



国际流体密封会议文集



〔英〕B. S. 纳乌 主编

机 械 工 业 出 版 社

本文集汇编了“第11届国际流体密封会议”和“STLE/ASME1987年摩擦学会议”论文共52篇。主要内容有密封的理论探讨、结构设计、新型材料、应用技术、试验研究等,涉及的密封种类包括机械密封、往复密封、橡胶密封、旋转唇形密封、静密封、间隙密封、浮环密封、填料密封。可供化工、石油、冶金、动力、国防、交通、轻工和航天等部门的科研、设计、制造、使用单位的工程技术人员以及有关高等院校的师生参考。

**11th International Conference on
Fluid Sealing**

B. S. Nau

ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD 1987

* * *

国际流体密封会议文集

[英] B.S.纳乌 主编

机电部合肥通用机械研究所

四川省机械设计院密封技术研究所 译

天津市机械密封件厂

*

责任编辑:王正琼 版式设计:霍永明

封面设计:方 芬 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $29 \frac{3}{4}$ · 字数 733 千字

1991 年 3 月北京第一版·1991 年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—1,040 · 定价: 21.60 元

*

ISBN 7-111-02163-0/TB · 99

译 序

随着化工、石油化工、冶金、动力、国防、交通、轻工、原子能、航天等工业的发展，流体密封技术得到了迅速发展和广泛应用。特别是对于量大面广的通用机械和化工设备来说，更离不开流体密封技术，而密封性能的好坏已是衡量其可靠性的重要标志之一。当今，许多机器和设备的跑、冒、滴、漏浪费了大量能源，污染了环境。流体密封技术已成为解决机器和设备泄漏问题的关键。因此流体密封的成果具有重要经济意义，并为世界各国所重视。全世界都从1986年1月份美国“挑战者”号航天飞机的悲剧中再次清楚地认识到流体密封技术的重要性，仅仅是由于助推火箭的橡胶O形圈的失效，就导致了当今世界最大的航天事故，使美国航天计划蒙受重大挫折。

在科学技术高度发展的今天，流体密封技术正在发展成为一门综合性学科“密封学”。作为研究密封机理、建立和使用密封装置科学原理的学科，它与摩擦学、润滑学、流体力学、固体力学等学科相互渗透、密切相关。因此，对流体密封技术工作者的素质提出了更高的要求，他们不仅要掌握各种类型密封的工作特性及与之相关的多方面知识，还要了解与流体密封技术有关的相邻学科知识，并且要充分注视国际流体密封技术领域的发展动态，注视国际上流体密封技术将发展成“密封学”学科的趋势，跟上密封学发展潮流。

《国际流体密封论文集》汇编了1987年4月在法国举行的11th International Conference on Fluid Sealing 全部论文42篇和1987年10月在美国举行的STLE/ASME 1987 Tribology Conference有关流体密封的论文11篇。我们之所以要编译这本论文，主要考虑其内容比较广泛，涉及机械密封、往复密封、橡胶密封、旋转唇形密封、静密封、间隙密封、浮环密封、填料密封等，集中反映了近几年来世界各国流体密封学术领域的科学家、工程技术人员在密封的理论探讨、结构设计、新型材料和试验研究等方面的创新、发展及最新研究成果，代表了当今世界流体密封技术发展的先进水平。从一定程度上反映了当前国际流体密封技术领域的新动向和发展趋势。对国内同行具有重要的借鉴和参考价值。

回顾30年来我国流体密封技术的成长发展史，可以看出，我们已经取得了一些重大的研究成果，借鉴和吸取国外先进技术是取得成功的重要方法和手段。如何利用我国在流体密封技术领域的部分优势，大胆采用国外先进技术、先进经验来推动我国流体密封技术的全面发展，赶上世界先进水平，是摆在我们流体密封科技人员面前的一项重要任务。

在当今世界科学技术发展迅速的形势下，我国从事流体密封的同行需要面向世界，了解世界，更需要跟上世界发展的步伐。我不仅希望有关专业人员能够从该书中了解国际流体密封技术领域的新动向，借鉴和吸收先进技术，而且期待着他们在流体密封技术领域中取得新的成果，更期待着中国流体技术为发展国民经济作出更大的贡献。

机电部合肥通用机械研究所所长
中国机械工程学会流体工程学会理事长
王昌庆

1988年11月9日

译 者 的 话

流体密封是解决机械设备泄漏的重要手段,近年来得到了迅速发展和广泛应用。人类为了迎接能源和环保的挑战,不得不求助于流体密封技术。尤其在科学技术高度发展的今天,做为关键技术之一的流体密封技术,已深入到经济建设的各个部门,得到了国内外的极大关注。

为了使国内从事流体密封技术的工作人员了解世界流体密封技术的发展动态,借鉴和学习先进经验,我们组织翻译出版了《国际流体密封会议文集》。该书汇编了1987年4月在法国召开的第11届国际流体密封会议和1987年10月在美国召开的STLE/ASME1987年摩擦学会议有关流体密封的论文共52篇论文。主要包括密封的理论探讨、结构设计、新型材料、应用技术、试验研究等内容。这些论文集中反映了世界各国流体密封技术领域的科学家和工程技术人员的最新研究成果,代表了当今世界流体密封技术发展的先进水平,对国内同行具有较高的参考价值。

