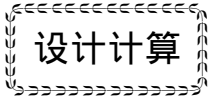


文章编号：1005—0329(2002)09—0013—05



泵用零逸出非接触式机械密封

郝木明¹ 胡丹梅¹ 杨宝亮²

(1. 石油大学 山东东营 257062; 2. 齐鲁石化公司 山东淄博 255434)

摘要：介绍了转子泵用新型零逸出非接触式机械密封的工作原理和技术优势，综合了其最新研究及开发成果，简要给出了其各自的使用条件及范围，旨在推动干气密封和上游泵送机械密封在国内石油石化等工业领域转子泵上的推广使用。

关键词：非接触式机械密封；干气密封；上游泵送密封；零逸出

中图分类号：TH136

文献标识码：A

Non-emission Non-contacting Mechanical Face Seals for Rotating Pumps

Hao Muming Hu Danmei Yang Baoliang

Abstract： Mechanisms of non-emission non-contacting mechanical face seals, such as dry gas seal and upstream pumping seal were introduced; the working conditions, the industrial application areas and the developments of them were analyzed. It is believed that the non-emission non-contacting mechanical face seals will play an important role in industrial application as rotary pump seals.

Keywords： no-contacting mechanical face seal; dry-gas seal; upstream pumping seal; non-emission

1 前言

干气密封和上游泵送机械密封是基于现代流体动压润滑理论的新型非接触式机械密封。与普通的接触式机械密封相比，干气密封与上游泵送密封可实现密封介质的零泄漏甚至零逸出（即工艺流体的泄漏量和逸出量等于零^[1,2]），彻底消除对环境的污染；同时，由于密封端面之间无直接的固体摩擦磨损而具有使用寿命大大延长、密封可靠性显著提高、运行维护费用显著下降、经济效益明显提高等技术优势，国外已在各种转子泵上推广应用。自20世纪80年代以来，国内有关科研院所就开展了流体润滑非接触式机械密封的研究工作，但在转子泵上推广应用还较缓慢。

本文分析了干气密封和上游泵送密封的工作原理和性能特征，介绍了国外在工业开发应用方面所取得的最新进展，籍以促进国内各科研机构、密封生产厂家和用户能够联合起来，共同研制开

发具有自主知识产权的高性能泵用非接触式机械密封技术和产品，推动我国高新机械密封技术的不断进步及产业的不断壮大。

2 干气密封

2.1 密封原理

干气密封的工作原理可用图1来说明。当端面外径开设流体动压槽的动环按图示方向旋转时，流体动压槽把外径侧（称之为上游侧）的高压隔离气体在粘性剪切力的作用下泵入密封端面之间，使由外径至槽径处气膜压力逐渐增加，而自槽径至内径处气膜压力逐渐下降；因端面膜压增加使所形成的开启力大于作用在密封环上的闭合力，迫使在静止状态下保持接触的两端面分离并处于稳定的非接触状态。由中性高压隔离气体所形成的气膜完全阻塞了相对低压的密封介质泄漏通道，实现了密封介质的零泄漏或零逸出。干气

密封属于泵入式非接触密封结构^[3~5]。

2.2 技术特征

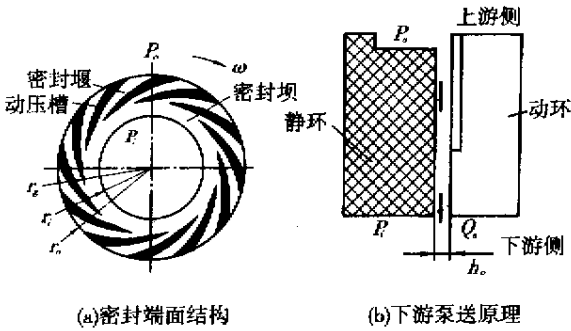


图 1 干气密封的工作原理

干气密封最早于 20 世纪 80 年代中期由美国的约翰·克兰密封公司研制开发,首先应用于高速透平压缩机上,工业应用表明,干气密封具有下列特点:可以实现密封介质的零逸出,从而避免对环境和工艺产品的污染;密封稳定性和可靠性明显提高;对工艺气体无污染;密封辅助系统大大简化,运行维护费用显著下降等。表 1 对非接触式双端面干气密封和接触式双端面液膜机械密封进行了全面比较,从中可以清楚地看出干气密封的

