

木塑复合材料

Wood-Plastic Composites

〔俄〕 Anatole A. Klyosov ● 著

王伟宏 宋永明 高 华 ● 译



科学出版社
www.sciencep.com

S781
K650

12

木塑复合材料

Wood-Plastic Composites

〔俄〕 Anatole A. Klyosov 著
王伟宏 宋永明 高 华 译

科学出版社
北 京

S781
K650

内 容 简 介

木塑复合材料这种新兴的环保材料产品在世界范围得到越来越多的关注和认同,其生产量和使用量都在逐年快速增加。本书以通俗易懂的语言和简洁明了的方式,系统地介绍了制造木塑复合材料所用原料(木质纤维材料、塑料、填料和偶联剂)的种类、性能及其在产品中的作用;在材料性能方面阐述了弯曲、压缩、拉伸、热膨胀-收缩、线性收缩、防滑性、吸水性状等物理力学性能的主要影响因素和变化规律;对新近引起企业和学术领域关注的热点问题,如燃烧性能、抗微生物降解性能、抗氧化性能以及流变性能等,进行了详细地阐述;在相关部分给出了原料与制品性能检测方法的国外标准,并简要介绍了具体方法。全书以大量的数据和丰富的例证作支撑材料,实用性强,理论分析深入,见解独到。

本书可供从事木塑复合材料生产、应用、产品检验和科学研究等工作的工程技术人员、科研人员和管理者阅读参考,也可供相关专业的大学生和研究生阅读。

Wood-Plastic Composites by Anatole A. Klyosov

Copyright © 2007 by John Wiley & Sons, Inc. (All Rights Reserved. This translation published under license.)

版权所有。译本经授权译自威立出版的英文图书。

图书在版编目(CIP)数据

木塑复合材料/(俄罗斯)克列阿索夫(Klyosov, A. A.)著;王伟宏,宋永明,高华译. —北京:科学出版社,2010

Wood-Plastic Composites

ISBN 978-7-03-026725-2

I. ①木… II. ①克…②王…③宋…④高… III. ①木材:复合材料
IV. ①S781②TB332

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第019580号

责任编辑:周强 周巧龙/责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年2月第一次印刷 印张:34

印数:1—2 000 字数:803 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

木塑复合材料的研究和使用在国外始于 20 世纪 80 年代,随后北美和欧洲的使用量在快速增加,主要用于户外地板(铺板)、景观材料、栏杆扶手以及室内装饰材料,对其研究和应用较为深入和成熟。近几年来,木塑复合材料在我国也逐渐兴起,高等院校和科研单位率先展开研究。目前,国内生产木塑复合材料的企业已有近百家,部分产品已走向国际市场。

东北林业大学木塑复合材料课题组已经开展了近十年的木塑研究,得到国家“863”计划、“948”计划、“国家自然科学基金”以及相关部门和地方政府资金等多渠道的支持,在理论研究、技术开发和推广方面取得了系列成果并积累了一定经验,同时始终密切关注国内外技术发展动态。关于木塑复合材料的科研论文数量巨大,但系统阐述工艺与理论的专著并不多,然而 Klyosov 博士的著作 *Wood-Plastic Composites* 进入了我们的视线,并感到有义务将此书译为中文以方便木塑产业界同行们阅读参考。该书是基于国外成熟的生产工艺、应用实践和可靠的研究结论撰写而成,具有深入浅出、阐述全面、实际应用指导性和理论问题针对性强等特点。

该书既有经数学模型、仪器分析等研究手段得出的数据结论,又有实际生产、安装、使用过程中出现的问题及解决方法。其中对力学性能、老化、生物降解、流变等都有详细阐述,涵盖内容全面丰富,应用面非常广泛。对生产企业的管理和工程技术人员来说,可以了解国外生产技术发展现状和对产品性能的要求,借鉴工艺方法,提高自身生产技术和水平;对科学研究人员来说,可以从中了解材料研究的发展趋势和方向,认识实际存在问题,利用国外已有的研究成果和生产经验,缩短研究进程,开发具有中国特色和国际先进水平的新型材料和加工技术;对于有志于进入该领域的青年学生来说,可以全面系统地了解这一新兴材料行业的概况和工艺技术水平,为将来从业打下良好基础。

