

潜液式 LNG 泵的结构特点及其应用优势

梁 骞 厉彦忠 谭宏博 李 欢
(西安交通大学制冷与低温工程研究所)

梁骞等.潜液式 LNG 泵的结构特点及其应用优势.天然气工业,2008,28(2):123-125.

摘 要 随着全球 LNG 工业的迅速发展,LNG 接收终端及气化系统的需求量日益增加,安装在密封容器内的潜液式 LNG 泵得到越来越多的应用。通过详细介绍潜液式 LNG 泵独特的结构特点,指出其具有普通泵无可替代的应用优势;对潜液式 LNG 泵广阔的应用范围作了介绍,分析了国产潜液式 LNG 泵研制中需要解决的关键问题,并对其可行性进行了预测。

主题词 LNG 输送 潜液泵 结构 特性 应用

20 世纪 60 年代潜液式电动泵首次出现在液化天然气(LNG)领域^[1]。从那时起,潜液式 LNG 泵便开始用于 LNG 工业中。随着材料科学、密封技术、控制和保护技术的发展以及冷、热加工工艺水平的提高,潜液式 LNG 泵得到了越来越广泛的应用。目前,国外的很多企业 and 公司都致力于潜液式 LNG 泵的研发和制造,美国 J.C.Carter 公司,法国 Cryostar 公司、日本的 Ebara、Nikkiso、Shinko 等公司都相继推出自己的产品,使得潜液式 LNG 泵的形式更加多样化,大大开拓了其应用领域。

一、潜液式 LNG 泵的结构及特点

典型的潜液式 LNG 泵的结构如图 1 所示,一般包括电动机、主轴、轴承、叶轮、导流器等,部分产品还装有推力自平衡机构。

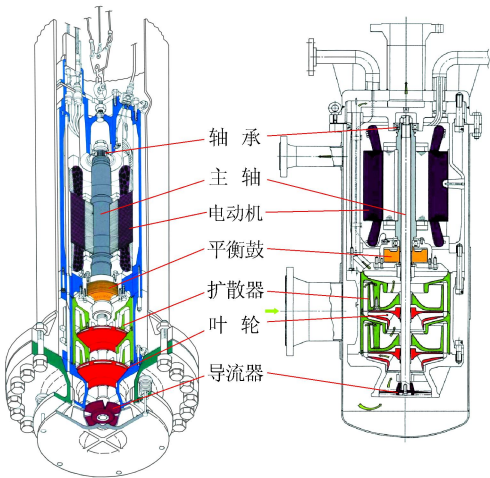


图 1 典型潜液式 LNG 泵的结构图

1.电动机与电缆

潜液式 LNG 泵与传统泵不同,其动力电缆需要特殊设计并采用可靠的材料,使其耐低温,不易老化变形,柔韧性好,且还要求具有良好的绝缘性,在-200℃条件下仍保持弹性。电缆采用聚酯带与聚乙烯复合纸作为绝缘层^[2],其结构如图 2 所示。

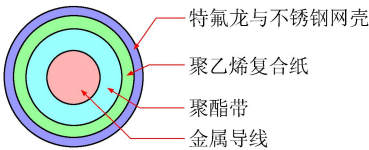


图 2 低温电缆内部结构图

由于电动机浸没在 LNG 中,被其所输送的低温流体直接冷却,因此冷却效果好,电动机效率高,也没有潮湿和腐蚀的影响,其绝缘不会因温度升高而恶化。潜液式 LNG 泵的电动机转矩与普通泵的电动机有所不同,在低温状态下,其转矩会有较大降低。同样功率的电动机从起动到加速至全速运转,由于电阻和磁力特性的变化使得低温下电动机的电力特性发生改变,因而在低温环境下转矩有较大的降低。若电压降低,起动转矩也会随之大幅降低。

2.电气连接处的密封

电气连接处的密封装置是影响潜液式 LNG 泵安全性的关键之一。使用陶瓷气体密封端子(图 3)和双头密封结构可以使电气连接端耐高压和电压,保证其可靠性。泵的所有密封装置采用特殊焊接技术;气体密封两端接线柱采用串联方式,串联部分中间空腔内充有氮气,两边密封,气体无法通过。密封

作者简介:梁骞,1984 年生,硕士研究生;主要研究方向为液化天然气的能量综合利用与冷能回收。地址:(710049)陕西省西安市。电话:13700227234。E-mail:lq-xjtu@stu.xjtu.edu.cn

