

玻璃钢性能测试及产品检验

江苏建筑材料工业学校

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 试验结果分析及数据处理	(6)
第一节 抽样及有效数字	(6)
第二节 误差理论简介	(9)
第三节 数据处理	(12)
第三章 玻璃钢物理性能检测	(19)
第一节 比重和容重	(19)
第二节 空隙率和吸水性	(53)
第四章 玻璃钢基本力学性能检测	(34)
第一节 玻璃钢的力学特性	(34)
第二节 玻璃钢基本力学性能检测	(42)
第三节 玻璃钢长期力学性能检测	(67)
第五章 玻璃钢热、电、光性能检测	(74)
第一节 玻璃钢热学性能检测	(74)
第二节 玻璃钢电学性能检测	(92)
第三节 玻璃钢光学性能检测	(108)
第六章 玻璃钢化学性能检测	(114)
第一节 玻璃钢的耐化学腐蚀性	(115)
第二节 玻璃钢的耐水性检测	(117)
第七章 玻璃钢耐候性检测	(139)
第一节 玻璃钢自然老化检测	(139)
第二节 人工加速老化试验	(151)
第八章 玻璃钢产品性能检验	(155)

第一节	玻璃钢产品使用条件分析	(156)
第二节	玻璃钢产品检测方法的选择和设计	(161)
第三节	玻璃钢产品检验举例	(163)

第一章 绪 论

随着玻璃钢工业的发展，玻璃钢及其制品的质量问题已提到日程上来，质量的好坏是能否保证玻璃钢工业迅速发展的关键。而质量又与材料的性能测试与产品检验息息相关。

一、玻璃钢的性能特点

玻璃钢是由合成树脂和纤维增强材料及填料所组成的非均质复合材料，各组分在复合后的材料中仍保留其原有的性能，但能协同发挥作用，因此，在同一类玻璃钢中，由于配方的变化，便可以获得性能完全不同的材料。玻璃钢具有比重小、强度高、耐冲击、耐疲劳、耐烧蚀、耐化学腐蚀、介电性能好、防水、隔声、防静电、自润滑、透光、保温等一系列优异性能，这就为其开发应用提供了有利条件。玻璃钢的这些性能之获得，主要是通过原材料选择、界面处理、配方和铺层设计来实现的。也就是说玻璃钢的性能，可以根据使用条件要求在很大范围内进行设计。正因为如此，玻璃钢能广泛地用于火箭、导弹、飞机、兵器、船艇、车辆、化工防腐、电气绝缘、石油管道、建筑构件、卫生设备、机械制造等各个工业领域。据不完全统计、全世界各个国家的玻璃钢产品品种已发展到4万多个，而且应用范围还在不断开拓。由此可见，要保证每个玻璃材料产品的性能合格，产品检验是一个多么庞大而又重要的工作。

二、玻璃钢性能测试及产品检验的意义

性能测试和产品检验是两个概念不同，但又密切相关的问题。前者主要是研究和测定玻璃钢材料本身固有的基本性能，如强度、密度等，后者则是检验由玻璃钢制成的产品的各项技术性能和质量优劣等。

（一）性能测试

玻璃钢性能测试主要是研究和了解材料的基本性能和试验方法。根据对材料结构和性能要求了解的深度不同，性能测试又分为：微观结构分析和宏观性能试验两大类。

1. 微观结构分析是指用现代分析技术（如各种光谱、电子能谱、X射线、电子显微镜等测试方法）研究玻璃钢材料的内部结构、界面粘结状态、破坏机理及断口形貌等。使人们从微观或亚微观层次的深度，来了解玻璃钢材料内部结构与性能之间的关系。

2. 宏观性能测试是指用常规试验手段，对玻璃钢的力学性能、电学性能、热学性能、化学性能等进行测定、通过这种手段，使人们能够正确地认识和掌握各种玻璃钢材料本身固有的基本性能，以便进一步研究改进，使之在工程中得到合理的推广应用。

（二）产品检验

玻璃钢产品检验是指根据设计要求或使用状况，对玻璃钢产品的性能和质量进行检验，以保证产品质量和使用安全。由于玻璃钢产品的种类繁多，使用环境对性能的要求又不相同。因此，对于不同玻璃钢产品，就需要制订出不同的试验方法和检验项目。

根据检验后产品的性能保留情况和破坏程度，玻璃钢产

品性能检验又分为破坏性检验和非破坏性检验两大类。

1. 破坏性检验是根据产品的实际使用要求, 利用常规试验手段, 对产品进行模拟试验, 要求各项技术指标达到产品使用条件或破坏为止。采用这种方法评价产品的质量优劣和使用价值, 比较可靠, 但代价较高。

