

(4) 下位机能接收并解析Pc机发来的指令,并按指令对外设进行控制;

(5) 下位机可以通过串口对外设进行控制。

### 3.2 整体控制网络架构设计

整体控制网络架构主要用来实现整个系统整体软硬件结合和系统共性开发体系的设计与力矩拧紧作业过程的监控和开发。力矩监控系统主要是用于力矩拧紧作业过程的监控和数据实时性共享,整个系统的开发主要是基于IEC61131-3开发环境编译系统而进行的,从基础应用软件模块到工业实时以太网的实时性控制策略和数据传输体系构建。其中以工业计算机为主要承载实体和操作基础,从上面打在PLC的基础应用框架。

### 3.3 力矩拧紧作业和嵌入式系统衔接开发

整个拧紧作业控制系统分为上层开发系统和基层的运行系统,上层开发系统主要是基于人机界面各参数的数据传输和参数设定以及数据可执行性的校验模块和过程,为基层的运行系统提供基础的数据保障和参数。基

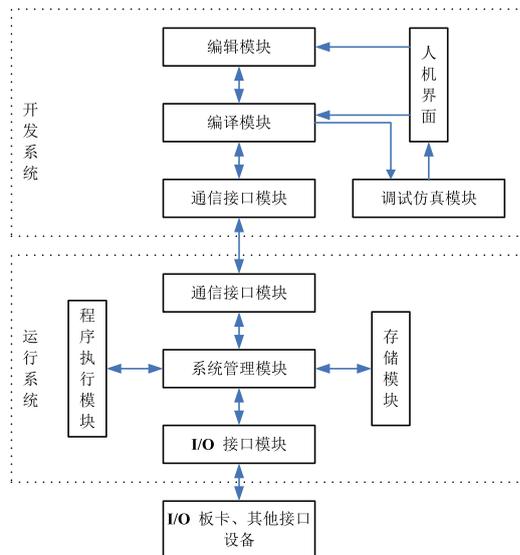


图3 力矩拧紧作业嵌入式系统开发



图2 整体控制网络架构设计

层运行系统通过接受开发系统的传输信息从而完成对应程序模块的调用、数据采集和存储以及对执行端的输出控制。具体结构如图3所示。

### 3.4 拧紧策略控制方案

整机拧紧采取软PLC控制多轴拧紧轴联动和分开监控的作业体系,整体作业体系以OPC为MES系统和拧紧数据比对的中间数据传输服务。以Windows XP系统为载体,以Soft PLC开发系统为软件开发平台,以Profibus控制总线为传输介质,通过SERCOS标准接口进行拧紧轴和控制系统之间的信息传输和数据反馈,实现对拧紧

作业的闭环控制。

## 4 基于软PLC的力矩智能监控系统开发

### 4.1 符合IEC61131-3标准的软PLC体系结构

我们拧紧力矩监控作业所设计的软PLC是指基于PC机,建立在一定操作系统平台之上,通过软件方法实现传统PLC的计算、控制、存储以及编程等功能,通过I/O模块以及现场总线等物理设备完成现场数据的采集以及信号的输出。根据图3所设立的软PLC的组成结构,软PLC系统由开

