙时会看到玻璃上映出的周边景象，如蓝天、白云、树木及建筑物的反射像。此时玻璃的颜色主要体现为景物经玻璃反射后的颜色。

## 2.2 建筑玻璃的透射颜色

玻璃的透射颜色决定于白光透过它之后的光色。普通白玻在白光照射下通常呈现很浅的绿色，这是由于白玻中的铁元素对可见光波段中绿光的吸收较少而对其他色光吸收较多造成的。超白玻璃通过严格控制铁含量，达到对可见光全波段的吸收均较低的效果，所以呈现无色、高透明度。

由于玻璃表面对光的规则透射现象，人们能从室内向窗外清晰地看见外面的景物。此时玻璃的颜色主要体现为被景物反射的光经玻璃透射后的颜色。

可见，玻璃所处环境的照明条件对其感官颜色影响很大，以不同角度观察玻璃时所看见的颜色也不同。此外，不同的人在同一条件下的颜色心理感受也不尽相同。因此，玻璃颜色应特指在某种条件下的颜色。为了科学准确地定量测量，应在规定的条件下进行玻璃颜色的测量和计算。

## 3 测量与计算条件

### 3.1 测量条件

根据国家标准 GB/T 3978《标准照明体和几何条件》的定义，几何条件是颜色测量仪器的照明光源和探测器与物体色样品之间的几何关系。

建筑玻璃常常采用镀膜玻璃制成，而镀膜玻璃的颜色主要由干涉形成，不同观察角度下的颜色有一定差异。针对这种情况，应有不同测量几何条件的颜色测量仪器。国家标准 GB/T 36142-2018《建筑玻璃颜色及色差的测量方法》定义了垂直反射颜色和偏角反射颜色，规定了垂直反射测量几何条件为  $8^\circ : 8^\circ$ ，偏角反射测量几何条件为  $30^\circ : 30^\circ$ 、 $45^\circ : 45^\circ$  和  $60^\circ : 60^\circ$ ，透射测量测量几何条件为垂直/垂直。

该标准也对照明光束和接收光束做了规定。测量反射颜色时，照明光束的入射角、接收光束的接收角偏差均不应大于  $1^\circ$ ；在垂直反射测量几何条件下，照明光束或接收光束中任一光线与自身光轴的夹角不超过  $5^\circ$ ；在偏角反射测量几何条件下，照明光束或接收光束中任一光线与光轴的夹角不超过  $2^\circ$ 。测量透射颜色时，照明光束和接收光束的光轴与被测样品表面法线的夹角不超过  $10^\circ$ ；照明光束光轴和接收光束光轴的夹角不超过  $3^\circ$ ；照明光束或接收光束至少有一端光束中任一光线与自身光轴的夹角不超过  $5^\circ$ 。

### 3.2 计算条件

CIE 标准照明体 D65 代表相关色温大约为 6500K 的昼光，符合建筑玻璃实际使用情景，故测量建筑玻璃颜色时一般采用 CIE 标准照明体 D65。现代色度学在明视觉条件下测量物体颜色时采用 CIE 标准色度系统，包含  $2^\circ$  标准色度观察者和  $10^\circ$  标准色度观察者，前者适用于视场角  $1^\circ \sim 4^\circ$  的颜色测量，后者适用于视场角大于  $4^\circ$  的颜色测量。建筑玻璃通常面积较大，相应地对于人眼的视场角也较大，故测量建筑玻璃颜色时一般采用  $10^\circ$  标准色度观察者条件。

GB/T 36142-2018《建筑玻璃颜色及色差的测量方法》规定采用 CIE 标准照明体 D65 和  $10^\circ$  标准色度观察者计算条件进行颜色参数的计算。

## 4 测量方法

测量物体颜色的方法主要有光谱光度测色法和光电积分测色法。二者相比，光谱光度测色法测量结果的准确程度更高、一致性更好，且光源衰减或更换后经校准不影响测量结果。目前主要采用光谱光度测色法测量建筑玻璃的颜色。

光谱光度测色法是指通过测定被测物体的光谱反射比或光谱透射比计算出颜色三刺激值和色空间坐标的方法，也称分光光度测色法。

光谱光度测色法透射测量装置示意图见图 1，反射测量装置示意图见图 2。

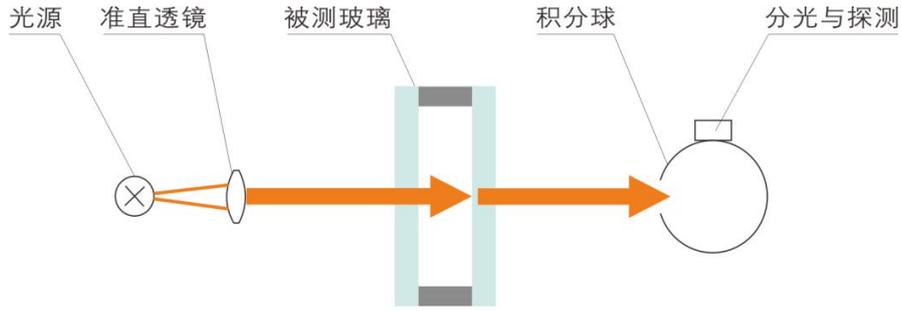


图1 光谱光度测色法透射测量装置示意图

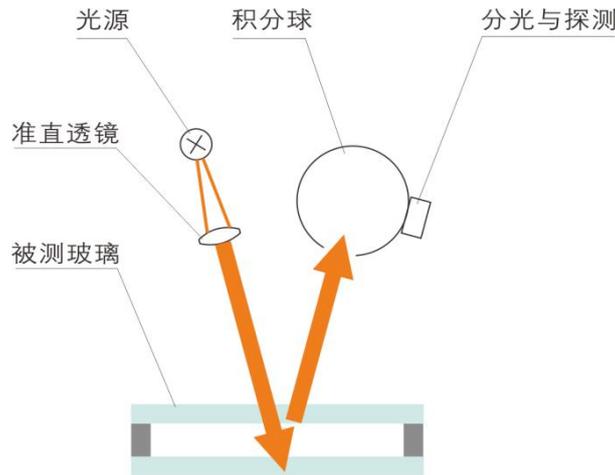


图2 光谱光度测色法反射测量装置示意图

测得光谱反射比或光谱透射比后，按公式（1）～公式（3）计算颜色三刺激值  $X_{10}$ 、 $Y_{10}$ 、 $Z_{10}$ ：

$$X_{10} = \sum_{380}^{780} i(\lambda)S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)\Delta\lambda \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_{10} = \sum_{380}^{780} i(\lambda)S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)\Delta\lambda \dots\dots\dots (2)$$

$$Z_{10} = \sum_{380}^{780} i(\lambda)S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)\Delta\lambda \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$X_{10}$ 、 $Y_{10}$ 、 $Z_{10}$ ——被测样品的三刺激值；

$i(\lambda)$ ——样品的光谱透射比或光谱反射比；

$S(\lambda)$ ——标准照明体 D65 相对光谱功率分布；

$\bar{x}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{y}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{z}_{10}(\lambda)$ —— $10^\circ$ 标准色度观察者色匹配函数；

$\Delta\lambda$ ——波长间隔，取 5nm。

$Y_{10}$  即 CIE 标准照明体 D65、 $10^\circ$ 标准色度观察者条件下被测样品的可见光透射比或可见光反射比。

表示建筑玻璃透射和反射颜色参数的 CIE LAB 均匀色空间  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  按公式（4）～公式（8）计算。

$$L^* = 116f(Y_{10}/Y_n) - 16 \dots\dots\dots (4)$$

$$a^* = 500[f(X_{10}/X_n) - f(Y_{10}/Y_n)] \dots\dots\dots (5)$$

$$b^* = 200[f(Y_{10}/Y_n) - f(Z_{10}/Z_n)] \dots\dots\dots (6)$$

$$f(t) = t^{1/3} \quad t > (6/29)^3 \dots\dots\dots (7)$$

$$f(t) = \frac{1}{3} \left( \frac{29}{6} \right)^2 t + 16/116 \quad t \leq (6/29)^3 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$ ——CIE标准照明体D65在10°标准色度观察者下的三刺激值， $X_n=94.81$ ， $Y_n=100.00$ ， $Z_n=107.32$ ；

$t$ ——代表式中 $Y_{10}/Y_n$ 、 $X_{10}/X_n$ 或 $Z_{10}/Z_n$ 。

## 5 测量仪器及应用

### 5.1 测量仪器

建筑玻璃由于通常承担着采光的功能，具有很高的可见光透射比，其颜色与各片玻璃表面反射特性和玻璃本体透射特性相关，必须准确测出其光谱透、反射比才能有效测量建筑玻璃的颜色。为此，能够准确测量建筑玻璃颜色的光谱光度测色仪器必须满足以下条件：

- (1) 能测量透射颜色和反射颜色；
- (2) 光路结构满足适用于玻璃颜色测量的规则透射、反射几何条件；
- (3) 对于常见规格的建筑玻璃，能探测到经玻璃各表面直接反射和多次反射的光信号。

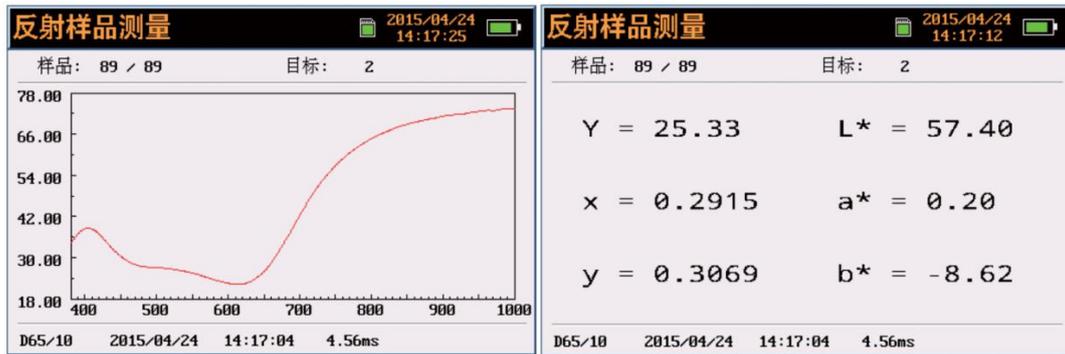
GlassQ3000 手持宽光谱测色仪是专用于建筑玻璃的光谱光度测色仪器，可测 380nm~1000nm 波长范围内的光谱透射比、光谱反射比、颜色和色差，可用于整板玻璃的颜色均匀性测量、节能玻璃幕墙和门窗玻璃的整体测量，无需拆解和人工计算。

### 5.2 反射光谱及颜色测量

该仪器可直接测量反射光谱及颜色，测量状态见图 3，输出结果见图 4。



图3 反射测量状态



(a) 反射光谱曲线

(b) 颜色参数

图4 反射测量输出结果

### 5.3 透射光谱及颜色测量

根据被测玻璃尺寸和测量位置的不同，透射测量分为两种情况：

- 1) 测量小块玻璃或大块玻璃边部，测量状态见图 5；
- 2) 测量大块玻璃中部，测量状态见图 6。



图5 玻璃边部透射测量状态



图6 玻璃中部透射测量状态

### 5.4 现场检测已安装玻璃

该仪器小巧便携、结构灵活、测量速度快，适合现场检测已安装建筑玻璃，反射测量状态如图 7 所示，透射测量状态如图 8 所示。



图7 已安装建筑玻璃反射测量状态



图8 已安装建筑玻璃透射测量状态

该仪器可用于未安装和已安装的中空玻璃等制建筑玻璃产品的质量控制检验，有助于解决已安装玻璃颜色和色差的现场检测问题。

## 6 结语

玻璃的颜色受所处环境中的照明条件影响，也和观察者的颜色心理感受及观察角度有关。为了科学地定量测量建筑玻璃的颜色，应规定统一测量和计算条件。新发布国家标准 GB/T 36142-2018 《建筑玻璃颜色及色差的测量方法》对此有详细规定。本文介绍的专用于建筑玻璃颜色测量的仪器一方面能准确测量玻璃的颜色，更好地控制建筑玻璃产品的质量，另一方面有助于改进现场验收的手段，对于建筑玻璃产品质量提升和行业发展有一定的积极作用。

## 作者简介

吴筱 (Wu Xiao)：1991 年 8 月生，女，仪器科学与技术专业工程师，毕业于北京理工大学光电学院，主要从事玻璃性能检测仪器研发及国家标准、行业标准编写工作，研究方向为光学测量。

## 材料的透光性能及测量

作者：吴筱      【建筑光学】公众号 2019.9.7 发布

### 1 材料的透光性能

透光性能是建筑材料的重要指标之一。最常见的透光材料是玻璃。建筑玻璃通常承担着采光并观景的功能，因此必须透光且透明。随着科技的发展，玻璃逐渐需要满足人们更多的需求，如节能、调光、防眩光，相应产品的生产工艺会使透射光线发生一定程度的散射，导致透过该玻璃的景物看起来较为模糊，没有普通玻璃那么透明。

