

发动机机加线加工中心机床验收中 工件测量问题的分析与解决

□ 一汽轿车股份有限公司发传中心/陶军忠

本文是笔者在曾经主导过与HELLER、COMAU、MAG、GROB等国际知名的加工中心制造商就发动机十七条机加线加工中心调试验收中工件测量方面经验积累和总结，并对其中一个实际案例进行分享。

在发动机机加生产线加工中心调试验收期间，机床加工能力指数 C_m 与 C_{mk} 评价不通过，机床制造商安调人员经常会对测量方面提出异议而引起产品测量纠纷，导致买卖双方验收时间、人员、工件和能耗等方面成本的增加，甚至会影响项目的整体进度。为了减少测量技术纠纷，通常在购买加工中心的技术协议签定阶段，双方的测量技术人员在工件的测量技术方面建立规则以达到双方认可。本文是笔者曾经主导过与HELLER、COMAU、MAG、GROB等国际知名的加工中心制造商就发动机17条机加线加工中心调试验收中工件测量积累的经验总结和分享。

测量技术方面提前建立规则的必要性

在几何量测量中，长度尺寸测

量方法多种多样，无论在国内、外对有测量经验的测量人员来说，都能遵循国际通用的测量标准来实现测量，对于在加工中心验收中此方面产生的测量问题纠纷几乎没有。而对于形状和位置误差的检验中，测量手段多采用三坐标测量机，如果仅是对于常见简单的工件测量任务——即只验证100%测量的尺寸全部在公差范围之内，对于在加工中心验收中此方面产生的测量问题纠纷几乎没有，因为即使没有提供更多用于测量的信息，测量人员也会根据通用的测量准则，结合自己的以往测量经验，根据零件的工艺、功能或装配等方面的信息进行探针的组合及测量策略的制定进行该零件的测量并出具测量数据，这样即便可能有些测量数据与真实值产生一定的测量误差，但对于判定工件合格与否的测量任务也不会产生影响。

但是对于加工中心验收中机床加工能力指数 C_m 与 C_{mk} 评价上，由于买卖双方尤其是国外供应商在使用的测量设备、测量人员的测量习惯、测量策略等测量方案方面存在着差异，同时三坐标测量中没有固定的测量模式和标准，所以对公差带较小的 C_m 与 C_{mk} 评价结果影响很大。

笔者在组织发动机17条机加自动线加工中心验收测量工作经历中，在某机型的缸体在OP90加工工序 C_m 与 C_{mk} 评价阶段，分别进行了5次 C_m 与 C_{mk} 工件调整和加工，其中有个斜面的面轮廓度指标一直没有达到1.67的要求，供应商调试人员已经没有办法再对机床进行优化和调整，针对测量的重复性也经过了多次的验证，没有发现问题，最后通过双方测量工程师、调试工程师共同分析查找，发现需要四个位置的角度测量数据，通过计算后来优化

加工设备程序参数，此角度测量数据并不是评价参数，而只是调整机床需求的参数，此问题得到解决。

问题追溯：一道工序共历时50多天，经验分析中发现此工序的相关测量参数在供应商预验收调试报告中就有相关项目，但提供的预验收正式报告中没有此信息，测量工程师并没有得到相关信息，同时因前期没有足够全面的沟通，也不了解调试人员需求，这才导致问题的发生。

项目工程前期在测量设备、坐标系的建立，探针的组合、探测点数、测量速度、测量力、评价方法和测量项目需求等方面达成一系列的共同遵守的测量准则，将避免产生测量问题的纠纷，从而避免浪费很多不必要的资源。

达成测量方案的主要内容

测量设备信息：测量设备品牌、精度指标、软件版本等。

测量辅具信息：测量辅具的形式、工件摆放的姿态（各个工序）等。

测量信息：坐标系建立、测针的组合、测量策略（基本元素的测量规则：对于圆孔测量，不同公差要求孔的测量点数不同，扫描圆测量点数要求，平面测量点。评价内容要求：圆孔的评价、平面的评价、螺纹孔的评价）等。

