

# 可控性低强度材料及其工程应用

黄楠, 许添耀, 张之骋  
台州学院, 浙江台州 317700

**摘要:** 本文通过探讨可控性低强度材料及其工程应用, 旨在推动材料科学的发展。文章首先分析了可控性低强度材料的定义、特性及分类, 再分析了可控性低强度材料的制备技术, 最后探究了可控性低强度材料的工程应用。分析发现, 可控性低强度材料的出现, 不仅是对传统材料性能的一次重要拓展, 更是对未来工程材料发展趋势的一种深刻预见。它们的应用, 不仅能够显著提升产品的安全性、舒适性和耐用性, 还能够促进资源的高效利用和环境的可持续发展。

**关键词:** 可控性低强度材料; 应用; 制备

## Controllable Low-Strength Materials and Their Engineering Applications

Huang Nan, Xu Tianyao, Zhang Zhicheng  
Taizhou University, Taizhou, Zhejiang 317700

**Abstract:** This article explores controllable low-strength materials and their engineering applications to advance the development of materials science. The paper first analyzes the definition, characteristics, and classification of controllable low-strength materials. Then, it examines the preparation techniques of these materials. Finally, it explores the engineering applications of controllable low-strength materials. The analysis reveals that the emergence of controllable low-strength materials not only represents a significant expansion of traditional material properties but also provides a profound foresight into the development trend of future engineering materials. Their applications can not only significantly improve product safety, comfort, and durability but also promote efficient resource utilization and sustainable environmental development.

**Keywords:** controllable low-strength materials; applications; preparation

## 引言

随着科技的飞速发展, 材料科学作为支撑现代工业与科技进步的基石, 正不断涌现出新型、高性能的材料以满足日益复杂多变的工程需求。其中, 可控性低强度材料作为一类新兴的功能性材料, 凭借其独特的性能调控能力与广泛的应用潜力, 正逐渐成为材料科学领域的研究热点。这类材料不仅能够在特定条件下展现出预设的低强度特性, 还能通过科学的配方设计、先进的制备工艺及外部条件调控, 实现强度的精细调节, 从而满足不同领域对材料性能的多样化要求。可控性低强度材料的研究与应用, 不仅丰富了材料科学的内涵, 也为众多工程领域的技术创新提供了强有力的支撑。从航空航天到汽车制造, 从建筑家居到医疗器械, 可控性低强度材料凭借其卓越的减震缓冲、能量吸收、形状记忆等功能特性, 正逐步改变着我们的生活与工作方式。因此, 深入探讨可控性低强度材料的制备技术、性能特点及其工程应用, 对于推动材料科学的发展、促进相关产业的技术进步具有重要意义。

## 一、可控性低强度材料概述

### (一) 定义与特性

可控性低强度材料是指一类在特定条件下, 通过精细调控其成分、结构或制备工艺, 使其展现出预设的低强度特性, 并且这一强度水平在较大范围内可灵活调整的材料<sup>[1,2]</sup>。这类材料不仅具有独特的力学性能, 还融合了多种优越特性(表1)。

表1 可控性低强度材料的特性

特性	具体特性
低强度	相较于传统高强度材料, 可控性低强度材料在预设条件下展现出较低的抗压、抗拉或抗剪等力学性能, 这一特性使其在某些需要柔韧性、缓冲或吸能的应用中表现卓越。

特性	具体特性
可控性强	其核心特性在于其强度水平的高度可调节性。通过改变材料的配方、制备工艺或环境条件, 能够精确控制材料的强度范围, 实现从极低强度到中等强度的广泛覆盖, 满足不同工程设计的精确需求 <sup>[3]</sup> 。
环保	可控性低强度材料在生产、使用及废弃处理全生命周期中, 均表现出较低的环境影响。这得益于其原材料的可再生性、制备过程的低能耗低排放, 以及废弃后易于回收再利用或自然降解的特性 <sup>[4]</sup> 。
耐久性好	尽管具有较低的初始强度, 但可控性低强度材料往往通过优化结构设计、增强界面结合力或引入特定添加剂等手段, 显著提升其长期使用下的稳定性与耐久性, 确保在复杂多变的环境中保持稳定的性能表现。

