

内燃机车柴油机气缸盖三坐标在线测量

■ 中车戚墅堰机车有限公司（江苏常州 213011） 路亚光 张玉玲

摘要：为保证柴油机高精度零件气缸盖的机加工质量，避免造成批量质量问题事故，实现生产现场在线测量是非常必须的。为此本项目主要解决：一是测量设备的选型、设备安装与设施配套；二是气缸盖在线测量方案验证及实施效果；三是项目推广应用的领域和项目的优化完善。

气缸盖是柴油机部分动力组的核心零部件，精度要求高，精度合格与否轻则影响柴油机功率的正常发挥，重则将会造成机破等质量事故。按产品工艺要求，气缸盖应进行100%三坐标检测。气缸盖在加工中由于毛坯问题、刀具问题、装夹问题及机床精度等，需对加工程序、刀具和装夹方法进行调整，为了降低加工过程更改带来的风险，避免造成批量质量事故，必须实现气缸盖的生产现场在线测量，把造成机破等质量事故控制在源头。

1. 设备的选型、安装及试验

(1) 测量设备的正确选型。三坐标测量设备是一种高效、精确的全自动设备，相对来说价格较高，而且规格越大、精度越高，价格差异较大。因此应根据被测产品的外形尺寸和精度要求，选择合适规格、合理精度要求的三坐标设备。

测量机的规格尺寸、各轴行程，需根据被测气缸盖外形尺寸和所要测量的面及孔深进行选择，本着既要满足测量要求（涵盖各型机车用柴油机气缸

盖），又要避免能力浪费的原则，确定所需三坐标的行程要求，测量范围： $X \geq 900\text{mm}$ （沿横梁移动方向）； $Y \geq 1500\text{mm}$ （桥架移动方向）； $Z \geq 650\text{mm}$ （高度方向），工件空间要求： $X \geq 1000\text{mm}$ ； $Y \geq 1600\text{mm}$ ； $Z \geq 800\text{mm}$ 。同时考虑到测量单件产品和测量工装的重量，确定了承载能力： $m \geq 1200\text{kg}$ 。

根据气缸盖测量顶点的精度要求、检验方法，选择在线测量三坐标机的精度要求。气缸盖的阀座孔与导管孔的同轴度是典型的长距离、短精孔，是同轴度中较难测量的一种，同时导管孔母线平行度要求为 0.006mm ，这两个顶点既是气缸盖的核心测量内容，也是精度要求最高的地方，从而明确了所需三坐标的精度要求，尺寸测量最大允许示值误差： $\text{MPEE} \leq (1.4+L/330) \mu\text{m}$ ，最大允许空间探测误差： $\text{MPEP} \leq 1.5 \mu\text{m}$ ，重复性： $1.5 \mu\text{m}$ ，扫描探测误差： $\text{THP} \leq 1.7 \mu\text{m}$ （标明扫描时间或扫描速度），固定多探针探测系统或万向探测系统的误

差： $\text{MPMF}/\text{MPEAF}=3.0 \mu\text{m}$ ， $\text{MPEMS}/\text{MPEAS}=2.8 \mu\text{m}$ ， $\text{MPEML}/\text{MPEAL}=3.2 \mu\text{m}$ 。

根据测量工件深孔的深度和直径，明确探针系统的加长能力，测量机探针系统的探针加长能力 $L \geq 300\text{mm}$ ，可以满足气缸盖深度 300mm 、直径 28mm 、长度 120mm 通孔圆柱的全范围单向测量要求。

通过选型比对，选择能满足测量要求且性价较好的英国LK公司生产的LKV15.10.8SL型号的中型三坐标测量机（见图1）。

(2) 设备安装与设施配套。要实现气缸盖的在线测量，前提是三坐标测量机要安装在生产车间现场，但由于车间现场环境较差，如振动大、温差大，如果无法满足高精度测量机所需



