**一、项目名称**

纳米粒子气雾射流微量润滑磨削关键技术、装备与应用

**二、申报奖种**

山东省技术发明奖一等奖。

**三、项目简介**

纳米粒子气雾射流微量润滑磨削以微量润滑技术为基础，依据固体强化换热原理，并基于固体颗粒传热能力在适当条件下远大于液体和气体的事实，提出将纳米级固体粒子、润滑液与压缩气体混合雾化后以射流的形式喷入磨削区，实现有固体纳米粒子参与强化换热的微量润滑新工艺；是一种面向环境友好、资源节约和能源高效利用的可持续绿色制造新方法。项目应用前，传统机加工切削液的大量使用对加工、生态环境污染严重，成本高昂；德国具有先进的微量润滑技术但实行技术垄断；我国微量润滑技术换热能力不足的技术瓶颈一直未获突破，严重制约了冶金、交通、汽车、航空航天等行业关键零部件的精密加工制造。因此，急需研发具有自主知识产权的纳米粒子气雾射流微量润滑磨削关键技术与装备。

项目组在国家自然科学基金、国家企业创新基金和省、市、自治区计划等项目支持下，以产、学、研结合的创新科研模式，历时6年取得如下发明成果：

1、微量润滑基础油及纳米流体制备关键技术。建立了纳米流体稳定性评价理论模型，揭示了纳米粒子团聚、沉淀机理；研发了具有自主知识产权的纳米流体制备装置；针对不同工况、工件材料研发了系统的润滑油制备关键技术。

2、纳米粒子气雾射流微量润滑磨削润滑剂供给关键技术。建立了纳米粒子射流气、液、固三相流运动学及动力学模型，进行了纳米粒子气雾微量润滑磨削区流场建模仿真与实验研究；研发了3套纳米粒子气雾射流微量润滑润滑剂供给装备与5套雾化喷嘴。

3、纳米粒子气雾射流微量润滑磨削检测关键技术。发明了纳米粒子射流微量润滑磨削检测新方法，研发了3种纳米粒子射流微量润滑磨削检测装备，实现了射流雾滴粒径、纳米流体导热系数及对流换热系数、磨削液“有效流量率”的精准测量。

4、纳米粒子气雾射流微量润滑加工工艺。实现了难加工材料的高效低碳精密加工制造。与传统加工方法对比，润滑液消耗量减少至1/1000；工件表面粗糙度Ra = 0.274 ~ 0.35μm。与干式加工方法对比，比磨削能降低30-38%；G比率提高32-48%；摩擦系数降低35-48%；由切削液传出能量分配比率提高14-28%。

基于以上发明，构建了微量润滑和纳米流体气雾射流微量润滑装备生产线，近三年仅微量润滑设备新增销售额7305.42万元，新增利润1203.23万元。引领了精密制造润滑剂供给改革潮流，大幅提高了国际竞争力。

获授权发明专利41项、PCT专利6项（其中3项已进入美、澳、韩国）、实用新型专利19项、软件著作权3项；出版学术著作2部，发表SCI/EI 收录论文77篇（JCR-1区8篇、JCR-2区16篇），制定国家标准2项。西安交通大学卢秉恒院士评价：“项目具有显著的创造性和实用价值，整体上达到国内领先，国际先进水平”；中科院和教育部查新均得出结果：“该项目具有新颖性”；获得“长城质量保证中心”质量管理体系认证、两项“国家火炬计划项目”、两项“上海市高新技术转化项目”、2015年青岛市技术发明二等奖、“上海市专利试点企业”、3项山东省研究生科技创新成果奖等。

**四、客观评价**

**1、国家权威机构检测结论**

（1）教育部科技查新工作站查新报告：2016年3月查新结论，国内外公开发表的文献及INTERNET信息资源中，除了本项目完成人及其合作者发表的成果及持有专利以外，**未检索到其它与本项目查新点相同的研究报道**。

（2）中国科学院上海科技查新咨询中心，2014年10月查新结论，项目环保微量润滑剂，节能减排、环境保护效果显著，**未见国内外与项目完全相同的报道，因此，该项目具有新颖性**。2014年5月查新结论，油水气三相节能微量润滑系统，与现有技术相比，**该项目具有突出的实质性特点和显著进步**，因此，**该项目具有创新性**。

