

第一章 玻璃钢主要物理性能检测

玻璃钢物理性能所包含的内容十分广泛，本章主要介绍比重、容重、空隙率和吸水性。

第一节 比重和容重

比重和容重是玻璃钢的基本物理量，对玻璃钢的其它性能有很大影响。

一、比重

(一) 定义

比重的物理定义是指材料在绝对密实状态下单位体积的重量，其表示式为：

$$\rho = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——材料比重，克/厘米³；

G ——材料的重量，克；

V ——材料在绝对密实状态下的体积，厘米³。

按照这个定义，比重是重力加速度的函数，在相同测试条件下，从地球上不同的地方测试同一种材料比重所得结果是不一样的，直观类比性差。

工程上为了应用方便，把比重定义为材料在一定温度下的重量与同体积水的重量之比，是一个无量纲的数值，其表示为：

$$\rho = \frac{G}{G_1} \quad (1-2)$$

式中 G ——材料重量,克;

G_1 ——在相同温度下与材料同体积蒸馏水的重量,克。

按照这个定义,比重对于同一种材料,只要测试条件相同,在地球上任何地区都得到相同的测试结果,直观类比性较强。因此被国内外许多材料试验标准所采用。我国玻璃钢比重试验方法 GB1463—78 就是采用这一定义。

(二)玻璃钢的比重特性

玻璃钢是由多种原材料复合而成的,它的比重常随原材料的化学组成、各组分含量、树脂固化程度等因素有关,是一个受多种因素影响的物理量。例如增加玻璃钢中的纤维含量,玻璃钢的比重会相应增加;提高树脂含量,玻璃钢比重下降;提高树脂固化程度。玻璃钢比重要有所增加,这是因为固化过程中树脂的体积要发生收缩。

一般玻璃钢的比重为 1.5~2.0,碳纤维复合材料为 1.3~1.6,芳纶纤维(*tevlar*)复合材料为 1.2~1.4。

玻璃钢是一种非均质材料。由于纤维和树脂在玻璃钢材料内分布不均匀,因此虽然是同一块材料,但由于取样部位不同,测得的玻璃钢的比重也不尽相同。我们所说的比重是指玻璃钢试样的平均比重。

玻璃钢的比重可以由纤维比重、树脂比重和含量按下式进行计算:

$$\rho = \frac{\rho_f \rho_R}{\rho_R (1 - C_R) + C_R \rho_f} \quad (1-3)$$

式中 ρ_f ——纤维比重;

ρ_R ——树脂比重;

C_R ——树脂含量(重量百分数)。

(三)玻璃钢比重测试方法

玻璃钢的比重(包括碳纤维和芳纶纤维复合材料的比重)应按国标 GB1463—78 规定进行,其试验内容可分为下述三个步骤:

1. 试验条件选择及试样制造

玻璃钢的比重一般是在室温下进行测定。试验所用的仪器和材料为:

(1) 感量不大于 0.001 克的分析天平。

(2) 悬丝——直径小于 0.15 毫米的金属丝或发丝。

(3) 烧杯和支架。

(4) 蒸馏水等。

试样按随机抽样法取样，每个试样重1~10克，每组试样不少于3个。

2. 试验

做玻璃钢比重试验前，对试样应进行外观检查及预处理。预处理是将试样用软布擦净后(可蘸有对玻璃钢无腐蚀作用的溶剂)，按下列三种方法任选一种进行处理：

(1) 室温干燥器放置24小时。

(2) 70℃干燥4小时后放入干燥器内冷却至室温。

(3) 105℃干燥1小时后放入干燥器内冷却至室温。

处理后的试样分别在空气中和悬挂在蒸馏水中称量。在蒸馏水中称重时，应先称悬丝重量，并注意试样表面不应附有气泡，试样在水中浸渍时间不能超过1分钟。测量蒸馏水温度。测试结果应作详细记录。

