

新型采光材料
透明玻璃钢

刘雄亚 编著

中国建筑工业出版社

本书共八章，全面介绍了透明玻璃钢的原材料、各种性能、手糊和机械化生产工艺、采光结构的设计和安装施工、具体的应用实例等。重点介绍了透明玻璃钢波形板和夹层结构板两类制品；也适当介绍采光罩、薄壳结构等其他一些采光制品。全书以实践经验和性能数据为主，适当辅以理论阐述。

本书可供玻璃钢生产人员、建筑采光和农用温室的设计与施工人员参考。

新型采光材料
透 明 玻 璃 钢
刘雄亚 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

*

开本： 787×1092毫米 1/32 印张： 9 字数： 201 千字
1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷
印数： 1— 4,900册 定价： 1.70元
统一书号： 15040·5038

目 录

绪 言	1
第一章 原 材 料	9
第一节 概述	9
第二节 玻璃纤维增强材料	12
第三节 透明树脂	24
第四节 着色剂	49
第二章 透明玻璃钢的物理-力学性能	54
第一节 透明玻璃钢的物理性能	54
第二节 透明玻璃钢的力学性能	66
第三节 设计特征	76
第三章 透明玻璃钢的光学性能	80
第一节 透明玻璃钢的光学特征	80
第二节 影响透明玻璃钢光学性能的因素及提高透光 性的途径	91
第三节 透明玻璃钢采光设计	99
第四章 透明玻璃钢的耐久性(老化及防老化)	102
第一节 概述	102
第二节 透明玻璃钢的光老化及防止措施	104
第三节 湿热老化及其防止措施	119
第四节 表面磨损、应力老化及其防护措施	134
第五节 老化对透明玻璃钢设计的影响	137
第五章 透明玻璃波形板及薄板	140
第一节 概述	140

第二节	透明玻璃钢波形板的连接构造	143
第三节	透明玻璃钢波形板的强度设计	147
第四节	正交各向异性玻璃钢波形板的设计和试验实例	152
第六章	透明玻璃钢夹层结构	161
第一节	透明玻璃钢夹层板结构的形式及构造	161
第二节	透明玻璃钢肋形夹层板的结构设计	171
第三节	透明玻璃钢肋形夹层板的光、热性能	180
第四节	透明玻璃钢空间结构	185
第七章	透明玻璃钢采光制品的生产工艺	199
第一节	原材料质量控制	199
第二节	透明玻璃钢板材生产工艺	201
第三节	透明玻璃钢夹层结构生产工艺	216
第四节	透明玻璃钢壳体结构成型工艺	225
第五节	劳动保护及安全技术	232
第八章	透明玻璃钢的应用	237
第一节	透明玻璃钢在工业及民用建筑中应用	237
第二节	透明玻璃钢在农业上的应用	259
第三节	透明玻璃钢的其它用途	272

绪 言

几个世纪以来，玻璃一直是主要的透光材料，但是，随着科学技术的发展，玻璃的某些性能（比重大、易破碎等）已不能满足现代工农业生产的技术要求。因此，探求新的透光材料，越来越引起人们的极大重视。

一、透明玻璃钢的定义及分类

透明玻璃钢又称为透明增强塑料或透明复合材料，它是玻璃纤维和合成树脂为原料而制成的一种新型透光材料，其技术性能在很多方面都优于普通玻璃。

透明玻璃钢按树脂的种类不同，可分为：

1. 不饱和聚酯透明玻璃钢。

2. 丙烯酸类透明玻璃钢。

按纤维使用形态的不同可分为：

1. 各向同性透明玻璃钢（玻璃纤维毡增强）。

2. 各向异性透明玻璃钢（用无捻方格布或单向布增强），这类透明玻璃钢的强度较高。

透明玻璃钢的技术性能，可以根据使用要求进行设计。在透明玻璃钢中，玻璃纤维和树脂的质量和用量比例，对其性能影响很大。选择不同牌号的玻璃纤维和树脂，调整两者的用量比例，可以在很大范围内改变透明玻璃钢的光学性能和力学性能等，一般来说，用玻璃布制造的透明玻璃钢的强度比用短切毡的强度高1~2倍。当选用耐热型透明树脂生

