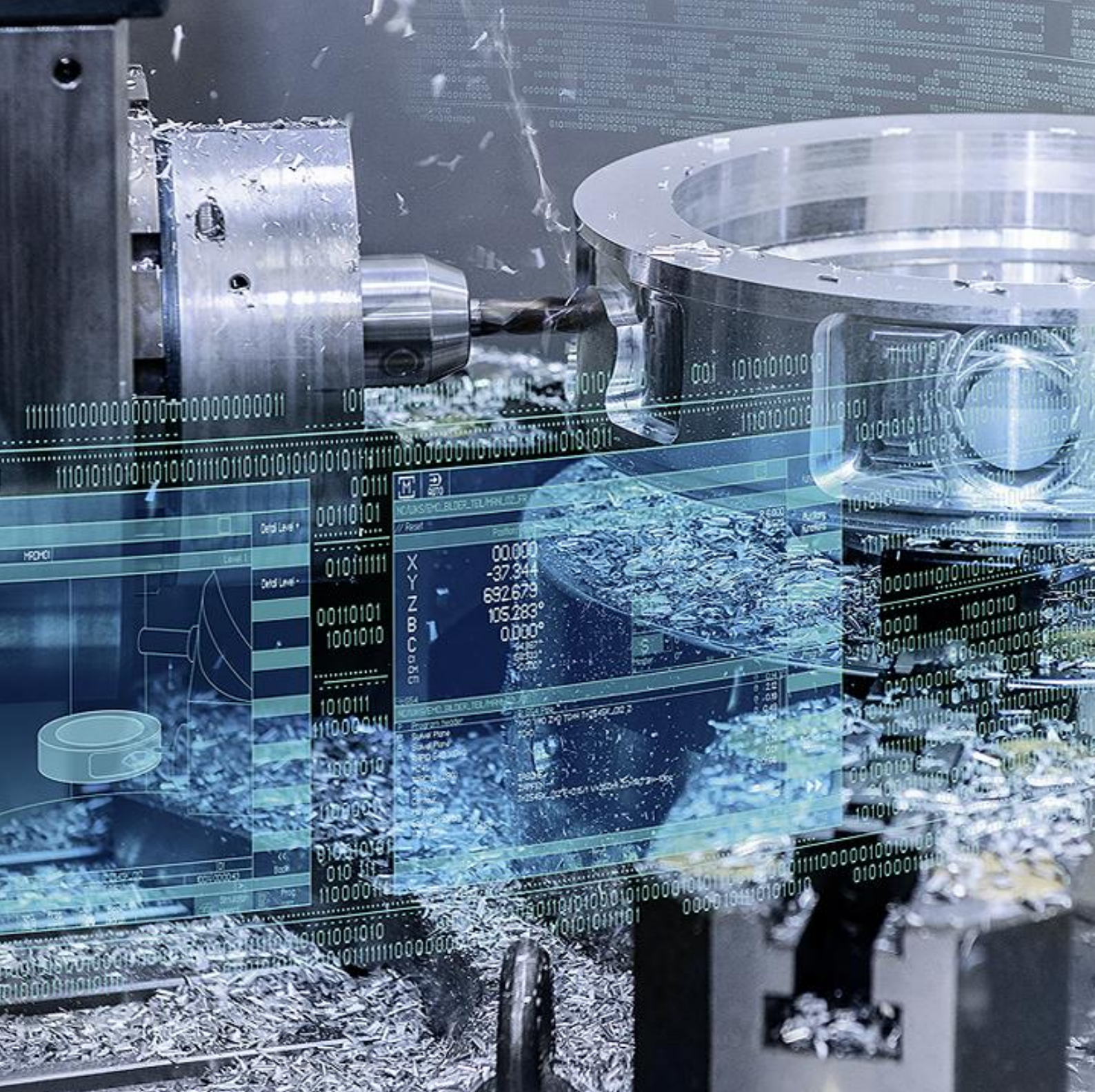




V1.0

DI MC MTS APC

SINUMERIK 828D 刚性攻丝应用

SINUMERIK 828D

目录

内容

1	免责声明	1
2	概述	2
3	要求	3
4	调试或使用步骤	4
5	应用举例	21
6	参考文献	40
7	作者/联系人	40
8	版本信息	40

MTS APC

1 免责声明

本使用手册及样例包目录内所包含文档、PLC 程序、机床可执行程序（MPF、SPF、...）、电气图，可能与用户实际使用不同，用户可能需要先对例子程序做修改和调整，才能将其用于测试。本例程的作者和拥有者对于该例程的功能性和兼容性不负任何责任，使用该例程的风险完全由用户自行承担。由于它是免费的，所以不提供任何担保，错误纠正和热线支持，用户不必为此联系西门子技术支持与服务部门。

对于在使用中发生的人员、财产损失本公司不承担任何责任，由使用者自行承担风险。

以上声明内容的最终解释权归西门子（中国）有限公司所有，后续内容更新不做另行通知。

2 概述

在机械加工中，我们常常有车、铣、刨、磨、钻孔攻丝等加工。

攻丝是指用一定的扭矩将丝锥旋入要钻的底孔中加工出内螺纹。从攻丝的过程可以看出，攻丝有些类似于螺纹配合时的旋入，即丝锥与工件之间有一个转动和旋入的过程。在这个过程中，相互旋转和进给量之间有固定关系。



理论上，攻丝时，当主轴旋转一圈，Z 轴的进给量应该等于丝锥的螺距。即：

$P = F/S$ (式中 P —丝锥的螺距，mm， F —Z 轴的进给量，mm/min， S —主轴转速，r/min)

攻丝一般又分为柔性攻丝和刚性攻丝。柔性攻丝和刚性攻丝的区别如下：

柔性攻丝也称“浮动攻丝”，就是主轴转速与进给没有严格的同步成比例的关系，主轴的转速和 Z 轴的进给是独立控制。柔性攻丝系统是通过弹簧夹头的伸缩补偿主轴转速与进给运动产生的螺距误差，完成了攻丝过程，而且主轴转速越高，这种累积的误差也就越大，弹簧夹头的伸缩范围也会越大。柔性攻丝刀柄有调整间隙的功能，一般为沿轴线有弹性收缩功能的弹簧夹头。

刚性攻丝又称“同步攻丝”，主轴旋转与 Z 轴进给同步化，以匹配特定的螺纹螺距。刚性攻丝的刀柄是刚性的无法自动调整间隙。

相比柔性攻丝，刚性攻丝能够获得更高的切削速度，切削效率高。同时，加工完的螺纹能够获得更高精度和更好的质量。

刚性攻丝的主要优点之一是在盲孔加工中可以精确控制深度，精确而一致地加工工件。

攻丝加工中也需要用到专业的润滑剂，能有效减少工件与丝锥的摩擦，降低磨损，具有强韧的油膜，防止工件表面擦伤和起皱，能有效提高工作质量与工作效率。同时抑制温度上升，减少烧结和卡咬的产生等作用。

在不需要清洗的场合，一般要用自净性的攻丝润滑剂；对于难加工的工件，需要用纯油性的攻丝油。

3 要求

3.1 硬件要求

	硬件				
工艺	PPU24x	PPU26x	PPU28x	PPU28x.Advance	PPU27x.4/ PPU29x.4
车床	•	•	•	•	•
铣床	•	•	•	•	•
磨床	-	-	-	-	-

3.2 软件版本要求

- V4.7+SP02 以上

4 调试或使用步骤

4.1 攻丝底孔加工

攻丝按螺纹成型的原理，可分为两大类，一是切削螺纹，二是挤压螺纹。对于不同的螺纹成型方式，攻丝底孔的选择也是不同的。

在螺纹加工中，底孔加工一般要考到底孔深度和底孔直径。

底孔深度这块若底孔为盲孔的话，要钻深一些，留有一定存放铁屑的空间。

一般来说底孔深度 $L = \text{攻丝深度} L + 0.7 \times \text{螺纹大径 } D$ ，常见材料底孔深度与攻丝深度建议如下：

工件材质	底孔深度	攻丝深度
钢和青铜	螺纹大径*1.5~1.6 左右	螺纹大径*1.2~1.3 左右
铸铁	螺纹大径*2.5~2.8 左右	螺纹大径*1.75~2 左右
铝	螺纹大径*3.0 左右	螺纹大径*2.2~2.4 左右

底孔直径的选择是可以根据螺纹尺寸计算出来的。根据螺纹精度的不同，底孔大小也可以在一定范围内波动的。一般来说，在实际操作中为了便于攻丝，对于大尺寸的螺纹打底孔尺寸可以略大于理论尺寸 0.1-0.4 毫米。但有些也是根据经验和材质的不同而略有不同。

4.1.1 切削螺纹底孔

- 一般计算方法 这里是按牙高率（%）75%左右计算的底孔直径，也是最常用的计算方法。

底孔直径 (S) = 内螺纹大径 (D) - 螺距 (P)

比如直径 10 毫米的螺纹攻丝，螺距(P)是 1.5 毫米，选择的钻头直径=10-1.5=8.5 毫米。

- 不同牙高率的计算方法 这里还要分为公制螺纹和英制螺纹（按英寸制来算，包括美标螺纹）两种：
 - 公制螺纹 $S = D - \%P / 76.98$ （底孔直径 S，内螺纹大径 D，螺距 P，牙高率%）

- 英制螺纹 $S = (D - \%0.01299/TPI) * 25.4$ 这里 TPI 指每英寸牙数 (Threads Per Inch) (注: 美标螺纹 D=尺寸代号, 英标螺纹需查《公制、美制和英制螺纹标准手册》换算后计算。)

公制粗牙螺纹攻丝前用的钻头直径 (mm) (图片来源于网络)

螺 纹						钻头 直径
公称直径	螺距	小 直 径 级 别				
		5H max	6H max	7H max	5H、6H、7H min	
1	0.25	0.785			0.729	0.75
1.2	0.25	0.985			0.929	0.95
1.6	0.35	1.301	1.321		1.221	1.25
2	0.4	1.657	1.679		1.561	1.60
2.5	0.45	2.112	2.138		2.013	2.05
3	0.5	2.571	2.599	2.639	2.459	2.50
4	0.7	3.382	3.422	3.466	3.242	3.30
5	0.8	4.294	4.334	4.384	4.134	4.20
6	1	5.007	5.153	5.217	4.917	5.00
8	1.25	6.859	6.912	6.982	6.647	6.80
10	1.5	8.612	8.676	8.751	8.376	8.50
12	1.75	10.371	10.441	10.531	10.106	10.2
14	2	12.135	12.210	12.310	11.835	12.0
16	2	14.135	14.210	14.310	13.835	14.0
18	2.5	15.649	15.744	15.854	15.294	15.5
20	2.5	17.649	17.744	17.854	17.294	17.5
22	2.5	19.649	19.744	19.854	19.294	19.5
24	3	21.152	21.252	21.382	20.754	21.0

公制细牙螺纹攻丝前用的钻头直径 (mm) (图片来源于网络)