（3）合作单位上海金兆节能科技有限公司获得长城质量保证中心质量管理体系认证证书、高新技术企业证书；获得**国家火炬计划项目证书**1项、**国家火炬计划产业化示范项目证书**1项，批准机关：中华人民共和国科学技术部；

（4）上海高新技术成果转化项目认定办公室，先后认定两项子项目为上海市**高新技术成果转化项目**。

**2、项目验收意见**

（1）国家自然科学基金验收意见：项目（51005024）于2014年4月验收：项目验收意见，准予结题；项目（51175276）于2015年12月验收：项目高质量完成了相关研究，准予结题。

（2）2013年9月湖南科技计划项目验收意见，同意验收；2013年2月湖南省自然科学基金验收意见，该项目已按要求高质量完成相关研究，同意结题。

**3、院士、专家推荐意见**

（1）西安交通大学卢秉恒院士评价意见：该项目利用固体强化换热的原理，提出了一种纳米粒子参与强化换热的气雾式微量润滑磨削新方法，**发展了一种清洁、高效、低耗、高表面完整性的低碳精密磨削加工新工艺**。该项目在纳米流体微量润滑方面取得了丰富的创新性成果，解决了微量润滑换热能力不足的技术瓶颈，为微量润滑在零件加工制造应用开辟了一条新途径。**项目具有显著的创造性和实用价值，整体上达到国内领先，国际先进水平**。

（2）国际生产工程学会（CIRP）和美国机械工程师学会（ASME）Fellow、国家“千人计划”教授张壁：**该项目是一种面向环境友好、资源节约和能源高效利用的可持续绿色制造新方法**，开发了的具有自主知识产权的微量润滑基础油及纳米流体制备关键技术、纳米粒子气雾射流微量润滑磨削润滑剂供给系统与关键技术、纳米粒子气雾射流微量润滑磨削检测装备与关键技术，为微量润滑在磨削加工中应用开辟了一条新途径。**项目具有显著的创造性、前沿性和工程应用价值，整体上达到国内领先，国际先进水平。**

**4、国内外重要科技奖励（8项）**

（1）2015年青岛市技术发明奖二等奖1项；（2）山东省高校优秀科研成果一等奖1项、三等奖1项；（3）山东省研究生优秀科技创新成果奖一等奖1项、二等奖2项，指导教师李长河；（4）山东省优秀研究生学位论文奖2项，指导教师李长河。

**5、制订国家标准（2项）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 类型 | 标准名称 |
| 1 | 国家标准 | [绿色制造 亚干式切削 第1部分:通用技术要求](http://www.spsp.gov.cn/page/P1507/236.shtml) [[GB/T 31210.1-2014](http://www.spsp.gov.cn/page/P1507/236.shtml)] |
| 2 | 国家标准 | [绿色制造 亚干式切削 第2部分:微量润滑系统技术要求](http://www.spsp.gov.cn/page/P1507/235.shtml)  [[GB/T 31210.2-2014](http://www.spsp.gov.cn/page/P1507/235.shtml)] |

**6、同行学术评价**

（1）意大利国家研究委员会知名教授Luigi Zecca在国际顶级期刊（**Progress in Neurobiology，2014，影响因子10.301**）发表学术论文，正面评价了本项目提出的“纳米粒子强化换热理论” 并借鉴此理论进行研究工作：“in addition, they can be used as additives in minimum quantity lubrication systems, allowing very low friction and wear, and leading to lower temperature in grinding zone with respect to lubricant devoid of NPs” (**Li et al., 2013**; Guo et al., 2014)。

（2）美国耶鲁大学知名教授Sang Won Lee在JCR-1区期刊（**Journal of Cleaner Production,影响因子3.844**）发表学术论文，印度知名学者K Rajkumar在著名期刊（Materials Science Forum，2015）发表论文，均对本项目提出的“植物油基纳米粒子气雾射流微量润滑”技术给与高度评价。

（3）磨削加工领域国际知名学者、澳大利亚工程院院士、新南威尔士终身教授Zhang Liangchi教授在制造领域知名国际期刊（International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014）的学术论文上，引用本成果关于磨削损伤层形成机理的理论成果解释其实验现象和仿真结果。