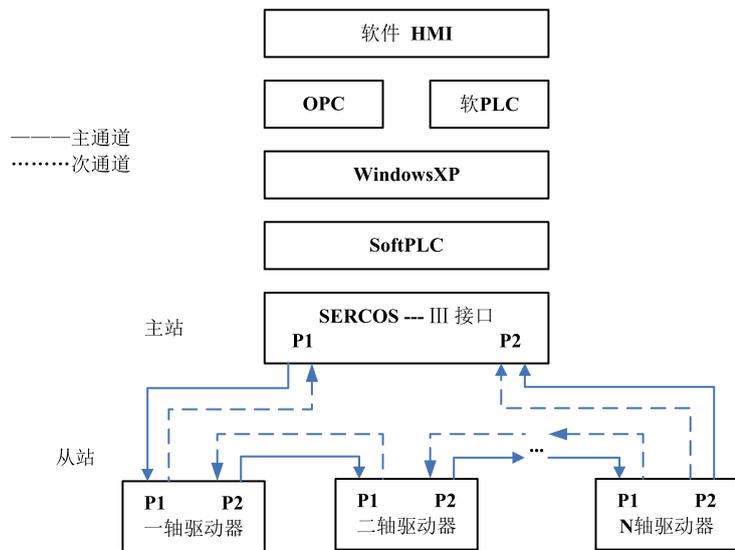


图4 基于软PLC的拧紧机控制驱动方案

发系统和运行系统两部分组成，符合 IEC61131-3 标准的软 PLC 系统整体架构设计如图 5 所示：

#### 4.1.1 软 PLC 开发系统

软 PLC 开发系统主要由编辑器、编译器、仿真器和通信接口四部分组成，由它完成传统硬 PLC 的编程和调试功能。用户首先通过编辑器完成应用控制程序的编辑，然后在编译器中进行程序的连接和编译，找出其中的语法、语义错误，并进行分析和处理，直到无错为止，若无错，则进行代码转换，即将源程序转化成运行系统可以识别和运行的目标代码，最后通过通信接口完成代码的下载，执行控制过程。仿真环境则为用户提供了在没有相关硬件的情况下检查控制应用程序的运行结果与预期的是否相吻合的调试环境。

#### 4.1.2 软 PLC 运行系统

软 PLC 运行系统是整个软 PLC 系统的核心，主要完成输入处理、程序执行、输出处理等工作。运行系统中的通信接口建立与开发系统的连接，完成上位机开发的应用控制程序的下载，而 I/O 接口与外围 I/O 模块相连，负责现场数据采集和执行输出控

制过程。此外，通信接口也实现了与 HMI/SCADA 软件的通信，软 PLC 运行系统提供了标准 OPC 访问接口，既可在 PC 机上运行，也可在嵌入式控制器中运行。

(1) 开放的控制算法接口，支持用户自定义的控制算法模块；

(2) 仿真运行实时在线监控，可以方便地进行编译和修改程序；

(3) 支持数据结构，支持多种控制算法；

(4) 编程语言标准化，它遵循 IEC61131-3 标准，支持多种语言编程，并且各种编程语言之间可以相互转换。

软 PLC 运行系统，是针对不同的硬件平台开发出的 IEC61131-3 的虚拟机，完成对目标代码的解释和执行。对不同的硬件平台，运行系统还必须支持与开发系统的通信和相应的 FO 模块的通信。这一部分是软 PLC 的核心，完成输入处理、程序执行、输出处理等工作。通常由 FO 接口、通信接口、系统管理器、错误管理器、调试内核和编译器组成<sup>[3]</sup>：

(1) FO 接口：与 FO 系统通信，包括本地 I/O 系统和远程 I/O 系统，远程

I/O 通过现场总线 Profibus 实现；

(2) 通信接口：使运行系统可以和编程系统软件按照标准协议进行通信；

(3) 系统管理器：处理不同任务、协调程序的执行，从 FO 映像读写变量；

(4) 错误管理器：检测和处理错误。

运行系统主要由两大模块组成：

1) 梯形图到机器码程序的转换；

2) 执行机器码文件。每个模块的功能如下：

(1) 梯形图到机器码程序的转换。首先把用户编写的梯形图程序编译成中间代码形式的 PLM 文件，然后将 PLM 文件转变为汇编程序，最后用汇编器汇编转变成功的汇编程序 CONTROL ENGINEERING China 版权所有，产生机器码从而生成可执行的 PLE 文件。

