

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0003.003

基于微量润滑的机床再制造清洁化提升方法*

杜彦斌^{1,2}, 余川^{2,3}, 汪浩^{2,4}

(1. 重庆工商大学 制造装备机构设计与控制重庆市重点实验室, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 机械工程学院, 重庆 400067; 3. 重庆万盛福耀玻璃有限公司, 重庆 400800; 4. 隆鑫通用动力股份有限公司, 重庆 400052)

摘要:针对我国机床加工过程中仍大量使用切削液、整体清洁化程度不高的问题,提出了一种基于微量润滑的机床再制造清洁化提升方法;方法基于微量润滑技术对老旧机床实施再制造清洁化提升,包括老旧机床绿色化问题及污染源分析、再制造清洁化提升可行性分析、微量润滑装置的选用及设计(包括机械管路系统设计、电气控制系统设计两个部分)、机床结构匹配与再设计等过程;某齿轮加工机床的应用案例表明:采用微量润滑技术,可有效提升老旧机床的清洁化水平,经济及环境效益显著。

关键词:机床;清洁化提升;微量润滑;再制造

中图分类号:TH17 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-058X(2020)03-0023-06

0 引言

可持续发展以及资源环境问题已成为当前我国经济与社会发展关注的焦点,为此我国努力建设资源节约型、环境友好型社会,积极发展循环经济,推进生态文明建设。再制造是一种资源循环、高附加值再利用的技术手段,成本仅为新产品制造的 30%~50%,节能 60%,节材 70% 以上^[1]。机床具有耐久性、服役周期长、价值高等特点,再制造潜力巨大。机床再制造充分利用老旧机床资源,可形成比原机床功能更强、性能更优并具有节能减排、绿色环保等特点的机床;是一种低成本地实现制造企业加工能力恢复与提升的手段^[2-3]。由于原机床在设计与制造过程中并未考虑机床的清洁化,这使得机床在加工过程中,产生大量的油雾、油污、噪声等污染,影响车间环境及工人健康。在制造企业绿色化转型背景下,迫切需要利用再制造等技术手段实现机床的清洁化提升。

机床的污染问题很大原因来源于加工过程中使用大量切削液,为此可采用微量润滑(Minimal Quantity Lubrication, MQL)等技术减少切削液用量及其带来的污染。目前,国内外已有大量研究机构对微量润滑的理论、原理与技术展开了研究,并将微量润滑与其他技术相融合,取得了很多有应用价值的技术成果,可以广泛应用于车削、铣削、磨削、钻削等加工过程。Sharma 等^[4]对传统的微量润滑与纳米流体微量润滑在不同加工工艺下对加工性能的影响进行综述与对比分析。Banerjee 等^[5]建立了钛合金微量润滑加工过程的摩擦模型,并进行了实验与数值仿真分析,用以确定最优的滑动速度、流量、气体压力等微量润滑参数。袁松梅团队等^[6-8]开展了微量润滑冷却机理的研究,尤其是不同冷却方式、不同参数对切削力、刀具磨损、表面粗糙度和切屑的影响机理,可为获得最优的冷却效果、加工性能提供参考;并对润滑剂特性、喷嘴、微量润滑增效技术等展开了研究。何宁、李亮^[9-11]团队开展了多项微量润滑实验研究,并对微量润滑系

收稿日期:2019-09-11;修回日期:2019-10-20。

* 基金项目:国家自然科学基金(51775071);重庆市技术创新与应用示范(社会民生类)一般项目(CSTC2018JSCX-MSYBX0334);国家级大学生创新创业训练计划项目(201811799001)。

作者简介:杜彦斌(1982—),男,副教授,博士,从事绿色制造与再制造研究。

统参数对切削加工性能、切削环境空气质量的影响以及冷却润滑性能进行了分析。李长河团队^[12]等对纳米流体微量润滑磨削的热力学作用机理、界面摩擦学特性、表面形貌机理等理论展开了研究,并开展了不同工况、参数条件下的实验研究。多项研究结果表明微量润滑技术可以大大减少切削液用量,改善车间环境,并有效减小切削力,提高刀具寿命和工件表面质量。

