



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107121292 A  
(43)申请公布日 2017.09.01

(21)申请号 201710565266.4

(22)申请日 2017.07.12

(71)申请人 河北工业大学  
地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

(72)发明人 刘晓日 成东康 王琛秋 张洁  
黎苏 郑清平

(74)专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务  
所(普通合伙) 12210  
代理人 付长杰 赵凤英

(51)Int. Cl.  
G01M 15/02(2006.01)

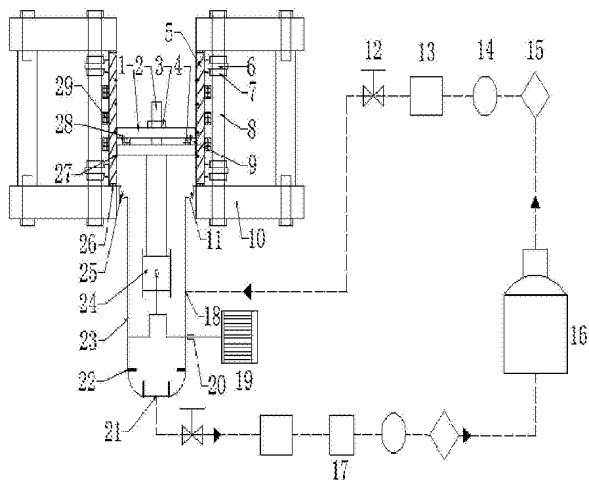
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

## (54)发明名称

基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统及其使用方法

## (57)摘要

本发明涉及基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统及其使用方法,其特征在于该系统包括用于活塞环-缸套固定并传热的缸套固定及传热装置、为系统提供恒温润滑油的恒温润滑油路和用于驱动曲柄连杆机构及活塞环-缸套部件的调速电动机;所述缸套固定及传热装置包括纵向固定板、夹具、缸套电加热器、活塞环电加热器、缸套热电偶、活塞环热电偶和径向弹性固定环,在缸套的左右两侧分别对称设置有一个纵向固定板,每个纵向固定板的上下内表面之间固定缸套,纵向固定板的上下两端均安装有预紧螺栓,在纵向固定板与缸套接触的端面上均设有压力传感器;在缸套的外侧沿缸套高度方向均匀布置有若干数量的缸套电加热器。



1. 一种基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统,其特征在于该系统包括用于活塞环-缸套固定并传热的缸套固定及传热装置、为系统提供恒温润滑油的恒温润滑油路和用于驱动曲柄连杆机构及活塞环-缸套部件的调速电动机;

所述缸套固定及传热装置包括纵向固定板、夹具、缸套电加热器、活塞环电加热器、缸套热电偶、活塞环热电偶和径向弹性固定环,在缸套的左右两侧分别对称设置有一个纵向固定板,每个纵向固定板的上下内表面之间固定缸套,纵向固定板的上下两端均安装有预紧螺栓,在纵向固定板与缸套接触的端面上均设有压力传感器;在缸套的外侧沿缸套高度方向均匀布置有若干数量的缸套电加热器,同时缸套的外侧安装有径向弹性固定环;在缸套的内部安装有若干数量的夹具,相邻两个夹具之间的空间用于安装活塞环电加热器和活塞环,活塞环电加热器紧挨活塞环的内壁;在活塞环内壁与活塞环电加热器之间安装有活塞环热电偶,在缸套内壁上安装有若干数量的缸套热电偶,所述缸套热电偶紧邻缸套电加热器的上下位置,且从缸套外侧沿径向至缸套壁厚中间,周向的两列相邻缸套热电偶之间的夹角相等;若干数量的夹具通过螺纹杆及螺母固定,最下方的夹具与曲柄连杆机构连接,曲柄连杆机构通过联轴器与位于油底壳外侧的调速电动机连接;

在油底壳的上部连接集油测温槽,所述集油测温槽和油底壳内均安装有液体测温热电偶(25、22),在油底壳的回油口和进油口之间连接串联式润滑油路;串联式润滑油路包括节流阀、流量计、油泵、润滑油滤清器、润滑油冷却器和恒温油浴锅,油底壳的回油口依次经节流阀、流量计、润滑油冷却器、油泵及润滑油滤清器与恒温油浴锅的进口连接,恒温油浴锅的出口依次经润滑油滤清器、油泵、流量计、节流阀与油底壳的进油口连接。