在本书翻译出版过程中,得到了国内有关专家、学者和工程技术人员的大力支持,以及机械电子工业部陈寿德同志和合肥通用机械研究所刘志国、王春阳同志的具体指导,特此致谢。

本书由安徽省流体工程学会委员奚鞏同志主审。参加统稿工作的有:李小瓿、高宜琼、王嘉亮、陈志、张丁芝、孔秀鸿、黄亚平同志。

由于水平有限,译文中缺点和错误难免,敬请读者批评指正。

译 者

1988. 12

序

第11届国际流体密封会议是1/4世纪以来标新立异的一次盛会，仅就会议论文而言，多达400余篇，堪称人材聚汇，学者云集。除了直接或间接从事这一领域研究工作的工程师、专家外，流体密封对绝大多数人来说，毕竟还是陌生的。1986年1月在美国发生的“挑战者”号航天飞机升空片刻即机毁人亡的悲剧事件，才使全世界突然明白流体密封技术对人类发展有着何等重要的意义。这一悲剧是由组合密封中一个小小的O形橡胶圈失效而酿成的——我们但愿这一因密封问题造成轰动世界的新闻不仅是空前的一次，而且也是绝后的一次。

这一事件的产生从密封技术来分析是极其错综复杂的。航天飞机右翼出故障的密封件本身的成本与其引起飞机爆炸所造成的整个损失相比，如同沧海一粟。由此引起人们对流体密封技术基本理论的关注，直至它的每一细节问题。同时，这种重视遍及世界各国，群贤毕至的第11届国际流体密封会议本身就是对于密封技术具有光辉前景的有力证明。类似“挑战者”号的悲剧决不会重演。

从会议记录中知道，我们曾有过五次学者咸集的盛会，这就是1969年在美国费城，1973年在西德的慕尼黑，1981年在荷兰的诺德魏克，1984年在奥地利的因斯布鲁克以及现在在法国的戛纳。会议代表来自世界各地，其中尤以日本取得的成果显著。

我对组织国际流体密封会议的前辈和同事们还记忆犹新。若没有 David Turnbull 会后所做的不懈努力，若没有他的热情和远见卓识，那么我们现在就不可能又在戛纳相聚了。

BHRA（英国流体工程研究学会）在密封技术方面的兴趣已越来越广泛。30多年来该组织日益壮大。BHRA的总部最初设于哈洛，近来迁于克兰费尔德。我们始终从事于密封难题的解决和新技术的开发以及必要的基础理论的研究。和历届会议一样，对于在戛纳会议上发表的论文予以发表。不仅如此，它的更大意义则在会议期间代表们的相互接触，互相探讨磋切，无疑这是会议的真正价值所在。

B. S. 纳乌

目 录

译序

译者的话

序

一、机械密封的选择和试验	1
二、离心泵用机械密封的可靠性	8
三、高参数机械密封的研究	23
四、对烃泵用防护密封的评述	33
五、备用密封的研制	43
六、受压无约束弹性O形圈密封的 应力场及计算机预测值与实验 结果的比较	55
七、性能优异的液压和气动密封材 料——传统商品橡胶与新型商 品橡胶的比较	68
八、弹性X形密封圈的分析研究	79
九、接触应力均匀分布的软填料密 封新型设计方案	86
十、原子能工厂阀门阀杆的密封	92
十一、液体飞溅式迷宫密封的设计 原则	101
十二、一种新型旋转密封的分析	106
十三、往复密封过程分析	119
十四、流体密封所涉及的界面问题	128
十五、研究往复运动柔性密封质点 位移的一种方法	137
十六、计算机辅助液压缸密封设计	145
十七、应用流体静力学简单模型的 接触式机械密封设计	152
十八、低压机械密封润滑状况的试 验研究	170
十九、双端面机械密封的热流体动 压特性	182
二十、机械密封中的瞬态热弹性效 应	190
二十一、两相端面密封的热不稳定 性	198

二十二、动态作用中的气液隔离密 封	208
二十三、往复液体密封的蠕动现象	218
二十四、弹性往复密封的翻滚不稳 定性	224
二十五、轻型军用飞机高压液压系 统的密封方法	230
二十六、长壁顶支架液体密封的新 发展	237
二十七、高性能气体压缩机密封	245
二十八、机械密封抗干摩擦和严重 磨损的调整和控制	252
二十九、电控机械密封的研制	264
三十、用于强腐蚀介质的非金属机 械密封的设计和研制	272
三十一、潜水艇螺旋桨轴封用碳- 碳复合材料	278
三十二、石墨密封的一种膨胀技术	288
三十三、玻璃钢管道和压力容器的 螺栓法兰连接	293
三十四、高温下筛选密封垫片材料 的装置	302
三十五、垫片热态密封试验装置的 研制	308
三十六、高温对平垫圈机械性能 和密封性能的影响	313
三十七、橡胶唇形旋转轴封的密封 机理	322
三十八、径向唇形油封的密封机理	329
三十九、弹性唇形密封负载-形变 特性的分析模型	340
四十、唇形密封的密封机理	349
四十一、压波式旋转轴密封	360
四十二、碳素材料对斯太利特硬质 合金1摩擦面转动摩擦性 能的对比	366

四十三、隔离气体衬套密封在离心 压缩机上的高效应用.....	378	四十八、液压装置往复橡胶密封的 性能变化.....	419
四十四、核反应堆一次冷却泵旋转 轴密封的发展.....	385	四十九、带环形泵效槽和雷利阶的 端面密封.....	428
四十五、剖分式密封的端面波度.....	397	五十、小型高速汽油发动机的活塞 摩擦力.....	435
四十六、用于叶轮轴密封的碳化硅 增密碳-碳复合材料	402	五十一、对用于不可压缩流体的偏 心环形密封的分析.....	444
四十七、用窄单轨油封环 NSOR 减少两环密封包油耗方法的研 究.....	410	五十二、气体润滑、扇形浮环密封 的研究与设计.....	460