拟将微量润滑技术融入机床再制造过程,利用微量润滑技术对清洁化程度不高的老旧机床实施再制造与清洁化提升,达到减少切削液使用量、提高机床清洁化水平的目的。

1 机床再制造清洁化提升的需求分析

在国家大力推进绿色发展的背景下,大量制造企业面临绿色化转型,拟改变原来加工车间地面油污滴漏严重、空气油雾油烟弥漫、粉尘重、噪声大、能耗高等环境问题,实现企业清洁化生产。机床是制造企业的重要资产,承担着大部分零部件的加工任务。机床的技术水平代表了企业的加工能力及加工水平。加工车间的环境污染问题与机床的加工过程有直接联系。大量在役机床在原设计与制造过程中并未考虑清洁化加工,而且经历服役多年之后,出现了精度丧失、功能退化、资源能源效率低下等问题。为此,针对我国在役的量面广的老旧机床,有必要对其污染源进行分析,从源头上分析老旧机床目前的状态,从根本上解决老旧机床存在的清洁化问题,提出针对性的老旧机床清洁化提升方法。

机床加工过程是一个消耗资源与能源(含各种原材料、辅料等)、输出产品、伴随产生环境排放的过程,如图 1 所示为机床加工过程的输入输出示意图。机床加工过程主要存在原材料、刀具、切削液等资源消耗以及电力等能源消耗。加工后输出工件的同时,产生切屑、热量、噪音、粉尘、有害气体及飞溅出的切削液等。产生的切屑中夹杂着切削液等,如果没有经过分离与处理,易造成油污污染;产生的热量易加快刀具磨损速度,减少刀具的使用寿命;输出的噪音易产生噪音污染;粉尘和有害气体易形成空气污染;废弃的切削液以及切削液的挥发、滴漏,产生刺激性气味,并产生油雾、油烟、油污等污染。

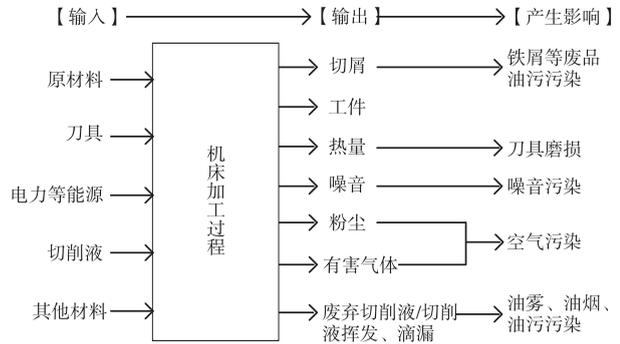


图 1 机床加工过程输入输出示意图

Fig. 1 Schematic diagram of input and output of machine tool processing

根据图 1 可知,噪音、粉尘和有害气体对环境及工人健康会造成一定影响;切削液产生的油雾、油烟、油污等不仅对人体健康危害大,并导致车间环境污染,尤其是废弃的切削液如果不经环保处理,会造成极大的环境污染问题。传统的老旧机床为了提高冷却效果、改善加工性能,往往采用大流量的浇注式冷却方式,从而导致切削液污染严重。由此可见,机床加工过程中的污染很大一部分来源于切削液的使用,尤其是油基切削液。为实现加工车间的清洁化生产,需要开发环境友好的切削液或者实现少无切削液的绿色切削,在保证工件加工精度及表面质量、刀具使用寿命的前提下,减少切削液用量,避免油雾、油烟、油污污染。

2 机床再制造清洁化提升过程分析

2.1 微量润滑原理简介

微量润滑将空气、氮气或二氧化碳等压缩气体与极少量的润滑剂混合汽化,形成毫米、微米级的液滴,通过喷嘴高速喷射到切削区域进行冷却与润滑,是一种绿色的冷却润滑方式^[6]。机床加工过程中采用微量润滑,切削液经过雾化之后形成气液两相流,粒子尺寸小、渗透能力增强,可以减少摩擦及摩擦热;当与温度较高的工件接触时,微小液滴吸收热量并汽化,汽化液滴渗透能力更强,更易进入切削区域的刀具与切屑、刀具与工件的接触界面,起到冷却、润滑的作用,而且相比于传统的供液冷却润滑方式效果更佳^[9]。