2. 非破坏性检验是指用某种特殊试验方法, 对产品的各个部位进行无损伤检查, 从而判断产品的质量优劣和使用价值。非破坏性检验法的优点是方法简便, 使用安全, 代价低, 但可靠性不如前者, 目前正处在研究提高阶段。

综上所述, 性能测试是研究和认识玻璃钢材料性能的主要手段。通过对其进行的性能检测, 不仅可以判断和掌握任何一种玻璃钢材料的基本性能, 正确地选择其使用范围, 而且还可以帮助检验材料配方设计和成型工艺中存在的问题, 提供进一步研究改进。因此, 材料性能测试, 对评价、研究和推广应用玻璃钢有着决定性的指导作用。产品检验则是检查产品设计正确与否的唯一办法, 是控制产品质量、指导生产和保证使用安全的重要手段。总之, 玻璃钢性能测试和产品检验是进行玻璃钢材料研究和发展生产的极其重要的组成部分, 是保证玻璃钢行业顺利发展的必要手段。

三、国内外测试技术的发展概况

玻璃钢性能测试和产品质量检验技术的发展, 是伴随着玻璃钢工业的发展同步前进的。我国玻璃钢性能测试和产品检验的发展过程大体上分为三个阶段: 第一阶段是 1974 年以前, 在这段时间内, 我国的经验很少, 一切测试工作都是围绕着军工新产品的研制进行, 所用的试验方法都是按照苏联“ГОСТ”和美国“ASTM”标准进行。第二阶段是从 1974

年到 1980 年,在这一阶段中我国有了一定的实践经验,在国家建材局的领导下,成立了玻璃钢性能测试专业领导小组,首次在国内形成了专业技术队伍,使性能测试和产品检验的研究工作走上了正规道路。1977 年国家建材局在总结过去工作的基础上,根据国内对玻璃钢的研究和生产实践,颁发了第一个玻璃钢性能测试方法部颁标准。1978 年在修订部颁标准的基础上,颁发了适合我国国情的第一个玻璃钢性能测试方法国家标准。至此,才把全国和建材系统的部分玻璃钢性能试验方法和标准统一起来,为鉴别同类产品质量和进一步发展玻璃钢工业打下了科学基础,对指导生产起到了良好作用。1980 年到现在,属第三阶段。在此阶段内,首先是 1980 年成立了全国性的“纤维增强塑料(即玻璃钢)标准化分技术委员会”,由国家标准局和国家建材局直接领导。在该分技术委员会的主持下,审议了 29 项国家标准和三项部级标准。1984 年该分技术委员会正名为“全国纤维增强塑料标准化技术委员会”,并定于每年 9 月召开一次全体委员会议,审议、修改和通过新旧标准。全国纤维增强塑料标准化技术委员会的成立对促进我国玻璃钢标准化工作的迅速发展,调动各部门及广大专业技术人员的积极性、起到了推动作用。到目前为止,我国已颁发的国家标准(GB)和部级标准(JC)共 88 项,其中基础标准 1 项,方法标准 76 项,产品标准 9 项。这些标准无疑对保证玻璃钢产品质量,起到了重要作用,但距我国玻璃钢工业发展需要,仍相差甚远,特别是产品标准差距更大。

国外玻璃钢性能测试及产品检验工作虽然比我国发展得快,但迄今为止;国际间还没有一个统一标准,仍处在不断研究、不断完善的发展阶段。从本国实际工作需要出发,各

国都制定了自己的国家级标准。如美国的 ASTM, 英国的 BS, 联邦德国的 DIN, 苏联的 ГОСТ, 日本的 JIS 等国家标准中, 都对玻璃钢材料的机械性能, 介电性能、热性能、耐介质性能及其它物理性能等的测试方法, 制定了严格的标准。为了保证玻璃钢产品的质量, 各国都还制定了国家级、地方级及企业级产品质量标准。由于各国的实际情况不同, 因此, 所制定的国家标准都或多或少的有些差异。

随着玻璃钢产品应用范围的不断开拓, 用户对质量要求越来越高, 性能参数也越来越多, 为了适应这个发展趋势, 目前世界各国在性能测试和产品检验方面, 都在进行如下工作: (1) 进一步开展对玻璃钢及复合材料基本性能测试方法的研究和改进, 要求更准确、更精细地反映玻璃钢本身结构的客观规律。例如美国国家标准局, 材料年会等每年都花大量的人力和物力研究测试方法, 所以 ASTM 标准每隔几年就要修改一次。我国纤维增强塑料标准委员会每年都要召开一次全体委员会, 审议和修改新旧国家标准, 使之不断完善; (2) 不断扩大对性能测试项目的研究, 对不同条件下玻璃钢及复合材料性能变化的研究; (3) 开展玻璃钢及复合材料微观结构的研究, 如研究复合机理、界面结构、动态行为等。