(2) 执行机器码文件。将 PLE 文件嵌入配置好的执行环境中并执行，通过工控机的面板指示灯监测程序的正确性。

#### 4.2 软 PLC 编辑集成开发系统设计

编辑系统逻辑结构模型图如图 6 所示，主要由用户管理窗口、程序执

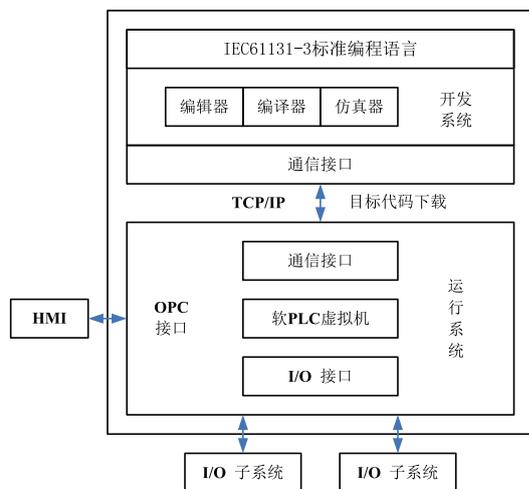


图5 符合IEC61131-3标准的软PLC体系结构

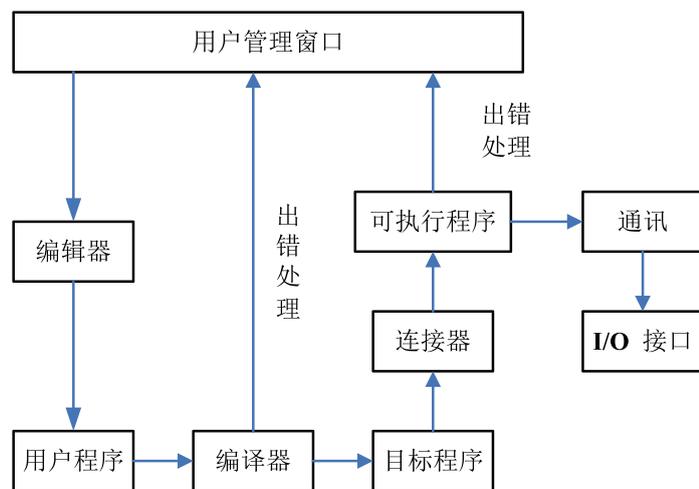


图6 软PLC集成系统开发设计

行、信息的实施反馈构成的闭环控制系统，最终通过通讯板卡将信息传输给以拧紧轴为代表的终端执行系统进行拧紧作业。

#### 4.3 数据传输和控制系统

基于软PLC的拧紧作业智能监控编辑系统逻辑结构模型主要包括以下七个模块：

(1) 编辑模块：主要为LD、IL和ST等PLC编程语言提供一个程序编辑环境，接受用户的输入；

(2) 编译模块：用于将LD、IL和ST等PLC程序语言进行解释或者翻译，并序分别进行编译生成目标代码；

(3) 连接模块：将目标程序生成可执行文件；

(4) 调试模块：调试模块用于对用户程序中可能存在的语法错误，非法输入等进行定位、提示，以方便用户修改同时提供联机调试；

(5) 通信模块：用于负责编辑系统与运行系统的通讯；

(6) 程序管理模块：主要用于管理和归档所有数据，包括用户编辑的源程序、编译生成的代码（中间代码、目标代码、可执行代码）、程序库（标准功能函数、通信功能函数、用户自定义函数）以及在线信息（PLC硬件的配置信息、在线测试的附加信息等）；

(7) 仿真模块：对用户编制的程序进行完整的连续仿真。

#### 4.4 基于RFID的软PLC体系结构应用

RFID技术的运用，使得依靠人工干预的生产模式成为过去，搭载有电子芯片的待装车辆，每到一个节点，基于软PLC的力矩监控与执行系统都会进行自动识别，进而关联准确的信息并提示给操作者。系统数据的采集与传输，远远比人工查阅来的更快速、更准确。对生产状态的辨识，同样比人工

监控更便捷、更高效。两者的高效结合使得从车型识别到力矩监控作业变得可视化更强，采集数据更准确，相关信息失真率更低，有效提升了拧紧作业的实时性和可靠性。

### 5 结束语

本监控系统开发环境为Windows平台，利用Microsoft Visual Studio 2010进行开发设计。在分析了软PLC控制原理和系统构成的基础上，完成了基于软PLC编辑环境的拧紧作业监控系统主框架和数据管理的设计以及编译器和传输模块的设计，具体实现了对拧紧作业力矩的实时反馈和有效监控。

软PLC技术具有很大的发展潜力，目前，设备可靠性问题已经基本解决，工业PC接口板、控制卡坚固耐用，并采用了较高的保护等级和防冲击，防振动、防腐蚀，电磁兼容性设计，设备可靠性已大大提高。软PLC适应现代工业控制的需要，开发技术条件逐渐成熟，其将有广阔的应用前景。软PLC的开发将对我国PLC领域的应用产生深远的影响。在高效提升现有控制方式和转变传统控制趋势的要求下，如何将现有的卡车制造同软PLC进行后期整合，是我们亟待解决的问题之一，更是未来发展的趋势所在。



