

纤维增强塑料 设计手册

[日] 植村 益次 主编

北京玻璃钢研究所 译

中国建筑工业出版社

R 71.72

663

纤维增强塑料设计手册

[日] 植村 益次 主编

北京玻璃钢研究所 译

中国建筑工业出版社

本书是一本资料性工具书，以纤维增强塑料设计的基本程序为主线，分别介绍了原材料设计、材料性能设计、产品结构设计、成型技术、测试检验方法、产品设计实例及成本计算等内容。书中收集的资料较多，介绍了设计标准，提供了设计方法，指出了注意事项并附有许多有参考价值的图表数据。读者可从中获得提高设计的合理性和产品的可靠性的宝贵经验及降低成本的有效途径。

本书由姚秀云(概论、第一章 1、2)、陆亚军(第一章 3、4)、胡龙元(第二章 1)、封惠敏(概论、第二章 2、3、4、5、第三章)、文和阳(第四章)、王世政(第五、六章)、王云惠(第七章)、朱培(第八、九章)等人翻译，王云惠、封惠敏、孙铃校对，文和阳高级工程师总编校。

本书可供纤维增强塑料的设计、生产有关人员参考。

FRP 設計 便覧

植村 益次 主編

社団法人強化プラスチック技術協会

——1979年

* * *

纤维增强塑料设计手册

北京玻璃钢研究所 译

*

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 30¹/₂ 字数: 741 千字

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

印数: 1—4,900册 定价: 5.55元

统一书号: 15040·4798

译 者 的 话

纤维增强塑料(我国俗称玻璃钢)的发展在我国已有二十五年的历史。在这四分之一的世纪里,我们从事纤维增强塑料工作的广大科学技术人员、干部、工人,经过积极努力,在原材料生产使用、纤维增强塑料的成型工艺,物理化学性能测试、机械设备的设计制造、各种产品的研究试制等方面都做了大量的工作。现在玻璃钢的年产量已达4万余吨,已有几百种产品应用于国民经济的各个领域,取得了很大的成绩。但是我们与经济发达的国家相比,无论是在产量、质量、品种、技术等方面,还是在新产品的开发和利用方面,仍然存在着不小的差距。为此,我们不仅要充分利用现有的技术力量和科技成果,还要善于吸收和利用国外已经成熟的技术成就,才能抓紧时机,迎头赶上。积极利用国外已经成熟的技术成就,少做或者不做大量的重复试验研究工作,将有助于我们缩短科研工作的时间,节省经费支出,加快发展速度。这就是我们翻译出版这本手册的用意。

本手册是日本增强塑料协会为纪念该会成立25周年而出版的,该手册由42位专家共同执笔写成,内容比较丰富,也比较实际。本书中所列内容,有些是我们正在进行研究的内容,有些则正是我们希望了解的内容,因此我们将其翻译出版,供我国研究、设计、生产纤维增强塑料的专业人员借鉴。我们希望本书的出版能对促进和发展我国纤维增强塑料工业起到应有的作用。

北京玻璃钢研究所所长 沈 沉

1983年5月

目 录

绪论 纤维增强塑料的结构设计

1 纤维增强塑料的发展和确立设计基础的必要性	2 纤维增强塑料结构设计程序
1	2

第一章 纤维增强塑料的原材料种类和特性

1 增强纤维	4	2.4 酚醛树脂	36
1.1 玻璃纤维的组成和性质	4	2.5 其他树脂	38
1.2 玻璃纤维的各种特性	6	3 辅助材料	39
1.3 玻璃纤维的表面处理	10	3.1 固化剂和促进剂	39
1.4 玻璃纤维的种类	12	3.2 填料和增稠剂	41
1.5 玻璃纤维增强塑料制品的增强材料及成型方法的选择	19	3.3 着色剂	43
2 树脂	24	3.4 脱模剂	44
2.1 不饱和聚酯树脂	24	3.5 芯材(泡沫塑料)	44
2.2 乙烯基酯树脂	28	4 成型材料	49
2.3 环氧树脂	33	4.1 片状模塑料	50
		4.2 团状模塑料	53

第二章 纤维增强塑料的材料特性

1 纤维增强塑料的基本特性	59	3 机械连接特性	130
1.1 静态特性	59	3.1 连接方式	130
1.2 疲劳特性	74	3.2 挤压强度(支承强度)	130
1.3 蠕变特性	87	3.3 挤压强度与各种因素的关系	131
1.4 冲击特性	91	3.4 螺栓连接	133
1.5 温度特性	94	4 胶接连接的特性	134
1.6 耐腐蚀性	104	4.1 接头方式	134
1.7 耐候性	110	4.2 搭接接头形式	134
1.8 电气性能	112	4.3 各种形式胶接接头的胶接强度	138
1.9 隔声性能	112	4.4 其他载荷形式的胶接强度	141
1.10 光学性能(透光性)	114	5 夹层结构的特性	142
1.11 硬度	120	5.1 弯曲刚度和剪切刚度	143
1.12 耐磨性	120	5.2 芯材的特性	144
2 应力集中特性	122	5.3 各种芯材的纤维增强塑料夹层结构的特性	144
2.1 圆孔周边的应力集中	122		
2.2 方孔周边的应力集中	125		