技术优势。

表 1 干气密封与液膜机械密封对比

基本特征	液体密封	干气密封
介质泄漏、逸出	零	零
环境污染	无	无
使用寿命,单位	1	> 5
工艺介质污染	有	无
隔离流体损失	大	小
摩擦功耗,单位	20	1
运行费用	高	低
承受反压能力	低	高
辅助系统	复杂	简单
系统定期维护	较频繁	不频繁
隔离流体循环、冷却	需要	不需要

2.3 产品开发及应用

经过干气密封在压缩机上成功应用的经验积累,人们开始尝试把干气密封应用到转子泵上,取得了预期的效果。20 世纪 90 年代以来,世界各著名的密封公司相继开发出具有自主知识产权的泵用系列干气密封技术产品,其典型的端面结构形式如图 2 所示,产品结构特征、性能、使用范围等见表 2^[6,7]。

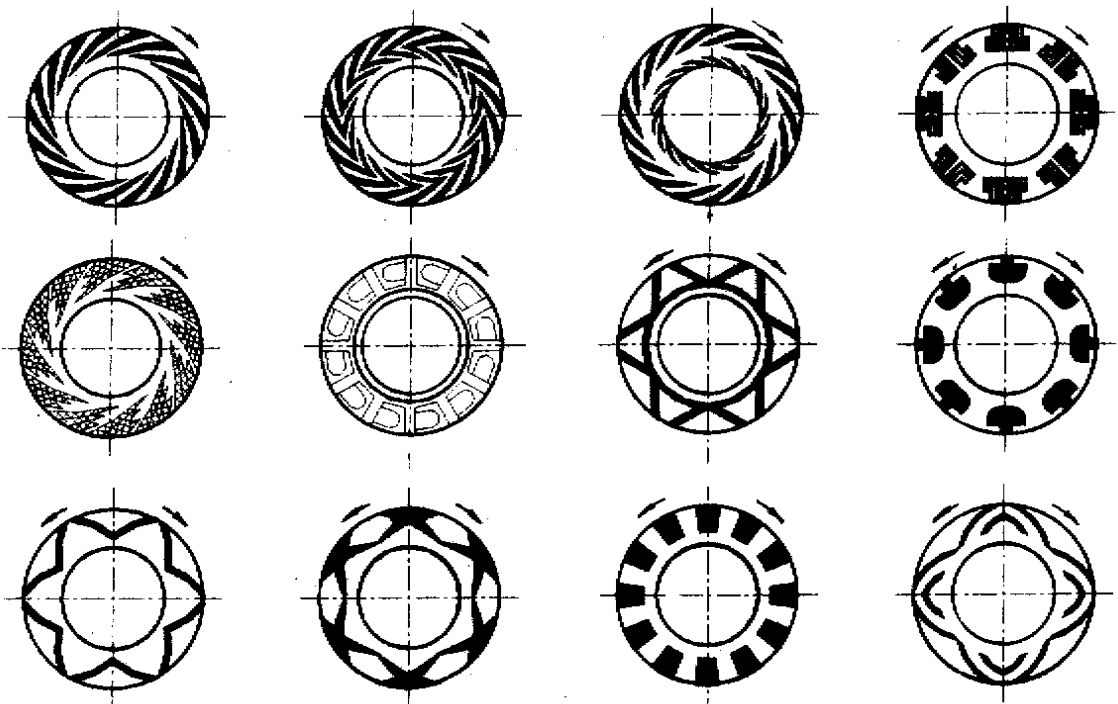


图 2 干气密封端面结构主要形式

表 2 泵用干气密封产品

公司名称	产品型号	动压槽型	结构特征	性能参数			使用范围
				压力 (MPa)	温度 (°C)	速度 (m/s)	
John Crane International (美国)	2800	螺旋槽型	双端面	≤2.1	-40 ~ 260	≤25	毒性介质 轻烃、粘性聚合物等 毒性、危险性介质 高含固体颗粒介质 毒性、危险性介质 液氨、液氮、液氧
	2800MB		波纹管				
	2800E		双端面	真空 ~ 1.8	-40 ~ 260	≤30	
	2800EX		双端面				
	2800HP		双端面	≤1.6	-40 ~ 260	≤25	
	2800HP		双端面	≤1.6	-40 ~ 260	≤25	
285	波纹管	≤4.1	-40 ~ 260	≤25			
Burgmann (德国)	Cartex - GSD	V型槽 U型槽	串联集装式	≤1.3	-20 ~ 200	≤16	毒性、污染性等危险性介质及各类其它介质
	CGS		单端面				
	GSO - D		双端面	≤2.5	-20 ~ 260	≤25	
	HRC - GSD		串联集装式	≤1.0	-20 ~ 200	≤16	
	MFL85GS		单端面波纹管	≤2.5	-20 ~ 200	≤25	
	MTEX - GSD		金属波纹管	≤1.6	-200 ~ 300	≤15	
EG&G Sealol (美国)	1010 型	螺旋槽 直线槽	单端面、双端面、	≤1.9	-40 ~ 260	≤30	危险性、污染性介质
			串联结构				
Flowserve Corporation (美国)	GF - 200	波型面 圆弧槽 T型槽	单端面、 双端面、 串联结构	≤3.45	-40 ~ 260	≤25	危险性、污染性介质

