

铝缸体螺纹U形牙尖解决措施

□ 上海大众动力总成有限公司/邢韬 姜晓晨

对于铝缸体的零件，螺纹孔一般使用挤压丝锥加工，而挤压丝锥加工出的螺纹孔不可避免会产生U形牙尖，U形牙尖的比例对装配过程拧紧会产生一定影响。本文就如何改善U形牙尖的比例进行分析，找出问题的源头并在过程中加以控制，从而保证发动机的质量。

由于环保及节能的需要，汽车轻量化已经成为世界汽车发展的潮流。而轻量化的其中一个主要途径是采用轻质材料，例如公司目前生产的EA211发动机，缸体已从原来的EA111的铸铁材质改为EA211的铝合金材质，质量上几乎减轻了一半，由于材质的变化，很多加工工艺及刀具也随之改变，例如铝制件的螺纹孔一般都使用挤压丝锥加工，而挤压螺纹会产生U形牙尖，U形牙尖的比例对装配过程拧紧会产生一定影响（见图1）。本文主要研究影响挤压螺纹U形牙尖的因素及优化过程。

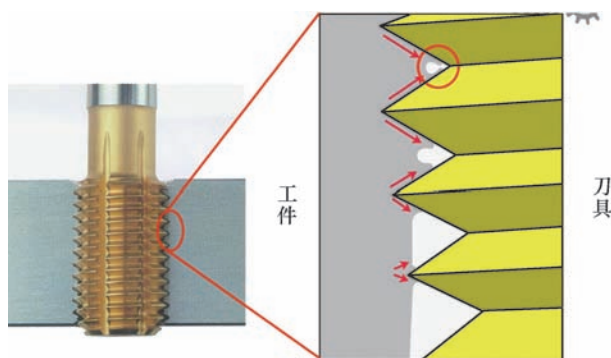


图1 U形牙尖比例对装配拧紧的影响

挤压丝锥的定义及特点

丝锥分为切削丝锥和挤压丝锥，挤压丝锥就是螺纹孔在加工过程中靠挤压成形。实践表明，使用无屑挤压丝锥加工成的螺纹具有超高强度。与传统的切削丝锥加工相比，无屑挤压丝锥加工不是靠切削材料的颗粒组

织来形成螺纹，而是通过丝锥特殊的几何构造，将材料挤压并重新分布形成了螺纹。这种无切屑挤压成形过程不仅不会损坏金属固有的纤维方向，相反会使金属材质更加密固。所以用挤压丝锥加工出的螺纹具有能抵抗较大拉力和转矩的力学特征。挤压丝锥无切削刃、无容屑槽、丝锥强度高，通常不会出现崩刃现象。此外，挤压丝锥较之一般切削丝锥（比如螺旋槽丝锥）寿命可提高3倍以上，攻螺纹速度也会有较大提高。

同时挤压丝锥也存在缺点，不仅制造麻烦、结构复杂、计算繁琐，而且加工所使用的挤压丝锥必须根据加工的螺纹参数、性能等要求进行结构的定制设计。目前挤压丝锥的结构设计仍是依靠经验，然后通过试验不断地改进。因此设计周期长且浪费较大。

挤压丝锥工作区域带有锥度 a 、 b （见图2），以便使工件材料逐步产生塑性变形。径向剖面一般是多棱形（3、4、6棱等），图3所示为4棱形。径向剖面多棱形随锥度部分各剖面直径的变化而变化，但剖面形状基本不变。径向棱脊区 $abcd$ （见图3）为参与挤压的工作部分。