一、机械密封的选择和试验

〔英〕 P.J.Dolan D.Harrison R.Watkins

符号

b 密封面宽度

G 密封工况参数, $G = \frac{\mu u b}{W}$

p_0 填料箱压力[⊖]

u 密封面滑动速度

W 密封面闭合力

ΔT 在填料箱压力下, 填料箱介质温度和其沸点之差

μ 在填料箱温度下, 介质的粘度

下标

A 可能的

R 需要的

1. 引言

机械密封在不合适的工况中工作的情况并不少见。1979年, 英国石油公司 Forties 油田主输油管道油泵的机械密封就运转在极苛刻的工况中, 当时记录的寿命仅有一天。经判断是由于液膜的汽化, 整个密封端面被彻底损坏。汽化的发生率与油井中混合物的含水量有关, 这是由于混合物中有水, 导致其蒸汽压比只有单一的油的蒸汽压有显著改变。解决这一问题的方法是改变机械密封摩擦副材料和选配不同厂商生产的密封件。

在油田寿命后期, 由于原油中的含水量逐渐增加, 还将产生上述相同的问题, 并导致发生参考文献〔1〕中所述的情况。为此, 英国石油公司建立了密封试验台, 它能够在不稳定的原油和水的混合物介质中试验密封。

上述试验证实了 Lymer 理论〔2〕。简单地说, Lymer 理论是假设任何密封在相同压力下, 填料箱温度与液体沸点温度之间都需有一差值为前提。通常称为 ΔT , 它是密封结构、材料和流体特性的函数。如果没有足够大的差值, 液体将在密封界面间蒸发。根据判别密封失效的判据 ΔT 得出的密封工作极限曲线如图 1a 所示。 ΔT_R 值随速度和压力变化,

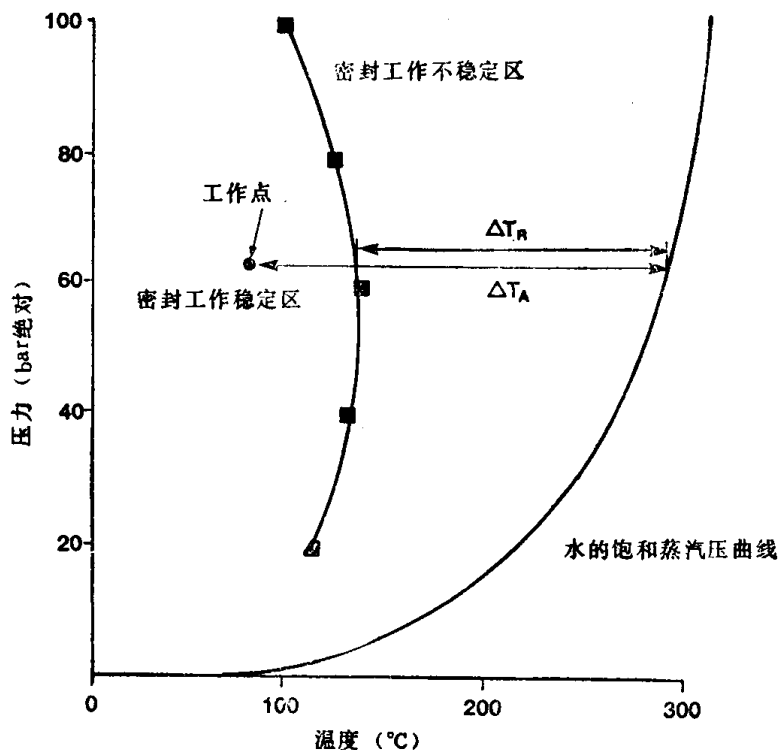


图1 a 以水为介质时, 典型的密封工作极限

■—探测到的密封不稳定性

判据 ΔT 得出的密封工作极限曲线如图 1a 所示。 ΔT_R 值随速度和压力变化,

⊖ 本书有的论文中, 压力的单位为 “bar”, 1bar = 10⁵Pa, 下同。——译注

如图 1b 所示。

这样，我们就可以假定，在相似的 ΔT_A 条件下进行试验，可能有助于评价密封能否用于所推荐的工况。并有可能将在安全的液体中进行试验的密封件用于有毒液体中。

在过去三年中所做的工作有以下几个方面：

(1) 将经过改进、准备用于 Forties 工况的机械密封，在与工况尽可能相同的 ΔT_A 、水介质条件下进行试验。这是在油田原油中试验前的筛选试验。

(2) 为了 ΔT 试验的通用性，在其它介质中测定密封的工作极限。

(3) 本文综述了密封运转良好的附加条件是在密封端面之间建立一个稳定的润滑膜，而且可以用工况参数 G 加以验证。

2. ΔT 试验的应用

试验台和试验程序在参考文献[1]中已详细叙述。正如所报导的那样，我们发现，在原油/水混合液中无法探测到密封端面之间的液体汽化。对于在该类混合物介质中运转的密封，耐久性试验是唯一有意义的试验。为获得大量的不稳定原油样品并随之进行

耐久性试验的费用是相当高的。因此，应对密封实施筛选试验，即首先在水介质中测定密封的工作极限。如果密封的性能与现用于 Forties 主输油管道油泵用机械密封的性能相比有重大改进的话，则再做进一步的试验。密封性能的重大改进是指增加了允许的工作温度（即减少了 ΔT_R ），即允许的工作温度值明显地高于原密封试验得到的允许工作温度值。典型的结果如图 2a、b 所示。

有两种密封通过了筛选试验。Flexibox RRECPB-95-68SM 型密封的 ΔT_R 值显著降低（见图 2）。Burgmann HSHV3, 4/107-00 没有发现液膜汽化的征兆，但在工作温度下，泄漏量高于正常值，在降低温度后，泄漏量恢复正常。端面也没有发现损伤现象。因此认为，泄漏量的偏高现象是由温度变形引起的。