2.2 机床再制造清洁化提升过程

目前,老旧机床整体清洁化程度较低,如不采取再制造的技术手段提升其清洁化程度,势必会导致机床报废而造成资源的浪费,而且更换清洁化水

平高的新设备成本高昂。针对老旧机床很大一部分污染来自于切削液使用的问题,并结合微量润滑的优势及其原理,利用再制造的技术手段,对老旧机床实施清洁化提升,如图2所示。

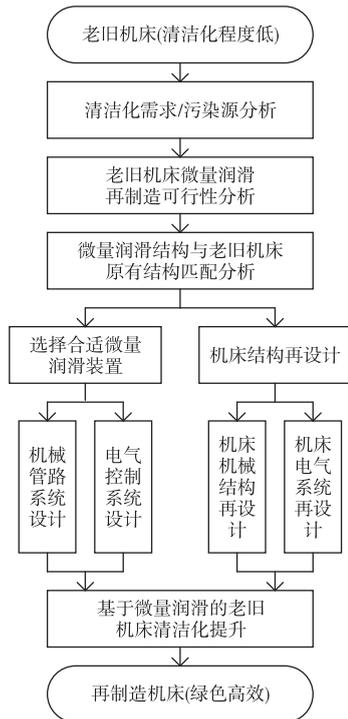


图2 机床再制造清洁化提升过程图

Fig. 2 Process diagram of cleanliness improvement of machine tool remanufacturing

主要步骤包括:(1)针对清洁化程度较低的老旧机床,确定其主要的污染源,分析其清洁化升级的个性化需求;(2)分析老旧机床采用微量润滑技术实施再制造与清洁化提升的可行性,并重点对微量润滑结构与老旧机床原有结构进行匹配分析,不同的加工方式需要选择不同的微量润滑装置结构以及润滑剂传输方式;(3)利用微量润滑对老旧机床实施清洁化提升,需要完成微量润滑装置的机械管路系统设计及电气控制系统设计,相对应的需要对老旧机床的机械结构及电气系统进行匹配性的再设计,最终实现老旧机床的再制造与清洁化提升,实现绿色高效加工。

2.3 机床再制造清洁化提升的实施

2.3.1 微量润滑装置的选用及设计

微量润滑装置主要由空气压缩机、油泵、油箱、气动频率发生器、各种控制阀、喷嘴系统、管路及各种电气与控制元件等构成,是一种机电液气一体化装置,不同厂家、类别、型号的产品的组成有所不同^[9]。如图3所示为某型微量润滑装置的三维示

意图,零件构成包括①油箱;②接头/气压表;③进气口;④油水分离器;⑤电磁换向阀;⑥气动频率发生器;⑦油量调节钮;⑧空气流量阀;⑨箱体;⑩万向节喷嘴;⑪加油口。

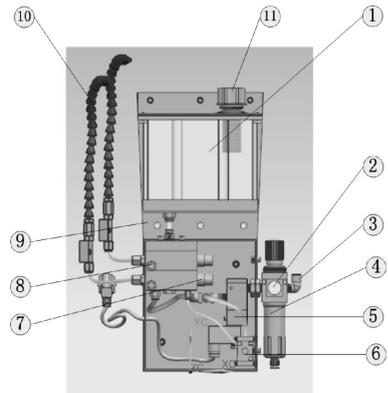


图3 某型微量润滑装置三维示意图

Fig. 3 3D diagram of one MQL device

微量润滑装置的选用及设计需要注意以下方面:

(1)针对不同的加工方法,需选择相对应的外冷式或内冷式的结构,其中外冷式的气雾由机床外部引入并在刀具外部供给,主要适用于车床、铣床、锯床等使用外冷刀具的机床;内冷式的气雾通过机床主轴、经刀具的内孔并由端部喷出,主要适用于加工中心及使用内冷钻头、内冷铣刀等内冷刀具的加工。