图1 中型LK三坐标测量机

的基本工作环境要求，对三坐标测量精度将会产生较大影响。在解决恒温问题上，需要在车间现场搭建恒温房，还要兼顾测量机及辅助设施的放置、工件的恒温存放、起吊行车的有效起吊范围、测量机的高度行程、室内行车的轨道运行空间以及室外的空调外管道安装，最重要的是车间内跨度间的行车与房顶的干涉距离，通过测量、平面布置规划，最终确定了空调房的长、宽、高三维尺寸，墙面采用100mm厚的铁皮泡沫板进行无缝搭接，窗户采用密封双层玻璃，门选用密封冷库门，再配上六出风口的顶式中央空调，进而满足了恒温房（20±2）℃的恒温要求。

在解决抗振问题上，邀请振动专家对车间现场进行地表环境的振动测量，根据测量报告中振动波的走向，将测量机的长轴确定在干扰小的方向；在地基的设计和施工上，采用了整体水泥防振岛结构，并在防振岛的下面放置了6个抗振单元，防振岛与地坑四周设置防振沟，宽度为200mm，其间填满了黄沙，这样的设计最大限度地阻隔了周边环境对防振岛的振动干扰，同时测量机的工作平台上配置了气囊防振结构，进一步提升了防振功能。

（3）工件测量方式。在设备安装调试完成后，便开始了工件的测试验证。气缸盖的主要测量项点在高压面和低平面上，其上的阀座孔和导管孔属于细长深孔，长直径是测量较大行程的一个方向，故明确了工件的摆放位置。然后通过探针的合理选择，

编制调试好HXN5机车柴油机的气缸盖自动测量程序，使工件有了一个科学的测量方案；对测量系统进行GaugeR&R评价：按照气缸盖工艺图样要求，采用编制好的气缸盖自动测量程序，进行气缸盖三坐标测量系统的重复性和再现性分析，做GaugeR&R评价，要求GaugeR&R≤15%。实际为13.11%。

（4）测量精度和功能的验证。根据GB/T 16857/ISO 10360标准的各项规定进行，对引进的设备进行精度检测，三坐标测量机精度调试结果如表1所示。

表 1

序	精度项目	指标要求	实际精度
1	探测误差	$MPE_p=1.1\mu m$	$MPE_E=0.6\mu m$
2	空间精度	$L=1\ 000mm$ $MPE_E=3.7\mu m$	$L=1\ 000mm$ $MPE_E（最大）=2\mu m$
3	扫描精度	$MPE_{THP}=2.2\mu m$	$MPE_{THP}=0.8\mu m$

新增的LK中型三坐标测量GEVO16气缸盖的测量结果与检测技术部ZEISS三坐标测量结果的比对。比对结果如表2所示。

表 2 （单位：mm）

产品名称：	GEVO16气缸盖	
产品编号：	QS100810085	
测量关键特征： 导管孔对阀座孔的同轴度	LK中型 三坐标测 量机结果	ZEISS 三坐标 测量结果
1. 01~9 3孔	0. 018	0. 021
1. 01~8 4孔	0. 015	0. 023
1. 02~9 3孔	0. 014	0. 012
1. 02~8 4孔	0. 007	0. 011
1. 03孔	0. 024	0. 026
1. 04孔	0. 016	0. 028

按照检测技术部编制的GRR评价一般方法、GRR作业指导书的要求，对气缸盖关键项点进行重复性和再现性评价验证，取10只气缸盖，采用两人，每人每

只3次的测量方法，分别对气缸盖产品的关键特性值进行检测能力评价。

通过上述精度和功能验证，说明了所选的测量机和辅助设施是满足气缸盖测量功能的，达到了预期的目标，可以实现气缸盖产品的在线测量。

2. 推广应用的领域和项目的优化完善

本项目可推广应用至柴油机其他零部件如：加强套、凸轮轴和连杆等核心产品的三坐标在线检测。

在项目实施过程中通过优化完善，提升测量效率。一方面通过测量程序的优化、最佳探针的选配、测量吊具、工装的投资以及长短程序的结合使用；另一方面结合2010年的大量检测数据，统计出各检测项点的工序性能指数ZST值，根据质量控制能力的高低，调整确定各产品检测项点的个数和检测频次，进而提升检测效率。

