

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 1 月 4 日 (04.01.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/000720 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 30/20 (2020.01) **B23Q 17/20** (2006.01)
B23Q 17/09 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/108646
- (22) 国际申请日: 2022 年 7 月 28 日 (28.07.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210736994.8 2022年6月27日 (27.06.2022) CN
- (71) 申请人: 西安交通大学 (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。
- (72) 发明人: 张俊 (ZHANG, Jun); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。白乐乐 (BAI, Lele); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。唐宇阳 (TANG, Yuyang); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。张会杰 (ZHANG, Huijie); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。赵万华 (ZHAO, Wanhua); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。
- (74) 代理人: 西安通大专利代理有限公司 (XI'AN TONG DA PATENT AGENCY CO., LTD.); 中国陕西省西安市高新区锦业路32号, Shaanxi 710075 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR TOOL WEAR MONITORING UNDER VARIABLE WORKING CONDITION BASED ON CUTTING FORCE COMPONENT DECOUPLING

(54) 发明名称: 基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法及系统

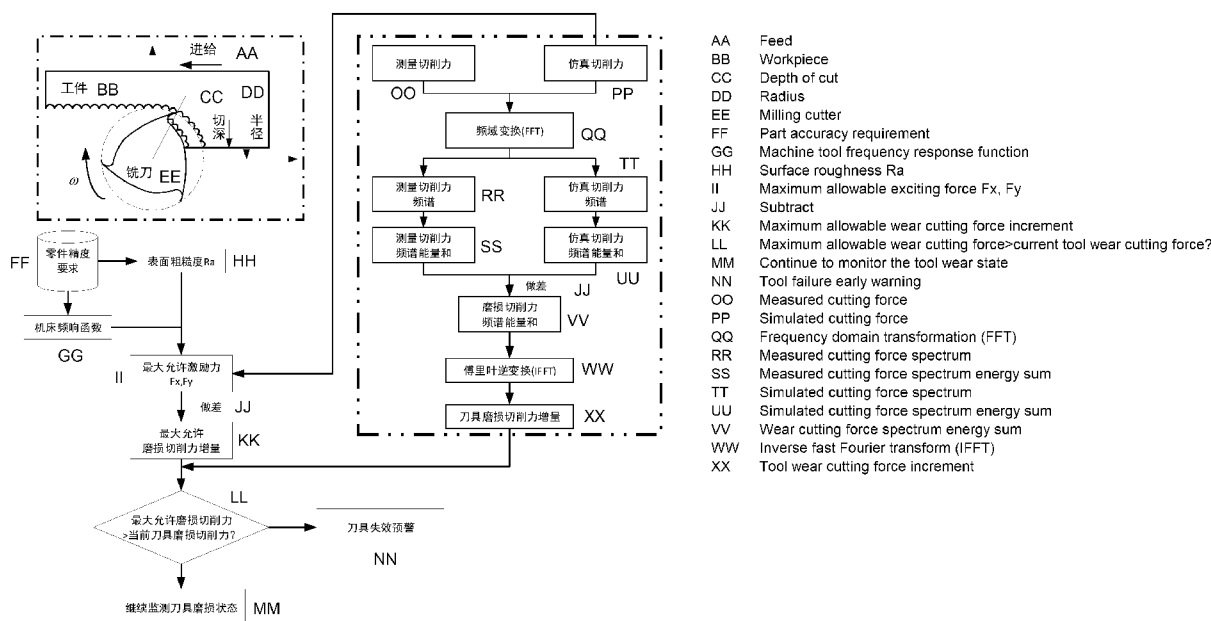


图 4

(57) **Abstract:** A variable working condition tool wear monitoring method and system based on cutting force component decoupling. The method comprises: calculating a tool-workpiece engagement (TWE) area offline according to a cutter location point file; calculating the allowable cutting force of a tool at each position of the part offline; collecting spindle vibration data of a numerical control machine tool, and establishing, according to the obtained system internal data, a data set having marking tool name information; estimating the

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

cutting force of the tool in real time on the basis of a vibration signal; calculating the cutting force which is actually increased due to tool wear and the theoretical cutting force which is allowed to the maximum extent under the constraint of part accuracy and is increased due to tool wear; and comparing the measured cutting force with the theoretical wear cutting force in real time, and if the actual tool wear degree is greater than the theoretical allowable tool wear degree, performing tool changing, otherwise, continuing to monitor the tool state until the tool wears out. Tool wear monitoring under variable load can be achieved, whether the tool wears out is determined in real time on the basis of the constraint of part accuracy, and the service life of the tool can be utilized to the maximum extent.

(57) 摘要: 一种基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法及系统, 根据刀位点文件离线计算刀具-工件啮合区域TWE; 离线计算刀具在零件各位置处所允许的切削力。采集数控机床主轴振动数据, 根据获取的系统内部数据建立具有标记刀具名称信息的数据集; 基于振动信号实时估计刀具的切削力; 计算实际因刀具磨损而增加的切削力和在零件精度约束下最大允许的因刀具磨损而增加的理论切削力。将实测与理论磨损切削力实时作比较, 若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀, 否则继续监测刀具状态直到刀具磨损失效。可实现变负载下的刀具磨损监测, 基于零件精度约束实时判定刀具是否磨损失效, 可最大限度利用刀具使用寿命。

基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法及系统

技术领域

本发明属于数控机床切削加工过程状态监测与诊断控制领域，特别涉及基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法及系统。

背景技术

不管在学术界还是工程应用领域，切削加工过程中刀具磨损状态间接监测技术一直是多年来智能数控机床研究的热点。在工程应用方面，ARTIS 等商业化的刀具状态监测系统，基于带宽监测策略（动态阈值策略）实现了大批量加工场合下的刀具异常监测。带宽监测方法利用的是包含切削工艺贡献成分与刀具健康状态的耦合信息。通过先在线学习包含工况参数信息的监测指标，在此基础上设置异常监测的最大允许波动区间，该方法避开了切削参数对监测指标的干扰影响。然而，由于切削加工过程具有一定的随机性，这种监测方法对失效上、下阈值设置非常敏感，在刀具磨损监测方面很容易产生误报或漏报现象。频繁误报会影响加工效率，漏报则可能会造成零件加工不合格。

在真实数控切削加工过程中，考虑到加工效率等因素，往往存在一把刀具粗加工、精加工一体完成，刀具在磨损退化过程中，可能经历的切削参数组合差别较大。粗加工使用较为饱和的切削用量尽可能保证切削效率，精加工为保证零件的加工精度选取的切削参数较小。此外，在槽腔拐角、环形薄壁、T 型薄壁等处经常会降低进给速度来尽可能保证切削过程保持稳定。因在，在真实加工过程中切削参数是时变的，这会导致传感器监测到的数据中反映刀具磨损退化的信息会被切削工况所调制，为刀具磨损状态准确监测带来极大干扰。

通过各类传感器（振动、电流、位移、切削力等传感器）可采集机床切削加工过程中的状态数据，这些状态数据或多或少都包含大量反映刀具磨损退化

的敏感信息。尽管这些状态数据中蕴含大量与刀具磨损相关的有用信息，同时也含有工况参数变化引起的监测信号波动信息。刀具健康状态与切削工况参数对传感器信号呈现高度耦合特性，反映刀具磨损状态变化的信息淹没在工况参数变化的幅值波动中。这对于任何类型的传感器都存在上述问题。

因此，从信息成分复杂的传感器原始信号中提炼（提纯）反映刀具磨损成分是解决时变切削工况下刀具磨损问题的关键。变切削参数刀具状态监测问题本质上是各类因素叠加的变负载问题。上述问题是变工况故障诊断与状态监测领域普遍共性难题。

