

自然科学奖公示：

项目名称	金属玻璃形变断裂机制与强度理论
提名者	中国科学院沈阳分院
提名意见	<p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议。</p> <p>该项目研究了以金属玻璃为代表的典型高强度材料在不同加载条件下的形变与断裂机制，进一步发展和完善了高强度材料断裂与强度理论。主要创新成果包括：</p> <p>1) 金属材料断裂与强度准则：提出了新的统一拉伸断裂准则—椭圆准则，把材料力学教科书上近 300 多年提出的四个经典屈服/断裂准则统一起来，并通过金属玻璃缺口拉伸实验验证了其有效性；以提出的断裂方式因子 α 为核心参数，建立了不同类型材料（金属晶体、金属玻璃、陶瓷材料）强度与硬度的本征关系以及不同应力条件下普适性强度理论。</p> <p>2) 金属玻璃形变与断裂机制：提出断裂方式因子 α 高低是不同金属玻璃发生剪切与正断机制转变的根本原因，当 α 小于 0.707 时金属玻璃发生剪切断裂，并阐明了塑性尺寸效应、剪切带渐进性扩展与其表观硬化的关联；当 α 大于 0.707 时发生正断，提出了金属玻璃波状解理断裂微观机制，阐明了破碎断裂的物理本质。</p> <p>相关成果发表在 <i>Phys Rev Lett</i>、<i>Acta Mater</i> 等 SCI 期刊上，在国内外产生了重要学术影响，推动了高强度材料断裂机制与强度理论的发展。5 篇代表性论文被 <i>Nature</i>、<i>Science</i>、<i>Nature Mater</i>、<i>Phys Rev Lett</i>、<i>Prog Mater Sci</i> 等 SCI 期刊论文他引 767 次。</p> <p>对照省自然科学奖授奖条件，提名该项目为 2021 年度辽宁省自然科学奖一等奖。</p>
项目简介	<p>强度理论是阐明材料变形断裂本质的关键理论，是优化材料力学性能的重要依据。材料力学教科书中近 300 年提出了四个经典屈服/断裂准则（最大正应力准则、Tresca 准则、Mohr-Coulomb 准则、von Mises 准则），分别用于解释不同强度金属晶态材料的变形与断裂行为。然而，对于金属玻璃这一典型高强度非晶态材料，由于其原子堆垛与排列呈长程无序、短程有序的结构特征，无位错、晶界等晶体缺陷，呈现出独特的力学性质和变形断裂机制，导致上述四大经典准则难以很好地解释其变形与断裂行为。该项研究在国家自然科学基金重大项目和国家杰出青年科学基金等项目的资助下，针对金属玻璃剪切变形与断裂理论进行了系统的研究，为金属玻璃强韧化设计和作为结构材料工程应用提供了重要的科学依据。主要科学贡献如下：</p>

	<p>1、提出了统一拉伸断裂准则—椭圆准则：$(\sigma/\sigma_0)^2 + (\tau/\tau_0)^2 = 1$，通过提出断裂方式因子$\alpha = \tau_0/\sigma_0$，不但将材料力学教科书中近 300 多年提出的四个经典屈服/断裂准则（最大正应力准则、Tresca 准则、Mohr-Coulomb 准则、von Mises 准则）统一起来，而且从理论上定量地解释了各种高强度材料在不同应力条件下断裂强度与剪切断裂角度的差异；在通过金属玻璃缺口拉伸实验验证统一断裂准则有效性的基础上，进一步以断裂方式因子 α 为核心参数，将不同材料（金属晶体、金属玻璃、陶瓷材料）压痕变形形貌划分为塌陷、剪切与开裂三种类型，建立了不同类型材料强度与硬度之间的本征关系。</p> <p>2、基于断裂方式因子$\alpha = \tau_0/\sigma_0$，将金属玻璃分为韧性和脆性两种类型，1）发现 α 较低的韧性金属玻璃以剪切带变形机制主导，提出了剪切带失稳断裂的临界剪切台阶判据，成功地建立了金属玻璃拉伸塑性与试样尺寸之间的定量关系，揭示了尺寸效应机理；2）首次从实验上证实了剪切带渐进性扩展模式，发现了金属玻璃表观硬化行为与剪切带渐进扩展之间的关联，阐明了表观硬化的内在机制；3）发现 α 较高的脆性金属玻璃以正断机制发生破坏，提出了“波状解理断裂”的微观机制，并通过能量耗散理论定量地解释了波状解理断裂伴生的纳米条纹特征，并揭示了其动态破碎断裂的微观机制及物理本质。</p> <p>相关成果发表在《<i>Physical Review Letters</i>》和《<i>Acta Materialia</i>》等 SCI 期刊上，得到了国内外材料科学与固体力学领域学者高华健院士、杨卫院士、白以龙院士、汪卫华院士、陈国良院士、胡壮麒院士、C.T.Liu 院士、A. Inoue 院士、U. Ramamurty 院士、T.G. Langdon 院士、F. Spaepen 院士、M.A. Meyers 院士、A.L. Greer 院士、C.A. Schuh 教授和 E.J. Lavernia 教授的高度评价与多次正面引用，5 篇代表性论文被 SCI 期刊论文他引 767 次，被 Web of Science 收录论文他引 860 次。</p>
<p>主要完成人（完成单位）</p>	<p>1. 姓名：张哲峰</p> <ul style="list-style-type: none"> • 排名：第一 • 行政职务：材料使役行为研究部主任 • 技术职称：研究员 • 工作单位：中国科学院金属研究所 • 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所 • 对本项目贡献：项目负责人，提出了项目学术思想，组织了项目实施，全面参与了项目实验与理论分析工作，提出了统一拉伸断裂准则，对《重要科学发现》中各项科学发现均做出了创造性贡献，是第 1、5 篇代表性论文的第一作者与通讯作者，第 2、3、4 篇论文的通讯作者。

