

珩磨技术在氢能发动机领域的技术探索与应用

杨永修, 陈维通, 王乐, 丁园, 张兴野, 韩琦

中国第一汽车股份有限公司研发总院 吉林长春 130000

摘要: 深入探索了氢能发动机缸孔珩磨找正技术, 分析传统技术在珩磨上的短板和不足, 介绍新型技术的原理、特点和应用优势, 并通过试验验证其有效性和可靠性。通过实际案例和试验数据, 论证该技术在提高氢能发动机缸孔加工精度、效率和质量方面的显著优势。此外, 对其未来发展趋势进行展望, 为氢能发动机制造领域的技术进步提供重要参考。

关键词: 氢能发动机; 缸体; 珩磨; 快速转换夹具; 缸孔找正

1 序言

发动机作为现代汽车工业的核心部件之一, 其性能和质量直接影响整个汽车的运行效率和可靠性。而发动机缸孔的加工精度则是决定发动机性能的关键因素之一。氢能发动机缸孔珩磨找正技术作为缸孔加工过程中的重要环节, 对于保证缸孔的尺寸精度、形状精度和表面质量起着至关重要的作用。在新产品试制中, 氢能发动机缸体种类多, 需要频繁地更换缸体种类和安装夹具, 严重影响氢能发动机缸体缸孔的圆度、圆柱度以及位置度, 同时降低了产品的试制效率。随着科技的不断进步, 传统的缸孔珩磨找正技术已经难以满足现代发动机对高精度、高效率和高质量的要求。因此, 探索氢能发动机缸孔定心及珩磨找正技术具有重要的现实意义。

2 氢能发动机缸孔珩磨找正技术的探索

珩磨是利用珩磨头对工件表面进行加工。珩磨头上装有若干油石, 在珩磨机的带动下, 珩磨头旋转并作往复直线运动, 使油石上的磨粒对工件表面产生切削、挤压等作用, 去除工件表面的微小余量, 从而提高工件的尺寸精度、形状精度和表面质量。该工艺在汽车制造、航空航天及机械制造等众多工业领域广泛应用。例如汽车发动机的气缸套、活塞环槽等零部件的加工, 通过珩磨来保证其高精度和良好的表面性能, 提高发动机的动力性能和使用寿命。使用珩磨机对发动机缸体缸孔进行珩磨,

与其他的加工工艺相比可以获得较高的表面加工质量。在进行珩磨的过程中, 需要对缸孔的中心进行找正。

2.1 珩磨找正精度的重要性

珩磨是氢能发动机缸孔精加工的关键工艺。找正精度直接关系到珩磨工具与缸孔的相对位置准确性。如果找正精度不足, 会导致珩磨余量分布不均匀。例如, 在珩磨过程中, 珩磨头可能会偏向一侧, 使得该侧的材料去除量过多, 而另一侧去除量过少, 进而导致缸孔的多项尺寸精度超差。

2.2 对缸孔圆柱度的影响

(1) 形状偏差 找正精度误差会导致缸孔圆柱度超出公差要求范围。理想的缸孔圆柱度是保证活塞与缸壁之间良好密封性和润滑性的基础。精度不够, 缸孔会出现局部的凹陷或凸起, 活塞在缸孔内运动时, 因间隙不均匀会导致磨损加剧、动力损失以及燃油经济性下降等现象出现。

(2) 尺寸精度 精度低将影响缸孔的最终尺寸精度。由于找正精度低, 珩磨后缸孔的直径尺寸在圆周方向上出现偏差, 导致活塞与缸孔的配合间隙不符合设计要求。间隙过大使发动机动力输出减弱、机油消耗增加; 间隙过小引起活塞与缸壁的过度摩擦, 甚至出现卡死现象。