(2)需要结合原机床结构、机床主轴转速、换刀频率等因素,确定采用单通道还是双通道的结构,其中单通道方式需要单独的雾化装置,并将雾化液与压缩空气混合通过一个通道传输到喷嘴,结构简单、制造方便;双通道方式不需要单独的雾化装置,内部小通道输送微量切削液,外部大通道输送压缩空气,在靠近喷嘴处利用喷嘴进行雾化,可解决油雾不均匀、管路复杂等问题,主要应用于主轴转速较高、换刀频繁的场所^[13]。

(3)喷嘴的布局对于冷却效果也有一定影响,应针对各加工方法的运动形式、刀具的形状与尺寸等,对喷嘴进行合理布置,以提供更可靠、效果更佳的润滑;喷嘴具有圆形喷嘴、宽范围喷嘴、环形喷嘴等不同的形状选择。

(4)压缩空气压力、润滑油用量等影响着油雾油滴颗粒的大小,进而影响接触界面的冷却润滑效果,这就需要对空气压力、润滑油量等进行控制与优化,需要对空气压力调节器、压力表、泵频率调节器、泵排量调节器、电磁阀等电液气控制元件

进行选用与设计。微量润滑装置可以选用数字 I/O 接口通信方式,与机床的电气控制系统实现联动控制,通过控制电磁换向阀实现微量润滑系统的启动、停止等操作,并通过程序实现对空气压力大小、润滑油量、报警信号、系统指示灯等的控制。

2.3.2 机床结构匹配与再设计

采用微量润滑方式替换原有的浇注式冷却系统所需的切削液箱、切削液泵、净化过滤装置及各种管路系统,简化了机床结构,减少了机床的占地面积。部分老旧机床在原始设计阶段,并未考虑未来的技术改造与升级,部分结构并不适合于微量润滑。为此,针对老旧机床利用微量润滑技术进行清洁化提升,受到机床原有结构的约束,相对应的需要对机床结构进行匹配与再设计。

(1) 尽可能地利用老旧机床的原有结构。如果采用外冷式微量润滑系统,老旧机床不需要做结构上的大的改动,有充足的安装与使用空间即可。如果采用内冷式微量润滑系统,机床的主轴结构需要进行匹配性的再设计,并将原有机床的刀具更换为带内部通道的刀具,对刀具的结构及参数进行再设计。

(2) 不仅要考虑机械结构的匹配,也要考虑电气控制系统的匹配。为实现微量润滑装置与机床加工状态的匹配,机床的电气控制系统以及 PLC 程序等需要一定程度的再设计与修改,实现与微量润滑电气控制系统的兼容。

(3) 为避免热量集中造成机床热变形,有时候需要补充辅助装置。由于切屑带有大量热量,温度较高,可以在老旧机床原有集屑箱的底部加装切屑传送带将切屑直接传送清理出去。

3 案例及效果分析

某齿轮制造车间主要生产各类汽车、工程机械等行业所需齿轮零部件,拥有滚齿机、剃齿机、插齿机等各类齿轮加工机床数十台。齿轮加工过程尤其是滚齿加工中刀齿断续切削、易磨损,产生较多的切削热,所使用的传统的滚齿机仍然采用油基切削液和或水基切削液以浇注式冷却以达到冷却润滑、排屑、防锈的效果,给车间环境造成了很大的污染。如图 4 所示为齿轮加工车间地面,由于切削液的跑冒滴漏导致环境状况不佳。



图 4 加工车间地面污染状况

Fig. 4 Ground pollution situation in the workshop

为此,结合滚齿加工特点以及微量润滑的技术优势,可以对在役滚齿机进行再制造与清洁化提升。滚齿机可以选用外冷式微量润滑结构,并设置 3 个喷嘴将微米级的油雾液滴粒子喷射至滚齿加工区域,可以提供良好的润滑油膜,抑制滚齿加工摩擦热的产生,降低滚刀的磨损,提高滚刀的寿命。利用微量润滑技术,对齿轮加工车间的老旧滚齿机床进行再制造与清洁化提升,如图 5 所示为加装微量润滑装置的再制造滚齿机,虽然冷却润滑效果还可以进一步提高,但其技术、经济与社会等综合效益显著。



