

## **(109-421) 科学技术进步奖公示材料**

一、项目名称：数控机床用带有热气补偿的变频温控系统

二、提名单位：廊坊市科技局

三、项目简介：高端装备制造业现代化的工业的基础。近年来随着我国工业化进程的加速，以高端数控机床为代表的高端装备制造业的蓬勃发展，特别是我国提出中国制造 2025 以来，随着消费电子类产品、高精尖设备的蓬勃发展，采用超高速加工技术加工高硬度、高刚性材料方面有着优秀的加工精度和表面质量。因此这项技术在各类装备制造业中得到越来越广泛的应用，正在成为当今金切加工的主流技术。高精度、超高速电主轴单元是承载高速切削技术的主体之一，是高精度、高效率高档数控机床的核心功能部件，是航空航天、汽车、船舶、精密模具、精密机械等尖端产品制造领域所需高档加工母机的核心部件。作为高端数控机床重要功能部件的温度管理系统也在控制精度、能效管理方面有了更高要求。

该项目在控制精度和能效管理方面，直流变频技术是近几年发展起来的一项工业制冷控制技术，它采用 IGBT 等大功率半导体器件作为核心元件，采用计算机 PID 算法进行精细控制。可以对压缩机、循环泵、风机等部件进行转速的闭环控制。由于采用了 PID 数学算法和精细频率控制使得温度管理系统的控制精度提升了一个数量级。传统工业温度管理系统采用 ON/OFF 控制逻辑，控制精度一般不超过 $\pm 1K$ ，而采用了直流变频技术的工业温度管理系统温度控制精度可以轻松达到 $\pm 0.1K$ ，如果采用高精度传感器和 14 位以上的 A/D 转换器，控制精度可以突破 $\pm 0.05K$ 。

直流变频技术的另一个优势在于采用了永磁同步电机作为动力部件和精细频率控制逻辑使得温度管理系统的能耗大幅度降低。拿一个降温散热控制系统来说，传统的定频压缩机能效比大约是 2.2W/W 左右；而采用了直流变频技术后其能效比可以达到 2.8W/W 左右。耗电量可以降低 30%左右。

采用直流变频技术的温度管理系统在控制精度方面有着明显的优势。传统的工业温控装置通用的制冷机通过压缩机启停来控制温度，控制精度通常在 $\pm 1K$ ，不足以满足高速电主轴温度控制的精度要求。而使用直流变频技术的温度管理系统，通过精确控制压缩机转速进行制冷能量的调节，可以做到无级调节，控制精度提高一个数量级，可以保证数控机床精度更高且工作更加稳定。同时压缩机没有频繁启停的问题，所以温度管理系统的可靠性和整机寿命大幅度提高。此外直流变频压缩机可以根据负载不同自动调整压缩机的运转频率进行能量调节，运行更接近理论状态，能源效率更高。

#### 四、主要完成单位及创新推广贡献：

主要完成单，三河同飞制冷股份有限公司。我国电主轴的产业化起步较晚，与瑞士、德国、日本、台湾等国家和地区相比，国内电主轴行业在研发实力、产品性能、业绩口碑等方面还有较大差距，在市场竞争中往往处于弱势地位。近年来，在某些细分领域(如玻璃雕铣机电主轴领域)，国内部分厂家凭借日臻完善的研发实力和制造水平，已研制出具备较强竞争力的电主轴产品，并凭借性价比优势占据越来越高的市场份额。

中国 2012 年以来已成为全球最大的机床消费国。全球市场电主轴消费

量近年来逐年攀升，增速虽有放缓，但仍保持在 8%以上。中国市场电主轴消费量 2014 年较 2010 年翻了一番，增长率保持在 14%以上，远高于世界总体水平，国内市场未来空间广阔。

机床电主轴市场空间超 10 亿元。国内机床消费量在约为 8~10 万台/年，数控化率逐渐提高，需要匹配相应的电主轴。目前单台普通机床的价格约为 3~5 万元，而数控机床价格 10~100 万元不等，大型高端数控车床、车铣复合机床等还需要定制开发，价格并无上限。按照 80%的数控化率计算，车床电主轴的市场空间接近 10~20 亿元。做为高速电主轴配套的关键功能部件，直流变频控制温度管理系统推广市场也会随着国产电主轴的快速发展不断扩大。

该项目项目成果已在国内外 20 多家单位获得成功应用，产品覆盖全国各地，销往全球 10 多个国家和地区。相关技术成果以实现产业化与批量化销售。国外主要应用客户：德玛吉森精机、德国埃马克、德国斯来福林、日本电产、日本大隈等。

