

# Science China Technological Sciences

2021 年 64 卷第 4 期中文摘要

## 近年来镓基导电材料的制备与应用研究

王新鹏, 郭家瑞, 胡靓

镓及其合金是一组在室温或室温附近熔点较低的金属材料. 这些液态金属除了良好的导电性外, 还具有优异的柔性和自愈性, 这在柔性和可伸缩电子产品的发展中具有重要的价值. 然而, 受高表面张力和低黏度的限制, 液态金属在过去几年无法应用于一些常见的微电子制造技术, 如微电子机械等. 这阻碍了它们在电子器件中的大规模生产. 为了解决这些问题, 拓宽液态金属在电子器件中的应用, 研究者们做了各种尝试, 特别是在最近几年取得了很大的进展. 本文从液态金属基导电材料的制备、改性方法及其在柔性电子应用中的调节制备技术等方面综述了液态金属基导电材料的最新研究进展, 并展望了液态金属基导电材料的发展前景和面临的挑战.

液态金属, 导电材料, 合成技术, 柔性电子

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1733-x>

## 采用梯度孔泡沫铜电极的热再生氨电池性能特性

卢志强, 张永胜, 张亮, 李俊, 付乾, 朱恂, 廖强

采用梯度孔泡沫铜电极可以有效地缓解热再生氨电池中电极上的电流沿着电解液流动方向分布不均匀而带来的不利影响. 研究表明, 采用孔径逐渐减小的梯度孔泡沫铜电极(TRAB-LMS)可以获得较为均匀的电流分布、最高的功率密度(15.5 W/m<sup>2</sup>)、总电荷量(1800 C)和能量密度(1224 Wh/m<sup>3</sup>). TRAB-LMS 的功率密度随着电解液流速的增加而呈现先增加后降低的趋势, 最佳流速为 15 mL/min. 在最佳流速条件下, 电池的功率密度随着氨浓度从 0.5 mol/L 增加到 2 mol/L 而得到提升, 但是当氨浓度增加到 3 mol/L 时功率密度有轻微降低, 这是由于阴极电势降低导致的. 阴极电势的降低表明, 当流速和氨浓度大于最佳值时, 不仅增强反应物向多孔电极的传输, 同时也加剧了氨的跨膜传输.

热再生氨电池, 梯度孔电极, 电流分布, 传质

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1720-9>

## 可用于直接甲酸盐燃料电池的三维多孔电极的制备与表征

苏翔宇, 潘哲飞, 安亮

传统燃料电池多孔电极采用双层结构设计, 即催化层和扩散层. 其中催化层是由催化剂纳米颗粒随机堆聚而成, 导致催化层多孔结构过于质密, 从而大大增加了电极内的传质阻力. 将催化剂纳米颗粒均匀分散在泡沫状结构表面, 形成三维多孔电极可改善传质和结构特性. 一方面缩短了反应物在电极内的传输距离, 降低了传质阻力; 另一方面减少了催化层中的死孔、孤立的颗粒和颗粒的团聚, 提高了电催化活性表面积. 本文制备了三种三维多孔电极, 并将其应用于直接甲酸盐燃料电池: (i) 用浸渍法将 Pd/C 纳米颗粒浸粘在泡沫镍骨架表面而制成 Pd-C/NF 电极, (ii) 用还原法在泡沫镍骨架表面上沉积纯 Pd 纳米颗粒而制成 Pd/NF 电极, (iii) 通过置换法将纯 Pd 颗粒嵌入泡沫镍骨架里而制成 Pd/(in)NF 电极, 其中 Pd/NF 电极和 Pd/(in)NF 电极均为无黏合剂三维多孔电极. 作为参照, 同时制备了一个传统双层结构 Pd-C/NF 电极. 结果显示, Pd-C/NF 电极作为直接甲酸盐燃料电池阳极可有效提升电池的最大功率密度至 45.0 mW/cm<sup>2</sup>, 远高于传统双层电极(19.5 mW/cm<sup>2</sup>). 此外, 使用无黏合剂的 Pd/NF 和 Pd/(in)NF 电极的最大功率密度分别为 13.5 和 14.0 mW/cm<sup>2</sup>, 远低于 Pd-C/NF 电极, 这是由无黏合剂电极较低的电催化活性表面积造成的.