2. 根据权利要求1所述的基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统,其特征在于所述的缸套热电偶采用直径为0.1mm的J型热电偶;所述的活塞环热电偶为薄膜热电偶;所述液体测温热电偶(25、22)为插杆式J型热电偶。

3. 根据权利要求1所述的基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统,其特征在于所述的缸套电加热器和活塞环电加热器均为环形电加热器,环形电加热器的外壳为绝缘材料;活塞环电加热器与活塞环的形状尺寸相匹配,且紧贴在活塞环内侧。

4. 根据权利要求1所述的基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统,其特征在于所述夹具的数量为2-5,活塞环的数量为1-4。

5. 一种权利要求1-4任一所述的基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统的使用方法,该方法的步骤是:

(1) 将缸套放在纵向固定板中,缸套径向采用径向弹性固定环固定;在缸套上下端面均布置压力传感器,采用“浮动缸套法”测量摩擦力;

(2) 检查各个部件管路是否正常,确认正常后控制调速电动机的转速,驱动曲柄连杆机构带动夹具、螺纹杆、螺母、活塞环电加热器、活塞环在缸套内做往复运动;

(3) 在恒温油浴锅中加入适量润滑油,打开恒温油浴锅的开关,加热润滑油并控制恒温后经进油口进入油底壳中,同时油底壳底部的润滑油经回油口回到恒温油浴锅中加热,润滑油温度按实际需求通过控制油浴锅的加热温度实现;

(4) 通过缸套电加热器和活塞环电加热器的加热量控制缸套和活塞环的温度场变化,缸套和活塞环的温度数值分别通过缸套热电偶和活塞环热电偶测得;摩擦力由压力传感器测出;通过调节恒温油浴锅的加热温度、缸套电加热器和活塞环电加热器的加热量,来相应

地改变润滑油、缸套和活塞环的温度,并测得相应的摩擦力,结合活塞环运动速度计算出相应的摩擦功耗,找出最小摩擦功耗,并记录最小摩擦功耗下对应的润滑油、缸套和活塞环的温度。

## 基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统及其使用方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于发动机节能技术领域,具体涉及一种基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统及其使用方法。该实验系统能对活塞环-缸套系统进行热管理,研究传热对活塞环-缸套系统摩擦功耗影响,进行低摩擦测试。

### 背景技术

[0002] 随着汽车排放法规的越来越严格以及化石能源的巨大消耗,给传统内燃机行业带来巨大的挑战,近些年来节能减排技术也有了长足的发展,对活塞环-缸套低摩擦技术进行深入研究将会产生巨大的经济和社会效益。活塞环-缸套摩擦实验系统是实验研究活塞环-缸套摩擦的基础,为了进一步研究润滑油温度及摩擦产热和传热对活塞环-缸套摩擦的影响特意发明了基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统。

[0003] 研究活塞环摩擦功耗时,目前多采用除去活塞而仅保留活塞环-缸套系统的相似试验机来完成,可以使用完整的缸套和活塞环(Lenauer C, Tomastik C, Wopelka T, et al. Piston ring wear and cylinder liner tribofilm in tribotests with lubricants artificially altered with ethanol combustion products[J]. Tribology International, 2015, 82:415-422.) 或者将缸套和活塞环切割后取一段试样进行试验(Claudia Lenauer, Christian Tomastik, Thomas Wopelk, et al. Piston ring wear and cylinder liner tribofilm in tribotests with lubricants artificially altered with ethanol combustion products[J]. Tribology International, 2015, 82:415-422.; Shanhong Wan, Dongshan Li, Guang'an Zhang, et al. Comparison of the scuffing behaviour and wear resistance of candidate engineered coatings for automotive piston rings[J]. Tribology International, 2017, 106:10-22.), 运动形式采用往复运动或旋转运动(刘震涛, 夏琪伟, 张宇, 等. 活塞环润滑油膜厚度影响因素的模拟试验研究[J]. 内燃机工程, 2014, 35(6):47-53.)。Petra Obert (Petra Obert, Torben Müller, Hans-Jürgen Füber, et al. The influence of oil supply and cylinder liner temperature on friction, wear and scuffing behavior of piston ring cylinder liner contacts-A new model test[J]. Tribology International, 2016, 94:306-314.) 采用缸套和活塞环的分段试样, 并对缸套试样加热, 研究缸套温度对活塞环润滑的影响。申请号为200510136811.5的中国专利公开一种缸套活塞环零部件摩擦磨损试验方法和设备, 其加热缸套的方式是通过对缸体加热腔内充入液体而进行加热, 这使得加热缓慢、加热过于均匀, 不能实现温度梯度大的温度场的加热。

