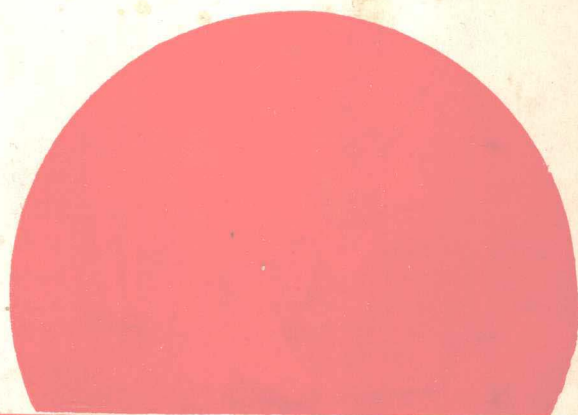


上海市能源利用技术
研究所文集

1



太阳能利用基础材料

一九八一年九月

前 言

太阳是一个巨大的能源，它以各种不同的方式为人类造福，就目前已经掌握或有可能大规模应用的能量转换方式而言，就有：光热转换，光电转换，热电转换，和光电化学转换等，通过这些方式为人类社会提供各种有用的能量。

太阳是以辐射波的形式传播给大地，人们为了利用它就必须发展具有各种功能特性的材料和器件，把太阳的辐射能转换为有用的热能、电能、化学能和/或机械能等。因此，研究具有光热、光电、光(电)化学等功能特性的材料，在太阳能利用研究中占有相当重要的地位，也是当代材料科学的一项主要的研究内容。

上海市能源研究所针对太阳能利用技术中比较重要的光热和光电转换型式，综合评述了有关材料科学与技术的现状和发展方向，它们是：太阳能装置上合成材料的选择使用；太阳能利用光谱选择性反射涂层；太阳电池及其材料评述； Cu_xS 对 $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ 电池稳定性的影响； GaAs 太阳电池的改进；以及太阳能利用光谱选择性吸收涂层——减反射涂层。同时，我们还有针对性地选择了 8 篇有关光热、光电和选材经济评价等方面的论文。希望通过这些综述评论和译文，使读者对于太阳能利用基础材料有一个了解。诚然，由于篇幅的限制，关于光电化学材料，透光材料，保温材料 and 贮能材料等，本文尚未曾收入。由于水平所限，错误之处，欢迎批评指正。

俞 善 庆

1981 年 4 月

目 录

前 言	俞善庆
-----	-----

综述评论:

太阳能装置上合成材料的选择使用	倪德良	(1)
太阳能利用光谱选择性反射涂层	俞善庆	(14)
太阳电池及其材料评述	张忠奎	(31)
CuxS 对 Cu ₂ S/CdS 电池稳定性的影响	黄芳龙	(42)
GaAs 太阳电池的改进	缪仲熙	(47)
太阳能利用光谱选择性吸收涂层——减反射涂层	俞善庆	(53)

译 文:

选择性吸收器的设计	缪仲熙 译	(66)
反射镜镜面保护用有机硅树脂	倪德良 译	(71)
太阳能正面反射镜面保护涂层——等离子聚合有机硅烷	杨振熙 译	(84)
薄膜太阳反射镜	杨振熙 译	(95)
无序稀土铝合金的光学性能	王元华 译	(100)
无定形及多晶薄膜硅太阳电池性能参数评述	马振国 译	(106)
实现硅光电转换的新技术	许和平 张伟 译	(118)
太阳电池新材料经济上的要求	马振国 译	(146)

太阳能装置上合成材料的选用

倪 德 良

【提要】首先概述了塑料等合成材料作为光学功能材料和绝热保温材料等应用于太阳能装置的一般情况，並阐明了合成材料需要认真选用的道理和选用特点；然后分别从合成材料的光学性能与热学性能着手，讨论了合成材料用作为太阳能装置上的光学功能材料与热学功能材料时的选择使用问题。

一、引 言

随着塑料等合成材料的迅速发展和太阳能利用技术的不断提高，合成材料在太阳能装置上的应用也日益广泛。为使多数太阳能装置和系统在经济上可以和常规燃料系统竞争，不少国家在尝试把塑料、橡胶及有机涂料应用于太阳能装置上，特别是家用太阳能设备上。日本学者认为家用热水器普及的关键在于塑料薄膜。近年来，全塑结构的热水器也时有出现^[1]。国内中国科大和上海市内航局^[2]等单位也分别试制了塑料管式热水器，旨在寻求降低成本的途径。越来越多的人认为塑料应用于太阳集热器，肯定会降低价格。日本安达正雄于八〇年调查了日本现有平板集热器的材质后发表了集热器材质统计数字^[3]。它表明，在透明材料方面塑料占49%，其中用量最大的是聚碳酸酯和纤维增强塑料；在绝热保温材质方面塑料占45%以上；在外壳材质方面塑料占25%以上；在吸收管材质方面塑料等合成材料占34%。由此可见塑料等合成材料在太阳能的利用技术上占有重要的地位。合成材料之所以与日俱增地用于太阳能装置，除了经济意义外，还因为这类材料具有许多优异的特性，非常适用于太阳能装置如轻质，透明，比刚度与比强度大，优良的绝热保温性与抗腐蚀性等。成型加工容易，原料充足等也是它们的优越之处。

目前合成材料能用于和已用于太阳能装置上主要有如下一些部件：平板集热器上的透明盖，透明蜂窝，玻璃钢外壳，泡沫塑料绝热层，黑色吸收管及有机树脂吸收涂层；聚光集热器上的反光镜面或透镜，镜面保护膜，玻璃钢或刚性塑料（包括钙塑材料和结构泡沫材料）壳体、支架，压敏胶；光电池组件或单元体上的透明盖，密封层，硬塑料或玻璃钢底板；薄膜太阳池上的透明塑料膜和黑色塑料膜；天然太阳池上的防止蒸发与对流散热的高分子膜；农田暖房和阳畦上的塑料膜；贮能装置上的结构材料（如外壳、飞轮等），保温材料和贮热用高聚物相变材料；输送流体用管道和贮水箱等。可见合成材料在太阳能利用上有很多用武之地。但把其归纳起来，主要用作太阳能装置上的光学功能材料、热学功能材料和结构材料三大类，犹以前者为最普遍。