#### 参考文献

- [1] 李撈摸, 张庆勇, 李振彪, 等. 集装箱冷藏库温度自动控制设计[J]. 中国医疗设备, 2009 (6) .
- [2] 刘巍巍. 软PLC技术及开发系统研究. 黑龙江科技信息[J]. 2009 (10) .
- [3] 苏中. 基于PC架构的可编程序控制器[M]. 机械工业出版社, 2006.

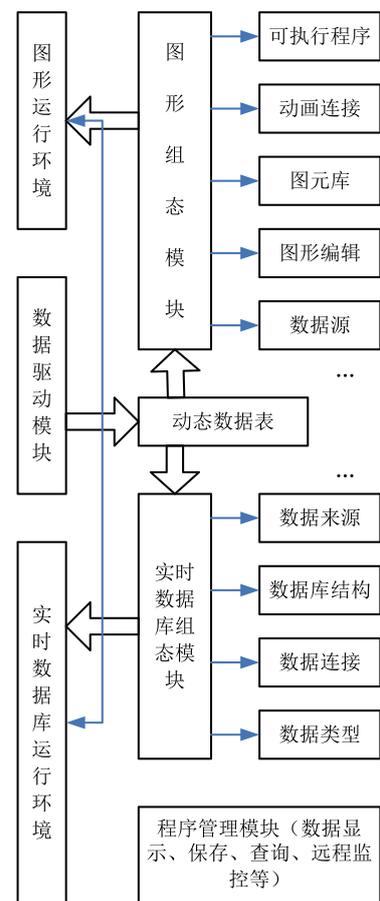


图7 数据显示和控制系统

[4] IEC61131-3 [S]. 北京: 工业自动化程序编制中国机电一体化技术应用协会, 2002.

[5] 王新华, 周峰. 软PLC运行系统的硬件结构设计与实现[J]. 北京工业大学学报, 2006 (32) .

#### 作者信息

门秀华, 硕士研究生, 2014年入职中国重汽济南卡车股份有限公司, 中级工程师, 设备管理岗位, 主要从事智能制造、机器视觉等方面的推广及应用工作。先后进行了加注机加注效率和加注质量提升及定值工具集约化管理等项目, 先后获得卡车公司管理标兵和创新管理成果二等奖等奖项。通讯地址: 山东省济南市市中区党家庄镇南首中国重汽集团济南卡车股份有限公司, 邮编: 250000, 联系方式: 0531-58067842/13616416342, 邮箱: menxiuhua@sinotruk.com

# 气缸盖喷油器铜套装配质量失效原因分析研究

潘刘铭

一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂<sup>1</sup>, 无锡<sup>1</sup>, 214174

**摘要:**为解决喷油器铜套在装配过程中, 装配不到位造成喷油器安装失效从而导致试漏不合格, 最终影响产品的性能问题。本文通过对柴油机气缸盖喷油器铜套压装的全过程进行分析研究, 对喷油器铜套大头处密封失效、小头平面压装不到位、小头胀压失效以及外观质量不合格的原因进行深入分析, 并制定改进措施。其中重点对喷油器铜套压装小头胀压工具及工艺方法进行改进, 从而解决了铜套小头胀压不合格问题, 确保了铜套小头外圈与气缸盖喷油器底孔紧密贴合。铜套装配的失效模式主要由小头胀压变形引起, 所以选择合适的胀压工具是保证铜套装配质量的关键。

**关键词:** 气缸盖; 失效模式; 胀压工具; 密封

## Application of Quality Failure of Copper set Assemble for Cylinder Head

Liuming PAN

faw jiefang automotive co.ltd, wuxi diesel engine works1, wuxi 1, 214000

**Abstract:** In order to solve the failure problem that the injector copper set in the process of assembly, assembly does not reach the designated position caused by fuel injector installation failure resulting in leakage test is unqualified, will ultimately affect the performance of the product. This article through to analysis the whole process of installation of injector copper set of seal failure, include the copper set big head installation does not reach the designated position, small head swelling failure and the appearance quality is unqualified and formulate improvement measures. With emphasis on injector copper set of small head swelling installation tools and process method was improved, so as to solve the problem copper set of small head swelling pressure is unqualified, ensures that outer ring of the copper set and cylinder head injector the base hole tightly fit. The failure mode of copper set assembly is mainly caused by the bulging pressure deformation of the small head, so selecting the suitable expanding pressure tool is the key to ensure the quality of the assembly.

