

发电设备制造业刀具国产化应用探讨

哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司顾问 顾祖慰

大型能源装备制造国产化



当前我国发电设备制造业发展十分迅速，大型超临界、超超临界和百万级核电设备的制造已遍及东北、西南、华东和华北等地。由于大型机组一般要在高温、高压工况下工作，因此很多产品零件采用了高强度合金钢、不锈钢和镍基高温合金、钛合金等难加工材料，而这些材料的切削加工性能都较差，以往大量采用进口刀具是发电设备制造厂采取的重要措施，因为进口刀具质量相对比较稳定，国内企业目前能提供的刀具与之相比，在性能、质量、效率和寿命等方面的确还存在着不小的差距。但进口刀具价格昂贵，有的较国内同类刀具高达6~7倍，且供货周期长，适应不了用户的要求。特别是当前各发电设备制造厂为实现降本、增效的目标，纷纷将降低进口刀具的品种、数量和资金作为一条重要措施。从前几年各制造发电设备的大型汽轮机厂来看，刀具年进口额达1~2.5亿元（人民币），数额不小。因此，为降低生产成本，进行刀

具国产化应该说是一条重要措施。但刀具国产化可行性怎么样？采用国产刀具后会不会影响产品的加工质量，影响生产进度？这是一个值得探讨的问题。

从近年来全国主要的汽轮机厂、电机厂逐步采用国产刀具来替代进口刀具的实例来看，选用优质的国产刀具基本不会影响产品的加工质量和进度，且基本能满足生产的需要。其主要原因是一些国家骨干工具厂，如株洲钻石切削刀具股份公司（简称株钻）、厦门金鹭特种合金有限公司（简称厦门金鹭）、哈尔滨第一工具厂（简称哈一工）和哈尔滨量具刀具厂（简称哈量）等，近年来配置了不少国际一流的加工设备和检测仪器，同时也加强了技术人员在国内外的培训和新型、高效刀具的研发。

刀具国产化途径

目前国内实施的刀具国产化主要途径有：

1. 创新自制

典型的例子是哈尔滨汽轮机厂（简称哈汽）和东方汽轮机厂（简称东汽），二厂原来加工汽轮机转子纵树型轮槽，刀具基本都依赖进口，哈汽每年向国外订购各类规格的轮槽铣刀的资金在3 000万元左右，但该二厂经过添置高精度进口设备和仪器，创新自制，至今开发、生产出来的轮槽铣刀已经基本能满足工厂生产的需要，其中有些刀具设计和关键制造技术已获得专利，和国外同类刀具在使用中效率和寿命的对比，毫不逊色，且有的涂层刀具寿命超过了进口刀具。如二厂研发的纵树型轮槽铣刀（结构形式见图1）经过专家鉴定，一致认为已达到国外同类刀具的水平。



图1 加工汽轮机转子纵树形轮槽铣刀结构形式

2. 合作开发研制

纵树型叶根拉刀是加工船机、核电机组等产品的关键刀具，该类刀具制造精度高（型线和形位公差），要求刀具变形小、寿命长，进口刀具价格昂贵（高达数10万元/组），后经哈汽和浙江恒锋工具公司等单位合作开发，纵树型叶根拉刀终于研制成功并应用于生产。采用同样的方法，哈汽和牡丹江工具有限责任公司合作研制的加工不锈钢材料的SM35N牌号的可转位铣刀片取得了显著的加工效果，其刀片达到国外同类刀具的水平，且该牌号的材料已获得国家专利，并在全国铣削不锈钢材料部件上应用，上海汽轮机厂和厦门金鹭联合开发的超细晶粒整体硬质合金铣刀，经过一年多的合作开发、试验、改进，其切削效率和刀具寿命基本上达到国外同类刀具。株钻近期和哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司合作，对该厂核岛部件堆焊镍基合金材料上进行平面铣削，其加工效率达到德国某公司同类刀具的切削水平，但价格仅为进口刀具的1/3，深受操作工人欢迎。

3. 购置国内工具厂名牌刀具

国内很多工具厂近年来开发研制出了不少新型先进高效刀具，并采用先试验（试用或和国外同类刀具进行切削性能对比）后改进，最后经过验证合格并经使用工厂认为能满足产品加工要求后再予以订购，如哈量生产的硬质合金浅孔钻，哈一工生产的大直径硬质合金粗精复合面铣刀，西南工具厂研发的铝高速钢波形刃立铣刀，太原工具厂的可换头式螺旋立铣刀等，这些刀具都是国内著名工具厂商的优质名牌刀具，其加工效率、切削性能已基本达到国外同类刀具水平，其中如由哈一工开发研制的发电机转子槽大直径盘形可转位铣刀也已替代进口刀具应用于国内发电机厂转子槽加工。上述各厂典型的国产高效铣刀结构如图2~图4所示。



图2 大直径硬质合金粗精复合铣刀



图3 铝高速钢波形刃铣刀



图4 株钻的高效螺旋立铣刀

刀具国产化推广建议

由上述各项使用实例来看，国内研制的很多刀具由于在刀具材料选用、结构改进、制造技术的突破、几何参数选择合理等综合因素处理得当，使我国整体刀具制造水平有了一定程度的提高。目前，我国制造的部分刀具可以替代进口，这也给我们进一步开展刀具国产化增强了信心，使我们看到在发电设备制造行业刀具国产化大有可为。

为在发电设备行业加速并在更大范围和场合研发、推广应用国产刀具，建议可采取下列必要的措施：

（1）由中国刀协或用户行业协会牵头，针对行业的共性产品、加工关键或共性技术，由工具生产、科研（院校）和使用单位，共商刀具国产化计划，并制订切实可行的措施，根据急需和可行性程度分批、分期解决。