产透明玻璃钢时，其使用温度可提高到 100°C 以上。选用阻燃型树脂，能使透明玻璃钢的耐火性达到自熄。丙烯酸类透明玻璃钢的紫外光透过能力，比玻璃还要好。

二、透明玻璃钢的优缺点

透明玻璃钢的技术优越性，主要表现为：

1.透明玻璃钢的抗冲击性能优于玻璃，它不怕冰雹和碰撞，更不像玻璃那样容易自爆，因此，使用透明玻璃钢比玻璃安全，可以用在玻璃不能胜任的地方，如工业厂房的平天窗，有雹害地区的农业温室和易爆车间的采光结构等。

2.透明玻璃钢的透光率可达85%以上（最高达90%），接近于玻璃，但它有足够的强度和刚度，兼有采光和结构材料的特点，是一种既能透光又能承受荷载的多功能材料。因此，用它代替玻璃，可以简化设计，减少采光工程的结构材料（窗框、窗扇等），从而可降低工程造价，提高采光效果。

3.透明玻璃钢的比重（ $1.5\sim 1.9$ ）小于玻璃，约为玻璃的60~76%，其拉、弯强度比玻璃高 $1\sim 8$ 倍。因此，使用透明玻璃钢能大大降低采光制品的自重，增大产品尺寸，提高采光工程的安装效率等。

4.透明玻璃钢属非均质透光材料，光线透过时能产生散射作用。因此，用透明玻璃钢采光的建筑工程，室内光照均匀，无光斑，不眩目。

5.透明玻璃钢可按设计要求任意配色。使产品色泽鲜艳、美观，适用于各类装饰工程。但是，透明玻璃钢的色泽牢度，与所选用的色料质量关系极大。因此，在组织彩色透明玻璃钢生产时要特别注意。

6.透明玻璃钢的成型工艺简便，一次能够生产出造型复杂、尺寸任意的采光制品。

透明玻璃钢的缺点有二：

1. 耐久性差，一般未经防护处理的透明玻璃钢，使用3~4年后强度和透光率便会降低。但是，如果采用防老化措施（如用聚氟乙烯薄膜保护），其使用寿命可达20年以上。

2. 透明度低，透明玻璃钢的透明度最高达80%，比玻璃（99%）低很多。透明度低是缺点，也是优点，当用在工业厂房及大型建筑物的采光设计时，透明度低会成为优点，但是在一般可见度要求高的住宅及办公楼采光中，透明度低会限制人们的视野，是缺点。

透明玻璃钢的采光效果比玻璃优异得多，这主要是因为透明玻璃钢兼具有透光和结构材料的特点，表0-1为各种采光窗的技术经济效果比较。

从表0-1数字看出，透明玻璃钢采光窗的技术经济效果优于玻璃窗，这主要是因为透明玻璃钢有足够的强度和刚度，可以省去作窗框的部分木材或钢材，故造价较低。

透明玻璃钢采光窗的技术经济效果

表 0-1

窗 种 类	透 光 系 数	造 价
木 框 玻 璃 窗	0.70~0.8	25.5元/米 ²
铝 框 玻 璃 窗	0.80~0.9	32.7元/米 ²
整体型透明玻璃钢窗	1	16.5元/米 ²

注：造价参照1983年武汉地区工程预算。

透明玻璃钢一般是做成采光制品供应市场。

透明玻璃钢采光制品大体分为三类：

1. 平板及波形板；

2. 夹层结构采光板;

3. 壳体结构采光罩。

这三类采光制品中, 波形板的产量最大, 规格最多, 用途也最广。夹层结构透明玻璃钢采光板的导热系数小, 能起到双层窗的功能, 一般多用于寒冷地区的屋顶和墙面采光, 壳体结构采光构件(各种类型的采光罩)整体性和密封性很好, 也可以作成双层构造, 主要用于工业厂房的天窗采光。

