

# 船用泵的现状与开发新势头

杨军虎, 马文瑛, 蒋云国, 袁亚非

Status Quo of Research and Development of New Momentum for Marine Pump

YANG Jun-hu, MA Wen-ying, JIANG Yun-guo, YUAN Ya-fei

(兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**船用离心泵是运用非常广泛但是研究却相对较少的新型泵。在性能参数、结构特点和运转条件等方面就有着许多明显不同于其他泵的地方。该文介绍了船用泵的工作原理,总结了它的国内外研发现状,并介绍了船用泵的主要泵种——液压马达驱动的潜水货船泵,包括它的工作原理、用途,以及对下一步研发新突破点的重要剖析,为以后的研究做了基石。

**关键词:**货船泵;网格划分;扭矩

中图分类号:TH137.5 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2009)11-0071-03

在现代的船舶上,船用泵是一种品种和数量都很多而且作用十分重要的机械设备,无论是用在商船上,还是用在军舰上,都可以分为以下几类:与船舶推进系统有关的泵、配备在发电机系统上的泵、用于船舶服务系统的泵、为船员和乘客提供旅店服务的泵和用于货物装卸和其他特殊用途的泵。

船用泵虽然是一种泵类产品,它与其他工业用泵有许多共同或相似之处,但是也存在着许多差异和不同特点,比如在性能参数、结构特点和运转条件等方面就有着许多明显不同的地方,图1所示即为船用的货船泵模型。船用泵技术的发展尽管已经或正在借鉴其他用途泵在科研、设计、生产、工艺、操作和维护保养等方面的最新成就和丰富经验,其实在很大程度上仍然是依赖于其自身在广泛技术领域内的研究成果和技术进步,才能不断地和更好地满足船用泵系统的设计和使用人员与船东们越来越高的要求。

## 1 船用离心泵基本技术要求

根据调查统计资料表明,从船用泵系统的设计和使用人员以及船东们的角度出发,要求装备在现代化

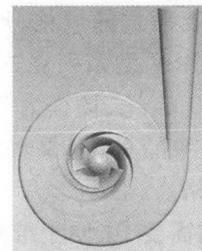


图1 货船泵 PRO/E 模型

船舶上的船用泵必须具有以下基本特点<sup>[1]</sup>:

- (1) 尺寸小,重量轻,占据空间小(特别是泵体都是垂直安装的,小型装置也常常是紧密耦合的,泵的旋转部件直接连接在驱动器轴上);
- (2) 自动控制程序简单灵活,拆装转子时无需专用工具,迅速简便;
- (3) 必须频繁的适用于一定范围的流速,以适应

收稿日期:2009-05-12

基金项目:甘肃省 B 类基金项目(GS702407)

作者简介:杨军虎(1962—),男,陕西蒲城人,教授,主要从事流体机械设计及内部流动的研究工作。

strategies for the MR damper[J]. Intelligent Information Systems, 1997, 8-10:580-584.

- [6] Dyke S J, Spencer B F, Sain M K. Modeling and control of magneto-rheological dampers for seismic response reduction [J]. Journal of Smart Materials and Structures, 1996(5): 565-575.

[7] Chang C C, Zhou L. Neural network emulation of inverse dynamics for a magneto-rheological damper Journal of Structure Engineering[J]. ASCE, 2002, 128(2): 231-239.

[8] Xia P Q. An inverse model of MR damper using optimal neural network and system identification [J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 266(5): 1009-1023.

从船舶全速行驶到停泊时推进设备的各种情况;

(4) 零件有良好的耐腐蚀性能和耐磨蚀性能,密封结构能防止干转,保证良好的密封性能;

(5) 具有良好的自吸结构和自吸性能。

## 2 国内外的发展趋势和特点

随着造船业的长足发展,对船用离心泵的需求呈现多样化的趋势,使得船用离心泵的品种越来越多。它的发展趋势和特点主要表现为如下几个方面:

### 1) 标准化、系列化、通用化

由于船用泵的规格品种越来越多,因此提高产品“三化”程度是发展船用泵生产的有力措施。目前日本、德国、俄罗斯、美国等泵制造大国都将泵的设计制造与标准化、系列化工作紧密结合在一起,当推出一种型号泵的时候,都是伴随着一个系列产品的问世。而这一个系列产品的主要零部件却只有很少的几种通用规格,只需要调整或更换部分零件就可以派生出各种不同参数与连接安装形式的规格,形成一个多规格的完整系列。如德国 RSV 型系列立式单级泵,性能范围广,流量为  $20 \sim 1080 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为  $20 \sim 125 \text{ m}$ ,口径为  $65 \sim 350 \text{ mm}$ ,共 49 个品种,但泵轴、机械密封和轴承体只有 6 种通用规格。

