

Macro Programming for Machining Ladder Thread Based on FANUC0i-TD CNC System

Pu Zhang Xudong Qin Kai Li Jiahao Yang Xiao Zhang

Shaanxi Construction Machinery Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710200, China

Abstract

As a widely used transmission thread in mechanical engineering, trapezoidal threads are extensively applied in machine tool lead screws and screw jacks. These threads offer advantages such as high transmission efficiency and strong load-bearing capacity. However, their machining process remains challenging, requiring advanced techniques and specialized tools. With the advancement of CNC technology, macro-program machining has demonstrated unique advantages in trapezoidal thread processing, effectively enhancing both precision and efficiency. Moreover, a thorough understanding of the relationship between helix angle and tool selection is crucial for optimizing the machining process and extending tool life. Therefore, comprehensive analysis of trapezoidal thread machining techniques holds significant practical value^[1]. Taking the MJ-520 CNC lathe from Jinan No.1 Machine Tool Factory as an example, this paper introduces an efficient macro-program-based machining method for trapezoidal threads using the FANUC0i-TD CNC system. By programming variable parameters to control layered cutting depth and tooth profile feed trajectories, the method achieves integrated roughing and finishing operations, significantly improving thread surface quality, pitch accuracy, and machining efficiency. This approach provides valuable references for batch processing of similar transmission components.

Keywords

trapezoidal thread; NC programming; macro program; layered cutting

基于 FANUC0i-TD 数控系统利用宏程序加工梯形螺纹

张普 秦旭东 李凯 杨嘉豪 张肖

陕西建设机械股份有限公司, 中国·陕西 西安 710200

摘要

梯形螺纹作为一种常见的传动螺纹,在机械领域中应用广泛,如机床的丝杠、螺旋千斤顶的螺杆等。其具有传动效率高、承载能力强等优点。然而,梯形螺纹的加工难度较大,对加工工艺和刀具要求较高。随着数控技术的发展,数控宏程序加工在梯形螺纹加工中展现出独特的优势,能够有效提高加工精度和效率。同时,深入理解螺旋升角与刀具的关系,对于优化加工过程、延长刀具寿命至关重要。因此,对梯形螺纹加工工艺进行全面分析具有重要的现实意义^[1]。本文以济南第一机床厂 MJ-520 数控车床为例,介绍基于 FANUC0i-TD 数控系统,利用宏程序实现梯形螺纹的高效加工方法:通过变量编程控制分层切削深度、牙型进给轨迹,实现粗、精加工一体化,显著提升螺纹表面质量、螺距精度及加工效率,为同类传动件的批量加工提供参考。

关键词

梯形螺纹; 数控编程; 宏程序; 分层切削

1 零件图分析

现以如图 1 所示的零件为例

如图 1 所示,梯形螺纹是 Tr80×12。可以算车需要的一些数据信息。

牙高: $0.5 \times 12 + 0.5 = 6.5$

牙底宽: $0.366 \times 12 - 0.536 \times 0.5 = 4.124$

螺纹小径: $80 - 6.5 \times 2 = 67$

中径: $80 - 0.5 \times 12 = 74$

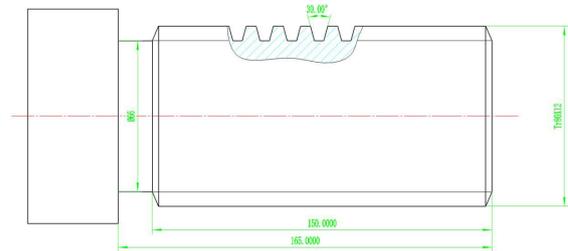


图 1 梯形螺纹零件图

2 加工思路解析

说到刀具轨迹分析,定位点非常重要,就是如何定位牙型上的点,这里的定位点不是我们平常所说的“安全距

【作者简介】张普(1981-),男,中国陕西西安人,高级工程师,从事机械加工研究。

离”，而是把牙型的点定位出来。要加工梯形螺纹只要在安全距离处，先定位好“齿形”的形状，然后依次用G32车削。如图2（1）部分所示：

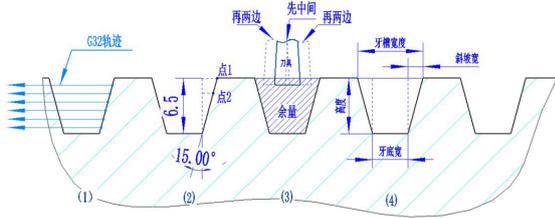


图2

这些点如何求？其实所有牙型螺纹都可以通过三角函数求得。通过图2（2）部分可以得知，当完成两条辅助线时，形成了直角三角形，这样每个点就可以利用正切三角函数算出。“15°”是个定量值，而点的位置是随着高度的变化而变化的，宏程序编程就是变量编程，这里可以用一个变量表示高度。由图2（4）部分可以发现，牙槽的宽度与牙底宽、斜坡宽存在一个等式关系：牙槽宽度 = 牙底宽 + 2 × 斜坡宽。实际编程中真正的牙槽宽度应该是：牙底宽 + 2 × 斜坡宽 - 刀具宽度^[2]。