3. 计算

玻璃钢的比重，根据测试结果按下式计算

$$\gamma_i = \frac{\gamma_{\text{水}} \cdot m_1}{m_1 - m_3 + m_2} \quad (1-4)$$

式中 m_1 ——试样在空气中的重量，克；

m_2 ——悬丝在空气中的重量，克；

m_3 ——试样和悬丝在水中的重量，克；

$\gamma_{\text{水}}$ ——在测试温度下，蒸馏水比重见表1-1。

表1-1 蒸馏水的比重

t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$	t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$	t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$
0	0.9998676	14	0.9992732	28	0.9962642
1	0.9999265	15	0.9991286	29	0.9959757
2	0.9999678	16	0.9989721	30	0.9956783
3	0.9999922	17	0.9988041	31	0.9953722
4	1.0000000	18	0.9986248	32	0.9950575
5	0.9999919	19	0.9984346	33	0.9947344
6	0.9999683	20	0.9982336	34	0.9944030
7	0.9999297	21	0.9980221	35	0.9940635

t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$	t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$	t ,℃	$\gamma_{\text{水}}$
8	0.9998765	22	0.9978003	36	0.9937159
9	0.9998092	23	0.9975634	37	0.9933604
10	0.9997281	24	0.9973266	38	0.9929970
11	0.9996336	25	0.9970751	39	0.9926260
12	0.9995261	26	0.9968141	40	0.9922473
13	0.9994059	27	0.9965437		

试验结果以每组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

二、容 重

容重是指材料在自然状态下,单位体积的重量,其数学表示式为:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-5)$$

式中 G ——材料的重量,克;

V ——材料在自然状态下的体积,厘米³

与比重的定义相比,所不同的是前者为绝对密实状态下的体积,后者是自然状态下的体积。所谓自然状态下的体积,就是指包括材料内部所含有的一切不能消除的空隙的体积。我们知道,玻璃钢在成型过程中,不可能达到绝对密实程度,由于工艺条件所限,其内部或多或少总是含有一些空隙。因此,按国标 GB1463—78 测定的玻璃钢比重值,实际上是在一定温度下,玻璃钢自然状态下的单位体积重量与同体积水的重量比,这种方法测得的结果是包含有空隙在内的,因此,严格来讲是容重而不是比重,但在工程上习惯称为比重。

第二节 空隙率和吸水性

玻璃钢的空隙率和吸水性两个概念不同,但又彼此相关的物理性能。

一、空隙率

玻璃钢的空隙率是指材料体积内部空隙占有的百分率。实践证明,比较

致密的玻璃钢的孔隙率一般为 0.5~6%。

玻璃钢空隙率的数学表示式为：

$$V_{\text{空}} = \left(1 - \frac{V}{V_0} \right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 $V_{\text{空}}$ ——空隙率；

V ——材料在绝对密实状态下的体积 厘米³；

V_0 ——材料在自然状态下的体积 厘米³

(一)空隙的种类及产生原因

玻璃钢中的空隙分为开孔和闭孔两种。所谓开孔，就是空隙在玻璃钢中彼此串通，并与外界相连，所谓闭孔，就是指空隙在玻璃钢中独立存在，彼此不相串通。也不与外界相通。

玻璃钢中的空隙有三部分组成：

1. 树脂中的空隙。这种空隙形成的原因，主要是由于树脂固化过程中热收缩和低分子化合物排出，使树脂固化体中出现微裂纹和空隙。热收缩产生的微裂纹有可能串通，但排出低分子化合物往往形成闭孔空隙。

2. 纤维中的空隙。不论是哪一种纤维，在其制造过程中总会存在数量不等，尺寸不同的微裂纹。这些微裂纹不可能被树脂浸透，因此，它将全部保留在制成的玻璃钢中，这种孔隙多为闭孔式。

