



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111857040 B

(45) 授权公告日 2021.10.08

(21) 申请号 202010680141.8

(22) 申请日 2020.07.15

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111857040 A

(43) 申请公布日 2020.10.30

(73) 专利权人 清华大学  
地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72) 发明人 李炳燃 肖建新 方俊 叶佩青  
张辉

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11201

代理人 廖元秋

(51) Int.Cl.  
G05B 19/19(2006.01)

(56) 对比文件

- CN 106270812 A, 2017.01.04
- CN 102789204 A, 2012.11.21
- CN 106681269 A, 2017.05.17
- CN 110446986 A, 2019.11.12
- CN 103231277 A, 2013.08.07
- CN 111291479 A, 2020.06.16
- CN 107442873 A, 2017.12.08
- CN 102079033 A, 2011.06.01
- CN 103792880 A, 2014.05.14
- TW 201513955 A, 2015.04.16
- JP H05318227 A, 1993.12.03
- JP 2010207971 A, 2010.09.24

审查员 马波

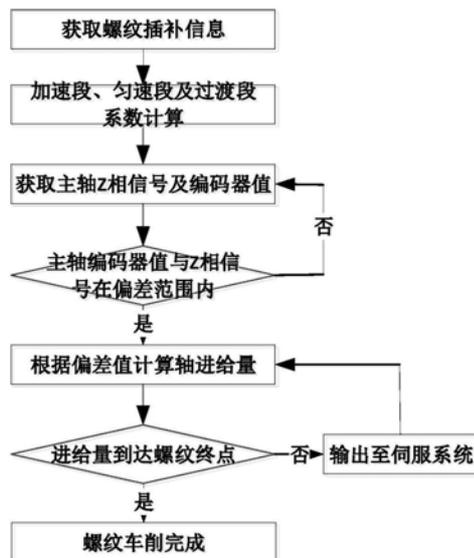
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法

(57) 摘要

本发明提出了一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法,属于数控加工螺纹车削技术领域,该方法包括包括以下步骤:获取螺纹插补信息;对加速段、匀速段,以及位于加速段和匀速段之间的过渡段分别设计主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系;进给轴跟随主轴同步控制;根据主轴编码器相对主轴Z相信号基准的圈数计算进给轴进给量,以此进行螺纹加工。本发明方法可解决主轴在实际过程中的速度波动,采取进给轴进给位移与主轴进给之间的强跟随关系,能够实现螺纹多次切削情况下实现螺纹的精度及表面的加工质量。



1. 一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 获取螺纹插补信息

数控系统对当前G代码的信息进行提取,获取螺纹插补信息,包括:螺纹加速时间 $t$ ;当前螺纹加工段的螺距值 $pitch$ ;当前螺纹加工段的起点位置与终点位置,并计算当前螺纹加工段的长度 $l_{total}$ ;以及主轴转速 $s_{cmd}$ ;

2) 设计主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系

螺纹加工过程中分为加速段、匀速段,以及位于加速段和匀速段之间的过渡段,分别对过渡段、加速段和匀速段内主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系进行如下设计:

2.1) 过渡段

根据步骤1) 获取的螺纹插补信息,设主轴编码器值偏移主轴Z相信号的圈数 $r_m$ 为:

$$r_m = pitch * s_{cmd} * t \quad (1)$$

其中, $pitch$ 为步骤1) 获取的当前螺纹加工段的螺距值; $s_{cmd}$ 为步骤1) 获取的主轴转速; $t$ 为步骤1) 获取的螺纹加速时间;

2.2) 加速段

螺纹车削的加速段根据设定的加速时间进行螺纹加工指令速度的升速,设加速段进给轴进给量 $l$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$l = a_0 + b_0 r + c_0 r^2 \quad (2)$$

其中, $a_0, b_0, c_0$ 分别为待求系数,根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定,具体为:

①在 $r=0$ 时,进给轴的进给量 $l=0$ ,计算得 $a_0=0$ ;