[0004] 由于缸套和活塞环的分段试样较小, 不能反应温度和变形的空间分布; 旋转式试验机改变了活塞环的运动状态; 以往的往复式试验机对传热情况的考察不够充分, 缺乏详细电控。因此, 采用完整的缸套和活塞环以及往复式运动形式更符合热管理和摩擦功耗耦合研究需要, 寻找符合低摩擦要求的温度分布及如何通过热管理技术获得低摩擦温度分布是亟需解决的技术问题。

## 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明所要解决的技术问题是:提供一种基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统及其使用方法,该系统及使用方法能够获得符合低摩擦要求的温度分布。该系统通过变频调速电动机控制曲轴转速,润滑油由串联式润滑油路提供并控制温度,活塞环及缸套的温度场温度和油底壳机油温度由热电偶测量,利用数据采集系统采集测量数据,利用电动机倒拖曲轴,活塞曲柄连杆机构使活塞环在缸套间实现往复运动,串联式润滑油路可实现润滑油的供给、加热及恒温控制、回收;利用这套实验系统可以方便地对发动机的活塞环-缸套摩擦进行多参数、系统的研究。该系统基于测量摩擦力传统的“浮动缸套”法进行了创新设计,对缸套活塞环进行了热管理(即传热装置):(1)在缸套的外壁面加装了环形电加热器,实时控制缸套壁面温度,缸套和环形电加热器间加耐高温导热油脂(耐高温导热油脂的最高耐热温度为250℃,并保证能使缸套温度不超过250℃),保证缸套的浮动状态,并且可视情况加减环形电加热器个数,多个环形电加热器之间是独立的,可实现多种温度场的加热。通过加热缸套到合理温度范围改善缸套润滑油的润滑性能降低摩擦功耗。(2)在活塞环的内侧加装活塞环电加热器,用于加热活塞环使其结构温度升高,活塞环结构温度升高到合理温度后,活塞环的润滑条件改善,从而降低了摩擦功耗,活塞环电加热器线束通过夹具孔接到缸套外面,并且线束足够长以保证线束随夹具的运动不被弄断。

[0006] 本发明解决所述技术问题采用的技术方案是:

[0007] 一种基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统,其特征在于该系统包括用于活塞环-缸套固定并传热的缸套固定及传热装置、为系统提供恒温润滑油的恒温润滑油路和用于驱动曲柄连杆机构及活塞环-缸套部件的调速电动机;

[0008] 所述缸套固定及传热装置包括纵向固定板、夹具、缸套电加热器、活塞环电加热器、缸套热电偶、活塞环热电偶和径向弹性固定环,在缸套的左右两侧分别对称设置有一个纵向固定板,每个纵向固定板的上下内表面之间固定缸套,纵向固定板的上下两端均安装有预紧螺栓,在纵向固定板与缸套接触的端面上均设有压力传感器;在缸套的外侧沿缸套高度方向均匀布置有若干数量的缸套电加热器,同时缸套的外侧安装有径向弹性固定环;在缸套的内部安装有若干数量的夹具,相邻两个夹具之间的空间用于安装活塞环电加热器和活塞环,活塞环电加热器紧挨活塞环的内壁;在活塞环内壁与活塞环电加热器之间安装有活塞环热电偶,在缸套内壁上安装有若干数量的缸套热电偶,所述缸套热电偶紧邻缸套电加热器的上下位置,且从缸套外侧沿径向至缸套壁厚中间,周向的两列相邻缸套热电偶之间的夹角相等;若干数量的夹具通过螺纹杆及螺母固定,最下方的夹具与曲柄连杆机构连接,曲柄连杆机构通过联轴器与位于油底壳外侧的调速电动机连接;

