

# 天然纤维复合材料在建筑工程的应用力学性能及其前景展望

屠彦超

(吉林建筑大学 吉林长春 130119)

**摘要:** 环保节能等理念下, 建筑工程越来越重视使用新型环保材料。天然纤维复合材料作为新型环保材料, 可以满足建筑工程施工的需求, 减少对各类资源的消耗, 在建筑工程领域拥有巨大潜力。本文将剑麻纤维混凝土作为研究重点, 先简要介绍了天然纤维复合材料在建筑工程中的特性, 再以剑麻纤维这一典型的天然纤维材料为研究对象, 分析其在建筑工程中的应用力学性能, 并对剑麻纤维复合材料在建筑工程中的前景展望进行讨论, 以供参考。

**关键词:** 天然纤维复合材料; 剑麻纤维; 力学性能; 前景

引言: 近年来, 我国天然纤维复合材料的市场价值与规划不断提升, 在众多复合材料中已成为需求增速较快的产品类型。天然纤维复合材料在我国的应用十分广泛, 如汽车、建筑、航空航天、服装等, 已经形成一条涉及研发、原材料、制造、模具、市场营销等各个环节的成熟产业链, 将天然纤维复合材料应用于建筑工程领域, 除了要突出这种材料的低碳、环保、节能等特性外, 还要保证其力学性能满足建筑工程施工的要求。

## 一、天然纤维概述

### (一) 天然纤维简介

天然纤维是天然纤维复合材料的重要原材料, 具有提高材料模量和强度的作用, 能减小材料发生的收缩, 提高复合材料的冲击强

度和热变形温度。天然纤维的成本价格偏低, 材料密度较小、质量较强, 具有易降解的特点, 不易对环境造成污染<sup>[1]</sup>。近年来, 人们的环保意识不断增长, 开始将天然纤维这种绿色材料应用于各个领域, 旨在满足各行业发展需求的同时, 推动绿色化发展进程。

### (二) 天然植物纤维的化学成分

天然植物纤维的化学成分包括了纤维素、半纤维素、果胶、蜡质等。在麻纤维中纤维素的含量最高, 非纤维素的成分相对较小, 此类成分统一被称作胶质, 而这些胶质则由果胶、木质素、半纤维素等成分组成。不同类型的天然植物纤维的化学组分存在差异, 见表 1。

表 1 天然植物纤维的主要化学成分

| 名称 | 密度 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 纤维素 (%)     | 半纤维素 (%)    | 果胶 (%)  | 蜡质 (%)  | 水分 (%) | 灰分 (%)    | 木质素 (%) |
|----|--|-------------|-------------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| 剑麻 | 1.40                                   | 65.80       | 12.00       | 2.00    | -       | -      | -         | 8.00    |
| 苧麻 | 1.54                                   | 65.00~75.00 | 12.00~15.00 | 1.4~5.7 | 1.2~1.8 | 10.56  | 6.60      | 0.8~1.5 |
| 亚麻 | 1.19                                   | 70.00~80.00 | 12.00~15.00 | 9.29    | 1.2~1.8 | 10.56  | 0.80~1.30 | 2.5~5.0 |
| 黄麻 | 1.21                                   | 57.00~60.00 | 14.00~17.00 | 14.00   | -       | 9.40   | 5.15      | 18.00   |
| 竹  | 0.90                                   | 55.00       | 20.00       | 0.38    | -       | -      | 1.20      | 25.00   |
| 麦秸 | 1.15                                   | 40.40       | 25.56       | 0.87    | 23.15   | 10.65  | 6.04      | 22.40   |

### (三) 天然纤维的力学性能

天然纤维普遍拥有较高模量和强度, 但密度较小, 适用于建筑工程中的增强材料。天然纤维与人造纤维相比, 其力学性能并不均匀, 同一种纤维在不同批次中, 可能有不同的力学性能。天然纤维的这一特性, 主要由植物所处的生长年龄和生长环境决定。

### (四) 剑麻纤维简介

剑麻属于一种麻类经济作物, 产量高和价格低是其在建筑工程中应用的主要优势。剑麻纤维是以剑麻叶片为原料, 经过特殊压榨工艺制成, 拥有坚硬的质地, 强度与模量相对较高, 在耐磨和抗拉伸等方面也有显著优势。剑麻纤维是一种环境友好型材料, 可持

续利用,在建筑工程领域拥有较高利用价值。剑麻纤维的化学成分 见表 2。

表 2 剑麻纤维的力学性能

| 名称   | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 拉伸强度/MPa | 拉伸模量/GPa | 断裂伸长率/% | 微纤角/° | 比模量/(GPa·g <sup>-1</sup> ·cm <sup>-3</sup> ) |
|------|--------------------------|----------|----------|---------|-------|--|
| 剑麻纤维 | 1.45                     | 468~640  | 9.4~22.0 | 3~7     | 20    | 6.4~15.2                                     |