第三章 试 验 方 法

1 试验总则(共同事项)	150	1.2 试样的制备	150
1.1 实验室的环境条件	150	1.3 试样的数目及处理条件	150

1.4 试样的测量.....150	9.1 悬臂梁冲击试验方法.....170
1.5 标准误差.....151	9.2 简支梁冲击试验方法.....173
1.6 试验方法标准.....151	9.3 落锤冲击试验.....174
2 比重.....151	10 疲劳.....176
2.1 比重的测定方法.....151	10.1 疲劳试验机.....176
2.2 实际测定中应注意事项.....152	10.2 疲劳试验.....176
3 纤维百分含量.....152	10.3 特性值的处理.....179
3.1 树脂含量的测定方法.....152	11 蠕变及热变形.....179
3.2 填料含量的测定方法.....153	11.1 蠕变试验方法.....179
3.3 空隙率的测定方法.....153	12.2 载荷变形温度试验方法.....180
3.4 碳纤维增强塑料纤维含量及空隙率.....154	12 耐候性.....181
3.5 开伏勒 (Kevlar) 纤维复合材料的纤维含量.....155	12.1 试验概要.....181
4 拉伸.....155	12.2 耐候性试验方法.....182
4.1 概要.....155	13 耐药品性.....184
4.2 试验方法.....156	13.1 试验标准.....184
4.3 试验注意事项.....159	13.2 试验注意事项.....185
5 诺尔 (NOL) 环拉伸试验.....159	14 耐燃性.....186
5.1 概要.....159	14.1 耐燃性试验概要.....186
5.2 试验方法.....159	14.2 耐燃性试验方法.....187
5.3 试验注意事项.....160	14.3 试验注意事项.....189
6 压缩.....160	15 耐磨性.....189
6.1 概要.....160	15.1 磨损试验方法.....189
6.2 试验方法.....160	15.2 试验注意事项.....191
6.3 试验注意事项.....163	16 硬度.....191
7 弯曲.....163	16.1 巴氏硬度.....191
7.1 概要.....163	16.2 洛氏硬度.....192
7.2 试验方法.....164	17 非破坏试验.....193
7.3 试验注意事项.....167	17.1 纤维增强塑料非破坏检验的特点.....193
8 层间剪切及层间拉伸.....167	17.2 各种非破坏检验的特点.....194
8.1 层间剪切试验.....167	17.3 纤维增强塑料超声波测厚仪.....195
8.2 层间拉伸试验.....169	18 电性能.....196
9 冲击.....170	18.1 概要.....196
	18.2 试验方法.....196

第四章 外力载荷基准

1 概述.....200	2.5 雪载荷.....201
2 建筑物的载荷基准.....200	3 土载荷.....202
2.1 载荷的种类及组合.....200	3.1 由回填土产生的静土压.....203
2.2 用途系数.....200	3.2 汽车行驶时产生的动载荷.....206
2.3 固定载荷.....200	4 风载荷.....206
2.4 活载荷.....201	4.1 设计用风载荷的计算.....206

4.2 空气阻力.....	208	水压.....	212
4.3 风压分布.....	209	6 热载荷	215
5 地震载荷 (高位水槽).....	210	6.1 由于温度稳定上升产生的热应力.....	215
5.1 地震输入力.....	210	6.2 受热冲击时的情况.....	215
5.2 地震对水槽底部的输入力.....	212	6.3 温度反复升降时的情况.....	215
5.3 纤维增强塑料水槽受地震影响时的		6.4 热应力的计算.....	215

第五章 结构计算方法

1 平板的计算公式.....	219	3.2 导管.....	263
1.1 单层板.....	219	3.3 圆筒形容器.....	268
1.2 层合板.....	224	3.4 方形容器.....	277
1.3 夹层板.....	229	4 结构计算实例 (纤维增强塑料卧式	
2 曲板的计算公式.....	235	净化槽)	283
2.1 波形板.....	235	4.1 净化槽的形状和负荷条件.....	283
2.2 圆筒壳体.....	239	4.2 净化槽本体的载荷条件.....	284
2.3 圆顶.....	247	4.3 地上设置.....	285
3 各种结构体的计算式	255	4.4 地下埋设.....	288
3.1 管.....	255		

