

发动机零部件孔径在线测量方法及其应用

□ 神龙汽车有限公司/叶宗茂

通过对目前发动机零部件制造现场广泛使用的五种孔径在线检测方法的特点、检测原理、测头机构、测量能力、测量精度、适用范围及使用注意事项等多方面综合性能的分析 and 比较，并结合被测产品特征及孔径的公差要求，给出了发动机零部件孔径在线检测方法的选用原则，对发动机零部件制造过程中孔径的质量保证具有一定现实意义和指导作用。

发动机零部件制造过程中孔径的加工和在线检测是一个难点，孔径加工偏大造成零件报废的数量较多，孔径的测量误判导致的批量质量事故时有发生。如何有效控制孔径的制造质量，避免误判导致的损失，孔径在线测量方法和测量器具的选择是关键。

大批量生产的发动机零部件制造现场广泛使用的孔径在线测量方法有五种，分别是光滑极限塞规、三爪内径塞规、带表塞规、电子塞规和气动塞规，每种测量方法都有其显著特点和合适的应用场合。

光滑极限塞规特点及应用

光滑极限塞规是一种没有刻线

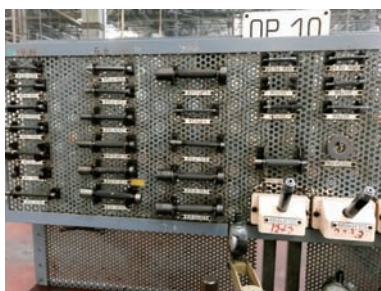
的孔径专用量具，它不能确定零件孔的实际尺寸，只能判定零件合格与否。因结构简单，制造容易，使用方便，并且可以保证零件在生产中的互换性，广泛应用于成批大量生产的发动机零件制造现场。

光滑极限塞规的通规是根据孔的最小极限尺寸确定的，作用是防止孔的作用尺寸小于孔的最小极限尺寸；止规是根据孔的最大极限尺寸设计的，作用是防止孔的实际尺寸大于孔的最大极限尺寸；国家标准《极限与配合》中的极限尺寸判断原则是塞规设计的重要依据，GB/T1957—2006《光滑极限量规》推荐了塞规的结构、形式设计标准。

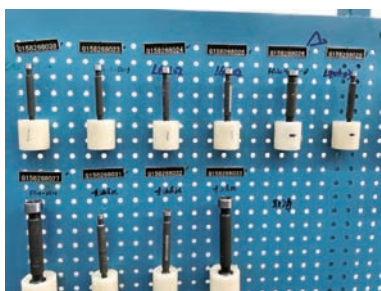
光滑极限塞规的检测精度为

$\pm 0.002\text{mm}$ ，为了降低光滑极限塞规误判产品质量的风险，通规的测量面应是和孔形状相对应的完整表面，止规的测量面应是点状的；检验使用时，通规能穿过孔，止端应该从被检孔的两头进行检验，且在沿周围均匀分布的2~3个径向截面内塞入；检验孔径时用力要适当；在大批量生产的现场，根据塞规使用的频次，应采用较短的校准周期，一般不超过3个月。

光滑极限塞规是零部件制造现场使用最广泛的孔径在线检测量具，其使用数量占在线孔径测量器具的50%以上，图1为广泛配置在发动机缸体、缸盖制造现场用于工序检测的光滑极限塞规。



(a) 用于缸盖生产现场孔径检测的极限塞规



(b) 用于缸体生产现场孔径检测的极限塞规

图1 配置在发动机零部件制造现场的孔径在线检测的光滑极限塞规

三爪内径塞规特点及应用

三爪内径塞规，采用三爪定心，其内部具有换向、轴向滑动、径向伸缩等结构，测量范围可达5~10mm，最大极限误差 $\pm 0.003\text{mm}$ ，适合检测公差 $\geq 0.05\text{mm}$ 的孔径。三爪塞规扩展设计后，能实现其他类型塞规无法测量的孔径，如内沟槽孔径、内花键孔和齿套孔底径等。

三爪内径塞规虽然适用性很好，移动灵活，但测量效率不高，人为因素影响较大，仅适用于静态测量，一般用于零件特殊部位的孔径测量，如图2所示的缸体曲轴孔内的油槽孔径的检测，由于曲轴孔油槽凹陷、周围有障碍，且宽度不足4mm，只能采用三爪内径塞规检测。



