

# 光伏玻璃透光性能表示方法的分析研究

鲁大学<sup>1</sup> 曹 阳<sup>2</sup>

1 中国耀华玻璃集团公司 河北秦皇岛 066002

2 秦皇岛耀华浮法玻璃股份有限公司 河北秦皇岛 066013

**摘 要** 本文深入分析目前几种光伏玻璃透光率的表示方法, 结合光伏电池光谱响应曲线探讨各种方法的优缺点, 提出了进一步完善的方向与建议。对制定科学完善的光伏玻璃检测标准和不断提高光伏玻璃性能提供了理论基础。

**关键字** 光伏玻璃 太阳能电池 光谱响应 透光率

## 1 引言

根据光伏行业权威调查机构Solarbuzz在2010年6月发布的报告, 受欧洲、美国、日本、中国与一些小规模新兴市场的强劲成长推动, 今年全球太阳能电池市场规模预测上调至15.2GW, 是去年7.5GW的两倍之多, 其中仅德国就将达到8GW。同时Solarbuzz表示今年第一季度全球PV行业收入约为120亿美元, 虽然与2009年第四季度相比下降了40%, 但几乎是去年同期的四倍, 考虑季节性的弱势需求, 明确地显示了今年年度增长额将有可能大幅上涨。

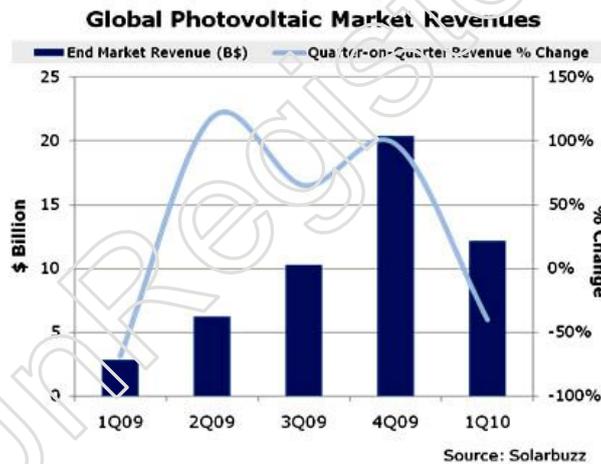


图1 全球光伏行业季度收入柱状图与季度增长变化曲线

光伏行业的快速增长必然促进光伏玻璃的发展。光伏玻璃是光伏电池的重要组成部分之一, 不仅起到整体防护、基板支撑以及薄膜电池电极的作用, 最重要的是其担负着透过光线的重任, 对于非晶硅薄膜电池还需要其具有一定的光散射能力。因此透光率成为衡量光伏玻璃优劣的重要性能指标。本文将就目前存在的不同透光率表示方法进行对比研究, 探讨其优缺点, 为下一步制定科学完善的光伏玻璃检测标准提供理论基础。

## 2 太阳能电池的光谱响应

太阳能电池并不能把任何一种光都同样地转换成电。不同波长的光, 转变为电的比例也不同, 这种特性称为光谱响应特性。光谱响应表示不同波长的光子产生电子-空穴对的能力。定量地说, 太阳电池的光谱响应就是当某一波长的光照射在电池表面上时, 每一光子平均所能收集到的载流子数。太阳电池的光谱响应又分为绝对光谱响应和相对光谱响应。各种波长的单位辐射光能或对应的光子

入射到太阳能电池上，将产生不同的短路电流，按波长的分布求得其对应的短路电流变化曲线称为太阳能电池的绝对光谱响应。如果将所产生的短路电流与其中最大短路电流比较，按波长的分布求得其比值变化曲线，这就是该太阳能电池的相对光谱响应。无论是绝对还是相对光谱响应，光谱响应曲线峰值越高，越平坦，对应电池的短路电流密度就越大，效率也越高。从太阳能电池的应用角度来说，太阳能电池的光谱响应特性与光源的辐射光谱特性相匹配是非常重要的，这样可以更充分地利用光能和提高太阳能电池的光电转换效率。