②在 $r=0$ 时,进给轴的速度为0,计算得 $b_0=0$ ;

③在 $r=r_m$ 时,进给轴的速度为螺纹加工段的螺距值 $pitch$ ,计算得 $c_0 = pitch / (2r_m)$ ;

2.3) 匀速段

设匀速段进给轴进给量 $l'$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$l' = a_1 + b_1 r \quad (3)$$

其中, $a_1, b_1$ 分别为待求系数,根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定,具体为:

①在升速段与匀速段的过渡处有: $a_0 + b_0 s + c_0 r_m^2 = a_1 + b_1 r_m$ ,计算得到 $a_1 = -0.5 * pitch * r_m$ ;

②在匀速段处,主轴每转一圈,进给轴进给量为1个螺距,即 $b_1 = pitch$ ;

3) 进给轴跟随主轴同步控制

3.1) 判断数控系统接收的当前螺纹插补信息中是否需要检测到主轴Z相信号,若需检测到主轴Z相信号,则执行步骤3.2),若不需检测到主轴Z相信号,则依据上一次检测到的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准,执行步骤3.2);

3.2) 将数控系统接收到当前螺纹插补信息中的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准,记录下主轴Z相信号处的主轴脉冲值,根据螺纹加工的要求,不同头数的螺纹对应偏移主轴Z相信号相应的位置作为加工螺纹的基准,执行步骤3.3);

3.3) 若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号在设定的偏差范围内,则执行步骤4);若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号不在设定的偏差范围内,则返回步骤3.2);

4) 根据主轴编码器相对主轴Z相信号基准的圈数 $r_m$ 计算进给轴进给量,以此进行螺纹加

工

4.1) 计算步骤3.3)中主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号的偏差值对应螺纹进给轴的进给量,并输出至伺服控制系统,执行步骤4.2);

4.2) 数控系统每个插补周期读取一次主轴编码器的反馈值,并计算该反馈值与加工螺纹的基准的偏差值;在加速段时,根据步骤2.2)中公式(2)计算进给轴的进给量,偏差值大于2.1)中的过渡圈数 $r_m$ 时,根据2.3)中的表达式计算进给轴的进给量,计算结果输出至伺服控制系统,执行步骤4.3);

4.3) 判断进给轴的进给量是否到达螺纹终点,若到达螺纹终点,则螺纹切削完成;若未到达螺纹终点,则返回步骤4.2)。

## 一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于数控加工螺纹车削技术领域,特别涉及一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法。

### 背景技术

[0002] 数控系统是车床加工的核心控制装置,螺纹车削是车床加工的核心应用之一,对于数控系统,实现螺纹车削的精确加工是其性能的主要指标。

[0003] NC文件是用于描述数控加工刀具轨迹的文件,通常使用G代码对刀具轨迹进行描述,数控系统根据输入的G代码,首先通过编译模块对G代码进行解析,得到刀具运动轨迹,再经过刀具轨迹规划、速度规划及插补离散生成每个插补周期的插补点,最后通过输出模块将插补点输出至伺服系统实现螺纹的车削,参见图1。

[0004] 数控系统螺纹加工是车床系统最关键的技术之一,提升螺纹车削精度一直是本领域研究的热点之一,例如中国专利公开的一种多刀分工序数控车修螺纹的方法(申请号201910992001.1),该方法以区分粗、精车工序,粗、精车工序分别使用不同刀具,且每把刀具可以使用不同转速加工螺纹,从而有利于降低刀具成本、合理安排加工工艺。此外,数控系统螺纹车削主要难点是加工精度,车削精度是影响螺纹好坏的关键因素之一,此技术从工艺上换刀及使用不同转速进行螺纹加工,降低了加工效率。又如中国专利公开的一种提升螺纹车削速度与加工精度的数值控制系统及其方法(申请号201410080137.2),该方法输入一螺纹加工程序于一数值控制装置,数值控制装置用以控制一加工机之一刀具之运作;输入一螺纹种类于数值控制装置;根据螺纹种类计算刀具之一实体运动轴X与一实体运动轴Z的退刀时间;根据退刀时间进行实体运动轴X与实体运动轴Z的轴向动程规划,并进行一插值运算后分别产生X轴插值命令与Z轴插值命令;整合X轴插值命令与Z轴插值命令为退刀程序;整并退刀程序与螺纹加工程序为最终加工程序,以此达到增进加工效率、降低开发成本以及简化生产流程的目的。但该方法无法解决螺纹加工中的根本问题,即螺纹的加工精度及表面质量。