三种采光制品主要用于工业厂房、大型民用建筑及农业温室的采光工程, 详细内容将在第八章中论述。

在工业厂房的天窗采光工程中, 用透明玻璃钢平天窗代替梯形天窗, 对推广平天窗采光起到了重要作用。根据苏联的经验, 用透明玻璃钢大型屋面板代替梯形天窗, 取得较高的技术经济效益(表0-2)。

梯形天窗与透明玻璃钢大型屋面板

采光的技术经济指标

表 0-2

采 光 结 构	采光效果(%)	制造和安装劳动消耗(工时)	造 价(%)
梯形天窗—垂直玻璃窗扇	100	255	100
8×6M透明玻璃钢大型屋面板	190	43	59

透明玻璃钢除作为建筑物的采光材料外, 还可以用来制造各种规格的压力管道、大小容器和机器防护罩等, 它们不但能起到储藏、运输和安全防护作用, 而且由于本身透明, 便于观察生产过程中的物料流动及罩内机器运转情况。

近年来, 伴随着能源危机, 透明玻璃钢在开发太阳能利用工程中也得到了推广应用, 不少太阳能房, 太阳能热水器

及太阳能干燥器等，都采用了透明玻璃钢作为集热器的透光板，由于透明玻璃钢透过远红外光性能差，保温性能好，因而提高了太阳能加热器的光能利用效率。

透明玻璃钢的品种较多，性能也有很大区别，现将各种透光材料性能比较如下（表0-3），

各种透光材料性能比较

表 0-3

材 料 种 类	透光率(%)	使用年限(年)
单面贴有聚氟乙烯薄膜的聚酯		
透明玻璃钢	86	20
普通透明玻璃钢	88	3~4
高性能透明聚酯玻璃钢	88~90	7~10
难燃(自熄)型透明聚酯玻璃钢	88	6
丙烯酸类透明玻璃钢	90	7~10
有机玻璃	92	5
玻 璃	90	15
聚氟乙烯透明塑料	90	1~2

三、透明玻璃钢的发展概况

透明玻璃钢的发现，已有三十多年历史。早在1949年，美国维斯特·考阿斯特公司首先研究出不饱和聚酯透明玻璃钢。但在一段时间内，它并没有得到大量推广应用，直至六十年代初期，透明玻璃钢才在建筑工程中得到推广应用。此后，英、法、日、意、联邦德国等国，竞相发展，使透明玻璃钢的应用范围越来越广，产品质量不断改进，产量日益增加。到了六十年代中期，透明玻璃钢的产量在美国、苏联、英国的玻璃钢总产量中曾占到20%的比例。在意大利和联邦德国，产量一度达到玻璃钢总产量的60%，对这些国家玻璃钢工业的发展起到很大作用。法国七十年代末的透明玻璃钢产

量曾达到10000吨/年，占其玻璃钢总产量的1/7。日本起步较晚，但发展速度很快，八十年代的透明玻璃钢产量约为20000吨/年（日本班波公司访华技术代表提供），占日本玻璃钢总产量的1/9。随着玻璃钢工业的迅速发展，透明玻璃钢的质量不断提高（主要耐老化性能提高），高效率的连续生产波形板的机组不断涌现：如美国菲隆公司和日本班波公司及国本公司，都能生产表面加有耐候性保护层的透明玻璃钢，产品保证使用20年。而一般玻璃钢的使用寿命只有7~10年。法国泰勒达舍米（Deltachimie）公司的玻璃钢波形板连续生产机组，每分钟可生产8~12米板材，而且还能根据用户要求生产拱形波形板。日本班波公司的波形板生产机组的效率极高，一次能生产两层2米宽的透明玻璃钢波形板，并附有铺覆聚氟乙烯（Tedlar）薄膜的装置。不饱和聚酯透明玻璃钢的透紫外光能力较差，易变黄。为了满足蔬菜温室对紫外光的需要，日本于七十年代开始研究能透过紫外光的丙烯酸酯类透明玻璃钢（FRA），并取得了可喜成就。丙烯酸酯类透明玻璃钢透过紫外线的的能力，不仅优于聚酯玻璃钢，而且优于玻璃，最适用于工矿企业的日光浴浴室及需要着色的蔬菜（茄子、西红柿、辣椒等）温室。

