

文章编号:1671-6833(2008)03-0062-04

超低温环境摩擦学实验系统的设计研究

彭楠, 张三川

(郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:随着液氢等新能源技术的发展,考察和研究超低温环境中润滑材料、零件本体及其涂层的摩擦学机理,以建立超低温机械零件设计理论就成为该学科领域发展的必然需求。为满足超低温摩擦学实验的需要,应用销-盘摩擦副直接浸入超低温流体的设计原理,设计了一种超低温环境摩擦学性能实验系统,它由外置驱动摩擦学实验主机、开式液氮超低温环境维持系统和摩擦力检测系统三大部分组成。系统结构简单,操作方便,适于多种特殊工况摩擦学实验。

关键词:摩擦学实验系统;超低温;液氮制冷;机械设计

中图分类号: TH 122

文献标识码: A

0 引言

近年来,随着对清洁型环保能源的开发,液氢作为汽车、飞机等载运装备燃料的研究也就成为了备受关注的热点之一,而为保证液氢等材料所致局部超低温环境对机械零部件可靠性能和较长寿命的需求,促进了超低温摩擦学领域的发展。在超低温环境下的摩擦学系统(如轴承、密封、阀等)中,传统润滑油酯已失去作用,只能使用固体润滑剂或摩擦学性能良好的材料^[1-2]。这就对摩擦副材料的摩擦学性能提出了非常规的要求,必须采用能提供超低温环境或特殊气氛的摩擦学实验机来评定和选择。目前,超低温环境下摩擦学测试是利用超低温流体完成的,常采用销(球)-盘接触方式^[3]。一种是将摩擦副直接浸没在超低温的液氢、液氢或液氮中,测试温度和低温液体沸腾温度相同,摩擦热通过热传导和液体蒸发带走;另一种是将摩擦副置于设有循环低温液体换热器的真空或密封的低温低压气态环境中,通过换热器对摩擦副进行热交换以调节环境温度,这种方法如低温气机^[4]、低温冰箱等,一般只适用于测量较低的摩擦功耗情况。由于目前国内没有超低温摩擦学性能测试的商品化实验机,国外也鲜见报道,因此为了满足这种新的技术发展需要,笔者设计了一台相关实验机,它包括摩擦学实验主机、超

低温环境维持系统和摩擦力检测系统三大部分,可以用于超低温固体润滑材料、超低温减摩涂层和超低温摩擦件性能的比较评价。

1 超低温摩擦学实验系统构成

图1为超低温摩擦学实验系统构成与工作原理图。工作原理是:主轴6在电机11驱动下转动,固定在主轴下部的盘状下试样4随之发生转动;加载轴16不动,其下部安装有销状被测上试样24,载荷是通过砝码-杠杆机构加载到加载轴16上,由其传到上试样和下试样之间的摩擦界面。图中气孔9的作用是用于鼓入室温气体以加热轴承7,防止其因为过冷而失效;进气孔17和21的作用是平衡箱内压力;20为摩擦力传感器。

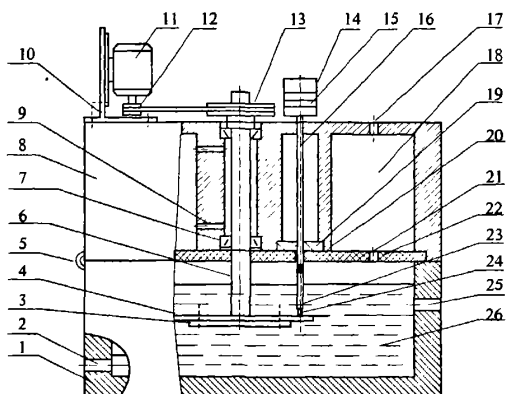
实验系统工作过程是:保证贮槽内液氮充足,然后打开液氮贮槽上部阀,使贮槽内液氮气化降温。打开制冷槽盖,将上下试样安装在两轴上;合上制冷槽盖,启动电机,主轴带动下试样旋转(此时加载轴上不加载)。依次打开液氮流入路径上的各阀,调节槽盖上的开口阀的开度,使低温液氮缓缓流入制冷槽内,待液位计显示达到标称液位时启动液氮泵;不断调节各阀开度,使测温计读数在 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近波动;对加载轴进行加载,并开始实验;达到试验要求的时间后,关闭电机电源;关闭液氮流入路径上各阀,将槽盖上开口阀的开度

收稿日期:2008-05-14;修订日期:2008-06-11

基金项目:河南省科技攻关项目(0424270084);郑州市科技攻关项目(074SCCG106-5)

作者简介:彭楠(1985-),男,河南南阳人,郑州大学硕士研究生,研究方向:载运装备节能与安全技术;通讯联系人:张三川,郑州大学副教授, E-mail: sc.zhang@zzu.edu.cn.