本书由东北林业大学生物质复合材料研究室的师生共同翻译完成。第 1、9、12、13、15 章由王伟宏教授翻译,第 3、4、7、8、14、16 章由宋永明博士翻译,第 2、5、6、10、11、17 章由高华博士翻译。全书由王伟宏教授统稿。在本书翻译过程中得到研究生李春桃、李影、龚丽、马丽春等的大力帮助,并得到王清文、杨文彬和许民教授的热心推荐和支持,在此表示衷心的感谢。

由于译者的水平有限,在翻译整理过程中如有不当之处,敬请广大读者批评指正。

译 者

2009 年 4 月 26 日

目 录

前言

第 1 章 绪论：木塑复合材料	1
1.1 WPC：价格制约	9
1.2 WPC：品牌和制造商	10
1.3 弯曲强度	11
1.4 弯曲模量与挠度	12
1.4.1 铺板板材	12
1.4.2 楼梯踏板	13
1.5 热膨胀-收缩	14
1.6 收缩	15
1.7 防滑性	17
1.8 吸水、膨胀与翘曲	18
1.9 微生物降解	20
1.10 抗白蚁性	22
1.11 燃烧性	23
1.12 氧化与破碎	25
1.13 光氧化和褪色	27
1.14 木塑复合材料——产品、发展趋势、市场容量和动态及未解决或部分解决的问题	28
1.14.1 WPC 产品	28
1.14.2 公众认知度	28
1.14.3 WPC 市场容量和动态	29
1.14.4 WPC 市场的竞争	31
1.14.5 尚未解决或仅部分解决的研发问题	33
参考文献	34
第 2 章 木塑复合材料铺板板材的组分：热塑性塑料	35
2.1 引言	35
2.2 聚乙烯	35
2.2.1 低密度聚乙烯 (LDPE)	38
2.2.2 中密度聚乙烯 (MDPE)	38
2.2.3 高密度聚乙烯 (HDPE)	38
2.3 聚丙烯	40
2.4 聚氯乙烯	41

2.5	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)	43
2.6	尼龙 6 和其他的聚酰胺	45
2.7	结论	46
2.8	附录: 塑料工业技术术语的定义及其缩写和塑料规范的 ASTM 测试	48
2.8.1	ASTM D 883 “塑料相关的标准术语”	48
2.8.2	ASTM D 1600 “塑料相关术语的缩写”	49
2.8.3	ASTM D 1784 “硬质聚氯乙烯 (PVC) 和氯化聚氯乙烯 (CPVC) 的标准规范”	49
2.8.4	ASTM D 1972 “塑料制品的通用标记应用标准”	50
2.8.5	ASTM D 4066 “尼龙 (PA) 注射和挤出材料的标准分类方法”	50
2.8.6	ASTM D 4101 “聚丙烯注射和挤出材料标准规范”	50
2.8.7	ASTM D 4216 “硬质聚氯乙烯 (PVC) 和相关 PVC 及氯化聚氯乙烯 (CPVC) 建筑产品的标准规范”	50
2.8.8	ASTM D 4396 “常压塑料管及配件用硬质聚氯乙烯 (PVC) 和氯化聚氯乙烯 (CPVC) 的标准规范”	51
2.8.9	ASTM D 4673 “丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 塑料及合金模压和挤出材料的标准分类方法”	51
2.8.10	ASTM D 4976 “聚乙烯塑料模压和挤出材料标准规范”	51
2.8.11	ASTM D 5203 “回收废旧 HDPE 模压和挤出材料的标准规范”	52
2.8.12	ASTM D 6263 “硬质聚氯乙烯 (PVC) 和氯化聚氯乙烯 (CPVC) 挤出棒材的标准规范”	52
2.8.13	ASTM D 6779 “聚酰胺 (PA) 模压和挤出材料的标准分类方法”	53
	参考文献	53
第 3 章	木塑复合材料的组分: 纤维素和木质纤维素填料	55
3.1	引言	55
3.2	美国 WPC 专利中关于纤维素填料的简要历史	57
3.2.1	WPC 初期: 热固性材料	58
3.2.2	纤维素在热塑性复合材料中作为增强组分	59
3.2.3	改善 WPC 的力学及其他性能	60
3.2.4	改善填料与聚合物基体的相容性: 偶联剂	62
3.2.5	木塑复合材料中除 HDPE 以外的塑料	64
3.2.6	纤维素-聚烯烃复合材料粒子	66
3.2.7	发泡的木塑复合材料	67
3.2.8	可生物降解的木塑复合材料	68
3.3	作为填料的木质纤维的一般性质	68
3.3.1	化学成分	68
3.3.2	木质素的不利影响	71
3.3.3	半纤维素的不利影响: 蒸气爆破	71
3.3.4	长径比	72