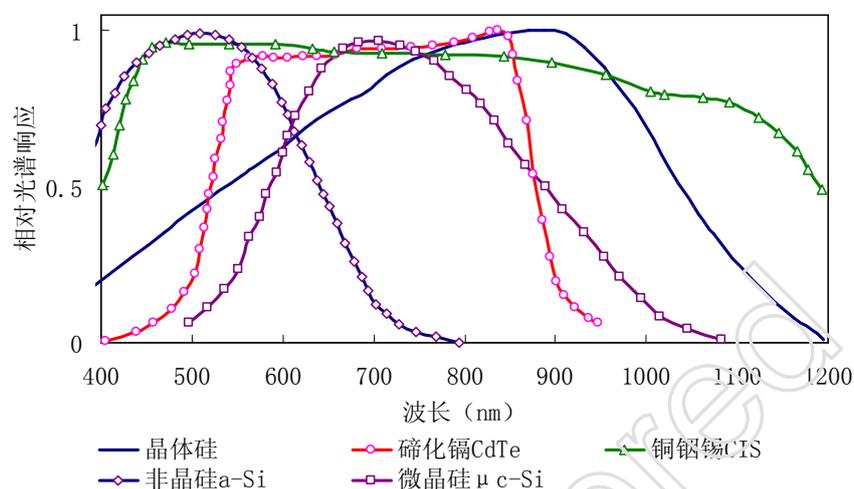


图2 部分太阳能电池相对光谱响应曲线示意图

图2为几种典型的太阳能电池相对光谱响应曲线示意图。虽然受制作过程中表面处理工艺以及叠层堆栈变化影响，实际电池光谱响应会有一些的不同，但不会影响本文对光伏玻璃透过率的分析。从图中可以看出，晶体硅电池的太阳能光谱响应范围大约是400~1200nm。非晶硅电池的光谱响应主要集中在可见光波段，而加上微晶硅叠层后的非晶/微晶复合电池响应范围可扩展至1000nm的近红外波段。CIS/CIGS电池的光伏响应范围与晶体硅电池相近，因此其光电转换效率目前是各种薄膜太阳能电池之首，接近于市场主流晶体硅太阳能电池转换效率。CdTe电池在550~850nm范围内的光谱响应多数都接近最大值，从而可以实现良好的转换率。

### 3 光伏玻璃的透光性能

目前对于光伏玻璃的透光率测量方法还没有专门的国家标准或ISO标准，国内企业可参照的标准是GB/T 2680-94，国外企业大都采用ISO 9050-2003或其等效标准。由于这两份标准都是针对建筑玻璃而制定的，因此其应用于光伏玻璃时会有不完善之处。新近实施的JC/T 2001-2009《太阳能电池用玻璃》标准对透光率参照ISO9050进行了规定。本文对上述标准形成的透光性能指标将分别进行分析。

通过查阅国内外各主要光伏玻璃生产企业的网站，摘录其光伏玻璃产品的公示数据，如表1所示，以供分析。

#### 3.1 可见光透过率

从企业公布的数据来看，大多数的企业都会为光伏玻璃标注可见光透过率。如果从建筑应用角度为超白浮法和超白布纹标注可见光透过率是有必要的。但如从光伏电池应用角度出发，可见光透过率仅仅是能够从建筑玻璃应用的惯例去比对某种光伏玻璃透过率好还是差，无法反映光伏玻璃在太阳能电池中的实际发挥作用情况。

第一个原因是大部分的太阳能电池光谱响应超出了可见光波段。在图2中只有非晶硅薄膜电池的光谱响应集中在可见光波段，其他的都覆盖了可见和近红外两个光谱波段。尤其是主要以超白玻璃为盖板的晶体硅电池，其在750~950nm波段上都处在光谱响应的高峰部分。如果有一种玻璃可见光透过率高，但近红外透过率低，其应用于晶体硅电池时并不能获得良好的输出效率。

表1 部分光伏玻璃企业产品透光性能标注情况

企业	产品名称	类型	透光率标注
PPG	Solarphire PV	超白浮法	可见光 91%；太阳光 90.8%
SGG	DIAMANT SOLAR	超白浮法	可见光 91%；太阳光 90%
SGG	Albarino S	超白布纹	太阳光 91.4%
AGC	SUNMAX	超白浮法	可见光 91.6%；太阳光 90.7%
AGC	SOLITE	超白布纹	可见光 91.6%；太阳光 91.1%
上海耀皮	S Clear	超白压延	可见光 91.66%；太阳光 91.34%
青岛金晶	—	超白布纹	太阳光 91.6%
河南裕华	—	超白布纹	可见光 92.13%；太阳光 92.28%