[0009] 在油底壳的上部连接集油测温槽,所述集油测温槽和油底壳内均安装有液体测温热电偶(25、22),在油底壳的回油口和进油口之间连接串联式润滑油路;串联式润滑油路包括节流阀、流量计、油泵、润滑油滤清器、润滑油冷却器和恒温油浴锅,油底壳的回油口依次经节流阀、流量计、润滑油冷却器、油泵及润滑油滤清器与恒温油浴锅的进口连接,恒温油浴锅的出口依次经润滑油滤清器、油泵、流量计、节流阀与油底壳的进油口连接。

[0010] 一种上述的基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统的使用方法,该方法的步

骤是：

[0011] (1) 将缸套放在纵向固定板中,缸套径向采用径向弹性固定环固定;在缸套上下端面均布置压力传感器,采用“浮动缸套法”测量摩擦力;

[0012] (2) 检查各个部件管路是否正常,确认正常后控制调速电动机的转速,驱动曲柄连杆机构带动夹具、螺纹杆、螺母、活塞环电加热器、活塞环在缸套内做往复运动;

[0013] (3) 在恒温油浴锅中加入适量润滑油,打开恒温油浴锅的开关,加热润滑油并控制恒温后经进油口进入油底壳中,同时油底壳底部的润滑油经回油口回到恒温油浴锅中加热,润滑油温度按实际需求通过控制油浴锅的加热温度实现;

[0014] (4) 通过缸套电加热器和活塞环电加热器的加热量控制缸套和活塞环的温度场变化,缸套和活塞环的温度数值分别通过缸套热电偶和活塞环热电偶测得;摩擦力由压力传感器测出;通过调节恒温油浴锅的加热温度、缸套电加热器和活塞环电加热器的加热量,来相应地改变润滑油、缸套和活塞环的温度,并测得相应的摩擦力,结合活塞环运动速度计算出相应的摩擦功耗,找出最小摩擦功耗,并记录最小摩擦功耗下对应的润滑油、缸套和活塞环的温度。

[0015] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0016] 本发明实验系统通过在缸套上加装缸套电加热器可灵活的控制缸套壁面温度分布规律来实现对缸套的热管理;通过在活塞环内侧加装活塞环电加热器对活塞环进行热管理;通过该实验系统能够得到传热对活塞环摩擦功耗的影响情况,可用于揭示系统传热对活塞环摩擦功耗的影响规律;通过对缸套、活塞环进行热管理来降低活塞环-缸套的摩擦功耗,实现活塞环-缸套摩擦副的低摩擦。

[0017] 本发明实验系统能单独精确研究不同活塞环的摩擦情况,实验过程可对润滑油温度及流量、缸套-活塞环温度、调速电动机转速进行控制,为发动机低摩擦技术提供研究方法和实验设备。调速电动机带动曲柄连杆机构的运转,串联式润滑油路为摩擦副提供适温、适量的润滑油,浮动缸套方法测试活塞环-缸套摩擦力。

## 附图说明

[0018] 图1是本发明基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统一种实施例的结构示意图;

[0019] 图中,夹具1、螺纹杆2、螺母3、缸套5、径向弹性固定环6、固定螺母7、预紧螺栓8、活塞环9、纵向固定板10、集油测温槽11、节流阀12、流量计13、油泵14、润滑油滤清器15、恒温油浴锅16、润滑油冷却器17、进油口18、调速电动机19、联轴器20、回油口21、液体测温热电偶22、液体测温热电偶25、油底壳23、曲柄连杆机构24、压力传感器26、缸套热电偶27、活塞环热电偶28、缸套电加热器29、活塞环电加热器4。