2.3 对缸孔表面粗糙度的影响

找正精度低使磨头在缸孔内的运动轨迹不稳定。正常情况下, 精确找正后的珩磨可以使缸孔表

面获得均匀合适的表面粗糙度,有利于油膜的形成。找正精度低使表面产生划痕、振纹(见图1)等质量缺陷。这些质量缺陷会破坏缸孔表面的油膜附着能力,使得活塞与缸壁之间的摩擦和磨损增大,同时影响发动机的散热性能。



图1 缸孔表面产生振纹

2.4 对缸孔位置精度的影响

(1) 同轴度 虽然珩磨机床主轴刀杆两端的万向十字头能够在一定程度上解决工件孔与机床主轴不同轴的问题,但对工件孔找正要求严格仍有重要原因。

1) 精度: 万向十字头只能补偿一定范围的偏差,如果初始工件孔位置偏差过大,即使有万向十字头,也很难保证珩磨后工件达到高精度要求。比如一些精密机械零件,如航空发动机叶片的安装孔,需要极高的尺寸精度和几何精度,稍微大一点的初始偏差就可能导致加工后的零件不符合质量标准。

2) 稳定性和均匀性: 严格找正工件孔可以确保在珩磨过程中,刀具对工件孔各个部位的切削力分布更加均匀。找正不严格,在加工过程中会出现部分区域切削量过大或过小的情况,影响孔壁的表面质量和圆柱度等几何公差。例如在汽车发动机的气缸孔珩磨中,不均匀的切削可能导致缸孔圆柱度超差,从而影响活塞与缸孔的配合,增加油耗和降低发动机性能。

在多缸氢能发动机缸孔珩磨过程中,缸孔之间的同轴度至关重要。珩磨找正精度低导致各缸孔的中心线偏离设计位置,使各缸活塞连杆机构的运动协调性变差,引起氢能发动机工作时的振动和噪声增大,长期运行使发动机内部零件疲劳损坏^[1]。

(2) 垂直度 缸孔与氢能发动机缸体底面或其他基准平面的垂直度出现偏差,影响氢能发动机多个方位的垂直度。在安装缸盖等部件时,会出现密封不严的情况,导致漏气、漏水等问题,从而降低氢能发动机的性能和可靠性。

3 传统发动机缸孔定心及珩磨找正技术的局限性

(1) 传统定心技术的不足 传统的发动机缸孔找正技术主要采用机械定心方法,如芯轴定心、百分表分中等。该方法一定程度上能够满足缸孔定心的要求,但具有精度低、稳定性和适应性差等问题。例如,芯轴定心需要根据不同的缸孔尺寸选择合适的芯轴,而且芯轴的制造精度和安装精度对定心精度影响较大,严重影响加工后缸孔的圆度、圆柱度等精度。发动机缸孔圆度、圆柱度检测报告如图2所示。

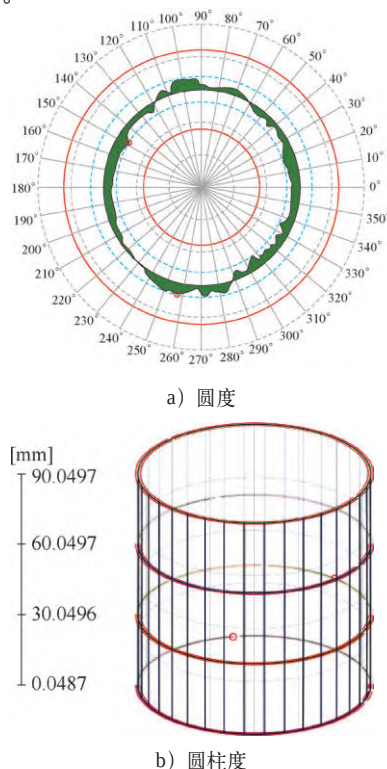


图2 发动机缸孔圆度、圆柱度检测报告

(2) 传统珩磨找正技术的缺陷 传统的珩磨找正技术主要依靠人工经验进行调整,精度难以保证,效率低。在发动机缸孔珩磨过程中,操作人员需要通过观察珩磨头与缸孔的接触情况,手动调整珩磨头的位置和角度,实现发动机缸孔珩磨找正。该方法对操作人员的技术水平要求较高,而且容易受到人为因素的影响,导致珩磨找正精度不稳定。

