

云南农业大学关于 2023 年度云南省科学技术奖候选项目的公示

根据《云南省科技厅关于 2022 年度云南省科学技术奖提名工作的通知》文件精神及要求，现将云南农业大学（李欢）参与提名云南省科学技术奖项目：《多相复合材料损伤演化分析的应力交互元法创新和 CAE 软件研发》予以公示。李欢为项目成果第三完成人，项目成果为博士在读期间在昆明理工大学完成。公示期 5 天，自 2023 年 4 月 23 日至 2023 年 4 月 27 日，在公示期对公示内容有异议的单位或个人，请在公示期内实名并附书面材料向云南农业大学科技处提出异议。

联系人：奚永开

电话：0871-65227712

云南农业大学科技处

2023 年 4 月 23 日

2023 年度云南省科学技术奖候选项目的公示

1、项目名称：多相复合材料损伤演化分析的应力杂交元法创新和 CAE 软件研发

2、提名者：昆明理工大学

提名等级：自然科学奖二等奖

3、项目简介：

先进复合材料是航空、航天和国防工业的关键材料之一，西方发达国家对我国实行严格限制。只有通过科技攻关和技术进步促进复合材料产业升级，才能使我国复合材料产业由生产大国向复合材料强国迈进。CAE 软件技术相对成熟，然而针对复杂材料分析的核心技术西方国家或企业为了在国际竞争中处于垄断地位对外保密。CAE 支撑“中国制造 2025”和“工业 4.0”、提高企业竞争力和保证国家安全的关键技术，在国民经济中具有举足轻重的作用。2007 年底，华为事件凸显了我国基础性工业软件的短板，给了我们更深刻的启示：国产当自强，拥有自主创新至关重要！

为了自主研发以应力杂交元新方法为核心的 CAE 软件，项目组承担国家任务，汇聚国家力量，发挥举国体制优势，协同攻关。2004 年至今项目组在 4 个国家基金项目和一个科技厅项目的持续资助下，形成了一套完整的数值模拟体系，在 DGS 实验方法明确裂纹损伤机制，Voronoi 单元数值模拟复合材料的损伤演化，多相新单元数值模拟复合材料的损伤演化，跨尺度技术，研发 CAE 软件等方面取得了 5 项重大创新和技术突破。创建了复合材料裂纹损伤模拟“中国技术”，成功的实现国有 CAE 软件的自主创新。

科学发现一：提出了一类 Voronoi 单元模拟颗粒增强复合材料损伤演化新方法，攻克了杂交元刻画复合材料界面可脱层、基体开裂、裂纹萌生扩展等材料损伤演化的难题，实现了含大量随机分布夹杂的真实多相材料细观层面全过程损伤演化的模拟。

科学发现二：针对各向同性材料断裂损伤中，裂尖奇异应力场无法定量分析的难题，克服了数字梯度敏感法（DGS）无法计算应力分量的弊端，首次实现了数字梯度敏感法（DGS）和有限元法相结合获取全场应力分量的新方法，为多相材料损伤应力场的获取提供了技术支持。

科学发现三：依据已经建立的损伤机理，针对传统有限元方法面对复杂问题的网格划分难题，在国家面上基金资助下提出了一类多相假设应力杂交元新方法。攻克了传统有限元法同一单元内只能采用一种材料的难题，实现了在同一单元内可以含有任意多相材料，且能保证材料相之间的面力和位移连续，采用简单规则网格就能完成对复杂多相材料的模拟。

技术创新一：提出了微观-细观-宏观多尺度裂纹损伤模拟新方法。实现多尺度模拟含大量随机分布夹杂的颗粒增强复合材料宏观结构在各类复杂载荷下的微观-细观损伤演化和宏观结构破坏的全过程。克服了基于均匀化假设经典理论的局限和传统细观力学模型的弊端，攻克了多尺度优化设计的瓶颈，解决了真实结构损伤演化大规模计算难题。

技术创新二：基于以上新方法，在两个国家面上基金软件专项资助下创建了自主研发、多相复合材料的宏细观跨尺度分析 CAE 系统。高效新单元的应用，大大减少了计算规模，相对于传统有限元计算量节省了 99%，使得含有百

万数量级颗粒的复合材料的模拟成为可能，攻克了传统商业软件无法真实模拟的难题。自主开发的 CAE 软件以软件售卖的方式买给国防科技大学，为固体发动机结构完整性和贮存寿命评估等多个国防项目做出重要贡献；在与兵器工业部二一一研究所的合作中，为查打无人机强度分析、部队列装红外探测器核心组件杜瓦的可靠性分析做出重要贡献。应用于与清华大学、铁科院、西门子公司等大学和企业的合作。

