

发动机缸体试制加工策略（下）

□ 航天科工第四研究院红阳机电科技公司/吴国君

□ 东风汽车集团股份有限公司/周立民 黄洪浪

□ 湖北航天计量测试技术研究所/穆腾飞



基于排量在2.4L以下发动机缸体结构平台，本文对做好发动机缸体试制各环节工作做了较详细的阐述，尤其对试制加工发动机缸体的工艺流程安排、刀量具选用、工艺夹具设计与制作、质量过程控制等试制加工发动机缸体的关键技术进行了重点介绍。

缸体试制刀具选型原则

发动机缸体加工的特征中，各种规格、精度要求不一样的孔系较多，缸体需要使用的刀具种类多，包括：端面铣刀、立铣刀、镗刀、钻头、丝锥、铰刀和倒角刀等，试制加工一款新的发动机缸体往往需要新增几十甚至多达上百种的新刀具。刀具选型工作是进行发动机缸体试制工作的首要工作，选型工作做得合理与否、粗与细，对整个缸体试制任务的质量保证、成本控制及试制进度等方面都具有重大影响。

做好发动机缸体试制加工刀具选型工作应把握下面两个原则：

（1）质量意识。发动缸体试制确保产品加工质量是第一位的，本着对客户负责的态度，选择刀具的品牌必须尽可能满足加工要求，尤其是加工关键特征的刀具不能节省成本，如加工曲轴孔与气缸孔的精镗刀最好选择高品质原装进口刀具。

（2）成本意识。试制一款发动机缸体客户给的加工费用一般不高，低成本高质量完成试制加工任务是承制方的目标，刀具成本是试制成本的最大构成，所以试制发动机缸体，刀具能借用的不必要重新采购。另外要遵循多品种、少数量的采购原则，即采购的刀具品质要高，数量要尽可能少，能确保试制任务的顺利进行，这也符合刀具选型的质量意识原则。

要做好发动机缸体刀具选型，在技术层面上

应该做到以下几点:

(1) 刀具提出者必须认真消化图样, 以免选型时遗漏刀具品种, 否则会妨碍试制工作的顺利进行, 选型名细最好安排在工艺文件编制完成后提出。

(2) 注意做好专用刀具的结构设计。加工发动机缸体需要用到的非标类刀具种类较多, 主要是一些非标钻头、非标铰刀及非标三面刃铣刀等, 加工细长孔的加长钻头、丝锥或铰刀为确保刀具的刚性, 应设计成台阶式结构形式, 即柄部应设计得比被加工孔的直径尽可能粗一些。对于悬臂较长的三面刃铣刀具在满足加工范围的情况下, 刀具的长度设计得越短越好, 而刀杆的直径应尽可能粗。通常情况下, 铰刀直径的上、下差分别按被加工孔公差带的2/3与1/3来设计制作, 这其实是值得商榷的。按这种公差带设计制作的铰刀, 在加工铝合金缸体孔时, 实际加工出的孔往往会偏大超差, 所以加工铝合金发动机缸体的铰刀直径必须按被加工孔的下差来控制, 这是生产实践过程中总结出的经验。

(3) 做好采购前的市场调研。目前国内外刀具品种众多, 刀具品质良莠不齐, 由于发动机缸体加工市场较大, 刀具的销售需求量大, 所以市场上也涌现出了针对缸体加工的刀具制造企业与刀具经销商, 这些刀具制造企业制作出的刀具对于加工发动机缸体更有针对性, 选择刀具应尽可能有侧重地采购这类刀具制造企业的刀具。

(4) 重视刀具的入库验收工作。许多企业的刀具入库验收侧重在清点刀具数量上, 往往忽视了对

刀具品质的校验。刀具品质只有等到实际运用时才能验证, 这无疑会影响到工作的顺利进行, 尤其试制一款新的发动机缸体采购的刀具品种多, 每种刀具采购的数量又少, 有的甚至就一把, 缺少任何一种刀具或任何一种刀具品质不达标, 都会影响到缸体试制工作的顺利进行, 所以做好刀具验收工作显得尤其重要, 重点应对铰刀进行入库前的试铰。

