

2025 年度湖北省科学技术奖公示表（自然科学）

项目名称	非晶合金的均匀变形行为和加工硬化机制		
提名单位	华中科技大学	提名等级	一等奖
提名意见	块体非晶合金作为兼具金属和玻璃、固体和液体特性的新型亚稳态材料，以其独特原子结构和优异性能成为凝聚态物理与材料科学领域的前沿热点，在航空航天、精密机械、能源化工和生物材料等领域具有重要应用前景。然而，非晶合金在室温变形时表现出形变软化和极端脆性特征，这一困扰学术界长达 60 余年的科学难题，成为制约其工程应用的瓶颈。 在国家自然科学基金等项目的支持下，该项目通过十余年系统研究，取得了以下原创性突破：提出了直接研究单一剪切带的方法，揭示了非晶合金形变软化的内在机制，阐明了剪切带的形成规律和结构特征；创新性地提出三维应力场调控理论，突破了传统非晶合金变形理论，成功实现了块体非晶合金的单轴拉伸塑性变形；开发出三维应力压缩变形新方法，实现了非晶合金能量状态的精准调控，获得了迄今最高能态的块体非晶合金；在国际上首次实现了块体非晶合金的加工硬化，提出了加工硬化的全新变形机制，打破了 60 年来传统理论对非晶合金形变软化特征的固有认识。 该项目 5 篇代表性研究论文发表在 Nature、Nature Communications 和 Acta Materialia 等期刊上，SCI 引用 1013 次，18 次受邀在国际重要学术会议作特邀报告。研究成果被国际同行评价为“打破了现有认识”，“是金属材料变形理论的重大突破”。 该项目公示期间无异议。对照湖北省自然科学授奖条件，该项目填报材料符合要求，真实有效，同意提名申报湖北省自然科学一等奖。		
项目简介	自非晶合金问世以来，凭借其独特结构和优异性能成为凝聚态物理与材料科学领域的前沿热点，在高新技术领域展现出巨大的应用潜力。然而，与晶体合金中均匀变形伴随的加工硬化行为不同，非晶合金表现出非均匀变形和形变软化特征，致使其变形仅局域在狭窄剪切带内而导致塌方式脆性断裂，这一科学难题严重制约了其作为结构材料的工程应用。针对上述难题，该项目从非晶合金剪切变形的本质特征出发，以突破非晶合金力学性能瓶颈和发展非晶合金变形理论为目标，开展了系统性创新研究，取得的主要科学发现和成果如下： （一）阐明了非晶合金剪切带变形的本质特征与物理机制：针对非晶合金剪切带特性不明与变形机制存在重大争议的问题，基于自主开发的高塑性非晶合金体系，首创了单一剪切带研究范式，克服了传统高密度剪切带干扰的局限性。首次实验证实剪切带宽度可达 160 微米，打破了学界既有关于剪切带宽度小于 100 纳米的认识；实验上首次揭示剪切带内的体积膨胀，揭示了自由体积增加及其长程扩散是形变软化的本质机制，澄清了长久以来关于形变软化起源的学术争议。		

（二）提出了三维应力场调控非晶合金变形的新方法：针对剪切变形导致的形变局域化和室温脆性问题，突破常规剪切带调控的范式，提出三维应力场抑制剪切带形成的新方法，实现了非晶合金的均匀变形和拉伸塑性，揭示了非晶合金断裂模式从"剪切带主导"到"微孔洞形核长大主导"的转变机制；开发了三维应力压缩变形技术，实现了非晶合金能量状态的精确调控，获得了迄今报道最高能量状态的块体非晶合金；建立了自由体积演化理论模型，阐明了非晶合金在三维应力条件下的微观结构演化规律。 （三）实现了非晶合金加工硬化并提出了新加工硬化机制：针对非晶合金缺乏加工硬化行为的长久难题，提出了基于能量状态调控微观结构与变形行为的新策略。首次实现了非晶合金在单轴拉伸/压缩条件下的加工硬化，突破了传统非晶合金剪切带主导的局域化变形模式；从能量和原子结构角度，提出了非晶合金加工硬化源于结构有序化和能量降低的新机制，拓展了由 G.I. Taylor 教授提出的晶体金属加工硬化理论，为玻璃态材料的力学性能调控提供了新范式。 该项目的相关研究成果在 Nature、Nature Commun.和 Acta Mater 等期刊发表系列高水平论文。5 篇代表性论文被 Nature, Science, Nature Rev. Mater., Phys. Rev. Lett., Prog. Mater. Sci., Mater. Sci. Eng. R, Nature Commun., Matter 等 322 种期刊引用 1013 次，单篇最高引用 507 次。研究成果获得包括块体非晶合金领域奠基人 A. Inoue 教授在内的国内外 20 余位院士及国际权威学者的广泛正面引用与高度评价，认为该项目研究成果“新的纪录”，“打破了现有的认识”，“提供了新的思路”，“的确是一个非凡的构想”，“曾被认为不可能”，“对非晶态材料的工程应用起到极大的促进作用”，“85 年来金属材料变形理论的重大突破”。该项目在非晶合金变形机制理论、性能调控方法和加工硬化机制等方面取得了突破性创新成果，推动了非晶态材料科学的发展，为其工程应用奠定了重要理论基础。										
主要完成人 (完成单位)		潘杰（华中科技大学），李毅（中国科学院金属研究所），柳林（华中科技大学）								
序号	论文（专著）名称/刊名/作者	年、卷、 页码	发表时间（年 月日）	通讯作者（含 共同）	第一作者 （含共同）	国内作者	他引总 次数	检索数 据库	论文署名单位是 否包含国外单位	是否国内期刊，如 是请填写CN号
1	Strain-hardening and suppression of shear-banding in rejuvenated bulk metallic glass/ Nature/ J. Pan, Yu. P. Ivanov, W.	2020 年 578 卷 559-562 页	2020 年 2 月 26 日	Y. Li, A.L. Greer	J. Pan	潘杰，周 维华，李 毅	507	Web of Science	是	

	H. Zhou, Y. Li, A. L. Greer									
2	Extreme rejuvenation and softening in a bulk metallic glass/ Nature Communications/ J. Pan, Y. X. Wang, Q. Guo, D. Zhang, A. L. Greer, Y. Li	2018 年 9 卷 560 页	2018 年 2 月 8 日	A.L. Greer, Y. Li	J. Pan	潘杰, 王寅霄, 郭强, 张荻, 李毅	236	Web of Science	是	
3	Softening and dilatation in a single shear band/Acta Materialia/ J. Pan, Q. Chen, L. Liu, Y. Li	2011 年 59 卷 5146-5158 页	2011 年 6 月 2 日	L. Liu, Y. Li	J. Pan	潘杰, 谌祺, 柳林, 李毅	213	Web of Science	是	
4	新型块体非晶合金 Cu ₄₃ Zr ₄₃ Al ₇ Pd ₇ 的形成能力及力学性能和腐蚀性能研究/金属学报/孙阳阳, 刘兵, 谌祺, 柳	2007 年 43 卷 177-181 页	2007 年 2 月 11 日	孙阳阳	柳林	孙阳阳, 刘兵, 谌祺, 柳林	14	知网	否	21-1139/TG

	林									
5	Zr-Cu-Ni-Al-Nb 大块非晶合金的晶化行为、力学性能及电化学腐蚀行为的研究/物理学报/柳林, 孙民, 谌祺, 刘兵, 邱春雷	2006 年 55 卷 1930-1935 页	2006 年 4 月 12 日	柳林	柳林	柳林, 孙民, 谌祺, 刘兵, 邱春雷	37	知网	否	11-1958/O4