国内研究透明玻璃钢始于1965年，当时采用的树脂，是常州建筑材料厂由英国司考特·拜得尔公司（Scott·Bader）引进的专利配方，采用手糊成型。生产的第一批透明玻璃钢波形板（中波）的透光率为40~60%，这批产品的价格较贵，透光率较低，仅用于机械工业部的援外工程。此后，国内也开始在天窗采光工程中试用，但因价格贵、透光率低及耐久性差等原因，未能推广应用。1975年湖北建工学院研究成功高透明玻璃钢（75农6），透光率达到了84~88%，工

业生产达85%以上，从而扩大了透明玻璃钢的使用范围，用于工业厂房的天窗采光、墙面采光，技术经济效果都很显著，特别是在推广平天窗采光方面，起到了很大作用；用于农业温室，收到了比玻璃温室增产的效果。此后，研究和生产透明玻璃钢的单位越来越多，产品质量也不断提高。目前研究成功的透明玻璃钢性能，已比初期的75农6透明玻璃钢有了很大提高，如强度提高一倍，表面耐磨性提高4倍，耐老化性能也有了明显改善，在树脂品种方面，除不饱和聚酯透明树脂类外，已研究成功的尚有丙烯酸聚酯和丙烯酸类等透明玻璃钢用树脂，这类树脂制造的透明玻璃钢的透光性能和耐光老化性能，都明显地优于不饱和聚酯透明玻璃钢。

国内生产透明玻璃钢板（波形板和平板），大部分是用手糊成型，这种方法的主要缺点是生产效率低、材料消耗大、产品质量不稳定等，但此法所需要的设备少，基本上不消耗能源。在机械化生产方面，上海玻璃钢研究研制的波形板连续生产机组，可生产不同规格的平板和波形板，生产率为0.9~1.9米/分钟，波形板的宽度为750毫米，长度不限，增强材料为无捻粗纱，在机组上的成毡机中制毡，日产量为1000~2000平方米。采光罩和其它制品，目前都是采用手糊成型，产品只能做到一面光，最大的采光罩为1.5×6米。

透明玻璃钢在国内使用的范围很广，主要是作工业厂房屋顶采光、农业温室、水产养殖的越冬设施、太阳能热水器罩，混凝土养护罩、封闭式天井及停车场、木材烘干房、酱菜厂的晒酱棚和缸罩等。

综上所述，透明玻璃钢是一种很有发展前途的透光材料，是80年代采光工程设计中的主要发展方向之一。目前世界各先进国家都已拥有相当大的生产能力，并不断在为提高

透明玻璃钢产品质量（特别是耐老化性）、降低成本及增加品种等方面进行研究。随着我国社会主义建设的迅速发展，透明玻璃钢在国民经济建设中的作用也将越来越重要。但是，提倡研究和推广应用透明玻璃钢时，一定要吸取以往发展新材料的教训，必须持严谨的科学态度，严格控制生产工艺，一定要在保证产品质量的前提下，逐步的在工业、农业和其它领域中推广应用。正因为如此，本书除了介绍透明玻璃钢的生产和应用技术外，并着重介绍了如何保证产品质量和提高耐久性等方面的新成就。

第一章 原 材 料

第一节 概 述

生产透明玻璃钢的原材料主要是玻璃纤维和透明树脂。玻璃纤维在透明玻璃钢中起增强作用，是受力组分，分无碱和有碱两种。常用的纤维制品有无捻粗纱、短切纤维毡和无捻粗纱布等。树脂的作用是把玻璃纤维牢固地粘结在一起，使纤维能共同受力。常用的树脂有不饱和聚酯树脂和丙烯酸类树脂。透明型不饱和聚酯树脂的发展历史较长，技术比较成熟，价格也比较便宜。欧美和苏联等大多数国家都是以这种树脂生产透明玻璃钢。丙烯酸类树脂透紫外光能力较强，由于其折射率调节范围较大，故对中碱和无碱玻璃纤维都能适用。这种树脂是日本七十年代首先研究成功的生产透明玻璃钢的专用树脂。因为它出现的历史不久，性能还没有完全掌握，目前主要用于需要透过紫外光的农用温室。北京四季青从日本进口的玻璃钢温室就是使用这种玻璃钢板材。