螺		纹				钻头 直径		
公称直径	螺距	小 直 径 级 别						
		5H max	6H max	7H max	5H、6H、7H min			
2.5 3	0.35	2.201 2.701	2.221 2.721		2.121 2.621	2.15 2.65		
4 5		0.5	3.571 4.571	3.599 4.599	3.639 4.639	3.459 4.459	3.50 4.50	
6 8 10	0.75		5.338 7.338 9.338	5.378 7.378 9.378	5.424 7.424 9.424	5.188 7.188 9.188	5.70 7.20 9.20	
8 10 12 14 16 18 20 22 24		1	7.107 9.107 11.107 13.107 15.107 17.107 19.107 21.107 23.107	7.217 9.217 11.217 13.217 15.217 17.217 19.217 21.217 23.217	7.217 9.217 11.217 13.217 15.217 17.217 19.217 21.217 23.217	6.917 8.917 10.917 12.917 14.917 16.917 18.917 20.917 22.917	7.00 9.00 11.0 13.0 15.0 17.0 19.0 21.0 23.0	
10 12 14			1.25	8.859 10.859 12.859	8.912 10.912 12.912	8.982 10.982 12.982	8.647 10.647 12.647	8.80 10.8 12.8
12 14 15 16 18 20 22	1.5			10.612 12.612 13.612 14.612 16.612 18.612 20.612	10.676 12.676 13.676 14.676 16.676 18.676 20.676	10.751 12.751 13.751 14.751 16.751 18.751 20.751	10.376 12.376 13.376 14.376 16.376 18.376 20.376	10.5 12.5 13.5 14.5 16.5 18.5 20.5
24 25				1.5	22.612 23.612	22.676 23.676	22.751 23.751	22.376 23.376
18 20 22 24 25			2		16.135 18.135 20.135 22.135 23.135	16.210 18.210 20.210 22.210 23.210	16.310 18.310 20.310 22.310 23.310	15.835 17.835 19.835 21.835 22.835

4.1.2 挤压螺纹底孔

➤ 一般计算方法 这里也是按牙高率 (%) 75%左右计算的底孔直径:

$$\text{底孔直径 (S)} = \text{内螺纹大径 (D)} - \text{螺距 (P)} / 2$$

比如直径 10 毫米的螺纹攻丝, 螺距(P)是 1.5 毫米, 选择的钻头直径=10-1.5/2=9.25 毫米。

➤ 不同螺纹旋合度的计算方法 同切削螺纹一样, 这里也分公制与英制两种:

- 公制螺纹 $S = D - \%P / 147.06$ (底孔直径 S, 内螺纹大径 D, 螺距 P, 牙高率%)
- 英制螺纹 $S = (D - \%0.0068 / \text{TPI}) * 25.4$ (注: 美标螺纹 D=尺寸代号, 英标螺纹需查《公制、美制和英制螺纹标准手册》换算后计算。)

挤压丝锥攻丝孔的参考尺寸											
公制螺纹											单位: mm
公称尺寸	标准等级	孔的参考尺寸		公称尺寸	标准等级	孔的参考尺寸		公称尺寸	标准等级	孔的参考尺寸	
		Max	Min			Max	Min			Max	Min
M1×0.25	G4	0.92	0.89	M3.5×0.6	G5	3.27	3.19	M10×1	G7	9.59	9.49
M1.2×0.25	G4	1.12	1.09	M3.5×0.35	G5	3.38	3.34	M12×1.75	G8	11.23	11.09
M1.4×0.3	G4	1.30	1.26	M4×0.7	G6	3.72	3.65	M12×1.5	G8	11.34	11.22
M1.6×0.35	G4	1.47	1.42	M4×0.5	G6	3.83	3.76	M12×1.25	G9	11.50	11.36
M1.7×0.35	G4	1.57	1.52	M5×0.8	G6	4.67	4.59	M12×1	G7	11.59	11.49
M1.8×0.35	G4	1.67	1.62	M5×0.5	G6	4.83	4.76	M14×2	G10	13.14	12.98
M2×0.4	G4	1.84	1.79	M6×1	G7	5.59	5.49	M14×1.5	G9	13.35	13.22
M2×0.25	G4	1.92	1.89	M6×0.75	G6	5.69	5.61	M14×1	G8	13.60	13.50
M2.2×0.45	G5	2.04	1.97	M7×1	G7	6.59	6.49	M16×2	G10	15.14	14.98
M2.3×0.4	G4	2.14	2.09	M7×0.75	G7	6.70	6.62	M16×1.5	G9	15.35	15.22
M2.5×0.45	G5	2.34	2.27	M8×1.25	G7	7.49	7.36	M16×1	G8	15.60	15.50
M2.5×0.35	G5	2.38	2.34	M8×1	G7	7.59	7.49	M18×2.5	G11	16.93	16.73
M2.6×0.45	G5	2.44	2.37	M8×0.75	G7	7.70	7.62	M18×1.5	G10	17.36	17.24
M3×0.5	G5	2.82	2.75	M10×1.5	G7	9.34	9.22	M20×2.5	G11	18.93	18.73
M3×0.35	G5	2.88	2.84	M10×1.25	G7	9.49	9.35	M20×1.5	G10	19.36	19.24
根据被加工材料的材质、硬度、形状差异, 挤压丝锥对应孔的参考尺寸会有一定变化。 上图中列表的值仅仅为选用挤压丝锥时提供参考, 正确的孔大小应该由实验结果来决定。 另外: 对于相关材料的材质, 上表适用于0.5D~2D的螺纹长度(D: 螺纹外径)。											

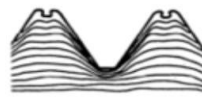
(图片来源于网络)

4.2 丝锥的选择

在实际金属攻丝加工中，根据不同的底孔，不同的精度要求，不同的加工效率要求等，我们也可以选择不同丝锥，采用不同的攻丝方式。

攻丝技术经过第一代的切削丝锥，第二代的挤压丝锥，以及第三代的螺纹铣刀，然后到了目前的第四代攻丝技术，冲挤攻丝。冲挤攻丝将我们传统的冲压和攻丝技术有效的整合在了一起，通过先冲压，然后螺纹挤压，最后退回三步曲完成了整个攻丝工艺。

这里主要介绍一下我们常用的两种攻丝方式：切削攻丝和挤压攻丝，当然对应的丝锥就是切削丝锥和挤压丝锥了。

切削丝锥	有屑攻丝	工件截面 
挤压丝锥	无屑攻丝	工件截面 

4.2.1 切削丝锥

切削丝锥是通过切削方式加工螺纹，有容屑槽，切削丝锥一般可分为直槽丝锥、螺尖丝锥和螺旋丝锥。

- 直槽丝锥。直槽一般用于短屑状切削的材料、通孔、刚性好，切屑往孔内排（向下），切屑存在于丝锥槽中；直槽丝锥通用性最强，通孔或盲孔、有色金属或黑色金属均可加工，价格也最便宜。但是针对性也较差，什么都可以做，什么都不是做得最好的。
- 螺尖丝锥。螺尖丝锥也称先端丝锥。适合通孔及深螺纹，使用强度高，寿命长，切削速度快，尺寸稳定，牙纹清晰(特别是细牙)，它是直槽丝锥的一种变形。在直槽的一侧切削刃开斜槽，形成一个角度，加工螺纹时切屑顺着进刀的方向即向前排出。它的芯部尺寸设计比较大，强度较好，可承受较大的切削力。加工有色金属、不锈钢、黑色金属效果都很好，通孔螺纹应优先采用螺尖丝锥。
- 螺旋丝锥。螺旋一般用于切屑呈条状的材料、用于长径比小于等于 3D 的盲孔加工；切屑往孔外排（向上），螺旋槽丝锥比较适合加工盲孔螺纹，加工时切屑顺着螺旋槽排出，螺纹表面质量高。由于螺旋角的缘故，丝锥实际切削前角会随螺旋角增大而加大。加工黑色金属的，螺旋角选的小一点，一般在 30 度左右，保证螺旋齿的强度。加工有色金属的，螺旋角选的大一点，可在 45 度左右，切削锋利一些。

切削丝锥类型	特点	用处	排屑方式
直槽丝锥 	直槽 刃部强度大，丝锥刚性 好 攻丝时螺距变形小 复磨容易	- 通孔和盲孔 - 切削呈粉末状的材料 - 高硬度，易引起刀具磨损的材料	切屑向下 
螺尖丝锥 	刃倾角槽 无切屑堵塞状况 抗折损伤强度大 切屑性能锋利	- 通孔 - 切削呈连续卷曲状的材料 - 高速加工	切屑向下 
螺旋槽丝锥 	螺旋槽 可攻丝至盲孔最下部 切削不会残留，排屑 效果好 吃入底孔容易 切削较轻快	- 盲孔 - 切削呈连续卷曲状的材料	切屑向上 

4.2.2 挤压丝锥

挤压丝锥是通过金属的塑性形变加工螺纹，是无屑加工工艺，又称为无屑丝锥。特别适用于强度较低、塑性较好的铜合金和铝合金，也可用于不锈钢和低碳钢等硬度低、塑性大的材料攻丝，寿命长，且一般只适用于小规格的螺纹，一般使用在 M12 以下的螺纹（常用的是 M3-M8 螺纹）。



挤压丝锥挤出的螺纹表面光洁度高，螺纹的金属纤维不断裂，并在表面形成一层冷硬层，可提高螺纹的强度和耐磨性。它从根本上解决了攻丝的排屑困难问题，因无屑，更有利于螺纹的装配。在电子，塑料行业应用广泛。

丝锥类型	特点	用处	排屑方式
挤压丝锥	利用塑性原理加工内螺纹	- 通孔、盲孔兼用 - 延伸性良好的材料	无屑加工 
	无切屑排出		
	内螺纹精度稳定		
	抗折损强度大		
	底孔直径精度和润滑要求高		

挤压丝锥与切削丝锥相比，具有以下几个方面的优势：

- 无屑加工。因为挤压丝锥是通过冷挤压，工件塑性变形来完成的，尤其在盲孔加工中不存在排屑的问题，也就没有挤屑发生，丝锥不易折断。
- 强化所攻牙的强度。挤压丝锥不会破坏被加工材料的组织纤维，故挤压出来的螺纹强度要比切削丝锥加工出来的螺纹高。
- 更高的产品合格率。由于挤压丝锥是无屑加工，加工出来的螺纹精度与丝锥的一致性要比切削丝锥好，而切削丝锥是通过切削来完成的，在切削铁屑过程中，铁屑或多或少总会存在，使得合格率会低一些。
- 丝锥自身强度好，由于挤压丝锥没有排屑槽，其自身强度较切削丝锥会好很多。
- 更长的使用寿命。由于挤压丝锥不会发生切削刃口钝化、崩刃等问题，正常情况下，其使用寿命是切削丝锥的 3~20 倍。
- 更高的生产效率。正是因为有了更长的使用寿命，更快的加工速度，使用挤压丝锥能降低更换丝锥和待机的时间。
- 无过渡牙螺纹。螺孔与轴螺栓装配时，可能会有间隙或过盈的配合。挤压丝锥能通过自身来引导加工，更适合 CNC 加工，同时也使无过渡牙加工成为可能。

4.3 丝锥的材质以及涂层

4.3.1 丝锥的材质

丝锥材质	标记代号	硬度	加工材质
高速钢	HSS	62 ~ 64HRC	铝合金
含钴高速钢	HSS-E	67 ~ 68HRC	铝合金、灰口铸铁或球墨铸铁
粉末冶金含钴高速钢	HSS-E-PM	63 ~ 69HRC	铝合金、灰口铸铁或球墨铸铁
硬质合金	HM	69 ~ 79HRC	铝合金、灰口铸铁或球墨铸铁、不锈钢、热硬化树脂及高速钢丝攻难以加工的 HRC50 以上的高硬度钢等

