

# 橡胶混凝土在无筋框架梁中的应用探讨

陶丽梅<sup>\*</sup>, 李厚民

1. 湖北开放大学 / 湖北科技职业学院, 湖北 武汉 430074

2. 湖北工业大学, 湖北 武汉 430068

DOI: 10.61369/VDE.2026030018

**摘 要 :** 本研究以门式框架梁为对象, 系统分析了橡胶混凝土在结构承载性能方面的表现特征与变化规律。实验结果显示, 橡胶混凝土能够增强乃至某种程度上提高框架构造的承载力。梁在跨中部位的应变变化直接影响整个框架体系的承载性能。在使用这种材料于横梁和立柱的连接处时, 可能会明显改变结构的变形表现。

**关 键 词 :** 橡胶混凝土; 框架梁; 承载力; 跨中应变

## A Probe into the Application of Rubber Concrete in Frame Beams

Tao Limei<sup>\*</sup>, Li Houmin

1.Hubei Open University / Hubei University of Science and Technology, located in Wuhan, Hubei 430074

2. School of Civil Engineering and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068

**Abstract :** This research delves into portal frame beams, examining how different methods of applying rubber concrete influence structural load capacity, using model experiments to provide insight. The experimental outcomes indicate that, to a certain degree, incorporating rubber concrete can improve the load-carrying performance of the frame structure. The strain at the midpoint of the beam greatly impacts its ability to bear loads, whereas utilizing this material where the beam connects to the vertical column notably alters the deformation of the structure.

**Keywords :** rubber concrete; frame beam; bearing capacity; midspan strain

作为一种近年迅速发展的建筑用材, 橡胶混凝土已逐渐演变为学术界与工程领域重点探讨和关注的热点。目前对橡胶混凝土的研究重点在于材料性能, 尤其是静态性质, 包括抗压强度、弹性模量、劈裂强度、弯曲强度和抗冻融性能等。在该研究领域内, 北京工业大学、湖北工业大学和广东工业大学等多家科研院校已经发表了许多学术文章。目前的研究主要集中在研究橡胶颗粒的尺寸、添加比例等方面, 这在相关文献<sup>[1-5]</sup>中已经有详细的介绍。

需要注意的是, 虽然橡胶混凝土能够增强混凝土的韧性, 但由于橡胶的加入, 其抗压强度通常会有所降低。该特点限制橡胶混凝土在部分领域的广泛使用, 因此在实际应用时需要综合权衡其韧性增强与抗压强度减少之间的关系, 以最大化其在建筑材料中的优势。

在建筑工程中, 橡胶混凝土相关性能的研究数量较少。北京工业大学的李悦完成了钢筋橡胶混凝土构件的柱伪静力试验以及梁的正截面弯曲试验, 探讨它们的结构性能, 并将结果与普通混凝土构件进行比较。研究发现, 适筋橡胶混凝土梁和普通混凝土梁在受力至破坏过程中, 展现出的破坏模式和相关特征基本相似。然而, 相较于普通混凝土柱, 橡胶混凝土柱的能量耗散能力通常更强。这一发现表明橡胶混凝土在结构应用中具有显著优势, 能够有效提升结构的抗震性能<sup>[6]</sup>。武汉高科国有控股集团有限公司与武汉理工大学土木与建筑学院联合开展试验, 从橡胶颗粒粒径及掺入比例等方面分析其对改性橡胶混凝土力学性能和抗渗性能的影响。研究结果表明, 在普通混凝土中加入橡胶颗粒, 会在内部形成大量分散的柔性组分, 从而提升混凝土的延性与变形能力, 但会在一定程度上削弱其强度, 其具体变化幅度主要受橡胶颗粒掺入量控制<sup>[7]</sup>。李浩然和朱涵等人(来自天津大学)展开了一项理论分析, 研究“在结构中添加橡胶混凝土对抗震特性的影响”。研究显示, 在梁体混合料中掺入橡胶骨料, 可在一定程度上削弱构件的横向刚度, 使结构自振周期延长, 从而减小所受的水平方向地震作用, 进而提升整体的抗震能力<sup>[8]</sup>。然而, 这项研究仅涉及理论层面的计算, 没有进行实验证实。

在结构工程领域, 合理使用橡胶混凝土以降低或维持结构的承载能力是一个具有研究潜力的方向。此文通过门式框架梁的实例, 分析橡胶混凝土的配置和其对结构承载能力及变形关系的影响。