3. 树脂—纤维界面空隙。界面孔隙的存在，主要取决于树脂对纤维的粘接和浸润，因此，树脂的浸润性，纤维表面处理及施加成型压力情况等，是空隙存在的主要影响因素。一般来讲，选用浸润性好，挥发物含量少的树脂，对纤维表面进行化学处理及施加适当的成型压力，是减少玻璃钢中空隙含量的有效途径。

(二)研究空隙率的意义

测试玻璃钢的空隙率至少有以下两个作用。

1. 估计玻璃钢的吸水程度

由于玻璃钢中存在着闭孔空隙，在测试吸水率时，很难测得其饱和状态，即使达到了饱和程度，也无法鉴别。而当知道玻璃钢的空隙率后，不但能够计算出它的吸水速度和吸水度，而且能估算出在不同湿态下玻璃钢的物理机械性能等。

2. 进行质量分级

玻璃钢中的空隙率含量,对玻璃钢的各种性能都有影响。一般来讲,空隙率含量高的玻璃钢,其质地松疏,易被水侵蚀,故电性能变坏,强度降低,易变形,不耐老化及使用寿命短等;低空隙率的玻璃钢,质地密实,不易被水浸透,故各项性能都较前者优异。

空隙率对玻璃钢强度的影响可以以下两方面进行分析。一方面是玻璃钢中存在空隙以后,会造成内部应力集中,使实际承载面积减小,另一方面是玻璃纤维和树脂界面间形成空隙后,树脂不能将接受到的应力传递给纤维,使这些纤维失去实际承载能力。从电学性能来讲,玻璃钢空隙含量高,其吸湿性必然大,小分子带有极性,它不仅降低了玻璃钢的电绝缘性能(这种性能是可逆的),而且能够使玻璃纤维水解破坏,降低强度。

从上面分析来看,我们可以认定,玻璃钢中的空隙含量多少,能在一定程度上反映出玻璃钢本身质量的优劣,因此,人们可以根据玻璃钢中空隙率所占的百分数,对其质量进行分级。美国对能用玻璃钢的质量鉴别,就是用空隙率含量来分级的(表1-2)。

表1-2 船舶结构中玻璃钢板材的质量分级

名 称	板 别					
	1	2	3	4	5	6
板材型号	181型玻璃布层压板	1000型玻璃布层压板	1044型玻璃布层压板	玻 璃 茵 层 压 板	高 含 量 树 脂 玻 璃 茵 层 压 板	无 捻 粗 砂 布层压板
空隙含量%	1.5	2	3	4	5	4

(三)玻璃钢空隙含量试验方法

玻璃钢空隙含量可按建材部标准JC287-81规定进行测试。

直接测试玻璃钢空隙含量的方法目前尚未见有报导。

玻璃钢的空隙含量是通过测量玻璃钢组分中的树脂、纤维、玻璃钢密度和树脂在玻璃钢中的含量,经过计算而得到的。

1. 试验条件及试样

测验玻璃钢空隙含量使用的仪器为(1)分析天平——感量为不大于0.

001 克和 0.0001 克各一台 ,前者用于测量比重 ,后者用于测量玻璃钢中的树脂含量 (2) 茂福炉 (3) 瓷坩埚 (4) 发丝 (5) 烧杯 (6) 干燥器等。

根据 JC87—81 规定 ,试样重量为 2~5 克 ,每组试样不少于 3 个。测树脂含量的试样厚度不大于 5 毫米。

2. 试验步骤

(1) 试样外观检查和预处理。其方法和内容与玻璃钢比重试验相同 ;

(2) 按第一节中的方法对玻璃钢的密度(比重)进行测试 ;

(3) 分别测定玻璃钢组分中的树脂和纤维增强材料密度。树脂的密度可参考树脂浇注体密度试验方法进行试验 ,树脂浇注体中必须没有气泡 ,而且要和玻璃钢中树脂的固化时间、温度、压力尽可能相一致。纤维增强材料的密度试验是先将增强纤维磨成粉末 ,然后用比重瓶进行测定。测定时必需排出水中的气泡。