## 具体实施方式

[0020] 下面结合实施例及附图进一步解释本发明,但并不以此作为对本申请权利要求保护范围的限定。

[0021] 本发明基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统(简称系统,参见图1),包括用于活塞环-缸套固定并传热的缸套固定及传热装置、为系统提供恒温润滑油的恒温润滑油

路和用于驱动曲柄连杆机构及活塞环-缸套部件的调速电动机19;所述缸套固定及传热装置包括纵向固定板10、夹具1、缸套电加热器29、活塞环电加热器4、缸套热电偶27、活塞环热电偶28和径向弹性固定环6,在缸套的左右两侧分别对称设置有一个纵向固定板10,每个纵向固定板的上下内表面之间固定缸套5,纵向固定板的上下两端均安装有预紧螺栓8,在纵向固定板与缸套接触的端面上均设有压力传感器26;在缸套的外侧沿缸套高度方向均匀布置有若干数量的缸套电加热器29,同时缸套的外侧安装有径向弹性固定环6,通过径向弹性固定环6可以抵消活塞环运动过程中施加给缸套径向的力;在缸套的内部安装有若干数量的夹具1,相邻两个夹具之间的空间用于安装活塞环电加热器4和活塞环9,活塞环电加热器4紧挨活塞环的内壁,用于加热活塞环并使活塞环的温度升高;在活塞环内壁与活塞环电加热器4之间安装有活塞环热电偶28,在缸套内壁上安装有若干数量的缸套热电偶27,所述缸套热电偶27紧邻缸套电加热器的上下位置,且从缸套外侧沿径向至缸套壁厚中间,周向的两列相邻缸套热电偶之间的夹角可根据实际要求均匀布置,比如可布置为 $90^{\circ}$ ;若干数量的夹具1通过螺纹杆2及螺母3固定,最下方的夹具与曲柄连杆机构24连接,曲柄连杆机构24同时通过联轴器20与位于油底壳23外侧的调速电动机19连接;

[0022] 在油底壳23的上部连接集油测温槽11,所述集油测温槽11和油底壳23内均安装有液体测温热电偶(25、22),在油底壳的回油口21和进油口18之间连接串联式润滑油路;串联式润滑油路包括节流阀12、流量计13、油泵14、润滑油滤清器15、润滑油冷却器17和恒温油浴锅16,油底壳的回油口依次经节流阀、流量计、润滑油冷却器17、油泵及润滑油滤清器与恒温油浴锅16的进口连接,恒温油浴锅16的出口依次经润滑油滤清器15、油泵14、流量计13、节流阀12与油底壳的进油口连接。

[0023] 本发明基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统的使用方法是:

[0024] (1) 将缸套放在纵向固定板10中,缸套径向采用径向弹性固定环6固定;在缸套上下端面均布置压力传感器26,采用“浮动缸套法”测量摩擦力;

[0025] (2) 检查各个部件管路是否正常,确认正常后控制调速电动机19的转速,驱动曲柄连杆机构24带动夹具1、螺纹杆2、螺母3、活塞环电加热器4、活塞环9在缸套5内做往复运动;

[0026] (3) 在恒温油浴锅中加入适量润滑油,打开恒温油浴锅16的开关,加热润滑油并控制恒温后经进油口18进入油底壳23中,同时油底壳底部的润滑油经回油口21回到恒温油浴锅16中加热,润滑油温度按实际需求通过控制油浴锅16的加热温度实现;

[0027] (4) 通过缸套电加热器29和活塞环电加热器4的加热量控制缸套和活塞环的温度场变化,缸套和活塞环的温度数值分别通过缸套热电偶27和活塞环热电偶28测得;摩擦力由压力传感器26测出;通过调节恒温油浴锅16的加热温度、缸套电加热器和活塞环电加热器的加热量,来相应地改变润滑油、缸套和活塞环的温度,并测得相应的摩擦力,结合活塞环运动速度计算出相应的摩擦功耗,找出最小摩擦功耗,并记录最小摩擦功耗下对应的润滑油、缸套和活塞环的温度。