现代信号处理与分解方法可将复杂的信号成分分解到不同的频带，通过对故障所在频带提取统计特征，可实现故障诊断与分析。申请号 202011566473.X 公开了一种基于功率和振动信号的模型融合刀具磨损监测方法及系统，通过提取传统的各类时频域指标并进行特征融合与降维实现刀具磨损监测。申请号 202111308074.8 提供一种基于多传感器特征融合的刀具磨损预测方法，利用力、振动、声发射传感器监测和采集各类信号数据，在时域、频域和时频域内分析并提取特征进行刀具磨损监测。然而，基于小波包分解与重构、经验模态分解、二代小波分解、变分模态分解等方法尽管在一定程度上可以分离出刀具磨损信息，但这种方法很难有效分离出大部分故障信号，导致提取的故障特征信噪比低。通过该方法提取的磨损特征还是会受到工况参数的干扰。

近些年逐渐兴起的深度学习方法在特征提取方面表现出很强的优势，可从传感器原始信号中自适应提取虚拟特征来表征刀具磨损程度。申请公布号 CN107877262A 公开了一种基于深度学习的数控机床刀具磨损监测方法，快速准确的识别出不同加工条件下的各种刀具的磨损状态。申请公布号 CN107877262A 公开一种基于深度卷积残差收缩网络的刀具磨损预测方法，在对采集机床振动、切削力以及电机电流信号预处理基础上，构建残差收缩单元，提取输入信号的深层次特征并过滤噪声干扰；构建深度卷积残差收缩网络刀具磨损预测模型。然而，这种特征提取方法，一方面需要大量的模型训练数据，

在实际工业生产中样本数据获取困难。另外，深度学习模型可解释性与泛化能力不足。当切削工况发生改变时，模型的识别准确度会急剧下降。这种方法在解决时变工况下的刀具磨损状态监测问题方面还需要进一步深入研究。

将切削加工动力学模型与实时数据相结合研究变切削参数下刀具磨损监测问题也是一种可行的方法。切削力模型中，铣削力系数与刀具几何形状、工况条件相关，被学者用来研究刀具磨损监测问题。假定工件材料不改变，刀具不变，冷却条件等不改变，则切削力系数与刀具几何参数相关。切削力系数是借助铣削力模型辨识而来，反映犁耕效应的刃口力系数与刀具磨损最相关，受到切削参数的影响较小。申请号 202111403696.9 公开了机理□数据融合驱动的变工况刀具磨损状态监测方法，提出利用间接测量的切削力来实时辨识铣削力系数实现变工况刀具磨损监测。然而，这种方法需要通过改变每齿进给量来辨识铣削力系数，对切削工况有一定的要求。此外，在多轴联动切削加工间接获取切削力方法使得铣削力系数的辨识更加复杂。

综上所述，现有刀具磨损监测方法还有如下不足：

(1)没有从传感器信号组成成分角度，研究刀具磨损状态、切削参数分别对传感器监测信号的贡献成分。没有从复杂的传感器原始信号中全面解耦分离出刀具磨损的贡献成分，在此基础上提取时频域统计特征实现变工况下的刀具磨损监测。

(2)现有方法提出的监测指标由于数量等级的不一致，使得不同刀具磨损失效阈值设置比较复杂。生产现场往往有粗加工、精加工等场合，再加上切削钛合金、铝合金等不同材料导致刀具类别非常多，为刀具磨损监测阈值带来困难。

(3)在刀具磨损失效阈值设置上，没有将零件加工精度与刀具磨损监测相结合。在刀具磨损失效阈值经常以刀具后刀面磨损带宽度为评估依据，但刀具磨损过程复杂，很难用单一的刀具参数来衡量。

发明内容

本发明的目的在于提供基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法及系统，以解决制造车间刀具磨损状态间接监测问题。

为实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，包括以下步骤：

步骤 S1：根据零件结构特征，获取刀位点文件；

步骤 S2：将刀位点数据输入到切削加工物理仿真模型中提取计算刀具-工件啮合区域 TWE；

步骤 S3：通过锤击法，获取机床刀尖点与传感器安装位置的跨点频响函数 FRF；

步骤 S4：根据被加工零件某工序的表面粗糙度 Ra 要求转化成表面位置误差参数，计算切削加工过程中刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力；根据机床精度因子计算得到因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值；

步骤 S5：获取数控机床切削加工过程主轴振动数据，根据获取的数据建立具有标记刀具名称信息的数据集；

步骤 S6：对标记好的主轴振动数据进行去除趋势项，低通滤波处理，作为铣削力间接测量模型的输入信号实时估计刀具的切削力，用于刀具磨损切削力成分的解耦分离；

步骤 S7：将主轴数据输入到铣削力实时仿真模型中，结合刀具-工件啮合区域 TWE 与铣削力系数在线仿真铣削力，作为锋利刀具的测量切削力；

步骤 S8：将测量切削力、仿真切削力数据片段，通过快速傅里叶变换将两类切削力数据转换至频域，分别计算两类切削力频段区间内的频谱能量和，利用测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和，得到反映刀具磨损信息的频谱能量和；

步骤 S9：在测量切削力、仿真切削力频谱能量和基础上，通过作商得到切削力比值指标，通过切削力比值指标来监测刀具在时变切削工况下的退化状态；

步骤 S10：基于步骤 S4 中得到零件切削加工过程中各个位置处最大允许的

激励力，通过与步骤 S7 中的仿真切削力做差，得到各个位置处最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力；

步骤 S11：将步骤 S8 中的实际刀具磨损而增加的切削力与步骤 S10 中最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力作比较，若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀，否则继续监测刀具磨损状态直到刀具磨损失效。

进一步的，零件表面粗糙度 Ra 计算表达式为：

$$\begin{Bmatrix} F_x(j\omega) \\ F_y(j\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{xx}(j\omega) & H_{xy}(j\omega) \\ H_{yx}(j\omega) & H_{yy}(j\omega) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} X(j\omega) \\ Y(j\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

其中， F_x, F_y 表示刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力。

进一步的，因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值；计算表达为：

$$F_{MT-i} = F_i / \delta \quad (2)$$

其中， δ 表示考虑机床几何精度、动态精度性能的误差修正系数。

进一步的，步骤 5 具体包括通过三向加速度传感器、电涡流位移传感器采集机床切削加工过程中主轴振动、位移信号，采集主轴转速、进给速度、刀具齿数、刀具名称、主轴 X/Y/Z 坐标数据；通过刀具名称将传感器数据与工艺指令数据进行关联，形成具有标记刀具名称信息的数据集。

进一步的，步骤 7 中，将主轴转速、进给速度在线数据输入到铣削力实时仿真模型中。

进一步的，步骤 8 具体包括：

步骤 S8.1：在截取切削力频段时，确保数据片段长度大于或等于数据采样频率 f_s 的倍频，保证数据具有足够的频率分辨率；

步骤 S8.2：在计算切削力频谱能量和时，可选择有效频段区间内的频率成分，高频成分可忽略不考虑在内，如频段区间从切削频率 1 倍频至 10 倍频；

步骤 S8.3：在刀具磨损切削力成分解耦分离时，直接通过做差法计算测量切削力与仿真切削力之间的残差；表达式为：

$$\begin{aligned}\Delta F_{x-wear}(j\omega) &= \sum F_{x-mea}(j\omega) - \sum F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{y-wear}(j\omega) &= \sum F_{y-mea}(j\omega) - \sum F_{y-pre}(j\omega)\end{aligned}\quad (3)$$

其中, $\sum F_{i-mea}(j\omega)$ 表示测量切削力频谱能量和; $\sum F_{i-pre}(j\omega)$ 表示仿真切削力频谱能量和; $\Delta F_{i-wear}(j\omega)$ 表示切削力残差频谱能量和。

进一步的, 切削力比值表达式:

$$K_{i-MFR}(j\omega) = \sum F_{i-mea}(j\omega) / \sum F_{i-pre}(j\omega) \quad (4)$$