夹具设计制作原则

发动机缸体试制加工基本上是采用两销一面的定位方式, 加工发动机缸体使用的夹具结构形式相对简单, 制作也比较容易, 设计制作加工发动机缸体的夹具应尽可能满足下面几方面的原则:

(1) 追求夹具的简易性。试制加工发动机缸体的结构形式设计制作得越简单、越实用越好, 运用在立式加工中心上的夹具结构基本采用平板结构形式; 运用在卧式加工中心上的夹具可设计成梯形结构或箱体结构两种结构形式, 箱体结构的夹具可方便一夹多工位使用, 但制作成本会高于梯形结构式夹具。

(2) 确保夹具的高刚性。发动机缸体相对较重, 铸铁类发动机缸体组合件的质量达40kg左右, 在卧式加工中心上进行加工的姿态一般均采用缸体悬挂式, 夹具定位销、夹具本体在工作过程中负载较大, 为保证作业过程的安全性及加工的稳定性, 要求夹具具有较好的刚性, 这就要求夹具材料选择要合理, 主要是指材料强度要好, 规格要厚, 另外定位销、螺钉、螺杆及压板等

紧固件要安排热处理等工序。

(3) 兼顾夹具柔性。采用盲孔定位, 应在夹具定位面上安装固定定位销, 定位较稳妥可靠; 采用通孔定位, 可以将定位销制作成活动插销, 装夹更方便。这种定位方式还有一个最大的好处, 就是可实现夹具定位面的一面多用, 将定位销固定在夹具定位面上, 在加工其他工件时装夹工件会发生干涉, 所以采用活动定位插销会使得夹具的柔性及通用性大大增加, 夹具可以借用于后续缸体试制加工使用, 可以大大降低后续缸体试制加工成本。

缸体试制检测

发动机缸体加工形成的特征多, 涉及到的检测方法与需要使用的量具、量仪种类也较多, 每款新的发动机缸体的结构特征都会有所变化, 试制加工过程都需增加相应的量具、量仪, 主要是需要增加各种规格的光面塞规、螺纹塞规及检测曲轴孔与气缸孔用的气动量仪等。

一般来讲, 在发动机缸体试制加工阶段, 客户方会要求承制方对加工的缸体进行全尺寸检测, 并提供全尺寸检测报告, 所以在缸体试制阶段, 承制方所承担的检测工作量会十分繁重, 检测的作业时间甚至会超出加工一件缸体的作业时间, 所以规划好缸体试制阶段的检测就尤其重要, 检测的两个侧重点更需要引起重视。

1. 曲轴孔的检测

曲轴孔加工完成后应使用气动量仪, 按图样规定的检测方式检测

曲轴孔，一般是每档孔检两个截面，每个截面检测八点取平均值将数据分组，并在图样规定的位置用钢印打上曲轴孔分组标识，方便客户方在装配曲轴时选配对应的轴瓦片，此项工作应安排专职检验员与钳工配合进行。

2.气缸孔的检测

气缸孔的检测涉及到两个方面：一是孔径及孔圆柱度的检测，二是孔表面质量的检测，即网纹参数的检测。

气缸孔孔径的检测一般使用气动量仪来完成，每孔检测三个截面，每个截面检测八个点取平均值分组，也需要用钢印字头在图样规定的相应位置打上钢印标识。缸孔圆柱度及曲轴孔全跳动检测的最佳检具是几何公差检测机，我公司没有该检测设备，检测缸孔圆柱度及曲轴孔全跳动的措施是：将试制件首件及末件送专业计量单位送外检测，有时也会视情况在加工中过程中随机抽取一至两件送专业计量单位进行外检，其他件均采用三坐标测量机进行检测，对比两种检测机检测的结果，误差在0.002~0.003mm。