图 5 再制造与清洁化提升后的滚齿机

Fig. 5 Gear hobbing machine after remanufacturing and cleanliness improvement

(1) 微量润滑将润滑剂以微米级雾粒的方式喷出,不会产生切削液的飞溅,减少了机床周边环境的油污、油液污染;利用喷嘴以喷雾的形式直接对切削区域进行精准式的冷却润滑,可避免切削液在空气中的弥漫对环境造成的污染,防止油雾、油烟以及刺激性气味的产生,改善了齿轮加工车间的空气质量。

(2) 微量润滑的切削液用量极少,相比已有方式可减少 80% 以上,减少了废弃切削液的产生量,降低了成本,而且大多数采用的可降解的植物型润

滑剂对人体基本无危害;同时,微量润滑泵比冷却液循环泵更省电,并去除了切削液回收装置,降低了机床的能源消耗。

(3) 减小了刀具与工件(齿坯)、刀具与切屑之间的摩擦,切削条件得到改善,延长了刀具(滚刀、插刀等)使用寿命,提高了齿轮的加工精度及表面质量,提高了加工效率,降低了加工成本。

4 结 论

目前,我国制造企业在役的老旧机床清洁化程度低,造成车间环境不佳。经分析发现老旧机床清洁化程度低的主要原因在于切削液的使用,为此将微量润滑技术引入机床再制造,提出一种基于微量润滑的机床再制造清洁化提升方法。

(1) 采用微量润滑技术对老旧机床进行再制造与清洁化提升,需要注意微量润滑结构与老旧机床原有结构的匹配分析,最终形成匹配、适用的微量润滑机械与管路系统、电气控制系统,并相应的对老旧机床结构进行再设计。

(2) 应用案例表明,利用微量润滑技术对老旧机床进行再制造后,可以提高机床的加工效率、加工精度及清洁化水平,减少车间环境污染,实现老旧机床提档升级,支持制造企业低成本地实现绿色化转型升级以及绿色工厂建设。

(3) 目前,微量润滑技术在机床再制造领域的应用还较少,与老旧机床相匹配的微量润滑装置以及相关参数的设置与优化并不完善,尤其是一些新型的微量润滑技术的发展还未得到广泛的应用,这使得冷却润滑效果还需要进一步提高。为此,需要在微量润滑原理及参数优化、机床结构与刀具匹配、切削工艺参数优化以及新技术应用等方面开展更多基础性的研究工作,推动微量润滑技术在老旧机床上的应用。

参考文献(References):

[1] 徐滨士. 中国再制造工程及其发展[J]. 中国表面工程, 2010, 23(2): 1—6
XU B S. Remanufacture Engineering and Its Development in China[J]. China Surface Engineering, 2010, 23(2): 1—6(in Chinese)

[2] 曹华军, 杜彦斌, 张明智, 等. 机床再制造与综合提升内涵及技术框架[J]. 中国表面工程, 2010, 23(6): 75—79
CAO H J, DU Y B, ZHANG M Z, et al. Connotation

and Technology Framework of Machine Tool Remanufacturing and Comprehensive Upgrading [J]. China Surface Engineering, 2010, 23(6): 75—79 (in Chinese)

- [3] 杜彦斌, 杨勇, 王洲. YX3120 系列滚齿机修复与再制造方案[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2018, 35(4): 69—74
DU Y B, YANG Y, WANG Z. Repair and Remanufacturing Solution of YX3120 Gear Hobbing Machine[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2018, 35(4): 69—74(in Chinese)
- [4] SHARMA A K, TIWARI A K, DIXIT A R. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Machining Processes Using Conventional and Nanofluid Based Cutting Fluids: A Comprehensive Review[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 127: 1—18
- [5] BANERJEE N, SHARMA A. Development of A Friction Model and Its Application in Finite Element Analysis of Minimum Quantity Lubrication Machining of Ti-6Al-4 V [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2016, 238: 181—194
- [6] 袁松梅, 朱光远, 王莉. 绿色切削微量润滑技术润滑剂特性研究进展[J]. 机械工程学报, 2017, 53(17): 131—140
YUAN S M, ZHU G Y, WANG L. Research Progress on Lubricant Characteristics of Green Cutting Micro-Lubrication Technology [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(17): 131—140(in Chinese)
- [7] 袁松梅, 韩文亮, 朱光远, 等. 绿色切削微量润滑增效技术研究进展[J]. 机械工程学报, 2019, 55(5): 175—185
YUAN S M, HAN W L, ZHU G Y, et al. Recent Progress on the Efficiency Increasing Methods of Minimum Quantity Lubrication Technology in Green Cutting[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(5): 175—185(in Chinese)
- [8] 严鲁涛, 袁松梅, 刘强. 油雾再利用喷嘴及切削试验研究[J]. 润滑与密封, 2009, 34(3): 28—31
YAN L T, YUAN S M, LIU Q. Experimental Research on Oil Mists Recycle Nozzle [J]. Lubrication Engineering, 2009, 34(3): 28—31 (in Chinese)
- [9] 赵威, 何宁, 李亮, 等. 微量润滑系统参数对切削环境空气质量的影响[J]. 机械工程学报, 2014, 50(13): 184—189
ZHAO W, HE N, LI L, et al. Investigation on the Influence of System Parameters on Ambient Air Quality in Minimum Quantity Lubrication Milling Process [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(13): 184—189(in Chinese)