图2 三爪内径塞规在线检测缸体曲轴孔油槽直径

为了提高三爪内径塞规的测量效率，减少人为因素的影响，目前在零部件制造现场出现的如图3所示的枪式三爪内径数显塞规得到广泛使用，其效率有所提升。



图3 枪式三爪内径数显塞规

带表塞规特点及应用

带表塞规，如图4a所示，其显著特点是具有自动定中心功能，适合静态和动态测量，结构简单、经济实用、扩展性能好，检测速度快，对操作者要求低，没有电线和气管，现场移动方便，如图4b所示。

其检测原理和结构如图4c所示，通过一支锥形针芯探针将测头的横向运动转换为轴向运动，再通过传导杆传递到千分表上将结果显示出来，导向套的作用保证了测量精度和操作的可靠性。

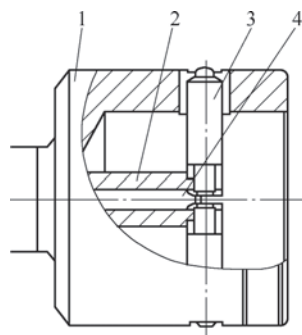
带表塞规测量范围可达到1~1.1mm，插入间隙可达0.2mm，重复性精度可达 $1\mu\text{m}$ ，可测量孔径范围为 $\phi 3\sim 270\text{mm}$ ，性价比非常高。其显示部分有三种形式：指针



(a) 带表塞规



(b) 带表塞规在缸体制造现场的应用



(c) 带表塞规结构原理图

图4 带表塞规及其应用

1.导向套 2.弹性体 3.测子 4.合金探针

式（度盘式）量表、数显式量表和笔式传感器，带传感器和数显箱或电子柱的也可以称作电子塞规。

电子塞规特点及应用

电子塞规是高精度机械原理与电子测量技术相结合的孔径量仪，采用数显机构或电子柱，读数方便可靠，是零部件制造现场应用较广泛的高精度孔径在线测量工具之一。

电子塞规采用两个硬质合金测头进行接触测量，其检测原理和结

构如图5a所示,由塞规体、专用导套和硬质合金测头等组成,塞规体内置铰链机械结构和电感传感器。这种结构的特点是量程大,可达1~2mm,测量范围宽,一般为 $\phi 6\sim 130\text{mm}$,测量精度高,综合测量误差小于0.001mm,专用导套保证了测量时的间隙、导向和定心,测量孔径准确、可靠、耐用,机械式铰链剔除了传统的滑动摩擦副所带来的危害,重复性精度可达到0.001mm。

电子塞规工作时有比较大的插入间隙,可以方便快速插入,容许测头存在较大的磨损。图5b是电子塞规在发动机零部件制造现场的应用。



(a) 电子塞规及铰链机械结构



(b) 电子塞规在发动机零部件制造现场的应用

图5 电子塞规及其应用

无线手持式电子塞规的出现使得电子塞规高精度、高效率、测量数据可存储、插入间隙大和移动方

便的优点更加突出。如图6所示,无线手持塞规采用TFT液晶显示,无电缆设计使测量不再受电缆长度和布线路径的束缚。数据存储、无线传输、无线充电、彩屏显示及坚固耐用的外壳设计和ZigBee通讯确保其在复杂的生产车间也能保持测量结果准确可靠。



(a) 无线手持电子塞规



(b) 无线手持式电子塞规在零部件制造中的应用

图6 无线手持式电子塞规及其应用

气动塞规特点及应用

气动塞规是大批量、高精度、高要求的发动机零部件孔径在线检测工具的首选。

气动塞规测量原理是基于流量和压力都与间隙的大小成比例关系,同时压力和流量相互之间成反比例关系。当流量增大或减小时,可以准确测量喷嘴孔与障碍物之间的间隙变化,也就是测头到被测零件表面的间隙变化,同样,背压增大或减小表明了测头喷嘴与工件间的间隙值。

气动塞规主要特点是可进行不接触测量,适用于对一些容易变形或容易损坏表面的孔径进行测量;对周围环境要求较低,对振动不敏感,不怕电磁波的干扰,不受被测表面上的切削液、油类、灰尘的影响,因此在动态和自动测量中得到广泛的应用,如图7所示。



