

船用柴油机气缸盖高同轴度孔系加工工艺技术优化

■ 陕西柴油机重工有限公司（兴平 713105） 符博峰 负虎臣 赵 明 乔卫杰

摘要：本文以某型船用柴油机气缸盖高同轴度孔系加工工艺方案设计中工艺流程、刀具方案的优化和加工参数的优化与选取为出发点，将现场加工中总结出的经验作为指导思路，详细分析此类零件加工的工艺过程，为类似零件的加工提供解决途径。

1. 产品结构分析

船用柴油机气缸盖属于集气、油、水道于一身的复杂箱体类零件，一般为铸铁材质，是一个由平面、孔系和形状复杂的流道组成的复杂长方体，结构复杂，加工要素众多，并在空间上高度集成，加工精度要求高，要求刚性好，装夹和加工变形小（见图1）。

气缸盖阀座—导管孔、喷油器孔、起动阀孔等尺寸精度一般为IT6—IT7级，阀座孔对导管孔的径向跳动为0.025mm，喷油器孔对爆压面的垂直度要求为0.03mm，喷嘴孔对喷油器安装孔的同轴度为 $\phi 0.03\text{mm}$ 。因此，气缸盖加工的主要技术难点集中在阀座—导管孔系、喷油器孔系、安全阀孔系及起动阀孔系等高同轴度要求孔系的加工上（见图2）。

传统工艺方案为了保证这些台阶孔系的同轴度要求，大多将要素集中在同一工序的同一工位进行加工，从粗加工、半精加工到精加工，往往需要

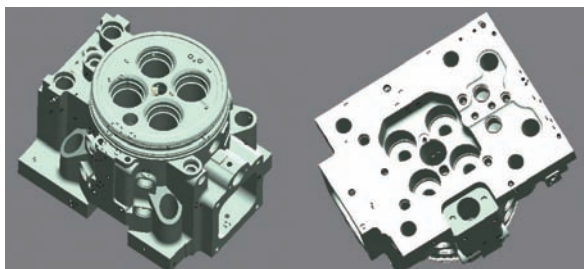


图1 某型船用柴油机缸盖实体图

耗费大量的时间来完成，造成生产线关键设备的负荷过大，各设备间工时严重不均衡，生产效率低下，严重影响气缸盖生产制造的周期，成为柴油机制造中的“瓶颈”。

为了有效解决此类生产制造中的“瓶颈”问题，我们从以下几个方面对气缸盖高同轴度孔系加工工艺进行优化。

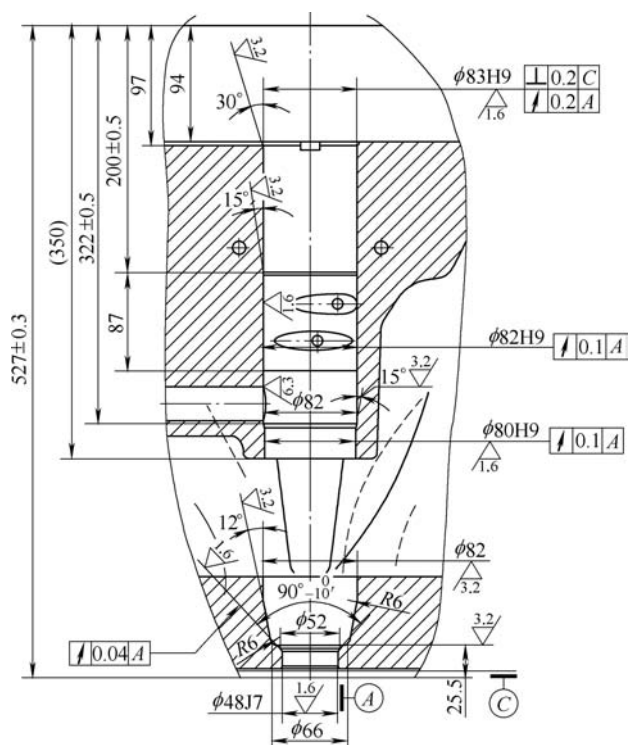


图2 某型船用柴油机缸盖喷油器孔断面图

2. 工艺流程的优化

气缸盖加工符合一般箱体类零件加工的基本原则，其面系与孔系的加工应遵循粗加工、半精加工和精加工，先面后孔的工艺原则。一般的加工工艺流程为：划线并检验毛坯→粗车上、下面→精车下面→划线→钻孔→铣四周面并加工四周面孔→铣上平面并加工上、下面各孔系→划线→加工四周各深孔→加工其他各孔。