101	3.3.5 密度 (比重)	73
102	3.3.6 颗粒尺寸	74
103	3.3.7 颗粒形状	74
104	3.3.8 颗粒尺寸分布	74
105	3.3.9 比表面积	75
106	3.3.10 含水率和吸水性	75
107	3.3.11 填料的吸油性	75
108	3.3.12 燃烧性	76
109	3.3.13 对复合材料力学性能的影响	76
110	3.3.14 对塑料和复合材料褪色和耐久性的影响	77
111	3.3.15 对热熔黏度的影响	78
112	3.3.16 对成型收缩率的影响	79
113	3.4 木纤维	79
114	3.4.1 木粉	79
115	3.4.2 锯末	80
116	3.4.3 稻壳	80
117	3.5 长天然纤维	83
118	3.6 造纸污泥	84
119	3.7 Biodac®	85
120	3.7.1 Biodac®释放的 VOC	85
121	3.7.2 稻壳和 Biodac®在 WPC 中作抗氧剂	87
	参考文献	87
	第 4 章 木塑复合材料的组分: 矿物质填料	94
122	4.1 引言	94
123	4.2 矿物质填料的一般性质	95
124	4.2.1 化学组成	95
125	4.2.2 长径比	95
126	4.2.3 密度 (比重)	96
127	4.2.4 粒子大小	96
128	4.2.5 粒子的形状	97
129	4.2.6 粒子大小的分布	98
130	4.2.7 粒子的表面积	98
131	4.2.8 含水率: 吸水能力	98
132	4.2.9 吸油能力	98
133	4.2.10 阻燃性能	99
134	4.2.11 对复合材料力学性能的影响	99
135	4.2.12 对热熔体黏度的影响	100
136	4.2.13 对成型收缩率的影响	100

4.2.14	热性质	101
4.2.15	颜色: 光学性质	101
4.2.16	对塑料和复合材料褪色及耐久性的影响	101
4.2.17	健康性与安全性	102
4.3	填料	102
4.3.1	碳酸钙 (CaCO_3)	102
4.3.2	滑石粉	105
4.3.3	Biodac® (一种纤维素和矿物质填料的混合物)	109
4.3.4	硅土 (SiO_2)	112
4.3.5	高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	113
4.3.6	云母	113
4.3.7	硅酸钙 (CaSiO_3)	114
4.3.8	玻璃纤维	114
4.3.9	粉煤灰	114
4.3.10	炭黑	119
4.4	纳米填料和纳米复合材料	119
4.5	结论	121
	参考文献	122
第5章	木塑复合材料的组分: 偶联剂	124
5.1	引言	124
5.2	本章概述	125
5.3	马来酸化聚烯烃 (POLYBOND、INTEGRATE、FUSABOND、EPOLENE、EXXELOR、OREVAC、LOTADER、SCONA 和一些不知名的系列产品)	126
5.4	有机硅烷 (DOW CORNING Z-6020, MOMENTIVE A-172 及其他产品)	132
5.5	METABLEN™ A3000 (丙烯酸改性聚四氟乙烯)	137
5.6	其他偶联剂	137
5.7	偶联剂对木塑复合材料力学性能的影响: 实验数据	138
5.8	交联、偶联和/或增容作用的机理	139
5.8.1	光谱研究	139
5.8.2	流变研究	145
5.8.3	动力学研究	146
5.8.4	其他方面	147
5.9	偶联剂对木塑复合材料性能的影响: 小结	148
5.9.1	对弯曲和拉伸模量的影响	149
5.9.2	对弯曲和拉伸强度的影响	150
5.9.3	对吸水性的影响	151
5.10	与偶联剂相容和不相容的润滑剂	153
	参考文献	155

