



中国复合材料学会 组织编写

复合材料工程技术指导丛书

先进复合材料力学性能 测试标准图解

白光辉 主编 张沫 郭悦 副主编



化学工业出版社



中国复合材料学会 组织编写

104

复合材料工程技术指导丛书

先进复合材料力学性能 测试标准图解

白光辉 主编 张沫 郭悦 副主编



化学工业出版社

·北京·

TB33
104

本书在标准化试验方法的基础之上进行了细化,采用大量实际试验过程中的图像资料,阐述了依据标准试验方法评价材料力学性能过程中的被测试样、仪器设备、环境条件和操作步骤。本书各试验方法均具有一定的独立性,应用过程中可以根据实际情况有针对性地进行选择。本书图文并茂,浅显易懂,实用性强。

本书既适合初学者作为速成教材,也适用于测试实验室操作人员作为作业指导书使用。

图书在版编目(CIP)数据



先进复合材料力学性能测试标准图解/白光辉主编;中国复合材料学会组织编写. —北京:化学工业出版社,2015.7

(复合材料工程投学指导丛书)

ISBN 978-7-122-24045-9

I. ①先… II. ①白…②中… III. ①复合材料力学-性能分析-图解
IV. ①TB33-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第106287号

责任编辑:赵卫娟
责任校对:王素芹

文字编辑:冯国庆
装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京瑞禾彩色印刷有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张15³/₄ 字数267千字 2015年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2015—21号



®

济南中路昌试验机制造有限公司

中路昌

免费热线：400-658-8310

- ◆ 中国力值硬度计量技术委员会试验机工作组委员单位；
- ◆ JJG1063-2010《电液伺服万能试验机检定规程》参加起草单位；
- ◆ JJF1296.1-2011《电子式万能试验机型式评价大纲》参加起草单位；
- ◆ JJF1296.3-2011《液压式万能试验机型式评价大纲》参加起草单位；
- ◆ JJG139-2014《拉力、压力和液压万能试验机检定规程》参加起草单位；
- ◆ 钢绞线拉伸试验用夹具获国家实用新型专利；
- ◆ 万能试验机伺服泵技术获国家实用新型专利。
- ◆ 我们郑重承诺：产品三包期两年，购买我公司产品三个月内可无理由换货、退货。
- ◆ 售后服务工作是我们赢得客户尊重的最后一道防线，任何部门及任何个人不得以任何理由服务不及时、不到位。



钢绞线专用试验机



电液伺服万能试验机



松弛试验机



压力试验机

地址：济南市黄岗路1993-5

电话：0531-85608615

网址：www.jnzlc.com.cn

售后：0531-87184218

丛书编委会名单

主 编：朱建勋

副主编：陈绍杰 黄发荣 李 炜 武高辉 肖加余
张博明

编 委：（按拼音排序）

陈绍杰 龚 龔 郭早阳 黄发荣 蒋 云
李 炜 李 岩 李云涛 刘 玲 王荣国
吴申庆 武高辉 肖加余 徐吉峰 姚学锋
叶金蕊 张博明 朱建勋

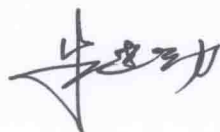
序

材料工业是国民经济的基础产业，新材料是材料工业发展的先导。在《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》（国发〔2012〕28号）中将新材料列入七大战略性新兴产业。在高性能复合材料产业方面明确提出以树脂基复合材料和碳-碳复合材料为重点。在新材料产业创新能力建设方面，要求在重点领域建设一批新材料技术创新、产品开发、分析检测、推广应用和信息咨询的公共服务平台。

据统计，2014年中国的碳纤维需求量10600t，达到全球总需求量的19.8%，而目前国内理论年产能达到1000t的企业仅有4家；当前国内开设复合材料与工程专业的高等院校仅有25所，年毕业生不足800人。专业技术人才的培养远远不能满足行业的快速发展，现有的复合材料科学研究和科技成果难以得到大范围的普及推广。如何全面提升复合材料从业人员的专业技术水平，提升企业产能和产品品质，提升产业竞争力，成为我国复合材料产业实现跨越式发展亟待解决的关键问题。