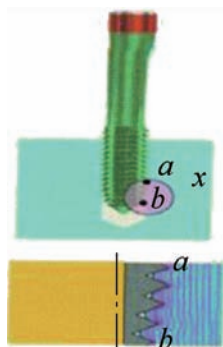


图2 锥度示意

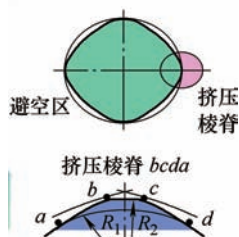


图3 径向棱脊区示意

与切削丝锥相比，挤压丝锥具有以下优点：

（1）工作部分。切削丝锥具有不完全螺纹牙形切削齿及容屑槽，切削齿逐步切入，切屑由容屑槽排出；挤压丝锥具有完全螺纹牙型挤压引导锥，逐步挤入，无切屑产生。

（2）丝锥径向剖面（见图4）。切削丝锥呈圆形，有容屑槽；挤压丝锥呈多棱形，依靠棱脊（压力点）参与挤压，无容屑槽，需要时可设油槽。

（3）加工后的螺纹（见图5）。切削螺纹金属组织纤维是被

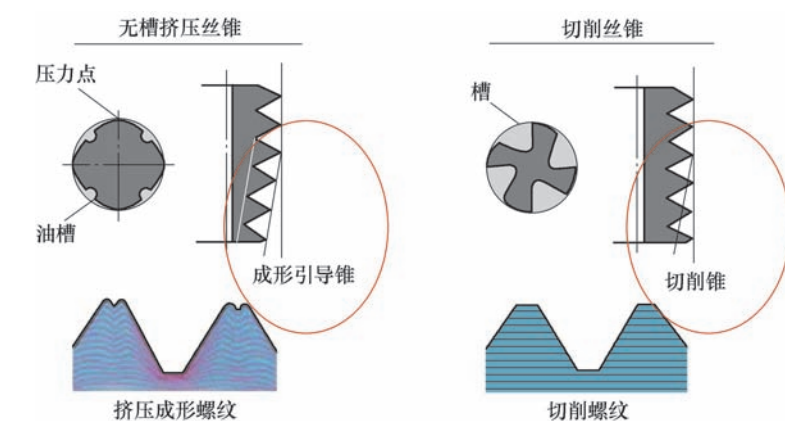


图4 丝锥径向剖面示意

切断的，齿顶平直；挤压螺纹金属组织纤维是连续的，齿顶呈“U”形，挤压螺纹齿顶是不平整的。此“U”形牙尖（下文简称为“鱼嘴”）的大小对装配过程拧紧会产生一定影响。



图5 加工后螺纹

挤压螺纹孔鱼嘴的影响因素

较好的螺纹鱼嘴比例占总牙高的20%~33%，而影响螺纹鱼嘴的因素可以从加工参数、螺纹底孔直径及丝锥三方面进行分析。

1. 加工参数

加工参数主要指挤压丝锥的进给及转速。挤压丝锥的攻螺纹速度取决于丝锥直径、螺纹牙距、被加工材料的硬度和切削液。一般使用与切削丝锥相同的攻螺纹速度；在加工较软的材料和细牙螺纹的情况下，可把速度提高至1.5~2倍；而在加工一些大直径和粗牙螺纹时，

由于受攻螺纹转矩和润滑效果的影响，可适当放慢攻螺纹速度。

故在缸体机油喷嘴孔上进行试验，该孔为M10螺纹孔，在保证使用相同丝锥及螺纹底孔直径的前提下，原转速为1 400r/min，进给为2 100mm/min，螺纹鱼嘴比例为38%。

将进给降至1 500mm/min，转速同比降至1 000r/min，测量螺纹孔鱼嘴比例，结果为296/751=40%，295/779=38%（见图6），鱼嘴比例未发现明显变化，故加工参数并不是影响螺纹鱼嘴的主要因素。

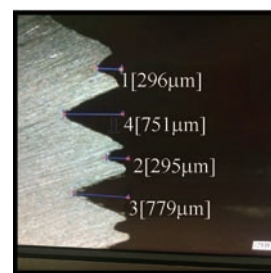


图6 螺纹孔鱼嘴比例

2. 螺纹底孔直径

挤压成形的螺纹孔的形状主要取决于预钻孔直径，该参数直接影响鱼嘴的比例。过小的预钻孔直径由于挤压量的增大会在加工中产

生较大转矩，一是会影响丝锥寿命，二是成形后的螺纹孔尺寸过小无法使用；而过大的预钻孔直径，会造成螺纹孔的小径过大，影响螺纹强度，存在质量隐患（见图7）。所以在不影响使用性能的情况下，必须找到合适的预钻孔直径来同时保证螺纹孔的形状及鱼嘴比例。