[0028] 本发明所述的缸套热电偶27采用直径为0.1mm的J型热电偶,能避免对缸套结构造成过大改动,安装方便,用来测试缸套的温度;所述的活塞环热电偶为薄膜热电偶,用来测试活塞环的温度;所述液体测温热电偶(25、22)为插杆式J型热电偶,用来监测集油测温槽11和油底壳23中润滑油的温度。

[0029] 本发明所述的缸套电加热器和活塞环电加热器均为环形电加热器,环形电加热器

的外壳为绝缘材料,避免了电场对润滑摩擦的干涉;活塞环电加热器与活塞环的形状尺寸相匹配,且紧贴在活塞环内侧,活塞环电加热器随温度变化形变尽量小。

[0030] 本发明在缸套的外壁面加装了缸套电加热器实时控制缸套壁面温度,缸套和缸套电加热器间加耐高温导热油脂,保证缸套的浮动状态,并且可视情况加减缸套电加热器个数,多个缸套电加热器之间是独立控制的,可实现多种温度场的加热;通过加热缸套到合理温度范围来改善发动机冷启动和热机过程的润滑条件,从而降低摩擦功耗。在活塞环的内侧加装活塞环电加热器,用于加热活塞环使其结构温度升高,活塞环内侧的活塞环电加热器采用定做的方式,选取活塞环电加热器的材料要求随温度的变化变形尽量小,活塞环温度升高到合理温度后使活塞环的润滑条件改善,从而降低了摩擦功耗。活塞环电加热器的线束通过夹具1上的夹具孔接到缸套外面,并且线束足够长以保证线束随夹具的运动不被弄断。

[0031] 本发明活塞环-缸套低摩擦实验系统适用于单缸柴油或汽油发动机,能够保证顺利进行摩擦功耗测试,不适用于多缸机低摩擦实验。

[0032] 本发明中所述的曲柄连杆机构、活塞环、缸套、油底壳属于测试对象,缸套电加热器29、活塞环电加热器4、缸套热电偶27、活塞环热电偶28构成传热装置。

[0033] 本发明实验系统的工作原理是:调速电动机19通过联轴器20和曲柄连杆机构24连接在一起,调速电动机作为动力源拖动曲柄连杆机构及活塞环9在缸套5内做往复运动,活塞环通过夹具1、螺纹杆2和螺母3加紧固定,缸套采用“浮动缸套”的设计方法使缸套浮动起来,如图1所示将缸套放在纵向固定板10中,缸套径向采用弹性固定环6固定,弹性固定环可以抵消活塞环运动过程中施加给缸套径向的力,使测量结果更精确。在缸套上下端面分别布置压力传感器26,缸套电加热器29在缸套外壁面沿纵向均匀布置,通过多个缸套电加热器加热缸套,从而控制了沿缸套轴线方向缸套的温度分布,达到缸套合理工作状态下的润滑条件;活塞环电加热器4紧贴活塞环布置,通过单个活塞环电加热器加热活塞环,达到活塞环工作状态下的润滑条件;利用缸套热电偶27、活塞环热电偶28、液体测温热电偶22分别测量缸套壁面、活塞环和油底壳的温度,利用串联式润滑油路实现润滑油的供给、流量和温度的控制调节。通过油泵提供润滑油循环动力,在油底壳23中加入一定量的润滑油,恒温油浴锅16中有一定量恒温的润滑油,实验过程中润滑油从油底壳的回油口21出来流过节流阀、流量计、润滑油冷却器17再经过油泵加压再流过润滑油滤清器滤清杂质(可避免杂质进入恒温油浴锅造成破坏)进入恒温油浴锅16,加热完并保持一定温度(可控)的润滑油再经过润滑油滤清器滤清后由油泵加压后经进油口18进入油底壳中,润滑油的流量可由节流阀12调节,并由流量计13监测读数。