直接甲酸盐燃料电池, 双层结构, 三维多孔结构, 无黏合剂, 传质, 电催化活性表面积

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1563-5>

## 汽-柴油双燃料智能充量压缩着火燃烧(ICCI): 概念模型及与其他先进燃烧模式的对比

李稔尧, 钱勇, 黄冠, 赵汶彬, 张耀元, 吕兴才

面对交通运输业电气化的潮流, 内燃机作为车辆运输的最主要动力, 其发展如今正遭遇前所未有的挑战. 但是, 如果将发动机的指示热效率提高至 50%以上, 同时还能保持超低排放, 内燃机仍然具有优于其他动力技术的巨大优势. 因此, 本文提出一种以双高压共轨直喷系统为特征的新型低温燃烧模式, 即智能充量压缩着火燃烧(ICCI), 以期在发动机全负荷范围内实现高效清洁燃烧. 具体实现方法为, 通过设计两套独立的高压共轨系统, 实现缸内直喷两种物理化学特性互补的燃料(在本文中分别为商用汽油和柴油). 在这种独特的设计下, 可以通过调节不同燃料的喷射正时和喷油比例来灵活地调节缸内混合气, 从而获得最合适的燃烧相位和放热率. 试验证明, ICCI 模式可以在指示平均有效压力(IMEP)2 bar 到 16 bar 的宽负荷范围内运行, 同时缸内压力升高率完全可控, 且可达到大约 50%的指示热效率和极低的 NO<sub>x</sub> 排放. 另外, ICCI 也同时被用来与其他燃烧模式(传统柴油燃烧(CDC)、反应活性控制压燃(RCCI)、部分预混燃烧(PPC)和汽油压燃(GCI))在燃烧和排放方面进行了全面对比. 结果表明, ICCI 在全负荷范围内都具有更大的优势和潜力, 尤其在中等负荷下, ICCI 模式甚至可以达到 52%的热效率以及极低的 NO<sub>x</sub> 排放. 长远来看, ICCI 模式未来可以在一个循环中实现缸内气体混合物的任意分层和瞬时燃烧模式切换的实时调整, 因此在能源利用和环境改善方面具有极好的实际应用前景.

智能充量压缩着火燃烧, 双直喷系统, 汽油, 柴油, 高效清洁燃烧

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1598-1>

## 嵌有辐射状和树状冷却流道的非均匀产热圆盘流动与换热多目标构形设计

陈晨, 尤江, 冯辉君, 陈林根

考虑产热体的产热非均匀性特征, 建立圆盘非均匀产热体流体流动与传热的三维稳态模型, 以综合考虑产热体内最大温差和耗功率的复合函数为优化目标, 基于构形设计和有限元方法首先对辐射状圆盘产热体内冷却流道直径进行优化设计, 其次对树状圆盘产热体以冷却流道直径、单元级流道角度系数和一级流道长度系数为变量进行优化设计, 得到圆盘单元体在不同产热分布条件下的最优构形. 进一步, 采用 NSGA-II 算法对该多目标问题进行优化并得到了其 Pareto 最优解集. 基于此, 利用 Topsis 方法进行多属性决策确定给定权重下的最终解. 整个产热体内的产热率和冷却流道体积占比作为构形设计时的约束条件. 结果表明, 在工业应用中, 应考虑将更多的元件或发热器件安装在靠近冷却水入口处, 可在耗功率相同的条件下进一步降低装置体内的最大温差, 从而提升装置工作性能和延长使用寿命. 以双自由度优化时, 相比单自由度最优解产热体内最大温差下降了 18.6%, 耗功率增大了 59.8%; 以三自由度优化时, 相比双自由度最优解产热体内最大温差减小了 6.2%, 泵功率增大了 3.0%. 不难看出, 当两个子目标形成博弈时, 一个子目标性能的提升必然会引起另一个目标性能的恶化.