干气密封在转子泵上的应用,是机械密封技术的又一重大进步。随着人们特别是密封用户对干气密封技术优势认识的日渐深入全面,干气密封在工业上的应用范围将会不断拓宽,将会有更多更高性能产品不断问世。

3 上游泵送密封

3.1 工作原理

上游泵送密封的工作原理类似于干气密封,是借助端面开设的流体动压槽在旋转条件下的粘性剪切作用把液体泵入密封端面之间,使液膜的压力增加并把两密封端面分开。与干气密封不同之处在于,上游泵送密封的端面流体动压槽是把由高压侧泄漏到低压侧的密封介质再反输至高压侧,或者把低压侧的缓冲流体微量地泵送至高压密封介质侧,可以消除密封介质由高压侧向低压侧的泄漏。上游泵送密封属于泵出式非接触密封结构

图 3(a)所示为典型的内径开槽式上游泵送机械密封端面结构。对内装式上游泵送机械密封,动环外径侧为高压密封介质(即下游侧或低压侧)。当动环以图示方向旋转时,在螺旋槽粘性流体动压效应的作用下,动静环端面之间产生一层如图 3(b)所示厚度为 h_0 的流体膜,使动静环端面保持分离即非接触状态。在内外径压力差的作

用下,高压密封液体产生由外径上游侧指向内径下游侧的压差流 Q_p ,而端面螺旋槽流体动压效应所产生的粘性剪切流 Q_s 由内径下游侧指向外径上游侧,与压差流 Q_p 的方向相反,实现上游泵送功能。

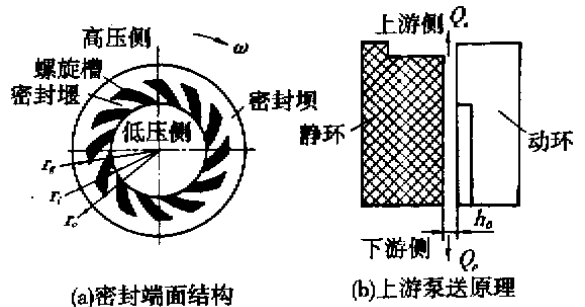


图 3 上游泵送机械密封工作原理

3.2 技术优势

理论、试验研究和工业应用表明^[8-11],与普通的接触式机械密封相比,上游泵送机械密封具有以下系列技术优势:

- (1)与干气密封一样,可以实现密封介质的零泄漏或零逸出,消除环境污染。
- (2)由于密封摩擦副处于非接触状态,端面之间不存在直接的固体摩擦磨损,使用寿命大大延长。
- (3)能耗约降低 5/6,而且,用于降低端面温升的密封冲洗液量和冷却水量大大减少,提高了运行效率^[11]。
- (4)无需复杂的封油供给、循环系统及与之相

