

入射角度对太阳能玻璃透光率影响研究

Study of the relationship between solar glass light transmittance and incident angle

苗向阳 石新勇 韩松

中国建筑材料检验认证中心有限公司 北京 100024

摘要 对入射角变化时,太阳能压花玻璃表面花型与透光率关系进行了定量分析,并对玻璃表面结构优化设计和应用提出指导意见。

Abstract The paper analyzed the relationship between solar glass surface pattern and light transmittance quantitatively while the incident angle is changed. Suggestion has been given about the glass pattern design and application.

关键词 太阳能玻璃 入射角 光透过

Key words solar glass incident angle light transmittance

太阳能玻璃是平板型集热器和晶体硅光伏组件的重要盖板材料,它一方面起到隔绝外界环境、保护其它部件的作用,另一方面也是太阳光透过的重要介质。

在作者的另一篇文章《垂直入射状态下太阳能压花玻璃光学行为研究》中,曾对垂直入射时压花玻璃的花型对透射比影响进行了分析。但在实际应用中,太阳能设备一般都是固定安装的(也有少量装备阳光跟踪系统,但价格昂贵,应用很少),阳光入射到太阳能玻璃表面的角度实际上是时刻变化的。因此,对入射角不断变化情况下,太阳能玻璃光学行为进行研究,更具现实意义。

本文仍以四角花型为例,建立压花太阳能玻璃表面结构模型,定量分析在阳光入射角变化状态下,玻璃表面花型和透光率之间的关系。

1 太阳能玻璃表面压花及模型建立

太阳能玻璃采用压延方法生产。从窑炉中出来的玻璃液经过压延机而成型进入退火窑退火。压延机的压辊一根为光辊,一根为花辊。花辊上刻制的花纹在软的玻璃表面压出相应的图案。

图1是典型的太阳能压花玻璃表面四角花型的照片。四角花型是一个稍有变形的倒四棱锥。建立如图2所示的四角花型理论模型,用于光学行为分析。

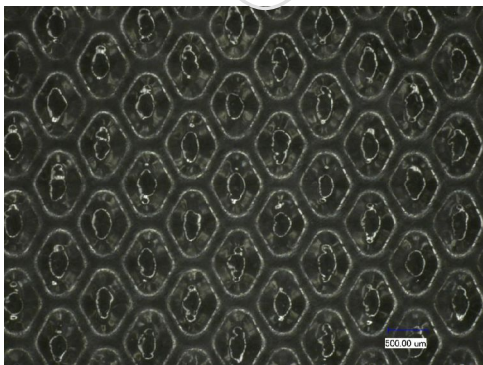


图1太阳能压花玻璃表面四角花型

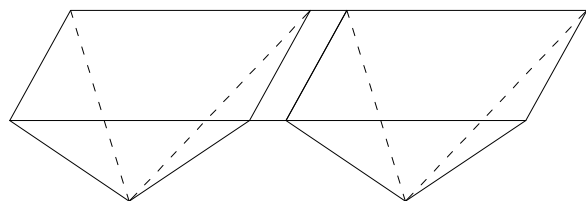


图2 四角花型模型

2 不同花型角下的光学行为

设花型角为 k ，将光线和玻璃表面法线的夹角为 α 定义为表观入射角， α 将在 $0\sim 90$ 之间变化。在花型角 $k\leq 90$ 、 $90 < k < 120$ 、 $k\geq 120$ 时，有不同的光学行为，必须分别加以分析计算。