可见，要想科学地定量测量材料的透光性能，不仅要关注可见光透射比，也不能忘了雾度。

可见光透射比是透过物体的光通量与入射到物体上的光通量之比，用来表征材料透过光的程度。金属的可见光透射比为零，窗玻璃的可见光透射比很高。

雾度是透过物体后偏离入射光方向的散射光通量与总透射光通量之比。材料的雾度越大，我们透过它所看到的景象越模糊。磨砂玻璃就是一种常见的雾度大、可见光透射比高的建筑材料。



磨砂玻璃

(图片来源于网络，侵权)

### 2 测量条件怎样选择？

光线透过材料的情况较为复杂，故材料透光性能参数测量与测量几何条件密切相关。应根据实际使用条件来确定哪些透射光是有效的，选择合适的几何条件合理测量材料的透光性能。

对于需要清晰透像的材料来说，光在其中发生的漫透射会影响视线，特别是被较强光照时更为明显。观景窗、汽车前风挡等产品通常要求高透光和低漫透射，应选择的测量几何条件是垂直照明/垂直接收 ( $0^\circ : 0^\circ$ )。

用于采光的材料通常要求可见光透射比高，且不要求漫透射低。对于采光顶，较高的漫透射会带来更好的采光效果，能充分利用天然光从而节约照明用电。适合于这种情况的测量几何条件是垂直照明/漫射接收 ( $0^\circ : \text{di}$ ) 或漫射照明/垂直接收 ( $\text{di} : 0^\circ$ )。

磨砂玻璃在垂直照明/垂直接收 ( $0^\circ : 0^\circ$ ) 几何条件下的透射比几乎为零，但在漫射测量条件下测得的透射比可能很高，这解释了其透光而不透明的视觉效果。一般可以通过测量雾度对磨砂玻璃的透光性能进行评价。

智能调光玻璃有透明和只透光两种状态，在通电时无色透明，此时的应用情境是透过玻璃看清景物，故应采用垂直照明/垂直接收（ $0^\circ : 0^\circ$ ）几何条件进行测量；在断电时变成乳白色，此时玻璃不具备清晰透像的功能，应采用垂直照明/漫射接收（ $0^\circ : d_i$ ）或漫射照明/垂直接收（ $d_i : 0^\circ$ ）几何条件测量其透光性能。



智能调光玻璃在通电时无色透明，断电时呈乳白色。

（图片来源于网络，侵权）

可见，材料透光性能的测量要在符合实际应用的几何条件下进行才有意义。因此，根据测量需求选择合适的测量仪器尤为重要。

### 3 测量仪器

#### 3.1 高精度雾度测定仪 SGH-2

SGH-2 仪器用于测量汽车安全玻璃、建筑玻璃、显示玻璃及塑料等平板材料的雾度和可见光透射比，适用于汽车玻璃、镀膜玻璃的耐磨试验。符合 GB/T 2410-2008《透明塑料透光度和雾度的测定》、GB/T 5137.2-2002《汽车安全玻璃试验方法 第 1 部分：力学性能试验》、ASTM D1003《Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics》等多项测试标准。



高精度雾度测定仪 SGH-2  
(图片来源: 奥博泰)

### 3.2 高精度光谱雾度测量仪 SpecHaze1000

SpecHaze1000 仪器采用分光光度法测量透明、半透明物体的光谱雾度,能够快速精准地测量样品在不同波长下的雾度值。符合 GB/T 2410-2008、GB/T 5137.2-2002 和 ASTM D1003 等多项测试标准。



高精度光谱雾度测量仪 SpecHaze1000  
(图片来源: 奥博泰)

看到这里,材料的透光性能怎样表征、应怎样测量,你明白了吗?

# 人眼观察颜色可靠吗？

作者：武文杰

【建筑光学】公众号 2019.7.10 发布

“蓝色代表忧郁，未知和青涩的少年时代，大门分隔了17岁和以后的成人之间的地带，少年踌躇着，怀疑着要不要推开门，一探成人的生活，却又迷茫着找不到答案……蓝色是海洋，是天空，是青春短暂的颜色。17岁，想躲在门后，偷偷地看见蔚蓝。”这是2002年台湾省一部偶像剧里的台词，是不是有点云里雾里的感觉？让我们接着往下看。

## 1 蓝色？忧郁？二者真的有联系？

让我们忘掉电影情节，单单从这段台词入手，想（e）象（gao）一下“阿珍爱上了阿强”的故事：17岁的阿珍与阿强在同一所高中上学并互有好感，这一切被阿珍的父亲所觉察，由于阿珍在1月份的“学测”考试中成绩不理想，所以阿珍的父亲在7月份的“指考”之前禁止两人相见<sup>[1]</sup>。阿强只能站在阿珍房子前面默默关注阿珍，此时阿强从窗户里看到的主要是玻璃镜面反射的天空的蓝色<sup>[2,3]</sup>，可能是心理作用，在阿强的眼中，那抹蓝色中依稀出现了阿珍青涩、迷茫的脸。阿珍躲在门后偷偷望向外面，天空与海相汇，眼前一片蔚蓝，而满脸忧郁的阿强就身处其中。此时的两位少年都天真的以为跨过7月份的那扇门，就迈入成年人的世界，可以不受他人的阻碍……。根据心理学的环境效应<sup>[4]</sup>，以后的生活中，每当阿珍与阿强忧郁或感到迷茫时，都会想起那个青涩的年纪，为眼前的事物平添一层蓝色。所以，文章开头的台词没毛病！

**注1：**从2002年开始，台湾省废除了与大陆高考制度很相似的“大学联考”，而采用“多元入学”进行招生，分为1月份的“学测”和7月份的“指考”两次考试。

**注2：**事件发生地点在海边，是具有海洋特性的亚热带季风气候或热带季风气候，全年有雨并经常有风暴（热带气旋即台风），可得事件发生地的居民住宅不高（假设为2层），阿珍住在2楼（为了防潮）面向大海的房间，所以理论上阿强站在阿珍家大门前，可以从2楼的窗户里依稀看到阿珍。

**注3：**可以看见天空和大海的颜色，所以事件发生在天气晴朗或下小雨的白天，室外光更强，此时从室外通过玻璃观察室内，看到的颜色是玻璃的反射颜色。

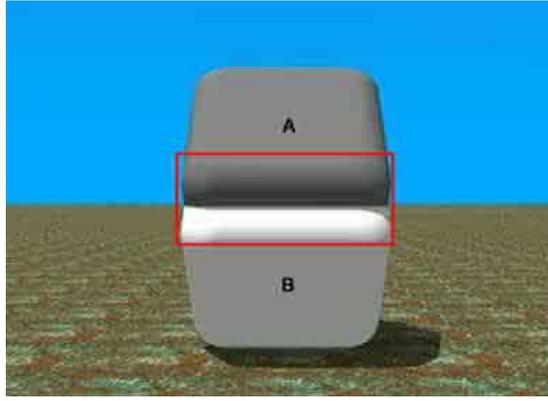
**注4：**环境效应：当眼前的场景与记忆中的场景相似时，人们会下意识的记起当时发生的事情，一般应用于教育行业。

好了，不开玩笑了，让我们回到正题。经过上面的分（hu）析（che），我们可以发现，人眼所看到的颜色绝不仅仅是物体本身的颜色，与人的心理、心情、生理、所处环境、记忆中的某个片段，甚至个人的喜好都有关，也就是说，我们看到的颜色可能不是真实的物体颜色。

## 2 眼睛会“骗”自己吗？

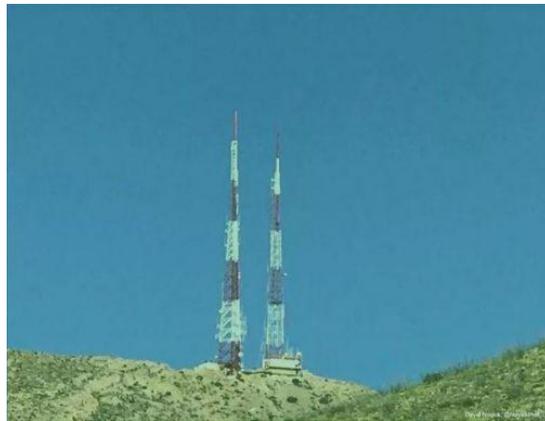
我也不想承认，但有时我们的眼睛真的会骗我们自己，什么？你不信？请接着往下看。

(1)乍一看，下图中上下两部分的颜色是不同的，但当我们把红框内的部分挡住时，会有不可思议的事发生。



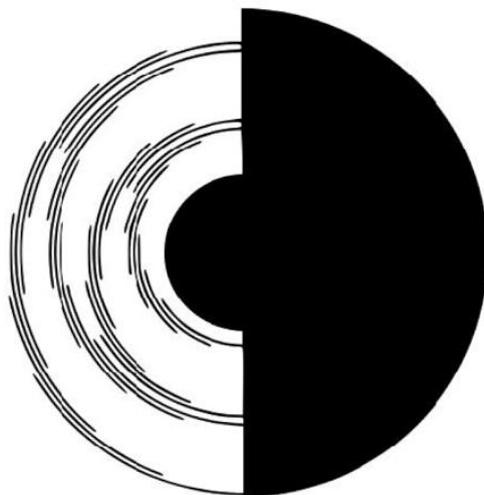
(图片来源网络)

(2) 其实下图中铁塔上的颜色是灰白相间的，只不过在天空蓝色背景的映衬下，灰色看起来会发红。



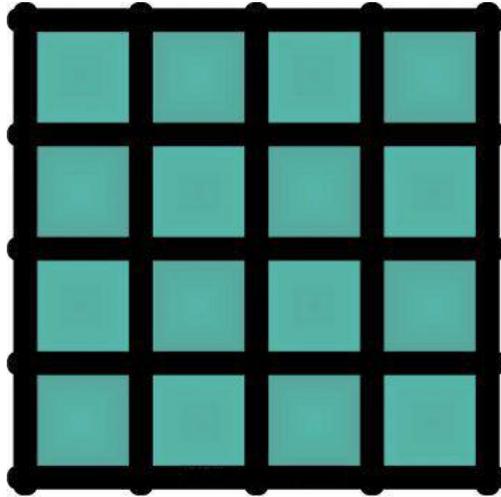
(图片来源网络)

(3) 这是一个著名的图片：名叫“贝汉转盘”，这个转盘只有黑白两色，但它在旋转时，人会看到其它颜色，而且每人看到的颜色各有不同，难道这就是传说中“甲方爸爸”所要求的“彩色的黑”？



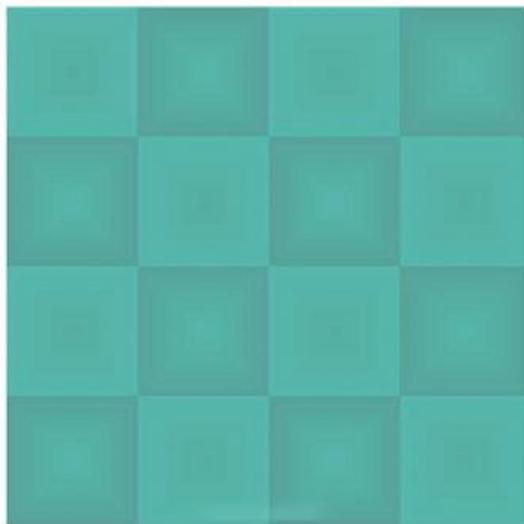
(动图 图片来源网络)

(4) 下图是一个被黑框包围、分隔的绿色图片，颜色均匀，可事实上是这样的吗？



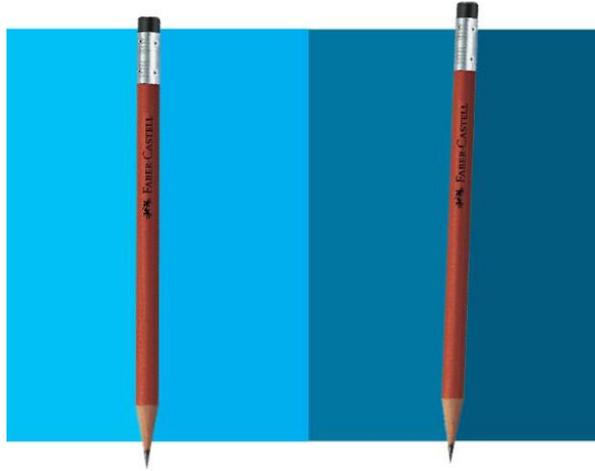
(图片来源网络)