“点”的问题解决了，还需要解决一个重要问题——粗加工。如果只是按照牙型来走的话，那么轨迹只是精加工轨迹，不能直接用于加工。粗加工一般分为直进法、斜进法和左右借刀法。本文主要用切槽刀加工所以只能采用左右借刀法，如图2（3）部分所示。此方法有两个优势：一是X方向进刀少刀具损耗小节约刀具成本，二是在Z向赶到时，会以刀宽的90%长度作为赶刀量而提高加工效率。

3 刀具及刀具注意事项

刀具选用3mm的直槽刀。用直槽刀加工梯形螺纹时，需围绕螺旋升角适配、刀具角度校准、旋转后刀宽变小三个核心问题解决，具体注意事项及方案如下：

螺旋升角的选择与判断（是否需要转动刀具）

螺旋升角（λ）是决定刀具是否需转动的关键，其本质是避免刀具主后刀面与工件螺纹牙侧发生干涉，同时保证牙型精度。图3为螺旋升角展开图，由图可算出螺旋升角：

$$\lambda = \arctan (P / (\pi \times d_2))$$

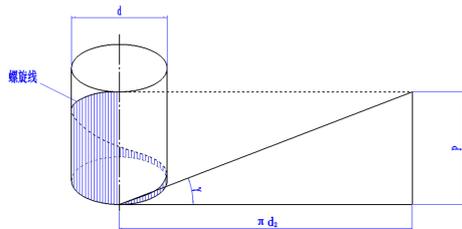


图3

判断标准：

当 $\lambda \leq 3^\circ$ 时：螺纹升角小，干涉风险低，无需转动刀具，直接按直槽刀常规方式装夹即可。

当 $\lambda > 3^\circ$ 时：必须转动刀具，否则主后刀面会与工件剧烈摩擦，导致刀具磨损、螺纹表面粗糙，甚至崩刀。

螺旋升角计算：需先通过公式计算实际升角，再决定是否转动。

刀具转动角度的设定（转动多少、向哪个方向转）

刀具转动的核心是让刀具主切削刃与螺纹螺旋线方向一致，消除干涉，图4为设计的可转刀套。

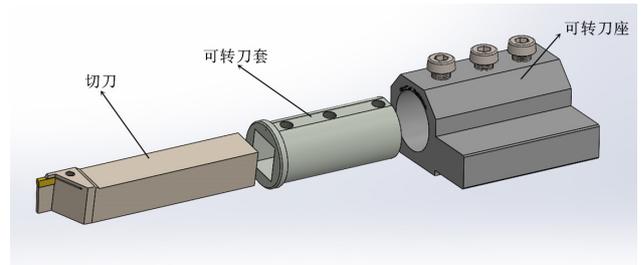


图4

转动角度：刀具转动角度必须等于螺纹的螺旋升角（λ），且需保证刀具主后刀面与螺纹牙侧的间隙（一般≥0.1mm），避免摩擦。

转动方向：需与螺纹旋向匹配，方向错误会导致切削力异常、牙型歪斜。

加工右旋螺纹：刀具应顺时针转动（从主轴方向看向工件）。

加工左旋螺纹：刀具应逆时针转动（从主轴方向看向工件）。

图5为刀转之后的对比图。

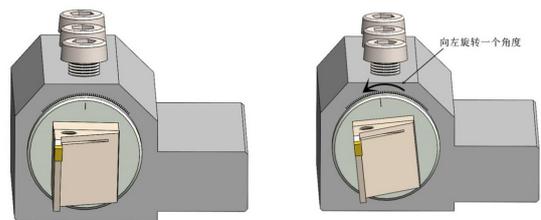


图5

刀具转动后刀宽变窄

刀具转动时，刀刃宽度有变化，直接影响螺纹牙底宽度，从而引起螺纹尺寸精度，编程时需要算出旋转后的刀刃宽度。通过图6示意图可以具体算车实际刀宽。

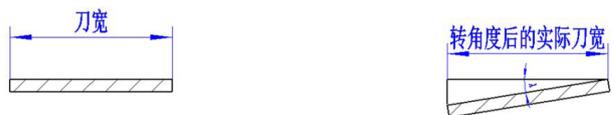


图6

由三角函数可以算出：转角度后的实际刀宽 = 刀宽

× COS (λ)