调至最大;待液氮泵将制冷槽内残存的液氮全部抽完后关闭液氮泵;等待适当长的时间,待制冷槽内温度恢复至室温后打开制冷槽盖,取出上下试样,关闭液氮贮槽上部阀,合上制冷槽盖完成实验。



1-制冷槽;2-液氮出口;3-下试样托盘;4-下试样;5-活页;6-主轴;7-圆锥滚子轴承;8-槽盖;9-防轴承过冷气孔;10-电机支架;11-电机;12-电机带轮;13-主轴带轮;14-砝码架;15-砝码;16-加载轴;17-气孔;18-肋;19-支撑;20-力传感器;21-气孔;22-隔热层;23-定位销;24-上试样;25-液氮入口;26-液氮

图1 超低温摩擦学实验系统原理结构

Fig 1 Struction of cryogen ic t ribological test system

2 环境维持系统

2.1 环境提供系统结构与原理

环境提供系统的作用是给配对试验件提供低温或其他特殊介质环境,本设计主要针对最低-150℃的温度环境,要求是制冷部分必须有较高的制冷功率和效率。由于要求的制冷温度较低,属于深低温制冷,所以一般的制冷机(如空调、冰柜、冷库等)均满足不了要求,必须使用深低温制冷机。传统的深低温制冷机结构复杂,成本高,更重要的一点,制冷效率低,制冷功率也不大(如PPG100系列斯特林循环制冷机的效率只有不到0.08^[5]),而且对温度的调节也不方便。考虑到需将摩擦实验系统的实验工作头部分浸入制冷槽体中,同时考虑到制冷剂的安全问题,选用了液氮作为制冷剂,超低温环境维持系统如图2所示。工作过程为:打开液氮贮槽顶部的阀4后,液氮在常温下大量气化吸热,使温度大量降低,贮槽内液氮在重力作用下沿注入路径6流入制冷槽体。沿途吸收环境热量(即漏冷),再吸收来自制冷槽体中试件间的摩擦热,温度升高后的液氮在液氮泵的抽

吸作用下由排出路径返回到液氮贮槽。该系统的制冷量全靠液氮的气化潜热。开口9上安装的溢流阀,以避免工作过程中制冷槽体内压力过大使贮槽内液氮无法流入或对构件造成损坏。

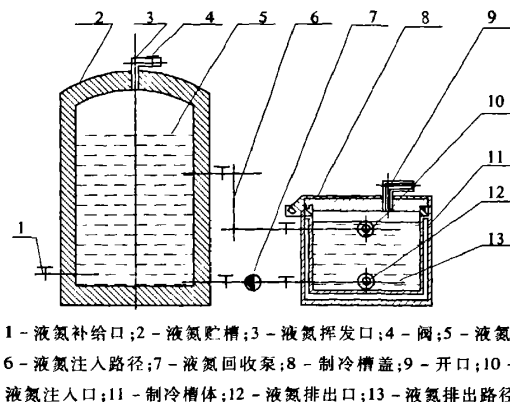


图2 超低温环境维持系统

Fig. 2 The provision system of super cryogenic environment

选择液氮作为制冷工质的原因是氮气在空气中的含量约为71%,极易获得;氮气的化学性质不活泼,在通常情况下很难和其它元素直接化合,可用作保护气体,常压下 N_2 的沸点是77.355 K,液氮是无色的透明液体,其密度为806.084 kg/m^3 ,液氮是低温环境中最常用的安全冷却剂。液氮的汽化潜热为199.176 kJ/kg ,约为He的10倍^[6],是符合该制冷方案的理想制冷工质。该制冷原理制冷功率大,效率高,而且不须压缩机等结构复杂的设备,只须定期对贮槽内的液氮进行补充。

