

2019 年度国家技术发明奖提名项目公示

项目名称	新型复合碳氮化物固溶体粉末及其含氮硬质材料与制备技术
提名者	四川省
<p>提名意见：</p> <p>我单位认真审阅了该项目的提名材料，确认全部真实有效，相关内容符合国家科学技术奖提名要求。</p> <p>WC基硬质合金及Ti (C, N) 基金属陶瓷是我国高端制造业不可或缺的关键硬质材料，被誉为“工业牙齿”，但我国高端硬质材料严重依赖进口，特别是高端切削工具的自给率仅约15%。因此，开发具有自主知识产权的高端硬质材料对保障我国先进制造等领域的自主可控发展具有重要意义。</p> <p>该项目围绕我国能源装备、航空航天和高铁等领域发展对“高强、高韧、高硬度”硬质材料的迫切需求和存在的瓶颈问题，经过十余年系统研究，发明了新型复合碳氮化物固溶体粉末材料及其高性能含氮WC基硬质合金和Ti (C, N) 基金属陶瓷与制备技术；研发出了系列化的新型复合碳氮化物固溶体粉末材料、高性能的新型含氮WC基硬质合金和“弱芯环结构”及“双硬质相结构”的Ti (C, N) 基金属陶瓷；通过与企业合作，实现了硬质材料及制品的产业化开发，建成生产线5条，近3年累计新增销售3亿元以上。相关产品在我国高端制造等领域获得了推广应用，打破了国外产品垄断，并部分出口国外。这对我国硬质材料高端化发展具有示范作用，也对我国攀西钒钛资源深加工利用具有重要意义。</p> <p>该项目技术原创性和先进性突出。获授权发明专利16项，被专家鉴定委员会评价为整体技术达国际先进水平，其中在碳氮化物复合固溶体粉末等方面处于国际领先水平，并获2017年四川省科技进步奖一等奖。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖 <u>二</u> 等奖。</p>	

项目简介（限1页）

WC 基硬质合金及 Ti(C,N)基金属陶瓷是我国能源装备、航空航天和高铁等领域自主可控、可持续发展不可或缺的关键硬质材料之一，被誉为“工业牙齿”。我国其生产量位列全球第一，但以中低端产品为主，高端产品严重依赖进口，特别是高端切削工具的自给率仅约 15%；亟待发展高性能 WC 基硬质合金及 Ti(C,N)基金属陶瓷与制备技术。

高性能 WC 基硬质合金及 Ti(C,N)基金属陶瓷开发的主要难点是：粉末原料的纯度和颗粒特性、硬质材料的微观结构等难以精准控制，严重制约其强度、韧性与硬度的同步提高。

十多年来，在国家 863、国家重大科技专项和国家自然科学基金等项目支持下，项目组紧紧瞄准其“高强、高韧和高硬度”的综合要求，提出合成新型复合碳氮化物(M*,M)(C,N)固溶体粉末材料，并以此（替代复合碳化物 M_yC_x ）为核心原料来发展高性能硬质材料的全新思路，重点攻克了“新型复合碳氮化物固溶体粉末及其可控制备技术”、“含氮 WC 基硬质合金及 Ti(C,N)基金属陶瓷难以同时兼具高强、高韧和高硬度”等难题。取得了以下主要创新成果：

1、发明了一系列新型复合碳氮化物固溶体粉末及制备技术：揭示了以钒、钛、铬等氧化物与炭黑等为原料制备复合碳氮化物固溶体粉末的冶金机理，发明了新型复合碳氮化物(V,M)(C,N)、(Cr,M)(C,N)固溶体粉末及制备技术，以及(Ti,M)(C,N)固溶体粉末制备技术。开发出了游离碳和氧含量均小于 0.35wt.%的(V,M)(C,N)、(Cr,M)(C,N)和(Ti,M)(C,N)粉末，国内外尚无此类粉末产品。为 WC 基硬质合金和 Ti(C,N)基金属陶瓷的高性能化提供了核心原料保障。