2.1 $k\leq 90$ 的情况

当 $\alpha = k/2$ 时，光线平行于花的一个斜面（第二反射面）入射到相对的斜面上（第一反射面），如图3所示。

当 $\alpha = 90 - k/2$ 时，光线垂直入射到第一斜面，如图4所示。

在 $90 - k/2 < \alpha < 90$ 时，光线只照射到第一反射面，且在第二反射面没有二次反射；

在 $k/2 \leq \alpha < 90 - k/2$ 时，光线只照射到第一反射面，但同时第二反射面有二次反射。

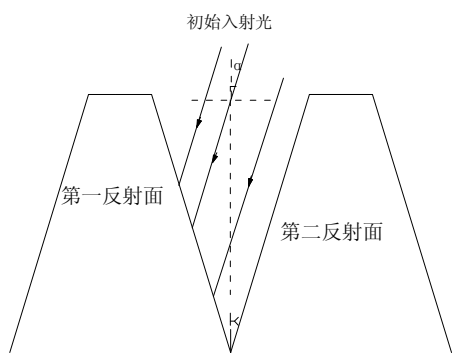


图3 光线平行第二反射面入射

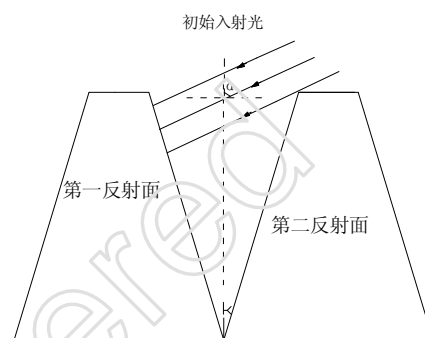


图4 光线垂直第一反射面入射

当 $0 < \alpha < k/2$ ，第一反射面和第二反射面都会有直接入射光，如图5所示，而且与光垂直玻璃表面入射时的情况不同。在前面已经分析的垂直入射情况，光在第一、第二反射面的行为是完全相同的。但在斜射时，光在两个表面的状况是不同的（同一平行光在两个反射面的1次入射角不同），须分别计算。

对于在表观入射角为 α 、花型角为 k 时，直接入射到第二反射面的光的比例并不相同。建立图6的模型，我们近似认为照射到第二和第一反射面反射面的光通量之比 $=AB/BC$ ，设 $AD=AC\approx BD=1$ ，可以得到 $p_1 = k/2 - \alpha$ ， $p_2 = k/2 + \alpha$ 。

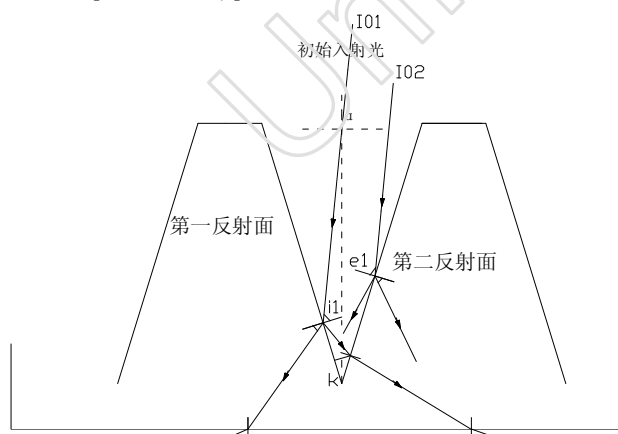


图5 $0 < \alpha < k/2$ 时光在太阳能玻璃中的传输

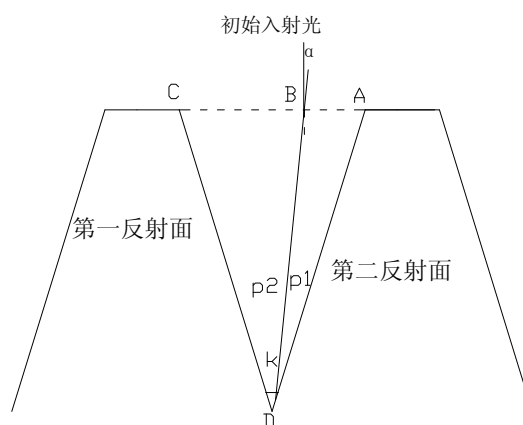


图6 斜射光在不同反射面的光通量

故：

$$\frac{AB}{BC} = \sqrt{\frac{AB^2}{BC^2}} = \sqrt{\frac{AD^2 + BD^2 - 2AD \cdot BDC \cos(\frac{k}{2} - \alpha)}{AC^2 + BD^2 - 2AC \cdot BDC \cos(\frac{k}{2} + \alpha)}}$$

$$\frac{AB}{BC} \gg \sqrt{\frac{1 - \cos(\frac{k}{2} - \alpha)}{1 + \cos(\frac{k}{2} + \alpha)}}$$

分别计算出两个反射面上光透过之后，要用上式的权重来计算总透射比。

计算 $k/2 < \alpha < 90$ 时各花型角下玻璃的透射比：如图7设入射到第一反射面上的初始入射光为 $I_1=1$ ，在第一反射面上的一次入射角为 i_1 ，折射角为 i_2 。第二反射面上二次入射角和折射角分别为 β 和 γ 。一次和二次折射光强分别为 I_{21} 、 I_{22} 。进入玻璃内部的光 I_{21} 、 I_{22} 投射到玻璃另一表面，并折射出来形成 I_{31} 和 I_{32} ， $T=I_{31}+I_{32}$ ，即为最终的透射光。设 I_{21} 的入射角、折射角分别为 L 、 X ； I_{22} 的入射角、折射角分别为 M 、 Y 。