空腔内的氮气压力低于泵内压力,高于环境压力,这样,任何一侧泄漏都可以探测到^[3,4]。

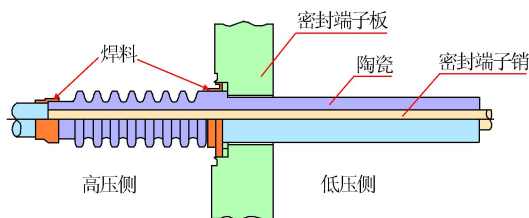


图3 陶瓷气体密封端子图

3. 潜液式 LNG 泵的平衡

潜液式 LNG 泵的平衡非常重要,直接影响轴承的使用寿命和泵的大修周期。泵的平衡主要受到径向载荷和轴向载荷的影响。

(1) 径向力平衡

径向力的不平衡会缩短轴承的寿命,因此,在设计潜液式 LNG 泵时要考虑流体和机械方面由于力的不平衡所产生的负面影响,尽可能地消除不平衡力。低温下的 LNG 从叶轮中流出后进入轴向的扩散器,扩散器在其流量范围下具有良好的水力对称性。传统泵依靠一个涡形扩散器,不同流量下其径向载荷是变化的。相对于传统涡轮泵,潜液式 LNG 泵作用于叶轮上的径向力理论上为零^[2,4]。

(2) 轴向推力自平衡

为使轴向力达到平衡,减少轴向推力载荷,部分潜液式 LNG 泵(如日本 Nikkiso 泵)设计了一套推力自平衡机构,使轴向推力为零。Nikkiso 低温泵的推力自平衡机构(图4)可以自动调节压力,从而使推力为零。这是通过一个可变的轴向节流装置来实现的,改变可变节流间隙的开度可以调节平衡鼓上的压力。当出口压力增大至与平衡鼓下方的反作用力相等时,达到平衡状态^[3,4]。

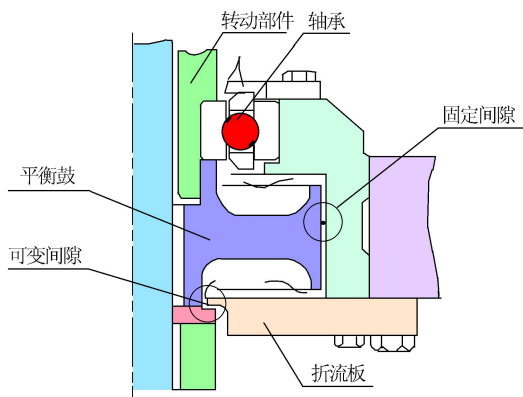


图4 推力自平衡机构图

4. 导流器

潜液式 LNG 泵的入口处通常设有导流器,允许液体可以在较低的压力和液位下运转,并可以消除“死穴”,减少吸入口的流体阻力,保持其运转的稳定性。同时也可以改善水利特性,降低泵对净吸入压头的要求,防止在泵的吸入口产生气蚀^[3,5]。螺旋状导流器的结构如图5所示。



图5 螺旋状导流器图

二、潜液式 LNG 泵的特点及其在 LNG 工业中的应用

1. 潜液式 LNG 泵的特点

由于具有与传统泵不同的结构特点,潜液式 LNG 泵应用于 LNG 工业中具有许多传统泵无法相比的优势。其优点主要体现在^[1,6,7]:①泵体完全浸没在液体中,工作噪音非常小;②不含转动轴封,泵内有封闭系统使电机和导线与液体隔绝;③电动机不受潮湿、腐蚀的影响,其绝缘不会因为温度变化而恶化;④消除了可燃气体与空气接触的可能,保证了安全性;⑤将电机与叶轮设计在同一个轴上,省去了联轴器和对中的需要;⑥平衡机构的设计使轴承的使用寿命和泵的大修周期延长;⑦叶轮和轴承通过液体自身润滑,不需要附加的润滑油系统;⑧无需使用防爆电动机。

2. 潜液式 LNG 泵的应用领域

正是由于有着诸多优点,潜液式 LNG 泵在 LNG 工业中得到了广泛应用。目前,在大型 LNG 船、汽车燃料加注站、LNG 储罐等,几乎均采用潜液式电动泵输送液态天然气^[3,5]。

(1) 大型 LNG 储罐的罐内泵

目前大型 LNG 储罐一般是部分或全部埋入地下。采用潜液式 LNG 泵不需要使用低于液位以下的连接管路,这样避免了罐内液体泄漏的可能,不会引起大量的 LNG 外溢。泵被安装在一个称为“泵井”的圆柱形容容器内,泵井既作为泵的支座,也作为泵与储罐顶部的出液管。泵井与储罐连接处有一个进口阀门,它由一个双压力敏感密封件组成,通过法兰安装在泵井下端。泵在安装时依靠重力作用将阀

