Science China Technological Sciences
2021 年 64 卷第 5 期中文摘要

基于热管的电动汽车动力电池热管理面临的挑战和研究进展

黄尧，汤勇，袁伟，方国云，杨阳，张晓清，吴耀鹏，袁宇航，王淳，李锦广

近年来，电动汽车(EV)在全球范围内发展迅速，具有巨大的取代基于化石燃料的传统汽车的潜力. 功率型锂离子电池(LIB)由于其高功率密度、良好的充电/放电稳定性和长循环寿命已被广泛应用于电动汽车中. 电动汽车的续航里程和加速性能越来越受到消费者的关注，而这很大程度上取决于电池的功率水平. 随着输出功率的不断提高，动力电池的高发热量会严重影响其使用性能和安全性. 同时，在极端条件下电池的冷启动性能仍然是阻碍电动汽车发展的棘手问题. 上述挑战对于建立合适的电池热管理系统(BTMS)提出了更高的要求. 相较于传统的BTMS，基于热管的 BTMS 具有结构紧凑、灵活性高、成本低、导热系数高等特点，因此有着广阔的应用前景. 围绕这个主题，本文首先介绍了 LIB 的发热机理以及高低温对其性能的影响，随后描述了多种电池滥用情况和热失控问题. 本文还介绍了现有 BTMS 典型的冷却和预热方法，重点讲述了基于多种类型热管的BTMS研究进展及未来发展方向. 基于热管的BTMS仍未在实际电动汽车BTMS中大规模应用，在未来的研究中应加大对基于热管的电池热管理的研究，建立节能、高效和高可靠性的 BTMS，以提高电动汽车的性能和安全性.

功率型锂离子电池，热管，电池热管理系统，热性能，热设计，热失控

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1714-1

综合考虑复杂叶片机器人加工中弹性变形和曲率变化的粗糙度分析及预测

徐小虎，叶松涛，杨泽源，严思杰，朱大虎，丁汉

由于复杂叶片机器人磨抛加工过程中存在着明显的弹性变形，导致对其加工表面粗糙度的精度预测成为一大挑战. 造成预测精度较差的主要原因是现有的预测模型没有充分考虑动力学因素. 因此，本文提出一种改进的残留高度模型，并结合叶片弹性变形和曲率变化对加工表面粗糙度进行预测和评估，然后通过机器人砂带磨抛加工试验从表面粗糙度的角度对所提的模型进行评估，最后，分析了影响残留高度的因素，提出了更适用的表面粗糙度经验公式，进而采用固定的残留高度加工方式来评价和预测叶片内外弧面的表面质量.

机器人磨抛，残留高度，弹性变形，粗糙度预测

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1712-4

CO_2 涡旋压缩机的切向泄漏流动特性数值模拟研究

郑思宇，魏名山，胡晨星，宋盼盼，田冉

切向泄漏损失一直以来是限制涡旋压缩机性能的关键因素之一. 本文对以二氧化碳为工质的涡旋压缩机进行了三维数值模拟研究. 采用场协同分析方法，获取了涡旋压缩机各压缩腔内的不同的流场特性. 同时，为探索涡旋压缩机的切向泄漏的流动控制方法，研究了不同径向间隙和壁面粗糙度对压缩机整机性能的影响. 研究结论表明，吸气腔和压缩腔内切向泄漏与主流之间的不同作用导致了工质在不同工作腔内具有不同的流动特性. 在吸气腔中，由于较低的逆压梯度，切向泄漏流可保持典型的射流结构. 而在压缩腔内，高速切向泄漏流与主流的掺混形成了通道涡和二次流，其中二次流是引起压缩腔内局部高温区的主要因素. 其次，随着径向间隙的升高，容积效率降低而排气温度迅速升高；而随着壁面粗糙度增大，切向泄漏减弱，压缩机容积效率提高. 本研究中，壁面粗糙度提高 2 μm 即可获得减小径向间隙 4 μm 相同的切向泄漏抑制效果，即容积效率提升近 5%的同时，平均排气温度降低 5 K. 研究结果为了解涡旋压缩机内切向泄漏详细流动特性以及提出切向泄漏流动控制方法提供了新的思路.