第 6 章 木塑复合材料的密度 (比重) 及其对 WPC 性能的影响	158
6.1 引言	158
6.2 WPC 密度 (比重) 的影响	160
6.2.1 对弯曲强度和模量的影响	160
6.2.2 对氧化和降解的影响	160
6.2.3 对燃烧性、引燃、火焰传播的影响	162
6.2.4 对含水率和吸水性的影响	163
6.2.5 对微生物感染/降解的影响	164
6.2.6 对收缩率的影响	165
6.2.7 对摩擦系数 (滑移系数) 的影响	165
6.3 GEODECK 中空木塑板材横截面区域的密度	166
6.4 一些商业化木塑铺板板材的密度和重量	168
6.5 用沉浮法测定木塑复合材料的密度	169
6.6 测定比重 (密度) 的 ASTM 推荐方法	170
6.6.1 ASTM D 6111 “利用排水法测试塑料板材和型材密度和比重的标准试验方法” ...	170
6.6.2 ASTM D 792 “用排水法测定塑料密度和比重 (相对密度) 的标准试验方法” ...	171
6.6.3 ASTM D 1505 “用密度梯度法测定塑料密度的标准试验方法”	172
6.6.4 ASTM D 1622 “硬质泡沫塑料表观密度的标准试验方法”	173
6.6.5 ASTM D 1895 “塑料材料的表观密度、体积因数和可倾注性的标准试验方法” ...	174
参考文献	174
第 7 章 复合材料及型材的弯曲强度和弯曲模量	175
7.1 引言	175
7.1.1 基本定义和公式	175
7.1.2 转动惯量	177
7.1.3 弯矩	179
7.2 ASTM 推荐标准	182
7.2.1 ASTM D 790 “未增强和增强塑料及电绝缘材料的弯曲性能标准测试方法” ...	182
7.2.2 ASTM D 6109 “未增强及增强塑料板材的弯曲性能标准测试方法”	184
7.2.3 ASTM D 6272 “未增强与增强塑料和电绝缘材料弯曲性能的四点弯曲标准测试方法”	187
7.3 复合材料铺板的弯曲强度	189
7.3.1 英制单位和国际制单位	189
7.3.2 中点加载或集中载荷 (3 点载荷)	190
7.3.3 1/3 点加载 (4 点载荷或 1/3 跨度载荷)	192
7.3.4 复合材料铺板的弯曲强度	193
7.3.5 材料与型材的弯曲强度	195
7.3.6 同种材料制得的不同型材的弯曲强度	196
7.3.7 中点加载与 1/3 点加载的对比	196

7.3.8	1/4 点加载 (4 点载荷)	197
7.3.9	均布载荷	198
7.3.10	温度对复合材料弯曲强度的影响	199
7.3.11	商业 HDPE 材料对复合材料铺板弯曲强度的影响	200
7.3.12	复合材料的密度 (比重) 对弯曲强度的影响	201
7.3.13	纯 HDPE 及其他塑料的弯曲强度及其与 WPC 产品弯曲强度的对比	201
7.3.14	塑料含量对复合材料弯曲强度的影响	201
7.3.15	一种用作楼梯踏板的铺板	202
7.4	复合材料铺板板材的弯曲模量	206
7.4.1	中点加载或集中载荷 (3 点载荷)	206
7.4.2	1/3 点加载 (4 点载荷, 或 1/3 跨度加载)	208
7.4.3	复合材料铺板的弯曲模量	208
7.4.4	材料和型材的弯曲模量	210
7.4.5	同种材料制得的不同型材的弯曲模量: 实心和中空铺板板材	211
7.4.6	中点加载和 1/3 点加载的对比	212
7.4.7	1/4 点加载 (4 点载荷)	213
7.4.8	均布载荷	213
7.4.9	铺板上的积雪	214
7.4.10	温度对复合材料弯曲模量的影响	215
7.4.11	商业 HDPE 对复合材料铺板板材弯曲模量的影响	216
7.4.12	复合材料的密度 (比重) 对弯曲模量的影响	217
7.4.13	塑料含量对复合材料弯曲模量的影响	218
7.5	纯 HDPE 和其他塑料的弯曲模量及其与 WPC 弯曲模量的对比	219
7.6	用于楼梯踏板的铺板: 弯曲模量的重要作用	221
7.7	复合材料的形变: 案例分析	222
7.7.1	风力作用下隔音墙的形变和弯矩	222
7.7.2	围栏的形变	226
7.7.3	热浴盆下面铺板的形变	228
7.7.4	装有热水的中空铺板的形变	229
7.7.5	复合材料铺板的蠕变和形变	230
7.8	栏杆系统	240
7.9	弯曲强度及剪切强度的组合: “鸟枪法” 测试	246
7.10	WPC 的数学模拟及实际情况	247
	参考文献	252
第 8 章	复合材料型材的拉伸、压缩强度及模量	253
8.1	引言	253
8.2	基本定义和公式	253
8.3	ASTM 推荐标准	254

