

# 缸盖导管座圈加工尺寸影响因素研究

张策

中国第一汽车股份有限公司动力总成工厂

**摘要:** 本文系统介绍目前传统发动机缸盖导管、阀座加工的工艺技术方案,从导管、阀座底孔加工,导管、座圈附件压装,压装后精加工导管及座圈,最终检测,详细描述原理及方案,并简明扼要地针对不同工艺方案分析优缺点。

**关键词:** 发动机缸盖;导管;阀座;加工工艺;解决方案

## 0 引言

缸盖是发动机的主要部件,其结构复杂,装配的零件多,对尺寸和位置精度的要求都较高,尤其是阀座孔和导管孔的加工,尺寸精度和几何公差要求特别严格,本文将重点探讨影响因素及相应改善措施。

基于 FMEA 分析思路,我们从人、机、料、法、环和测各个方面,将影响导管阀座加工的影响因素系统梳理,并针对每种风险,提供具体解决方案。

本文发现影响导管、阀座最终加工质量的因素较多,尤其是初期工艺方案选择不合理,将直接导致日常生产过程中相关质量问题频发。在选择最优的工艺方案后,应该提前根据本文所分析的故障树,进行预测性防范,提前化解风险。

## 1 工艺方案

### 1.1 产品数据

导管与阀座孔的具体尺寸检测内容一般包括座圈密封面的圆度(一般为  $45^\circ$ )、座圈密封面相对于导管孔轴线的径向圆跳动( $0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$ )、座圈各截面角度、直径(根据产品设计)、导管孔直径( $5 \sim 6 \text{ mm}$ )、圆柱度(一般  $\phi 0.1 \text{ mm}$ )、阀座及导管孔相对加工精基准位置度(一般  $\phi 0.2 \text{ mm}$ )等。气门导管和气门座圈材料根据设计工况为铁基粉末冶金,导管孔材料个别厂家也使用铜合金。

### 1.2 加工基准及方案

阀座锥面与导管加工的定位方式通常采用燃烧室面与两个工艺销孔定位,并且将该定位基准作为整条缸盖

线的加工基准,单工序即可完成所有气门座圈导管的加工,生产效率高。第二种方案是通过顶面定位,通过测头测量精基准,通过转换基准的方式进行加工。第二种方式的优点是可以缩短加工刀具的长度,避免了夹具掏空结构,提高了刀具与夹紧整体刚性。但由于两个工艺定位孔与导管孔存在位置度误差,导致加工余量不均衡,同轴度与圆跳动不易保证。统一加工基准可以有效提高底孔的位置度和改进座圈导管底孔加工的精度,减少工装定位之间的误差,可确保加工工件满足产品技术要求。

阀座导管孔加工的一般流程首先是座圈底孔和导管底孔加工,其次是座圈和导管压装,最后是精密复合道具加工气门座圈和导管孔。

### 1.3 底孔刀具选择

阀座底孔和导管底孔加工方案一般涉及 3 把加工刀具,第一把是导管、阀座底孔复合引导刀具,第二把为导管孔半精钻头,第三把为导管、阀座底孔复合精加工铰刀。

### 1.4 导管、阀座压装过程

导管阀座压装(图 1)是一种将导管及座圈压入缸盖导管、座圈底孔的设备,其工作流程一般包括底孔喷油润滑,导管、座圈上料,压装,压装设备应根据节拍及质量要求的不同而进行选择。按自动化程度,压装机可分为手动压装机、半自动压装机和全自动压装机三种。按照设备配置功能又可以分为手动油压缸、弹夹上料半自动油缸压装机及全自动上料伺服电缸压装三种,配置较高的压装机可配备压装压力位移曲线,可对整个压装过程进行实时趋势监控,设备自动上料正反、来料异常识别功能,能够有效防止导管、阀座混料等异常情况。

手动压装机的优点为柔性化好，缺点是质量保证能力差，效率低。自动压装机的优点为效率高、质量保证能力强、压装一致性好，缺点为柔性相对手动差，不同品种需进行换型切换。一般阀座压装力不超过 1000 N，导管压装力不超过 3000 N，否则会出现因压装力过大导致导管、阀座压碎及表面裂纹等质量问题。