数据来源：生产企业公司网站

第二个原因是可见光透过率计算公式中引入了人眼明视觉函数 $V(\lambda)$ 。明视觉函数表达的是人眼在明亮环境下对不同波长可见光的敏感程度如图3所示，人眼对555nm（黄绿光）附近的灵敏度很高，但对于接近380nm和780nm处的光线敏感度接近于0。当可见光透过率公式应用于光伏玻璃时，会导致与实际效果产生一定的偏差。例如当一片玻璃提高了680~780nm（红光）波段的透光率后，由于微晶硅电池的光谱响应峰值正处于这一范围，必然使得微晶硅电池转换效率提高。但明视觉函数在此范围内的敏感度接近于0，因此可见光透过率几乎不变化。由此可以看出，可见光透过率不适用于光伏玻璃透过率的标称方法。

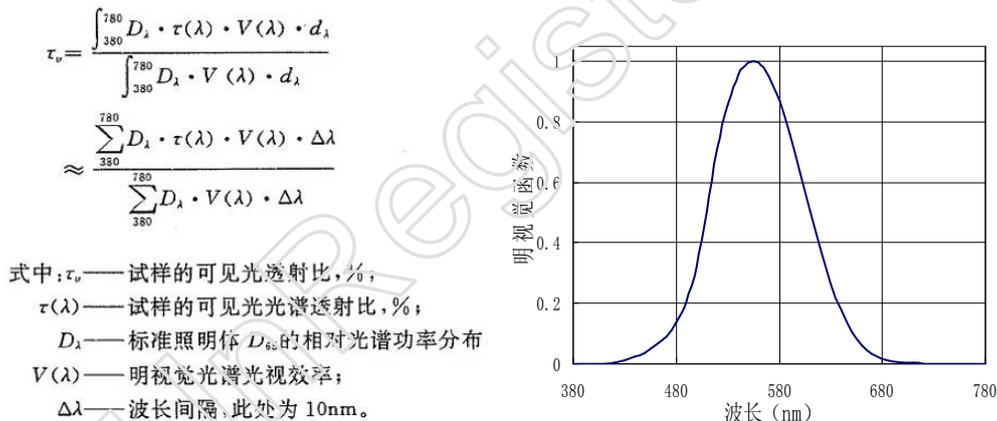


图3 可见光透过率计算公式和人眼明视觉光谱光视效率曲线

### 3.2 太阳光直接透射比

对于超白浮法、超白布纹等光伏盖板玻璃，太阳光直接透射比是比较适合作为透过率数值表示的。因为其仅与太阳光光谱分布和玻璃实测透过光谱分布有关，并且测量范围包含了所有光伏电池的光谱响应。因此其被所有的光伏盖板玻璃所采用。

在太阳光直接透射比的使用过程中，GB/T2680和ISO9050两个标准不一致的问题是必须引起注意的。首先是测量范围不同，前者是350~1800nm，后者是300~2500nm。更为主要的是选用的大气质量前者是AM1和AM2，后者是AM1.5。

大气质量 (Air Mass, AM) 定义为太阳光线通过大气路程与太阳在天顶时太阳光线通过大气路程之比。通常把太阳垂直照射地面时，即太阳光线与本地地面垂直的夹角为 $0^\circ$  时，光线穿过大气的路程称为1个大气质量，写为AM1。当太阳光线与地面不垂直时，大气质量均大于1。当太阳光线与本地地面垂直的夹角为 $48.2^\circ$  时，大气质量为AM1.5。夹角为 $60^\circ$  时，大气质量为AM2。

