



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103801973 B

(45)授权公告日 2016.12.21

(21)申请号 201210445725.2

(22)申请日 2012.11.09

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103801973 A

(43)申请公布日 2014.05.21

(73)专利权人 沈阳高精数控智能技术股份有限公司

地址 110168 辽宁省沈阳市东陵区南屏东路16-2号

(72)发明人 韩洋洋 杜桂红 代兵 刘洋  
孙宇 王广宇

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 许宗富

(51)Int.Cl.

B23Q 3/16(2006.01)

B23Q 3/155(2006.01)

(56)对比文件

CN 102452023 A,2012.05.16,

CN 202207914 U,2012.05.02,

US 2002094920 A1,2002.07.18,

GB 1258426 A,1971.12.30,

JP 2002205236 A,2002.07.23,

JP H08294837 A,1996.11.12,

审查员 连振锋

权利要求书2页 说明书11页 附图3页

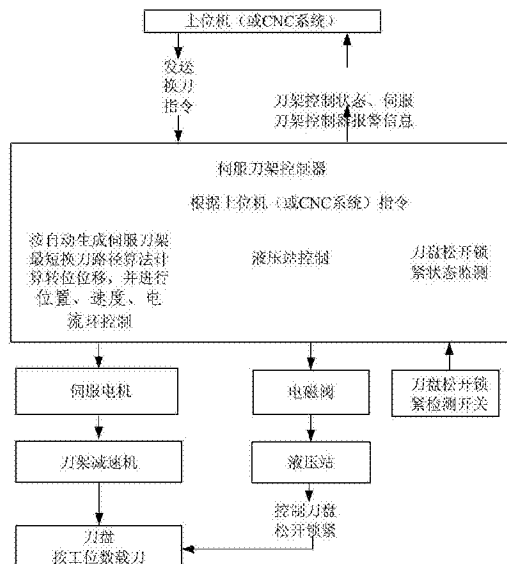
(54)发明名称

基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法

(57)摘要

本发明涉及基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法,包括以下步骤:伺服刀架控制器自动生成伺服刀架最短换刀路径算法计算转位位移,并将位移作为伺服电机给定值进行位置闭环控制,带动刀盘进行转位换刀动作;在刀盘转位换刀动作时,采用扭矩输出分时控制算法限定伺服刀架控制器的扭矩输出,使伺服电机控制刀盘完成转位动作。本发明简化上位机刀架控制逻辑的编程难度;缩短了换刀过程的时间,有助于提高换刀效率;有效地解决了电机过流的问题,保护了设备;显著提高了设备的利用率和使用寿命。

CN 103801973 B



1. 基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法,其特征在于包括以下步骤:

伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后,自动生成伺服刀架的最短换刀路径,将该路径作为伺服电机带动刀盘旋转的所需的转位位移,利用速度规划算法得到换刀过程中伺服电机任意时刻的速度及位移,将位移作为伺服电机给定值进行位置闭环控制,带动刀盘进行转位换刀动作;

在刀盘转位换刀动作时,采用扭矩输出分时控制算法限定伺服刀架控制器的扭矩输出,伺服刀架控制器将该扭矩输出至伺服电机控制刀盘完成转位动作;

所述速度规划算法采用多段式曲线加减速算法包括以下步骤:

将伺服电机运动过程中的转速随时间变化的加减速曲线分成加速段、匀速段和减速段;加速段和减速段分别分割成多段形状相似但加速度变化率不同的曲线段;其中,加速段中的每个曲线段包括加加速段和减加速段;减速段中的每个曲线段包括加减速段和减减速段;

根据加减速曲线建立由各曲线段组成的数学模型;将自动生成伺服刀架的最短换刀路径与各曲线段的速度指标参数代入该数学模型中,得到伺服电机在各加加速段、减加速段、匀速段、加减速段和减减速段的运行时间;然后将各参数和得到的运行时间再代入上述数学模型中,即得到换刀过程中任意时刻的速度和位移;

所述扭矩输出分时控制算法包括以下步骤:

判断当前时刻伺服刀架控制器是否完成转位换刀动作;若处于转位换刀动作状态,则伺服刀架控制器将最大允许扭矩输出输出至伺服电机控制刀盘转位到目标位置;若转位换刀动作结束,则将伺服刀架控制器的扭矩输出保持在自保护范围内输出至伺服电机控制刀盘保持目标位置不动,直至伺服刀架控制器发出刀盘锁紧命令。

2. 根据权利要求1所述的基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法,其特征在于:

所述自动生成伺服刀架最短换刀路径包括以下步骤:

伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后,将其转换为目标刀号 $n_1$ ;将目标刀号 $n_1$ 与当前刀号 $n_2$ 作差,得到差值 $e_1$ ;

将刀盘总刀位数 $n_3$ 与 $e_1$ 的绝对值 $|e_1|$ 作差,得到差值 $e_2$ ;判断 $|e_1|$ 与 $e_2$ 的大小关系:若 $|e_1|$ 大于 $e_2$ ,则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = -e_2 \times \frac{e_1}{|e_1|}$ ;若 $|e_1|$ 小于等于 $e_2$ ,则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = e_1$ ;

根据 $s = \frac{e_3 \times m \times \text{encoder}}{n_3}$ 得到转位位移;如果总转位位移 $s$ 为正,表示电机正转,如果 $s$ 为负,表示电机反转;其中, $m$ 为伺服刀架减速机减速比,encoder为伺服电机编码器线数。

3. 根据权利要求1所述的基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法,其特征在于:

所述各曲线段的速度指标参数包括:

加速段的各曲线段中加加速段的加速度变化率依次为 $JA_1$ 、 $JA_2$ 、 $\dots$ 、 $JA_{n+1}$ ,减加速段的加速度变化率与对应的加加速段的加速度变化率互为相反数;

减速段的各曲线段中减减速段的加速度变化率依次为 $JD_1$ 、 $JD_2$ 、 $\dots$ 、 $JD_{m+1}$ ,加减速段的

加速度变化率与对应的减减速段的加速度变化率互为相反数；

加减速曲线的初始速度值为 $V_s$ ，加减速曲线的末速度值为 $V_e$ ，匀速段速度为整个加减速曲线最大速度值 $V_{max}$ ，加速段中各曲线段的最大速度值依次为 $VA_1$ 、 $VA_2$ …… $VA_{n+1}$ ，减速段中各曲线段的最大速度值依次为 $VD_1$ 、 $VD_2$ 、 $VD_{m+1}$ 。