**Keywords:** Cylinder head; Failure mode; Extrusion tool; Seal

## 1 引言

喷油器铜套的主要作用是隔离冷却水和燃油, 装配质量的好坏将直接影响气缸盖的密封性, 从而影响柴油机的燃烧性能; 失效模式主要为铜套

大头处密封圈密封不严、铜套小头孔径胀压与缸盖贴合不严、铜套小头端面与油嘴孔小头平面贴合不严从而导致使用过程中铜套松动、脱落引起密封失效而漏水, 装配示意图如图1所示。

## 2 铜套压装工艺过程

我厂采用铜套压装专机(图2)对铜套进行胀压装配, 可分步实现压贴铜套下端平面和铜套小头胀压与缸盖油嘴孔壁贴合。

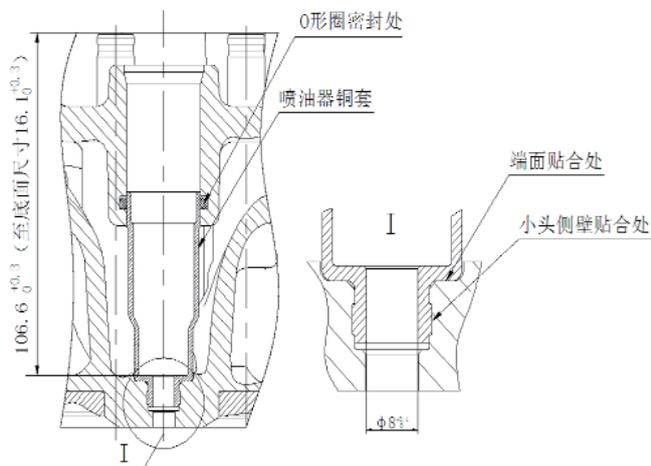


图1 铜套与气缸盖贴合示意图

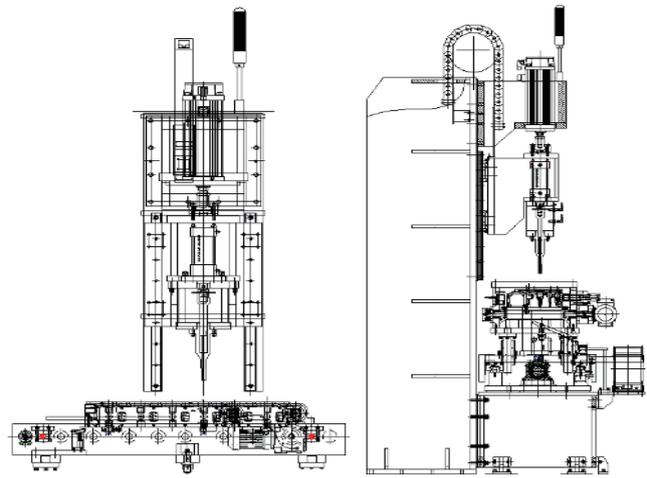


图2 铜套压装专机

铜套装配压装过程为：先人工清理气缸盖油嘴孔小头平面及油嘴孔大头槽，放入O形密封圈、铜套大头处涂凡士林、人工放入喷油器铜套，并用辅助工具预压铜套至孔内，同时放入胀杆至油嘴孔小头孔内、工件通过滚道输送到压装位置，定位、夹紧，第一缸活塞杆先动作将铜套端面与喷油器孔端面压贴，并保证铜套下端内表面至顶面尺寸，通过液压系统进行保压；第二缸活塞杆再动作，推动胀压工具通过油嘴孔小头，从而使铜套小头外壁与气缸盖喷油器小头孔壁紧密贴合，依次完成1至6缸压装，完成铜套装配。