因此，随着化学工业的发展，塑料等合成材料将成为太阳能装置用基础材料而受到重视。然而，目前不少单位在研制太阳能装置中选用合成材料时，往往求其一点，不及其余

如，有的只企图降低成本，有的仅旨在替代贵重金属，有的追求轻巧，有的纯是标新立异，缺乏选用材料的全面观点。究其原因，大多是由于缺乏塑料等合成材料的特性知识和应用资料之故。为了适应发展太阳能的新形势，为了让合成材料用户选用时更加有的放矢，作者将若干有关合成材料在太阳能装置上应用的文献资料，结合自己的材料选用体会，从光学功能和热学功能两大方面归纳整理，有重点地讨论太阳能装置用合成材料的选择使用问题。

二、合理选用合成材料

合成材料品种庞杂，形态多样，而性能各具特色。就某一实用性能而言，不同材料之差别甚大；即使同一种材料，由于使用环境条件不同，显示出很不一样的行为。因此在选用合成材料时，具有比其他材料强得多的选择性，决不能见材就用。事物总是这样，有其长处，也必有其短处。我们在工程上选用合成材料时，一方面应充分进行性能资料比较，以便扬长避短；另一方面，也不能单纯地片面地追求材料某一所需性能上的高指标和理想化，而要根据工程实际要求，进行综合分析和估算，有时要作适当的协调或折中处理，以求经济、寿命、安全和工艺性等全面效果。然而，选材终究是一项复杂的工作，不仅注重材料的性能和行为，还要与结构初步设计，成型加工和使用上的配合等结合考虑。因为十分完善地满足工程上要求与环境条件的理想材料往往是没有的，总是存在这样那样的缺点。如果有些缺点会影响材料的正常工作的话，就要通过修改设计或制订特定的操作使用规程等补救办法，予以配合。在选用材料时，碰到无现成的参考资料或应用经验可供借鉴而自己又无法决断时，应首先进行必要的模拟试验。当然，试验条件与实际使用条件愈接近愈好。

合成材料在太阳能装置上应用的经济性是选用材料时的重要依据。当合成材料与传统材料作经济上比较时，不能光看按重量计的价格，而要看单位装置或部件的价格；同样是合成材料，不同品种的价格也差得很远，可以是几倍抑或十几倍之多。一般说，由于合成材料的比重较钢、铜、玻璃等传统材料小得多，许多通用合成材料的价格又不高，而且它们的成型加工费较低，因而选用塑料等合成材料往往是合算的即具有经济上的优越性。

选用合成材料的方法步骤大致如下：选材首先要从工程上的特定要求出发，如有的要求材料及装置有十年以上的寿命，有的要求绝对安全，有的要求必须便宜，有的则要求透过率在多少以上等等，然后对材料所用的环境进行全面系统的分析，并在分析的基础上向材料提出性能要求，包括哪些是基本性能，必须满足，哪些是辅助性能，给予适当考虑。接着是根据性能要求逐一筛选材料。最后还要综合起来，统一到对装置的实用性、寿命和经济性等最终指标的贡献上，决定取什么材料包括材料的种类、形态、规格或配方等，而且要预计到该怎么设计和使用时才符合要求。

三、合成材料的光学特性和作为光学功能材料之选用

（一）合成材料的透明性与透明材料的选用

许多合成材料是无色的无定形结构或者晶粒细小的部分结晶结构，因而具有良好的透明性。聚苯乙烯(PS)、聚4—甲基戊烯、有机玻璃(PMMA)及丙烯酸酯类、聚氟乙烯(PVF)

和有机硅聚合物的阳光透过性优异，胜似玻璃；聚氯乙烯 (PVC)、聚乙烯醇缩丁醛 (PVB)、聚碳酸酯 (PC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、泰氟纶 (FEP 和 PTFE)、纤维增强不饱和聚酯、聚三氟氯乙烯 (F_3)、醋酸纤维素、玻璃纸、聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、尼龙 1010 等也可以是良好的或较好的透明材料。几种材料的透过率或透过曲线列于表 1 与 2 和图 1 与 2。

表 1 几 种 塑 料 的 透 光 率

塑 料 名 称	透 光 度 %	
	初 始 的	老 化 一 年 后
PMMA	94	93
聚 丙 烯 酸 酯 类	92	91
PC	90	90
醋 酸 纤 维 素	87	83

表 2 几 种 塑 料 的 比 重 、 太 阳 辐 射 透 明 度 和 耐 热 温 度

材 料 类 型	厚 度	比 重	太阳辐射透照度%	耐热温度℃	备 注
聚甲基丙烯酸酯	3.2	1.17~1.20	89	60~95	*在93℃加热一年，即使是太阳品位板、太阳透过率也减少10%。
聚 碳 酸 酯	3.2	1.20	82~89	120	
玻璃增强聚酯	1.0		80~90	150~175*	
聚 氟 乙 烯	1.0	1.38~1.57	92~94	108	
聚氟化乙丙烯	0.05	2.12~2.17	97	205	
聚对苯二甲酸乙二醇酯	0.025	1.38~1.40	85	104**	**最高工作温度
玻璃，水白玻璃 (0.01%铁)	3.2	2.46~2.49	85~91	205***	***最高工作温度