第六章 设计标准

1 设计标准的意义及其概念	297	2.3 极限强度值.....	299
1.1 设计标准制定的意义和特点.....	297	3 安全系数	305
1.2 设计标准的概念.....	297	3.1 安全系数的定义.....	305
2 极限强度	297	3.2 安全系数的值.....	305
2.1 极限强度的种类.....	297	4 许用应力	307
2.2 规定极限强度时, 应该考虑的各种		4.1 许用应力的意义.....	307
事项.....	298	4.2 决定许用应力的方法.....	307

第七章 制品标准及实例

1 铁路车辆	310	3 波形瓦及平板	320
1.1 制品标准.....	310	3.1 成型方法.....	320
1.2 制品实例.....	310	3.2 产品种类.....	320
1.3 结构设计及其计算方法.....	313	3.3 形状、尺寸和色彩.....	324
1.4 制造上的各种问题.....	313	3.4 质量.....	327
1.5 制品检验.....	314	3.5 屋顶施工.....	328
2 船舶、舟艇	314	4 澡盆.....	329
2.1 产品标准或规范 (日本).....	314	4.1 纤维增强塑料澡盆标准.....	329
2.2 制品检验、尺寸精度及其他.....	315	4.2 制品检验.....	332
2.3 结构设计及其计算方法.....	315	4.3 结构设计及其计算方法.....	333
2.4 制品实例.....	318	4.4 纤维增强塑料澡盆的优点.....	336
2.5 制造上的问题.....	319	4.5 制造中的问题.....	338

5 净化槽	340	12.2 制品检验与性能试验	386
5.1 概述	340	12.3 结构设计及其计算方法	389
5.2 制品标准	340	12.4 制品实例	392
5.3 制品检验	341	12.5 制造上的问题	392
5.4 结构设计及其计算方法	343	12.6 连接方法	393
5.5 制品实例	344	12.7 参考标准及资料	393
5.6 制造上的问题	345	13 运输贮罐	394
6 耐腐蚀设备	346	13.1 运输贮罐的用途和分类	394
6.1 制品标准	346	13.2 纤维增强塑料运输贮罐的特性	394
6.2 制品检验	351	13.3 制品标准	395
6.3 尺寸精度	351	13.4 制品举例	396
6.4 结构设计及其强度计算	352	14 冷却塔	396
6.5 制品实例	353	14.1 前言	396
6.6 耐腐蚀用增强塑料的成型方法	353	14.2 制品及结构设计标准	397
7 高位水槽	354	14.3 结构设计	398
7.1 制品规范或标准	354	14.4 制品设计和制作上的注意事项	403
7.2 制品检验、尺寸精度	354	15 浮动消波堤	403
7.3 结构设计及其计算方法	356	15.1 制品标准	403
7.4 制品实例	360	15.2 设计条件	404
7.5 制造上的问题	360	15.3 结构和材料强度	405
8 椅子	361	15.4 纤维增强塑料浮动消波堤的结构 设计	405
8.1 椅子的标准	361	15.5 制品检验	406
8.2 纤维增强塑料椅子的强度	361	15.6 制造上的问题	406
8.3 纤维增强塑料的特性及椅子	363	16 地下埋设贮罐	407
8.4 制造上的问题	364	16.1 制品标准	407
9 安全帽	365	16.2 制品检验	407
9.1 制品标准	365	16.3 结构设计及其计算方法	408
9.2 制品检验	365	16.4 制品实例	412
9.3 结构设计及其计算方法	367	16.5 存在问题	413
9.4 制品实例	368	17 电气部件	413
9.5 制造上的问题	368	17.1 纤维增强塑料电气部件的种类 和应用	413
10 防水盘	368	17.2 玻璃纤维增强塑料部件设计、 材料选择	414
10.1 浴室防水盘	368	17.3 实际应用举例	416
10.2 洗衣机盘	377	18 雷达罩	417
11 管(农业用、下水管道用)	378	18.1 种类及结构	418
11.1 制品结构和标准	378	18.2 雷达罩的设计标准	419
11.2 结构设计及其计算方法	380	18.3 电气设计	419
11.3 流体力学设计及管径的计算方法	382	18.4 结构设计	421
11.4 制品设计时的注意事项	383	18.5 材料	426
11.5 参考标准	384		
12 管(耐腐蚀用、电气用)	384		
12.1 制品标准	385		

19 集装箱	427	19.6 实例	433
19.1 集装箱的分类	427	20 挤拉成型制品	434
19.2 有关集装箱的标准及法规	428	20.1 成型方法	434
19.3 集装箱的设计准则	428	20.2 物理性能	434
19.4 集装箱用纤维增强塑料层合板	431	20.3 挤拉成型制品的截面形状	437
19.5 纤维增强塑料层合板和金属框架 的连接	432	20.4 挤拉成型制品的加工	437
		20.5 应用举例	439