4. 根据权利要求3所述的基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法，其特征在于：

所述数学模型为

$$S(t) = \begin{cases} V_s t + \frac{1}{6} J A_1 t^3 & t \in [0, TA_1) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2) t - \frac{1}{6} J A_1 (t - 2T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [T A_1, 2T A_1) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2) t + \frac{1}{6} J A_2 (t - 2T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [2T A_1, 2T A_1 + T A_2) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J A_2 [t - (2T A_1 + 2T A_2)]^3 - J A_1 T A_1^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2T A_1 + T A_2, 2T A_1 + 2T A_2) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2T A_1 + 2T A_2, 2T A_1 + 2T A_2 + T_y) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J D_1 [t - (2T A_1 + 2T A_2 + T_y)]^3 - J A_1 T A_1^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2T A_1 + 2T A_2 + T_y, 2T A_1 + 2T A_2 + T_y + T D_1) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_1 [t - (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1)]^3 + J D_1 T D_1^2 (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + T D_1) & t \in [2T A_1 + 2T A_2 + T_y + T D_1, 2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 - \frac{1}{6} J D_2 [t - (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1)]^3 + J D_1 T D_1^2 (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + T D_1) & t \in [2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1, 2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1 + T D_2) \\ (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2 - J D_2 T D_2^2) t - J A_1 T A_1^3 - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_2 [t - (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1 + 2T D_2)]^3 - 2J A_2 T A_2^2 T A_1 + J D_1 T D_1^2 (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + T D_1) + J D_2 T D_2^2 (2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1 + T D_2) & t \in [2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1 + T D_2, 2T A_1 + 2T A_2 + T_y + 2T D_1 + 2T D_2) \end{cases}$$

其中， $S(t)$ 为伺服刀架控制器在换刀过程中任意时刻的位移， $TA_1$ 、 $TA_2$ 分别为伺服电机在各加加速段的运行时间，各减加速段运行时间与对应的加加速段的运行时间相等； $TD_1$ 、 $TD_2$ 分别为伺服电机在各减减速段的运行时间，各加减速段运行时间与对应的减减速段的运行时间相等；匀速过程时间为 $T_y$ 。

## 基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于数控刀架控制领域,特别涉及一种基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制算法。

### 背景技术

[0002] 伺服刀架是机床的高档功能性附件,此类刀架与传统的液压刀架相比具有可靠性高、转位快、刚性好、结构简单、运行平稳等特点。由于国内针对伺服刀架的研发起步要比国外晚,因此在转位时间、转位精度等技术品质上,我国的伺服刀架与世界先进水平相比,仍存在很大的差距,国内还鲜有成熟的针对伺服刀架的专业伺服产品系列,目前国内主流的刀架控制方案有两种:1.以普通伺服为主体,伺服刀架的选刀、定位、锁紧等动作通过数控系统来控制,数控系统将刀位转换成给伺服驱动器的指令脉冲数,来驱动伺服电机带动伺服刀架旋转;2.以普通伺服为主体,外加一个单片机,单片机接收上位机发送的目标刀位等信息,再将目标刀位转换成给伺服驱动器的指令脉冲数,从而驱动伺服电机带动伺服刀架旋转。上述两种控制方案的不足之处在于额外占用系统资源,无端的增加了成本,降低了设备的可靠性。

[0003] 伺服刀架在锁紧的过程中,由于机械制作工艺、定位精度等原因有时会出现定位销的头部与上刀体的销孔之间存在些许的偏差,使得伺服刀架在锁紧的过程中定位销不能完全被压入销孔中,此时机械力会将定位销强制性地压入到销孔,由于此时电机仍处于通电状态,这样会导致电机出现过流现象,严重的甚至会损坏电机和伺服刀架控制器。

[0004] 随着先进制造业的发展,机床对数控刀架转位换刀的效率要求越来越高,而要实现快速转位换刀,就必须面临的一个问题就是在启停的过程中对机械的冲击。传统的刀架控制器对位置的控制方式常用的大都是直线加减速控制、指数加减速控制、S曲线加减速控制,上述控制方式虽然一定程度上解决了启停过程中对机械的冲击问题,但是仍无法解决提高换刀效率和降低机械启停冲击的矛盾,即要想降低机械启停冲击,就无法最大程度的提高换刀效率;要想提高换刀效率,就无法保障最大程度的降低机械启停冲击,尤其是在小惯量电机带动大惯量负载的情况下,伴随着机械启停冲击会出现伺服电机过流的现象。

### 发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的缺点与不足,本发明提供了一种基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制算法,本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:

[0006] 基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制方法,包括以下步骤:

[0007] 伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后,自动生成伺服刀架的最短换刀路径,将该路径作为伺服电机带动刀盘旋转的所需的转位位移,利用速度规划算法得到换刀过程中伺服电机任意时刻的速度及位移,将位移作为伺服电机给定值进行位置闭环控制,带动刀盘进行转位换刀动作;

[0008] 在刀盘转位换刀动作时,采用扭矩输出分时控制算法限定伺服刀架控制器的扭矩

输出,伺服刀架控制器将该扭矩输出至伺服电机控制刀盘完成转位动作。

[0009] 所述自动生成伺服刀架最短换刀路径包括以下步骤:

[0010] 伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后,将其转换为目标刀号 $n_1$ ;将目标刀号 $n_1$ 与当前刀号 $n_2$ 作差,得到差值 $e_1$ ;

[0011] 将刀盘总刀位数 $n_3$ 与 $e_1$ 的绝对值 $|e_1|$ 作差,得到差值 $e_2$ ;判断 $|e_1|$ 与 $e_2$ 的大小关系:

若 $|e_1|$ 大于 $e_2$ ,则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = -e_2 \times \frac{e_1}{|e_1|}$ ;若 $|e_1|$ 小于等于 $e_2$ ,则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = e_1$ ;

[0012] 根据 $s = \frac{e_3 \times m \times \text{encoder}}{n_3}$ 得到转位位移;如果总转位位移 $s$ 为正,表示电机正转,如果 $s$ 为负,表示电机反转;其中, $m$ 为伺服刀架减速机减速比, $\text{encoder}$ 为伺服电机编码器线数。

[0013] 所述速度规划算法采用多段式曲线加减速算法包括以下步骤:

[0014] 将伺服电机运动过程中的转速随时间变化的加减速曲线分成加速段、匀速段和减速段;加速段和减速段分别分割成多段形状相似但加速度变化率不同的曲线段;其中,加速段中的每个曲线段包括加加速段和减加速段;减速段中的每个曲线段包括加减速段和减减速段;

