



中华人民共和国国家标准

GB/T 47407—2026/ISO 4410:2023

复合材料液体成型用纤维增强材料面内 渗透特性的试验表征方法

Test methods for the experimental characterization of in-plane permeability of
fibrous reinforcements for liquid composite moulding

(ISO 4410:2023, IDT)

2026-03-31 发布

2026-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义、符号和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号和缩略语	2
4 原理	4
5 试验设计	5
5.1 注射方法的选择	5
5.2 重复试验次数	5
5.3 纤维体积分数设定	5
5.4 流体注射压力的选择	5
5.5 温度调节	6
5.6 合理性检查	6
6 试样和试样制备	6
6.1 基本信息	6
6.2 试样切裁	6
6.3 试样堆放	6
6.4 试样质量称量	7
7 试验流体和注射系统准备	8
7.1 试验流体	8
7.2 流体和注射系统准备	8
8 模具准备	8
8.1 试样厚度控制	8
8.2 模腔高度	8
8.3 模具表面粗糙度	9
8.4 模具上下模对齐	9
9 流体压力、温度和流量的测量	10
9.1 流体压力的测量	10
9.2 流体温度的测量	10
9.3 流体流量的测量	10
10 方法 A:线性试验法	10

10.1	装置设计	10
10.2	试样平面尺寸	11
10.3	注射口几何形状	11
10.4	通气口几何形状	11
10.5	流体注射系统	11
10.6	试验准备	12
10.7	传感器设备/数据采集	12
10.8	数据处理	13
11	方法 B: 径向试验法	17
11.1	装置设计	17
11.2	试样平面尺寸	17
11.3	注射口几何形状	18
11.4	通气口几何形状	18
11.5	流体注射系统	18
11.6	试验准备	19
11.7	传感器设备/数据采集	20
11.8	数据处理	20
12	结果记录	24
12.1	单次试验的记录(强制要求)	24
12.2	重复试验的记录(可选项)	25
12.3	模型近似的记录(可选项)	25
	参考文献	27

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO 4410:2023《复合材料液体成型用纤维增强材料面内渗透特性的试验表征方法》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——更改了原文的错误，将图 5b) 的左侧的符号“C”更改为“A”，将图 5a) 和 b) 中的向下注胶方式更改为向上注胶方式。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国玻璃纤维标准化技术委员会(SAC/TC 245)归口。

本文件起草单位：北京玻璃钢研究设计院有限公司、武汉理工大学、天津工业大学、北玻院(滕州)复合材料有限公司、洛阳船舶材料研究所(中国船舶集团有限公司第七二五研究所)、西安航天复合材料研究所、中材科技风电叶片股份有限公司、北玻院(滕州)聚合物有限公司、上海飞机制造有限公司、巨石集团有限公司、沈阳聚盛新材料技术有限公司、力试(上海)科学仪器有限公司、常州天启新新科技有限公司、华中科技大学、东华大学、重庆风渡新材料有限公司、北京玻璃钢院复合材料有限公司、中建材(上海)航空技术有限公司。

本文件主要起草人：李青、杨斌、张一帆、李瑞盈、陈汇、姚亚琳、黄金鑫、牟书香、彭运松、陈万康、崔峰波、孟庆实、王斌、周华民、李辉、焦龙、钟海、蒋金华、杨洋、王继辉、史宝会、张驰、倪爱清、陈淳、李成良。

引 言

复合材料液体成型(LCM)工艺用于制造纤维增强聚合物复合材料(FRPC)。在所有 LCM 工艺中,干的纤维增强材料首先被液体树脂体系浸渍,然后树脂体系固化,形成包覆纤维的基体。浸渍过程由外加正压和/或真空驱动。LCM 工艺广泛应用于汽车、航空航天、船舶和能源(如风力涡轮叶片)等行业中轻质部件的制造。

为了在 LCM 工艺中实现较短的成型周期和较高的制件质量,即实现快速而充分的液体树脂对增强材料的浸润,需要基于材料特性进行合理的工艺设计。达西定律通过压力梯度、树脂黏度和多孔介质渗透率的线性关系,建立了多孔介质中流体体积平均流速的数学模型。纤维结构(如增强材料)的渗透率通常具有方向性,可用对称二阶张量进行描述。该张量对角化后得到三个主渗透率,分别对应于沿三个正交轴方向的流动,其中两个描述的是面内渗透率。

本文件聚焦于复合材料液体成型用增强材料的不饱和面内渗透率的试验表征方法。与所有试验一样,本试验可能会存在方法学误差、系统误差和统计误差,为了尽量减少由于试验方法差异带来的方法学误差,本文件涵盖了两种最常用的方法,即线性试验法和径向试验法。通过对流动试验的制样、实施过程及数据后处理等环节的规范,本文件将最大限度减少这些方法本身的系统误差。统计误差主要来源于材料性能的变化,特别是增强材料面密度不均匀所导致的纤维体积分数的波动。本文件引用了多个常用的统计方法,如在重复条件下进行多次试验,以评估结果的不确定性。

复合材料液体成型用纤维增强材料面内 渗透特性的试验表征方法

1 范围

本文件描述了复合材料液体成型用纤维增强材料面内渗透特性的试验表征方法,详细规定了试验设备、试验方法和数据分析的要求,以确保结果的最佳准确性和可重复性。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 286-1:2010+Cor1:2013 产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差的 ISO 代号体系 第 1 部分:公差、偏差和配合的基础[Geometrical product specifications(GPS)—ISO code system for tolerances on linear sizes—Part 1:Basis of tolerances, deviations and fits]

注: GB/T 1800.1—2020 产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差 ISO 代号体系 第 1 部分:公差、偏差和配合的基础(ISO 286-1:2010,MOD)

ISO 2555 塑料 液态或乳液态或分散体系的树脂 用单筒旋转黏度计法测定表观黏度(Plastics—Resins in the liquid state or as emulsions or dispersions—Determination of apparent viscosity using a single cylinder type rotational viscometer method)

注: GB/T 40280—2021 塑料 液态或乳液态或分散体系的树脂 用单筒旋转黏度计测定表观黏度(ISO 2555:2018,IDT)

ISO 21920-2 产品几何技术规范(GPS) 表面结构:轮廓 第 2 部分:术语、定义和表面结构参数[Geometrical product specifications(GPS)—Surface texture:Profile—Part 2:Terms, definitions and surface texture parameters]

ISO 21920-3 产品几何技术规范(GPS) 表面结构:轮廓 第 3 部分:规范操作集[Geometrical product specifications(GPS)—Surface texture:Profile—Part 3:Specification operators]

3 术语、定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

面内渗透率 in-plane permeability

纤维增强材料(一种多孔介质)的定量材料参数,用于将增强材料中液体相的平均流速与所施加的压力梯度和液体的动态黏度相关联。

注 1: 在液体浸渍纤维增强材料的过程中,纤维增强材料的渗透率张量 \mathbf{K} ,将相平均流速 v 与所施加的压力梯度 ∇p 和树脂的动态黏度 μ 联系起来,如达西定律所述:

$$v = - \left(\frac{\mathbf{K}}{\mu} \right) \cdot \nabla p$$