工件材料的可加工性是攻丝难易的关键，所以我们针对不同的工件材料应选择相应的材质的丝锥，再配以特殊的氧化处理或涂层表面，可大大提高丝锥的寿命。像车削中硬质合金刀具逐渐替代高速钢刀具一样，硬质合金丝锥也开始更多地用于螺纹孔加工。与高速钢相比，硬质合金硬度高、脆性大。硬质合金丝锥对于加工铸铁和铝合金材料，其使用效果很好；加工灰口铸铁件时，硬质合金丝锥的寿命是高速钢丝攻的 10 倍以上。而丝锥寿命的增长，同时会最小化丝锥的换刀时间，在工业加工中就显得更为高效实用。

4.3.2 丝锥的涂层

丝锥的氧化处理或涂层对丝锥的性能影响非常明显。

➤ 丝锥氧化处理

氧化处理方式	备注
蒸汽氧化	丝锥放入高温水蒸气中，使之表面形成一层氧化膜，对冷却液吸附性好，能起到减小摩擦的作用，同时防止丝锥与被切削材料间的粘结，适用于加工软钢。
氮化处理	丝锥表面渗氮，形成表面硬化层，适合加工铸铁，铸铝等对刀具磨损大的材料
蒸汽+氮化	综合以上两者的优点

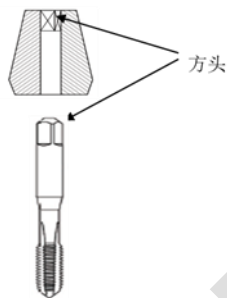
➤ 丝锥涂层

涂层	备注
TiN	金黄色涂层，有良好的涂层硬度以及润滑性，涂层附着性好，适用于加工大部分材料。
TiCN	蓝灰色涂层，硬度约为 3000HV。耐热性达 400℃。
TiN+ TiCN	深黄色涂层，具有优良的涂层硬度以及润滑性，适用于加工绝大部分材料。
TiAlN	蓝灰色涂层，硬度约为 3300HV。耐热性达 900℃。可用于高速加工。
CrN	银灰色涂层，润滑性能优越，主要用于加工有色金属。

4.4 丝锥装夹

为了获得最佳攻丝结果，攻丝刀具和刀柄都非常重要。由于丝锥标准不一样，丝锥的方头和柄部的尺寸不同，即使它们的螺纹尺寸一样，用户也需要使用不同的丝锥夹套。

- 专用丝锥夹套。专用丝锥夹套内有方孔与丝锥的方头相匹配。



- 同步攻丝专用刀柄。目前市面上有不少带有高刚性微量补偿的同步攻丝专用刀柄，得到了越来越多的应用。它们解决的问题是：在机床优化未完全到位或工艺应用经验不足的情况下，用刀柄的补偿机构来降低丝锥的侧面推力，防止丝锥折断；有限的轴向补偿确保精确深度，提高螺纹质量和刀具寿命。



- 普通 ER 夹套夹持丝锥。这种装夹方式，丝锥轴向窜动和攻丝旋转全靠夹套夹紧后的摩擦力来保障，可能出现不能提供足够扭矩、轴向和旋转同步不良、螺纹孔精度不良甚至工件报废、刀具和夹套摩擦烧蚀等故障。



4.5 丝锥切削工艺参数

在攻丝加工中，我们应按照丝锥产品的推荐用途选择丝锥和选择相应的切削速度。下表列出了对于不同的工件材质，选用不同的材质丝锥所推荐的切削参数（图片来源于网络）。

类号	材料分类		牌号举例	抗拉强度 硬度	切削液	切削速度 (m/min)							
						HSS		HSS-E		HM (硬质合金)		挤压丝锥 (HSS-E)	
						未涂层	涂层	未涂层	涂层	未涂层	涂层	未涂层	涂层
1	普通碳钢	低强度结构钢	A3、20	<400N/mm ²	乳、油	6~12	8~15	10~25	12~30	/	/	10~25	15~30
		易切钢、一般结构钢	Y12、15Mn、45	<600N/mm ²	乳、油	5~10	6~12	8~20	10~25	/	/	8~15	12~25
		结构钢、低合金钢、渗碳钢、调质钢	45、60、45Mn、15CrMo、40Cr	<850N/mm ²	乳、油	4~8	5~10	6~15	8~20	/	/	5~12	10~20
		渗碳钢、调质钢、冷作工具钢、高速钢	20Cr、40CrMn、30CrNi3、Cr12MoV	<1000N/mm ²	乳、油	3~6	4~10	5~12	6~18	/	/	/	/
		调质钢、热作工具钢	5CrNiMo、4Cr5MoSiV1	<1200N/mm ²	乳、油	/	/	3~5	5~10	/	/	/	/
		高强度钢	40CrMnTi、45CrNiMoV	<1200N/mm ²	乳、油	/	/	2~3	3~8	/	/	/	/
2	淬火钢			>48~52HRC	乳、油	/	/	1~3	2~4	3~5	4~6	/	/
				>52~56HRC	乳、油	/	/	/	/	1~3	2~4	/6~10	/
3	不锈钢	易切削不锈钢	Y1Cr13Mo、Y1Cr18Ni9	<850N/mm ²	乳、油	2~6	4~8	5~10	6~15	/	/	6~10	10~20
		铁素体、马氏体不锈钢	1Cr17、2Cr13	<850N/mm ²	乳、油	1~5	2~6	3~8	5~12	/	/	6~10	10~20
		奥氏体不锈钢	1Cr18Ni9Ti、0Cr13Ni4Mo	<850N/mm ²	乳、油	/	/	2~6	4~10	/	/	/	10~20
4	铸铁	灰铸铁	HT150、HT250	<200HB	乳、合	6~12	8~15	10~20	15~25	20~40	30~50	/	/
		灰铸铁	HT300、HT350	<200HB	乳、合	4~8	5~10	6~12	8~15	15~30	20~40	/	/
		球墨铸铁、可锻铸铁	QT500-7、KTZ500-04	<200HB	乳、合	5~10	6~12	8~15	10~20	15~30	20~40	/	/
		球墨铸铁、可锻铸铁	QT700-2、KTZ650-2	<200HB	乳、合	4~8	5~10	6~12	8~15	15~30	20~40	/	/
5	纯钛	纯钛、低钛合金	TA1、TA6、TA9	<700N/mm ²	乳、油	/	/	3~10	5~12	/	/	/	/
		钛合金	TA7、TC4	<900N/mm ²	乳、油	/	/	2~8	3~10	/	/	/	/
		钛合金	TC4、TC6、TB2	<1250N/mm ²	油	/	/	1~5	2~8	/	/	/	/
6	镍基合金	镍基、钴基耐热合金	GH1131、GH2036、K640	<900N/mm ²	乳、油	/	/	2~8	4~10	/	/	/	/
		镍基、钴基耐热合金	GH4169、GH2132	<1200N/mm ²	乳、油	/	/	1~4	2~6	/	/	/	/
7	纯铜	纯铜、低铜合金	T2、T3	<350N/mm ²	乳、油	5~8	6~10	8~12	10~20	/	/	/	/
		黄铜 (短屑)	H59、HPb59-1	<600N/mm ²	乳、油	8~15	10~25	12~30	15~35	20~40	25~45	10~20	15~30
		黄铜 (长屑)	H68、H80	<600N/mm ²	乳、油	6~12	8~20	10~25	12~30	15~30	20~40	/	/
		青铜 (短屑)	QSn4-4-2.5	<600N/mm ²	乳、油	5~10	6~15	8~20	10~25	15~30	20~40	10~20	15~30
		青铜 (长屑)	QSn6.5-0.1、QA110-4-4	<700N/mm ²	乳、油	4~8	5~10	6~12	8~15	10~30	20~40		
8	纯铝	纯铝、未淬硬熟铝	L4、L6、LD2	<300N/mm ²	乳、油	6~12	8~15	10~20	15~30	/	/	20~40	25~50
		淬硬熟铝 (硬铝)	LD5、LD6、LY12	<600N/mm ²	乳、油	4~8	6~12	8~15	10~20	15~30	20~40	15~30	20~40
		铸铝 (Si<10%)	ZL105、ZL106	<600N/mm ²	乳、油	5~12	8~15	10~20	12~25	15~30	20~40	15~30	20~40
		铸铝 (Si>10%)	ZL109	<600N/mm ²	乳、油	4~8	6~10	8~15	10~20	15~30	20~40	/	/
9	合成材料	热固性塑料	酚醛塑料、环氧树脂塑料		乳、合	6~10	8~15	10~20	12~25	15~30	20~40	/	/
		热塑性塑料	有机玻璃、尼龙		乳、合	6~15	10~25	8~20	15~30	/	/	/	/
		纤维增强塑料	玻璃纤维、碳素纤维增强塑料		乳、合	/	/	4~6	5~8	8~20	15~30	/	/

注：

- 本表仅为参考的切削速度范围，现场需要根据具体机械以及加工条件进行适当调整。
- 推荐的切削液为：乳=乳化液、油=切削油、合=化学（合成）切削液
- 符号说明：HSS=普通高速钢、HSS-E=高性能高速钢、HM=硬质合金

举例：

例如攻丝加工铝合金 M2 的螺纹，选用不带涂层的挤压丝锥，攻丝时主轴可以使用多少转（在机械条件允许的情况下）？

通过查表我们可以查到线速度可以选择 15 ~ 30m/min。

主轴转速 $N = 1000 \times \text{线速度 } V_c / (\pi \times \text{螺纹直径})$

$$= 1000 \times 15 / (3.14 \times 2) \sim 1000 \times 30 / (3.14 \times 2)$$

$$= 2388 \sim 4777 \text{rpm}$$

在现场机床的机械条件允许的情况下，比如主轴是直连，选用挤压丝锥攻丝 M2 的螺纹，主轴可以选择 2388 ~ 4777rpm 左右的转速。但是现场机床条件不允许的情况下，比如主轴是皮带连接，我们需要适当降低主轴的转速进行攻丝加工。

4.6 攻丝切削力

其实，对于丝锥操作者来说，大多时候已经不需要知道攻丝时所需要用的切削力大小了。因为在丝锥以及攻丝夹具设计的时候生产厂商已经经过严格的计算。但是，在某些情况下比如需要调节具有过载保护装置的攻丝夹头扭矩的设定值，这个时候就需要有个比较准确的参考值。因此，明确不同规格螺纹攻丝所需要的扭矩大小则显得尤为重要。

另外就是需要根据不同的工件材料，主轴的功率扭矩大小来选择进行核实的攻丝

根据丝锥的平均寿命，攻丝所需的切削力可按以下公式计算：

切削丝锥攻丝所需的切削力	$M_D = A \cdot K_S \cdot d_1 / 1000 \text{ Nm}$
挤压丝锥攻丝所需的切削力	$M_D = 1.5 \cdot A \cdot K_S \cdot d_1 / 1000 \text{ Nm}$
A-----切削截面积， $A = 0.25 \cdot P^2 \text{ mm}^2$ P 为螺距	
d ₁ ----丝锥大径 mm	
K _S ----材料比切力 N/mm ²	

其中，材料比切力 K_S是个很重要的参数，它反映了材料的切削难易程度，直观上有点类似于抗拉强度，根据材料不同，大体上可按如下列表选择材料比切力值（图片来源于网络）：