构形定律, 非均匀产热圆盘, 对流换热, 冷却流道, 多目标优化, 广义热力学优化

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1697-7>

## 一种适用于失重环境的新型灵敏压电质量天平

张仕静, 刘英想, 邓杰, 刘军考

本文提出一种适用于失重环境的新型灵敏压电质量天平. 通过检测其谐振频率漂移, 可获得被测物体的质量, 系统地阐述了这种称重方法. 从理论上分析了压电质量天平的等效刚度系数和等效集中质量, 建立了其谐振频率漂移与被测质量之间的关系. 分析了结构和材料参数对灵敏度的影响规律, 获得了提高灵敏度的设计依据. 利用 ANSYS 软件对压电质量天平进行了静力分析, 研究了其抗冲击性能. 开展了振动特性测试和标定实验, 实验结果充分验证了相关理论分析的有效性. 所研制的压电质量天平具有独立于加速度场、不依赖于被测物体特性和抗冲击性的优点. 因此, 它可以应用在失重环境下实现对未知特性固体样品的质量测量.

质量测量, 压电质量天平, 谐振频率漂移, 失重环境

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1698-9>

## 基于加速几何粒子滤波与彩图信息的动态目标跟踪与抓取

龚泽宇, 丘椿荣, 陶波, 柏海生, 尹周平, 丁汉

移动物体的视觉跟踪和抓取是机器人操作领域的一项挑战性任务, 在人机协作等场景中有较大的应用潜力. 本文提出一种随机运动物体的新型视觉跟踪抓取方法: 通过建立几何粒子滤波跟踪器进行视觉跟踪, 在几何粒子滤波框架下, 采用边缘检测和形态学膨胀的方法显著降低几何粒子滤波器计算量, 提升视觉跟踪效率. 通过 HSV 彩图特征代替灰度特征, 提高视觉跟踪算法对光照变化的鲁棒性; 同时, 采用跟踪与拦截相结合的抓取策略, 配合基于位置的视觉伺服技术, 实现随机动态目标的稳定抓取. 通过利用开源数据集进行全面对比分析, 同时结合机器人系统的大量实验, 证明本文所提出的视觉跟踪抓取方法在随机运动物体的跟踪和抓取应用中具有良好的实际性能与广阔的应用前景.

视觉跟踪, 机器人抓取, 几何粒子滤波, 视觉伺服

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1688-2>

## 人机共享控制: 解决灵巧假肢操控的新途径

杨大鹏, 刘宏

目前, 市场上的多自由度灵巧型假肢产品虽然已日趋丰富, 但是, 其感官性操控问题至今仍未得到有效解决, 造成了用户使用频次较低的局面. 不直观的控制方法和不充分的感觉反馈是阻碍灵巧产品成功应用的两大障碍. 最近, 在人工智能(AI)浪潮的带动下, 出现了一系列共享控制方法, 将“身体机能”(肌电控制)和“人工智能”技术(局部自治、计算机视觉等)紧密结合在一起, 为灵巧假肢的感官性操作提供了新的解决方案. 本文详细介绍了这种方法的背景和发展趋势, 指出了潜在的发展方向和需要突破的关键技术. 在实践中, 本文提出了整合同步肌电控制、多指抓取自主性和增强现实(AR)反馈结合, 对共享控制策略进行实例化说明. 这种方法将人类复杂抓取任务“划分”为几个子任务, 然后通过从人或机器角度使用不同的策略来“解决”各自的难点. 混合人机智能的共享控制方法将有望解决灵巧假体的控制难题.