2、发明了高性能含氮 WC 基硬质合金及制备技术：揭示了 N 与 Ti、Ta、Cr、V、W、Mo 等多组元协同强韧化机制，发明了基于(Ti,M)(C,N)、(V,M)(C,N)、(Cr,M)(C,N)粉末的新型含氮 WC 基硬质合金及制备技术，实现了 WC 基硬质合金“强度”、“韧性”与“硬度”的同步提高和有机匹配。研发出了新型的高性能含氮硬质合金，并实现了生产应用与推广。为 WC 基硬质合金高性能化发展提供了理论和技术支撑。

3、发明了新型结构的 Ti(C,N)基金属陶瓷及制备技术：解析了 Ti(C,N)基金属陶瓷微观结构形成机制及强韧化机理，发明了基于 (Ti,M)(C,N)粉末的新型“弱芯环结构”和“双硬质相结构” Ti(C,N)基金属陶瓷及制备技术，解决了 Ti(C,N)基金属陶瓷强韧性差的难题。开发出了抗弯强度 $>2300\text{MPa}$ 、硬度 $\text{HRA}>91$ 和断裂韧性 $>10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 的系列 Ti(C,N)基金属陶瓷及产品。为高性能化的特种机械密封和刀具等制品提供了技术支撑。

获授权发明专利 16 项、实用新型专利 14 项。项目技术已在成量工具集团和成都邦普切削刀具等企业获生产应用，建成生产线 5 条，近 3 年累计新增销售 3 亿元以上。相关产品已在我国能源装备、高铁、航空航天等领域骨干企业推广应用，打破了国外垄断，引领了行业发展。并获 2017 年四川省科技进步奖一等奖。

客观评价（限 2 页）

1. 科技成果鉴定意见

四川省科学技术厅组织的以中国科学院院士、清华大学材料科学与工程研究院院长南策文院士为主任委员的科技成果鉴定会（鉴定证书：川科鉴字[2016]第 263 号）意见：“项目的系列多元复合过渡族金属碳氮化物固溶体粉、过渡族金属碳氮化物固溶体粉改性含氮硬质合金材料及制品、系列化新型结构的 Ti(C,N)基金属陶瓷材料研究成果具有创新性，整体技术达到国际先进水平，其中过渡金属碳氮化物复合固溶体粉和汽轮机转子轮槽加工用复杂型线整体铣刀技术处于国际领先水平。”

2. 科技查新报告结论

四川省科技成果查新咨询服务中心科分院分中心对本项目研究成果进行了科技查新（报告编号：H2016363），查新结论为：未检索到有和本项目发明点内容完全相同的相关文献报道。

3. 国家级专业机构的检测报告

经中国有色金属工业粉末冶金产品质量监督检验中心权威专业机构检测，本项目开发的系列过渡族金属碳氮化物固溶体粉的游离碳和氧含量均 $\leq 0.35\text{wt}\%$ 。经国家刀具质量监督检验中心权威专业机构检测，本项目开发的新型含氮 WC 基硬质合金的性能达到抗弯强度 4546MPa、硬度 HRA91.9；新型 Ti(C,N)基金属陶瓷的性能达到抗弯强度 $> 2300\text{MPa}$ 、硬度 HRA > 91 。

