

气门阀座底孔深度测量方案设计及验证

李健巍,刘丁丁,张卫兵

潍柴动力股份有限公司,山东 潍坊 261061

摘要:为解决发动机气缸盖气门阀座底孔深度检测困难问题,对气门阀座底孔的技术要求进行详细分析,设计阀座深度测量方案及专用工具。测量工具由测量块、探针、螺钉、紧固套、千分表和标准块组成,以标准块U型槽的深度为基准,根据千分表指针的摆动距离计算阀座底孔深度。测量工具的测量系统分析(measurement system analysis,MSA)验证结果表明,量具的重复性和再现性符合要求,适用于阀座底孔深度的测量。该量具能快速准确地测量阀座底孔深度,结构简单紧凑,使用方便,满足生产线的检测效率和精度要求。

关键词:气缸盖;阀座底孔深度;测量;量具;MSA

中图分类号:TK406

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)02-0090-05

引用格式:李健巍,刘丁丁,张卫兵.气门阀座底孔深度测量方案设计及验证[J].内燃机与动力装置,2023,40(2):90-94.

LI Jianwei, LIU Dingding, ZHANG Weibing. Design and verification of depth measurement scheme for bottom hole of valve seat[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023,40(2):90-94.

0 引言

气缸盖安装在气缸体上,与缸套和活塞共同形成燃烧室,是组成发动机的重要零部件^[1]。气缸盖工作在高温高压环境中,承受较大的机械负荷和热负载。缸盖结构复杂,安装有进气门阀座、排气门阀座、气门导管等装置,并布设各类定位孔^[2]。由于气门阀座需先装配到缸盖阀座底孔后进行精加工,所以阀座底孔的加工质量直接影响到气门阀座的压装及加工质量。气门阀座加工不良,柴油机在工作过程中容易造成气门阀座脱落、气门与阀座密封不良等严重质量事故^[3]。目前常用的阀座底孔深度测量方式有深度尺测量和三坐标测量2种。深度尺的测量精度低,分辨力达不到阀座底孔深度测量所需的0.005 mm;三坐标测量法的测量时间长、成本高,在现有生产实践中,每天仅能测量1件气缸盖,测量频率不满足要求。因此,需要设计专用量具,提高阀座底孔深度测量的精度与效率^[4-5]。本文中对被测气门阀座底孔的技术要求进行详细分析,设计阀座底孔测量工具,并通过测量系统分析(measurement system analysis,MSA)对测量工具的重复性和再现性进行验证,确保满足测量精度和效率要求。

1 阀座底孔深度测量方案设计

1.1 阀座底孔测量

某气缸盖阀座底孔结构示意图如图1所示,图中单位为mm。由图1可知,阀座底孔的设计深度为 (10.050 ± 0.025) mm,以底面N为定位基准面。气缸盖阀座底孔使用Mapal复合铰刀加工。

阀座底孔深度是气缸盖加工工艺的关键参数之一,公差带 $T=0.05$ mm,则要求量具分辨力为 $T/10=0.005$ mm。目前,常用深度尺的分辨力为0.02 mm或0.01 mm,不满足测量要求。考虑使用千分表对阀

收稿日期:2022-10-05

第一作者简介:李健巍(1985—),男,辽宁鞍山人,工程师,主要研究方向为内燃机设计、制造及技术管理,E-mail:lijianwei@weichai.com。

座底孔深度进行测量,但单独的千分表无法对深度进行测量,因此需设计基准标准块,以标准块的深度为基准,根据千分表的指针摆动,计算阀座底孔深度。

1.2 量具设计

设计新量具测量阀座底孔深度,量具主要由主体部分和标准块 2 部分组成。量具主体由测量块、探针、螺钉、紧固套、千分表组成,如图 2 所示。紧固套起到保护千分表作用,防止螺钉直接压紧千分表,导致千分表损伤。紧固套放入测量块中,探针与千分表通过螺纹连接,再通过紧固套放入测量块内,探针伸出测量块约 11 mm,最后将螺钉拧紧,使量具主体部分整体坚固可靠。

测量块结构参数如图 3 所示,图中单位为 mm。测量块的设计符合人机工程学,便于操作者使用。测量块长度为 70 mm,与标准块长度一致;整体高度为 38 mm,上部宽度为 30 mm,适合操作者单手使用;宽度变化均采用圆弧连接,无棱边,保证操作者使用的舒适感。测量块以面 D 为基准面。对表时,测量块的面 D 与标准块的面 B、C 严密贴合,探针支撑在标准块面 A 上,转动千分表表盘对零。