[0005] 因为螺纹车削深度的要求,无法实现经过一次车削循环便完成对螺纹的加工,往往需要进行多次的螺纹车削。如图2所示,首先刀具11进行第一次螺纹车削循环,由起始点1E沿着运动轴X方向运动至指定深度1A,到达1A点后,刀具由指定的车削深度点1A沿着一实体运动轴Z方向开始车削至退刀起始点1B,经过退刀距离与退刀角度的路径,将刀具退至远离工件12的表面,到达1C点,再经过退刀终点1D至车削循环终点1E,回到起始点1E。进行第二次螺纹车削循环时,刀具由起始点1E沿着运动轴X轴方向到达的指定点深度2A比第一次螺纹车削深度深,与第一次螺纹车削循环过程类似,经过退刀起始点2B、远离工件12表面点2C、退刀终点2D到达循环终点2E,完成第二次车削循环的加工,按照此流程依次进行螺纹车削循环直至螺纹车削完成。

[0006] 因为进行螺纹的多次加工循环,工程中,指定深度1A(2A)与工件之间存在一定距离、主轴转速存在波动导致多次车削循环刀具接触到工件表面的位置不一致等原因,使得

加工出合格的螺纹表面质量、以及保证螺纹的加工精度变得较为困难,可能产生无效牙及在加工螺纹表面产生花纹。其中,无效牙指的是在进行螺纹车削时,所产生的螺纹节距小于或大于设定的螺纹节距;表面花纹是由多次循环进刀时接触工件的地方不同所导致。如果螺纹节距及表面质量都为正确的时候,称为有效牙。

[0007] 螺纹车削加工过程中,为满足牙面质量与牙的螺距,如何在每次循环过程中,接触工件的点保持在同一位置,是面对的主要难题。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的是为了克服已有技术的不足之处,提出一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法,该方法使用同步控制实现螺纹车削循环的精确控制。

[0009] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0010] 本发明提出的一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0011] 1) 获取螺纹插补信息

[0012] 数控系统对当前G代码的信息进行提取,获取螺纹插补信息,包括:螺纹加速时间 $t$ ;当前螺纹加工段的螺距值 $pitch$ ;当前螺纹加工段的起点位置与终点位置,并计算当前螺纹加工段的长度 $l_{total}$ ;以及主轴转速 $s_{cmd}$ ;

[0013] 2) 设计主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系

[0014] 螺纹加工过程中分为加速段、匀速段,以及位于加速段和匀速段之间的过渡段,分别对过渡段、加速段和匀速段内主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系进行如下设计:

[0015] 2.1) 过渡段

[0016] 根据步骤1) 获取的螺纹插补信息,设主轴编码器值偏移主轴Z相信号的圈数 $r_m$ 为:

$$[0017] \quad r_m = pitch * s_{cmd} * t \quad (1)$$

[0018] 其中, $pitch$ 为步骤1) 获取的当前螺纹加工段的螺距值; $s_{cmd}$ 为步骤1) 获取的主轴转速; $t$ 为步骤1) 获取的螺纹加速时间;

[0019] 2.2) 加速段

[0020] 螺纹车削的加速段根据设定的加速时间进行螺纹加工指令速度的升速,设加速段进给轴进给量 $l$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$[0021] \quad l = a_0 + b_0 r + c_0 r^2 \quad (2)$$

[0022] 其中, $a_0, b_0, c_0$ 分别为待求系数,根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定,具体为:

[0023] ①在 $r=0$ 时,进给轴的进给量 $l=0$ ,计算得 $a_0=0$ ;

[0024] ②在 $r=0$ 时,进给轴的速度为0,计算得 $b_0=0$ ;

[0025] ③在 $r=r_m$ 时,进给轴的速度为螺纹加工段的螺距值 $pitch$ ,计算得 $c_0 = pitch / (2r_m)$ ;

[0026] 2.3) 匀速段

[0027] 设匀速段进给轴进给量 $l'$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$[0028] \quad l' = a_1 + b_1 r \quad (3)$$

[0029] 其中, $a_1, b_1$ 分别为待求系数,根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定,具体为:

[0030] ①在升速段与匀速段的过渡处有: $a_0 + b_0 s + c_0 r_m^2 = a_1 + b_1 r_m$ ,计算得到 $a_1 = -$

$0.5 * \text{pitch} * r_m$ ;

[0031] ②在匀速段处,主轴每转一圈,进给轴进给量为1个螺距,即 $b_1 = \text{pitch}$ ;

[0032] 3) 进给轴跟随主轴同步控制

[0033] 3.1) 判断数控系统接收的当前螺纹插补信息中是否需要检测到主轴Z相信号,若需检测到主轴Z相信号,则执行步骤3.2),若不需检测到主轴Z相信号,则依据上一次检测到的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准,执行步骤3.2);

[0034] 3.2) 将数控系统接收到当前螺纹插补信息中的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准,记录下主轴Z相信号处的主轴脉冲值,根据螺纹加工的要求,不同头数的螺纹对应偏移主轴Z相信号相应的位置作为加工螺纹的基准,执行步骤3.3);

[0035] 3.3) 若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号在设定的偏差范围内,则执行步骤4);若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号不在设定的偏差范围内,则返回步骤3.2);

[0036] 4) 根据主轴编码器相对主轴Z相信号基准的圈数 $r_m$ 计算进给轴进给量,以此进行螺纹加工

[0037] 4.1) 计算步骤3.3)中主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号的偏差值对应螺纹进给轴的进给量,并输出至伺服控制系统,执行步骤4.2);

[0038] 4.2) 数控系统每个插补周期读取一次主轴编码器的反馈值,并计算该反馈值与加工螺纹的基准的偏差值;在加速段时,根据步骤2.2)中公式(2)计算进给轴的进给量,偏差值大于2.1)中的过渡圈数 $r_m$ 时,根据2.3)中的表达式计算进给轴的进给量,计算结果输出至伺服控制系统,执行步骤4.3);

[0039] 4.3) 判断进给轴的进给量是否到达螺纹终点,若到达螺纹终点,则螺纹切削完成;若未到达螺纹终点,则返回步骤4.2)。

[0040] 本发明的特点及有益效果如下:

[0041] 本发明提出的一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法,数控系统在准备切削螺纹前,在起始点处,开始加工螺纹时,进给轴首先进行升速,升速到指令速度后匀速。进给轴的进给量强跟随主轴的转动增量,当数控系统检测到主轴Z相信号时,将其作为加工螺纹的基准,记录下螺纹Z相信号处的主轴脉冲值。升速阶段,根据螺纹加减速时间、主轴编码器实际位置与基准之间的偏差以及螺距,计算进给轴的实际进给量;当实际物理轴的进给速度达到指令速度时,即根据主轴编码器实际位置与基准之间的偏差与螺距,计算进给轴的实际进给量,直至加工完成。本发明方法保证每次切削螺纹时,刀具碰到工件的位置保持一致,保证了螺纹车削的同步性。

[0042] 综上,通过本发明方法,为解决主轴在实际过程中的速度波动,采取进给轴进给位移与主轴进给之间的强跟随关系,能够实现螺纹多次切削情况下实现螺纹的精度及表面的加工质量。