## （二）分类

可控性低强度材料可根据不同的分类标准进行划分。从基体材料的角度来看，它们可分为聚合物基可控性低强度材料（如热塑性弹性体、形状记忆聚合物等）、金属基可控性低强度材料（如低屈服点钢、多孔金属材料等）以及陶瓷基可控性低强度材料（如多孔陶瓷、纤维增强陶瓷复合材料等）。此外，还可以根据材料的应用领域进行分类，如航空航天用可控性低强度材料、汽车制造用可控性低强度材料、建筑用可控性低强度材料等。这些分类方式有助于更清晰地理解可控性低强度材料的特性与应用范围。

## 二、可控性低强度材料的制备技术

### （一）制备原理与方法

制备过程首先基于材料性能与应用需求的深入分析，精心挑选原材料，确保每种成分都能对最终材料的低强度与可控性产生积极影响。随后，通过科学计算与实验验证，确定各成分的最优配比，以达到调节材料力学性能、优化微观结构的目的。这一过程需要综合考虑材料的物理性质、化学反应活性及相容性等因素，以实现材料强度的精确调控。

化学反应控制技术在制备过程中扮演着至关重要的角色。通过精确控制反应温度、压力、时间以及反应物浓度等参数，可以引导化学反应向有利于形成低强度且可控性强的材料结构方向发展。例如，采用溶胶-凝胶法、共沉淀法或化学聚合反应等技术，可以实现分子级别的均匀混合与组装，从而构建出具有特定强度特性的材料结构。此外，化学反应过程中的相分离、成核与生长等动力学过程也需要被精确控制，以确保材料性能的均一性与稳定性。

物理与化学改性方法是进一步提升材料性能的重要手段。物理改性方法如拉伸、压缩、热处理等，可以改变材料的晶体结构、致密度及缺陷分布，从而影响其强度特性。而化学改性方法则通过引入特定的官能团、进行表面改性或与其他物质发生化学反应，来改变材料的化学组成与表面性质，进而提升其可控性与耐久性。例如，利用交联反应或接枝共聚技术，可以在材料分子链间形成稳定的化学键合，提高其结构稳定性与强度可控性；而表面涂覆或包覆技术则可以有效隔绝外部环境对材料性能的侵蚀作用，延长其使用寿命。

### （二）原材料选择与配比

可控性低强度材料的原材料种类繁多，主要可分为基体材料、改性剂、增韧剂、填充剂等几大类。基体材料作为材料的主体部分，直接决定了材料的基本性质，常见的基体材料包括高分子聚合物、弹性体、合金等。这些材料的选择需根据具体应用场景对强度、韧性、耐候性等方面的要求来确定。改性剂则用于调整材料的微观结构和性能，如提高材料的耐老化性、耐磨性等；增韧剂则能增加材料的柔韧性和抗冲击性；填充剂则可用于降低成本、改善加工性能或赋予材料某些特殊功能。在原材料选择时，还需考虑原材料的纯度、粒径分布、形状等因素，这些因素

都会影响材料的均匀性、力学性能及加工性能。同时，原材料之间的相容性也是选择过程中需要考虑的重要因素，以避免在制备过程中出现分层、剥离等不良现象。

配比设计是指根据材料的性能要求和使用条件，通过科学的计算和实验验证，确定各原材料之间的最佳比例。配比设计需要考虑多个因素，包括基体材料与改性剂、增韧剂、填充剂之间的相互作用关系，以及各成分对材料最终性能的影响程度和权重。在具体操作过程中，首先需要确定基体材料的种类和用量，作为制备过程的基础。然后，根据材料的性能要求，逐步添加改性剂、增韧剂和填充剂，并通过预实验来评估不同配比下材料的性能表现。通过反复调整和优化配比方案，直至获得满足性能要求的可控性低强度材料。配比设计不仅需要理论知识的支撑，还需要大量的实验验证和数据分析<sup>[5]</sup>。在实际操作中，可以利用先进的计算机模拟技术和实验设计方法来加速配比优化过程，提高制备效率和产品质量。