4. 国家级科研项目验收结论

本项目的 Ti(C,N)粉末及 Ti(C,N)基金属陶瓷研究获得了国家 863 计划重点项目立项支持，并通过了国家科学技术部组织的专家验收。

5. 本项目获重要科技奖励情况

项目《过渡金属碳氮化物固溶体粉及其新型硬质材料与应用》获 2017 年四川省科技进步奖一等奖。

6. 国内外学术界的引用和评价

发表代表性 SCI 论文 22 篇，SCI 他引 264 次，其创造性和先进性获得了国内外同行专家的肯定与好评。

1) 国际著名硬质合金生产和研发机构美国“Kennametal Inc.” Dev Banerjee 团队(该领域国际顶级期刊 International Journal of Refractory Metal and Hard Matreials 49(2015): 314-319)、国际知名研发机构美国“The Pennsylvania State University” A. W. Castleman 团队(顶级期刊 ACS Nano 4(2010): 49-54, IF=13.7)、国际知名金属陶瓷研发机构日本“Japan Fine Cermics Center”（该领域国际顶级期刊 International Journal of Refractory Metal and Hard Materials 42(2014): 1-8）、国际 Ti(C,N)基金属陶瓷研究领域知名学者韩国 Seoul National University 的 Kang Shinhoo (Computational Materials Science 82(2014): 51-56)、加拿大“Dalhousie University”K. P. Placknett 团队(该领域国际顶级期刊 International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 33(2012): 44-52)，世界第六大钢铁公司印度

Tata Steel 公司（该领域国际顶级期刊 *International Journal of Refractory Metal and Hard Matreials* 78(2019): 288-295）等充分肯定了本项目的研究成果。

2) 中国工程院院士、国内刀具材料领域最著名专家、山东大学艾兴教授（*Journal of alloys and compounds*,619(2015): 538-543）、国内硬质合金行业著名专家、中南大学的张立教授（*International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 48 (2015): 11-18）等充分肯定了本项目的研究成果。

7. 应用单位评价

1) 成都德联微纳科技有限公司认为“本项目的碳氮化钛粉及系列复合过渡族金属碳氮化物固溶体粉研究成果很好的解决了我国碳氮化钛基金属陶瓷和硬质合金产业链中急需的高品质 $Ti(C,N)$ 粉和系列复合过渡族金属碳氮化物固溶体粉等核心原料技术瓶颈”。

2) 成都邦普切削刀具股份有限公司：“多元复合过渡金属碳氮化物固溶体粉改性含氮硬质合金及制备创新成果，极大提升了我公司的产品市场竞争力，实现了公司的硬质合金产品升级。该成果在硬质合金行业推广应用，将能有效实现我省硬质合金与制品技术水平的整体突破”。

3) 成都岷江精密刀具有限公司：“多元复合过渡族金属碳氮化物固溶体粉改性含氮硬质材料技术成果提升了我国硬质合金工具产业国际竞争力，特别是迫使国外 **SECO** 公司的同类产品在国内降价 40%以上；该成果全面推广应用后，将产生十分显著经济和社会效益”。

4) 自贡兆强密封制品实业有限公司：“碳氮化钛基金属陶瓷机械密封等耐磨材料成果促进了公司的转型升级和跨越式发展，极大提升了公司产品的竞争力，特别是相关产品在某型号上获得应用，为我国国防建设作出了重要贡献。”