# （4）印度矿业大学知名教授[Amit Rai Dixit](https://www.researchgate.net/profile/Amit_Dixit4)发表在制造领域知名国际期刊（Materials and Manufacturing Processes，2015）学术论文，采用了1页的篇幅详细介绍了申请人的“微量纳米流体喷雾冷却磨削”技术，该论文多次引用、正面评价了申请人的研究成果，并采用申请人提出的磨削技术进行对比性研究。

（5）意大利知名学者Umbrello教授在制造领域知名国际期刊（International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013）的学术论文上，正面评价了申请人的研究工作：

“Mao et al. investigated the affected layers formed in grinding of AISI 52100 steel. They found that the dominant factor determining the white layer formation during grinding of hardened steel grinding is the thermal effect”.

（6）King Fahd University of Petroleum and Minerals大学知名教授Ahmet Z. Sahin在制造领域JCR-1区期刊（Journal of Heat Transfer，2015）发表论文，正面评价了本项目提出的“MoS2/CNT混合纳米粒子气雾射流微量润滑”技术。

**7、用户评价**

浙江双环传动机械股份有限公司采用本项目技术改造**插齿加工生产线**，山东兖矿轻合金有限公司采用本项目技术改造**高速锯切生产线，**青岛诚通达机械有限公司采用本技术改造**船舶工件零部件加工生产线，**

青岛青锻锻压机械有限公司采用本技术改造**冲压生产线/冲压加工工艺。**用户反馈意见中，都给与了高度评价：“**提高生产效率，节省成本，同时在技能减排、环境保护方面效果显著···”**、“**切削液用量大大减少、加工效率大大提高、锯片使用寿命大大延长···”、“提高了零件加工效率和加工精度，同时对生产线环境和生态环境改善效果显著···”**等。

**8、知识产权及培养人才**

获授权发明专利41项、PCT专利6项（其中3项已进入美、澳、韩国）、实用新型专利19项、软件著作权3项；出版学术著作2部，发表SCI/EI 收录论文77篇（其中**JCR-1区5篇、JCR-2区12篇**）。第一完成人培养**博士研究生3人、硕士研究生38人**，其中已毕业研究生25人。

**五、推广应用情况**

项目已经和上海金兆节能科技有限公司合作并转化为生产，项目产品自2010年采用边研制边生产销售和应用以来**已经取得了6000余万元的销售收入**；6年来，公司的项目产品销售收入年增长率均在30%左右的速度增长。按项目产品的销售情况估算，**2015年后每年可减少2万吨以上废润滑油/切削液对环境的排放**，随着产品销售的增长这个数字也将逐年倍增。目前已在国内500多个金属加工企业成功应用，包括中国中车、中国铝业、上海大众、一汽大众、上海电气、中国二汽、晟通集团、华峰股份、常铝股份、亚太科技、双环传动、丛林集团、宁波富邦、浙江巨科、三花股份、万达铝业、万丰奥威、明泰铝业、鑫泰铝业、山东兖矿、秦川机床、法士特、平阳重工、捷安特、奥里伯斯、上海亚西亚等企业进行了使用，用户反映效果良好，大大减少了用户的润滑油的使用成本，降低对环境和工人的危害，提高了生产效率。同时已经成功配套三十多家机床生产商：如晨龙锯床、金工机械、日发精机、雷德数控等。

项目技术同时应用于青岛博捷环保工程有限公司，对生产发电、化工、矿山、炼油、船用设备关键零部件加工采用的“纳米粒子气雾射流微量润滑磨削关键技术与装备”进行生产线改造，每年可减少切削油液90%以上，直接采购成本约为传统使用切削油液的1/10，废弃切削油液的处理成本约为采购成本的1/3。