8.3.1	ASTM D 638, “塑料拉伸性能的标准试验方法”	254
8.3.2	ASTM D 5083, “用直边试件测定增强热固性塑料拉伸性能的试验方法”	256
8.3.3	ASTM D 695, “硬质塑料压缩性能的标准试验方法”	257
8.3.4	ASTM D 6108, “未增强和增强塑料板材的压缩性能的标准试验方法”	257
8.4	复合材料的拉伸强度	258
8.5	复合材料的拉伸弹性模量	260
8.6	复合材料的压缩模量	262
	参考文献	263
第 9 章	挤出成型木塑复合材料的线性收缩	264
9.1	引言	264
9.2	收缩的起因	264
9.3	收缩尺寸	266
9.4	WPC 的密度 (比重) 对其收缩的影响	267
9.5	挤出条件对收缩的影响	268
9.6	复合材料板材的退火处理	268
9.7	索赔: GeoDeck 复合材料板材	269
	参考文献	278
第 10 章	温度作用下复合材料铺板板材的膨胀-收缩: 线性热膨胀-收缩系数	279
10.1	引言	279
10.2	线性膨胀-收缩系数	279
10.3	膨胀-收缩系数实用性的一些限定条件	280
10.4	测定线性热膨胀-收缩系数的 ASTM 推荐测试方法	281
10.4.1	ASTM D 696 “用玻璃硅膨胀计测定塑料在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间线性热膨胀系数的标准试验方法”	281
10.4.2	ASTM D 6341 “测定 $-30^{\circ}\text{F} \sim 140^{\circ}\text{F}$ ($-34.4^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$) 之间塑料板材和型材线性热膨胀系数的标准试验方法”	283
10.4.3	ASTM E 228 “用玻璃硅膨胀计测定固体材料线性热膨胀系数的标准试验方法” (已废除)	283
10.5	木塑复合材料的线性热膨胀-收缩系数, 填料和偶联剂的影响	283
10.6	实例: 案例研究	286
	参考文献	289
第 11 章	复合材料铺板板材的防滑性及摩擦系数	290
11.1	引言	290
11.1.1	定义	290
11.1.2	解释和一些例子	291
11.2	塑料的防滑性	291
11.3	木制铺板的防滑性	292
11.4	木塑复合材料铺板的防滑性	293

11.5	推荐的测定静摩擦系数的 ASTM 方法	295
11.5.1	ASTM D 2047 “用 James 机测量抛光-涂覆地板表面静摩擦系数的标准试验方法”	295
11.5.2	ASTM F 1679 “使用可变入射角摩擦仪 (VIT) 的标准试验方法”	295
11.5.3	ASTM D 2394 “木材和木质基抛光地板材料的模拟应用测试的标准方法”	296
11.6	采用斜面法测量防滑性	297
11.7	复合材料铺板板材配方对防滑性的影响: 滑动增强剂	299
	参考文献	299
第 12 章	复合材料的吸水性及其相关影响	301
12.1	引言	301
12.2	矿物质填料对吸水性的影响	302
12.3	膨胀 (尺寸不稳定性) 和压力的产生及翘曲	303
12.4	短期和长期的水分吸收	310
12.5	ASTM 推荐标准	313
12.5.1	ASTM D 570, “塑料吸水性的标准测试方法”	313
12.5.2	ASTM D 1037, “评价木质纤维和碎料板材料性能的标准实验方法”	314
12.5.3	ASTM D 2842 “刚性发泡塑料吸水率的测试方法”	314
12.5.4	ASTM D 6662 “聚烯烃基塑料铺板板材的标准规范”	315
12.5.5	ASTM D 7032 “木塑复合材料铺板板材和栏杆类 (栏杆或扶手) 制品性能等级建立的标准规范”	315
12.6	复合材料中纤维素含量对吸水率的影响	315
12.7	板材密度 (比重) 对吸水率的影响	316
12.8	木材和木塑复合材料的含水率	317
12.9	吸水率对弯曲强度和模量的影响	318
12.10	抗冻-融循环	318
12.10.1	板材密度对抗冻-融性的影响——案例研究	318
12.10.2	板材密度和老化对抗冻-融性的影响——案例研究	319
12.10.3	多个冻-融循环的影响	320
12.11	市场上一些木塑复合材料铺板板材吸水性的对比	320
	参考文献	322
第 13 章	木塑复合材料的微生物降解与表面“黑斑”: 抗霉菌性	323
13.1	引言	323
13.1.1	微生物对复合材料的影响	323
13.1.2	霉菌和孢子	323
13.1.3	潮湿与通风: 临界含水率	323
13.1.4	木材腐朽菌	324
13.1.5	生物杀灭剂与“抗霉菌性”	325