让我们去掉周围的黑框，没错，我们被眼睛骗了。



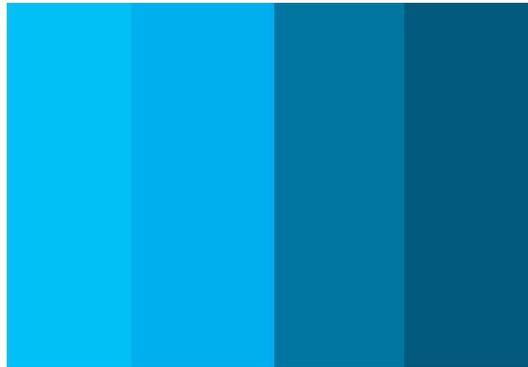
(图片来源网络)

(5) 大家看下图有几种蓝色？仅凭自己的眼睛。



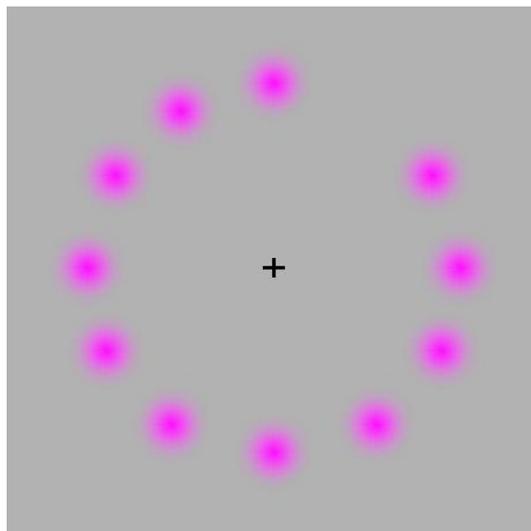
(图片来源网络)

让我们去掉中间的铅笔，整整 4 种！没想到吧！



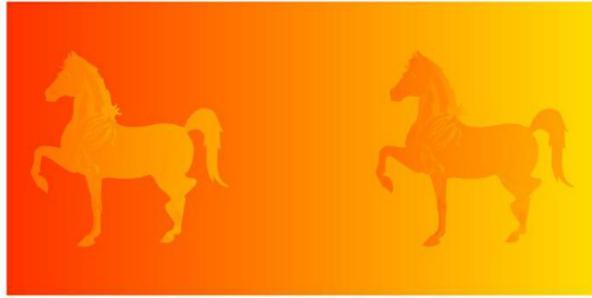
(图片来源网络)

(6) 盯着下图的中间，告诉我，不止我一个人看到了周围的绿点。



(动图 图片来源网络)

(7) 你跟我说下图两匹马颜色一样? excuse me?



(图片来源网络)

看到这，我只有一个问题，大家还相信自己眼睛看到的颜色吗？目前有很多理论试图解释这样的现象。有人提出了“侧抑制”的概念：在我们的视觉系统中，有一种机制可以增强物体轮廓与其背景的对比度，上文（4）图中的黑框与（5）图中的铅笔使眼睛的“侧抑制”失效，导致我们不能很好的分辨颜色。也有一些理论是这样认为的：人类在进化的过程中，要迅速的判断出物体的颜色，这样我们才知道眼前的东西是否可以吃，知道周围有没有危险，这种能力保留在人类的“骨子里”，这种能力会使一些事物的颜色“刻”在我们脑子里，例如：尽管西红柿在不同的场景下颜色会有差别，但我们总是第一时间看出西红柿就是红色的，尽管它有时候带点青，换句话说，有时候我们看到的颜色是眼睛想让我们看到的。

我们都知道色彩的感受与反应是一个充满无穷奥秘的复杂过程，人眼辨色过程中任何环节发生变化，都会导致所看到的颜色有所差别，关于人眼辨色的理论有很多，但这个复杂的过程不是几个简单的理论就能解释的，小编在这里也就不一一介绍了。

# 节能玻璃上墙后，K 值和 SC 值等参数还能测吗？

作者：许海凤

【建筑光学】公众号 2019.3.29 发布

## 1 现场检测的意义及必要性

今年 3 月 15 日，中国幕墙网发布了题目为“3.15 南玻首‘打’告捷！关于南宁五象新区某工程项目打假行动报告”的新闻报道，该事件最终以“千万级”的罚单而告终。南玻作为建筑玻璃的领军企业，全力打击“李鬼”，不仅仅是为了维护自己知识产权和声誉，更是一种社会责任的担当。在当前的市场环境下，希望有越来越多的玻璃领军企业能够勇敢的站出来，大家一起来维护市场环境，打击假冒伪劣产品。

接下来，我们再来聊一聊为什么节能玻璃容易有假冒伪劣产品呢？不难解释，玻璃是透明的，肉眼只能大概识别颜色、透光率等，没有专业的手段，很难辨别所谓的“真”与“假”。

一块透明的玻璃，看起来似乎很简单，但实际结构组成比较复杂，单纯从结构上来说，可以提出如下几点问题：

- ✓ 包含几片玻璃呢？每片玻璃厚度是多少？
- ✓ 有几个中空腔体？每个腔体厚度是多少？
- ✓ 真的充氩气了吗？氩气浓度是多少呢？
- ✓ 用 Low-E 玻璃了吗？有几片呢？Low-E 膜层在几号面？
- ✓ Low-E 玻璃是在线还是离线？离线的话，是单银？双银还是三银？
- ✓ Low-E 膜层的辐射率是多少？
- ✓ 玻璃钢化了吗？表面应力是多少？
- ✓ 用的普通间隔条还是暖边间隔条呢？暖边间隔条的话，是刚性的还是柔性的？

……

从性能上来说，主要关注如下几点：

- ✓ 玻璃的 K 值是多少？
- ✓ SC 值是多少？
- ✓ 可见光透射比是多少？
- ✓ 可见光反射比是多少？

为了解答上述问题，确保大面积上墙玻璃的产品品质，最直接和有效的手段是进行无损、整体、快速检测，竣工验收时，在工程现场抽取一定比例，进行现场检测。

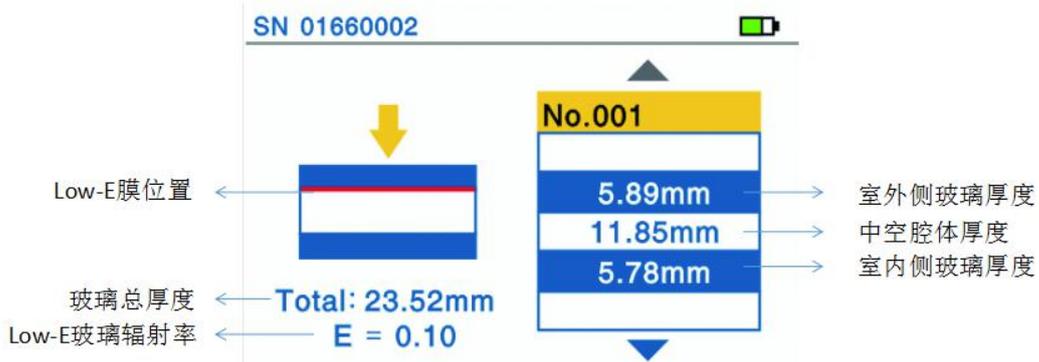
经过科学的检测之后，如果上述问题都能够得以解答，与设计值相符，皆大欢喜。而如果实测值与设计值不符，玻璃的保温隔热性能不达标，可能也无法实现整个建筑低能耗的目标，给建筑节能带来极大的隐患。

## 2 玻璃进场或者上墙后，到底怎么测？

为满足市场需求，结合自身光学检测技术 30 多年的沉淀和积累，北京奥博泰公司开发了一系列现场检测的仪器，本文所介绍的仪器均基于光学的原理，可以实现快速无损检测。



第一步, 先来了解一下玻璃的结构, 可以采用 GlassMeter800 来解析玻璃的结构, 仪器照片及测试界面如下:



第二步，来了解一下中空玻璃是否充了氩气，氩气含量是多少？



Sparklike 手持式惰性气体分析仪，基于等离子发射光谱技术，测量时间 2 秒



了解详细信息

Sparklike 标准板激光气体分析仪，基于可调谐半导体激光技术原理，可穿透 Low-E 膜层和夹胶层

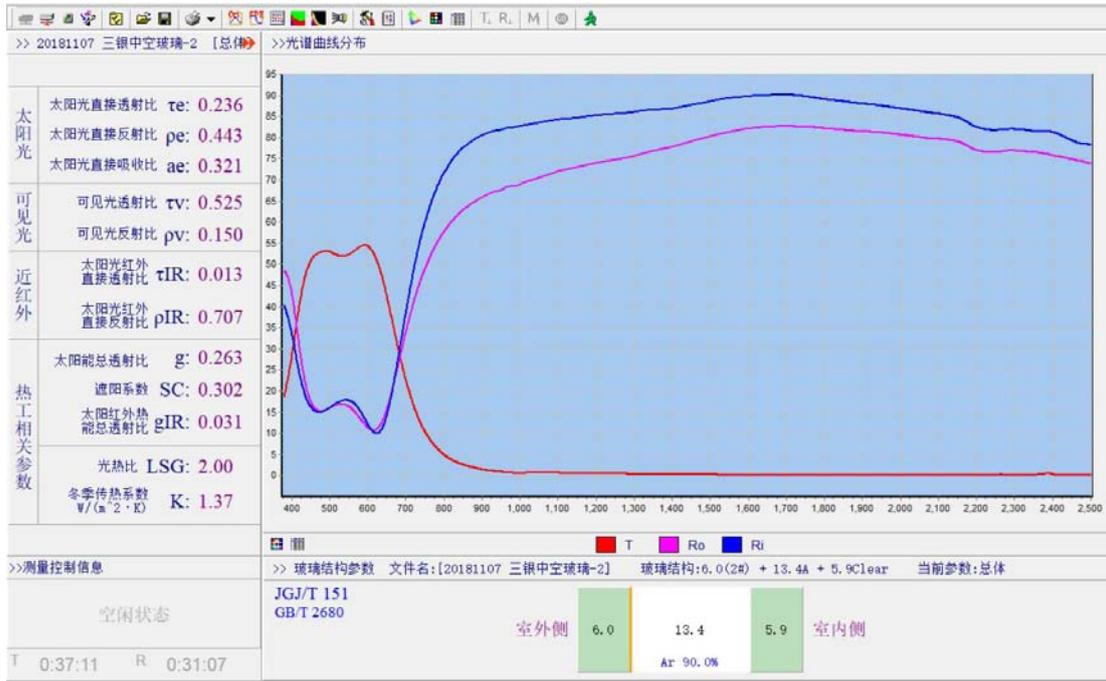
第三步，玻璃的 K 值和遮阳系数 SC 等参数如何检测？下面介绍重量级的产品慧眼 1000，该仪器测试方法符合国家标准 GB/T 36261-2018 《建筑用节能玻璃光学及热工参数现场测量技术条件与计算方法》。