第八章 成型技术

1 成功与失败的实例	441	6 制品的脱模方法	453
1.1 成功的实例	441	6.1 化学脱模法	454
1.2 失败的实例	441	6.2 物理脱模法	454
1.3 胶衣的三大缺陷	442	7 原料供应系统	454
1.4 由于收缩应力而引起的模具破损	443	7.1 原料供应系统的目的	454
1.5 因固化收缩而引起的尺寸误差	444	7.2 原料供应系统所供给的材料	455
2 皱缩、翘曲产生的原因和克服方法	444	7.3 供应系统实例	455
2.1 皱缩	444	8 制造图的标准化	456
2.2 翘曲和变形	445	8.1 制造图标准化的重要性	456
3 嵌件和金属配件(纤维增强塑料 和其他材料的胶接与连接)	447	8.2 制图规范草案	456
3.1 嵌件的主要形状	447	9 腻子	459
3.2 嵌件及金属配件	448	9.1 使用腻子的目的和主要原材料	459
3.3 纤维增强塑料与其他材料的粘接	450	9.2 腻子所用填料的种类	459
4 操作规程(用符号表示的作业管 理)	450	10 厚壁制品的成型方法	461
4.1 增强塑料技术协会颁布的工程 管理符号	450	10.1 厚壁纤维增强塑料制品	461
4.2 管理符号在制造图中的应用	450	10.2 厚壁制品糊制时的管理要点	461
4.3 标准作业	452	10.3 铺层操作	462
5 铺层程序	453	11 纤维增强塑料制品的切削加工	463
5.1 木模	453	11.1 纤维增强塑料加工用刀具和 工器具	464
5.2 成型模	453	11.2 切割	464
5.3 制品的糊制	453	11.3 打孔	464
		11.4 研磨	465
		11.5 倒角加工	465

第九章 成本计算及其应用

1 成本计算的意义	466	5 成本计算的应用	474
2 成本的要素	467	5.1 盈亏分界点	475
3 成本预算(以手糊成型为例)	468	5.2 利润图(盈亏分界点图)	475
4 纤维增强塑料加工企业的 经营实例	472	5.3 边际利润	476
		5.4 小结	478
		6 结语	478

绪论 纤维增强塑料的结构设计

1 纤维增强塑料的发展和确立设计基础的必要性

在日本自从纤维增强塑料被实际应用并成立“纤维增强塑料协会”以来,到1979年迎接协会创立25周年之际,纤维增强塑料已经发展成为年产20万吨、产值3000亿日元的规模。

纤维增强塑料除具有轻质、高强、不锈、耐腐等引人注目的特点外,还有隔热、绝缘等多方面的性能。对于金属材料来说,只要把预先制备的市售的棒材、板材等经过适当加工就可以装配成所希望的结构件;与此相反,纤维增强塑料结构件的最终形状是由树脂和增强材料一次成型制成,其材料设计和结构设计同时进行,即使对特大的复杂的任意曲面形状的产品也可一次整体成型,这是它很突出的优点,而且根据成型方法可以任意改变材料及结构特性。所以如能很好地掌握纤维增强塑料的特点,就可以充分地用其所长,避其所短。因此可以说,纤维增强塑料的发展应该是大有希望的。

然而,虽说纤维增强塑料已建立了生产基础,但同现有的钢铁、铝等金属材料相比,不能不承认它的规模还小,作为工业材料的基础还不够成熟,这是纤维增强塑料历史短、经验不足、经济价值、产业流通等多方面的原因所造成的。如果从设计观点来看,纤维增强塑料有以下几个问题。

(1) 由于纤维增强塑料的原材料、组成、制造方法等的多样性,不可能得到稳定的、标准的物理性能,其材料性能分散性大,可靠性低。

(2) 因为纤维增强塑料是由各种原材料组合而成的复合材料,所以影响因素多,有关物理性能的设计资料难以或不可能十分完备。

(3) 纤维增强塑料是各向异性的层合材料,设计制造各种产品时,正因为在设计思想、计算方法、设计准则和试验方法等方面都存在很大困难,所以没有建立完整的设计体系,也不易充分予以理解。

因此,对于希望自如地应用纤维增强塑料的技术人员来说,有时会有想像不到的困难,使人有可望而不可及之感。所以对于纤维增强塑料的应用,当今有只限于某些特殊领域的倾向。现在从事纤维增强塑料结构设计的技术人员,对上述各种缺点都有同样的看法。倘若克服了上述各种困难,充分发挥出纤维增强塑料的特长,纤维增强塑料就能成为极有希望的材料,因此,它被认为是将来会有飞跃发展基础的材料。