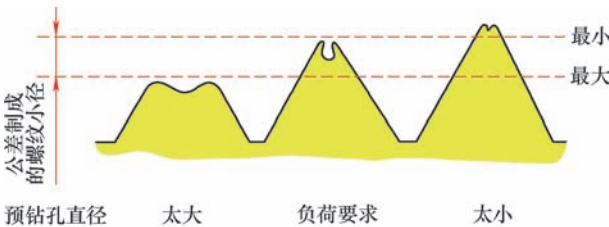


图7 预钻孔直径对螺纹孔的影响

故本次选取缸体上平面的缸盖安装螺纹孔进行试验，将预钻孔的直径控制在中上差（接近上极限偏差）及下极限偏差，观察减小预钻孔直径后，鱼嘴的变化情况。缸盖安装螺纹孔预钻直径要求 $8.43 \pm 0.05\text{mm}$ ，选取状态1：直径 $8.44 \sim 8.46\text{mm}$ ；状态2：直径 $8.41 \sim 8.42\text{mm}$ ，分别进行试切及测量，结果见表1。

表1 螺纹孔鱼嘴比例测量结果

预钻孔直径/mm	8.44 ~ 8.46	8.41 ~ 8.42
螺纹孔鱼嘴比例 (%)	42	36/41
	40	37/38
	43	

由此可得，减小预钻孔直径对螺纹鱼嘴的比例有一定作用，但同样也不是其主要因素，同时，成形后的螺纹孔在检验小径时发现通规塞不进，并在装配段出现螺栓拧不紧的情况。

3.丝锥的影响

公司有3个厂区，加工相同零件时会使用不同的刀具，在测量机油冷却喷嘴时，发现3条缸体生产线的鱼嘴比例测量结果存在差异，见表2。

表2 3条缸体生产线的鱼嘴比例

测量部位	缸体一线	缸体二线	缸体三线
机油冷却喷嘴-KKD (%)	>33	>33	<33

根据测量结果，保证预钻孔刀具、参数等条件相同的情况下，在缸体一线、二线上使用缸体三线的丝锥，试验结果见表3。

表3 使用缸体三线丝锥测量结果

厂区	KKD螺纹孔	原鱼嘴尺寸(<33%) (%)	使用缸体三线丝锥测量结果 (%)
缸体一线	64B11	38	29
	64B12	34	28
	64B13	35	27
	64B14	32	28
缸体二线	64B11	38	27
	64B12	38	25
	64B13	38	27
	64B14	39	27

初步判定，丝锥是影响螺纹孔鱼嘴的主要因素，为了进一步验证这个观点，在缸体上选取相同情况的2个螺纹孔进行试验，结果见表4和表5。

表4 螺纹孔鱼嘴比例原始状态

螺纹孔名称	缸体一线	缸体二线	缸体三线
变速器定位孔螺纹孔 (%)	>33	<33	<33
爆震传感器螺纹孔4B40 (%)	>33	>33	<33

表5 试验结果

厂区	螺纹孔名称	原鱼嘴尺寸(<33%) (%)	使用缸体三线丝锥测量结果 (%)
缸体一线	变速器定位孔螺纹孔	40	30
缸体一线	爆震传感器螺纹孔4B40	39	28

综上，螺纹孔鱼嘴比例的结果随着丝锥的更换得到了较大改善，丝锥在螺纹孔鱼嘴问题上起到决定性作用。

丝锥的深入分析

1.主要因素验证

在确定了丝锥是影响螺纹孔鱼嘴的主要因素后，需要更进一步分析具体是丝锥中的哪一个尺寸起到关键作用。

由于丝锥部分尺寸的测量存在一定难度，为了确保丝锥测量的准确性，分别将相同的丝锥由3家不同的刀具供应商进行测量。根据对比结果可知，丝锥的涂层、刃数、内冷及是否抛光这几项都出现过鱼嘴较差的情况，只有丝锥的外径大小与鱼嘴结果有规律可循，相对较大的丝锥外径加工出的鱼嘴情况符合目标值，因此丝锥外径确认是主要原因。根据对比结果，将原来鱼嘴比例较差的丝锥外径增加0.07~0.1mm，且符合图样要求，并进行试切，结果均合格，见表6和表7。