2.2 制冷相关元器件和材料选择

容器材料:液氮的贮槽在工作时其内部压力与外部大气压力相平衡,在停机时,贮槽处于封闭状态,其内部温度和外界温度平衡,内部压力很大($P \approx 3.4$ MPa),而且存在剧烈的热循环。因此贮槽的材料尤其是贮槽内胆的材料必须有较强的低温韧性和抗疲劳能力。常用的压力容器用钢分以下几种:碳素钢、低合金压力容器用钢、高合金钢,高合金钢又分为铁素体类不锈钢、奥氏体类不锈钢和双相不锈钢。本设计的材料选用:贮槽和试验机内胆选用奥氏体不锈钢,外胆使用铁素体类钢,管道及辅件(如阀、泵等)使用奥氏体不锈钢。

绝热和密封:对于深低温制冷系统来说,制冷工质的制冷量是十分宝贵的,合理安排绝热以减少外界的热量泄漏是提高制冷效率的有效途径。对于液氮贮槽和摩擦试验机工作箱(不包括箱盖),选用真空多层绝热。因为在工作过程中,贮

槽和外界有较大的热交换面积,必须选择最可靠的绝热方案.而当贮槽在非工作状态时,由于其内部压力很大,故为防止液氮蒸发损失,其密封也是十分重要的,在贮槽的制造过程中必须设法保证贮槽内胆与管件的焊接质量,确保其密封可靠.

对于管道,除了为减少沿程损失而尽量缩短长度外,也应当有可靠的绝热措施,由于沿程元件(如阀、泵)较多,故使用真空多层绝热反倒不如使用堆积绝热^[6],以便于维修和更换元件.对于摩擦试验机的工作箱箱盖,应当特别设计.由于箱盖上面有传动轴通过,故使用简单的堆积式绝热方案,堆积绝热材料选用微孔橡胶.为确保箱盖和箱体之间的密封,使用了密封圈,此外还使用迷宫式密封,上下盖的凸凹接触间留有间隙,是为了方便打开箱盖.

泵和阀:本设计在泵的选用上要考虑到以下两点:第一、结构尽量简单,以减少泄漏;第二、发热量小,以提高制冷效率.最后选用偏心叶片泵.阀是制冷系统中主要的控制元件,改变阀的开度,可以对受控介质的流量进行控制,从而达到控制环境参数的目的.该系统对阀提出耐低温,密封性能良好的要求,故最终选择笼式阀.

测量元件:该制冷系统的测量元件有压力测量元件和温度测量元件两种.由于液氮贮槽内的气压有时可以达到很高,而且在工作时要求对其内部压力进行较严格控制,故使用测量范围广、灵敏度高的弹簧管压力表.

对温度进行实时监控是本系统的一个必备的功能,这就需要一种能准确测量试验腔内部温度的温度计.由于试验腔内工作温度要求保持在 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,故铂热电阻测温计是唯一的选择.根据该系统的具体情况选择 Pt100 型铂热电阻测温计.

2.3 制冷温度控制

试验过程中必须根据工作腔内温度作相应调整,使之稳定在 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近.具体的做法如下:调节泵的转速或阀的开度,使管道内液氮的流量定量地发生变化,直至测温计示数在 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右波动.由于液氮贮槽内部的液氮在常压下气化吸热,使槽内温度在 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,因自重压力流过来的低温液氮进入试验机工作箱之后,吸热升温,达到 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,然后经泵的抽吸回流到贮槽内和槽内的低温液氮换热,部分液氮发生汽化吸热,温度又复降低,如此循环.当工作箱内温度达到 $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 稳定时,制冷量和漏冷量(外界传入

工作箱的热量)相平衡.

3 加载与摩擦力检测系统

3.1 加载结构设计

加载方式可使用砝码直接加载,也可以使用杠杆-砝码机构进行加载.为扩大加载力的变化范围,本设计使用浮动杠杆-砝码机构进行加载,其示意图如图3所示.

