总第17期

流变学通讯

Rheology Communications

2021 1

中国力学学会 中国化学
会流变学专业委员会
Chinese Society Rheology

顾　问：陈文芳（北京大学）　　江体乾（华东理工大学）　　许元泽（复旦大学）
杨挺青（华中科技大学）罗迎社（中南林业科技大学）解孝林（华中科技大学）
主　编：张劲军（中国石油大学.北京）
副主编：　罗文波　俞　炜　袁学锋　赵晓鹏　郑　强
编　委：
陈　全（中国科学院长春应用化学研究所）
陈文义（河北工业大学）
丁　科（中南林业科技大学）
方　波（华东理工大学）
龚兴龙（中国科学技术大学）
黄书岭（长江水利委员会长江科学院）
李翠平（北京科技大学）
李鸿英（中国石油大学（北京）
李勇进（杭州师范大学
刘琛阳（中国科学院化学研究所）
刘跃军（湖南工业大学）
卢拥军（中国石油科学技术研究院）
彭海炎（华中科技大学）
彭响方（福建工程学院材料科学与工程学院）
饶秋华（中南大学）
魏进家（西安交通大学）
许高杰（中国科学院宁波材料技术与工程研究所）
许晶禹（中国科学院力学研究所）
杨　伟（四川大学）
余　淼（重庆大学）

编辑部：宋义虎（浙江大学）
编辑部地址：浙江杭州市浙大路 38 号，浙江大学高分子楼
邮政编码：310027
Email：s_yh0411@zju.edu.cn

目 录

金属矿膏体流变学初探 6
磁性液体的流变学研究 6
原油电流变效应及其机理研究 6
复杂流体研究方法的物理思考 7
医用生物材料及表界面设计 8
橡胶纳米复合材料非线性流变行为 8
当新冠肺炎遇到系统流变学 8
非晶聚合物的流变学行为及其本构理论 9
Computational and Theoretical Designing of Polymer Composites with Desired Rheological Properties* 9
Fe_3O_4 复合纳米木质纤维素在磁流变液中的增强作用* 10
Rheology of microgel particles at the oil-water interface* 10
PP/EPR/SiO_2 复合体系的流变行为研究 10
Shear-induced breakdown and aggregation in nanoparticles filled polymer: from the viewpoint of moduli decomposition 11
超弹性圆管应变局部化行为实验研究与数值仿真 11
玻璃态高聚物应力松弛行为的变分数阶建模 11
Unusual nonlinear behavior of filled elastomers: the quasi-sinusoidal responses that has a strain-dependent modulus 12
低浓度杂化纳米流体的流变特性研究 12
不同含水率层间错动带力学特性试验研究 12
玻璃态聚合物表面黏弹性 13
掺加石墨烯水泥浆的流变行为与粘度预测模型 13
磁流变弹性体的压阻和压容效应机制比较研究 13
磁流变弹性体表面的液滴铺展动力学行为仿真 14
NdFeB 增强磁流变弹性体的双向磁控特性研究 14
磁流变材料及其在高速列车上的应用研究 14
非胶质颗粒悬浮液剪切变稀行为的研究 15
电磁耦合效应复合粒子的制备、性能及应用研究 15
磁流变弹性体支座的多场耦合自感知性能研究 15
基于路堤土蠕变行为的路堤预应力损失模型 16
尺寸效应对聚丙烯熔体微尺度剪切粘度的影响研究*1 16
聚氨酯弹性体应力-应变关系本构模型的大数据研究 17
高分子的熔体记忆效应与链缠结行为 17
耐高温氯化钙加重压裂液体系及其流变性能研究 17
磁控节流单元与复位碟形弹簧并联型缓冲器 18
直升机磁流变阻尼器设计及特性分析 18
磁敏材料的非线性力学模型 18
磁路改进型磁流变扭转减振器力学特性研究 19
磁敏橡胶聚合物的优化设计与摩擦学性能调控 19
湍流复杂涡结构的并行计算及表征 19
电磁耦合流变效应抛光装置研究 20
基于 MRE 变刚度 TMD 的在建桥塔风振控制研究 20
基于变阶分数阶导数的岩石全阶段蠕变模型 20
磁流变液沉降实时原位监测系统：数值分析与试验研究 21
仅需 1 毫克样品、微牛顿力分辨率的剪切流变仪 21
多分散高分子量聚合物溶液在剪切和拉伸流场下动力学性质与浓度依赖关系的实验研究 21
高分子纳米复合材料在阶跃剪切下的特征流变行为研究 22
惯性湍流直接数值模拟和粘弹流并行计算求解器的初步研究 22
含有环状链的相容性共混物链段动力学研究 22
双分布缠结高分子溶液的剪切硬化 22
复合铁磁性 Fe_3O_4@CNT 纳米流体粘度特性研究 23
高强度、高模量玻璃态聚合物水凝胶 23
含牺牲键网络硫化胶的流变行为研究* 24

基于深海底质流变特性的集矿机履齿启动牵引力计算模型研究 24
基于流变学的抗老化沥青性能评价 24
基于氢键作用的高强度物理水凝胶的力学性能及流变行为 25
界面立构复合双连续高分子合金的构筑及流变特性 25
在剪切流场下氧化石墨烯悬浮液的流变学实验研究 25
面向磁控吸波涂层的磁流变复合材料制备及电磁性能研究 26
集矿机振动荷载作用下非均质深海沉积物动力响应分析 26
直升机座椅磁流变装置隔振缓冲性能仿真分析 26
粘弹性材料特慢蠕变的局部结构导数本构模型 27
一种用于提拉镀膜基板受力和表面张力测量的新方法 27
深海富稀土沉积物的流变性能研究及其在流态化开采中的应用 27
黏弹性理论的昂萨格原理解读 28
聚乙烯蠕变断裂的裂尖过程区模型 28
提拉镀膜中屈服应力流体动力学特性模拟研究 28
基于路堤土蠕变行为的路堤预应力损失模型 29
填充橡胶的双轴蠕变行为 29
聚合物熔体中链动力学的模拟研究 29
聚合物薄膜厚度对链缠结行为的影响 30
离子强度对膨润土悬浮液流变行为的影响 30
新型磁流变扭转式变阻尼变刚度减振器特性研究 30
尼龙薄膜拉伸过程中的结晶特性和流变行为 31
一种磁流变液在线沉降监测方法及实验 31
流变研究乙烯丙烯无规共聚物/聚丙烯共混物剪切场下的结晶动力学 31
小型磁流变隔振支座优化设计与性能研究 32
纳米磁性颗粒/粘土分散体系流变性研究 32
室温固化环氧树脂胶黏剂时间-应力等效性及其长期力学性能研究 32
碳纳米管分散液的分散状态及其流变性能 33
高性能交联聚离子液基电流变液*33
聚己内酯基电磁吸波结构材料的可重构磁诱导调谐吸波特性研究 33
天然蛋白质材料的加工流变性能调控及其空气净化应用 34
沥青混合料的一种非线性分数阶黏弹塑性蠕变模型 34
扩链剂对水性聚氨酯压敏胶流变性能和粘接性能的影响 34
具有多线谱振动的精密隔振平台时滞分频模糊控制研究 35
PVC 材料受载变形的力热磁效应 35
含蜡环戊烷水合物浆液的生成及流变特性研究 36
基础液对草酸氧钛钙电流变液性能影响研究 36
基于双连续相的高性能电流变材料 37
具有参数不确定的全地形车磁流变悬架系统时滞鲁棒 H_∞ 控制研究* 38
Understanding the structural evolution under the oscillatory shear field to determine the viscoelastic behavior of nanorod filled polymer nanocomposites 38
磁流变半主动冲击缓冲控制系统：数值分析与落锤试验 39
动态共价键型表面活性剂的 pH 黏度响应体系流变行为研究 39
基于动态共价键表面活性剂的 pH 响应体系流变特性 40
基于预交联凝胶颗粒的二元非均相调驱体系流变特性研究 40
流变学法研究等规聚丙烯/乙烯丙烯无规共聚物共混物剪切场下结晶动力学 41
流变学研究交联聚己内酯在拉伸场下的结晶动力学 41
流变学研究聚乳酸与弹性体间的界面性能 41
一种耐温型两亲聚合物溶液的流变特性研究 42
疏水链长对两亲聚合物主客体包合体系流变性及乳化性的影响机制研究 42
十二烷基硫酸钠/二乙烯三胺体系蠕虫状胶束流变性研究 43
基于人体四自由度集中参数模型的磁流变耗能器缓冲系统模糊控制* 43
全自动磁流变液沉降检测仪的工程化开发 43
融合音乐艺术、人脸表情、语音互动的磁流体智慧科教演示装置 44
LLDPE/MWCNT 纳米复合材料流变特性和力学性能的相关性 44

s-PMMA 特殊松弛行为研究 45
TiO_2 颗粒基电流变弹性体蠕变的时电等效原理 45
苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物的 Payne 效应 45
表面活性剂棒状胶束自组装模型的布朗动力学研究 45
玻璃微珠填充弹性体在循环载荷作用下的迟滞现象 46
不同表面活性剂下含蜡油-水界面剪切流变特性研究 46
不同还原程度的聚乙基苯胺/还原氧化石墨烯纳米片的介电极化和电流变响应 46
不同物性原油对管道蜡沉积溶蜡效果对比 47
掺混俄罗斯稀油对大庆原油流变性的影响规律研究 47
缠结高分子流体的剪切带 47
超分子聚氨酯复合材料的制备及大幅拉伸性能研究 47
超临界二氧化碳连续挤出在辅助聚合物加工方面的应用 48
稠油掺稀蜡沉积规律实验研究 48
稠油-水乳状液流变特征与再启动行为研究 48
触变性尾砂膏体管道输送阻力的稳态解析解 49
磁场与流场复合作用下磁流变液的微观结构模型研究 49
磁流变弹性体力—磁耦合模型及其隔振应用研究 49
磁流变塑性体的磁-力-电耦合性能研究 49
磁流变液电容的频率相关性测试与分析 50
磁流变液执行器阻尼力无模型跟踪控制与试验研究 50
磁敏力学超材料的编程打印与泊松比调控 50
低温交联的高强度栲胶冻胶研究 51
低阻抗磁流变弹性体的压阻特性 51
电场强度对电流变弹性体蠕变行为的影响 51
淀粉纳米晶稳定水包辛酸癸酸甘油三酯乳液的流变学研究 51
动态模量法测量超高分子量聚乙烯的分子量和分子量分布 52
多相态结构改性沥青的流变学特征参数研究 52
二维粘弹性流体圆柱旋转绕流数值模拟研究 52
非饱和土时间相依变形特征试验研究 53
非布朗颗粒对幂律流体流变特性的影响规律研究 53
分散介质和温度对剪切增稠液流变行为的影响 53
高聚物跨越玻璃转变力学行为的变分数阶本构模型 53
高铁隧道路基上拱变形蠕变成因试验研究 54
高温聚合物压裂液静态破胶体系的流变性 54
孤东稠油驱油用表面活性剂研究 54
贯通多孔聚丙烯酸十八酯降凝剂对合成蜡油流变性的影响研究 55
光引发阻聚剂调控的全息高分子/液晶复合材料光流变学行为 55
含蜡水合物浆液流变性研究进展 55
含蜡油流变性与阻抗性质的电场效应研究 56
横向磁场提高磁流变液悬浮稳定性实验研究 56
环氧沥青固化过程中的流变学特性研究 56
基于流变仪改造的尾矿动态脱水性能研究 57
基于硼-氮配位超分子聚氨酯弹性体的大形变与破坏行为研究 57
基于无溶剂纳米流体调控聚乳酸纤维膜润湿性能及其油水分离应用研究 57
基于线状介孔纳米二氧化硅制备的 Pickering 乳液及其流变性研究 58
基于有限体积法的磁流变液颗粒沉降动态过程数值模拟 58
加剂含蜡原油的流变性对蜡沉积影响的研究 58
剪切和加热对含蜡原油电场处理改性效果的影响 59
剪切速率、悬浮液基液混合比例对 PMMA 悬浮液粘度影响的实验研究* 59
剪切增稠液@磁流变膜的流变性能及其应用研究 59
胶凝含蜡原油电流变效应研究 60
胶质对含蜡油胶凝特性影响的研究 60
胶质含量对胶凝含蜡油电流变效应的影响研究 60

金属矿尾砂浆压缩与剪切屈服应力的关系 61
具有尺寸依赖性的分子内交联纳米粒子的松弛行为 61
具有双网络结构的聚合物基磁流变海绵体力学性能研究 61
聚合物成形过程中分子取向与双折射的预测与调控 62
聚合物纳米复合材料流变特性对超临界微孔发泡行为的影响 62
聚合物型流动改进剂对含沥青质模拟油/水界面特性的影响 62
抗溶泡沫液管流摩阻损失分析 63
颗粒粒径对非胶体悬浮液剪切变稀特性影响的研究* 63
颗粒链取向对磁流变弹性体磁致剪切模量的影响研究 63
壳聚糖/纤维素基离子凝胶的流变行为 64
枯草菌脂肽钠/十八烷基三甲基氯化铵协同增稠胶束体系流变性研究 64
矿山膏体料浆管输静置阶段的光学微流变分析 64
拉伸形变诱导纤维素接枝两嵌段“瓶刷状”共聚物弹性体产生取向微结构以模仿皮肤的机械力学性能 65
蜡晶与水滴的相互作用对油包水型乳状液胶凝结构强度的影响 65
冷轧对聚对苯二甲酸乙二醇酯（PETG）力学行为的影响 65
离子液体基磁流变液的制备及其流变特性 66
离子液体修饰二氧化钛的电流变性能研究 66
锂电池电极纳米颗粒和粘接剂在充电放电循环中的应力计算 66
链状钴颗粒磁流变弹性体的制备及性能 67
两性表面活性剂/聚合物二对稠油水包油型乳状液流变性的影响规律研究 67
流变-偏光显微原位同步测量技术在含蜡原油流变性研究上的尝试 67
流变学研究长链支化聚乳酸/右旋聚乳酸共混物的结晶动力学 68
流变学在高含水不加热集油中的应用 68
纳米降凝剂对含蜡原油流变性及管道启动流的影响研究 68
聚酰亚胺复合材料的界面调控与高性能化设计 68
纳米纤维素稳定的磁流变悬浮液的流变性能 69
耐温 150℃黏弹性阳离子 Gemini 表面活性剂/水杨酸钠/KBr 胶束体系流变性研究 69
铌碳化物氧化物(Nb_2O_5/C)的电流变液的粘弹性表征 70
尿素对聚丙烯酰胺水溶液流变性质的影响规律研究 70
凝胶网络结构的流变学研究 70
气体/赫歇尔-伯克利流体两相分层流动特性研究 71
屈服应力测量时胶凝含蜡油结构破坏的机理研究 71
全尾砂膏体流变特征的剪切历史效应 71
热历史对含蜡原油结构破坏与恢复的影响 72
热油管道冲刷热洗分析 72
软基复合材料中 Mullins 效应的实验和理论研究 72
使用粘弹性流体槽道湍流减阻流动对比研究对数构象表达法原始构象表达法的数值模拟性能 72
双颗粒在蠕虫状胶束流体中沉降过程的研究 73
顺丁胶硫化网络结构对 Payne 效应的影响 73
炭黑填充天然橡胶纳米复合材料的 Payne 效应 73
碳粒子拓扑形状对 PVA 水溶液流变行为的影响 74
碳纳米管增强的交联聚苹果酸的光热刺激响应性生物复合材料 74
碳纤维取向的原位介电测量 74
填充橡胶纳米复合物中的应变软化行为 74
微凝胶颗粒在油-水界面的剪切流变性能 75
温度对表-聚复合体系结构及粘度影响的分子动力学研究 75
温度对纳米银烧结体力学行为的影响及分数阶演化模型 75
五元疏水聚合物压裂液流变性研究 76
新拌水泥乳化沥青胶浆的黏度预测 76
修正 Carreau 非牛顿流体在圆管内流动流场的摄动解 76
液体橡胶对异戊橡胶硫化胶 Mullins 效应的影响 77
乙酸辅助亲水性离子液体掺杂二氧化钛的电流变性能研究 77
用大幅振荡剪切研究聚丙烯的长链支化结构 77

用流变学手段表征测试 PVA/SA 水凝胶体系网络稳定性 77
用毛细管流变仪测-算假塑性流体在超低切变微区的粘流活化能及其系数 a3 a5 78
用于盲文显示的电流变阀门仿真分析与参数选择 78
油气藏改造过程流体行为与流变特性研究 78
油气藏改造压裂液体系本征交联微流变性能研究 79
有机锌活性剂对天然橡胶体系流变行为的影响 79
杂化交联丁腈橡胶的力学性能和流变行为 79
针对磁流变阻尼器响应时间的结构优化及其仿真验证 80
智能变频磁流变调谐质量阻尼器在海上风机减振控制中的应用 80
竹集成材蠕变特性 Burgers 模型适应性研究 80
竹纤维填充聚丙烯复合材料剪切应力松弛时间表征 81
主链、支链及自交联聚离子液电流变材料的电流变特性 81
自悬浮的 N-羧甲基壳聚糖类流体制备及抗菌性能 81
环氧树脂改性共混体系的流变学研究 82

金属矿膏体流变学初探

吴爱祥
北京科技大学土木与资源工程学院，北京 100083

金属矿膏体充填技术因其安全、环保、经济、高效的优势已成为全球矿业领域的研究热点和发展趋势之一。但膏体充填的基础理论还相对薄弱，制约着膏体充填核心技术的发展。为此，面向金属矿膏体充填技术中浓密、搅拌、输送和充填固化四个工艺环节的工程需求，作者带领团队初步构建了金属矿膏体流变学理论基本框架。本次报告主要分享金属矿膏体流变学理论的四个研究进展：

（1）全尾砂浓密流变行为：浓密是为了获得高浓度的料浆，但剪切应力与塑性黏度无法系统描述浓密过程料浆的流变行为。为此，需要对浓密全过程流变特性进行表征，分析剪切作用下底流浓度与流变特性相互影响机理，从而建立基于流变学的连续稳态浓密模型。

（2）膏体搅拌流变行为：搅拌是为了获得均质流态化的膏体料浆，但是搅拌是一个复杂的过程。需要分析膏体细观结构与流变特性随搅拌时间演化规律，建立搅拌过程中膏体的流变本构方程，为搅拌参数提供指导。

（3）膏体管道输送流变行为：膏体具有多组分、高固含的特点，传统基于两相流理论的管输阻力模型不适合。为此，需要分析膏体管道输送中影响管阻的触变效应、时-温效应及管壁滑移效应，建立膏体管输阻力模型，从而对管阻进行精准预测。

（4）充填体流变行为：充填体是一种人工低强度类岩石，蠕变是充填体的重要流变特性之一。为此，需要探明蠕变过程中充填体细观结构与蠕变特性的关联机制，建立适用于膏体的蠕变模型，对充填体失稳破坏前的蠕变变形规律进行精确描述。

磁性液体的流变学研究

李德才
清华大学摩擦学国家重点实验室

磁性液体是一种新型的纳米功能材料，它是由纳米磁性颗粒，基载液和表面活性剂组成。在本报告中，作者论述了磁性液体的独特流变学特性及其应用；制备了不同粒径大小的磁性液体，并对磁性液体的磁化强度进行了表征；研究了不同磁性颗粒的粒径和温度对磁性液体磁粘效应和动态粘弹性的影响规律；研究了磁性液体的屈服及触变性。为了更好地研究磁性液体流变学特性，作者介绍了主持的国家重大科研仪器研制项目，“基于原位表征的高精度多参数磁性液体全新流变仪的研制”。最后，作者指出了磁性液体流变学亟待解决的几个问题。

原油电流变效应及其机理研究*

张劲军[1†]，李鸿英[1]，马晨波[1]，陈朝辉[1]，黄骞[1]，谢意蔚[1]，冯凯[1]，李子欣[1]
（1. 油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249）

此前有研究表明，高压电场作用可使原油产生高达 80% 的降黏率，对原油管道输送具有巨大的潜在应用价值。然而，此前对原油的电场效应及其影响因素缺乏系统研究，对原油电场降黏机理的已有说法无法解释新发现的原油电流变现象。我们通过系统研究发现，原油的电场流变效应与电场方向关系不大，但与原油组成、电场作用温度等因素密切相关；经电场作用的液态原油冷却胶凝后呈现显著的结构弱化现象，而且胶凝原油同样有显著的电流变效应；电场作用使得原油中的蜡晶产生界面极化是原油电流变效应的本质原因。

关键词：原油；电流变效应；机理；流动改性

*基金项目：国家自然科学基金项目 (51534007)
†通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

复杂流体研究方法的物理思考

许元泽
复旦大学高分子科学系

报告摘要：流变学研究的历史演变，始终围绕复杂流体的复杂性概念。

牛顿流体-重读“自然哲学数学原理”-发现牛顿是几何天才，一生伟大贡献聚焦惯性力与粘性力。什么是力？

流变测量学-连续介质力学-结构流变学，三位一体的发展史。充满挑战！

流变测量学-化复杂为简单流动，非易事。 依赖于形变方式和形变历史，各种物质表现出五光十色的物料函数。用简单流动解决物质表征，与制作工艺到工程复杂流动问题相关，经验方法能走多远？它们是否同宗同源？ 呼唤科学理论解开流变现象的物理本质!信念：现象纷繁,本质是简单的，世界是统一的。

线性粘弹性方法–从 Maxwell 力学元件（胡克固体加牛顿流体），到统一的粘弹记忆体-Boltzmann 叠加原理，松弛时间谱包含了所有物料函数信息。可以联系微观结构，化复杂为简单，在线性范围数学理论几乎完善。线性真是人类大脑的天堂，但还得面对非线性！

简单流体方法 - 连续介质力学认为，统一理论应该像几何学一样从普适公理出发！基于连续性-时空可微，因果性-微元时空中应力形变关系决定；客观性-不依赖坐标选择，（注意，线性粘弹性不客观！）其数学结构称为简单流体。看来包容性很大！三维更实在的本构方程，通过上面公理性限制和积分微分近似展开得到，考虑到应变的客观描述，微元与整体的非仿射性等等，可发现许多方程。开启了本构方程的百家争鸣黄金时代，搞出方程留下芳名。

如果我们既能测得所有物料函数，又有三维本构方程导出所有物料函数好对照, 那么在大数据时代，应能创造一个人工智能超人来评价这些方程，或者用方程来预测各种物料函数，或者求解工程复杂流动。流变学岂非大功告成！骨感现实：没有发现理想统一的方程，剪切与拉伸顾此失彼，各非线性物料函数的参数多而乱！统一唯象的理想走向经验分散的权宜之策。复杂的非线性又挡在面前。必须深入其微观结构本质！

结构流变学中，高分子物理的贡献功不可没，人们认为复杂流体源于大分子复杂结构。 50 年代的珠簧链模型，70 年代本构方程，80 年代动态标度率，Mont Carlo，粗粒化等数值模拟等使人感到流变学离实在的物质，离物理学不远。例如稀高分子溶液，橡胶粘弹性。它使部分流变参数与微观结构联系，但具体结构的理论难以胜任更复杂体系，也未超出唯象的理论架构。动理学和相空间理论（kinetic theory，B.Bird）试图形成统一的理论，但对强耦合体系成果不显。针对浓体系，多相体系，液晶，各向异性，包含重力的颗粒流也结合实际应用作了许多努力，在繁复的结构运动描述中，呼唤凝聚态中的共性。

凝聚态物理在二级相变和软物质上的突破（Landau, Anderson, de Gennes），又给我们展现了统一简化的物理图像-多尺度的层展性-大量粒子集合展现全新的性质，不能还原为粒子物理。在凝聚态中的对称破缺造成结构形态的自相似，空间上的分形几何特征，数学上的普适标度律和重正化群，转变上的逾渗律等，都是内在统一的，具有普适性（Universality）。以多尺度的软物质物理的视野和方法来理解复杂物质的流变现象，是抓住了本质共性，以面对丰富的流变现象。针对高分子溶液动态标度律，缠结体系，多相体系与相转变相反转，液晶动力学，各向异性体等方面结合得到了实际应用，丰富了本构方程。但对于大形变高速率的非线性有待突破。

发展与热力学统一的流变模型 既然流动中到处是耗散无序和熵的主宰，流变学理论为何要限于无热的力学，不考虑与热力学和各种能量并存和转换的统一理论？一个最简单的例子：这么多物料函数的温度依赖性就呈现多么复杂的图景！

采用能量层次的哈密顿力学架构，并且考虑非平衡态的热力学。便于处理复杂的效应，除了粘弹性，还有颗粒流，包含多组分、界面、相转变、流动结构化等有关复杂流变体系的特性。这些方程往往有摄动展开的近似特点，难突破牛顿力学几何架构的局限。

活空观的思考，如果我们的思路在放开一点，不为牛顿力学架构所限，无序态或软物质非平衡态过程图像往往简单明了。世界的本质在于活，活动把时空撑起，活以自由能度量。空非虚空，以对称性或熵来度量。物质世界的最基本的特性可概括为活空。因此，理论的着眼点可以不是惰性的质量及其几何运动，而是容许活动的某种对称空间。我们假定凝聚态中的自由体积，遵守自由体积的理论。而一切在时间中展开的活动，要有能量来活化，遵守 Eyring 基于量子化学导出的速率理论描写许多速率过程的共同规律。发现两者结合起来，可以理解许多凝聚态现象。例如玻璃化转变，多相体系粘稠度，电子导电直至超导和质子膜导电，甚至宇宙的演化。只在超流体中才有万有引力定律，谁能肯定宇宙不是复杂流体？

本文偏重从个人经历和学术思路的演化，以偏概全，宏观地探讨学科发展的思路。复杂流体研究的新范式方兴未艾。我们可以结合以上的方面，展开物理想象力的翅膀，不怕错误曲折，因为复杂流体理论发展历史，也是逻辑的纠错的过程，这是必要而富有收获的过程，而且朝向大千世界的层展统一性。

医用生物材料及表界面设计

蔡开勇

生物流变科学与技术教育部重点实验室重庆大学生物工程学院，重庆市，400044；E-mail：kaiyong_cai@cqu.edu.cn

众所周知，植入器械、介入器械、药物载体、填充材料等与宿主生理环境的相互作用首先发生在材料表界面。对骨修复植入体，细胞粘附、增殖、分化及组织形成过程都发生在材料表界面；对药物载体而言，载药系统的血液循环、肿瘤部位富集、渗透、胞吞等也都与其表界面密切相关，极大地影响相关材料在人体应用的安全性、有效性和功能性。基于细胞外微环境的生理信号（生物物理、细胞外基质、水溶性生长因子等）设计或表面改性生物材料正成为相关领域的研究前沿。我们以细胞或组织微环境为切入点，指导材料表界面设计，激励或响应微环境。研究内容包括植入体仿生高分子涂层，焦点为构筑仿生表界面，主动修复骨组织；进而，病理条件下，研究植入体药械结合表界面，核心为局部抑制骨质疏松/细菌感染，同时促进骨修复；对药物递送载体表界面，重点关注药物高效输运、胞内释药。最终，促使相关生物材料与宿主有效“互动”，实现材料表面与细胞更好的相互作用，从而调控细胞生理功能，促进相关组织修复与再生。

橡胶纳米复合材料非线性流变行为

宋义虎

浙江大学高分子科学与工程学系，杭州 301127; Email: s_yh0411@zju.edu.cn

纳米粒子显著增强橡胶，但也增强材料的损耗行为以及 Payne 效应、Mullins 效应等应变软化行为。传统研究将橡胶基体简化为“粒子网络的载体”，认为粒子网络、界面相互作用等是橡胶补强的主要机理，而粒子网络破坏、粒子-橡胶界面破坏等是 Payne 效应、Mullins 效应的主要机制。本研究基于橡胶基体的非流变行为，探讨纳米粒子对橡胶非理想交联网络的补强、耗散及应变行为的影响，提出浓度-应变叠加原理，揭示了橡胶基体非线性黏弹性对 Payne 效应、Mullins 效应的决定性贡献。

关键词：橡胶；纳米复合材料；非线性黏弹性

当新冠肺炎遇到系统流变学

袁学锋*

广州大学系统流变学研究所广州市番禺区大学城外环西路 230 号，邮编：510006；Email: xuefeng.yuan@gzhu.edu.cn

2020 年伊始，新冠病毒 SARS-CoV-2 从各地暴发，以呼吸道飞沫、空气传播、物理接触等传播方式肆虐全球，造成世界性公共卫生健康和严重经济危机。与此同时，各国针对新冠病毒的生物和医学研究进展也是日新月异，涵盖从病毒检测、基因测序、蛋白结构解析研究到诊断试剂盒、疫苗、抗病毒药物的设计、筛选与制造，以及各种医疗和心理干预措施试验等各个领域。通过新冠肺炎病

毒致命病例的尸检与诊疗相关性研究发现其主要临床特征是重症新冠肺炎发展为急性呼吸窘迫综合征，常伴随有呼吸道痰栓、肺组织硬化、血液氧含量降低导致低氧性呼吸衰竭以及多器官功能衰竭。尽管至今报道的临床病例数据有助于揭示致死性新冠肺炎的呼吸衰竭和病理演变机制，但新冠病毒的组成与结构、生存微环境、复制与传播，感染患者呼吸道、进入肺泡黏附、扩增、繁衍导致患者缺氧性呼吸衰竭，继而多器官功能衰竭，涉及生命复杂巨系统中从小分子、基因、蛋白大分子到细胞、组织、肺器官多层次结构软物质在生物化学和物理信号网络调控下的传质、传动量、传能量等非线性输运过程。针对影响新冠肺炎的病理演变因素繁多和耦合机制复杂的挑战，本报告探索以复杂动力学系统非平衡态理论为框架，建立多尺度人体呼吸道动力学模型；研究高效并行计算方法，突破求解多尺度人体呼吸道系统动力学耦合方程的技术瓶颈；建立深度强化学习算法和多源数据代理模型，开展针对来自生物和临床医学数据、以及并行计算仿真数据的综合分析，从而鉴别与疾病最为相关的呼吸道动力学参数，揭示新冠肺炎病理的动态演变机制，为药物设计与筛选、呼吸道疾病的诊疗与防控提供生物医学大数据和计算模拟仿真支撑，促进系统生物学和系统医学的发展。

关键词：新冠肺炎；呼吸系统；系统流变学；本构关系；高性能计算

非晶聚合物的流变学行为及其本构理论

肖锐

浙江大学工程力学系，杭州，310027

非晶聚合物在高温时处于橡胶态，随着温度的降低，发生玻璃化转变，进入玻璃态。非晶聚合物无论在其玻璃化转变区间还是在其玻璃态都着丰富的流变学行为。本报告将介绍我们在非晶聚合物流变学行为及其本构建模领域的两方面工作：（1）针对非晶聚合物的形状记忆效应，我们通过将经典的流变学模型进行扩展，成功预测了变形温度和应变率对热驱动形状记忆效应的影响，并进一步建立了热-力-化学多场耦合本构模型，准确模拟了非晶聚合物溶剂驱动形状记忆功能；（2）针对非晶玻璃态聚合物的非平衡态力学行为，我们建立了基于等效温度-结构熵的非平衡态热力学框架，成功地预测了玻璃态聚合物的老化、年轻化和强化行为，与经典粘塑性模型对比，我们的理论框架更好地预测了玻璃态聚合物应变松弛和蠕变等一系列的流变学行为。

Computational and Theoretical Designing of Polymer Composites with Desired Rheological Properties*

Author: Xue-Zheng Cao

Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, P.R. China

Abstract: With the purpose of further promoting the practical application of polymer composites, we clarified the corresponding rheological principles of the dependences of polymeric materials' strength, toughness and thermal dissipation under shearing deformation on the dynamical evolution of topological structure of polymer chains, by applying comparative studies between macroscopic and microscopic rheologies to polymer composites resembling gel and mucus. Aiming to quantitatively compute the storage and loss moduli that characterize the rheological properties of polymer systems, we developed an equilibrium molecular dynamics algorithm based on Green-Kubo function, which enabled us to reveal successfully the reptation-like dynamical relaxation of polymer chains inside condensed nanoparticle agglomerates. We have also computationally and theoretically constructed a novel polymer permanent-transient double network to design bionic polymer materials with strong strength, high toughness and self-healing function.

Fe_3O_4 复合纳米木质纤维素在磁流变液中的增强作用*

李士煦 [1]，綦松 [1]，浮洁 [1]，甘如饴*，李亚平 [1]，余淼 [1†]

1.重庆大学光电工程学院光电技术与系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：磁流变液是一种可以由外部磁场控制的智能材料，已被广泛应用于阻尼减震、超精密抛光、机械传动、密封等工程领域。受磁性颗粒和基载液密度差导致的沉降问题依旧是制约磁流变液应用的主要瓶颈问题之一。本文利用化学共沉淀法制备了一种 Fe_3O_4 复合纳米木质纤维素，并将其作为增强颗粒来提高磁流变液的综合性能。实验结果表明本文制备的 Fe_3O_4 复合纳米木质纤维素具有良好的软磁特性并保持了优异的长径比特性。该 Fe_3O_4 复合纳米木质纤维素有效提高了磁流变液的抗沉降性，磁致动态力学特性和再分散性。本文工作为增强磁流变液性能提供了一种了有效途径，可以为磁流变液的工程应用提供参考。

关键词：磁流变液；复合添加剂；抗沉降性；磁致动态力学特性；再分散性

Rheology of microgel particles at the oil-water interface*

Zifu Li, PhD, Professor

National Engineering Research Center for Nanomedicine, College of Life Science and Technology Huazhong University of Science and Technology 1037 Luoyu Road, Wuhan, Hubei, China Phone: +86-27-87792234, Fax: +86-27-87792234, Email: zifuli@hust.edu.cn

Abstract: Understanding the behaviors of colloidal particles at the oil-water interface is pivotal for disparate industries. However, most of the work concerning particles at the oil-water interface involves rigid particles. We have systematically studied the behaviors of soft microgel particles at the oil-water interface[1]. Being soft, porous and stimuli responsive, microgel particles exhibit both colloid and polymer duality, and therefore behave distinctly from rigid colloidal particles[2-4]. More importantly, emulsions stabilized by microgel particles can offer an unparalleled degree of control on emulsions' stability. Stable emulsions will become unstable by increasing temperature above the volume phase transition temperature of microgel particles[5], enabling unprecedented control on emulsion stability and having wide applications[6]. In this talk, we introduce the microstructure of microgel particles at the heptane-water interface (Figure 1), highlight their dilatation rheology and shear rheology at a model heptane-water interface (Figure 2), and showcase their applications for constructing multifunctional porous materials[7-8].

Keywords: Pickering emulsion； Interfacial rheology； Microgel；

PP/EPR/SiO_2 复合体系的流变行为研究†

赵顺杰 [1]，上官勇刚 [1‡]，郑强 [1§]

1.浙江大学高分子科学与工程学系，杭州 310027

摘要：通过引入纳米 SiO_2 可制备兼具优异低温韧性与强韧平衡的 PP/EPR/SiO_2 三元共混物。然而，多相体系的相形态在高温加工时会持续演化，往往具有不稳定性，这不利于材料最终性能的调控。本文通过动态流变行为测试考察 PP/EPR/SiO_2 体系的流变行为与凝聚态结构演化，特别是在大应变后的回复行为。结果显示，循环加载负荷下的模量随时间变化的曲线中，所有样品的储能模量都在施加500%应变阶段出现明显下降。值得注意的是，在随后施加 5%应变的过程中，PP/EPR/SiO_2 三元共混物的相对储能模量(G'/G'_∞)比 PP/EPR 二元共混物的以更快的速率回复。这说明，SiO_2 的引入有利于促进经大应变破坏的体系结构的重建。

关键词：多相体系；循环加载负荷实验；回复行为

---

* 基金项目：装备预研领域基金重点项目(61402100102)

† 通讯作者：余淼，教授，E-mail：yumiao@cqu.edu.cn

† 基金项目：国家自然科学基金项目(112302-N11801ZJ@506723)

‡ 通讯作者：上官勇刚，教授，E-mail：shangguan@zju.edu.cn；

§ 通讯作者：郑强，教授，E-mail：zhengqiang@zju.edu.cn

Shear-induced breakdown and aggregation in nanoparticles filled polymer: from the viewpoint of moduli decomposition

Benke Li, Wei Yu*

Department of Polymer Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, P.R. China, 200240

Abstract: The attractive interaction between particles in particle suspensions leads to the formation of small aggregates, which may further agglomerate into large agglomerates. And shear processes can greatly influence the moduli of the composites, i.e. shear-induced aggregation and shear-induced breakdown. Recently we developed a moduli decomposition procedure by two-step shifting for particle suspension, and it was further used in the study of crystallization of polymers. From the two-step shifting, the hydrodynamic contribution in a particle filled polymer system can be readily obtained from the dynamic moduli. Here, we will study the rheology behavior by this two-step shifting method.

Key Words: Two-step shift, shear-induced aggregation, shear-induced breakdown.

超弹性圆管应变局部化行为实验研究与数值仿真*

郭志明[1†]，王世斌[2]，李林安[2]

1.长沙学院机电工程学院，长沙 410022；2.天津大学力学系，天津 300350

摘要：在生物医疗、柔性电子、航空航天等重要领域，超弹性圆管结构应用广泛，在内压轴拉作用下发生的失稳起鼓现象是一个典型的应变局部化行为。本文结合高速相机和多通道数据采集装置开发了高频同步测量系统，可以记录捕捉失稳过程中起鼓的产生与快速跳跃行为。用该系统测量超弹性圆管在内部气压、轴向拉力和扭矩复合载荷作用下的局部失稳起鼓的形貌演化和扩展行为，通过实验研究得到不同加载方式下圆管失稳的临界起鼓压力和起鼓稳定扩展时的扩展压力，以及对应的起鼓半径。超弹性圆管由天然乳胶材料制备，具有高弹性和大变形的特点，采用 Gent 应变能函数描述其本构特征。本文使用 Abaqus 有限元软件建立三维实体模型，对任意厚度超弹性圆管非线性变形行为进行了模拟仿真，模拟中用子程序 Uhyper 处理了超弹性本构模型，计算得到了圆管在失稳变形工程中内压、形貌和厚度等变化。通过实验和数值研究，揭示了任意厚度超弹性圆管失稳起鼓机理，为研究多层梯度超弹性结构提供新的理论依据和分析方法，在柔性器件与结构设计、人体组织病变的预防和治疗等方面具有广阔的应用前景。

关键词：超弹性圆管；非线性；失稳起鼓；Abaqus 模拟仿真

玻璃态高聚物应力松弛行为的变分数阶建模‡

向广建[1]，殷德顺[1]，曹晨曦[1§]

1.河海大学 力学与材料学院，南京 211100

摘要：本文基于变分数阶微积分理论，提出了一种新的变分数阶微积分本构模型来描述玻璃态聚合物的应力松弛行为。为了评估模型的有效性，对具有代表性的玻璃态聚合物 PETG 进行了一系列应力松弛试验，得到了不同环境温度下的应力响应数据。通过对实验数据进行数值模拟，对四种可能的阶数函数的预测效果和合理性进行分析和比较，得出了精度高、形式简单且参数物理意义明确的松弛模型。通过对模型的阶数函数进行参数分析，发现聚合物松弛过程中其阶数的上升与材料的持续软化有直接关系。进一步的研究表明，环境温度的上升材料软化的加速作用可以通过模型参数来反映。本文的研究工作，将聚合物内部微观结构在松弛过程中的变化与模型阶数的变化联系起来，这为制备高性能聚合物提供了一个新的视角。

关键词：玻璃态高聚物；变分数阶微积分；应力松弛

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目（12002067，11972248）

† 通讯作者：郭志明，讲师，E-mail：zmguo@ccsu.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(11872173)

§ 通讯作者：殷德顺，教授，E-mail：yindeshun72@163.com

Unusual nonlinear behavior of filled elastomers: the quasi-sinusoidal responses that has a strain-dependent modulus

Xiaorong Wang

School of Chemical Science and Engineering [1], Institute for Advanced Study [2], Tongji University, Shanghai 200092, China. Email: xrwang@tongji.edu.cn

Abstract: Polymer elastomers loaded with nano-sized solid particles have viscoelastic properties strongly dependent on strain amplitude. However, under cyclic loading conditions the stress responses of these materials are surprisingly sinusoidal even though the stress amplitude decreases significantly as the strain amplitude increases. This quasi-sinusoidal or linear dynamic behavior of filled rubbers that has a strain-dependent modulus is usually explained to be related to the restoration of broken filler network requiring longer than the time scale of a typical dynamic perturbation. To test this hypothesis, we investigated the nonlinear responses of a number of CB-filled SBR vulcanized rubbers, where the filler concentrations in the matrix is larger than the percolating threshold $_p$. We have found that this quasi-sinusoidal behavior remains unchanged in the nonlinear regime even at perturbation frequencies as low as 10^{-5} Hz. Note that this frequency corresponds to more than 27 hours of relaxation time, which, according to current knowledge, should be much longer than the typical recovery time of a filled network. This result indicates that the above explanation is incomplete. A summary of our recent research activities in Tongji on this subject and the impact of our findings on the actual rheological constitutive equations will be presented.