本设计手册本着尽量减少上述问题,以使其作为工业材料的基础进一步完善,为将来的发展做一点贡献。本书编写的宗旨是作为设计纤维增强塑料的技术人员的手册,为生产出有可靠性的纤维增强塑料产品服务,同时也可作为用户更好地理解纤维增强塑料的一本技术图书。由于纤维增强塑料正处于日新月异的发展中,本手册作为设计资料还不甚完善,在日本,我们虽未被授权,但预计今后将要进行修订、增删、修改。本书只是记载了目前我们认为较为正确的内容,希望本书能成为纤维增强塑料将来发展的基础。

2 纤维增强塑料结构设计程序

一般说来纤维增强塑料结构设计是很复杂的,其设计程序如图0.2.1,它的设计三要素为①性能(功能)设计、②结构(强度、刚度)设计、③工艺设计。这是不能截然分开的相互有关的几个部分。性能设计是要充分考虑最终产品的使用条件,设计出具有与所要求性能相符合的特性的纤维增强塑料。结构设计是根据所承受的载荷、使用环境,设计出使材料产生破坏及有害变形的结构尺寸,确保安全、可靠。工艺设计是要尽可能使成型方便、成本低廉。

本设计手册就是按照图0.2.1所示的设计程序,为进行圆满而有效的设计所编写的必要资料。

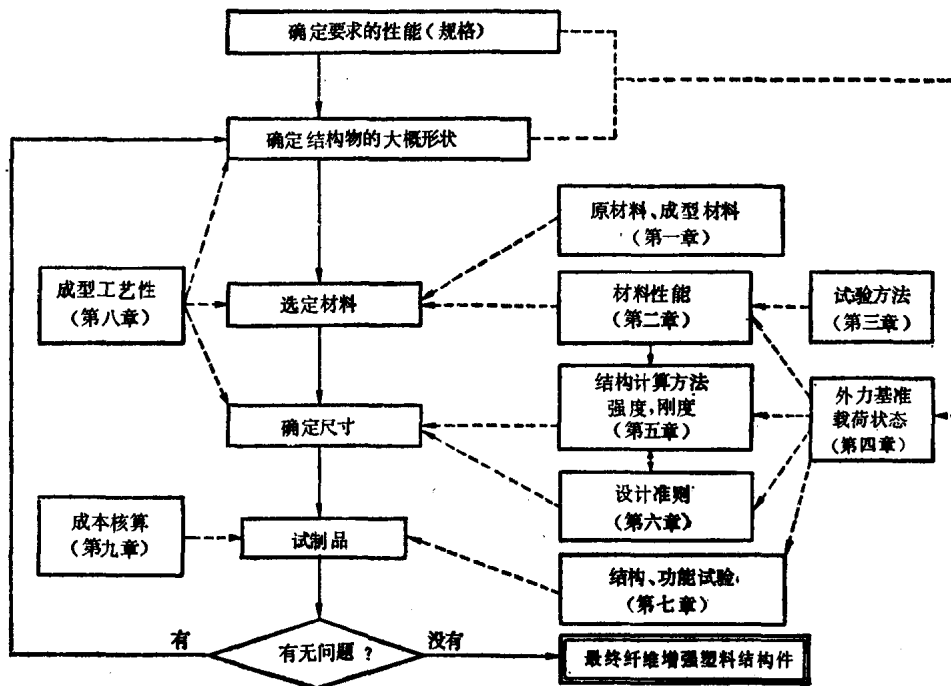


图 0.2.1 纤维增强塑料的设计程序

当一确定所要求的性能、规格和大致形状后,首先就必须确定实际使用中的载荷条件(第四章),然后再考虑纤维增强塑料的原材料、成型材料(第一章)及由规定的试验方法(第三章)测得的材料性能(第二章),选出认为大致合适的材料。一旦确定出设想的大概形状,就要在规定的物力情况下,根据材料特性,用结构计算方法(第五章)求出所产生的应力、应变等。在考虑了设计准则(第六章)中所规定的安全系数、许用应力等之后,确定出结构尺寸。当然,在选择产品材料、形状,确定产品尺寸时,要考虑其工艺性,必须制造容易而且价格便宜。这样一旦制出试制产品,就要对每个制品在同外力相似的条件下去进行结构、功能试验(第七章),来确定是否合乎设计要求,假如仍有缺点,再一次对所选形状及材料加以修正,直至完全满足要求,并在考虑经济性(第九章)之后,再投放市场。

7750102

在上述程序中，即使是对指定的外力进行强度计算，在某种程度上也并非那么容易，正如前所述，纤维增强塑料是各向异性材料，结构形状又多为带有补强材料的曲面薄壳结构，其结构很复杂。虽然最近由于有限元解析法等的发展，复杂结构的计算成为可能，但并不是谁都可以轻易地熟悉和掌握的，为此，多数情况是把结构件在某种程度上进行模型化，简化之后，再用通用算法进行研究，待结构设计、制出产品后，再进行决定取舍的结构试验，以确定产生的应力、破坏值及破坏形式等。