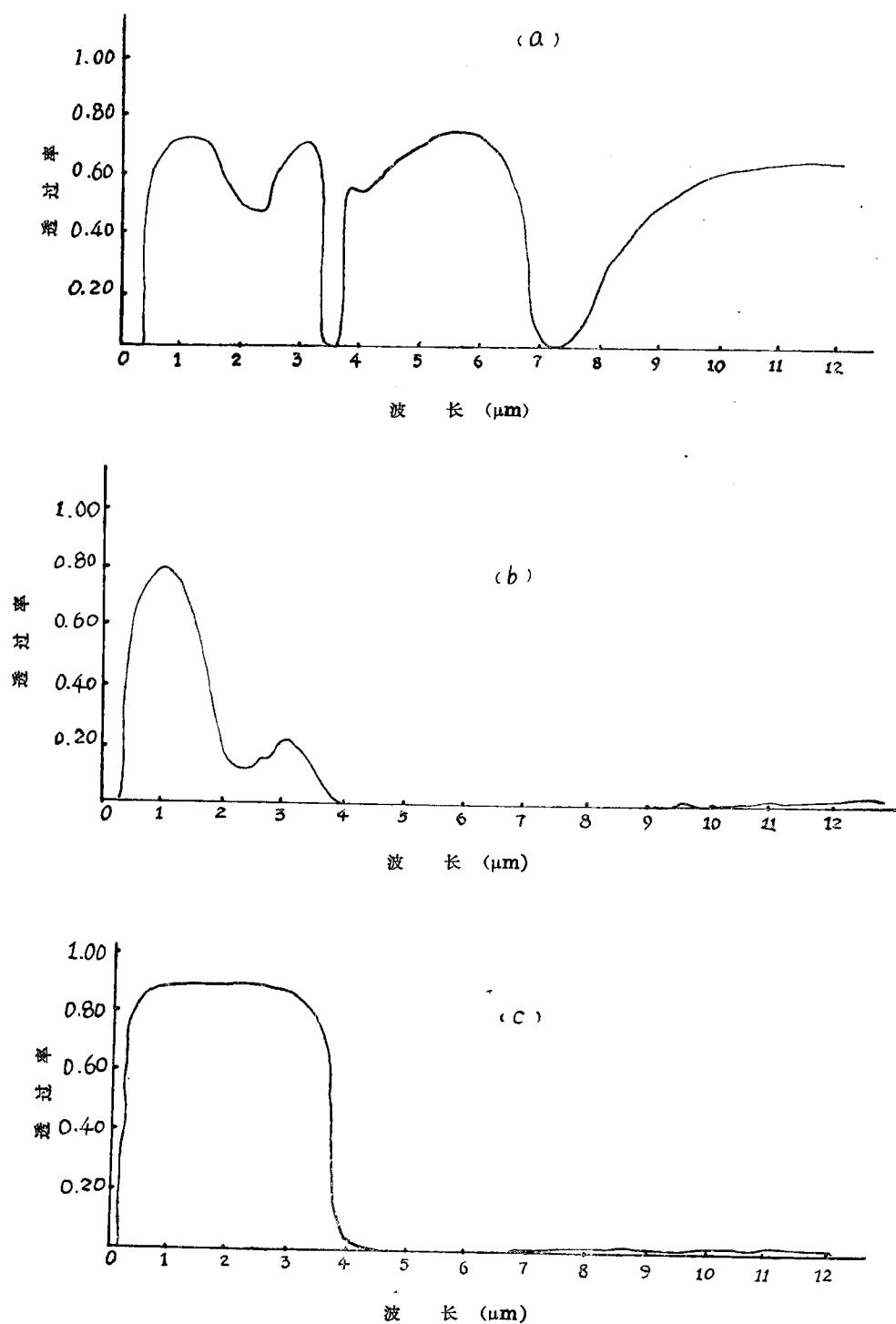


图 1 几种塑料的光谱透过曲线：
 (a) PE (b) 玻璃纤维增强聚酯 (c) PMMA

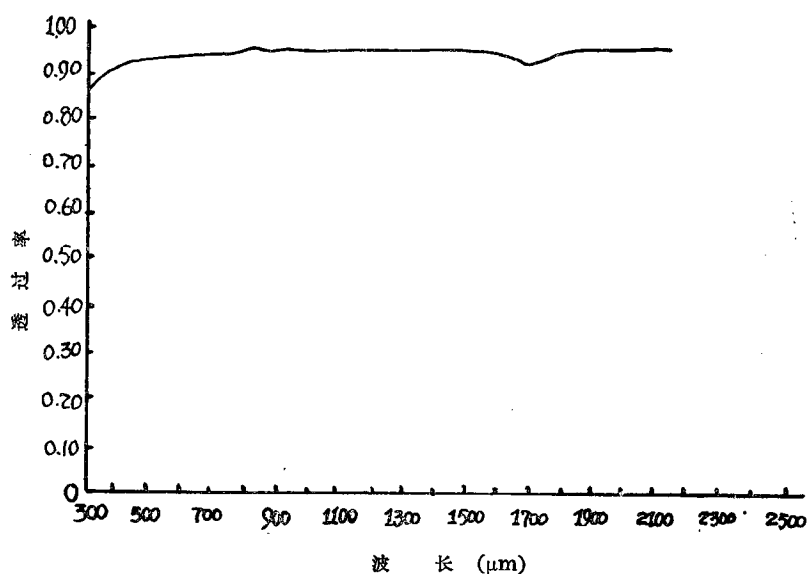


图 2 聚偏氟乙烯 (Kynsrr) 光谱透过性

然而，合成材料的透明性不如玻璃那样稳定，与成型加工和型后使用条件关系甚大。这是合成材料之透明性特点。不少材料在加工、贮存和使用中由于老化而变色、生色、裂纹、起毛即透明性下降，例如 PS、PMMA、PC、PET 和增强不饱和聚酯等都有老化变黄表面起毛与微裂化现象；而 PVC 常常先变黄后变红棕。当然这些变化都可以通过抗老化措施而得到缓和或者大大改善。PE、PP、F₃ 和 PET 等等的透明性与成型加工中的冷却速度有很大的关系。冷却速度越大，透明性越佳。因为大分子结晶过程是一个特殊的松弛过程，冷却快，晶核来不及长大，结果形成了许多小于投射光线波长尺寸的细微晶子，故透明性好。显然这是部分结晶材料的透明性特点之一。由此可以想见，材料愈薄，成型时冷却愈容易，因而透明性也愈好。例如聚酯块状材料是高结晶性的不透明材料，而聚酯薄膜却是很透明的。这类半结晶的合成材料结构在热力学上几乎都是不稳定的，在常温或较高的温度下，随时间而慢慢再结晶或增大结晶度，特别是晶粒会变大，此谓型后结晶。当晶粒尺寸增大到大于投射光的波长的时候，材料的透明性就下降。这是半结晶合成材料透明性上的又一个特点。此外，丙烯酸酯类材料的本体浇铸板比注射成型板片更为明净纯洁，说明成型方法也可能对某些塑料的透明度发生影响。