### 2) 更适合船用需要,更便于维修

由于船舱空间位置小,设备布置很紧凑,故要求船用泵具有较小的外形尺寸,并在发生故障时便与修理。目前上述各国研发的船用泵基本都为立式结构,转子部分设计为后开门结构,装设中间联轴器,在检修时,可不必修卸电动机和进出水管路就可取出转子部件进行维修。这样大大缩短检修时间,深受用户欢迎。

### 3) 高可靠性、高泄漏要求

由于船用泵多安装在船舶的机舱内,空间狭小,不适合频繁维修,因此目前对船用的可靠性提出了越来越高的要求。尤其在军用船舶领域,对可靠性的要求更为严格。我国目前船用离心泵的可靠性指标 MTBF 大约在  $500 \sim 2500 \text{ h}$ ,而国外可达到  $5000 \sim 6000 \text{ h}$ <sup>[2]</sup>。同时现代船舶对于船舱内的环境要求也越来越高,这就要求船用离心泵要有很好的密封性能。由于目前船用离心泵多采用了机械密封,替代了原使用广泛的填料密封,使得离心泵的泄漏得到很大改善。但机械密封仍然存在一定的泄漏,同时由于水中泥沙的破坏,使其发生早期泄漏。因此在军用船舶方面对机械密封的泄漏进一步提出了要求。将机械密封原泄漏指标  $3 \text{ mL}/\text{min}$  提高到  $3 \text{ mL}/\text{h}$ <sup>[3]</sup>。

## 3 出现的问题

目前在我国尤其是军用领域,船用离心泵大多是 20 世纪五、六十年代引入原苏联技术设计制造的 CBL 系列离心泵。它是参照前苏联技术开发的清水串并联离心泵,现已明显的不能满足舰船使用要求,主要表现在:

(1) 我国沿海海域海水中含泥沙量大,泥沙随海水吸入泵内,造成泵严重磨损,故障率高,可靠性差,寿命短;

(2) 泵的品种规格少,可选择性小,适用面窄,不能满足舰船的多用途要求;

(3) 泵性能偏低,能耗高,轴承、密封等元件耐磨性差,寿命短。

为满足舰船的使用要求,保证我国舰船整体水平提高,开发具有一定抗泥沙能力、性能优异的离心泵,势在必行,是刻不容缓的任务。

## 4 研究内容

### 4.1 货船泵的简介

货船泵<sup>[4]</sup>主要用于排放船舶容器中运输的液体货物。当液体货物从船上排下来时,随着货柜液位下降,货船泵的吸入压头也在不断下降。同样由于许多货物都具有相对较高的蒸汽压力,这就意味着货船泵必须在相对较低的有效气蚀余量(NPSH)下工作。此外,当货柜快要排空时,液体表面会形成涡流,空气或惰性气体(装有易燃性液体的货柜上方的空间中常含有大量的惰性气体)能够通过涡流进入货船泵的吸入端。为了减少气蚀和涡流的形成,在货物排放后期,货船泵排除液体的流速可以通过手动控制或机动摇控的排出阀来降低。

### 4.2 货船泵的重点研究目标——液压马达驱动的潜水货船泵<sup>[5]</sup>(图 2)

用于海上货物处理的不同类型的泵中,对于液压

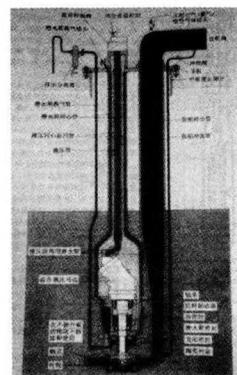


图 2 液压马达驱动的潜水货船泵

马达驱动的潜水货船泵的研究和开发很少见报,研究就很有实际意义和实效。

#### 4.2.1 用途

这种泵用来排放化学品和许多石油产品运输船上的货物。此外,它们还用于排放原油轮上的原油。通常在每个货柜中都安装单独的泵,这就减少了对吸入管线的需求量。为了避免船上装载的不同的货物相互混合,每台泵都与甲板上单独的排出管线相连接,尽管用于驱动船上所有货船泵液压马达的液压油通常由一个中央系统供应,但在一些船上,每台货船泵都配备有独立的液压动力机组。