低浓度杂化纳米流体的流变特性研究*

于丽 [1*]，卞永宁 [2]

中国工程物理研究院总体工程研究所，绵阳 621999；2.大连理工大学工程力学系，大连 116024）

摘要：杂化纳米流体作为一种新型换热工质在强化换热工程领域中发挥着越来越重要的作用。纳米流体流变特性的研究有助于纳米流体能量传递特性的机理探究与发展。对低体积份额范围为0.0038%~0.19%的杂化纳米流体 MWCNT(40)TiO_2(60)-PG(20)DI(80)的流动曲线、粘温特性进行了研究。流动测试结果表明，在温度 2-30℃范围内，存在一个临界体积份额值，φ=0.045%，预示着此杂化流体体系从牛顿流体转变为剪切稀化非牛顿流体。黏温扫描结果显示，高剪切速率下，杂化纳米流体体系出现因高温引起的黏度滞后问题。

关键词：杂化纳米流体；流变特性；黏度滞后

不同含水率层间错动带力学特性试验研究

高阳 [1,2*]，李华志 [3]，陈建林 [4]，周辉 [1,2]，张传庆 [1,2]

1.中国科学院武汉岩土力学研究所，武汉 430071；2.中国科学院大学，北京 100049；3.武汉联投置业有限公司，武汉 430200；4.中国电建集团华东勘测设计研究员有限公司，杭州 310014

摘要：为了探究含水率对白鹤滩水电站层间错动带力学特性的影响，分别进行重塑试样的不同围压常规三轴排水压缩试验及三轴压缩蠕变试验，试验结果表明，错动带的强度参数 c、φ 随含水率的增加均表现出一定的劣化趋势，但黏聚力 c 对含水率的变化更为敏感；随着围压的增大，层间错动带的应力应变曲线逐渐表现出应变硬化状态，层间错动带的承载机制也逐渐由颗粒间黏聚力承载向黏聚力和颗粒间摩擦力组合承载转变；基于蠕变试验数据，通过改进 Singh-Mitchell 模型，可以得到很好的蠕变拟合结果。研究成果对白鹤滩电站和有层间错动带的类似工程建设及稳定性分析评价具有重要的指导意义。

关键词：层间错动带；重塑试样；三轴压缩蠕变；室内试验；含水率

* 通讯作者：于丽，E-mail:6a6a88a@sina.com

玻璃态聚合物表面黏弹性*

郝志伟，王新平，左彪†
浙江理工大学化学系，杭州 310018

摘要：玻璃态聚合物表面分子具有比本体强的运动活性，数纳米厚度表面层内的分子可在剪切等作用下发生形变和流动，表现出独特的黏弹和流变行为。玻璃态聚合物表面分子运动行为和黏弹性不仅与聚合物材料的粘合、磨损等界面性质相关，还决定了微纳高分子材料的加工成型和结构稳定性等。由于表征的困难，聚合物表面分子链的松弛、扩散及相关黏弹性的研究至今仍是一大挑战。基于我们的前期工作[1-3]，我们发展了一种利用液滴表面张力剪切诱导聚合物表面发生形变来研究聚合物材料表面蠕变和黏弹性的方法。该方法通过在聚合物膜表面放置微液滴，借助三相线处液滴表面张力的垂直分量驱使聚合物表面发生形变；形变的高度与聚合物的剪切模量相关。研究形变高度随时间的演变可反映聚合物表面黏弹性和分子运动；利用该法测定了聚苯乙烯表面分子链的不同尺度松弛时间，发现玻璃态聚合物表面时温等效原则失效。

关键词：表面黏弹性；分子运动；分子链动力学；松弛时间

掺加石墨烯水泥浆的流变行为与粘度预测模型

李洪艳 1*, 欧阳剑 2, 韩宝国 1,
1 土木工程学院，大连理工大学，大连 116024; 2 交通运输学院，大连理工大学，大连 116024 *Email: 1248970368@qq.com

摘要：石墨烯可有效改善水泥基材料的力学、耐久性并赋予其功能/智能特性，但其尺寸小、比表面积高，掺入后会显著影响水泥基材料的流变性能。流变性不仅直接决定水泥基复合材料拌合物的均质性和工作性，还会影响成型硬化后的各方面性能。目前对掺加石墨烯的水泥浆流变行为的研究相对较少，特别是已有研究没有关注石墨烯的物理性能对水泥浆流变行为的影响，对石墨烯影响水泥浆流变行为的机理尚不明确。因此，本文研究了多层石墨烯对水泥浆的流变行为的影响规律，并基于多层石墨烯的吸附以及润滑效应对掺加多层石墨烯水泥浆的流变行为作用机理进行了探讨，同时建立了多层石墨烯复合水泥浆的粘度预测模型。研究结果表明，由于多层石墨烯的吸附与润滑效应的竞争作用，掺加石墨烯水泥浆的屈服应力以及最小粘度随着多层石墨烯掺量的增大呈现波动上升的趋势；所提出的掺加石墨烯水泥浆的粘度预测模型的准确度明显高于经典粘度预测模型。论文研究结果有助于理解和调控掺加石墨烯水泥基材料的流变行为，并可为调控掺加石墨烯水泥基材料工作性和硬化后性能提供理论指导，同时也可以为发展石墨烯水泥基材料先进制备技术（如自密实、内养护和 3D 打印）提供理论指导。

关键词：石墨烯；水泥浆；流变；吸附；润滑；粘度预测；

磁流变弹性体的压阻和压容效应机制比较研究‡

樊玉勤 [1§]，谢磊 [2]，杨文艳 [1]，孙宝光 [1]
1.重庆科技学院数理与大数据学院，重庆 401331；2.重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：磁流变弹性体（MREs）由于具有高压阻/压容灵敏度和宽工作范围，已成为一种新型柔性触觉传感材料。本文从微观颗粒尺度比较分析 MREs 的压阻和压容效应机制，提出柔性触觉传感机理来自于力-电-磁多场耦合的物理模型：颗粒受磁场诱导形成有序化导电微结构，压缩过程中力场驱动了大规模颗粒重排效应，颗粒间的导电通道网络同时受力场和电场的叠加影响表现出压阻效应；电场使颗粒极化并随着力场驱动下的颗粒重排过程形成动态的串并联微电容网络，表现出压容效应。该模型可合理解释压阻和压容效应机制，为柔性触觉传感器的性能参数（如灵敏度、量程等）优化研

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21973083)
† 通讯作者：左彪，副教授，E-mail：chemizuo@zstu.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金青年基金项目（11802046），重庆市基础研究与前沿探索项目（重庆市自然科学基金）（cstc2019jcyj-msxmX0483，cstc2019jcyj-msxm0734），重庆市教委科学技术研究项目（KJQN201801510）
§ 通讯作者：樊玉勤，高级实验师，E-mail：yqfan2014@163.com

究提供理论分析基础。

关键词：磁流变弹性体；压阻效应；压容效应；柔性触觉传感器；颗粒重排

磁流变弹性体表面的液滴铺展动力学行为仿真

朱明晖 张源皓 陈世鬼*

重庆科技学院 建筑工程学院，重庆 400044

摘要：近年来，越来越多学者开始关注磁流变弹性体的磁控润湿性能，对磁流变弹性体表面的液滴动力学行为进行仿真研究，对揭示磁流变弹性体表面磁控润湿行为产生机理具有重要意义。基于力-磁耦合的弹性体非均匀磁致伸缩理论，并结合两相流理论中水平集方法，模拟了液滴在随机粗糙表面的铺展动力学行为。研究表明：当磁场作用于磁流变弹性体时，材料表面的微结构将发展偏转，从而使液滴的铺展半径以及回弹高度降低，并使趋于稳定后的静态接触角也减小。

关键词：磁流变弹性体；超疏水；液滴动力学；力-磁耦合有限元

NdFeB 增强磁流变弹性体的双向磁控特性研究*

谢远鹏[1]，綦松[1]，浮洁[1]，田瑞雪[1]，余淼[1†]

1.重庆大学 光电工程学院,光电技术与系统教育部重点实验室,重庆 400044

摘要：磁流变弹性体（Magnetorheological elastomer，MRE）是一种将磁性颗粒掺杂到黏弹性聚合物基体中制备而成的一种智能复合材料，其磁控力学特性根源于磁性颗粒在磁场下的相互作用力，与磁性颗粒的磁学特性息息相关。为提高 MRE 应用系统的控制鲁棒性，MRE 主要由易于充退磁的软磁颗粒制备而成，其储能模量只能随磁场的增大而增大。为了丰富 MRE 的磁控力学特性，本文从材料制备上实现了 MRE 的双向磁控特性，利用钕铁硼（NdFeB）颗粒制备了硬磁 MRE，研究了其在三角波和方波磁场激励下的动态力学特性，探讨了颗粒种类和粒径对双向磁控特性的影响，并利用仿真软件 COMSOL 对内部颗粒的磁畴变化进行了研究，分析了退充磁效应对磁致相互作用力的影响机制。实验结果表明：硬磁 MRE 在充磁后具有一定的剩磁，表现出明显的双向磁控特性。硬磁颗粒的矫顽力越大，双向磁控特性越明显；另外，通过耦合不同粒径的同种 NdFeB 颗粒，能够有效地提升双向磁控特性；最后，本文研究了在连续测试中退磁效应对初始模量的影响，确定了在反向磁场 400mT 以内，H-MRE 的初始储能模量衰减量小于 5%，保持了良好的重复稳定性。通过以上结果证明，利用硬磁颗粒制备的 MRE 能够很好地从材料制备上实现 H-MRE 的双向磁控特性，有望实现 MRE 器件的固有频率向低频方向移动，在减振降噪领域具有较大的应用前景。

关键词：磁流变弹性体；NdFeB 硬磁颗粒；双向磁控；动态力学特性

磁流变材料及其在高速列车上的应用研究

孙帅帅[1]，杨健[2]，黄志龙[3]，张世武[1]，李卫华[4]，

[1]中国科学技术大学工程科学学院 [2]安徽大学电气工程与自动化学院 [3]绍兴文理学院机械与电气工程学院 [4]School of Mechanical, Materials, Mechatronic and Biomedical Engineering, University of Wollongong 邮箱：sssun@ustc.edu.cn

摘要:磁流变材料是一类由软磁颗粒悬浮在液体或弹性体中形成的一种智能可控材料，主要包括磁流变液和磁流变弹性体。磁流变材料具有可逆性好（撤去磁场后又恢复初始状态），响应速度快（ms 量级），控制参数简单（调节电流）等优点。因其快速可控性能，磁流变材料被广泛用于开发智能可控器件，并成功应用到汽车、建筑物、桥梁等众多领域。本报告将着重介绍报告人在高速列车磁流变悬架方面的研究工作。高速列车的核心部件之一是转向架，转向架直接决定了高速列车的高速稳定性、弯道通过性和乘坐舒适性。然而转向架的一些关键技术我国仍未掌握，一些实际问题依然很严

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51775064)

† 通讯作者：余淼，教授，E-mail：yumiao@cqu.edu.cn

峻。第一个是高速行驶状态下的振动和稳定性问题。第二个问题是列车在直道高速行驶和弯道通过时对于转向架参数不同要求的问题。在直道上特别是直道高速行驶时高速列车要求转向架具有较大刚度和阻尼来保证列车的稳定性和运行安全性。而当列车行驶在弯道时，要求转向架刚度较小以提高铁路机车的弯道通过性能。而上述对于转向架参数可调的要求，现有的转向架很难达到。面对这一难题，申请人系统的研究了基于磁流变技术的关键参数可控转向架系统，创造性的开发出了新型紧凑型刚度阻尼可控二系横向阻尼器和刚度可控一系纵向橡胶定位节点等关键技术。并在高速列车上进行了测试。实验和理论分析都证明了基于磁流变技术的新型转向架系统能够很好的提高列车的高速稳定性、乘坐舒适性和弯道通过性。

非胶质颗粒悬浮液剪切变稀行为的研究*

林渊[1†]，王荧[2]
浙江大学海洋学院海洋工程与技术研究所，舟山 316021

摘要：非胶质颗粒悬浮液由微米颗粒和牛顿流体构成，其在高 Peclet 数下存在剪切变稀现象。本文以空心玻璃微珠和 PMMA（polymethyl methacrylate）粒子为悬浮颗粒，以二甲基硅油为流体介质，对不同颗粒填充浓度的悬浮液在正常静置状态和真空除气泡静置状态下的剪切流变进行研究。研究发现，微纳气泡影响颗粒在低速剪切过程中的自组装行为，从而影响体系的剪切变稀行为。取决于悬浮微球的表面性质，微纳气泡可增强或者抑制体系的剪切变稀行为。

关键词：非胶质悬浮液；剪切变稀；粘度

电磁耦合效应复合粒子的制备、性能及应用研究

阎秋生，陈志君，潘继生，路家斌
广东工业大学机电工程学院，广州 510006

摘要：通过电流变效应和磁流变效应耦合控制抛光垫的形状和磨粒状态是实现光学元件高效率加工的有效途径。本研究通过溶胶凝胶法制备了二氧化硅@羰基铁粉（CI）、二氧化钛@羰基铁粉、金刚石@羰基铁粉三种复合粒子，制备出兼具电流变效应与磁流变效应的智能电磁复合流变抛光浆液，对其电流变和磁流变性能进行了测试，并对其加工性能进行了研究。结果表明：三种复合粒子整体为球形，其中 SiO_2@CI 表面光滑，TiO_2@CI 表面粗糙且存在些许凹坑，而 Diamond@CI 表面依附有金刚石颗粒，呈麻点状分布；配制的三种电磁复合流变抛光浆液电流变性能和磁流变性能均较为显著，其中 TiO_2@CI 的电流变性能最好；采用三种电磁复合流变浆液对 K9 玻璃进行加工，复合流变效应下抛光效率均高于单一的电流变和磁流变抛光，其中 Diamond@CI 的抛光效率最高，分别提高了 300% 和 24%。

关键词：复合粒子；电流变效应；磁流变性能；抛光效果

磁流变弹性体支座的多场耦合自感知性能研究‡

李锐[1§]，曾超[1]，杨平安[1]
重庆邮电大学，重庆 400065

摘要：面向复杂环境（力、磁、位移、电场耦合作用）的信号监测与感知能力是智能装备系统（车辆、机械装备系统等）实现快速自适应防护的前提条件，在健康监测、振动/冲击防护领域都具有重要的研究价值。基于磁敏橡胶（也称磁流变弹性体，Magnetorheological elastomer/ MRE）设计的缓冲隔振系统，因其刚度、阻尼在磁场下可控，已被广泛的研究与应用。同时，MRE 由微米量级的（磁性）导电粒子分散在聚合物基体中，会表现出各向异性的电学特性，并且对外界刺激（如磁场、力

* 基金项目：国家自然科学基金青年基金项目(11702246)，浙江省自然科学基金(LY20A020008)
† 通讯作者：林渊，副教授，E-mail：samylin@zju.edu.cn
‡ 国家自然科学基金面上项目(52075063)
§ 通讯作者：李锐，教授，E-mail：lirui@cqupt.edu.cn

或温度）很敏感，具有作为传感器的潜力。本文结合“结构-支座-基础”宏观尺度和微尺度分析法， 从多场耦合的角度剖析了 MRE 支座感知机理；进一步基于隧道效应理论建立了 MRE 支座宏微观多场耦合自感知模型，通过模型分析得到宏微观参数对感知特性的影响，为设计出具有自感知自适应功能的 MRE 与支座结构提供了理论指导。实验数据表明，改性 MRE 支座在实验测试中仍然具有较好的电阻变化率和线性度，当压力从 0N 变化到 160N 时，电阻变化率约为 65%；具有连续、稳定和完全可逆的动态电阻信号，重复性较好。基于支座多场耦合自感知特性公式，对自适应隔振系统进行控制，位移比无控制状态减少了 20%~31%，为复杂环境下智能装备系统自感知技术提供了实验支撑，具有广泛的应用前景。
关键词：磁流变弹性体；自感知特性；宏微观多场耦合理论；隔振系统

基于路堤土蠕变行为的路堤预应力损失模型

徐方[1,2]，邓志龙[1]

1.中南大学土木工程学院，长沙 410075；2.高速铁路建造技术国家工程实验室，长沙 410075

摘要：新型预应力路堤技术通过在路堤两侧边坡增设预应力组件实现路堤加固或整治路基病害。预应力随时间的变化规律及稳定值是决定路堤最终加固（或病害整治）效果的关键，研究路堤的预应力损失行为对保障预应力路堤的长期运营安全具有重要意义。本文基于预应力钢筋回缩变形与路堤土蠕变变形的相容性、路堤两侧侧压力板与路堤土接触面处的应力连续性及路堤内附加应力的扩散效应，提出预应力路堤的预应力损失模型。以 Burgers 蠕变模型描述路堤土的蠕变行为为例，推导了具体的路堤预应力损失方程，并基于 FLAC3D 数值仿真验证模型的有效性。结果表明该模型可有效描述路堤的预应力损失规律，故而可为预应力路堤的设计及后续预应力的补充提供理论基础和参考。
关键词：路堤；蠕变；附加应力；预应力损失；

尺寸效应对聚丙烯熔体微尺度剪切粘度的影响研究*

曾可[1]，吴旺青[1†]，陆近[1]，段峰男[1]，蒋炳炎[1]

1.中南大学机电工程学院高性能复杂制造国家重点实验室，长沙，410083

摘要：微注射成型是大规模生产微小精密零件的有效加工方法之一。由于型腔或流道尺寸微小以及表体比大等特点，使得微结构特征充填困难，现有的宏观尺度下的充填流动规律很难适用于微尺度充模过程。为了探究尺寸效应对熔体粘度的影响，本文研究了聚丙烯（PP）在不同温度（200℃，220℃，240℃）及不同微尺度口模直径（100μm，200μm，500μm）下的剪切粘度与剪切速率的关系。结果表明:温度对 PP 熔体粘度影响呈下降趋势，500μm口模每上升 20℃，粘度平均下降 12.9%（1000-8000s^{-1}）；200μm口模每上升 20℃，粘度平均下降 11.5%（1000-8000s^{-1}）。PP 熔体从 500μm到 200μm时，剪切粘度变化很小，平均下降了 3-6%（1000-8000s^{-1}）；当尺寸从 200μm到 100μm时，剪切粘度变化大，平均下降了 33-38%（1000-8000s^{-1}）。在 1000-4000s^{-1} 的剪切速率范围内，口模为 100μm的剪切粘度有波动，4000s^{-1} 剪切速率以上，剪切粘度缓慢下降，未出现波动现象。结果表明熔体剪切粘度随着口模尺寸减小而减小，当口模直径缩小至 100μm，熔体剪切粘度显著下降，且粘度在一定剪切速率下出现波动。这对指导微注射成型工艺及微模具设计具有重要参考价值。
关键词：微注射成型；粘度特性；微尺度效应；聚丙烯

*基金项目：国家自然科学基金（51875582,51920105008），国家重点研发计划（2020YFB2008200）
†通讯作者：吴旺青，副教授，E-mail: csuwwq@csu.edu.cn

聚氨酯弹性体应力-应变关系本构模型的大数据研究

丁芳，刘婷丽，张欢，刘伦洋，李云琦†

中国科学院长春应用化学研究所，中科院高性能合成橡胶及其复合材料重点实验室，长春 130022；中国科学技术大学，应用化学与工程学院，合肥 230026。0431-852535，yunqi@ciac.ac.cn

摘要：聚氨酯弹性体（PUEs）由具有软硬段的线性嵌段共聚物组成，其力学性能高度可调，而单轴拉伸测试是表征其力学性能的重要手段。目前已有几十种本构模型用于解释类橡胶材料的应力-应变曲线，但是这些模型用于 PUEs 体系的适用性和模型选择还不清楚。基于 PUEs 单轴拉伸的数据集和已知弹性体材料的本构模型，我们对 25 个本构模型在定量描述应力-应变关系中的准确度开展了大数据研究。发现具有 1 – 6 个参数的本构模型的平均 R^2 值由单参数模型（Phantom）的 0.904 上升至 6 参数模型（三维网络 TDN）的 0.992。模型的参数越多，可解释的曲线越多。最终我们选出 3 参数的 Pucci-Saccomandi（PS）模型、4 参数的 Khiêm-Itskov（KI）模型和 6 参数的 TDN 模型在定量解析 PUEs 应力-应变曲线中进行了大数据剖析。本研究工作将为 PUEs 材料力学性能的理论模型选择，模型参数设定范围的数值计算，特别是为有限元分析提供重要参考。

关键词：聚氨酯弹性体；应力-应变曲线；本构模型；大数据；

高分子的熔体记忆效应与链缠结行为*

刘香 [1]，俞炜 [1†]

1.上海交通大学化学化工学院 200240

摘要：高分子的熔体记忆效应是指结晶高分子在高于熔点的温度熔融后，再次降温结晶时结晶加速的现象。通常把熔体记忆效应归结为残余链段松弛、浓度不均一等原因，本研究通过动态不相容体系组分动力学受组分含量和玻璃化转变温度差的影响，研究链动力学行为对熔体记忆效应的影响。研究发现随着高玻璃化转变温度组分的加入，低玻璃化转变温度组分的动力学减缓，并且低玻璃化转变温度组分的熔体记忆效应明显增强。通过应力松弛、数值计算等方法排除了残余链段松弛和浓度不均一的影响，而熔体记忆效应的寿命与链重新缠结时间相当，表明二者具有动力学上的相关性。进一步研究发现，弱剪切能够一定程度上消除熔体记忆效应。

关键词：熔体记忆；缠结

耐高温氯化钙加重压裂液体系及其流变性能研究

高莹 [1,2] 卢拥军 [1,2] 王丽伟 [1,2] 徐敏杰 [1,2] 杨战伟 [1,2] 石阳 [1,2] 韩秀玲 [1,2] 王辽 [1,2] 杨艳丽 [1,2]

中国石油勘探开发研究院 [1]. 北京 100083；中国石油天然气股份有限公司油气藏改造重点实验室 [2]. 廊坊 065007

摘要:随着“三超”井的逐年增多，90%以上井需要进行储层改造，本文以高温、高应力储层为背景，针对现有加重压裂液存在的问题，通过加重剂优选、聚合物稠化剂研发、交联技术开发，得到了一套以氯化钙作为加重剂，加重密度密度可达 1.35g/cm^3，耐温可达 180℃的耐高温低成本加重压裂液体系，并着重对体系流变性能进行了评价分析。该体系基液黏度低，易于配制，具有温控交联特性，随温度升高交联强度增大，泵注过程中摩阻低；同时，耐温性能好、密度增加显著，交联后弹性为主，满足压裂携砂要求。该压裂液体系在高温深井难压开储层的压裂改造中有广泛的应用前景。

关键词:加重压裂液；氯化钙；高温高压；流变；

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51625303)

† 通讯作者：俞炜，教授，E-mail：wyu@sjtu.edu.cn

磁控节流单元与复位碟形弹簧并联型缓冲器*

寿梦杰[1]，廖昌荣[2†]，李锐[1]

1.重庆邮电大学自动化学院，重庆 400065；2.重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：针对磁流变缓冲器工作在高速冲击条件下（大载荷、小行程、短时间），传统弹簧无法将磁流变阀及时推回到初始位置的问题，利用具有小变形大载荷优点的碟形弹簧作为复位元件，提出了磁控节流单元（磁流变阀）与复位碟形弹簧并联型的缓冲器。为了提高磁流变缓冲器的性能，基于磁流变阀的非稳态物理模型和磁路模型，及碟形弹簧的动力学模型，提出了将逻辑分析与数值计算相结合的设计方法。该设计方法先通过逻辑分析逐步减少未知参数数量，再利用数值计算求解余下未知参数，进而确定磁流变阀和碟形弹簧全部几何结构尺寸。为了验证所提出磁流变缓冲器的抗冲击特性和设计方法的有效性，制作了两支完全相同的缓冲器，并利用落锤击试验平台进行了测试。实验结果表明，磁流变缓冲器具有良好的抗冲击特性和吸能特性，并且达到了预期的设计目标。

关键词：磁流变缓冲器；磁流变阀；碟形弹簧；冲击载荷

直升机磁流变阻尼器设计及特性分析

董小闵[1]，李坪洋[1]，王陶[1]

1. 重庆大学机械工程学院，重庆 400040

摘要：直升机由于作业环境复杂具有较高的事故率，而抗坠毁座椅常用的被动式吸能装置无法有效地面对变化的情况，磁流变阻尼器由于输出力矩大、响应速度快、变化可控可逆等优点被用于座椅吸能装置的设计中。本文基于直升机抗坠毁座椅的使用工况设计了一种新型的磁流变阻尼器，通过内部螺旋结构优化设计使得流动通道的明显增加，提高了阻尼器的阻尼效果；同时，工作磁场的强化也增强阻尼器的输出力矩；然后，根据 Bingham 分析模型建立了磁流变阻尼器的本构模型，考虑了关键结构参数对于输出阻尼力的影响；最后，通过仿真实验证明了新型阻尼器的优异特性。

关键词：吸能装置；磁流变阻尼器；螺旋结构；本构模型

磁敏材料的非线性力学模型‡

朱光荭[1§]，李明[1]，熊冶平[2]

1. 西安科技大学，陕西 西安 710054；2. University of Southampton，UK Southampton SO16 7QF

摘要：随着磁敏材料在半主动控制中的广泛应用，对于其本构模型的研究虽然已取得进展，但仍然亟需准确的模型描述其动力学行为，而这正是应用磁敏材料实现振动控制的关键。本项目在磁敏材料的动态力学分析实验基础上，综合考虑时间记忆效应和磁流变效应，通过对动态模量的实验数据拟合，识别模型参数，建立磁敏材料的非线性动力学模型，计算模型效率并与其他模型比较；基于可实现垂直水平多方向振动控制的磁流变隔振器设计，建立船舶机械系统的动力学模型，通过预估-矫正方法，数值求解正弦激励和冲击载荷作用下的隔振系统，并分析其动力学特性，预测隔振效果；实验研究磁流变隔振器的振动控制效果，对比数值预测结果和实验结果，深入研究参数设计对隔振效率的影响，在船用机械系统中应用磁敏材料实现控制振动的目的。这项研究在充分的理论知识和试验技术支持下，通过基础的思维方法解决复杂的实际问题，对提高磁敏材料振动控制效率和船舶的减振降噪能力具有重要价值。

* 基金项目：重庆市基础与前沿技术研究项目(No. cstc2018jcyjAX0023)，中央高校基础研究项目(No. 2020CDCGGD009)

† 通讯作者：廖昌荣，教授，E-mail：crliao@cqu.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(12002267)

§ 通讯作者：朱光荭，讲师，E-mail：zhuguanghong@xust.edu.cn

磁路改进型磁流变扭转减振器力学特性研究

董小闵[1,2]，汪旭宏[3]，于建强[1,2]，李彪[2]

1.重庆大学机械传动国家重点实验室，重庆市 400044；2. 重庆大学机械工程学院，重庆市 400044； 3.中国电子科技集团公司第三十八研究所，安徽省合肥市 230031

摘要:为了提高有限空间内磁流变扭转减振器的输出力矩，提出了一种改进磁路分布的磁流变螺旋流动扭转减振器，并对其力学特性进行了测试与分析。针对单一导磁材料内筒诱导工作通道内磁路分配不合理的问题，结合扭转减振器结构和有限元磁场分析方法，提出了强制磁路改向的磁流变扭转减振器磁场优化方法。针对新型扭转减振器结构方案，推导了力学计算模型，并基于设计参数进行了加工与装配。为分析磁流变扭转减振器的力学特性，使用不同测试设备对扭转减振器的力学特性进行了分析，实验结果表明所设计的磁流变扭转减振器在低、高转速下均具有较好的可控力学性能。同时，通过实验结果与理论计算的对比，验证了理论计算模型的有效性。

关键词: 磁流变;扭转;磁场;减振器；

磁敏橡胶聚合物的优化设计与摩擦学性能调控*

李锐[1†]，王晓杰[2]，李熙[1]，杨平安[1]

1.重庆邮电大学自动化学院，重庆 400065；2.中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所 常州 213164

摘要：传统磁性橡胶等聚合物基复合材料存在力学强度较差、摩擦可控性不足等局限性，导致材料磨损加剧和结构性能下降。采用磁致流变效应优势来改进磁敏橡胶聚合物接触力学性能，研究磁-力-位移协同作用下基体微观结构诱导的模量、阻尼、表面粗糙度等参数关联模型，计算解释其宏微观力学行为及摩擦能耗传递关系，优化指导基体材料、改性物质（如石墨烯片、碳纳米管）配伍设计及其对摩擦学性能调控的影响。研究发现初始表面粗糙度不同的磁敏橡胶在磁场作用下其表面粗糙度变化存在相反趋势的有趣现象，开展磁敏橡胶-尼龙摩擦副滑动摩擦实验，结果表明其摩擦系数随磁场增加而降低，通过进一步研究解释了影响其摩擦系数变化的磁场调控机理，为丰富和发展聚合物基智能摩擦提供了新方法和实现技术。

关键词：磁敏橡胶；可控摩擦；磁流变效应；性能测试

湍流复杂涡结构的并行计算及表征

梁远飞、袁学锋*

广州大学系统流变学研究所，广州市番禺区大学城外环西路 230 号，邮编：510006 *Email: xuefeng.yuan@gzhu.edu.cn

摘要：湍流是 Science 公布的 125 个最具挑战性的科学问题之一，分析复杂流场中多尺度湍流涡结构的生成与演化是揭示湍流物理机制的重要手段。但长期以来表征流体涡结构的方法存在物理意义不清晰、阈值选择随意、无法给出涡的方向信息和无法同时识别强涡和弱涡等缺点。近期文献中报道了第三代涡结构识别方法—Liutex，该方法能够准确地表达、跟踪、度量涡的生成与演化，但目前还没有运用于大规模复杂湍流涡的分析。本报告利用直接数值模拟方法(DNS)生成具有亿万级网格的各向同性湍流，从计算网格规模、计算资源、三种常见分块方法等维度评价并行计算方法的效率和可扩展性，建立并验证基于并行计算技术的 Liutex 涡结构动态识别方法，为研究湍流机理奠定技术基础。

关键词：湍流；涡结构；并行计算；可扩展性

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(52075063)

† 通讯作者：李锐，教授，E-mail：lirui@cqupt.edu.cn

电磁耦合流变效应抛光装置研究*

黄展亮，潘继生，阎秋生†
广东工业大学，广州 510006

摘要：磁流变效应和电流变效应均能有效约束磨料实现光学元件的抛光，通过电磁耦合控制磨料向光学表面汇聚能有效提高抛光效率。本研究提出一种电磁耦合流变抛光方法，仿真分析电场和磁场的耦合关系，构建电磁耦合流变效应下的磨料力学模型，优化电极和磁极布置形式，搭建相应的实验装置。仿真结果表明，采用组合环状电极和圆柱平底磁极构建电、磁复合场发生结构，实现发散式环形电场和放射式磁场的相互交织，电场线和磁感线主要呈现同向平行、反向平行、经纬交织的三种交织形式，其中最大磁感应强度可达 400mT，最大电场强度可达 5kV/mm；实验结果表明，在所形成的柔性抛光垫中，磁场实现磨粒的法向约束，集群电极形成的电流变效应能够实现磨料的切向约束，改变柔性抛光垫内链串结构，进而强化其挤压和剪切屈服强度，增强了磨粒的半固着约束力，同时驱使磨粒群向工件表面均匀分布以增加有效磨粒数，实现电场和磁场耦合作用下光学晶片的高效超光滑加工。

关键词：电流变效应；磁流变效应；仿真分析；电磁耦合效应；抛光装置

基于 MRE 变刚度 TMD 的在建桥塔风振控制研究

王 奇[1] 杨 宇[1]
1. 重庆大学土木工程学院，重庆 400045

摘要：近年来，超大跨度桥梁建设连续加快，桥塔高度也屡创新高。施工期间桥塔处于自立阶段，在风荷载激励下容易产生较大的侧向振动和变形，严重影响施工的质量、安全和进度，因此桥塔风致振动控制问题引起了学者们的广泛关注。本研究针对在建桥塔自振频率不断变化的特点，采用主频实时可调的 MRE 变刚度 TMD 进行桥塔风振控制，可确保施工期间 TMD 始终处于最优调谐减振状态。本文基于琼州海峡跨海大桥设计方案，首先采用拉格朗日-假设模态法探究施工期间桥塔固有频率的变化规律；然后采用 Kaimal 谱和谐波叠加法模拟施工桥塔的顺风向脉动风风场；接着通过 Simulink 仿真安装 MRE-TMD 施工桥塔的风振响应，确定 MRE-TMD 最优控制参数与桥塔固有频率的关系。结果表明，相较于被动式 TMD 系统，MRE-TMD 可进一步显著降低桥塔的风振响应。

关键词：磁流变弹性体（MRE）；半主动控制；模态分析；谐波叠加法；

基于变阶分数阶导数的岩石全阶段蠕变模型‡

高云飞，殷德顺§
河海大学 力学与材料学院，南京 211100

摘要：本文基于变阶分数阶导数理论，建立了一种新的描述岩石材料全阶段蠕变行为的变分数阶流变模型，通过实验验证了模型的准确性和有效性，并结合岩石材料变形的内部微结构演化机理，探究了变分数阶模型阶数的物理意义。该模型相比现有模型具有形式简单，参数少的优点，并且模型参数具有明确的物理意义。通过变阶分数阶算子，可以将高应力下岩石蠕变的非线性问题转化为线性行为描述。其中阶数时间曲线明显区分为三段，分别对应岩石非线性蠕变的三个阶段，通过分数阶数的变化，量化了岩石蠕变过程中力学特性的演变，包括蠕变硬化段，蠕变软化段以及硬化-软化并存的过渡段，其服从线性率的阶数函数，有助于确定岩石材料的蠕变破坏时间。本文的研究工作，为岩石材料流变行为研究提供了一种新的建模方法，丰富了其研究成果，并在其他流变材料及复杂流变行为的描述中具有重要的应用价值。

---

* 基金项目：NSFC-广东省联合基金“多场耦合控制磨料状态的新一代光电晶片超光滑平坦化加工理论与关键技术研究”(U1801259)
† 通讯作者：阎秋生，教授，E-mail：qsyan@gdut.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金(11872173)
§ 通讯作者：殷德顺，教授，E-mail：yindeshun72@163.com

关键词：岩石蠕变；变分数阶导数；力学性质演化；机理

磁流变液沉降实时原位监测系统：数值分析与试验研究

苏杭 [1] 张红辉*[1, 2]

1 重庆大学 光电工程学院，重庆 400044；2 重庆大学 光电技术与系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：在磁流变阻尼器中，建立磁流变液沉降实时在线的原位监测系统，对提升磁流变液阻尼器件的使用寿命具有重要意义。通过研究磁流变液浓度梯度与局部电容的关系，设计了一种基于开放式电容传感器的磁流变液沉降状态的原位监测系统，并提出了一种基于电容原理的沉降原位监测方法。利用有限元电磁仿真软件，分析了系统中电容器高度对磁流变液静沉降过程中的电场分布的影响，实现了原位监测系统的结构优化。基于仿真分析，搭建磁流变液沉降监测系统试验平台，试验结果表面：监测系统能够有效地用于磁流变液静置沉降状态的测量，可以在磁流变液阻尼器内部实现磁流变液沉降特性的局部以及线上监测。此外，监测点电容值与其浓度变化呈正相关关系，随着磁流变液浓度的增大，监测点电容值增大，并且在沉降初期，低浓度样品在沉积区浓度变化速率更快。

关键词：磁流变液；电容法；沉降监测；介电常数

仅需 1 毫克样品、微牛顿力分辨率的剪切流变仪*

欧阳希凯 [1]，罗锦添 [1]，何汪靖 [1]，包康乐 [1]，刘庚鑫 [1†]

1. 东华大学 先进低维材料中心 纤维材料改性国家重点实验室 材料科学与工程学院 上海 201620

摘要：使用基于微机电系统的微力学传感器，我们搭建了能进行振荡和瞬态实验的剪切流变仪。其原理为缩小版的相对滑动的平行板，由微力学传感器和压电位移台构成。相比于传统商用流变仪，其仅需要 1 至几毫克样品。微力学剪切流变仪进行标准流变学实验（小幅振荡剪切、起始剪切等）的性能表现，通过使用 PDMS 黏弹性标准样品与商用流变仪进行了比较，结果能够在定量到半定量的程度吻合。在过去，只有能够大量获得的样品才能够开展流变学研究；这样的新型流变仪使得对这些材料的流变学研究成为可能。

关键词：流变仪；微机电系统；微牛顿力

多分散高分子量聚合物溶液在剪切和拉伸流场下动力学性质与浓度依赖关系的实验研究

范远棋、袁学锋*

广州大学系统流变学研究所；广州市番禺区大学城外环西路 230 号，邮编：510006 *Email: xuefeng.yuan@gzhu.edu.cn

摘要：单分散高分子溶液平衡态相行为可完全由高分子浓度和排除体积效应两个维度描述，呈现普适性特征。然而，高分子溶液都是“多分散体系”，只是分子量分布宽窄的不同。高分子溶液的多分散性对其平衡态和动力学性质的影响仍然缺少系统的研究成果。本报告通过从稀溶液、亚浓未缠结到亚浓缠结、高缠结的多分散高分子溶液在剪切和拉伸流场下的流变动力学实验表征，分析从线性到非线性粘弹性质、特征松弛时间等随浓度变化的普遍性规律；并针对高缠结多分散聚合物溶液体系的剪切成带问题，研究剪切带的形成与高分子缠结网络密实程度之间的动力学相互作用。最后通过分析多分散聚合物溶液的实验研究成果，并与相应的单分散体系聚合物动力学性质相比较，进一步揭示多分散溶液体系的特征，为构建非平衡态多分散高分子溶液理论奠定基础。

关键词：高分子溶液，多分散性；实验流变学；剪切成带

---

* 基金项目：国家自然科学基金青年项目(21903013)

† 通讯作者：刘庚鑫，研究员，E-mail：lgx@dhu.edu.cn

高分子纳米复合材料在阶跃剪切下的特征流变行为研究*

尤伟，俞炜†
上海交通大学化学化工学院，流变学研究所，上海 200240

摘要：线型链高分子在阶跃剪切中表现出的特征流变行为能够反映出高分子链的不同特征运动。对于纳米粒子填充高分子复合材料而言，目前并不清楚添加纳米粒子后这些特征流变行为的变化规律以及相应的微观机理。本文以二氧化硅填充聚甲基丙烯酸甲酯复合材料为模型体系，研究了纳米粒子对复合材料在阶跃剪切中特征流变行为的影响。发现相比纯高分子熔体，随着纳米粒子含量增加，复合材料的应力过冲值上升，并表现出对剪切速率强度的不同标度关系依赖性。研究将从纳米粒子对链取向、链拉伸、链解缠结的影响以及纳米粒子对剪切速率的放大效应方面阐述复合材料在阶跃剪切下的特征流变行为的作用机制。

关键词：阶跃剪切；纳米复合材料；应力过冲；标度关系

惯性湍流直接数值模拟和粘弹流并行计算求解器的初步研究

李远超、袁学锋*
广州大学系统流变学研究所，广州市番禺区大学城外环西路 230 号，邮编：510006 *Email: xuefeng.yuan@gzhu.edu.cn

摘要：与高雷诺数流动条件下产生的惯性湍流现象不同，弹性湍流是含有高分子的溶液在低雷诺数和高韦森伯数条件下产生的湍流现象。其主要特征表现为流场、高分子浓度、高分子构象等多物理场空间上的不均匀性和随时间变化的不确定性，是流变力学领域近 20 年来的学术难题。直接数值模拟（DNS）是研究非线性湍流机理的有效手段之一，其难点在于构建本构方程来准确刻画多物理场的动力学耦合机制和利用大规模高效并行计算跟踪动力学演化。本报告首先介绍利用 DNS 方法生成高 Re 条件下的各向同性湍流，以及表征湍流的方法，并验证直接数值计算方法的并行效率。再通过并行计算数值求解圆柱绕流基准问题，验证粘弹流求解器的正确性和高可扩展性，为后续利用机器学习方法研究弹性湍流多物理场的耦合机制奠定技术基础。