国内主要客户包括全国机床行业重点骨干企业：北一大隈（北京）机床有限公司、广东科杰机械自动化有限公司、深圳市万嘉科技有限公司、宁波海天精工股份有限公司、核工业理化工程研究院等。

典型应用一：数控机床的应用数控机床作为高效益，高精度的加工机床，要求有高的精度稳定性。数控机床的设计和制造必须充分考虑热变形对加工精度的影响，所以数控机床的冷却系统就显得尤为重要。典型厂家应用情况：德国瓦尔特（WALTER）是联合磨削集团旗下工具磨床品牌，工具磨床及测量机，世界领先的工具磨削技术公司之一。产品系

列包括 HELITRONIC 系列万能数控工具磨床以及 HELICHECK 自动非接触式测量机床。WALTER 为工具磨床市场提供先进的技术，其产品线包括 HELITRONIC VISION 工具磨床（所有轴均采用线性/扭矩电机）和 HELITRONIC POWER 通用数控工具磨床。

典型应用二：核工业理化工程研究院是专业研究绿光激光器单位，绿光激光器紫外激光器、深紫外激光器在军事、工业、医学、印刷等方面有着广泛的应用,使用绿光作为泵浦源是目前产生紫外、深紫外激光最有效、最广泛的方法。激光发生器、光路系统等核心部件温度控制技术，温度变化对激光发生器工作稳定性有直接影响,该项目产品凭借高精度、低能耗、稳定性强特点，被采用。

典型应用三：宁波海天精工股份有限公司是专业制造数控机床的企业，主要产品龙门加工中心、卧式加工中心、立式加工中心、数控落地镗、数控车、数控立车。产品主要应用在机床的主轴冷却。

杭州友佳精密机械有限公司拥有全系列的机种，从立式、卧式加工中心系列、龙门型 5 面、5 轴加工中心、CNC 车床等。是我国少数出口全系列全功能数控机床厂商，全国外资企业中最具规模的数控机床生产厂。产品主要应用在机床的主轴冷却和减速箱的润滑、冷却系统。

## 五、应用情况及效益情况

我国电主轴的产业化起步较晚，与瑞士、德国、日本、台湾等国家和地区相比，国内电主轴行业在研发实力、产品性能、业绩口碑等方面还有较大差距，在市场竞争中往往处于弱势地位。近年来，在某些细分领域（如玻璃雕铣机电主轴领域），国内部分厂家凭借日臻完善的研发实力

和制造水平，已研制出具备较强竞争力的电主轴产品，并凭借性价比优势占据越来越高的市场份额。

中国 2012 年以来已成为全球最大的机床消费国。全球市场电主轴消费量近年来逐年攀升，增速虽有放缓，但仍保持在 8%以上。中国市场电主轴消费量 2014 年较 2010 年翻了一番，增长率保持在 14%以上，远高于世界总体水平，国内市场未来空间广阔。

机床电主轴市场空间超 10 亿元。国内机床消费量在约为 8~10 万台/年，数控化率逐渐提高，需要匹配相应的电主轴。目前单台普通机床的价格约为 3~5 万元，而数控机床价格 10~100 万元不等，大型高端数控车床、车铣复合机床等还需要定制开发，价格并无上限。按照 80%的数控化率计算，车床电主轴的市场空间接近 10~20 亿元。做为高速电主轴配套的关键功能部件，直流变频控制温度管理系统推广市场也会随着国产电主轴的快速发展不断扩大。

该项目项目成果已在国内外 20 多家单位获得成功应用，产品覆盖全国各地，销往全球 10 多个国家和地区。相关技术成果以实现产业化与批量化销售。国外主要应用客户：德玛吉森精机、德国埃马克、德国斯来福林、日本电产、日本大隈等。

国内主要客户包括全国机床行业重点骨干企业：北一大隈（北京）机床有限公司、广东科杰机械自动化有限公司、深圳市万嘉科技有限公司、宁波海天精工股份有限公司、核工业理化工程研究院等。

典型应用一：数控机床的应用数控机床作为高效益，高精度的加工机床，要求有高的精度稳定性。数控机床的设计和制造必须充分考虑热变

形对加工精度的影响，所以数控机床的冷却系统就显得尤为重要。典型厂家应用情况：德国瓦尔特（WALTER）是联合磨削集团旗下工具磨床品牌，工具磨床及测量机，世界领先的工具磨削技术公司之一。产品系列包括 HELITRONIC 系列万能数控工具磨床以及 HELICHECK 自动非接触式测量机床。WALTER 为工具磨床市场提供先进的技术，其产品线包括 HELITRONIC VISION 工具磨床（所有轴均采用线性/扭矩电机）和 HELITRONIC POWER 通用数控工具磨床。