除了用于货物排放外,潜水货船泵也在船运行时运转,它抽取货物使之通过扩散器循环,以防止液体中的沉淀物在货柜中沉淀,或使之通过甲板上加热器循环,以防止货物冷却。另外,为了减少对单独下降立管的需要,在一些船上,液体通过使其反相通过船上的潜水泵而装进小的货舱。这时,一般要安装一个防止轴在装载时反向旋转的制动装置。然而,由于泵叶轮产生的阻力,通过潜水泵的装载次数将会增加。

#### 4.2.2 工作原理<sup>[6]</sup>

每套潜水排放装置一般都包括花键连接或连接器、由液压马达驱动的带有一个短轴的单级端吸式离心泵。泵轴通常由没入水中的、从液压马达排除的液压油润滑的耐摩擦滚珠轴承或滚柱轴承支撑。泵安装在从主甲板固定板上悬垂下来的支撑管下端。液压油的供应和返回管线通常被围在支撑管的内部。从泵的涡壳中排出的流体通常通过第二条立管流出,该立管在甲板的上排出连接口处终止。一个能用来调节流向液压马达液压油流量的控制阀(因此也能调节泵的工作速度)通常安装在甲板上的固定板上。

#### 4.2.3 密封与维修

机械密封或唇形密封通常用于潜水泵和液压马达的轴上,以防止液压油渗入货柜中,避免货物和液压油的混合。空气或惰性气体一般在孔隙空间中进行循环,这一空间包括封装液压供应和返回管线的立式支撑管、封装液压马达的密封罩、泵密封之间的腔室。气体离开隔离空间后,通过一个甲板上的分离器,将液体分离出去,因此这里能监测到液压油和货物密封的渗漏。

### 5 研究突破点

在突然发生故障或停电事件时,安装的货油阀会及时关上,阻止油液崩溃性倒流,可是阀体前的油液还

是会倒流进泵中,使泵反转。但是带动货船泵的马达是不可以反转的,所以就需要在泵轴上安装一个逆止器来防止泵的反转,为了设计逆止器,所以就要求出泵反转时的最大扭矩:

$$M_n = \rho g Q H / 1000 \eta^{[7]}$$

针对不同水泵工况,利用泵的原始设计参数<sup>[8]</sup>和含有约束的方程,设计出拟定的参数,代入上述方程,得出满足约束方程的条件。对各组参数对应的泵进行性能预测,得到满足效率要求的一组或几组模型。根据满足效率要求的泵的参数,利用 Pro/Engineer 建立泵模型,用 Gambit 软件对该模型进行网格划分,如图 3 所示。采用 Fluent<sup>[9]</sup> 软件对其进行分析和计算,如图 4 所示。确定泵反转时不同流量下的进出口压力差,得出泵反转的最大扭矩,验证是否和性能预测的结果一致。

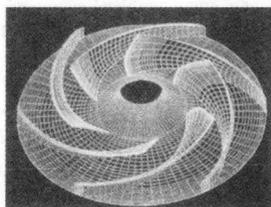


图3 叶轮的网格划分

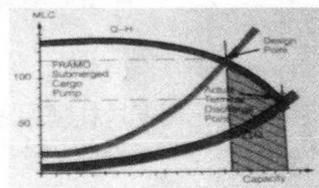


图4 FLUENT的流场计算曲线

#### 参考文献:

- [1] 沈阳水泵研究所,合肥通用机械所. 泵(国外机械工业基础情况)[M]. 北京:机械工业出版社,1985. 56-62.
- [2] 中国通用机械工业协会泵业分会. 中国泵业年鉴[M]. 北京:红旗出版社,2004.
- [3] 国防科学技术工业委员会. GJB/T2432-1995,舰船用离心泵通用规范[M]. 北京:中国标准出版社,1995. 3-4.
- [4] A. J. 斯捷潘诺夫. 离心泵和轴流泵理论设计和应用(中译本)[M]. 北京:机械工业出版社,1980. 80-90.
- [5] Igor J. Karassik Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. Pump handbook(中译本)[M]. 北京:中国石化出版社,2003. 1080-1110.
- [6] Feck A. W, Sommerhalder J. O. Cargo Pumping in Modern Tankers and Bulk Carriers[J]. Marine Technology, 1967, 4(3).
- [7] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京:宇航出版社,1995. 14-267.
- [8] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [9] 韩占忠. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.