(4) 用烧失法测量玻璃钢中的树脂含量。其方法是将已测定密度的试样放入已恒重的坩埚内 ,然后再进入茂福炉内高温烧失 ,称重。计算出玻璃钢中的树脂含量。

(5) 对于孔状试样 ,则要用密度和用量皆为已知的石蜡对其表面进行密封处理 ,并用修正过的密度公式进行计算。

3. 计算

玻璃钢空隙含量按下式计算 :

$$V_v = 100 - \rho_m \left(\frac{W_v}{\rho_v} + \frac{W_g}{\rho_g} \right) \quad (1-7)$$

式中 ρ_m —— 玻璃钢密度 ,克 / 厘米³ ;

W_v —— 树脂含量 ,%(重量);

W_g —— 纤维增强材料含量 ,%(重量);

ρ_v —— 树脂密度 ,克 / 厘米³ ;

ρ_g —— 纤维增强材料密度 ,克 / 厘米³。

用石蜡封孔的修改后的密度计算公式 :

$$\rho_m = \frac{\frac{G_1 - G_w}{G_1 - G_3 + G_2}}{\gamma_w} - \frac{G_w}{\rho_w} \quad (1-8)$$

式中 G_w —— 石蜡层的重量 ,克 ;

ρ_w ——石蜡的密度 ,克/厘米³ ;

G_1 ——试样在空气中的重量 ,克 ;

G_2 ——悬丝在空气中的重量 ,克 ;

G_3 ——试样和悬丝在水中的重量 ,克 ;

γ_w ——在测试温度下 蒸馏水的比重(表 1-1)。

试验结果以每组试样的算术平均值表示 ,取三位有效数字。

二、吸水性能

吸水性能是指玻璃钢在水中放置一段时间后 ,所表现出来的吸收水分的能力 ,它可以相对地反映出材料质量的优劣 ,是评价材料质量的一项重要指标。

玻璃钢的吸水性能常用吸水重量(W),单位面积吸水量(W_s)和吸水率($W_{p\cdot c}$)来表示 ,它们的物理意义是 :

$$W = G_1 - G_2 \quad (1-9)$$

$$W_s = \frac{G_1 - G_2}{S} \quad (1-10)$$

$$W_{p\cdot c} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 G_1 ——试样浸水后的重量 ,毫克 ;

G_2 ——试样浸水前经过干燥处理的重量 ,毫克 ;

S ——试样表面积 ,厘米²。

如果玻璃钢中含有可溶性物质时 , G_1 应换成试样浸水后 ,第二次干燥后的重量(G_3)。一般情况下 G_3 是小于 G_1 的重量。

各种玻璃钢的吸水性差异很大 ,其吸水率一般变化在 0.3~1.4% 范围。

玻璃钢的吸水性 ,是一个涉及面很广的研究课题。玻璃钢的吸水率大小 ,不仅和选用的树脂、纤维有关 ,而且还和成型工艺、试件厚度、试件表面积、纤维在试件中的排列方向以及试件在水中浸泡时间和温度有关。

关于原材料对玻璃钢吸水性的影响 ,我们将在以后的耐水性中进行详细讨论。一般来讲 ,无碱玻璃纤维的吸水性能比有碱玻璃纤维小 ,玻璃纤维采用表面处理剂处理后 ,能够改善其吸水性。至于树脂 ,如其大分子结构中亲

水基因少,结构致密,交联密度大,则有利于降低树脂的吸水性。

玻璃钢吸水后,不仅会使力学性能降低,电子学性能变坏,而且会影响到玻璃钢的耐久性,使其使用寿命缩短。

下面就吸水时间、水浸泡温度、试件厚度、试件表面积和试件中纤维排列方向等因素,对玻璃钢吸水性影响分别进行讨论。

(一)影响吸水性的因素

1. 吸水量和吸水时间关系

玻璃钢浸水试验初期,因吸水而使重量增加,逐渐达到饱和并开始浸沥使重量减少,在吸水量和浸泡时间关系曲线上,吸水量出现极大值或拐点。图1-1为玻璃钢试件($20 \times 20 \times 10$ 毫米)重量随浸泡时间增长的变化。