气缸孔表面的网纹对发动机磨合及节能降耗影响较大，缸孔网纹参数是缸体检测的重要指标（见表2和表3），应重点关注，检测仪器一般使用英国泰勒公司生产的表面粗糙度检测仪。

全尺寸检测的整体方案，详见表4。

表2 柴油机网纹参数表

序号	参数类别	参数值
1	网纹角度 (°)	40~50
2	$R_z/\mu m$	≤ 5
3	$R_{pk}/\mu m$	≤ 3
4	$R_v/\mu m$	0.2~0.9
5	$R_{vk}/\mu m$	0.8~2
6	Mr_2 (%)	77~85
7	Mr_1 (%)	≤ 10
8	W_t (%)	≤ 1

表3 汽油机网纹参数表

序号	参数类别	参数值
1	网纹角度 (°)	40~50
2	$R_z/\mu m$	0.25~0.50
3	$R_{pk}/\mu m$	0.3~1.0
4	$R_v/\mu m$	0.4~1.6
5	$R_{vk}/\mu m$	0.3~1.8
6	Mr_2 (%)	80~90
7	Mr_1 (%)	13MAX
8	$R_{tm}/\mu m$	0.9MAX

表4 发动机缸体特征检测方案

序号	特征	检测器具	备注
1	几何公差	三坐标测量机	青岛海克斯康
2	定位销孔	光面塞规	哈尔滨量具厂
3	螺纹孔	螺纹塞规	哈尔滨量具厂
4	一般孔	游标卡尺	哈尔滨量具厂
5	曲轴孔	五管浮动式量仪	中原量仪
6	缸孔	单管浮动式量仪	中原量仪
7	曲轴孔全跳动	几何公差检测机	进口设备（委外）
8	气缸孔圆柱度	几何公差检测机	进口设备（委外）

缸体制制需要控制的其他过程

发动机缸体制制是一项系统性的技术工作，要做好发动机缸体制制加工工作，除了重点要做好上述例举的工作外，加强对其他方面的工作过程控制也是十分必要的。往往一个不经意的失误就可能妨碍到试制工作的顺利进行，甚至会造成缸体报废，确保试制工作顺利完成还应关注加强以下几方面的过程控制。

1.合缸定位销的安装

在很多人看来，安装合缸定位销是很简单的工作，就是把定位销拍进定位孔，其实不然。定位销安装必须确保定位销与合缸面的垂直度，合缸定位销与合缸面垂直度安装的好坏对缸体拆缸后重新合缸对曲轴孔的同心率影响很大，对二次合缸或多次合缸意义深远，会影响到曲轴的安装，所以不能把安装合缸定位销视为简单的工作，应制作专用定位导向板进行安装。安装合缸销的方法是：将专用定位导向板紧贴在合缸面上，将导向孔与合缸定位销孔对正，再用木榔头用适中的力将定位销敲进定位孔中。

2.多余物的清理

在试制阶段，由于加工的发动机缸体数量较少，一般不会定制专用的清洗设备来对缸体进行清洁处理，而发动机缸体对清洁度有着极高的要求，设计图样都有规定的清洁度要求指标值。试制阶段一般会采用人工的方法来对缸体进行多余物处理，这其实是一项比机械加工更繁琐的工作。因为发动机缸体的加工特征多，很多形状不是很规则，加上细长的深孔较多，使得对

多余物的处理特别困难，我们的处理方法是：首先用锉刀、刮刀和去毛刺笔将附着在工件上的毛刺去掉，再用高压气枪对准每一个孔进行孔内多余物处理，接着使用喷淋式清洗机对缸体的表面多余物及油渍进行全面清洗，最后用清洁度检测装置进行缸体清洁度检测，直至清洁度检测数据合格。在这一过程中，出现一次或多次返工也是有可能的。