二氧化碳，涡旋压缩机，场协同原理，切向泄漏，壁面粗糙度

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1765-3

基于 Actor-Critic 的自动驾驶车辆决策规划算法

徐灿，赵万忠，陈青云，王春燕

为了提高自动驾驶车辆轨迹规划算法的敏捷性和适用性，本文提出一个基于Actor-Critic的多车复杂工况下的决策规划算法. 该算法能同时对车辆的路径与速度进行耦合规划来保证行驶轨迹的灵活性. 首先，通过局部轨迹的端点来描述所决策出的动作到生成轨迹之间的转换关系；其次，进一步建立了基于 Actor-Critic 的学习方法来决策出最优驾驶策略，该方法能通过当前策略优势的梯度来更新策略网络. 在该过程中，交通环境特征通过车头时距及速度分布进行提取，并根据安全性、高效性和行驶舒适性建立该决策系统的回报函数. 进一步，为了保证该策略网络有很好的收敛性，本文将其模组化成换道网络和跟车网络，分别决策出对应的候选路径和候选速度的端点. 最终，本文选取曲线超车工况以及多车道人车交互场景来验证可行性与优越性. 结果表明，所提出的算法具有很好的实时性，并且耦合决策出的轨迹相对于已有的基于规则的算法更加连续平滑.

轨迹规划，决策，Actor-Critic，特征提取，自动驾驶

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1712-4

超临界 CO_2 垂直管内向上和向下流动传热数值分析

闫晨帅，徐进良，朱兵国，何孝天，刘广林

对超临界 CO_2(sCO_2)在内径 d_i=10 mm 加热垂直圆管内向下流动的传热进行了实验测量. 然后，对 sCO_2 在垂直加热圆管内向上和向下流动传热进行了三维稳态数值模拟，讨论了热流密度、质量流速和运行压力对 sCO_2 不同流动方向时传热的影响. 基于超临界流体“类相变”的观点，类比于亚临界反环状膜态传热模型，建立了 sCO_2 传热物理模型，将圆管横截面内流体域分为覆盖在加热壁面的类气区域和核心类液相区域，并提出了热阻机理以分析 sCO_2 湍流传热. 热阻 R 综合反映了类气膜或类液区厚度、流体热物性和湍流强度等多个因素对传热的影响. 计算结果表明，sCO_2 向上流动时总传热阻力 R_t 沿主流焓值的变化趋势与圆管壁温 T_{wi} 变化完全一致，并且成功预测了传热恶化的发生. 而且，sCO_2 向上流动的总热阻始终大于向下流动. 此外，与核心类液区热阻相比，类气膜的形成是影响传热行为的主要因素. 研究结果可为 sCO_2 加热器的设计和优化提供指导.

超临界 CO_2，流动方向，类膜态传热，热阻

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1773-9

基于 van der Waals 异质结的热离子制冷机性能优化

邱肃肃，丁泽民，陈林根，戈延林

结合非平衡热力学和有限时间热力学，建立了一个基于 van der Waals 异质结的不可逆热离子制冷机模型. 导出了装置的基本性能参数，研究了偏置电压、肖特基势垒高度和热漏等关键因素对性能的影响. 结果表明，通过适当地调节偏置电压和肖特基势垒高度，制冷率和性能系数可以达到双重极大值. 增加电极-电极热阻，或者降低电极-热源(热沉)热阻和热源-热沉热阻，可以提高装置的性能. 最优性能区间在最大制冷率点与最大制冷系数点之间，通过调节偏置电压，可以使装置在最佳性能区间内运行. 同时，对比了热离子制冷机在使用单层石墨烯和多层石墨烯作为电极材料时的最佳性能.