[0034] 本发明中使用调速电动机进行倒拖曲柄连杆机构,通过曲柄连杆机构将调速电动机的旋转转换为活塞环的往复运动。为保证倒拖顺利启动和稳定运行,要求调速电动机的额定功率和最大扭矩达到一定条件,即调速电动机的额定功率 $P$ 为: $P \geq 2 \times (0.15 \sim 0.3) \times$  发动机额定功率,最大扭矩 $T$ 为: $T \geq 2 \times (0.15 \sim 0.3) \times$  发动机最大扭矩;该条件的选择将柴油机的机械损失、冷机拖动和散热影响及活塞环个数的变化考虑在内。本发明实验系统中所述夹具的数量为2-5,活塞环的数量为1-4,在实验中,可根据需要增加或减少活塞环的数目。

[0035] 实施例1



[0036] 本实施例基于热管理的活塞环-缸套低摩擦实验系统包括用于活塞环-缸套固定并传热的缸套固定及传热装置、为系统提供恒温润滑油的恒温润滑油路和用于驱动曲柄连杆机构及活塞环-缸套部件的调速电动机19；

[0037] 所述缸套固定及传热装置包括纵向固定板10、夹具1、缸套电加热器29、活塞环电加热器4、缸套热电偶27、活塞环热电偶28和径向弹性固定环6，在缸套的左右两侧分别对称设置有一个纵向固定板10，每个纵向固定板的上下内表面之间固定缸套5，纵向固定板的上下两端均安装有预紧螺栓8，在纵向固定板与缸套接触的端面上均设有压力传感器26；在缸套的外侧沿缸套高度方向均匀布置有3个缸套电加热器29，同时缸套的外侧安装有径向弹性固定环6；在缸套的内部安装有2个夹具1，相邻两个夹具之间的空间用于安装活塞环电加热器4和活塞环9，活塞环电加热器4紧挨活塞环的内壁；在活塞环内壁与活塞环电加热器4之间安装有活塞环热电偶28，在缸套内壁上安装有4个缸套热电偶27，所述缸套热电偶27紧邻缸套电加热器的上下位置，且从缸套外侧沿径向至缸套壁厚中间，周向的两个相邻缸套热电偶之间的夹角为 $90^{\circ}$ ；2个夹具1通过螺纹杆2及螺母3固定，最下方的夹具与曲柄连杆机构24连接，曲柄连杆机构24同时通过联轴器20与位于油底壳23外侧的调速电动机19连接；

[0038] 在油底壳23的上部连接集油测温槽11，所述集油测温槽11和油底壳23内均安装有液体测温热电偶(25、22)，在油底壳的回油口21和进油口18之间连接串联式润滑油路；串联式润滑油路包括节流阀12、流量计13、油泵14、润滑油滤清器15、润滑油冷却器17和恒温油浴锅16，油底壳的回油口依次经节流阀、流量计、润滑油冷却器17、油泵及润滑油滤清器与恒温油浴锅16的进口连接，恒温油浴锅16的出口依次经润滑油滤清器15、油泵14、流量计13、节流阀12与油底壳的进油口连接。

[0039] 本实施例实验系统采用单缸机柴油机为基本结构，将单缸机的缸体和缸套分开并对缸套进行固定，润滑油的供给通过串联式润滑油路供给。表1为单缸机柴油机的技术参数。

[0040] 表1单缸机技术参数

[0041]

型式	立式、单缸、四冲程、风冷、直喷式
缸径×行程mm	86×72
排量L	0.418
标定功率/标定转速(N·m)/(r/min)	6.3/3600
最大扭矩/转速(N·m)/(r/min)	18.7/2880
机油牌号	SAE10W-30
活塞平均速度/转速(m/s)/(r/min)	8.64×3600

[0042] 结合图1阐述一下发明原理，调速电动机通过联轴器和曲轴连接在一起，调速电动机作为动力源拖动曲柄连杆及活塞环在缸套里面做往复运动，活塞环通过夹具和螺纹杆加紧固定，缸套采用“浮动缸套”的设计方法使缸套浮动起来，如图1所示将缸套放在纵向固定板10中，缸套径向采用弹性固定环6固定，弹性固定环可以抵消活塞环运动过程中施加给缸套径向的力，使测量结果更精确。缸套电加热器29和活塞环电加热器4可以分别对缸套和活塞环加热，实现工作状态下的润滑条件。利用缸套热电偶27、活塞环热电偶28、液体测温热