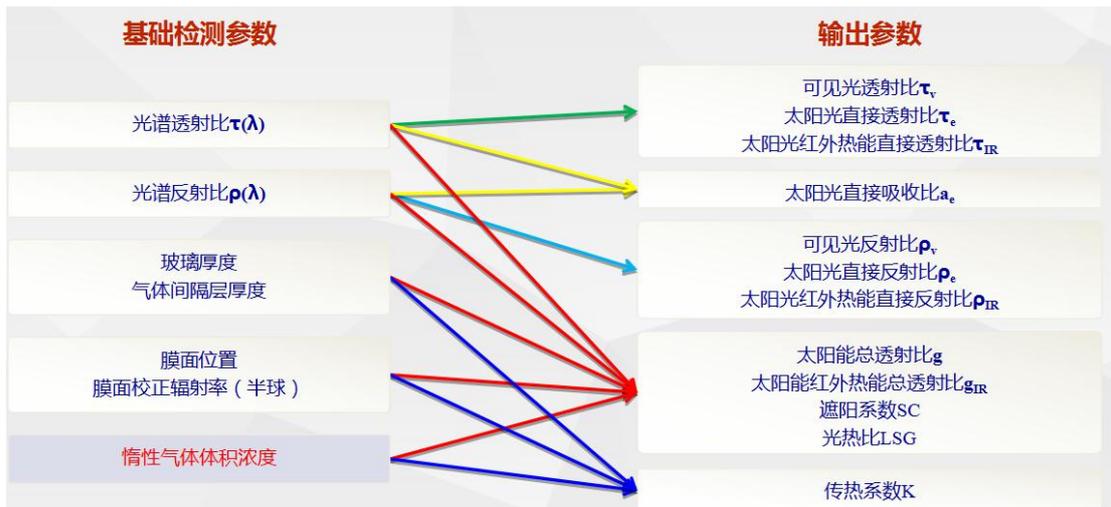
慧眼 1000 可检测如下内容：



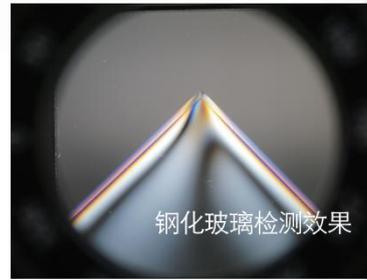
仪器与电脑 wifi 连接，测试结果一目了然。



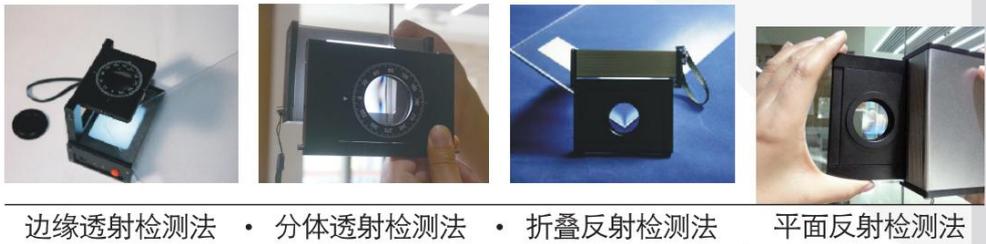
测试及计算原理如下：



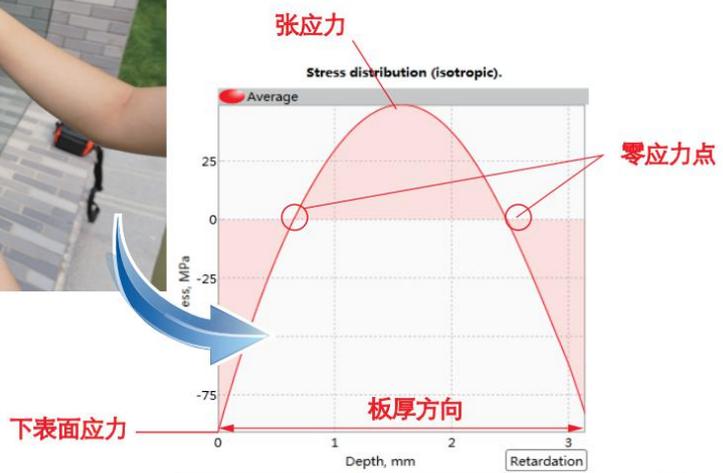
第四步，再来看看玻璃是否钢化？像变形金刚一样的 SG980，手掌大小，使用和携带非常方便哦。



多种测量模式，满足您的使用需求。



第五步，如果是钢化或者半钢化玻璃，再来了解一下表面应力是否达标，智能、便携的应力仪来帮您，快速准确测量，更重要的是，无需识别锡面。



第六步，玻璃的外观颜色是否的达标，智能的 GlassQ3000 可以把颜色和色差量化。



测量界面如下：



欲了解以上仪器详细信息，可致电咨询热线：010-51122588

# 什么是色差？英文你写对了吗？

作者：苑静      【建筑光学】公众号 2019.12.17 发布

经常会听到色差这个专业词汇，查英汉字典有 chromatic aberrations、color deviation、colour difference 等不同的英语单词。那么色差到底是什么意思呢？为什么有不同的英文单词呢？到底该用哪个单词呢？

今天我们就来科普一下色差及色差的英文，希望大家以后不要再搞混了。

## 1 基本概念

原来色差有着两个不同的含义。

第一个是指的颜色差异，两个物体或者一个物体的不同区域，存在着一定的颜色差异，严格的术语表述是色度差，简称色差。例如图 1 的玻璃幕墙，从照片看有的玻璃存在一定的颜色差异，即玻璃存在色差。



图 1 玻璃幕墙（图片来自网络）

另一个含义是指光学镜头像差的一种，即色像差。也就是由于构成透镜或者镜头的材料存在色散，对不同波长的光聚焦点不同，导致成像会出现色边，或者是图像模糊，称之为色像差，也简称为色差。色像差又分为轴向色差和轴外色差（或称倍率色差），如图 2 所示。图 3 为存在色像差照片的局部，字边缘存在严重的色边。

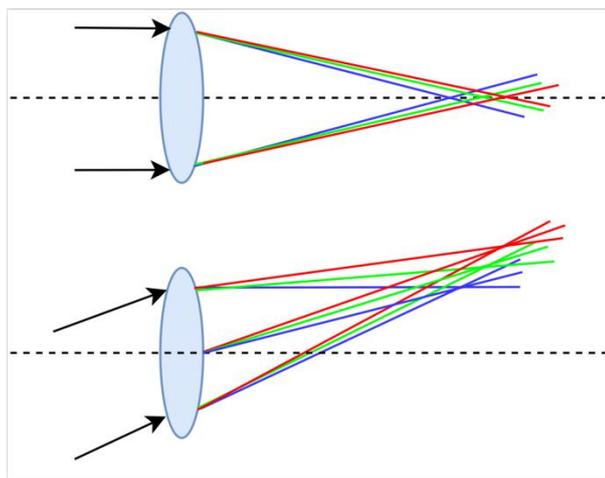


图 2 色像差示意图（上图：轴向色差，下图：垂轴色差）

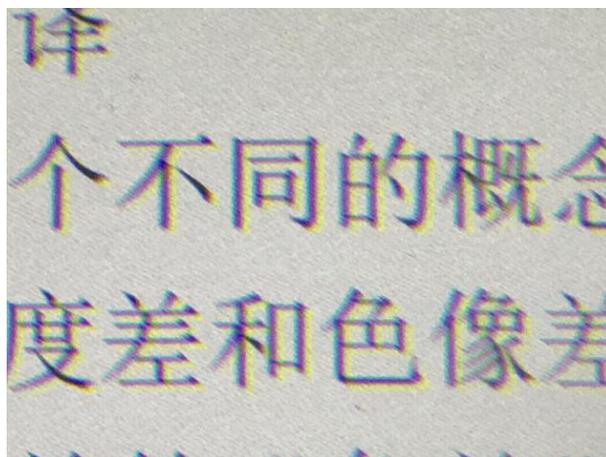


图 3 典型的倍率色差

这两个专业词汇的简称都是色差，但为两个完全不同的概念，所以在使用的过程中要特别的注意，不能混淆。

## 2 英文翻译

这两个不同的概念，自然英文单词也是不同的。英语单词更要正确使用，查字典时输入色差，色度差和色像差的英文词汇都罗列在一起，如图 4 所示，很容易用错。很多标准中的代表色度差的“色差”经常错翻译成“color aberration”。其实在明确概念后，输入色度差和色像差而不输入简称就会给出相应正确的翻译，如图 5、图 6 所示。

色像差的英文是 chromatic aberration 或 color aberration；  
色度差的英文一般用 color difference，或者是 color deviation。

## 色差

英 - 汉

- n.** 1. chromatic aberration; colour aberration; colour difference
- 2. color deviation
- 3. color drift
- 4. color draft
- 5. chromatic defect
- 6. colour draft
  
- n.** 1. chromatism
- 2. off colour; off shade

图 4 色差的翻译结果

## 色度差

英 - 汉

- n.** 1. colour difference

网络释义

- 1. colour difference
- 2. Chromaticity sent
- 3. color difference

图 5 色度差的翻译结果

## 色像差

英 - 汉

- n.** 1. chromatic aberration; chromatism

网络释义

- 1. chromatic aberration
- 2. chromatic aberrations
- 3. chromatism

图 6 色像差的翻译结果

### 3 建筑玻璃有关色差的最新标准

最新发布标准《GB/T 36142-2018 建筑玻璃颜色及色差的测量方法》中关于色差有如下定义：

**玻璃色差** color difference of glass

玻璃之间或与目标颜色间的颜色差异，也指同一片玻璃不同位置间的颜色差异，分为透射色差和反射色差，以  $\Delta E_{ab}^*$  表示。

**偏角色差 off-angle color difference**

相同测量角度条件下偏角反射颜色的色差。

**片内色差 glass unit color difference**

相同测量条件下，同一片玻璃内不同测量位置之间的色差。

**片间色差 pane-to-pane color difference**

相同测量条件下，玻璃之间色差的极大值，用于表征玻璃之间的颜色一致性。

**同批色差 same batch color difference**

相同测量条件下，同一批次玻璃中按抽样规则抽出多片玻璃样品的片间色差，用于表征同批次玻璃的颜色一致性。

**批间色差 color difference between batches**

相同测量条件下，对于不同批次玻璃产品，在某一批次中，抽取一定数量的样品，测量并计算样品的颜色平均值，作为批次目标颜色。其他批次的颜色平均值与批次目标颜色的色差即为对应的批间色差。

## 玻璃的颜色透射指数知多少？

作者：武文杰、苑静

【建筑光学】公众号 2019.4.12 发布

窗户是建筑的眼睛，也是室内人们与外界沟通的视觉通道。蓝天白云、春暖花开，可你向外看可能感觉到的是昏暗的天空、由秋转冬的凄惨景色。你内心明明知道春天来了、天空晴朗，却出现了与视觉感受的强烈反差，你的心情自然就不好了，严重的话会扰乱你的生物钟。

这样的建筑幕墙，可能只考虑了玻璃的基本采光效果，却忽视了玻璃透射特性对外界光线颜色的影响，将室外的光色改变了，所以玻璃的颜色在满足外观的审美需求的同时也要关注玻璃的透射颜色。

目前一般用颜色透射指数来评价透过玻璃的光的颜色质量。随着建筑玻璃事业的发展，人们对建筑玻璃的要求已经不仅仅是采光和节能，今后，整个行业的趋势肯定是最大限度地提高建筑内人员的舒适度体验，达到亲近自然，正确感知自然的目的，以提高生产工作的效率，所以了解和认识玻璃幕墙颜色透射指数的检测是十分必要的。本文主要介绍了涉及玻璃颜色透射指数的标准，总结了标准中颜色透射指数的计算方法，并给出了目前玻璃透射颜色评价中存在的问题。

### 1 什么是颜色透射指数？

在建筑玻璃行业，把光源透过玻璃之后的光作为新的光源来计算其一般显色指数，称为颜色透射指数。

### 2 显色指数及相关标准

1965 年国际照明学会（CIE）制定了一种评价光源显色性的方法，简称“测验色”法，1974 年修订后，正式向国际上推荐使用。此方法是用一个显色指数 CRI (Color Rendering Index) 量值表示光源的显色性。采用规定的 15 个标准颜色样品（CIE 规定了 14 个标准颜色，我国新加了亚洲黄种女性肤色。记作 R1-R15）在待测光源与标准光源下的颜色差异对颜色质量进行评价。光源对某一选定的标准颜色样品的显色指数称之为特殊显色指数，第 1~8 种标准颜色样品显色指数的平均值为一般显色指数，我们平时说的“显色指数”，即是一般显色指数的简称。15 个标准颜色样品如图 1 所示。

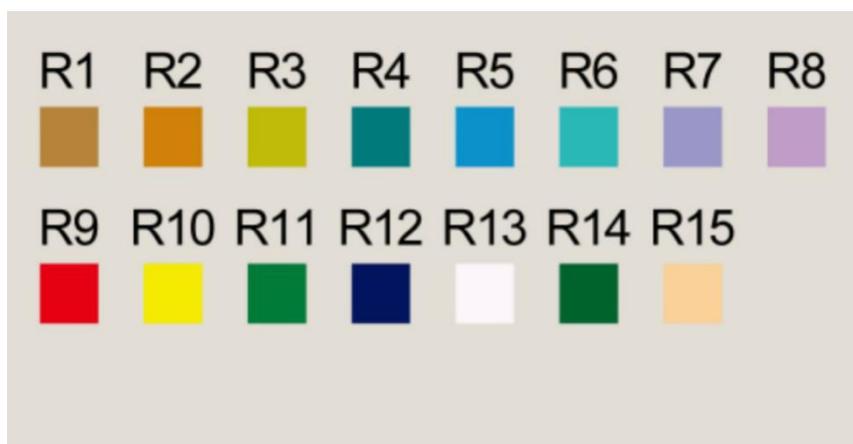


图 1 标准颜色样品（图片来源于网络）

涉及显色指数的部分标准见表 1。

表 1 显色指数相关标准

标准号	标准名称	主要内容
CIE13	Method of Measuring and Specifying Color Rendering Properties of Light Sources	给出了显色指数的定义与计算方法。
GB/T 26180-2010	光源显色性测量方法和规定	
GB/T 5702-2019	光源显色性评价方法	

### 3 建筑玻璃颜色透射指数的标准

GB/T 11976-2015《建筑外窗采光性能分级及检测方法》对颜色透射指数的定义为：颜色透射指数为光透过试件后的一般显色指数  $R_a$ 。

表 2 给出目前关于颜色透射指数的部分标准。

表 2 颜色透射指数相关标准

标准号	标准名称	主要内容
GB/T 11976-2015	建筑外窗采光性能分级及检测方法	提出了适用于建筑玻璃幕墙的颜色透射指数的定义与计算方法，并对颜色透射指数进行了分级。
GB/T 18091-2015	玻璃幕墙光热性能	对特定幕墙的颜色透射指数提出要求，对颜色透射指数进行了分级。
GB/T 21086-2010	建筑幕墙	对特定幕墙的颜色透射指数提出要求。