### 3 铜套胀压装配失效跟踪数据统计

以某型号缸盖的铜套压装及试漏情况进行统计分析，铜套试漏失效信息如下表1所示：

其中，5月份铜套试漏不合格数比例最高，经排查5月14日至月底曾采用A供应商的铜套进行压装，其它时间段均采用B供应商的铜套，两种铜套试漏不合格组成如下表2所示：

表1 3月-7月试漏不合格统计

月份	3/月	4/月	5/月	6/月	7/月
试漏数/台	236	374	403	420	339
漏气数/台	9	11	42	17	2
外观不合格	4	6	12	5	2
不合格率	5.5%	4.5%	13.4%	4.0%	1.2%

表2 两种铜套试漏不合格比例

试漏数	A厂家铜套 漏气数/台	A厂家铜套 漏气率/%	B厂家铜套 漏气数/台	B厂家铜套 漏气率/%
42	36	85.71%	6	14.29%

### 4 铜套装配失效模式分析及改进

为进一步分析研究，经对103件铜套装配不合格的工件进行原因分析，主要为试漏（泄漏值>10cc/min）及外

观质量不合格，试漏失效形式为大头处密封处装配失效、小头胀压及端面压装不合格而造成漏水或冒鱼泡，统计数据如下表3。

表3 铜套装配不合格失效信息

失效模式	大头/台	小头/台	外观质量/台
失效数	9	65	29
比例	8.74%	63.11%	28.15%

#### 4.1 铜套大头装配质量失效分析及改进

铜套大头处不合格主要为水试漏时大头漏水，泄漏值远大于10cc/min；以及大头处冒鱼泡，泄漏值为10cc/min至20cc/min之间，需要重新拆卸铜套、并重新压装试漏。

经过对不合格工件进行分析，大头处漏水的主要原因为O形密封圈存在裂纹、划伤等缺陷，油嘴孔槽边缘处存在翻边毛刺；铜套大头外圆处凡士林漏涂，导致铜套装配过程中O形密封圈发生翻卷，O形密封圈漏放以

及缸盖油嘴孔内槽缺陷等。

为解决油嘴孔槽边缘处毛刺问题，在辅助工位增加电气气枪去毛刺，并规定伸缩动作至少2次；采用内窥镜查看油嘴孔内槽表面缺陷，及时剔除不合格品；同时规定放置密封圈时查看密封圈表面是否有裂纹及划伤，及时对问题密封圈进行隔离。

#### 4.2 铜套小头胀压质量失效分析及改进

铜套小头漏水及冒鱼泡导致缸盖水试不合格比例为63.11%，经对问题工件进行分析，小头装配质量不合格主要受油嘴孔加工尺寸、油嘴孔小头孔壁及小头平面杂质、铜套小头胀压工具以及铜套材质硬度影响。

##### 4.2.1 油嘴孔小头槽加工尺寸影响

本次跟踪的气缸盖油嘴孔小头处有 $\Phi 11$ 的环槽（如图3），铜套小头外圆处的有 $\Phi 11$ 圆环（如图4），当铜套小头被挤压时，小头外圆处的环及外圆均会被胀压至缸盖小头槽中，其中外圆环可以防止铜套在使用过程中上下窜动脱离。

加工气缸盖油嘴孔小头槽时采用三刃铣刀头走插补的方式加工，刀头采用M3的螺钉锁紧在刀杆上；

由于螺钉小，刀具在加工过程中受力，导致螺钉松，刀头未锁紧，导致槽深度超差0.15mm至0.25mm，由于该槽靠刀具保证，三坐标检测时测针也无法测该槽深度尺寸，自检时也未有相关检具进行测量，所以导致铜套小头胀压时铜套小头伸缩受阻，受挤