用类似于油田输送的原油、水和气体混合物做介质，对这两种密封进行了 100 h 耐久性试验。这两种密封都满意地通过了试验，可以在油田中试用。

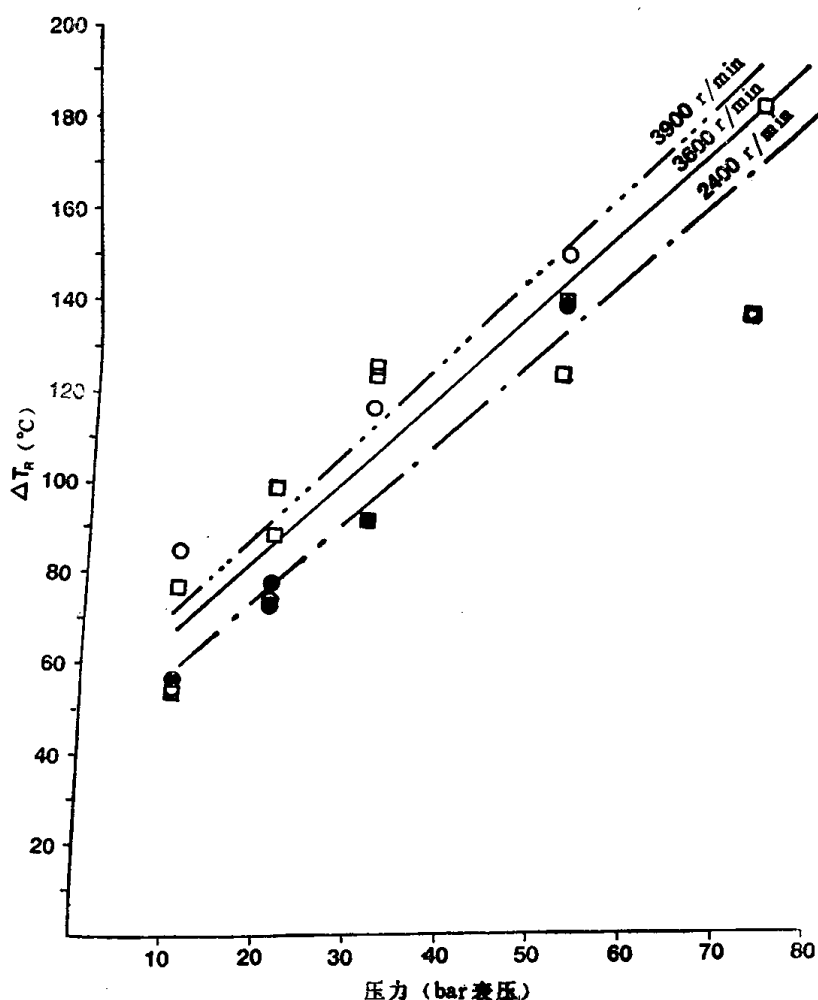


图1b 以水为介质时， ΔT_R 与转速和压力的关系曲线

(Flexibox RRECPB密封 C/SiC)