**六、主要知识产权证明目录**

1．《一种凸轮滚子式超声波振动纳米流体混合装置》ZL201310117588.4

2．《纳米粒子射流微量润滑磨削润滑剂供给系统》ZL201210153801.2

3．《纳米粒子射流微量润滑磨削雾滴粒径的测量方法与装置》ZL201310430277.3

4．《低温冷却与纳米粒子射流微量润滑耦合磨削介质供给系统》ZL201310180218.5

5.《油水气三相节能微量润滑系统》ZL 201410012609.0

6.《油水气三相微量润滑系统专用微量润滑剂及其制备方法》ZL201410265031.X

7．《纳米流体导热系数及对流换热系数测量装置》ZL201110221334.8

8.《磨削液有效流量率及动压力的测量装置及方法》ZL201210084224.6

9.《纳米粒子射流条件下工件表面微凸体油膜形成工艺与装置》ZL201310084438.8

10. 《一种纳米流体磨削工艺及设备》ZL 200910207606.1

**七、主要完成人情况**

1.姓名：李长河，排序：1/6，职称：教授，工作单位：青岛理工大学，贡献具体描述：

项目的总负责人并承担总体方案设计、技术研发与装备设计等工作。除以上工作外，主要负责发明专利方案设计、技术装备研发测试和部分实验研究工作。以主持人申请了支撑项目研发的“国家自然科学基金”2项，以第一完成人获得知识产权2~4、7~10，SCI收录论文7~9。

参与项目过程中对创新点1~4做出贡献：对创新点1的贡献是：设计了纳米流体混合装置，支撑材料为：知识产权1；对创新点2的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液供给装置，支撑材料为：知识产权2、3、4；对创新点3的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削检测装置，支撑材料为：知识产权7、8、9；对创新点4的贡献是：发明了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削工艺，支撑材料为：知识产权9、10。

获奖情况：2014山东省高等学校优秀科研成果奖一等奖（1/5）；青岛市技术发明二等奖（1/5）

2.姓名：张乃庆，排序：2/6，职称：工程师，工作单位：上海金兆节能科技有限公司，贡献具体描述：

项目的主要完成人之一，承担方案设计、技术研发与装备生产等工作。除以上工作外，主要负责发明专利方案设计、技术装备研发测试等工作。申请了支撑项目研发的“科技型中小企业技术创新基金”一项，以第一完成人获得知识产权6，第二完成人获得知识产权2、4、5。获得“长城质量保证中心”质量管理体系认证、两项“国家火炬计划项目”、两项“上海市高新技术转化项目”、“上海市专利试点企业”。对项目产品生产、产业化应用做出主要贡献。

参与项目过程中，对创新点1、2做出贡献：对创新点1的贡献是：发明了了微量润滑基础油，支撑材料为：知识产权6；对创新点2的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液供给装置，支撑材料为：知识产权2、4、5。

3.姓名：侯亚丽，排序：3/6，职称：实验师，工作单位：青岛理工大学，贡献具体描述：

项目的主要完成人之一，主要承担实验研究方案设计与实验数据测试等工作，投入此项技术研究工作量占本人工作量的60%。为发明专利的方案的设计和优化做出创造性贡献，以主要完成人身份参与了支撑项目研发的“国家自然科学基金”2项，以第一完成人获得知识产权1，其他完成人获得知识产权2、4、10，发表SCI收录论文8、10。

参与项目过程中，对创新点1、2、4做出贡献：对创新点1的贡献是：设计了纳米流体混合装置，支撑材料为：知识产权1；对创新点2的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液供给装置，支撑材料为：知识产权2、4；对创新点4的贡献是：发明了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削工艺，支撑材料为：知识产权10。

获奖情况：2014山东省高等学校优秀科研成果奖一等奖（2/5）；青岛市技术发明二等奖（3/5）

4.姓名：张彦彬，排序：4/6，职称：博士研究生，工作单位：青岛理工大学，贡献具体描述：

项目的主要完成人之一，主要承担技术研发、实验研究、实施和实验数据测试等工作，投入此项技术研究工作量占本人工作量的80%。以主要完成人身份参与支撑项目研发的“国家自然科学基金”2项。参与项目过程中，以其他完成人获得知识产权2、4，以第一完成人发表SCI收录论文1。

参与项目过程中，对创新点2、4做出贡献：对创新点1的贡献是：设计了纳米流体混合装置，支撑材料为：知识产权1；对创新点2的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液供给装置，支撑材料为：知识产权2、4；对创新点4的贡献是：实验研究了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液有效流量率提高方法，支撑材料为：论文1。

获奖情况：青岛市技术发明二等奖（5/5）。

5.姓名：毛聪，排序：5/6，职称：副教授，工作单位：长沙理工大学，贡献具体描述：

项目主要完成人之一，主要承担项目中的理论建模与实验研究工作，投入此项技术研究工作量占本人工作量的60%，负责对发明专利中的方案和设备进行理论分析与实验优化。以主持人申请了支撑项目研发的“国家自然科学基金”、“湖南省自然科学基金”、“湖南省科技计划项目”各一项。参与项目过程中，以第一完成人发表SCI收录论文2~6。