材料代号	材料类别	材料比切力	单位
1	抗拉强度小于850N/mm ² 的碳钢、合金钢	2500	N/mm ²
2	抗拉强度小于1100N/mm ² 的碳钢、合金钢	3200	N/mm ²
3	抗拉强度小于1400N/mm ² 的碳钢、合金钢	3600	N/mm ²
4	灰口铸铁	2000	N/mm ²
5	球墨铸铁	2500	N/mm ²
6	铝合金	700	N/mm ²
7	黄铜	720	N/mm ²
8	镍合金及钛合金	4000	N/mm ²
9	HRC小于44的淬硬钢、高硬钢	4100	N/mm ²
10	HRC小于55的淬硬钢、高硬钢	4700	N/mm ²
11	HRC小于60的淬硬钢、高硬钢	5000	N/mm ²

如，使用 M10*1.5 切削丝锥，材料为铝合金，则所需切削力为： $0.25 \cdot 1.5^2 \cdot 700 \cdot 10 / 1000 = 3.9375 \text{ Nm}$

4.7 螺纹与丝锥精度

内螺纹的精度分为三个档次：精密（4H、5H）、中等（6H）、粗糙（7H），这里列出常用的 6H 的内螺纹规格表。

公制外螺纹（6g）常用规格极限尺寸图（粗牙）（图片来源于网络）

公称直径× 螺距	螺纹精 度等级	大径		中径		小径	螺胚直径	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
M3×0.5	6g	2.980	2.874	2.655	2.580	2.439	2.60	2.63
M4×0.7		3.978	3.838	3.523	3.433	3.220	3.47	3.50
M5×0.8		4.976	4.826	4.456	4.361	4.110	4.40	4.43
M6×1		5.974	5.794	5.324	5.212	4.891	5.26	5.29
M8×1.25		7.972	7.760	7.160	7.042	6.619	7.10	7.14
M10×1.5		9.968	9.732	8.994	8.862	8.344	8.92	8.96
M12×1.75		11.966	11.701	10.829	10.679	10.072	10.75	10.79
M14×2		13.962	13.682	12.663	12.503	11.797	12.57	12.62
M16×2		15.962	15.682	14.663	14.503	13.797	14.57	14.62
M18×2.5		17.958	17.623	16.334	16.164	15.252	16.24	16.29
M20×2.5		19.958	19.623	18.334	18.164	17.252	18.24	18.29
M22×2.5		21.958	21.623	20.334	20.164	19.252	20.24	20.29
M24×3		23.952	23.577	22.003	21.803	20.704	21.89	21.95
M27×3		26.952	26.577	25.003	24.803	23.704	24.89	24.95

公制内螺纹（6H）常用规格极限尺寸图（粗牙）（图片来源于网络）

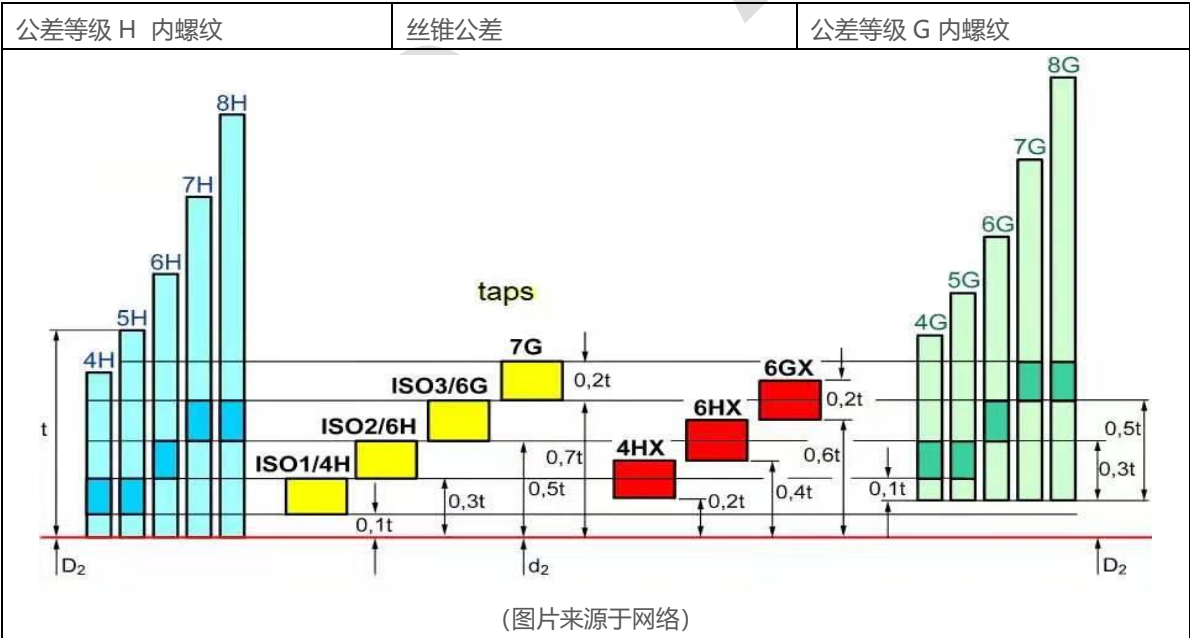
公称直径× 螺距	螺纹精 度等级	大径	中径		小径		攻丝前钻头直径	
		最小	最大	最小	最大	最小		
M3×0.5	6H	3.000	2.775	2.675	2.599	2.459	2.50	
M4×0.7		4.000	3.663	3.545	3.422	3.242	3.30	
M5×0.8		5.000	4.605	4.480	4.334	4.134	4.20	
M6×1		6.000	5.500	5.350	5.153	4.917	5.00	
M8×1.25		8.000	7.348	7.188	6.912	6.647	6.80	
M10×1.5		10.000	9.206	9.026	8.676	8.376	8.50	
M12×1.75		12.000	11.063	10.863	10.441	10.106	10.20	
M14×2		14.000	12.913	12.701	12.210	11.835	12.00	
M16×2		16.000	14.913	14.701	14.210	13.835	14.00	
M18×2.5		18.000	16.600	16.376	15.744	15.294	15.50	
M20×2.5		20.000	18.600	18.376	17.744	17.294	17.50	
M22×2.5		22.000	20.600	20.376	19.744	19.294	19.50	
M24×3		24.000	22.316	22.051	21.252	20.752	21.00	
M27×3		27.000	25.316	25.051	24.252	23.752	24.00	

丝锥的公差等级的选用，取决于螺纹孔的公差等级。当然，丝锥切出的螺纹精度不仅取决于丝锥本身的精度，而且还取决于其它许多因素，比如刀具（丝锥径向跳动，中径尺寸，前角，磨纯度等）以及使用情况（工件材料，切削用量，切削液，机床精度，夹紧方式，丝锥辅具的结构，操作者的熟练程度等），因此并不完全根据被加工内螺纹的公差等级来确定丝锥螺纹的精度等级。

由于影响螺纹精度的因素很多，下表中所列仅供选择丝锥时做参考。应按加工条件并根据生产经验或通过试验，在标准所列范围内选用最适当的公差带的丝锥。

丝锥的公差等级			内螺纹的公差					应用情况
ISO	DIN	ANSIBS						
ISO 1	4H	3B	4H	5H				无间隙配合
ISO 2	6H	2B	4G	5G	6H			常规配合
ISO 3	6G	1B			6G	7H	8H	间隙较大的配合
-	7G	-				7G	8G	松配合，可随后对螺纹进行涂层等处理

常用的丝锥和内螺纹公差表



例如：6H 精度的螺纹，在加工钢件时，可选用 6H（中径公差：+0.035~+0.059）精度的丝锥；在加工灰口铸铁时，由于丝锥的中径磨损较快，螺孔的扩张量也小，因此宜选用 6HX（中径公差：+0.05~+0.074）精度的丝锥，相比于 6H 的丝锥，6HX 的丝锥公差带长度没变，但上下偏差都变大了，意味着 6HX 丝锥有更多的磨损量，寿命会更好。

4.8 攻丝冷却与润滑

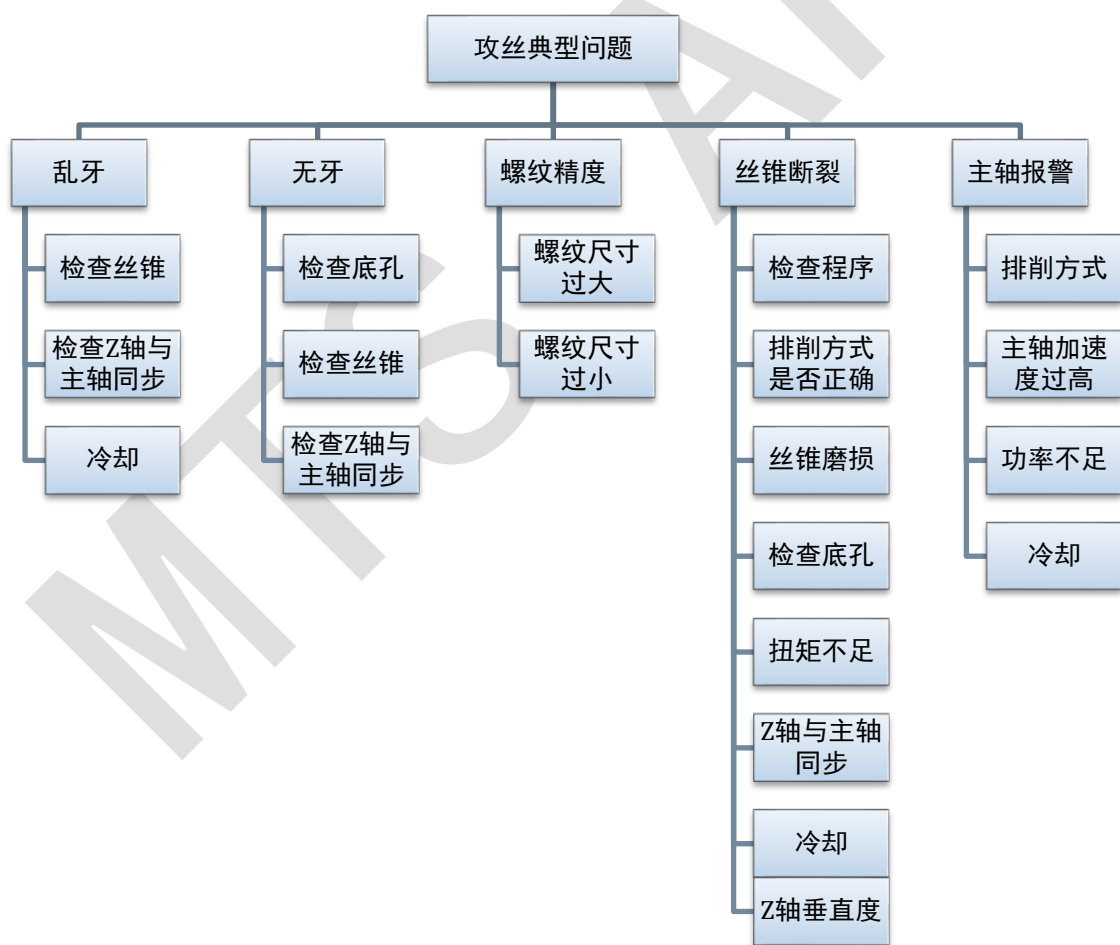
在攻丝时，冷却液供给是攻丝的关键因素之一，主要关乎排屑（安全性）、螺纹质量、刀具寿命。攻丝冷却液主要有全合成、半合成、纯油以及乳化液等。根据不同应用场合，选择不同的冷却液与刀具配合进行攻丝加工。