配的调控系统,对带缓冲液的零逸出上游泵送密封,缓冲液的压力远低于密封介质的压力,且无须循环,消耗量也小,因此,相对简单且对辅助系统可靠性的要求不高。

(5)可以在更高 PV 值、高含固体颗粒介质等条件下使用。

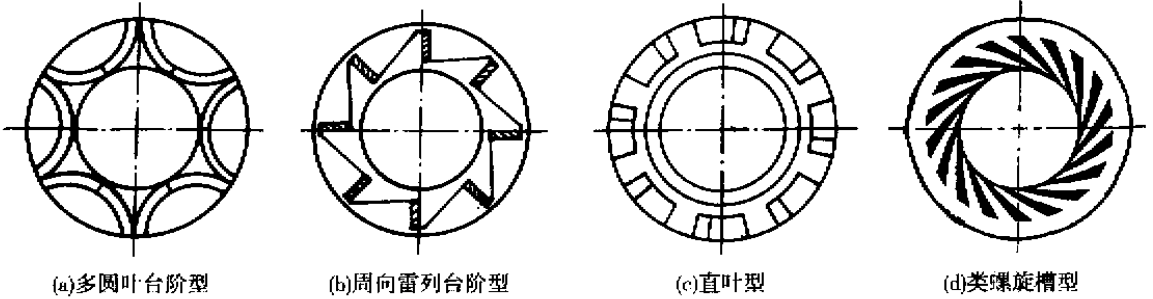


图 4 上游泵送密封端面结构

上游泵送密封分零泄漏上游泵送密封和零逸出上游泵送密封^[11],既可用于输送饱和蒸气压高于环境大气压的各种介质(如油品、水溶液等)的转子泵轴封、停车密封、备用密封、安全密封、高速轴承润滑油密封,又可用于输送饱和蒸气压低于环境大气压的各种介质(如液态轻烃等)转子泵轴封,可替代普通的接触式双端面密封。美国约翰克兰密封公司已成功开发出 8000 型上游泵送密封系列产品,并逐渐在工业上推广应用。可以相信,上游泵送密封的工业应用前景将十分广阔。

从 20 世纪 80 年代末以来,国内有关科研、生产单位开始从事干气密封和上游泵送机械密封的研究工作。先后有石油大学化工机械研究所流体机械及动密封研究室^[5,11~16]、天津鼎名密封有限公司、四川日机密封件有限责任公司^[17,18]、四川联合大学等单位相继开展有关的研究开发工作^[19],并取得了具有自主知识产权的研究成果^[20~23]。近年来,石油大学先后承担了中石化集团公司“八五”重点科技攻关项目“干气端面机械密封的研究开发”及中国石油天然气集团公司 1999 年科技攻关项目“零逸出上游泵送机械密封的开发应用”等项目,至今已申请并获得 7 项国家专利,并成功应用于工程实际。

4 应用前景

随着石油、石化工业向无污染、长周期、低能耗、高效益方向发展,要求流体机械的机械密封实现密封介质零逸出、无污染、长寿命,并且运行维

3.3 产品开发及应用

至今,已开发出的上游泵送密封端面结构形式主要有图 4 所示的 4 种形式,其中类螺旋槽型包括螺旋槽、圆弧槽、直线槽、曲线槽等。由于其流体流动效率或摩擦功耗等性能最佳,因此应用最为普遍^[11]。

护费用低。特别是石油、石化工业中工艺流体大多具有易燃、易爆、剧毒、污染严重等特点,普通的接触式机械密封是难以达到上述要求的,而干气密封和上游泵送密封可以实现密封介质零逸出、对环境无污染、超长使用寿命、运行维护费用显著下降、辅助系统简单可靠等系列特殊优势,因此,各种零逸出非接触式机械密封将在石油、石化等工业中发挥越来越重要的作用,其市场潜力巨大。

通常,在下列情况下可以优先考虑采用干气密封:要求密封介质零逸出、密封介质对摩擦温升敏感、要求工艺产品高纯度无污染、泵易抽空而使密封发生干运转、要求密封辅助系统简易可靠、要求密封运行维护费用低等。首先,应当考虑的是要针对具体的密封介质选择与之相容的阻塞气体,可以是氮气、洁净的仪表气或蒸汽等。尽管干气密封无需阻塞气体循环系统和冷却系统,但必须保证现场能够提供稳定可靠的气源,也许正是因为这一点,干气密封目前在国内转子泵上的应用受到了一定的限制。

上游泵送密封的适用范围与干气密封大致相近,尽管其节能降耗效果不如干气密封,但适用范围广,既可以在某些不太苛刻的条件下用零泄漏密封而无须缓冲液辅助系统,又可在对密封介质泄漏需严格控制的条件作用下作需有缓冲液系统的零逸出密封,但缓冲液的压力远低于密封介质的压力,从实用性的角度考虑上游泵送密封应有更广阔的使用范围。

参考文献

[1] 顾永泉. 零逸出密封技术[J]. 流体机械, 1997, 25

(5) 30~33.