[0015] 根据加减速曲线建立由各曲线段组成的数学模型;将自动生成伺服刀架的最短换刀路径与各曲线段的速度指标参数代入该数学模型中,得到伺服电机在各加加速段、减加速段、匀速段、加减速段和减减速段的运行时间;然后将各参数和得到的运行时间再代入上述数学模型中,即得到换刀过程中任意时刻的速度和位移。

[0016] 所述各曲线段的速度指标参数包括:

[0017] 加速段的各曲线段中加加速段的加速度变化率依次为 $JA_1$ 、 $JA_2$ 、 $\dots$ 、 $JA_{n+1}$ ,减加速段的加速度变化率与对应的加加速段的加速度变化率互为相反数;

[0018] 减速段的各曲线段中减减速段的加速度变化率依次为 $JD_1$ 、 $JD_2$ 、 $\dots$ 、 $JD_{m+1}$ ,加减速段的加速度变化率与对应的减减速段的加速度变化率互为相反数;

[0019] 加减速曲线的初始速度值为 $V_s$ ,加减速曲线的末速度值为 $V_e$ ,匀速段速度为整个加减速曲线最大速度值 $V_{\max}$ ,加速段中各曲线段的最大速度值依次为 $VA_1$ 、 $VA_2$ 、 $\dots$ 、 $VA_{n+1}$ ,减速段中各曲线段的最大速度值依次为 $VD_1$ 、 $VD_2$ 、 $VD_{m+1}$ 。

[0020] 所述扭矩输出分时控制算法包括以下步骤:

[0021] 判断当前时刻伺服刀架控制器是否完成转位换刀动作;若处于转位换刀动作状态,则伺服刀架控制器将最大允许扭矩输出输出至伺服电机控制刀盘转位到目标位置;若转位换刀动作结束,则将伺服刀架控制器的扭矩输出保持在自保护范围内输出至伺服电机控制刀盘保持目标位置不动,直至伺服刀架控制器发出刀盘锁紧命令。

[0022] 所述数学模型为

[0023]

$$S(t) = \begin{cases} V_y t + \frac{1}{6} J A_1 t^3 & t \in [0, T A_1) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2) t - \frac{1}{6} J A_1 (t - 2 T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [T A_1, 2 T A_1) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2) t + \frac{1}{6} J A_2 (t - 2 T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [2 T A_1, 2 T A_1 + T A_2) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J A_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2)]^3 - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2 T A_1 + T A_2, 2 T A_1 + 2 T A_2) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J D_1 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y)]^3 - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_1 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1)]^3 + J D_1 T D_1^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 - \frac{1}{6} J D_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1)]^3 + J D_1 T D_1^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2) \\ (V_y + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2 - J D_2 T D_2^2) t - J A_1 T A_1^3 - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + 2 T D_2)]^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 + J D_1 T D_1^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) + J D_2 T D_2^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2) & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + 2 T D_2) \end{cases}$$

[0024] 其中,  $S(t)$  为伺服刀架控制器在换刀过程中任意时刻的位移,  $T A_1$ 、 $T A_2$  分别为伺服电机在各加加速段的运行时间, 各减加速段运行时间与对应的加加速段的运行时间相等;  $T D_1$ 、 $T D_2$  分别为伺服电机在各减减速段的运行时间, 各加减速段运行时间与对应的减减速段的运行时间相等; 匀速过程时间为  $T_y$ 。

[0025] 本发明具有以下有益效果及优点:

[0026] 1. 本发明控制接口简单方便, 简化上位机刀架控制逻辑的编程难度, 上位机只需向伺服刀架控制器发送一组换刀指令即可, 不需要做任何其他的工作; 伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后, 能够自动将其转换出目标刀号并按转位路径最短的原则计算出伺服电机的转位位移, 进而完成伺服刀架的松开、转位、锁紧功能, 不额外占用上位机的任何资源, 也省去了单片机计算单元部分, 从而节约了成本, 同时也提高了设备的可靠性。

[0027] 2. 本发明有效地解决了锁紧刀盘的过程中由于机械制作工艺、定位精度等原因引

起的电机过流的问题,从而有效地保护了设备。

[0028] 3.本发明在保证高换刀效率的同时,最大程度的降低了机械启停冲击,消除了小惯量电机带动大惯量负载在启停过程中产生过流的现象,显著提高了设备的利用率 and 使用寿命。

[0029] 4.本发明通过引入自动生成伺服刀架最短换刀路径算法,使得伺服刀架控制器控制接口简单方便,简化上位机刀架控制逻辑的编程难度;为刀架转位换刀提供了一种最短的路径,在一定程度上减少了电力资源的浪费,缩短了换刀过程的时间,有助于提高换刀效率。

[0030] 5.本发明通过扭矩输出分时控制算法有效地解决了上述锁紧刀盘的过程中由于机械制作工艺、定位精度等原因引起的电机过流的问题,从而有效地保护了设备。

[0031] 6.本发明通过引入多段式曲线加减速算法,实现了在保证高换刀效率的同时,最大程度的降低了机械启停冲击,消除了小惯量电机带动大惯量负载在启停过程中产生过流的现象,显著提高了设备的利用率 and 使用寿命。

## 附图说明

[0032] 图1为本发明的伺服刀架控制器的工作流程示意图;

[0033] 图2为本发明的自动生成伺服刀架最短换刀路径算法流程图;

[0034] 图3为本发明的扭矩输出分时控制算法的结构框图;

[0035] 图4为本发明的多段式曲线加减速算法的原理图。

## 具体实施方式

[0036] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0037] 本发明提供了一种基于伺服刀架控制器的伺服电机的优化控制算法,其主要包含三个部分:(1)自动生成伺服刀架最短换刀路径算法,即在伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令后,将其转换为目标刀号,根据预先配置的伺服刀架减速机的减速比以及伺服电机编码器线数,按转位路径最短的原则计算出伺服电机的转位位移;(2)扭矩输出分时控制算法,即在转位换刀动作状态,伺服刀架控制器将最大允许扭矩输出输出至伺服电机控制刀盘转位到目标位置;在转位换刀动作结束后,将伺服刀架控制器的扭矩输出保持在自保护范围内输出至伺服电机控制刀盘保持目标位置不动,直至伺服刀架控制器发出刀盘锁紧命令;(3)多段式曲线加减速算法,即将伺服电机运动过程中的转速随时间变化的加减速曲线分成加速段、匀速段和减速段;加速段和减速段分割成多段形状相似但加速度变化率不同的曲线段;其中,加速段中的每个曲线段包括加加速段和减加速段;减速段中的每个曲线段包括加减速段和减减速段。