表6 KKD螺纹孔测量结果

厂区	KKD螺纹孔	原鱼嘴尺寸(<33%) (%)	外径增大丝锥 (%)
缸体一线	64B11	38	29
	64B12	34	31
	64B13	35	29
	64B14	32	30

表7 缸盖安装螺纹孔测量结果

厂区	缸盖安装螺纹孔	原鱼嘴尺寸(<33%) (%)	外径增大丝锥 (%)
缸体二线	1B21	39	33
	1B22	41	31
	1B23	40	32
	1B24	37	31
	1B25	38	30
	1B26	38	31
	1B27	40	33
	1B28	39	33
	1B29	39	30
	1B30	40	31

以上结果验证了丝锥外径是影响螺纹孔鱼嘴的主要因素。

2.丝锥的涂层及抛光

在试验过程中发现，除了丝锥外径对螺纹鱼嘴起主要作用外，丝锥表面的处理也会影响最终的螺纹质量，表面处理方法主要有抛光和涂层。

丝锥抛光前后的螺纹对比如图8所示：Gühring 303309852 M10x1.5抛光前，鱼嘴顶部有闭合和过度变形情况；抛光后，鱼嘴的形状和质量很好，顶部间隙比

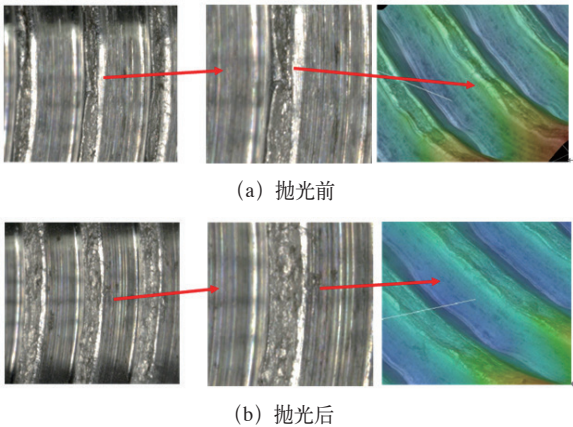


图8 丝锥抛光前后的螺纹对比

- 较大，材料分布得比较均匀，没有过度闭合的现象。
- 发展丝锥涂层技术的主要目的是提高生产效率和降低生产成本。优点主要表现在以下几点：
- (1) 增加丝锥表面硬度和耐磨性。
 - (2) 减少丝锥与工件摩擦。
 - (3) 排屑顺畅。
 - (4) 避免丝锥过早损坏。
 - (5) 提高工件表面质量。
 - (6) 丝锥可重复涂层使用。
 - (7) 提高切屑速度从而缩短加工时间。
- 挤压丝锥常用的涂层见表8。

表8 挤压丝锥常用的涂层

涂层名称	颜色	硬度 /HV	摩擦系数	厚度/μm	最高工作温度/℃
TiN	金黄色	2 300	≤0.5	1.5~3	600
TiCN	紫灰色	3 000	≤0.4	5~7	400
Hard Carbon	紫黑色	6 000	≤0.15	0.8~1	500

在丝锥没有涂层的情况下，鱼嘴质量差的现象会随着加工的螺纹数量而变得更加严重，原因可能是丝锥加工过程中轻微黏屑造成的。图9是，图示中鱼嘴比

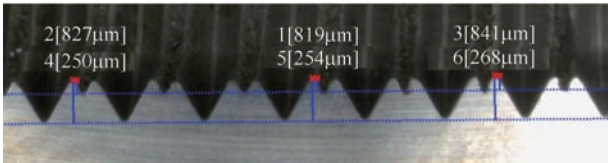


图9 首个工件鱼嘴比例示意 (下转第54页)