此外,传统的珩磨找正技术还存在着调整时间长、效率低等问题,难以满足发动机生产的高效率要求。

为解决上述技术难题,提高氢能发动机缸孔珩磨精度和试制加工效率,对氢能发动机缸孔珩磨找正技术进行探索与应用。

4 全新珩磨找正技术

根据单轴数控珩磨机主轴结构特点,珩磨机床主轴轴线、主轴刀杆轴线和珩磨头刀具轴线同轴,如图3所示。由于加工坐标系的设定是为了建立单轴珩磨机床主轴与缸孔中心之间的位置关系,因此,可以间接转化为珩磨头轴线与缸孔中心的位置关系。结合珩磨头刀具胀舒原理设计定心装置,使该定心装置轴线与主轴刀杆、机床主轴同轴,从而确定珩磨刀具轴线与缸孔轴线的位置关系。

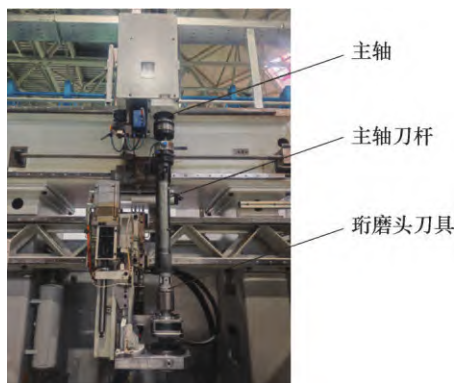


图3 主轴轴线、主轴刀杆轴线和珩磨头刀具轴线同轴

找正装置具体介绍如下。

1) 装置结构。通过柔性弹簧将本装置上体与下体相互连接,同时滚珠在X、Y轴线两端起到定位的作用,从而保障上下两体的同轴度,将装置胀舒条与装置胀舒条槽相配合,利用胀舒弹簧达到胀舒条胀舒的状态。通过导向器的锥角,使本装置下体进入缸孔中,下体中滚珠与上体球窝进行分离,使本装置上体与下体发生偏移(偏心),使在X、Y方向的百分表产生数值,用六角扳手旋转X、Y调节盘,使胀舒条进行胀舒,将胀舒条与缸孔内壁相贴合,目的是使下体与缸孔中心同轴,如图4所示。