[0038] 上述加加速段是指曲线中加速度为正值同时加速度的变化率也为正值的部分,减加速段是指曲线中加速度为正值同时加速度的变化率为负值的部分,加减速段是指曲线中加速度为负值同时加速度的变化率也为负值的部分,减减速段是指曲线中加速度为负值同时加速度的变化率为正值的部分,匀速段是指曲线中加速度为零同时加速度的变化率也为零的部分。

[0039] 所述自动生成伺服刀架最短换刀路径算法为在伺服刀架控制器接收到上位机换

刀指令后,能够自动将其转换为目标刀号,根据预先配置的伺服刀架减速机的减速比以及伺服电机编码器线数,按转位路径最短的原则计算出伺服电机的转位位移。

[0040] 所述扭矩输出分时控制算法为在转位换刀动作状态,伺服刀架控制器将最大允许扭矩输出输出至伺服电机控制刀盘转位到目标位置;在转位换刀动作结束后,将伺服刀架控制器的扭矩输出保持在自保护范围内输出至伺服电机控制刀盘保持目标位置不动,直至伺服刀架控制器发出刀盘锁紧命令;

[0041] 所述多段式曲线加减速算法为将伺服电机运动过程中的转速随时间变化的加减速曲线分成加速段、匀速段和减速段;加速段和减速段分割成多段形状相似但加速度变化率不同的曲线段;其中,加速段中的每个曲线段包括加加速段和减加速段;减速段中的每个曲线段包括加减速段和减减速段;其具体形状如图4中的下图所示。

[0042] 伺服刀架控制器工作流程如图1所示,上位机只需发送换刀指令信号,不需要任何其他计算过程,即可完成换刀动作。具体过程如下:当上位机(或CNC系统)发出换刀指令后,伺服刀架控制器进行逻辑运算处理,按自动生成伺服刀架最短换刀路径算法计算出伺服电机的转位位移;伺服刀架控制器发出刀盘松开信号控制液压电磁阀转位,实现刀盘松开动作;当伺服刀架控制器检测到刀盘松开动作完成信号后,伺服刀架控制器采用位置、速度、电流三闭环全数字控制方式控制伺服电机转位;当伺服电机转位完成后,伺服刀架控制器发出刀盘锁紧信号控制液压电磁阀转位,实现刀盘锁紧动作;当伺服刀架控制器检测到锁紧动作完成信号后,伺服刀架控制器向上位机(或CNC系统)发送换刀动作完成信号以及当前的工位号;如果检测到报警,伺服刀架控制器立即将报警信息上传给上位机(或CNC系统)。

[0043] 上述方法使得控制接口简单方便,简化上位机刀架控制逻辑的编程难度,上位机只需向伺服刀架控制器发送一组换刀指令信号即可,不需要做任何其他的工作;伺服电机控制板接收到上位机换刀指令信号后,能够自动将其转换为目标刀号并按转位路径最短的原则计算出伺服电机的转位位移,进而完成伺服刀架的松开、转位、锁紧操作,不额外占用上位机的任何资源,也省去了单片机计算单元部分,从而节约了成本,同时也提高了设备的可靠性。

[0044] 自动生成伺服刀架最短换刀路径算法流程如图2所示,所述算法如下:

[0045] (1)伺服刀架控制器接收到上位机换刀指令信号后,自动将其转换为目标刀号 $n_1$ 。

[0046] (2)将目标刀号 $n_1$ 与当前刀号 $n_2$ 作差,得到差值 $e_1$ 。

[0047] (3)将刀盘总刀位数 $n_3$ 与上步得到的差值的绝对值 $|e_1|$ 作差,得到差值 $e_2$ 。

[0048] (4)判断 $|e_1|$ 与 $e_2$ 的大小关系:

[0049] ① $|e_1|$ 大于 $e_2$ :则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = -e_2 \times \frac{e_1}{|e_1|}$ ;

[0050] ② $|e_1|$ 小于等于 $e_2$ :则换刀过程所需转过的刀位数 $e_3 = e_1$ ;

[0051] (5)根据(4)中的计算结果 $e_3$ ,伺服刀架减速机减速比 $m$ ,以及伺服电机编码器线数

encoder,可得转位位移 $s = \frac{e_3 \times m \times \text{encoder}}{n_3}$ ,其单位为脉冲指令单位,如果总转位位移 $s$ 为

正,表示电机正转,如果 $s$ 为负,表示电机反转。

[0052] 通过引入自动生成伺服刀架最短换刀路径算法,使得伺服刀架控制器控制接口简



单方便,简化上位机刀架控制逻辑的编程难度;为刀架转位换刀提供了一种最短的路径,在一定程度上减少了电力资源的浪费,缩短了换刀过程的时间,有助于提高换刀效率。

[0053] 伺服刀架在锁紧的过程中,由于机械制作工艺、定位精度等原因有时会出现定位销的头部与上刀体的销孔之间会有些许的偏差,使得伺服刀架在锁紧的过程中定位销不能完全被压入销孔中,此时机械力会将定位销强制性地压入到销孔,由于此时电机还处于通电状态,这样就会使电机出现过流的现象,严重的甚至损坏电机和伺服刀架控制器。针对上述问题,本发明提出一种扭矩输出分时控制算法,其结构如图3所示,判断当前时刻伺服刀架控制器是否完成转位换刀动作;若处于转位换刀动作状态,则伺服刀架控制器将最大允许扭矩输出输出至伺服电机控制刀盘转位到目标位置;若转位换刀动作结束,则将伺服刀架控制器的扭矩输出保持在自保护范围内输出至伺服电机控制刀盘保持目标位置不动,直至伺服刀架控制器发出刀盘锁紧命令。

[0054] 通过扭矩输出分时控制算法有效地解决了上述锁紧刀盘的过程中由于机械制作工艺、定位精度等原因引起的电机过流的问题,从而有效地保护了设备。

[0055] 多段式曲线加减速算法原理如图4所示,其上图为加减速曲线算法中加速度随时间的变化规律,其下图为加减速曲线算法中速度随时间的变化规律,所述算法如下:

[0056] 设S为总位移,V为加减速曲线速度值,a为加减速曲线加速度值; $JA_1、JA_2、\dots、JA_{n+1}$ 依次为加速段的各曲线段中加加速段的加速度变化率,其为一恒值;减加速段的加速度变化率与对应的加加速段的加速度变化率互为相反数; $JD_1、JD_2、\dots、JD_{m+1}$ 依次为减速段的各曲线段中减减速段的加速度变化率,其为一恒值;加减速段的加速度变化率与对应的减减速段的加速度变化率互为相反数; $V_s$ 为加减速曲线的初始速度值, $V_e$ 为加减速曲线的末速度值; $V_{max}$ 为匀速段速度值,同时也是整个加减速曲线最大速度值; $VA_1、VA_2\dots VA_{n+1}$ 依次为加速段中各曲线段的最大速度值, $VD_1、VD_2\dots VD_{m+1}$ 依次为减速段中各曲线段的最大速度值;其中 $TA_1、TA_2\dots TA_{n+1}$ 为伺服电机在各加加速段的运行时间,各减加速段运行时间与对应的加加速段的运行时间相等; $TD_1\dots TD_{m+1}$ 分别为伺服电机在各减减速段的运行时间,各加减速段运行时间与对应的减减速段的运行时间相等;匀速过程时间为 $T_y$ 。

[0057] 下面以 $n=1,m=1$ 为例,建立多段式加减速曲线的数学模型:

[0058] 各段曲线段加速度公式如下:

$$[0059] \quad a(t) = \begin{cases} JA_1 t & t \in [0, TA_1) \\ JA_1 TA_1 - JA_1 (t - TA_1) & t \in [TA_1, 2TA_1) \\ JA_2 (t - 2TA_1) & t \in [2TA_1, 2TA_1 + TA_2) \\ JA_2 TA_2 - JA_2 (t - (2TA_1 + TA_2)) & t \in [2TA_1 + TA_2, 2TA_1 + 2TA_2) \\ 0 & t \in [2TA_1 + 2TA_2, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y) \\ -JD_1 (t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y)) & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1) \\ -JD_1 TD_1 + JD_1 (t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1)) & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1) \\ -JD_2 (t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1)) & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2) \\ -JD_2 TD_2 + JD_2 (t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2)) & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2) \end{cases} \quad (1)$$

[0060] 各段曲线段速度公式如下:

[0061]

$$\begin{aligned}
 V(t) = & \begin{cases} V_s + \frac{1}{2}JA_1t^2 & t \in [0, TA_1) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 - \frac{1}{2}JA_1(t - 2TA_1)^2 & t \in [TA_1, 2TA_1) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + \frac{1}{2}JA_2(t - 2TA_1)^2 & t \in [2TA_1, 2TA_1 + TA_2) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 - \frac{1}{2}JA_2[t - 2(TA_1 + TA_2)]^2 & t \in [2TA_1 + TA_2, 2TA_1 + 2TA_2) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 & t \in [2TA_1 + 2TA_2, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 - \frac{1}{2}JD_1[t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y)]^2 & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 - JD_1TD_1^2 + \frac{1}{2}JD_1[t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1)]^2 & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 - JD_1TD_1^2 - \frac{1}{2}JD_2[t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1)]^2 & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2) \\
 V_s + JA_1TA_1^2 + JA_2TA_2^2 - JD_1TD_1^2 - JD_2TD_2^2 + \frac{1}{2}JD_2[t - (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2)]^2 & t \in [2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2, 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2) \end{cases} \\
 & \hspace{15em} (2)
 \end{aligned}$$

[0062] 各段曲线段位移公式如下：

[0063]

$$\begin{aligned}
 & V_s t + \frac{1}{6} J A_1 t^3 & t \in [0, T A_1) \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2) t - \frac{1}{6} J A_1 (t - 2 T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [T A_1, 2 T A_1) \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2) t + \frac{1}{6} J A_2 (t - 2 T A_1)^3 - J A_1 T A_1^3 & t \in [2 T A_1, 2 T A_1 + T A_2) \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J A_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2)]^3 & t \in [2 T A_1 + T A_2, 2 T A_1 + 2 T A_2) \\
 & - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y) \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2) t - \frac{1}{6} J D_1 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y)]^3 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) \\
 & - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 - J A_2 T A_2^3 & \\
 S(t) = & \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1, 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1) \\
 & - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_1 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1)]^3 & \\
 & + J D_1 T D_1^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) & \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2) t - J A_1 T A_1^3 - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1, \\
 & - J A_2 T A_2^3 - \frac{1}{6} J D_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1)]^3 & 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2) \\
 & + J D_2 T D_2^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) & \\
 & (V_s + J A_1 T A_1^2 + J A_2 T A_2^2 - J D_1 T D_1^2 - J D_2 T D_2^2) t - J A_1 T A_1^3 & t \in [2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2, \\
 & - J A_2 T A_2^3 + \frac{1}{6} J D_2 [t - (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + 2 T D_2)]^3 & 2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + 2 T D_2) \\
 & - 2 J A_2 T A_2^2 T A_1 + J D_1 T D_1^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + T D_1) & \\
 & + J D_2 T D_2^2 (2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + T D_2) & 
 \end{aligned}$$

(3)

[0064] 由式(1)、(2)、(3)可知,已知初始速度值 $V_s$ 、末速度值 $V_e$ ,设定加速段的各曲线段中加加速段的加速度变化率 $J A_1$ 、 $J A_2$ ,减加速段的加速度变化率与对应的加加速段的加速度变化率互为相反数;减速段的各曲线段中减减速段的加速度变化率 $J D_1$ 、 $J D_2$ ,加减速段的加速度变化率与对应的减减速段的加速度变化率互为相反数;加减速曲线的最大速度 $V_{max}$ 、加速段中各曲线段的最大速度值 $V A_1$ ,减速段中各曲线段的最大速度值 $V D_1$ ,进而确定 $T A_1$ 、 $T A_2$ 、 $T_y$ 、 $T D_1$ 、 $T D_2$ 。确定了这五个参数也就确定了加速度、速度、位移三条曲线,于是问题就转化为求 $T A_1$ 、 $T A_2$ 、 $T_y$ 、 $T D_1$ 、 $T D_2$ 。以下分两种情况求解 $T A_1$ 、 $T A_2$ 、 $T_y$ 、 $T D_1$ 、 $T D_2$ 。

