■ 航天科工第四研究院红阳机电有限公司/吴国君 聂绪胜 谢慧娟 凌 冰 王 强 王明皋

发动机缸体试制工具选型策略

发动机缸体是发动机的重要组件，一般发动机均选择铸造的方式制坯，后续采用金属切削加工的方式加工至成品。为了提高国产汽车的市场竞争力，国家鼓励各汽车制造企业对自主品牌发动机开发与研制，许多大型汽车制造企业响应国家号召，加大了自主知识产权发动机的开发力度，纷纷推出了自主知识产权的发动机。这种局面的出现，使得发动机缸体试制加工业务市场陡然增大，因为在发动机研制阶段，汽车制造企业一般会依托社会力量，选择外协的方式来完成发动机缸体的试制加工。刀具及量具是加工发动机缸体的必备工艺装备，试制发动机缸体工具的选型合理与否，对试制发动机缸体的质量、进度及成本控制起着至关重要的作用，下面针对发动机缸体试制，怎样合理选择工具系统进行简要介绍。

发动机缸体加工的特点

发动机缸体加工具有以下特点：

1）需要采用的加工工艺多，包括金属切削、珩磨、气密检测及清洗。

2）加工的部位多，几乎六个面都需要进行加工。

3）发动机缸体加工的特征虽然只有两个，即孔与面，面的平面度要求高，孔的数量多、种类多。按孔的性质分，可分为光孔、螺纹孔两类，其中光孔有沉孔、通孔、斜孔与深孔，光孔的加工方法主要有钻、扩、铰与珩磨等。

4）加工特征的尺寸精度要求高，有的特征要求高达五级精度。

5）非标特征多，主要是指一些非标孔。

发动机缸体加工的上述特点，决定了加工发动机缸体需要选择的工具种类多、精度高，工具选型有别于加工一般零件的选型。

工具选型原则

加工发动机缸体需要的刀具种类多，刀具精度要求高，在试制阶段主要的试制成本都体现在刀具上，发动机缸体主要包括两方面的成本，一是夹具的制作费，二是刀具的制作费。其中刀具成本占发动机缸体试制成本的60%以上，所以在选择试制发动机缸体时应遵循以下原则，方可确保发动机缸体试制质量，同时又能做到更好地控制成本。

（1）实用性　是指选择的工具要实用，同时要有良好的综合性能，使用的范围要宽，即刀具要有较好的加工柔性。

（2）经济性　是指购买的刀具要物美价廉，性价比高。在发动机试制阶段，经济性尤其重要，因为在发动机试制阶段委托方一般给被委托方的费用相对较少，如果按批产发动机缸体的加工思路来选择工具，只能是无利可图，或赔得血本无归。

（3）针对性　是指在加工发动机缸体一些特殊结构要求，选择的工具结构、工具材料或结构形式要有针对性。

（4）高效性　发动机缸体试制，要求的进度往往较紧，试制一般是运用数控机床来完成的，选择的刀具应适应数控机床高效、高速的特点，要求有较好的刚性与强度，同时还要具有较好的综合加工性能。

（5）建议优先选择国产品牌工具　众多大型汽车制造企业发动机缸体生产线上绝大多数都是优先选择国外进口刀具来进行大批量发动机缸体生产。在发动机缸体试制阶段，试制的节拍要求相对不严，在满足试制加工要求的前提下，建议优先选用国产工具，一是为了拉动内需，促进国内经济增长；二是发展民族工业，支持国内工具制造业的发展，缩短与国际工具制造业的差距；三是进口刀具的订货周期往往较长，选择国产工具