GB/T 21086-2010 与 GB/T 18091-2015 中明确规定有辨色要求的幕墙，其颜色透射指数  $R_a$  不宜低于 80，根据 GB/T 11976-2015 与 GB/T 18091-2015 中关于颜色透射指数分级的有关内容， $R_a$  不低于 80 为 1 级。颜色透射指数的分级见表 3。

表 3 颜色透射指数分级

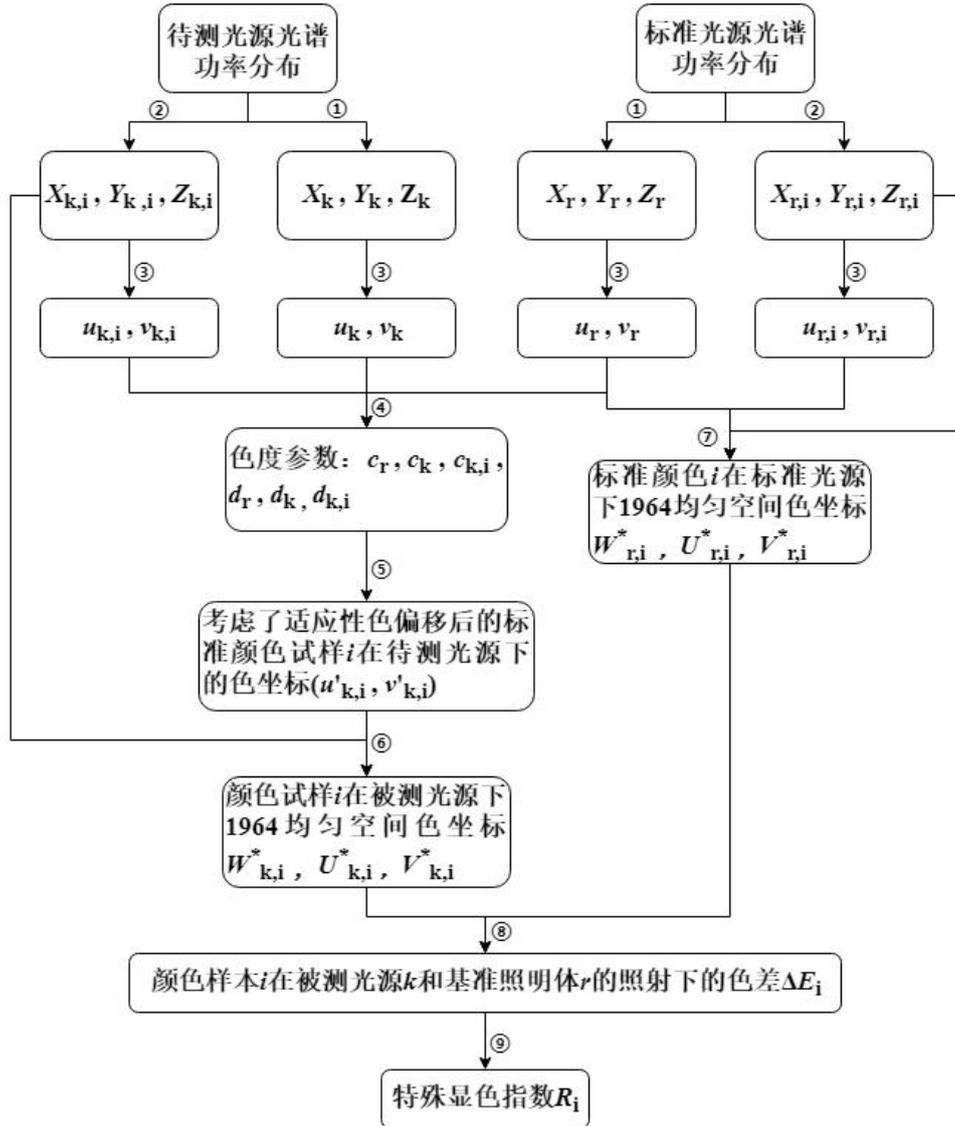
显示组别分级	1		2		3	4
	A	B	A	B		
$R_a$	$R_a \geq 90$	$80 \leq R_a < 90$	$70 \leq R_a < 80$	$60 \leq R_a < 70$	$40 \leq R_a < 60$	$20 \leq R_a < 40$

### 4 建筑玻璃颜色透射指数的计算

GB/T 11976-2015 中引用了 GB/T 5702-2019 中一般显色指数的计算过程作为颜色透射指数的计算过程，整个计算过程较为繁琐，在这里小编给大家整理了一下计算过程，有需要的读者可以收藏一下，不想烧脑的可略过。

#### 4.1 特殊显色指数的计算

特殊显色指数的计算步骤如图 2。



说明:

①根据光源的光谱功率分布,计算出待测光源 k 与标准光源 i 在 CIE1931 色空间下的三刺激值:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_k = k_k \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_k = k_k \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_k = k_k \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_r = k_r \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_r = k_r \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_r = k_r \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{array} \right.$$

② 根据颜色试样 i 的光谱辐射因子  $\beta(\lambda)$  与光源的光谱功率分布  $P(\lambda)$ , 计算 CIE1931 色空间中颜色试样在测试光源 k 与标准光源 r 下的三刺激值:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{k,i} = k_{k,i} \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \beta(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_{k,i} = k_{k,i} \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \beta(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_{k,i} = k_{k,i} \int_{380}^{780} P_k(\lambda) \beta(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{r,i} = k_{r,i} \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \beta(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_{r,i} = k_{r,i} \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \beta(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_{r,i} = k_{r,i} \int_{380}^{780} P_r(\lambda) \beta(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{array} \right.$$

③ 1960UCS 色坐标  $u = \frac{4X}{X+15Y+3Z}$ ,  $v = \frac{6Y}{X+15Y+3Z}$

④ 色度参数:  $c = \frac{1}{v}(4-u-10v)$ ,  $d = \frac{1}{v}(1.708v+0.404-1.481u)$

⑤ 考虑了适应性色偏移后的色坐标:

$$u'_{k,i} = \frac{10.872 + 0.404 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - 4 \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}{16.518 + 1.481 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}, \quad v' = \frac{5.520}{16.518 + 1.481 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}$$

⑥ 标准颜色样品在被测光源下的 1964 均匀空间色坐标:

$$W^*_{k,t} = 25(Y_{k,t})^{1/3} - 17, \quad U^*_{k,t} = 13W^*_{k,t}(u'_{k,t} - u_k), \quad V^*_{k,t} = 13W^*_{k,t}(v'_{k,t} - v_k)$$

⑦ 标准颜色样品在标准光源下的 1964 均匀空间色坐标:

$$W^*_{r,t} = 25(Y_{r,t})^{1/3} - 17, \quad U^*_{r,t} = 13W^*_{r,t}(u_{r,t} - u_r), \quad V^*_{r,t} = 13W^*_{r,t}(v_{r,t} - v_r)$$

⑧  $\Delta E_i = \sqrt{(W^*_{r,t} - W^*_{k,t})^2 + (V^*_{r,t} - V^*_{k,t})^2 + (U^*_{r,t} - U^*_{k,t})^2}$

⑨  $R_i = 100 - 4.6\Delta E_i$

图 2 特殊显色指数计算步骤

#### 4.2 一般显色指数的计算

一般显色指数 Ra 是通过将 CIE 颜色测试样本(编号 1-8)的八个特殊显色指数进行算术平均得到。

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

对于高端的照明产品或者在特殊场合下,不仅对前 8 个颜色的一般显色指数 Ra 有要求,还对第 9 个颜色(深红色)的显色指数 R9 提出一定的要求。在建筑玻璃行业里,这里计算获得的一般显色指数即颜色透射指数。

### 5 颜色透射指数(显色指数)是否足以全面评价玻璃的透射颜色特性?

有一部分玻璃由于追求外观颜色或本底着色的原因,会在可见光波段产生较为严重的光谱选择性透射,导致透射显色指数较低。还有一部分玻璃虽然显色指数较高,但视觉感受景物颜色失真较大,这是因为显色指数是通过被评价光源与其相关色温相同、相近的黑体辐射

轨迹或日光轨迹的光源进行比较获得的，并没有考虑到被评价光源本身的改变，所以很多场合还需要更为完善的评价方法。

举个例子：正午阳光灿烂、蓝天白云的天气，从透射颜色偏黄的玻璃窗向外看，阳光色温降低了，使人产生类似黄昏的感觉。计算 D65 光源透过玻璃的光谱分布，假设色温接近 3000K，透射显色指数计算时的比对就是 3000K 色温的黑体光源，显色指数计算结果可能会很高，似乎表明玻璃的颜色没有问题，但实际上已经将正午高色温，变为了像黄昏时的低色温，扰乱了人对自然的节律感受。所以颜色透射指数有时是不能完全表征建筑玻璃透射颜色质量的，具有一定的局限性。限于篇幅本文不在这里展开讨论，感兴趣的朋友可以进一步和小编讨论和交流。

**参考文献：**

- [1] GB/T 11976-2015 建筑外窗采光性能分级及检测方法[S].
- [2] GB/T 18091-2015 玻璃幕墙光热性能[S].
- [3] CIE13 Method of Measuring and Specifying Color Rendering Properties of Light Sources[S].
- [4] GB/T 26180-2010 光源显色性测量方法和规定[S]
- [5] GB/T 5702-2019 光源显色性评价方法[S].
- [6] GB/T21086-2007 建筑幕墙[S].

# 关于玻璃锡面知多少

作者：武文杰

【建筑光学】公众号 2019.10.11 发布

平板玻璃是板状无机玻璃制品的统称，目前世界上生产平板玻璃最先进、应用最广泛的工艺是浮法工艺。早在 1902 年，Heal<sup>[1]</sup>等人就已经提出了使玻璃漂浮在熔融金属表面成形的想法，但由于当时的工艺水平有限而未能实现。随后，英国的皮尔金顿玻璃有限公司从 1953 年开始研究，经过 7 年的不懈努力，终于推出了浮法工艺这一平板玻璃的革命性生产工艺<sup>[2]</sup>。浮法玻璃是在以金属锡为浮抛液并且充满保护还原气体的锡槽中成型的，玻璃的上表面在保护—还原气体氛围中，下表面与锡液相接触，锡面即生产过程中玻璃沾锡的一面。为什么我们要花费诸多精力来研究锡面的特点？为什么在生产过程中要准确识别玻璃锡面？相信大家看完本文后会会有一个初步的认识。

## 1 浮法玻璃制备工艺的特点

与其他工艺相比，浮法可以充分发挥玻璃表面张力的作用，生产的玻璃质量更好，容易加宽和生产特厚、特薄玻璃，可更好的避免玻璃结晶的缺陷，单机产量高，容易实现全线机械化。

当然，浮法工艺也存在一些特征缺陷。浮法玻璃成型时，高温玻璃带漂浮在熔融的锡液上，玻璃下表面（锡面）与锡液接触，金属锡与玻璃不浸润，但在高温下，锡液容易被氧化，与玻璃发生一系列复杂的物理化学反应，进入玻璃的锡面，出现渗锡的现象。当玻璃下表面的渗锡达到一定量时，就会改变玻璃表层的化学成分及结构，进而改变浮法玻璃的物理化学性能，会影响玻璃的力学强度，出现钢化虹彩、雾点等现象。

## 2 渗锡是怎么回事？

由于渗锡现象的存在，锡面与非锡面的物理化学性能有很大的不同，我们有必要探讨一下渗锡的机理。很多年前就有很多人对于渗锡的机理进行了研究，现在大家普遍承认的一种理论<sup>[3]</sup>为：如图 1 所示，尽管锡槽中充满了保护气体与还原性气体，但还会有微量的氧气从锡槽的开口及缝隙处进入到锡槽内，在高温环境下，液态锡会被氧化成  $\text{Sn}^{2+}$  与  $\text{Sn}^{4+}$ ，但由于大量  $\text{H}_2$  的存在， $\text{Sn}^{4+}$  又会被还原成  $\text{Sn}^{2+}$ ，所以液态锡中的锡离子主要以  $\text{Sn}^{2+}$  的形式存在。玻璃表层的碱金属离子（主要是  $\text{Na}^+$ ）会与锡液中的  $\text{Sn}^{2+}$  发生交换，即  $\text{Sn}^{2+}$  以离子交换的方式进入玻璃表层。玻璃内部有  $\text{Fe}^{3+}$  等还原性离子，会将进入到玻璃表层的  $\text{Sn}^{2+}$  氧化为  $\text{Sn}^{4+}$ ，但由于浅表层受锡槽中还原性气体  $\text{H}_2$  的影响， $\text{Fe}^{3+}$  会被还原为  $\text{Fe}^{2+}$ ，浅表层中  $\text{Fe}^{3+}$  的浓度会变小，所以浅表层中存在大量的未被氧化  $\text{Sn}^{2+}$ 。随着  $\text{Sn}^{2+}$  扩散深度的增加， $\text{Fe}^{3+}$  的浓度逐渐回归到正常水平，越来越多的  $\text{Sn}^{2+}$  被氧化成  $\text{Sn}^{4+}$ 。当扩散到深表层与浅表层的界面（临界面）时，绝大部分的  $\text{Sn}^{2+}$  被氧化成  $\text{Sn}^{4+}$ ，由于  $\text{Sn}^{2+}$  在玻璃中表现为网络调节离子， $\text{Sn}^{4+}$  在玻璃中表现为网络形成离子， $\text{Sn}^{2+}$  的扩散速率比  $\text{Sn}^{4+}$  快， $\text{Sn}^{2+}$  仍会以较快的扩散速率源源不断的到达临界面并被氧化为  $\text{Sn}^{4+}$ ，而  $\text{Sn}^{4+}$  的扩散速率较小，所以较多的  $\text{Sn}^{4+}$  会在临界面发生“堆积”，这也就是为什么图 1 中在临界面会出现小峰，深表层的锡是以 +4 价的  $\text{Sn}^{4+}$  存在的。