测量综合评价：零件5次测量重复性、双方对同一个零件的测量比对等。

这些基础测量信息需要在技术协议讨论中进行专题的讨论并记录备忘，可以不纳入技术协议

的主体中。

测量信息的完善需要在预验收后和终验收前将信息的内容转换为实际的应用，经过测量综合测试评价后方可进行调试和验收的测量工作。

以V系列发动机缸体OP40工序测量信息收集为例，三坐标测量信息说明如下：

1.取点原则

在每个孔上选取几个截面，每个截面上打多少点（是否均布）：

（1）对于孔的取点：孔的直径大于25mm、孔深超过20mm的取点按两个截面均布6点选择。

（2）孔的公差带大于0.05mm，按均布8点选择，孔的公差带小于0.05mm，按均布4点选择。

（3）螺纹孔在螺距的方向上7点。

（4）对于阶梯孔取点：孔深不超过20mm的取点在不同直径上选一个截面8点。

（5）对于阶梯孔取点：孔深超过20mm的取点在不同直径上选两个截面4点，在阶梯深孔处选一个截面10点或两个截面10点（视孔深和测针长度、测头直径情况具体确定）。

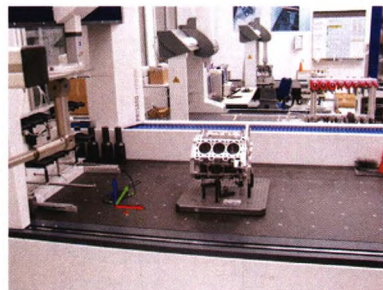
（6）对于面的取点：在一个平面上按5mm距离尽可能多均布采点。

（7）对于斜面上孔边缘的不规则平面，沿孔边缘在平面上均匀选4点。

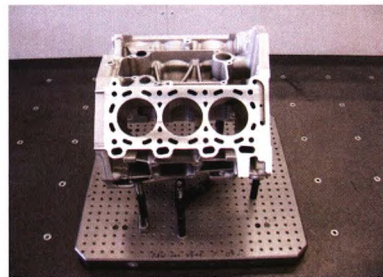
对这些点如何计算（平均值、最大值、均方根等）：对于点的评价为多点的平均值。

2.工件摆放（测量辅具的形式、测量探针的组合）

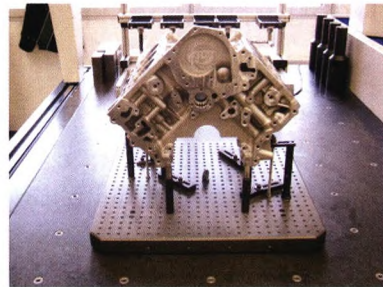
使用专用测量辅具摆放工件，具体摆放如图1所示。



(a)



(b)



(c)

图1 工件摆放状态

3.坐标系说明

坐标系说明如图2所示，原点、X轴、Z轴、Y轴示意如图1a所示，坐标原点在300孔上：一个截面，均匀8点；（300、301孔）；X轴：7×7正方形4点；Y轴：Y1、Y2处12×9矩形各4点；Z轴：Z1、（Z2）、Z3、Z4处12×6矩形各4点；Z2调整点；A面（见图3）：A1、A2、A3、A4处15×9矩形各4点。

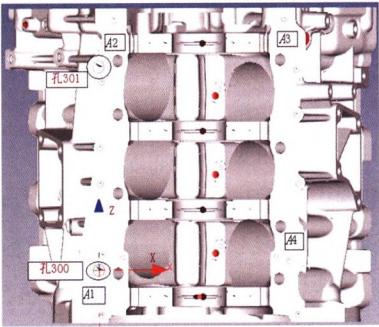


图2 坐标系说明

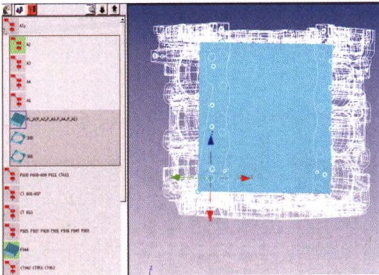


图3 A面说明

加工中心机床验收中
工件测量问题的分析与解决

以下案例是某项目缸盖6道工序在测量综合评价时，发现其中OP90工序比对数据偏差超出约定要求。这个项目的测量方案是测量三坐标使用同一品牌的，测量软件使用相同版本，测量程序使用预验收时供应商的测量程序（仅编程人员专用程序语句进行修改），测针组合、测量辅具及工件姿态完全参照预验收时的状态进行，但与供应商

提供的预验收中有测量数据的对标样件进行测量比对，比对的测量结果超出了约定要求。

对测量偏差的原因进行分析：

1.明确问题

双方测量对比结果超出了2/3公差带，具体如图4所示。

理想状态：6个对标样件双方测量数据之间偏差小于 1/10 公差带。



问题：双方测量对比结果超出了 2/3 公差带。

现状：对标样件双方测量数据之间最大偏差达到 1/3 公差带。

图 4

2.问题分解

工序工件共6个，每个测量工件5次重复性满足要求，在OP10~OP100工序中，6个比对工件中零件的比对数据在OP90气门座圈跳动和导管圆柱度项目上最大偏差达到1/3公差带，不满足要求（见图5、图6和表1）。