[0065] (一)假设伺服电机转位的总位移 $S \geq S(2 T A_1 + 2 T A_2 + T_y + 2 T D_1 + 2 T D_2)$ ,即速度曲线包含匀速段区,则由式(2)可得

$$[0066] \quad V A_1 = V_s + J A_1 T A_1^2 \tag{4}$$

[0067] 则

$$[0068] \quad TA_1 = \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}}$$

$$[0069] \quad V_{\max} = VA_1 + JA_2 TA_2^2 \quad (5)$$

[0070] 则

$$[0071] \quad TA_2 = \sqrt{\frac{V_{\max} - VA_1}{JA_2}}$$

$$[0072] \quad VD_1 = V_{\max} - JD_1 TD_1^2 \quad (6)$$

[0073] 则

$$[0074] \quad TD_1 = \sqrt{\frac{V_{\max} - VD_1}{JD_1}}$$

$$[0075] \quad VD_1 = JD_2 TD_2^2 + V_c \quad (7)$$

[0076] 则

$$[0077] \quad TD_2 = \sqrt{\frac{VD_1 - V_c}{JD_2}}$$

[0078] 由式(3)得:

[0079] 当  $t = 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2$  时,

$$[0080] \quad S(t) = (V_s + JA_1 TA_1^2 + JA_2 TA_2^2 - JD_1 TD_1^2 - JD_2 TD_2^2)(2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2)$$

$$[0081] \quad - JA_1 TA_1^3 - JA_2 TA_2^3 - 2JA_2 TA_2^2 TA_1 + JD_1 TD_1^2 (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1)$$

$$[0082] \quad + JD_2 TD_2^2 (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2) \quad (8)$$

[0083] 将由式(4)-(7)所得计算结果带入式(8)得:

$$[0084] \quad T_y = \frac{S(t) - (V_s + VA_1) \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}} - (V_{\max} + VA_1) \sqrt{\frac{V_{\max} - VA_1}{JA_2}} - (V_{\max} + VD_1) \sqrt{\frac{V_{\max} - VD_1}{JD_1}} - (V_s + VD_1) \sqrt{\frac{VD_1 - V_c}{JD_2}}}{V_{\max}} \quad (9)$$

[0085] 将伺服电机旋转过程的总位移代入式(9)中的  $S(t)$ , 即可得到匀速段时间  $T_y$ , 若此时求得的  $T_y > 0$ , 则说明上述假设成立, 即加减速曲线包含匀速区, 且各段时间求解完全按照式(4)、(5)、(6)、(7)、(9)求解即可。

[0086] (二)若按(一)中的方式所求  $T_y$  值为负值, 则说明此时加减速曲线中不包含匀速段, 即  $T_y = 0$ ; 并且电机实际最大速度值达不到选取值  $V_{\max}$ , 假设此种情况电机实际速度最大值为  $V_{\max 1}$ , 则由式(2)可得:

$$[0087] \quad VA_1 = V_s + JA_1 TA_1^2 \quad (10)$$

[0088] 则

$$[0089] \quad TA_1 = \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}}$$

$$[0090] \quad V_{\max 1} = VA_1 + JA_2 TA_2^2 \quad (11)$$

[0091]  $VD_1 = V_{\max 1} - JD_1 TD_1^2$  (12)

[0092] 则

[0093]  $TD_1 = \sqrt{\frac{V_{\max 1} - VD_1}{JD_1}} = \sqrt{\frac{VA_1 - VD_1 + JA_2 TA_2^2}{JD_1}}$

[0094]  $VD_1 - V_c = JD_2 TD_2^2$  (13)

[0095] 则

[0096]  $TD_2 = \sqrt{\frac{VD_1 - V_c}{JD_2}}$

[0097] 由式(3)得:

[0098] 当  $t = 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2$  时,

[0099]  $S(t) = (V_s + JA_1 TA_1^2 + JA_2 TA_2^2 - JD_1 TD_1^2 - JD_2 TD_2^2)(2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2)$

[0100]  $- JA_1 TA_1^3 - JA_2 TA_2^3 - 2JA_2 TA_2^2 TA_1 + JD_1 TD_1^2 (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + TD_1)$

[0101]  $+ JD_2 TD_2^2 (2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + TD_2)$

(14)

[0102] 将式(10)-(13)所得计算结果, 带入式(14)得

[0103] 当  $t = 2TA_1 + 2TA_2 + T_y + 2TD_1 + 2TD_2$  时,

[0104]  $S(t) = (V_s + VA_1) \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}} + (V_c + VD_1) \sqrt{\frac{VD_1 - V_c}{JD_2}} + 2VA_1 TA_2 + JA_2 TA_2^3$

[0105]  $+ (VA_1 + VD_1 + JA_2 TA_2^2) \sqrt{\frac{VA_1 - VD_1 + JA_2 TA_2^2}{JD_1}}$

(15)

[0106] 将上式中  $TA_2$  作为自变量, 则  $S(t)$  可以看做关于  $TA_2$  的函数, 且相对于  $TA_2 \in [0, +\infty)$

为单调递增函数, 由式(5)得  $TA_2$  取值上限为  $\sqrt{\frac{V_{\max} - VA_1}{JA_2}}$ 。

[0107] ①当  $VA_1 > VD_1$  时,  $TA_2$  下限为 0, 则其取值范围为  $[0, \sqrt{\frac{V_{\max} - VA_1}{JA_2}}]$ 。因此, 若伺服电机

转位的总位移:

[0108]  $S \geq (V_s + VA_1) \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}} + (V_c + VD_1) \sqrt{\frac{VD_1 - V_c}{JD_2}} + (VA_1 + VD_1) \sqrt{\frac{VA_1 - VD_1}{JD_1}}$ , 则  $TA_2$  存在

有效解, 采用二分法对式(15)求解  $TA_2$ , 将求得的  $TA_2$  代入式(12)即可求得  $TD_1$ 。

[0109] ②当  $VA_1 \leq VD_1$  时, 由于  $TD_1 > 0$  才有实际意义, 因此由式(12)可得,  $TA_2$  下限为

$\sqrt{\frac{VD_1 - VA_1}{JA_2}}$ , 则其取值范围为  $[\sqrt{\frac{VD_1 - VA_1}{JA_2}}, \sqrt{\frac{V_{\max} - VA_1}{JA_2}}]$ 。因此, 若伺服电机转位的总位

移:

[0110]  $S \geq (V_s + VA_1) \sqrt{\frac{VA_1 - V_s}{JA_1}} + (V_e + VD_1) \sqrt{\frac{VD_1 - V_e}{JD_2}} + (VA_1 + VD_1) \sqrt{\frac{VD_1 - VA_1}{JA_2}}$ , 则TA<sub>2</sub>存在

有效解, 采用二分法对式(15)求解TA<sub>2</sub>, 将求得的TA<sub>2</sub>代入式(12)即可求得TD<sub>1</sub>。

[0111] ③如果上述两种情况都不满足, 则说明参数VA<sub>1</sub>、VD<sub>1</sub>、V<sub>max</sub>的配置不合理, 需要重新调整上述三个参数, 例如可以将参数VA<sub>1</sub>、VD<sub>1</sub>、V<sub>max</sub>按比例减小或只将参数VA<sub>1</sub>、VD<sub>1</sub>按比例减小, 之后再重新对加减速曲线模型进行计算, 直至满足上述的两种情况之一为止。

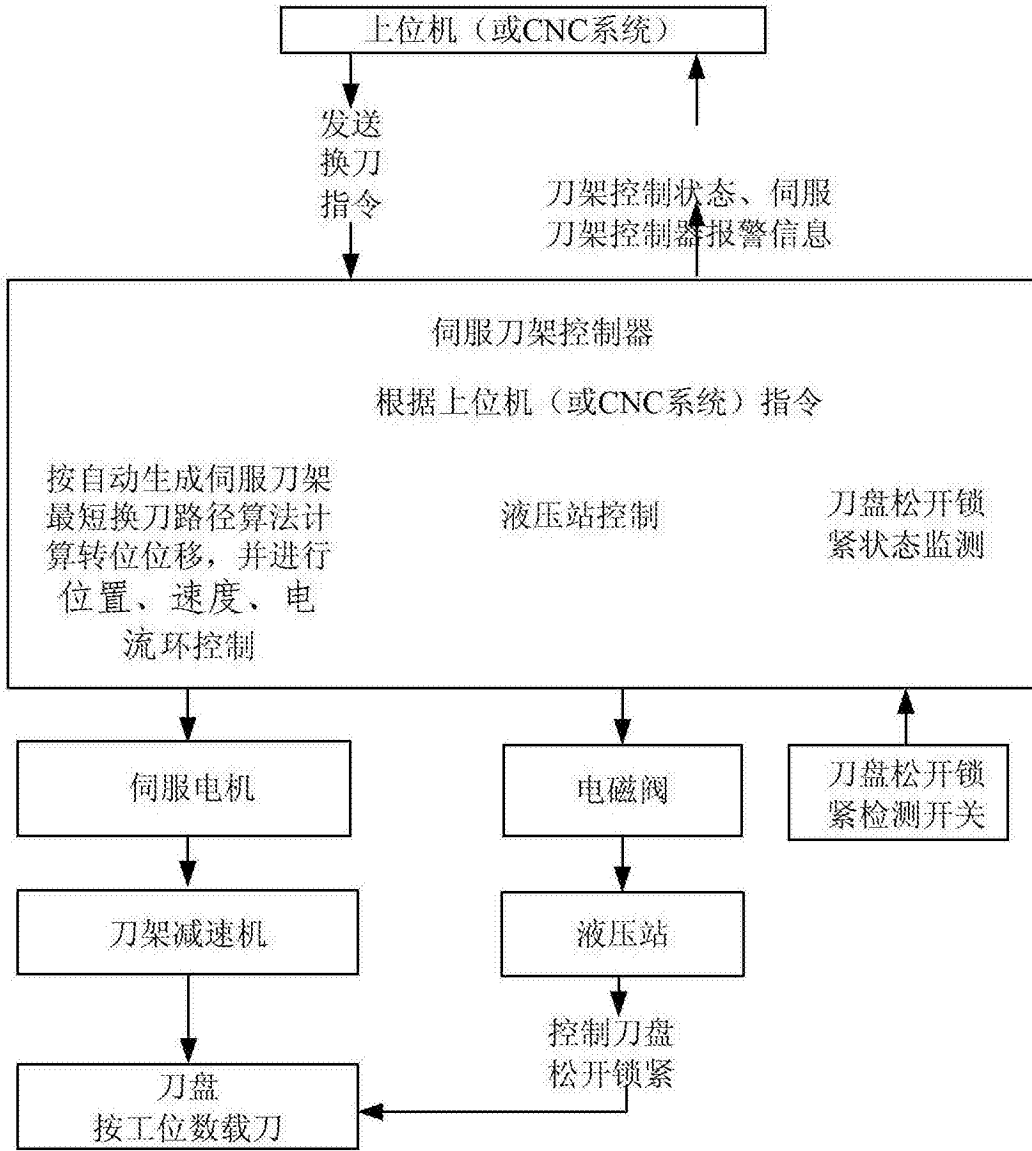


图1

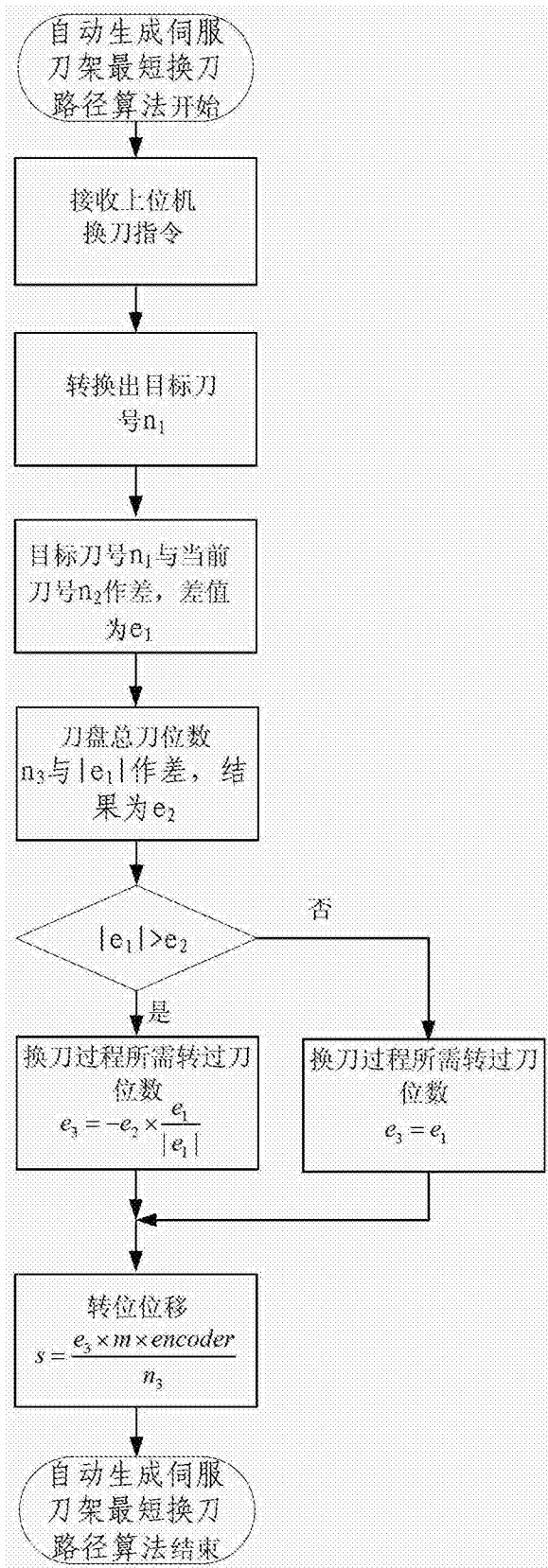


图2

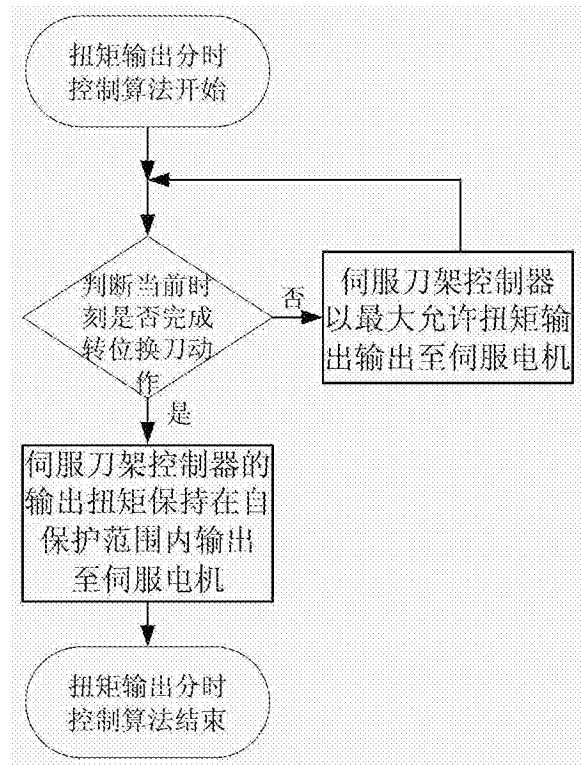


图3



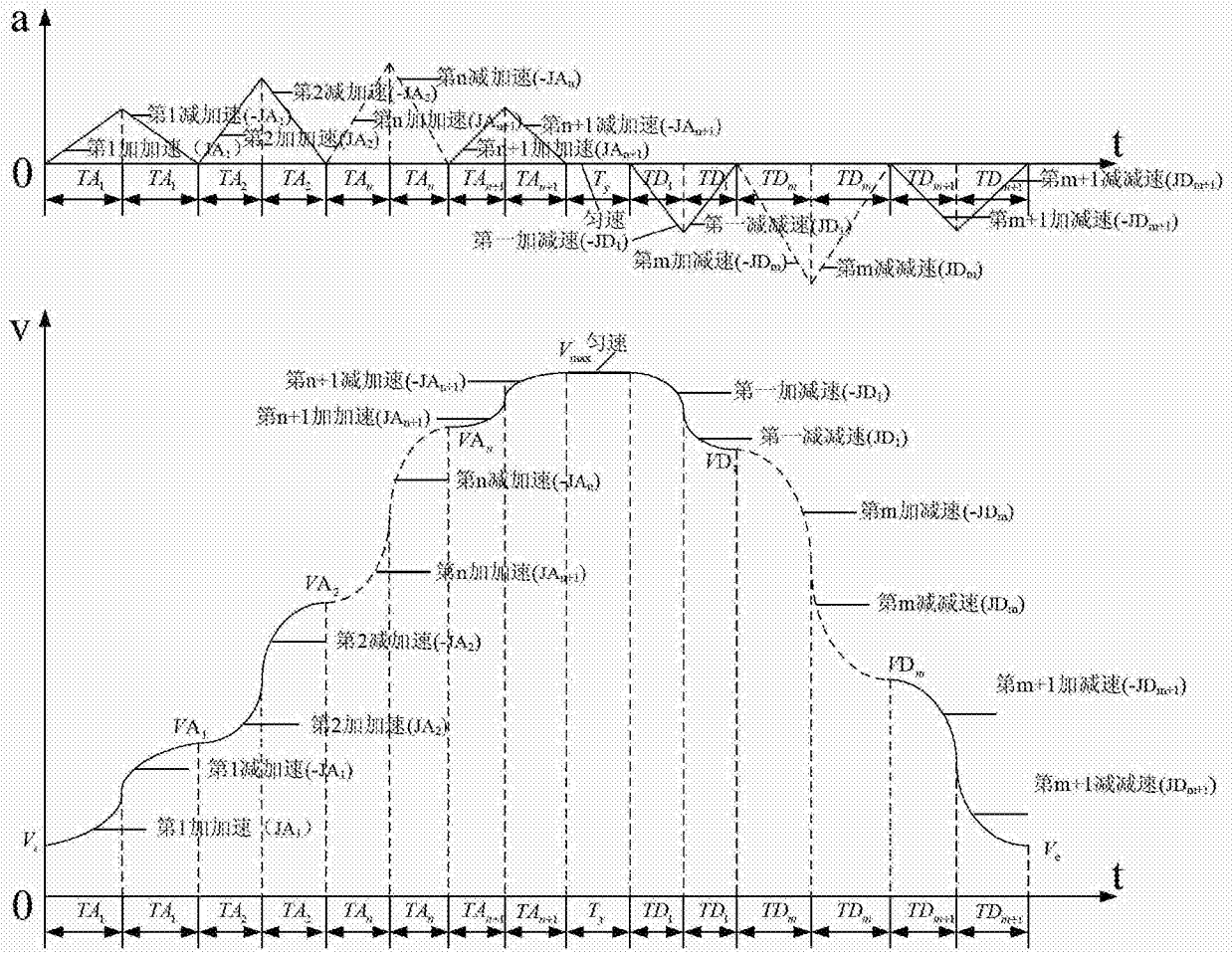


图4