关键词：弹性湍流；并行计算；直接数值模拟；本构方程

含有环状链的相容性共混物链段动力学研究‡

阎志超[1§]，王伟[1]，Chandra Sekhar Biswas[1]，黄聪聪[2]，张慧[1]，刘琛阳[2]，Florian J. Stadler[1]，杜冰[1]
（1.深圳大学，材料学院，广东深圳，518055；2.中国科学院化学研究所，工程塑料重点实验室，北京，100190）

摘要：我们通过模拟与实验研究了环-环、环-线、线-线相容性共混物的链段松弛行为，系统地考察了环状拓扑结构对相容性共混组分动力学的影响。结果表明，环状链独特的结构使其在环-环共混中的局部浓度大于线-线共混，从而导致环-环相容性共混表现出更大的动力学非均质性。而在环-线共混中，穿插效应使其组分链段松弛行为接近线-线共混。介电实验表明，环状聚苯乙烯（PS）/线型聚乙烯基甲醚(PVME)共混物中，PVME 链段松弛时间的分布比在线-线共混中更窄，说明环线穿插会减弱相容性共混中的动力学非均质性。

关键词：环状聚合物，相容性共混，拓扑共混；

双分布缠结高分子溶液的剪切硬化

欧阳希凯 ,罗锦添 ，刘庚鑫*
东华大学，先进低维材料中心，材料科学与工程学院，纤维材料改性国家重点实验室，上海 201620

摘要：缠结高分子的动力学研究是人们一直关注的焦点，特别是对于缠结高分子的非线性流变学的

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21790344，20903053)
† 通讯作者：俞炜，教授，E-mail：wyu@sjtu.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金(21803039)，广东省基础与应用基础研究基金（2020A1515010326），广东省珠江人才计划（2017GC010659）
§ 通讯作者：阎志超，助理教授，E-mail：yanzhch@szu.edu.cn

研究。缠结高分子溶液通常在剪切场中出现剪切变稀的现象，这是由于缠结高分子的解缠结所导致的。但是我们在一类具有较高玻璃化转变温度（Tg）的缠结高分子溶液的启动剪切中发现了“剪切硬化”现象[1,2]。例如 polymethyl methacrylate（PMMA）, Polystyrene（PS）等。我们设计了分子量是双分布的缠结 PS 溶液用来研究分子量分布对于剪切硬化的影响。在小幅振荡剪切实验中，发现随着低分子量 PS 的分子量降低，逐渐出现第二个平台模量。这主要是由于高分子量的 PS 和低分子量的 PS 最大松弛时间相差过大。在启动剪切实验中，发现了随着双分布中低分子量 PS 的分子量增加，发生剪切硬化的临界剪切速率降低。剪切硬化的程度随着低分子量 PS 的分子量增加而增加。除此之外，在结构恢复实验中发现与之前文献中两个应力过冲峰的不同[3]，这种“剪切硬化”现象，它的应变在剪切结束之后它是能瞬间恢复的。

关键词：剪切硬化；缠结；分子量分布；

复合铁磁性 Fe_3O_4@CNT 纳米流体粘度特性研究*

胡彦伟[1†]，加少坤[1]，石雷[1]，何玉荣[1]

1.哈尔滨工业大学，哈尔滨 150001

摘要：铁磁流体由具有铁磁性质的固体颗粒与不导磁的基液组成，本身不存在磁极，只有在外加磁场作用下被持续磁化才能表现出特定磁性。将磁性纳米颗粒包覆碳基材料可形成密度低、导热率高的新型复合纳米材料，在生物医药、信息记录以及磁流体方面体现出重要的应用价值。本文通过将磁性 Fe_3O_4 纳米颗粒包覆于 CNT 表面，并采用超声震荡的方法将该复合纳米颗粒分散于去离子水中，制备出稳定的复合铁磁性 Fe_3O_4@CNT 纳米流体。采用旋转流变法获得了该纳米流体的粘度特性。实验研究表明，随着复合铁磁性纳米颗粒质量分数的增加，其粘度值近似线性增加，而随着实验温度的增加，纳米流体的粘度逐渐降低。

关键词：铁磁流体；Fe_3O_4@CNT 纳米颗粒；粘度特性；质量分数；温度

高强度、高模量玻璃态聚合物水凝胶

吴子良[†]，郑强

浙江大学高分子科学与工程系高分子合成与功能构造教育部重点实验室，浙江杭州，310027

摘要：水凝胶通常被认为是一类软而弱的材料，其力学性能差，极大地限制了其应用范围。迄今为止，国内外的研究者通过不同的网络结构设计和增韧机理制备了多种高强度水凝胶，其中，一些凝胶的强度甚至超过软骨等生物组织。但是，就材料的硬度而言，合成水凝胶（杨氏模量 E: 0.01-1MPa）仍远低于软骨、皮肤（E：20-100 MPa）。虽然合成凝胶可通过高延展性获得高强度和高韧性，但是在一些应用中，凝胶作为结构单元仍需要较高的模量。因此，制备高强度、高模量水凝胶具有重要的理论意义和应用价值。近年来，我们通过疏水、氢键协同作用机制，制备了多种高强度、高模量的水凝胶，其含水量为 50-70 wt%，模量、撕裂能高达 10-200 MPa、2-20 kJ/m^2。拉伸过程中出现典型的受迫高弹行为，DSC、DMA 等结果表明该凝胶在室温下呈现玻璃态。氢键等非共价键的动态特征使凝胶力学性能具有温度、速率依赖性，赋予形状记忆、自恢复等功能。这类水凝胶将是一种理想的结构材料，有望拓展凝胶材料在生物医疗、工程等领域的应用。

关键词：高强度；高模量；水凝胶；氢键；玻璃态；受迫高弹形变；

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(项目资助编号：52006048), 中央高校基本科研业务费用专项资金资助（项目资助编号：HIT.NSRIF.2019066）

† 通讯作者：胡彦伟，讲师，E-mail：huyanwei@hit.edu.cn

含牺牲键网络硫化胶的流变行为研究*

胡荣琰[1]，夏鑫鑫[2]，上官勇刚[2*]，郑强

1.高分子合成与功能构造教育部重点实验室，浙江大学高分子科学与工程学系, 杭州 310027

摘要：本文通过发展一种简单高效的引入离子牺牲键的方法制备了具有优异综合力学性能显著提高的杂化交联橡胶材料，对其结构-性能关系与流变行为进行了较为系统的研究。引入牺牲键网络后，硫化胶力学性能显著提升。离子键交联点可以有效限制交联网链的松弛运动，完善交联网络结构。在动态测试条件下，在较高温度和较大应变下离子键会先于共价键发生破坏的条件是较高的温度和较大的应变。体系中离子键交联点独特的热机械响应性和破坏-重建可逆性赋予杂化硫化胶一定的形状记忆功能。

关键词：牺牲键；杂化交联；硫化胶；流变行为；

基于深海底质流变特性的集矿机履齿启动牵引力计算模型研究

许锋[1] 饶秋华[2]

[1] 南华大学 数理学院；[2] 中南大学 土木工程学院

摘要：集矿机在海底静置休整或在深海环境作业中不可避免的受深海底稀软底质的特殊力学性质（与陆地土相比具有明显流变特性）和海底地形复杂性（如有海山，海沟等）直接影响。本文以集矿机静置海底后为前提，以几类不同的深海底质力学模型为基础，结合功能原理和被动土压力相关理论分析单履齿在压力与阻力的共同作用下，研究集矿机静置时间、履齿沉降深度与履齿形状尺寸对启动牵引力的影响规律，并推导出考虑深海底质流变效应的启动牵引力计算公式。计算结果表明，启动牵引力与履齿高度呈现线性关系且受压力分布方式影响较为显著。

关键词：启动牵引力；深海底质流变特性；履齿；

基于流变学的抗老化沥青性能评价†

郭猛[1]，梁美琛[1]，付烨[2‡]，刘海清[1]

1.北京工业大学，北京 100124；2. 北京工商大学，北京 100048

摘要：沥青的老化会降低路面的路用性能和服役年限，沥青抗老化技术的发展对提高沥青路面耐久性有重要意义。为了评价不同抗老化剂对原样沥青性能及抗老化性能的影响，进而选择出一种适用于沥青的高性能抗老化剂，以有效延缓沥青老化。本研究首先通过 Cole-Cole 图分析了不同抗老化剂与沥青的相容性，然后基于复数模量、车辙因子等流变学指标，从黏弹特性、高温抗车辙性能、中温抗疲劳性能以及低温抗裂性能四个方面，定性分析了 1#、2#两种抗老化剂对沥青基本性能及抗老化性能的影响，并基于上述指标提出了抗老化剂对沥青的影响指数和抗老化指数，定量评价了抗老化剂对沥青的作用效果。结果表明：不同抗老剂均与基质沥青具有良好相容性，加入后对未老化沥青各项性能有一定的影响，但影响幅度都相对较小；沥青老化后，除高温抗车辙性能增强外，黏弹特性、中温抗疲劳性能以及低温抗裂性能都有所衰减，抗老化剂的加入可以抵抗沥青老化过程中的性能衰退，减缓沥青的老化速度；其中，2#抗老化剂对原样沥青的影响作用较小，同时又能起到最佳的抗老化效果，对沥青各项性能的影响指数都在 0.3 以下，抗老化指数在 0.6 左右，在沥青抗老化研究中有很强的适用性。

* 通讯作者：上官勇刚，教授，E-mail：shangguan@zju.edu.cn

† 基金项目：国家自然科学基金项目(51808016，52078018) ，中国科协青年人才托举工程(2018QNRC001)

‡ 通讯作者：付烨，副教授，E-mail：fuye@ btbu.edu.cn.

基于氢键作用的高强度物理水凝胶的力学性能及流变行为

杜聪，张歆宁，郑强，吴子良†

浙江大学高分子科学与工程系高分子合成与功能构造教育部重点实验室，浙江杭州，310027

摘要：我们通过自由基共聚制备了具有良好的力学性能和中度含水量的聚(丙烯酰胺-*co*-甲基丙烯酸)水凝胶。因为高浓度的分子间和分子内氢键以及较高的链段刚性，水凝胶的力学性能随丙烯酰胺摩尔分数变化，并在 0.2 到 0.4 之间展现出最优力学性能与稳定性。通过时间-温度叠加得到动态模量谱图，结果表明氢键阻碍分子链的解缠结并对凝胶的平台模量有所贡献。模量随频率降低显著下降可以归结于库恩链段的松弛，而凝胶的含水量不仅影响凝胶模量，还影响松弛时间的分布。聚合物与水分子之间的氢键削弱了聚合物之间的氢键作用，而丙烯酰胺和甲基丙烯酸之间可能形成了键能更强的离子型氢键，从而赋予凝胶更强的力学性能和稳定性。本项研究将对理解高强水凝胶的结构-功能关系以及氢键对力学性能的贡献提供参考。

关键词：高强度；水凝胶；时温叠加；氢键；稳定性

界面立构复合双连续高分子合金的构筑及流变特性*

王亨缇，陈佳丽，李勇进†

杭州师范大学，浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号，311121

摘要：具有双连续形貌的聚合物共混材料能极大程度体现组分性能优势，是高分子成型加工研究的重要课题之一。然而，双连续结构通常为热力学非平衡态，同时受界面张力、体系粘度比、组成、及熔体弹性等因素的影响，双连续结构只能在很窄的组分窗口存在。课题组前期研究表明[1]-[3]，利用反应性梳型分子增容策略可有效降低聚合物组分间界面张力，抑制粒子聚并，拓宽共混体系的双连续组分窗口。在此基础上，本文首次提出利用反应性共混构筑界面立构复合晶的新方法实现热力学稳定双连续形貌的构筑。具体如下：我们首先合成出主链含环氧基团，侧链为右旋聚乳酸（PDLA）的反应性梳型分子，将其作为增容剂引入左旋聚乳酸（PLLA）的共混体系。在反应性加工过程中，增容剂分子能有效稳定于两相界面，通过 PDLA 与 PLLA 分子间氢键作用形成界面立构复合晶（i-SC）：一方面，i-SC 能与两相各自发生缠结作用，降低界面张力，细化相区尺寸，起到增容作用；同时，由于立构复合晶的熔点远高于加工温度，在熔体状态下 i-SC 能够赋予界面较高的模量，抑制粒子破碎与聚并，通过微纤间的融合诱导形成曲率较小的“直”界面，最终将双连续形貌固定下来。值得注意的是，这种 i-SC 诱导形成的双连续形貌具有极高的结构稳定性，即使在高温（温度低于 i-SC 熔点）熔融状态下退火几乎不发生相区的粗化。进一步研究发现，界面立构复合双连续高分子合金具有特殊的流变特性。该工作将突破对不相容高分子双连续结构的传统认识，为不相容共混体系的结构设计与界面调控提供思路和理论指导。

在剪切流场下氧化石墨烯悬浮液的流变学实验研究

方茜 袁学锋*

广州大学系统流变学研究所，广州市番禺区大学城外环西路 230 号，邮编：510006; *Email: xuefeng.yuan@gzhu.edu.cn 2111907031@e.edu.cn

摘要：氧化石墨烯可视为具有大长径比的二维颗粒材料，随其在分散液浓度的增加，会形成各向同性、两相共存、向列相等相结构。流场对于二维颗粒自组装形成的多尺度结构有很大影响，其中涉及到复杂的热力学与动力学耦合相互作用。本报告首先研究氧化石墨烯线性粘弹性质对于颗粒浓度依赖性；其次在强剪切流场下定量表征氧化石墨烯悬浮液复杂流变动力学性质，包括触变性屈服应力、迟滞现象、剪切带，随着应变率的改变会出现流动稳定区、应力不均匀区（塑性变形区）、流动不稳定区（弹性变形区）。上述这些非线性流变性质随颗粒浓度的增加变得更加显著，进一步实验数据分析可为建立具有普适性的二维颗粒悬浮液动力学相图奠定基础，为溶液法制造基于二维材料的

* 国家自然科学基金资助（项目编号 51903071）

† 通讯作者：李勇进 E-mail: yongjin-li@hznu.edu.cn

半导体器件提供指导。

关键词：二维颗粒材料；液晶；流变性质；屈服应力；触变性

面向磁控吸波涂层的磁流变复合材料制备及电磁性能研究*

杨平安[1,2]，余淼[1†]，王丽蕊[1]，浮洁[1]

1. 重庆大学，重庆 400044；2.重庆邮电大学，重庆 400065

摘要：吸波涂层是减小目标雷达散射截面（RCS, radar cross section），降低目标雷达可探测性的有效途径，在现代高技术战争中扮演着至关重要的角色，是目前隐身技术最活跃的领域之一。作为高性能吸波涂层的基础，具备优异电磁吸波性能的吸波剂颗粒的研究获得了越来越多的关注，成为隐身材料研究的焦点。本研究围绕 Fe 基复合材料的磁控特性，采用原位还原工艺制备出各向异性结构的花状微米级 Fe 颗粒，以此来对 Fe 吸波剂颗粒普遍存在的涡流与趋肤效应进行有效的抑制，改善电磁性能，提高吸波效果。同时，利用 Fe 吸波剂颗粒的软磁特性，采用磁流变材料的工艺技术制备 Fe 基复合材料，以研究颗粒的各向异性分布对材料吸波性能的影响，分析其规律，并搭建相应的测试装置，对通过磁场调控 Fe 基复合涂层的吸波性能进行测试与验证。

关键词：铁磁微纳米颗粒；电磁性能；吸波涂层；磁控特性

集矿机振动荷载作用下非均质深海沉积物动力响应分析

潘金鑫[1,3]　朱玮[1,3]　马雯波[2,*]

1. 科学工程计算与数值仿真湖南省重点实验室，湖南 41105；2.湘潭大学土木工程与力学学院，湖南 41105；3.岩土力学与工程安全湖南省重点实验室，湖南 41105

摘要：当前海洋矿产资源开发的尖端技术是采矿系统的设计，而深海集矿机是采矿系统中重要的一环，关系到采矿系统的工作效率问题。深海集矿机进行行走试验时，发现其振动易导致土壤液化，且行走时其工作重心往往会偏离几何中心，影响了集矿机行走的稳定性和采矿效率。故针对土壤的液化特性以及集矿机行走时偏心问题，开展深海沉积物力学响应分析对采矿系统的优化设计具有重要的意义。本文首先通过激光粒度分析、液塑限联合测定的方法研究取样于太平洋 C-C 矿区的深海沉积物的物理力学性质；并通过固结实验测量在不同压缩深度下样品的孔隙度、密度和含水率。基于弹性模量与深度之间的非线性关系，将集矿机的振动简化为谐振静止荷载，求得集矿机荷载作用下具有非线性模量的深海沉积物动力响应波动方程的解析解，并分别对不同振动频率和荷载振幅下深海沉积物的力学响应进行分析。针对集矿机行走时偏心问题，建立非均布运动荷载作用下非均质深海沉积物力学响应的解析解。结果表明：深海沉积物是以粉粒为主的黏土，且弹性模量随深度呈非线性增长；在谐振静止荷载作用下，当荷载振幅的增加或者荷载处于低频段（0.1Hz～1Hz）时会导致土壤变形增大，增加振动频率可以有效地减小土壤变形，当振动频率超过 5Hz 时，土壤变形没有明显变化；集矿机行走时偏心距的增加会使土壤在履带最大接地压力处的竖向位移增大，在履带最小接地压力处的竖向位移减小；随着运动速度的增加，土壤在履带接地段任意点的竖向位移呈增加的趋势。研究结果为我国深海采矿系统的优化设计提供重要的理论依据。

直升机座椅磁流变装置隔振缓冲性能仿真分析

邓雄‡，董小闵§，李彪，王陶

重庆大学机械传动国家重点实验室，重庆市 400044

摘要：在直升机飞行过程中，由于气流、飞行高度、地面地形等因素的影响，直升机存在振动和坠毁等问题，严重影响着飞行员的身体健康，甚至会导致机毁人亡，直升机座椅与人体直接相连，起

* 基金项目：国家自然科学基金项目(61901073)

† 通讯作者：余淼，教授，E-mail：yumiao@cqu.edu.cn

‡ 第一作者: 邓雄，男，博士研究生，研究方向为磁流变智能机械动力学与控制。E-mail: 821904012@qq.com

§ 通讯作者：董小闵，男，博士，副教授，研究方向为磁流变技术研究。E-mail: xmdong@cqu.edu.cn

着非常关键的作用，传统直升机座椅更多考虑的是坠毁问题，对隔振考虑较少。而磁流变阻尼器作为一种新型的半主动智能装置，具有阻尼力可连续调节、响应时间快、耗能低、结构简单、可重复使用等优良特性，潜在地可同时用于直升机座椅隔振与缓冲。针对直升机的隔振与缓冲工况，测试了磁流变阻尼器力学性能，研究了隔振与缓冲控制算法，通过仿真分析验证了算法的有效性。

关键词：直升机座椅；磁流变阻尼器；隔振；缓冲；控制算法

粘弹性材料特慢蠕变的局部结构导数本构模型

管佩瑶 ，梁英杰*

河海大学力学与材料学院，南京 211100；*通讯作者：liangyj@hhu.edu.cn

摘要：为描述粘弹性材料特慢蠕变力学行为，本文给出了特慢蠕变的局部结构导数 Maxwell 本构模型。该模型以 $\ln^{\alpha}(1+t)$ 为结构函数，物理意义清楚，能够准确描述粘弹性材料特慢蠕变行为的对数律依赖现象。当结构函数为 t 时，局部结构导数模型退化为传统整数阶模型，该模型可以描述指数律依赖行为；当结构导数为 t^{α} 时，其退化为豪斯道夫分形导数模型，该模型可以描述幂律依赖行为。传统整数阶模型和豪斯道夫分形导数模型这两类本构关系均不能描述粘弹性材料特慢蠕变的力学行为。目前，常用于粘弹性材料特慢蠕变力学行为的模型是 Lomnitz 模型，但该模型是一个经验本构，物理意义不清楚。为比较这四类模型在描述特慢蠕变力学行为上的差异，本文通过混凝土蠕变实验，结合不同实验条件下的蠕变实验数据，验证了局部结构导数模型在刻画特慢蠕变行为的可行性和有效性。此外，本文也给出了特慢蠕变的局部结构导数 Kelvin 本构模型，并与 Maxwell 本构模型进行了对比分析，给出了不同模型的适用范围。

关键词：粘弹性材料；特慢蠕变；结构导数；本构关系

一种用于提拉镀膜基板受力和表面张力测量的新方法*

殷亚然 [1]，章恒宽 [1]，郑明富 [1]，张先明 [1†]

1.浙江理工大学材料科学与工程学院，杭州 310018

摘要：本实验利用一种特殊夹具将镀膜板与旋转流变仪相连，实现了旋转流变仪在提拉镀膜过程中镀膜基板法向受力和表面张力测量方面的应用。实验结果表明，根据镀膜板所处的位置，可将提拉过程中镀膜板的受力变化分为四个阶段。镀膜厚度随提拉速度、液体黏度和屈服应力以及镀膜板表面粗糙度的增大而增加。通过分析镀膜板在第三和第四阶段竖直方向的法向受力，求得了镀膜液的表面张力，进一步将该方法测得的表面张力数值与表面张力仪测得结果进行比较，明确了该方法的适用范围。

关键词：提拉镀膜；流变仪；法向力；表面张力

深海富稀土沉积物的流变性能研究及其在流态化开采中的应用

李家平 [1,3]，马雯波 [1,3]，朱伟 [2,4]

1.湘潭大学土木工程与力学学院，湘潭 411105；2.湘潭大学数学与计算科学学院，湘潭 411105；3.岩土力学与工程安全湖南省重点实验室，湘潭 411105；4. 科学工程计算与数值仿真湖南省重点实验室，湘潭 41105

摘要：针对取样于太平洋 C-C 矿区的深海富稀土沉积物，本文首先采用激光粒度分析、液塑限联合测定对其常规的物理性能开展研究，并通过 X 射线衍射法和扫描电镜法分析其矿物组成成分以及微观结构。另外针对深海富稀土沉积物这种具有流动性的超软土，由于粘土片状颗粒间存在复杂的相互作用力，颗粒之间可以形成多种微结构，因此相对于简单的悬浮液体系，富稀土沉积物的流变性质非常复杂。本文采用 RST 流变仪开展具有不同温度与不同含水率的沉积物流变试验，并基于实验结果分析了不排水剪切强度、屈服应力、表观黏度与温度和含水率之间的关系。研究结果表明：深

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51973196)，浙江省重点研发项目（2020C01010）

† 通讯作者：张先明，教授，E-mail：joolizxm@hotmail.com

海富稀土沉积物具有高液限、高塑性，矿物成分主要以石英、方解石等原生矿物为主，显微结构主要由链接结构和蜂窝状的片状结构组成。深海富稀土沉积物具有较低的剪切强度和剪切变稀特性，且含水率和温度对沉积物的剪切应力与表观黏度有显著影响，与常温条件下相比，在低温环境下沉积物的剪切应力与表观黏度显著提高，表观黏度以及屈服应力随着沉积物的含水率的增加而下降，法向粘连力随着含水率的增加而下降。 这一成果可为深海富稀土沉积物进行流态化运输提供科学依据。

关键词: 富稀土沉积物；显微结构；粘度；剪切速率；剪切应力

黏弹性理论的昂萨格原理解读*

周嘉嘉 [1,2†]，土井正男 [2]

1.北京航空航天大学化学学院，北京 100191；2.北京航空航天大学软物质及其应用研究中心，北京 100191

摘要：流变学关注的对象是形变和流动跨越多个时间尺度的复杂流体，或者说是同时具有黏性和弹性的物质体系，一个典型的例子就是高分子溶液。在高分子流变学中，不同时间尺度的形变和流动对应着不同空间尺度的结构变化，这对于理论模型上提出了更高的要求。通常流变学中动力学演化方程的推导是基于守恒定律，方程中应力和应变(速率)之间的关系由本构方程给出。我们运用昂萨格变分原理，从构建高分子链的自由能模型出发，并以此为基础推导高分子流变学中常见的本构方程。

关键词：黏弹性；表面张力；昂萨格原理

聚乙烯蠕变断裂的裂尖过程区模型

罗文波 [1,2]，刘一江 [2]，李彦 [2]，刘秀 [2]

1. 岩土力学与工程安全湖南省重点实验室（湘潭大学），湘潭，411105；2. 湘潭大学土木工程与力学学院，湘潭，411105

摘要：PE 压力管道在给排水及天然气输送等工程中得到广泛应用，其主导失效模式是准脆性断裂，表现为慢速裂纹扩展（SCG）。目前鲜有可靠的模型用以预测不同应力水平下 PE 压力管道的延迟失效规律与管道蠕变寿命，尤其是对非连续 SCG 的理论与数值模拟的研究还处于起步阶段。本文提出了一种考虑银纹损伤的裂尖过程区模型用于模拟 PE 管材的非连续型 SCG 过程。模型考虑了 PE 管材裂尖应力集中所产生的银纹损伤，假设银纹微纤的断裂表面能与时间呈指数衰减变化，且表征银纹微纤劣化速度的特征时间与裂尖应力强度因子呈线性关系。结合裂纹及其过程区的扩展动力学模型，采用数值迭代的方法，实现对裂尖过程区模型控制方程的求解，给出了 PE 管材 PENT 试样 SCG 过程的数值模拟，并对试验结果进行了对比。结果表明，裂尖过程区模型的模拟结果与试验结果基本一致，考虑银纹损伤的裂尖过程区模型可用于描述 PE 管材的非连续 SCG 行为。

关键词：蠕变断裂；慢速裂纹扩展；银纹损伤；裂尖过程区；时间相关表面能

提拉镀膜中屈服应力流体动力学特性模拟研究‡

章恒宽 [1]，殷亚然 [1]，郑明富 [1]，张先明 [1§]

1.浙江理工大学材料科学与工程学院，杭州 310018

摘要：屈服应力流体（YSFs）的黏性效应在提拉镀膜过程中起着重要作用。本工作结合有限体积法（FVM）和流体体积法（VOF），模拟了简单屈服应力流体的提拉镀膜过程，研究了液池内部屈服和非屈服区域的厚度、流速和剪切应力分布以及自由表面轮廓，重点分析了屈服应力和黏性效应对流体动力学特性和膜厚的影响。研究表明，屈服区厚度和反向速度随着提拉速度的增大而增大，且其达到一定值后，自由表面出现明显凹陷。在 Bingham 数小于 1，且毛细管效应可忽略条件下，无因次

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21774004)
† 通讯作者：周嘉嘉，副教授，E-mail：jjzhou@buaa.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51973196)，浙江省重点研发项目（2020C01010）
§ 通讯作者：张先明，教授，E-mail：joolizxm@hotmail.com

膜厚与 Herschel-Bulkley 模型中的黏性项和屈服应力项呈幂律关系，幂律指数分别为 0.8 和-0.8。基于此，本文提出了具有广泛流体适用范围的膜厚半经验预测模型。本研究工作有助于充分阐释屈服应力流体的镀膜机理，并能够为拉膜工艺的工业设计和优化提供指导。

关键词：提拉镀膜；数值模拟；屈服应力；流体力学；膜厚

基于路堤土蠕变行为的路堤预应力损失模型

徐方[1,2]，邓志龙[1]

1.中南大学土木工程学院，长沙 410075；2.高速铁路建造技术国家工程实验室，长沙 410075

摘要：新型预应力路堤技术通过在路堤两侧边坡增设预应力组件实现路堤加固或整治路基病害。预应力随时间的变化规律及稳定值是决定路堤最终加固（或病害整治）效果的关键，研究路堤的预应力损失行为对保障预应力路堤的长期运营安全具有重要意义。本文基于预应力钢筋回缩变形与路堤土蠕变变形的相容性、路堤两侧侧压力板与路堤土接触面处的应力连续性及路堤内附加应力的扩散效应，提出预应力路堤的预应力损失模型。以 Burgers 蠕变模型描述路堤土的蠕变行为为例，推导了具体的路堤预应力损失方程，并基于 FLAC3D 数值仿真验证模型的有效性。结果表明该模型可有效描述路堤的预应力损失规律，故而可为预应力路堤的设计及后续预应力的补充提供理论基础和参考。

关键词：路堤；蠕变；附加应力；预应力损失

填充橡胶的双轴蠕变行为*

商允鹏[1]，刘一江[2]，刘秀[1,2]，罗文波[1,2†]

1.湘潭大学土木工程与力学学院，湘潭 411105；2.岩土力学与工程安全湖南省重点实验室室培育基地，湘潭 411105

摘要：长期以来，炭黑填充橡胶（CBR）的非线性黏弹力学性能受到材料科学和力学工作者的广泛关注和研究，以往相关研究主要集中在单向应力状态，然而，实际橡胶工程构件往往处于双向或三向复杂承载状态，为此，本文制作带加强片的炭黑填充橡胶十字型试样，利用 Care IPBF-300 原位双轴疲劳试验系统对十字型试样进行一系列应力水平（0.8MPa~1.5MPa）下的不同应力比（1:1、2:3、3:4）的双轴拉伸短期蠕变试验，并基于数字相关技术实时测量出试样中心区的应变，获得相应的蠕变曲线。选取基于柯西应力张量和左柯西-格林变形张量所建立的等效应力度量 $_c$和等效应变度量 m 表征双轴条件下材料的受载程度和变形程度，并以此分析炭黑橡胶的在双轴应力状态下的蠕变行为。结果表明，炭黑填充橡胶具有应力水平相关的非线性黏弹性能，不同应力水平下的短期蠕变曲线沿对数时间坐标轴移位可构建出远大于试验时长的宽广时域蠕变主曲线，并使用分数阶 Maxwell 模型对移位后的蠕变曲线进行拟合，拟合结果显示模型和数据吻合良好。

关键词：双向应力状态；蠕变；主曲线

聚合物熔体中链动力学的模拟研究

郭洪霞

中国科学院化学研究所，北京市海淀区中关村北一街 2 号，100190

摘要：高分子链的运动具有典型的多空间、多时间尺度特征。Rouse 模型通常用以对未缠结高分子体系动力学行为进行描述，而管道模型则用来描述缠结高分子体系的动力学行为。目前，对于短链高分子体系中链拓扑对其动力学行为的影响不甚清楚，而现代合成技术发展已使得复杂拓扑结构高分子链的合成成为可能并且已发现链拓扑结构对材料的力学性能、流变学、和加工性能等有重要影响。另一方面，原始的管道模型是将复杂多元问题简化为单根分子链的平均场理论，虽然可以定性描述一些实验结果，但难以做出有效的定量预测，其中亟待解决的问题之一是对约束释放（CR）效应的微观理解。我们采用分子动力学模拟方法，一方面结合图论方法系统研究了具有不同拓扑结构的未

* 基金项目：国家自然科学基金项目(11802259)，国家自然科学基金面上项目（12072308）

† 通讯作者：罗文波，教授，E-mail：luowenbo@xtu.edu.cn

缠结高分子链的动态性质，揭示链拓扑的影响机理；一方面以研究约束释放效应最具代表性的体系为模型体系，深入研究了 CR 对链扩散运动及其取向松弛和管道运动及存活时间的影响，揭示约束释放效应产生条件和影响机制。

聚合物薄膜厚度对链缠结行为的影响*

王风亮，左彪，王新平†
浙江理工大学化学系，杭州 310018

摘要： 当聚合物薄膜的厚度减小到与高分子链尺寸相当时，高分子链处于纳米受限态。理解纳米受限态下高分子链的缠结将有助于我们准确预测纳米受限态下聚合物的黏弹行为，是发展高分子微纳米成型加工技术的理论基础。目前对纳米受限态下聚合物链缠结理论的研究还面临着极大的挑战。对纳米受限态聚合物链缠结结构、变化规律还缺乏理解。基于课题组前期的工作[1-3]，我们发展了一种利用液滴表面张力诱导聚合物表面发生形变来研究聚合物材料蠕变和黏弹性的方法。该方法通过在聚合物膜表面放置微液滴，由于液滴表面张力的竖直分量驱使聚合物表面发生形变；形变高度与液滴放置时间的关系与非晶态聚合物的蠕变曲线相关。研究形变高度随时间的演变可反映聚合物黏弹性和分子运动；利用该法研究了聚苯乙烯薄膜厚度对薄膜松弛时间的影响，并与薄膜缠结分子量相关联，发现当薄膜厚度低于临界厚度 3.3 Rg 时，薄膜的缠结分子量开始增加。

关键词：黏弹性；分子运动；松弛时间；缠结分子量

离子强度对膨润土悬浮液流变行为的影响

秦淮涛 [1]，林渊 [1*]
1.浙江大学海洋技术与工程系，舟山 316021

摘要：本文研究了膨润土悬浮液体系的流变行为与离子强度的关系，发现体系的屈服应力随离子强度的上升呈现先上升后下降的趋势。这是因为少量的离子能提高颗粒间的静电作用及颗粒的有序化程度，使体系在空间结构上更规整，而随着离子强度的进一步增大，颗粒间的静电力将随扩散层厚度的减小而减小，从而导致屈服应力的下降。之后，本文基于 DLVO 理论，构建了屈服应力关于离子强度的数学模型，该模型与实验值拟合得较好。最后，本文利用屈服应力以及定义的特征粘度这两个特征量，对不同离子强度下的悬浮液体系屈服后的粘度变化曲线进行了归一化，并构建了主粘度曲线方程，以对不同离子强度下处于流动态的悬浮液体系的粘度变化行为进行统一描述。

关键词：膨润土悬浮液；离子强度；屈服应力；粘度；

新型磁流变扭转式变阻尼变刚度减振器特性研究

于建强 [1‡]，董小闵 [1]，王凯翔
1.重庆大学机械工程学院，重庆市 400044；2.重庆大学机械传动国家重点实验室，重庆市 400044

摘要：为在有限空间内实现减振器的变阻尼变刚度特性，本文充分利用磁流变材料屈服前区及屈服后区的可控特性，提出一种新型扭转式变阻尼变刚度减振器，并对其可控性能进行了测试与分析。为使扭转器件在较大角度能输出可变刚度与可变阻尼，采用固定盘与从动盘结合的盘式结构。为验证设计思路的可行性，设计了样机并对其在 MTS 上进行了实验测试，分析了电流、扭转角度和频率对阻尼和刚度特性的影响。结果表明新型扭转减振器具有良好的电流或磁场可控性，易受扭转角度影响，但受频率影响较小。通过与采用三个固定盘结构的扭转减振器进行对比发现，所提出的新型扭转式变阻尼变刚度减振器可以在较大角度范围内输出变阻尼和变刚度。

关键词：磁流变；屈服前区；变阻尼；变刚度

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21674100、21873085)
† 通讯作者：王新平，教授，E-mail：wxinping@zstu.edu.cn
‡ 通讯作者：于建强，助理研究员，E-mail：yjq2012@cqu.edu.cn

尼龙薄膜拉伸过程中的结晶特性和流变行为

刘跃军

湖南工业大学包装与材料工程学院，湖南工业大学先进包装材料与技术湖南省重点实验室。联系邮箱：yjliu_2005@126.com

摘要：调控尼龙薄膜双向拉伸过程中的结晶及取向行为是优化材料配方和加工工艺的关键，直接影响制品的结构与性能。自行研制双向拉伸小型实验装置，建立研究双向拉伸过程中结晶、取向、流变行为的实验平台。（1）研究了 PA6 薄膜的单向、双向热拉伸工艺对其微观结构和性能的影响规律，揭示了 PA6 薄膜在不同拉伸工艺条件下晶区与无定型区的微观结构信息以及对应的性能，基于分数阶流变模型研究了尼龙薄膜的拉伸蠕变行为，建立了加工-结构-性能三者之间的动态关系，为优化 PA6 薄膜的拉伸工艺及其结构性能提供理论指导。（2）通过引入 EVOH 来提高 PA6 薄膜的阻隔性，对优化配方后的 PA6/EVOH 复合膜进行单、双向拉伸的研究，得出了拉伸工艺-微观结构-宏观性能之间的优化关系；对不同配方的双向拉伸 PA6/EVOH 复合膜进行研究，发现 EVOH 确能提高 BOPA6 的阻隔性能，其强度和韧性也有一定提高。（3）分析了三种拉伸方式对 PA612 薄膜微观结构和宏观性能的影响。受限单向拉伸和非受限单向拉伸中，晶体沿拉伸方向取向明显；非受限单向拉伸中应力诱导结晶行为更明显，受限拉伸中晶片的取向主要受拉伸比的影响；双向拉伸中晶体呈无规取向。经过受限单向拉伸和双向拉伸的薄膜，其透光率、阻隔性能提高，这更有利于薄膜的实际应用。

关键词：薄膜；拉伸；结晶；流变

一种磁流变液在线沉降监测方法及实验*

李佩[1]，张祥[1]，张红辉[1†]，廖昌荣[1]，谢磊[1‡]

1. 重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：磁流变液（magnetorheological fluid）的沉降问题是磁流变领域面临的一大技术挑战。针对磁流变液沉降的定量检测或监测，是表征磁流变液沉降特性或悬浮稳定性的必需技术。区别于现有的磁流变液沉降传感方法，现提出一种新型电感式检测方法，并可实现对阻尼器内部 MRF 沉降的在线监测。这种在线监测方法利用了阻尼器内部的空间特征，即在空间限制下提高了检测灵敏度。

关键词：磁流变液；沉降；沉降特性；在线监测

流变研究乙烯丙烯无规共聚物/聚丙烯共混物剪切场下的结晶动力学

丁双双，王志刚

中国科学技术大学

摘要：剪切流场不仅可以加速聚丙烯结晶动力学，甚至诱导球晶到 shish-kebab 的转变，显著提高聚合物最终制品的力学性能。目前对聚丙烯纯组分体系剪切诱导结晶行为的研究较为透彻，但是对于聚丙烯共混物体系，尤其是不相容的体系，由于剪切场下复杂的相形貌变化和剪切流场的不均一性，使得其研究较为复杂。本研究中使用剪切热台和流变仪两种测试方法，详细地研究了剪切流场对聚丙烯共混物体系结晶形貌和结晶动力学的影响。

关键词：结晶动力学；剪切作用

---

* 基金项目：国防基础科研计划资助（JCKY2018110C129）；国家自然科学基金项目（11702040）

† 通讯作者：张红辉，副教授，E-mail：hhzhang@cqu.edu.cn；谢磊，副教授，E-mail：lxie@cqu.edu.cn

小型磁流变隔振支座优化设计与性能研究*

李锐[1†]，李果[1]，杨平安[1]
重庆邮电大学，重庆 400065

摘要：现有微振动控制领域的研究中，隔振系统大多采用隔振器件外接传感器的方法，存在安装复杂度高、响应速度较慢等缺陷，传统磁敏橡胶隔振支座通常只能面向单方向振动载荷的感知和隔振，而实际工程应用中，复杂振动载荷既是多方向的，还是多角度的。从微振动控制领域中，复合材料隔振支座实现智能化需保证结构安全化的前提出发，提出了隔振支座机械结构优化方案和磁路结构优化方案。机械结构优化中，具体设计了限位导磁钢板，与磁敏橡胶叠层后作为支座的核心隔振单元；在支座的上端顶盖和侧边套筒之间设计了环形阵列的护锁机构。利用带约束条件的最小值优化方法计算总磁阻最小的机械结构尺寸及其最优比例，实现磁敏橡胶支座尺寸小型化。利用加工装配所得的小型隔振支座，从磁敏橡胶压阻特性、剪阻特性、磁电阻特性出发，对小型隔振支座进行自感知性能实验研究，分析得出当中间层作为感知层时为最优的感知层，感知层磁敏橡胶自感知支座的受力状态规则。针对垂向压力工况下的隔振，对小型隔振支座设计了控制电路及相关的控制算法。搭建了可控隔振系统实验平台，并进行了垂向控制隔振实验。实验结果表明，小型隔振支座能够自感知实时变化的振动状态来对应地给出控制决策，达到隔振的效果。分析隔振效果可知，加入控制电路后的小型隔振支座振幅相比无控制的小型隔振支座降低了 36.4%。