挤压攻丝润滑更重要，大直径一般使用油冷。

在一些特殊场合，我们也可以选择内冷刀具。内冷刀具的应用优势：难加工材料，较深的螺纹孔。

怎么选择攻丝冷却液，详情请见 4.5 章节丝锥切削工艺参数。

4.9 攻丝典型问题



4.9.1 乱牙

- 检查丝锥是否磨损，使用正确，是否存在跳动，底孔是否合适
- 检查 Z 轴与主轴同步（跟随误差）
- 确保排屑方式正确
- 检查 Z 轴垂直度，机床水平等
- 检查冷却液，根据加工材料选择冷却液（油）

4.9.2 无牙

- 检查底孔尺寸是否合适
- 检查丝锥是否正确
- 检查 Z 轴与主轴同步（跟随误差）

4.9.3 螺纹精度问题

- 螺纹尺寸过大
 - 不正确的丝锥公差：选择正确的丝锥公差
 - 不正确的丝锥应用：现场具体分析和检查（冷却、应用场合和类型、材料、底孔、加工参数等）
 - 不正确的轴向进给和同步不良：编程正确，优化到位
 - 切屑速度太低：使用推荐值
 - 不正确的刀柄和夹持：检查夹套和优化刀柄
- 螺纹尺寸过小
 - 不正确的丝锥公差：选择正确的丝锥公差
 - 丝锥磨损：更换新的丝锥
 - 底孔太小：参考钻孔尺寸表
 - 加工后材料收缩：增加钻孔直径

4.9.4 丝锥断裂

- 程序设置错误：检查程序、检查程序和刀具螺距
- 刀具选型错误：检查刀具应用场合，排屑方式是否正确
- 丝锥是否磨损
- 承受扭矩太大：使用推荐的刀柄、检查丝锥磨损、更换丝锥、啄攻，如果是大丝锥，计算攻丝扭矩，监控或查看主轴扭矩曲线图，检测是否扭矩不足
- 检查 Z 轴与主轴同步（跟随误差）
- 丝锥底孔：增加底孔深度或者减少螺纹深度；底孔尺寸大小是否合适，参考推荐底孔尺寸表格。若底孔表面硬化，则要检查钻头。
- 线速度太高：降低线速度至推荐值
- 冷却液：使用正确的冷却液，良好的润滑与排屑
- 检查 Z 轴垂直度，机床水平等

4.9.5 主轴报警

- 检查丝锥排屑方式是否正确，丝锥是否磨损
- 检查主轴攻丝加速度是否过高（MD35210），导致利用率达到 100%
- 按攻丝转速对比主轴电机功率曲线，攻丝转速尽可能靠近额定转速以保证主轴工作在高功率区
- 检查冷却液，根据加工材料选择冷却液（油）

5 应用举例

5.1 SINUMERIK 828D 攻丝优化

828D 系统含有自动优化驱动的功能，各轴自动优化参见《828D 简明调试手册》。在做完自动优化后，在有攻丝要求的情况下，还有几个需要注意的事项。

5.1.1 Z 轴与主轴同步参数匹配设置

理论上刚性攻丝要求 Z 轴的进给和主轴的旋转保持同步，以匹配设定的螺纹螺距。攻丝时，当主轴旋转一周，Z 轴的进给总量应该等于所攻螺纹的螺距。Z 轴与主轴的同步性直接影响刚性攻丝结果的好坏。

实际刚性攻丝过程中，主轴先切换到位置模式根据指令旋转，控制系统检测到主轴反馈的位置后再发送 Z 轴位置指令，Z 轴根据系统指令进给同时跟随主轴以保持同步。因此实际 Z 轴跟随主轴的同步性取决于系统通信的延时，以及伺服的响应速度。

SINUMERIK 系统在刚性攻丝中，系统在位置闭环控制下对线性轴和主轴的运行进行插补。前提条件是主轴带行程测量系统并受位置闭环控制。

主轴在进行自动优化后，与其他进给轴不同的是，进给轴 XYZ 生效的 MD32200 增益、MD32800 和 MD32810 前馈时间为参数组[0]，而 SP 生效的为参数组[1]。在使用自动优化中插补轴组功能时，经过自动匹配后的主轴和 Z 轴相关参数会有设置不匹配的情况。因此，建议主轴攻丝时的参数匹配，配合手动调整。

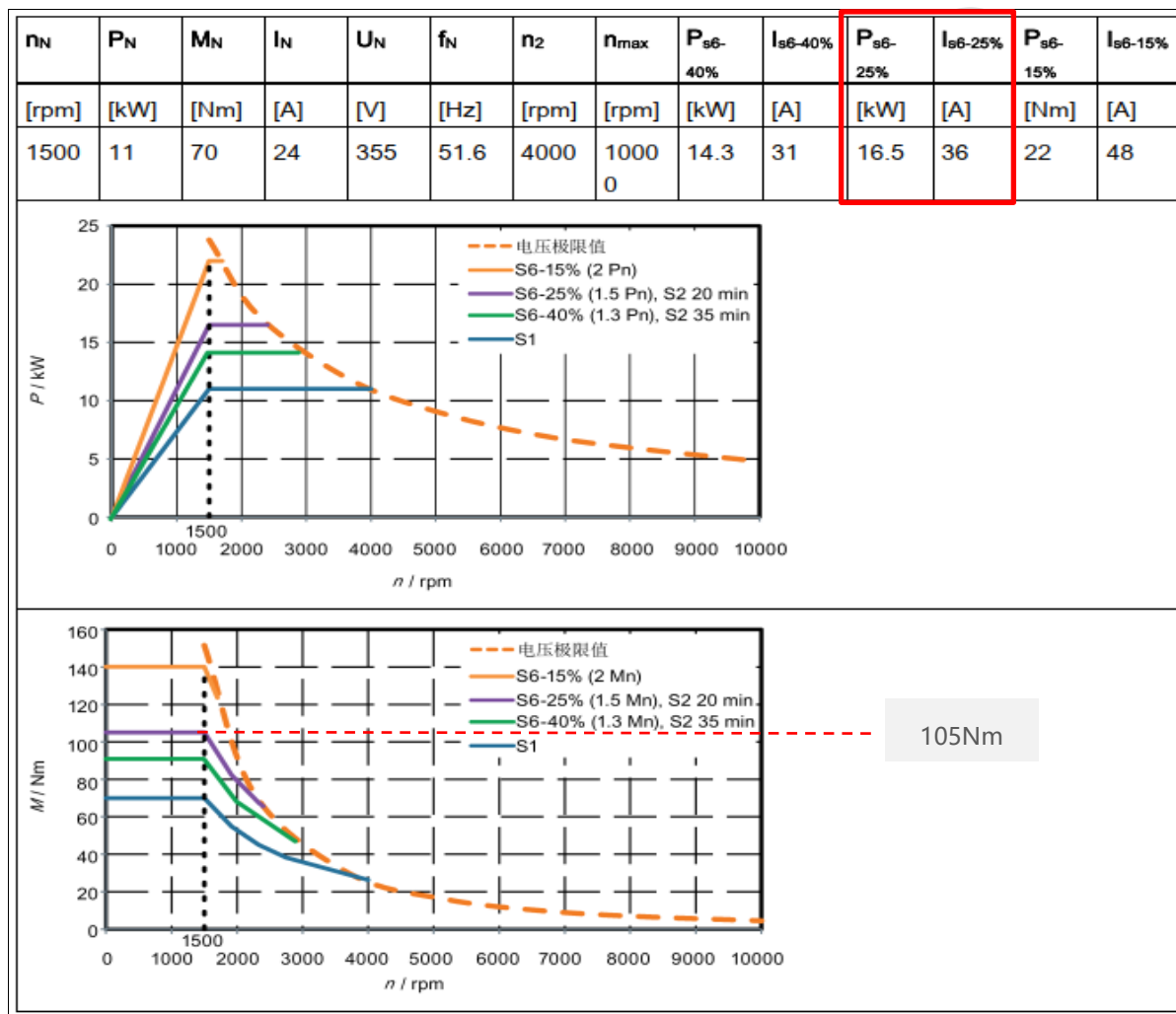
需检查匹配的参数为：

轴位置环增益 MD32200 取各轴最小增益	XYZ：MD32200[0]与 SP：MD32200[1]同取最小增益，填入各轴 MD32200[1]
力矩控制时间 MD32800 取最大力矩控制时间（MD32620=4 时生效）	XYZ：MD32800[0]与 SP：MD32800[1]同取最大时间，填入各轴 MD32800[1]
速度控制时间 MD32810 取最大速度控制时间（MD32620=3 时生效）	XYZ：MD32810[0]与 SP：MD32810[1]同取最大时间，填入各轴 MD32810[1]
注：XYZ三轴的MD32200[0]、MD32800[0]、MD32810[0]、MD32400、MD32410、MD32895仍然按照自动匹配的结果，不需要改动。推荐手动检查下所有轴，尤其是MD32400，MD32410，这个最容易被忽视，会使计算增益相差非常大。	

5.1.2 刚性攻丝效率优化调整

攻丝时，我们一般通过主轴能到达的转速来衡量攻丝效率。在螺纹的深度一定的情况下，攻牙效率主要取决于主轴的加速性能，加速性能越好，主轴速度就能提升的越好。对于需要进行攻丝加工的机床，攻丝效率的优化是必须要进行的。我们以 11KW 的 1PH3131-1DF02-0KA0 主轴电机为例来看看主轴的优化。

我们先来看看 1PH3131-1DF02-0KA0 主轴电机的机械特性曲线图：



这里我们选择 S6-25%的曲线来看（如上图红框）， $I_{s6-25\%}=36A$ $P_{s6-25\%}=16.5KW$ $M_{s6-25\%}=105Nm$ 。

设置以下驱动参数：

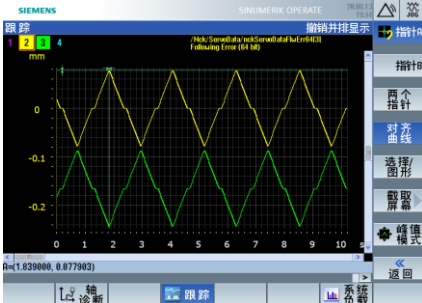
P640	P1520	P1521	P1530	P1531
36	105	-105	16.5	-16.5

注：P640 设置需要参考驱动最大电流输出，参见参数 r209，设置超过 r209 值的 P640 没有意义。

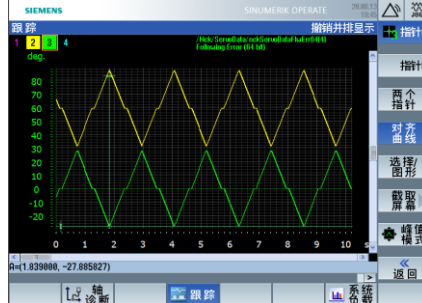
下一步执行攻丝程序，同时 trace 相关变量检测 Z 轴与主轴同步性以及设置主轴加速度和加加速度。