○—轴转速3900 r/min □—轴转速3600 r/min

●—轴转速2400 r/min

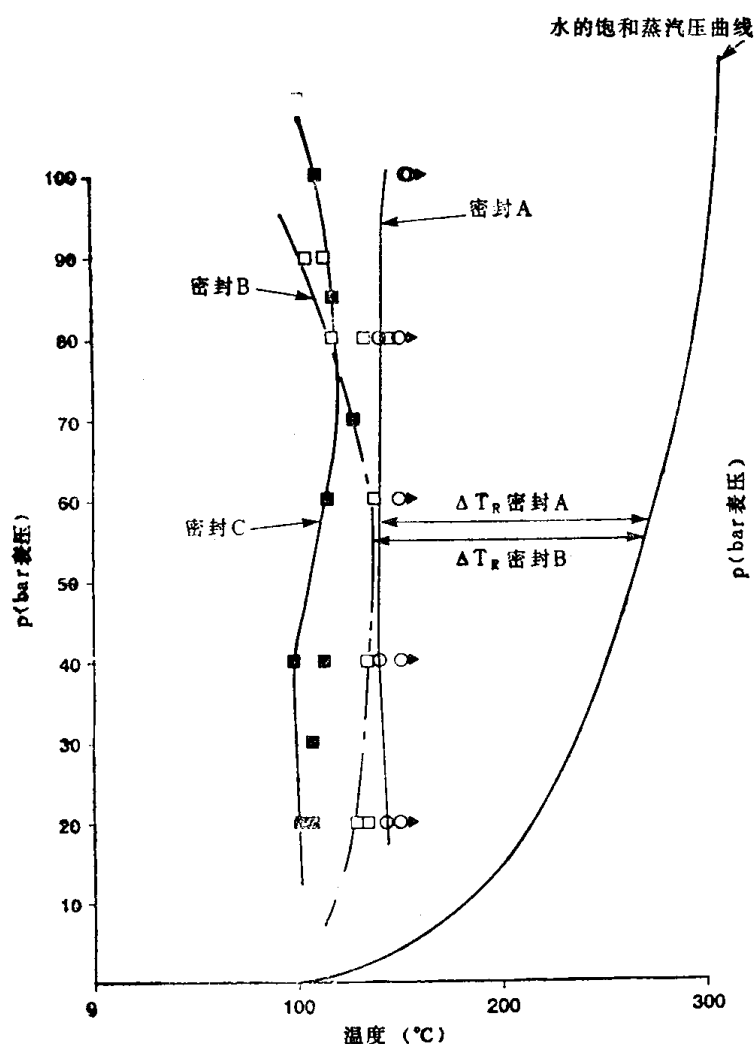


图2 a Hexibox密封在水介质中的工作极限

Flexibox密封 不稳定 稳定

(A) 新型 WC/SiC ○ ↔

(B) RRECPB WC/SiC □

(C) RRECPB C/SiC ■

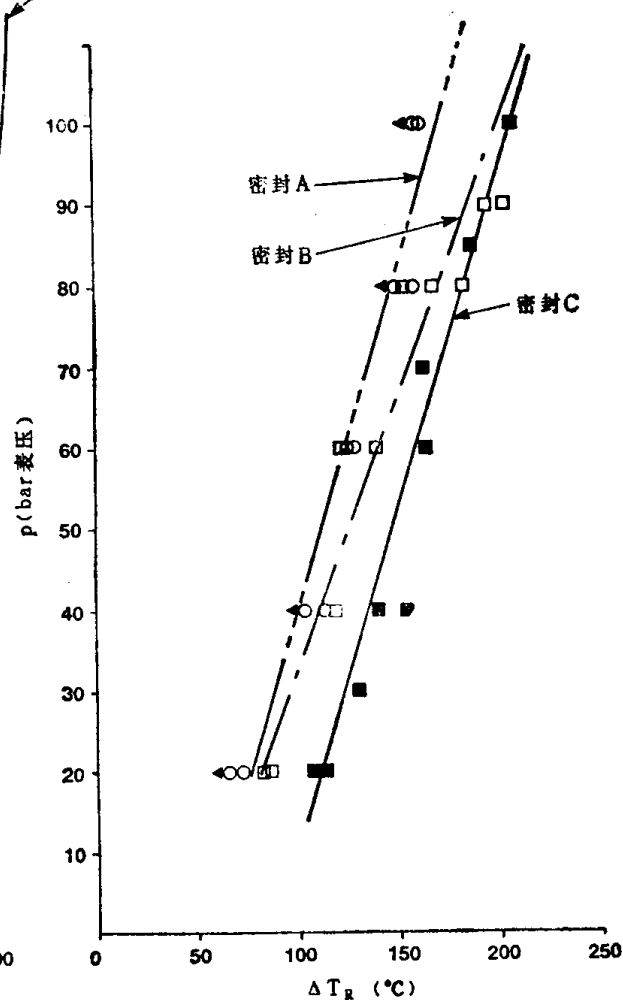


图2 b 以水为介质时,改进性能的Flexibox密封的工作极限

转速3600 r/min 冲洗流量13.5 L/min

Flexibox密封 不稳定 稳定

(A) 新型 WC/SiC ○ ↔

(B) RRECPB WC/SiC □ 弗梯斯现用密封

(C) RRECPB C/SiC ■ 弗梯斯原用B型密封

Flexibox密封在油田中工作情况良好。两套密封于1985年3月安装在Platform FC上,其中一套密封在1986年3月失效,其原因并非液膜汽化。更换密封环后继续使用,直至1986年7月,两套密封都出现泄漏现象。拆卸、清洗后,未更换摩擦副重新使用至今,工作情况良好。Burgmann密封没有达到预期的效果,密封失效原因至今仍在调查之中。但排除了液膜汽化导致密封失效的因素。

3. 通用的密封试验

3.1 判据 ΔT

在解释Forties密封失效中成功地应用了 ΔT ,使我们开始调查研究能否把在水介质中的试验结果用来判断密封在其它流体介质中的工作极限。参考文献[2]从理论上说明了如何计算 ΔT_R 。我们试图用该理论来预测参考文献[1]所报导的Flexibox密封的 ΔT_R 。结果表明,它给出的是一个较大的估计值,从而过高地估计了密封的允许工作温度(见图3)。