标准块结构参数如图 4 所示,图中单位为 mm。标准块设计为 U 型槽结构,以面 B 为基准,深度(面 A 与面 B 的距离)为 (10.050 ± 0.005) mm,面 B 与面 C 同时加工,保证面 C 与 A、B 的平行度小于 0.005 mm。制作完成后,测量标准块面 A、B 间的距离,即 U 型槽的真实深度 x ,打刻在标准块上,以此深度作为基准计算阀座底孔的测量深度。为保证测量精度,面 A、B、C 的平面度设计为 0.005 mm。为减小对表时的误差,在面 A 两侧加工深约 1 mm 的退刀槽,面 A 对表时可使用的长度为 10 mm。

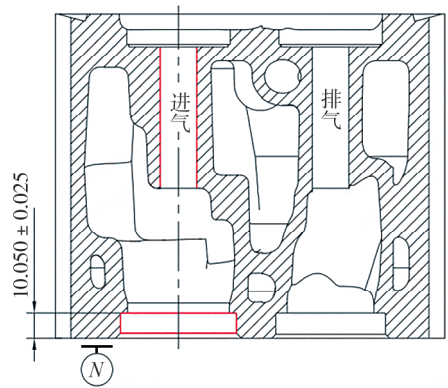


图 1 阀座底孔结构示意图

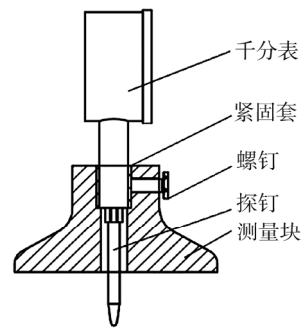


图 2 量具主体结构

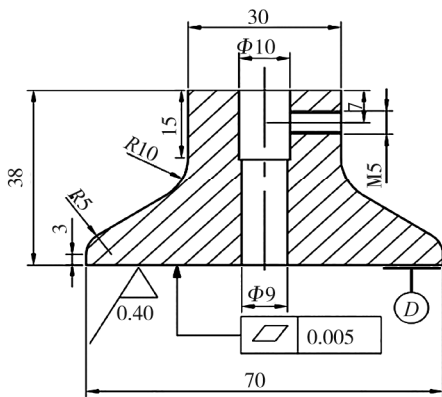


图 3 测量块结构参数

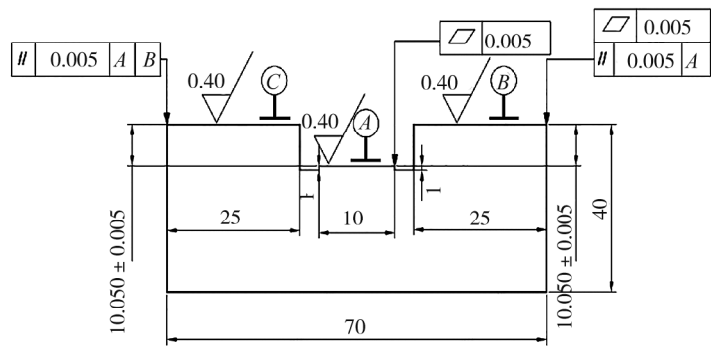


图 4 标准块结构参数

测量块、探针直接与气缸盖接触,标准块为对表基准,精度要求较高,选定材料为 T10A,属于碳素工具钢,耐磨与强度优秀,适用于制作量检具。测量使用面作抛光处理,粗糙度为 Ra0.4,非测量使用面作发黑处理。

1.3 测量方式

阀座底孔测量方式及测点示意如图 5 所示。

量具主体部分放置于标准块上,千分表校准。气缸盖放置于测量平台上,底面 N 朝上,确保阀座底孔

孔口无铁屑、毛刺。将校准的量具测量块基准面 A 与气缸盖底面 N 严密贴合, 探针与阀座底孔小平面接触, 阀座底孔深度测量转化为探针与工件的接触, 如图 5a) 所示, 观察千分表指针摆动情况。阀座底孔深度

$$H=x+0.001y,$$

式中: y 为千分表指针摆动距离, mm, 千分表指针顺时针摆动为负, 逆时针摆动为正。

通过计算结果判断阀座底孔深度是否符合设计要求。使用该量具测量时, 仅能测

量阀座底孔平面的 1 个点与气缸盖底面 N 的距离, 所以可在阀座底孔平面上选取如图 5b) 所示的 a 、 b 、 c 、 d 4 个点进行测量。在阀座底孔加工过程中, 因为刀具原因, 阀座底孔平面可被加工为斜面, 因此, 根据测得的点 a 、 b 、 c 、 d 距气缸盖底面 N 的距离, 可计算出阀座底孔平面的端面跳动值, 判断平面是否为斜面, 监控阀座底孔平面的加工质量。