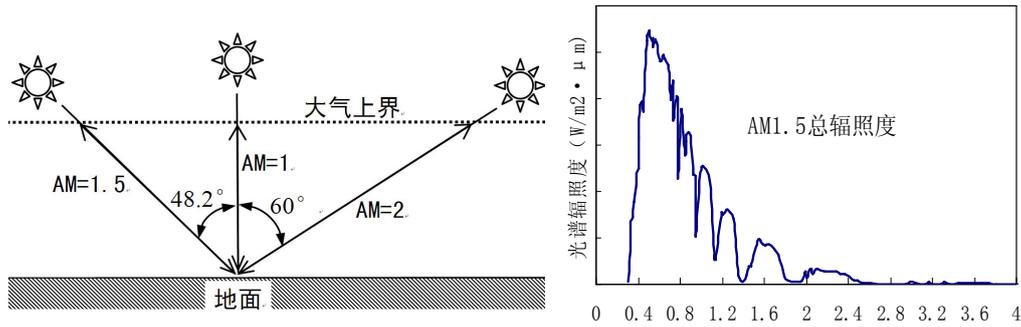


图4 大气质量示意图和大气质量1.5时的太阳光谱分布

选用同一种超白浮法玻璃产品的光谱数据，使用两种标准和不同的大气质量进行计算，结果如表2所示，可以看出，同一产品的太阳光直接透射比存在差别。

表2 不同大气质量条件下太阳光直接透射比变化

选用标准	大气质量	太阳光直接透射比
GB/T 2680-94	AM1	90.776%
GB/T 2680-94	AM2	90.792%
ISO 9050-2003	AM1.5	90.647%

在光伏电池行业的测试标准中，太阳光谱通用为AM1.5光谱。因此光伏玻璃行业也应该与之相对应，使用采取AM1.5的ISO9050标准计算太阳光直接透射比。在新近发布的《太阳电池用玻璃》行业标准中，引用了ISO9050的检测方法。

### 3.3 太阳能总透射比

建筑玻璃通常是以太阳光总透射比表示其对太阳光谱的透射情况，但其不能用于光伏玻璃产品。因为太阳能总透射比包括太阳光直接透射比和玻璃向室内侧二次热传递系数，二次热传递系数与玻璃室内侧的表面发射率有关。当光伏玻璃与EVA胶片连接或者与薄膜半导体连接时，其表面发射率作用消失。因此依据建筑玻璃而计算得出的太阳能总透射比与光伏玻璃实际应用时的透射情况不相符。

### 3.4 选定区间光谱透过率平均值

太阳光直接透射比能够作为超白浮法和超白布纹这一类盖板玻璃的透过率表示方法，但不适宜作为TCO导电玻璃的表示值。主要原因是TCO玻璃具有低辐射玻璃的红外线反射特性，其近红外部分的透过率很低。

图5为PPG公司的超白浮法产品Solarphire PV和导电玻璃产品Solar TCO的光谱曲线对比，可以很明显地看出，TCO玻璃在太阳能电池光谱响应范围集中的400~1100nm透过率较高，但在大于1100nm的近红外波段透过率逐渐下降，在2500nm附近已经趋近于0。如果按照ISO9050方法在300~2500nm范围内计算太阳光直接透射比将会很低，约为68%。所以说太阳能直接透射比不适用于表示TCO玻璃的透过率。

针对这一问题，国外光伏TCO玻璃企业采取了在选定区间内对玻璃光谱透过率实测数值直接求平均数的方法。例如AGC公司选取的是400~1000nm波段，PPG公司给定的“PV range”是400~1100nm。在选定光谱内，对光谱透过率曲线等波长间隔取值，直接计算出所有取值点数据的平均值，以此表示该TCO玻璃在光伏应用中的透过率。例如AGC公司的A010-TCO产品的标称透过率为78%，PPG公司的SolarTCO为76%。

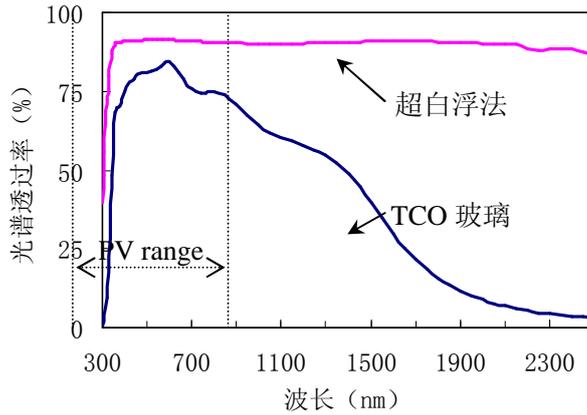


图5 超白浮法与TCO玻璃的光谱透过率曲线对比

此种表示方法的优点在于选定光谱范围涵盖了所应用电池的光谱响应，并且屏蔽了TCO玻璃1200nm以上透过曲线快速降低所带来的影响。其缺点是由于采用平均值法，有可能出现透过率曲线局部发生改变时，平均值不变，无法与电池光谱响应曲线很好地配合。