### （三）制备工艺流程

可控性低强度材料的制备工艺流程是一个精细且系统的过程，旨在通过一系列精确控制的步骤，将选定的原材料转化为具有特定性能要求的成品材料。首先，制备过程始于原材料的预处理阶段。这一步骤对于确保后续工艺的稳定性 and 材料的最终性能至关重要。原材料如高分子聚合物、弹性体、合金等，需根据其性质进行清洗、干燥、粉碎或造粒等预处理操作，以去除杂质、调整粒径分布，并增强原料间的混合均匀性。同时，对于某些需改性的原材料，还需进行活化、表面处理等预处理工艺，以提高其与改性剂或其他添加剂的结合能力。接下来是混合与均化阶段。在此阶段，经过预处理的原材料与改性剂、增韧剂、填充剂等添加剂按照预先设计好的配比进行混合。混合过程可采用干法混合或湿法混合，具体取决于材料的特性和工艺要求。为确保混合均匀性，通常会采用高速混合机、捏合机或双螺杆挤出机等高效混合设备，并在混合过程中严格控制温度、时间等工艺参数。通过这一步骤，原材料与添加剂之间实现充分混合，为后续的成型工艺打下基础。随后是成型与固化阶段。在这一阶段，混合均匀的物料被送入成型设备中，通过挤压、注塑、模压或浇注等成型工艺，使物料在模具中定型。成型过程中需严格控制温度、压力、时间等工艺参数，以确保成品的尺寸精度和表面质量<sup>[6]</sup>。对于需要固化的材料，如某些热固性树脂基体材料，还需在成型后进行加热固化处理，使材料分子链间发生交联反应，从而提高材料的力学性能和耐热性。最后，经过成型与固化处理的半成品需进行后处理与检验。后处理包括修边、打磨、抛光等表面处理工艺，以及热处理、老化试验等性能优化工艺。这些处理旨在进一步改善材料的外观质量和性能稳定性。同时，对成品进行全面的质量检验也是不可或缺的环节，包括尺寸测量、力学性能测试、耐候性测试等，以确保产品符合预定的性能指标和使用要求。

### （四）性能测试与评估

性能测试与评估是验证可控性低强度材料性能是否符合预期的重要环节。在实验室制备完成后，需对样品进行全面的性能测试，包括强度测试、韧性测试、耐久性测试、环保性能测试等多

个方面<sup>[7]</sup>。强度测试用于评估材料的抗压、抗拉或抗剪等力学性能；韧性测试则关注材料在受到冲击或变形时的能量吸收能力；耐久性测试则模拟材料在长期使用过程中的性能变化；环保性能测试则评估材料在生产、使用及废弃处理过程中的环境影响。通过这些测试，可以全面了解材料的性能特点与潜在问题，并为后续的配方优化与制备工艺改进提供数据支持。同时，还需将测试结果与预期目标进行对比分析，以评估材料的可控性是否达到设计要求。

### 三、可控性低强度材料的工程应用

#### （一）航空航天领域

在航空航天领域，可控性低强度材料的应用极大地提升了飞行器的安全性、舒适性和能效性。例如，作为飞机座椅的缓冲材料，可控性低强度材料能够有效吸收乘客在飞行中遇到的冲击和振动，提升乘坐舒适度；同时，在紧急情况下，这些材料还能在预设条件下降低强度，确保乘客安全疏散。此外，在航天器的着陆系统、隔热层以及太阳能帆板等部件中，可控性低强度材料也发挥着重要作用，通过调节其强度特性以适应极端环境条件，保障航天任务的成功执行。

#### （二）汽车制造领域

汽车制造是可控性低强度材料应用的另一重要领域。在车身结构设计中，采用可控性低强度材料可以减轻车辆重量，降低燃油消耗，提升车辆的经济性和环保性。同时，这些材料还能在碰撞时有效吸收和分散能量，保护乘客安全。例如，在车门、保险杠等关键部位采用可控性低强度材料制成的吸能结构，可以在发生碰撞时迅速变形并吸收冲击能量，减少乘客受到的伤害。此外，在车内装饰件、隔音材料等方面，可控性低强度材料也因其良好的加工性能和环保特性而受到青睐。