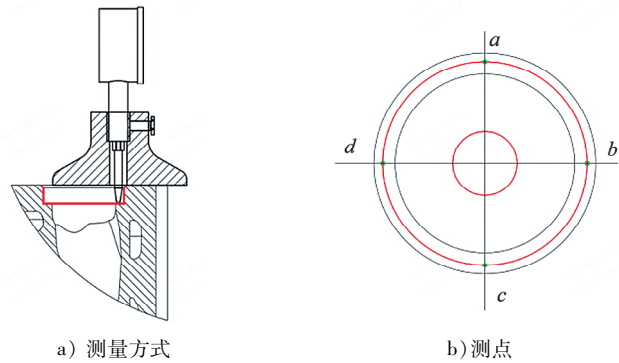


图 5 阀座底孔测量方式及测点示意图

2 MSA 验证

2.1 分析模型

MSA 主要用于对可能存在问题的测量方法的重复性、再现性等参数进行评估。重复性指测量仪器本身的变差, 再现性是指操作者不同引起的变差。测量重复性和再现性 (repeatability & reproducibility, R&R) 是反映测量质量的重要指标, 反映了测量结果的精密度, 即统计随机效应所致的分散性。分散性必须控制在一定的范围才能确保测量结果可靠^[6-8]。

重复性^[9-10]

$$\delta_{EV} = 6\sigma_e, \quad (1)$$

式中: σ_e 为测量过程中由于重复测量引起波动的标准差, μm 。

再现性^[9-10]

$$\delta_{AV} = 6\sigma_o, \quad (2)$$

式中: σ_o 为再现性标准差, μm 。

测量对象间的总波动^[9-10]

$$\delta_{PV} = 6\sigma_p, \quad (3)$$

式中: σ_p 是测量对象波动的标准差, μm 。

测量系统总波动^[9-10]

$$\delta_{TV} = \sqrt{\delta_{PV}^2 + \delta_{R\&R}^2}, \quad (4)$$

式中: $\delta_{R\&R}$ 为量具的重复性和再现性波动, $\delta_{R\&R} = \sqrt{\delta_{AV}^2 + \delta_{EV}^2}$ 。

在测量系统分析中, 利用测量对象波动的标准差和测量系统波动的标准差评价测量系统分辨力, 分辨力^[9-10]

$$n = \lfloor \sqrt{2} \frac{\sigma_p}{\sigma_{ms}} \rfloor, \quad (5)$$

式中: σ_{ms} 为测量系统波动的标准差, $\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2}$; $\lfloor \rfloor$ 为向下取整数。 $n > 5$ 时, 表明测量系统有足够的分辨力, 可以进行 R&R 分析。

评价测量系统能力的指标有 2 个: 1) 量具的重复性和再现性波动与测量系统总波动的比 θ_1 , $\theta_1 =$

$\delta_{R\&R}/\delta_{TV}\times 100\%$; 2) 量具的重复性和再现性波动与被测对象公差之比 $\theta_1, \theta_2 = \delta_{R\&R}/T \times 100\%$ 。测量系统能力判别准则^[11]如表1所示。

表1 测量系统能力判别准则

判别标准	判别结果
$\theta_1 \leq 10\%$ 且 $\theta_2 \leq 10\%$	测量系统能力很好
$10\% < \theta_1 \leq 30\%$ 且 $10\% < \theta_2 \leq 30\%$	测量系统能力可以接受
$\theta_1 > 30\%$ 且 $\theta_2 > 30\%$	测量系统能力不足, 必须加以改进

2.2 结果分析

制作标准块, 测得标准块 U 型槽真实深度为 10.05 mm。3 个操作者对 10 个气缸盖阀座底孔样本进行测量, 每个阀座底孔测量 3 次。量具千分表指针摆动距离测量结果如表 2 所示。

表2 千分表指针摆动距离测量结果

评价人	试验号	y/ μm									
		样本1	样本2	样本3	样本4	样本5	样本6	样本7	样本8	样本9	样本10
甲	1	1	-25	7	13	22	-14	2	11	-2	13
	2	3	-30	2	11	24	-13	6	12	0	7
	3	5	-29	8	6	23	-14	6	11	-1	12
乙	1	4	-31	4	9	26	-14	6	12	4	12
	2	5	-30	2	8	27	-9	7	11	-1	9
	3	6	-29	4	12	28	-11	6	15	1	14
丙	1	3	-28	8	10	31	-12	7	14	2	7
	2	6	-29	3	11	30	-8	8	14	3	14
	3	4	-22	2	13	30	-10	8	14	2	15