关键词：微振动，磁敏橡胶支座，优化设计，结构自适应

纳米磁性颗粒/粘土分散体系流变性研究

李振坤[1] 李德才[1]
1 清华大学摩擦学国家重点实验室

摘要：磁性纳米颗粒和粘土矿物复合分散体系具有良好的稳定性和磁控形状记忆性，可以实现从液态到类固态的转变，且不受界面限制。当球形粒子间的磁偶极相互作用与层板粘土颗粒间的非磁相互作用量级相近时，磁性颗粒形成各向异性柱状结构的同时会使粘土层板定向排列，使其表现出复杂的时间相关流变特性。本研究采用原位合成等方法制备了不同微观组成的纳米磁性颗粒/粘土分散体系样品，通过旋转流变和平面泊肃叶流变测量手段测量其力学特性，结合微观及磁学表征手段揭示其微观机理。本研究对为该材料在密封、减振等应用领域定量化、精准化应用和调控提供条件。

室温固化环氧树脂胶黏剂时间-应力等效性及其长期力学性能研究‡

李卉 1，罗迎社 2§，龚关 1，
1.信阳师范学院，河南信阳 464000；2.湖南交通工程学院，湖南衡阳 410004；3. 中南林业科技大学工程流变学湖南省重点实验室，湖南长沙 410004

摘要：自制了一种建筑结构加固用，在室温下固化的环氧树脂胶黏剂。测得胶黏剂的拉伸强度为 55Mpa,断裂伸长率为 3.77%，达到了《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》（GB50728-2011）中对于以混凝土为基材，粘结钢材用结构胶的要求。为探讨环氧树脂胶黏剂在长期荷载作用下的蠕变特性，在四种不同的应力水平下（30MPa，36MPa，42MPa，48MPa），进行了 7200s 的蠕变试验。根据得到的蠕变曲线，利用时间-应力等效原理对胶黏剂的蠕变稳态阶段进行分析，得到参考应力下的蠕变主曲线，并对其进行非线性拟合，实现利用了较高应力水平下的短期蠕变行为来预测较低应力水平下的长期蠕变行为。用分数阶导数元件（Abel 元件）替换传统 Burger 模型中的 Kelvin 体的牛顿粘壶，并用改进后的模型 KBurger 对环氧树脂胶黏剂的蠕变主曲线进行模拟。结果证明 KBurger 模型能很好的模拟环氧树脂胶黏剂的蠕变行为,拟合曲线和实验曲线几乎完全重合，拟合相关系数 R 达到

* 基金项目：国家自然科学基金面上项目(52075063)、重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201800644)
† 通讯作者：李锐，教授，E-mail：lirui@cqupt.edu.cn
‡ 资助项目：湖南省科技厅科技计划项目(2010GK3110)；湖南省教育厅科技计划重点项目(10A130)
§ 通讯作者：罗迎社，男，教授，E-mail：lys0258@vip.sina.com

0.9985。

关键词：室温固化环氧树脂胶黏剂；蠕变；时间-应力等效原理；Burger 模型；KBurger 模型

碳纳米管分散液的分散状态及其流变性能

吕卫帮

摘要：碳纳米管是具有优异性能的纳米组装单元，将碳纳米管进行湿法组装成纤维，薄膜和海绵是实现其宏观应用的重要方式，因此碳纳米管的分散及分散状态对于应用至关重要。文中通过高压均质机制备了不同分散时间的碳纳米管分散液，使用旋转流变仪研究了各种分散液流变性能，同时使用 TEM 研究分散液的分散状态，结果表明，与预分散的碳纳米管分散液相比，分散液的分散稳定性和均匀性随着分散时间的延长变得更好。

高性能交联聚离子液基电流变液*

尹剑波**

西北工业大学物理科学与技术学院智能材料实验室，西安 710129

摘要：电流变液是一种流变性能可通过外加电场快速、可逆调控的智能软材料，在减震降噪、液压阻尼、医疗器械、机器人等许多领域有潜在应用价值。然而，性能上的不足限制了电流变液的实际应用。聚电解质具有低密度、低磨损和高离子极化特点，被认为是最具实用前景的电流变材料之一。1980 年代，基于传统聚电解质的第一代聚电解质电流变液问世，然而，该体系必须吸附水促进反离子解离来激活电流变效应，材料热稳定性不佳。1994 年，基于聚醚/金属盐的聚合物电解质电流变材料开发成功（简称 PEO-M^+）。由于醚氧基与金属离子的弱作用，所以干态 PEO-M^+便可发生离子解离迁徙，产生强电流变效应。但聚氧乙烯链节亲水导致该体系对潮气敏感，耐久性仍不佳。

2014 年，我们开拓了分子本身便疏水的聚离子液基聚电解质电流变新体系。不同于前两代中离子解离和输运主要受控于阴阳离子间的库伦作用势，该体系具有低的阴阳离子库伦作用势，离子输运更依赖于基体的弹性势能，因此在干燥玻璃态时，聚离子液便可发生离子解离和局域输运，产生强界面极化和电流变效应，突破了困扰聚电解质电流变体系发展的水敏感问题[1]。但大尺寸氟化多原子离子具有塑性，线性聚离子液电流变体系存在玻璃化温度偏低，工作温区偏窄问题[2]。

本报告首先介绍了聚离子液电流变液的优点和问题；接着介绍了我们最近开发的具有高温度稳定性的交联聚离子液基电流变液体系，并通过流变、介电、WAXS 等分析详细研究了不同结构交联聚离子液中的离子局域运动、界面极化与宏观电流变效应及温度依赖性及其机制；最后基于结构性能设计了具有高电流变效应和温度稳定性的交联聚离子液基电流变液体系[3]。

聚己内酯基电磁吸波结构材料的可重构磁诱导调谐吸波特性研究

甘如饴，綦松†，李士煦，李亚平，方彪，余淼†

重庆大学光电工程学院，重庆 400030

摘要：随着电子信息科学技术的发展，电磁波被广泛应用于人类社会。由此带来的电磁干扰和污染对人体健康和设备安全均构成了严重的威胁。吸波超材料是一种由人工设计的具有亚波长结构单元的结构型材料，具有传统材料所不具备的诸多优点，可有效提高传统材料的电磁吸波性能。然而，传统电磁吸波超材料很少具有可调谐及可重构性，使得吸收频带窄且单一，限制了其应用范围。为此，本文提出了一种磁控可重构电磁吸波超材料，采用聚己内酯(PCL)和羰基铁粉(CIP)作为热塑相变基体以及磁性吸波颗粒。利用数字编码磁场阵列，设计了两种超材料结构单元。利用弓形法测试了超材料在 2~18GHz 范围内的吸收性能。结果表明，在 7.44～12.2GHz 的频率范围内，吸收率可超过 90%，最小反射损耗可达−17.96dB。结合 PCL 具有的优异热塑性，吸波结构材料内部的 CIP 可以实现

*基金项目：国家自然科学基金(51872243)资助。

**通讯作者，尹剑波，E-mail：jbyin@nwpu.edu.cn

在热场和磁场耦合作用下的重构，使超材料具有磁控以及可重复调谐特性。结果表明，经磁热重构后的超材料，其吸收率在 7.28～11.60GHz 频率范围内仍能超过 90%。同时，本文利用有限元仿真软件 COMSOL 对超材料的吸波机理进行了分析，发现其对电磁能的损耗以磁损耗为主。最后，利用流变仪对材料的力学特性进行了分析，测试结果表明，材料在相变前后均体现出优异的力学特性。综上所述，本文提出的具有磁控制、可重构性和编码特性的超材料在提高利用率、吸收率以及减少电磁干扰等方面具有广阔的应用前景。

关键词：电磁吸波；磁诱导；可重构；超材料；聚己内酯；

天然蛋白质材料的加工流变性能调控及其空气净化应用

计远，崔英健，倪朱熙，王宇*

四川大学，高分子科学与工程学院，成都 610065

摘要：天然蛋白质分子因其分子链内部及不同分子链间复杂的多层次多重相互作用，通常无法通过经典的熔融加工方法进行材料设计与成型。与此同时，目前最有效的溶液加工手段也存在效率较低，溶剂用量过大等突出问题。为了实现天然蛋白质的规模化和高效率加工，本工作针对玉米蛋白进行了其加工流变性能的溶剂调控研究。结果发现，玉米蛋白在适量少的溶剂作用下（约 40 wt%），便可以实现从高粘态、粘弹态和高弹态的流变性能调控。借助其特殊的流变性能，本工作最后将玉米蛋白成功地涂覆于多孔骨架之上，实现了其泡孔材料的制备，并探讨了其在空气净化方面的应用。

关键词：天然蛋白质；加工流变性能；功能蛋白质材料；空气净化；

沥青混合料的一种非线性分数阶黏弹塑性蠕变模型

张永军 [1,2]，刘秀 [1,2]，尹博渊 [3]，罗文波 [1,2]

1. 岩土力学与工程安全湖南省重点实验室（湘潭大学），湘潭，411105；2. 湘潭大学土木工程与力学学院，湘潭，411105；3. 湖南科技大学土木工程学院，湘潭，411201

摘要：热拌沥青混合料是流变特性显著的路面工程材料，通常情况下其黏弹塑性力学行为表现出明显的非线性特征。为准确描述其非线性黏弹塑性力学行为，本文基于分数阶微积分理论和连续介质损伤力学，在西原模型的基础上，考虑分数阶黏弹性、时间硬化黏塑性和 Robotnov 损伤律，发展了一种非线性分数阶黏弹塑性蠕变模型。考虑双轮组标准轴重设计，探讨沥青混合料的室温蠕变特性，在 0.4~0.8MPa 单轴压缩应力作用下开展蠕变试验，通过等时应力-应变曲线验证了其力学行为的非线性特征。基于 Levenberg-Marquardt 非线性最小二乘算法，采用非线性分数阶黏弹塑性蠕变模型同时拟合不同应力水平下的蠕变试 验数据，确定的模型参数与应力水平无关。将本文模型、修正的西原模型和 Burgers 模型与试验结果进行比较，表明本文提出的非线性分数阶黏弹塑性蠕变模型通过引入损伤演化考虑了蠕变柔量与蠕变应力的相关性，从而描述非线性黏弹塑性，克服了修正西原模型和 Burgers 模型只能描述线性黏弹（塑）性的不足，用同一组材料参数既能很好地描述低应力水平下的初始蠕变和稳态蠕变，也能很好地描述高应力水平下包含加速蠕变阶段的蠕变全过程，为发展沥青混合料非线性黏弹塑性本构模型提供了新的思路和参考。

关键词：沥青混合料；非线性黏弹塑性；损伤；分数阶黏弹性；蠕变

扩链剂对水性聚氨酯压敏胶流变性能和粘接性能的影响

赵辉，罗震，龚翠然，郑杨清，余利明，许莹*

中国科学院福建物质结构研究所，350002

摘要：本文以聚丙二醇(PPG)、氢化端羟基聚丁二烯(HLBH)、二羟甲基丙酸(DMPA)和几种扩链剂合成了以线性结构为主体的系列水性聚氨酯压敏胶，并且研究了几种具有不同分子结构的扩链剂对该类水性聚氨酯在室温和 80℃时压敏性能的影响。通过对该类物质在两种不同温度下的初粘性、持粘性、

* 通讯作者：王宇，特聘研究员，E-mail：yu.wang3@scu.edu.cn

180°耐剥离性和部分流变性质的表征和分析，尝试探索该类水性聚氨酯的物质组成-流变性质-胶粘剂性能三者之间的关系，从而有利于更好地了解水性聚氨酯的压敏性能的产生原因和调控方法。现有工作结果表明，与以 1，4-丁二醇作为扩链剂对比，采用乙二胺作为扩链剂得到的压敏胶在室温和 80℃时的持粘时间和 180°耐剥离力均明显增加。从得到的流变数据分析，乙二胺扩链得到的压敏胶模量随温度变化小，意味着在更宽的温度范围内储能模量以及损耗模量依旧能够达到一个很高的值。高模量对应着高的内聚能，而高的内聚能使得分子结构更加稳定。

关键词：压敏胶（PSA）；流变性；扩链剂；高温性能 ；储能模量

具有多线谱振动的精密隔振平台时滞分频模糊控制研究

代镇宇[1],浮洁[1],高凡[1],邹文康[1]，刘静[1]，韩锦聿[1]，余淼[1]

1.重庆大学光电工程学院光电技术与系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：随着精密加工与精密测量等技术的发展，微振动对加工精度和测量精度的影响越来越受到关注。传统的被动隔振器由于其结构参数固定，无法满足复杂激励下的隔振需求；主动隔振系统复杂成本高，能量消耗大，且高频易失稳。以磁流变弹性体为代表的半主动控制技术不仅具有功耗低、稳定性好等特点，还能根据外界激励变化实时调节参数，成为振动控制领域的研究热点。多线谱振动由于激励复杂，常规控制方法难以取得理想的控制效果，是隔振控制的难点。另外，实际控制系统中的延时对控制性能的影响不容忽视，甚至恶化控制性能。论文针对具有磁流变弹性体隔振支座的精密隔振平台在工作中的多线谱振动和延时问题开展研究。首先建立了精密平台磁流变弹性体隔振系统动力学模型；其次针对各个线谱分别设计分频非线性模糊控制器。并针对控制中的延时问题，通过理论推导和试验测试分析延时影响因素，建立延时和影响因素之间的函数关系，进而设计延时补偿器。最后通过控制实验验证了所设计控制器的有效性，结果表明，与常规模糊控制器相比，具有延时补偿的分频模糊控制器对多线谱振动具有更优的衰减效果。

关键词：多线谱振动 分频模糊控制 磁流变弹性体隔振器 时滞补偿

PVC 材料受载变形的力热磁效应*

陈胜铭[1]，罗迎社[1,2†]

1.中南林业科技大学工程流变学湖南省重点实验室，长沙 410008；2.湖南交通工程学院，衡阳 421009

摘要：选用 PVC 板材作为实验研究对象，通过预制使其含不同形式的缺陷，开展含缺陷 PVC 材料的单向拉伸致断实验。研制了“一键式控制”模式全域力-热-磁多场耦合集成测试系统，改良三维五点位缓变微弱磁场测量传感器。开发的三维动态供电、测磁校正和抗干扰技术降低了密集布置磁传感器元器件的工作能耗，避免了元器件之间工作温度的相互叠加而过载的现象，是物理实验技术的一种创新。材料试验结果及数据分析表明：高聚物材料在广义外荷载作用下的破坏过程中存在动态损伤-断裂区的力场、位移场、温度场和热致磁场的多场耦合效应。材料裂纹扩展是新断裂表面产生和扩展的过程，热力学第二定律或熵产生不等式要求它必然伴随着热传导和熵产生。实验发现即使在开放系统中，PVC 材料弹性变形过程中存在弹性降温现象，表明材料即使处于弹性变形状态，也有热能量的耗散，这种热能量耗散在材料处于黏塑性变形状态时由于内摩擦尤为明显。数值分析表明热能量的耗散区域与应力梯度分布区域有耦合一致性。拉伸荷载对系统输入的功除了黏塑性变形能耗散外，还包含热耗散以及电磁能耗散等。通过热传导理论的分析，揭示了材料的体积应变与材料温度变化的诱导关系。在材料的体积应变增量为正时，材料的体积温度呈下降过程；当体积应变增量为负时，材料的体积温度呈上升过程；而当体积应变增量为零时，材料的体积温度将保持不变。从能量平衡方程出发，推导了含热致磁效应的 PVC 材料的热传导方程，得到的耦合项 $\zeta_0 J_{i,i} T$ 从理论上

* 基金项目：国家自然科学基金项目(10672191,11072270)；中南林业科技大学引进高层次人才科研启动基金项目(11190042)

† 通讯作者：罗迎社，教授，E-mail：lys0258@sina.vip.com

证明了热致磁效应的存在。该热磁效应不同于外加磁场下的热响应耦合，而是由于材料变形生热形成的温度梯度场导致的磁感应场产生。并且这种耦合磁效应发生在高聚物材料温度梯度变化急剧的区间，呈单调方向变化，实验表明热致磁效应是一种近似的面内效应。

关键词：热力学；热致磁效应；流变断裂；黏弹塑性; 多场集成测试

含蜡环戊烷水合物浆液的生成及流变特性研究*

宋尚飞[1]，陈玉川[1]，史博会[1,2†]，付顺康[1]，贾军鹏[1]，王君傲[2,3]，段旭[1]，廖清云[1]，姚海元[2,3]，宫敬[1,2‡]

中国石油大学（北京）油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室，北京 102249　2.天然气水合物国家重点实验室，北京 100028 3. 中海油研究总院有限责任公司，北京 100028

摘要：随着近海油气资源开发逐渐向深水转移，油气资源开发过程中面临更加严峻的挑战，包括蜡晶析出和水合物生成等带来的流动安全保障问题。本研究以环戊烷水合物为研究对象，探究了含蜡体系蜡晶对水合物浆液生成过程中的动力学及流变特性的影响。体积含水率条件分别为：20%、25%、30%，蜡晶质量占比分别为 0、1.0%、3.0%、5.0%。研究发现：含蜡和无蜡乳状液内水合物生成过程中浆液黏度变化的阶段特征不同，即含蜡条件下水合物生长过程中可以观察到黏度增大的两阶段特征。水合物浆液最终的稳态黏度随蜡含量增大而增大。基于悬浮液黏度模型，计算得到水合物体积分数，并据此对其生成动力学过程进行研究，发现水合物生成最终体积分数随含蜡量增大而降低，并提出了相应的机理解释。且对水合物的生成时间的分析可知：水合物的生成时间随含蜡量的增加而不断增加。此外，针对各个实验条件下进行含蜡水合物浆液的屈服应力测量研究。在不同含水率下，测得的屈服应力和屈服应变随蜡含量的增加而增加，这与水合物颗粒之间的毛细管桥和蜡晶体的空间网络的耦合效应有关。

关键词：水合物浆液；水合物生成；蜡与水合物；屈服应力

基础液对草酸氧钛钙电流变液性能影响研究§

赵自辉[1]，靳婷[1]，华乐天[1]，程昱川[1, 2**]，许高杰[1]

1.中国科学院宁波材料技术与工程研究所，宁波 315201；2.中国科学院大学材料与光电研究中心，北京 100049

摘要：电流变液作为一种复杂的分散悬浮体系，其性能来源于分散相介电颗粒在电场中产生诱导极化，然后在基础液中排列成链状结构。基础液作为连续相，是电流变液的重要组成部分。基础液的作用是将固体粒子均匀地分散在其中，这种分散作用能保证在零场时，使电流变液体仍保持有牛顿流体的特性，而在有电场作用时，则使粒子在其中形成链簇，使电流变液体呈现弹塑性流体的特性。

在草酸氧钛钙（CTO）电流变液体系中，采用的 CTO 颗粒表面修饰有丰富极性基团，颗粒与基础液的界面区域存在着性质异于固、液本体的界面层，可看作含有界面层的非均匀材料。此时基础液并不单纯为固体粒子起分散作用，可以说其电流变效应是电场作用于基础液和固体粒子所形成的两相悬浮液体的整体行为。硅油具有介电常数低、化学稳定性好、无毒无污染等优势，是普遍采用的基础液材料。我们以三种粘度和密度均相近的带有不同基团的硅油为考察对象，系统地研究了基础液对 CTO 电流变液性能的影响。在实验中，我们观察到基础液对颗粒的浸润性一定程度上影响着电流变液的零场粘度，浸润性越好，零场粘度越低。此外，含氢硅油为基的电流变液的屈服强度和剪切强度最高，甲基硅油电流变液次之，羟基硅油电流变液最低。三种基础液的电流变液介电常数差值如下△ε′(含氢硅油)＞△ε′(二甲基硅油)＞△ε′(羟基硅油)，即采用含氢硅油为基础液，材料整体的介电常数差值更大，因此电流变效应更强。虽然羟基硅油电流变液的屈服强度和剪切应力不如其他

* 基金项目：国家自然科学基金(51874323, 51534007)、北京市自然科学基金（3192027）、国家重点研发计划(2016YFS0303704)、国家科技重大专项(2016ZX05028004-001, 2016ZX05066005-001)、和中国石油大学(北京)科研基金(2462020YXZZ045)联合资助。

† 通讯作者：史博会，副教授，E-mail：bh.shi@cup.edu.cn

‡ 通讯作者：宫敬，教授，E-mail：ydgj@cup.edu.cn

§ 基金项目：国家自然科学基金项目(11674335)

** 通讯作者：程昱川，研究员，E-mail：yccheng@nimte.ac.cn

两种硅油，但是却可以在较大剪切速率时维持较好的剪切稳定性。由于-OH 极性基团可与 CTO 颗粒表面的-COOH 基团形成氢键，增大两相间的结合力。

关键词：电流变液；基础液；屈服应力；介电常数

基于双连续相的高性能电流变材料

梁宇岱[1]，袁欣[1]，王丽娟[1]，周雪峰[1]，温维佳[1,2]，巫金波[1*]

1. 上海大学，材料基因组工程研究院，201800，上海；2. 香港科技大学，物理系，香港

摘要：胶体和悬浮液都是由分散相和连续相组合而成的两相混合物，悬浮液是固体颗粒分散在液体的体系，颗粒在 1-10 微米左右，其中固体颗粒的粒度分布决定了它既有胶体的鲜明特征，又不同于真胶体。由于其颗粒比表面积较大，且固体颗粒的密度通常比液相的密度大，使得颗粒易于团聚和沉降，降低悬浮液的稳定性。为了提高悬浮液的稳定性，如果连续相是水也可以使颗粒带相同电荷，利用静电排斥力减少团聚；提高固体颗粒的到一定浓度，可以减少沉降率；加入少量表面活性剂，增加空间位阻减少团聚；提高连续相的粘度，也可减少沉淀，例如利用以高黏度线性聚硅氧烷作为载体液制备磁流变悬浮液，一定条件下彻底解决了磁流变悬浮液的沉降难题，实现了远优于传统磁流变悬浮液的长期沉降稳定性（至少 365 天无沉降）。但是悬浮液的应用通常需要低粘度、高稳定性包括少团聚及沉降。例如电流变胶体或者悬浮液，它是一种由微纳米尺寸的介电颗粒分散在绝缘油中组成，其黏度会随着外加电场强度的增强而逐渐增大，这一过程十分迅速，通常发生在几毫秒的时间内[1]，并且该转变过程是可逆的，电流变液这种可逆、能耗低、响应快（一般为毫秒级）、连续无级变化和“软硬”可调的奇特性质在机电一体化的自适应控制工业以及生物医学领域应用前景广泛。在 1947 年电流变液效应被温斯洛发现后，其屈服强度很难达到工业应用的阈值而一直困扰着众多科研工作者。直到 2003 年，温维佳教授等人打破了传统介电型电流变液的理论上限，制备出一种屈服强度高达 130kPa 的巨电流变液[2]。巨电流变液的出现在一定程度上推进了电流变液的发展，但是仍需要高电流变效率（包括高电流变屈服强度、低零场粘度及低电流密度）、高稳定性能和长寿命的电流变液才能真正符合工业化应用。例如我们将有机硅聚醚表面活性剂加入巨电流变液中减少颗粒的团聚和沉降，但屈服强度降低了一半及零场粘度提高了一倍[4]，因此我们需寻找一种新的添加剂或者机制去调节电流变液等悬浮液各项性能，以满足工业化应用需求。

本报告将回顾电流变液的发展历史及其微观原理，也将报告近期发现的基于双液相的高稳定性和高效的高浓度电流变悬浮液及弹性体，我们创新性地在连续相硅油中添加了比硅油浸润性更差的小分子烷烃，形成了新的双液相稳定性机制，相比于传统的单一液相硅油基电流变液，该电流变液的电流变效率大幅提升，在降低零场粘度的同时提高了其稳定性能，得到一种各项性能优异的电流变液。我们系统的研究了烷烃链长短对电流变悬浮液的流变、分散性及沉降性等性质的影响，推测小分子烷烃分散于颗粒间的硅油连续相中，形成了稳定三维体系，这种提高悬浮液稳定性的方式不同于传统的方式，例如提升连续相粘度和添加表面活性剂减小颗粒大小等，相信也适用于其他悬浮液及胶体。

关键词：悬浮液，电流变液，连续相，稳定性，流变性

参考文献：

[1] Annu Rev Fluid Mech, 2012, 44, 143–74.

[2] Soft Matter, 2012, 8, 11589.

[3] Nature Material, 2003, 2(11):727-730.

[4] Soft Matter, 2018, 14, 1427-1433.

[5] Composites Part B: Engineering, 2020, 193, 107988,

[6] Journal of Colloid and Interface Science, 564 (2020) 381–391.

具有参数不确定的全地形车磁流变悬架系统时滞鲁棒 H_∞ 控制研究*

李伟[1]，杜秀梅[1]，韩高威[1]，浮洁[1]，余淼[1†]
1.重庆大学光电工程学院光电技术与系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要： 由于具有快速、机动和灵活的特性，全地形车在人员、装备输送和后勤物资保障等军事方面发挥着重要作用。现有全地形车悬架由于结构参数固定，不能适应载荷和行驶工况的变化，不能满足现代化的作战需求。以磁流变材料为基础的智能悬架系统具有阻尼连续可控、响应速度快、能耗低等优点，可根据地形变化自适应地衰减路面传递到车身/人体的振动，成为全地形车悬架系统发展的重要方向。全地形车智能悬架系统中存在参数不确定性（磁流变阻尼器粘滞阻尼系数、车身装载质量）、时滞等问题，会影响控制效果甚至造成控制系统失稳。因此，针对以上问题，本文将模型参数不确定性和系统时滞考虑到系统的模型中建立了具有参数不确定和时滞的智能悬架多自由度动力学模型，以悬架系统时域硬约束条件和抗干扰性能为指标，基于 Lyapunov-Krasovskii 稳定性理论设计了一种基于状态反馈的鲁棒 H_∞控制器，并根据线性矩阵不等式技术将非线性问题转换为带有约束的凸优化问题进行求解，给出了系统时滞依赖的稳定性条件，保证在参数摄动和扰动未知有界的情况下系统振动衰减性能。同时针对部分车身状态（车身俯仰角、侧倾角、非簧载的速度和位移）不可测的问题，设计了一种状态观测器，解决了传统观测器的观测精度受模型参数不确定和扰动影响的问题。最后通过 Matlab/Simulink 仿真和实车道路控制试验对所设计的控制系统进行验证，实验结果表明对于模型参数在 20%范围内的摄动和 36ms 内的系统延时，驾驶员疲劳功效最大可以提高 44.73%。

关键词： 全地形车；磁流变阻尼器；参数不确定；时滞；H_∞控制；

Understanding the structural evolution under the oscillatory shear field to determine the viscoelastic behavior of nanorod filled polymer nanocomposites

Yangyang Gaoa*, Liqun Zhanga
a Center of Advanced Elastomer Materials. Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China.

Abstract： By adopting molecular simulation, we have examined the effect of oscillatory shear strain amplitude on the viscoelastic behavior of nanorod (NR) filled polymer nanocomposites (PNCs) by tuning the interfacial interaction. We have observed the Payne effect at strong interfacial interaction. Payne-effect magnitude gradually increases with the interfacial interaction and the NR volume fraction. To understand the origin of Payne-effect, we examine the NR microstructures and their evolution during the shear field. We find that at low interfacial interaction, the probability of forming NR network is nearly unchanged with the shear strain amplitude; while at strong interfacial interaction, on the contrary the probability significantly decreases with the shear strain amplitude. We infer that various interfacial interactions change the NR network, influencing their evolution behavior under the shear flow. Meanwhile, we calculate the main cluster size and the total number of clusters for the NR network at different shear strain amplitudes, which is consistent with the probability of forming NR network. Thus, the original NR microstructure is significantly broken down under the external shear field, which can also be reflected by the number for polymer-mediated NR network bridged by glassy chains and the connected polymer beads between NRs. In addition, the polymer chains can slip on the filler surface under the shear field. As a result, the observed Payne effect comes from the slippage of the interfacial chains and breakage of the polymer-mediated NR network bridged by glassy chains at strong interfacial interaction. While at low interfacial interaction, it exhibits a weak non-linear behavior. Additionally, both reinforcement and Payne-effect magnitude exhibit a linear dependence on the inverse of the aspect ratio of the NRs. At last, different contributions to

*基金项目：装备预研领域基金重点项目(61402100102)
†通讯作者：余淼，教授，E-mail：yumiao@cqu.edu.cn
* Corresponding Author: gaoyy@mail.buct.edu.cn

reinforcement due to hydrodynamic effects, ‘‘occluded rubber”, and ‘‘filler network” are quantified where the ‘‘filler network” is the main contribution.

Keywords：Molecular dynamics simulation, polymer nanorod filled nanocomposites, viscoelastic behavior.

磁流变半主动冲击缓冲控制系统：数值分析与落锤试验

袁岭，姜平，李维汉，白先旭*

合肥工业大学车辆工程系自适应结构与智能系统实验室 安徽 合肥 230009

摘要：采用磁流变能量吸收器（Magnetorheological Energy Absorber, MREA）的冲击缓冲控制系统最小化冲击载荷作用于敏感负载引起的结构损伤是磁流变技术在冲击控制领域的重要课题。实现磁流变冲击缓冲系统的冲击载荷最小化的核心在于充分利用 MREA 的活塞行程，实现“软着陆（Soft landing）”的控制目标，即在 MREA 活塞行程末端速度恰好为 0，且控制对象基本在可控减速工况下减速至 0。然而，迄今尚未见到 MREA 冲击缓冲系统的“软着陆”实验系统和实际应用。分析 MREA 冲击缓冲控制系统实现冲击载荷最小化的关键：（1）对“软着陆”控制策略的理解。（2）MREA 的磁滞非线性力的高效描述。本文以落锤质量、螺旋弹簧与 MREA 为 MREA 冲击缓冲控制简易系统，建立了其动力学模型及落锤实验系统。分别基于 Bi Number 控制和 Constant Force 控制，建立了基于 MREA 的 RC 算子模型和 Bingham 模型的前馈控制策略以实现落锤的软着陆控制。仿真与试验得到由单自由度落锤所模拟的冲击激励下 MREA 活塞杆的运动状态，并以能量耗散率和传递率评估不同策略下冲击缓冲控制性能。MREA 冲击缓冲控制仿真结果如图 1 所示。图 1(a)是落锤在不同控制策略下的位移时间响应。在 3 m/s 的接触速度下，基于 RC 模型的两种控制策略均能实现软着路，并在冲击完成后使落锤恢复到初始位置。图 1(b)为落锤在不同控制策略下的加速度时间响应。Bi Number 控制策略的峰值传递率较大，变加速度在压缩切换至回弹时较低。在冲击初始阶段，Bingham 模型无法提供期望的加速度。

关键词：冲击缓冲试验；磁流变能量吸收器；磁滞力学模型；精确描述；软着陆

动态共价键型表面活性剂的 pH 黏度响应体系流变行为研究†

康鑫[1,2]，康万利[1,2‡]，李哲[1,2§]，朱彤宇[1,2]，张敏[1,2]，杨红斌[1,2]，Aidarova Saule[1,2,3]，Bauyrzhan Sarsenbekuly[1,2,3]

1.非常规油气开发教育部重点实验室(中国石油大学(华东))，山东 青岛 266580；2.中国石油大学(华东) 石油工程学院，山东 青岛 266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：近年来，利用动态化学键构建刺激响应型胶束体系受到越来越多的关注。目前的研究形成响应型蠕虫状胶束的主要方式是通过 pH 的调控实现双子表面活性剂的解离和重新形成。但是，该方法目前只用于表面活性剂的构筑，而将动态化学键应用于助水溶剂中的研究尚未见报道。因此，在本研究中，将十六烷基溴化铵（CTAB）、对羟基苯甲醛（HB）和对甲苯胺（MB）以 60mM : 40mM: 40mM 的摩尔比混合，成功构筑出了一种基于动态亚胺键的 pH 响应性蠕虫状胶束体系。同时，借助流变仪、^{1}H-NMR 和 Cryo-TEM 研究了动态共价键助水溶物的形成机理及其对胶束体系流变性的影响。通过调控体系的 pH 值，可以实现 HB 和 MB 之间亚胺键的形成与断裂，从而引起助水溶剂性质的变化。最终，该体系可以实现从球形胶束向蠕虫状胶束的可逆转变，实现溶液黏度的调控。结果表明，随着 pH 值的增加，溶液中的聚集体形态可以从蠕虫状胶束和球形胶束共存转变为球形胶束，再转变为蠕虫状胶束，这导致体系从像水一样的低黏度流体转变为可以承受自身重力的高黏弹性流体。此外，CTAB/HB/MB 体系的 pH 黏度响应性可逆，循环调节体系的 pH 值，体系零剪切黏度可以实现从 1.7mPa·s 到 9.09×104 mPa·s 的可逆变化，经过连续 3 次的循环调节仍能保持优异的黏度和黏弹性能。本研究通过构筑新型的 pH 响应体系来产生流变性能的可逆转变，拓宽了动态亚胺键在蠕虫状胶束体系领

* 通讯作者：白先旭，副教授，E-mail: bai@hfut.edu.cn

† 基金项目：国家自然科学基金项目(51774309)

‡ 通讯作者：康万利，博士生导师，泰山学者特聘教授，E-mail: kangwanli@upc.edu.cn

§ 通讯作者：李哲，博士后，E-mail: li.zhe@upc.edu.cn

域的应用范围，提供了一种构筑丰富聚集体形态胶束和产生动态流变行为调控的新思路，在提高采收率、制药以及减阻剂等领域有广泛的应用前景。

关键词：表面活性剂聚集体，流变行为，pH 可调控性，动态共价键，助水溶剂

基于动态共价键表面活性剂的 pH 响应体系流变特性*

李梦栏[1,2]，康万利[1,2†]，李哲[1,2‡]，康鑫[1,2]，王鹏祥[1,2]，杨红斌[1,2]，Aidarova Saule[1,2,3]，Bauyrzhan Sarsenbekuly[1,2,3]

1.非常规油气开发教育部重点实验室(中国石油大学(华东))，山东 青岛 266580；2.中国石油大学(华东) 石油工程学院，山东 青岛 266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：清洁压裂液在非常规油气藏的开发中具有广阔的应用前景，但仍存在稠化剂用量较大的问题。双子表面活性剂的应用虽然降低了稠化剂用量，但其合成复杂，使用成本较高。超分子表面活性剂作为一种通过非共价键构筑的超分子体系，不仅可以避免低聚表面活性剂复杂的合成过程，同时具有低浓高效且黏度可控的特点。由于动态共价键之间的相互作用具有可逆性和响应性，外界环境的变化能引起体系黏度、黏弹性的变化，从而实现对体系流变性能的智能调控。因此，本文使用阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵（CTAB）和 4-羧基苯甲醛（CB）以及苯胺（NA），以摩尔比为 60:40:40 研制了一种 pH 响应形态转变体系，并重点测试分析了体系的流变特性。同时采用 ^{1}H-NMR 核磁共振、FT-IR、瓶试法、动态光散射和 Cryo-TEM 对 CTAB/CB/NA 体系进行结构表征，分析体系黏度、黏弹性变化的内在成因。结果表明，当 pH 从 3.13 增加到 7.25 时，CTAB/CB/NA 溶液从低黏流体转变为透明的凝胶状溶液，黏度从 1 提升至 4×10^4 mPa·s。因此，可以通过改变 CTAB/CB/NA 溶液的 pH 值来触发体系的黏度、黏弹性可逆变化。这种流变性能的剧烈变化归因于 pH 依赖性电离和阴离子表面活性剂 CB-NA$^-$的形成，微观上表现为体系胶束形态从球形胶束到蠕虫状胶束。此外，通过调节 pH 值，CTAB/CB/NA 溶液可以获得超过 3 个周期的黏度、黏弹性变化。本研究设计的 pH 响应形态转变体系对低浓高效、可循环新型清洁压裂液体系的研发提供了理论基础和技术支撑。

关键词：清洁压裂液，表面活性剂，超分子，流变性，pH 可调控性，动态共价键

基于预交联凝胶颗粒的二元非均相调驱体系流变特性研究§

蒋海壮[1,2]，康万利[1,2**]，杨红斌[1,2]，周博博[1,2]，王芳[1,2]，谢安清[1,2]，李哲[1,2]，Aidarova Saule[1,2,3]， Bauyrzhan Sarsenbekuly[1,2,3]

1.非常规油气开发教育部重点实验室(中国石油大学(华东))，山东 青岛 266580；2.中国石油大学(华东) 石油工程学院，山东 青岛 266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：我国东部某油田 H 区块地层非均质性强，经过长期注水开发形成大量水窜通道，为达到稳油控水的目的，亟须开展适用于该区块的调驱技术；本文根据该区块油藏条件，结合现场所使用聚合物与表面活性剂，优选出一种兼具调剖与驱油性能的含 PPG 的二元非均相调驱体系，并采用流变学方法研究了不同浓度的二元非均相体系的流变性。结果表明，PPG 悬浮体系加入聚合物后，随聚合物浓度的增加，溶液的弹性模量（*G*′）和粘性模量（*G*″）明显提升，体系粘弹性得到增强。表面活性剂 PS 的加量由 1000 mg/L 增加至 5000 mg/L 后，体系的 *G*′和 *G*″均略有升高；*G*′始终高于 *G*″，是因为当 PS 浓度高于其临界胶束浓度后，形成的胶束会附着在 PPG 的侧链上形成聚集体，相同的负电性会导致 PPG 侧链相互间存在静电斥力，支链呈舒展状态使 *G*′增加。

关键词：预交联凝胶颗粒；二元非均相体系；流变性；调驱性能

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51774309)

† 通讯作者：康万利，博士生导师，泰山学者特聘教授，E-mail: kangwanli@upc.edu.cn

‡ 通讯作者：李哲，博士后，E-mail: li.zhe@upc.edu.cn

§ 基金项目：国家自然科学基金项目(51774309)；山东省重点研发计划(2019GGX102074)

** 通讯作者：康万利，博士生导师，泰山学者特聘教授，E-mail: kangwanli@upc.edu.cn

流变学法研究等规聚丙烯/乙烯丙烯无规共聚物共混物剪切场下结晶动力学*

丁双双，王志刚†

中国科学院软物质化学重点实验室 中国科学技术大学高分子科学与工程系 安徽合肥 230026

摘要：将等规聚丙烯（iPP）和乙烯丙烯无规共聚物（coPP16，乙烯含量为 16 wt%）按 95/5 质量比进行溶液共混，以偏光显微镜（POM）和流变学方法研究了 iPP/coPP16 共混物在剪切场下的结晶行为。在剪切场下，iPP 和 iPP/coPP16 共混物的结晶形貌均发生了从球晶到取向的柱状晶转变，在高剪切速率（20 s^{-1}）下，晶型由静态下单一的 α 晶型，变为 α 和 β 晶型共存。差示扫描量热法（DSC）和 POM 法进行结晶再熔融实验证实了剪切诱导 β 晶型的存在。用 POM 追踪了相同剪切速率和剪切时间，不同剪切温度下 iPP/coPP16 共混物的形貌演变，揭示了 β 晶型含量与剪切温度的关系。随着剪切温度的提高，β 晶的含量大幅度降低，这与温度升高 α 晶成核密度下降有关。另外，相同剪切条件下，coPP16 的加入明显降低了 iPP 的整体成核密度和结晶速率，抑制了剪切导致的 β 晶形成。通过流变学测试发现，iPP/coPP16 共混物的储能模量 *G′*、损耗模量 *G″*以及粘度| *|均低于 iPP 的。

关键词：剪切流动；β 晶型；流变学；

流变学研究交联聚己内酯在拉伸场下的结晶动力学

徐翠，王学会，王志刚

中国科学院软物质化学重点实验室 中国科学技术大学高分子科学与工程系 安徽合肥 230026

摘要：将拉伸机和偏光显微镜结合，以及流变学方法研究交联聚己内酯（cPCL15）在拉伸场下的结晶行为和拉应力变化。首先将 cPCL15 在熔融状态下分别拉伸至不同应变，然后固定该应变，再冷却至结晶温度进行等温结晶，实时跟踪其结晶行为和应力变化。通过 POM 研究 cPCL15 在同一温度下不同应变的结晶行为，发现 cPCL15 经历了由点状成核到排状成核再到取向网络成核方式的转变，揭示了结晶方式与应变的关系。在低应变区，由于交联网络和自由链的均匀形变程度低，产生大量的点状核。在超过屈服点（70%）时，不仅出现点状核，还出现排状成核。进一步增大应变至 100%，cPCL15 以取向网络成核为主。此外，用拉伸机记录 cPCL15 在不同应变下等温结晶过程中的应力变化，发现应力变化趋势与结晶方式相关。在高应变下等温结晶过程中，存在应力下降阶段，此时对应网络成核阶段。这是由于交联聚己内酯体系的动态不对称特性，高取向的交联网络链优先取向成核而无定形链松弛则导致应力下降。