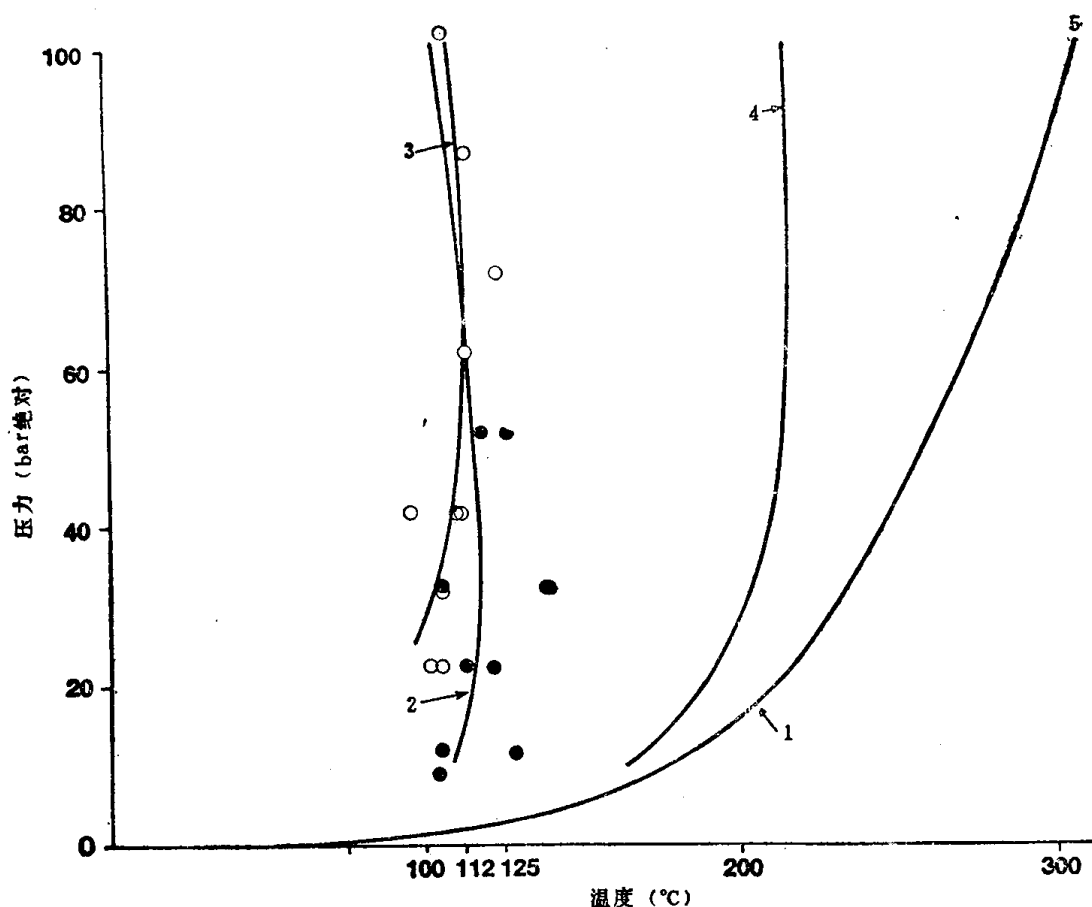


图3 根据 $p_0/10$ 压力下的沸点求出的 ΔT_R 判据绘制出
汽化压力-温度曲线来预测工作极限

1—水的饱和蒸汽压曲线 2—在 $p_0/10$ 压力下根据水的沸点计算的工作极限 3—在水介质中，通过试验测定的安全
全工作极限 4—使用 ΔT_R 对 C/SiC 密封理论计算的工作极限 5—转速 3600 r/min，冲洗流量 13.5 l/min

○—原密封试验结果 ●—1985年 Flexibox 密封 C(C/SiC) 试验结果

Lymer理论是根据填料箱压力下介质的沸点来建立的。但是，密封面横向存在着压力梯度，如果在密封面之间发生汽化，它将发生在低于填料箱压力的情况下，其温度相应地低于在填料箱压力下的沸点。因此，必须应用更低的温度来计算 ΔT_R 值以确定密封的工作极限。在水介质中，在 $1/10$ 的填料箱压力下计算的 ΔT_R 值与试验得到的数据一致。对原油/水混合物介质的相似计算表明，可以利用 $1/3$ 的填料箱压力和计算出的 ΔT_R 来求得混合物的沸点（见图4）。由于蒸馏水和原油对密封汽化特性的影响存在着差别^[1]，因此，这种现象是有可能发生的。

用相同的 Flexibox 密封 (C/SiC) 在丙醇介质中对其工作极限进行试验。选用丙醇为介质的原因是：

(1) 丙醇的汽化压力-温度曲线与水的汽化压力-温度曲线基本一致。

(2) 丙醇的粘度大约是水的两倍。

其试验结果如图5所示。可以看出，密封的工作极限曲线与在水介质中相似。实际上，两者都具有相似的 ΔT_R 值。目前，还在冷冻剂 R11 中进行试验，选择 R11 做为介质的原因是由于其汽化压力高于水。

3.2 工况参数

一般地讲，运转良好的密封，需要在密封端面之间建立润滑膜。类似于轴承理论中的

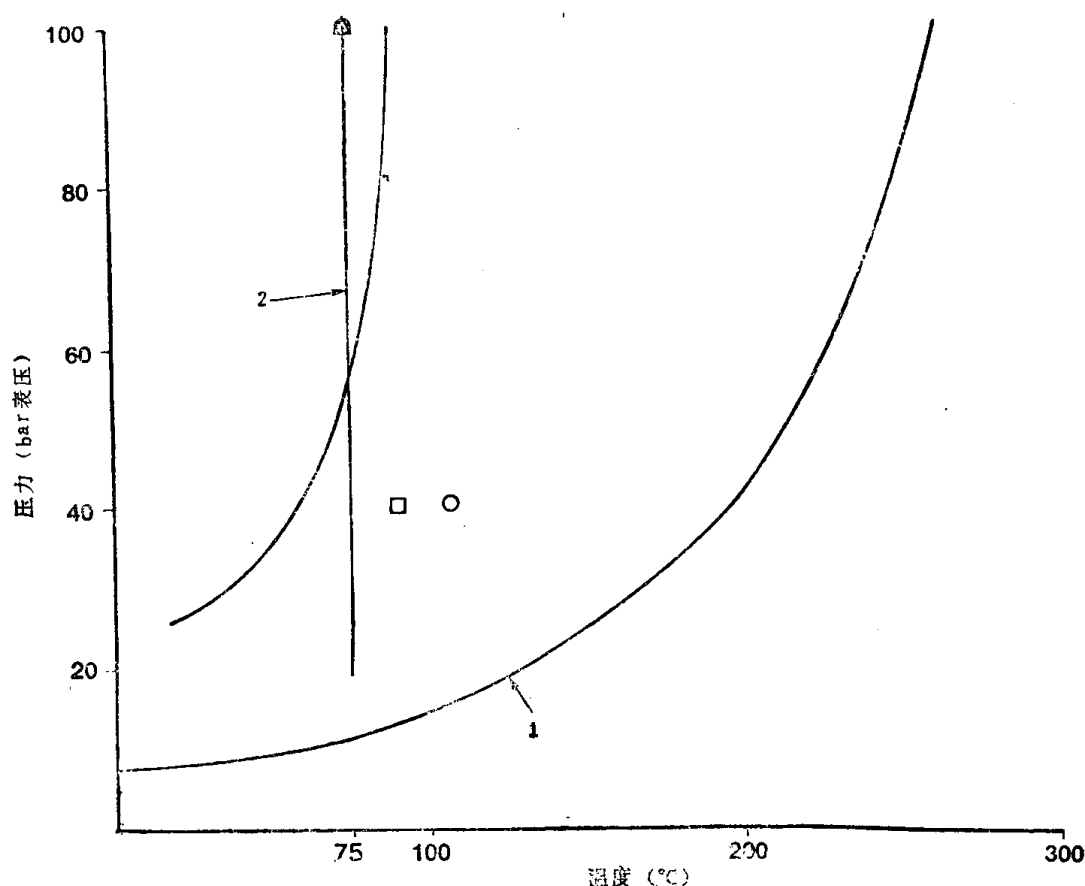


图4 按 $p_0/3$ 压力原油/水混合沸点求出的 ΔT 判据绘制出的
汽化压力-温度曲线来预测工作极限

1—150 lbf/in²表压下,含水量不同的Forties原油混合物的沸点 2—Forties密封工作条件

3—按 $p_0/3$ 压力原油沸点计算出的工作极限

寿命试验结果:

- △—Flexibox密封A 运转良好
- Flexibox密封B 运转良好
- Flexibox密封C 运转较差

Sommerfeld Number, 提出了工况参数,以估价密封界面的润滑方式^[3]。工况参数的定义是:

$$G = \frac{\mu b u}{W}$$

在 G 值较小时,端面处在边界润滑区域,相对而言,其摩擦系数较高,磨损速率较快。

当 G 值增加时,端面上承受的液膜载荷比率增加,其摩擦系数减小,直到建立全液膜润滑,摩擦系数达到最小值。

进一步的增加 G 值,可以导致摩擦系数和液膜厚度的增加。在极限状态下,液膜厚度的增加引起泄漏量的增加。

在 ΔT 试验时采集的数据经计算得出的 G 值与摩擦系数的关系如图6所示。同一试验得出的数据点被连在一起。试验运转期间,当温度上升时,粘度下降, G 值随之减少。 G 值没有达到极限状况的迹象。但是,在液膜开始汽化时,密封端面的摩擦力明显增加。

图7是BP和BHRA的不同密封结构的试验结果^[4]。可以看出,虽然BHRA的 G 值范围比较宽,但其结果是相似的。这些结论与参考文献^[5]所提出的结论都一致认为,摩擦系数受到其它因素的影响,如密封端面变形。最明显的迹象是密封的润滑状况从边界润滑转变

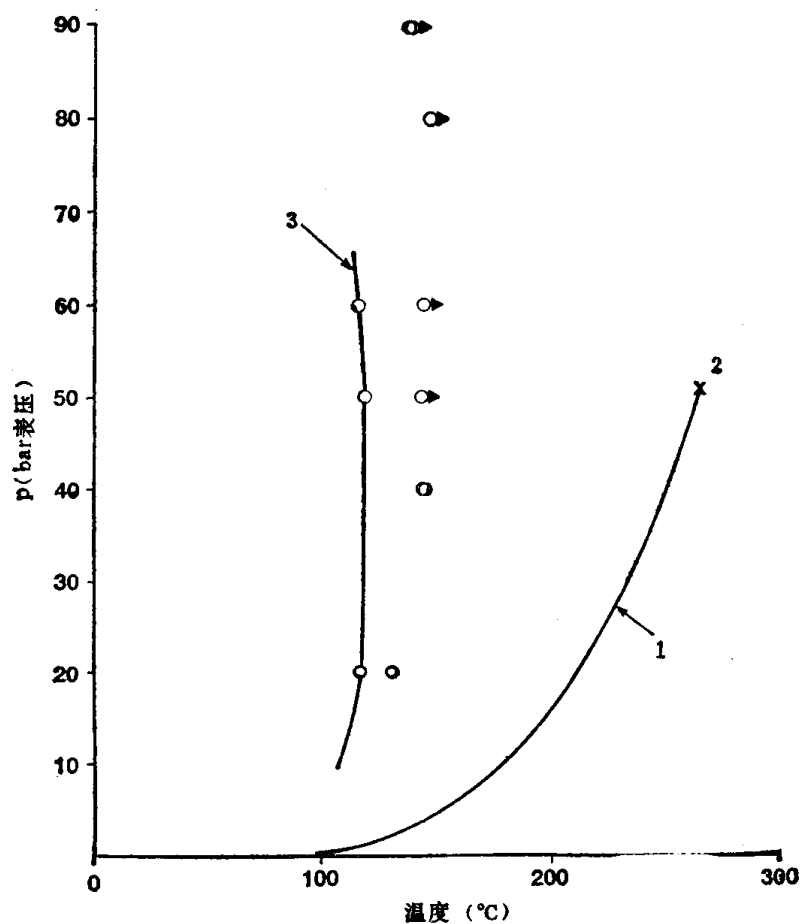


图5 Flexibox密封C(C/SiC)在丙醇介质中的工作极限
1—丙醇的饱和蒸汽压曲线 2—临界点 3—由试验得出的工作极限
转速3600 r/min, 冲洗流量13.5 L/min
○—不稳定 ⇒—不能观测到的不稳定