四、玻璃钢性能测试及产品检验内容概述

与传统材料相比, 玻璃钢材料的特点很多, 如: (1) 材料本身构造的不均匀性和各向异性; (2) 环境条件对材料性能影响很大, 尤其是对温度、湿度及使用时间等更为敏感; (3) 试样的代表性和试验数据的离散性。由于玻璃钢本身的各向异性, 要求在取样和数据处理时, 必需充分考虑到这些特点。

第二章 试验结果分析及数据处理

玻璃钢性能及产品试验，一般都包括以下几个内容：1. 试验内容及方法制定；2. 抽样；3. 试验记录及有效数字的确定；4. 数据分析处理；5. 撰写试验报告等。本章主要介绍第2、3、4项内容。

第一节 抽样及有效数字

一、抽 样

材料性能测试和产品检验，常常是从一大批材料或产品中抽取少部分作为试样，然后再通过试验检测，推断出整批产品的性能和质量。怎样使抽取的试样能准确地反映出这批材料或产品的总体情况，确实是一个非常重要的问题。因此，只有采取正确的抽样方法，才能使抽取的试样组成能代表全部产品的样品，对该批产品做出正确的推断。所谓正确的抽样方法，就是要使每个产品都有被抽作样品的相同机会。例如，对一批玻璃钢管进行质量检验，需要从这一大批玻璃钢管中，抽取少量管进行耐压试验。如果抽样方法不正确，只简单的从堆垛上面取样，则堆放在下面的玻璃钢管就没有机会被抽取，这样的检验结果，就不可能代表全部产品的质量，为了克服这些人为的有意识的偏差，建议按下列三种抽样方法的任意一种进行取样。

(一) 纯随机抽样

纯随机抽样法是先将产品编号，并制作一套与产品编号相对应的码签，然后将码签充分混合均匀，从中任意抽取部分码签，组成试样码签，再从产品堆中取出与码签相对应的产品，组成产品检验样本。当产品数量过于庞大时，此方法不适用。

（二）机械抽样

此法是按预先制定的规则，抽取一定数量的产品组成样本。其具体方法是先将被检验的产品编号，然后每间隔一定数目抽取一个样品，并将被抽出的样品组成样本。此法适用于数量较大的产品，但在产品编号时，要注意将产品充分混合。

（三）整群抽样

当产品数量很多时，可以采用群体取样。整群抽样方法是以一群产品作一组，然后用纯随机取样或机械取样的方法抽出若干组产品组成样本，或者用纯随机抽样或机械抽样方法抽取这些组中的部分产品组成样本。例如对玻璃钢管进行抗渗透试验时，可以从每班生产的产品中抽出 3 根作为一组，再把 1 个月中抽取的 90 根玻璃钢管按纯随机取样方法抽出 5 至 10 根管组成样本，然后再对这个样本进行试验。

二、有效数字的确定

记录测量数值时，应当不多不少地记下能够确定读得的全部数字，这些表示测试值的确定大小的数字称为有效数字。有效数字不仅能够反映测量的结果，而且还能反映测量所进行到的精密程度。为了计算方便，用有效数字记录测量结果时，应写成标准形式，即保留一位整数，其余的记成小数，再乘以 10 的适当次幂，例如 0.24 毫米，可记成 2.4×10^{-1} 毫米，

31400 毫米,可记成 3.14×10^4 毫米。

在数据处理中,需要对不同精度的测试值进运算,如果能按下列规则进行,即能获得节省时间,避免错误的效果。

1. 记录测试结果时,保留一位可疑数字,
2. 一般可疑数字只允许有 ± 1 个单位的误差,特殊情况除外。

3. 有效数字位数确定以后,其余数字一律舍去。舍弃办法采用四舍五入,如果末位数恰好是 5,看最后第二位数字,是奇数者进 1,是偶数者弃去不计,如将 29.045 与 24.055,采用四舍五入取四位有效数字时,分别可记录为 29.04 和 24.06。