从以上工艺流程可以看出，阀座—导管孔系、喷油器孔系、安全阀孔系及起动阀孔系等高同轴度要求的孔系都集中在“铣上平面并加工上、下面各孔系”工序进行，使用加工设备为卧式加工中心，通过统计现场多种机型气缸盖实际加工工时，我们了解到气缸盖其他要素工序工时只需1.0~1.5h，而“铣上平面并加工上、下面各孔系”工序工时需要3.5~4.0h，出现了设备工时严重不均衡的现象，生产线往往出现工时浪费和在制品堆积，甚至是生产停滞。

为了有效解决这一“瓶颈”问题，我们在工艺流程方面做了如下工作。

(1) 对需在本工序加工的所有要素进行统计分析，并将各类要素按照主要和非主要进行分类，将主要要素安排在卧式加工中心进行加工，非主要要素分流至其他设备进行加工。主要要素包括喷油器孔系、阀座—导管孔系，非主要要素包括上、下平面的进水孔、油孔、螺栓安装孔、清砂孔等。

(2) 在主、辅要素分离的基础上，对工艺流程进行有效分解，粗加工旨在去除大的余量，提高加工效率；精加工旨在提高加工质量。粗加工可以设置在精度相对较差或普通设备上加工，而精加工则安排在精密卧式加工中心上进行加工。

(3) 对加工要素精度等级进行分类统计，按照精度高低要求不同，将加工要素分别设置在高精度设备（卧式加工中心或立式加工中心）和普通设备（镗床或钻床）上进行加工。

(4) 将一些特殊要素的加工从工序中剔除出去，在后续工序进行加工；或是在本工序加工引导孔，后续工序补充加工至工艺要求。主要是针对螺纹孔和一些长径比较大的油孔。

3. 刀具方案的优化

气缸盖阀座—导管孔系、喷油器孔系、安全阀

孔系及起动阀孔系等高同轴度要求孔系是缸盖加工中的主要技术难点，此类孔系加工刀具的选择直接关系到缸盖加工质量和效率。传统工艺中存在以下问题：

(1) 粗镗刀去除余量后，半精加工和精加工时，由于刀具长度过大，如不降低切削速度，则容易产生振刀现象，使表面粗糙度很难达到工艺要求。

(2) 镗刀长径比在 $L/D > 4$ 以后，不采用防振刀杆将造成切削速度和零件表面质量急剧下降。

(3) 采用单刀加工很难保证图样中形位公差要求。

为此，我们对传统加工工艺中多采用单刀或是简单组合刀具进行加工的模式进行了优化改进，根据加工要素的不同和加工中存在的问题制定了以下刀具选取的原则。

4. 刀具选取原则

(1) 喷油器孔系加工刀具的选择。当缸盖喷油器孔有预铸孔时，按以下基本原则进行选配：①喷油器孔有预铸孔，在加工时余量不均匀，为了保证后续加工质量，对喷油器孔用刀片较大的标准粗镗刀进行粗加工。②为了提高加工效率，半精加工采用组合镗刀加工。在组合要素少（一般为2个）、长径比小的情况下可采用国产组合镗刀；组合要素多（3个及以上）、长径比大的情况下可采用进口组合镗刀。③为了提高加工精度，精加工采用进口组合镗刀或组合铰刀进行，组合镗刀或组合铰刀尽量采用带导向条支撑的刀具。当缸盖喷油器孔无预铸孔时，按以下基本原则进行选配：①采用高效带内冷钻头（U钻、浅孔钻、X钻）先进行钻孔。②采用大刀片标准粗镗刀进行粗加工。③按有预铸孔时第二条原则进行选配。④按有预铸孔时第三条原则进行选配。

以图2所示的某型缸盖为例，按照以上原则对其刀具方案进行优化后，其喷油器孔粗加工和精加工刀具为图3和图4所示结构。

(2) 阀座孔加工刀具的选择。①采用标准粗镗刀进行粗加工。②采用国产组合镗刀进行半精加工。③采用标准精镗刀进行精加工。④如阀座孔毛坯余量较大时，可先采取高效铣刀进行铣削后再采用镗刀进行加工。

