

# 复合材料力学性能的试验评价方法及其标准化动向

王瑞 杨连贺 王建坤

(天津纺织工学院 300160)

**摘要:** 复合材料力学性能的试验评价方法及其标准化是关系到加速复合材料的发展和扩大应用领域的重要课题。本文综述了复合材料力学性能的试验评价方法及其标准化的现状,分析了现行试验方法及标准中存在的问题和国际研究动向,提出了我国今后对复合材料试验方法及标准化研究和开发方向的建议。

**关键词:** 复合材料 力学特性 试验方法 标准化

## 1 前言

树脂基复合材料作为一种新型材料,以其轻量、耐腐蚀及良好的力学性能等而倍受青睐。由于其优良的特性,复合材料的研究和应用得到了广泛的关注,目前已被广泛应用于航空航天、电子、超导、汽车及建筑等领域。为了进一步扩大复合材料的应用领域,作为材料性能和安全可靠性保证的手段,试验技术和评价方法的研究是必不可少的。

复合材料力学性能的试验与评价在复合材料的开发与应用中发挥着极其重要的作用,尤其是在材料设计中。试验与评价在优化加工工艺、分析组分材料性能对复合材料整体性能的影响及降低材料成本等方面均具有十分重要的意义。高性能复合材料的设计与加工,需要充分把握复合材料的力学性能,从而明确开发目标与既存材料的差别,以确立高性能复合材料的开发方针。同时,为了根据使用条件和环境合理准确地设计复合材料,需要可靠和真实的复合材料力学性能数据、设计数据,来源于可靠的测试评价方法,因而复合材料力学性能的测试与评价方法的确立是正确设计复合材料,确保力学性能和使用质量、扩大应用范围的重要研究课题。在制定复合材料的试验方法与标准时,特别需要考虑的是与国际标准的接轨,以促进复合材料产品的市场发展,将我国的标准化运作同国际组织的标准化研究逐步衔接起来,使测试标准更加规范,消除贸易上的技术障碍,有效地促进信息交流和共享。实验方法的标准化也是复合材料发展和应用中必须解决的问题,具有重要的经济效益和社会效益。

## 2 试验、评价方法与标准化现状

### 2.1 特性评价的物理意义

与通常的金属材料及其它结构材料相比,复合材料具有无延伸性和异向性显著的特点,因此与通常的金属材料不同,存在三个问题:(1)在夹持部无因塑性变形而引起的缓和应力集中作用;(2)在测试部难以获得均匀的应力分布;(3)在应力传递部容易引起破坏等问题。目前,复合材料的力学特性试验与评价方法作为既定标准已不鲜见,但多数都存在上述问题。其中有些已历经修改而成为具有较高水平的“标准”,但同样存在不尽人意之处。理想的情况下,力学特性试验法应该是评价材料某一物理特性值的,但许多情况下都由于应力集中等影响而只能获得表现值,得不到材料的真实数据,因此在应用这些试验方法和标准时,必须充分理解和认识它们的物理意义。

### 2.2 评价方法存在的问题

关于复合材料力学性能的评价,迄今已有许多实验方法,其中有些方法比较简单,而且已经制定了标准。有些实验方法涉及复合材料固有的复杂性,尚不够

成熟，有待进一步研究。与普通的金属材料等相比，复合材料具有可设计、多功能和高性能的特点，与普通材料有质的区别，但也有难以克服的特点。与传统的金属材料相比，复合材料延伸性小，各向异性显著，内部结构复杂。这些特点使试验材料产生理想的破坏方式极其困难。目前国际上借用金属材料的测试评价方法较多，在实际使用中存在的问题也较多，许多方法是在没有更好方法的情况下而采取的权宜之计。试样的破坏方式往往与所期望的破坏方式相差较大，复合材料的力学性能无法准确反映，只能用于同一材料的比较和生产控制，而不能作为获得材料设计数据的方法与手段。对于传统的金属材料，其实验方法的不完善部分往往会被材料本身的延伸性所抵消与克服，而复合材料实验方法的缺陷和问题会直接影响测试结果，许多情况下由于应力集中等影响而只能获得材料的表观测试值，特别是试验结果常常依赖于试样形状与尺寸，存在所谓的“尺寸效应”，得不到材料的客观真实物性值。用作设计数据常常会产生错误，影响使用寿命和浪费资源，甚至危及安全。因此，研究和开发科学可靠的复合材料力学性能测试与评价方法是复合材料发展中急待解决的课题。随着复合材料科学的发展，试验与评价方法也应不断更新。