其中, $K_{i-MFR}(j\omega)$ 表示铣削力比值指标, i 表示 X,Y,Z 三个方向。

进一步的, 步骤 10 中的表达式为:

$$\begin{cases} \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-x}(j\omega) - F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-y}(j\omega) - F_{y-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-z}(j\omega) - F_{z-pre}(j\omega) \end{cases} \quad (5)。$$

进一步的, 基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测系统, 包括:

切削力实时仿真模块: 根据零件结构特征, 获取刀位点文件; 将刀位点数据输入到切削加工物理仿真模型中提取计算刀具-工件啮合区域 TWE;

切削力间接估计模块: 通过锤击法, 获取机床刀尖点与传感器安装位置的跨点频响函数 FRF; 根据被加工零件某工序的表面粗糙度 Ra 要求转化成表面位置误差参数, 从而计算切削加工过程中刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力; 根据机床精度因子计算得到因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值; 获取数控机床切削加工过程主轴振动数据, 根据获取的数据建立具有标记刀具名称信息的数据集; 对标记好的主轴振动数据进行去除趋势项, 低通滤波处理, 作为铣削力间接测量模型的输入信号实时估计刀具的切削力, 用于刀具磨损切削力成分的解耦分离; 将主轴数据输入到铣削力实时仿真模型中, 结合刀具-工件啮合区域 TWE 与铣削力系数在线仿真铣削力, 作为锋利刀具的测量切削力; 将测量切削力、仿真切削力数据片段, 通过快速傅里叶变换将两类切削力数据转换至频域, 分别计算两类切削力频段区间内的频谱能量和, 利用测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和, 得到反映刀具磨损信息的频

谱能量和；

切削力比值指标构造模块：在测量切削力、仿真切削力频谱能量和基础上，通过作商得到切削力比值指标，通过切削力比值指标来监测刀具在时变切削工况下的退化状态；基于得到零件切削加工过程中各个位置处最大允许的激励力，通过与仿真切削力做差，得到各个位置处最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力；将实际刀具磨损而增加的切削力与最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力作比较，若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀，否则继续监测刀具磨损状态直到刀具磨损失效。

与现有技术相比，本发明有以下技术效果：

本发明提出一种可适用于变切削参数条件下的刀具磨损状态监测方法。通过实时采集机床数控系统工艺指令数据作为瞬时铣削力模型输入，然后可得到不考虑刀具磨损等影响的仿真预测切削力。通过安装于主轴侧壁的三向加速度传感器等实时采集主轴振动响应信号，结合机床频响估计瞬时切削力。进一步将测量切削力与仿真切削力变换至频域，通过分别计算特征频段的频谱幅值能量和，通过计算测量切削力与仿真切削力残差，即可解耦分离出反映刀具磨损的切削力成分。利用完全不同于传统信号处理手段获取的切削力增量诊断刀具退化状态，不受切削参数干扰。基于磨损切削力构造的统计监测指标呈现非线性单调递增趋势，与刀具磨损退化过程曲线具有很好的吻合度。基于频域手段解调磨损切削力方法不同于时域计算互相关函数方法，基本不受刀具偏心等因素的干扰。

本发明在测量切削力与仿真切削力分别计算频谱能量和的基础上，通过计算测量切削力频谱能量和与仿真切削力频谱能量和的比值，即可得到反映刀具磨损状态的鲁棒监测指标。该指标物理意义非常明确，指标的大小表示刀具的退化程度。新刀切削时，测量切削力与仿真切削力基本相等，切削力比值指标接近 1；随着刀具磨损程度增加，测量切削力因为包含刀具磨损与振动成分，其值大小逐渐偏离仿真切削力，切削力比值指标逐渐偏离 1。因此，通过设置

合适的监测阈值，即可实现变负载情况下的刀具磨损监测。

本发明多齿铣刀与工件相互作用会产生周期性激励力，这种作用在工艺系统的受迫振动是影响零件表面粗糙度的关键因素之一。通过零件表面粗糙度 Ra 与机床刀尖点频响即可计算刀尖点允许的最大切削力。通过计算最大允许切削力与所选取切削参数下的仿真切削力参差，即可分离得到允许刀具磨损而增加的切削力最大值。因此，通过实时评估磨损切削力最大值即可作为评估刀具能否继续加工的参考标准。这种刀具失效阈值动态方法，可通过零件切削精度动态调整，在精加工判定为失效的刀具，在粗加工却能继续参与切削，充分利用了刀具的寿命，又能兼顾零件加工精度。

附图说明

为了更清楚的说明本发明实施例的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，应当理解，以下附图仅示出了本发明的某些实施例，因此不应被看作是对范围的限定，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

图 1 为仿真切削力与测量切削力获取示意图。

图 2 为刀具磨损切削力增量解调分离示意图。

图 3 为切削力比值指标构造示意图。

图 4 为刀具失效阈值动态评估示意图。

图 5 中 (a) 到 (d) 为切削力比值指标表征刀具磨损退化过程。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

因此，以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

在本发明实施例的描述中，需要说明的是，若出现术语“上”、“下”、“水平”、“内”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

此外，若出现术语“水平”，并不表示要求部件绝对水平，而是可以稍微倾斜。如“水平”仅仅是指其方向相对“竖直”而言更加水平，并不是表示该结构一定要完全水平，而是可以稍微倾斜。

在本发明实施例的描述中，还需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，若出现术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

本发明为解决刀具磨损退化过程中时变切削参数对刀具磨损监测的干扰影响，提出一种基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法。所述刀具磨损状态监测方法实施具体包括如下步骤。

步骤 S1: 如图 1 所示, 在零件加工之前, 首先通过 UG NX 软件对零件进行 3D 建模, 进而根据加工条件及质量要求选定合理的工艺参数及工艺步骤。生成零件加工过程 G 代码, 完成数控编程环节, 得到 CLS 刀位文件。

步骤 S2: 如图 1 所示, 在 MechPro 等切削过程工艺仿真软件中定义零件、刀具等切削参数信息, 导入步骤 S1 中获取的刀位点文件, 离线仿真生成切削加工过程中切削力、刀具振动、材料去除率等物理与几何信息。同时仿真得到刀具-工件啮合区域信息 TWE 便于后续切削力实时仿真计算。

步骤 S3: 通过锤击法, 通过 LMS Test.Lab 系统获取机床刀尖点与传感器安装位置的跨点频响函数 FRF。

步骤 S4: 根据被加工零件某工序的表面粗糙度 Ra 要求转化成表面位置误差参数, 从而计算切削加工过程中刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力。零件表面粗糙度 Ra 计算表达式为:

$$\begin{Bmatrix} F_x(j\omega) \\ F_y(j\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{xx}(j\omega) & H_{xy}(j\omega) \\ H_{yx}(j\omega) & H_{yy}(j\omega) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} X(j\omega) \\ Y(j\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

其中, F_x, F_y 表示刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力。

步骤 S5: 刀具磨损因素只是形成加工精度的关键因素之一。在结合机床几何误差、动态精度基础上考虑安全系数, 根据专家经验形成机床精度因子计算得到因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值。计算表达为:

$$F_{MT-i} = F_i / \delta \quad (2)$$

其中, δ 表示考虑机床几何精度、动态精度性能的误差修正系数。

步骤 S6: 如图 1 所示, 通过三向加速度传感器、电涡流位移传感器等采集机床切削加工过程中主轴振动、位移信号, 通过 Siemens 公司边缘计算模块采集主轴转速、进给速度、刀具齿数、刀具名称、主轴 X/Y/Z 坐标数据等。

