

---

# 压卡制冷材料研究取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18224.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

制冷技术在工农业生产、日常生活中均有重要作用。当前，气体压缩制冷技术应用广泛，其普遍使用具有严重温室效应的气体制冷剂。为实现“碳中和”战略目标，应构建零碳制冷新技术。2019年，在塑晶材料中发现的庞压卡效应为实现这一目标提供了全新的技术路线。最初发现的原型材料的等温熵变（衡量制冷能力的关键指标）已接近甚至部分超过当前的主流气体制冷剂，而真正实现压卡制冷技术的实际应用，需要更多的努力设计出同时具备高压敏感性、低驱动压力、高熵变和小热滞的压卡材料。然而，这些压卡性能之间存在内禀互斥性，此消彼长。因此，开发出综合性能优异的压卡制冷材料兼具科学意义与应用价值。

围绕这一问题，中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心功能材料与器件研究部与合作者发现了有机碳硼烷（ $C_2B_{10}H_{12}$ ）和无机碘化铵（ $NH_4I$ ）两类性能优异的材料，相关结果分别发表在Advanced Functional Materials和Nature Communications

（DOI：10.1002/adfm.202112622；DOI：10.1038/s41467-022-29997-9），并申请了专利保护。这两类材料为庞压卡制冷技术应用奠定了坚实的物质基础，以该类材料为工质的制冷样机正在研制中。

作为新型有机塑晶压卡材料体系，碳硼烷（ $C_2B_{10}H_{12}$ ）包括三种位置异构体：邻碳硼烷（ortho-carborane）、间碳硼烷（meta-carborane）和对碳硼烷（para-carborane）。这类材料均在室温附近发生由正交相到四方相的结构转变。与目前已报道的有机塑晶压卡材料相比，该体系体现出显著的综合性能优势（图1）：单位压力变化导致的熵变大、相变温度对压力极为敏感、热滞小。同时，它们的压卡性能与三种材料的分子构型有关，对碳硼烷的性能最优，其在30 MPa的小压力下，最大熵变可达 $106.2 J kg^{-1} K^{-1}$ 。科研人员与北京高压科学研究中心研究员李阔合作，直接测量得到约10 K的绝热温变。该研究表明碳硼烷体系是一类很有前途的室温压卡制冷材料，以及精细调节分子构型是提高压卡性能的有效策略。

$NH_4I$ 是一类无机塑晶材料，在268 K附近发生简单立方相到面心立方相的结构相变。研究利用高压微量热仪对 $NH_4I$ 在高压条件下的等温熵变进行测量，发现该材料在40 MPa下可实现 $71 J kg^{-1} K^{-1}$ 的可逆等

温熵变。同时，该材料的相变对压力极为敏感，相变温度随压力的变化速率 $dT_i/dP$ 高达 $0.79 \text{ K MPa}^{-1}$ ，远高于其他压卡材料（图2）。对压力响应敏感的特性使在 $80 \text{ MPa}$ 下可获得高达 $41 \text{ K}$ 的超宽工作温区，具有广泛的应用前景

。为了揭示 $\text{NH}_4\text{I}$

I对压力极为敏感的物理根源，科研人员与中科院高能物理研究所研究员童欣团队、澳大利亚核科技组织（ANSTO）博士Dehong

Yu合作，利用冷中子飞行时间谱仪Pelican，对

$\text{NH}_4\text{I}$ 中的 $\text{NH}_4^+$

再取向旋转动力学和晶格动力学进行系统研究，发现该材料中存在极强的分子取向无序-晶格振动耦合。施加压力导致光学声子

硬化，增强了 $\text{NH}_4^+$ 与I间的氢键相互作用，从而抑制了 $\text{NH}_4^+$

分子取向无序运动，最终诱发结构相变产生压卡效应。这一分子取向无序-

晶格振动的强烈耦合是 $\text{NH}_4\text{I}$ 具有极高压力敏感性的本质原因。

研究工作得到国家重点研发计划、中科院前沿科学重点研究计划“从0到1”原始创新项目、中科院国际伙伴计划、国家自然科学基金、辽宁省“兴辽英才”计划、沈阳市中青年科技创新人才支持计划和中国博士后基金等的资助，并获得ANSTO（P8268、P8318）的大科学装置机时的支持