### 一、材料及试验方案

标准 C25 混凝土和含有 20% 橡胶颗粒的橡胶混凝土<sup>[9]</sup>。

该研究采用了粒径为 3mm 到 4mm 的 5 目橡胶颗粒, 将其作为替代砂骨料的一部分应用到不同的混凝土配方中, 分别制作了

根据劈裂试验与压缩测试结果, 原始混凝土的劈裂强度为 1.113 MPa, 而掺入 20% 橡胶的混凝土劈裂强度提升至 1.991 MPa。普通混凝土的抗压强度为 24.88 兆帕, 而加入橡胶后的混凝土

作者简介: 陶丽梅 (1990-), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 研究方向为结构工程。

土其强度减少到 19.91 兆帕<sup>[9]</sup>。

试验结构采用门型框架梁，整体尺寸为长 1m，宽 1m。立柱和横梁的横截面尺寸为 150mm 乘以 150mm。

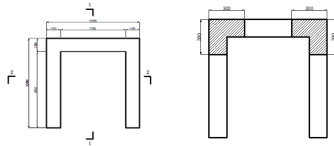


图1 框架梁整体尺寸 图2 橡胶混凝土使用区域 (300mm 橡胶混凝土)

本次试验的目的是对门式结构中立柱与横梁的变形行为进行深入分析与研究。考虑到横梁受到弯曲力的影响，以及立柱经历压缩变形，尤其是在梁柱交汇处，变形表现得更加复杂。因此，该试验选用橡胶混凝土材料在梁柱连接处，突出的韧性有助于增强整个结构的变形协调性。通过采用橡胶混凝土材料，旨在增强梁柱连接区域的变形适应性，同时提升结构的承载能力。

橡胶混凝土被认为是一种解决方案，它的出色韧性可以有效减少梁柱交界处的应力集中，进而提高整体结构抵抗外力的能力。该做法意在增强结构在变形阶段的协同能力，使横梁与立柱在受力与承载过程中共同发挥作用，从而进一步改善门型体系的整体稳定程度与承载表现。实验中使用了五种不同试样进行对比，包括全素混凝土、150毫米、300毫米、450毫米以及全橡胶混凝土。如图2所示，这幅图解描绘了一个300毫米的橡胶混凝土门框结构。其中，阴影区域标识了使用橡胶混凝土的部分。

在试验过程中，为传递负荷采用了反力架装置。梁框架被放置在反力架下方并与地面相触，而两侧则通过吊带将水泥墩紧固，以确保实验现场的安全，防止结构意外坍塌或者人员受伤。

图3详细展示了如何施加负载以及现场测量点的分布情况。在试验过程中，采用在跨中顶部施加荷载的形式进行加载，并在该位置布置了力传感器装置（设置于千斤顶与横梁之间的中间部位）。在跨中下方安装应变片以覆盖该区域，同时使用百分表来监测跨中的应变和位移变化。同时，在立柱外侧安装了另一组应变片（距离顶部350mm处），用于监测立柱的应变状态，并配备百分表以记录其侧向位移。这些探测点和设备的配置旨在全面监控记录荷载施加时横梁和立柱的变形反应，从而保证实验数据的完整性及其准确性。

本次试验对测点的布设以及荷载的施加形式进行了周密规划，旨在在受力条件下全面掌握门型结构中横梁与立柱的变形行为特征。这种实验规划能够提供详细且全面的数据，用于剖析结构行为及其性能，从而为后续的结构分析与优化提供强有力的支持。



图3 门型框架梁加载及测点布置现场图

逐渐提高负载，每次增加2至4kN，借助千斤顶不断施压，直至框架梁出现损坏。在不同加载阶段收集中间位置的应变、挠度以及立柱位置的应变等相关信息。

框架梁在未设置钢筋的情况下，出现了轻微变形便遭到损坏。通常，当发生破坏时，跨中位移通常介于0.2至0.5mm，而立

柱的位移则在0.1至0.2mm之间浮动。鉴于百分表在位移测量上的精度局限，本文只对跨中应变以及立柱处的应变进行了分析研究。具体数据列于表1中。

## 二、试验结果分析

各无筋框架梁的应变数据列表如下：

表1 框架梁测试数据汇总表

| 荷载 / 吨           | 0.01 | 0.2 | 0.4 | 0.61 | 0.8 | 1.02 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 |
|------------------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 跨中应变 / $10^{-6}$ | 0    | 17  | 33  | 52   | 68  | 85   | 101 | 125 | 159 | ×   |
| 立柱应变 / $10^{-6}$ | 0    | 6   | 12  | 18   | 24  | 31   | 36  | 41  | 47  | ×   |