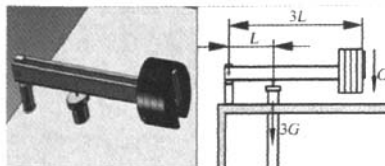


图3 加载机构原理图

Fig.3 Struction of loading mechanism

3.2 摩擦力的测定

使用电阻应变式传感器,应变电阻选用120欧姆型金属箔式应变片,如图4所示.应变片布置在加载轴的薄弱处,应变片1的正后方是应变片4,应变片3的正后方是应变片2,4个电阻应变片构成一个电桥.图中 U_0 为直流输入电压, U_y 为输出电压.系统摩擦力采用砝码标定,在摩擦力作用下的弯矩使电阻变化,根据电工学原理,有如下等式成立^[7]:

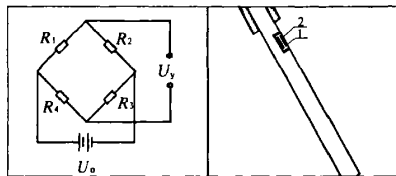


图4 摩擦力测定原理

Fig.4 Principle of the friction force detection

$$U_y = \frac{U_0}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_2} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

通过标定转化为 U_y 和摩擦 F 关系式,依此关系可编制程序,实现计算机数据适时输出.

4 结论

本设计从性价比角度选用了液氮作为环境提供的冷却工质,安全可靠,同时该环境维持系统也可以提供诸如液氢等环境实验场景;在实验工作系统设计中,只将实验头部分浸入液氮等超低温特殊环境,能够较好地减少传动系摩擦热的影响;加载杆为浮动杠杆式结构,可以保证加载的准确性;采用电阻式全桥检测方式和砝码标定,能够较

好地完成摩擦力的测定。

参考文献:

- [1] KHANNA R, BASU B. Sliding wear properties of self-mated yttria-stabilized tetragonal zirconia ceramics in cryogenic environment[J]. J of the American Ceramic Society, 2007, 90(8):2525-2534.
- [2] 姜春华, 李长生, 仇国泉, 等. YBa₂Cu₃O_{7-δ} 的低温摩擦学性能[J]. 超导技术, 2006, 34(4):289-298.
- [3] 古乐, 王黎钦, 李秀娟. 超低温环境固体润滑研究的发展现状[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4):314-319.
- [4] 王乐轩. 斯特林循环三空间低温气机结构、热力参数方程[J]. 郑州大学学报:工学版, 1982, 22(2):27-39.
- [5] 陈国邦, 张鹏. 低温绝热与传热技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 张福祉, 石秉三. 低温技术原理与装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [7] 黄长艺, 严普强. 机械工程测试技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

Design of Tribological Test System in Super Cryogenic Environment

PENG Nan, ZHANG San-chuan

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: With the development of the liquid hydrogen new energy technique, it became necessary to establish the super cryogenic machine element design theories by investigating and studying tribological mechanism of lubricating material or parts and its surface coat in the super cryogenic environment. To satisfy the super cryogenic tribological test's demand, we applied the design principle of the pin-dish friction pair dipped directly into super cryogenic fluid, and a kind of the super cryogenic tribological test system was designed, Which consisted of the tribological test machine by outside driving and the open type provision system of cryogenic environment and friction force detection system. Its struction is simple and operating being convenience, and it is suitable for the tribological test in special operating mode under various environments.

Key words: tribological testing system; super cryogenic; liquid-nitrogen refrigerating; mechanical design

(上接第46页)

Design of Underwater Real-time Tiny-terrain Detection System Based on TMS320C6416

PU Ying-yong, CHEN Xu, ZHOU Mu-rong, ZHANG Tao

(College of Electromechanical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: With the technology of rotating single-beam ultrasonic range finder, a scheme of underwater tiny terrain detection system based on TMS320C6416 was put forward and the hardware and software of the system were realized. The most optimized cut depth of the terrain ahead can be calculated by using the tiny terrain data with cm-grade precision detected by the system, then precise control of the mining head can be achieved in the deep-sea cobalt crust mining process, which leads to the most optimized cutting. The experimental results prove that real-time detection of the terrain ahead can be accomplished by the system when the test-bed is moving at a speed of 50mm/s and three-dimensional terrain map can be plotted after the moving distance reaches the setting value and the error is small, which can meet the practical requirement of cobalt crust mining.

Key words: cobalt crust; tiny terrain; height; real-time; DSP