可缩短试制的准备周期；四是国产工具相对进口工具价格低廉，可大大节约试制成本。

工具选型技术操作

1.刀柄的选型

刀柄与夹套是夹持刀具的工具，试制发动机缸体需要的刀柄与夹套数量较多，大多特征的加工选用常规弹簧夹套刀柄均可满足发动机缸体的试制加工，但发动机缸体两侧面往往形状不规则。另外，缸体上往往有多处细长深孔，在加工过程中会造成刀具与工件干涉现象。解决的方案主要有两种，一是定制加长刀具，二是选细柄径加长刀柄，长径比超大的刀具本身刚性较差，如果选择将本身长径比就较大的刀具加长，显然会削弱刀具的刚性与强度，为规避干涉，选择将刀具加长的方式不可取，所以在试制发动机缸体时一定要准备一定数量的细柄径加长刀柄（见图1）。发动机缸体上分布有很多精度在6～7级的定位销孔，在预加工底孔后，采用铰削方式完成，这些孔铰削时使用的刀具要求高，同时对刀柄、夹套的要求也相应增高，采用普通的弹簧夹头刀柄来铰削，孔的稳定性差。在试制加工发动机缸体时，必须配置部分数量液压刀柄，尤其是配备齐相应规格的液压夹套（见图2），刀柄可选择互换。发动机缸体上的轴瓦槽、止推面、开挡等都由定制三面刃铣刀加工，刀杆需要加长，如果将刀柄与刀杆做成一体结构，会使制作刀具的费用相应增加，最好将刀柄与刀杆采用锥联方式，所以在试制发动机缸体时，还应配置莫氏刀柄。为确保刀具的刚性，莫氏锥度的选择应视刀具的重量来定，选莫氏4号或莫氏5号，曲轴孔精铰刀，重量较重，一般选用莫氏5号刀柄夹持（见图3）。

图1　细柄径加长刀柄

图2　液压刀柄及夹套

图3　莫氏刀柄

2.刀具的选型

在试制阶段，一般不会使用复合刀具，这无疑增多了刀具的种类。在试制加工前应编制好加工工艺流程，按工艺流程编制刀具明细表，做好加工前的准备工作，不得遗漏任何一种刀具，尤其是非标刀具。

（1）通用刀具的选择　加工发动机缸体时会用到一些通用刀具，这些刀具的选择跟加工一般零件的选刀一样，可参照刀具制造厂的样本进行选用。

（2）长径较大刀具的选择　发动机缸体上有很多的小直径深孔，长径比最大可达30多倍，孔的直径小，深度长，这样的刀具往往刚性较差，怎样提高刀具的刚性，应作为设计这类刀具的主要原则。方法是：在满足加工要求的前提下，尽可能将刀具长度制作得越短越好，而夹持柄部应尽可能做得粗一些，柄部与刀杆过渡处应采用圆锥过渡，可增加刀具刚性与强度，避免直角过渡应力集中，为确保冷却充分，排屑顺畅，对于直径稍大的深孔钻头、加长丝锥还应制作内冷孔。

（3）三面刃铣刀的选择　发动机缸体上的轴瓦槽、止推面、气缸孔底部的退刀槽、曲轴孔安装的开挡、两端面反选安装面等特征一般是选用三面刃铣刀来加工。加工一般需要制作加长刀杆，为确保刀具的刚性，刀杆在满足加工要求的前提下制作得越短越好；而直径应尽可能大，尤其是加工止推面的刀杆对刚性的要求更强，只有刀具的刚性好才能确保止推面的平面度与曲轴孔的垂直度，刀杆柄部制作成锥度选用莫氏锥柄刀柄夹持，与刀柄的联接定位更准确，同时，制作相应简单。另外，止推面选用加长镗刀来加工也是可行的工艺方法。

（4）铰刀值的设定　发动机缸体上有很多不同规格的标准或非标准公差定位销孔。非标孔的铰刀制作，一般制造商选择孔的公差中值来制作，其实按这样的值制造的铰刀，在设备上铰制出的孔很差，无论设备的精度有多高，都会出现主轴跳动。另外刀具与刀柄的夹持也会存在偏差，用这样的直径值制造的铰刀在机铰后，以及在加工铝合金缸体时，加工出的孔往往会偏出孔的上公差值，铝合金的铰刀直径应按被加工孔的下公差值或－0.002mm来制作，而铸铁缸体定位孔铰刀应按被加工孔的公差中值来制作，这是由于两种材料散热性不一样。

（5）气缸孔刀具的选择　气缸孔是发动机缸体的

关键特征之一，分粗加工、半精加工与精加工三步。粗加工与精加工均采用镗削工艺，粗加工刀具选用粗镗刀，我们通常选用特固克的刀具，半精加工选用单刃精镗刀，由于缸孔半精加工对后续精加工的影响较高，包括对孔的圆度与表面粗糙度要求都较高，所以必须选用品质较好的精镗刀进行缸孔的半精加工，我公司选用山高的精镗刀加工缸孔取得了良好的较果。因为缸孔的深度较深，无论粗镗刀与精镗刀均需要配置加长转接头。