很多的试验都证实了这一理论，Williams<sup>[4]</sup>等人对玻璃锡面表层的渗锡进行的研究，发现深度小于  $3.5\mu\text{m}$  浅表层内存在 60% 的  $\text{Sn}^{2+}$ ，大量的  $\text{Sn}^{4+}$  存在于玻璃深表层中。

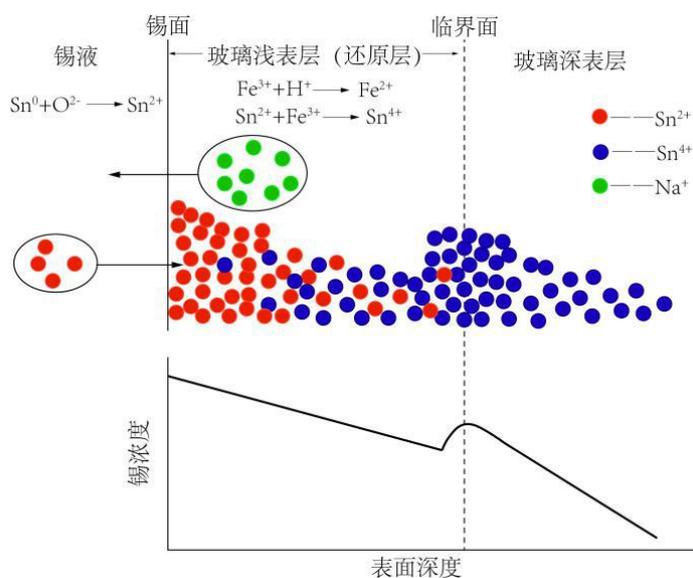


图1 渗锡机理

注：在玻璃的硅—氧四面体网络结构中，硅是+4价，同样是+4价的Sn<sup>4+</sup>可以代替Si<sup>4+</sup>并形成网络，所以Sn<sup>4+</sup>称为网络形成离子。+2价的Sn<sup>2+</sup>不能形成网络，但能改变网络结构，从而使玻璃性质改变，所以Sn<sup>2+</sup>称为网络调节离子。

### 3 渗锡对玻璃锡面性能有什么影响

如果存在严重的渗锡现象，浮法玻璃在后续的深加工中会出现各种光学及力学强度的缺陷，其中的原理是什么呢？

目前大家比较认可的一种说法是：浮法玻璃在制备过程中，有还原性保护气体作用，锡面浅表层中的锡主要以SnO的形式存在，进行热加工时，没有了还原性气体，加热后的浮法玻璃锡面浅表层中的Sn<sup>2+</sup>易被空气中的氧气氧化为Sn<sup>4+</sup>，即表层的SnO氧化形成SnO<sub>2</sub>[5]。有研究表明[6]，SnO<sub>2</sub>分子的单胞体积比SnO大3%左右。锡面的表面体积会膨胀，表面微小区域内产生的突起，突起之间的相互挤压使得玻璃表面的粗糙度加大，在表面形成微气泡、皱褶或微裂缝等缺陷[5]。由于锡面表面体积膨胀产生的微气泡，会在玻璃使用的过程中产生雾点；产生的皱褶会对可见光产生干涉作用，产生钢化虹彩现象；产生的微裂纹，会影响玻璃的力学强度。

当然也有人认为，锡面的这些缺陷是由于玻璃深加工时，玻璃表面的SnO氧化形成SnO<sub>2</sub>后，两者间存在热膨胀系数差造成的。关于锡面缺陷产生的机理众说纷纭，到底哪种说法是正确的，还需广大玻璃工作者不断的探索。

玻璃锡面与非锡面的各项性质有很大差异，所以丝网印刷与镀膜应在非锡面进行，否则色彩会有偏差，热弯钢化时，锡面应在凸面，否则容易出现虹彩，生产热熔玻璃时，如果锡面放反，生产出的热熔玻璃透明度差。看到这里，大家应该都意识到，在浮法玻璃生产过程与后续的深加工过程中高效、准确的识别玻璃锡面有很重大的意义。

### 4 怎样识别玻璃的锡面？

我们可以根据锡面与非锡面不同的光学性能来识别锡面，通过测量透过锡面的光或经锡面反射的光来达到准确识别锡面的目的，目前市面上有很多这类型的锡面识别仪，这里向大家介绍两款。

(1) 首先是北京奥博泰科技有限公司的 TS580 锡面识别仪。该仪器采用超长寿命光源、锂电池供电，使用维护成本低。采用专利锡面标识技术，锡面识别直观、明显。它外形小巧，便于携带，广泛应用于玻璃深加工行业的锡面识别。具有透射锡面识别，边部锡面识别和反射锡面识别三种方式，易于操作和观察。



图 2 TS580 锡面识别仪

(2) 北京奥博泰科技有限公司 TS2600 在线自动锡面识别仪。应用于夹层、钢化、镀膜、丝印、彩釉等玻璃深加工生产线，能够快速有效地识别出浮法玻璃的粘锡面位置，提供指示及报警信号，并具有外部扩展信号接口，可与生产线联动，得到玻璃锡面识别信息。



图 3 TS2600 在线自动锡面识别仪

#### 参考文献：

- [1]William E Heal. Manufacture of window and plate glass: US, 710357[P].1902-9-30.
- [2]张勤. 浮法玻璃成形中传热与渗锡的数值模拟[D]. 北京: 清华大学, 2011.
- [3]Yasuo Hayashi, Kiyoshi Matsumoto, Masahiro Kudo. The Diffusion Mechanism of Tin into Glass Governed by Redox Reactions during the Float Process[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2001,282:188-196.
- [4]K.F.E. Williams, C.E. Johnson, J. Greengrass, et al. Tin oxidation state, depth profiles of Sn<sup>2+</sup> and Sn<sup>4+</sup> and oxygen diffusivity in float glass by Mossbauer spectroscopy[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1997, 211:164-172.

[5] Yasuo Hayashi, Ryoji Akiyama, Masahiro Kudo. Surface characterization of float glass related to changes in the optical properties after reheating[J]. Surf. Interface Anal, 2001, 31: 87 - 92.

[6] 刘世民, 秦国强, 许哲峰等. 浮法玻璃下表面渗锡的 X 射线光电子谱[J]. 硅酸盐学报, 2005, 33(12):153-1538.

# 什么是 Low-E 玻璃的面电阻，有什么作用

作者：武文杰 【建筑光学】公众号 2019.8.27 发布

建筑物中通过门窗散失的热量约占整个建筑物采暖或制冷能耗的 50%，而通过玻璃流失的热量约占整个窗户流失热量的 80%，降低经玻璃流失的热量成为了建筑节能中的重要环节。所以，兼具优秀的采光性能与保温隔热性能的建筑玻璃一直是行业内的一大研究热点，在这样的行业背景下，Low-E 玻璃（Low Emissivity Glass）应运而生，此类玻璃对红外线有较高的反射率，对可见光有较高的透射率，制成的 Low-E 玻璃具有低传热系数和优秀的遮阳效果，不仅节能，更提高了建筑的舒适度。

## 1 什么是 Low-E 玻璃

Low-E 玻璃，是在玻璃表面镀上多层金属（一般为银）或其他化合物组成的膜系产品，按照加工工艺及 Low-E 膜的不同，Low-E 玻璃可分为在线 Low-E 玻璃与离线 Low-E 玻璃。普通玻璃的表面辐射率在 0.84 左右，意味着普通玻璃可将太阳光远红外热能的 16% 反射回去。在线 Low-E 玻璃的辐射率一般小于 0.25，意味着可将太阳光远红外热能的 75% 以上反射回去；离线 Low-E 玻璃的辐射率一般小于 0.15，其中三银 Low-E 玻璃辐射率更是可以达到 0.02，意味着三银 Low-E 玻璃可将太阳光远红外热能的 98% 反射回去，可以很好的阻隔热辐射透过。关于 Low-E 玻璃更多的知识请参阅建筑光学微信公众号往期文章，这里不再赘述。

## 2 面电阻是什么？与 Low-E 玻璃的各项性能有关吗？

面电阻可以简单的理解为在试样的表面两电极间所加电压与流过两电极间电流之比。

首先我们讨论一下影响面电阻大小的因素。材料的电阻大小是由材料中自由电子的平均自由程的长短来决定的，自由电子的平均自由程越短，材料的电阻率越大，自由电子的平均自由程越长，材料的电阻率越小。不同于大块的材料，对于连续的薄膜，由于尺寸效应（薄膜由于几何结构的限制引起导电特性的变化）的存在，薄膜的厚度会对其面电阻产生影响，薄膜的两个表面及各个晶粒对自由电子的散射会使自由电子的平均自由程减小，面电阻增大，特别是当薄膜厚度小于大块材料的自由电子平均自由程时，这种影响尤为明显[1]。离线 Low-E 玻璃中 Ag 层的厚度为十几纳米（小于大块 Ag 中自由电子的 52nm 的平均自由程），此时 Ag 层中自由电子的平均自由程随着 Ag 层厚度的减小急剧减小，所以**玻璃的面电阻随着薄膜厚度的减小而显著增大**。

接下来，我们看看反射率及辐射率的大小与薄膜的什么特性有关。拥有高密度自由电子的材料，如金属、可导电的化合物等，其对光场（光是电磁波，会产生电磁场）的响应与光场的频率有关，当光的频率较低（长波）时，材料中的自由电子会被电场加速并发生碰撞，会有一小部分光能被吸收，而被极化的自由电子对光场的电磁屏蔽作用很强，即材料在红外区有很高的反射率。随着光频率的增加，材料对光能的吸收增加，对光的反射率降低。直到当光频率增加到某一频率时，由于电子惯性的存在，电子已经不能跟随光场的变化作运动，此时自由电子对光的吸收和反射都很弱，光可以透射过材料，即材料对大于该频率的光已经“透明”[2]。

以银为例，银对于波长小于 134nm 的紫外光是低吸收、低反射、高透射的，对可见光与红外是不透明的（这也就是为什么很多反射镜是银镜），波长越长，反射率越高。看到这，可能会有人问了，银不透明，那为什么 Low-E 玻璃可以选用银膜作为功能层呢？因为**可以通过改变金属膜的厚度来使金属的透射反射率发生改变**，其实这一现象在国内外很多课题

组的实验<sup>[3,4]</sup>中已经被证实,图1为银膜厚度对归一化的太阳光透射  $T_{\text{Solar}}$ 、太阳光反射  $R_{\text{Solar}}$ 、可见光透射  $T_{\text{EYE}}$ 、293K 温度下的辐射率  $E$  ( $\lambda > 1 \mu\text{m}$ ) 的影响。从图中我们可以发现,银膜厚度较小时,可见光透射比与辐射率较高,随着银膜厚度的增加,银膜的辐射率降低,可见光透射率也随之降低,辐射率下降的更快。随着材料与镀膜技术的进步,在保证低辐射率的前提下,目前银膜的可见光透射比已经可以达到 80%以上了。

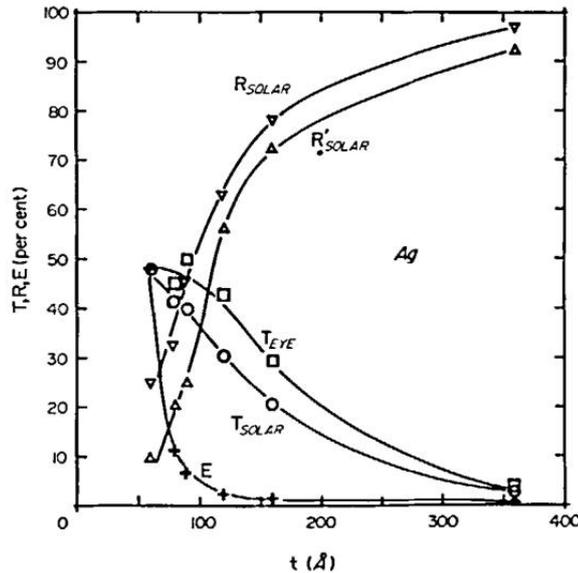


图1 银膜厚度与归一化的太阳光透射  $T_{\text{Solar}}$ 、太阳光反射  $R_{\text{Solar}}$ 、可见光透射  $T_{\text{EYE}}$ 、293K 温度下的辐射率  $E$  的关系<sup>[3]</sup>