2) 装置工作原理。装置内部胀舒原理如图5所示,通过旋转X、Y调节盘带动内部结构中胀舒杆,使其向上提拉与胀舒条产生错位挤压,达到胀舒效果。

3) 工艺实施方法。①装置安装:首先利用延长

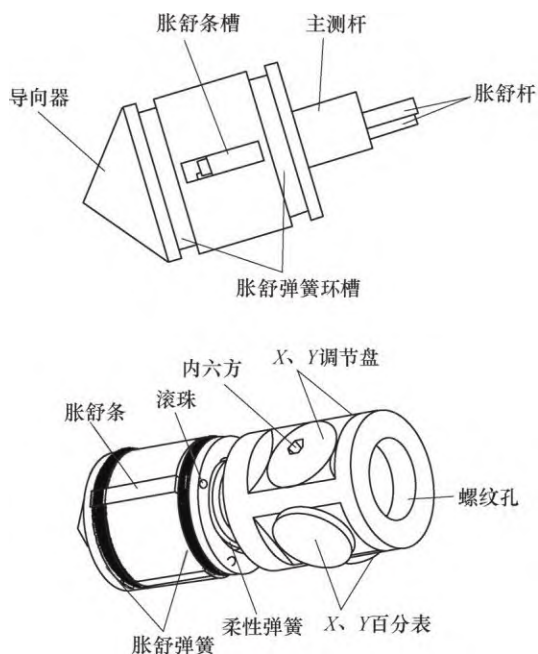


图4 装置结构

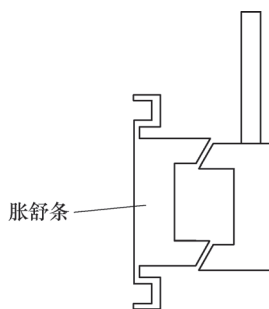


图5 装置内部胀舒原理

杆两端将本装置与机床设备刚性联接。具体方法:将延长杆的一端通过卡扣悬挂的方式与主轴连接,然后将延长杆带有外螺纹的一端与本装置螺纹孔进行螺纹联接。②校准找正:上述过程结束后,将本装置进行校准找正,使本装置主体与机床主轴同心同轴。因本装置简单分为上体和下体两个部分,上体与主轴刚性连接确保了本装置上体与主轴的同轴度,所以只需保证装置下体与装置上体同轴。具体方法:本装置上体跟下体通过上述柔性弹簧同心相互连接,柔性弹簧有柔性、弹性。通过滚珠在装置下体X、Y的轴线两端进行定位,主要原理为通过滚珠与装置上体球窝相配合,通过限制X、Y方向的移动来保证同轴度。将上述X、Y两处百分表调至零位。③主轴配合测量:通过主轴移动配合本装置完成测量、找正任务。具体方法:将主轴移动至缸孔上方,下降主轴,利用本装置导向器的锥角将本装置下体下降至缸孔内,此刻X、Y方向百分表数值产

生变化,通过X、Y调节盘精准地找正孔中心,完成测量。④确定孔中心位置:上述步骤完成后,观察X、Y方向百分表位移量,同时根据百分表偏移的方向(顺/逆时针)来确定数值的正负,确保缸孔中心的位置精度。装置找正流程如图6所示。

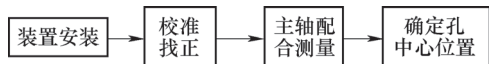


图6 缸孔装置找正流程

在线测量与反馈控制是全新珩磨找正技术的关键。在珩磨加工过程中,通过在线测量系统实时监测缸孔的尺寸、形状和表面质量等参数,并将测量结果反馈给数控系统。数控系统根据反馈信息自动调整珩磨参数,以保证缸孔的加工精度和加工质量。在线测量与反馈控制技术能够实现珩磨加工的自动化和智能化,提高氢能发动机缸体珩磨加工效率和质量。在线测量系统实时监测如图7所示。



图7 在线测量系统实时监测

数控系统是全新珩磨找正技术的核心。数控系统可以实现珩磨头的精确运动控制、加工参数的自动调整、在线测量与反馈控制等功能。在数控系统设计中,需要考虑系统的稳定性、可靠性和编程的灵活性等问题,以满足不同类别氢能发动机缸体的加工需求^[2]。

自动化定心装置是实现缸孔定心的关键装置。自动化定心装置需要根据测量结果自动调整缸孔的位置,使缸孔与加工设备的主轴保持同心。在自动化定心装置设计中,需要考虑装置的精度、速度和稳定性等问题,以确保定心精度。缸孔找正装置如图8所示。

该方法在缸孔定心精度、珩磨加工精度和表面质量方面均明显优于传统技术。将缸孔的直径公差控制在更小的范围内,圆度和圆柱度误差降低。此外,加工后的缸孔表面粗糙度更低、表面质量更好、精度更高。应用后,利用发动机缸孔网纹检测