当然，材料部件的透光度还要受表面质量和光透射定律中厚度尺寸的影响，这是人所共知的。

作为太阳能装置用合成材料的透明性，不仅要了解透过的平均值，而且要了解透过的光谱性质。通常地面上太阳光谱范围为 0.3~3μ。对于用作太阳装置透明盖的材料，希望在这个范围都有高的透过率。除了白料玻璃，PMMA 等聚丙烯酯类塑料、聚氟乙烯和偏氟乙烯等都是理想的太阳辐射透过材料，而且在 300~400nm 的短波段透过性比其他材料都好，^[4]如图 2 与图 3。然而，作为涂料型吸收涂层中粘结剂用的树脂，倒希望它在 3μ 以上的红外和远红外区域有高的透明度以提高吸收器的效率。这只能在少数非极性和小极性的合成

材料中存在。

在太阳辐射透过材料的选用上，合成材料正在与传统的玻璃竞争。玻璃固有的身重、易碎和难以加工成曲面或薄层等缺点使它逐渐让位给塑料或者令其本身改性为强化玻璃。

无论透明的镜面保护薄膜（或者涂层）还是透明封装，若工程上要求材料既有高的透明性，又有十年或更长的耐气候寿命，则最好选用 PVF、FEP 和某些偏氟塑料^[5]等合成材料。例如地面上太阳电池组件上应用的透明封装材料近年来都转用合成材料，它就必须要有优良的，与电池太阳光谱响应接近的光谱透明性以及十年或者二十年的耐候能力，以便与光电池元件的长寿命和往往用在无人管理的环境相匹配。然而上述这些材料较贵，而且 PVF 在国内还处于小生产或试验阶段。另外，这类材料中的某些品种作保护膜或涂层用，其粘附性还是个问题。聚丙烯酸酯类材料也早已证实为耐候的透明材料^[5]^[10]。美国 3M 公司的 FEK—244 反面镜用塑料膜式反光材料的光谱反射率（图3）说明了它的太阳光透过性优良。它对铝等金属的粘附性也是好的。有机硅类材料也是耐候的透明材料，其某些配方国内用得较为成功如用作反光材料的保护涂层^[11]和太阳电池组件的透明密封膜等。虽然 PMMA 等丙烯酸酯类塑料经数年曝露后会泛黄或发生银纹，有机硅会吸尘和积污^[5]^[7]^[8]，但它们与其他材料相比毕竟是综合性能良好的太阳透明材料，而且不算很贵。聚苯乙烯和有机玻璃一样，透明性极好，但它的表面很嫩，经不起风沙敲打和揩擦；比有机玻璃更易变黄和出现银纹；性质也太脆，故不宜作透明盖用。4-甲基戊烯虽然硬度、强度较为理想，但气候老化仍不合要求。玻璃纸等由纤维素衍生而来的高分子材料虽然很透明，但由于不耐光和水湿气候变化，也是不适用的。而聚碳酸酯、聚酯和纤维增强不饱和聚酯和聚乙烯醇缩丁醛等材料经适当稳定化，是可以作为太阳能装置上透明盖材料用的。其中聚酯薄膜早在七十年代初就用作为塑料薄膜反光镜面的基片材料；近来又把添加紫外线吸收剂的聚酯膜制成选择性透过膜。经稳定化处理的纤维增强不饱和聚酯大量用作透明盖，不仅因为它有较好的太阳光谱透过性，而且有良好的长波热辐射的不透过性。而覆上聚氟乙烯薄膜的纤维增强聚酯是兼顾了耐候性及透明性的优良盖板材料，国外已有应用，而且有所谓“太阳品位”的材料等级^[12]。经紫外稳定的聚碳酸酯被认为作平板集热器的透明蜂窝很合适^[9]；而在日本却大量用作透明盖，不过八〇年较前有所下降如八〇年用 PC 作透明盖占整个集热器的比例由 34% 下降到 25.5%，据说因为 PC 的耐光耐候问题还未真正解决^[3]。

经光稳定的 PVC、PE 和 PP 等塑料薄膜尤其是前者，虽然透明性不算高和不够稳定，而且寿命不会很长，但在农业上作透光保暖的暖棚、阳畦和需要保暖的房舍^[14]向阳面的覆盖材料用十分合适。因为它们便宜易得，适于要求不高的量大面广一类的用途。