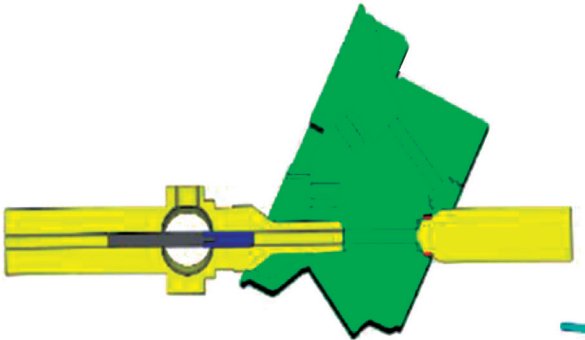


图 1 压装原理

导管阀座压装后对于其质量确认的方案，一般使用高度尺或者高度量规检测导管压入后漏出高度，使用 0.02 mm 塞尺检测压装后阀座底部及侧面缝隙，塞尺不能插入即为阀座压装合格。

1.5 导管、阀座精加工

压装后导管、阀座精加工是最终尺寸保障的最后工序，一般加工方案有两种。一种为专机加工，导管与座圈分开进行加工。此方案的优点是加工效率高，成本相对较低，缺点是尺寸保证精度低。工厂批量生产一般选用第二种方案进行，即两把刀具复合刀具加工方案，第一把刀具加工导管引导孔及座圈粗加工（图 2）阀座各个截面（包括密封面），第二把刀具精铰导管孔及座圈密封面至成品要求尺寸。该方案加工效率高、精度保证能力强（图 2），缺点是刀具制造难度较大。

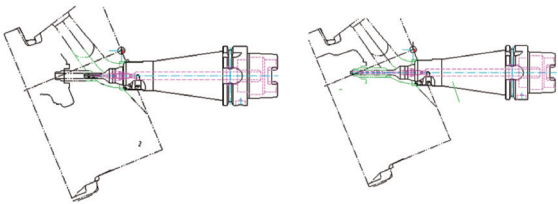


图 2 粗加工刀具（左）和精加工刀具（右）

1.6 最终尺寸检测方案

对于导管、阀座最终加工尺寸检测，根据生产节拍及尺寸精度要求可分为两种：第一种为使用三坐标测量机编程检测，该方案的优点为柔性强，缺点为检测效率低，不适用于快速结果输出。第二种为现场综合测量检测设备，一般工厂多采用进口尼伯丁等在线测量机，测量原理模拟气门在导管阀座中的配合过程，使得测量结果更接近于实际发动机运行，其优点是检测准确度高、检测效果好，缺点是设备投资较大、柔性程度低。

2 导管、阀座加工的相关影响因素

由于整改导管、阀座加工过程较长，人、机、料、法、环、测各个环节均会对最终的加工质量产生影响，这里根据 FMEA 分析识别为 8 个方面共 16 个子项（图 3）。下面从常见的几个影响因素重点来进行分析。

2.1 冷却方式与切削液影响

首先，合理的冷却方式和切削液浓度对缸盖座圈导管加工精度及刀片的寿命起到较大的作用，同时由于缸盖内部结构复杂，尤其在座圈与导管孔气道部位，常规的喷淋方式不能将导管孔内的铝屑喷出，且刀具不能得到及时的冷却，所以需要采用刀具中心孔喷冷却液的方式，保证刀具寿命和加工精度。