（6）曲轴孔刀具的选择　曲轴孔是发动机缸体的又一关键特征，加工分粗加工、半精加工与精加工三步，粗加工选择定制球头刀具铣削排量，球头刀直径应比曲轴孔直径小1mm。半精加工选用镗削的方式，由于曲轴孔较深，又是断续切削，孔的同轴度、圆度及表面质量要求都很高，半精加工用的镗刀必须具有较好的刚性，同时要求镗刀具有良好的防振性能，所以必须购买品质较好的防振镗刀，我公司购置的山特维克的防振镗刀加工曲轴孔（见图4），质量稳定性好。发动机缸体曲轴孔的精加工业界普遍采用玛帕的一长一短铰刀，刀具的价格高，定制周期长，在试制阶段如果选用玛帕的刀具不仅成本高，而且影响试制的进度，所以这不是最佳方案。目前国内有几家刀具制造企业在曲轴孔铰刀制作方面也颇有研究，在发动机缸体试制阶段不是很要求节拍的情况下，这些企业制作的曲轴孔铰刀也能满足曲轴孔试制要求，由于设备主轴存在跳动，加上曲轴孔铰刀较长，根据加工经验，曲轴孔铰刀的直径值不能按曲轴孔的公差中径值来制作，否则加工出的曲轴孔一定会超出曲轴孔的上限值0.002～0.004mm，合理的曲轴孔铰刀直径值应按曲轴孔的下限值甚至低于下限值－0.002mm来制作。

图4　粗镗曲轴孔防振镗刀

（7）珩磨头的选择　珩磨工序是加工发动机缸体缸孔的最后一道工序，缸孔内表面既是装配表面又是工作表面，其加工质量的优劣直接影响到发动机的装配性能和使用性能。缸孔内表面的最终加工手段目前业界普遍采用平顶珩磨的工艺方法，珩磨头是进行缸孔珩磨的工具，发动机缸孔表面的精度要求极高，需要有精细的规则网纹，目前业界普遍采用两种品牌的珩磨机进行缸孔珩磨，一种是纳格尔公司的珩磨机，另一种是格林公司的珩磨机。我公司拥有一台纳格尔公司的珩磨机与一台国产珩磨机，在试制发动机缸体阶段，为缩减加工成本与试制周期，我们选择用国产珩磨机与国产珩磨头进行发动机缸体试制，虽然效率低，但加工出的缸孔能满足用户设计图样要求。

珩磨头在使用前应进行规圆处理，珩磨头在加工正式产品前，应用试件进行反复的修正，以消除砂条上有可能凸出的砂粒，从而避免在加工正式件时在缸体内壁出现划伤，影响内壁的表面质量。

3.量具的选择

发动机缸体加工，需要运用的检具较多，主要会用到一些通用量具与量规，带精度要求的小直径光孔与螺纹孔会用到一些定制的光面塞规与螺纹塞规，但气缸孔与曲轴孔由于精度要求高，还需要记录装配用分组数据提供给用户，所以必须定制气动量仪来进行检测。单管气动量仪与多管气动量仪价格会有很大区别，曲轴孔一般由多个孔组成，在大批量生产阶段一般会采用多管曲轴孔气动量仪进行曲轴孔检测。在试制阶段为节省经费，检测曲轴孔的气动量仪也可以采用单管量仪加长手柄来进行检测（见图5），发动机缸体形位公差的检测均可采用三坐标测量机来进行。

图5　检测缸孔与曲轴孔气动量仪

结语

发动机缸体试制工具选型工作是一项十分繁琐复杂、技术含量较高的工作，要求从事该项工作的人员具有较强的理论技术和实际经验，该工作做的好与坏对能否顺利进行发动机缸体的试制加工、能否确保发动机缸体试制质量与控制试制成本等诸多方面十分关键。

关键词：
发动机缸体　试制加工　工具系统
（收稿日期20131110）