利用 Minitab 软件进行量具 R&R 分析和计算。由式(1)~(5)可得: $\sigma_e = 2.1614 \mu\text{m}$, $\delta_{EV} = 12.9682 \mu\text{m}$; $\sigma'_o = 1.1599 \mu\text{m}$, $\delta_{AV} = 6.9595 \mu\text{m}$; $\delta_{R\&R} = 14.72 \mu\text{m}$, $\sigma_p = 14.86 \mu\text{m}$, $\delta_{PV} = 89.1681 \mu\text{m}$; $\delta_{TV} = 90.3666 \mu\text{m}$; 且 $n=8$, 表明该测量系统具有足够的分辨力, 测量系统得到的数据能够较好地用于分析和控制过程。

经计算, $\theta_1 = 16.29\%$, $\theta_2 = 29.44\%$ 。 θ_1, θ_2 均小于 30%, 由表 1 可知, 该测量系统适用于气门阀座底孔深度的测量。

该量具制作成本低, 结构简单紧凑, 使用方便, 1 件 4 个气门阀座底孔的气缸盖的测量时间仅为 1 min, 适用于大批量加工测量的流水线。测量不同被测对象时, 更改标准块的深度基准, 并将测量块更改为合适大小, 该量具可推广至其他孔的深度测量。

3 结论

设计一种简单可靠的阀座底孔深度的测量工具, 采用千分表配合标准块对阀座底孔深度进行测量, 以标准块的深度为基准, 根据千分表的指针摆动距离计算阀座底孔深度。

1) 测量工具的 MSA 分析验证结果表明, 量具的重复性和再现性符合要求, 适用于阀座底孔深度的测量。

2) 该量具实际使用时,需至少测量4个点,因此可计算出阀座底孔平面的端面跳动值,检测阀座底孔小平面是否满足加工质量要求。

3) 该量具制作成本低,结构简单紧凑,使用方便,测量精度和测量效率高,适用于大批量加工测量的流水线。

参考文献:

- [1] 刘明. 环件轧制测量装置改进设计[J]. 机床与液压, 2017, 45(6): 105-108.
- [2] 袁小江. 高精度大尺寸机件的中心距测量检具设计[J]. 机械设计与研究, 2009(1): 93-95.
- [3] 刘旭. 汽车发动机缸盖排气座圈底孔深度检具设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(1): 145-146.
- [4] 王立岩, 唐加福, 宫俊. 统计过程控制在微电脑控制器生产中的应用: 案例研究[J]. 工业工程, 2009, 12(6): 122-126.
- [5] 余浩. 基于6Sigma和MSA方法改进车辆跑偏测试流程[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [6] 姚文辉. 基于六西格玛质量管理方法的大客户CPK优化设计和组装工艺研究[D]. 上海: 复旦大学, 2011.
- [7] 李东波, 栾玉庆, 田正玉, 等. 气缸孔止口倒角的便捷测量方法[J]. 内燃机与动力装置, 2023, 40(1): 81-84.
- [8] 成建军, 杨起林, 王睿晟, 等. 测量系统分析(MSA)对曲轴轴向夹检具测量能力改进的应用[C]//四川省汽车工程学会. 四川省第十六届汽车行业学术年会论文集. 成都: 四川省汽车工程学会, 2022.
- [9] 王玉霄. 测量系统分析(MSA)在汽车零部件行业的应用[J]. 金属加工(冷加工), 2022, (8): 16-18.
- [10] 何桢. 六西格玛管理[M]. 3版. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- [11] 邱晓军, 张坤. 基于MSA方法的计量标准分析与评价[J]. 仪器仪表与分析监测, 2022, (4): 32-36.

Design and verification of depth measurement scheme for bottom hole of valve seat

LI Jianwei, LIU Dingding, ZHANG Weibing

Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: To solve the difficulty in measuring the depth of the valve seat bottom hole in the engine cylinder head, a detailed analysis is conducted on the technical requirements of the valve seat bottom hole, and a valve seat depth measurement plan and special tools are designed. The measuring tool consists of a measuring block, probe, screw, fastening sleeve, dial gauge, and standard block. Based on the depth of the U-shaped groove of the standard block, the depth of the valve seat bottom hole is calculated based on the swing distance of the dial gauge pointer. The measurement system analysis (MSA) validation results of the measuring tool indicates that the repeatability of the measuring tool meets the requirements and is suitable for measuring the depth of the valve seat bottom hole. This measuring tool can quickly and accurately measure the depth of the bottom hole of the valve seat, has a simple and compact structure, is convenient to use, and meets the inspection efficiency and accuracy requirements of the production line.

Keywords: cylinder head; depth of valve seat bottom hole; measurement; measuring tool; MSA

(责任编辑:郎伟锋)