热离子制冷机，van der Waals 异质结，制冷率，制冷系数，性能优化，有限时间热力学

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1749-9

含 TiO_2 和 SiO_2 混合粒子的单层辐射制冷涂层的光学特性及其制冷性能研究

程子明，帅永，龚大洋，王富强，梁华旭，李桂强

辐射制冷是地面物体在不消耗任何能量的情况下通过“大气窗口”(8~13 μm)以电磁波的形式向太空(3 K)输送能量以实现制冷效果. 传统多层结构的辐射制冷涂层由于制备工艺复杂、成本高，在实际应用中受到严重限制. 本文提出一种含 TiO_2 和 SiO_2 混合粒子的单层辐射制冷涂层，发展了适用于多粒子系统辐射特性的算法，采用蒙特卡罗射线踪迹法结合该算法求解了含 TiO_2 与 SiO_2 混合粒子的单层辐射制冷涂层的辐射传输方程，并分析了粒子粒径、体积分数和涂层厚度对涂层辐射制冷性能的影响，得出了最佳的辐射制冷性能. 计算结果表明，在不添加银反射层情况下，含 TiO_2 与 SiO_2 混合粒子的单层辐射制冷涂层在太阳光谱波段的平均反射率可达 95.6%，“大气窗口”波段的光谱平均发射率可达 94.9%. 与双层辐射制冷涂层相比，含 TiO_2 与 SiO_2 混合粒子的单层辐射制冷涂层的太阳光谱平均反射率和大气窗光谱平均发射率分别提高了 4.6%和 4.8%. 该数值研究结果可为含混合纳米粒子的单层辐射制冷涂层的设计和优化提供理论指导.

辐射制冷，光学性能，多组分粒子，制冷性能，辐射传输，大气窗口

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1586-9

一步法激光诱导聚酰亚胺/明胶复合薄膜转化石墨烯：可调形貌、表面润湿性和微型超级电容器应用

王文涛，陆龙生，谢颖熙，李泽泓，吴伟斌，梁荣轩，汤勇

激光诱导聚酰亚胺(PI)薄膜形成多孔石墨烯是近年来的研究热点. 用 Nd:YAG 激光划刻涂有明胶层的 PI 薄膜，制备了完全转化的石墨烯薄膜. 结果表明，明胶在吸收强激光冲击方面具有良好的“屏蔽”作用，有利于表面形貌的调节. 由于 Nd:YAG 激光束的分散性，当激光处理小于 4.00 J/mm^2 的临界强度时，会产生类似于陨石坑的表面形貌. 激光强度达到阈值，碳化表面转变为连续的形貌. 碳化过程是一个伴随放气的流体动力学过程，表面形貌由拉伸的液滴逐渐转变为多孔条状，最后转变为非晶多孔结构. 形态演变与表面化学结合使表面润湿性由超疏水向超亲水显著转变，在~8.00 J/mm^2 激光强度下诱导形成的碳化表面具有双面超疏水/超亲水表面润湿性. 制作了微型超级电容器，显示制备的激光诱导石墨烯在柔性电子领域具有巨大潜力.

激光诱导石墨烯，明胶，形貌转变，微型超级电容器，柔性可穿戴电子

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1609-4

采用镍金属泡沫流场的质子交换膜燃料电池运行特性研究

霍森，石伟玉，王仁芳，卢兵兵，汪洋，焦魁，侯中军

近年来，由于金属泡沫材料独特的三维结构及其在流场应用中的诸多优势，研究者们认为其是当前质子交换膜燃料电池传统“沟-脊”结构流场的有力替代者. 本研究针对采用镍金属泡沫材料作为阴极流场的质子交换膜燃料电池，构建了三维多相仿真模型，对比和讨论了金属泡沫流场和传统“沟-脊”结构平行流场对燃料电池性能的影响规律. 基于相关实验结果和规律，对仿真模型进行了合理的标定. 研究发现，受益于更为均匀的气体分配和质量传输过程，采用金属泡沫流场的燃料电池输出性能更为优越. 在泡沫流场和膜电极的交界面上，金属泡沫材料的多孔结构为燃料电池内各相水传输提供了更多的流动通道和面积，促进了阴极液态水的排出过程，也大幅改善了阴极氧气的传质过程. 传统平行流场由于受制于“沟-脊”结构设计，脊结构下氧气质量传输过程受到极大阻碍，因此平行流场燃料电池输出性能对阴极增湿和空气

供给表现出了更高的敏感性. 此外, 泡沫流场结构同时也带来了更为均匀的电子传输过程, 采用泡沫流场的质子交换膜燃料电池能够选用更薄的扩散层, 对于促进反应气传质, 提升性能和功率密度都有积极意义. 本文旨在为金属泡沫流场应用研究提供更多理论和实验支持.