13.1.6	木材用防腐剂	325
13.2	微生物对复合材料的降解和污染	327
13.2.1	霉菌	327
13.2.2	黑霉	332
13.2.3	海藻类 (Black Algae)	333
13.2.4	案例研究	335
13.3	微生物对木塑复合材料的侵扰	336
13.4	复合材料对微生物降解的敏感性和抵抗力: 例证	337
13.5	木塑复合材料微生物生长与降解的 ASTM 测试方法	339
13.5.1	ASTM D 1413 “实验室土壤-木块培养法测试木材防腐剂的 标准测试方法”	339
13.5.2	ASTM D 2017 “实验室加速测试木材天然耐腐朽性的标准方法” (已停止使用)	342
13.5.3	ASTM E 2180 “测定抗菌剂在聚合物或疏水物中效果的标准测试方法”	343
13.5.4	ASTM G 21 “测定合成聚合物材料抗真菌性的标准实施方法”	343
13.6	配方对木塑复合材料微生物降解敏感性和抵抗力的影响	344
13.7	木塑复合材料用生物杀灭剂 (已实际应用和正在考虑应用的)	345
13.7.1	硼酸锌 [例如, Borogard (U. S. Borax), Fiberguard (Royce International)]	345
13.7.2	偏硼酸钡 (Barium Metaborate, Busan)	347
13.7.3	灭菌丹 [Folpet, Fungitrol 11, Intercede TMP (羧酰亚胺)]	347
13.7.4	百菌清 (四氯酚酞), Nuocide 960	351
13.7.5	OBPA, Intercede ABF (10, 10'-氧代双吩噻吡), Vinizene BP 5-5	352
13.7.6	IPBC, Polyphase®, Troy®, Intercede IBF (2-碘代-2-炔丙基- <i>n</i> -丁基氨基甲酸 酯, 3-碘代-2-炔丙基- <i>n</i> -丁基氨基甲酸酯)	353
13.7.7	OIT, DCOIT, 辛噻酮, Micro-Chek, Intercede OBF (2- <i>n</i> -辛基-4-异噻唑啉-3-酮)	354
13.7.8	吡啶硫酮锌, 奥麦丁锌, Intercede ZNP, 巯基嘧啶-1-氧化锌	355
13.7.9	噻苯咪唑, Irgaguard F3000, 2-(4-噻唑基)-1H-苯并咪唑 2-(4-Thiazolyl)- 1H-benzimidazole, 4-(2-苯并咪唑)-噻唑, 涕必灵, MK-360, TBZ	355
13.8	生物杀灭剂: 实验室加速测试数据和实践数据	355
	参考文献	362
第 14 章	木塑复合材料的燃烧性及耐火等级	363
14.1	引言	363
14.2	木材的燃烧性	364
14.3	复合材料的引燃性	364
14.4	复合材料的火焰传播指数和耐火等级	366
14.5	矿物质填料对燃烧性的影响	368

