

# Science China Technological Sciences

2020 年 63 卷第 3 期中文摘要

## 元胞自动机方法模拟动态再结晶过程中组织演变的研究进展

朱华佳, 陈飞, 章海明, 崔振山

在工业生产复杂的加工和热处理过程中, 金属及合金材料的宏观力学性能在很大程度上取决于其化学成分及微观组织. 在热塑性变形过程中, 动态回复、动态再结晶(dynamic recrystallization, DRX)、静态回复和静态再结晶等是关键的组织演化机制. 因此, 准确预测和精确控制材料的微观组织演变将有利于设计人员通过热加工获得良好的力学性能. DRX 是目前公认的有效晶粒细化机制, 因此, 深入了解 DRX 的微观组织演变过程, 进而准确预测和控制 DRX 过程中的微观组织演变已成为塑性加工领域的研究热点. 元胞自动机(cellular automaton, CA)方法因其独特的优点, 如更容易表征拓扑特征以及能更真实地反映晶界迁移的过程等, 而被广泛应用于 DRX 中微观组织演化的模拟. 本文简述了 CA 法的基本思想和特征, 并概述了 CA 法模拟 DRX 的物理机制及模型. 同时, 介绍了近年来 CA 法在模拟 DRX 过程中的最新进展. 最后, 本文还提出了研究 DRX 过程中亟须解决的几个问题, 并展望了 CA 法模拟 DRX 过程中微观组织演变的发展趋势.

元胞自动机, 微观组织, 再结晶

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9548-x>

## 基于 UKF 和 MPC 的 4WIS 分布式电驱动汽车底盘集成控制

宋义彤, 舒红宇, 陈仙宝

四轮独立转向系统(4WIS)和直接横摆力矩控制(DYC)直接影响车辆侧向稳定性, 但 DYC 对车辆的纵向速度具有较大的影响, 且 4WIS 对车辆稳定性的控制效果存在局限性. 为了减小对侧向速度的影响和提高车辆稳定性, 基于模型预测控制(MPC)设计了 4WIS 与 DYC 集成控制器. 集成控制器包括无迹卡尔曼滤波(UKF)观测器和 MPC 控制器, 其中, MPC 控制器包括监控模块、上层模块和下层模块. 首先, UKF 观测器估计车辆质心侧偏角、纵向速度和轮胎侧向力; 其次, 监控模块采用单轨车辆模型计算理想横摆角速度和质心侧偏角; 然后, 上层模块考虑系统的约束并通过 MPC 控制器优化目标转角和纵向轮胎力, 为方便 MPC 控制器的设计, 基于一阶泰勒展开的方法对非线性轮胎模型进行了简化; 最后, 下层模块将目标转角和纵向轮胎力施加于车辆. 在 MATLAB/Carsim 平台上进行联合仿真, 结果表明集成控制器对车辆的纵向速度影响较小, 并且能够有效地提高车辆的稳定性.

无迹卡尔曼滤波, 模型预测控制, 泰勒展开, 集成控制器

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9552-6>

## 基于 HPPC 参数辨识的有限差分扩展卡尔曼滤波电池荷电状态估计

贺林, 胡敏康, 魏宇江, 刘炳娇, 石琴

荷电状态(state of charge, SOC)是锂离子电池的关键参数, 本文提出了一种基于 HPPC 参数辨识的有限差分扩展卡尔曼滤波器(finite difference extended Kalman filter, FDEKF)来估计锂离子电池 SOC. 使用有限差分法计算非线性函数的偏导数, 能减小由扩展卡尔曼滤波(extended Kalman filter, EKF)产生的线性化误差. FDEKF 算法不要求解复杂的 Jacobian 矩阵, 在实际工程应用中可以减少控制器的计算量. 将锂离子电池的动态模型简化为二阶 RC 等效电路模型, 通过 HPPC 测试对电池模型参

数进行辨识. 在恒流放电和 UDDS 工况下对 FDEKF 算法进行测试, 通过对比 FDEKF 与 EKF 算法的收敛速度和精度, 结果表明, FDEKF 算法更适合锂离子电池 SOC 的估计.