透明玻璃钢是一种既能承重又能透光的复合材料。一般来讲，透明玻璃钢对光学性能要求比对强度的要求要高，这是透光材料本身特性所决定的。因此，在选择原材料时，应更多地注意满足光学性能要求。

透明玻璃钢对玻璃纤维和树脂原料的光学性能要求有二：一是要求玻璃纤维和树脂本身的透光率高；二是要求玻璃纤维和树脂复合成玻璃钢后的透光性能要好。要想达到这一点，必须首先提高玻璃纤维和树脂固化体的透光率，其次是要

求玻璃纤维和树脂固化体的折射率保持一致。丙烯酸类树脂能适应中碱和无碱玻璃纤维的折射率，而不饱和聚酯的折射率则不能和无碱纤维相配。但从我国的实际情况分析，两者均有发展前途，目前国内仍以不饱和聚酯透明玻璃钢为主。丙烯酸类玻璃钢武汉建材学院已在实验室研制成功，它适用于需要透过紫外光的农用温室及日光浴浴室等。

国产75农6、丙烯酸树脂浇注体的物理力学性能见表1-1。国产透明、半透明玻璃钢用聚酯树脂的牌号、性能及用途参看表1-2。

透明玻璃钢用树脂浇注体物理力学性能 表 1-1

性能名称	树 脂 牌 号					
	75农6	AS建-1	195	ПНМ-2	ПНМ-8	ПН-10
密度(千克/米 ³)	1230	1120	1270	1260~1270	1220~1230	1180~1210
布氏硬度 (千克/毫米 ²)		≈15	42	(巴柯) 12~14	23~27	20~23
维卡耐热(°C)	47(马丁)		58	80~85	85~95	145~168
吸水性(24时)(%)	0.08	<0.2		0.08~0.12	0.07~0.08	0.02~0.04
冲击韧性 (千克·厘米/厘米 ²)	2.78				2~3	2~3
透光率(%)	90	90~91	89	90	90	
拉伸强度(兆帕)		45	55			
压缩强度(兆帕)	120		140	115~135	100~110	100~110
弯曲强度(兆帕)	75	60~70	81	55~65	65~75	24~30
弹性模量($\times 10^4$ 兆帕)				0.26~0.28		0.32~0.34

注：ПНМ-2, ПНМ-8, ПН-10, 均为苏联透明树脂型号；
兆帕(MPa) = 10kg/cm^2 。

制造透明玻璃钢用的树脂的发展方向，主要是提高其耐光性、耐水性、耐磨性和自熄性等。不饱和聚酯的研究重点

国产透明及半透明玻璃钢用的不饱和树脂性能 表 1-2

牌 号	主要成分	技 术 指 标	性 能 及 用 途
191	丙 二 醇 顺 酐 苯 酐	酸值23~26 含固量61~67% 凝胶时间15~25分	刚性, 用作半透明制 品, 耐老化性较差, 产 品易变黄
195	丙 二 醇 苯 酐 顺 酐 含 甲 基 丙 烯 酸 甲 酯	酸值27~35 含固量59~65% 凝胶时间30~54分 $n_D^{20} 1.513 \sim 1.517$	透光性好, 耐光型树 脂, 适用手糊透明玻璃 钢制品
193	二缩丙二醇 丙 二 醇 苯 酐 顺 酐 甲 基 丙 烯 酸 甲 酯	酸值19~27 含固量56~82% 凝胶时间 8~15分 $n_D^{20} 1.523 \sim 1.527$	透光性好, 耐光型树 脂, 适用于机制透明玻 璃钢板材
75农 6	丙 二 醇 苯 酐 顺 酐 甲 基 丙 烯 酸 甲 酯	酸值26~34 含固量58~62% 凝胶时间30~50分 $n_D^{24} 1.510 \sim 1.514$	透光性好, 耐光型树 脂, 配合国产无碱纤维 制造高透明玻璃钢制品
311	甘 油 苯 酐 甲 基 丙 烯 酸 甲 酯	酸值<15 聚酯含量 $\geq 93\%$ 聚合速度 1~3分 粘度400~2100秒(4 [°] 粘度杯)	耐光型树脂