测量设备：分贝仪；测量距离：离箱体300mm处。

2.不同平行度的噪声值

下表是公司一款输入扭矩为350N·m的三合一动力总成，其同轴度从0.02~0.11mm，三种转速状态下的噪声实际测量值。

不同转速不同平行度的噪声实测值（50%的输入转矩，单位：dB）

平行度/mm	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.085	0.11
4 500r/min	71	72	73.5	74	77.7	79.5	80	82
5 000r/min	73	74.4	75.7	76	76.3	84.5	85.5	86
7 000r/min	75	76.3	77	79	79.7	85.8	86.3	87

通过实际测量发现：

- (1) 在一定转速下，随着平行度的增大，噪声增大。
- (2) 在平行度达到0.07mm左右时，噪声急剧增大。
- (3) 平行度小于和大于0.07mm，随着平行度的增大，噪声增大比较平缓。

为什么平行度为0.07mm左右会出现噪声急剧增加现象？因为随着平行

度增大，齿轮之间的间隙减小，当间隙减小到一定程度，齿轮之间出现干涉，噪声出现急剧增大；而随着平行度继续增大，间隙继续减小，噪声增大趋于平缓。

结语

本文通过对一款纯电动乘用车减速箱的结构进行分析，对其输入轴和中间轴平行度进行计算，通过将计算结果与实际噪声值进行测量统计分析，很好的解决了三合一动力总成噪声与轴的平行度的变化之间的关系难题。 **AUTO1950**

（上接第51页）

例分别为：30%，31%，31%，满足目标值。图10是加工第20个螺纹的图片，图示中鱼嘴比例分别为：34%，35%，不满足目标值。

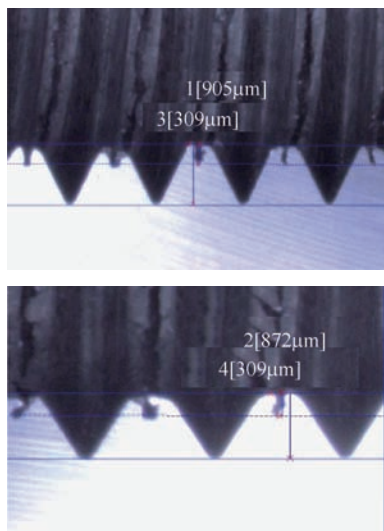


图10 第20个螺纹孔鱼嘴示意

根据分析试验，确定了影响螺纹孔鱼嘴的主要因素为丝锥的大径，丝锥大径控制在上极限尺寸，试切鱼嘴合格。

优化螺纹孔缸体在装配线的表现

缸体一线临时切换优化后的丝锥，优化批次跟踪至装配线，缸盖螺栓一次通过率如图11所示。通过计算，缸盖螺栓返工率从2.11%到1.64%，降低了29.30%，根据优化后产线的3个月跟踪，按每天1 800台产量推算整年经济效益，预计可节省共计约33.77万元。

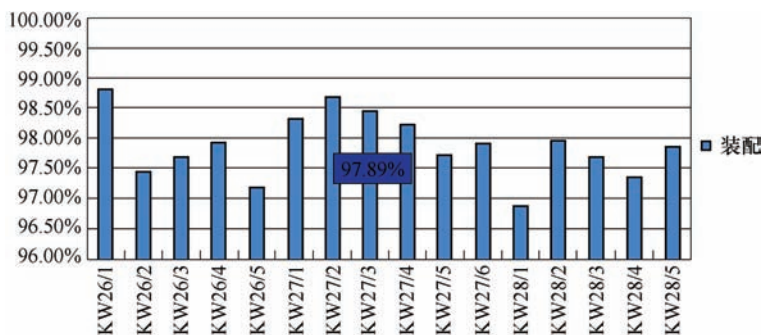


图11 装配缸盖螺栓一次通过率

结语

本文通过实际生产过程中参数、刀具和底孔等对比，从原理上分析影响螺纹孔鱼嘴的相关因素，并提出相应的解决措施。争取从源头解决问题并在相应的过程中进行控制，从而保证螺纹孔的质量及后续装配过程和售后更好的表现。 **AUTO1950**