(a) 检测缸盖凸轮轴孔径



(b) 检测缸体总成孔径



(c) 检测离合器壳总成孔径

图7 气动塞规在发动机零部件制造中的应用

气动塞规综合示值误差可低于0.5 μ m，长时间工作可靠，读数容易，操作简便。

气动塞规量程小，最大测量范围只能达到±0.1mm，插入间隙小，一般为0.01~0.015mm，测量精度受喷嘴下沉量以及初始测量间隙影响，测量结果受被测孔径表面粗糙度影响。

零部件孔径在线测量仪器综合性能比较

发动机零部件制造现场五种孔径在线测量方法的实物表现是5种不同结构的塞规，其综合性能比较见下表。

发动机零部件制造现场五种在线孔径测量仪器性能比较					
(单位：mm)					
测量方法	光滑极限塞规	三爪内径塞规	带表塞规	电子塞规	气动塞规
测量原理	极限判定原则	机械机构驱动	两点机械式	两点机械式	缝隙流
结构	圆柱	三爪伸缩	斜楔针	弹性铰链	气动测头
测量方式	接触测量	接触测量	接触测量	接触测量	非接触测量
量程	被测孔径大小	5~10	1~1.1	1~5	±0.1
插入间隙	被测孔径公差	10	0.2	0.2	0.01~0.015
重复性精度	/	0.003	0.001	0.0005	0.0005
测量精度	0.002	0.003	0.001	0.001	0.0005
可测孔径	φ 1.6~ 320	φ 6~ 100	φ 7~ 270	φ 6~ 130	φ 3~ 120
便携性	✓	✓	✓	×	×
价格	低廉	较低	低	较高	高
寿命	短	较长	长	长	长
适用环境	广	较广	较广	静电环境	复杂环境
动静态测量	静态测量	静态测量	静、动态测量	静、动态测量	静、动态测量
能源消耗	无	无	无	电	气+电
应用范围	广	较广	较广	广	广
故障率	低	较低	低	高	低

孔径在线检测方法的选用原则

发动机零部件生产制造过程中，科学选择零件孔径在线测量方法非常重要，要综合考虑，统筹安排。首先要了解产品各类孔的功能、公差要求及加工工艺；其次要了解项目潜在失效模式分析即FMEA；第三必须正确了解目前广泛使用的五种在线孔径测量方法特点、测量能力、测量精度、测量范围、使用寿命、使用环境、故障率及经济性，同时要综合考虑操作、效率和维修的方便，确保孔径在线测量方法的准确、高效。

通过表1的分析比较和长期的零部件制造过程中的应用实践，逐渐探索出了一套在线孔径检测方法的选用原则。

(1) 公差等级高于IT8级的孔如IT6、IT7级的孔，测量数据需要上传、保存及需要进行SPC分析的孔径，在线主动测量的孔径优先选用气动塞规和电子塞规。

(2) IT8公差等级的孔径在线测量从效率和经济性上考虑建议采用带表塞规。

(3) IT9级及以上的孔径测量、工序间检测、自由公差的孔径测量可以选择光滑极限塞规。

(4) 量程要求大、插入间隙大、精度要求高的孔径在线测量优先选用电子塞规。

(5) 量程要求大、效率高、通用性和经济性好以及特殊部位的孔径测量可以选择三爪内径塞规。

(6) 要求移动方便，测量准确，可兼顾多个工位的孔径在线测量，建议选用带表塞规。

科学合理的选择孔径在线测量方法，有助于提高发动机零部件的制造精度和装配效率，确保产品质量，降低制造成本，提高发动机性能。

结语

随着发动机零部件制造技术的发展，以及智能制造和无人工厂的出现，孔径在线检测技术越来越依赖于数字化、高精度、高可靠性的电子塞规和气动塞规，三爪内径塞规、带表塞规及光滑极限塞规的应用将主要集中在非精密零件、非金属零件、异性零件和小批量多规格的产品及特殊孔径，如台阶孔、盲孔、齿套孔和花键孔的测量。未来孔径在线测量方法必将向更高效率的光学测量技术和坐标测量技术上发展。**AUTO1950**