步骤 S7: 通过刀具名称将传感器数据与工艺指令数据进行关联, 形成具有标记刀具名称信息的数据集。

步骤 S8: 对标记好的主轴振动数据进行去除趋势项, 低通滤波处理, 作为铣削力间接测量模型的输入信号实时估计刀具的切削力, 从而用于刀具磨损切

削力成分的解耦分离。

步骤 S9: 如图 1 所示, 将主轴转速、进给速度等数在线据输入到铣削力实时仿真模型中, 结合刀具-工件啮合区域 (TWE) 与铣削力系数等在线仿真铣削力, 仿真铣削力因为不考虑刀具磨损效应, 故而可作为锋利刀具的测量切削力。

步骤 S10: 如图 2 所示, 将测量切削力、仿真切削力数据片段, 通过快速傅里叶变换 (FFT) 将两类切削力数据转换至频域, 分别计算两类切削力频段区间内的频谱能量和。利用测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和, 得到反映刀具磨损信息的频谱能量和。

优选的, 所述步骤 S10 包括:

步骤 S10.1: 在截取切削力频段时, 确保数据片段长度大于或等于数据采样频率 f_s 的倍频, 使足够的频率分辨率。

步骤 S10.2: 在计算切削力频谱能量和时, 可选择有效频段区间内的频率成分, 高频成分可忽略不考虑在内, 如频段区间从切削频率 1 倍频至 10 倍频。

步骤 S10.3: 在刀具磨损切削力成分解耦分离时, 直接通过做差法计算测量切削力与仿真切削力之间的残差。表达式为:

$$\begin{aligned}\Delta F_{x-wear}(j\omega) &= \sum F_{x-mea}(j\omega) - \sum F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{y-wear}(j\omega) &= \sum F_{y-mea}(j\omega) - \sum F_{y-pre}(j\omega)\end{aligned}\quad (3)$$

其中, $\sum F_{i-mea}(j\omega)$ 表示测量切削力频谱能量和; $\sum F_{i-pre}(j\omega)$ 表示仿真切削力频谱能量和; $\Delta F_{i-wear}(j\omega)$ 表示切削力残差频谱能量和。

步骤 S11: 如图 2 所示, 在测量切削力、仿真切削力频谱能量和基础上, 通过作商得到切削力比值指标, 通过切削力比值指标来监测刀具在时变切削工况下的退化状态。

$$K_{i-MFR}(j\omega) = \sum F_{i-mea}(j\omega) / \sum F_{i-pre}(j\omega) \quad (4)$$

其中, $K_{i-MFR}(j\omega)$ 表示铣削力比值指标, i 表示 X,Y,Z 三个方向。

步骤 S12: 如图 4 所示, 基于步骤 S5 中得到零件切削加工过程中各个位置处最大允许的激励力, 通过与步骤 S9 中的仿真切削力做差, 即可得到各个位置

处最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力。

$$\begin{cases} \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-x}(j\omega) - F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-y}(j\omega) - F_{y-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-z}(j\omega) - F_{z-pre}(j\omega) \end{cases} \quad (5)。$$

步骤 S13：将步骤 S10 中的实际刀具磨损而增加的切削力与步骤 S12 中最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力作比较。若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀，否则继续监测刀具磨损状态直到刀具磨损失效。

步骤 S14：通过将上述方法进行实施，得到 3 把立铣刀在时变工况下磨损演化过程中的切削力比值指标变化曲线如图 5 所示。立铣刀生命周期内经历的切削工况参数如下表 1 所示：

表 1 切削工况参数组合

刀具	切削 工况	转速 r/min	进给 mm/min	切宽 mm	切深 mm	每齿进给 mm/r	材料去除率 mm ³ /min
Tool 1#	C1	600	120	2	3	0.050	720
	C2	1200	144	4	3	0.030	1728
	C3	900	200	5	3	0.056	3000
Tool 2#	C1	900	200	5	3	0.056	3000
	C2	900	180	3	3	0.050	1620
	C3	1200	144	1	3	0.030	432
Tool 3#	C1	600	120	2	3	0.050	720
	C2	1200	144	4	3	0.030	1728
	C3	600	120	5	3	0.050	1800

基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测系统，所述系统包括：

M1：多源数据采集与预处理模块：

数控机床切削加工过程数据来源主要包括外置加速度传感器数据与机床数控系统数据。三向加速度传感器、电涡流位移传感器采集主轴 X/Y/Z 振动、位移响应数据；基于西门子边缘计算模块采集机床数控系统数据，包括切削用量数据(主轴转速、进给速度)、机床主轴 X/Y/Z 坐标数据、刀具名称、程序名称、当前程序行、刀具齿数。刀具名称、程序名称用于标记与匹配监测数据与刀具。数据采集系统硬件包括具有具备西门子边缘计算模块的数控加工中心、三向加速度传感器、电涡流位移传感器、数据采集与计算一体机、LabVIEW 数据采集

与状态监测软件。

M2: 切削力实时仿真模块:

基于 UG NX、MasterCAM 等 CAM 软件得到数控代码, 进而生成零件加工的刀位点文件。将刀位点数据输入到切削加工物理仿真模型中快速提取计算刀具-工件啮合区域 (Tool-workpiece-engagement, TWE)。将计算好的刀具-工件啮合区域、实时采集的主轴转速、进给速度数据、切削力系数等作为切削力模型输入, 瞬时切削力作为模型输出, 即可实现切削力的在线仿真。切削力实时仿真考虑到计算效率, 可通过 MechPro 等切削过程仿真软件计算刀具-工件啮合区域 (TWE)。切削力微元的表达式为:

$$\begin{bmatrix} dF_{rj}(\phi, z) \\ dF_{tj}(\phi, z) \\ dF_{aj}(\phi, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{re} \\ K_{ae} \\ K_{te} \end{bmatrix} dS(z) + \begin{bmatrix} K_{rc} \\ K_{ac} \\ K_{tc} \end{bmatrix} h_j(\phi, z) dS(z) \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} dF_{xj}(\phi, z) \\ dF_{yj}(\phi, z) \\ dF_{zj}(\phi, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \kappa \sin \phi_j & -\cos \phi_j & -\cos \kappa \sin \phi_j \\ -\sin \kappa \cos \phi_j & \sin \phi_j & -\cos \kappa \cos \phi_j \\ \cos \kappa & 0 & -\sin \kappa \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dF_{rj}(\phi, z) \\ dF_{tj}(\phi, z) \\ dF_{aj}(\phi, z) \end{bmatrix} \quad (7)$$

M3: 切削力间接估计模块:

切削力间接估计需要用到机床频响与刀具振动位移数据数据。机床频响获取主要通过锤击法获取, 分别沿主轴进给方向与垂直于进给方向进行力锤敲击实验, 获得多组加速度频响函数, 将每个方向上的频响函数进行求平均值得到刀尖点-传感器安装位置跨点加速度频响函数。将加速度数据经二次积分得到刀具位移数据, 将刀尖点位移进行快速傅里叶变换 (FFT), 并对机床跨点频响函数进行插值处理, 通过计算刀尖点位移与频响函数比值即可得到切削力频谱, 将估计的切削力频谱经过逆傅里叶变换 (IFFT) 计算得到切削过程的真实动态切削力。切削力间接估计表达式为:

$$\begin{bmatrix} F_x(j\omega) \\ F_y(j\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{xx}(j\omega) & H_{xy}(j\omega) \\ H_{yx}(j\omega) & H_{yy}(j\omega) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X(j\omega) \\ Y(j\omega) \end{bmatrix} \quad (8)$$

M4: 切削力频域解耦分离模块

切削力解耦分离模块, 目的是从测量切削力成分中提取分离出因为刀具磨

损而增加的切削力成分。将获取的测量与仿真切削力通过滑窗形式截取关联的数据片段，然后将时域切削力变换至频域。考虑对高频噪音干扰影响，选取切削力频谱特征频段区间的切削力频谱计算幅值能量和。将测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和，即可得到因刀具磨损而增加的切削力频域能量和。