关键词：拉伸结晶；交联聚己内酯；流变学；

流变学研究聚乳酸与弹性体间的界面性能

章亚琼 [1]，蒋峰 [1]，王志刚 [2]，汪钟凯 [1]

1.安徽农业大学生物质分子工程中心，林学与园林学院，安徽合肥，230036；2.中国科学院软物质化学重点实验室,中国科学技术大学高分子科学与工程系,安徽合肥, 230026

摘要：聚乳酸(PLA)韧性较差，制约实现其大规模商业应用。目前主要是采用 PLA 与弹性体或柔性材料进行共混提高 PLA 力学性能，而 PLA 与弹性体间的界面作用影响材料的性能。本文将聚乳酸（PLA）、乙烯-丙烯酸酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯共聚物（EGMA）和聚酰胺弹性体（PUDA-*co*-BUDA）采用熔融共混方法制备 PLA/EGMA/PUDA-*co*-BUDA 三元共混物。通过流变仪小振幅动态振荡剪切法测定 PLA/EGMA/PUDA-*co*-BUDA 三元共混物熔融状态下的流变性能。在低频范围内 PLA/EGMA/PUDA-*co*-BUDA 三元共混物的储能模量 *G′*随角频率 的增大呈上升趋势,主要原因可能是 PLA 与弹性体粒子间形成了界面作用。损耗模量 *G″*- 曲线的趋势与储能模量 *G′*- 曲线相比变化幅度较小。PLA/EGMA/PUDA-*co*-BUDA 三元共混物损耗角正切 *tanδ* 值基本上都大于 1，说明这些共混物在熔融状

* 基金项目：国家自然科学基金项目（51673183）

† 通讯作者：王志刚，教授，E-mail：zgwang2@ustc.edu.cn

态下表现出粘性而不是弹性。除此之外，*tan* 值随着 PUDA-*co*-BUDA 含量的增加而降低，说明弹性体相与基体之间的界面面积增加，弹性增强。

关键词：聚乳酸；界面；流变；弹性体

一种耐温型两亲聚合物溶液的流变特性研究*

谢安清[1,2]，康万利[1,2†]，杨红斌[1,2]，李哲[1,2]，李梦栏[1,2]，范宇恒[1,2]，朱彤宇[1,2]周博博[1,2]，Aidarova Saule[1,2,3]，Bauyrzhan Sarsenbekuly[1,2,3]

1. 非常规油气开发教育部重点实验室(中国石油大学(华东))，山东青岛 266580；2.中国石油大学(华东) 石油工程学院，山东青岛 266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：两亲聚合物与传统的驱油聚合物相比（如部分水解聚丙烯酰胺），其以良好的乳化特性开始在稠油化学冷采中逐步应用，矿场先导性试验良好，但对于高温油藏（地层温度＞80℃），效果欠佳。因此，本文基于 LH 油田 S 区块油藏条件（地层温度 80℃，地层矿化度 49997.6mg/L），使用丙烯酰胺（AM）、丙烯酸（AA）、疏水单体（C_{16}DMAAC）以及耐温单体 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸（AMPS），合成了一种耐温型两亲聚合物 TRAP-1，同时，在上述合成基础上，还合成了一种普通两亲聚合物 AP-1（不加耐温单体），并采用流变学方法测试分析了不同温度下两种体系的流变特性。结果表明，在相同温度下，耐温型两亲聚合物 TRAP-1 耐温性能明显优于普通两亲聚合物 AP-1；在不同温度下，随着温度上升，TRAP-1 的表观粘度先缓慢增加，50℃时粘度达到最大 2680mPa·s，随后开始降低，当温度到达 90℃时粘度依然可以保持为 134mPa·s，而 AP-1 的表观粘度随温度上升始终降低，当温度到达 90℃时粘度仅为 46.5 mPa·s。在相同剪切频率下，对比 TRAP-1 在不同温度下的弹性模量（*G*′）和粘性模量（*G*″）可以发现，随着温度的升高，TRAP-1 体系的动态模量与其表观粘度表现出相同的趋势，先随温度增加而增加，50℃下体系具有最大的弹性和粘性模量，而后开始降低。两亲聚合物中引入耐温单体 AMPS 后，其溶液的表观粘度和 *G*′和 *G*″明显提升，体系粘弹性得到增强。

关键词：耐温性，两亲聚合物体系，流变性，稠油冷采

疏水链长对两亲聚合物主客体包合体系流变性及乳化性的影响机制研究‡

张敏 1,2，康万利 1,2§，张弘文 1,2，蒋海壮 1,2，杨红斌 1,2，李哲 1,2，

Bauyrzhan Sarsenbekuly1,2,3，Aidariova Saule1,2,3

1.非常规油气开发教育部重点实验室，中国石油大学（华东），青岛，266580；2.石油工程学院，中国石油大学(华东)，青岛，266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：近年来两亲聚合物以其良好的增黏性和增溶乳化性能，在油田中展现出良好的应用前景[1]。但是两亲聚合物在油田应用中其浓度需要达到临界缔合浓度（CAC）以上，使用成本较高。本文通过引入环糊精聚合物(CDP)，与不同疏水链长两亲聚合物 APC_8、APC_{16} 构筑了两种主客体包合体系 CDP-APC_8、CDP-APC_{16}，利用界面流变实验探究了这两种包合体系形成乳状液的流变性和稳定性。研究表明，形成包合体系的两种两亲聚合物在低于 CAC 即可能形成聚集体结构。两种包合体系形成乳状液的储能模量(G′)均大于损耗模量(G″)，随着频率增加， G′与 G″均呈现出缓慢上升的趋势，表现出显著的弹性行为，说明如果两个乳液液滴相互碰撞并试图聚结，弹性界面则会抵抗液滴发生形变产生的应变应力，阻碍液滴聚结，从而保证乳液的稳定性[2]。但长疏水链的 CDP-APC_{16} 与短疏水链的 CDP-APC8 相比，G′与 G″更高， CDP-APC_{16} 体系的包合结构强度更大，吸附在油水界面上形成了更加致密的界面膜，具有高机械强度的三维聚集结构，界面粘弹性更强，乳状液稳定性更好。

关键词：环糊精；两亲聚合物；主客体包合；乳状液；流变性

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51774309)，山东省重点研发计划(2019GGX102074)

† 通讯作者：康万利，博士生导师，泰山学者特聘教授，E-mail: kangwanli@upc.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金 (51774309) 和山东省重点研发计划（2019GGX102074）

§ 通讯作者；康万利，博士生导师。泰山学者特聘教授，E-mail: kangwanli@upc.edu.cn

十二烷基硫酸钠/二乙烯三胺体系蠕虫状胶束流变性研究*

周博博 1,2，杨红斌 1,2，张敏 1,2，谢安清 1,2，康鑫 1,2，李哲 1,2，
Bauyrzhan Sarsenbekuly1,2,3，康万利 1,2,†
1.非常规油气开发教育部重点实验室，中国石油大学（华东），青岛，266580；2.石油工程学院，中国石油大学(华东)，青岛，266580；3.哈英科技大学，哈萨克斯坦阿拉木图，050000

摘要：近年来，基于非共价键构筑的“拟”低聚表面活性剂不仅制备简单，而且还具有同传统低聚表面活性剂类似性质，因此日益受到人们的关注。在此用十二烷基硫酸钠（SDS）和二乙烯三胺（DETA）以摩尔比 3：1 复配得到一种具有 pH 响应性的“拟”低聚表面活性剂，并通过稳态和动态流变测试，研究该表面活性剂体系的黏弹性和 pH 响应性。结果表明，单独的 SDS 体系基本没有黏度，加入 DETA 后，SDS/DETA 体系的零剪切黏度随 pH 值的降低呈先上升后下降的趋势。降低溶液 pH 时，DETA 将逐渐形成 $DETA^{+}$，$DETA^{2+}$，$DETA^{3+}$，并通过静电作用与 SDS 形成具有动态结构的“拟”低聚表面活性剂，微观上组装成胶束，宏观上体系黏弹性增加；若 pH 值继续降低，DETA 将完全转变为 $DETA^{3+}$，此时由于等电点体系中形成白色沉淀，体系黏弹性急剧下降。通过调节 pH，体系中的胶束可以实现球形胶束，棒状胶束和蠕虫状胶束之间的转变，宏观上实现水溶液和黏弹性流体之间的可逆转变。该体系体现出“拟”低聚表面活性剂在构筑黏弹性溶液方面的优势，并拓展了具有 pH 响应性的蠕虫状胶束体系的研究范围。

关键词：pH 响应性；“拟”低聚表面活性剂；蠕虫状胶束；流变性

基于人体四自由度集中参数模型的磁流变耗能器缓冲系统模糊控制*

刘静 [1],韩锦聿 [1],浮洁 [1],余淼 [1]
1.重庆大学光电工程学院光电技术与系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：直升机坠毁或迫降时由于冲击载荷大、时间短、能量高对机体及设备会造成巨大破坏，严重时甚至会危害乘员的安全，传统被动式缓冲座椅悬架参数固定不可调，缓冲效果有限。基于磁流变材料的缓冲方法具有响应速度快、阻尼可控等优点，已成为智能缓冲领域研究的热点。冲击过程充分利用耗能器的行程可以降低平均冲击力对人体的伤害，即“软着陆”。在“软着陆”过程中如何合理的控制冲击力的动态响应过程，使冲击峰尽可能小于人体伤害限是缓冲控制的难题。另外，人体为复杂的非线性系统，其对磁流变耗能器的反作用会影响缓冲系统的响应。本文提出非线性模糊控制器解决上述问题。首先，结合人体四自由度集中参数动力学模型建立了直升机磁流变座椅悬架系统模型。其次分析了不同冲击速度下系统生物力学响应特性，根据响应特性及耗能器的缓冲原理设计模糊控制器。最后，通过仿真对所设计的模糊控制器进行验证，并与现有的恒定载荷控制、恒定阻尼力控制方法进行对比，基于人体伤害评价标准表明在 6m/s-12m/s 冲击速度下，模糊控制均能将人体的动态响应指数及头部受伤指标降至轻度伤害限以下，而恒定载荷控制、恒定阻尼力控制方法在高速下无法保护人体盆骨和腰椎的安全，且还存在二次反弹对人体伤害的风险。

关键词：直升机坠毁；磁流变耗能器；模糊控制器；四自由度集中参数动力学模型

全自动磁流变液沉降检测仪的工程化开发‡

张祥，李佩，廖昌荣，张红辉，谢磊§
重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：磁流变液（magnetorheological fluids）的沉降问题是磁流变领域面临的一项关键技术挑战，针对磁流变液沉降特性的定量化表征是磁流变液研究与发展过程中的必需技术手段[1-4]。然而，目前

* 基金项目：国家自然科学基金资助项目（51774309）；山东省重点研发计划（公益类专项）项目（2019GGX102074）
† 通讯作者：康万利，教授，E-mail：kangwanli@upc.edu.cn
*基金项目：重庆市留创计划重点项目(cx2019012)
†通讯作者：浮洁，副教授，E-mail：fujie@cqu.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(11702040)
§通讯作者：谢磊，副教授，E-mail：lxie@cqu.edu.cn

尚无专门针对磁流变液沉降特性检测的商业化仪器，某些基于离心加速原理的溶液浓度红外分析检测仪器并不完全适用于磁流变液的沉降特征。因此，利用电感式传感原理，研究了一种全自动磁流变液沉降检测仪器，并完成了工程化开发。基于磁流变液沉降是悬浮项体积分数分布变化的过程，进行了磁流变液浓度与传感器电感值关系的理论分析。设计了机械系统、扫描控制系统、电感传感器、数据采集系统，完成了检测装置的整体制作，并基于 Qt 编程语言设计了人机交互界面，实现了仪器的数据可视化及触摸屏交互控制。制备了磁流变液样品，开展了沉降特性测试，传感器量程覆盖了实验室与商业磁流变液的浓度范围。研究表明，所设计的磁流变液沉降检测仪具有原理可行、全自动化、数据可视化、操作智能化等优点，可有效实现磁流变液的沉降检测或监测，具有实际推广价值。
关键词：磁流变液；悬浮稳定性；沉降；检测仪；全自动

融合音乐艺术、人脸表情、语音互动的磁流体智慧科教演示装置*

谢磊†，李佩，张祥，张红辉，廖昌荣
重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：当前，我国与发达国家的科普演示展品水平仍存在较大差距，前沿科技与大众之间缺乏生动有趣的科学普及桥梁。科教展品存在特殊性，即要求具有科学性、启发性、互动性、趣味性。磁流体类似磁流变液、电流变液，是一种能受磁场控制表现出液-固相变特性的智能材料，其变幻莫测的科学与艺术的视觉冲击力为其科教展示效果提供了天然基因。大力促进磁流体智能材料的科普宣传，不仅有利于增强大众对磁性流体的基本认识和理解，激发他们对于智能材料科学的兴趣，更有助于吸引更多的青少年学子投身于此领域。鉴于此，作者研发出一种原创性的磁流体智慧科教演示装置。在磁场作用下，磁流体迅速磁化成规则的类固态圆锥状磁丘结构，此即为磁流体的磁致相变效应。音乐艺术是人类文明的璀璨明星，人脸表情识别是当前计算机视觉、人工智能等领域的热点；此外，语言亦是人类情感表达的重要途径。磁流体智慧科教演示装置将磁流体的磁致相变效应与音乐艺术、人类语音、人脸表情等建立映射，利用磁流体实现对三者的实时互动模拟演示，是综合智能材料、人工智能、电子技术等前沿科技的跨界结合。磁流体智慧科教演示装置对磁流体的磁致相变效应、磁学、音流学等科学原理进行可视化呈现与普及，在大众科普、实验教学等领域具有应用价值。
关键词：磁流体；磁流变液；科普展品；智慧科教

LLDPE/MWCNT 纳米复合材料流变特性和力学性能的相关性*

王毅飞，吕福成，宋尧，曹艳霞，王万杰†
郑州大学材料科学与工程学院，郑州 450001

摘要：通过熔融共混的方法制备了 LLDPE/MWCNT 纳米复合材料，考察了 MWCNT 用量及增容剂对聚乙烯纳米复合材料的流变特性、力学性能、电学性能和形态结构的影响。通过寻找聚乙烯纳米复合材料特征黏弹参数-关键力学参数之间的对应关系，建立纳米复合材料流变特性和力学性能的关联。从而利用流变测试周期短、样品用量少的特点，来快速确定聚乙烯纳米复合材料的最优配方。
关键词：LLDPE；MWCNT；流变特性；力学性能；

* 基金项目：国家自然科学基金项目(11702040)
† 通讯作者：谢磊，副教授，E-mail：lxie@cqu.edu.cn
* 基金项目：国家自然科学基金项目(51373157)
† 通讯作者：王万杰，教授，E-mail：wwj@zzu.edu.cn

s-PMMA 特殊松弛行为研究

黄聪聪 [1,2]，刘琛阳 [1,2*]

1.中国科学院化学研究所, 北京 100190； 2.中国科学院大学, 北京 100049

摘要：聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的玻璃化转变温度(T_g)以及特征体积等具有明显的立构依赖性。其中间同 PMMA（*s*-PMMA)是最特殊的，表现出复杂的 *α*-*β* 松弛：*β* 松弛强度强于 *α* 松弛，且高温 *α*/*β* 松弛与 *β* 松弛连续。而且，相比全同 PMMA（*i*-PMMA），*s*-PMMA 虽然具有更小的链刚性（特征比 C_∞），但 T_g 却更高（约 85℃），而对绝大多数聚合物，$T_g \propto C_\infty$，*s*-PMMA 违背了这种经验规律。本文提出了 *s*-PMMA 特殊 *α*-*β* 松弛的分子图像和机理，核心观点是 *s*-PMMA 会形成局部刚性的弯曲主链构象，因此导致其链段松弛时间更长，但链堆砌更疏松，*β* 松弛对应空间更大，*β* 松弛更强。同时也说明决定聚合物玻璃化转变的是局部链刚性而不是整链刚性。

关键词：*s*-PMMA；特殊 *α*-*β* 转变；局部刚性弯曲主链构象

TiO_2 颗粒基电流变弹性体蠕变的时电等效原理*

钮晨光 [1†]，董旭峰 [2]

1.太原理工大学 机械与运载工程学院，太原 030024；2.大连理工大学 材料科学与工程学院，大连 116024

摘要：电流变弹性体的蠕变回复特性是很重要的性能，然而目前缺乏相关研究。本研究系统分析了硅烷偶联剂修饰 TiO_2 颗粒填充弹性体的蠕变和回复特性，并对电场强度和温度对蠕变回复行为的影响，结果发现这两方面因素均对弹性体的蠕变行为有显著影响。文中对比了电流变弹性体在不同温度和电场强度下的蠕变柔量曲线，依据本文所提出的时电等效原理（TESP），可将蠕变柔量曲线沿时间轴平移得到主柔量曲线，由此可见时电等效原理提供了一种加速测试电流变弹性体粘弹特性的技术方案。

关键词：电流变弹性体；蠕变回复；时电等效原理

苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物的 Payne 效应*

范心鹏 [1]，宋义虎 [1†]，郑强 [1]

1. 浙江大学高分子科学与工程学系高分子合成与功能构造教育部重点实验室，杭州，310027

摘要：橡胶纳米复合材料 Payne 效应不明。本研究选用苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯（SIS）嵌段共聚物为模型，采用过氧化物选择性交联聚异戊二烯（PI），研究大幅震荡剪切非线性流变行为。研究发现，在周期剪切作用下，当分子链末端脱离聚苯乙烯（PS）微区时，SIS 线性区模量开始衰减。然而，无论分子链末端固定与否，均可观察到明显的 Payne 效应，表明 Payne 效应与分子链滑动及短时 Rouse 运动相关。

关键词：Payne 效应；大幅震荡剪切；橡胶纳米复合材料；非线性流变

表面活性剂棒状胶束自组装模型的布朗动力学研究*

徐娜 [1]，李俊 [1]，吕耀东 [1]，刘子璐 [1]

1.太原理工大学化学化工学院，太原 030000

摘要:表面活性剂棒状胶束溶液因其独特的自组装行为及由此引发的流变学特性，广泛应用于国民经济的各个领域。但目前欠缺描述棒状胶束自组装行为与溶液条件间耦合关系的自组装模型，限制了其实际应用。本文通过介观布朗动力学模拟开展表面活性剂棒状胶束自组装行为的研究，建立棒状胶束的自组装模型，为其工业应用提供理论依据。

---

* 基金项目：山西省应用基础研究项目青年科技研究基金(201801D221225)

† 通讯作者：钮晨光，讲师，E-mail：niuchenguang@tyut.edu.cn

* 基金项目：国家自然科学基金项目(U1908221, 51873190, 51790503)

† 通讯作者：宋义虎，教授，E-mail：s_yh0411@zju.edu.cn

* 基金项目：国家自然科学基金资助项目（21908152）

关键词：CTAC/NaSal 表面活性剂；棒状胶束；介观布朗动力学模拟；自组装模型

玻璃微珠填充弹性体在循环载荷作用下的迟滞现象

张成[1]，苟晓凡[1*]，肖锐[2†]
1.河海大学力学与材料学院，南京，210098；2.浙江大学工程力学系，杭州，310027

摘要：PDMS 材料是一种硅胶弹性体，由于其成本低，惰性强且无毒等优点，被广泛应用于各个领域。但是，纯的 PDMS 材料又软又脆，这限制了材料的适用范围。为了克服这一限制，我们在 PDMS 材料中添加了玻璃珠来增强 PDMS 的力学性能。同时我们通过循环拉伸实验研究了该复合材料的滞回行为。结果表明，交联剂和玻璃珠的增加会使得符合材料的模量明显增大，所有的符合材料都有明显的 Mullins 效应，滞回的面积也与复合材料的组成有很大关系。此外，在实验中发现，材料在卸载后有不可忽略的永久变形。

关键词：PDMS 复合材料；Mullins 效应；粘弹性；损伤

不同表面活性剂下含蜡油-水界面剪切流变特性研究*

王传硕[1]，王玮[1-3]，顾佳鹏[1]，杨晓鹏[1]，马克[1]，马千里[1]，宫敬[1-3†]
1.中国石油大学（北京）油气管道输送安全国家工程实验室；2.石油工程教育部重点实验室；3.城市油气输配技术北京市重点实验室，北京 102249

摘要：在含蜡乳化油中，油水界面不仅是油相与水相的接触面，亦是表面活性剂与蜡晶的作用面。含蜡油水界面已成为油水两相管流研究领域的热点话题，其对 W/O 乳状液流变性、析蜡特性的影响现已被初步论证，但关于含蜡油水界面流变特性的研究鲜有报道。由此，本文设计了不同司盘类表面活性剂下的含蜡油水界面流变实验，借助于 DWR 界面剪切流变仪，分析了 Span80、Span60、Span65 作用下的含蜡模拟油-水界面剪切粘度和储/耗能模量间的差异及其变化规律。结果表明：与无表面活性剂的含蜡油水界面相比，Span65 界面剪切粘度和平衡储能模量较高，而 Span60/Span80 界面剪切粘度较小、临界应变较大、线性粘弹区较长。由此推断：固态 Span65 占据了油水界面，其对蜡晶的影响作用较弱。而液态 Span80、Span60 亲油链与蜡分子间的协同作用，可使油水界面形成较强的蜡晶结构。该实验研究可为乳化含蜡原油流变特性研究提供参考。

关键词：含蜡油-水；司盘；界面剪切；流变

不同还原程度的聚乙基苯胺/还原氧化石墨烯纳米片的介电极化和电流变响应*

王玉东，杨敏，陈宏刚，赵晓鹏，尹剑波†
西北工业大学，西安 710129

摘要：我们制备了聚乙基苯胺/氧化石墨烯（PEANI/GO）复合纳米片，然后用不同量的水合肼进行处理，形成了具有不同还原程度的 rGO 核和绝缘聚乙基苯胺壳（PEANI/rGO）复合的介电纳米薄片。介电分析表明 PEANI/rGO 具有 rGO 和 PEANI 两个界面极化过程。随着水合肼的增加，rGO 的极化速率增加，而 PEANI 壳的极化速率则逐渐降低，从而导致 rGO 和 PEANI 的极化速率相差越来越大。这种增加的差异不会显著降低屈服应力，但会在电场和剪切场的同时作用下引起 PEANI / rGO 悬浮液流动的不稳定。

关键词：聚乙基苯胺/还原氧化石墨烯；介电极化；电流变效应

---

* 通讯作者：苟晓凡，教授，E-mail：xfgou@hhu.edu.cn
† 通讯作者：肖锐，教授，E-mail：rxiao@zju.edu.cn
* 基金项目：国家自然科学基金项目(含蜡原油常温输送机理及流动改性方法研究，51534007；基于微纳米尺度液滴间相互作用的油水乳化分散理论研究，51774303) 国家重点研发计划重点专项(多相流混输管道全流动机理研究，2016YFC0303708-F)
† 通讯作者：宫敬，教授，E-mail：ydgj@cup.edu.cn
* 基金项目：国家自然科学基金项目 (51872243)
† 通讯作者：尹剑波，教授，E-mail：jbyin@nwpu.edu.cn

不同物性原油对管道蜡沉积溶蜡效果对比

史皓宇[1] 刘佳桐[2] 黄薇薇[1] 聂超飞[1] 李旭东[3] 马青山[4] 李志强[5] 王凡中[5]

1.国家管网北方管道管道科技研究中心，廊坊 065000；2.国家管网北方管道油气储运技术服务分公司，廊坊 065000；3.国家管网北方管道长春输油气分公司，长春 130062；4.国家管网北方管道廊坊输油气分公司，廊坊 065000；5.国家管网北方管道大连输油气分公司，大连 116100

摘要：国内某管道由于长时间不清管，管道内壁结蜡较为严重。根据生产安排，需要输送不同原油时，由于其油品物性的不同会对管道内壁的蜡沉积产生不同程度的溶解。为保障安全生产运行，通过自主研发的结蜡装置进行了两种原油不同条件的溶蜡效果对比实验，结果表明，在相同条件下嵯岗原油的溶蜡效果明显强于大庆原油，因此应引起生产注意，防止过滤器等关键设备堵塞。

关键词：蜡沉积：结蜡；模拟

掺混俄罗斯稀油对大庆原油流变性的影响规律研究*

程磊† 支树洁 阎涛 王玉彬 史皓宇 霍连风 柳建军 闫锋

国家管网北方管道公司科技研究中心，河北廊坊 065000

摘要：通过在高含蜡原油中掺混稀油，不仅可有效降低凝点、粘度和输送能耗，而且现场操作工艺较为简便，将逐渐成为国内主要输送方式。本文从混油析蜡点、凝点、粘度等方面研究了大庆原油在掺混不同比例俄罗斯稀油后的流变性变化规律，可为现场大庆原油及其它原油掺稀输送提供参考。

关键词：原油；掺混；输送；流变性

缠结高分子流体的剪切带‡

卢宇源§

1.中国科学院长春应用化学研究所，长春 1300220

摘要：利用分子动力学模拟，我们系统研究了缠结高分子流体中稳态剪切应力与剪切速率的变化关系、剪切带的稳态性及剪切带的形成机理。我们发现：稳态应力应变曲线存在平台区，平台区中心处所对应剪切速率下的剪切带能够在远大于松弛时间的尺度上存在。进一步地，与公认的剪切带机理——杠杆原理不同，在不同剪切速率下，同一初始样本产生的剪切带厚度相同。这意味着高分子流体的剪切带源于缠结网络结构的异质性。

关键词：缠结高分子流体；剪切带；分子动力学模拟

超分子聚氨酯复合材料的制备及大幅拉伸性能研究*

周文娟[1]，宋楷[1]，方华高[1,2†]

1.合肥工业大学化学与化工学院 高分子科学与工程系，合肥，230009；2.先进功能材料与器件安徽省重点实验室，合肥，230009)

摘要：动态硼酸酯和硼-氮配位作用赋予聚氨酯优异的性能，填充的纳米粒子与聚合物主链之间构筑配位作用，可进一步提高复合材料的力学性能。采用拉伸试验对复合材料的强度和韧性进行研究，结果表明：加入改性的二氧化硅，复合材料拉伸强度增加约 2 倍，杨氏模量增加约 2.4 倍，拉伸韧性提高约 1.3 倍，增强效果明显。

关键词：聚氨酯；二氧化硅；复合材料；机械性能

---

* 基金项目：中国石油管道公司项目资助（20180003）

† 通讯作者：程磊，工程师，E-mail：cily9@126.com

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(21790340, 21674113, 21334007)

§ 通讯作者：卢宇源，项目研究员，E-mail：yylu@ciac.ac.cn

* 基金项目：中央高校基本业务费专项基金（PA2020GDKC0009）

† 通讯作者：方华高，副教授，E-mail：fanghg@hfut.edu.cn

超临界二氧化碳连续挤出在辅助聚合物加工方面的应用*

庞永艳，王坤，郑文革

（中国科学院宁波材料技术与工程研究所，宁波 315201）

摘要：本文利用超临界二氧化碳（$scCO_2$）连续挤出辅助聚合物加工，取得以下进展：（1）利用 $scCO_2$ 调节聚丙烯/聚苯乙烯（PP/PS）共混体系的粘度比进而改善体系的分散，实现了改善体系发泡行为和力学性能的目的；（2）利用 $scCO_2$ 调节聚丙烯/聚烯烃弹性体（PP/POE）共混体系的粘度比进而改善体系的分散，实现了调控体系断裂方式脆韧转化的目的；（3）利用 $scCO_2$ 为反应介质，促进 PP/PS 体系原位生成界面相容剂，使体系具有更好的分散形态、更优异的力学性能。

关键词：超临界二氧化碳；连续挤出发泡；相形态；力学性能；断裂行为

稠油掺稀蜡沉积规律实验研究†

阎涛[1‡]，李其抚[1]，闫锋[1]，徐靖岩[2]，王晓博[2]，王文博[2]

1.国家管网北方管道管道科技研究中心,廊坊 065000；2.国家管网集团山东输油有限公司，日照 276800

摘要：稠油掺稀常温输送管道常因蜡沉积严重影响管道运行安全。对一种稠油和四种稀油按照不同比例掺混，经过不同沉积时间，测试蜡沉积量，研究稠油掺稀油蜡沉积规律。实验结果表明：稠油掺稀油后，沉积质量在 1h 内增长速率较快，1h 到 5h 内增长速率逐步变缓,5h 到 9h 内逐步趋于稳定；稠油中掺入稀油比例越多，沉积质量越少，析蜡点也相应降低；相同掺混比例下，掺混油品的蜡沉积量大小与油品的蜡含量和胶质沥青质含量有关。

关键词：稠油；稀油；掺混原油；蜡沉积

稠油-水乳状液流变特征与再启动行为研究§

王帅[1**]，敬加强[2,3]，崔凯翔[1]

1.延安大学石油工程与环境工程学院，延安 716000；2.西南石油大学石油与天然气工程学院，成都 610500；3. 油气消防四川省重点实验室，成都 611731

摘要：为保障海洋稠油采输管线的安全停输与顺利启动，以旅大稠油为研究对象，利用 Anton Paar Rheolab QC 流变仪分析纯油及其乳状液流变特征与初始启动力学响应特性。自主研制了室内环道再启动实验装置，测量停输管线在不同温度、不同启动流量工况下再启动压力的变化规律，将基于流变仪测试的再启动压力理论值与实测值相比较，评估其预测可靠性。流变实验显示：稠油乳状液初始启动应力随时间的变化可分为三阶段，即启动应力上升阶段、衰减阶段、平衡阶段；启动温度、恒定剪切速率对启动应力的影响作用呈正相关。通过流变仪测量得到的启动应力可用于预测再启动压力，相对误差在±20%范围内，吻合精度较好。为解决海上无人平台稠油-水停输管线启动、置换的自动化实施难题提供了理论依据与数据支撑，对海上高黏稠油管线停输再启动作业及管线设计具有指导作用。

关键词：稠油；乳状液；流变特性；启动行为

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51603222)

† 基金项目：国家管网北方管道项目(No. 20190202)

‡ 通讯作者：阎涛，工程师，E-mail：ytyt654@163.com

§ 基金项目：国家自然科学基金项目（51779212）、延安大学博士科研启动项目（YDBK2020-01）

** 通讯作者：王帅，博士，讲师，研究方向：油气集输系统多相流动保障，E-mail：wansg2009@163.com

触变性尾砂膏体管道输送阻力的稳态解析解

吴爱祥[1]，张连富[1*]，王洪江[1†]，Bern Klein[2]，王少勇[1]

1.北京科技大学土木与资源工程学院，北京 100083；2. Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering, The University of British Columbia, Vancouver V6T 1Z4

摘要：细粒级尾砂膏体料浆是一种触变性非牛顿流体，在搅拌、管道输送等流动中具有显著的时变性。确定触变性料浆的稳态流变模型是准确表征稳态流动行为的重要基础。以来自某铜矿的细粒级尾砂为样品，采用恒剪切速率法对尾砂膏体的流变行为进行实验研究。结果表明，膏体料浆在低剪切速率时表现出显著的剪切应力衰减现象，即剪切应力随着时间不断减小的时变行为。采用改进的Papanastasiou 模型对触变性料浆的稳态流变性进行了表征，取得良好的拟合结果。基于该改进模型，推导了稳态条件下管道流动行为的稳态解。与传统的宾汉姆模型进行比较可知，稳态条件下新模型预测的触变性料浆的管道阻力更低。

关键词：膏体；恒剪切速率法；触变性；稳态；流动阻力

磁场与流场复合作用下磁流变液的微观结构模型研究[‡]

宋万里[1]，史经书[1]，牛天荧[1]，王娜[1§]，Chul-Hee Lee[2]

1.东北大学 机械工程与自动化学院，辽宁 沈阳 110819；2. 仁荷大学 机械工程系，韩国 仁川 22212

摘要：本文从微观角度分析磁流变液在磁场与流场复合作用下的微观结构，建立磁场与流场复合作用下磁流变液的剪切屈服应力模型。通过 MATLAB 仿真模拟以及理论分析的方法探究流场对磁流变液微观结构的影响，从而提出立方结构模型。基于立方结构模型建立磁场与流场复合作用下磁流变液的剪切屈服应力模型，分析探讨了磁感应强度、羰基铁粉颗粒体积分数及粒径等因素对磁流变液剪切屈服应力模型的影响。

关键词：磁流变液；磁场与流场；立方结构模型；剪切屈服应力

磁流变弹性体力—磁耦合模型及其隔振应用研究

汪伯潮，龚兴龙[**]

中国科学技术大学近代力学系，中国科学院材料力学行为和设计重点实验室，合肥 230026

摘要：作为一种新型智能材料，磁流变弹性体（MRE）主要由铁磁颗粒和橡胶基质组成。测试结果表明，MRE 的动态力学行为和所施加的磁场、频率以及应变幅值密切相关。为精确预测 MRE 的力学性能，并研究其在隔振领域的工程应用，本文首先提出了一个考虑磁场、频率和应变相关性的 MRE 力—磁耦合模型。在此基础上，针对简谐荷载情况，以一典型的 MRE 隔振系统为例，探讨了变刚度隔振控制策略中切换频率和 MRE 应变相关性的关系。试验与仿真模拟结果对比分析表明，所建立的力—磁耦合模型能够很好的预测 MRE 的动态剪切模量的磁场、频率和应变幅值相关性。而基于 MRE 的隔振系统的模拟结果表明，在简谐激励下，随荷载幅值增加，MRE 隔振器刚度切换逐渐降低。

关键词：磁流变弹性体；力—磁耦合模型；隔振控制

磁流变塑性体的磁-力-电耦合性能研究[††]

宣守虎[‡‡] 徐佳琦

中国科学技术大学 近代力学系，合肥 230027

摘要：为研究磁流变塑性体(MRP)的磁-力-电耦合性能，本研究将液态金属(LM)添加到 MRP 中制备出

---

[*] 通讯作者：张连富，博士研究生，E-mail：flianz.hang@hotmail.com

[†] 通讯作者：王洪江，教授，E-mail：wanghj1988@126.com

[‡] 基金项目：国家自然科学基金项目(52005085)

[§] 通讯作者：王娜，副教授，E-mail：wangnl@me.neu.edu.cn

[**] 通讯作者：龚兴龙，教授，E-mail：gongxl@ustc.edu.cn

[††] 基金项目：国家自然科学基金(11822209)资助

[‡‡] 通讯作者，宣守虎，教授，办公室电话：0551-63601702，E-mail：xuansh@ustc.edu.cn

一种对磁场、温度和机械刺激协同响应的新型多功能传感材料。MRP 内部的磁性颗粒沿着磁场的方向聚集成链状结构，与流动的液态金属微液滴结合形成了复合导电路径，从而提高了样品的导电性。研究表明，在 180 mT 磁场下，样品的相对电阻变化可以达到 95%。剧烈的电阻变化使该材料在磁控电子设备中具有广阔的应用前景。基于此材料的传感器的灵敏度可以通过外部磁场来设置，这使得传感器能够满足不同情况下的传感要求。此外，通过分子动力学模拟研究了样品在不同磁场和温度下的微观结构，分析了传感器的磁-力-电耦合特性，阐述了多功能传感机理。最后，探讨了该传感器在磁控制、环境识别和运动监控等方面的应用前景。

关键词：磁流变塑性体；磁-力-电耦合；磁流变效应；分子动力学

磁流变液电容的频率相关性测试与分析*

刘钟灵 [1]，孙慧敏 [2]，陈亚男 [1]，王成龙 [1]，朱绪力 [1†]

1.山东科技大学机械电子工程学院，青岛，266590；2.青岛地铁集团有限公司，青岛，266041

摘要：利用自制的电路系统测试了磁流变液(Magnetorheological Fluids, MRF)的电容特性。测试了 MRF 电容与电场频率之间的非线性关系，并考虑了磁感应强度、颗粒体积比等因素对 MRF 的电容特性影响。结果表明：在颗粒体积比较小的情况下，MRF 的电容随频率的增加逐渐降低，在 40kHz 之后下降缓慢。在频率相同时，MRF 的电容随磁感应强度的增加而增大。在相同磁场条件下，颗粒体积比较大的 MRF 在 40kHz 之前显示出不稳定性，在 40kHz 之后的电容随频率变化也具有不同的变化趋势。同频率时，颗粒体积比越小，电容越大。

关键词：磁流变液；电容特性；频率

磁流变液执行器阻尼力无模型跟踪控制与试验研究‡

王小龙，杨凯，常家豪，黄晋英

中北大学机械工程学院，太原 030051

摘要：针对磁流变液执行器由于非线性、模型失配和参数不确定性等因素影响导致阻尼力难以精确跟踪的问题，提出一种增量形式的磁流变执行器控制策略，进而搭建力学性能不确定性磁流变执行器阻尼力跟踪控制实验平台开展试验研究。结果表明：提出的阻尼力跟踪控制方法克服了经典 Heaviside 控制器阻尼力大幅超调和高频振荡的缺点，而且能够更准确地跟踪期望的阻尼力。

关键词：磁流变执行器；不确定性；无模型控制；Heaviside 控制

磁敏力学超材料的编程打印与泊松比调控§

韩文恒 [1]，高伟 [2]，王省哲 [1**]

1.兰州大学西部灾害与环境力学教育部重点实验室，土木工程与力学学院，兰州 730000；2.兰州理工大学理学院，兰州 730050

摘要：现有力学超材料的设计绝大部分基于传统材料，存在着严重的局限性：应变小、制备后性能固定、不可调。随着新材料技术的不断发展，智能材料与超材料的一体化设计逐渐显现，并成为新型力学功能超材料的生长点。本文通过改进 3D 打印装置，定向排布磁敏软材料中磁性颗粒的磁化方向，制备出一种新型的具有快速可逆、可编程、远程可调控泊松比的力学超材料，并通过实验研究表征了该类材料的变形机理与泊松比的变化特征。结果表明该材料不仅具有磁敏智能材料的磁控力学特性，而且具有超材料所体现出的可调节正-零-负泊松比、大变形等超常性能，这使磁敏智能材料在软机器人、医疗保健和柔性电子等领域具有重要意义。

关键词：可编程复合软材料、可调泊松比、直写式 3D 打印、磁驱动、智能材料与结构

---

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51575323)

† 通讯作者：朱绪力，副教授，E-mail：zhuxuli@tsinghua.org.cn

‡ 基金项目：山西省高等学校科技创新项目(No.2019L0578)；可靠性与环境工程技术国防科技重点实验室开放基金项目

§ 国家自然科学基金(11672120, 11932008)资助

** 通讯联系人：王省哲；E-mail: xzwang@lzu.cn

低温交联的高强度栲胶冻胶研究

张洪海，张贵才，葛际江,赵赛，刘子铭，朱杰，张涛
中国石油大学（华东）石油工程学院，山东 青岛 266580

摘要 为了解决栲胶低温下成胶时间长、冻胶强度低的问题，本文对栲胶配方进行了改进。选择杨梅栲胶为成胶剂，以对苯二酚和乌洛托品为交联剂、添加氯化铵做催化剂，以黏土来强化栲胶，可以在 60℃形成高强度冻胶。通过正交实验优化形成的配方为 7%栲胶、0.2%对苯二酚、0.8%乌洛托品乌洛托品、0.15%氯化铵，在此基础上添加 2%黏土构成的成胶液的黏度为 21.09mPa/s，成胶时间 6h，冻胶强度为 1.3×10^5Pa，在 150℃放置 30d 后脱水率为 12%，注入 0.3PV 成胶液后封堵率即可达到 95%以上，优化形成的栲胶可用地层温度较低油藏蒸汽吞吐过程中封堵汽窜处理。

关键字 杨梅栲胶；成胶时间；成胶强度；正交实验；热稳定性；封堵性

低阻抗磁流变弹性体的压阻特性

孙瑞雪，杜新新，张永浩，谢磊，张红辉，廖昌荣*
重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室智能结构中心 重庆 400044