4. 运算过程中,当第一位数字大于或等于 8 时,有效数字可多记一位,例如 8.36,可看作四位有效数字参加运算。

5. 加减运算时,各数字保留的小数点后面的位数,应与所给各数中小数点后面位数最少的相同。例如 18.07, 0.0074, 2.382 三个数相加时,因为 18.07 数后面的小数只有两位,所以其余两数应改写成 0.01 和 2.38,然后相加,即:

$$18.07 + 0.01 + 2.38 = 20.46$$

6. 乘除运算时,各数值保留的位数,以百分误差最大或有效数字位数最少者为准,所得积或商的精确度,不应大于精度最小的那个数值。例如运算 $0.0321 \times 24.57 \times 1.38421$ 时,其中 0.0321 的有效数字位数最少,所以其余两数应改写成 24.6 和 1.38 与之相乘,即:

$$0.0321 \times 24.6 \times 1.38 = 1.09$$

7. 应用对数进行乘除运算时,保留各数值的对数尾位中的位数,与 6 中乘除规则相同。

例如上例中的乘法用对数运算时,即:

$$10\lg 0.0321 = -1.494$$

$$10\lg 24.57 = 1.390$$

$$\frac{10\lg 1.38421 = 0.141}{10\lg 1.09 = 0.037}$$

8. 计算平均值时, 若为四个数或超过四个数相平均, 则平均值的有效数字位数可增加一位。

9. 表示准确度的标准差(或其他误差), 在大多数情况下, 只取两位有效数字, 甚至只取一位有效数字。

第二节 误差理论简介

一、什么叫误差

玻璃钢材料的各种工艺参数和物化性能, 绝大多数最终可以通过试验定量地反映出来。但由于测试仪器、测试方法、环境条件、实验者的试验水平及材料本身的不均匀性等, 都不可能做到完美无缺, 所以虽然测试条件相同, 各次或各人测试的数值之间, 总是会有不同程度的偏离, 不能完全反映测试量的真值。这种测试结果与真值的偏差就称为误差。

二、测试的种类

一般试验中的测试分类方法有三种:

1. 按测试量与未知量之间的关系, 测试可分为直接测试和间接测试。所谓间接测试, 就是所测的未知量是直测量的函数, 未知量必须通过计算才能得到。例如测试玻璃钢的拉伸破坏强度 σ 时, 必须先测试出试样的有效工作截面积 S 和相应的破坏荷载 P , 然后通过公式 $\sigma = P/S$ 求出破坏时的拉伸

强度。所谓直接测试，就是未知量可以通过测试直接确定下来。例如用米尺或卡尺测量试件的尺寸，所得读数，就是要求的未知量。

2. 按测试量相互间的关系，测试又可分为独立测试和条件测试。所谓独立测试就是不受任何理论条件约束的测试。例如测试树脂浇注的马丁耐热温度时，测试不受任何理论条件的约束和限制，各次测试值，就是试验所要求的值。所谓条件测试，就是指测试值之间必须严格地满足理论条件关系的测试。例如测试预浸渍玻璃布的胶含量、可溶性树脂含量、不溶性树脂含量时，三者必须满足下式关系：

$$\text{胶含量} = \text{可溶性树脂} + \text{不溶性树脂}$$

此关系式就叫做条件方程式或条件式。它可以判断测试结果的正确与否，或对测试值进行修正。

3. 按测试时所处的条件分类，测试可分为等精度测试或非等精度测试。所谓等精度测试就是指测试条件、仪器精度等完全相同的测试；非等精度测试，则是指测试条件、仪器精度不完全相同的测试。

玻璃钢的测试，大量是等精度的独立间接测试，在有些试验中（如力学测试），由于玻璃钢某些性能的离散性很大，所以对试样尺寸，仪器精度等只作适当考虑，同时对这些因素在测试结果中所带来的误差也很少考虑，这样就把等精度间接独立测试简化成等精度直接独立测试。我们下面讲的误差理论就是针对等精度的独立直接测试。

三、误差及分类

在对玻璃钢材料进行性能测试过程中，绝大多数的工艺参数和物化性能都能够定量地在最终结果中反映出来。但同

时也应该注意到，这些最终结果中，都或多或少的含有误差，产生误差的原因很多，如设备、环境条件、实验人员技术水平及材料本身的不均匀性等，因此，虽然测试的条件相同，各次或各人测试的数值，彼此之间总会有不同程度的偏离，不能完全反映试验的真值。

试验测量某物理量时，所得到的数值往往与被测现象的真值有一定的偏差，这些偏差叫做误差。通常把大于真实值的偏差叫做正误差，小于真实值的偏差叫做负误差。误差可以通过各种方法使之减少，但不可能消除。误差根据其产生原因及性质，分为系统误差，偶然误差和过失误差三类。