（1）三坐标测量机检测能力的释放工作。我们统计并汇总了从2010年6~12月所加工的气缸盖三坐标测量情况，零件的机加工合格率基本保持在100%，部分测量项点的工序能力指数ZST较高。同时我们跟踪零部件的组装使用及生产实际情况，提出在不影响零件质量的前提下，适当降低零件部分项点的检测比例（见表3）。

在产品质量检测过程中，一是三坐标测量时可采用长短程序相结合的测量方式；二是对尺寸质量特性可采用人工方式测量，因而能有效确保零件的加工质量。

表 3

零件名称	关键点			一般项点		
	原测项点 数/个	涉及调整 项点数/个	下调比例 (%)	原测项 点 数/个	涉及调整 项点数/个	下调比例 (%)
气缸盖	31	16	46.5	78	63	72.7

(2) 程序的调整, 最佳探针的选择。

(3) 工装、吊具的使用。
气缸盖和加强套的测量工序流程为: 工件测量孔面的清洁→上料吊运→工件装夹找正→测量→工件拆装→下料吊运。在辅助流程中工件孔面的清洁是在自动测量时完成的, 在余下的4个辅助流程中, 工件的装夹找正工序最为费时, 工件找正装夹是手工完成, 在气缸盖的三坐标测量工作中, 为避免测量导管孔和油泵孔时工件和探针杆身干涉, 要求工件基准面和测量机坐标轴平行度偏差小于0.2mm, 手工找正难度较大, 只能借助辅助测量进行找正, 要反复找正几次才能完成。为此, 只有降低上料、装夹找正、拆卸和下料四道辅助工序的时间, 才可提高整体的测量效率。

为了解决工件吊装问题, 我们在装夹和吊运两个方面都进行了改进。装夹上, 吸收了GE公司设计专用测量工装的方法, 设计制作了有定位基准的专用三坐标测量工装。工件在工装上的定位由定位基准完成, 无需手工找正, 测量工装(见图2)在工作台面上的定位由接触面和联接孔完成, 也无需手工找正, 联接螺钉紧固后, 工装定位准确、无偏移。吊运方面, 我们借用了加工中心一、二工位的吊具(见图3、图4), 一工位吊具用于工件进出



图2 气缸盖测量工装



图3 气缸盖第一工位吊具



图4 气缸盖第二工位吊具

三坐标房的运输, 二工位吊具用于工件上下料。

工装、吊具改善后, 由工装的设计定位结构, 满足了工件的准确、快速定位要求, 工件装夹找正只要拧紧螺钉即可, 节约找正时间; 使用吊具后, 可以对工件进行平稳、快捷地上下料, 既节省了时间, 又避免了工件碰伤问题的发生。接下来, 就只剩吊工件和紧螺钉了, 这两步只需5min左右, 非常简单高效。MW

(收稿日期: 20151022)

2015年1~9月机械产品进出口情况

据海关统计显示, 2015年1~9月全国外贸进出口总值29 041.4亿美元, 同比下降8.1%, 其中出口16 641.2亿美元, 同比下降1.9%, 进口12 400.3亿美元, 同比下降15.3%, 累计贸易顺差4 240.9亿美元。9月当月进出口总值3 507.7亿美元, 同比下降11.4%, 其中出口2 055.6 亿美元, 同比下降3.7%, 进口1 452.2亿美元, 同比下降20.4%, 当月贸易顺差603.4 亿美元。

1~9月, 机械工业累计进出口总额5 013.22亿美元, 同比下降7.06%。其中出口2 924.4 亿美元, 同比下降1.59%, 降幅较1~8月(~1.53%)加深0.06个百分点; 进口2 088.82亿美元, 同比下降13.78%, 降幅较1~8月(~13.33%)加深0.45个百分点, 累计进出口贸易顺差835.58亿美元。

9月, 机械工业进出口总额570.13亿美元, 同比下降8.88%。其中出口331.3亿美元, 同比下降1.89%, 降幅较8月收窄6.01个百分点; 进口238.83亿美元, 同比下降17.07%, 降幅较8月收窄5.33个百分点, 当月贸易顺差92.47亿美元。

1~9月, 机械工业12个行业中进口增速回落较快的行业依次是重型矿山、机床工具和文化办公设备行业等。