摘要：压阻效应是磁流变弹性体的重要特性，近些年来关于磁流变弹性体压阻效应的研究日益增多。在追求高灵敏度和线性度的同时由于基底材料的绝缘特性以及制备工艺的影响使弹性体的阻抗过大，这不仅影响了其作为传感材料的测量精度与可靠性，同时也影响了响应时间，是磁流变弹性体商业化应用的一大阻碍。针对这一问题，本文通过对各向同性和各向异性磁流变弹性体的研究，探讨了固化磁场、填充镍颗粒的质量分数和粒径对其压阻特性的影响，为磁流变弹性体的进一步研究和应用奠定了基础。

关键词：磁流变弹性体；压阻效应；磁感应强度；低阻抗

电场强度对电流变弹性体蠕变行为的影响*

李楠楠[1]，佟昱，钮晨光[2]，张鑫[3]，董旭峰[1†]
1.大连理工大学材料科学与工程学院，大连 116024；2. 太原理工大学，机械与运载工程学院，太原 030024；3. 北京卫星制造厂有限公司，北京 100089

摘要：蠕变行为对于电流变弹性体工程应用至关重要，而以前的工作中却缺乏相关研究。本文选用填充体积分数 20 % 尿素改性 TiO_2 颗粒的电流变弹性体作为实验材料，借助流变仪测试其不同电场强度下的蠕变行为。结果表明其蠕变行为表现出理想弹性体的特性，其受力后的平衡形变几乎在瞬间达成，且通过对比不同外加电场下的蠕变发现其蠕变抗力随电场强度的增加而增强。对蠕变数据采用 Burgers 模型进行拟合，阐明了颗粒对聚合物链段的阻滞作用。

关键词：电流变弹性体；蠕变；变刚度；阻滞

淀粉纳米晶稳定水包辛酸癸酸甘油三酯乳液的流变学研究

钱晓莉[1]，陆宇[2]，葛玲玲[3]，尹苏娜[4]，吴德峰[2‡]
1.扬州大学化学化工学院，江苏扬州 225002；2.环境材料工程省级实验室，江苏扬州 225002

摘要：制备了由改性前后的淀粉纳米晶（SNC）稳定的水包辛酸癸酸甘油三脂乳液体系，并作为流变学研究目标，以此建立乳液粘弹性与形态之间的关系。在 SNC 负载较高和改性之后，由于消耗稳定，液滴发生絮凝作用，形成团簇。团簇的变形和松弛导致大振幅振荡剪切（LAOS）流动中较弱的应变过冲，但不影响小振幅振荡剪切（SAOS）响应的缩放行为。这种结构可以在剪切流动过程中演化，以较高的流速重新排列和定向，这对乳液的触变性有明显的影响，滞回曲线面积随着颗粒乳化能力的提高单调增加。通过流变光学方法追踪了液滴簇结构的演化和弛豫机理。这项工作呈现了一些有

* 基金项目：中国空间技术研究院 CAST 创新基金
† 通讯作者：董旭峰，教授，E-mail：dongxf@dlut.edu.cn
‡ 通讯作者：吴德峰，教授，E-mail：dfwu@yzu.edu.cn

趣的结果，并为控制 Pickering 乳液的形态和粘弹性找到了可能的途径。

关键词：团簇；粘弹性；形态：触变性

动态模量法测量超高分子量聚乙烯的分子量和分子量分布

吴幼军

沙特基础工业公司（中国）研发中心，上海 201319

摘要：分子量和分子量分布对于聚合物材料的性能至关重要。对于分子量大于 100 万 g/mol 以上的超高分子量聚乙烯，传统的凝胶色谱方法由于样品溶解难、对高分子量组分不敏感使得表征非常困难。相比较而言，用流变法测量聚合物的分子量和分子量分布不需要溶剂，因此会更快速、更便捷、成本更低。本文采用动态流变实验和基于双蠕动模型的动态模量法对超高分子量聚乙烯产品进行分子量和分子量分布的表征，结果表明使用该方法计算得到的分子量和分子量分布与凝胶色谱的实验结果基本一致。

关键词：超高分子量聚乙烯；分子量分布；动态模量法

多相态结构改性沥青的流变学特征参数研究*

苏林萍，梁明†，辛雪，姚占勇

山东大学齐鲁交通学院，山东济南 250002

摘 要：改性沥青体系的微观相态结构对改性沥青的流变性产生重要较大。本文重点研究微观相态与流变特性之间的关系，进而为采用流变学方法表征相态及研究多相体系的相行为提供关联关系。论文采用荧光显微镜研究了不同结构聚合物改性沥青的微观相态，并结合统计分析方法定量表征了聚合物相的尺度和分布。深入分析了微观相态与宏观黏弹性、稳定性之间的关系。结果表明 SBS 改性沥青的三种相结构（SBS 相为分散相、双连续相和 SBS 为分散介质）与储存模量的依频、依温曲线存在很强的对应关系，对相态的区分较灵敏。

关键词：改性沥青；相态结构；流变学响应；微细观

二维粘弹性流体圆柱旋转绕流数值模拟研究

彭赛 [1,2,3], 熊永亮 [4], 余鹏 [1,2,3‡]

1. 南方科技大学力学与航空航天工程系，深圳复杂航空航天流动重点实验室，深圳 518055；2.南方科技大学，广东省湍流研究与应用重点实验室，深圳 518055；3. 南方科技大学复杂流体与软物质研究中心，深圳 518055； 4. 华中科技大学力学系，武汉 430074

摘要：通过直接数值模拟(DNS)研究了中等雷诺数二维粘弹性流体旋转圆柱体绕流，以考虑非牛顿流体的粘弹性特性对尾流模式的影响。FENE-P 模型被选作粘弹性的本构关系，以模拟粘弹性流体的非线性弹性模量和有限可扩展性。该模拟在固定的雷诺数(*Re*)100 上进行，相应的无量纲旋转速度（α）从 0 到 6。这些研究表明，粘弹性流体的弹性可以极大地改变流场，使流动在不同的参数空间（魏森伯格数（*Wi*）和无量纲旋转速度（α））中表现出不同的模式，并相应地改变圆柱的阻力，升力以及转矩。随着 *Wi* 的增加，圆柱壁面附近出现了更厚的弹性应力旋转边界层，该边界层表现出类似固体，上下对称的特征。该对称的旋转边界层抑制了不对称的尾流场。在高 *Wi* 时，粘弹性流体的弹性倾向于使流动对旋转速度的变化不那么敏感，而表现得像流经一个更大直径的不旋转圆柱。同时，分割雷诺数为 100 的牛顿流体中五个流动模式的四个点在粘弹性流体中扩展为四个“*L*”形曲线。

关键词：粘弹性流体；尾涡脱落；圆柱绕流；旋转；数值模拟

---

* 国家自然科学基金青年科学基金项目（51908330）；山东大学基本科研业务费专项资金资助项目（2020GN059）

† 通讯作者：梁明（1990-），男，副研究员，研究方向为道路智能监测理论与应用、沥青/聚合物材料。 E-mail: ming.liang@sdu.edu.cn

‡ 通讯作者：余鹏，副教授，E-mail：yup6@sustech.edu.cn

非饱和土时间相依变形特征试验研究*

王智超[1,2†]，罗磊[2]，罗迎社[3]

1. 湘潭大学，岩土力学与工程安全湖南重点实验室，湖南 湘潭 411105；2. 湘潭大学，土木工程与力学学院，湖南 湘潭 411105；3. 湖南交通工程学院，交通运输工程学院，湖南 衡阳 421099

摘要：为研究非饱和土体在不同基质吸力下时间相依变形特征，首先对有效围压 100kPa 的非饱和土开展三轴率敏性试验，获得基质吸力、超固结比和加载速率对其强度的影响，从而确定三轴蠕变的应力水平；再采用陈氏加载法开了 3 种基质吸力和 3 种应力水平的非饱和土三轴蠕变试验。试验结果表明：1）非饱和土随着基质吸力的增加，偏应力峰值强度越大，剪缩现象越明显；2）应变速率对非饱和土的峰值强度和体变影响作用明显，速率越快强度越大而体变越小；3）非饱和土表现出明显的流变特征，在高应力比情况下基质吸力对长期变形影响更加明显，且都变现为衰减蠕变。

关键词：非饱和土；基质吸力；时效变形；率敏性；蠕变

非布朗颗粒对幂律流体流变特性的影响规律研究‡

张达，许晓飞，童松豪，董超，刘凤霞，魏炜，刘志军§

大连理工大学流体与粉体工程研究设计所，辽宁 大连 116024

摘要：向聚合物溶液中加入刚性颗粒配制悬浮液体可作为新型储能材料，流变特性是这类材料重要的力学性能，掌握颗粒的添加对原溶液流变特性的影响可以提高其能量存储能力。利用幂律流体和微米级非布朗颗粒配制悬浮液，考察颗粒粒径和悬浮液中颗粒体积分数对幂律流体流变特性的作用规律，探讨非布朗颗粒的添加对幂律流体临界剪切速率的影响。结果表明，幂律流体基低体积分数的非布朗颗粒悬浮液不具有屈服应力；同一剪切速率下悬浮液体系表观粘度随着颗粒粒径的减小和悬浮液中颗粒体积分数的增大而增大，不同粒径颗粒悬浮液的表观粘度差随颗粒体积分数的增大而增大；悬浮体系向剪切变稀过渡的临界剪切速率在不断减小，松弛时间不断增大，表明添加非布朗颗粒使幂律流体剪切稀化特性得到强化，且随着幂律流体基液浓度的增大添加颗粒对于悬浮液流变特性影响程度增强。

关键词：幂律流体；二氧化硅；非布朗颗粒；储能材料；流变特性

分散介质和温度对剪切增稠液流变行为的影响**

张亚男[1]，山磊[1]，田煜[1*]

1.清华大学机械工程系，北京 100084

摘要：分散介质和温度是影响悬浮液流变行为的重要因素。温度会改变分散介质粘度，影响颗粒间的相互作用以及布朗运动。分散介质的其他物理化学性质也会对悬浮液的流变行为产生显著影响。本研究以颗粒质量分数均为 18%的纳米二氧化硅为分散相分别与四种有机液体分散介质（乙二醇、聚乙二醇 400、丙二醇和聚丙二醇 400）混合制备了多种剪切增稠液，提出了描述剪切增稠液表观粘度的拟合公式，系统地研究了温度、分散介质对剪切增稠液流变行为的影响。

关键词：纳米二氧化硅；剪切增稠；温度；分散介质；流变行为

高聚物跨越玻璃转变力学行为的变分数阶本构模型

孟瑞繁††

广州大学系统流变学研究所，广州 510006

摘要：高聚物在跨越玻璃转变区温度前后会表现出多种不同的力学状态，拥有截然不同的力学性质，

---

* 基金项目：湖南省教育厅优秀青年项目（17B260）

† 通讯作者：王智超，副教授，主要从事岩土流变学的研究，E-mail：wzc98231@163.com

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51876030)

§ 通讯作者：刘志军，教授，E-mail：liuzj@dlut.edu.cn

** 基金项目：国家重点基础研究发展计划（2011CB707603）

†† 通讯作者：孟瑞繁，讲师，raymeng07@163.com

建立力学模型对高聚物多状态力学行为进行研究十分必要。本文将利用变分数阶微积分方法，建立能够描述高聚物玻璃转变温度前后力学行为变化的本构模型，通过与典型高聚物 PETG 的试验数据进行对比验证变分数阶本构模型的应用效果，并分析模型中变分数阶阶数函数的变化规律与不同状态力学性质转变之间的关系。

关键词：变分数阶微积分，本构模型，高聚物，玻璃转变

高铁隧道路基上拱变形蠕变成因试验研究*

蔡国军①②，仲闯①②†，程宇航①②，赵大安①②，冯伟强①②

1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室（成都理工大学），四川 成都 610059；2. 成都理工大学 地质工程国家级实验教学示范中心，四川 成都 610059

摘要：高铁无砟轨道路基竖向上拱变形是影响高速铁路安全运行的重要因素。为研究西南某高铁隧道无砟轨道路基上拱变形的成因及规律，对现场取得的泥质灰岩试样进行三轴蠕变试验。试验结果表明：试样的变形由瞬时弹性变形和蠕变变形两部分组成；试样的瞬时弹性应变与应力卸载量Δσ呈正相关关系；蠕变应变量的最大值出现在第 5 级试验，达到了 1.40×10^{-4}；使用广义 Kelvin 模型对试验数据进行拟合，取得了较好的效果，说明广义 Kelvin 模型能够有效的体现泥质灰岩的蠕变特性；根据广义 Kelvin 模型和拟合参数，计算由蠕变应变引起的路基上拱量达 11.58mm，说明路基岩石的蠕变是引起高速铁路路基上拱的重要因素。研究成果可为揭示高铁路基上拱变形机理提供依据。

关键词：路基上拱变形；无砟轨道；泥质灰岩；三轴蠕变试验；广义 Kelvin 模型

高温聚合物压裂液静态破胶体系的流变性‡

秦伟伟[1]，侯宗锋[1]，方波[1§]，许可[2]，卢拥军[2]，邱晓惠[2]，李科晶[1]

（1.华东理工大学化学工程研究所流变学研究室，上海 200237； 2.中国石油勘探开发研究院廊坊院区，廊坊 065007）

摘要：采用高级旋转流变仪和扫描电子显微镜对耐高温压裂液体系和静态破胶体系进行了研究，分析了不同过硫酸铵浓度对体系结构和流变学性质的影响。结果表明，该压裂液交联体系有明显的物理网状结构，具有较高的结构强度和抗剪切性能；过硫酸铵的加入可有效破坏网络结构，大大降低体系黏弹性，并且随浓度和温度升高，破胶效果越明显。

关键词：高温压裂液；交联；破胶；流变性

孤东稠油驱油用表面活性剂研究**

朱杰 葛际江†† 刘子铭 赵赛 戚俊领

中国石油大学（华东）石油工程学院，山东省青岛市 266580

摘要：以胜利孤东普通稠油为研究对象，筛选并构建了两种具有超低界面张力，但乳化能力不同的驱油体系，研究了乳化作用对驱油效果的影响。结果表明，月桂酰胺基丙基二甲基羟丙基磺基甜菜碱（S12）、油酸酰胺基丙基二甲基羟丙基磺基甜菜碱（S17）以及烷醇酰胺与醇醚羧酸盐 1:1 和 1:2 形成的体系与原油界面张力可达超低值。由 0.15%烷醇酰胺、0.15%醇醚羧酸盐、0.2%HPAM 构成的体系对稠油具有较好的乳化效果，其提高采收率的能力要明显好于 0.3%油酸酰胺基丙基二甲基羟丙基磺基甜菜碱、0.2%HPAM 构成的体系。微观可视化驱油实验表明，乳化能力强的体系通过与稠油形成乳状液，抑制了驱油体系的指进，因而具有更好的提高采收率能力。

关键词：表面活性剂驱；超低界面张力；流变性；乳化；提高采收率；驱油效果

---

* 基金项目：国家自然科学青年基金（No.41202209）、国家自然科学基金面上项目（No.41977255）、四川省科技计划（No.2019YJ0403）资助

† 通讯作者：仲闯，（1995-），男，硕士生，主要从事地质工程和岩土工程方面研究工作。E-mail: 1024945158@qq.com

‡ 基金项目：国家科技重大专项“高温清洁压裂液稠化剂合成与特性表征”（2017ZX05023003-004）

§ 通讯作者：方波，教授，E-mail: fangbo@ecust.edu.cn

** 基金项目：中石油重大科技项目“塔里木盆地深层油气高效勘探开发理论及关键技术研究”（ZD2019-183-007）

†† 通讯作者：葛际江，教授，E-mail：gejijiang@163.com

贯通多孔聚丙烯酸十八酯降凝剂对合成蜡油流变性的影响研究*

夏雪，张洁，李传宪，杨飞，代抒彤，段泽，石磊，姚博†
（中国石油大学（华东），青岛 266580）

摘要： 聚丙烯酸十八酯是一种高效且应用广泛的聚合物降凝剂。本研究以丙烯酸十八酯为单体，使用高内相乳液模板法合成了具有贯通结构的多孔聚丙烯酸十八酯，并通过流变实验考察了其对合成蜡油流变性的影响。实验结果表明：通过调控制备过程，贯通多孔聚丙烯酸十八酯对合成蜡油的流变改善效果存在显著差异，在 1000mg/kg 加剂量下，当交联剂与致孔剂用量分别为单体的 1wt%和 75wt%时，与传统聚丙烯酸十八酯相比降凝效果提升 8℃，降粘率提升 54.52%。

关键词：多孔聚合物、降凝剂、合成蜡油、流变性

光引发阻聚剂调控的全息高分子/液晶复合材料光流变学行为

赵骁宇，彭海炎*，周兴平，解孝林*
华中科技大学化学与化工学院，能量转换与存储材料化学教育部重点实验室，武汉 430074; Email: hypeng@hust.edu.cn; xlxie@hust.edu.cn

摘要：全息高分子/液晶复合材料具有优异的衍射光学性能和电光响应能力，广泛应用于裸眼三维图像存储、增强现实显示等众多高新技术领域，其成型原理为光聚合诱导相分离。光流变学行为调控对全息高分子/液晶复合材料的成型非常关键，但仍存在挑战。研究光引发剂、光引发阻聚剂和阻聚剂对复合体系光流变学行为的影响，并探讨了光流变学行为与全息高分子/液晶复合材料相分离结构及光学性能的关系。

关键词：光引发阻聚剂；光流变学；高分子/液晶复合材料；全息；相分离

含蜡水合物浆液流变性研究进展‡

张洁，夏雪，李传宪，杨飞，孙广宇，姚博§
中国石油大学（华东）油气储运工程系，青岛 266580

摘要：深水区域低温高压的集输环境，使开采出的高含蜡原油在井筒和海底输送管线的多相混输流动过程中，面临水合物生成和蜡沉积同时发生的问题，这会恶化流动情况，增大管输风险，威胁生产安全。本文分别从宏观和微观流变性两方面，总结了蜡晶析出对水合物浆液流变性影响的最新研究成果。从简单宏观描述、分阶段计算和考虑分散相分布、连续相黏度、连续相密度、油水界面张力以及剪切过程中颗粒聚集体的聚集和破碎行为等因素对黏度的影响等角度，阐述了不同的黏度计算模型。含蜡体系水合物浆液流变特性主要受到含蜡量、含水率、剪切速率、温度和压力等因素的影响，同无蜡体系一样表现出剪切稀释性。但目前，关于蜡晶对水合物成核影响的研究还无一致结论，生长影响的研究成果较少，聚集和颗粒间内聚力影响的研究需拓宽实验变量范围进一步验证。总体而言，由于含蜡水合物浆液的黏度和非牛顿特性对研究体系有较强的依赖性，现有的模型或机理普适性不高，仍需进一步的实验和机理探索。

关键词：水合物；蜡沉积；流变特性；流动保障

* 基金项目：国家自然科学基金项目（51904327, 51774311），中国博士后科学基金项目(2019TQ0354，2019M662468)，中央高校基本科研业务费（20CX06020A）
† 通讯作者：姚博，师资博士后，E-mail：ybcy2013@sina.com
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目（51904327, 51774311），中国博士后科学基金项目（2019TQ0354, 2019M662468）
§ 通讯作者：姚博，师资博士后，E-mail：ybcy2013@sina.com

含蜡油流变性与阻抗性质的电场效应研究*

谢意蔚 [1]，李鸿英 [1]，庄誉 [1]，丁夷非 [1]，黄骞 [1]，张劲军 [1†]

1. 油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249

摘要：含蜡原油在析蜡点温度以下流动性较差，为油品管输工艺带来困难。对含蜡油施加高压电场可有效改善其低温流动性。但目前研究者们对其机理认识尚未达成共识，多片面地停留在原油中蜡晶的形态变化上。本文针对电场作用对含蜡油流变性和阻抗性质的影响展开研究。针对一种含胶质的模拟油，利用阻抗分析仪测试了不同电场作用条件（温度、场强）下模拟油阻抗性质的变化。研究发现：电场作用后模拟油阻抗模显著增大，其上升率随加载场强升高、处理温度降低而上升。综合模拟油流变性与阻抗性质的电场效应发现，电场作用后阻抗模上升率与降黏率正相关，这为电场改性机理的深入探索提供了有价值的方向。

关键词：电场作用；降黏率；阻抗；模拟油

横向磁场提高磁流变液悬浮稳定性实验研究

杜新新 [1]，王林飞 [1]，谢磊 [1]，孙瑞雪 [1]，廖昌荣 [1‡]

1.重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室，重庆 400044

摘要：磁流变液（MRFs）悬浮相磁性颗粒与载流体之间的密度差引起磁流变液中磁性颗粒沉降，导致磁流变效应减弱，影响磁流变器件使用寿命，制约磁流变液的广泛应用。为了改善磁流变液悬浮稳定性，基于偶极子理论提出了利用横向磁场提高磁流变液悬浮稳定性的方案。采用 BASF 羰基铁粉和二甲基硅油配置了体积分数分别为 32%、20%的磁流变液样品。并采用自行设计的横向磁场发生装置以及垂直轴电感测试装置，对不同磁场强度下磁流变液沉降特性进行了为期 16 天的实验研究。研究结果表明，通过施加横向磁场可有效增强磁流变液悬浮稳定性，降低颗粒沉降速率，当磁场强度增加到一定程度时磁流变液未发生明显沉降。与零场相比，施加横向磁场可有效降低磁流变液无沉降最低浓度。撤去磁场后对磁流变液样品的沉降特性进行了研究，验证了磁流变液未发生板结。

关键词：磁流变液; 沉降; 悬浮稳定性; 横向磁场

环氧沥青固化过程中的流变学特性研究

荆儒鑫 [1§]，Panos Apostolidis[1]，刘学岩 [1]

1.荷兰代尔夫特理工大学，代尔夫特市， 荷兰， 2628CN

摘要：环氧沥青为一种热固性筑路材料，可以有效的提高路面强度，延长道路使用寿命。本文针对环氧沥青固化过程中的流变学特性开展了一系列研究，采用粘度为表征参数，重点研究固化温度，剪切速率以及稀释比对其固化速度的影响。研究结果表明，温度越高，环氧沥青的固化速度越快；过快的剪切速率会干扰并破坏固化结构的形成；采用基质沥青对环氧沥青进行稀释可以有效的控制固化速度并降低材料成本。综合考虑施工和易性等因素，推荐稀释比（环氧沥青：基质沥青）为 25:75，材料拌合速度为 20 转/分钟，材料在拌合、运输及压实过程中温度应保持在 130℃，道路施工需在五小时内结束。

关键词：环氧沥青；固化；流变性

---

*基金项目：国家自然科学基金项目 (51534007，51134006)

†通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目（No. 11702040）；中央高校基础研究项目（No. 2020CDCGGD009、No. 2019CDJGFGD006）；重庆市基础与前沿技术研究项目（No. cstc2018jcyjAX0023）；国防工业技术研究项目（No. JCKY2018110C129）

‡ 通讯作者：廖昌荣，教授，E-mail：crliao@cqu.edu.cn

§ 通讯作者：荆儒鑫，博士后研究员，E-mail：r.jing@tudelft.nl

基于流变仪改造的尾矿动态脱水性能研究

王勇，杨钢锋，吴爱祥
北京科技大学 土木与资源工程学院，北京 100083

摘要：动态搅拌是深锥浓密机高浓度底流形成的关键，耙架剪切应力和扭矩事关浓密机安全运行，但传统的动态搅拌实验难以对扭矩等参数进行直接监测。本研究借助流变仪先进的参数监测功能，将自主研发的动态搅拌装置连接到流变仪上。采用该组合装置进行尾矿动态脱水浓度确定，同时对尾矿进料、浓密全过程以及设备重启时剪切应力和扭矩变化规律进行研究。结果表明，在脱水时间240 分钟内，尾矿的脱水浓度由静态沉降的 66.3%提高至 75.3％，动态脱水效果较好。根据剪切应力和扭矩变化规律，将脱水过程分为三个阶段：扭矩快速增长期，扭矩衰减增长期和扭矩恒定浓密区。停机 5 分钟和 30 分钟后的重启扭矩分别为停机前的平稳运行扭矩的 1.21 倍和 1.75 倍，均在 2 分钟内恢复到正常运行值。但是，当机器在第三次停止后（关机 1 分钟后）迅速重新启动，则出现“压耙”事故。本研究是借助流变仪对尾矿脱水性能研究的一个尝试，对于深锥浓密机操作和运行具有实际的指导意义。

关键词：尾矿；脱水；自制导水杆；扭矩监测；停机重启

基于硼-氮配位超分子聚氨酯弹性体的大形变与破坏行为研究*

方华高[1,2†]，宋楷[1]，丁运生[1,2]
1.合肥工业大学化学与化工学院 高分子科学与工程系，合肥，230009；2.先进功能材料与器件安徽省重点实验室，合肥，230009

摘要：硼酸酯动态共价键和硼-氮（B-N）配位“牺牲键”协同作用对超分子聚氨酯弹性体的形变与破坏有重要影响。线性区振荡剪切时，B-N 配位可以显著抑制分子链的松弛，但配位键含量对松弛时间的影响较弱。在大变形时，应力与应变表现出明显的拉伸速率依赖性，并且该依赖性与配位键含量密切相关。

关键词：聚氨酯弹性体；硼-氮配位；高延展性；应变速度依赖性

基于无溶剂纳米流体调控聚乳酸纤维膜润湿性能及其油水分离应用研究

杨诗文[1]，殷先泽[1‡]
1.武汉纺织大学材料科学与工程学院，武汉 430200

摘要：采用简易方法制备复合 Janus 油水分离膜，能有效分离稳定的油/水乳液混合物。通过静电纺丝先制备丝 PLA /碳纳米管（CNTs）纤维膜，并以此为基底膜，喷射 PLA / SiO_2 纳米流体（nfs）纺丝液制备复合 Janus 油水分离膜。结果表明： PLA /碳纳米管（CNTs）纤维膜和 PLA / SiO_2 nfs 纤维膜分别作为复合 Janus 膜的疏水层和亲水层，复合 Janus 油水分离膜的两侧表现出完全相反的润湿性；复合 Janus 膜用于油/水乳液分离中具有高通量（1142-1485 L m^{-2} L^{-1}）和优异的油/水分离效率（＞99%）；未经处理情况下，在经过 11 次循环后，复合 Janus 膜表现出优异的通量恢复率（油包水乳液＞80％，水包油乳液＞90％）。表明复合 Janus 油水分离膜具备用于水处理中的应用潜力。

关键词：聚乳酸；静电纺丝；油/水分离；含油废水

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51673056, 51503055, 21702041)、中央高校基本业务费专项基金（PA2020GDKC0009）
† 通讯作者：方华高，副教授，E-mail：fanghg@hfut.edu.cn
‡ 通讯作者：殷先泽，教授，E-mail：yinxianze@wtu.edu.cn

基于线状介孔纳米二氧化硅制备的 Pickering 乳液及其流变性研究*

张云金[1,2]，蒋遇龙[2]，谢丹华[2†]

1.福州大学化学学院，福州 350100；2.宁德师范学院化学与材料学院，宁德 352100

摘要：线状介孔纳米二氧化硅与 CTAB 通过原位疏水化作用，能够吸附在油水界面上，形成稳定的 O/W 型 Pickering 乳状液。通过 TA 流变仪探究了酸、碱添加对体系流变性质的影响。随着碱的加入，Pickering 乳状液能够快速发生胶凝，体系粘度显著增大；而继续添加适量的酸，凝胶被破坏，体系粘度显著减小。酸或碱的加入，并不影响 Pickering 乳状液稳定性，但是能够有效调控体系的粘度，影响体系流变性质，有利于其在实际体系中的具体应用。

关键词：Pickering 乳液；线状介孔纳米二氧化硅；pH 影响；流变性质

基于有限体积法的磁流变液颗粒沉降动态过程数值模拟‡

温明富[1,2§]，牛小东[1,2]

1. 汕头大学智能制造技术教育部重点实验室，汕头 515063；2 汕头大学工学院，汕头 515063

摘要：铁磁颗粒与载体液之间的悬殊密度差导致磁流变液发生不可避免的颗粒沉降，进而影响磁流变液的使用性能，因此，研究其颗粒沉降机理具有重要意义。本文基于 Kynch 沉降理论并利用有限体积法对给定初始均匀浓度和样品高度进行了磁流变液的沉降过程模拟从而得到样品颗粒浓度截面的时间遍历，从而得到磁流变液的颗粒浓度分布随时间的动态演变过程，并通过与实验监测结果的对比验证了数值仿真的准确性，该研究对长期静默服役的磁流变缓冲器定期维护和材料更换提供理论支撑。

关键词：磁流变液；颗粒沉降；有限体积法；数值模拟

加剂含蜡原油的流变性对蜡沉积影响的研究**

孙亚东[1]，张超越[1]，徐庆功[1,2]，谢意蔚[1]，黄骞[1]，李鸿英[1]，张劲军[1††]

1.油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249；2.中国石油天然气集团北京天然气管道有限公司

摘要：我国所产原油多为含蜡原油，含蜡原油中的蜡在低温条件下结晶析出，沉积在管道内壁上（俗称蜡沉积），这增大了输油能耗，甚至威胁管输安全。添加降凝剂是目前应用最广泛的含蜡油改性输送工艺，但是目前降凝剂改性原油的蜡沉积特性尚不明确。本文通过实验研究了某含蜡原油在添加降凝剂前后的流变特性和蜡沉积特性，以及二者之间的内在联系。研究表明：原油的流变性对蜡沉积的特性有显著影响。含蜡油在添加降凝剂改性处理后，其胶凝温度、屈服应力等显著降低；随着加剂改性原油流变性的改善，相同沉积时间下，沉积物的质量减小、但其含蜡量升高，结构强度却下降。

关键词：含蜡原油；流变性；蜡沉积；降凝剂

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21802077)
† 通讯作者：谢丹华，副教授，E-mail：danhuaxie@163.com
‡ 汕头大学科研启动经费项目(NTF20010)
§ 通讯作者：温明富，讲师，E-mail：mfwen@stu.edu.cn
**基金项目：国家自然科学基金重点项目（51534007）
††通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

剪切和加热对含蜡原油电场处理改性效果的影响*

李鸿英[1]，李子欣[1]，谢意蔚[1]，黄骞[1]，陈朝辉[1]，徐苗苗[1]，张劲军[1†]

1.油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/，中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249

摘要：含蜡原油低温流动性较差，电场处理可有效降低其低温黏度和屈服应力。但目前有关剪切和加热作用对电场改性效果的影响还缺乏研究。对某电场处理后的含蜡油通过流变性实验考查了剪切和加热对其电场改性效果的影响。结果表明，含蜡原油电场改性效果会随时间延长而逐渐减弱；相比于静止状态，剪切作用有助于改性效果维持更长时间；对电场改性原油施加高速剪切可进一步加强改性效果；对电场处理原油加热后再冷却，其改性效果减弱，且加热温度越高，减弱程度越大；当加热温度高于溶蜡点时，改性效果基本消失。

关键词：含蜡原油；电场处理；黏度；屈服应力

剪切速率、悬浮液基液混合比例对 PMMA 悬浮液粘度影响的实验研究*

梁捷[1,2]，耿佃桥[1,2†]

1.东北大学材料电磁过程研究教育部重点实验室，沈阳 110819；2.东北大学冶金学院，沈阳 110819

摘要：常温下采用乳酸钠、丙二醇和水的混合溶液作为悬浮液基液，研究不同固体体积分数下，颗粒粒径、剪切速率以及乳酸钠溶液与丙二醇混合比例对 PMMA 悬浮液粘度的影响。结果表明：同一固体体积分数下，颗粒粒径越小粘度越大，且这种现象随固体体积分数增大更加明显；同一固体体积分数下，随剪切速率增加悬浮液粘度增加，出现“剪切增稠”现象；不同混合比例的悬浮液基液中，悬浮液粘度均大于基液粘度，且随着乳酸钠溶液与丙二醇的混合比例升高悬浮液粘度增加。

关键词：PMMA 悬浮液；粘度；实验方法；基液混合比例

剪切增稠液@磁流变膜的流变性能及其应用研究‡

王胜，龚兴龙§

中国科学技术大学近代力学系，中科院材料力学行为和设计重点实验室，合肥 230026

摘要：本文首先合成苯乙烯-丙烯酸甲酯纳米粒子并配制剪切增稠液，探究了不同剪切增稠液的流变性能。剪切增稠液的黏度先随着剪切速率的增加而降低，表现出剪切变稀行为；当达到临界剪切速率后，其黏度迅速增大，呈现出增稠现象。当苯乙烯-丙烯酸甲酯体积为 56%时，剪切增稠液最大黏度高达 175.61 Pa · s，呈现出固态属性。然后，通过向 ecoflex 橡胶中掺杂羰基铁粉研制出高磁场响应的磁流变膜。流变测试结果表明，磁流变膜的最大储能模量随着羰基铁粉含量的增加而增大。当磁性颗粒为 50%时，其最大模量为 61.67 kPa，相对磁流变效应为 205.60%。基于上述研究结果，将剪切增稠液包覆于磁性高分子膜外壳中，通过结构设计研制了一种多功能纳米发电器件，并进一步研究了其在不同外场激励下的抗冲击、磁驱动和发电性能。

关键词：剪切增稠液；磁流变膜；流变表征；人体防护；智能电子器件

* 基金项目：国家自然科学基金项目 (51534007，51134006)
† 通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn
* 基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金（N180904007）
† 通讯作者：耿佃桥，副教授，E-mail：neugeng@163.com
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(11772320, 11802303)
§ 通讯作者：龚兴龙，教授，E-mail：gongxl@ustc.edu.cn

胶凝含蜡原油电流变效应研究*

黄骞[1]，李鸿英[1]，丁夷非[1]，庄誉[1]，谢意蔚[1]，张劲军[1†]

1.油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249

摘要：先前研究表明，对液态含蜡原油施加高压电场可以有效减低其黏度，但胶凝含蜡原油的电流变效应尚不明确。本文采用 MARS Ⅲ流变仪及配套的电流变模块，研究了直流高压电场对胶凝含蜡原油流变性的影响。研究表明，电场作用后胶凝原油结构强度显著减弱，储能模量、耗能模量、屈服应力降幅可达 90%以上。电场作用后油样脆性指数上升，展现出延性屈服特性，且屈服后结构裂降速度加快。电场强度越高、电场作用温度越低，电流变效应愈显著。综合液态原油和胶凝原油的电场效应、以及含蜡油流变性的机理，电场作用削弱蜡晶颗粒之间的作用力是其显著改善原油流动性的根本原因。

关键词：含蜡油；凝胶；电场处理；流变性；作用力

胶质对含蜡油胶凝特性影响的研究‡

薛慧勇[1,2]，张劲军[1§]

1.中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京 102249；2.中国石油天然气股份有限公司规划总院，北京 100083

摘要：蜡组分结晶析出会导致含蜡油胶凝，胶质作为原油中含量最高的极性组分，能够与蜡分子相互作用，改变蜡的晶体结构，从而影响原油的胶凝行为。本文研究了不同含量胶质（0~5.0 wt%）对含蜡模拟油胶凝行为和蜡晶结构的影响。通过小振幅振荡实验和应力线性加载的方式分别测试了模拟油的胶凝温度和 0 ℃时的屈服应力，发现随着胶质含量的升高，胶凝温度和 0 ℃屈服应力均呈现先降低后升高的趋势，且都在胶质含量为 1.0 wt%时达到了极小值。微观胶凝结构是导致宏观胶凝行为发生的根本原因，通过 XRD 实验测试了各模拟油在 0 ℃的蜡晶结构，发现随着胶质含量的升高，晶胞参数 *c* 和△*n* 均呈现先增大后减小的趋势，意味着蜡晶构象无序性先增强后减弱、结构强度先下降后升高，对应于屈服应力的先降低后升高，表明蜡晶微观晶体结构的晶胞参数 *c* 和代表蜡晶结构无序程度的△*n* 均与含蜡油胶凝结构强度具有密切相关性。

关键词：含蜡油；胶凝；胶质；蜡晶结构

胶质含量对胶凝含蜡油电流变效应的影响研究**

丁夷非[1]，江锋[1]，黄骞[1]，庄誉[1]，黄文丽[1]，徐苗苗[1]，李鸿英[1]，张劲军[1††]

1.油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249

摘要：蜡晶低温下析出，形成具有一定强度的三维结构，使含蜡油表现出黏弹塑性。此前的研究发现，电场可以减弱胶凝油结构强度，但是作用效果油油不同。本文通过配置模拟油的方法，研究了胶质含量对胶凝含蜡油电流变效应的影响。研究表明，电场作用后胶凝油储能模量、耗能模量、屈服应力显著降低，说明电场作用可以削弱其结构强度，改善其低温流动性。当体系中蜡晶颗粒数量增加到一定值，电场效果迅速下降；增加胶质的含量，可以延缓这一临界值到来。

关键词：胶凝含蜡油；结构强度；电场处理；胶质

---

*基金项目：国家自然科学基金重点项目（51534007）

†通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51134006，51534007)

§ 通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

**基金项目：国家自然科学基金重点项目（51534007）

††通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

金属矿尾砂浆压缩与剪切屈服应力的关系

焦华喆，杨文博，杨柳华*，陈峰宾，王金星，张文祥，苏芮
河南理工大学土木工程学院，焦作 454150

摘要：膏体流变学的研究是矿业浆体流变学的热点和难点。膏体技术包括脱水、搅拌、输送、堆存（充填）四个阶段，均涉及到非牛顿流体流变特性。在脱水阶段，全尾砂的压缩屈服应力影响了尾砂浆的脱水浓度，浓度是剪切屈服应力的宏观表现，继而影响了混合搅拌和管道输送过程中浆体的剪切屈服应力。所以，压缩屈服应力和剪切屈服应力之间的关系成为了膏体充填技术领域中的关键问题。本文在压滤理论指导下，开展相关实验，对全尾砂高压力作用下的浓密性能进行测试，得到高压力下全尾砂浆体的压缩屈服应力；使用控制剪切速率法（CSR）操作桨式流变仪检测剪切屈服应力；继而得到两者之间的关系为：浆体屈服应力为剪切应力，压缩屈服应力为压缩应力；浆体的压缩屈服应力、剪切屈服应力与浓度指数均呈指数关系。并且压缩屈服应力远大于剪切屈服应力。

关键词：全尾砂，絮团结构，压缩屈服应力，剪切屈服应力，膏体充填

具有尺寸依赖性的分子内交联纳米粒子的松弛行为†

罗锦添 [1]，欧阳希凯 [1]，刘庚鑫 [1‡]
东华大学，先进低维材料中心，材料科学与工程学院，纤维材料改性国家重点实验室，上海 201620

摘要：本工作以微乳液聚合得到不同交联密度和不同尺寸的聚苯乙烯纳米粒子（PS-CNP）为对象，通过小幅振荡剪切研究由交联结构造成的拓扑复杂性对 PS-CNP 松弛行为的影响。随着少量分子内交联的发生，PS-CNP 的松弛时间会显著地快于线形聚苯乙烯的松弛时间。而随着交联密度的继续增加，PS-CNP 的松弛时间会大幅度增加，至难以观察到松弛行为的发生。同时，PS-CNP 的松弛时间具有很强的粒子尺寸依赖性。

关键词：松弛时间，胶体软球，分子内交联，动力学变慢

具有双网络结构的聚合物基磁流变海绵体力学性能研究§

付裕 [1**]，田野 [1]，万振帅 [1]，赵刚 [2]，杨雄飞 [3]
1. 河南工业大学机电工程学院，郑州 450001；2. 哈尔滨工程大学机电工程学院，哈尔滨 150001；3. 陆装驻哈尔滨地区航空军事代表室，哈尔滨 150001

摘要：作为一类新型的磁流变智能材料，磁流变海绵体具有重量轻、稳定性好和磁敏效应较强等优点。本文以海藻酸钠与羧化壳聚糖为主要原料，以 $CaCl_2$ 为交联剂，采用冷冻干燥法制备了一种具有双网络结构的聚合物基磁流变海绵体，并探讨了聚合物的交联比例和磁性微粒的含量对其网络结构与力学性能的影响。结果表明，海藻酸钠分别与 Ca^{2+}、羧化壳聚糖形成的物理交联型双网络结构能够显著提升磁流变海绵体的结构稳定性与力学性能，其中，当海藻酸钠与壳聚糖的交联比例为 3:3、磁性微粒的含量为 20wt%时，磁流变海绵体具有最佳的综合力学性能。该研究工作为磁流变材料领域的研究提供了全新的思路，对于推动其在智能应用领域的发展具有重要意义。