这一切充分说明太阳能装置上透明材料的选用仍有一个具体情况具体对待的过程，切忌盲目性。

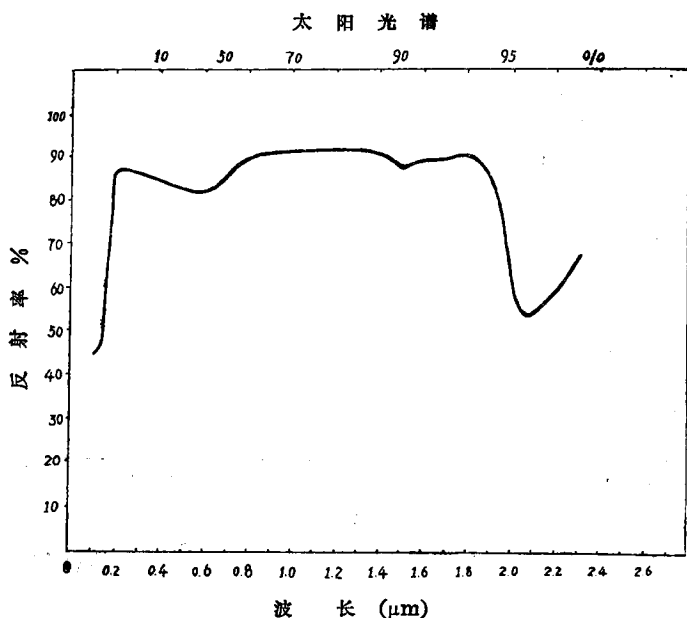


图3 FEK—244 的镜面光谱反射率：总的太阳反射率为86%

注：利用 Beckman DK2A 比率记录式分光度计和 Edwards 型积分球反射仪由 TRW 公司测定。

1. 透明盖与选择性透过材料

集热器使用透明盖旨在减少集热器对流热损和长波辐射热损，以提高效率。显然作为透明盖用材，除了透明性，同时应是高热阻材料。

集热器吸收板上因温度的升高而一定程度上发射长波热射线(即远红外线)，这些热辐射有可能透过透明盖而损失掉热量的。当温度接近 100°C 或更高时，这种效应更为明显。因此，人们希望透明盖只让短波的太阳光透过($0.3\sim 3\mu$)而不让 $3\mu\sim 30\mu$ 的长波热辐射透过，或把它反射，即具有选择性透过功能。无铁玻璃是符合这种要求的材料，早为人们所利用。除了聚酯等少数塑料，塑料在这种功能方面是不如玻璃有效的。因此在长波辐射明显的即较高温度的集热器里用玻璃盖好些[9]。

然而，不易透过长波辐射并不等于一定不损失热量。近年来发展了选择性透明塑料膜，可以圆满地解决这个问题[10]。

塑料选择性透过膜本质上分为两类：一类是塑料薄膜上施加一层能透短波和反射长波的半导体膜(如 ITO 膜)制成，另一类是塑料薄膜上施加一层干涉膜得到的。显然，就塑料来说，不是什么塑料都可以这样做的。有人成功地制得了 PET 选择性透过膜，其光学性质示于图 4；而认为氟塑料是没有这种本领的。用什么透明塑料膜不仅取决于塑料的粘附性，而且取决于它们对涂制或镀制过程的适应性。这与薄膜反光材料基膜的选择是类似的，作为正面反光镜基片用塑料膜，虽然明透性不是必需的，但应具有粘附金属和适应金属化过程的特性。

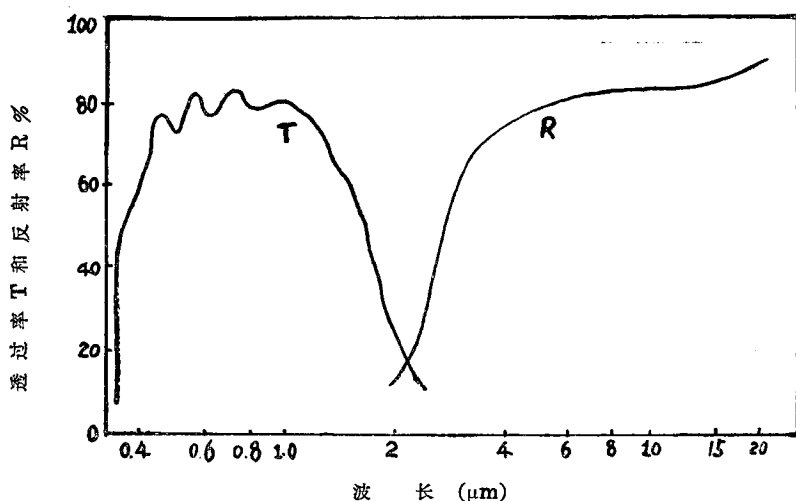


图 4 镀 ITO ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$) 膜的 PET 材料之光学性质

2. 透明蜂窝材料

利用合成材料的透明特性和良好的成型加工特性, 将其制成蜂窝应用在集热器中具有明显抑止对流散热和少量辐射散热, 提高集热器效率的作用。通常平板集热器热损失的 50% 是通过对流损失了的。防止对流损失的办法, 除了装置双层透明盖以外, 采用蜂窝结构也是一个行之有效的办法。装有蜂窝的平板集热器仅要求一层盖就可以获得很高的效率, 据说可比原来提高 10% 以上。有普通黑色吸收涂层的蜂窝集热器和有选择性黑色镀层的非蜂窝集热器具有同等的甚至更佳的性能。

然而, 用作蜂窝的塑料必须透明和能经受集热器滞流时的高温。平光黑色吸收涂层的平板蜂窝空气集热器在空气滞流时会达到的平衡温度高于 150°C [9]。这个温度不是一般塑料都能忍受的。因此对蜂窝用和盖板用透明塑料的热变形性能要有所选择。表 2 列出了少数几种材料的连续耐热温度。必须注意的是这个耐热温度与许多影响因素有关, 不能随便取用。

LoockHeecl 导弹和空间公司 Palo Alto 研究试验所作的塑料蜂窝试验研究表明, 在透明塑料中 PC 和 PET 有可能用作平板集热器的蜂窝材料, 而 PC 较 PET 更为合适, 因为它有热变形温度高的优点。然而最好使用热保护技术。一种有效的防止蜂窝塑料热变形的办法, 是用薄的玻璃片将塑料蜂窝从吸收板上垫起或者将蜂窝和透明盖制成一体以便在蜂窝与吸收板间留下间隙。至于泰氟纶等材料由于价贵、加工困难和易于变形而不适用。

此外, 蜂窝的结构形状主要是 L/D 值 (长度与直径比) 对集热器性能影响较大 [9]。

3. 透明保护层

透镜和反光镜面是发展聚光型集热器所必需的两类器件。实践证明, 要使反光镜面和有机玻璃透镜具有较长的寿命, 必须罩上透明的耐磨耐候的保护涂层。因而保护涂层的研制成为研究镜面材料的重要组成部分。近年来有机保护涂层特别引人注目, 因为只要化不高的代价就能获得良好的保护效果。

从太阳能装置的工程要求和反射镜的使用环境来分析, 反射镜的保护涂层应具有如下性

能：高的透明性，高的耐候性，与金属铝(或银)有高的粘附性和耐磨、抗静电等其他一些性能。而耐候是一个极为重要的性能，因为它很薄，而且光线两次通过涂层，加速了老化。就有机涂料而论，透明的材料是不少的，但从耐候、耐磨、粘附和抗静电等多方面考虑，能选用的就不多了。