## 二、剑麻纤维在建筑工程中应用的作用机理

本文将剑麻纤维混凝土作为研究对象,分析剑麻纤维在建筑工程混凝土施工中应用的作用机理以及力学性能。混凝土是一种由水泥、粗骨料、细集料、水、外加剂等组成的材料。水泥硬化后,可以将各种材料胶结起来,形成具有一定抗压强度的混凝土结构。由于石子等粗骨料的粒径较大,在混凝土凝固后会导致结构之间出现许多空隙,这些空隙的处理一般会使用砂等细骨料,在合理掺和、配制的基础上提高混凝土结构的密度。即便如此,混凝土结构中仍然会存在许多大小不一的空隙或裂缝,可能面临受力不均匀和应力集中等问题,特别是在复杂环境下这些空隙可能越来越大,最终会给混凝土结构造成破坏。剑麻纤维是一种具有较强韧性和较高抗拉强度的天然植物纤维,将其与混凝土材料混合,能使结构密度得到提升。近年来,国内许多学者对剑麻纤维都展开了深入研究,有的学者发现剑麻纤维长度不同、掺和量不同,对混凝土力学性能的影响存在差异。建筑工程混凝土施工,在采用剑麻纤维后,能使混凝土抗荷载的能力得到增强。剑麻纤维长度的选择、掺和量选择,直接会对剑麻纤维混凝土中砂浆的粘结度造成影响,长度过短或者掺和量较少,并不会影响结构内部的紧密度,但结构过长和掺和量过多,可能影响纤维吸收能量的作用,纤维的弹性伸张可能丧失,范围导致混凝土面临的脆性破坏风险上升,因此控制好剑麻纤维在混凝土中的使用非常重要。

## 三、剑麻纤维混凝土的力学性能试验

### (一) 试验材料

#### 1、剑麻掺量

本文为了解不同掺和量、不同龄期剑麻纤维对混凝土力学性能造成的影响,选择广西剑麻公司生产的建材专用剑麻纤维。在试验中剑麻纤维掺和量分为低掺率和高掺率两种情况,纤维低掺率主要是为了提高混凝土结构的抗裂性能,不会影响混凝土的工作性能,纤维高掺率是为了影响混凝土的强度,会对混凝土工作性质造成改变[2]。本试验主要研究剑麻纤维对混凝土结构的抗裂性造成的影响,

因此纤维掺和量均为低掺率,分别设置五组剑麻纤维混凝土试验,剑麻掺和量分别为 0.0kg/m<sup>3</sup>、0.9kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>、2.0kg/m<sup>3</sup>、2.5kg/m<sup>3</sup>。

#### 2、剑麻长度

剑麻的长度与直径之比,会对剑麻纤维混凝土砂浆的粘结力造成影响,纤维长度过长会导致纤维吸收能量与弹性伸张的作用丧失,面临的脆性破坏风险上升。因此,本试验统一确定各组剑麻纤维的长度在 10~15mm<sup>[3]</sup>。

#### 3、水泥

本试验选用科华牌 P·C 42.5R 级复合硅酸盐水泥,水泥的各项性能都满足 GB 175-2007 规范的要求。

#### 4、粗骨料

本试验的粗骨料选用粒径为 5~20mm 的碎石。碎石级配良好,各项技术指标都能满足建筑工程施工的要求。

#### 5、细集料

本试验采用的细集料为砂石。细集料表面密度约 2450kg·m<sup>-3</sup>,细度模数 2.1,最大粒径不超过 0.9mm,含水率和含泥量分别为 2.5% 和 1.4%。

### (二) 剑麻纤维混凝土配比

本试验的混凝土设计强度为 C30,按照《普通混凝土配合比设计规程》进行设计,水泥、碎石、砂、水的配合比为 1:3.01:1.23:0.41;试验模具尺寸为 200mm×200mm×200mm,五个模具体积与质量相等,水泥水灰比为 1:0.41。

### (三) 天然纤维复合材料制作工艺

本试验采用干法工艺,按照设计配合比计算所有材料的用量和称量,除水外将所有原材料混合搅拌,搅拌时间为 2min,随后再加入水搅拌 2min,制成 5 组试验。各组试件凝固后 24h 拆模,对各组试件进行养护,进行静态力学强度试验。

### (四) 结果

五组剑麻混凝土试件的抗压强度、劈裂抗拉强度与抗折强度见表 3。

表 3 试验结果

| 纤维掺量/kg/m <sup>3</sup>    | 抗压强度/MPa | 劈裂抗拉强度/MPa | 抗折强度/MPa |
|---------------------------|----------|------------|----------|
| 试件 A=0.0kg/m <sup>3</sup> | 35.6     | 3.04       | 4.09     |

|                           |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|
| 试件 B=0.9kg/m <sup>3</sup> | 35.8 | 3.40 | 4.41 |
| 试件 C=1.5kg/m <sup>3</sup> | 36.3 | 3.54 | 4.56 |
| 试件 D=2.0kg/m <sup>3</sup> | 36.5 | 3.62 | 3.69 |
| 试件 E=2.5kg/m <sup>3</sup> | 36.4 | 3.57 | 4.61 |

