

1 简介

液压传动由于具有重量轻、快速性好、能无级调速、易于实现过载保护等优点,因而在各工业部门得到十分广泛的应用。但传统的液压系统主要用矿物型液压油作介质,既浪费石油资源,又将产生泄漏、污染、易燃等一系列严重问题。它不宜在高温、明火、矿井下等环境中工作,特别是对于存在有波浪、暗流等诸多不利因素的水下作业、舰艇、海洋开发、河道工程等。

利用海水(含淡水)作为液压系统的工作介质,不仅可用于上述环境,而且还将带来极突出的优越性:

- (1) 无环境污染,无火灾危险。
- (2) 无购买、运输、贮存等问题,既节约能源,又降低了费用。
- (3) 可以不用回水管,不用水箱。液压系统大为简化,系统效率提高。
- (4) 可以不用冷却、加热装置。
- (5) 海水温度稳定,介质粘度基本不变,系统性能稳定。
- (6) 海水粘度低,系统的沿程损失小。

2 研究的关键课题

与矿物型液压油相比,海水具有腐蚀性强、粘度低、润滑性差、汽化压力高等特点,原有的液压元件与海水完全不相适应,必须研制新型的海水液压元件。为此,必须着重解决以下几个关键问题。

- (1) 改善元件的耐磨性、抗腐蚀性、抗疲劳特性
- 海水的粘度大约只有液压油的 $1/20 \sim 1/40$,其润滑性差,运动摩擦副对偶面上很难形成液体润滑膜,很容易产生边界摩擦或干摩擦,加之外界污染物如海水中的微细砂粒和内部磨屑的侵入,通常不仅是两体摩擦,而且会形成三体摩擦,使得磨损加剧,摩擦损失增加,内部泄漏增大,容积效率降低,寿命缩短。特别是海水具有很强的腐蚀性,材料表面会发生复杂的物理化学反应,使之脆弱化,磨损会剥落受损的表层组织,内部高速液流带走磨屑后,使其迅速暴露出新鲜表面。新鲜表面又将受到上述作用剥落成磨屑,如此反复作用,材料的疲劳强度会大大下降,破坏更加严重。因此,

提高元件的耐磨性、抗腐蚀性和抗疲劳特性,是海水液压传动研究中必须首先解决的问题。

(2) 提高系统的抗气蚀能力

海水的汽化压力比液压油高数千倍(50°C 时为 0.16 bar , 80°C 时为 0.5 bar),加之系统中海水高速流动,很容易产生气蚀现象。气蚀不仅使振动和噪声大为加剧,系统性能下降,而且还对材料具有严重的坏食作用。所以,必须分析气蚀产生的机理,控制气蚀的产生,延长系统寿命。

3 国内外研究概况

3.1 国内研究概况

华中理工大学电液控制工程及自动化研究所在十多年高水基液压传动技术研究的基础上,逐步开展了海水液压传动技术的研究,于1992年底研制出一台单柱塞式海水泵样机。

为满足水下作业的迫切需要,广东湛江海军某基地已从英国进口一台采用海水液压传动的水下作业机器人。

3.2 国外研究概况

海水液压传动由于本身所具有的特点,能很好地满足某些特殊环境下的使用要求,极大地扩大了液压技术的使用范围,因此它已成为液压技术的一个重要发展方向。在水下作业、海洋开发及舰艇上采用海水液压传动已成为当前主要发展趋势,受到了西方工业发达国家的高度重视。十多年来,西方工业发达国家一直在集中力量进行海水液压传动技术的研究工作,早已取得了突破性进展,并开始进入实用阶段。

1) 美国

(1) 美国海军工程实验室(NCEL)先后受美国海军三个司令部(NFFC、NSSC和NCBC)的委托,于1976年开始研制海洋作业工具用液压马达。

首先,以叶片马达作为研制对象。马达内部的轴承润滑与冷却均用海水,对材料要求很高,他们研究出材料筛选原则,即材料必须具有好的耐磨性、强的抗腐蚀性、低的摩擦系数、高的机械强度、低的热膨胀率和良好的实用性。

然后进行材料筛选试验。根据叶片马达内部的运动原理,设计并建立了两套试验台,即单向连续滑动试验台(Pin-on-Disc)和往复滑动试验台(Reciprocating

* 华中理工大学电液控制工程及自动化研究所,
430074 湖北省武汉市

sliding)。试验介质包括海水、淡水及液压油。结果表明同一种材料在相同运动状态下,海水润滑时磨损率最大,往复滑动时比单向连续滑动时的磨损率要大。

试验分塑料与金属、金属与金属、陶瓷与金属等三组进行,通过对多种材料的磨损试验,结果表明,Torlon 4301(填充聚酰胺酰亚胺)与因科合金是最佳的对偶摩擦副材料。因此选择 Torlon 4301 作为叶片马达最关键零件——叶片材料,也用它制做配流盘和轴承,因科合金则选作端盖、定子、转子和轴的材料。