许多资料表明^[6] ^[10]，聚丙烯酸酯涂层是优良的镜面保护涂层。它是一种玻璃状的无色透明物质，在很宽的光谱范围内透过太阳光，其透明度介于玻璃和石英之间。S—731 有机硅涂层材料是由上海能源所和中科院上海有机化学所近二年共同研制的性能更为优异的镜面保护涂层材料^[11]。它的高透明性可以从图 5 的反射率数据中算出。有机硅镜面保护涂层国外也刚开始研究，对它的耐候耐磨和静电吸污等性能进行了大量的考察^[7] ^[8]。研究结果表明，某些有机硅类材料确是耐候耐磨的透明保护涂层材料，然而它有易沾污和吸尘的缺点，因而国外研究了专门的除其尘污的清洁方法^[6]。树脂涂层的静电吸尘特性与树脂的化学结构有关。经研究表明，具有烷氧基侧链的有机硅树脂在较大的程度上克服了烷基侧基有机硅树脂的静电吸尘积污缺点。同时通过加入硅烷偶联剂或用硅烷偶联剂打底，解决了有机硅涂层与底金属的粘附问题。

由于交联的有机硅涂层材料较有机玻璃有更好的抗磨性能，因此在国外把它用作为有机玻璃透镜（如菲涅尔透镜）的保护涂层，避免透镜被风沙尘埃刮磨起毛招致的透明度下降。

可见有机硅涂层在太阳能利用上有重要的应用。因此对其涂层的制作工艺也进行了新的探索，旨在寻求简便的能大量应用的最好是树脂合成和涂层制备同时进行的一步法。这就是等离子沉积法^[8]。

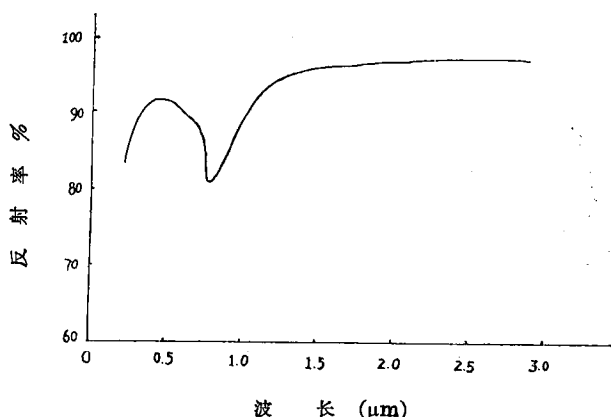


图 5 S—731 有机硅涂层的聚酯膜真空镀铝反光材料之反射率

此外，实践证明，普通 PC、聚苯醚 (PPO) 和许多习用清漆等由于缺乏足够的耐光性与环境抵抗性不适宜作保护涂层的，而泰氟纶等非极性材料由于缺乏必需的粘附性也难以应用。

(二) 合成材料的光吸收与光吸收材料的选用

有机合成材料本身对太阳光的吸收是极为有限的，而且这种吸收与其分子结构有关。图 6 表明，结构不同的材料之吸收谱是不相同的，而且较大的吸收大多集中在紫外区^[15]。显然将它们直接用作为太阳光热转换材料是行不通的。要使其大量吸光，只有在其中添加炭黑或

半导体细粒等吸光性物质才行。

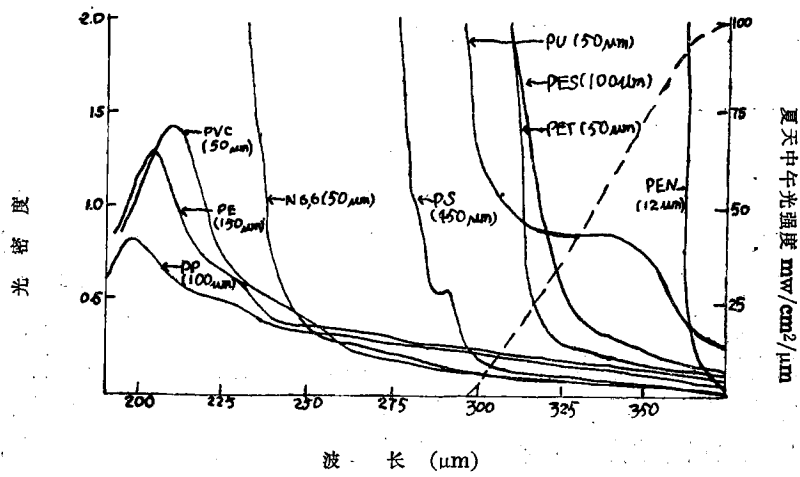


图6 一些材料的紫外吸收光谱和天然阳光的紫外能分布

注：PU 为聚氨酯，PES 为聚醚砜，PEN 为聚 2, 6-萘二甲酸乙二醇酯，其它代号文中已有注释

添加炭黑的 PVC、PE (交联PE) 已成功地用作为低温平板热水器的吸光管材料 [2] [1]。集热器的吸光管将太阳光转换成热能，并把热传递给管子内侧的流体。作为在这种条件下使用的吸光管材，首要的要求是价廉，其次是优良的吸光性和相对大的热导率。价廉使装置有生命力，这就决定了只能在便宜的通用材料中选材。优良的吸光性可以尽可能地光转化成热，大的导热性可以将热量尽快地传递给流体，同时使流体和吸光面的温差减小，提高集热器的使用温度和效率。遗憾的是几乎所有的塑料之导热系数都很低如表 3 所示，这恐怕就是限制它的广泛应用的主要原因。然而考虑到塑料集热器的轻型价廉，一定程度上有推广价值。吸光管子可以这样选用：60℃ 以下的水热器可用黑色 PVC 或 PE 管，90℃ 以下可用黑色交联 PE、氯化聚氯乙烯或 PP。某些硫化的橡胶管也可以应用。

合成材料吸光管中由于添加了炭黑，耐光性大大提高了。1~3% 的炭黑加入量，可以得到足够长 (为十年左右) 的使用寿命。需要注意的是炭黑的品种、粒度要有所选择。

表3 某些材料的导热系数

材 料	导热系数 (大卡/米、小时、℃)	材 料	导热系数 (大卡/米、小时、℃)
硬 PVC	0.12~0.13	PC	0.17~0.19
(HD)PE	0.35~0.40	PET	0.16
PP	0.40~0.45	增强聚酯	0.18~0.36
ABS	0.22	聚氨酯泡沫	0.015~0.023
PS	0.13	玻璃	0.64