M5：切削力比值指标构造模块

对频域测量切削力频谱能量和与仿真切削力频谱能量和计算比值，即可得到切削力比值指标。切削力比值指标能够有效反映刀具磨损程度而不受切削参数干扰。新刀切削时，切削力比值指标在 1 上下波动；随着刀具磨损程度的增加，该切削力比值指标逐渐偏离 1。切削力比值表达式为：

M6：刀具失效阈值动态调整模块

根据零件表面粗糙度 Ra 值，结合机床刀尖点频响函数即可求解在受迫振动下刀具完成零件表面精度所允许的最大切削力。刀具实际切削加工产生的切削力实际上是仿真切削力与刀具磨损而增加的切削力成分的线性叠加。通过计算所用切削参数下的仿真切削力，结合受迫振动下刀具完成零件表面精度 Ra 所允许的最大切削力，可求解得到当前刀具完成零件加工允许的最大磨损程度，即通过解耦的磨损切削力最大允许值。因此，通过实时约束刀具磨损切削力阈值，即可根据零件加工粗加工、精加工要求动态调整失效阈值。强迫振动形成的表面误差及切削合力表达式为：

$$\begin{Bmatrix} X(j\omega) \\ Y(j\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{xx}(j\omega) & H_{xy}(j\omega) \\ H_{yx}(j\omega) & H_{yy}(j\omega) \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_x(j\omega) \\ F_y(j\omega) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{cases} F_x(j\omega) = F_{x-pre}(j\omega) + \Delta F_{x-wear}(j\omega) \\ F_y(j\omega) = F_{y-pre}(j\omega) + \Delta F_{y-wear}(j\omega) \\ F_z(j\omega) = F_{z-pre}(j\omega) + \Delta F_{z-wear}(j\omega) \end{cases} \quad (10)$$

M7：切削工况定义数据库

切削工况定义数据库，用于存储实现本发明提出的刀具磨损状态监测方法

的相关数据。切削力实时仿真模块中,需要存储每把相同规格刀具的专用名称,使得监测系统能够根据读取的刀具名称匹配对应刀具参数,根据刀具-工件关系,匹配对应的铣削力系数。在刀具失效阈值动态调整模块中,需要存储不同工步下零件的表面粗糙度 Ra 要求,可根据程序名称、当前程序行等信息匹配到该工序、工步零件表面粗糙度。根据表面粗糙度 Ra 允许的最大刀具磨损而增加切削力值,实时判定当前刀具是否处于磨损失效状态。

以上仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 S1：根据零件结构特征，获取刀位点文件；

步骤 S2：将刀位点数据输入到切削加工物理仿真模型中提取计算刀具-工件啮合区域 TWE；

步骤 S3：通过锤击法，获取机床刀尖点与传感器安装位置的跨点频响函数 FRF；

步骤 S4：根据被加工零件某工序的表面粗糙度 Ra 要求转化成表面位置误差参数 SLE，计算切削加工过程中刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力；根据机床精度因子计算得到因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值；

步骤 S5：获取数控机床切削加工过程主轴振动数据，根据获取的数据建立具有标记刀具名称信息的数据集；

步骤 S6：对标记好的主轴振动数据进行去除趋势项，低通滤波处理，作为铣削力间接测量模型的输入信号实时估计刀具的切削力，用于刀具磨损切削力成分的解耦分离；

步骤 S7：将机床切参数数据实时输入到铣削力实时仿真模型中，结合刀具-工件啮合区域 TWE 与铣削力系数在线仿真铣削力，作为锋利刀具的测量切削力；

步骤 S8：将测量切削力、仿真切削力数据片段，通过快速傅里叶变换将两类切削力数据转换至频域，分别计算两类切削力频段区间内的频谱能量和，利用测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和，得到反映刀具磨损信息的频谱能量和；

步骤 S9：在测量切削力、仿真切削力频谱能量和基础上，通过作商得到切削力比值指标，通过切削力比值指标来监测刀具在时变切削工况下的退化状态；

步骤 S10：基于步骤 S4 中得到零件切削加工过程中各个位置处最大允许的激励力，通过与步骤 S7 中的仿真切削力做差，得到各个位置处最大允许的因为

刀具磨损而增加的理论切削力；

步骤 S11：将步骤 S8 中的实际刀具磨损而增加的切削力与步骤 S10 中最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力作比较，若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀，否则继续监测刀具磨损状态直到刀具磨损失效。

2. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，零件表面粗糙度 Ra 计算表达式为：

$$\begin{Bmatrix} F_x(j\omega) \\ F_y(j\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{xx}(j\omega) & H_{xy}(j\omega) \\ H_{yx}(j\omega) & H_{yy}(j\omega) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} X(j\omega) \\ Y(j\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

其中， F_x, F_y 表示刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力， X, Y 表示刀具刀尖点位移， H_{ij} 表示机床频响。。

3. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值；计算表达为：

$$F_{MT-i} = F_i / \delta \quad (2)$$

其中， δ 表示考虑机床几何精度、动态精度性能的误差修正系数。

4. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，步骤 5 具体包括通过三向加速度传感器、电涡流位移传感器采集机床切削加工过程中主轴振动、位移信号，采集主轴转速、进给速度、刀具齿数、刀具名称、主轴 X/Y/Z 坐标数据；通过刀具名称将传感器数据与工艺指令数据进行关联，形成具有标记刀具名称信息的数据集。

5. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，步骤 7 中，将主轴转速、进给速度在线数据输入到铣削力实时仿真模型中。

6. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，步骤 8 具体包括：

步骤 S8.1：在截取切削力频段时，确保数据片段长度大于或等于数据采样

频率 f_s 的倍频，使足够的频率分辨率；

步骤 S8.2：在计算切削力频谱能量和时，可选择有效频段区间内的频率成分，高频成分可忽略不考虑在内，如频段区间从切削频率 1 倍频至 10 倍频；

步骤 S8.3：在刀具磨损切削力成分解耦分离时，直接通过做差法计算测量切削力与仿真切削力之间的残差；表达式为：

$$\begin{aligned}\Delta F_{x-wear}(j\omega) &= \sum F_{x-mea}(j\omega) - \sum F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{y-wear}(j\omega) &= \sum F_{y-mea}(j\omega) - \sum F_{y-pre}(j\omega)\end{aligned}\quad (3)$$

其中， $\sum F_{i-mea}(j\omega)$ 表示测量切削力频谱能量和； $\sum F_{i-pre}(j\omega)$ 表示仿真切削力频谱能量和； $\Delta F_{i-wear}(j\omega)$ 表示切削力残差频谱能量和。

7. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，切削力比值表达式：

$$K_{i-MFR}(j\omega) = \sum F_{i-mea}(j\omega) / \sum F_{i-pre}(j\omega) \quad (4)$$

其中， $K_{i-MFR}(j\omega)$ 表示铣削力比值指标， i 表示 X,Y,Z 三个方向。

8. 根据权利要求 1 所述的基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测方法，其特征在于，步骤 10 中的表达式为：

$$\begin{cases} \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-x}(j\omega) - F_{x-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-y}(j\omega) - F_{y-pre}(j\omega) \\ \Delta F_{T-wear}(j\omega) = F_{MT-z}(j\omega) - F_{z-pre}(j\omega) \end{cases} \quad (5)。$$

9. 基于切削力成分解耦的变工况刀具磨损监测系统，其特征在于，包括：

切削力实时仿真模块：根据零件结构特征，获取刀位点文件；将刀位点数据输入到切削加工物理仿真模型中提取计算刀具-工件啮合区域 TWE；

切削力间接估计模块：通过锤击法，获取机床刀尖点与传感器安装位置的跨点频响函数 FRF；根据被加工零件某工序的表面粗糙度 Ra 要求转化成表面位置误差参数，从而计算切削加工过程中刀具在零件各位置处最大允许的刀尖点激励力；根据机床精度因子计算得到因为刀具磨损而允许的最大切削力极限值；获取数控机床切削加工过程主轴振动数据，根据获取的数据建立具有标记