机器人手, 灵巧假肢, 共享控制, 计算视觉, 深度学习

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1710-y>

## 超疏水直接 Z 型溴氧铋/磷酸银织物表面的构建及其紫外屏蔽和增强的可见光活性的研究

葛博, 张宇岭, 张廷晓, 任桂娜, 李文智, 赵挥

工业生产和生活中排放各种形式的污染物, 如何同时处理水溶/非水溶性污染物是一个挑战. 本文针对污染物的多样性, 制备了一种超疏水 BiOBr/Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 织物(SH 织物), 水(WCA=160°)和油污(扩散)在织物表面具有不同的润湿行为. 利用 SH 织物的选择除油性能, 获得了较高的油污回收效率. 同时, 在油水分离后, 用光催化剂降解溶解在水中的污染物. 机理分析表明, BiOBr 的价带和导带位置分别为 1.66 eV 和 -1.08 eV, 而

$\text{Ag}_3\text{PO}_4$  的价带和导带位置分别为 3.03 eV 和 0.6 eV, 两者之间形成了直接 Z 型异质结. 值得注意的是, SH 织物表现出良好的机械稳定性和紫外屏蔽性能, 在环境污染治理中具有潜在的应用前景.

**超疏水织物, 紫外线屏蔽, 油水分离, 污染物去除**

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1703-7>

## 一种仿生双层组织工程支架用于骨软骨缺损修复

刘凯强, 刘彦楠, 段志广, 马晓轩, 范代娣

骨软骨缺损最常见的特征是对软骨和下面软骨下骨组织的损伤, 因此开发可以同时再生这两个特定区域的双层支架成为挑战. 本文使用类人胶原蛋白(HLC)、透明质酸(HA)和纳米羟基磷灰石(HAP)颗粒, 结合“液相合成”技术、冷冻干燥和化学交联技术成功制备了仿生双层支架. 这种新型的双层骨软骨支架模拟了天然细胞外基质的成分以修复骨软骨缺损, 双层支架具有一体化的层状结构、合适的孔径、高孔隙率和出色的机械性能. 双层支架的体外细胞实验表明, 该支架可以促进人骨髓间充质干细胞的增殖和黏附. 体内骨软骨缺损和显微 CT 实验表明双层支架能够使缺损处完全闭合, 组织学证实胶原和糖胺聚糖沉积在双层支架组新生的透明软骨和骨基质中. 因此, 所研制的仿生双层支架通过软骨下骨形成和外侧宿主-组织融合促进透明软骨的再生, 这种基于 HLC 的双层支架可以作为骨软骨缺损再生的理想策略.

**类人胶原蛋白, 双层支架, 骨软骨修复**

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1597-4>

## 使用疏水改性 $\gamma$ -聚谷氨酸和海藻糖实现红细胞高冷冻存活率

张启发, 刘波, 种靖慧, 任丽霞, 赵蕴慧, 袁晓燕

作为一种具有良好生物相容性的冷冻保护剂, 海藻糖很有希望替代甘油, 用于红细胞的冷冻保存, 但海藻糖的非膜透性限制了其应用. 本文制备了苯乙胺(PEA)、3,4-二甲氧基苯乙胺和正十二胺改性的 $\gamma$ -聚谷氨酸(PGA), 接枝疏水改性后的产物与海藻糖共同作用能显著提高红细胞的冷冻存活率. 动态光散射、溶血测试、原子力显微镜和荧光共聚焦显微镜等分析表明, 疏水改性的 PGA 可在 pH 6.0~7.4 的 PBS 中自组装成纳米粒子, 且由于其与细胞膜之间可能存在氢键、共轭及疏水作用而具有一定的膜扰动活性, 从而显著提高红细胞内海藻糖的载量. 在三种改性 PGA 中,  $\gamma$ -聚谷氨酸-g-苯乙胺(PGA-g-PEA)最为突出, 在 pH 7.4 时, 红细胞内海藻糖载量增加至  $11.3 \pm 2.4$  mmol/L, 远高于不添加改性物时的  $0.17 \pm 0.66$  mmol/L. 使用 1.0 mg/mL PGA-g-PEA 和 0.36 M 海藻糖, 可将红细胞的冷冻存活率提高至~90%. L929 成纤维细胞体外细胞毒性结果显示, 在使用浓度范围内, PGA-g-PEA 呈 80% 以上的细胞活性. 因此, 由于可以促进海藻糖载入红细胞, PGA-g-PEA 有可能用于红细胞的无甘油冻存, 并有可能应用于相关生物大分子的胞内递送.