(1) 试验结果显示, 纤维掺量为 0.0~2.0kg/m<sup>3</sup>, 随着纤维掺量增加, 剑麻纤维混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度与抗折强度随之上升; 纤维掺量达到 2.5kg/m<sup>3</sup> 后, 剑麻纤维混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度与抗折强度随之下降。试验结果证明, 本试验中剑麻纤维最佳掺量为 2.0kg/m<sup>3</sup> [14]。

(2) 将纤维掺量为 2.0kg/m<sup>3</sup> 的剑麻纤维混凝土试件 D 与纤维掺量为 0.0kg/m<sup>3</sup> A 的试验做抗压强度试验, 相同外荷载作用下, 试件 A 表面先出现剥皮, 产生一定竖向裂缝, 随着外荷载增加 A 试件的竖向裂缝不断扩展, 在外荷载达到最高值时, A 试件发生崩裂。试件 D 由于掺入最佳掺量的剑麻纤维, 在外荷载影响下, 试件形态未发生破坏, 试件达到极限抗压强度后出现部分细小裂缝, 但裂缝并未贯穿试件, 也未发生突然崩裂的情况。(3) 五组试件剑麻纤维掺量依次增长, 在抗压强度试验中, 试件抗压强度与纤维掺量保持先增长后下降的趋势 [15], 与 0 掺量的试件 A 相比, 当剑麻纤维掺量达到 2.0kg/m<sup>3</sup> 时, 其抗压强度为最大值, 增幅达到最高, 后来随着剑麻纤维掺量增加, 试件抗压强度开始下降。

(4) 在劈裂抗拉强度试验中, 当试件 A 承受最大荷载时, 试件劈裂为两半, 形成了一条深裂缝段; 试件 B、C、D、E 中掺入剑麻纤维后, 随着荷载上升试件表面形成了弯曲的主裂缝, 裂缝宽度很细, 裂缝周边微小裂缝肉眼可见, 但破坏后试件比较完整, 其中裂缝宽度、长度大小依次为 D<E<C<B。

(5) 在抗折强度试验中, 试件 A 的破坏过程最短, 试件快速被劈成两半, 荷载区域边缘出现纵向裂缝, 随着荷载上升开始发展为宽裂缝, 破坏特征显著。B、C、D、E 试件只在边缘底部出现了纵向裂缝, 随着荷载上升试件未出现破坏, 其中试件 D 的裂缝最细、无断裂, 加载过程中未出现开裂响声, 提示剑麻纤维掺量为 2.0kg/m, 试件的抗折强度最佳。

#### 四、剑麻纤维复合材料在建筑工程中的前景展望

目前, 天然纤维复合材料在我国建筑工程领域得到了广泛应用, 尤其是在混凝土工程中天然复合纤维材料在保持节能、环保、可持续等优势的同时, 从一定程度上提高了混凝土结构的质量。剑麻纤维混凝土作为主要的天然纤维复合材料, 在改善混凝土结构力学性

能方面有着显著作用, 未来将成为建筑工程改善混凝土力学性能、实现可持续发展的研究重点。剑麻纤维混凝土作为天然纤维复合材料, 除了具有低碳环保、改善结构力学性能等作用外, 还能够提高材料的热阻值, 因此未来还会在建筑保温系统中大放光彩, 用于夹心墙、保温板等材料的制作; 或者用于路面施工, 提高路面的耐久性, 降低工程造价 [16]。剑麻纤维复合材料未来还会向水利工程、道路工程、航空航天、汽车制造等各个领域拓展, 在更多领域发挥多重优势。

#### 结语:

综上所述, 天然纤维复合材料即天然植物纤维与传统材料的结合。本文以建筑工程为研究切入点, 分析了天然植物纤维的化学成分与力学性能, 为更明确了解天然纤维复合材料在建筑工程的应用力学性能, 以剑麻纤维为研究对象, 进行了剑麻纤维的力学性能研究。研究结果显示, 剑麻纤维在混凝土中并非掺量越高越好, 无论是抗压强度、劈裂抗拉强度还是抗折强度, 剑麻纤维都有最大掺量, 在超过相应标准后混凝土的力学性能会随之下降。建议在建筑工程中使用天然纤维复合材料时, 做好对材料掺量的把控, 维持天然纤维复合材料的最佳力学性能。

#### 参考文献

- [1]覃振林, 周源芳, 林书立, 梁毅. 剑麻纤维和玻璃粉对混凝土力学性能的影响[J]. 广西科技大学学报, 2023, 34(02):45-51.
- [2]李熙, 刘强, 江世雄, 陈垚. 天然植物纤维复合材料在土木工程中的应用研究[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(02):132-134.
- [3]郑海波. 钢纤维-剑麻纤维-纳米纤维素多尺度增强混凝土力学性能和早期收缩抗裂性能研究[D]. 大连理工大学, 2022.
- [4]俞亚楠, 卢小雨. 剑麻纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 安徽工程大学学报, 2022, 37(01):46-51.
- [5]郭耀伟, 蔡明. 天然纤维增强复合材料的应用及发展前景[J]. 纺织导报, 2021, (05):86-90.
- [6]王春红, 鹿超. 植物纤维增强绿色复合材料在建筑应用中的性能研究[J]. 纺织导报, 2019, (S1):90-94.