瞄准支撑“中国制造 2025”和“工业 4.0”的 CAE 技术，本项目组 20 多年来一直专注于应力杂交元，研发 CAE 技术核心—新单元，在材料损伤模拟方面取得了一系列重大科研成果，发表 SCI 论文 20 篇（其中一区（3）篇，2 区（11）篇），开发了一套多相材料宏细观损伤演化分析的自主 CAE 软件，打破了国外商业软件在国内的控制地位，有助于我国提高自主创新能力、掌握关键核心技术，提升产业国际竞争水平。

4、代表性论文专著目录：

文章标题	作者	第一作者	通讯作者	单位	他引次数
Modelling interfacial cracking and matrix cracking in particle reinforced composites using the extended Voronoi cell finite element method	Li, H (Li, Huan) [1] , [2] ; Guo, R (Guo, Ran) [1] ; Cheng, HM (Cheng, Heming) [1]	Li, H (Li, Huan)	Guo, Ran	Kunming Univ Sci & Technol, Engn Mech Dept, Kunming 650500, Yunnan, Peoples R China	3(5)
A two dimensional VCFEM formulated with plastic, creep and thermal	Hao, WY (Hao, WenYu) [1] ; Guo, R (Guo, Ran) [1] ; Han,	Hao, WY (Hao, WenYu)	Guo, Ran	Kunming Univ Sci & Technol, Dept Engn Mech, Kunming	0(1)

strain for simulate fatigue of porous material	N (Han, Ning) [1]			650000, Yunnan, Peoples R China	
Determination of crack tip stress intensity factors by singular Voronoi cell finite element model	Zhang, R (Zhang, Rui) [1] ; Guo, R (Guo, Ran) [1]	Zhang, R (Zhang, Rui)	Zhang, Rui	Kunming Univ Sci & Technol, Engn Mech Dept, Kunming 650500, Yunnan, Peoples R China	6(14)
Measurement of mixed-mode stress intensity factors using digital image correlation method	Zhang, R (Zhang, Rui) [1] ; He, LF (He, Lingfeng) [1]	Zhang, R (Zhang, Rui)	Zhang, Rui	S China Univ Technol, Sch Engn & Transporting, Guangzhou 510640, Guangdong, Peoples R China	68(68)
Modeling of progressive debonding of interphase-matrix interface cracks in particle reinforced composites using VCFEM	Zhang, R (Zhang, Rui) [1] ; Guo, R (Guo, Ran) [1]	Zhang, R (Zhang, Rui)	Zhang, Rui	Kunming Univ Sci & Technol, Dept Engn Mech, Kunming 650000, Yunnan, Peoples R China	0(1)
Numerical simulation of thermo-mechanical fatigue properties for particulate reinforced composites	Ran Guo •Huiji Shi • Zhenhan Yao	Ran Guo	ZRan Guo	Tsinghua University , Peoples R China	4(2)
Multiphase hybrid stress finite element analysis of heterogeneous media by simple mesh: One element	Zhang, R (Zhang, Rui) [1] ; Guo, R (Guo, Ran) [1]	Zhang, R (Zhang, Rui)	Guo, Ran	Kunming Univ Sci & Technol, Engn Mech Dept, Kunming, Yunnan,	1(2)

with one interface				Peoples R China	
Fretting Fatigue Behavior of Riveted Al 6XXX Components	Ran Guo a,* , Rui-Chun Duan b, Gerard Mesmacque b, Lixiang Zhang a, Abdelwaheb Amrouche b, Rongxin Guo a	Ran Guo	Ran Guo	Kunming University of Science and Technology	14 (14)

5、主要完成人基本情况

序号	姓名	性别	出生年月	职务/职称	文化程度	完成单位	工作单位	对成果创造性贡献
1	郭然	男	1968.6	教授	博士	昆明理工大学	昆明理工大学	郭然教授是此项目的负责人,是重要科学发现第 1、3 项和技术创新 1 和 2 的主要完成人,是第 1-7 篇代表性学术论文的作者。在杂交应力院数值模拟及 CAE 研究领域,一直领导项目组成员做出了大量创新性研究工作。在本项目中,作为负责人决定研究方向和提出研究思路,并进而指导计算和论文相关工作。
2	张蕊	女	1982.3	教授	博士	昆明理工大学	昆明理工大学	张蕊教授是重要科学发现第 1、2 项的主要完成人,是第 6、7、8 篇代表性学术论文的作者。主要完成实验方法测量损伤应力场及杂交应力元界面损伤研究。
3	李欢	女	1984.8	副教授	博士	昆明理工大学	云南农业大学	李欢副教授是重要科学发现第 1, 的主要完成人,是第 2 篇代表性学术论文的作者。主要完成颗粒增强复合材料界面脱粘和基体裂纹扩展方法开发。
4	程赫明	男	1957.5	教授	博士	昆明理工大学	昆明理工大学	程赫明教授是重要科学发现第 1 项的主要完成人,是第 2 篇代表性学术论文的作者。主要完成均质材料基体裂纹扩展方法开发。