**$\gamma$ -聚谷氨酸, 膜扰动活性, 海藻糖, 冷冻存活率, 红细胞**

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1549-2>

## 基于两性离子共聚物的两亲性防雾与抗菌涂层

赵驰煦, 袁晓燕, 白珊, 孙平川, 赵蕴慧, 朱孔营, 任丽霞, 李晓晖

医用镜头表面起雾及其引发的细菌感染会影响内窥镜的使用, 并给人们健康带来威胁, 抑制镜头起雾和细菌生长非常重要. 本文合成了聚(甲基丙烯酸正丁酯-co-甲基丙烯酸-2-氨基乙基酯-co-甲基丙烯酸磺基甜菜碱)两性离子共聚物, 并与均苯三甲醛共混进行热固化, 制备了不同化学组成且高度透明的具有防雾和抗菌功能的涂层. 涂层具有表面疏水、内部亲水的两亲性结构, 在体内和体外防雾实验中均表现出优异的防雾性能. 疏水性的甲基丙烯酸正丁酯与阳离子的甲基丙烯酸-2-氨基乙基酯的引入, 有利于提高涂层的稳定性与抗菌能力. 涂层对金黄色葡萄球菌与大肠杆菌的抑菌率高达 99%, 并且含有两性离子基团共聚物涂层的溶血率低于 3%. 这种结合了防雾与抗菌性能的两亲性共聚物涂层在生物医疗器械等方面具有潜在的应用前景.

**两性离子共聚物, 亲水性涂层, 防雾, 抗菌性, 溶血性**

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1699-3>

## 乳胶粒子增韧的离子导电水凝胶用于应变传感器

常靖宇, 张智心, 贾菲, 高光辉

导电水凝胶作为可穿戴应变传感器具有出色的柔软性和可拉伸性, 因此备受关注. 但是, 大多数基于水凝胶的应变传感器都具有较差的自恢复性和抗疲劳性, 导致反复循环后的应变敏感性大大降低. 在此, 通过使用以乳胶粒子作为物理交联中心的离子导电水凝胶来制备柔软且可穿戴的应变传感器. 动态的物理交联结构可以通过破坏和重建分子链段有效地耗散能量, 从而赋予凝胶优异的拉伸性、自恢复性和抗疲劳性. 此外, 水凝胶还具有出色的应变敏感性, 因此可以将其组装为可穿戴式传感器来监测人体运动. 水凝胶应变传感器可以为人体运动提供精准的反馈, 包括大规模的关节弯曲和微小的发声. 因此, 坚韧的离子导电水凝胶将广泛应用于电子皮肤、医学监测和人工智能.

**离子导电水凝胶, 应变传感器, 自恢复, 抗疲劳**

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1695-0>

## 具有交互因子的康复机器人迭代按需辅助控制

曹然, 程龙, 杨辰光, 董哲

由于中风患者数量的增加以及康复过程中经济和人力成本的提高, 康复机器人已经受到了国内外学者的广泛关注. 为了取得更好的康复效果, 康复机器人的控制方法需要能够激发患者的主动运动意图并在患者不具备主动运动能力时辅助完成康复训练. 然而当前的控制方法难以根据患者的运动意图调节康复机器人的系统阻抗, 从而难以实现期望的控制性能和目标. 为解决这个问题, 本文首先介绍了一种新的代价函数来表征需要优化的性能指标. 该代价函数由一个跟踪误差项以及一个刚度项与交互因子的乘积组成, 其中交互因子根据患者运动意图变化并可以用来调节刚度项的优化权重. 当患者尝试主动进行康复训练时, 交互因子以及刚度项的优化权重增加, 最终优化得到的刚度值减小而系统的跟踪误差范围增大. 为优化该代价函数, 本文设计了一种迭代更新算法, 同时给出了基于李雅普诺夫理论的稳定性分析证明, 并进一步引入力观测器来提升系统的控制性能. 最终本文设计了 4 组仿真实验来显示所提出算法的有效性, 并与其他控制算法进行了比较.