电偶22分别测量缸套壁面、活塞环和油底壳温度,利用串联式润滑油路实现润滑油的供给、流量和温度的控制调节。

[0043] 本发明未述及之处适用于现有技术。

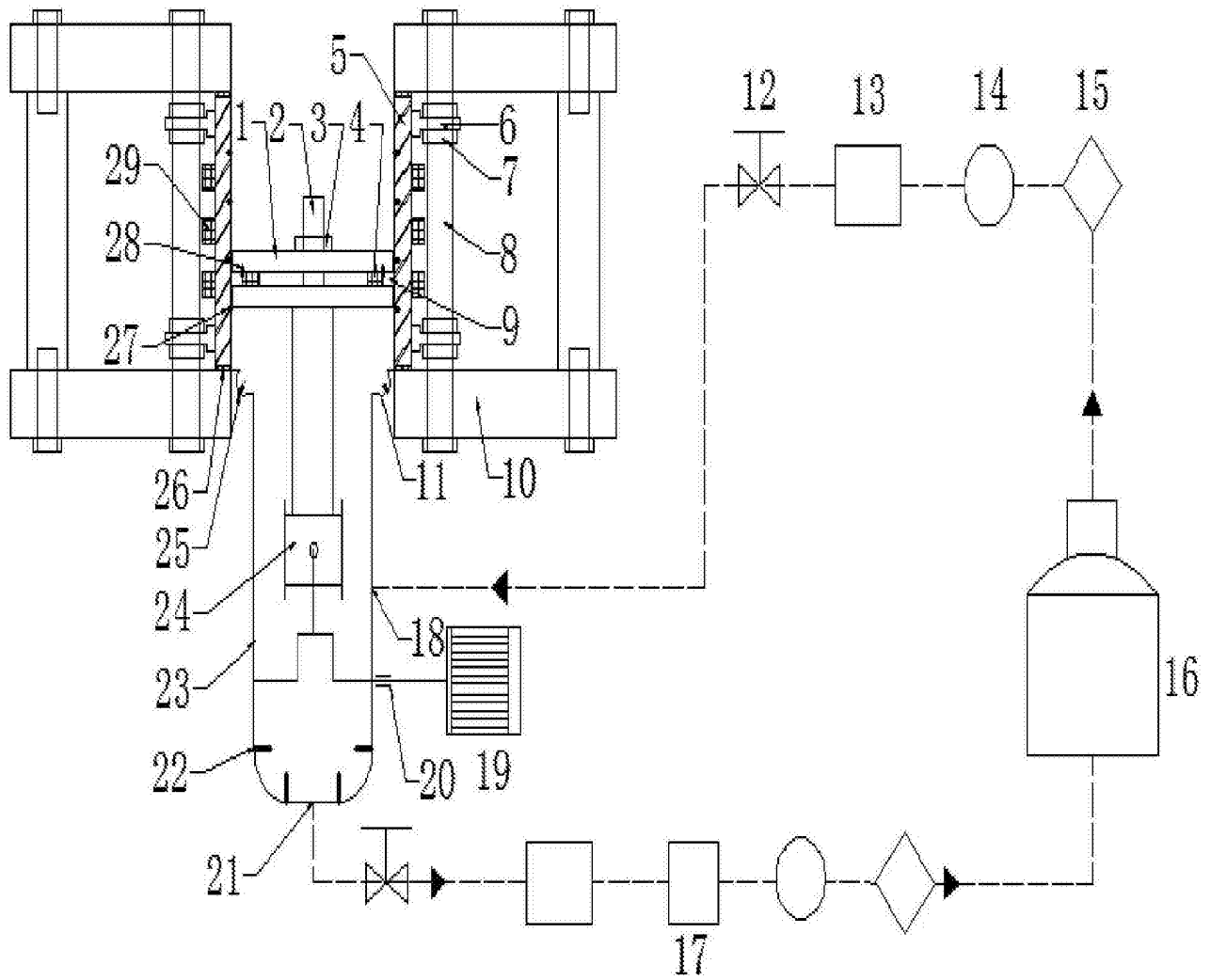


图1