在此背景下，中国复合材料学会组织编写的《复合材料工程技术指导丛书》坚持图文并茂的写作方式，力求使操作人员最直观、快速了解相关操作流程。随着中国复合材料学会学会工程技术继续教育系列培训活动的不断发展，丛书将涵盖复合材料力学性能测试标准、复合材料成型工艺、复合材料结构设计、复合材料成型模具加工、复合材料选材、复合材料分析检测等复合材料工程技术各个方面，建成适合全行业从业人员的系统性指导手册体系。

在国家“十三五”规划即将开始之际，衷心希望复合材料行业的从业人员能够借助中国复合材料学会这个交流合作平台，实现自身能力提升，寻得更多合作机会，全面提高产品品质，保障我国先进复合材料产业持续健康快速发展。



2015年5月

前 言

复合材料是一种高比强度、高比模量、耐腐蚀、抗疲劳的新型材料，近年来其应用从最早的航空航天领域已经逐渐拓展到国民经济各个行业，发挥的作用也越来越重要。对复合材料力学性能的科学评价是其获得应用的基本前提，然而新兴材料力学性能测试方法与传统金属材料有着显著的区别。为了普及复合材料力学性能测试技术，作者受中国复合材料学会委托编写了本书，作为复合材料性能测试从业人员的培训教材。

本书以先进树脂基复合材料力学性能测试技术为主要对象，参照美国材料实验协会（American Society of Testing Materials, ASTM）相关复合材料力学性能测试标准，概述了先进树脂基复合材料及其力学性能测试技术，介绍了纤维束力学性能、复合材料层板基本力学性能、复合材料层板开孔和连接结构力学性能、复合材料层板抗损伤和抗疲劳性能等，以及最为常见的标准测试操作方法。本书最后两章还给出了夹层板这种特殊复合材料结构典型力学性能的测试方法。在附录中，本书针对国内外复合材料力学试验夹具技术发展及其专利情况进行了论述，供读者参考。

本书采用图文并茂的方式，在标准化试验方法的基础之上进行了细化，采用了大量实际试验过程中的图像资料，阐述了依据标准试验方法评价材料力学性能过程中的被测试样、仪器设备、环境条件和操作步骤，浅显易懂，既适合初学者作为速成教材，也适用于试验室操作人员作为作业指导书使用。本书各试验方法均具有一定的独立性，应用过程中可以根据实际情况有针对性地进行选择。

本书由白光辉任主编，张沫、郭悦任副主编，其中第1~15章由白光辉编写，附录一至三由张沫、郭悦编写，参与本书编写的还有蒙邦克、甘民可、黎增山、祁国成等。

由于国内外尚无同类教材可供参考，限于作者水平，书中不妥之处，恳请专家和读者多加批评指正，以便我们进行修改、补充和不断完善。

特别感谢：北京博简复才技术咨询有限公司力学试验室利用其齐全的设备、技术和技术人员对本书编制过程的大力支持。

编者

2015年6月

WDW-10H/20H/30H/50H/100H/200H/300H 型

0.5 级 / 1 级微机控制电子万能试验机

- ◆ 全国力值硬度计量技术委员会 试验机工作组成员单位;
- ◆ 国家计量检定规程——JJG1063-2010《电液伺服万能试验机检定规程》参加起草单位;
- ◆ 国家计量技术规范——JJF1296.1-2011《电子式万能试验机型式评价大纲》参加起草单位;
- ◆ 国家计量技术规范——JJF1296.3-2011《液压式万能试验机型式评价大纲》参加起草单位;
- ◆ 国家计量检定规程——JJG139-2014《拉力、压力和液压万能试验机检定规程》参加起草单位;
- ◆ 服务保障: 产品三包期两年, 行业唯一; 购买我公司产品三个月内可无理由换货、退货, 行业唯一;
- ◆ 加配附具及应变仪, 可完成复合材料的拉伸、压缩、弯曲、剪切等力学性能试验。



目 录

第1章

先进树脂基复合材料及其力学性能测试

1.1 先进树脂基复合材料	1
1.2 增强纤维	2
1.3 基体树脂	4
1.4 预浸料	5
1.5 层合板	7
1.6 积木式材料性能评价试验组织方法	8
1.7 标准化力学试验方法	9