4 宏程序编制及解析

上述是一部分固定程序，作为简述思路及加工使用。
只要选择合适的刀具，改变红色字体参数（螺纹参数

不同），配以完整程序，就可以加工不同的梯形螺杆、梯形螺母以及蜗杆零件^[3]。

5 加工效果

见图 7 至图 9。

O0001	
G97 M3 S400	
T0202 M8	3mm 宽度的切槽刀
G0 X84 Z10	这里的 Z10 是定位基准，后面程序中左右进刀的起点都是以 Z10 为基准
#1=6.5	把牙的总高作为自变量，然后递减即可
WHILE[#1 GE 0] DO1	如果高度没车到 0，说明还没有车到小径尺寸
#10=[0.366*12-0.536*0.5]+TAN[15]*#1*2-3	后面的 3 为刀宽（#10 是当前牙高所对应的牙槽总宽，这里的刀宽没有考虑到旋转后刀宽变化）
#11=#10/2	两边借刀，所以要除以 2
G0 X[67+#11*2]	小径 + 双边牙高等于大径，当 #1 的值变化了，就意味着“大径”也变了，从而实现进刀
G32 Z-155 F12	
G0 X84	
Z10	
#2=0	#2 表示借刀时的基准，从 0 增加到 #11 结束
WHILE[#2 LE #11] DO2	



图 7 Tr80 × 12 螺杆

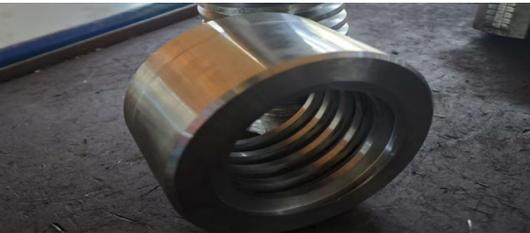


图 8 Tr80 × 12 螺母

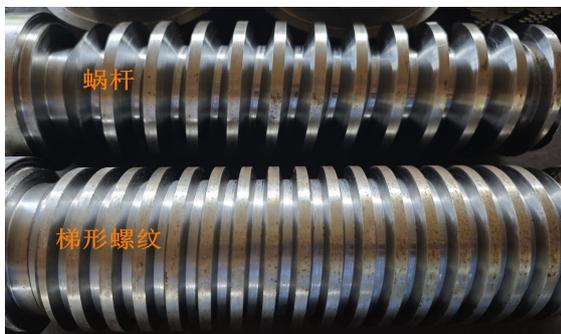


图 9 梯形螺杆和蜗杆对比（同一程序加工，改变个别参数）

6 结语

随着科技和生产的发展，机械设计与制造中具有特殊用途的零件越来越多。特别是各种梯形螺纹、蜗杆以及异形螺纹的加工，此类零件是由于各种机械设备中的结构特点和用途而设计及制造出来的。而在实际生产中，也会经常会出现许多结构相似，但品种多数量少的零件。这些零件在某些特征上变化不定，按常规加工方法，往往需要用成型刀加工。但零件品种多，所以成型刀需要量很大，为了降低加工成本，采用变量编程此类问题即可解决。在编程时我们只要稍加分析与总结，找出他们之间共同点，把这些共同点设为变量应用到程序中，往往编制出一个程序通过改变其中共性的变量就可以解决一类问题，从而使我们在加工相类似零件时，只需改变其中几个变量中的赋值，就可以采用此程序进行零件加工，大大节省了编程时间，而且在运用时准确性也大大提高，工作效率也有很大的提高^[4]。

参考文献

- [1] 曾金平.浅谈在数控车床上运用宏程序加工多线梯形螺纹轴的应用[J].时代汽车,2023,(08):141-143.
- [2] 黄宏班,陈德志,黄振金.采用数控车床加工双线梯形螺纹的方法研究[J].南方农机,2024,55(23):161-164.
- [3] 赖高清,张正.数控宏程序在实际生产中的应用分析[J].电子元器件与信息技术,2023,7(09):69-72.DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2023.9.019.
- [4] 杨香港.宏程序在梯形螺纹加工中的应用[J].今日制造与升级,2024,(11):72-75.