质子交换膜燃料电池, 金属泡沫流场, 传统平行流场, 数值分析, 验证实验

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1767-5

通过紫外-臭氧调控有机半导体微结构实现高灵敏度二氧化氮探测

侯思辉, 范惠东, 吴梦鸽, 于欣格, 于军胜

发展高敏感有机半导体是有机薄膜晶体管气体传感器的关键. 本文报道了一种基于紫外-臭氧处理P3HT用于高性能有机薄膜晶体管二氧化氮传感器的工艺途径. 与未处理的器件相比, 处理后的器件灵敏度有了显著提高, 从 350%提高到了 30000%. 对薄膜的形貌、化学成分和微观结构的研究表明, P3HT 薄膜中产生的大量载流子陷阱是传感器性能提高的决定性因素. 此外, 由于其具有高的灵敏度、选择性、可重用性和恢复能力, 以及约为 7.3 ppb 的检测极限, 优化后的器件展示了巨大的实际应用潜力. 这种简单的处理方法为载流子陷阱在传感过程中的作用机理提供了一种新的理解, 并展示了高性能有机薄膜晶体管气体传感器的光明前景.

紫外-臭氧, 有机薄膜晶体管, 气体传感器, 载流子陷阱, 二氧化氮

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1785-6

3D 打印石墨烯/碳纳米管/银纳米线复合薄膜制备高性能微超级电容器

刘浪, 鲁军勇, 龙鑫林, 周仁, 柳应全, 吴羿廷, 严康为

微超级电容器在便携式电子产品储能设备上具有巨大的应用潜力. 现阶段微超级电容器的主要问题是能量密度低. 为了提高其能量密度, 需要提高电极厚度. 本文提出一种新型 3D 打印技术, 以电化学剥离石墨烯/碳纳米管/银纳米线复合材料作为电极, 制备高性能叉指状微超级电容器. 在 3D 结构中, 银纳米线交叉接触点的焊接是实现 3D 打印的关键. 为了提高石墨烯的电化学性能, 在碳骨架中通过掺杂加入了 1.7%的磷原子. 3D 打印所得的微超级电容器在 0.01 V s^{-1}的扫描速率下面电容达到 21.6 mF cm^{-2}. 微超级电容器的面能量密度达到 2 μWh cm^{-2}, 最大功率密度为 2.5 mW cm^{-2}.

微超级电容器, 3D 打印, 银纳米线, 电化学剥离石墨烯, 等离子体射流

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1763-5

电弧放电制备石墨烯的氢诱导边缘生长模型

张达, 叶凯, 梁风, 戴永年

电弧放电等离子体法可在氢气气氛下低成本地制备高品质的石墨烯, 但电弧放电等离子体法制备石墨烯的生长机理仍不清楚. 本文将实验与数值模拟结果相结合, 提出氢诱导边缘生长模型来解释石墨烯的生长机理. 首先, 通过透射电子显微镜和拉曼光谱分析得出电弧等离子体法制备的石墨烯具有边缘厚、中间薄和氢化的特征. 其次, 数值模拟的结果提供了石墨烯成核和生长的温度范围. 由于 C–H 键可降低石墨烯岛的构型能, 并且 C–C 键可提高石墨烯岛的稳定性, 基于上述实验和模拟的结果提出了氢转移和碳加成的边缘生长模型来解释石墨烯片层的生长. 由于范德华力和自组装力的作用, 石墨烯岛的边缘叠层生长导致石墨烯层数增加. 最后, 退火处理去除了石墨烯片边缘的氢. 电弧放电等离子体法制备石墨烯生长机理的研究为大规模制备石墨烯奠定了基础.