根据加工经验数据，切削液的使用应注意以下几点：

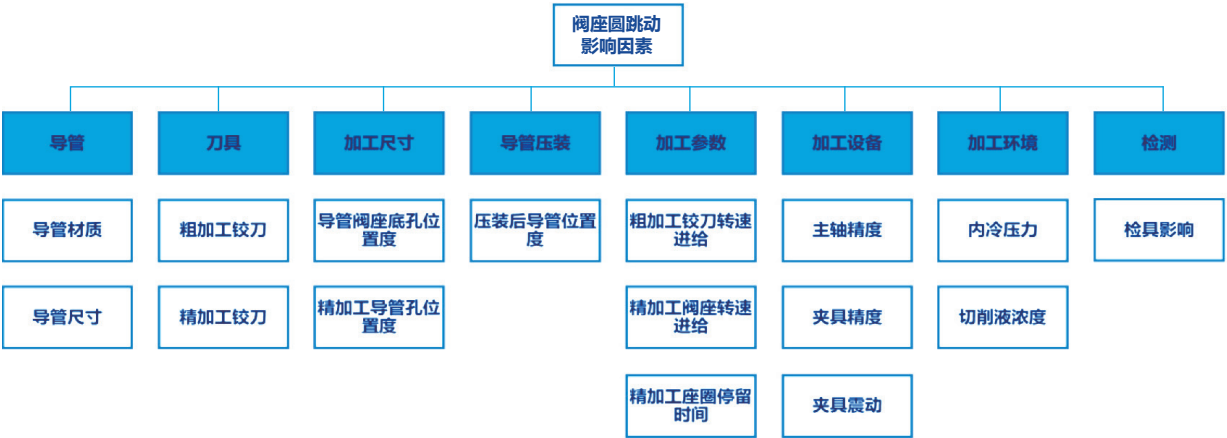


图 3 FMEA 分析影响因素

- 1) 压力不小于 20 bar(1 bar=0.1 MPa), 具有足够的流量, 铰刀的内冷孔一般都比较大, 要求流量要充分。
- 2) 切削液需用含矿物油切削液, 切削液浓度 8% ~ 10%。
- 3) 冷却液品牌一般主流品牌均可, 如奎克、嘉实多及巴索等。其中, 某品牌切削液油脂含量高, 润滑效果好, 所以在生产中采用该切削液, 效果好, 但成本高。

## 2.2 机床过滤影响

机床的过滤装置要好, 防止切屑冷却液进入铰刀冷却孔里, 堵塞冷却通道, 引起刀具过度磨损而报废。一般要求冷却液的过滤精度不小于 30  $\mu\text{m}$ , 为了改善过滤效果, 我们又在机床增加了磁辊过滤, 进一步加强机床对切屑的过滤效果。

## 2.3 刀具影响

刀具切削性能的好坏大多取决于构成刀具切削部分的材料、切削部分的几何参数以及刀具结构的选择和设计是否合理。发动机阀座导管精加工基本上采用玛帕、山高和高迈特等品牌配有 CBN 材质刀片的精密复合刀具。通过长短刀(图 4、图 5)配合加工, 提前预铰导管孔的引导孔和粗加工座圈, 然后精铰导管孔和精铰气门阀座, 以保证阀座和导管加工精度。采用此种刀具方式可同时完成阀座锥面和导管孔精加工, 阀座锥面采用精铰方式、导管孔精铰的加工方式, 能有效地保证阀座锥面对导管孔的圆跳动、锥面粗糙度等精度要求, 且能够提高生产效率、降低运行成本等。

刀具的结构特点是: 采用整体刀柄, 在同一刀体上安装加工座圈密封面的刀片及加工导管孔的铰刀。加工



图 4 导管阀座精加工刀具 - 短刀



图 5 导管阀座精加工刀具 - 长刀

导管孔铰刀采用整体硬质合金刀杆上焊接 PCD 刀片, 整体刚性好, 径向圆跳动小于 5  $\mu\text{m}$ , 无须预调, 寿命长, 质量稳定。密封面加工时, 采用 1 ~ 2 个刀片切削, 保证切削过程平稳, 保证加工圆度和粗糙度。刀片采用 2 ~ 4 刃 CBN 刀片, 所有刀片高度可调, 调整方便。

加工导管孔的铰刀一般多选用单刃或者双刃铰刀, 采用铰孔刀具能够具备较强的自导向作用, 保证导管与阀座的同轴度, 精加工铰刀采用导管粗、精加工刀片, 可以更好地保证导管加工表面粗糙度及去毛刺程度。铰刀入厂前需进行刀具刃口钝化, 否则上线加工容易出现刃口崩刃, 导致后续加工阻力大, 无法保证阀座相对于导管孔的径向圆跳动。

## 2.4 压装质量影响

通过大量试验验证, 导管阀座压装后相对于导管及阀座底孔压装后的导管座圈位置度有微小变化(0.02 ~ 0.04 mm 左右), 虽然导管阀座余量因素不会影响后续加工, 但是如果压装后座圈底部贴靠不严, 存在某一个方向压偏等情况, 对后续导管、阀座的精加工影响巨大, 存在后续装配气门后, 长时间气门与阀座拍打, 导致压装后的阀座侧偏, 出现气门杆部与导管偏磨问题, 长期发生气门与阀座贴合不严, 漏气而影响发动机整体性能。

## 2.5 导管阀座来料影响

导管毛坯内孔与外圆的同轴度一般要求  $\leq 0.1\text{mm}$ (图 6), 毛坯来料需严控此尺寸, 内孔同轴度过大, 精加工刀具加工导管孔余量不均匀, 新铰刀切削能力较好, 影响相对较小, 加工磨损后无法纠偏, 无法保证阀座相对于导管孔的同轴度及跳动, 刀具容易频繁异常。