应用情况（限 2 页）

本项目技术成果 2015 年 12 月以前分别在成量工具集团、成都邦普切削刀具、成都德联微纳科技有限公司和成都岷江精密刀具有限公司等企业获生产应用，建成生产线 4 条，完成了成果的整体应用。2016 年新型 Ti(C,N)基金属陶瓷材料成果进一步在自贡兆强密封制品实业有限公司成功开发为 Ti(C,N)基金属陶瓷机械密封制品，并新建了碳氮化钛基金属陶瓷机械密封制品生产线，拓展了成果应用范围和领域。具体应用情况如下表所示：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	成都成量工具集团有限公司	高性能新型碳氮化钛基金属陶瓷工具材料技术	形成了年产 230 万/片(件)碳氮化钛基金属陶瓷数控刀具生产线	2012.01-至今	邓玲 13980026646
2	成都邦普切削刀具股份有限公司	基于多元复合过渡金属碳氮化物固溶体粉改性含氮硬质合金及制备技术	形成了年产 800 万片(件)数控刀片和整体硬质合金刀具产能	2012.10-至今	原文 13094408414
3	成都德联微纳科技有限公司	碳氮化钛粉及系列多元复合过渡族金属碳氮化物复合固溶体粉	形成 100 吨/年碳氮化钛粉的产能和 30 吨/年系列过渡族金属碳氮化物复合固溶体粉生产线	2013.08-至今	王志勇 13438291773
4	成都岷江精密刀具有限公司	基于多元复合碳氮化物固溶体粉末改性的汽轮机加工专用硬质合金刀具材料技术	已建成年产 5000 件系列汽轮机转子轮槽加工用的复杂型线整体含氮硬质合金铣刀产品和 500 万片/年相关刀片的生产线	2014.06-至今	吴宗明 13908198695
5	自贡兆强密封制品实业有限公司	新型 Ti(C,N)基金属陶瓷材料及机械密封制品技术	新建设了年产 300 万/套(件)的碳氮化钛基金属陶瓷机械密封制品以及耐磨材料的生产线	2016.06-至今	颜招强 13608158502

本项目开发的系列刀具和械密封产品已广泛应用于汽轮机等能源装备、高铁等轨道交通、航空航天等的制备加工和国防军工领域，打破了国外垄断，还迫使国外的同类产品在国内市场大幅降价，引领了我国硬质合金工业行业发展，特别是部分新型含氮硬质合金数控刀片产品已远销到欧美，不仅实现了我国硬质合金产品的升级换代，而且极大提升了我国相关产品的国际市场竞争力，为我国相关产业行业发展提供了核心保障。

主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	多元复合晶粒细化剂及其制备方法	中国	ZL201210277140.4	2016-01-27	第 1934642 号	四川大学	刘颖, 叶金文, 朱运锋	有效
发明专利	基于多元复合碳氮化钛固溶体的含氮硬质合金及制备方法	中国	ZL201210011200.8	2013-10-23	第 1290653 号	四川大学	刘颖, 叶金文, 俞海军	有效
发明专利	基于 TiCN-(Ti,M)CN 混芯结构的金属陶瓷材料及其制备方法	中国	ZL201510078838.7	2017-04-12	第 2442909 号	四川大学	刘颖, 叶金文, 王杰	有效
发明专利	一种基于 (Ti,M)(C,N) 固溶体粉的弱芯环结构新型金属陶瓷材料	中国	ZL201010123177.2	2015-07-01	第 1710064 号	四川大学	刘颖, 金永中, 叶金文, 姜中涛	有效
发明专利	(M1,M2)(CxN1-x) 粉体的推动式动态连续制备方法和推动式动态连续烧结装置	中国	ZL201510313890.6	2017-04-05	第 2437881 号	四川大学	刘颖, 叶金文, 王杰	有效
发明专利	含稀土的碳氮化钛金属陶瓷粉末及其制备方法		ZL200910058334.3	2012-11-07	第 1074983 号	四川大学	叶金文, 刘颖, 金永中, 王焱坤	有效
发明专利	含高能球磨工艺的纳米多元复合晶粒长大抑制剂制备方法	中国	ZL201410206515.7	2012-06-08	第 2100479 号	四川大学	叶金文, 刘颖, 马世卿	有效
发明专利	含钛的碳氮钼合金及制备方法	中国	ZL200910058245.9	2010-12-01	第 704985 号	四川大学	刘颖, 叶金文, 邓莉, 姜中涛, 高升吉, 涂铭旌	有效

发明专利	碳氮化钛纳米粉的多重激活制备法	中国	ZL200710049299.X	2010-02-17	第 600042 号	四川大学	刘颖, 向道平, 陈帮桥, 夏姗, 叶金文, 高升吉, 涂铭旌	有效
发明专利	纳米晶氮碳化钛陶瓷超细粉的高温碳氮化制备法	中国	ZL200510021718.X	2009-06-24	第 513014 号	四川大学	向道平, 刘颖, 赵志伟, 曹泓, 高升吉, 涂铭旌	有效