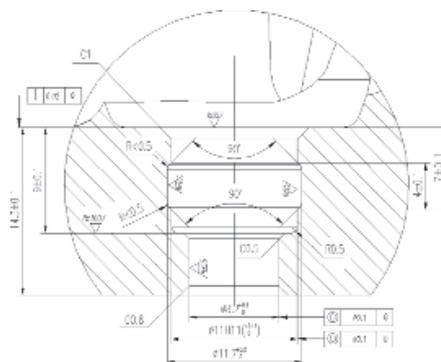


图3 缸盖小头槽

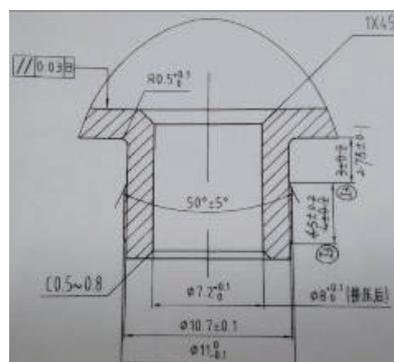


图4 铜套小头

压变形的铜套堆积在小头槽边缘处，造成贴合不严。

针对刀具问题，采用带扭矩的专用扭力扳手（如图5），确保该刀头安装时，拧紧力矩到位，并规定刀具一个月之内未上机加工，必须拆卸刀头进行重新安装，防止长期静置应力释放，加工时刀头松动。

同时，及时联系设计部门制作小头槽深度检具，编入工艺文件，并规定检测频次进行受控管理，小头槽深度量具如图6所示。

##### 4.2.2 油嘴孔内孔及小头平面有杂质

缸盖油嘴孔内腔及小头平面清洁工作不到位，铜套安装面及小头槽内有铁屑、铁粉等硬点颗粒物，如图7示。

导致铜套安装时垫在安装面与铜套间，铜套不能安装到位，经对铜套安装前的内腔表面清理的顺序及放置铜套过程进行跟踪发现，存在如下问题：

- （1）操作者先用气枪清理工件外

表面，其次为各孔系表面，最后清理内腔气道等；

- （2）放置铜套时，操作者未查看油嘴孔小头平面，油嘴孔内孔孔壁等表面是否有铁屑、铁末及油污等杂质；

由于铁屑、铁末等硬点杂质的存在，会导致铜套压装时不到位，出现间隙，造成试漏时漏水；为避免硬点杂质的影响，铜套放置前的处理工作如下：

- （1）清理工位的清理顺序调整为先用气枪清理内腔气道，其次为各孔系表面，最后为外表面。

- （2）放置密封圈及铜套前，用气枪对油嘴孔大小头槽以及油嘴孔小头平面等部位进行再次吹气清理。

- （3）放置铜套前用气枪对铜套内外表面进行全面清理，去除表面粘附的硬点杂质。

##### 4.2.3 铜套小头胀压工具

铜套小头胀压工具一般采用钢球一次胀压成型，在实际加工过程中采



图5 扭矩值可调的扭力扳手



图6 小头槽深检具



图7 铜套内腔未清理干净

用钢球胀压存在如下问题：

(1) 钢球长时间受到挤压杆轴向力的作用，会导致钢球变形，成为椭圆。

(2) 每次放置钢球时，位置不固定，钢球椭圆会传递到受挤压的铜套表面，如果钢球椭圆严重，将造成铜套受挤压表面变形不均，并且划伤受挤压表面，导致胀压面与缸盖油嘴孔小头孔壁贴合不严，水试时小头出现冒泡现象，需要人工二次胀压才能合格。

(3) 随着钢球的磨损，将造成铜套小头受挤压变形不足，与缸盖油嘴孔小头孔壁贴合时不严，试漏时出现小头漏水。

(4) 压杆与钢球为圆弧面接触，接触面小，作用于压杆的反作用力大，易造成压杆弯曲变形，积累到一定程度，致压杆弯曲严重，会压伤铜套小头孔边缘。

(5) 钢球一次胀压从铜套小头内孔滑出后，铜套底平面倒角处存在毛刺披峰，容易导致钢球不能自动回中心，需要操作者凭经验判断钢球是否回落到位，存在质量风险。

(6) 钢球直径偏大时，会出现铜套小头被过度挤压而伸长，造成铜套外圆环不能胀压到小头槽中。

由于钢球胀压时出现铜套不合格的现象较多，并且调整频繁，容易造成生产停台，影响生产效率；为避免上述问题重复发生，现对胀杆进行改进，借鉴刀具粗、半精、精加工切削原理，对铜套小头挤压改为粗胀压、半精胀压最后精胀压修正的方式进行，胀压工具改为三阶胀杆形式，如图8所示。