注: 195、193、191牌号是常州建筑材料厂从英国引进的专利配方。

是提高其耐老化性能，防止变黄，延长使用寿命。丙烯酸类树脂透紫外光能力比不饱和聚酯好，产品不易变黄，其研究重点是提高硬度、减少收缩等。有些应用（如灯罩）还要求树脂能耐120°C高温。

国外生产透明玻璃钢的增强材料，主要是玻璃纤维毡。毡片分为增强毡和表面毡两种，均有商品供应。大部分厂家是把制毡和连续生产透明玻璃钢板材机组建在一起，其制毡过程是先将无捻粗纱切成长50毫米的短纤维，然后在沉降室成毡。用玻璃纤维毡生产透明玻璃钢的优点很多，如毡片价格便宜，易浸透树脂，树脂含量高（可达75%），透光率高，厚度对透光率影响小，但用毡制成的透明玻璃钢强度低，厚度较大（苏联生产的透明玻璃钢波形板最小厚度为1.5毫米），因而提高了生产成本。

国内生产透明玻璃钢板材以手糊工艺为主，除机械化连续生产机组用毡外，一般都是用无捻粗纱布。用玻璃布生产透明玻璃钢的特点是强度高，树脂含量少（50%左右），板材的厚度可降低到0.8毫米左右。其主要缺点是产品厚度对透光率影响较大，价格比玻璃毡贵。

从产品成本分析看，如果玻璃纤维制品比树脂价格贵，则应提高透明玻璃钢中的树脂含量，减少玻璃纤维用量，反之，则应提高玻璃纤维含量，降低树脂用量。根据国内现实情况，似宜采用后一方案。但从长远考虑，则以前一方案为佳。

第二节 玻璃纤维增强材料

玻璃纤维是玻璃钢中的主要承力组分，它不仅能提高透明树脂的强度和弹性模量，而且能减少收缩，提高热变形温

度和低温冲击强度。但是对透明玻璃钢来讲，还需要满足耐老化性和透光性能的要求。玻璃纤维的老化主要表现为耐水性。中碱纤维中的碱金属易溶于水，影响玻璃纤维的耐久性，而无碱纤维的耐水性则较好。

一、玻璃纤维的折射率及测量方法

玻璃钢的透光性和纤维及树脂的折射率有关，无碱玻璃纤维的折射率和透明聚酯树脂浇注体的折射率相近，中碱玻璃纤维的折射率则较透明聚酯树脂的折射率低很多，影响了玻璃钢的透光率和透明度。

1. 玻璃纤维的折射率

玻璃纤维的折射率与玻璃的化学成分有关，调整玻璃原料中的化学组成，能在较大范围内改变玻璃纤维的折射率。玻璃纤维的折射率与原料中化学成分的关系，由下式计算：

$$n_D = \frac{\sum \frac{a_i}{s_i} n_i}{\sum \frac{a_i}{s_i}} \quad (1-1)$$

式中 n_D ——D光源（ $\lambda \approx 589$ 毫微米）时玻璃的折射率；

n_i ——不同化学原料组分的折射率；

a_i ——不同化学原料组分的含量（重量%数）；

s_i ——修正系数。

各种化学原料的 n_D 和 s 值不同，参看表1-3。生产透明玻璃钢用的玻璃纤维时，可根据公式1-1进行折射率设计。

常州建筑材料厂生产的无碱玻璃纤维及中碱玻璃纤维的化学组成见表1-4。

中碱纤维的折射率实测值为 $n_D=1.512$ 。无碱纤维的折射率实测值为 $n_D=1.544$ ，用811浸润剂后的纤维折射率为1.549。