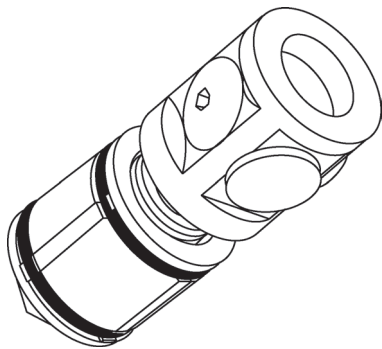
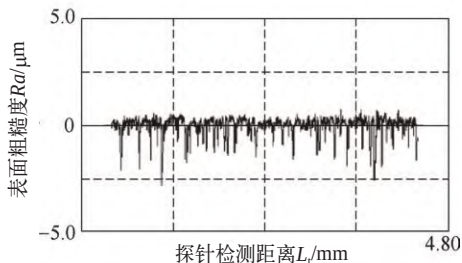
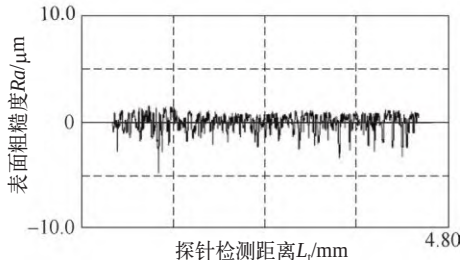


图8 缸孔找正装置

仪,在ISO 11562标准下, $\phi 0.8\text{mm}$ 的探针在一定的行程范围内以 0.5mm/s 的速度对缸孔进行检测,检测报告如图9所示。



a) 报告1



b) 报告2

图9 应用后缸孔检测报告

5 氢能发动机缸体多类别夹具快速转换技术探索与应用

氢能发动机缸体夹具为组合式搭建结构,由定位底板、定位销、柔性压板、固定锁紧销和若干个螺栓组成。适用于多种类,小批量试制生产。虽然缸体种类多,但缸体结构相似,计算每种缸孔定位销孔与回转中心之间的位置关系,将数据进行整合,解决多种类夹具切换周期长等问题,使加工技术与工艺设计合理化,减少工装调整时间和工序等待时间,可大幅度提高生产效率。

工作台设计前期,根据单轴数控珩磨设备各坐标轴行程范围来制作回转定位底板,回转底板目的

是在加工V形缸体时进行翻转角度，在底板上根据回转中心计算出定位销孔位置并进行精准加工，螺栓孔数量根据缸体夹具底板孔数确定，目的是通过螺栓将夹具底板与回转定位底板进行固定，使氢能发动机可以稳定地进行旋转。回转定位底板如图10所示。

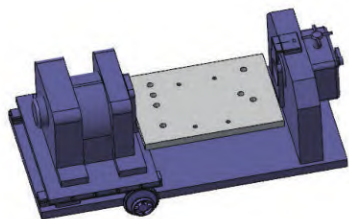


图10 回转定位底板

为解决氢能发动机夹具种类多样、夹具切换效率低等问题，将发动机夹具设计成模块化组合方式，每个模块可以独立进行调整和更换。在转换夹具时，只需更换相应的模块，即可适应不同的发动机型号，大大提高了换装效率。