14.6	烟、有毒气体及发烟指数	368
14.7	塑料和复合材料用阻燃剂	369
14.7.1	塑料用阻燃剂	370
14.7.2	对某些溴系阻燃剂的限制或禁止	371
14.7.3	含氯阻燃剂	371
14.7.4	三水合氧化铝 (ATH) 和氢氧化镁 (MDH)	372
14.7.5	ATH脱水: 定量的测试方法	373
14.7.6	木塑复合材料用阻燃剂	374
14.7.7	纳米粒子作为阻燃剂	375
14.8	ASTM 推荐标准	376
14.8.1	ASTM D 635 “水平放置塑料的燃烧速率和/或燃烧程度及燃烧时间的标准试验方法”	376
14.8.2	ASTM D 1929 “塑料引燃温度的标准测定方法”	377
14.8.3	ASTM E 84 “建筑材料表面燃烧特性的标准试验方法”	378
14.8.4	ASTM E 1354 “采用耗氧仪测试材料和制品的热和可见烟释放速率的标准试验方法”	379
14.8.5	E 162 “采用辐射热源测量材料表面可燃性的标准试验方法”	380
14.8.6	E 662 “固体材料发烟的比光密度标准试验方法”	380
14.9	复合材料铺板和铺板板材的耐火性能	381
	参考文献	387
第15章	建筑复合材料的热氧化和光氧化降解及使用寿命	388
15.1	塑料和塑料基复合材料的使用寿命介绍: 实例	388
15.2	热氧化、光氧化、氧化降解和产品破碎与破坏	390
15.3	加速复合材料氧化降解的因素	394
15.3.1	复合材料的密度 (比重)	395
15.3.2	温度	399
15.3.3	聚合物的物理和化学结构	404
15.3.4	塑料来源 (原生, 回收)	405
15.3.5	纤维素纤维的类型和用量	406
15.3.6	矿物质填料的类型和用量	406
15.3.7	应力的存在	406
15.3.8	金属催化剂的存在	409
15.3.9	水分的存在	412
15.3.10	抗氧化剂及其用量	412
15.3.11	太阳辐射 (紫外光)	416
15.3.12	回收料用量 (如果使用的话)	423
15.4	ASTM 推荐标准	425
15.4.1	ASTM 氧化诱导时间检测方法	425

15.4.2	塑料里酚类抗氧剂的 ASTM 测试方法	428
15.5	复合材料铺板和栏杆系列制品的表面温度	431
15.6	无抗氧剂 GEODECK 铺板在美国各地的使用寿命	435
15.7	复合材料铺板板材的 OIT 和使用寿命	443
15.8	目前市场上的木塑复合材料铺板板材的耐用性 (氧化降解方面)	443
15.9	GeoDeck 铺板板材的氧化降解和破碎: 案件起因和问题的解决	445
15.9.1	问题出现前板材的密度、孔隙度和力学性能	445
15.9.2	问题的出现	446
15.9.3	GeoDeck 板材在 2003 年 10 月前的密度	447
15.9.4	破碎问题的纠正	448
15.10	补充: 利用差示扫描量热法检测填充复合材料氧化诱导时间的方法 ..	450
15.11	案例研究	452
15.11.1	亚利桑那州的 GeoDeck 铺板板材	452
15.11.2	马萨诸塞州的 GeoDeck 铺板板材	454
15.12	主动收回的 GEODECK 产品	455
15.13	GEODECK 问题铺板: 安装时间与索赔	456
	参考文献	457
第 16 章	建筑复合材料的光氧化和褪色	459
16.1	引言	459
16.1.1	如何衡量褪色	459
16.1.2	褪色: 一些定义的介绍	461
16.2	木塑复合材料的加速老化和自然老化及它们之间的相关性: 加速因子 ..	463
16.3	商业化木塑复合材料的褪色	468
16.4	由于氧化造成的复合材料铺板板材的褪色与碎裂	471
16.5	加速或减缓复合材料褪色的因素	473
16.5.1	复合材料的密度 (比重)	473
16.5.2	温度	473
16.5.3	紫外光吸收剂及其用量	473
16.5.4	颜料及其用量	474
16.5.5	抗氧剂及其用量	475
16.5.6	塑料的来源 (纯塑料与回收塑料)	475
16.5.7	复合材料中水分的影响	475
16.5.8	纤维素的含量和种类	476
16.5.9	挤出成型与注塑成型的木塑复合材料	476
16.6	ASTM 推荐标准	477
16.6.1	ASTM D 2565 “室外用塑料的氙弧灯暴露的标准规范”	477
16.6.2	ASTM D 1435 “塑料室外老化的标准规范”	477
16.6.3	ASTM D 4329 “塑料荧光紫外暴露的规范”	478