(3) 导管孔加工刀具的选择。当导管孔直径 $15\text{mm} < d < 25\text{mm}$ 时，按以下基本原则进行选配：①采用枪钻从缸盖上平面进行粗加工。②采用粗镗刀从

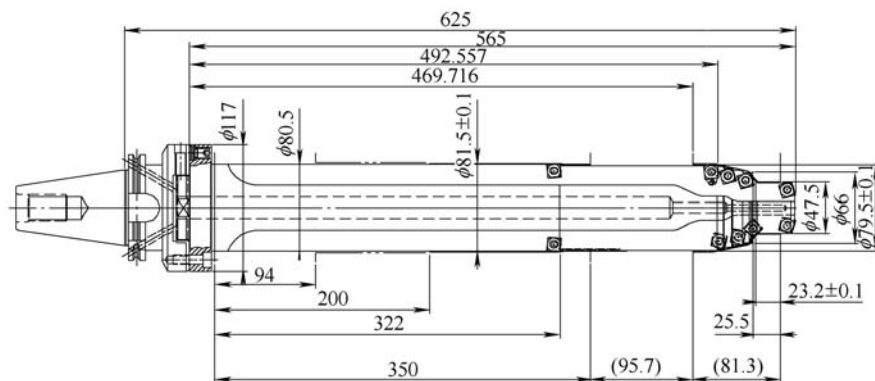


图3 某型柴油机喷油器孔粗加工刀具图

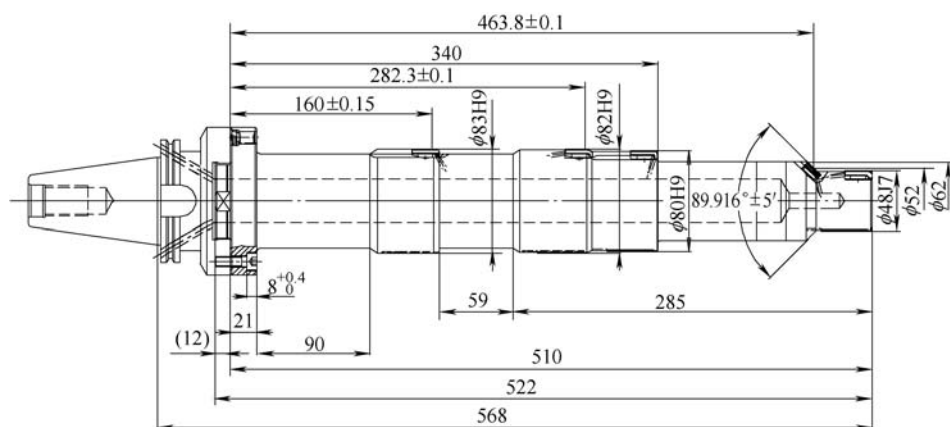


图4 某型柴油机喷油器孔粗加工刀具图

下平面进行半精加工。③采用标准镗刀将导管孔端面(入口处)刮平。④采用铰刀(必须带内冷)进行精加工。当导管孔直径 $25\text{mm} < d < 40\text{mm}$ 时,按以下基本原则进行选配:①采用U钻、浅孔钻、X钻从缸盖上平面进行粗加工。②按 $15\text{mm} < d < 25\text{mm}$ 时第二条原则进行选配。③按 $15\text{mm} < d < 25\text{mm}$ 时第三条原则进行选配。④按 $15\text{mm} < d < 25\text{mm}$ 时第四条原则进行选配。

(4) 安全阀孔系及起动阀孔系加工刀具的选择。安全阀及起动阀孔系刀具选配原则与喷油器孔系加工刀具选配原则相同。

5. 加工参数的优化与选取

国内制造业在采用数控刀具加工生产时,为了保证刀具使用的安全可靠,多采用降低切削参数的方式来进行加工制造。这一方法虽然在一定程度上节约了刀具的费用,但却带来了其他方面成本的增加。国外多家著名刀具供应商对此进行统计分析,并最终得出了如下结论:与切削参数相比,刀具寿命和刀具成本对零件成本的影响要小得多,刀具寿命增加50%或刀具成本降低30%一般只能使

每个零件成本降低1%;而切削参数提升20%,可以将每个零件成本降低10%以上,因为它影响机床、管理费用和操作人员成本。随着现代加工技术水平的不断发展,在保证加工质量的前提下,如何提升单位时间内的金属去除率逐渐成为现代加工制造的主流发展方向。所以,为了有效提升气缸盖高同轴度孔系加工效率,我们在刀具加工参数的优化与选取上应按照以下要求进行:

(1) 刀具参数的选择要根据现有设备的功率、转速、扭矩来选择恰当的切削参数。

图5反映的是切削速度、进给量与振幅的关系,由

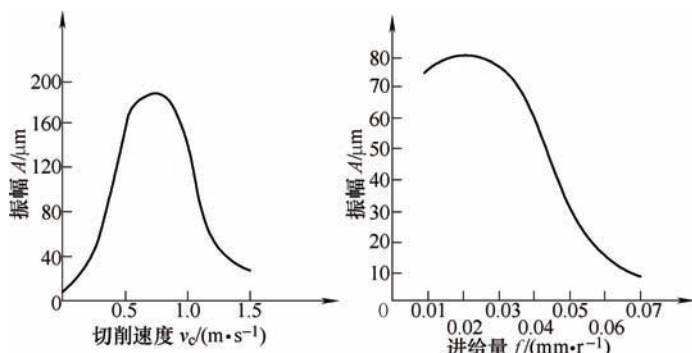


图5 切削速度、进给量与振幅的关系

图5可以看出,随着切削速度的提升,振幅会越来越大,在达到一定峰值后,振幅会逐渐下降;随着进给量的增大,振幅会逐渐下降。

结合切削速度和进给量的影响,综合分析振幅曲线走向图,我们在选择切削参数时,一定要注意避开机床的固有频率,防止出现共振现象而对刀具和设备造成损坏。

(2) 加工参数选择要考虑长径比增加对参数的影响,一般来说,当加工材料为铸铁时,按照表1、表2进行选取。

(3) 加工参数的选择要考虑被加工材料的物理和化学性能,加工不同的铸铁材料时应选取不同

表1 镗削加工切削参数减少率

加工深度	粗镗		精镗	
	切削速度减少率	进给量减少率	切削速度减少率	进给量减少率
2.5D	0	0	0	0
4D	10%~15%	20%	15%	0
6.3D	35%~40%	40%	40%	0

注:如果采用双刃镗刀在进行阶梯镗加工时,进给量需减少至原推荐参数的50%。

表2 钻削加工切削参数减少率

加工深度	切削速度减少率	进给量减少率
4D	10%	10%
5D	10%	15%
6D	20%	20%
7D	20%	20%
8D	30%	20%
10D	30%	25%
15D	40%	30%
20D	40%	45%

的切削参数。以灰铸铁和球墨铸铁为例,加工球墨铸铁时,刀具切削速度要比加工灰铸铁降低约15%。

5. 结语

通过开展工艺流程的优化、刀具方案的优化、加工参数的优化与选取等工作,我们针对现场实际加工中存在的“瓶颈”问题制定了相应的解决措施。同时,为了对相似的要素加工提出指导性的解决措施,我们对工艺流程、刀具方案、加工参数等都依据现场解决问题的思路进行了梳理,归纳并总结出了相关的解决原则或方法,并列举出具体的实例,希望可以为其他类似要素的加工提供解决途径。

参考文献:

[1] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

MW (收稿日期: 20141107)

专家点评

对于船用柴油机气缸盖高同轴度孔的加工,传统工艺为了保证孔系的同轴度要求,采用“工序集中”的工艺模式,造成生产线关键设备负荷过大,工步衔接严重不均衡,生产线“窝工”。为有效解决生产过程中的“瓶颈”问题,作者在主、辅分离,确保关键要素的基础上,对加工工艺进行有效分解和重新组合,充分利用现有的设备资源,优化切削方案,为类似零件的工艺流程提供了经验。

《金属加工(热加工)》2015年第5期要目

几种常用自硬砂工艺的应用与发展

混配土的应用

湿型砂系统的稳定控制

冒口系统生产应用经验

型砂在自动化造型中的质量控制

过滤器技术在大型铸铁件上的应用方案

低成本砂在D30气缸体生产中的应用

自硬呋喃树脂砂硬化起模时间研究

树脂砂在出口破碎机铸件上的应用

感应热处理的应用与渗碳

一个观念大幅提高感应淬火工艺的可靠性

等温正火线炉门改进

箱式燃油热处理炉的热处理工艺参数修正

等温正火线风冷系统探讨

曲轴产生裂纹的原因分析

刮刀淬火变形控制

重型高速柴油机曲轴断裂失效分析

淬火引轨早期失效分析和预防对策