涂料型吸收涂层在国内用得很多如黑板漆等，因为这类涂料与黑铜、黑铬和黑镍等选择性镀层比较具有工艺简单，成本低廉，使用维护方便和可大面积施工等优点。然而目前人们不满足于这类涂层的吸收特性和耐候特性，一直在探索研究。要以涂料法来提高选择吸收特性，重要之点是如何降低发射率。因此对有机涂层中填充的半导体粒子及溶解在溶媒中的树脂都须加以选择。其中要求有机树脂对远红外透明，且与金属粘附性良好。由于这两种物性是很难並存的，因此能兼具这两种物性的树脂不易找到。但极性较小的丙烯密胺（アクリルメラシン）系，乙烯基系和有机硅系树脂有较好的兼顾性。其中有机硅涂料的耐温耐候优良，预期有较长的使用寿命。图7是典型的半导体型有机涂料吸收膜的光学特性。

显然，由于通常的有机涂层耐温都不高，不能用于中心吸收器上的吸收涂层。

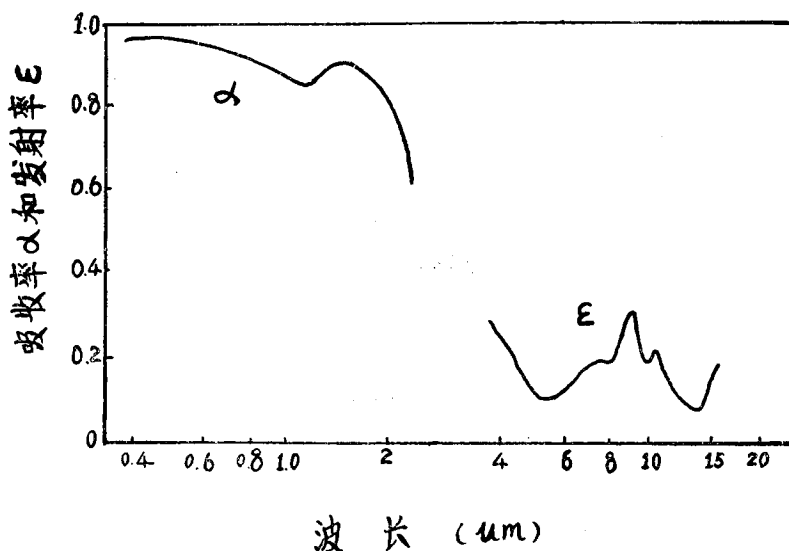


图7 铝底板的半导体涂料型选择吸收涂层之光学性

（三） 合成材料的反光性及反光材料的选用

通常除了不透明材料的漫反射，塑料等合成材料本身的表面反光性极小，因此不能直接做太阳反射器。然而光亮度极高的塑料有一定程度的表面反光性，这对于用作透过材料和吸收材料都是不利的，应该避免。

金属因有固有的反光性，可直接作为镜面反光材料。然而所有高反射率金属的光学抛光，特别是圆柱形和球形镜面加工，甚为困难，成本很高。因此传统上多用玻璃上镀铝、银等金属得到。由于玻璃易碎又重和使用维修不便等原因，世界上不少国家开展了以塑料薄膜代替玻璃的研究。这种塑料膜式反光镜面材料的优点是不言而喻的。那种塑料薄膜不需要透明，除非将这种膜式反光镜面材料作反面镜使用。因此选材范围就宽了。但是塑料膜上真空沉积铝、银等反光层这一过程对塑料本身的性质也有一定的要求：主要的要求是金属与塑料膜的粘附性必须良好；其次是真空条件下，薄膜中的挥发物要少，以免在镀金属时逸出，影响真空度和镀层质量。此外，表面要平滑，使用中尺寸要稳定。PET和丙烯酸酯材料都是用得成功的范例。

四、合成材料的热学特性及热功能材料的选用

塑料等合成材料在热物性方面有它自己的一系列的特点：在不太高的温度范围内，很多性质表现为强烈的温度依赖性；在性能~温度座标上呈现多种转变过程；熔点或软化点都不高；热膨胀系数比金属等传统材料大几倍或十几倍之多；本体热导率极小，特别是泡沫塑料，导热系数接近于空气（见表3），是极好的绝热保温材料。此外，由于某些塑料等合成材料是低熔点的固体结晶材料，其熔解热也较高，有可能成为储热用的介质材料。无论绝热保温材料还是储热材料，都是提高整个能源装置利用效率的基础材料，也是开发太阳能並使其获得工业应用的关键性材料。

从原则上讲，热塑性泡沫 PS、PVC 和 PE 等和热固性泡沫脲醛、酚醛和聚氨酯都可用作太阳能装置上的绝热保温材料，只要注意使用温度限就行。但实际上常用的主要是可发性聚苯乙烯泡沫和聚氨酯泡沫两种。其中后者是热固性的，耐温较高，並具有难燃性，符合建筑和用热设备的防火要求，按理说用途更为广泛。然而，对于低温的平板集热器，PS 泡沫却用得甚多。日本平板集热器的绝热材料中，泡沫聚苯乙烯占31.3%，而聚氨酯只占10.6%，PE 和 PP 泡沫加起来还不到 5 %。聚氨酯泡沫和 PS 泡沫都是大量生产的品种，故也比较便宜。

脂肪酸、聚乙二醇和聚乙烯等有机材料具有每克数十卡的熔解热。这是一个较大的载热值。美国能源部詹姆士对高密度聚乙烯作了综合的研究^[13]，认为它的价格不高，在太阳能传热导体中是稳定的和稍高于 100℃ 的熔点等特性正适合于用作太阳能吸收式空调装置中的储热材料。

五、结 论

(1) 由于塑料等合成材料本身的优良特性，也出于经济性要求，合成材料无论国内还是国外在太阳能装置上获得了广泛应用。但归纳起来，最主要的用途还是作光学功能材料和绝热保温材料。也是由于合成材料本身的特点，应用时具有极强的选择性，因而只有选用得当，才能收到经济和实用的效果。