第2章

碳纤维丝束的拉伸强刚度特性试验测试方法

2.1 概述	12
2.1.1 试验方法简述	12
2.1.2 试验方法的意义和用途	13
2.1.3 适用范围	13

2.1.4	执行标准	13
2.1.5	标准发展过程及类同试验标准	13
2.1.6	标准要点	14
2.2	仪器设备	15
2.2.1	自动化树脂浸胶装置	15
2.2.2	引伸计	19
2.2.3	力学试验机	20
2.3	试验前的准备	20
2.3.1	浸胶前后纤维束单位长度质量、纤维束密度	20
2.3.2	拉伸试样加强片粘贴	20
2.3.2	取样数量	22
2.3.3	试验环境控制	22
2.3.4	试样标号	23
2.4	试验过程	23
2.5	数据处理与报告	26
2.5.1	单位长度质量	26
2.5.2	密度	26
2.5.3	拉伸试验	27

第3章

树脂基复合材料拉伸强度特性及泊松比试验测试方法

3.1	概述	28
3.1.1	试验方法简述	28
3.1.2	试验方法的意义和用途	28
3.1.3	适用范围	28
3.1.4	执行标准	29
3.1.5	标准发展过程及类同试验标准	29
3.1.6	标准要点	29
3.2	仪器设备	30
3.2.1	游标卡尺	30
3.2.2	应变片	31

3.2.3	引伸计	31
3.2.4	力学试验机	31
3.3	试验前准备	32
3.3.1	试样和加强片几何形状	32
3.3.2	试验环境控制	32
3.3.3	试样尺寸测量	34
3.4	试验过程	35
3.5	数据处理与报告	38
3.5.1	拉伸应力和强度	38
3.5.2	拉伸模量	38
3.5.3	拉伸泊松比	39
3.5.4	数据统计	40

第4章

采用联合加载方法评价树脂基复合材料压缩强度特性

4.1	概述	41
4.1.1	试验方法简述	41
4.1.2	试验方法的意义和用途	41
4.1.3	适用范围	42
4.1.4	执行标准	42
4.1.5	标准发展过程及类同试验标准	42
4.1.6	标准要点	43
4.2	仪器设备	43
4.2.1	游标卡尺	43
4.2.2	应变片	43
4.2.3	引伸计	44
4.2.4	力学试验机	44
4.3	试验前准备	44
4.3.1	试样几何形状	44
4.3.2	取样数量	44
4.3.3	试验环境控制	44

4.3.4	试样尺寸测量	45
4.3.5	试样装夹	46
4.4	试验过程	51
4.5	数据处理与报告	54
4.5.1	压缩应力和强度	54
4.5.2	压缩模量	54
4.5.3	压缩泊松比	55
4.5.4	数据统计	56

第5章

树脂基复合材料弯曲性能的试验评价

5.1	概述	57
5.1.1	试验方法简述	57
5.1.2	试验方法的意义和用途	57
5.1.3	适用范围	58
5.1.4	执行标准	58
5.1.5	标准发展过程及类同试验标准	58
5.1.6	标准要点	58
5.2	仪器设备	59
5.2.1	游标卡尺	59
5.2.2	挠度计	59
5.2.3	力学试验机	59
5.3	试验前准备	60
5.3.1	试样几何形状	60
5.3.2	取样数量	60
5.3.3	试验环境控制	60
5.3.4	试样编号与尺寸测量	61
5.4	试验过程	61
5.5	数据处理与报告	65
5.5.1	最大弯曲应力	65
5.5.2	弯曲强度	65

5.5.3	最大应变	65
5.5.4	弯曲模量	66
5.5.5	数据统计	66

第6章

树脂基复合材料的短梁强度测试方法

6.1	概述	68
6.1.1	试验方法简述	68
6.1.2	试验方法的意义和用途	68
6.1.3	适用范围	69
6.1.4	执行标准	69
6.1.5	标准发展过程及类同试验标准	69
6.1.6	标准要点	69
6.2	仪器设备	69
6.2.1	游标卡尺	69
6.2.2	力学试验机	70
6.3	试验前准备	70
6.3.1	试样几何形状	71
6.3.2	取样数量	71
6.3.3	试验环境控制	71
6.3.4	试样编号与尺寸测量	72
6.4	试验过程	72
6.5	数据处理与报告	74
6.5.1	短梁强度	74
6.5.2	数据统计	75