攻丝程序	Trace 变量																	
G01F1000 SUPA D0 G90 Z-50 FFWON M19 SOFT LAB: G331 Z-75 S3000 K1 G332 Z-50 S3000 K1 REPEAT LAB P9 M30	<table><tr><th>变量</th><th>注释</th><th></th></tr><tr><td>:/nckServoDataFlwErr64[3]</td><td>Following Error (64 bit)</td><td>Z 轴跟随误差</td></tr><tr><td>:/nckServoDataFlwErr64[4]</td><td>Following Error (64 bit)</td><td>主轴跟随误差</td></tr><tr><td>/nckServoDataContDev64[4]</td><td>Contour deviation (64 bit)</td><td>主轴轮廓偏差</td></tr><tr><td>/nckServoDataDrvLoad64[4]</td><td>Load (m_set/m_set,limit) (64 bit)</td><td>主轴利用率</td></tr></table>			变量	注释		:/nckServoDataFlwErr64[3]	Following Error (64 bit)	Z 轴跟随误差	:/nckServoDataFlwErr64[4]	Following Error (64 bit)	主轴跟随误差	/nckServoDataContDev64[4]	Contour deviation (64 bit)	主轴轮廓偏差	/nckServoDataDrvLoad64[4]	Load (m_set/m_set,limit) (64 bit)	主轴利用率
变量	注释																	
:/nckServoDataFlwErr64[3]	Following Error (64 bit)	Z 轴跟随误差																
:/nckServoDataFlwErr64[4]	Following Error (64 bit)	主轴跟随误差																
/nckServoDataContDev64[4]	Contour deviation (64 bit)	主轴轮廓偏差																
/nckServoDataDrvLoad64[4]	Load (m_set/m_set,limit) (64 bit)	主轴利用率																

Z 轴跟随误差 0.0779mm



主轴跟随误差 27.886deg



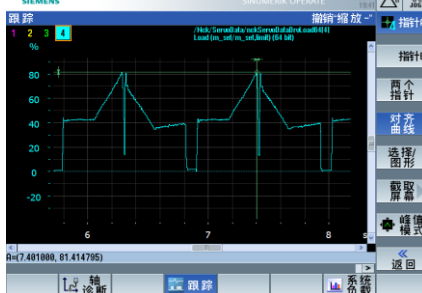
主轴跟随误差/360°*1=27.886/360°*1=0.07746≈Z 轴跟随误差 0.0779

Z 轴与主轴同步性一致

若跟随误差过大，一方面检查 Z 轴与主轴的参数匹配情况；另一方面前馈时间 MD32800 与跟随误差成正比。

主轴利用率

最大 81.4%



主轴最大利用率不可超过 90%，可以通过调整主轴加速度 MD35210、或者主轴加加速度 MD32431 的值来增大或减小主轴利用率，立加、小型龙门推荐值如下（大型主轴应适当降低以下参数）：

参数	皮带传动主轴	直连主轴
MD35210	100（调整范围 80 ~ 120）	120（调整范围 100 ~ 150）
MD32431[0]	600（调整范围 400 ~ 800）	1000（调整范围 1000 ~ 2000）
MD32431[1]	600（调整范围 400 ~ 800）	1000（调整范围 1000 ~ 2000）
MD32431[2]	600（调整范围 400 ~ 800）	1000（调整范围 1000 ~ 2000）
MD32431[3]	300（调整范围 200 ~ 400）	1000（调整范围 1000 ~ 2000）
MD32431[4]	150（调整范围 50 ~ 200）	1000（调整范围 1000 ~ 2000）

西门子攻丝循环编程优化：

CYCLE84

M2 攻丝 190 个

时间：00:09:02

CYCLE84

M3 攻丝 112 个

时间：00:05:54

CYCLE84

M2 攻丝 190 个

时间：00:07:19

19%

CYCLE84

M3 攻丝 112 个

时间：00:05:05

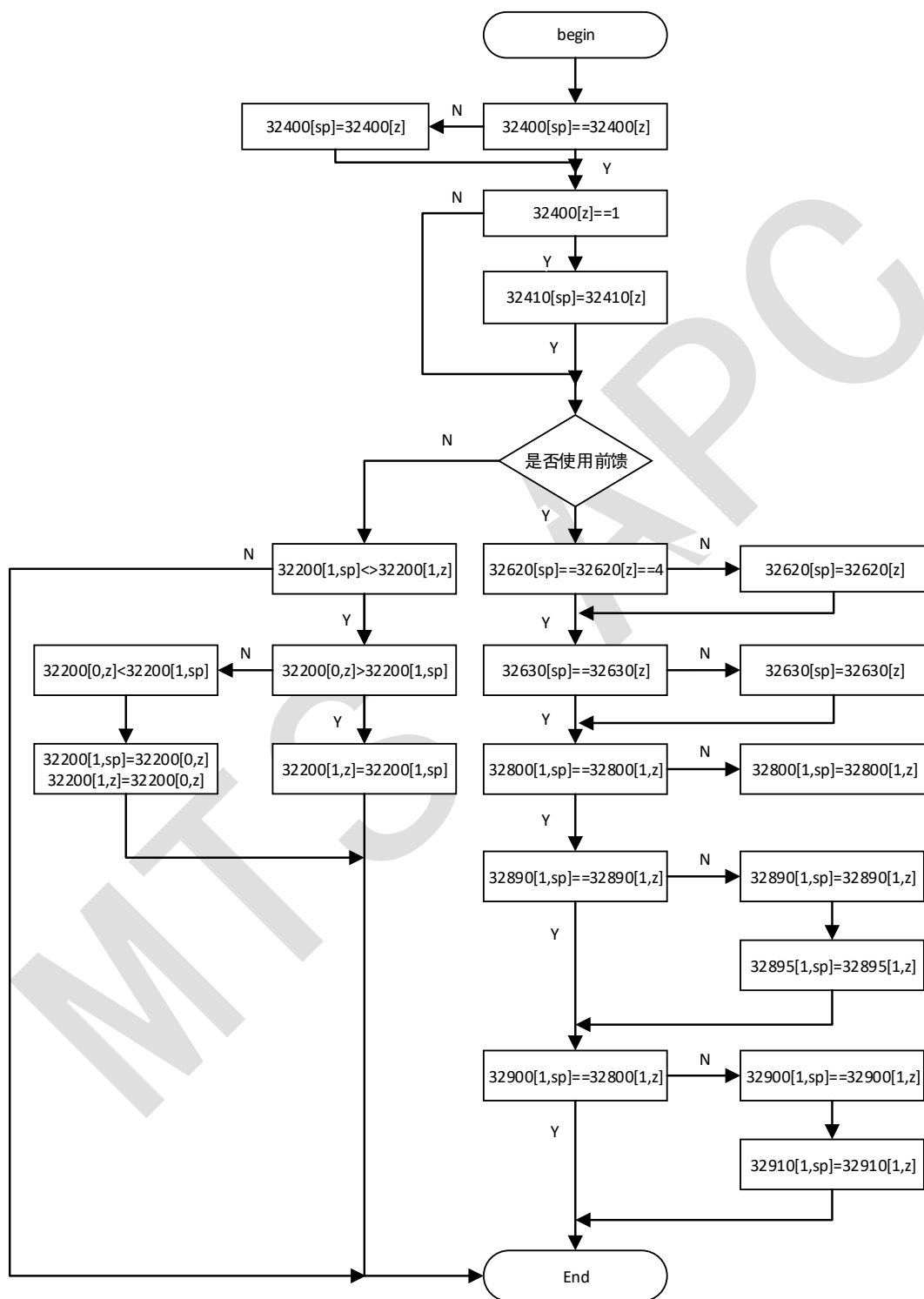
13.8%

CYCLE84 将攻丝停止后主轴转速设为停止，有效提高攻丝效率。

西门子钻孔循环编程优化:

CYCLE83 D1.8 钻孔 190 个 时间: 00:09:11 CYCLE83 D 2.5 钻孔 112 个 时间: 00:07:46	SIEMENS SINUMERIK OPERATE 28.05.22 08:12 NC/MPF/DEX_5G.DIR/_MODEL39_5 深孔钻削1 PLG17 (XY) RP2.000 SC1.000 位置模式(MCALL) 排屑 Z0-3.000 刀尖 Z1-9.041 abs FD1100.000 % D1.510 inc DF0.000 inc 提前距离 自动 DTB0.000 s DT0.000 s DTS0.000 s 图形视图 深孔钻削1 取消 接收 编辑 钻削 铣削 轮廓铣削 其它 模拟 执行
CYCLE83 D1.8 钻孔 190 个 时间: 00:08:33 6.9% CYCLE83 D 2.5 钻孔 112 个 时间: 00:07:20 5.6%	SIEMENS SINUMERIK OPERATE 28.05.22 08:09 NC/MPF/DEX_5G.DIR/_MODEL39_5 深孔钻削1 PLG17 (XY) RP2.000 SC1.000 位置模式(MCALL) 排屑 Z0-3.000 刀尖 Z1-9.041 abs FD1100.000 % D1.510 inc DF0.000 inc 提前距离 手动 U30.100 DTB0.000 s DT0.000 s DTS0.000 s 图形视图 深孔钻削1 取消 接收 编辑 钻削 铣削 轮廓铣削 其它 模拟 执行 CYCLE83 编程将提前距离改为手动减小 V3 值有效提高钻孔效率 ISO 编程钻孔循环 G83 可以手动修改变量_ZSFR[10], 效果相同。

附：检查 Z 轴与主轴同步参数流程图



5.2 SINUMERIK 828D 攻丝编程

西门子具有图形化的攻丝循环编程，使得攻丝编程变得更加简便易懂。

在西门子攻丝循环编程画面中，我们可以根据在栏“补偿夹具模式”中的选择生成以下循环调用：

➤ 带有补偿夹具：CYCLE840

- a. 刀具从参考点以 G0 运行到安全距离。
- b. 刀具以 G1 和编程的主轴转速和旋转方向攻丝至深度 Z1。在循环内部，由转速和螺距计算出进给率 F。
- c. 旋转方向发生逆转。
- d. 在最终钻削深度的停留时间。
- e. 以 G1 退回到安全距离。
- f. 旋转方向逆转或主轴停止。
- g. 以 G0 返回到退回平面。

➤ “1 刀到底”模式不带补偿夹具（刚性攻丝）：CYCLE84

- a. 从参考点以 G0 运行至安全距离。
- b. 对主轴进行同步并释放主轴及其编程的转速（取决于 %S）。
- c. 主轴-进给同步时攻丝至 Z1。
- d. 主轴停止，在钻削深度的停留时间。
- e. 停留时间届满后主轴逆转。
- f. 以生效的主轴回退转速（取决于 %S）返回到安全距离。
- g. 主轴停止。
- h. 以 G0 返回到退回平面。