。

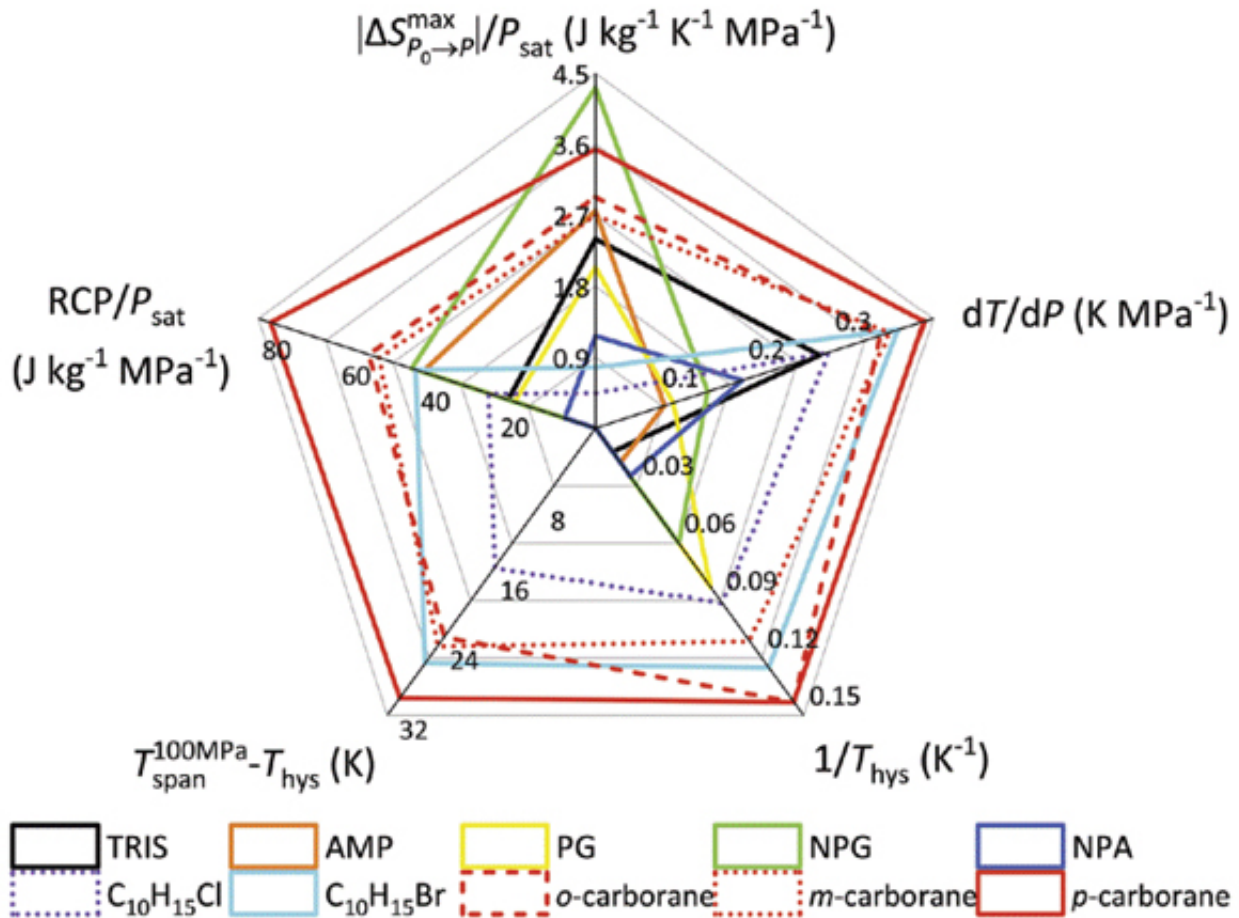


图1.碳硼烷体系与主要有机塑晶压卡材料的性能对比雷达图

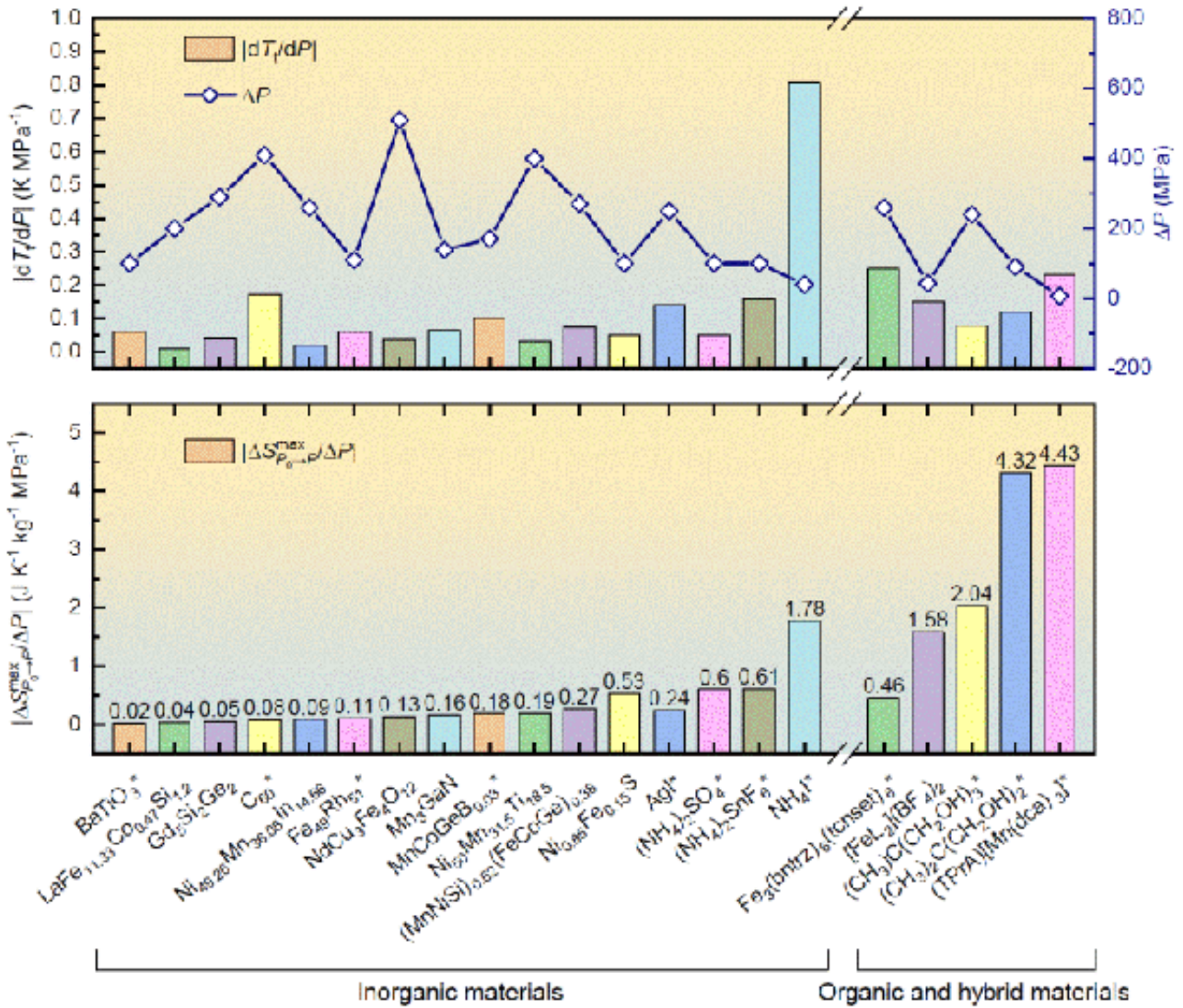


图2. 各类压卡材料的性能对比，包括相变温度的压力敏感性、饱和压力和单位压力导致的熵变

研究团队单位：金属研究所

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发