刀具名称信息的数据集；对标记好的主轴振动数据进行去除趋势项，低通滤波处理，作为铣削力间接测量模型的输入信号实时估计刀具的切削力，用于刀具磨损切削力成分的解耦分离；将主轴数据输入到铣削力实时仿真模型中，结合刀具-工件啮合区域 TWE 与铣削力系数在线仿真铣削力，作为锋利刀具的测量切削力；将测量切削力、仿真切削力数据片段，通过快速傅里叶变换将两类切削力数据转换至频域，分别计算两类切削力频段区间内的频谱能量和，利用测量切削力频谱能量和减去仿真切削力频谱能量和，得到反映刀具磨损信息的频谱能量和；

切削力比值指标构造模块：在测量切削力、仿真切削力频谱能量和基础上，通过作商得到切削力比值指标，通过切削力比值指标来监测刀具在时变切削工况下的退化状态；基于得到零件切削加工过程中各个位置处最大允许的激励力，通过与仿真切削力做差，得到各个位置处最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力；将实际刀具磨损而增加的切削力与最大允许的因为刀具磨损而增加的理论切削力作比较，若实际刀具磨损程度大于理论允许的刀具磨损程度则执行换刀，否则继续监测刀具磨损状态直到刀具磨损失效。

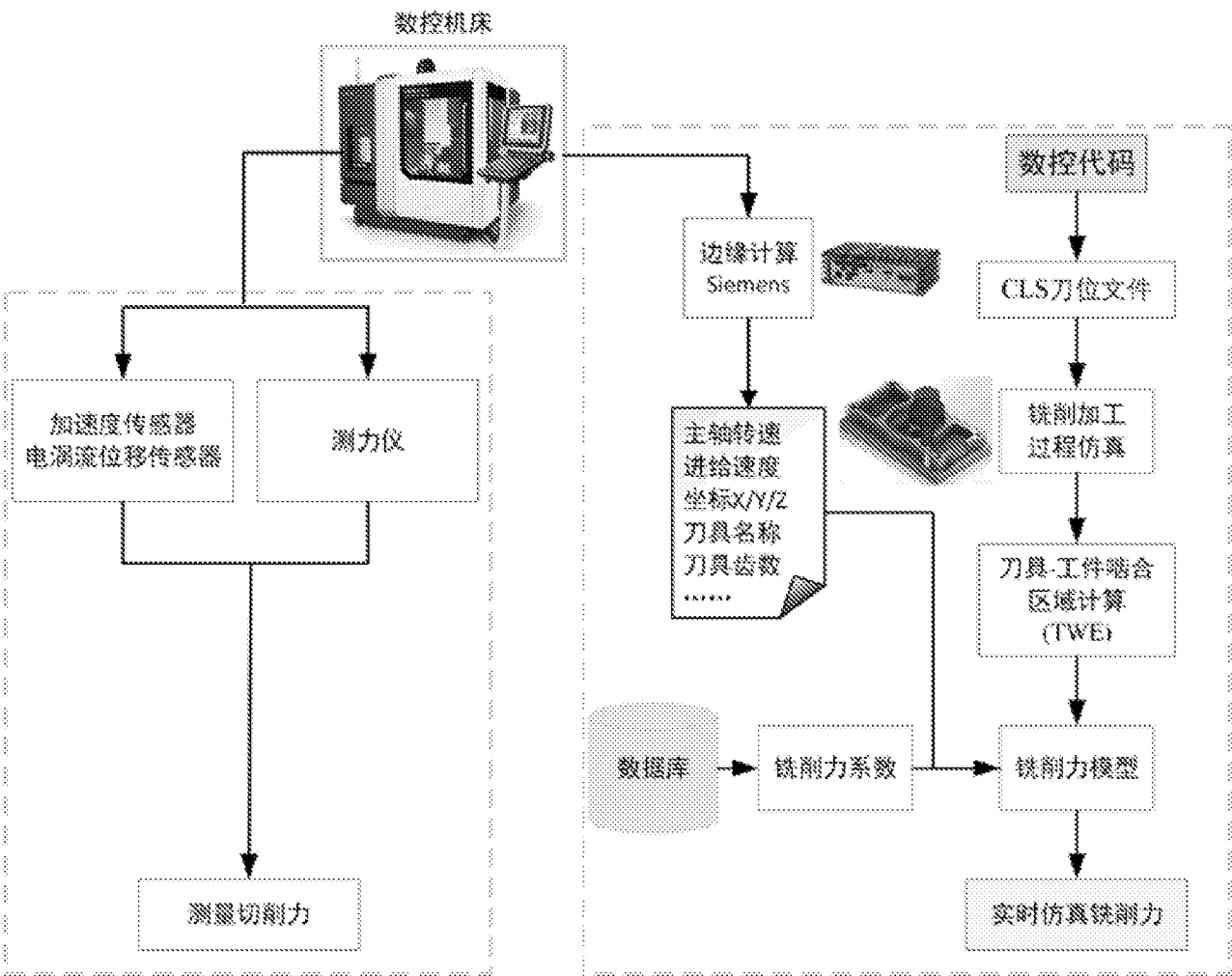


图 1

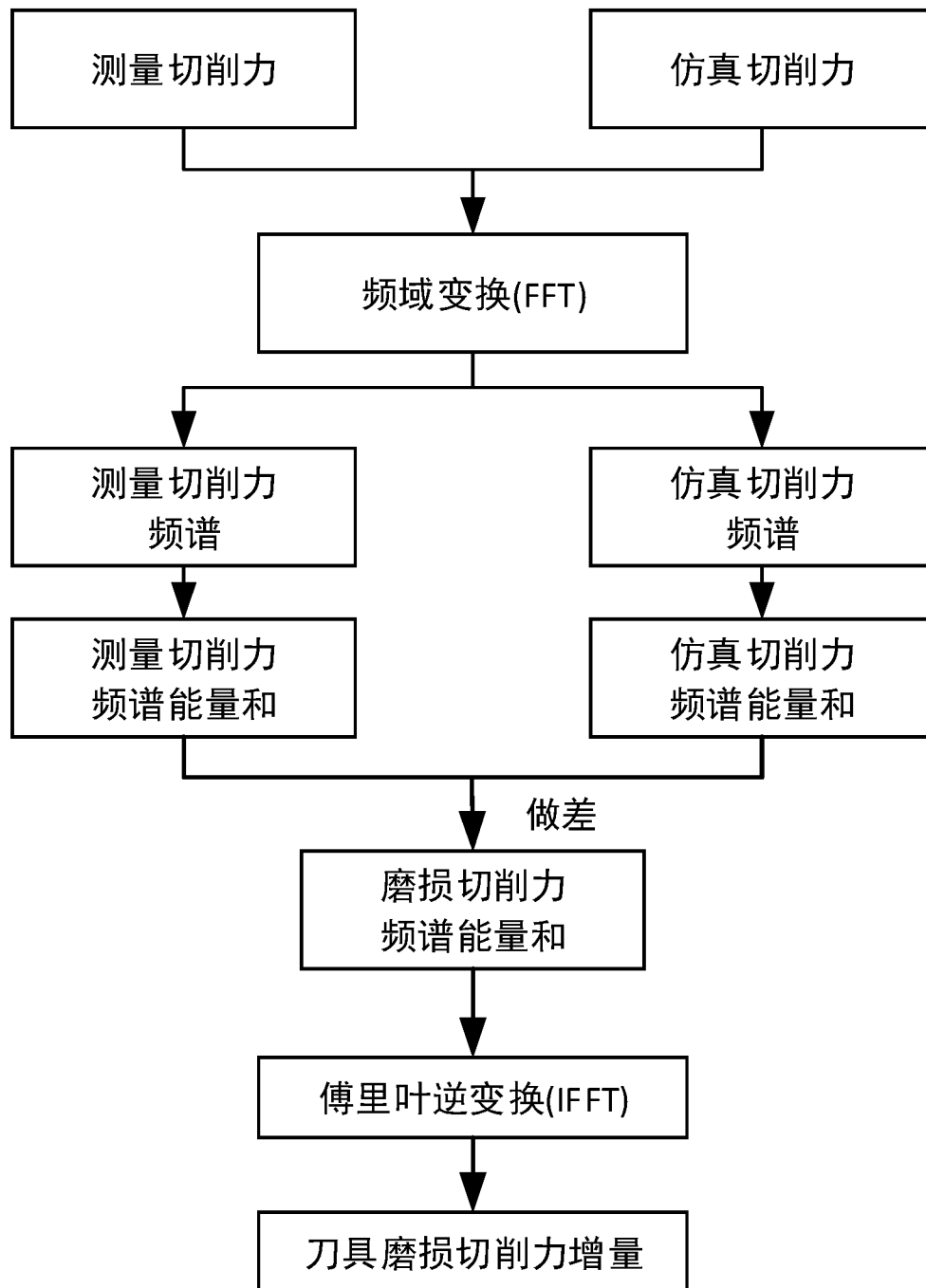


图 2

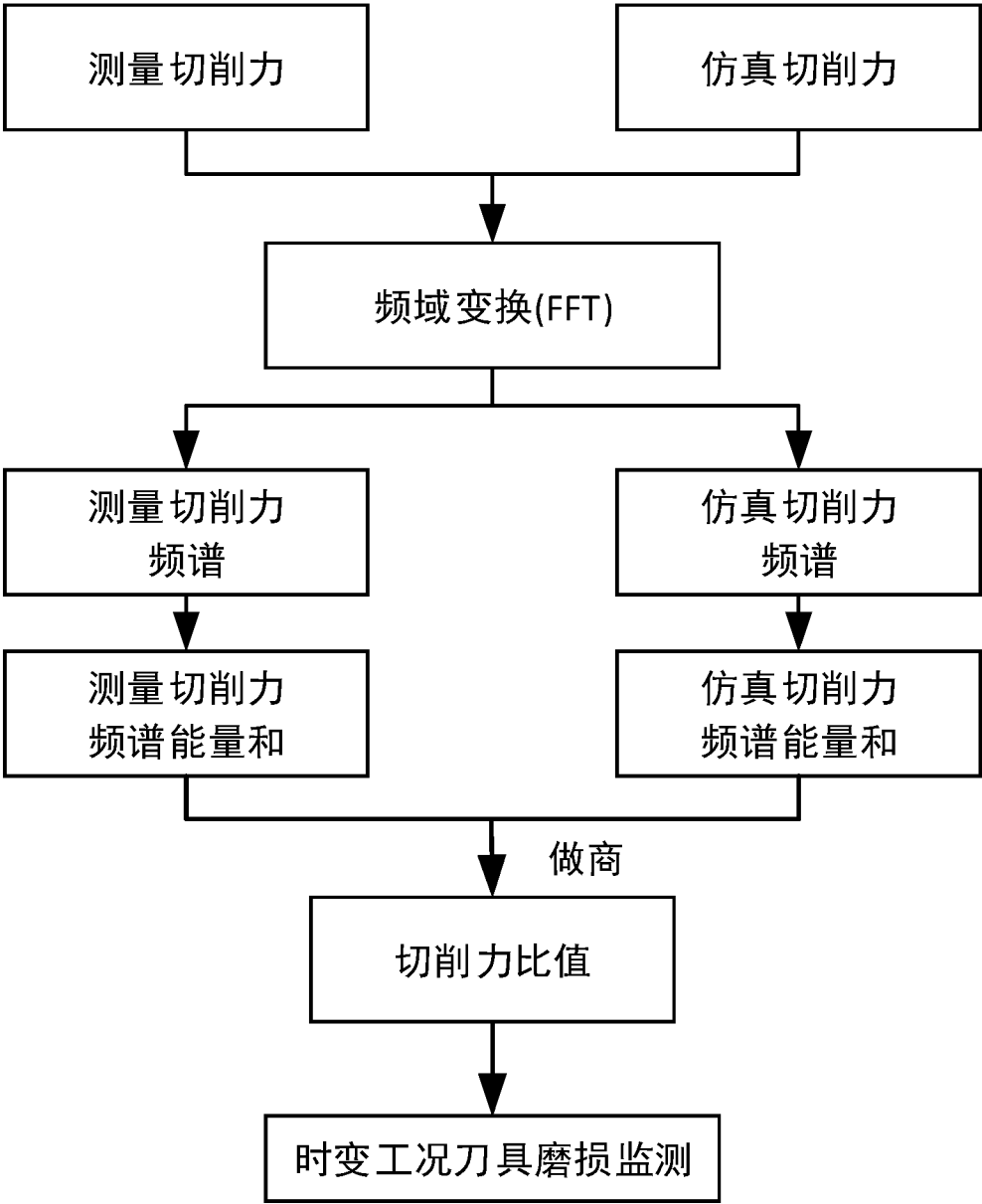


图 3

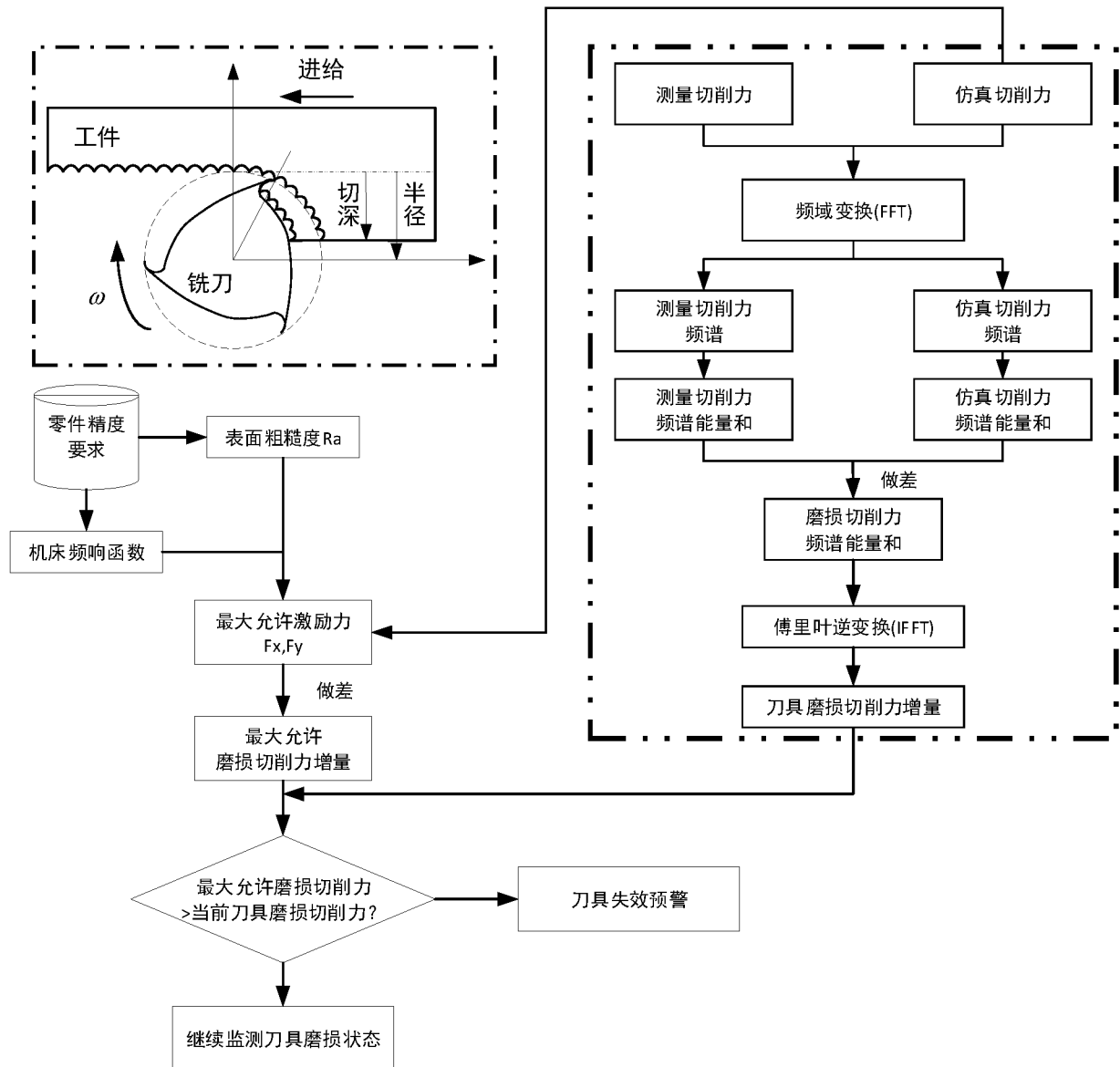


图 4

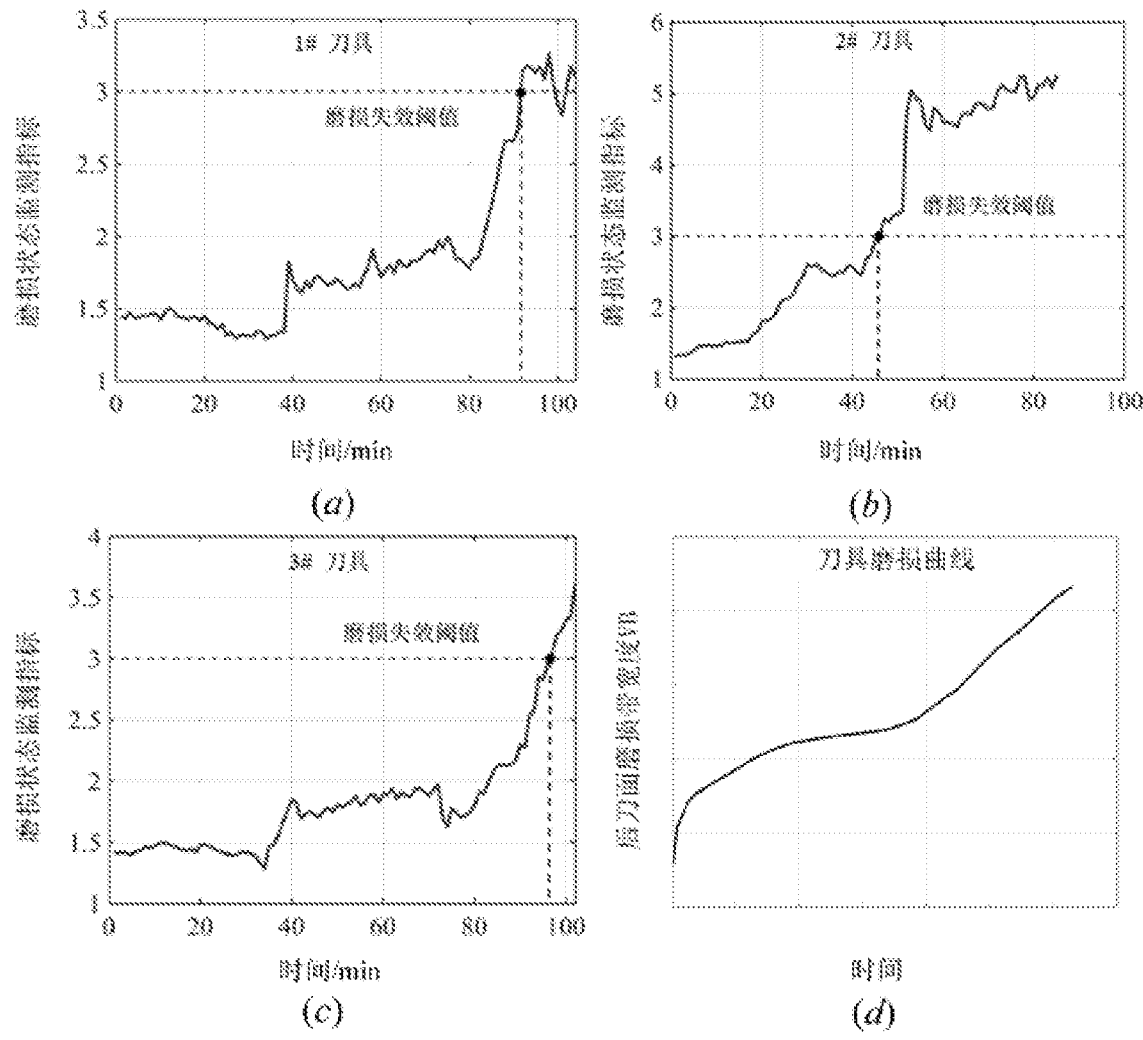


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/108646

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F30/20(2020.01)i;B23Q17/09(2006.01)i;B23Q17/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06F, B23Q, G06K,G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, VEN, CNTXT, ENTXT, CJFD: 刀具, 磨损, 切削力, 主轴, 振动, 粗糙度, 精度, cutter, cutting tool?, abras+, wear, cutting force, mainshaft, mandrel, vibrat+, vibration, roughness, unevenness, precision, accuracy