（2）为加速国产刀具的研发和推广速度，产、学、研、用单位的合作，应以用户单位为主，因为用户单位最需要这些高效新刀具以便于解决影响生产的瓶颈，同时大量的刀具试验必须结合生产实际，现场验收后，刀具才能正式移交生产应用。

（3）研制、推广国产刀具必须有分有合，原则上新刀具的设计、制造应由国内工具厂和研究所（院校）主要负责，但有的项目可让有条件、有设计制造能力的使用单位负责，但根据需要也可双方参与合作。对国内刀具厂研制的新刀具，工具厂应向用户单位进行技术交底和服务，并对有关工艺、技术人员和操作工人进行技术培训，使他们能正确、合理地使用新刀具。

（4）对难加工材料（高温合金、钛合金、不锈钢）的刀具，应优先研究并必须取得切实的加工效果后予以推广。

（下转第32页）

理论上成立。

这里应该强调的是：坐标偏移量并不等同于位置度，它只是用来计算位置度的参数。总而言之，在这里轴线长度为332mm，直径为0.02mm的圆柱空间，才是二级行星架行星轮定位孔的极限位置边界。谈到这里，大家对 $\phi 0.02\text{mm}$ 位置度要求应该有更清醒的认识了。可以说这是一项非常苛刻的技术要求。

现在我们来分析影响二级行星架位置度超差的主要因素有：①材料与铸造内应力肯定是存在的，只有通过时效处理来消除，尤其是精加工前应做透去应力热处理，将应力变形减少到最小。②合理安排加工工艺，一定要细化粗、精加工工序，工艺上要尽量少留精加工余量。③做准做好定位基准面（两处 $\phi 600^{+0.088}_{+0.044}\text{mm}$ ），形位误差尽量控制在最小。④机床设备必须在恒温恒压车间里。⑤机床设备自身的精度要高。当然，人的因素也异常关键。

以上几个因素中机床设备自身精度是影响位置度误差的最主要因素。二级行星架主要的加工设备是数控立车和立式加工中心。我单位有齐齐哈尔2.5m数控立车端面跳动0.015mm/1000mm，径向跳动0.015mm/1000mm；台湾友嘉2m×4m龙门加工中心定位精度0.019mm，重复定位精度0.015mm，循圆精度0.015mm。外协单位德国德马吉2.5m立式加工中心定位精度0.015mm，重复定位精度0.006mm。通过对机床的校验分析我们认为，要想达到 $\phi 0.02\text{mm}$ 位置精度，合格概率只有30%。经过试加工，三件产品在三坐标检测（海克斯康桥式三坐标测量机，自身精度0.005mm）结果如下：

1号工件： $f_1=0.018\text{mm}$ ， $f_2=0.026\text{mm}$ ， $f_3=0.07\text{mm}$ 。

2号工件： $f_1=0.011\text{mm}$ ， $f_2=0.033\text{mm}$ ， $f_3=0.048\text{mm}$ 。

3号工件： $f_1=0.011\text{mm}$ ， $f_2=0.020\text{mm}$ ， $f_3=0.035\text{mm}$ 。

实测数据告诉我们，现有机床设备还不能完全满足如此高精度的加工要求，即使是目前世界顶尖级的德马吉机床，其自身定位精度也只能达到0.015mm，加上重复定位精度0.006mm，谁也不敢说有100%的把握保证如此高的位置度要求。

影响二级行星架齿轮定位孔位置精度的因素环

节来自于方方面面，尤其是机床数控系统人为无法控制，坐标移动完全依赖全闭环数控系统，定位误差与重复定位误差往往同时存在，这两项误差累积若大于或等于产品的公差值工件能够保证加工合格吗？显然是不现实的，况且，在校正加工测量全过程中系统误差无时不在。只要有一个偶然因素的存在就有可能造成产品超差，因此，我们千万不能因为二级行星架形状简单而忽视了它的加工难度。

根据以上分析，我们认为，要想加工出精度合格的二级行星架，除了对文中提到的影响二级行星架孔位置精度的五个主要因素进行严格的质量控制之外，关键是要从设计上综合考虑零件的使用性能和加工工艺性，调整整体结构，给定准确合理的孔位置公差值。目前，为了弥补高精加工的不足，国外富有经验的设计公司在风电齿轮箱设计时，大量采用柔性轴等均载机构来改善行星齿轮啮合状况，同时可以放宽行星架上行星轮定位孔的位置精度而降低加工难度和生产成本。最后，在产品试装配检测时我们发现，二级行星架行星轮定位孔位置度若小于0.04mm，齿轮啮合面积均大于90%，啮合侧隙完全合格。

以上分析是我们通过实践总结摸索出的浅显认识，希望业内同行精英多多指教。MW

（收稿日期：20120305）

（上接第15页）

（5）不定期召开国产刀具研发专题交流会，并有针对性地组织技术攻关，探讨解决刀具国产化中出现的问题。

刀具国产化是一项长期的工作，指导方针应是先易后难、先急后一般，并能脚踏实地取得实效，稳步前进。

刀具国产化并不是说以后我们不再需要进口国外刀具，而是说进口刀具时我们要更加慎重，要货比三家，国内优质并能替代国外同类水平的刀具，我们应予以优先考虑，但对于工厂急需的国外高性能、高水平并能取得高效、高质量、高寿命、能解决我们加工难题或有其特色的刀具，我们还应进口。另外用好国外具有时代特色的新刀具，能给予我们启示，为我们今后研制、开发更高水平的刀具创造有利条件。MW（收稿日期：20120612）