第一章 纤维增强塑料的原材料种类和特性

1 增强纤维

日本玻璃纤维的历史,是1937年开始工业化生产,初期以中长纤维为主,短纤维及长纤维比较少。战后随着纤维增强塑料工业的开发和发展,长纤维也快速发展起来。1960年年产5000吨,1965年年产40000吨,1977年年产80000吨,发展很快,其产量仅次于美国

同时,随着玻璃纤维及树脂性能的不断提高和多样化、批量生产而使成本降低,以及纤维增强塑料生产技术的提高,使纤维增强塑料扩大了用途。现在小船、游艇、渔船、净化槽、浴盆、安全帽等用纤维增强塑料制造已成为常识。

其中玻璃长纤维制作的增强塑料从作汽车的外壳,扩大到电子设备、海洋方面的用途。以热塑性树脂作基体,以无机物作增强材料,其应用范围在进一步扩大。

1.1 玻璃纤维的组成和性质

1.1.1 玻璃纤维的一般组成^[1]

一般讲玻璃纤维组分是以二氧化硅(SiO_2)为主,还有钠(Na),钾(K)等一价氧化物,钡(Ba)等二价碱土金属,三价的铝(Al_2O_3)等氧化物,并适量混有作为上述氧化的副产品的碳酸,熔融,急冷凝固后,得到无定形的产品。

分子结构,以硅(Si)为核心、周围有四个氧原子,组成 SiO_4 的四面体,形成无规则三维网络结构,在网络间隙中以弱键力结合有各种金属原子,这就是玻璃的基本骨架。

这个四价的硅 Si 原子与氧之间的结合力($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$)是非常强的,低温下不能分解。

由于玻璃具有这种强结合力连接的三元网状结构,无论它是硬的固体或是纤维状产物都具有普通有机纤维所见不到的特殊的特性,现将玻璃纤维的特性介绍如下:

1.1.2 玻璃纤维的组成成分[表1.1.1]

现在日本生产的长玻璃纤维大部分为E玻璃纤维。但是有特殊性能和特殊组成成分的玻璃纤维也有生产,但目前产量还不高,但将来会引起人们的注意。

下面介绍玻璃纤维的种类和特性

(1) E—玻璃纤维

这种玻璃纤维也叫无碱纤维,含碱量很低,完全不含碱的玻璃是没有的。

JISR3413规定,其含碱量在0.8%以下。

这种玻璃纤维电气性能好,耐老化性好,可以长期使用。

(2) C—玻璃纤维

这种玻璃纤维是含碱的,耐酸性好,可用作酸性液体过滤及耐酸容器用纤维增强塑料的增强材料。

这种玻璃纤维也称耐化学玻璃纤维。

(3) A—玻璃纤维

这种玻璃纤维与平板玻璃、玻璃瓶等成分相同,耐老化性差,耐酸性比C—玻璃纤

玻璃纤维的成分组成

表 1.1.1

玻 璃 种 类	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO ^①	B ₂ O ₃	Na ₂ O K ₂ O	TiO ₂	Li ₂ O	ZrO ₂	PbO	BeO	CeO
“E”—玻璃	63	15	21	2	8	0.3	—	—	—	—	—	—
“C”—玻璃	65	4	14	3	6	8	—	—	—	—	—	—
“A”—玻璃	72	0.6	10	2.5	—	14.2	—	—	—	—	—	—
“L”—玻璃	47.3	—	—	—	2.2	13.5	—	—	—	37.0	—	—
“S”—玻璃	64	25	—	10	—	0.3	—	—	—	—	—	—
YM-31-A	64	—	13	9	—	—	8	3	2	—	8	3
耐碱玻璃	61.7	1.3	4	—	—	15.4	—	—	16.9	—	—	—

① 原文为MaO, 可能有误。——译注

维差。

(4) L—玻璃纤维

这种玻璃纤维, 含铅量高, 主要用于放射线的屏蔽。用途有X光操作者的衣服和军事上特殊用途。

(5) S—玻璃纤维

这种玻璃纤维是为提高玻璃纤维拉伸强度而被开发的, 与E—玻璃纤维相比较, 比重小20%, 拉伸强度高35%, 弹性模量高20%。

现在, 在飞机、兵器等特殊用途上使用, 成形方法用纤维缠绕法比较多。

(6) YM-31-A—玻璃纤维

这种玻璃纤维具有高的弹性模量, 可用作要求高弹性模量的纤维增强塑料的增强材料。但目前由于碳纤维的生产, 这种纤维的前景比较暗淡。

(7) 耐碱性玻璃纤维

近年来开发的纤维中有增强波特兰水泥用的耐碱玻璃纤维。

用这种增强材料来增强的水泥称为GRC(玻璃纤维增强水泥)。作为增强水泥的增强材料使用时, E—玻璃纤维和C玻璃纤维, 由于水泥中碱的侵蚀而不能使用。

因此, 这种玻璃纤维可作为石棉代用品期望将来有更大发展。

1.1.3 玻璃纤维的性质

玻璃纤维的性质, 和一般玻璃没什么不同, 但是玻璃纤维是通过极细直径的喷嘴(喷丝头)于熔融状态下急速拉伸, 成为瞬间来不及结晶的急冷固化物。

玻璃纤维的一般性质如下:

- 1) 吸湿性小。
- 2) 尺寸稳定性好。
- 3) 耐热性好, 不燃烧。
- 4) 耐老化性好。
- 5) 电气绝缘性好。
- 6) 耐药品性好。
- 7) 弹性模量高, 是完全弹性体。
- 8) 拉伸强度大, 延伸率小。
- 9) 剪切强度、耐磨损性差。

1.2 玻璃纤维的各种特性

1.2.1 玻璃纤维的外观和比重

玻璃纤维表面是平滑的圆柱形，其断面是完整的圆形。玻璃纤维的外径为2~22微米，与玻璃相比，相同重量下有表面积大的特征。例如：直径5微米的E-玻璃纤维1克重的长度为15米，表面积是1000厘米²。由此可见，这样大的表面积，其表面状况的影响非常大，所以表面处理好坏，对以后的性能有很大影响。

另外玻璃纤维和其他纤维（除金属纤维外）相比，比重较大。

各种纤维的比重如表1.1.2所示

各种纤维的比重

表 1.1.2

纤维名称	比 重	纤维名称	比 重
玻璃纤维(E)	2.6~2.7	羊毛	1.2~1.33
玻璃纤维(A)	2.4~2.6	人造丝	1.46~1.54
聚酯	1.38	醋酸纤维素人造丝	1.3~1.32
聚乙烯	0.91~0.96	尼龙(66)(6)	1.14
聚氯乙烯	1.7	聚丙烯酸酯	1.14~1.18
聚四氟乙烯	2.3	强力人造丝	1.5
木 棉	1.5~1.6		

资料来源：Textile World, Textile Comparison Table (1969)

1.2.2 玻璃纤维的拉伸强度

玻璃纤维的拉伸强度，理论值是2000公斤/毫米²，现在市场上出售的9微米直径的玻璃纤维，其拉伸强度只有95~120公斤/毫米²。

这个拉伸强度与其他有机纤维比较，仍然较强。各种纤维的拉伸强度比较如表1.1.3所示。

各种纤维的拉伸强度

表 1.1.3

编 号	纤维种类	拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	纤维强力 (克/旦)	屈 伏 点 (克/旦)
1	玻璃纤维	350	15.8	15.8
2	聚 酯	64	5.2	4.0
3	尼龙(66)	62	6.0	5.0
4	聚 丙 烯	56	8.0	4.0
5	聚丙烯酸酯	27	2.6	1.3
6	改性聚丙烯酸酯	49	4.2	1.0
7	人 造 丝	35	2.6	0.9
8	醋酸纤维素	20	1.5	0.9
9	木 棉	68	4.9	0.5
10	羊 毛	20	1.7	0.4
11	蚕 丝	62	5.1	1.5

资料来源：R.F.Caroselli "Glass Texile Fiber" (1969/2/26)

利用这种特征，其最大用途是做纤维增强塑料。广泛用作不饱和聚酯、环氧树脂、酚醛树脂的增强材料。

玻璃纤维的拉伸强度，随玻璃纤维直径而改变，纤维直径越细拉伸强度越大。玻璃纤维直径与拉伸强度的关系，如表1.1.4所示。玻璃纤维不同直径的符号如表1.1.5所示。

玻璃纤维直径与拉伸强度

表 1.1.4

纤维直径 (毫米)	拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	纤维直径 (毫米)	拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	纤维直径 (毫米)	拉伸强度 (公斤/毫米 ²)
1016×10 ⁻⁶	17.5	35.5	59.9	14.2	108
106.7	29.7	33.5	70.0	12.7	137
70.6	35.6	29.2	62.8	9.7	167
57.1	45.1	24.1	82.1	6.6	233
50.8	56.0	19.1	94.2	4.2	350
47.0	62.1	17.8	115	3.3	345
44.4	58.0	15.2	130		

注：纺纱后放置40小时，用1/2英寸长的纤维测定。

玻璃纤维组成：SiO₂ 69.2%，K₂O 12.0%，Na₂O 0.9% Al₂O₃ 11.8%，CaO 0.45%，MnO 0.09%。

资料来源：G. W. Morey, Properties of glass

玻璃纤维直径及符号

表 1.1.5

符 号	纤维直径(微米)	符 号	纤维直径(微米)	符 号	纤维直径(微米)
A	1.5~2.5	H	10.02~11.43	Q	19.05~20.32
B	2.515~3.81	J	11.43~12.70	R	20.32~21.59
C	3.81~5.08	K	12.7~13.97	S	21.59~22.86
D	5.08~6.35	L	13.97~15.24	T	22.86~24.13
E	6.35~7.62	M	15.24~16.51	U	24.13~25.40
F	7.62~8.89	N	16.51~17.78		
G	8.89~10.02	P	17.78~19.05		