- [10] 苏宇, 何宁, 李亮. 高速车削中低温最小量润滑方式的冷却润滑性能[J]. 润滑与密封, 2010, 35(9): 52—55
SU Y, HE N, LI L. Cooling and Lubricating Performance of Cryogenic Minimum Quantity Lubrication Method in High Speed Turning[J]. Lubrication Engineering, 2010, 35(9):52—55(in Chinese)
- [11] 苏永生, 李亮, 王刚, 等. 织构化刀具切削性能测试及切削温度仿真分析[J]. 润滑与密封, 2018, 43(3): 92—97
SU Y S, LI L, WANG G, et al. Performance Testing of Textured Tool and Simulation Analysis of Cutting Temperature [J]. Lubrication Engineering, 2018, 43(3):92—97(in Chinese)
- [12] 李长河. 纳米流体微量润滑磨削理论与关键技术[M]. 北京: 科学出版社, 2017
LI C H. Theory and Key Technologies of Minimum Quantity Lubrication in Grinding with Nanofluids [M]. Beijing: Science Press, 2017(in Chinese)
- [13] 陈彦君, 霍卫军, 耿海洋, 等. 高速加工中心刀具微量润滑, 冷却系统改造[J]. 制造技术与机床, 2014(2): 133—137
CHEN Y J, HUO W J, GENG H Y, et al. The Transformation for Micro Lubrication and Cooling System of Tools in the High Speed Machining Center [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2014(2): 133—137(in Chinese)

Cleanliness Improvement Method of Machine Tool Remanufacturing Based on Minimal Quantity Lubrication

DU Yan-bin^{1,2}, YU Chuan^{2,3}, WANG Hao^{2,4}

(1. Chongqing Key Laboratory of Manufacturing Equipment Mechanism Design and Control, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. College of Mechanical Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 3. Chongqing Wansheng Fuyao Glass Co. Ltd., Chongqing 400800, China; 4. Loncin Motor Co., Ltd., Chongqing 400052, China)

Abstract: In view of the problems that cutting fluid is still used in the process of machine tools and their cleanliness degree is too low, a cleanliness improvement method of machine tool remanufacturing based on minimal quantity lubrication is proposed. This method introduces the technology of minimal quantity lubrication to implement cleanliness improvement for used machine tools based on remanufacturing, including the procedures of analysis of cleanliness problem and pollution source of used machine tools, feasibility analysis of cleanliness improvement by remanufacturing, selection and design of equipment of minimal quantity lubrication (including mechanical piping system design and electrical control system design), structure matching and redesign of used machine tools, and so on. The application case of a gear cutting machine shows that the use of minimal quantity lubrication can improve the cleanliness of used machine tools effectively, and the economic and environmental benefits are remarkable.

Key words: machine tool; cleanliness improvement; minimal quantity lubrication; remanufacturing

责任编辑: 田 静

引用本文/Cite this paper:

杜彦斌, 余川, 汪浩. 基于微量润滑的机床再制造清洁化提升方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 37(3): 23—28

DU Y B, YU C, WANG H. Cleanliness Improvement Method of Machine Tool Remanufacturing Based on Minimal Quantity Lubrication[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(3): 23—28