## 附图说明

[0043] 图1是现有数控系统实现螺纹车削的处理流程图。

[0044] 图2是螺纹车削的循环示意图。

[0045] 图3是本发明实施例的一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法的流程图。

[0046] 图4是本发明实施例中进给轴相对于主轴编码器与Z相信号基准偏差值速度图。

### 具体实施方式

[0047] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步的详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施方式仅仅用以解释本发明,并不限定本发明的保护范围。

[0048] 为了更好地理解本发明,以下详细阐述本发明提出的一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法的应用实例。

[0049] 参见图3,本发明实施例的一种提升螺纹车削加工精度的主轴跟随同步控制方法包括以下步骤:

[0050] 1) 获取螺纹插补信息

[0051] 数控系统对当前G代码的信息进行提取,获取螺纹插补信息,包括:螺纹从主轴Z相信号处开始加工,需在加速时间内达到指令速度,需获取螺纹加速时间 $t$ (单位:ms);不同的螺纹加工的螺距不同,获取当前螺纹加工段的螺距值 $pitch$ (单位:mm/r);不同的螺纹加工的长度不同,需要获取当前螺纹加工段的起点位置与终点位置,并计算当前螺纹加工段的长度 $l_{total}$ ;主轴转速 $s_{cmd}$ (单位:r/min)。

[0052] 螺纹车削循环加工的数控G代码主要包含两种方式的加工指令,分别是,多个叠加的G32单螺纹车削指令和G92螺纹车削循环指令。其中:

[0053] 多个叠加的G32单螺纹车削指令也可以车削出螺纹,多个叠加的G32指令的格式为G32\_G32\_……G32\_G32\_,G32指令的个数代表车削螺纹进刀的次数。G32指令的格式分为两种,分别是平行螺纹指令G32 Z\_Q\_(F\_or E\_)和锥度螺纹指令G32 X\_Z\_Q\_(F\_or E\_),其中,X、Z分别为车削绝对值方式下螺纹终点坐标的X、Z轴分量,F为公制长轴方向上的螺距,E为英制下长轴方向上的螺距,Q为刀具在螺纹起点的偏移角度,Q值代表进行多线螺纹车削时,刀具在每一次切到正在旋转中的加工物时相对于正常切削位置偏移的角度。

[0054] G92螺纹车削循环指令的格式分为两种,分别是直线平行螺纹车削循环指令G92 X\_Z\_H\_(F\_or E\_)和锥度螺纹车削循环指令G92 X\_Z\_R\_H\_(F\_or E\_),其中X、Z分别为车削绝对值方式下终点坐标的X、Z轴分量,R为锥度螺纹的锥度值,F为公制长轴方向上的螺距,E为英制下长轴方向上的螺距,H为螺纹的多牙嘴个数。

[0055] 2) 设计主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系

[0056] 螺纹加工过程中分为加速段、匀速段,以及位于加速段和匀速段之间的过渡段,参见图4,分别对过渡段、加速段和匀速段内主轴转速与进给轴进给量之间的函数关系进行如下设计:

[0057] 2.1) 过渡段

[0058] 过渡段为进给轴加速到指令速度点即加速段与匀速段过渡处,如图4所示,横坐标表示主轴编码器相对主轴Z相信号基准的圈数,纵坐标表示进给轴的速度,过渡处即为图中 $r_m$ 。根据步骤1)获取的螺纹插补信息,设主轴编码器值偏移主轴Z相信号的圈数 $r_m$ 为:

$$[0059] \quad r_m = pitch * s_{cmd} * t \quad (1)$$

[0060] 其中, $pitch$ 为步骤1)获取的当前螺纹加工段的螺距值; $s_{cmd}$ 为步骤1)获取的主轴转速; $t$ 为步骤1)获取的螺纹加速时间。

[0061] 2.2) 加速段

[0062] 螺纹车削的加速段根据设定的加速时间进行螺纹加工指令速度的升速, 设加速段进给轴进给量 $l$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$[0063] \quad l = a_0 + b_0 r + c_0 r^2 \quad (2)$$

[0064] 其中,  $a_0, b_0, c_0$  分别为待求系数, 根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定, 具体为:

[0065] ①在 $r=0$ 时, 进给轴的进给量 $l=0$ , 计算得:  $a_0=0$ 。

[0066] ②在 $r=0$ 时, 进给轴的速度为0。计算得 $b_0=0$ 。

[0067] ③在 $r=r_m$ 时, 进给轴的速度为螺纹加工段的螺距值 $pitch$ , 计算得 $c_0 = pitch / (2r_m)$ 。

[0068] 2.3) 匀速段

[0069] 设匀速段进给轴进给量 $l'$ 与主轴编码器位置相对于Z相信号圈数 $r$ 满足公式:

$$[0070] \quad l' = a_1 + b_1 r \quad (3)$$

其中,  $a_1, b_1$  分别为待求系数, 根据步骤1) 获取的螺纹插补信息确定, 具体为:

[0071] ①在升速段与匀速段的过渡处有:  $a_0 + b_0 s + c_0 r_m^2 = a_1 + b_1 r_m$ , 计算得到 $a_1 = -0.5 * pitch * r_m$ 。

[0072] ②在匀速段处, 主轴每转一圈, 进给轴进给量为1个螺距, 即 $b_1 = pitch$ 。

[0073] 3) 进给轴跟随主轴同步控制, 具体包括以下步骤:

[0074] 3.1) 由于涉及到多个连续的螺纹加工段, 只有在第一个螺纹加工段过程中才会检测主轴Z相信号, 判断数控系统接收的当前螺纹插补信息中是否需要检测到主轴Z相信号, 若需检测到主轴Z相信号, 则执行步骤3.2), 若不需检测到主轴Z相信号, 则依据上一次检测到的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准, 执行步骤3.2)。

[0075] 3.2) 将数控系统接收到当前螺纹插补信息中的主轴Z相信号作为加工螺纹的基准, 记录下主轴Z相信号处的主轴脉冲值, 根据螺纹加工的要求, 不同头数的螺纹对应偏移主轴Z相信号相应的位置作为加工螺纹的基准, 执行步骤3.3)。

[0076] 3.3) 因主轴的高速运转, 不可能恰巧在主轴Z相信号的位置进行螺纹加工, 本发明采用阈值加工法, 若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号在设定的偏差范围内, 则执行步骤4)。若主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号不在设定的偏差范围内, 则返回步骤3.2) 一直等待直到满足偏差范围。

[0077] 4) 根据主轴编码器相对主轴Z相信号基准的圈数 $r_m$  计算进给轴进给量, 以此进行螺纹加工

[0078] 在步骤3.3) 中主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号在设定的偏差范围内即进行螺纹切削, 螺纹一旦开始切削, 进给轴的进给量强跟随主轴的转动增量, 即进给轴的进给量取决于主轴编码器反馈值与主轴Z相信号基准之间的差值。具体包括以下步骤:

[0079] 4.1) 计算步骤3.3) 中主轴编码器的反馈值与主轴Z相信号的偏差值(单位: 圈数) 对应螺纹进给轴的进给量, 并输出至伺服控制系统, 执行步骤4.2)。

[0080] 4.2) 数控系统每个插补周期读取一次主轴编码器的反馈值, 并计算该反馈值与加工螺纹的基准的偏差值(单位: 圈数); 在加速段时, 根据步骤2.2) 中公式(2) 计算进给轴的进给量, 偏差值大于2.1) 中的过渡圈数 $r_m$  时, 根据2.3) 中的表达式计算进给轴的进给量, 计算结果输出至伺服控制系统, 执行步骤4.3)。

[0081] 4.3) 判断进给轴的进给量是否到达螺纹终点即完成螺纹加工段长度 $l_{total}$ 的加工, 若到达螺纹终点, 则螺纹切削完成, 本方法结束; 若未到达螺纹终点, 则返回步骤4.2)。