看到这,大家应该发现了,面电阻与银膜厚度有关,辐射率也与银膜厚度息息相关,那么是不是可以通过测量面电阻来间接测量辐射率呢?答案是肯定的,面电阻与辐射率呈正相关的关系,通过测量面电阻就可以得到辐射率。

为了使辐射率降低,Low-E 玻璃面电阻是不是越小越好呢?显然不是,当功能层较厚时,面电阻减小,辐射率显著降低,但此时的可见光透射比也会降低,透过玻璃的可见光将减少,有研究表明<sup>[4]</sup>,为了得到辐射率为 0.05 的产品,面电阻需小于  $4\Omega$ ,此时的银膜厚度需要增加到 18nm,但可见光透射比将降为 80%,可见膜层不是越厚越好,面电阻也不是越小越好。由此可见,将面电阻控制在合理的范围内很重要,所以面电阻的准确测量非常重要。

注:以上的分析是在材料的密度、均匀性等都相同的情况下进行的

### 3 面电阻的测量

目前,可用两种比较常见的方法来测量 Low-E 玻璃的面电阻:电磁感应非接触式测量法与四探针接触式测量法。

**非接触感应式测量面电阻的原理:**当载有正弦波电流激励线圈接近被测表面时,线圈周围的交变磁场在被测表面感应电流,也产生一个与原磁场方向相反的相同频率的磁场,又反射到探头线圈,不同的表面面电阻导致检测线圈阻抗的电阻和电感的变化,改变了线圈的电流大小及相位,通过测量变化量就可以获得被测表面的面电阻。

**四探针接触式测量面电阻的原理:**通过外侧两个探针对被测表面施加已知恒定电流,测量中间两个探针的电压,即可获得被测表面的面电阻。

目前,市面上已有相应的测量仪。

北京奥博泰科技有限公司的**手持式面电阻测量仪 OHMETER OM1**采用非接触感应式，可测量表面导电的与表面不导电的导电玻璃和导电膜层，可测 0.5 Ohm/sq~50 Ohm/sq 范围内的面电阻，内置的电池可使该仪器连续工作 6 小时，是目前 Low-E 镀膜生产普遍选用的必备测量仪器。仪器外形图见图 2。



图 2 OHMETER OM1 手持式面电阻测量仪

同样是北京奥博泰科技有限公司的在线四探针面电阻测量仪 RD-800，采用四探针接触式测量面电阻的原理，主要用于测量导电膜层的方块电阻，如柔性材料导电薄膜、金属涂层或薄膜、陶瓷或玻璃等基底上导电膜（ITO 膜）或纳米涂层等半导体材料。具有测量精度高、测量量程多、量程范围可根据被测膜层自动调整、探头探针可更换及易维修等优点。仪器外形图见图 3。



图 3 RD-800 在线四探针面电阻测量仪

限于作者能力、水平有限，文中有不妥之处，欢迎读者与我们交流。

#### 参考文献：

- [1]J W C de Vries. Resistivity of thin Au films as a function of grain diameter and temperature[J]. J. Phys. F: Met. Phys. 1987,17, 1945-1952.
- [2]E. SHANTHI, A. BANERJEE AND K. L. CHOPRA. DOPANT EFFECTS IN SPRAYED TIN OXIDE FILMS[J]. Thin Solid Films. 1982, 88, 93-100.
- [3]E. VALKONEN, B. KARLSSON and C-G. RIBBING. SOLAR OPTICAL PROPERTIES OF THIN FILMS OF Cu, Ag, Au, Cr, Fe, Co, Ni AND Al[J]. Solar Energy. 1984, 32, 211-222.
- [4]林育琼, 冯仕猛, 王坤霞. 金属薄膜厚度小于电子自由程对其光反射率的影响[J]. 光子学报. 2011, 40, 263-266.
- [5]范亚军. 可钢化低辐射镀膜玻璃镀膜工艺探索[J]. 建筑玻璃与工业玻璃, 2014, 7, 28-29.

# 浅析三银 Low-E 玻璃偏角变色现象成因与控制

作者：赵永进、马轶先等

【建筑光学】公众号 2019.10.31 发布

**中文摘要：**本文通过从膜层材料、膜层厚度和膜层界面的维度对三银 Low-E 玻璃的偏角变色现象进行分析和论述，通过理论计算和实际生产来改变三银 Low-E 玻璃膜层材料的厚度和观察玻璃基片的角度，从而得到表征玻璃基片颜色的色度空间值 ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) 变化规律，同时结合生产和实践经验，提出了通过统计和分析动态沉积速率的方法来控制偏角变色现象，为三银 Low-E 玻璃在连续生产和补片过程中实现对其色差的可控性，也为三银 Low-E 玻璃的调试与开发奠定了一定的理论基础。

**Abstract:** The color change with declination angle phenomenon about triple silver Low-E glass is investigated by coating materials, coating thickness and interface between different coatings. The law of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  in CIE1976 system, characterizing the color of glass, is obtained through changing various coating thickness and visual angles by theoretical calculation and experimental evidences. Combined with production and practice experience, the analysis and statistics method of dynamic deposition rate is applied to control this phenomenon, for decreasing the color-difference in continuous production and patch and laying theories for adjustment and development for triple silver Low-E glass.

**关键词：**三银 Low-E 玻璃、偏角变色、动态沉积速率、色差

**Keywords:** Triple silver Low-E glass, color change with declination angle, dynamic deposition rate, color-difference

## 1 前言

在国家节能减排的倡导下，在建筑节能领域中，Low-E 玻璃具有重要意义<sup>[1]</sup>。从国内节能建筑玻璃的应用来看，Low-E 玻璃已有 30 多年的历史，其主要经历了三个技术阶段的发展，从单银 Low-E 玻璃到双银 Low-E 玻璃，再到三银 Low-E 玻璃。目前，三银 Low-E 玻璃是世界建筑领域公认最节能、最符合人性需求的建筑玻璃，其突出的优点体现在有更高的可见光透射比，保证室内足够的自然采光，更低的太阳红外热能透射比，更低的传热系数等<sup>[2]</sup>。为了体现 Low-E 的节能特点，学者们<sup>[3]</sup>在  $g$  值 (300-2500nm 波长范围内太阳光直接透射比与二次传热的加和) 的基础上，提出了  $g_{IR}$  的概念， $g_{IR}$  值为 780-2500nm 波长范围内的太阳光直接透射比与二次传热的加和。随着三银 Low-E 玻璃的发展，通过  $g$  值来作为建筑玻璃的节能指标已不再合理，因为在红外波段透射及吸收能力较强的玻璃，有可能由于具有较低的可见光透射率，使得计算所得  $g$  值较低；而具有较高  $g$  值的玻璃，又有可能在红外波段具有较低的透射率及较低的二次传热，同时在可见光范围内具有较高的透射率，从而使得计算所得  $g$  值较高，但  $g_{IR}$  更能直接准确地反应玻璃阻挡太阳辐射热的能力。在三银 Low-E 玻璃生产和应用过程中，由于膜层厚度的增加，随着入射角度的变化和材料色散的影响，使得光路中光程变化较大，影响薄膜界面反射光线的干涉情况，造成偏角变色现象<sup>[4]</sup>。

对连续生产过程及不同的生产批次的三银 Low-E 玻璃，其偏角变色的控制十分重要。本文应用理论计算，并结合实际生产，通过改变膜层结构中每层膜层材料的厚度，研究其对三银 Low-E 玻璃偏角变色的影响，并提出控制方法，以期对其偏角变色现象能够精准地控制，避免出现严重色差。

## 2 偏角变色现象成因分析

### 2.1 膜层颜色的产生原理

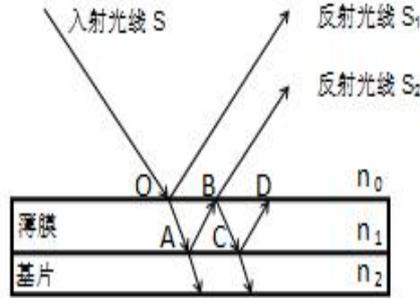


图 1 膜层颜色产生原理示意图

膜层的颜色由其干涉色决定，一束光波照射到透明膜层上，从膜前后表面分别反射形成两列相干光波，当光束在某个空间区域发生交汇，它们会发生叠加，叠加的结果取决于彼此相互的位置（即相位）、振幅及频率[5]。若两束波相加，使总振幅比任何单个波的振幅都大，这种干涉叫做相长干涉；相反，若总振幅比任何单个波的振幅都小，这种干涉叫做相消干涉。入射光与膜层的相互作用，发生不同程度的消光和不同波长的消光，因而显示不同程度的明暗与色彩。如图 1 所示：光束 S 照射与 O 点，一部分立即被反射，而另一部分则折射到 A 处。反射部分以 S1 来表示，折射至 A 处又会照样地有一部分立即被反射，而另一部分被折射。被反射的光线抵达 B 处，又在该处分为两部分，一部分折射为平行于 S1 之 S2，另一部分被反射后则沿 BC 路线而抵达 C 处。然后再在该处被分为两部分，一部分折射另一部分则被反射到 D 处。反射光线 S1, S2 会发生叠加，如果叠加后使长波位置的光发生相长，则膜层看起来略微呈红色或橙红色。

## 2.2 膜层颜色的影响因素

### 2.2.1 膜层材料

膜层材料起到传输光线的作用，分别以折射、反射和透射的方式来改变光线的方向、强度和相位，使光线按预定要求传输，也可吸收或透过一定波长范围的光线而调整光谱成分。根据材料在膜层结构中的作用大致分为金属膜和电介质材料<sup>[6]</sup>。对于金属膜而言，由于金属或合金含有大量的自由电子，当光射到金属或合金表面时，光子同电子云的表面层相互作用，使得金属中的电子得到能量而激发，显示金属特有的光泽。一般金属具有较强的反光性和吸光性，因此金属（或合金）材料一般作为反光膜层材料或光调节材料。金属膜层的光学特征使他们总体上更像是反射体，如图 2 所示，所列的金属材料在可见光范围内具有极高的反射率。对于电介质膜来说，介质材料一般为氧化物或氮化物，材料大都是双电荷（或多电荷）的离子型晶体结构，其折射率一般在 1.46-2.7 之间。

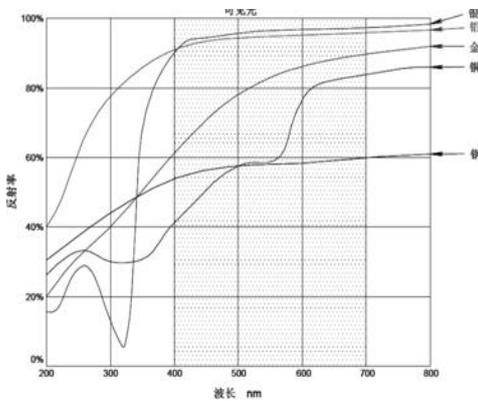


图 2 不同金属材料在可见光范围的反射率

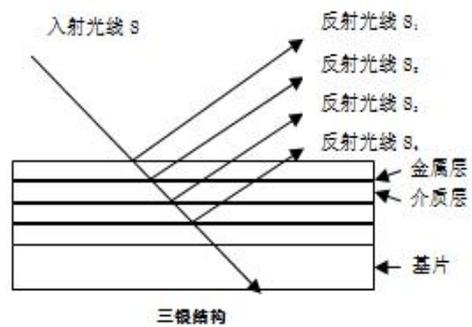


图 3 不同膜层厚度对光线反射影响示意图

### 2.2.2 膜层厚度

从图 3 可看到金属膜层在膜系中起到功能层的作用，其光学特征使它对光线的反射最高，通过改变金属膜层的厚度影响反射光线的强度，进而影响光线反射后的光线叠加情况，造成不同的颜色变化。而介质层在膜系中主要是光线的透过和折射，通过改变介质膜层的厚度影响光程，光程改变后反射光线的相位也发生变化，造成反射光线的不同叠加情况呈现不同的颜色<sup>[7]</sup>。