玻璃纤维同时具有拉伸强度大，延伸率不高的特征。玻璃纤维断裂延伸率为3~4%，这个值在其它纤维中是最小的。这是因为Si—O—Si键在整个纤维中是均匀分布的，这样显示出对能量的吸收力非常大，玻璃纤维作为增强塑料的增强材料有很大的冲击值，就是因为有效地利用了这种特性。

各种纤维的延伸率比较如表1.1.6所示。

玻璃纤维是弹性模量很高的完全弹性体。所以在纤维上加拉伸载荷时，载荷与伸长成比例关系，直到最后断裂仍保持这个状态。因而反复操作不会发生永久变形。

玻璃纤维这种特性，对尺寸稳定性，防止发生伸长是有效的。玻璃纤维的拉伸强度和延伸率的关系如图1.1.1所示。

1.2.3 玻璃纤维的电气性能

玻璃纤维有电导率，和介电特性优良的电气特性。根据JIS C2200的规定，在电绝缘方面要使用无碱玻璃纤维（E-玻璃纤维）。其理由是玻璃纤维表面吸附水的时候，内部的碱离子在表面溶出，表面的电导率增高了。如：在湿度达90%时，直径8.5微米的纤维，当碱含量分别为，无碱、10%、14%时，其体积电阻以10⁸，10⁷（厘米·欧姆）的顺序降低。介电损耗角正切值有如体积电阻变化的倾向，碱含量多时介电损耗角正切值就变大，碱含量少，介电损耗角正切值小，介电常数大。各种玻璃纤维的电气性能如表1.1.7所示。

各种纤维的延伸率 表 1.1.6

纤维名称	延伸率(%)
E-玻璃纤维	3.0~4.0
氯乙烯-偏氯乙烯共聚物	15.0~25.0
聚四氟乙烯	13.0
木 棉	3.0~7.0
尼 龙	26~32
聚 丙 烯	20~28
聚 酯	19~25.0

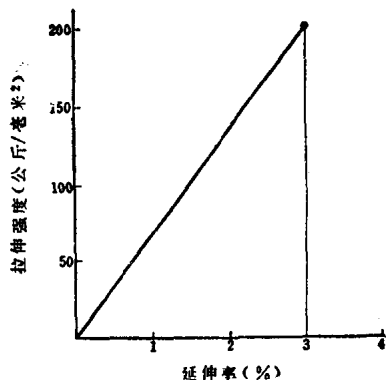


图 1.1.1 拉伸强度和延伸率

各种玻璃纤维的电气性能

表 1.1.7

项 目	E	C	A	L	S	硼、硅酸耐 热玻璃纤维
介电常数(22°C)						
10 ⁶ 赫兹	5.80	6.24	7.1	9.49	4.53	5
10 ¹⁰ 赫兹	6.13	6.79	7.1	—	5.21	—
介电损耗角正切值(22°C)						
10 ⁶ 赫兹	0.001	0.005	0.007	0.0007	0.002	0.006
10 ¹⁰ 赫兹	0.0039	0.013	—	—	0.0068	0.048
体积电阻(欧姆·厘米)						
22°C	5×10 ¹²	—	10 ¹⁰	—	—	10 ¹²
715°C	×10 ⁶					
1260°C	×10 ²					

1.2.4 玻璃纤维的化学特性

玻璃纤维的性能一般认为与水、湿度无关，实际上，玻璃纤维在相对湿度80%以上环境中存放，强度就有下降，在100%相对湿度下，强度保持率在50%左右。

但是，玻璃纤维单丝即使与水接触，强度也不发生变化。但C-玻璃纤维，由于玻璃纤维中所含的碱分溶出，强度下降。其他的化学特性，同块状玻璃相同，氢氟酸、浓碱、浓磷酸都能侵蚀它。

1.2.5 玻璃纤维的热性能

玻璃纤维单丝在200°C下强度不会降低。超过200°C时，E-玻璃纤维强度缓慢下降，C-玻璃纤维强度急剧下降。600°C左右，就没有实用价值。温度和强度的关系如图1.1.2所示。

玻璃纤维单丝加热无变化，可是玻璃纤维纱加热到250°C就膨胀，如果温度再高就开始收缩。一旦收缩的玻璃纤维即使停止加热也恢复不了原状。玻璃纤维的热膨胀关系如图1.1.3所示。

各种纤维受热的影响如表1.1.8所示，玻璃纤维的热性能如表1.1.9所示。