在V形缸体珩磨过程中，需要将工作台旋转 α 角度。由于V形缸体体积大，质量大约80kg，所以在工作台摆角过程点压力不够，导致缸体从台面翻转，磕伤工件或损坏设备。

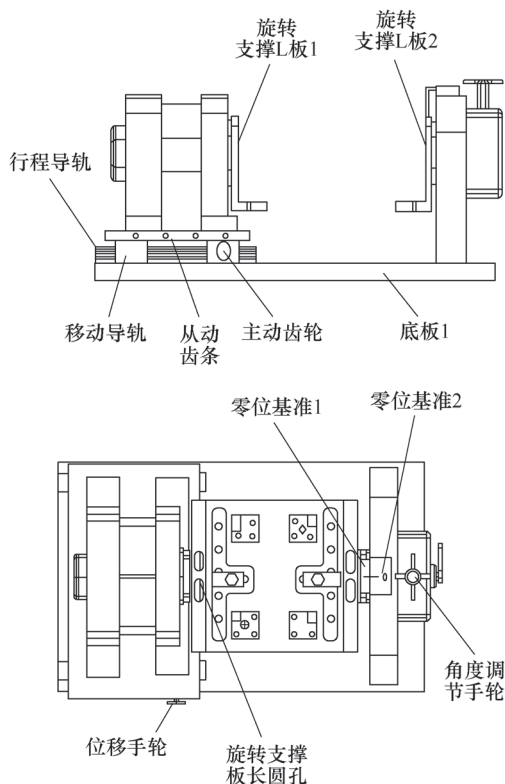


图12 快速转换夹具结构

围绕缸体夹具的多机型相互转换这一场景，分析每种机型夹具的特点、工件之间的位置关系以及回转中心的确定，建立三维数据模型，针对V型发动机缸体翻转问题，设计并制造出20余套柔性夹具，提高转换效率和位置精度，在7款氢能发动机缸体珩磨工序之间的切换做到无缝衔接。快速转换夹具主体如图11所示，通过高精度的传感器和控制系统，实现夹具的自动定位和调整，减少人工干预，提高了定位的准确性和稳定性。

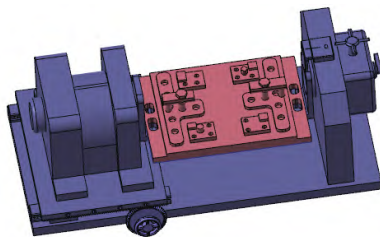
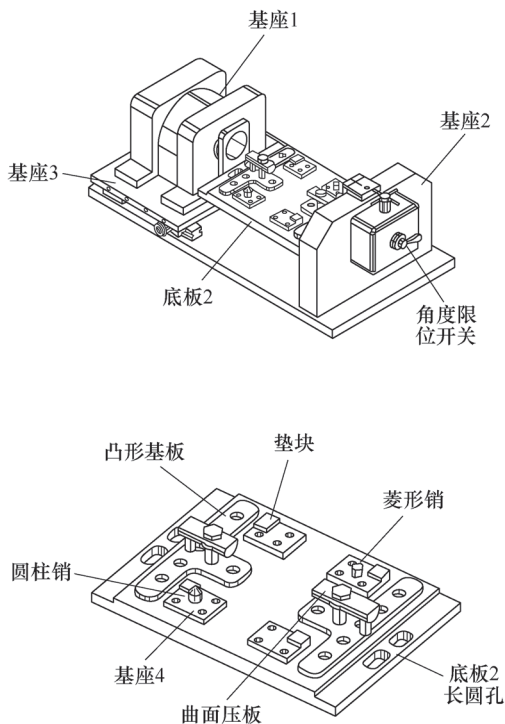


图11 快速转换夹具主体

(1) 快速转换夹具装置 结构如图12所示。

(2) 快速转换夹具工作原理 通过螺栓固定使行程导轨与底板1进行紧固联接，基座3与移动导轨联接，移动导轨与行程导轨滑动配合，螺栓将基座1与基座3联接，将从动齿条通过螺栓紧固在基座3上，与主动齿轮配合，旋转位移手轮使主动齿轮旋



转带动从动齿条,使基座3上的基座1进行移动。加工长度比较长的缸体时,可以根据缸体长度来移动上述基座,旋转支撑L板1与基座1上的旋转轴相联接,旋转支撑L板2与基座2相联接,上述两个旋转支撑L板上旋转支撑板长圆孔与底板2上长圆孔相联接,并且使上述底板2与旋转轴处于同一旋转轴线,基座2中旋转轴上的零位基准1与基座2上的零位基准2通过校准线进行校正。角度调节手轮带动底板2,底板2带动旋转支撑L板1旋转,使旋转支撑L板1、旋转支撑L板2、底板2沿同一旋转轴旋转。角度限位开关目的是控制旋转 α 角后将旋转轴锁紧,防止转动产生误差。