[0082] 最后应说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

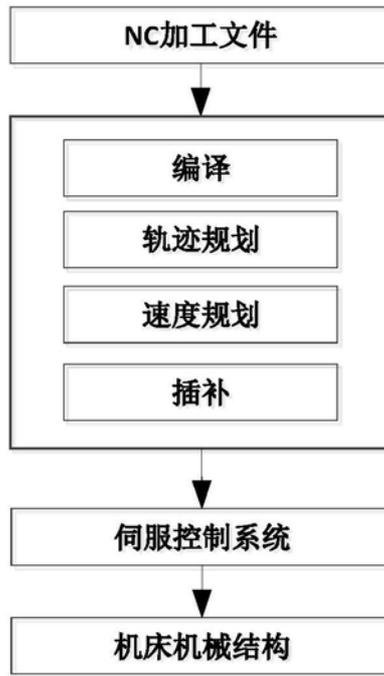


图1

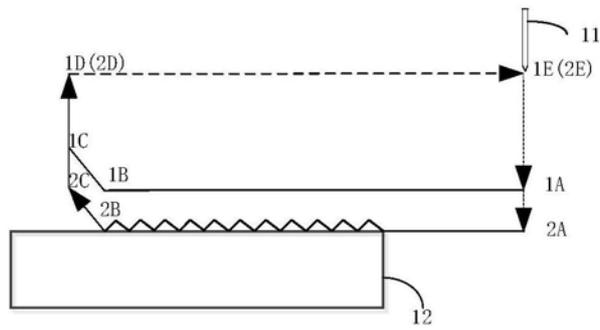


图2

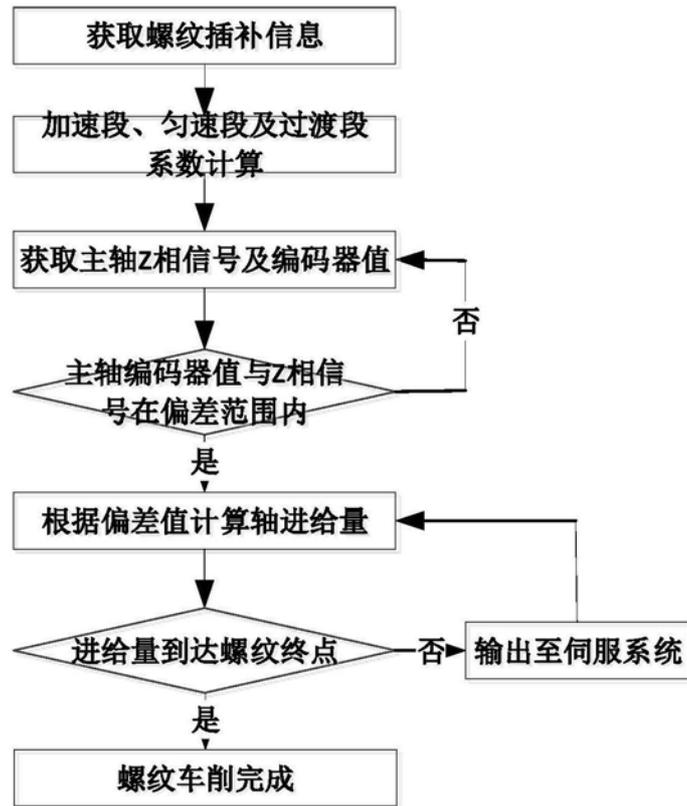


图3

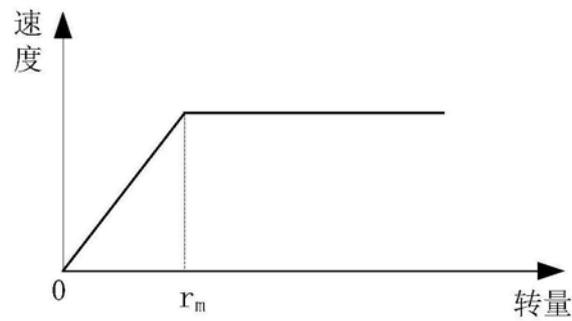


图4