该胀杆与钢球比较具有如下优点：

(1) 铜套小头挤压由一次性单

边0.45mm的挤压力，调整为单边0.2mm、0.15mm、0.1mm的分级挤压。

(2) 分级挤压可以防止铜套小头被挤压时过度拉伸而变长，从而确保铜套小头环能镶嵌至油嘴孔小头槽中，起到Z向限位作用。

(3) 三级胀杆前半部分设计为直径 $\Phi 7.2$ 长22mm的导向杆，端部倒角，可以起到限位、定心作用。

(4) 可以防止铜套小头口边缘出现翻边毛刺，小头被挤压后不会阻碍胀杆滑出，同时三阶进给可以带出边缘处的翻边及毛刺。

(5) 每次挤压时都是采用胀杆固定的圆弧面进行挤压，重复性好，不存在椭圆因数的影响。

(6) 胀杆挤压时，轴向挤压力可以沿着胀杆进行传递，受力方向一致，变形一致，可以防止反作用力使胀压圆弧面变形而出现划伤铜套小头内表面。

(7) 胀杆与压杆接触端开一小圆

孔，挤压杆端面中心留一小圆锥尖，每次挤压时锥尖可以定位于小圆孔中，起到自动定位定心的作用，始终保证压杆端面与胀杆端面为面接触，从而承受较大的挤压力，受力平稳，可以防止挤压杆出现弯曲变形。

经采用胀杆压装，跟踪7至8月份铜套试漏情况，采用三阶胀杆未发现因胀杆引起的铜套小头漏水，合格率达98%。

#### 4.2.4 铜套材质影响

由于5月份采用A厂家铜套出现小头漏水比例85.71%大于B厂家铜套14.29%，经对A、B两个厂家铜套进行理化检测发现，A厂家铜套含铜量高于B厂家铜套，并且成型工艺方式不同，因此存在以下问题：

(1) B厂家铜套底平面加工导致平面加工硬化，同样压力作用下延展性不如A厂家铜套好，因此铜套胀压时容易造成铜套小头被过度拉伸，经对比，A厂家铜套至少被多拉长1.5mm，如图9所示。

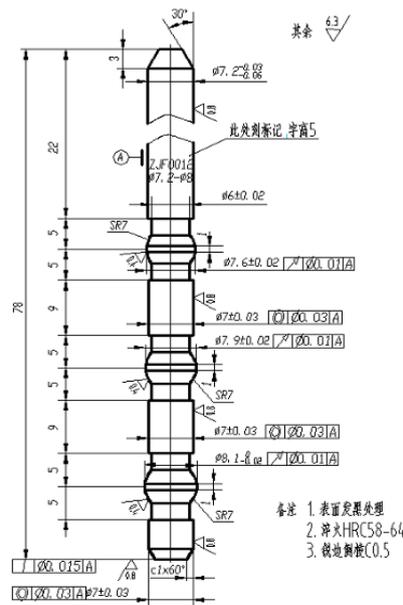


图8 三阶胀杆设计图及实物

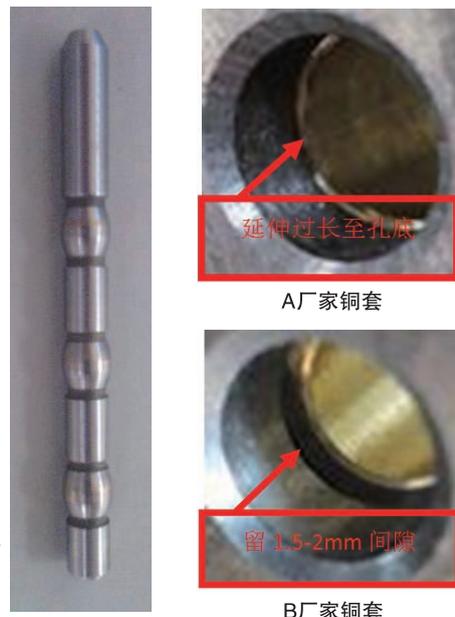


图9 A厂家铜套及B厂家铜套小头拉伸对比