### 2.3 国内外研究与应用情况

复合材料的试验方法与标准化，与普通材料的情况不同。它是在标准化对象材料的加工技术、试验方法的使用效果尚未经过长时间的社会性实践和积累阶段而进行的。若将普通材料的标准化称为滞后型，则复合材料的标准化可称为超前型。超前型的标准化制定，更需要对其进行认真研究。国际上以美国ASTM标准及日本JIS标准为基础建立起一套测试评价复合材料各种力学性能的方法和标准，并根据实际使用情况和存在问题组织国际合作研究机构进行了数年多个阶段的研究。对现行的复合材料试验方法的适用范围、测试方法、测试夹具及试样形状及尺寸等进行了反复修改与补充，以达到获得各种测试目标下材料的真实数据和易于实施的目的，同时也为复合材料力学性能评价技术的国际化奠定了基础。此外，欧洲一些国家于1992年、1994年在德国召开了两届欧洲复合材料会议，专门讨论了扩大复合材料应用领域所必不可少的试验方法与标准化，从评价方法的基础研究到试验标准的推广应用等进行了广泛的研究和讨论，并对复合材料的市场规模和试验方法标准化的国际性协作提出了规划和建议。以美、日、英、法等为首的复合材料发达国家于1984年开始对材料的试验与评价进行了国际合作研究，制定了该组织的协作计划VAMAS，并于1987年起对复合材料试验方法存在的问题及改进展开了巡回合作研究。除常温下的试验方法外，对特殊环境下使用的复合材料的试验方法，如超低温下的试验与评价方法进行大量的研究，加快了复合材料向超导领域的应用。

在我国，由国家建材局及中国船舶工业总公司提出的、由全国纤维增强塑料标准化技术委员会归口的复合材料主要试验方法的国家标准已有许多。但多数也是80年代初借用金属材料的试验方法或参照国外同类方法制定的标准，许多试验方法有待于进一步改进。目前我国，低档次的产品较多，产品的力学性能不高。一些企业不注重产品性能的合理、经济设计和质量控制，导致产品使用寿命短和材料资源的浪费。我国加入世界贸易组织（WTO）后，将获得稳定的国际贸易环境，作为WTO成员国可享受低关税，避免贸易歧视。这对商品出口较为有利。试验方法的优化与标准化的推行将为我国复合材料企业积极参与国际竞争作好准备，为提高产品质量及增强国际竞争能力提供保证。

### 3 试验方法标准化动向

### 3. 1 评价项目的多样性

树脂基复合材料的力学性能通常包括拉伸、压缩、弯曲、剪切、冲击、硬度、疲劳、耐磨、断裂韧性等。但由于材料的各向异性，强度与弹性系数等测定项目非常之多，为此必须进行多种试验。特别是破坏强度，对于各向同性材料，如果进行应力变换，多数情况基本上都可以用单一的破坏形态来描述。而对于复合材料，材料特性、载荷方式（拉伸、压缩、剪切等）、增强材料方向与主应力方向间关系等的组合使得破坏形态多种多样，必须对每一种破坏形态进行试验。然而，对于所评价的强度特性值是否为所期望的破坏形态之表现，例如拉伸试验时是否产生试样根部破坏，弯曲试验时是否有剪切破坏，层间剪切试验时是否有搭桥纤维的断裂等，如果不进行细致的分析和确认，就有可能得出错误的判断和结论。

### 3. 2 材料种类的多样性

复合材料集多学科知识为一体，是原材料通过特定的组合方式所构成的结构物和材料的统一。增强材料、树脂基体及其组合方式种类较多，灵活多变，就增强形态来讲，目前有粒子增强、纤维增强及分子间复合型等。纤维增强型中还有短纤维、长纤维，一维、二维及三维增强方式等，而且由于其可设计性，各种新材料不断出现。因此，评价材料同一特性的试验方法也有多种，但究竟哪种方法更合理、更可靠有待于进一步研究。复合材料还是一种正在不断开发的新型的材料。随着新材料逐步向高科技领域扩展，对试验与评价方法的可靠性要求将越来越高。