### 3.5 光伏有效透过率

由于光伏电池对不同波长的光响应程度不同，因此要求玻璃透过的光必须与之相匹配。也就是说光能透过玻璃被电池吸收转化为电能的多少，与玻璃的光谱透过率和电池的光谱响应两者都有密切的联系。为了能够更好地表征光伏玻璃在实际应用时，对有效光能的透过能力，北京奥博泰科技有限公司提出了有效透过率的概念，并在其光伏玻璃检测仪器中使用。有效透过率包含了玻璃光谱透射比、太阳能光谱分布、电池的光谱响应三种因素，能够准确地表征光伏玻璃在此种电池上的所发挥作用的优劣。但由于每种电池的光谱响应都不一样，因此所得到的有效透过率仅适用于此种电池，有一定的局限性。须制定每一类型电池的标准光谱响应曲线后进行优化和完善。

## 4 结语

通过以上的分析可以看出，现有的任何一种透过率表示方法都有其局限性。光伏玻璃的品种多种多样，光伏电池的类型也日趋繁多，很难找到一种通用的方法来适应所有的需要。这也为制定科学统一的光伏玻璃标准增加了困难。我国的光伏玻璃产业正处于蓬勃兴起的阶段，标准化的工作尤为重要。在贯彻执行《太阳电池用玻璃》行业标准的基础上，还应制定更完善的方法和规程。

解决上述局限性的最有效办法，是每一种光伏玻璃产品都公开提供全太阳光谱，或者是400~1200nm电池响应全光谱的光谱透过率数据表和光谱曲线图形。光伏电池企业在选择玻璃时，不论将应用于何种光伏电池，都可以通过玻璃光谱曲线确认是否与该种光伏电池响应曲线相匹配。进而通过光谱实测数据精确计算实际应用中的有效透过率指标，还可以运用软件模拟玻璃对光伏电池各项性能的影响。目前，PPG公司所提供的玻璃说明册上就为每一种产品提供了数据表和曲线图。这是对所有的光伏玻璃产品和所有的光伏电池类型都有效的方法。

为保证光伏玻璃产品所提供光谱数据和曲线的公正性，有必要在现有的“中国玻璃数据库”中增加光伏玻璃专项。这样能够使所有的企业都能按照同一规则测试和提供数据及曲线，保证准确性和公正性。同时也能够为各种类型的光伏电池生产企业提供一个非常好的选购平台，大大提高了便捷性。如果这些措施能够有效实施，一定可以为玻璃企业与电池企业搭建一个紧密、高效、快捷的桥梁，在推动光伏企业发展的同时，也必将促进光伏产品的不断进步。

## 参考文献

- [1] 王殿元, 王庆凯, 彭丹等. 硅太阳能电池光谱响应曲线测定研究性实验[J]. 物理实验, 2007, (9).
- [2] 王 威, 黄达泉. TCO光伏玻璃光电性能分析与检测[N]. 中国建材报, 2010.

[3] 沈 辉, 曾祖勤. 太阳能光伏发电技术[M]. 化学工业出版社, 2005, 6-16.

[4] ISO 9050-2003. Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors[S].

[5] Solarbuzz® QUARTERLY[R]. June 2010. www.solarbuzz.

### 作者简介

鲁大学, 高级工程师, 1992年毕业于中国计量学院光学专业, 现就职于中国耀华玻璃集团公司技术开发部, 中国建筑玻璃与工业玻璃协会镀膜玻璃专业委员会专家组成员。研究方向: 功能镀膜玻璃的应用技术与研究开发。

E-Mail: Ludaxue@sohu.com

UnRegistered