最后,以马达本身作为试验台,进行了磨损试验、性能试验和寿命试验。在完善结构的基础上,于1980年研制出海水叶片马达:体积 23 in^3 ,在海水中重量小于5磅,压力为7.0 MPa,转速1600 r/min,总效率达80%,工作寿命超过50 h。

(2) 美国海军工程实验室在海水叶片马达的基础上,又进行了双向叶片马达和潜水作业液压系统的研究。在完成马达的改进、作业工具的结构设计、过滤精度的确定及系统的试验与评估后,于1984年研制出的海水液压系统压力为14.0 MPa,流量为45 L/min。

(3) 美国 ISTI Delaware 公司与 Delaware 大学合作,于1985年开始研制柱塞式海水泵。泵体用填充环氧树脂,斜盘、轴、缸体衬里用奥氏体不锈钢,轴承、柱塞、滑靴、单向阀均用塑料。于1988年研制成功阀配流海水柱塞泵,流量为19 L/min,压力6.2 MPa,容积效率在92%~95%之间,累计运行2600 h及一亿次工作循环,维修间隔期可达一年以上。

2) 日本

(1) 川崎重工业技术研究所于1981年研制超高压海水泵。该泵用在6000 m深潜调查船上,用来进行浮力调节,采用阀配流型式,以增加抗污染能力和实现高压化。

在材料上,选择不锈钢作缸体和柱塞的基体,用 Al_2O_3 作缸体衬里,在柱塞表面溶射上 Al_2O_3 和 TiO_2 。在结构上,使缸体固定,斜盘转动;用导向机构保证柱塞直线运动的精度,以免由于斜盘的倾斜力使柱塞发生偏心,撞击缸孔内壁,引起陶瓷衬里破坏;采用油封入型式,利用液压油来润滑和冷却轴承。在加工上,利用精密加工保证缸体与柱塞的尺寸误差在微米级以内,因为间隙太小,零件容易烧损;太大,则泄漏大,容积效率低,输出流量不足。通过反复试验,缸体与柱塞的配合间隙确定为 $5\sim 15\text{ }\mu\text{m}$ 。

最后,该研究所于1983年研制成功阀配流轴向柱塞式海水泵,压力达63.0 MPa,流量 $6\sim 9\text{ L/min}$,转速 $2000\sim 3000\text{ r/min}$,重量40 kg。

1987年,日本在改进上述泵的基础上,柱塞用镍合金作基体,表面喷涂WC,配流阀用钛合金制成,阀体用钛材。研制出用在6500 m深潜调查船上的海水柱塞泵,工作压力达68.5 MPa,流量5 L/min,工作寿命200 h,重量51.5 kg。

(2) 萱场工业公司也进行了海水液压泵的研究工作。以海水为介质,在完成陶瓷烧损试验、磨损试验、气蚀试验、耐腐蚀性能试验等基础试验后,选用 Si_3N_4 作轴承滚珠, Si_3N_4 或不锈钢作轴承圈,泵中金属均采用司太立合金。

该柱塞泵工作压力为20.6 MPa,排量7.05 mL/r,转速1800 r/min,容积效率85%以上,机械效率90%以上。柱塞、滑靴、斜盘间的运动副用陶瓷与耐热树脂作对偶材料。

此外,该公司还研制出压力达21.0 MPa,流量10 L/min的海水液压泵及相应的控制阀类。

3) 英国

英国壳牌(shell)公司与埃索(ESSO)石油公司出资40万英镑,从1985年与英国工程实验室(NEL)合作研制海水液压泵及马达,于1988年研制成压力14 MPa的海水柱塞泵及10 MPa的海水柱塞马达。

4) 芬兰

芬兰 Tampere 科技大学已研制成功的水压系统,采用比例流量控制,最高工作压力达40.0 MPa,流量136 L/min。

4 应用前景

地球上约70%的面积被水覆盖,水资源十分丰富。若用水(包括海水与淡水)作工作介质,不仅费用低廉,而且取用方便。由于海水液压传动所具有的特点,它必将发展成为液压技术的一个重要方向,并可以在很多工业领域广泛应用,创造出巨大的经济效益和社会效益。

目前看来,可能而且迫切要求采用水压传动的主要领域有:

- 1) 水下作业工具、作业机械手;
- 2) 潜器的浮力调节;
- 3) 代替海洋船舶及舰艇上原有的液压系统;
- 4) 海洋钻探平台及石油机械上代替原有的液压系统;
- 5) 海水淡化处理及盐业生产;
- 6) 热轧、冶金、玻璃工业、原子能动力厂、化工生产、采煤机械;
- 7) 食品、医药、包装、军事工业等部门;
- 8) 内河船舶、河道工程等。

□

液压与气动