主要完成人情况						
姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
刘颖	1	院长	教授	四川大学	四川大学	对本项目三个发明点均做出了创造性贡献，是第 1-10 项发明专利的发明人。发明了多元复合晶粒细化剂及其开放体系动态连续碳氮化制备方法、含氮硬质合金和新型结构 Ti(C,N)基金属陶瓷及其关键制备技术，实现了硬质材料领域核心原料和高端硬质合金刀具的国产化。
叶金文	2	系主任	教授	四川大学	四川大学	对本项目三个发明点均做出了创造性贡献，是第 1-9 项发明专利的发明人。发明了多元复合碳氮化物固溶体粉及其开放体系动态连续碳氮化制备技术、含氮硬质合金和新型结构 Ti(C,N)基金属陶瓷及关键制备技术，实现了硬质材料领域核心原料和高端硬质合金刀具国产化。
王杰	3	无	讲师	西南大学	四川大学	第 3, 5 项发明专利的发明人。主要参与了本项目的新型“双硬质相结构”Ti(C,N)基金属陶瓷研发工作。
涂铭旌	4	无	教授	四川大学	四川大学	项目学术指导，对本项目发明点一做出了创造性贡献，是第 8-10 项发明专利发明人。发明了碳氮化钛纳米粉的多重激活制备方法和纳米晶氮碳化钛陶瓷超细粉的高温碳氮化制备方法。
金永中	5	副主任	教授	四川轻化工大学	四川大学	第 4, 6 项发明专利的发明人。主要参与了本项目的新型“弱芯环结构”Ti(C,N)基金属陶瓷研发工作。

何泽	6	总经理	高级工程师	成都邦普 切削刀具 股份有限 公司	成都邦普 切削刀具 股份有限 公司	对本项目发明点二新型含氮 WC 基硬质合金的产业化开发做出了重要贡献，与四川大学共同将新型含氮 WC 基硬质合金及其制备技术在成都邦普切削刀具股份有限公司产业化转化。
----	---	-----	-------	----------------------------	----------------------------	---

完成人合作关系说明

“新型复合碳氮化物固溶体粉末及其含氮硬质材料与制备技术”项目研究成果由四川大学的刘颖、叶金文、王杰、涂铭旌、金永中和成都邦普切削刀具股份有限公司的何泽等人合作研发，共同完成。

第二完成人叶金文教授和第四完成人涂铭旌院士均为四川大学材料科学与工程学院教师，是刘颖教授（第一完成人）课题组的主要成员，相互之间合作十余年，开展本项目的研究，共同申请发明专利，共同发表论文，共同获四川省科技进步奖一等奖。

第三完成人王杰现为西南大学讲师。王杰于 2010 年 9 月至 2017 年 9 月，在四川大学材料科学与工程学院分别师从涂铭旌院士和刘颖教授攻读硕士和博士学位，期间主要参与了本项目的新型 Ti(C,N)基金属陶瓷材料及制备关键技术研究工作。

第五完成人金永中现为四川轻化工大学教授。金永中于 2007 年 9 月至 2010 年 6 月，在四川大学材料科学与工程学院师从刘颖教授攻读博士学位，期间主要参与了本项目的新型“弱芯环结构”Ti(C,N)基金属陶瓷的研发工作。

第六完成人何泽高级工程师为成都邦普切削刀具股份有限公司的总经理，在其主持下，2012 年 10 月与四川大学刘颖教授课题组签订了“高性能钒钛硬质合金切削工具系列化研究开发”成果转化协议，并在随后与四川大学一起获得四川省科技厅成果转化专项支持，何泽是该项目的主要研发人员，与刘颖教授课题组一起在成都邦普切削刀具股份有限公司完成了上述成果的产业化转化，并于 2017 年共同获得四川省科技进步奖一等奖。