#### （三）建筑与家居领域

在建筑与家居领域，可控性低强度材料的应用则更加注重其舒适性和环保性。在建筑领域，这些材料可以用于制作隔音隔热材料、抗震减震装置等，提升建筑物的居住舒适度和安全性。例如，在高层建筑的外墙保温系统中采用可控性低强度材料，可以在保证保温效果的同时减轻建筑自重，提高结构稳定性<sup>[9]</sup>。在家居领域，可控性低强度材料则可用于制作床垫、沙发垫等软体家具，提供舒适的坐卧体验；同时，这些材料还具有良好的透气性和防潮性，有助于保持家居环境的干爽和卫生。

#### （四）其他领域应用

除了上述领域外，可控性低强度材料还在医疗器械、体育用品、电子设备等多个领域得到了广泛应用。在医疗器械方面，这些材料可以用于制作手术缝合线、人工关节等医疗植入物，通过调节其强度特性以适应不同的医疗需求<sup>[10]</sup>。在体育用品方面，可控性低强度材料可用于制作运动鞋底、护具等产品，提升运动员的运动表现和安全性。在电子设备方面，这些材料则可用于制作柔性电路板、可穿戴设备等新兴产品，推动电子产业的创新与发展。

### 四、结语

综上所述，可控性低强度材料作为一种新型的功能性材料，其独特的性能调控能力与广泛的应用前景，为现代工业与科技的发展注入了新的活力。随着研究的不断深入和技术的持续创新，相信可控性低强度材料将在更多领域展现出其独特的魅力与价值。未来，期待通过跨学科的合作与交流，进一步挖掘可控性低强度材料的潜力，推动其在工程应用中的广泛普及与深入发展。同时，也期待相关政策的支持与引导，为可控性低强度材料的研发与应用营造良好的外部环境，共同推动材料科学的繁荣与进步，为人类社会的可持续发展贡献力量。

### 参考文献

- [1] 于薇, 于凯丽, 赵秀云. 可控性低强度材料 (CLSM) 研究现状 [J]. 居舍, 2020, (02): 34.
- [2] Ling T C, Kaliyavaradhan S K, Poon C S. Global perspective on application of controlled low-strength material (CLSM) for trench backfilling - An overview [J]. Construction & Building Materials, 2018, 158: 535-548.
- [3] Gassman S L, Pierce C E, Schroeder A J. Effects of Prolonged Mixing and Retempering on Properties of Controlled Low-Strength Material (CLSM) [J]. Aci Materials Journal, 2001, 98(2): 194-199.
- [4] 于凯丽, 于薇, 赵秀云. 浅析 CLSM—可控性低强度材料 [J]. 门窗, 2019, (15): 231.
- [5] 田甜. 减水剂对可控性低强度材料流动性的影响研究 [J]. 建材与装饰, 2020, (08): 53-54.
- [6] 张峻, 兰思杰, 李阳, 等. 用电石渣、钢渣和煤矸石制备可控性低强度材料 [J]. 环境工程学报, 2016, 10(04): 1967-1972.
- [7] 崔旻昊. 材料配比与施工环境对可控性低强度材料的影响 [J]. 交通科技, 2023, (01): 98-101.
- [8] 郭曙光, 张宏, 王智远. 可控性低强度回填材料性能研究 [J]. 内蒙古公路与运输, 2012, (04): 10-13.
- [9] 柯睦濠, 张耀中, 赵秀云. 可控性低强度材料的研究进展 [J]. 地产, 2019, (16): 26.
- [10] 胡莹, 刘笑涵, 王靖宇, 等. 低强度脉冲超声波辐照与泡沫 TiC/Ti 对犬节段性骨缺损修复的促进作用 [J]. 中国比较医学杂志, 2013, 23(04): 44-47+56.