- | |
|--|
| <p>2. 姓名：张 鹏</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：第二• 行政职务：无• 技术职称：研究员• 工作单位：中国科学院金属研究所• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：项目主要完成人，应用统一断裂准则阐述了各种不同材料强度与硬度之间的本征关系及其物理机制，进一步发展了材料的断裂与强度理论。对《重要科学发现》中第 1 项科学发现做出了创造性贡献，是第 2 篇代表性论文的第一作者。 <p>3. 姓名：伍复发</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：第三• 行政职务：材料科学与工程学院院长• 技术职称：教授• 工作单位：辽宁工业大学• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：项目主要完成人，揭示了外加应力状态对金属玻璃形变与断裂的影响规律，提出了临界剪切台阶是表征金属玻璃拉伸剪切变形能力的重要参数，定量地解释了试样尺寸对金属玻璃拉伸塑性与脆性转变的影响。对《重要科学发现》中第 2、3 项科学发现做出了创造性贡献，是第 3 篇代表性论文的第一作者和第 5 篇代表性论文的第二作者。 <p>4. 姓名：屈瑞涛</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：第四• 行政职务：无• 技术职称：教授• 工作单位：西北工业大学• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：项目主要完成人，首次实验证实了金属玻璃存在渐进性剪切带扩展模式，发现了金属玻璃表面硬化行为与剪切带渐进扩展之间的关联，进一步阐明了硬化机制。对《重要科学发现》中第 2 项科学发现做出了创造性贡献，是第 4 篇代表性论文的第一作者。 <p>5. 姓名：刘增乾</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：第五• 行政职务：无• 技术职称：副研究员• 工作单位：中国科学院金属研究所• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：项目主要完成人，利用实验、理论与模拟相结合的方法，揭示了金属玻璃的微观剪切变形与开裂机制，证实了剪切带的渐进性扩展模式。对《重要科学发现》中第 2 项科学发现做出了创造性贡献，是第 4 篇代表性论文的第二作者。 |
|--|

代表性论文（专著）目录（不超过 5 篇）									
序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页 码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	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
1	Unified tensile fracture criterion/ <i>Physical Review Letters</i> / Z. F. Zhang, J. Eckert	2005 年 94 卷 094301	2005 年 3 月 11 日	Z. F. Zhang	Z. F. Zhang	张哲峰	117	SCI	是
2	General relationship between strength and hardness/ <i>Materials Science and Engineering A</i> / P. Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang	2011 年 529 卷 62-73 页	2011 年 9 月 8 日	Z.F. Zhang	P. Zhang	张鹏 李守新 张哲峰	397	SCI	否
3	Size-dependent shear fracture and global tensile plasticity of metallic glasses/ <i>Acta Materialia</i> / F.F. Wu, Z.F. Zhang, S. X. Mao	2009 年 57 卷 257-266 页	2009 年 1 月 1 日	Z.F. Zhang	F.F. Wu	伍复发 张哲峰	107	SCI	是
4	Progressive shear band propagation in metallic glasses under compression/ <i>Acta Materialia</i> / R.T. Qu, Z.Q. Liu, G. Wang, Z.F. Zhang	2015 年 91 卷 19-33 页	2015 年 6 月 1 日	Z.F. Zhang,	R.T. Qu	屈瑞涛 刘增乾 王刚 张哲峰	59	SCI	否
5	Wavy cleavage fracture of bulk metallic glass/ <i>Applied physics Letters</i> / Z. F. Zhang, F. F. Wu, W. Gao, J. Tan, Z. G. Wang, M. Stoica, J. Das, J. Eckert, B. L. Shen, A. Inoue	2006 年 89 卷 251917	2006 年 12 月 18 日	Z.F. Zhang,	Z.F. Zhang,	张哲峰 伍复发 高薇 谭军 王中光 沈宝龙	87	SCI	是