➤ “排屑”模式不带补偿夹具（刚性攻丝）：CYCLE84

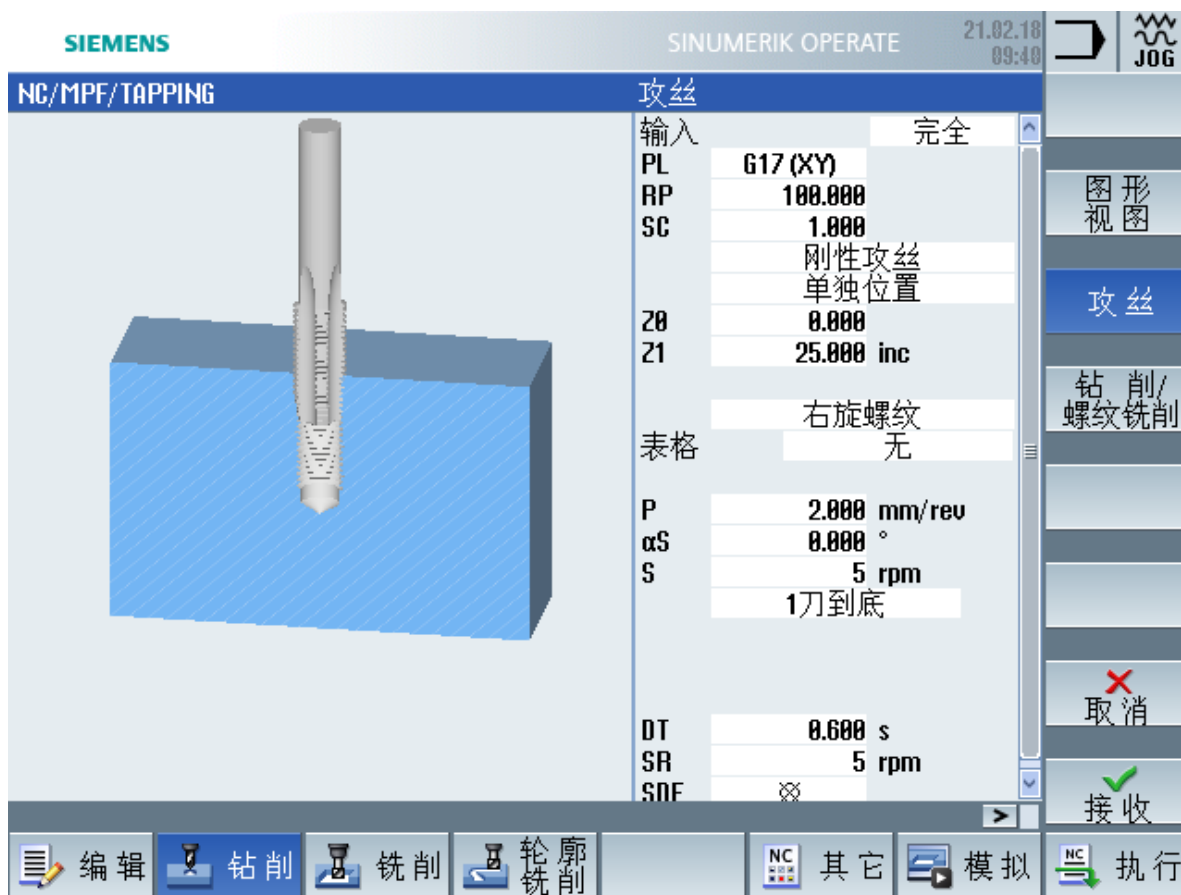
- a. 刀具以编程的主轴转速（取决于 %S）攻丝，直至到达第 1 个进给深度（最大进给深度 D）。
- b. 主轴停止和停留时间 DT。
- c. 刀具以主轴转速 SR 快速地从工件中移出，运行至安全距离，进行排屑。
- d. 主轴停止和停留时间 DT。
- e. 接着刀具以主轴转速 S 钻至下一个进给深度。
- f. 重复步骤 2 到 5，直至达到编程的最终攻丝深度 Z1。
- g. 停留时间 DT 届满后，刀具以主轴转速 SR 回退到安全距离。主轴停止并返回到退回平面。

➤ “断屑”模式不带补偿夹具（刚性攻丝）：CYCLE84

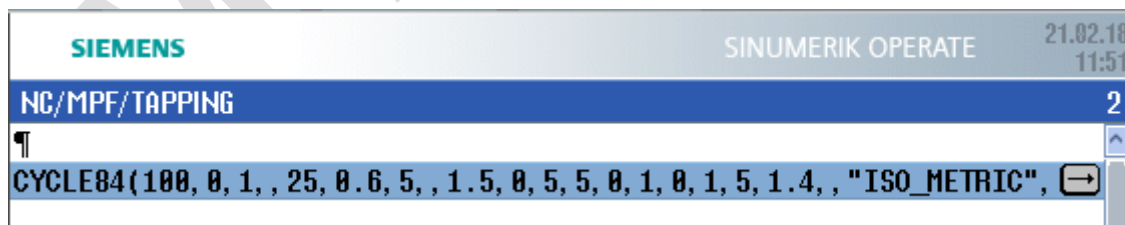
- a. 刀具以编程的主轴转速（取决于 %S）钻孔，直至到达第 1 个进给深度（最大进给深度 D）。
- b. 主轴停止和停留时间 DT。
- c. 刀具回退 V2 的量进行车削。
- d. 然后，刀具以主轴转速 S（取决于 %S）攻丝至下一个进给深度。

- e. 重复步骤 b 到 d，直至达到编程的最终钻削深度 Z1。
- f. 停留时间 DT 届满后，刀具以主轴转速 SR 回退到安全距离。主轴停止并返回到退回平面。

在程序编辑画面中，按顺序点击“钻削”，“攻丝”即会出现以下攻丝循环编辑画面：



在攻丝循环界面中输入相关的工艺参数后，点击右下角的“接收”按钮，系统自动生成 CYCLE84 攻丝程序：



这里列出刚性攻丝的相关参数说明：

参数	说明	单位
输入 (仅限 G 代码程序)	- 完整 - 简单 	
PL	加工平面 - G17(XY) - G18(ZX) - G19(YZ)	
RP	退回平面	毫米
SC	安全距离	毫米
补偿夹具模式 	- 带补偿夹具攻丝 - 刚性攻丝	
加工位置 (仅限 G 代码程序)	- 单个位置：在编程的位置上钻孔 - 位置模式：带 MCALL 的位置	
Z0 (仅限 G 代码程序)	参考点 Z 轴坐标	毫米
Z1	螺纹终点（绝对）或螺纹长度（增量） 绝对或增量可手动选择	毫米
螺纹 (仅限 G 代码程序)	螺纹的旋转方向（仅限选择了“刚性攻丝”时提供） - 右旋螺纹 - 左旋螺纹	
表格 	选择螺纹标准： - 无 - 公制螺纹 ISO - 惠氏螺纹 BSW - 惠氏螺纹 BSP - UNC	
选择 (仅当上述表格栏选择除“无”以外时提供)	选择标准螺纹： 例如： - M3; M10 等 (ISO 公制) - W3/4" 等 (惠氏螺纹 BSW) - G3/4" 等 (惠氏螺纹 BSP) 1" - 8 UNC; 等。 (UNC)	

P  (仅限在“表格”螺纹标准选择为“无”时提供。若选择其他时,如选择了公制螺纹,在“选择”栏选择M10 螺纹,则这里会自动给出公制粗牙螺距 1.5mm/rev)	螺距(螺距取决于所使用的刀具): - 以模数为单位: 模数 = 螺距/π - 以牙/英寸为单位: 如管道螺纹。 在以“每英寸”为单位输入时,在第一个参数字栏中输入小数点前面的整数部分,在第二个和第三栏中以分数形式输入小数点后面的小数部分。 - 以毫米/转为单位 - 以英寸/转为单位	模数 牙/英寸 毫米/转 英寸/转
αS (仅限 G 代码程序)	起始角偏移 (仅限选择了刚性攻丝时提供)	度
S (仅限 G 代码程序)	主轴转速 (仅限选择了刚性攻丝时提供)	转/分钟
加工  (仅在“刚性攻丝”模式中提供)	可以选择下列工艺加工: 1 刀到底: 以一刀钻孔螺纹,没有停顿。 - 断屑: 刀具回退 V2 的量进行断屑。 - 排屑: 钻头从工件回退以进行排屑。	
D	最大深度进刀量 - (仅限选择了刚性攻丝、排屑或断屑时提供)	毫米
回退 	回退量 - (仅限选择了断屑时提供) - 手动: 每次加工后的回退量 (V2) - 自动: 每次旋转后将回退刀具。	
V2	每次加工后的回退量 - (仅限选择了刚性攻丝、断屑和手动回退时提供) 丝锥断屑时的回退量。	毫米
DT	暂停时间,单位秒: - 无补偿夹具 (刚性攻丝) - 1 刀到底: 在最终钻深处的停留时间 - 断屑: 在钻深处的停留时间 - 排屑: 在钻深处的停留时间及回退后 - 带补偿夹具 - 带编码器: 钻孔后的停留时间 - 无编码器: 在最终钻深处的停留时间	秒
SR (仅限 G 代码程序)	回退时的主轴转速 - (仅限选择了刚性攻丝时提供)	转/分钟
SDE (仅限 G 代码程序)	循环结束之后主轴旋转方向: - 停止  - 正转  - 反转 	

工艺  (仅当设定了通道参数 52216 后才会提供) 位 0: 显示 CYCLE84 工艺输入栏 0: 隐藏该输入栏 1: 显示该输入栏 位 1: 显示 CYCLE840 工艺输入栏 0: 隐藏该输入栏 1: 显示该输入栏	工艺的匹配: • 是 - 准停 - 前馈 - 加速度 - 主轴 • 否	
准停  (仅限选择了工艺时提供)	• 空: 功能与循环调用前相同 • G601: 达到精停时程序段切换 • G602: 达到粗停时程序段切换 • G603: 达到设定值时程序段切换	
前馈控制  (仅限选择了工艺时提供)	• 空: 功能与循环调用前相同 • FFWON: 带前馈控制 • FFWOF: 不带前馈控制	
加速度  (仅限选择了工艺时提供)	(仅限选择了“刚性攻丝”时提供) • 空: 功能与循环调用前相同 • SOFT: 受急动限制的轴加速度 • BRISK: 跃变式轴加速度 • DRIVE: 减速的轴加速度	
主轴  (仅限选择了工艺时提供)	(仅限选择了“刚性攻丝”时提供) • 转速控制: 主轴在 MCALL 时: 转速控制模式 • 位置控制: 主轴在 MCALL 时: 位置控制模式	

5.3 SINUMERIK 828D 攻丝回退

在刚性攻丝时如果按了急停或者复位键，丝锥会停在工件里。要让丝锥脱离工件，需要让主轴反转，同时 Z 轴向上进行插补运动。

SINUMERIK 828D 系统具有“退刀”功能可以使丝锥在 JOG 运行方式下沿着刀具方向回退，同时，刀具和工件不会损坏。

在 JOG 模式下。按下  按键



 按下向右扩展按键

在正常情况下，退刀按键是灰色的，无法进入退刀界面。



程序运行中突然按下复位键或急停中断程序时，程序中编程的轨迹运动不在刀具轴方向上也不能激活退刀。



程序运行中突然按下复位键或急停中断程序时，若刀具补偿未激活，也不能激活退刀。



成功选择 JOG 退刀必须满足以下条件：

- 系统切换到 JOG 方式

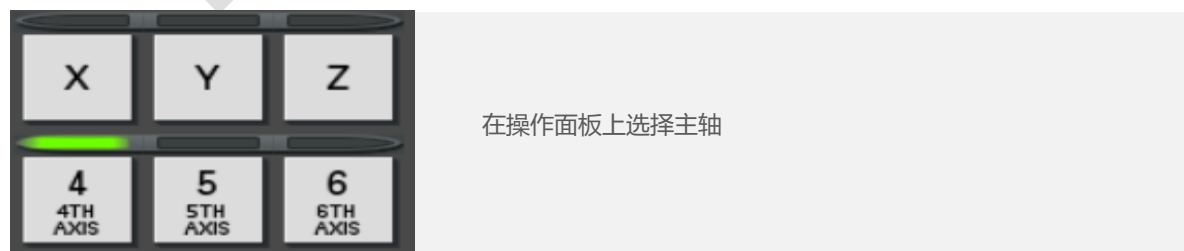
- 包含生效刀具补偿的程序在执行时被复位操作或电源中断中止
- PCL 信号 DB3300.DBX4005.5 (有退刀数据) 或 MCP 变量 retractState 位 1 置位
- JOG 退刀所在通道处于复位状态
- 参与坐标转换的轴的位置经过同步或重新找回