如图13所示,通过螺栓联接两块凸形基板并固定在底板2上,曲面压板材质为聚酰胺塑料,通过螺栓与螺纹孔相联接,与缸体的主轴承孔相配合同时进行紧固,达到了柔性装夹的效果。基座4固定在底板2上,垫块紧固在基座4上,使垫块处于同一水平,在缸体进行装夹时起到水平支撑作用,圆柱销与菱形销通过与缸体底面销孔配合,解决缸体珩磨加工定位问题。

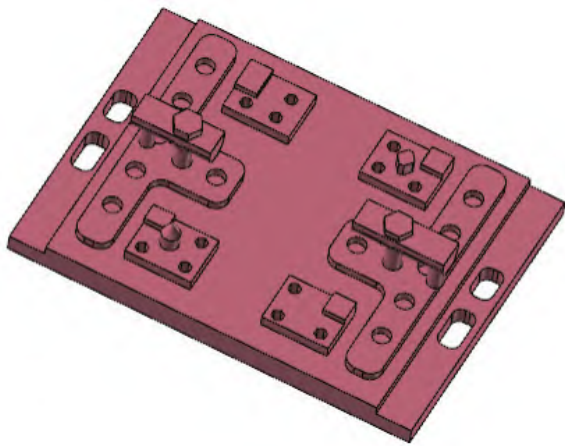


图13 快速转换夹具三维图

回转夹具回转后位置精度通过以下几种方式来保证。

首先是设计精度。在设计快速转换夹具底板时,精确规划回转中心与工件定位基准的相对位置^[3]。例如,将回转中心与用于定位工件孔的定位销中心设计在同一轴线上,且尺寸公差控制在极小范围,一般可达到 $\pm 0.01 \sim \pm 0.03\text{mm}$,以此确保初始安装时工件与回转中心的相对位置精度。

其次是制造精度。快速转换夹具底板的制造过程很关键,其回转支承面要平整光滑,平面度可控制在 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 。对于回转轴,要保证其圆柱度和直线度,圆柱度误差可控制在 $0.003 \sim 0.008\text{mm}$,以减少回转时的跳动。同时,底板上的定位元件(如定位销或定位块)的位置精度也要严格把控,位置度公差可设为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02\text{mm}$ 。

再者是装配精度。在装配过程中,要采用合适的装配方法保证精度。比如使用工装进行装配,确保回转机构与底板主体的安装精度。并且在装配后,对整个回转底板进行精度检测,使用三坐标测量仪等设备检查工件定位基准与回转中心的同轴度和垂直度等位置精度,若有偏差及时调整。

最后,校准与补偿也很重要。可以在底板上设置校准装置,例如在底板边缘安装千分表,在回转前后测量工件定位基准的位置变化。如果发现位置度偏差,通过调整补偿机构(在底板底部设置微调螺栓)来纠正偏差,使工件位置精度达到要求。

6 结束语

氢能发动机缸孔珩磨找正技术是发动机制造领域的一项重要创新。该技术通过采用先进的测量方法、自动化控制系统和在线测量与反馈控制技术,实现高精度、高效率、适应性强以及智能化的缸孔加工过程。通过实际案例分析和试验验证,证明了全新技术在提高加工精度、效率和质量方面的显著优势。

全新发动机夹具快速转换技术的探索与应用,为汽车制造业带来了巨大的经济效益。随着技术的不断发展和完善,该技术将在提高生产效率、增强生产灵活性、降低生产成本和提高产品质量等方面发挥更加重要的作用。全新发动机缸孔定心及珩磨找正技术将不断发展和完善,为发动机制造行业的发展提供有力支持。

参考文献:

- [1] 韩同群,姚胜华.汽车发动机原理[M].北京:北京大学出版社,2007.
- [2] 芮延年,刘忠,易强.珩磨技术与装备[M].北京:科学出版社,2020.
- [3] 周世学.机械制造工艺与夹具[M].2版.北京:北京理工大学出版社,2006.