### 3. 3 试验方法的国际化

树脂基复合材料的力学性能数据的取得有赖于标准试验方法的建立，因为试验方法、试验条件，诸如试样的制备、形状、尺寸，试验的温度、湿度、速度，试验机的规格种类等，直接影响测试结果的可比性和重复性。尤其是试样的形状与尺寸对测试结果影响较大，试验结果常常显示出试样的尺寸效应。目前国内外各公司及厂家提供的复合材料力学性能数据与材料物性值基本上均是根据各国现行试验标准和方法进行测定的。对试样的制作方法、测试条件等，特别是试样尺寸，多数试验方法都没有明确地规定，只是给出一个范围。部分试验标准由于实施困难，各公司与企业常按照自己开发的试验方法和标准进行材料特性评价与认定等。因此，即使对相同的材料测试相同的项目，其测试结果也存在着较大的差异。毋庸置疑，材料的物性使客观上应该是唯一的，但究竟何者更加合理、真实。如前所述，在试验标准规定的尺寸范围内，所选择试样的尺寸不同，测试结果就不同。所以研究科学、合理的试验方法，制定国际标准，实现国际统一的试验方法和试样尺寸，对获得共同认可的材料真实数据和材料性能是非常重要的。VAMAS曾提议，为了获得材料的真实数据，对于某些只能得到表观值的试验方法，可以采用实验与有限元解析并用的方法来评价材料的真实物性值。以此设计的材料经实践检验是安全可靠和经济合理的。也可通过有限元解析来获得最佳试样形状与尺寸，从而减小试样形状与尺寸带来的影响，使测试结果更加真实。但实验与有限元解析并用的方法作为标准来实施较为困难。

国际上，如美国ASTM，日本JIS和欧洲EN标准均已规定了许多复合材料的试验方法，而且在不断改进和修订。但近几年来，以欧洲为主的ISO的作用及影响越来越大，并逐渐显示出其重要性。目前，ISO正在对许多先进复合材料的试验方法加紧进行审议和标准化工作，对各国的标准进行比较的基础上制定新的国际标准。ASTM和JIS在制定新标准时也向ISO推荐，有向ISO逐渐靠近和统一趋势。为此，我国也应该研究和制定与国际接轨的试验方法和标准，积极参与国际竞争。

#### 4 数据库的建立与动向

在研究试验方法的同时,建立数据库对于扩大和普及复合材料的应用是非常重要的。研究和把握影响试验数据的试验方法及其标准化动向,对创建科学可靠的复合材料数据库更加重要。目前国际上也尚未建成全面可靠的数据库。数据库的制作与更新将为机械结构物的设计者提供立即可用的有效数据,对于扩大复合材料的应用领域和提高其使用的可靠性是很重要的。尚未建成全面可靠的数据库的原因主要在于:(1)复合材料具有可设计性且设计自由度很大,所需数据量非常庞大;(2)考虑材料的异向性与数据的离散性进行设计时,需要非常复杂的数据处理系统;(3)由于复合材料处于开发阶段,数据需要不断更新;(4)现行的试验标准难以获得材料的真实数据。为了扩大复合材料在一般产业中的应用,还需要最基本的组分材料物性值、复合结构与形态及常规的力学性能数据库。板材,有孔板、连接部件等的数据也须去研究和建立。否则无法对各类结构材料进行精确可靠和经济合理的设计。

#### 5 结束语

复合材料是一种可设计、多功能、高性能的新型材料。对于这样的新材料的试验与评价方法,目前世界各国均处于制定试验标准的基础研究和实施论证阶段。可以直接引用和借鉴的成熟试验标准较少。因此我国也必须重新认识复合材料试验方法标准化的重要性,有必要对现行试验标准进行认真研究和改进,积极参加标准化研究的国际性协作活动,加紧和加快建立更科学、更可靠的试验标准,并与国际性标准接轨。今后应密切注视国际上复合材料力学性能评价的试验方法及动向,加快我国复合材料的推广和普及,实现试验评价方法的标准化和材料的标准化,增强参与国际性竞争的能力。特别是当复合材料用于各类机械结构物时,为了选择材料和确定材料的设计容许值,可靠的力学特性试验法及真实的数据是至关重要的。一项试验标准的制定需要长时间的努力,建议政府有关部门重视和加紧对可获取真实可靠材料性能数据的试验方法进行研究,并组织力量探讨和建立全面实用的复合材料数据库。