第7章

利用 $\pm 45^\circ$ 层压板拉伸试验方法评定树脂基复合材料面内剪切特性

7.1	概述	76
-----	----	----

7.1.1	试验方法简述	76
7.1.2	试验方法的意义和用途	76
7.1.3	适用范围	77
7.1.4	执行标准	77
7.1.5	标准发展过程及类同试验标准	77
7.1.6	标准要点	78
7.2	仪器设备	78
7.2.1	游标卡尺	78
7.2.2	应变片	79
7.2.3	引伸计	79
7.2.4	力学试验机	79
7.3	试验前准备	79
7.3.1	试样几何形状	79
7.3.2	取样	80
7.3.3	试验环境控制	80
7.3.4	试样标号与尺寸测量	81
7.4	试验过程	81
7.5	数据处理与报告	84
7.5.1	最大剪应力/剪应力	84
7.5.2	剪应变/最大剪应变	85
7.5.3	剪切模量	85
7.5.4	偏移剪切强度	86
7.5.5	数据统计	86

第8章

树脂基复合材料层压板开孔拉伸特性的试验评定方法

8.1	概述	88
8.1.1	试验方法简述	88
8.1.2	试验方法的意义和用途	88
8.1.3	适用范围	89

8.1.4	执行标准	89
8.1.5	标准发展过程及类同试验标准	89
8.1.6	标准要点	89
8.2	仪器设备	90
8.2.1	游标卡尺	90
8.2.2	应变片	90
8.2.3	引伸计	90
8.2.4	力学试验机	90
8.3	试验前准备	91
8.3.1	试样几何形状	91
8.3.2	取样	91
8.3.3	试验环境控制	92
8.3.4	试样标号与尺寸测量	92
8.4	试验过程	94
8.5	数据处理与报告	97
8.5.1	拉伸强度	97
8.5.2	数据统计	97

第9章

树脂基复合材料层压板开孔压缩特性的试验评定方法

9.1	概述	99
9.1.1	试验方法简述	99
9.1.2	试验方法的意义和用途	99
9.1.3	适用范围	100
9.1.4	执行标准	100
9.1.5	标准发展过程及类同试验标准	100
9.1.6	标准要点	100
9.2	仪器设备	101
9.2.1	游标卡尺	101
9.2.2	引伸计	101

9.2.3	力学试验机	101
9.3	试验前准备	102
9.3.1	试样几何形状	102
9.3.2	取样数量	102
9.3.3	试验环境控制	103
9.3.4	试样标号与尺寸测量	104
9.3.5	试样装夹	104
9.4	试验过程	107
9.5	数据处理与报告	110
9.5.1	压缩强度	110
9.5.2	数据统计	110

第10章

复合材料层压板螺栓连接单剪挤压特性的试验测定

10.1	概述	112
10.1.1	试验方法简述	112
10.1.2	试验方法的意义和用途	113
10.1.3	适用范围	114
10.1.4	执行标准	114
10.1.5	标准发展过程及类同试验标准	114
10.1.6	标准要点	115
10.2	仪器设备	115
10.2.1	游标卡尺	115
10.2.2	引伸计	116
10.2.3	力学试验机	116
10.3	试验前准备	116
10.3.1	试样几何形状	116
10.3.2	取样数量	118
10.3.3	试验环境控制	118
10.3.4	试样标号与尺寸测量	118

10.3.5 试样装夹	119
10.4 试验过程	120
10.5 数据处理与报告	124
10.5.1 挤压应力/强度	124
10.5.2 挤压应变	124
10.5.3 挤压弦向刚度	124
10.5.4 有效原点的确定	125
10.5.5 极限挤压应变	125
10.5.6 偏移挤压应变	125
10.5.7 初始峰值挤压强度	125
10.5.8 数据统计	125

第11章

复合材料层压板抗冲击损伤能力的落锤冲击试验评定方法

11.1 概述	127
11.1.1 试验方法简述	127
11.1.2 试验方法的意义和用途	127
11.1.3 适用范围	128
11.1.4 执行标准	129
11.1.5 标准发展过程及类同试验标准	129
11.1.6 标准要点	130
11.2 仪器设备	131
11.2.1 游标卡尺	131
11.2.2 深度计	131
11.2.3 支持夹具	131
11.2.4 冲击头	132
11.2.5 导向机构	132
11.2.6 冲击装置	132
11.3 试验前准备	132