人机交互, 阻抗控制, 康复机器人

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1671-6>

## 时滞反馈控制下三稳态黏弹隔振系统的随机响应机理研究

黄冬梅, 周生喜, 李伟, LITAK Grzegorz

本文主要研究了位移和速度时滞反馈控制下随机激励的三稳态黏弹隔振系统的随机响应机理. 首先, 得到了在不同势阱间平均首次穿越时间的解析表达式, 研究了噪声和时滞诱导的非线性转迁特性. 发现时滞诱导的动力学行为影响系统在不同的平衡点的转迁, 观察到时滞可以提高系统稳定性. 与此相关, 发现了平均首次穿越时间在一个周期内存在最大值, 并且随着噪声强度的增大, 平均首次穿越时间显示单调特性. 进一步得到了振幅的稳态概率密度和稳态均方振幅, 并且研究了系统参数对振幅的稳态概率密度和稳态均方振幅的影响机理. 综上, 本文建立了三稳态黏弹隔振系统的参数和动力学特性之间的关系, 为时滞反馈控制下黏弹隔振系统的最优化设计提供了理论基础.

随机激励, 时滞, 黏弹隔振系统, 动力学响应

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1724-x>

## 基于患者-呼吸机交互关系的肺康复机械通气策略

郝黎明, 李晓, 石岩, 蔡茂林, 任帅, 谢菲, 李娅娜, 王娜, 王一轩, 罗祖金, 许猛

机械通气是治疗危重症患者, COVID-19 患者和其他肺部疾病患者的有效医疗手段. 在机械通气治疗过程和脱机过程中, 肺康复的进行对于患者提高自发呼吸能力, 避免呼吸肌无力和其他肺部的功能性创伤至关重要. 然而, 肺康复过程中不适当的机械通气策略通常会导致脱机困难和其他的呼吸机并发症. 本文基于对患者-呼吸机相互作用的分析, 研究了用于肺康复的机械通气策略. 建立了机械通气系统的气动模型, 以确定压力, 体积流量和潮气量之间的数学关系. 根据患者通气阶段的不同特征, 每个通气周期分为四个阶段, 即触发阶段, 吸气阶段, 切换阶段和呼气阶段. 通过分析患者和呼吸机在不同阶段之间的相互作用来调节呼吸机的控制参数. 提出了一种在压力支持通气模式下呼吸机通气压力的模糊控制的新方法. 基于本研究中的模糊规则, 呼吸机平台压的值可以通过触发灵敏度 and 患者的吸气努力来调整. 本文搭建了呼吸机的实验样机, 以验证气动模型的准确性和机械通气策略的有效性. 此外, 通过对患者-呼吸机异步现象的讨论, 可以相应地调整机械通气策略. 这项研究的结果对于机械通气的临床操作意义重大, 并且为之后对呼吸机的智能控制和脱机过程自动化的研究提供了理论依据.

机械通气, 肺康复, 阶段分类, 模糊控制, 患者-呼吸机交互

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1778-8>

## 各频率合声波对辐射带电子动态的影响

贺佳贝, 金宇玥, 肖伏良, 何兆国, 杨昶, 谢妍琮, 何茜, 王成志, 高雄军, 刘斯, 周庆华, 张赛

合声波-电子相互作用导致的非绝热过程对辐射带动力学有重要贡献, 这种过程与合声波的频率分布密切相关. 在 2016 年 8 月 2 日的磁暴中, 范艾伦探测器 B 卫星在一个轨道周期内同时观测到了上频带, 下频带和极低频的合声波. 我们进行了一些数值模拟, 以研究在不同频率合声波作用下的电子演化. 结果表明不同频率的合声波对电子动态有不同影响. 对于频率在 0.3 fce~0.7 fce 范围内的合声波, 电子的能量扩散是主要过程. 对于频率在 0.1 fce~0.25 fce 范围内的合声波, 电子能量大于 0.5 MeV 时投掷角扩散趋于与能量扩散相当. 对于频率小于 0.1 fce 的极低频合声波, 投掷角扩散系数远大于能量扩散系数, 从而导致潜在的散射损失.

多频带合声波, 相对论电子, 辐射带, 数值模拟

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1750-6>