(2) 作透明材料用是合成材料在太阳能装置上最大的光学功用。这与它们具有良好的透明特性有关。然而合成材料的透明性是有条件的，不像玻璃那样长久稳定，受材料品种、加工条件、使用条件特别是气候环境老化的影响很大。只有明确了这一点，才能合理选择使用它们。透明合成材料是大量而多样的，与多样化的应用要求相适应，因而太阳能利用工程上提出的材料要求可以首先通过恰当选材用材来解决。

(3) 透明盖、保护膜和透明蜂窝是合成材料透明功用中三个重要领域，而且近年来都有新的进展如 PET 选择性透过材料的研制、PC 透明蜂窝和有机硅保护涂层的试用等，为材料选用提供了新的借鉴。

(4) 合成材料本身的吸光性和反光性都很小，因此不能直接作吸收材料和反光材料用，但可以和其他材料一起构成吸收材料和反光材料，而且一定程度上具有优越性特别是经济性。

(5) 泡沫塑料品种很多，它们的导热率都很小，接近于空气，因此可以根据不同情况，有选择地用作太阳能装置中的绝热保温材料。

参 考 文 献

- [1] A. Addeo, et al., APPLIED Energy, 6(4) 265, (1980).
- [2] 上海市内河航运局, 《PH-1型塑料管式太阳能热水器》(技术报告), (1980.11.)
- [3] 安达正雄, 省エネルギー, 32 (9) 33, (1980).
- [4] R. N. Griffin, Solar Energy Material, Vol. 3, P. 277, (1980).
- [5] E. Anagnostou, et al., ERDA/NASA, 1022/77/10 (NASA-TMX-73655), (1977).
- [6] M. A. Lind, et al., PNL-2763, (1978).
- [7] W. E. Dennis, et al., Solar Energy Materials, Vol. 3, P. 285, (1980).
- [8] K. W. Bieg, et al., Solar Energy Materials, Vol. 3, P. 301, (1980).
- [9] LMSC/D623838 (SAN-1256-78/1), (1978).
- [10] 胃山弘, Solar Energy, (日文), 6(2) 35, (1980).
- [11] 陈达育等, 《胶带式反光材料的研究》(技术报告), 上海市能源研究所, (1980).
- [12] 中国农业工程研究设计院, 《国外农业工程》, 第三辑, P.76, 上海科学技术文献出版社, (1980).
- [13] Dr. J. H. Swisher, Conf-780643-1, P.10, (1978).
- [14] A. W. K. MacGregor, "Sun II" Vol.2, P.1665, Pergamon Press, (1979).
- [15] J. F. McKellar, "Photochemistry of Man-Made Polymers", P.12, APPLIED Science Publishers Ltd., (1979).

太阳能利用光谱选择性反射涂层

俞善庆

太阳能反射器广泛应用于聚焦式太阳能利用装置上,例如高温太阳能炉,塔式太阳锅炉和伞式太阳灶等(图 1—2),是利用反射器把入射的太阳辐射能反射到所希望的接收器上去。光谱选择性反射涂层是一种反射式光学表面,在太阳能利用技术中占有重要的地位,要求这种涂层在太阳能光谱的整个波长范围内,具有很高的反射率。

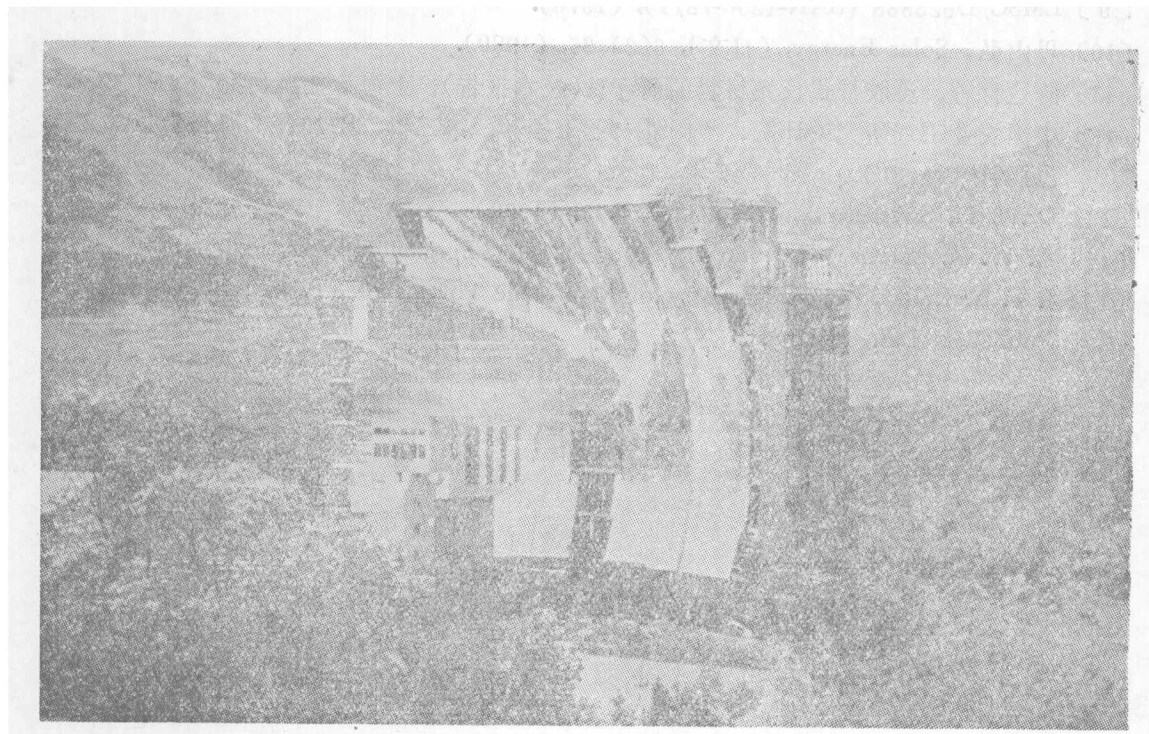


图 1 法国比利牛斯山高温太阳炉及反光镜