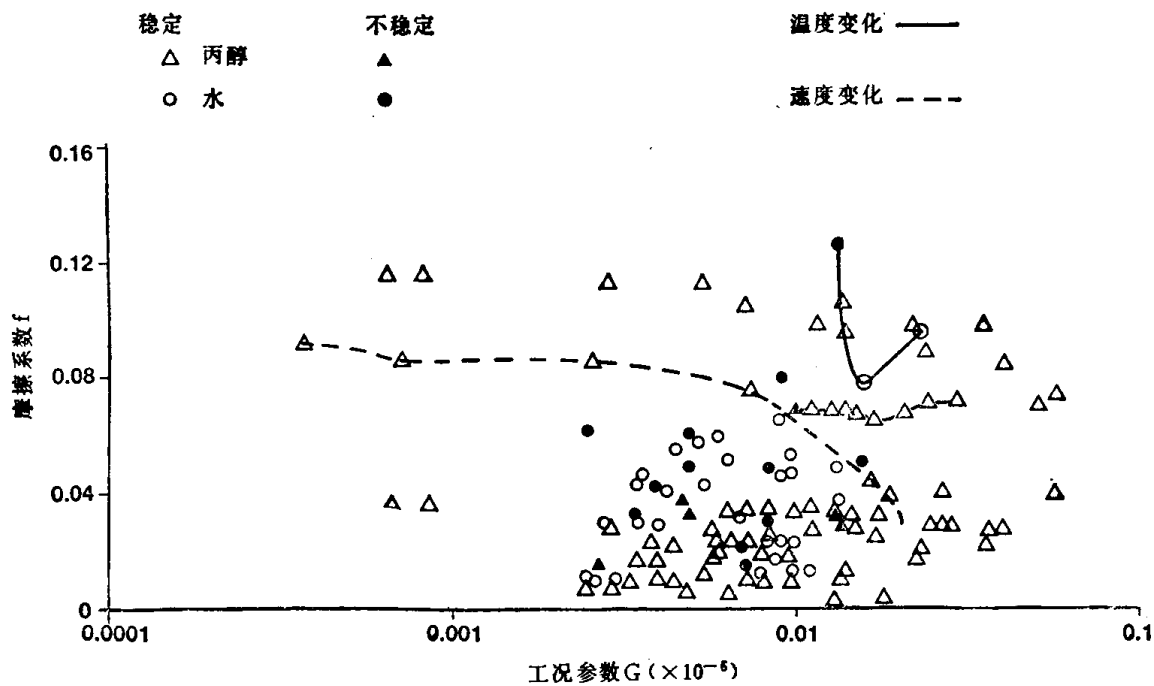


图6 以水和丙醇为介质时, 工况参数的试验结果

二、离心泵用机械密封的可靠性

〔英〕 R.K.Flitney B.S.Nau

1. 引言

在最近几年中,对离心泵用机械密封的可靠性进行了大量的研究。长期以来,密封被认为是离心泵的唯一弱点,是引起泵维修的主要原因。

泵的机械密封与其它零部件相比,除了综合可靠性较差外,主要原因是密封失效的随机性。石油加工厂为保证连续生产,仍借助于备用设备。

从1981年开始的这项研究项目是试图对包括随机失效在内的失效原因作进一步的了解。对此,石油加工工业公司国际财团资助英国流体力学研究会(BHRA)承担对影响机械密封可靠性原因的详细调查研究。在三年当中,同时进行了以下三个方面的工作:

(1) 用统计学程序精心控制的台架试验;

(2) 收集有关失效和非失效的密封特性数据以及和密封设计参数有关的数据,并作出现场分析和整理;

(3) 事后由BHRA对失效密封进行检验。

参考文献〔1〕提供了上述(1)方面的研究结果,本文涉及的是(2)方面的结果。

2. 数据收集

按以下步骤进行数据汇编工作:

在最初参加的8个厂家中,每一个厂家都选择了大约200~300台泵,并收集了每台泵的原始数据,包括泵的型号说明、流体介质、密封型号、运转条件等等。

对每一套密封,在其从指定的工位更换后即进行详细的分析研究。不论以何种原因更换的密封,都要进行有关数据的整理和分析。

对每一套更换下的密封,都要进行分析,包括端面磨损、详细的密封面状况、副密封以及弹簧的状况等等。并记录任何潜在的有可能导致密封失效的原因,如异常的工厂环境。这些资料由工厂职员按标准报表(表1)分类填写。

在该研究项目开始时,由BHRA的工程师对涉及专职记录的工厂职员进行访问并作简短的说明。有关工厂包括三个炼油厂和五个化工厂,在三年多的时间中,收集了大约1000多张报表。返回的有效标准报表数是不一样的,其中,炼油厂返回的标准报表约800多张。因此,本文的研究分析更着重于炼油厂。造成这种偏向的原因是由于化工厂管理机构较小,编制有效的统计报表比炼油厂更为困难。

在第二年的年末,对数据进行了分析,在略作改进的基础上,第三年继续收集数据。随后进行了最终的研究分析。这种处理方法,明显地侧重于仔细检查最初两年所收集到的数据。

3. 结果

3.1 更换密封的原因

在表2中对更换密封的各种原因用比值表示,即将由于密封失效更换的密封与其它由于

表 1

BHRA “机械密封报表”					由BHRA填写	
请填满表格 • 请划去非适用部分						
					✓ = 是 × = 不是 — = 情况不详	
1	公司编号			日期		1
2	工厂	工况	工厂参考编号		2	3
3	密封生产厂家	密封型式			5	6
4	密封更换原因					7
5	标签参考符号		保留密封元件		是 不是	
6	密封端面是否有可见损伤					是 不是
静环端面 动环端面						
7	材料				10	11
8	磨损: 单沟槽				12	13
	同心沟槽				14	15
	螺旋沟槽				16	17
	端面偏斜磨损				18	19
	局部磨损				20	21
	均匀磨损				22	23
	跑合磨损				24	25
9	环形沟槽				26	27
10	碎 裂				28	29
11	断 裂				30	31
12	热 裂				32	33
13	端面斑渍				34	35
14	其 它				36	37
						由BHRA填写
其它项目						
15	非补偿环副密封					
	O 形圈/填料/				38	
16	补偿环副密封	静止补偿环	旋转补偿环	39		
	O 形圈/楔形圈/橡胶波纹管					
	PTFE波纹管/金属波纹管/					
						40

(续)

17	单 (多) 弹簧			41
18	轴/轴套			42
19	轴套密封 O 形圈/填料/_____			43
20	有关运转条件说明			44
21	有关的装配情况			45
22	安装寿命 (h/d)	运转寿命 (h/d)	起始编号	46 47 48
23				49

表 2 更换密封的原因

(a) 整个阶段		
项 目	所 有 密 封	
	数 量	%
泄漏	668	66
密封失效	46	5
其它密封失效	12	1
密封 + 轴承失效	34	3
更换轴承	75	7
非计划维修	80	8
例行维修	35	3
工厂停工	32	3
其它	3	1
原因不明	32	3
总计	1017	
(b) 阶段 2		
项 目	所 有 密 封	
	数 量	%
泄漏	225	66
密封失效 (无泄漏)	2	1
其它密封失效	3	1
密封 + 轴承失效	11	3
更换轴承	41	12
非计划泵维修	26	8
例行维修	21	6
工厂停工	10	3
其它	1	0
原因不明	3	1
总计	343	