氢, 石墨烯, 生长机理, 氢诱导边缘生长模型, 电弧放电

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1734-4

粉末冶金结合后续热挤压制备高强碳纳米管/7055Al 复合材料

马凯, 刘振宇, 张星星, 肖伯律, 马宗义

通过高能球磨、真空热压和热挤压制备了由粗晶带和超细晶区两部分组成的非均匀碳纳米管增强 7055Al (CNT/7055Al)复合材料, 并系统研究了挤压温度(320°C~420°C)对微观组织演变和拉伸性能的影响. 通过微观组织观察发现, 挤压后细长的粗晶带沿挤压方向定向排列. 随着挤压温度的升高, 粗晶带的宽度不断增大, 而粗晶带的长度先增大后减小. 热挤压前后, 超细晶区的晶粒尺寸变化不大, 但在热处理后, 特别是对于在 320°C 的低温下挤压的复合材料, 超细晶区的晶粒粗化明显. 通过观察 CNT 的分布发现, 较高的挤压温度有利于 CNT 沿挤压方向定向排列. 但当复合材料在 420°C 的高温下挤压时, 在粗晶带和超细晶区域之间的边界处形成析出相贫瘠区. 由于上述微观结构的综合影响, 在 370°C 的中等温度下挤出的复合材料的抗拉强度达到 826 MPa 的最高值.

碳纳米管, 铝基复合材料, 热挤压, 双模态, 力学性能

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1715-8

浅海水下目标高光谱探测的参数化特征提取方法

夏峙, 谷延锋

针对水下目标的高光谱探测问题, 提出了一种目标离水辐射的参数化特征提取方法. 水下目标的离水辐射与海洋背景辐射的高光谱差异不显著, 因此不能直接采用高光谱数据作为特征进行水下目标识别. 基于水下人工目标的存在会改变海水的局部光学特性, 采用一个离水辐射的准解析模型从传感器接收到的高光谱数据中反演水体环境参数, 并将反演得到的水深与底部反射率作为特征构建二维特征空

间. 仿真结果表明, 在高光谱图像中, 与属于环境背景的像素相比, 从属于水下目标的像素中可以反演得到更深的水深与更高的底部反射率, 并且在所构建的二维特征空间中, 水下目标样本与背景环境样本均具有独立的分布区域.

高光谱成像, 水下技术, 特征提取

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1723-6

冲击实验后啄木鸟大脑的生物学分析

徐鹏, 倪义坤, 刘景龙, 张蔚榕, 刘思见, 王丽珍, 樊瑜波

啄木鸟在日常啄击过程中可以承受剧烈的冲击. 之前的相关研究集中在啄击过程中的生物力学分析、啄木鸟喙部和舌骨的材料性质等方面. 然而, 啄木鸟脑组织的生物学特性对于抵抗冲击损伤也很重要. 本研究通过活体冲击实验, 以及对正常状态和损伤状态下的脑组织进行生物学分析, 来揭示啄木鸟脑组织的抗冲击生物学特性和冲击能量对啄木鸟脑组织造成的生物学影响. 对于正常状态下的脑组织, 选择体型大小和啄木鸟相似且具有轻微啄木行为的戴胜鸟作为对照组, 通过切片和染色对比了这两种鸟在脑形态和神经元细胞方面的差异. 本研究设计了一种加载装置来给啄木鸟的头部施加可定量的冲击能量. 使用该装置分别对 4 组啄木鸟的前额、喙部、颞部以及枕部施加了相同大小的冲击能量. 然后通过尼氏染色和酶联免疫吸附法来分析啄木鸟受伤前后脑组织内抵达生物学变化. 结果表明: (1) 啄木鸟的小脑比戴胜鸟的更大, 且尼氏体的密度更高; (2) 前额和枕部撞击实验后, 啄木鸟的脑组织内中出现尼氏体凋亡, 对颞骨和喙的撞击后, 未见明显的尼氏体凋亡; (3) 啄木鸟的大脑在正常状态下也会积聚 β 淀粉样蛋白. 这项研究表明: 啄木鸟的脑形态使其能够很好地适应日常的冲击; 啄木鸟头部的防护性能与其位置相关, 喙部和颞部区域的防护性能要比前额和枕部更好; 啄木鸟脑组织受伤后会出现尼氏体的凋亡; 在本研究展现的结果中, β 淀粉样蛋白的积累与啄木鸟脑组织的损伤状态没有直接关系.