（一）系统误差

系统误差是由固定的原因造成，在相同条件下进行重复测试时，它永远朝向一个方向偏离，其数值大小及符号在同一试验中有时完全相同，或者遵循一定的变化规律，故亦称为恒定误差。系统误差通常是由测试仪器不准确，测试方法本身不完善，外界条件变化或实验人员习惯所造成。由于这种误差有一定的规律性，因此，可以采用观测方法或计算方法加以消除或使其影响减少到最小。系统误差消除得越彻底，测试值就越接近真实值。具体的分析和消除方法，由实验人员自己决定。如仪器带来的误差，可以使用高精度的同类仪器进行标定等。

（二）偶然误差

在相同的试验条件下，但测试结果不同，其误差的符号、大小都不一致，无任何规律性，它的出现完全是偶然的，带有随机性，故称为偶然误差。偶然误差产生的原因是多方面的。例如仪器的变化，环境条件的波动，试验人员感觉波动，试样本身的波动等。由于偶然误差引起每次读数无规则地摆

动，又无法控制和消除，使得真实值的大小无法确知，同时对偶然误差本身的大小也无从知道。因此，通过大量的实践，人们发现在等精度测量中，对相同试件的性能做大量重复试验时，所得到的偶然误差完全服从统计规律。这一发现告诉我们，偶然误差虽然不能消除，但可以按概率论的法则，给以合理的处理，寻找一个比较合理的数值作为真实性，并估计出各次读数的离散程度，对真实值作出正确、合理的估价。

（三）过失误差

过失误差是一种明显的与事实不符的误差。这种误差的产生，完全是由测试者主观错误所造成。例如读数读错，记录搞错，单位记错，仪器未调准等。这种误差出现的机会虽然很少，但却应引起人们的注意，其消除办法是提高试验者的技术水平，严防粗心大意，实验做完后，要认真检查记录，及时纠正错误。

试验过程中，在一组测试值内，系统误差和偶然误差往往同时存在，但哪一种误差是主要矛盾，必需分辨清楚。一般情况下，如果测试值的误差大小，符号变化有一定规律，则这组试验的测试值中误差，主要是系统误差，应按系统误差产生的原因进行分析和消除，消除到与偶然误差相比可以忽略不计的程度。如果测试值的大小、符号无任何规律性，则这组试验测试值所包含的误差主要是偶然误差，应按概率论的方法进行数据处理。

第三节 数据处理

由于误差的存在，特别是偶然误差的存在，玻璃钢材料性能的真实值很难测得，因此在数据处理中，只能寻找一个比较合理的最优值来表示。

一、算术平均值与最优值关系

(一) 算术平均值

算术平均值的定义为：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2-1)$$

式中 $\bar{x}$ ——算术平均值；

x_i ——各次测试值；

n ——测试次数。

假定在相同条件下，对所试制玻璃钢材料的强度进行了几次试验，其结果分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ ，同时认为在这些测试结果中无系统误差和过失误差，假设该材料的强度真实值为 X 用公式表示为：

$$\begin{aligned} X - \sigma_1 &= \Delta_1 \\ X - \sigma_2 &= \Delta_2 \\ X - \sigma_3 &= \Delta_3 \\ X - \sigma_n &= \Delta_n \end{aligned} \quad (2-2)$$

等式相加，则得式

$$nX - (\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n) = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$$

即 $nX - \sum_{i=1}^n \sigma_i = \sum_{i=1}^n \Delta_i$ 整理得

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$$

令

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}; \quad \delta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$$

则得

$$X = \bar{x} + \delta \quad (2-3)$$

式中 X ——真实值;

$\bar{x}$ ——算术平均值;

δ ——测试误差的算术平均值。

根据偶然误差的抵偿性, 当 $\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$ 值很小或接近于零

时, 或者测试次数无限多时, $\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}$ 近似的等于 X , 这就是说 $\bar{x}$ 趋近于真实值, 此时的算术平均值 $\bar{x} \approx X$, 称之为最优值。即

$X = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}$ ——等精度算术平均值公式, 在现行的国家标准 GB 1446—83 试验方法总则中, 规定对测试结果的计算就是按此公式进行的, 并确定取三位有效数字。

例 1 测透明玻璃钢的透光率, 共有 9 个试件, 测得每个试件的透光率值如下, 计算其试验结果。

$$\tau_1 = 88.7\% \quad \tau_2 = 89.2\% \quad \tau_3 = 88.6\%$$

$$\tau_4 = 87.9\% \quad \tau_5 = 88.8\% \quad \tau_6 = 88.7\%$$

$$\tau_7 = 89.1\% \quad \tau_8 = 88.8\% \quad \tau_9 = 89.0\%$$

1) 计算测试值的算术平均值