参与项目过程中，对创新点4做出贡献：实验研究了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削冷却润滑性能，支撑材料为：论文1~6。

获奖情况：湖南省科技技术进步二等奖（4/8）；青岛市技术发明二等奖（2/5）

6.姓名：吴启东，排序：6/6，职称：工程师，工作单位：上海金兆节能科技有限公司，贡献具体描述：

项目的主要完成人之一，承担方案设计、技术研发与装备生产等工作，投入此项技术研究工作量占本人工作量的70%。除以上工作外，主要负责发明专利方案设计、技术装备研发测试等工作。申请了支撑项目研发的“科技型中小企业技术创新基金”一项。以其他完成人获得知识产权2、4、5、6。

参与项目过程中，对创新点1、2做出贡献：对创新点1的贡献是：发明了了微量润滑基础油，支撑材料为：知识产权6；对创新点2的贡献是：设计了纳米粒子气雾射流微量润滑磨削液供给装置，支撑材料为：知识产权2、4、5。

**八、完成人合作关系说明。**

本项目组成员多年来围绕共同的科学问题和研究目标，即“纳米粒子气雾射流微量润滑磨削关键技术、装备与应用”进行长期产、学、研合作及科研攻关，自然形成了本项科研成果。6位项目完成人来自3个主要完成单位，青岛理工大学、金兆节能科技有限公司和长沙理工大学，自项目开启日期，3个单位即展开了产、学、研合作。青岛理工大学和长沙理工大学作为产、学、研合作中的校方，主要负责项目科研攻关、人才培养等工作；金兆节能科技有限公司作为产、学、研合作中的企业，主要负责把科研成果转化为可以带来经济效益的生产力，项目推广的工作。

以第1完成人李长河为项目带头人，具体合作关系如下：

第2完成人张乃庆、第6完成人吴启东分别为金兆节能科技有限公司副总经理与总经理，自2010年至今一直同第1完成人李长河保持着高度紧密的产、学、研合作关系；

第5完成人毛聪为长沙理工大学副教授，自2010年至今一直同第1完成人李长河保持着高度紧密的科研合作关系；期间在项目、论文、团队及研究生培养等方面具有紧密的合作关系。

第1完成人李长河、第3完成人侯亚丽和第4完成人张彦彬同为青岛理工大学**机械设计与制造山东省重点实验室**、**快速制造国家工程研究中心青岛示范中心学**术骨干。第1完成人李长河是第4完成人张彦彬硕博连读导师。

**完成人合作关系情况汇总表（样表）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 | 备注 |
| 1 | 授权专利 | 李长河1/张乃庆2/侯亚丽3/张彦彬4/吴启东6 | 2010.01~2015.12 | 1、纳米粒子射流微量润滑磨削润滑剂供给系统2、低温冷却与纳米粒子射流微量润滑耦合磨削介质供给系统 | 知识产权2、4 | 青岛理工大学/上海金兆节能科技有限公司产学研合作 |
| 2 | 论文合著 | 李长河1/张彦彬4/毛聪5 | 2010.01~2015.12 | Improvement of useful flow rate of grinding fluid with simulation schemes | 发表论文1 | 青岛理工大学/长沙理工大学科研合作 |
| 3 | 共同获奖 | 李长河1/侯亚丽3/张彦彬4/毛聪5 | 2010.01~2015.12 | 青岛市技术发明二等奖 | 附件35 | 青岛理工大学/长沙理工大学科研合作 |
| 4 | 授权专利 | 李长河1/侯亚丽3/ | 2010.01~2015.12 | 1、一种凸轮滚子式超声波振动纳米流体混合装置2、纳米粒子射流微量润滑磨削润滑剂供给系统3、低温冷却与纳米粒子射流微量润滑耦合磨削介质供给系统4、一种纳米流体磨削工艺 | 知识产权1、2、4、10 | 青岛理工大学科研骨干合作 |
| 5 | 论文合著 | 李长河1/侯亚丽3/ | 2010.01~2015.12 | 发表SCI论文8、10 |  | 青岛理工大学科研骨干合作 |