**电池荷电状态, 锂离子电池, 参数辨识, 有限差分, 扩展卡尔曼滤波**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1467-9>

### **基于无迹卡尔曼滤波预测辐射导热耦合换热参数和边界热流**

文爽, 齐宏, 王一飞, 任亚涛, 魏琳扬, 阮立明

本文重构了参与性介质的边界发射率、导热系数、边界时变热流. 结合有限体积法和离散坐标法求解了参与性介质中的正向辐射导热耦合换热问题. 基于介质合适位置的测量温度, 利用无迹卡尔曼滤波技术作为优化工具重建了参与性介质的边界发射率、导热系数和边界时变热流. 数值结果表明, 仅需要两个不同位置的温度信息便能有效地同时重建介质的边界发射率、导热系数和边界时变热流. 详细讨论了测量噪声、时间步长、吸收系数、过程噪声协方差、测量噪声协方差对重建结果稳定性和精度的影响. 重建结果表明, 无迹卡尔曼滤波技术能够有效地重建辐射导热耦合换热过程中的光热参数和边界时变热流.

**反传热问题, 导热系数, 边界发射率, 时变热流, 无迹卡尔曼滤波, 参与性介质**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1437-8>

### **一种能达到液氮温区的紧凑型空间脉冲管制冷机**

刘旭明, 陈六彪, 吴显林, 杨彪, 王珏, 朱文秀, 王俊杰, 周远

空间探测技术的快速发展促使包括中国在内的许多国家大力发展空间科学项目. 制冷机作为众多空间项目的关键部件, 为许多高灵敏度的探测器件提供必要的冷源. 液氮温区制冷机研制是目前空间技术领域的一个热点和难点. 现有制冷机需要使用复杂的多级结构, 外加多个驱动源才能获得液氮温度. 本文研制了一台能够获得液氮温区的高频脉冲管制冷机, 仅使用单个无油的线性压缩机驱动, 具有结构极其紧凑的优点. 目前, 在 425 W 电功输入下, 可以在 5 K 提供 5.2 mW 或在 8 K 提供 87 mW 的制冷量. 获得的 4.4 K 无负荷温度是气耦合两级结构高频脉冲管制冷机的最低记录. 该单驱动源制冷机可以在多个温区同时输出冷量, 具备常规多驱动源制冷机的优势. 此紧凑型制冷机将为深低温空间探测提供重要的技术支撑.

**制冷机, 液氮温度, 空间探测, 高频**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1471-7>

### **FeCoNiCuTiSi<sub>x</sub> 系高熵合金的显微组织、力学性能和磁性能**

渠怀志, 宫明龙, 刘凤芳, 高丙玉, 白静, 高秋志, 李松

系统研究了 FeCoNiCuTiSi<sub>x</sub> ( $x=0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5$ ) 系高熵合金的微观组织、力学性能和磁性能. 结果表明, 随着 Si 含量的增加, 晶体结构由 fcc+laves 相转变为 fcc+bcc+laves 相. 随着 Si 含量的增加, Cu 的偏析加剧, 这可以从热力学的角度进行解释. FeCoNiCuTi 高熵合金具有较好的压缩力学性能, 压缩强度为 1584.2 MPa, 断裂应变为 3.3%, 维氏硬度为 483.2 HV. 随着 Si 含量的增加, 合金的塑性略有下降. 在  $x=0.1$  时, 应力最高可达 1841.7 MPa.

**高熵合金, 微观结构特征, 力学性能, 磁性能**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9549-9>

## 仿蝗虫机器人单自由度跳跃机构的运动综合方法

张自强, 杨琪, 赵京, 常斌, LIU XingKun

单自由度机构具有结构简单、控制方便、刚度高的特点, 已逐渐被应用于微小型跳跃机器人的设计中. 特别地, 与四杆机构相比, 六杆和八杆机构能满足更加复杂的运动要求, 具有良好的应用前景. 然而, 由于缺乏有效的设计方法, 现阶段单自由度机构的应用范围仍然有限. 本文以单自由度六杆机构为研究对象, 提出了一种构型与尺度一体化综合方法. 基于运动链图谱确定初始胫节和股节, 并通过各连杆的叠加进行跳跃腿构型设计. 当在叠加过程中形成闭链时, 结合约束条件可同时得到各杆长度的合理范围. 本文所提出的方法创新性地建立了运动链图谱与机构构型之间的关系, 可以快速得到各连杆的合理长度范围. 最后通过算例验证了运动综合方法的可行性. 该方法为单自由度机构的设计提供了有益的参考.