在使用增量编码器时有必要重新找回轴位置(MD34210 \$MA_ENC_REFP_STATE[]=3)

- 机床数据 20110 \$MC_RESET_MODE_MASK 位 0 置位 (缺省值)

在选择 JOG 退刀失败时您必须首先按下复位键应答报警，在核实系统符合上述条件后再次选择 JOG 退刀。

正常情况下，我们在执行攻丝或钻孔的时候突然中断程序，进入此画面时我们看到“退刀”按键时黑色的，可以点击进入退刀画面。





此时按下“+”按键我们可以看到此时主轴按照攻丝退刀的方向旋转，同时 Z 轴跟随主轴旋转同步退刀。

NC/MPF/TEST_MPF/05_SP_TAP.SPF

有效

M01

WCS	位置 [mm]	T,F,S
X	-332.056	T 2 R 3.000
Y	255.400	D1 L-186.45
+ Z	149.841	▶▶ 2
+ SP1	109.130 °	F 3.000
		3.000 mm/rev 100%
		S1 200
		主轴 300 100%

G54

退刀

实际值
MCS

返回

退刀

手轮

同步
动作

设置

注：在退刀模式下，若是攻丝中断需要退刀的话，退刀时轴选择 X、Y 和 Z 时，即使按下轴移动“+”或者“-”，各轴也不会移动的。只有轴选择主轴，且按下攻丝退刀的主轴方向键才能完成退刀动作。

在退刀模式下，不可以切换操作方式。当切换操作方式时，系统会产生 Alarm-16966

16966 ↓ 在执行JOG退刀时不允许执行 '转换到程序方式'

执行退刀时的主轴旋转速度为参数 MD32020 设定的值，进给值显示为中断程序中攻丝的螺距值，如中断程序中为攻丝的螺距为 3，则这里进给 F 显示的就为 3mm/rev.

32020	\$MA_JOG_VELO	200 rpm	re
-------	---------------	---------	----

回退的主轴转速大小可以由主轴倍率和进给倍率两者之中较小的倍率控制，进给则不受倍率控制。如：

MD32020 设定手动 主轴转速值 rpm	主轴倍率%	进给倍率%	实际退刀时主轴转 速 rpm	实际进给 F mm/rev
200	100	100	200	3
	50	80	100	3
	70	40	80	3

5.4 SINUMERIK 828D 攻丝问题汇总

5.4.1 刚性攻丝时出现 Z 轴零点丢失报警

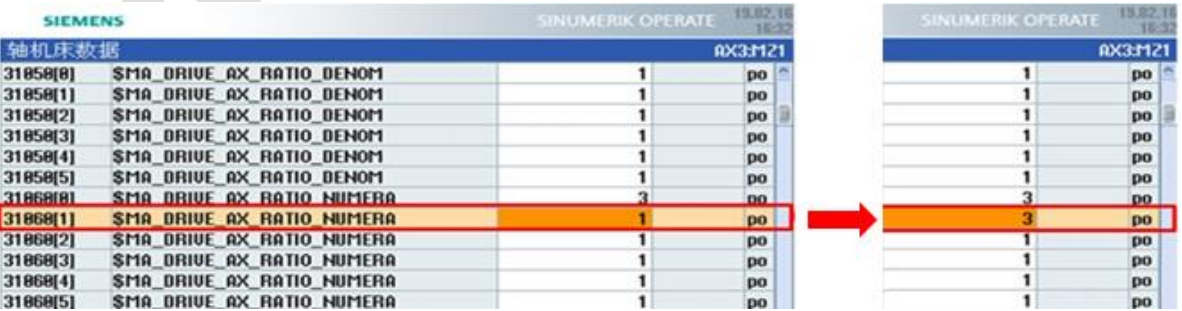
问题：

机床厂客户在调试加工中心过程中，偶尔会遇到执行刚性攻丝程序时，突然出现 Z 轴零点丢失的报警，如下图所示：



解决方法：

检查发现零点丢失发生在 Z 轴带传动比的机床上，原因是系统 Z 轴数据中传动比参数组的数据未正确设置。如下图所示：Z 轴的 31060[0]与 31060[1]设置不一致，需进行更改。参数修改后问题解决。



扩展说明：

对于同一个机床参数可能有从[0]到[5]六个索引号的情况，这种参数就与参数组相关。参数组划分了控制数据的多组性，利用参数组，系统可实现在不同挡位下生效不同的控制数据，最多 6 组参数组。例如：在某些机械设备上需要实现不同挡位下不同位控增益，那么通过参数组中简单的参数设置（依挡位分别设置 32200[0]到[5]）就可以轻松实现该功能。参数组的对应关系如下：

参数索引号	参数组或主轴挡位
xxxxx [0]	参数组 1，或主轴在进给模式下
xxxxx [1]	参数组 2，或主轴在 1 挡
xxxxx [2]	参数组 3，或主轴在 2 挡
xxxxx [3]	参数组 4，或主轴在 3 挡
xxxxx [4]	参数组 5，或主轴在 4 挡
xxxxx [5]	参数组 6，或主轴在 5 挡

举例：主轴挡位参数 31050 对应的参数组

进给轴模式	→	31050[0]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM
主轴档位 1	→	31050[1]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM
主轴档位 2	→	31050[2]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM
主轴档位 3	→	31050[3]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM
主轴档位 4	→	31050[4]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM
主轴档位 5	→	31050[5]	\$MA_DRIVE_AX_RATIO_DENOM

回到本例中，Z 轴减速比为 1:3，当进行攻丝时，主轴为主导轴，所在参数组号为 2，Z 轴需要与主轴插补，参数组会切换为 2，即使用索引号为[1] 的参数组数据；如果未正确设置 Z 轴 31050[1]、31060[1]的传动比，就等于更改了 Z 轴的传动比，需要重新校准，也就导致了零点丢失。参数组生效状态如下：

参数组状态	X 轴	Y 轴	Z 轴	主轴
默认生效	参数组 1	参数组 1	参数组 1	参数组 2
攻丝加工时	参数组 1	参数组 1	参数组 2	参数组 2

所以在本例中，Z 轴带有减速比 1:3，主轴不涉及挡位切换，只需将 Z 轴的 31060[1]改为 3（与[0]参数保持一致）即可。

5.5 SINUMERIK 828D 刚性攻丝相关参数

ISO G84 编程相关参数:

参数号	值	含义
20734.bit9	0	ISO 编程语言 G84、G88、G95 中的 F 要和 0.01 毫米或者 0.0001 英寸相乘
	1	ISO 编程语言 G84、G88、G95 中的 F 要和 0.001 毫米或者 0.00001 英寸相乘
52804	0/1	执行 DRYRUN 时是否跳过攻丝 G74/G84, 0:关 1: 开
55807	0	G84 刚性攻丝 (不带补偿夹具的攻丝) 设置: 在 G84 中再次激活主轴模式
	1	G84 刚性攻丝 (不带补偿夹具的攻丝) 设置: 在 G84 中保持主轴位置控制模式
55808	1-200	G84/G88 攻丝的回退转速系数 (1-200%)

DIN CYCLE84 编程相关参数:

参数号	值	含义
52216.bit0	0	隐藏 CYCLE84 工艺输入栏
	1	显示 CYCLE84 工艺输入栏
55802	0	攻丝类型: 无补偿夹具的攻丝
	1	攻丝类型: 带补偿夹具的攻丝
	2	攻丝类型: 带断屑功能的深孔攻丝
	3	攻丝类型: 带排屑功能的深孔攻丝
55484	0	攻丝循环 CYCLE84 中 MCALL 指令对主轴模式的影响: MCALL 指令后再次激活主轴模式
	1	攻丝循环 CYCLE84 中 MCALL 指令对主轴模式的影响: MCALL 指令后保持位置受控主轴模式

其他攻丝相关参数:

参数号	值	含义
12090	0	主轴倍率在 G331/G332 中生效
	1	轨迹倍率而不是主轴倍率在 G331/G332 中生效 (不带补偿夹具的攻丝)
32431		路径运动中的最大轴冲击
35210		位置控制模式下的加速度
35550		攻丝的最大速度, 通常设为 5000

5.6 SINUMERIK 828D 刚性攻丝相关报警

SINUMERIK 数控系统刚性攻丝循环具有两种编程方式，分别为 ISO 和 DIN 编程方式，ISO 循环指令为 G84，DIN 循环指令为 CYCLE84。

ISO G84 编程相关报警号及内容：

报警号	报警内容
61003	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]循环中未编写进给率
61101	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]定义的参考点错误
61800	[通道 %1:] 程序段 %2: 外部 CNC 系统丢失 机床数据 MD18800: \$MN_MM_EXTERN_LANGUAGE 没有设置
61803	[通道 %1:] 程序段 %2: 编程的轴在系统中不存在
61808	[通道 %1:] 程序段 %2: 缺少 Z 轴最终钻削深度或单个钻削深度 Q 值
61814	[通道 %1:] 程序段 %2: 极坐标不可能带循环

DIN CYCLE84 编程相关报警号及内容：

报警号	报警内容
61001	[通道 %1:] 程序段 %2: 螺向导程定义不正确
61002	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]定义加工类型不正确
61019	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]参数 %4 定义出错
61101	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]定义的参考点错误
61125	[通道 %1:] 程序段 %2: 定义的工艺选择参数错误
61127	[通道 %1:] 程序段 %2: 攻丝轴转换比率的错误定义 (机床数据)
61156	[通道 %1:] 程序段 %2: 深度计算编程错误
61158	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]加工平面编程错误
61159	[通道 %1:] 程序段 %2: 循环调用中的加工平面和位置模板中的平面不同
61262	[通道 %1:] 程序段 %2: 该螺距用所选择的刀具不可能
61287	%[通道 %1:] 程序段 %2: %]无激活主轴
61803	[通道 %1:] 程序段 %2: 编程轴不能得到
61809	[通道 %1:] 程序段 %2: 钻孔位置不允许
62106	[通道 %1:] 程序段 %2: 刀具监控时监控状态值错误

6 参考文献

- 1) VMC850 调试包, 03/2020
- 2) SINUMERIK 828D SINAMICS S120 机床数据
- 3) SINUMERIK 828D SINAMICS S120 报警
- 4) 铣削加工典型问题分析_攻丝-----Cao Peng
- 5) Tapping Process-----Liu Rui

7 作者/联系人

Bai Zhifu

2021.02.20

8 版本信息

版本	日期	修改内容
V1.0	2021.02.20	