由图1-1中看出,聚酯冷固化玻璃钢由于树脂降解,玻璃纤维被浸沥,最后导致试件重量下降,而环氧树脂则无此现象。这是因为环氧树脂耐水性较好,浸水流失组分较少之故。

从图1-1中还可以看到200天浸泡后聚酯冷固化玻璃钢失重较大,而浇注体失重较小。从浸泡玻璃钢的水析来看,有机组分占90%,这说明玻璃钢流失水中的主要是树脂。因为玻璃钢中玻璃纤维与树脂的界面很大,水浸沥玻璃纤维后呈碱性,更加速树脂水解。

2. 吸水量和浸水温度的关系

正常情况下,玻璃钢的吸水量随着浸泡水的温度升高而增大。其原因有二:一是升高温度增加了水分子的渗透性;二是温度升高后加速了树脂基体中大分子的布朗运动,使分子间的范德华力减弱,材料的密实性下降,水分子更易进入,故使吸水量增加。

3. 吸水量与试件厚度关系

若以玻璃布的层数n来表示试件的厚度,则吸水量与试件厚度的关系如图1-2所示。即厚度越大,吸水量越高,但增加速率较薄试件小。

4. 玻璃钢吸水量和试件大小关系

水进入玻璃钢内部,总是从试件的表面渗入的,因此在规定的时间内(一般规定为24小时)玻璃钢试件的表面积越大,渗入的水就越多。这主要是因为表面积大的玻璃钢试件与水接触的面积也大,故吸水量增加。所以在短时间内,单面接触水的玻璃钢要比浸泡在水中的玻璃钢吸水量小。

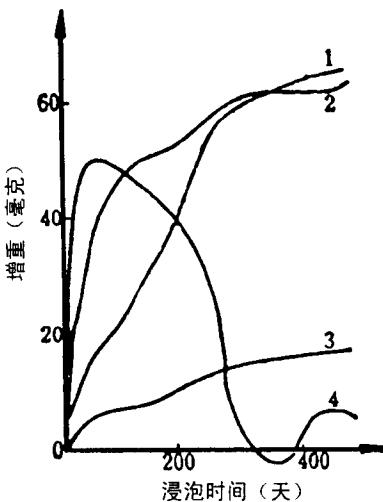


图 1-1 增重与浸泡时间关系

1 - # 004 聚酯冷固化浇注体 2 - 环氧苯酐玻璃钢；
3 - 环氧苯酐浇注体 4 - # 04 聚酯冷固化玻璃钢

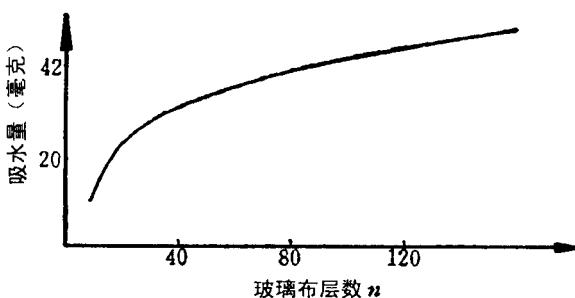


图 1-2 聚酯玻璃钢吸水量和试件厚度关系

试验和理论都证明，正交铺层的正方形聚酯玻璃钢试件(边长为 a)，其吸水量 W 和试件边长的关系式如下：

$$W = C_1 a + C_2 a^2$$

式中 C_1 和 C_2 为常数，由试验测定。

正方形试件边长 a 与吸水量在短时间内的实测关系，参见图 1-3。

从图 1-3 中看出，玻璃钢试件的边长越大，吸水量越高，由此试验曲线计算出来的 C_1 和 C_2 分别为：

$$C_1 = 2.0 \text{ 毫克/厘米}$$

$$C_2 = 1.5 \text{ 毫克/厘米}^2$$

5. 吸水量与纤维在玻璃钢中的分布关系

由于玻璃布的经纬向密度不同,因而使矩形试件的吸水量随其截取方向不同而存有差异。例如,用经纬度为36根/18根(厘米宽度)的玻璃布糊制120毫米长,15毫米宽的试件,试件的长度方向平行于经纬两个方向,其吸水量测试结果相差很大:

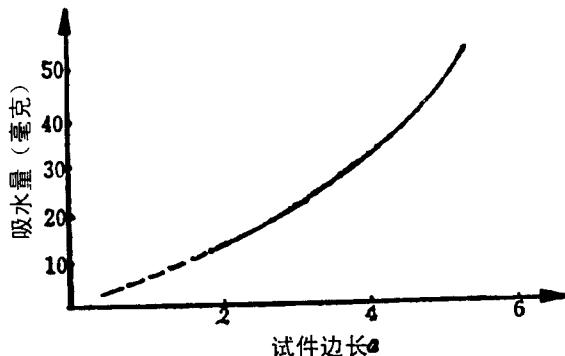


图 1-3 正方形聚酯玻璃钢试件吸水量与边长关系

- (1) 试件长度方向平行于经向时,吸水量为39.1毫克;
- (2) 试件长度方向平行于纬向时,吸水量为43.7毫克。

6. 含湿量对吸水量影响

试件含湿量不同,吸水量也不一样。一般来讲含湿量高的试件,吸水量小,反之亦然,因此,在做吸水量试验时,试件必须烘干至衡重。

(二) 玻璃钢吸水性试验

玻璃钢吸水性试验可参照国标 GB1462—78 规定的方法进行试验。

1. 试验条件及试样

玻璃钢吸水性试验的试样尺寸按表 1-3 选择。

表 1-3 吸水性试验的试样尺寸

试样种类	尺寸(毫米)
模压件	圆片 $\varnothing(50 \pm 1) \times (2 \pm 0.2)$
	长条 $(120 \pm 1) \times (15 \pm 0.2) \times (10 \pm 0.2)$
平板	方块 $(50 \pm 1) \times (50 \pm 1) \times$ 厚
棒	直径 ≤ 25 时 取长 50 ± 1 直径 > 25 时 取长 25 ± 1

试样种类	尺寸(毫米)
试样种类	尺寸(毫米)
管	内径 ≤ 70 时 取长 50 ± 1 内径 > 70 时 取长 $50 \pm$ 管段 然后截取边长 50 ± 1 的弧段

每组试样数量不少于3个。

吸水性试验是在水温 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$,浸水时间 24 ± 0.5 小时条件下进行。若条件不同,要记录实际水温和浸水时间。试验用感量为0.0005克的分析天平。恒温水浴的温度波动范围不大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2. 试验

试样在试验前用蘸有无腐蚀溶剂的软布擦干净,然后进行预处理。预处理条件按下列两种方法任选一种或按产品标准规定:

(1) 70°C 干燥4小时后放入干燥器内冷却至室温。

(2) 105°C 干燥1小时后放入干燥器内冷却至室温。

将合格试样编号。测量试样尺寸。测量精度为:试样尺寸小于和等于10毫米的精确到0.02毫米;大于10毫米的精确到0.05毫米。

处理后的试样浸入蒸馏水中,注意使表面不应附有气泡,试样相互间及与容器壁不应接触。浸水24小时后从水中取出,用滤纸吸干表面,立即称重。整个过程应在1分钟内完成,延长会影响试验结果的准确性。浸水称量后的试样,再在与预处理相同的条件干燥后称量。

3. 计算

吸水量 W (毫克),单位面积吸水量 W_s (毫克/厘米 2),吸水率 $W_{p\cdot c}$ (%)按公式(1-9)(1-10)和(1-11)进行计算。

试验结果以每组试样的算术平均值表示,取二位有效数字。