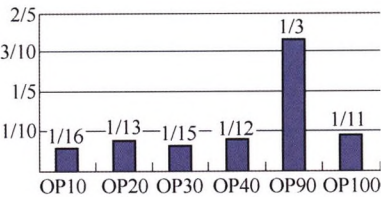


图5 样件测量数据对比最大偏差

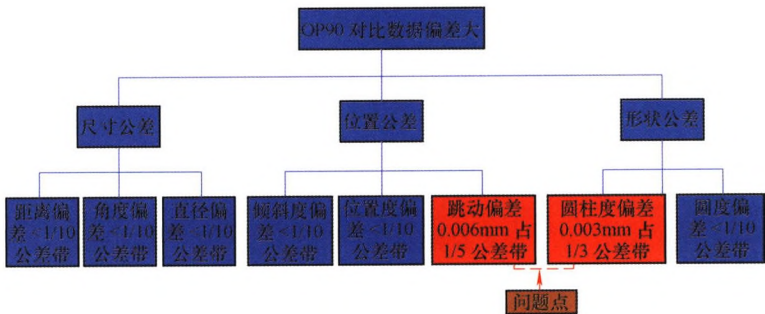


图6 OP90工序工件测量对比数据偏差

表1 测量数据偏差值和公差占比

项目		理论值	供应商实测值	买方实测值	偏差	公差占比
尺寸公差	基准面到座圈基圆距离/mm	9.4±0.1	9.406	9.408	-0.002	<0.005
	阀座锥角角度	(90±1) °	89° 25′ 33″	89° 21′ 46″	3′ 47″	<0.1°
	座圈基圆直径/mm	27.5±0.1	27.459	27.462	-0.003	<0.005
位置公差	导管与底面倾斜度	19° 30′ ±0.1°	19° 30′	19° 29′ 49″	11″	1/10
	气门导管位置度/mm	0.2	0.156	0.152	0.004	<0.005
	气门座圈跳动/mm	0.03	0.015	0.021	-0.006	1/5
形状公差	气门导管圆柱度/mm	0.01	0.005	0.008	-0.003	1/3
	阀座圆度/mm	0.015	0.006	0.0005	0.001	1/15

3.设定目标

2018年1月10日前将气门座圈跳动数据对比偏差降低到0.003mm，气门导管圆柱度数据对比偏差降低到0.001mm，满足1/10公差带要求。

4.把握真因

从人、机、料、法、环五个维度进行分析，因三坐标测头的型号不同，承载的测针组合的长度与重量有差异，导致相同的测针组合得到测量结果有偏差。真因1：测针球径小；真因2：连接杆细；真因3：配重不平衡，导致与供应商测量数据对比结果有偏差（见图7）。

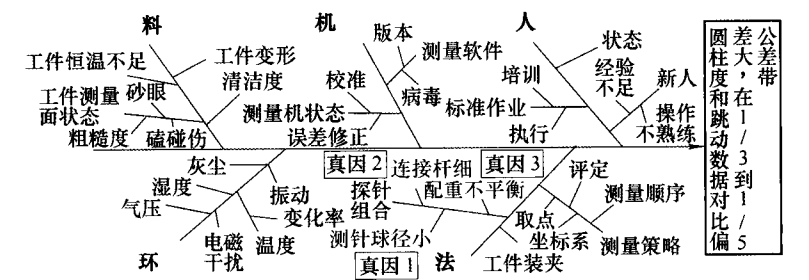


图7 真因分析

5.制定对策及实施

针对三个测量真因，从效果、成本、交货期、风险四个维度进行综合评价，最终选取三个性价比高的对策并实施，见表2。

6.评价结果及成果巩固

经过测量数据比对和5次重复性的验证（见表3），达成双方测量数据偏差小于1/10公差带，满足约定要求；缸盖机加生产线在后续的验收测量工

作未产生测量纠纷。总结经验并优化在现有的作业要领书中，对测量人员进行了分享，横展到其他测量工作中。

结语

在加工中心机床验收中工件测量问题相对复杂，解决起来费时费力，对于测量编程人员需要有丰富的测量经历和对零件加工工艺、加工中心的编程软件等有所了解，因此，大众、宝马、通用等动力总成企业将测量都打包给测量设备供应商（如蔡司、海克斯康等）交钥匙工程，也有在项目中直接由设备制造厂商购买三坐标测量机，在预验收和终验收中使用同一个测量设备和测量方案，这样很大程度上减少了买方的压力，但花费的成本很高，所以国内大部分动力总成企业还是凭自身的测量技术优势承担这部分工作，这就要求在项目开始及运行阶段计划周密，希望本文会对读者有借鉴和指导意义。

表2 制定对策及实施

真因	对策	效果	成本	交货期	风险	综合评价	效果确认
测针的测球直径小，杆径细，扫描时稳定性差	将φ3mm球径φ2mm×90mm杆径的测针更换为φ4mm球径φ2.5mm×80mm杆径的测针，提高扫描的稳定性	◎	△	○	○	○	◎
	将φ3mm球径φ2mm×90mm杆径的测针更换为φ5mm球径φ3mm×90mm杆径的测针，提高扫描的稳定性	△	△	○	△	×	—
连接杆杆径细，产生挠曲变形影响测量精准性	将φ11mm×100mm的连接杆更换为φ20mm×100mm的连接杆，减少挠曲变形	×	△	○	△	×	—
	将φ11mm×100mm转换φ20mm×40mm和φ11mm×60mm的连接杆组合使用，减小变形，提升重复性	◎	△	○	○	◎	◎
探针组配重不平衡，一头沉测量稳定性差	探针组的两侧对称使用相同的探针+连接杆进行组合，达到平衡	◎	△	×	○	×	—
	配重时使用电子天平称量对称测针组的组件，达到两端平衡	○	○	○	○	○	◎

表3 效果验证

测量项目	理论值/mm	HELLER实测值/mm	GA实测值/mm	偏差/mm	公差占比	效果评价
座圈跳动	0.03	0.015	0.013	0.002	1/15	◎
导管圆柱度	0.01	0.005	0.006	-0.001	1/10	◎