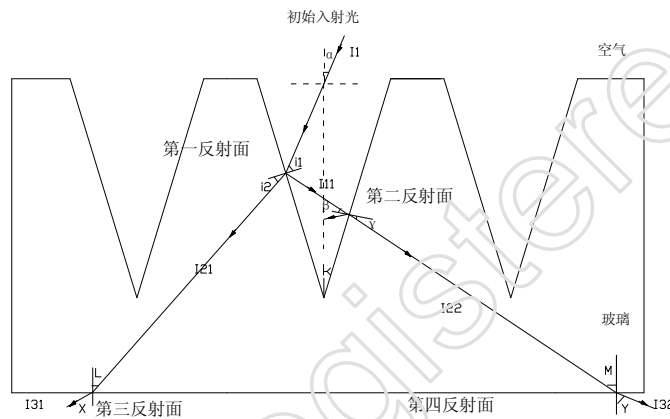


图7 $0 < \alpha < k/2$ 时光在太阳能玻璃中的传输

此时1次入射角 $i_1=90-k/2-\alpha$

2次入射角 $\beta=i_1-k=90-3/2k-\alpha$

$L=90-k/2-i_2$

$M=90-k/2-\gamma$

当 $0 < \alpha < k/2$ ，第一反射面上直接入射光参数同上；第二反射面上1次入射角 $=90-k/2+\alpha$ 。

2.2 $90 < k < 120$ 的情况

当 $\alpha < 180-3/2k$ 时，所有入射到第一反射面和第二反射面的直接入射光在相对反射面上都有2次反射。

2.3 $k \geq 120$ 的情况

当 $k \geq 120$ ，所有入射到第一反射面和第二反射面的直接入射光在相对反射面上都没有2次反射。必须考虑在各个角度光的不同行为，才能得出正确的总透射比。

3 入射角变化情况下，透光率和花型角的关系

按菲涅尔公式及光的相关定律计算结果见图8。

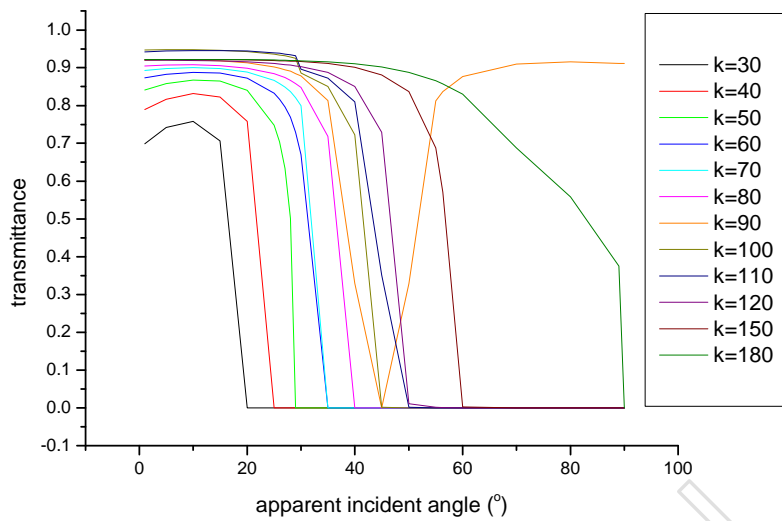


图8 不同花型角太阳能玻璃透射比与表观入射角的关系

4. 结论

1) 除90°花型角外，玻璃透光率都随着表观入射角的增大而降低；在 $k < 90$ 时，其透射效果均小于光面玻璃；随着花型角的增大，能接纳的光的范围也逐渐增大。

2) 对于90°花型，除表观入射角在40°~50°区间透光率加低较低，在0°~40°、50°~90°都具有较高的通过。

3) 对于100°和110°花型，在法线左右40°区间具有很高的透射比，但对大于40°的高角度斜射光接收能力差。

4) 玻璃表面的织构设计要综合考虑太阳光直射、斜射情形以及太阳能设备应用地的气候条件等。在纬度很低的地区，阳光在各个角度的光强都较强，为充分利用高角度斜射光，建议采用90°花型；对于中高纬度地区，为尽量提高±40°区间的透光率，建议采用10°或110°花型。

5) 研究结果是针对垂直入射的单片太阳能压花玻璃，但玻璃与其它材料复合应用时，要具体考虑其光学行为的变化。

作者简介

苗向阳，男，教授级高工，工学博士。工作单位：中国建筑材料检验认证中心有限公司，联系地址：北京市朝阳区管庄东里1号，邮编：100024。

E-mail: mxy@ctc.ac.cn