### 2.2.3 膜层界面

光线在界面上不仅会发生反射，还会发生折射。当光线穿过一种介质（透明、非金属）进入另一种介质，一些光线会穿透它并进入第二种介质，也会有一部分会在交界面上发生反射。若第二种介质的折射系数高于第一种，即  $n_2 > n_1$ ，那么反射光线就会发生  $180^\circ$  的相位变化（如图 4 所示）。这就相当于光线的传播距离至少增加了半个波长。若第二介质的折射系数低于第一介质的折射系数，即  $n_2 < n_1$ ，那么反射光线就不会发生相位变化（如图 5 所示）<sup>[8]</sup>。

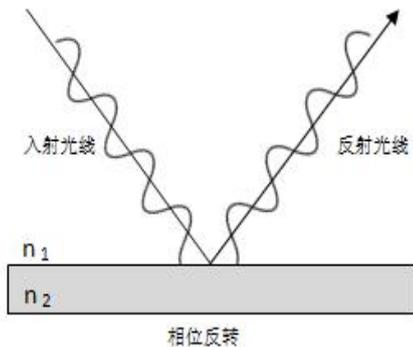


图 4 反射光线相位改变示意图

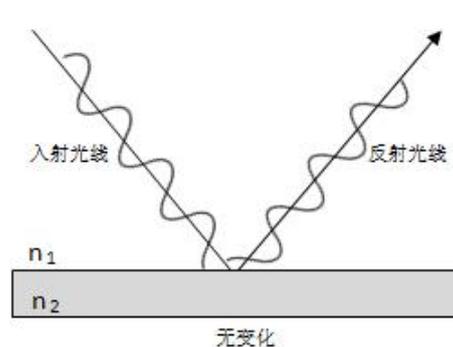


图 5 反射光线相位固定示意图

### 2.3 偏角变色现象

三银 Low-E 玻璃颜色会随着观察角度的变化而变化的现象，称之为偏角变色现象。偏角变色由于观察角度随着远离法线逐渐增大，入射光线在膜层中走过的路径逐渐增加，使反射光线的叠加情况逐步变化，进而颜色逐步变化。如图 6 所示，若光线以任何非垂直的角度入射，从基片表面反射回来的 ABC 光线所传播的路径都要比垂直反射 EFE 光线长，通过薄膜  $n_2$  后，产生了光程差。若光程差是对应  $\lambda/2$  的奇数倍，则发生相消干涉；若是偶数倍，会发生相长干涉。随入射角度逐步变大，光程差也在改变，那么光线的叠加在相消干涉和相长干涉间变化。

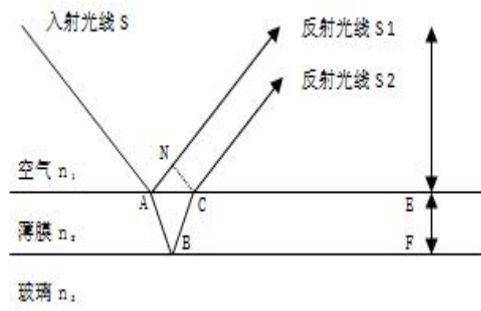


图 6 偏角变色现象原理示意图

## 3 偏角变色现象案例与控制

### 3.1 实际生产案例

考虑到在生产过程中影响光线干涉的膜层反射强度、膜层厚度和膜层界面对偏角变色现象控制具有可操作性和实践性，因而我们忽略膜层内部反射和金属膜层消光系数对光线吸收的影响，从膜层结构、膜层厚度和膜层界面方面对光线的干涉影响为主来进行研究。当膜层结构确定时，膜层界

面反射也确定，那么膜层的反射强度和膜层厚度是调试过程中需控制的重要因素。以我司某牌号的三银 Low-E 玻璃为例，从玻璃基片开始，逐一改变介质层和金属层的厚度来调整发射光线的光程差。在考察厚度影响时，实验是在现有膜层厚度的基础上，分别以 1.1 和 1.2 倍的系数进行厚度调整；在考察观察角度影响时，分别以  $10^\circ$ ， $45^\circ$  和  $60^\circ$  的角度（与玻璃基片法向夹角）来观察调整后对整体 Low-E 玻璃面的颜色影响，并用对应的光谱测色仪来得到色度空间值（CIE1976） $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ （见表 1），从而来研究偏角变色的变化规律。

从表 1 中可得出，对于同一厚度和同种膜层材料而言，随着观察角度的增大， $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  的变化幅度也越来越大，这是因为随着入射光线的变化，透过同一膜层的光线的光程差出现了改变，产生的导致了 Low-E 玻璃面偏角变色现象。对于同一观察角度和同种膜层材料而言，相比于增加介质层厚度，增加金属层厚度时改变了光线的反射强度，对  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  的影响程度更大，即三银 Low-E 玻璃对 Ag 层厚度更为敏感，其敏感程度对不同膜层结构也有所不同<sup>[9]</sup>。

表 1 不同膜层厚度和不同观察角度对 Low-E 玻璃面的色度空间值影响一览表

序 号	配 置	膜层 材料	厚度 nm	调整 系数	与玻璃基片表面法向的夹角								
					$10^\circ$			$45^\circ$			$60^\circ$		
					$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	介 质 1	SiNx	30	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	27.6	11.3	-16.6	35.4	4.8	-6.4	56.7	-2.0	-3.9
				1.2	27.4	13.1	-16.0	35.7	5.3	-4.7	56.9	-2.5	-2.8
2	金 属 1	Ag	10	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	26.9	11.1	-19.7	34.7	5.6	-8.7	56.7	-2.1	-3.9
				1.2	26.9	12.4	-20.8	35.0	6.9	-8.5	57.1	-2.6	-2.6
3	介 质 2	SiNx	60	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	31.6	7.4	-23.0	36.2	5.0	-15.0	56.7	1.8	-8.3
				1.2	37.6	5.2	-23.3	39.7	4.8	-17.9	57.7	4.0	-11.1
4	金 属 2	Ag	15	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-6.2
				1.1	31.2	10.9	-17.7	37.3	6.9	-9.2	56.6	1.2	-7.0
				1.2	35.1	11.6	-16.7	40.2	9.0	-9.1	57.1	4.0	-8.6
5	介 质 3	SiNx	60	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	30.2	14.3	-27.7	36.7	4.4	-13.6	57.5	-2.8	-7.0
				1.2	35.4	14.8	-30.5	40.4	5.1	-15.7	59.5	-3.4	-6.8
6	金 属 3	Ag	15	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	26.7	14.1	-22.3	34.6	6.7	-9.6	56.7	-0.8	-4.9
				1.2	26.7	18.2	-25.5	34.9	9.3	-10.1	57.1	0.3	-4.5
7	介 质 4	SiNx	30	1.0	28.0	9.7	-17.6	35.2	4.4	-8.4	56.1	-1.4	-5.0
				1.1	28.1	13.2	-17.9	35.8	5.6	-6.0	56.9	-1.2	-3.7
				1.2	28.9	16.7	-19.2	36.6	7.1	-4.6	57.3	-0.6	-2.7

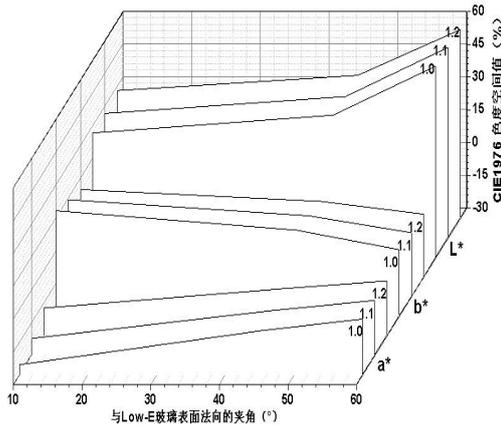


图7 金属3对Low-E玻璃面色度空间值的影响

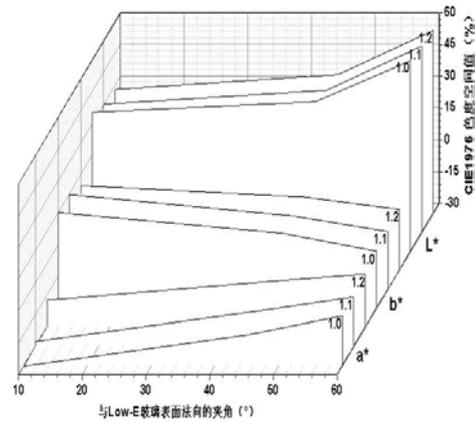


图8 介质4对Low-E玻璃面色度空间值的影响

当观察角度,膜层材料和对应厚度的改变时,对Low-E玻璃面的 $L^*$ , $a^*$ 和 $b^*$ 的变化规律呈现不同的趋势。分别以顶层金属层Ag和顶层介质层为例(见图7和图8),随着观察角度、膜层厚度与膜层界面的变化,Low-E玻璃面的色度空间值变化幅度和变化趋势均有差异,这主要是因为膜层材料本身的光学性质及通过改变膜层厚度和肉眼观察角度来改变经过对应膜层的光程差,从而对光线进行不同程度地相消或相长干涉引起的现象。

### 3.2 指导与控制方法

在大面积基片镀膜的生产过程中,生产线的阴极排布已确定,可通过统计和分析动态沉积速率<sup>[10]</sup>的方法来控制在Low-E玻璃的偏角变色。动态沉积速率与靶材材料、靶材制作、溅射气体、反应气体、本体真空度、基片温度、基片传输速度和溅射功率等有关。不同靶材材料,其由分子或原子结构决定的化学性质和物理性质迥异,溅射活性也不同,我们可以在不同的生产阶段通过单层测试实验来统计并分析规律以指导生产。靶材本身对溅射速率的影响因素包括其制造工艺、材料纯度、杂质种类及含量、晶粒尺寸、表面光洁度、材料配比及混合均匀程度等。对于溅射气体而言,不仅影响溅射效率,同时对大面积基片镀膜的均匀性有重要影响。在生产时,保持相对恒定本体真空度也是关键。在溅射材料和溅射气体一致时,不同基片传输速度和溅射功率得到相对应的膜层厚度。考虑到以上这些因素,我们通过大量的单层实验数据,详细记录生产工艺状态,统计并分析不同靶材在不同生产阶段的动态沉积速率,并通过改变基片传输速度和溅射功率来研究单层膜层材料及厚度对颜色的变化规律,同时调整辅助气体气量来提高颜色的均匀性,从而实现三银Low-E玻璃偏角变色的控制,避免出现影响建筑玻璃颜色的一致性与美观性的色差。

## 4 结论

正是由于三银Low-E玻璃的偏角变色现象,使其给建筑幕墙玻璃在不同角度呈现不同的颜色,在实现节能的同时,进一步增加了建筑整体的美观性。我们通过统计和分析膜层材料的动态沉积速率来控制其偏角变色现象,不仅可以避免出现严重色差,而且还可以三银Low-E玻璃的调试与开发奠定了一定的理论基础。

### 参考文献

- [1] 穆昊明.建筑节能的经济效应分析.产业观察[J].2013,(6):31-32.
- [2] 王琦,陈婷婷.浅谈三银Low-E镀膜玻璃.玻璃[J].2013,(8):49-51.
- [3] 宋秋芝.玻璃镀膜技术[M].北京:化学工业出版社,2013,128-130.
- [4] 蓝海江.薄膜的增透、增反作用与其厚度、折射率之间的关系.河池师专学报[J]Vol.21(2001):44-46.

- [5] 王莉, 鲁刚.光的干涉和衍射探讨.高师理科学刊[J].Vol.3(2009):92-95.
- [6] 周志坚.建筑镀膜玻璃简单膜系结构设计及其光谱特性计算.真空[J].Vol.3(1997):12-18.
- [7] 欧启标, 代国勇, 彭宇林等.膜层厚度对长周期光纤光栅谐振波长的影响.激光与红外[J].Vol.6(2012):686-690.
- [8] 张登玉 光干涉中光程差及半波损失. 广西物理[J].Vol.7(2000):102-106.
- [9] 孙喜莲,洪瑞金.齐红基磁控溅射不同厚度银膜的微结构及其光学常数.物理学报[J].Vol.55(2006):4923-4926
- [10] Hans Joschim Glaser.大面积玻璃镀膜[M].德国冯•阿登纳真空技术有限公司组织编译.上海: 上海交通大学出版社, 2006.

#### 作者简介

赵永进 (Zhaoyongjin), 1985 年 10 月出生, 男, 河北唐山, 研究方向, 镀膜产品开发与工艺优化, 工作单位是天津耀皮工程玻璃有限公司 (Tian Jin SYP Engineering Glass CO., LTD), 通讯地址为天津市北辰区华泰道 1 号, 邮编为 300409, 联系电话 022-86890319, 手机号: 13682050579, E-mail:zhaoyj@sypglass.com。

# 2018



2018年汇编  
请扫二维码查看



2017年汇编  
请扫二维码查看

联系我们



建筑光学



[www.aoptek.com](http://www.aoptek.com)



[wechat@aoptek.com](mailto:wechat@aoptek.com)



010-51122611 51122586



ARCHITECTURAL  
建筑光学 OPTICS