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 111644900 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 11 September 2020 (2020-09-11) entire document	1-9
A	CN 110576335 A (BEIHANG UNIVERSITY) 17 December 2019 (2019-12-17) entire document	1-9
A	CN 111761409 A (INNER MONGOLIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 13 October 2020 (2020-10-13) entire document	1-9
A	CN 114102260 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 01 March 2022 (2022-03-01) entire document	1-9
A	US 4831365 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 16 May 1989 (1989-05-16) entire document	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 February 2023

Date of mailing of the international search report

16 March 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/108646

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	111644900	A	11 September 2020	None	
CN	110576335	A	17 December 2019	None	
CN	111761409	A	13 October 2020	None	
CN	114102260	A	01 March 2022	None	
US	4831365	A	16 May 1989	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/108646

A. 主题的分类

G06F30/20(2020.01)i;B23Q17/09(2006.01)i;B23Q17/20(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06F, B23Q, G06K, G05B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, VEN, CNTXT, ENTXT, CJFD: 刀具, 磨损, 切削力, 主轴, 振动, 粗糙度, 精度, cutter, cutting tool?, abras+, wear, cutting force, mainshaft, mandrel, vibrat+, vibration, roughness, unevenness, precision, accuracy

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 111644900 A (西安交通大学) 2020年9月11日 (2020 - 09 - 11) 全文	1-9
A	CN 110576335 A (北京航空航天大学) 2019年12月17日 (2019 - 12 - 17) 全文	1-9
A	CN 111761409 A (内蒙古工业大学) 2020年10月13日 (2020 - 10 - 13) 全文	1-9
A	CN 114102260 A (西安交通大学) 2022年3月1日 (2022 - 03 - 01) 全文	1-9
A	US 4831365 A (GEN ELECTRIC) 1989年5月16日 (1989 - 05 - 16) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2023年2月28日

国际检索报告邮寄日期

2023年3月16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

孙迎椿

电话号码 (+86) 010-62085459

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/108646

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	111644900	A	2020年9月11日	无	
CN	110576335	A	2019年12月17日	无	
CN	111761409	A	2020年10月13日	无	
CN	114102260	A	2022年3月1日	无	
US	4831365	A	1989年5月16日	无	