门打开;取出泵时阀门失去了泵的重力作用,在弹簧弹力与罐内压力作用下使阀门关闭。

(2)船用泵

这种泵通常安装在 LNG 船的罐舱内,直接与液货管路系统连接,用于输送液体、卸货、冲洗、喷洒以及一些紧急服务。可以为单级设计,也可以使用多级。它装有推力自平衡机构,使用寿命更长。其流量范围为 $20 \sim 2500 \text{ m}^3/\text{h}$,单级扬程可达 200 m 。

(3)汽车燃料加注泵

汽车燃料加注所使用的 LNG 泵也是潜液式 LNG 泵。它结构紧凑,特别适用于汽车燃料加注和低温罐车转运 LNG。泵与电机都浸没在低温液体中,因而不需要转动轴封。整个泵被安装在一个不锈钢容器内,不锈钢容器作为进口处气体、液体分离器。泵内装有导流器。

三、研制国产潜液式 LNG 泵需解决的关键问题

由于潜液式 LNG 泵特殊的结构特点及应用领域,在其研制过程中,各部件的低温性能要求较高,电机冷却、汽蚀特性研究及整机测试技术中都存在着诸多难点,这些成为了潜液式 LNG 泵研制过程中的关键技术。就我国目前的研究现状,应主要解决以下关键问题。

(1)设计研制转子、叶轮及同轴部件。潜液泵机电一体浸在 LNG 中,电机、转子与叶轮同轴,无联接件,设计过程要考虑同轴部件动平衡。要研究转动部件振动测量方案,分析引起振动的原因,并提出抑制和消除振动的改进措施。

(2)电绝缘材料及电缆的低温性能研究。主要对电机转子线圈、定子线圈及引线在 111 K 以下的低温性能进行实验研究,选择合适的绝缘材料和电线材料和结构。

(3)电动机的工作特性及冷却技术的研究。由于电机浸在 LNG 中,因此电机的冷却由 LNG 来承担,但由于被输送的 LNG 都在其饱和温度附近,很小的温升或很小的压降即可能造成 LNG 气化。研究这种“过热蒸发”和“降压闪蒸”现象形成条件,并在设计过程中采取相应措施避免之。

(4)轴承的润滑及电气连接密封装置的研究。

(5)泵体吸液管和导流器设计研究及其汽蚀特

性研究。泵体吸液管及诱导器的设计直接影响到潜液泵的性能,并且关系到汽蚀余量(NPSH)的大小。

(6)叶轮、导流器内流场的计算与受力分析。

(7)泵井、自动开关阀门结构设计。

四、结束语

20 世纪 60 年代,美国、日本等国就有低温潜液泵产品问世,其研发技术成熟、制造工艺先进,相关产品性能优越、可靠稳定,目前正朝着大型、高效、节能的方向发展。国内相应的研究却很少,潜液式 LNG 泵研制技术尚属空白。但是,国内目前具有常温流体潜液泵研制的成功经验可供借鉴,一些单位已开展了低温电缆及低温电绝缘材料、液体的闪蒸和汽蚀现象及低温液体物性的研究工作,这些都为该技术国产化提供了有力的技术支持。深圳、福建、上海、青岛等地 LNG 接收站的相继建成为该技术的国产化提供了广阔的市场空间。随着 LNG 在我国能源结构中所占比例的逐步上升,我国应该尽早开展潜液式 LNG 泵的研究和试制工作。

参 考 文 献

- [1] STEVE RUSH. Submerged motor LNG pumps in send-out system service[J]. Pumps and Systems, May 2004: 32-37.
- [2] 日本 tokyo-gas 公司[EB/OL]. http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/97a3_e.html.
- [3] 顾安忠. 液化天然气技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 湖南力普吉实业有限公司产品资料[EB/OL]. http://www.lpge.com/chs/3.files/Nikkiso_Broch.pdf.
- [5] 湖南力普吉实业有限公司产品资料[EB/OL]. http://www.lpge.com/chs/3.files/Ebara_Catalogo.pdf.
- [6] DAVID A COYLE, VINOD PATEL. Processes and pump sevicees in the LNG industry[C]. proceedings of the twenty-second international pump users symposium, 2005.
- [7] ANDREAS HOSOY, SIGVE GJERSTAD, JOSTEIN SMAAMO, et al. Design and development of electric submersible pumps for large capacities[C]. proceedings of the twenty-second international pump users symposium, 2005.

(修改回稿日期 2008-01-09 编辑 罗冬梅)