- [2] 顾永泉. 零逸出密封技术[J]. 流体机械, 1997, 25(6) 31~33.
- [3] Adams W V. Improve Rotating Equipment Performance with Gas-Barrier Seals. Chemical Engineering Progress [J]. 1996 (10) 58~63.
- [4] Gas-Lubricated Sealing - the New Face of Emission Control [J]. World Pumps. 1998 (2) 49~52.
- [5] 胡丹梅 郝木明 杨惠霞. 非接触式气体端面密封低速性能试验研究[J]. 流体机械, 1998, 26(9).
- [6] Burgmann Mechanical Seals Design Manua[Z]. 2001.
- [7] John Crane Mechanical Seals[Z]. 2001.
- [8] Tom Lai. Development of Non-contacting, Non-leaking Spiral Groove Liquid Face Seals [J]. Lubrication Engineering, 1994, 50(8) 625~631.
- [9] Lai Wei-Tang. Face Seal with Double Spiral Grooves, European patent[Z]. EP 0564153A1, 1993.
- [10] Person V, Thumerie B, Frene J. A Numerical Study of the Stable Dynamic Behavior of Radial Face Seals with Grooved Faces [J]. Transactions of the ASME, Journal of Tribology, 1997, 19(6) 507~514.
- [11] 郝木明 胡丹梅. 上游泵送机械密封的研究开发及应用[J]. 流体机械, 2001, 29(2):13~16.
- [12] 王建荣 顾永泉. 圆弧槽气体润滑非接触式机械密封的特性[J]. 流体工程, 1991(3):1~6.
- [13] 胡丹梅 吴宗祥. 直线槽端面气体密封分析计算

[J]. 流体机械, 1996, 24(9):16~22.

- [14] 吴宗祥 郝木明. 低速干气端面密封性能研究[J]. 流体机械, 1994, 22(6):7~11.
- [15] 郝木明 胡丹梅. 新型上游泵送机械密封的性能研究[J]. 化工机械, 2001(1):12~15.
- [16] 郝木明 苏玉柱. 上游泵送机械密封在液化汽泵上的应用[J]. 润滑与密封, 2001(4) 57~59.
- [17] 彭建 左孝桐. 不同槽型气体端面密封研究[J]. 流体机械, 1996, 24(11) 8~12.
- [18] 彭建等. 上游泵送密封研究[J]. 流体机械, 1998, 26(2) 3~8.
- [19] 宋鹏云等. “零压差零泄漏”双螺旋槽非接触机械密封的性能计算[J]. 流体机械, 1999, 27(5):17~20.
- [20] 李克永 王玉明. 双环带螺旋槽端面密封[P]. 实用新型专利, 96216242.6, 1998.
- [21] 郝木明 胡丹梅. 单列流体动压槽上游泵送机械密封[P]. 中国专利号 002392038, 2000.
- [22] 郝木明 胡丹梅. 双列流体动压槽自润滑非接触式机械密封[P]. 中国专利号 00239202X, 2000.
- [23] 郝木明 胡丹梅 杨宝亮. 零逸出上游泵送机械密封特性分析及设计[J]. 润滑与密封, 2003(1).

作者简介 郝木明,男,37岁,副教授,从事流体机械及流体动密封的研究开发工作,获国家专利7项.通讯地址:257061 山东东营市石油大学机电学院流体机械及动密封研究室.

(上接第34页)

则内、外基准脉冲个数计数器 $count_2$ 、 $count_3$ 分别增加1,同时中断次数计数器 $count_1$ 也增加1.测量时间 T_c 到,先停止对内、外基准脉冲的计数,待下一个内、外基准信号的上升沿来到时,再停止对中断次数的计数,然后关闭定时器,按式(6)计算内、外转子的转速并显示.重复上述过程,直到键盘的某一功能键被按下,则退出转速测试的功能块,转而执行所按下键的相应功能.当 $f_o = 5\text{kHz}$, $T_c = 5\text{s}$ 时, M/T 法测量转速的相对误差为 1/1000.

3 结论

上文所述的微速差双转子系统智能化整机动平衡仪的测试模块,经 10000r/min 以下的转速

测量误差不超过 1r/min,完全能满足动平衡仪转速测量的要求.

参考文献

- [1] 周保堂. 振动测试分析与动平衡[M]. 杭州:浙江大学出版社, 1991.
- [2] 张志新. 微速差双转子系统智能化整机动平衡仪的开发与研究[D]. 杭州:浙江大学, 2001:56~57.
- [3] 齐长远. 一种非接触高精度的转速测量方法[J]. 微型机与应用, 2000, 19(12):21~22.
- [4] 邓汉馨. 模拟电子技术基础教程[M]. 北京:高等教育出版社, 1986.

作者简介 张志新,男,1974年生,工学博士,讲师,主要从事旋转机械的故障诊断、现场整机动平衡原理研究及智能动平衡仪器的开发,过程装备的自动控制原理和方法研究工作.通讯地址:310027 浙江大学化机研究所.