3. 气密性检测

缸体气密性检测是试制发动机缸体必须要做的工作，这是因为缸体油道与水套的密封性关系到发动机工作时是否漏油漏水，关系到发动机的节能、性能及环保。图样对发动机缸体的密封性检测有明确要求，发动机缸体一旦气密检测数据超差，处理结论一般是缸体报废，可见缸体气密性的重要性。

在试制阶段检测发动机缸体气密性，不可能定做专用的试漏设备来对几十件发动机缸体的气密性进行检测，只能靠自制专用的板、堵头、棒及橡胶垫用螺钉、螺母等物件来将缸体上的油道与水腔堵实，然后将工件连同夹具放置在水箱中按设计要求对油道及水腔加压、保压，观测缸体是否有气漏。这种方式误判率高，需要堵的部位多，加上形状又不太规则，堵实很难，效率极其低下，每款缸体试制令笔者头痛的事就是缸体气密性检测。

4. 合缸力矩

合缸螺栓是否按设计图样要求的顺序与步骤松与加力矩，对曲轴孔的加工质量、对发动机装配曲轴的影响较大，在进行此工作时应安排双岗加专职检验员配合进行，可

防止人工作业过程中出现加力矩顺序出错，或遗漏与重复加力矩的工作失误。

5. 缸体的防护

发动机缸体试制的防护也是要引起重视的工作，主要包括对已加工面、孔的保护，以免在周转、加工及运输过程中划伤、磕碰伤工件。另外是对易产生锈蚀的加工特征，如气缸孔材料为铸铁，加工完成后需要对气缸孔壁涂抹防锈油，以防缸孔出现锈蚀等质量缺陷。另外，试制发动机的作业环境对防护至关重要，为确保缸体重要尺寸的稳定性，同时也为了防止缸体锈蚀，缸体的精加工及检测最好安排在恒温环境下进行。

6. 与客户交流与沟通

缸体试制阶段同客户的交流与沟通应该贯穿试制加工全过程，甚至应该延伸至客户方的发动机装机过程中去，这样做可以对图样领会得更快捷、更深入，避免加工过程走弯路，以保证试制加工质量及减少试制成本。

笔者公司就遇到过因同客户方沟通不够而引发的交货问题，公司承制的46件缸体交付给客户后，在客户方发动机装配现场发生了曲轴孔抱死的质量问题，客户多次开会请专家分析原因，一致认为是笔者公司交付的缸体曲轴孔同轴度超差造成的，客户作出了批次性报废缸体重新试制的结论。笔者深入到客户装机现场，通过同客户认真交流沟通，最终找到了问题的原因，是因客户方安装合缸定位销垂直度不合格引起的，从而成功解决了问题，避免了缸体报废。

结语

发动机缸体试制是一项技术含量很高的系统性技术工作，参与此项工作的工程技术人员要求具有较强的工艺水平，需要对设备的使用、刀具的选用、夹具设计与检测等方面技术有一定的了解，即要求参与者具有较强的工艺技术综合素质，否则试制工作绝难做到低成本高质量。

缸体试制工作又是一项常做常新的工作，笔者先后参与了20多款发动机缸体的试制，负责各环节的技术工作，每完成一款缸体的试制任务后对工作进行总结，总发现在工艺流程编排、刀具选择、工装设计或检测方法还应有更好的选择，所以笔者认为，发动机缸体试制工作常做常新，没有最好只有更好，相信上述经验对从事该工作的工程技术人员会有所启示或借鉴作用。AUTO1950



吴国君

高级工程师，在数控加工行业从业十余年，长期活跃在生产一线最前沿，对数控加工汽车发动机缸体、缸盖、其他汽车零部件、模具及复杂结构件的工艺设计、数控编程、刀量具选型、生产管理等方面积累了较丰富的经验，在国家与省部级杂志上发表了各类技术论文40余篇，与他人合著了两本书。