(1) 素混凝土

| 荷载 / 吨           | 0.07 | 0.27 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1  | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 跨中应变 / $10^{-6}$ | 0    | 14   | 32  | 43  | 53  | 76  | 87 | 100 | 114 | 130 | 147 | ×   |
| 立柱应变 / $10^{-6}$ | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 1   | 3  | 5   | 13  | 16  | 21  | ×   |

(2) 150橡胶混凝土

| 荷载 / 吨           | 0.03 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1  | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2 |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|---|
| 跨中应变 / $10^{-6}$ | 3    | 15  | 30  | 46  | 56  | 72 | 88  | 102 | 122 | 143 | × |
| 立柱应变 / $10^{-6}$ | 0    | 4   | 9   | 13  | 16  | 19 | 20  | 25  | 31  | 36  | × |

(3) 300橡胶混凝土

| 荷载 / 吨           | 0.05 | 0.2 | 0.6 | 0.8 | 1  | 1.2 | 1.4 | 1.6 |
|------------------|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 跨中应变 / $10^{-6}$ | 1    | 12  | 44  | 61  | 80 | 105 | 135 | ×   |
| 立柱应变 / $10^{-6}$ | 0    | 2   | 11  | 13  | 18 | 30  | 34  | ×   |

(4) 450橡胶混凝土

| 荷载 / 吨           | 0.02 | 0.2 | 0.41 | 0.6 | 0.8 | 1   | 1.2 | 1.4 | 1.6 |
|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 跨中应变 / $10^{-6}$ | 7    | 25  | 47   | 67  | 89  | 111 | 136 | 194 | ×   |
| 立柱应变 / $10^{-6}$ | 0    | 1   | 6    | 13  | 17  | 22  | 27  | 29  | ×   |

(5) 橡胶混凝土

从表1可以看出，当橡胶混凝土的使用量逐步增加时，框架梁的承载力相应为1.6吨、1.4吨、1.8吨、1.4吨和1.4吨。其中，300毫米的橡胶混凝土框架梁展示了最优的承载性能，达到1.8吨，稍微高于素混凝土框架梁的1.6吨。与其他类型的框架梁相比，未配筋混凝土框架梁在承载能力方面具有更出色的表现。因此，若合理应用橡胶混凝土，或许能稍微增强结构的承载力，同时不会影响框架结构的承载能力。

对两种结构类型，即标准混凝土梁和橡胶混凝土梁展开比较，探讨在荷载施加过程中，跨中和立柱的应变变化特征。根据实验数据，图4展示了两种结构的中段应变和立柱应变随载荷变化的曲线关系。

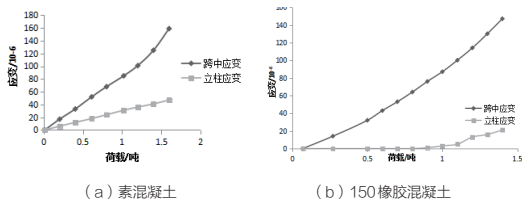


图4 框架梁应变与荷载间的关系曲线

从图4的两个图表中可以观察到，与立柱相比，跨中的应变明显更大，因此框架梁的整体受损主要是由横梁损坏引起的。图4(a)展示了普通混凝土框架梁。观察可知，在结构损坏之前，立柱的变形与施加的力几乎呈线性增长，保持了基本的比例关系。在荷载未超过1.4吨之前，跨中的应变与荷载基本呈线性关系。然而，当荷载增至1.4吨和1.6吨时，应变的增长速度显著加快，最终导致跨中出现裂纹，并迅速断裂，导致失去承载能力。这说明混凝土框架梁在承载与变形过程中，大体表现为近似线弹性行为。图4(b)展示了一个以普通混凝土为主要材料并在两个角部嵌入150mm长的橡胶混凝土的结构。跨中应变与荷载之间的关系呈现出一条斜率逐渐增大的曲线，说明横梁在相同荷载下，早期变形较小，而后期则显著增加。柱子的应变和荷载之间的关系呈现出独特的特点。在荷载增加到1吨之前，柱子应变的略微变化几乎可以忽略不计。

图5给出了五类框架梁在跨中区域的应变随荷载变化的关系曲线。

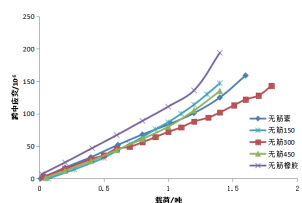


图5 五种框架梁跨中应变与荷载的关系曲线

根据图5，可以观察到，除了橡胶混凝土框架的中梁在跨中应变长期保持较高状态外，其他框架梁在施加较小荷载（小于1吨）时，其应变几乎一致，变化微乎其微。随着荷载的增加，尤其是接近破坏时，跨中应变明显迅速上升。在发生破坏时，各框架梁中部的应变值大约为 $1500\mu\epsilon$ 。此外，从图中的曲线观察，当荷载较高时，300毫米橡胶混凝土框架梁的跨中应变比其他梁要更小，这显示出它比其他四种类型的梁具有更强的承载能力。