关键词：双网络结构；磁流变海绵体；冷冻干燥法；力学性能

* 通讯作者：杨柳华，讲师，E-mail：yanglh2005@163.com
† 基金项目：国家自然科学基金青年基金(基金号 21903013)
‡ 通讯作者：刘庚鑫，研究员，E-mail：lgx@dhu.edu.cn
§ 基金项目：河南工业大学高层次人才科研启动基金项目(2020BS012)
** 通讯作者：付裕(1993—)，女，博士，讲师，研究方向：磁流变材料与智能传感。E-mail：fuyu@haut.edu.cn

聚合物成形过程中分子取向与双折射的预测与调控*

余文劼[1]，张云[1†]，周华民[1]，李德群[1]
1.华中科技大学材料科学与工程学院，材料成形与模具技术国家重点实验室，武汉 430074

摘要：聚合物成形过程中往往伴随着分子链的取向与松弛，分子链的取向分布对产品的性能具有显著影响，如光学聚合物产品中的分子取向会导致双折射的产生，对产品光学性能造成很大的影响。模拟成形过程中的分子取向演变是预测与调控产品性能的关键。本文基于非平衡热力学法建立了聚合物熔体成形过程中的取向演化模型，提出了一种基于取向张量描述分子链取向度的方法来建立取向张量与双折射之间的数学模型，实现了成形过程中的取向演变与双折射预测。同时研究了不同工艺参数对取向演变的影响，为指导成形工艺参数制定提供了理论依据。

关键词：聚合物熔体；分子取向；双折射

聚合物纳米复合材料流变特性对超临界微孔发泡行为的影响‡

况太荣§
浙江工业大学材料科学与工程学院，杭州 310014

摘要：探究不同维度纳米填料/聚合物复合材料的流变学特性对其微孔发泡行为的影响，引起了国内外研究学者的广泛关注。近年来，本课题组分别以多种单一纳米填料（如氧化石墨烯、纤维素纳米晶等）和混合纳米填料（纳米粘土/纳米碳酸钙、炭黑/碳纳米管等）为研究对象，研究了不同维度单一纳米填料和混合纳米填料对聚合物复合材料流变性能（包括储能模量、损耗模量、复数粘度等）的影响，并探究了流变性能对微孔发泡材料的泡孔形貌、泡孔尺寸、泡孔密度等参数的影响。研究结果表明：纳米复合材料的熔体粘度和模量因纳米填料的加入均得到了提高，表现出明显的类固体行为，这些改善后的粘弹特性对调控纳米复合材料的微孔发泡行为和改善发泡制品质量有着至关重要的作用。并且，相比于单一纳米填料，合适的填料复配在改善基体材料发泡性能方面，表现出了更为优异的协同作用。

关键词：流变学特性；纳米填料；纳米复合材料；发泡行为；熔体粘度

聚合物型流动改进剂对含沥青质模拟油/水界面特性的影响**

张豪 刘岱卫 李传宪 孙广宇†† 陈新雅 张慧慧 夏晓航 盛福军 赵芷琪
中国石油大学（华东）储运与建筑工程学院，青岛 266580

摘要：聚合物型流动改进剂通常会被加入到原油中改善原油流动性能，减少运输成本。本文测试了模拟油和水界面的动态界面张力和扩张模量。发现由于聚合物型流动改进剂具有双亲性分子结构，有很强的界面活性，它们会和原油中的沥青质竞争吸附到油水界面，共同影响油水界面张力和界面膜的性质。另外，通过测定原油中沥青质的粒径分布，发现加剂后的沥青质粒径减小，证明聚合物流动改进剂与沥青质之间存在相互作用，使沥青质在油中的分散性增强。

关键词：界面扩张流变；油水界面膜；沥青质分散；聚合物型流动改进剂

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51635006)
† 通讯作者：张云，教授，E-mail：marblezy@hust.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51803062)
§ 通讯作者：况太荣，教授，E-mail：kuangtr@zjut.edu.cn
** 基金项目：国家自然科学基金青年基金项目（51704315）
†† 通讯作者：孙广宇，副教授，E-mail：sunguangyu@upc.edu.cn

抗溶泡沫液管流摩阻损失分析

包有权*，智会强，王璐
应急管理部天津消防研究所，天津 300381

摘要：本文实验研究了抗溶泡沫液的平衡流变曲线和屈服特性，分析了抗溶泡沫液屈服应力对管流摩阻损失的影响。实验结果表明，抗溶泡沫液具有一定的屈服应力和显著的剪切稀释性，其平衡流变曲线符合 Herschel-Bulkley 模型。采用 Hanks 等人提出的黏塑性流体管流摩阻损失计算方法，基于相同的平衡流变曲线，对比分析了采用 Herschel-Bulkley 模型（考虑抗溶泡沫液屈服应力）和 power law 模型（不考虑屈服应力）所得管流摩阻损失的差别，结果显示忽略屈服应力会导致计算所得管流摩阻压降偏低。

关键词：抗溶泡沫液；屈服应力；剪切稀释性；摩阻损失

颗粒粒径对非胶体悬浮液剪切变稀特性影响的研究*

张安琪，潘定一†
浙江大学工程力学系流体工程研究所，杭州，310027

摘要：颗粒悬浮流变学在许多工业和自然应用中具有重要意义，并且其丰富的非牛顿流变特性一直被广泛研究。与胶体悬浮液相比，非胶体悬浮液内部的颗粒尺寸较大，可以忽略颗粒布朗运动的影响。已有的流变实验表明，非胶体悬浮液具有剪切变稀、剪切增稠和应变硬化等独特的非牛顿流体特性。本文以颗粒尺寸为微米级的非胶体悬浮液为研究对象，重点关注了颗粒尺寸对振荡剪切模量和稳态剪切黏度的影响。本文选取了球形度较好的 PMMA 颗粒为溶质，硅油为溶剂。悬浮液的体积分数为：20%，30%，40%；颗粒平均粒径为：10μm，30μm，50μm。现有研究结果表明，在固定频率的应变幅值扫描测试中，悬浮液随着振荡幅值的增加，其模量和复合黏度都会先下降后增加。本文还进一步发现了粒径为 10μm的 PMMA 颗粒仍然存在着布朗运动，因此对低应变幅值范围内的振荡剪切和低剪切速率范围内的定常剪切都有影响。

关键词：非胶体悬浮液；振荡剪切；应变硬化；剪切变稀

颗粒链取向对磁流变弹性体磁致剪切模量的影响研究†

高宇[1,2]，杨伟[3]，范家浩[1,2]，姚剑飞[1,2,4‡]
1.北京化工大学 机电工程学院，北京 100029；2.北京化工大学 高端机械装备健康监控与自愈化北京市重点实验室，北京 100029；3.重庆两江新区产业促进局，重庆 401147；4.北京化工大学 发动机健康监控及网络化教育部重点实验室，北京 100029

摘要：为分析内部颗粒链与外加磁场间取向夹角对磁流变弹性体（MRE）磁致剪切模量的影响。将磁化颗粒视为磁偶极子，仅考虑同一链内磁化颗粒间相互作用，推导了 MRE 磁致模量的微观模型，在微观层面对磁致模量随取向角度的变化趋势做了预测。制备了具有不同颗粒链取向角度的 MRE 试样并进行测试，结果表明微观模型预测趋势与测试结果一致。对该模型进行简化并识别其参数，得到基于参数的磁致模量模型，可预测磁致模量的实际值。

关键词：磁流变弹性体；磁偶极子；颗粒链取向；磁致剪切模量；参数识别

* 通讯作者：包有权，助理研究员，E-mail：baoyouquan1218@sina.com
* 基金项目：国家自然科学基金项目(11972322)
† 通讯作者：潘定一，副教授，E-mail：dpan@zju.edu.cn
† 基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金项目（JD1909）
‡ 通讯作者：姚剑飞，副教授，E-mail: yaojf@mail.buct.edu.cn

壳聚糖/纤维素基离子凝胶的流变行为*

张建欣，郝帅，宋洪赞†
河北大学，化学与环境科学学院，保定，071002

摘要：离子凝胶的频率扫描表明，随着壳聚糖和醛基纤维素基体含量的增加,储能模量增加，机械性能增强。壳聚糖的含量从 3%增加到 7%时(离子凝胶中纤维素的含量不变且为 7%)，离子凝胶的储能模量提高了 14 倍，其数值从 10^3 Pa 增加到 1.5×10^4 Pa，纤维素含量从 5%增加到 9%时，储能模量的数值也从 10^4 Pa 增加到 3×10^4 Pa，同时该离子凝胶还具有良好的热稳定性，即使在 150℃的高温下，离子凝胶结构也未被破坏。

关键词：离子凝胶；壳聚糖；醛基纤维素；流变

枯草菌脂肽钠/十八烷基三甲基氯化铵协同增稠胶束体系流变性研究‡

赵瑀晴[1]，方波[1§]，李科晶[1]，何金兰[1]，卢拥军[2]，邱晓惠[2]，翟文[2]
1.华东理工大学流变研究室，上海 200237；2.中国石油勘探开发研究院廊坊院区，廊坊 065007

摘要：本文将新型阴离子型生物表面活性剂枯草菌脂肽钠（Surfactin）和阳离子表面活性剂十八烷基三甲基氯化铵（OTAC）进行复配，保持两种表面活性剂的总浓度为 12wt%，形成了协同增稠胶束新体系。当 Surfactin/OTAC 体系的表面活性剂质量配比为 4.5/7.5 时，体系达到最大黏度为 13904.3 mPa·s（25℃，恒定 $10s^{-1}$ 剪切速率下）。同时研究了黏弹性、触变性等流变性受到胶束体系质量比的影响情况。本文的研究可望丰富粘弹性胶束体系的研究和应用。

关键词：脂肽钠 Surfactin；OTAC；流变性；协同增稠

矿山膏体料浆管输静置阶段的光学微流变分析*

颜丙恒[1,2]，李翠平[1,2†]，侯贺子[1,2],李 雪[1,2]，陈格仲[1,2]，胡才富[1,2]，陈光斌[3]
1.北京科技大学土木与资源工程学院，北京 100083；2.北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室，北京 100083；
3.大昌华嘉科学仪器部 北京 100004

摘要：矿山膏体料浆管输重启受料浆静置期的结构发育影响，机械流变测量在分析膏体料浆静置结构发育时不可避免的会对内部颗粒体系产生外加扰动。本文首次采用光学微流变法对膏体料浆静置结构发育过程进行无扰动测量表征。以关联料浆粘弹性与内部颗粒结构的弹性因子 EI、宏观粘度因子 MVI 为监测变量，分析灰砂比、絮凝剂添加量、减水剂、水化控制剂等实验条件下膏体料浆结构发育情况。结果表明：灰砂比对膏体充填料浆结构发育影响较为明显，本文中灰砂比 1:8 时，料浆 EI 与 MVI 达到的平衡值最大，并且突增时间最短，料浆结构发育速度最快，相应结构强度最高；絮凝剂可加速膏体堆存料浆结构发育，但与充填料浆相比，堆存料浆结构发育较为缓慢；减水剂与水化控制剂可在一定程度上降低充填料浆 EI 与 MVI 的增速，其中水化控制剂对料浆缓凝作用更为明显，更利于降低充填料浆结构发育速度。

关键词：矿山膏体料浆；尾矿颗粒；光学微流变；结构发育

* 基金项目：国家自然科学基金项目(22075066)
† 通讯作者：宋洪赞，教授，E-mail：songhongzan@iccas.ac.cn
‡ 基金项目：国家科技重大专项“高温清洁压裂液稠化剂合成与特性表征”（2017ZX05023003-004）
§ 通讯作者：方波，教授，E-mail：fangbo@ecust.edu.cn
* 基金项目：国家自然科学基金项目(51774039)；国家重点研发计划资助项目(2017YFC0602903)
† 通讯作者：李翠平，教授/博导，主要从事金属矿膏体充填材料流变学方面的教学与科研工作，电话：010-62334756，E-mail：cpli@ustb.edu.cn

拉伸形变诱导纤维素接枝两嵌段“瓶刷状”共聚物弹性体产生取向微结构以模仿皮肤的机械力学性能*

张娟，王志刚†

中国科学院软物质化学重点实验室 中国科学技术大学高分子科学与工程系 安徽合肥 230026

摘要：皮肤是一个动物体重要的生物防御系统，以其独特的机械力学性能保护身体免受物理伤害，这主要归因于蛋白质支架的分级组织。开发出一种人工合成的皮肤材料引起了研究者们的极大兴趣，但复制皮肤的机械响应，包括各向异性的柔软性和应变硬化是很难实现的。为了模拟皮肤的力学行为，我们设计了以可再生刚性纤维素为骨架，以聚丙烯酸正丁酯-嵌段-聚甲基丙烯酸甲酯(PBA-*b*-PMMA)两嵌段为接枝侧链的“瓶刷状”共聚物弹性体。获得的弹性体在经历了逐步循环拉伸形变之后，其内部微相结构变成了定向的纳米纤维，这赋予了该“瓶刷状”热塑性弹性体材料与真实皮肤非常相似的应力-应变行为。小角度 X-射线散射(SAXS)和透射电子显微镜(TEM)都证实了弹性体是内部存在定向纳米纤维微结构的体系。特别是通过控制具有高玻璃化温度的 PMMA 含量，可以很容易地调节类似皮肤力学性能的“瓶刷状”弹性体的机械力学性能，由于其独特的物理交联特性，极大地提高了材料的再加工性能。总之，我们目前的研究工作对于开发系列仿生类皮肤聚合物材料具有重要意义。

关键词：瓶刷状共聚物, 两嵌段共聚物, 微相分离, 循环拉伸, 取向

蜡晶与水滴的相互作用对油包水型乳状液胶凝结构强度的影响‡

陈新雅 张豪 李传宪 孙广宇§ 姚博 刘岱卫 张慧慧 赵芷琪

中国石油大学油气储运工程系，青岛 266580

摘要：含蜡原油乳状液在深海集输系统中易发生凝管事故，不利于管道的安全运行。本文通过改变乳化剂种类、实验温度和含水率来研究蜡晶和水滴之间的相互作用对含蜡模拟油乳状液胶凝结构强度的影响规律和机理。研究发现，乳状液的胶凝结构强度取决于蜡晶和水滴的协同竞争作用，其中蜡晶形貌起着关键作用，细长针状蜡晶稳定的乳状液的胶凝结构强度随含水率的下降而增大，而蜡晶聚集体稳定的乳状液的胶凝结构强度随含水率的上升而增大。

关键词：含蜡模拟油；油包水型乳状液；含水率；蜡晶形貌；胶凝结构强度

冷轧对聚对苯二甲酸乙二醇酯（PETG）力学行为的影响

田传帅[1]，肖锐[2]

1.河海大学力学与材料学院，南京，210098；2.浙江大学工程力学系，杭州，310027

摘要：本工作通过实验和理论相结合来研究冷轧对玻璃态 PETG 应力响应的影响。首先，通过冷轧实验，我们得到了不同变形量和变形方向的预处理试样，然后在室温下对预变形试样进行单轴拉伸实验，并用 DIC 技术来表征应变场。由于利用了 DIC 技术，我们能获得预变形试样重新加载的真实应力-应变关系。这些结果能充分显示冷轧应变和方向对玻璃态聚合物力学行为的影响。在此基础上，本工作也建立了一个热力学本构模型。通过与实验结果对比，显示该模型能够很好的表征 PETG 在不同冷轧条件下的应力响应。

关键词：PETG；冷轧；DIC；本构模型

* 基金项目：国家自然科学基金项目(52073266)

† 通讯作者：王志刚，教授，E-mail：zgwang2@ustc.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目 (51904327, 51774311)

§ 通讯作者：孙广宇，副教授，E-mail：sunguangyu@upc.edu.cn

离子液体基磁流变液的制备及其流变特性*

李小光 [1]，佟昱 [1]，赵鹏慧 [1]，董旭峰†

1. 大连理工大学材料科学与工程学院，大连 116024

摘要：基液性能是影响磁流变液性能的重要因素。离子液体与传统基液相比粘度适中、具有极性，可以采用离子液体作为基液制备新型磁流变液。本文选用 1-辛基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐离子液体和硅油作为基液，以羰基铁粉为分散相颗粒，分别制备颗粒体积分数为 20%的磁流变液。采用安东帕公司 Physica MCR301 旋转流变仪对两种磁流变液的磁流变性能进行测试。结果表明相同磁场强度下，离子液体基磁流变液的剪切屈服强度大于硅油基磁流变液，即离子液体基磁流变液具有更为显著的磁流变效应。

关键词：磁流变液；离子液体；剪切屈服强度

离子液体修饰二氧化钛的电流变性能研究‡

尹玉婷，赵秀虎，张光晨，刘迎丹§

燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，秦皇岛 066004

摘要：本文通过溶胶-凝胶法合成了表面修饰有硅烷化离子液体的二氧化钛杂化材料（IL-TiO_2），并借助扫描电镜对样品的形貌进行了观察，随后测试了其电流变性能。结果表明：经硅烷化离子液体修饰的二氧化钛比纯二氧化钛有着更高的电流变效应，在电场强度为 4 kV/mm 时，IL-TiO_2 基电流变液的屈服应力是纯 TiO_2 电流变液屈服应力的 4.6 倍。

关键词：电流变效应; 二氧化钛; 离子液体; 屈服应力

锂电池电极纳米颗粒和粘接剂在充电放电循环中的应力计算**

张富亮 [1]，阳如坤 [2]，张强 [1]，何红 [1††]，于洪杰

1.北京化工大学 机电工程学院，北京 100029；2.深圳吉阳智能科技有限公司，深圳 518101

摘要:粘接剂是锂电池电极制造的重要材料，虽然它的用量少，但却是极板力学性能的主要承担者。现有的模拟复合电极力学行为模型多将粘结剂层假设为线弹性材料，这很难描述粘结剂层的复杂力学行为，因此为了深入理解极板纳米级颗粒与粘合剂在充放电过程的力学行为，本文根据已有的实验数据拟合了 Neo-Hookean 超弹性模型，采用与锂离子扩散方程形式相似的传热方程求解工具，模拟了活性硅颗粒在充电放电过程所引起应力变化，并比较了两种粘接剂本构方程在活性硅颗粒充电放电过程所引起应力应变差异。研究结果表明硅颗粒锂化时主要的塑性变形发生在第一个充电放电循环过程中，粘接层的最大应力变化与纳米颗粒间应力变化类似，随着粘结层厚度的增加，粘接层界面的最大应力会逐渐降低；还有，相近应变下，线弹性模型计算得到的粘接层应力远大于 Neo-Hookean 超弹性模型的应力，对于粘结剂流变行为描述，后者好于前者。

关键词：粘接剂，纳米颗粒，Neo-Hookean 本构模型,充电放电循环，应力

* 基金项目：中国运载火箭技术研究院高校联合创新基金(CALT201702)

† 通讯作者：董旭峰，dongxf@dlut.edu.cn、13610854629

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(21872118)

§ 通讯作者：刘迎丹，教授，E-mail：ydliu@ysu.edu.cn

** 教育部产学合作协同育人新工科建设项目（201901218001）

†† 通讯作者：何红，副教授，Email：hehong@mail.buct.edu.cn

链状钴颗粒磁流变弹性体的制备及性能*

佟昱[1]，张鑫[2]，董旭峰[1†]，齐民[1]，武湛君[3]
1.大连理工大学材料科学与工程学院，大连 116024；2.北京卫星制造厂有限公司，北京 100080； 3.大连理工大学航空航天学院，大连 116024

摘要：磁流变弹性体的内部微结构是影响其性能的重要因素。本文采用溶剂热法制备链状钴颗粒和球状钴颗粒。通过 SEM 观察钴颗粒大小，结果表明所制备的球状钴的直径为 2~3μm，链状钴是由 1μm 的球形颗粒组成的长 10~40μm 的链状结构。采用 VSM 测试其磁性能，结果表明两种钴颗粒具有可比较的饱和磁化强度。分别以链状和球状钴为分散相，硅橡胶为基体制备体积分数为 10%磁流变弹性体进行测试。振荡剪切测试结果表明，链状钴磁流变弹性体具有更高的阻尼因子。储能模量随磁场变化的结果表明，链状颗粒能够提高各向同性 MRE 的磁致储能模量。

关键词：链状钴；磁流变弹性体；磁致储能模量；阻尼因子；微结构

两性表面活性剂/聚合物二对稠油水包油型乳状液流变性的影响规律研究

孙娜娜，孙会娜，沈丽莎
西安石油大学 石油工程学院，陕西 西安 710065

摘要：为了有效地在常低温条件下管输高黏稠油，本文以表观黏度和降黏率为主要评价指标，系统分析了表面活性剂类型和浓度、阴离子聚丙烯酰胺 HPAM 浓度对稠油水包油（O/W）型乳状液流变性的影响规律及作用机理，并探究了由最优二元体系（椰油酰胺丙基甜菜碱 CAB-35 和 HPAM）稳定的乳状液的抗盐性。实验结果表明：由浓度为 1%的两性表面活性剂 CAB-35 制备的稠油 O/W 型乳状液表观黏度较低，降黏率超过 98.0%；且随着 CAB-35 浓度增加，乳状液的表观黏度先升高后降低，降黏率略微减小、且均在 97.0%以上。为了进一步提高乳状液的稳定性，向 CAB-35 溶液中加入阴离子聚丙烯酰胺 HPAM，结果表明，随着 HPAM 浓度的增加，乳状液的表观黏度增大，降黏率降低、但超过 97.9%。此外，由二元体系稳定的乳状液具有一定的抗盐性。

关键词：稠油；O/W 型乳状液；表观黏度；降黏率；表面活性剂；聚合物

流变-偏光显微原位同步测量技术在含蜡原油流变性研究上的尝试‡

董航，赵健*，李沅晧，习向锐
东北石油大学油气储运工程系，黑龙江大庆，163318

摘要：蜡晶在流场剪切下的动力学表现及蜡晶间的相互作用是决定含蜡原油流变性的关键因素，也是剖析其复杂流变性产生机理的基础。针对这一问题，借助具有原位显微观测功能的流变仪，并通过对光源的改进，构建了能够对含蜡原油宏观流变性和蜡晶微观形貌原位同步测量的实验方法，对恒温、剪切速率阶跃增加条件下，含蜡原油的动平衡表观粘度和蜡晶微观结构进行了原位同步实验研究。结果表明：蜡晶长轴方向与剪切流动方向夹角的平均值与原油粘度的相关性最显著（R^2=0.97），两者间符合指数关系，且随剪切速率增大，其具有与粘度最一致的变化表现。蜡晶颗粒数量与原油粘度间符合指数关系（R^2=0.92），其表征了蜡晶聚集状态对体系流变性的影响。蜡晶平均纵横比的变化体现了剪切造成的蜡晶变形效果，其在剪切速率增大至 $2S^{-1}$ 以上时，对原油粘度的影响开始增强。此外，还得到了蜡晶平均粒径、平均圆度和分形维数等参数随剪切速率的变化规律。总体上看，在剪切作用下，蜡晶运动沿流场的取向性逐渐增强，排列越来越有序，颗粒形状的变化向着与流场更适应、降低体系流动阻力的方向改变。

关键词：流变显微同步；原位研究；含蜡原油；流变性；蜡晶

---

* 基金项目：国家重点研发计划 (2018YFC0705603)
† 通讯作者：董旭峰，教授，E-mail：dongxf@dlut.edu.cn
‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51704077)，中国博士后科学基金项目（2018M640290）

流变学研究长链支化聚乳酸/右旋聚乳酸共混物的结晶动力学*

白静，丁双双，徐翠，王学会，王志刚†

中国科学院软物质化学重点实验室 中国科学技术大学高分子科学与工程系 安徽合肥 230026

摘要：将长链支化聚乳酸（LCB PLA）与右旋聚乳酸（PDLA）按不同质量份数比进行溶液共混，获得一系列含有立构复合晶的 LCB PLA/PDLA 共混物。用偏光光学显微镜（POM）跟踪了 130 °C 等温结晶过程中 LCB PLA/PDLA 共混物的形貌演变，揭示了 SC 晶体和 PLA homo-晶的独立生长。通过流变学研究发现，随着 PDLA 含量的增加，LCB PLA/PDLA 共混物的结晶动力学显著加快，这主要是由于成核密度的提高。特别地，当 PDLA 含量分别为 5 和 10 wt％时，LCB PLA/PDLA 共混物等温结晶过程中出现了两个平台，这可由储能模量-时间曲线中呈现两个平台区来证实。DSC 测试结果进一步表明，LCB PLA/PDLA 共混物中 SC 晶体和 PLA 的 homo-晶可共存，与 SC 晶体相比，即使在 SC 晶体完全结晶之后，homo-晶的出现也要延迟较多。

关键词：立构复合晶；homo-晶；流变学

流变学在高含水不加热集油中的应用

陈朝辉[1]，张燕[2]，李庆[1‡]，黄启玉[2]，苏炳辉[1]，王坤[1]

1.中国石油规划总院，北京 100083；2.中国石油大学，北京 102249

摘要：高含水使得油田采出液的流动性大为改善，可以采用集输温度低于原油凝点的不加热工艺。而集输温度过低，胶凝含蜡原油就会黏附于管壁上，造成井口回压升高，甚至威胁管道的安全运行。本文从高含水原油的流变性着手，通过力平衡分析，建立了粘壁温度的计算模型。模型预测的粘壁温度与测试值的误差在 2℃以内。已推广应用这项研究的系列化成果，节能降耗显著。

关键词：含蜡原油；高含水；粘壁;流变;机理

纳米降凝剂对含蜡原油流变性及管道启动流的影响研究§

尹承禹[1]，黄文丽[1]，李鸿英[1]，黄骞[1]，张劲军[1**]

1.油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京，102249

摘要：国内油田所产原油多为含蜡原油，其在低温下的流动性较差，且具有复杂的流变特性。添加合适的降凝剂可以显著改善含蜡原油的低温流动性，例如降低凝点、黏度和屈服应力等。近年来，传统降凝剂和纳米材料熔融混合制备的纳米降凝剂成为研究热点并展现出诱人前景。本文从流变学角度系统研究了纳米降凝剂对含蜡原油低温流动性的影响。研究表明，纳米降凝剂和传统 EVA 降凝剂的降凝效果相当；但是，相比传统降凝剂，经纳米降凝剂处理后的含蜡原油在相同温度下具有更低的表观黏度、黏弹性、屈服应力和触变性，纳米降凝剂降低含蜡原油胶凝结构强度的效果更好。数值模拟结果表明，含蜡原油中添加纳米降凝剂有利于管道的再启动。

关键词：含蜡原油；纳米降凝剂；流变性；启动流

聚酰亚胺复合材料的界面调控与高性能化设计††

林 宇‡，张栋梁，胡莎妮，吴国章‡‡

华东理工大学材料科学与工程学院，上海市先进聚合物重点实验室，上海，200237

摘要：纳米粒子表面与聚合物分子链之间的物理和化学作用是纳米复合材料高性能多功能化的研究

*基金项目：国家自然科学基金项目（51673183）

†通讯作者：王志刚，教授，E-mail：zgwang2@ustc.edu.cn

‡通讯作者：李庆，高级工程师，E-mail：li-qing@petrochina.com.cn

§基金项目：国家自然科学基金重点项目（51534007）

**通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

††基金项目：国家自然科学基金项目(51503066)

‡‡通讯作者：林宇，副教授，E-mail：linyu@ecust.edu.cn；吴国章，教授，E-mail：wgz@ecust.edu.cn

前沿和热点。研究者过去侧重于开发纳米分散技术，未来的挑战是寻找并充分利用纳米粒子与基体高分子在微观尺度上的协同效应，并在不同尺度上构建多种能够发挥独特功能的高次结构。其中，如何调控纳米粒子的空间分布以及如何阐明微观结构与宏观性能之间的内在联系是两大关键问题。本文以主链带刚性酰亚胺环的聚酰亚胺（PI）为研究对象，重点考察了刚性分子链接枝纳米粒子体系接枝链长度、密度、分布对分子链间熵致自憎诱导的相分离行为、以及纳米粒子因接枝链受限熵变引起的凝聚结构演变的调控作用。系统研究了复合体系玻璃化转变温度（T_g）和链段动力学，揭示了纳米粒子周围接枝链和基体链的界面层弛豫行为。进一步通过原位“grafting from”技术在纳米粒子表面接枝聚酰胺酸链，借助纳米粒子形成交联网络结构，控制 PI 气凝胶形貌结构和粗化骨架强度，实现了 PI 气凝胶的高性能与多功能化。

关键词：聚酰亚胺；纳米粒子；界面作用；链段弛豫；高性能.

纳米纤维素稳定的磁流变悬浮液的流变性能*

王元堃[1]、吴德峰[1、2]

1、扬州大学化学化工学院，江苏扬州，225002；2、环境工程与材料重点实验室，江苏扬州，225002

摘要：采用两种各向异性的纤维素纳米晶（CNC）和纤维素纳米纤维（CNF）作为添加剂，制备了羰基铁粒子（CIPs）的磁流变液，旨在揭示纳米纤维素对磁流变液磁响应行为和稳定性的影响。CNC 和 CNF 稳定了磁流变液，表现出明显的触变行为，并提高磁流变液对磁场强度变化的敏感性。与 CNC 相比，CNF 的存在甚至提高了磁响应水平，因为 CNF 逾渗网络起到了应力放大器的作用。相对于静电斥力，物理阻力对稳定性的提高更为重要，故具有较高的长径比和表面电荷的 CNF 是较好的选择。这项工作为纳米纤维素在磁流变流体中的应用打开了一个新的窗口。

关键字：纤维素纳米晶；纤维素纳米纤维；磁流变液；流变

耐温 150℃黏弹性阳离子 Gemini 表面活性剂/水杨酸钠/KBr 胶束体系流变性研究†

骆慧[1]，陈晶[1]，崔秀[1]，方波[1‡]，许可[2]，卢拥军[2]，邱晓惠[2]，翟文[2]，李科晶[1]

1.华东理工大学化工流变学研究室，上海 200237； 2.中国石油勘探开发研究院廊坊院区，廊坊 065007

摘要：本文研究了新型阳离子 Gemini 表面活性剂羟丙撑基（芥-油酸酰胺丙基二甲基氯化铵醋酸铵）（25-HP-21）与水杨酸钠（NaSal）和溴化钾（KBr）复配形成 25-HP-21/NaSal 和 25-HP-21/NaSal/KBr 两种黏弹性胶束体系的流变性。流变测试结果表明，与体系 25-HP-21/NaSal (5wt%/0.3wt%)相比，体系 25-HP-21/NaSal/KBr（5wt%/0.3wt%/0.3wt%）稳态剪切黏度（剪切速率为 100 s^{-1}）增大了 350 mPa·s，触变环面积和黏弹性模量均显著增大，在 100s^{-1}、150℃下剪切 1h，体系保留黏度为 26.7mPa.s。此外，采用冷冻扫描电镜对两种体系的微观结构进行表征发现两种体系均具有明显的网络结构，而 25-HP-21/NaSal/KBr 体系的网络结构更加规则致密，表明该体系内部结构更强，宏观上表现为黏度及黏弹性模量更大，与流变测试结果一致。该研究可望丰富新型黏弹性胶束体系的研究和应用。

关键词：Gemini 表面活性剂；清洁压裂液；流变学性质

* Corresponding author. Tel.: +86 514 87975230; Fax: +86 514 87975244; E-mail address: dfwu@yzu.edu.cn

† 基金项目：国家科技重大专项“高温清洁压裂液稠化剂合成与特性表征”（2017ZX05023003-004）

‡ 通讯作者：方波，教授，E-mail: fangbo@ecust.edu.cn

铌碳化物氧化物(Nb_2O_5/C)的电流变液的粘弹性表征

黄树新 [1,2,*]

1. 上海交通大学工程力学系，上海 200240；2. 上海交通大学水动力学教育部重点实验室，上海 200240

摘要：在电流变液上加电压时，电流变液会由液体向类固体转变，使得这种液体具有一些特定的功能。本文对一种由铌碳化物氧化物(Nb_2O_5/C)构成的电流变液在无外加电压和施加电压情况下的粘弹性进行了理论表征。实验数据是张文玲等人报道的。电场强度对 Nb_2O_5/C 悬浮液的线性粘弹性的影响采用线性插值方法处理，同时应用结构化的 KBKZ 方程，可以描述此悬浮液在有电压和无电压时的线性粘弹性和稳态剪切粘度的实验结果，并且可以计算出不同电场强度下的屈服应力。在电场强度为 0.5-4 kV/mm 时，计算的屈服应力比实验值略低。在电场强度小于 0.5 kV/mm 时，计算的屈服应力和实验值有较大偏差。计算偏差和描述电场强度影响的线性插值方法有关。

关键词：铌碳化物氧化物；电流变液；粘弹性；理论表征

尿素对聚丙烯酰胺水溶液流变性质的影响规律研究

韩迎春，陈全，李云琦[†]

中国科学院长春应用化学研究所，吉林长春 130022

摘要：高分子溶液的流变性质与溶剂化密切相关。聚丙烯酰胺（PAAm）是一种具有良好水溶性的高分子，引入尿素会改变其溶剂化结构和溶液的流变性质。黏度结果表明加入尿素并不会改变 PAAm 水溶液的剪切变稀行为。在稀溶液区，尿素会降低溶液的本征粘度。在高浓度区，PAAm 溶液粘度对浓度存在标度关系 $\eta_{sp} \sim C^2$ 和 $\eta_{sp} \sim C^{4.6}$，尿素对该关系无影响但会提高增比粘度。尿素对聚丙烯酰胺水溶液流变性质的影响可归结于后者水化层结构变化，尿素会破坏 PAAm 链内和链间的氢键网络，改变溶液中的高分子链构象，从而改变溶液流变性质。

关键词：聚丙烯酰胺；尿素；黏度

凝胶网络结构的流变学研究[‡]

刘思俊[§]，俞炜

上海交通大学，上海 200240

摘要：不同结构和性能水凝胶的制备依赖于不同凝胶机理和凝胶变量的控制，明晰高分子凝胶化的本质和机理是设计和制备可拉伸水凝胶的前期条件。卡拉胶是由硫酸基化的半乳糖和 3,6-脱水半乳糖交替连接的负电性多糖，已广泛应用于生物工程等领域。流变学研究表明在临界溶胶-凝胶转变点，卡拉胶临界凝胶浓度的增加可有效提高缠节点数目，而对缠节点尺寸几乎没有影响；改进的 Eldridge-Ferry 模型揭示了临界溶胶-凝胶转变的网络结构，进而阐明了卡拉胶物理凝胶化过程中双螺旋结构缔合的微观机制，从分子水平上描述了温度和卡拉胶浓度对凝胶化机理影响的本质。随后，通过一锅法制备得到了卡拉胶/聚丙烯酰胺双网络水凝胶。研究发现调控卡拉胶浓度，可有效控制双网络水凝胶卡拉胶网络缠结点书目，进而可有效调控双网络水凝胶的力学性能。同时，因为卡拉胶的热可逆凝胶化特性，双网络水凝胶还表现出恢复效率和自愈合能力。热响应卡拉胶/聚丙烯酰胺双网络水凝胶也表现出优异的 3D 打印特性。

关键词：流变学；凝胶；网络结构

[*] 通讯作者：黄树新，博士，副教授，E-mail：huangshuxin@sjtu.edu.cn

[†] 通讯作者：李云琦，研究员，E-mail：yunqi@ciac.ac.cn

[‡] 基金项目：国家自然科学基金项目(51973115)

[§] 通讯作者：刘思俊，副教授，E-mail：liusijun@sjtu.edu.cn

气体/赫歇尔-伯克利流体两相分层流动特性研究*

侯林彤[1,2]，许晶禹[1,2†]

1. 中国科学院大学 工程科学学院，北京，100049; 2. 中国科学院 力学研究所，北京，100190

摘要：为研究基于赫歇尔-伯克利流体的气液两相分层流动特性，从基础平界面假设入手推导一维稳态的气液流动方程并探讨两相流动影响因素，所得结论适用于忽略表面张力和相间剪切力的较大管径两相分层流动。研究中考虑流体模型参数，流动条件以及无量纲数对赫歇尔-伯克利流体气液分层流动的影响。结果表明，流体剪切稀化特性和屈服应力与液相含率成正相关。结合前人实验数据，液相含率关系模型显示出较好的预测效果。进一步拓展到气液非平界面，采用双圆环模型借助能量分析法推导界面形状函数，为研究确定流型下界面形状对两相流动的影响奠定基础。

关键词：赫歇尔-伯克利流体; 气液分层流; 液相含率; 界面形状

屈服应力测量时胶凝含蜡油结构破坏的机理研究‡

黄璟，张劲军§，李鸿英

油气管道输送安全国家工程实验室，城市油气输配技术北京市重点实验室，中国石油大学（北京）油气储运工程系，北京 102249

摘要：屈服应力常用于表征凝胶体的结构强度。由于胶凝油结构本身的内聚力和凝油与壁面间的黏附力不一致，其屈服应力测量时可能存在内聚断裂和黏附断裂这两种结构破坏形式，导致测量结果存在差异。本研究针对若干种含蜡原油和模拟油，通过改变实验条件获得不同的胶凝结构强度，对比了光滑圆筒、刻槽圆筒和六叶桨的屈服应力测量值。结果表明，光滑圆筒和刻槽圆筒的测量结果差别不大，均远低于六叶桨，降幅最大可达 90%，这说明两种圆筒中胶凝油的屈服属于黏附断裂。把各种实验条件下桨式转子相对于圆筒所测屈服应力的差值与桨式转子的测量值作图，发现两者之间的关系符合 power law，R^2 在 0.99 以上。这一关系与测试温度、降温速率、含蜡量、蜡晶颗粒的大小或析出量、甚至于应力加载速率均无关。

关键词：含蜡油凝胶；屈服应力测量；桨式转子；结构断裂

全尾砂膏体流变特征的剪切历史效应

杨柳华[1, 2]，苏芮[1]，陈峰宾[1]，焦华喆[1**]，赵宇[1]，王金星[1]，杨文博[1]，王洪江[2]

1.河南理工大学土木工程学院，焦作 454000；2．北京科技大学土木与资源工程学院，北京 100083

摘要：膏体充填技术广泛应用于矿山尾矿处置，膏体流变学是该技术的重要基础理论。为此，膏体流变学得到广泛研究，特别在理论模型、影响因素及测量等方面。然而，目前对于膏体流变特征的剪切历史效应研究极少，特别是搅拌过程受到的剪切作用常被忽视。本研究通过控制制备过程搅拌速率获得不同流变参数的样品，并应用聚焦光束反射装置（FBRM）-流变仪耦合测试技术，分析了样品的细观结构与流变特征。研究结果表明，剪切历史对流变参数具有重要影响，且存在一个搅拌速率阈值，当搅拌速度小于该阈值时，制备膏体流变参数随剪切速率增加而降低，其流变曲线更符合 Bingham 模型；而当搅拌速度超过阈值时，膏体流变参数反而增大，其流变曲线更符合 H-B 模型。全尾砂膏体的这种现象被称为剪切历史效应，该现象与其细观结构变化密切相关。

关键词：剪切历史；全尾砂膏体；细观结构；流变模型

* 基金项目：中国科学院战略性先导科技专项（B 类）（XDB22030100）

† 通讯作者：许晶禹，研究员，E-mail: xujingyu@imech.ac.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金重点项目(51534007)

§ 通讯作者：张劲军，教授，E-mail：zhangjj@cup.edu.cn

** 通讯作者：焦华喆，讲师，E-mail：jiaohuazhe@126.com

热历史对含蜡原油结构破坏与恢复的影响

衣桂影[1]，苗青[2]，李其抚[2]，阎涛[2]，霍连风[2]，闫锋[2]

1.国家管网北方管道丹东输油气分公司，丹东 118000；2.国家管网北方管道管道科技研究中心，廊坊 065000

摘要：含蜡原油热处理的温度、降温速率、重复加热的次数等热历史条件对含蜡原油低温形成的结构强弱，破坏结构的程度及破坏后结构的恢复都有直接影响。采用恒剪切法对长庆原油经历不同热历史处理后的表观应力进行测试，结果表明：含蜡原油的破坏度随着热处理温度的增加，降温速率的减小及加热次数的增加而升高的；而恢复度则是逐渐降低的。

关键词：热历史；含蜡原油；结构；破坏；恢复

热油管道冲刷热洗分析

聂超飞[1] 程磊[1] 吴昊[2] 苗青[1] 黄薇薇[1] 史皓宇[1] 闫锋[1] 李其抚[1]