典型应用二：核工业理化工程研究院是专业研究绿光激光器单位，绿光激光器紫外激光器、深紫外激光器在军事、工业、医学、印刷等方面有着广泛的应用,使用绿光作为泵浦源是目前产生紫外、深紫外激光最有效、最广泛的方法。激光发生器、光路系统等核心部件温度控制技术，温度变化对激光发生器工作稳定性有直接影响,该项目产品凭借高精度、低能耗、稳定性强特点，被采用。

典型应用三：宁波海天精工股份有限公司是专业制造数控机床的企业，主要产品龙门加工中心、卧式加工中心、立式加工中心、数控落地镗、数控车、数控立车。产品主要应用在机床的主轴冷却。

杭州友佳精密机械有限公司拥有全系列的机种，从立式、卧式加工中心系列、龙门型 5 面、5 轴加工中心、CNC 车床等。是我国少数出口全系列全功能数控机床厂商，全国外资企业中最具规模的数控机床生产厂。产品主要应用在机床的主轴冷却和减速箱的润滑、冷却系统。

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权类别	知识产权名称	权利人	授权号	专利有效状态
1	已授权发明专利	蓄冷装置及水冷系统	三河同飞制冷股份有限公司	201711026326.1
2	已授权实用新型专利	一种双电子膨胀阀控制的高精度制冷机	三河同飞制冷股份有限公司	201721122272.4
3	已授权实用新型专利	一种采用 EC 风机的工业制冷机组	三河同飞制冷股份有限公司	201721122292.1
4	已授权实用新型专利	一种数控机床用恒流供水的变频水冷机	三河同飞制冷股份有限公司	201920932669.2
5	已授权实用新型专利	一种基于单片机的冷水机 PID 控制器	三河同飞制冷股份有限公司	201721156468.5
6	已授权实用新型专利	一种带人机对话处理功能的工业冷却机	三河同飞制冷股份有限公司	201920509126.X
7	已授权实用新型专利	一种多层空气过滤网	三河同飞制冷股份有限公司	201920932695.5
8	已授权实用新型专利	一种工业制冷机	三河同飞制冷股份有限公司	201920933201.5
9	已颁布企业标准	数控机床高精度主轴变频冷却（热泵）机组	三河同飞制冷股份有限公司	Q/SH196 11-2020

## 七、主要完成人情况：

排名	姓名	身份证号	电话	邮箱

1	陈振国	131082197610280350	13831607696	chenzhenguo@tfzl.com
2	刘振波	131082197910191034	13833677332	liuzhnebo@tfzl.com
3	马建海	131082197604232918	13831690672	majianhai@tfzl.com
4	郑凯	131082198312170430	18832662921	zhengkai@tfzl.com
5	张伟华	131082197311220315	13513263104	zhangweihua@tfzl.com

## 七、完成合作关系说明及完成人合作关系汇总表：

### 完成人合作关系说明

陈振国作为本项目的第一完成人，提出了本项目的研究方法、原理设计方案，负责总体研发方案的设计。在本项目中负责解决了低转速振动规避、低温精度控制等关键技术。

刘振波该项目主要完成人，参与本项目研究方案、原理设计。本项目中参与变频控制系统压缩机驱动及电子膨胀阀驱动设计工作，解决了变频制冷机低温精度控制问题。

马建海是该项目主要完成人，参与了该项目的研究方法、原理设计。在该项目中负责制冷系统原理设计、制冷配置确定、制冷参数确认等关键工作，为本项目顺利完成起到了至关重要的作用。

郑凯是该项目主要完成人，参与了本项目研究方法、原理设计方



案。在本项目中负责制冷系统换热设计、控制方案设计和结构设计。

张伟华是本项目的主要完成人，参与了本项目的研究方案和原理设计方案。在本项目中负责控制软件及原理设计的关键技术开发工作。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项	陈振国	2018-2019	专利	2.1.1、2.5.4、 2.14.10、2.5.6	
2	共同立项	刘振波	2018-2019	专利	2.5.9、2.5.2、 2.14.10	
3	共同立项	马建海	2018-2019	专利	2.5.3、2.5.5	
4	共同立项	郑凯	2018-2019	专利	2.5.7	
5	共同立项	张伟华	2018-2019	专利	2.5.8	