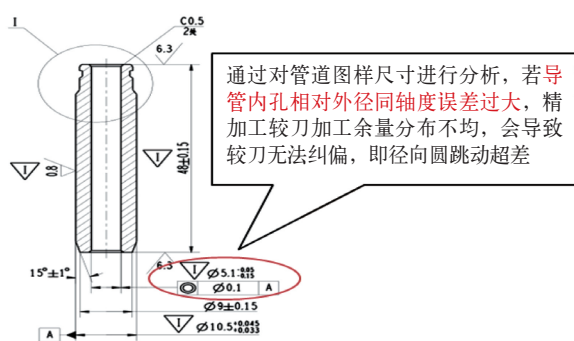


图6 导管尺寸

阀座成分对刀具刀片磨损及使用也具有一定的影响,如阀座整体材质不均匀产生较大砂眼及大颗粒,加工刀片磨损及崩刃可能性就会增加。阀座微量元素配比不同,整体硬度变化剧烈,刀片磨损也会加剧。

## 2.6 切削参数影响

阀座圆度尺寸对于阀座泄漏量有较大影响,该尺寸加工后一般要进行严格控制。通过生产验证,圆度与刀具转速、进给量及刀片材质等均有关系,一般 NC 程序编制中,阀座加工通过二截面刀片加工后停留一定时间达到圆整效果,同时也可有效控制加工后阀座表面砂眼、崩缺等缺陷。

## 2.7 尺寸位置影响

阀座密封面相对于导管孔轴线的径向圆跳动,也可以理解为同轴度,是导管阀座机加工的比较重要的一个尺寸要求。一般来讲,阀座本身直径大,刀具刚性相对强,在机床精度无问题时,阀座相对于基准的位置度比较稳定,波动范围不大,但是导管直径较小,导管铰刀长径比较长,精加工导管很容易受随着压装后导管毛坯的位置度影响,所以导管的底孔位置对于精加工阀座相对于导管轴线的径向圆跳动影响很大,为了更好地保证径向圆跳动尺寸,我们生产过程中一般会严控压装前导管底孔位置度,比较理想的底孔位置度是保证 0.1 mm 以内。

## 2.8 夹具设计影响

机床夹具对导管、阀座质量加工也有一定的影响,

如夹具工作原点相对于主轴端面过远,刀具整体设计过长,可能会出现刀具整体刚性不足,加工质量不佳。夹具本身夹紧力不宜选取过大,对于铝缸盖而言,夹紧力一般不超过 50 bar,夹紧力过大会使得缸盖在夹紧状态下发生变形,加工后夹紧力消失,缸盖导管阀座直径、圆度等相关尺寸会发生不良。另外如果夹具本身定位点设计不合理,夹具本身强度差,在加工导管、阀座过程中不能支撑所产生的切削力,整体加工工况会发生振动,阀座各截面也会产生振纹等问题,影响加工质量。

## 2.9 机床精度影响

导管阀座加工机床一般为缸盖机加线的关键设备,其精度要求应该是生产线中最高的,机床的主轴精度,如近端径向圆跳动、远端径向圆跳动,上母线、侧母线及动态平衡等机床参数需严格制定标准,并定期检测,保证设备状态最佳。

以上对一些比较典型的质量问题提供了解决思路及对策,对加工表面划伤、导管孔划伤、振纹等问题,也经过对导管阀座加工质量问题的总结,形成了导管阀座加工问题的解决流程。

# 3 结论

本文从导管、阀座的加工方案及尺寸影响的相关因素进行了系统阐述,大量的分析数据及试验结论来自于日常生产积累。对于现场问题的解决思路,经过整理归类形成了《缸盖导管阀座机加质量问题解决流程》,具体内容涵盖表面加工不良、加工尺寸超差两大类共 27 个具体问题,能够清晰地指导工艺方案规划及现场疑难问题解决。

本文根据十余年的现场研究经验,历时 2 个月系统整理分析所成,我们知道实践是理论与现实的完美结合,基于现场的缸盖导管、阀座的尺寸影响因素研究也会随着研究的深入,进一步完善相关反应机制及对策,反向对标准进行补充。

(上接第 19 页)

明,切削参数对铸铁缸体表面加工质量的影响仅在一定范围内有显著影响,而刀具长度、刀具跳动等对表面质量的影响较为显著,因此在保证切削条件、毛坯材料等在较合适水平时,适当提升刀具参数质量是很有必要的。

## 参考文献

[1] 许寒飞,何煦,李扬,等.正交试验设计(DOE)对

熔融混炼工艺参数的优化研究[J].信息记录材料,2021(22):10~12.

[2] 赵宝爱,杨晓东,李志鹏,等.机械加工表面质量的探究[J].内燃机与配件,2021(17):122~124.

[3] 李广,姚远,陈相旺,等.基于全因子 DOE 的机车抗蛇行减振器布置方式及参数优化[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(05):2074-2084.