1.国家管网北方管道管道科技研究中心，廊坊 065000；2.国家管网北方管道沈阳输油气分公司，沈阳，112000

摘要：对于热油管道的大排量冲刷热洗，如何选择合理的热洗温度、冲刷排量等关键参数，对清蜡方案制定和最终清蜡效果具有重要意义。通过自主研发的结蜡装置开展了不同条件的冲刷热洗实验，构建了基于通用全局优化法的热油管道热洗冲刷模型，并通过和实际管道的对比可知，预测的压降变化值平均误差为 8.4%，满足工程需要，可为现场制定原油输送管道热洗方案的提供有效指导和参考。

关键词：热油管道；结蜡；冲刷热洗；模型

软基复合材料中 Mullins 效应的实验和理论研究*

肖锐[1]

1.浙江大学工程力学系，杭州，310027

摘要：Mullins 效应在传统的填充橡胶体系和一些新型的软基复合材料体系都广泛存在。Mullins 效应会导致变形后的材料的应力响应小于初始未变形材料的应力响应，但是这种应力软化行为在某些材料体系中是可逆的。例如，填充橡胶可以在高温处理一段时间后，逐步恢复至初始强度，而在部分凝胶复合材料体系，仅需在室温放置一段时间，就可实现材料强度的恢复。在近期的工作中，我们同时研究了传统的填充凝胶体系和塑化的 PVC 凝胶复合材料体系中的 Mullins 效应和 Mullins 效应的恢复行为。同时，我们建立了基于分子链动态粘附和脱粘机制的微观力学模型，该模型能够准确的模拟上述软基复合材料体系在循环变形中的 Mullins 效应以及处理后 Mullins 效应的恢复行为。

关键词：Mullins 效应；Mullins 效应恢复；填充橡胶；凝胶；理论模型

使用粘弹性流体槽道湍流减阻流动对比研究对数构象表达法原始构象表达法的数值模拟性能

张文华[1]，张红娜[2]，李凤臣[2†]

1.中山大学中法核工程与技术学院，珠海，519082；2.天津大学机械工程学院，天津，300072

摘要：本文利用对数张量的级数定义给出了粘弹性流体对数构象控制方程的一个新的直观推导过程。分别基于对数构象表达（LCR）与直接的构象表达（CR），采用有限差分法直接数值模拟了 Oldroyd-B 本构模型描述的粘弹性流体槽道湍流减阻流动。对比直接数值模拟结果发现，无论是对于低魏森贝格数（1）还是高魏森贝格数（5）工况，CR 方法可以模拟得到明显的湍流减阻效果，然而在相同计算网格分辨率情况下，LCR 方法难以模拟出湍流减阻现象。进一步研究发现若 LCR 方法中界面对数构象张量转换于物理域构象张量插值结果，可以模拟得到湍流减阻现象；若 CR 方法中界面构象张量转换于对数域插值结果，尽管仍可以模拟得到湍流减阻现象，但是减阻效果有所减弱。研究结果表

* 基金项目：国家自然科学基金项目(11872170)

明 LCR 方法的计算性能劣于标准的 CR 方法，界面对数构象张量的插值方式是一个重要原因。

关键词：对数构象表达；粘弹性流体；HWNP；湍流减阻

双颗粒在蠕虫状胶束流体中沉降过程的研究

王治国 蔺靖杰 郭姜汝 张锋

西安石油大学机械工程学院，陕西 西安 710065

摘 要：颗粒在蠕虫状胶束流体中的沉降研究是复杂固液两相流的研究基础问题。建立颗粒沉降模型并采用有限元方法模拟两个球形颗粒在蠕虫状胶束中的沉降过程。结果表明，Giesekus 粘弹性本构方程可以描述颗粒在蠕虫状胶束流体中沉降的非线性剪切变稀行为和弹性导致的拉伸变形。颗粒在蠕虫状胶束流体中沉降时其尾部会出现负尾迹现象，当两颗粒水平沉降时，负尾迹区随着颗粒距离的增加而延长，颗粒表面的弹性应力增大，导致颗粒沉降速度降低。颗粒在蠕虫状胶束流体中竖直沉降时，颗粒间距离比颗粒直径小于 1.5 时(H/D＜1.5)，下方颗粒抑制上方颗粒的沉降，导致上方颗粒弹性应力减小，当颗粒间距离比颗粒直径大于 1.5 时(H/D＞1.5)，下方颗粒有会促进上方颗粒的沉降。增大蠕虫状胶束的松弛时间，颗粒沉降到稳定状态所需时间增加，表明弹性越大，颗粒沉降的波动幅度越小，而波动频率增加。

关键词：双颗粒沉降；蠕虫状胶束流体；Giesekus 模型；负尾迹；弹性应力

顺丁胶硫化网络结构对 Payne 效应的影响*

钟欣珂，宋义虎†，郑强

浙江大学高分子科学与工程学系，杭州 310027

摘要：生胶硫化胶在大幅应变作用下呈现 Payne 效应和弱应变过冲行为。生胶硫化胶的非线性流变行为在橡胶工业中常被忽略。利用助交联剂和过氧化二异丙苯调控顺丁胶交联密度和溶胶含量，发现 Payne 效应和应变过冲行为与有效交联密度有关，与包括溶胶在内的网络缺陷关系不大。

关键词：硫化胶；网络缺陷；Payne 效应

炭黑填充天然橡胶纳米复合材料的 Payne 效应‡

施炫宇，孙世豪，赵安，张海默，左敏§，宋义虎，郑强

浙江大学，浙江 310027

摘要：天然橡胶（NR）中加入炭黑（CB）可以增强 Payne 效应，但其机理至今仍不清晰。本文采用流变-导电同步测试探究了大应变下填充天然橡胶的动态模量和电阻的变化。发现低温和高频会加速体系的 Payne 效应。CB 聚集体的破坏和回复与 Payne 效应的出现和回复不同步，表明填料相的结构演变并非导致 Payne 效应的主要原因。该研究对于理解橡胶纳米复合材料中应变软化的分子机理具有启发意义。

关键词：橡胶纳米复合材料；Payne 效应；回复；滞后

*基金项目：国家自然科学基金项目(U1908221，51873190，51790503)，中央高校基本科研业务费专项资金资助(2020XZZX002-08)

† 通讯作者：宋义虎，教授，E-mail：s_yh0411@zju.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目（51790503 和 51873181）

§ 通讯作者：左敏，副教授，E-mail: kezuomin@zju.edu.cn

碳粒子拓扑形状对 PVA 水溶液流变行为的影响*

倪卿盛[1]，杜　淼[2†]，单国荣[1]，宋义虎[2]，郑　强[2]

[1]浙江大学化学工程与生物工程学院，杭州 310027；[2]高分子合成与功能构造教育部重点实验室，浙江大学高分子科学与工程学系，杭州 310027

摘要：粒子拓扑形状及表面官能团会影响聚乙烯醇（PVA）分子间及分子内氢键形成，进而改变其水溶液的流变响应。研究发现零维粒子在 PVA 复合液中能够起物理交联点的作用，使复合液黏度增加；一维粒子使 PVA 复合液的黏度先增大后减小再增大，这是氢键相互作用、流体力学、空间位阻等共同作用的结果；二维材料如石墨烯在低添加量下同样能够破坏分子间氢键，使复合液黏度降低，当添加量增加，由于界面氢键固定了吸附的 PVA 链，并在单个纳米片之间形成了链桥，且由于 GO 粒子尺寸较大，随着添加量的增加，流体力学，空间位阻效应会迅速增加，体系黏度增大。

关键词：拓扑形状;碳粒子;氢键;流变行为

碳纳米管增强的交联聚苹果酸的光热刺激响应性生物复合材料

完颜倩茹[1]、仇亚昕[1]、吴德峰[1、2]

1、扬州大学化学化工学院，江苏扬州，225002；2、环境工程与材料重点实验室，江苏扬州，225002

摘要：碳纳米管（CNT）具有高的光热转换效率，因此可用于制备吸光纳米复合材料。在这项研究中，开发了一种有趣类型的纳米复合材料，其基于生物质衍生的填充有 CNT 的聚（L-苹果酸）（PLMA）。CNTs 用 PLMA 低聚物接枝，然后参与 PLMA 的交联。所获得的生物复合材料显示出高度改善的机械强度和良好的生物相容性，且降解速率降低。然后将弹塑性响应用作探测 CNT 分散与交联网络松弛之间关系的探针。交联的 PLMA / CNT 纳米复合材料是一种新型的绿色吸光材料，具有良好的光吸收效率和光热转换稳定性。然后可以激活交联 PLMA 基质的形状记忆行为，并且可以逐步控制恢复过程。使用这种生物复合材料，可以轻松制造具有可编程光热响应和可调材料性能的智能设备。

关键字：碳纳米管；生物复合材料；交联；光热转化；形状记忆效应

碳纤维取向的原位介电测量‡

沈关成[1]，余文劼[1]，李茂源[1]，王云明[1]，张云[1§]，周华民[1]

1.华中科技大学材料科学与工程学院，材料成形与模具技术国家重点实验室，武汉 430074

摘要：碳纤维取向对碳纤维增强复合材料制件的物理性能有至关重要的影响。针对现有方法难以实现碳纤维成形过程中实时检测的难题，提出了碳纤维取向的原位介电测量新方法，构造 Couette 流场使得碳纤维形成剪切取向，然后通过优化设计叉指电极阵列传感器，构造多向弱电场测量由碳纤维取向引起的介电各向异性，成功实现了碳纤维取向的原位介电测量。这种方法具有单边可测、无损、对样品透明度无要求等优点。

关键词：碳纤维；取向；介电各向异性

填充橡胶纳米复合物中的应变软化行为

李志云，宋义虎**，郑强††

浙江大学高分子系，杭州 310027

摘要：纳米粒子可补强橡胶材料，但同时也使填充硫化胶在动态/静态加载条件下呈现极其显著的应变软化现象，即 Payne 效应/Mullins 效应。通过研究橡胶基体复合材料大应变振荡剪切及循环加载变

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51673172、51873180)

† 通讯作者：杜淼，副教授，E-mail：dumiao@zju.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51635006，52075196，52005194)

§ 通讯作者：张云，教授，E-mail：marblezy@hust.edu.cn

** 通讯作者：宋义虎，教授，E-mail：s_yh0411@zju.edu.cn

†† 通讯作者：郑强，教授，E-mail：qiangzheng@zju.edu.cn

形行为的影响，本文构建了应变依赖的模量主曲线和预应变依赖的归一化可回复滞后能和累加软化能主曲线，证实应变软化主要来源于橡胶基体。

关键词：Payne 效应；Mullins 效应；应变放大

微凝胶颗粒在油-水界面的剪切流变性能*

章华桂[1†]，Yuanyuan ZHOU[2], Timothy HUNTER[2], David HARBOTTLE[2], Olivier CAYRE[2]

1.福建师范大学化学与材料学院，福州 350007;2.利兹大学化工学院，利兹，LS2 9JT, 英国

摘要：微胶凝是一类对外部刺激敏感的、具有内部交联结构的亚微米级自适应聚合物颗粒，在刺激作用下可以发生溶胀或者收缩行为，近年来常被用作乳液的稳定剂，表现出比常规乳化剂更好的稳定作用。但是，微凝胶对多相体系的稳定机理至今仍不够清晰，这主要是因为微凝胶在油-水界面的动力学行为和界面流变性能没有得到很好的理解。我们利用分散聚合法合成 pH 敏感的聚（甲基丙烯酸甲酯/2-乙烯基吡啶）（MMA/2-VP）微凝胶颗粒，并借助“双壁环”界面剪切流变仪研究其在水/十二烷界面的线性流变行为随水相 pH 值的变化。结果表明：在水环境 pH=6 时微凝胶构成的界面膜表现出 G”> G’的粘性主导的二维液态性质，在 pH=2 时表现出 G’>G”的弹性主导的二维固态性质，但有趣的是在 pH 减小的过程中（即由液态向固态转变的过程中）二维界面的 G’和 G”均发生下降，特别是在 pH4 和 pH3 之间趋势非常明显。不同 pH 值的频率扫描曲线可以进行有效叠加，即微凝胶负载的界面存在 pH-时间等效行为，在时间跨越 10^{10} 量级的叠加曲线中可以看出界面相从二维刚性悬浮液向二维软玻璃性质转变的过程。

关键词：微凝胶；界面流变；叠加曲线；软玻璃

温度对表-聚复合体系结构及粘度影响的分子动力学研究‡

刘冬洁，陈飞§，魏进家

西安交通大学化学工程与技术学院，西安 710049

摘要：以阳离子表面活性剂十六烷基三甲基氯化铵（CTAC）、非离子聚合物聚丙烯酰胺（PAM）及反离子盐水杨酸钠（NaSal）组成的表-聚复合体系为研究对象，以温度为主要变量，对混合溶液的稳态结构弛豫过程及粘度进行粗粒化分子模拟，讨论温度对混合溶液内部结构的影响，进而分析结构对溶液流变性及减阻性能的影响。计算结果表明，升高温度不仅提升了溶液内部结构的形成速率，也明显提升了表面活性剂胶束在最终稳态结构中的平均尺寸，模拟温度下最低温与最高温工况中大尺寸蠕虫状胶束所占比例相差约 20%。通过对不同剪切速率下粘度的计算，表明随着温度的升高，混合溶液的粘度逐渐降低。温度对溶液中的结构有促进及抑制的双重作用，在流变性上，升温体现了温度对结构的抑制性，在减阻上，升温一定范围内体现了温度对结构的促进性，超过此范围则体现了其抑制性。

关键词：表面活性剂；聚合物；温度；分子动力学模拟；流变

温度对纳米银烧结体力学行为的影响及分数阶演化模型

王平，蔡伟**

河海大学机电工程学院，江苏常州 213032

摘要：下一代电子封装材料必将对其各项性能要求更高以满足应用于电子芯片等相关领域，纳米银具有低温封装和烧结后耐高温等特点而被关注和研究。本文提出一种可变分数阶模型来描述纳米银的机械行为，并考虑了温度对模型参数的影响，从而获得参数与温度规律性的关系。结果显示，本

* 基金项目：国家自然科学基金项目(21903015)

† 通讯作者：章华桂，研究员，E-mail：huagui.zhang@fjnu.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(21803040，51636006)

§ 通讯作者：陈飞，教授，E-mail：feichen@xjtu.edu.cn

** 通讯作者：蔡伟，副教授，E-mail:cwprince@126.com

文提出的模型拟合度高，拟合曲线与实验数据变化趋势较吻合。

关键词：纳米银烧结体；分数阶模型；温度

五元疏水聚合物压裂液流变性研究*

彭博[1]，谈新苑[1]，张晓琪[1]，方波[1†]，李科晶[1]，卢拥军[2]，邱晓慧[2]，许可[2]，翟文[2]

1.华东理工大学流变研究室，上海 200237；2.中国石油勘探开发研究院廊坊院区，廊坊 065007

摘要：本文以丙烯酰胺（AM）、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸（AMPS）、N,N-二甲基丙烯酰胺（DMAM）、丙烯酸（AA）、甲基丙烯酸十六烷基酯（HMA）五种单体为原料，采用胶束聚合法合成五元疏水聚合物 AM/AMPS/DMAM/AA/HMA。对五元疏水聚合物进行红外、热重及微观结构表征，考察了五元疏水聚合物溶液流变学性能。结果表明：五元疏水聚合物热分解温度为 380℃。聚合物溶液有良好的触变性和黏弹性；具有剪切变稀特性，流动曲线可用 Cross 方程表征；0.6wt%溶液黏度为 350 mPa·s，冷冻电镜扫描证实五元疏水聚合物溶液内部形成了网络结构，可望成为耐高温压裂液新体系。有望为丰富和发展聚合物压裂液体系提供流变学研究基础。

关键词：疏水聚合物；压裂液；流变性能

新拌水泥乳化沥青胶浆的黏度预测‡

欧阳剑§

大连理工大学，辽宁 大连 116024

摘要：水泥乳化沥青砂浆作为灌浆被广泛应用于道路与铁道工程中，评估其流变性能是其应用成功的关键。不同沥青与水泥质量比的新拌水泥乳化沥青胶浆（CA 胶浆）具有显著不同的组成，设计其流动性和流变性能并不容易。为此，本文提出了对不同沥青与水泥质量比的 CA 胶浆最小表观黏度的黏度预测模型。在该模型中，模型参数包括最大粒子填充率（ϕ_m）和调整系数 b。为获得最大粒子填充率，本文提出了水泥沥青复合粒子堆积模型。在该模型中 CA 胶浆的粒子最大填充率由沥青所占水泥-沥青体系的体积分数，沥青颗粒在乳化沥青中的粒子最大填充率，及水泥颗粒在水泥胶浆中的粒子最大填充率决定。同时，确定了阳离子型 CA 胶浆和阴离子型 CA 胶浆黏度预测时所用不同的调整系数 b。该模型能对 CA 胶浆黏度进行简单且可靠的预测。

关键词：CA 胶浆；流变；黏度；粒子最大填充率

修正 Carreau 非牛顿流体在圆管内流动流场的摄动解**

孙杰[1,2]，郭烈锦[1††]，敬加强[2]，付吉强[1]，赵向远[1]，曹业奇[1]

1.西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室，西安 710049；2.西南石油大学油气储运工程系，成都 610500

摘要：无时变性非牛顿流体在工业生产中应用广泛。基于同时包含屈服应力、时间常数和幂律指数的修正 Carreau 复杂流变方程及力平衡方程，建立圆管内充分发展的稳定修正 Carreau 流体层流管流的运动方程，并采用摄动方法推导相应运动方程的一阶渐近解。定量分析不同类型流体管流的速度分布以及压力梯度、屈服应力、时间常数和流核宽度对修正 Carreau 流体管流流场分布的影响规律，该研究对其他复杂非牛顿流体管流特性研究也具有重要参考价值。

关键词：修正 Carreau 流体；层流管流；流场；摄动解

---

* 基金项目：国家科技重大专项“高温清洁压裂液稠化剂合成与特性表征”（2017ZX05023003-004）

† 通讯作者：方波，教授，E-mail： fangbo@ecust.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(51608096)

§ 通讯作者：欧阳剑，副教授，E-mail：ouyangjian@dlut.edu.cn

** 基金项目：国家自然科学基金基础科学中心项目 (51888103)、国家自然科学基金重大仪器专项 (51527808)

†† 通讯作者：郭烈锦，教授，E-mail：lj-guo@mail.xjtu.edu.cn

液体橡胶对异戊橡胶硫化胶 Mullins 效应的影响*

侯丰仪 宋义虎† 郑强

浙江大学高分子科学与工程学系，教育部高分子合成与功能构造重点实验室，杭州 310027

摘要：异戊橡胶（IR）硫化胶在循环拉伸作用下发生 Mullins 效应。这种应变软化效应会带来能量的损耗，但目前并没有很好的方法解决这一问题。本文将 IR 与液体异戊橡胶（LR）共混，制备交联密度相近的硫化胶。与 IR 硫化胶相比，IR/LR 硫化胶循环拉伸滞后圈面积减小，但依然较好地保持了力学性能。研究结果将有助于制备低耗散型橡胶材料。

关键词：异戊橡胶；Mullins 效应；液体橡胶

乙酸辅助亲水性离子液体掺杂二氧化钛的电流变性能研究‡

赵振杰，任永明，刘迎丹§

燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，秦皇岛 066004

摘要：本文通过溶胶-凝胶法制备亲水性离子液体[BMIM][BF_4]掺杂二氧化钛颗粒，使用不同摩尔比的乙酸来控制反应速率以及调节颗粒形貌，并对其电流变行为进行研究。用扫描电镜（SEM）和流变仪（MCR 502）进行了分析。结果表明：亲水性离子液体[BMIM][BF_4]作为模板剂掺杂入二氧化钛中，具有较大的颗粒尺寸。且添加少量乙酸后二氧化钛具有光滑的表面；同时，其电流变液表现出较高的剪切应力。

关键词：离子液体；二氧化钛；乙酸；剪切应力

用大幅振荡剪切研究聚丙烯的长链支化结构

杜斌**，祝文亲，李荣波

中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院 北京 102206

摘要：通过大幅振荡剪切试验方法，研究了长链支化聚丙烯的非线性流变学行为，揭示了长链支化结构与非线性黏弹响应的关系。利用傅里叶变换流变学方法得到试样的三次倍频相对振幅 $I_{3/1}$ 与应变的标度关系，用于界定线性聚丙烯和长链支化聚丙烯非线性流变行为的差异，并定义了非线性系数来量度长链支化程度。高应变下 $I_{3/1}$ 与应变的变化关系可以进一步描述长链支化在非线性流场下的特性，并得到了长链支化程度与其非线性响应之间的变化关系。

关键词：非线性流变学；大幅振荡剪切；长链支化；傅里叶变换流变学

用流变学手段表征测试 PVA/SA 水凝胶体系网络稳定性††

经鑫‡‡，谢智晖，刘跃军§§

湖南工业大学，株洲 412007

摘要：通过采用流变学手段测试表征 PVA/SA 双交联凝胶网络的动态力学性能，研究发现 SA 的浓度对交联网络的弹性回复影响显著，解释了材料体系的粘弹性对凝胶交联网络综合性能的影响规律。

关键词：水凝胶；流变学；表征；粘弹性

---

* 国家自然科学基金（U1908221、51873190、51790503）、中央高校基础研究基金（2020XZZX002-08）

† 通讯作者：宋义虎，E-mail：s_yh0411@zju.edu.cn

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(21872118)

§ 通讯作者：刘迎丹，教授，E-mail：ydliu@ysu.edu.cn

** 通讯作者：杜斌，高级工程师，E-mail：dubin010@petrochina.com.cn

†† 基金项目：国家自然科学基金项目(21604026)

‡‡ 通讯作者：经鑫，直聘教授，E-mail：jingxin@hut.edu.cn

§§ 通讯作者：刘跃军，教授，E-mail：yjliu_2005@126.com

用毛细管流变仪测-算假塑性流体在超低切变微区的粘流活化能及其系数 a3 a5

吴宗周

四川大学轻纺学院 四川 成都 610055

摘要：作者于 1985 年,把假塑性流体切应力或切变速率和温度间的相关关性转换为函数关系式,創建的测-算假塑性流体粘流活化能的方程式, 粘流活化能是切变速率对数的单值减函数的线性关系 : Eη=2.303R(a5-a3lgγw) J/mol（*） 用测-算法替代了 S.Arrhenius 烦琐的人工或电脑的作图法。23 年后,在 2008 年被李丽、杨继萍以 Eη=a-b lgγw 形式予以证实。作者采用两点计算法 Eη=2.303R[（lgηa1-lgηa4）/（1/T1-1/T4）] γw 简化了 S.Arrhenius 求活化能烦琐的作图法。作者用计算法替代了求方程斜率 2.303Ra3 (b)和截距 2.303Ra5 (a) 作 图法。作者用计算法予测了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、尼龙-1010(PA-1010)、聚对苯二甲酸二丁酯(PBT)、高抗冲聚苯乙烯(HIPS)、 高密度聚乙烯(HDPE) 等假塑性高粘度流体在超低切变微区 lgγw(10-3、10-41/s)的粘流活化能及其系数 a3、a5。公式（*）中的切变速率 γw 必须等于、大于 1;切变速率 γw 小于 1 时,粘流活化能与切变速率 γw 的关系待另文发表。

关键词：超低 lgγw 粘流活化能 粘流活化能系数 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA) 尼龙-1010(PA-1010)、聚对苯二甲酸二丁酯(PBT) 高抗冲聚苯乙烯(HIPS) 高密度聚乙烯(HDPE)

用于盲文显示的电流变阀门仿真分析与参数选择*

黄靖宇 [13]，徐鲁宁 [13†]，韩 立 [13]，沈 容 [2]，陆坤权 [2]

1.中国科学院 电工研究所 微纳加工技术部，北京 100190；2.中国科学院 物理研究所 北京国家凝聚态物理重点实验室，北京 100190；3.中国科学院大学，北京 100049

摘要：我国是世界上盲人人数最多的国家，长期以来市面上缺少一款可以供盲人自主学习的电子阅读器。电流变液微阀门控制的盲文凸点显示矩阵具有能耗少、易于控制等优势，为盲文面阵电子阅读器提供了可能。电流变液微阀门作为盲文显示器的重要组成部分，正确显示盲文取决于 ER 阀门工作稳定性，不同的阀门参数对应着不同的工作点，影响着阀门的稳定性；盲文凸点的刷新速率，取决于同一给定压力下，各个阀门的输出流量，不同的阀门间隙对应着不同的阀门阻力，影响着盲文凸点的刷新速率。本文在建立 ER 阀门数学模型的基础上分析了电流变微阀门结构参数对阀门稳定性及传输流量的影响规律，为此类应用的微阀门设计提供技术支撑。

关键词：电流变液微阀门；流道结构；盲文显示；数学模型；仿真分析

油气藏改造过程流体行为与流变特性研究‡

卢拥军 [1§]，许可 [1]，方波 [2]

1. 中国石油勘探开发研究院，廊坊 100083；2. 华东理工大学，上海，200237

摘要：油气藏改造液体是复杂的非牛顿结构流体，贯穿压裂施工的全过程，直接影响压裂施工的成败和增产效果的差异。介绍了目前压裂施工用的常见压裂液体系，提出储层改造过程中的十二种过程流变行为，分析了剪切流变、黏弹性与携砂流变、交联光学微流变过程等流变特性，指出了下一步继续完善分析和评价压裂液的现场模拟程序，深化流变学在储层改造过程中的基础学科作用。

关键词：储层改造；压裂液；流变学；黏弹性

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51701203、11574355)

† 通讯作者：徐鲁宁, 副研究员, E-mail：xuluning@mail.iee.ac.cn

‡ 基金项目：国家科技重大专项课题“储层改造关键流体研发”（2017ZX05023003）；中石油科技管理部项目“超高温清洁压裂液与变黏功能滑溜水研究”（ 2020B-4120）

§ 通讯作者：卢拥军，教授，E-mail：lyj3437@163.com

油气藏改造压裂液体系本征交联微流变性能研究*

许可[1†]，卢拥军[1]，林海[3]，方波[2]，侯宗峰[2]，刘世铎[3]，邱晓惠[1]，李阳[1]，张成娟[3]，王培[1]

1. 中国石油勘探开发研究院，北京 100083；2. 华东理工大学，上海，200237；3.中国石油青海油田钻采工艺研究院，甘肃敦煌，736202

摘要：本文考察了五元聚合物压裂液体系在恒温过程下的本征交联流变性质，获得了压裂液交联过程弹性因子、宏观黏度因子、固液平衡值和流动性因子随时间与温度的变化关系。实验主要得到以下结论：明确了恒温 30℃环境下，加入热致交联剂 FAC-24 提高了五元聚合物稠化剂的黏弹性，提升了压裂液体系的弹性特征和黏性特征；压裂液体系在搅拌剪切后至少需要 2h 恢复结构，压裂液弹性性质在加入交联剂后的 3h 内持续提升；压裂液的本征交联过程即主要从液态性质向固态性质转变，弹性特性越来越强，最终达到稳定黏弹性平衡状态，形成较为稳定的凝胶。

关键词：储层改造；压裂液；微流变学；耐高温聚合物；交联剂

有机锌活性剂对天然橡胶体系流变行为的影响‡

王丽明[1]，杜 淼[2§]，单国荣[1]，宋义虎[2]，郑 强[2]

[1]浙江大学化学工程与生物工程学院，杭州 310027；[2]高分子合成与功能构造教育部重点实验室，浙江大学高分子科学与工程学系，杭州 310027

摘 要：活性剂对调控橡胶网络结构至关重要。在硫磺硫化体系中，普遍采用氧化锌和硬脂酸并用作为活性剂。但氧化锌的过量释放对人体、环境，尤其是对锌较为敏感的水生动植物易造成不良影响。采用不同有机锌来代替氧化锌和硬脂酸，不仅可减少体系中的锌含量，还可借助有机锌中的非极性链使其更好地分散到体系中，有望在一定程度上减小滞后损耗，从而达到降低动态生热的目的。本文在保持其他组份相同的情况下，仅改变有机锌的种类，分别采取硬脂酸锌、油酸锌、醋酸锌、甘油锌、月桂酸锌、2-乙基己酸锌和氧化锌，探究有机锌活性剂对硫化胶的硫化行为、力学性能和流变行为的影响。

关键词：天然橡胶；活性剂；Payne 效应；力学性能

杂化交联丁腈橡胶的力学性能和流变行为**

齐鹏飞[1]，方文航[1]，邱碧薇[1††]

上海理工大学材料科学与工程学院，上海 200093

摘要：传统硫化橡胶因共价键交联的不可逆性难以回收再加工，带来了能源和环境的问题。本论文以丁腈橡胶（NBR）为研究对象，通过 NBR 分子链上引入 2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸聚合物,与金属氧化物（分别选用 ZnO, CuO, CeO_2）间形成离子键，使 NBR 形成可逆离子键交联和少量共价交联的复合杂化交联网络。力学拉伸和流变的实验结果表明，杂化交联 NBR 的拉伸强度、模量和断裂伸长率比完全共价交联的 NBR 显著提升，且随着金属氧化物含量的增多可以实现协同增韧增强。

关键词：丁腈橡胶；模量；力学性能；交联

*基金项目：国家科技重大专项课题“储层改造关键流体研发”（2017ZX05023003）；中石油科技管理部项目“超高温清洁压裂液与变黏功能滑溜水研究”（ 2020B-4120）

† 通讯作者：许可，工程师，中石油勘探院压裂中心液体研究室副主任，E-mail：xk0929@163.com

‡ 国家自然科学基金（51673172、51873180）资助项目

§ 通讯作者：杜淼，E-mail：dumiao@zju.edu.cn

**基金项目：国家自然科学基金项目(51603122)，上海市青年科技英才扬帆计划(16YF1408200)，聚合物分子工程国家重点实验室（复旦大学）开放课题(K2020-19)

††通讯作者：邱碧薇，副教授，E-mail：qiubiwei@usst.edu.cn

针对磁流变阻尼器响应时间的结构优化及其仿真验证*

温明富[1,2†]，刘炳杨[2]，牛小东[1,2]，李泽钦[2]

1. 汕头大学智能制造技术教育部重点实验室，汕头 515063；2. 汕头大学工学院，汕头 515063

摘要： 在基于磁流变阻尼器的半主动振动控制系统中，器件响应时间是影响系统控制性能的关键因素之一，故提升磁流变阻尼器的器件动态响应特性具有重要意义。考虑到器件磁路中磁场的建立时间是器件响应时间的主要组成部分，而阻碍磁场形成的最主要因素则是磁路中的电涡流。因此，抑制磁芯涡流是提升磁流变阻尼器动态响应性能的关键。本文通过在阻尼器活塞和外缸筒表面设置径向沟槽的结构优化方案，构建有效降低器件响应时间的新型磁流变阻尼器结构，并运用 ANSYS Maxwell 及 DesignXplorer 对沟槽模型进行有限元瞬态电磁仿真，所得到的优化设计结构其响应时间在阶跃磁场激励下较传统无沟槽结构降低 35.85%。

关键词： 磁流变阻尼器；响应时间；电涡流抑制；结构优化

智能变频磁流变调谐质量阻尼器在海上风机减振控制中的应用

杨毅，冷鼎鑫*，徐凯，刘贵杰，田晓洁

中国海洋大学工程学院，青岛 266100

摘要：针对近海风机在风、波浪和地震三种载荷联合作用下的振动控制问题，提出了基于磁流变弹性体（Magnetorheological elastomer, 简称 MRE）变频调谐质量阻尼器（tuned mass damper，简称 TMD）的海上风机半主动控制方法。首先，介绍了 MRE 的变刚度磁致力学特性及面向海上减振需求的 MRE-TMD 结构设计原理；其次，建立了海上风机-TMD 动力学系统模型，计算了海风、海浪及地震联合激励载荷；再次，应用短时傅里叶变换（STFT）算法，以跟踪识别风机塔筒顶端响应的频率为目标，实时调节控制电流改变 MRE 的剪切模量，以实现 MRE-TMD 对海上风机的变频振动控制。通过开展导管架式近海风机在多种载荷联合作用下的动力响应分析，表明采用基于 MRE 的变频 TMD 能够有效衰减导管架式海上风机在多种载荷联合作用下的振动响应。与传统被动 TMD 相比，智能变频磁流变调谐质量阻尼器为海上风机振动控制提供了一种新的解决思路。

关键词：近海风机；磁流变弹性体；调谐质量阻尼器；半主动控制

竹集成材蠕变特性 Burgers 模型适应性研究‡

丁科[1,2§]，肖艳珞[1,2]

1.中南林业科技大学工程流变学湖南省重点实验室，长沙 410004；2.中南林业科技大学土木工程学院，长沙 410004

摘要：随着绿色、环保型社会发展理念的提出，在工程上应用竹集成材越来越广泛。本文运用 Burgers 模型对竹集成材的蠕变特性进行了研究。研究结果表明：Burgers 模型可以描述竹集成材蠕变特性的初始阶段和第二阶段，但在蠕变第二阶段误差较大。在此基础上对 Burgers 模型进行了改进，并运用改进后的 Burgers 模型对竹集成材的蠕变特性进行了研究。结果表明改进后的 Burgers 模型更能描述竹集成材的蠕变特性。

关键词：竹集成材；蠕变特性；Burgers 模型；适应性

---

* 汕头大学科研启动经费项目(NTF20010)

† 通讯作者：温明富，讲师，E-mail：mfwen@stu.edu.cn

‡ 基金项目：工程流变学湖南省重点实验室开放基金项目(19HNKLER07)

§ 通讯作者：丁科，教授，E-mail：kding@sina.com

竹纤维填充聚丙烯复合材料剪切应力松弛时间表征*

曾广胜†，江太君，胡灿，孟聪，陈一

生物质纤维功能材料湖南省重点实验室，湖南省生物质纤维材料与应用国际科技创新合作基地，城市与环境学院，湖南工业大学，株洲 412007

摘要：竹纤维填充聚丙烯复合材料作为一种典型的低碳环保材料可广泛应用于包装工业领域，其剪切应力松弛行为直接影响到制品尺寸的稳定性与生产效率。本文以不同配比的竹纤维填充聚丙烯复合材料为研究对象，借助转矩流变仪测试其混炼加工过程中的扭矩变化，进而通过数据拟合方法计算复合材料在不同条件下的剪切应力松弛时间，评估剪切应力松弛时间与注塑制品翘曲变形之间的相关性。结果发现：竹纤维的加入有效降低了复合材料的剪切应力松弛时间，而偶联剂的使用却延长了剪切应力松弛时间；通过增加剪切速率与升高温度均可以降低复合材料的剪切应力松弛时间；复合材料的剪切应力松弛时间与注塑异型制品的翘曲变形具有显著相关性，剪切应力松弛时间越短，制品的翘曲变形越小。对竹纤维填充聚丙烯复合材料应力松弛机理与相关因素影响规律的研究对优化异型复合材料制品加工工艺参数、改善尺寸稳定性、提升生产效率具有重要的理论与现实指导意义。

关键词：竹纤维填充聚丙烯复合材料；剪切应力松弛；转矩流变仪；翘曲变形

主链、支链及自交联聚离子液电流变材料的电流变特性‡

薛炳修，赵晓鹏，尹剑波§

西北工业大学物理科学与技术学院智能材料实验室，西安 710129

摘要：聚离子液电流变材料中离子运动所产生的界面极化决定了其电流变特性，而聚合物中离子的运动受基体结构环境的影响。本文制备了一系列具有不同基体环境的聚离子液电流变材料，并对比了具有相同化学单元组成的主链、支链及自交联样品的介电特性和电流变特性，结果表明自交联样品会抑制电场下的离子泄漏，更有利于界面极化的形成，具有最高的电流变效应。

关键词：基体结构；电流变材料；聚离子液；界面极化

自悬浮的 N-羧甲基壳聚糖类流体制备及抗菌性能**

巨军平 [1]，张永芝 [1]，翁谱新 [2]，殷先泽 [2]，谭业强 [1]††

1.青岛大学，青岛 266071；2.武汉纺织大学，武汉 430073

摘要：甲壳素、壳聚糖及其衍生物等天然多糖高分子是目前研究较多的抗菌材料，但其抗菌活性有限，而且在大多常用溶剂中的溶解度有限，加工过程中涉及水和其他有机溶剂的使用，严重限制了其潜在的应用领域。因此，无溶剂生物大分子流体的设计原理和合成途径也被认为是克服这一局限的有效途径。本研究采用简单的酸碱反应，在温和的反应条件下，制备了一系列接枝不同长链阳离子表面活性剂（十八叔胺聚氧乙烯醚）的自悬浮 N-羧甲基壳聚糖类流体（N-CMCFs）。与传统的改性方法不同，采用短链阳离子表面活性剂改性的 N-CMCFs 在没有溶剂下，在室温下也表现出良好的流动性和液晶性，而采用长链阳离子表面活性剂改性则显示凝胶态。此外，两亲性表面活性剂改性的 N-CMCFs 不仅表现出优异的热稳定性和在各种溶剂中具有分散稳定性，还能实现 N-CMCFs 在不借助溶剂的情况下直接涂覆在棉织物上。值得注意的是，N-CMCFs 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抗菌活性比原来的 N-羧甲基壳聚糖增强，这是因为 N-CMCFs 在改性过程中会在主链上产生季铵盐基团。这种制备无溶剂抗菌多糖材料的巧妙策略必将推广到其他无溶剂生物大分子流体的制备，在绿色抗

* 基金项目：国家自然科学基金项目(51973056)，湖南省研究生科研创新基金(CX20190843, CX20190844)，湖南省教育厅项目(18A258，18C0524)

† 通讯作者：曾广胜，教授，E-mail：guangsheng_zeng@126.com

‡ 基金项目：国家自然科学基金项目(no. 51872243)

§ 通讯作者：尹剑波，教授，E-mail：jbyin@nwpu.edu.cn

** 基金项目：国家自然科学基金项目(51403113, 51973167)

†† 通讯作者：谭业强，教授，E-mail：tanyeqiang@qdu.edu.cn

菌涂料、刺激反应生物软材料等方面具有潜在的应用前景。

关键词：N-羧甲基壳聚糖；流动行为；抗菌性；纳米流体

环氧树脂改性共混体系的流变学研究

辛雪 a, 苏林萍 a, 梁明 a , 姚占勇 a,, 汲平 b

a 山东大学齐鲁交通学院，济南，250002　　b 山东高速集团有限公司，济南，250014

摘要：环氧树脂作为重要的基体材料，广泛应用于复合材料的各个领域。由于环氧树脂的韧性差，限制了其对高级应用的适用性，对环氧树脂进行改性以满足工程要求引起了广泛的兴趣。采用不同配比的聚氨酯改性树脂对纯环氧树脂进行改性。通过粘时性能分析、不同频率和温度下的动态力学分析(DMA)对环氧树脂体系的固化性能和力学性能进行了表征。结果表明，聚氨酯改性环氧树脂的引入明显抑制了其粘度的增长。尽管动态模量和 Tg 随着 PU 改性环氧树脂的增加而降低，但随着 PU 改性环氧树脂的引入，断裂伸长率显著增加，弹性得到了极大提升。为了获得最佳的力学性能，在共混体系中应考虑聚氨酯改性环氧树脂的配比。

关键词: 动态力学性能，化学流变分析，共混环氧体系，聚氨酯改性树脂

磁流变抛光液微观结构模型与抛光试验研究

宋万里 [1]，史经书 [1]，牛天荧 [1]，王娜 [1*]，Chul-Hee Lee[2]

1.东北大学 机械工程与自动化学院，辽宁 沈阳 110819；2. 仁荷大学 机械工程系，韩国 仁川 22212

摘要：本文基于立方结构模型分析磁流变抛光液中抛光磨粒的把持机理，建立磁场与流场复合作用下磁流变抛光液的剪切屈服应力模型。通过本实验室的磁流变磨粒流抛光装置对钛合金管件进行了抛光试验，验证了所建模型以及所做分析的合理性。研究表明，磁流变抛光液所呈现出的剪切力取决于抛光磨粒所受到的把持力，抛光磨粒与羰基铁粉颗粒粒径的比值决定磁流变抛光效果，流场的存在在一定程度上改善了磁流变抛光液的性能。

关键词：磁流变抛光液；磁场与流场；立方结构模型；剪切屈服应力；抛光试验

* 基金项目：国家自然科学基金项目(52005085)

二 通讯作者：王娜，副教授，E-mail：wangnl@me.neu.edu.cn