运动综合方法, 单自由度跳跃机构, 仿生机器人, 运动学分析

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9750-6>

## 流线追踪方法设计高超声速进气道的不足及潜在解决办法

熊冰, 范晓楠, 王翼

本文对用以设计高超声速内转进气道的流线追踪技术进行了研究, 发现该方法在设计实用的高超声速进气道方面存在两点不足. 第一, 流线追踪进气道的收缩比不可控, 这将影响进气道/前体一体化、进气道/燃烧室一体化设计; 第二, 流线追踪进气道无法继承基准流场的全部性能. 本文发现这两个现象, 并从流动机理方面做出了相应解释. 进气道几何特性及空气动力学性能本质上是由其所捕获的所有微元流管的集合决定, 而非基准流场. 本文基于这一发现, 提出了 MCS 方法用于快速计算流线追踪进气道的无黏性能. 基于此, 本文还提出利用优化设计方法, 在最优化进气道性能的同时, 使其收缩比可控.

流线追踪方法, 高超声速进气道, 优化设计方法, 收缩比可控

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9550-y>

## 一种两自由度稳定准零刚度模型及其在抗震工程领域的应用

朱光楠, 刘吉晔, 曹庆杰, 程永峰, 卢智成, 朱祝兵

基于光滑不连续(SD)振子的几何非线性特征, 本文提出两自由度抗震模型, 为电力系统提供可靠的抗震保护方案. 该模型由两个在水平面内的相互正交的隔振单元组成, 其中每个隔振单元均由一对倾斜的线性弹簧组成并具有稳定准零刚度(SQZS)特征. 基于拉格朗日方程方法建立系统的动力学方程, 通过对参数的优化给出系统稳定准零刚度条件. 分析表明, 系统表现出良好的低频隔振性能, 并且具有较大的稳定准零刚度区间. 本文提供的实验数据与理论分析结果一致, 证明了该模型有效地提高了电力系统的抗震性能.

SD 振子, 两自由度隔振, 稳定准零刚度, 低频隔振, 抗震实验

<https://doi.org/10.1007/s11431-018-9524-2>

## 多圈小推力轨迹优化问题的保辛求解方法

鄂智博, GUZZETTI Davide

圈数较多的小推力轨迹优化问题一直以来被认为是一个具有挑战性的问题. 本文提出了一种求解能量最优的小推力轨迹优化问题的保辛数值算法. 首先, 最优轨道转移问题被描述为一个受约束的非线性最优控制问题. 然后, 利用拟线性化方法, 将该受约束的非线性最优控制问题在参考解附近转换为等价的线性二次最优控制问题. 通过求解一系列线性二次最优控制

问题, 并利用求得的解不断更新参考解, 直到两次求得的解的相对误差小于给定误差限, 得到原问题的解. 每个子问题均通过保辛算法求解. 为了提高算法的收敛性, 本文利用非奇异的春分点轨道根数描述航天器的动力学方程. 此外, 利用始末状态的春分点轨道根数插值得到的状态作为初始解, 可以有效提高算法收敛性. 数值结果表明, 算法具有较高的精度和效率.

**小推力, 轨迹优化, 辛方法**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-9511-7>

### **嫦娥三号着陆器着陆激起的月尘量探测**

张海燕, 王鹁, 陈丽平, 张焯, 李存惠, 庄建宏, 李得天, 王永军, 杨生胜, 李雄耀, 王卫东

根据已有对月尘特性的认识, 月尘的悬浮、迁移和黏附对未来探月工程乃至载人探月都将产生重大的影响, 因此对于月尘特性的原位探测十分必要. 我国首次对月球尘埃的原位探测实验起始于嫦娥三任务. 嫦娥三上搭载的月尘测量仪测量了着陆器降落引起的月尘累积量, 数据分析结果用于指导后续着陆器、温控器等探月设备的工程设计. 通过分析月尘测量仪开机工作后的第 1 个月球日所对应的 13 个地球日期间的月尘累积量, 最终得出: 嫦娥三任务中, 第 1 个月球日由着陆器着陆引起的月尘沉积量为  $0.83 \text{ mg/cm}^2$ , 比阿波罗 11 任务中探测到的着陆器上升过程中的月尘累积量少.

**月尘原位探测实验, 嫦娥三任务, 月尘沉积量**

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1434-y>