啄木鸟, 生物力学, 冲击实验, 抗冲击性, 生物学分析

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1754-0

具有自适应性突触的忆阻神经元模型及其硬件实验

包伯成, 朱永鑫, 马军, 包涵, 武花干, 陈墨

忆阻器可用于模拟神经元膜电位诱发的电磁感应效应. 本文考虑磁控忆阻器来模拟自适应反馈神经突触产生的电磁感应效应, 提出了一种具有自适应神经突触的忆阻神经元模型. 该忆阻神经元模型是三维非自治的, 具有多重稳定性的时变平衡点, 从而导致了全局共存的多重放电模式. 采用多种数值图形, 揭示了忆阻神经元模型中的各种共存放电模式. 特别地, 提出了一种非线性拟合方案, 并采用一种拟合激活函数电路来实现忆阻单神经元模型. 从硬件实验电路中可观察到各种共存放电模式, 其实验结果与数值仿真结果吻合较好.

忆阻, 神经元模型, 共存放电模式, 非线性拟合方案, 硬件实验

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1730-0

基于张衡一号卫星磁测数据的首张中国及邻区岩石圈磁异常图

王婕, 申旭辉, 杨艳艳, 泽仁志玛, HULOT Gauthier, OLSEN Nils, 周斌, MAGNES Werner, DE SANTIS Angelo, 黄建平, 郭峰, 刘文龙, 于靖波

张衡一号卫星是我国首颗地球物理场综合探测卫星, 于 2018 年 2 月成功发射升空, 星上搭载有高精度磁力仪来测量地磁场. 本研究利用张衡一号卫星的磁测(标量)数据提取岩石圈磁异常. 岩石圈磁异常是由地壳和上地幔顶层的强磁性岩体引起的, 磁异常信号大小随距离衰减, 在卫星高度上, 只有少数大规模强磁异常仍能被探测到. 首先, 我们选取了 Bangui 磁异常(位于中非)和塔里木磁异常, 通过沿轨测线的数据处理和对比分析, 证实张衡一号卫星磁测数据可以很好地识别岩石圈磁异常. 然后, 利用 2019 年 8~9 月张衡一号的卫星磁测数据, 得到首张中国及邻区的岩石圈磁异常图, 清晰地揭示出中国区域 4 个显著的卫星磁异常. 其中, 3 个磁力高异常分别位于塔里木盆地、四川盆地和松辽盆地(大兴安岭)附近, 其形成和不同地质历史时期大规模的构造-岩浆事件相关; 还有 1 个东西向的磁力低异常, 位于青藏高原南部, 成因与该处居里面深度较浅有关. 将中国区域的张衡一号卫星磁异常和 CHAOS-7 地磁场模型(岩石圈磁场分量)进行对比, 二者在磁异常的幅值范围和空间分布上都表现出良好的一致性. 这项工作也说明张衡一号卫星平台可以获取高质量的磁测数据, 可用于进一步建立完善的全球岩石圈磁场模型, 并服务于相关的地学研究应用.

岩石圈磁异常, 张衡一号, 卫星磁异常, 卫星磁测

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1727-0

预测滑坡的加速度平方根倒数法

周小平, 叶腾

边坡失稳破坏时间的预测是边坡工程中最关键的问题之一. 本文提出了一种基于以加速度平方根倒数(INSRA)为变量的滑坡破坏时间(TOF)预测方法. 本文中描述的三个露天矿中, 共有四个发生破坏的边坡, 其中两个是由地面雷达探测到的, 另外两个案例是从以前的论文中获得的数据. 采用速度倒数法(INV)和加速度平方根倒数法对这四个滑坡和一个变形较大但未达到破坏的边坡进行了分析. 与传统的速度倒数法相比, 加速度平方根倒数法改善了预测的效果, 具有预测精度较高的优点.

滑坡破坏时间, 加速度平方根倒数法, 经典速度倒数法

https://doi.org/10.1007/s11431-020-1722-2