16.6.4	ASTM D 4364 “用聚集自然光法进行塑料室外加速老化测试的规范”	478
16.6.5	ASTM D 4459 “室内用塑料的氙弧暴露规范”	479
16.6.6	ASTM D 5071 “可光降解塑料暴露于氙弧装置中的规范”	479
16.6.7	ASTM D 5208 “可光降解塑料荧光紫外暴露的规范”	479
16.6.8	ASTM D 5272 “可光降解塑料的室外暴露测试规范”	480
16.6.9	ASTM G 155 “非金属材料暴露试验的氙弧灯设备操作规范”	480
16.7	附录	481
	参考文献	483
第 17 章	流变学及复合材料用塑料的选择	484
17.1	引言: 纯塑料、填充塑料、复合材料和再生材料的流变学	484
17.2	基本定义和方程	484
17.2.1	剪切速率、剪切应力、剪切黏度、动态黏度、表观黏度、极限黏度	484
17.2.2	剪切变稀效应和幂律方程	485
17.2.3	沿毛细管方向的体积流量和压力梯度	488
17.2.4	壁面滑移现象	490
17.2.5	Rabinowitsch 修正	490
17.3	毛细管流变仪领域的 ASTM 推荐方法	491
17.3.1	ASTM D 1238-04, “利用挤压式塑性计测定热塑性塑料熔体流动速率的标准试验方法”	491
17.3.2	ASTM D 3835-02, “用毛细管流变仪测定聚合物材料性能的标准试验方法”	492
17.3.3	ASTM D 5422-03, “用螺旋挤压毛细管流变仪测定热塑性材料性能的标准试验方法”	493
17.4	与旋转流变仪有关的 ASTM 推荐标准	494
17.4.1	ASTM D 4440-01, “塑料的标准试验方法: 动态力学性能——熔体流变学”	494
17.4.2	ASTM D 4065-01, “塑料的标准试验方法: 动态力学性能——方法的采用与报告规程”	495
17.5	常规观测	495
17.5.1	纯塑料	495
17.5.2	复合材料	498
17.6	复合材料和塑料流变学几乎未知的领域	505
17.6.1	填料粒径对复合材料流变性的影响	505
17.6.2	偶联剂、润滑剂和聚合物加工助剂的影响	505
17.6.3	复合材料如何选择不同来源的塑料	507
17.6.4	木塑复合材料再生料的流变性	511
17.6.5	塑料及其复合材料和再生料的熔体破裂: 表面撕裂	515
	参考文献	524

第 1 章 绪论：木塑复合材料

首先了解一下常用的木塑复合材料 (wood-plastic composites, WPC) 铺板, 尤其是具有优异质量的 WPC 铺板的有关问题, 如怎样才能避免使用者的不满和诉讼。为了尽可能地延长这种铺板材料的使用寿命, 最好使用寿命要高于通常压力处理的木质铺板, 这时应该考虑哪些性能? 换句话说, 既要具有足够的耐用性以达到质量保证, 同时在市场竞争方面又具有成本优势, 那么针对这种材料应该提出哪些要求? WPC 铺板在使用过程中会产生什么样的问题? 这些问题应如何避免? 为生产优质产品, 应该注重复合材料的哪些性能? 针对这些方面, 应该研究、测试和优化哪些性能, 怎样测试? 或者说即使是一个普通的制造商至少也应该考虑使产品通过建筑规范的要求。这些正是本书所要讨论的问题。

WPC 铺板是一种可用于建筑及其他领域的板材, 例如木板路、人行道、码头、船坞和船舶地板等。铺板市场包括铺板、栏杆 (顶部横杆、栏杆、底部横杆和立柱) 和一些如楼梯和长椅等部件。根据 Principia Partners 公司的调查数据, 2005 年美国对铺板类产品 (木材和 WPC) 的需求量大约为 51 亿美元, 或者大约是 40 亿板英尺, 到 2006 年计划增长到 55 亿美元或者是 42 亿板英尺^[1]。

WPC 铺板通常是由复合材料板材组合而成, 而这些复合材料板材是以挤出 (常用的) 或模压成型的方式生产, 产品可以设计成实心、中空或者是“开口”的形式 (图 1.1~图 1.25)。通常大多数的 WPC 板材宽度为 5-1/2 in (139.70 mm), 高度 (厚度) 为 1-1/4 in、1.00 in、15/16 in 或 13/16 in (31.75~20.64 mm), 标准板材长度为 12 ft、16 ft 或 20 ft。板材表面可以是光滑的 (未拉毛)、拉毛的、轧花的或某些奇特形式, 如条纹、仿木纹及其他形式等。

本书均采用英制单位, 表 1.1 是一些英制与国际制单位之间的转换关系。

表 1.1 英制与国际制单位之间的转换关系

1 in	0.0254 m
1 ft	0.3048 m
1 board feet(板英尺)	$2.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
1 lb	0.4536 kg
1 ounce(盎司)	28.35 g
1 gal	3.78 L
1 psi	6895 Pa
1K	$1^{\circ}\text{C} + 273.15$
1°F	$1.8 \times 1^{\circ}\text{C} + 32$
1 mil	$2.54 \times 10^{-5} \text{ m}$