五种框架梁的立柱应变与荷载的关系曲线如图6所示。

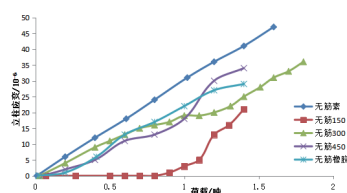


图6 五种框架梁立柱应变与荷载的关系曲线

由图6可知，除素混凝土框架梁中立柱的应变随荷载变化基本呈线性外，其余四种形式的框架梁在立柱应变与外加荷载之间并未表现出明显的线性对应特征。这清楚显示，掺胶混凝土在控制结构位移与变形方面具有突出的影响与贡献。然而，需要强调的是，立柱的应变明显低于跨中应变的临界值，因此立柱还并未达到损坏程度。这一现象表明，掺橡胶的混凝土在结构中发挥了显著作用，它能够明显减小立柱的应变发展速度，推迟其进入破坏阶段，从而对整体结构的安全与稳定产生有利影响。

### 三、结论及展望

该研究针对门型框架梁进行了试验，探究了橡胶混凝土对结构承载力的影响，并得出了以下主要结论：

- (1) 合理应用橡胶混凝土可以维持甚至改善框架结构的承载能力；
- (2) 框架结构的破坏起始于横梁跨中位置，而立柱的应变远远小于跨中的应变；
- (3) 橡胶混凝土的使用对结构的变形具有显著影响，跨中应变与荷载之间基本呈线性关系，而立柱应变与荷载的关系则不呈线性。

然而，在试验过程中存在一些限制，如千斤顶加载方式导致荷载不连续，测试精度不足以及试样数量较少等方面。因此，这一研究方向仍需进一步完善，主要包括以下几个方面：

- (1) 本研究只针对橡胶体积掺量为20%的橡胶混凝土在框架梁中的使用情况进行分析，对其他掺量比例的橡胶混凝土尚未展开探讨。探讨橡胶掺量变化对结构力学表现的作用具有十分重要的研究价值。
- (2) 此研究仅对尺寸较小的门式框架梁进行了模型实验，没有包含全尺寸截面的情况。今后的研究可规划更大范围的试验，从而更加充分地检验其作用与成效。
- (3) 橡胶混凝土的布置形式相对局限，可能影响对变化规律的精确判断以及最佳配比方案的选择。
- (4) 本研究阶段仅对无钢筋框架构件开展了模型试验。后续工作将针对含钢筋结构进行试验研究，以更加全面地考察橡胶混凝土在实际结构工程中的力学与使用性能。

### 参考文献

- [1] 陈卓明. 橡胶混凝土界面性能的研究 [D]. 广东工业大学, 2019.
- [2] 付乾, 薛刚, 许胜, 李京军. 基于正交试验的橡胶混凝土单轴受压应力-应变全曲线研究 [J]. 工业建筑, 2022, 52(03): 191-199.
- [3] 颜岩, 孔昱, 王迎斌, 赵航, 白应华. 橡胶混凝土力学性能及疲劳性能研究 [J]. 湖北工业大学学报, 2023, 38(02): 61-65.
- [4] 孙雪伟, 高培伟, 张万磊. 橡胶混凝土性能及其应用研究 [J]. 内蒙古公路与运输, 2022(06): 34-37+42.
- [5] 李厚民, 张岩, 王仪政等. 钢纤维改性橡胶混凝土力学性能研究 [J]. 建筑科学, 2015, 31(11): 45-49.
- [6] 李悦, 吴玉生, 杨玉红, 韩兆兴, 王敏. 钢筋橡胶集料混凝土结构性能研究 [J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(12): 1280-1285.
- [7] 周爱强, 康俊涛. 不同粒径及掺量对改性橡胶混凝土性能的影响 [J]. 山西建筑, 2023, 49(21): 108-111.
- [8] 李浩然, 朱涵, 朱学超. 横梁含橡胶集料对某框架-剪力墙结构抗震性能的影响 [J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2013, 25(2): 149-155.
- [9] 李厚民, 陶丽梅, 舒展. 橡胶混凝土在钢筋混凝土框架结构中的应用 [J]. 建筑结构, 2019, 49(23): 123-126.
- [10] 李鹏飞, 李志堂, 许伟等. 泥灰石粉对自密实混凝土性能的影响 [J]. 武汉理工大学学报, 2021, 43(03): 1-6.