

流体密封

第十屆國際流体密封會議論文集

四川密封技術研究所等 編譯
科學技術文獻出版社重慶分社

流 体 密 封

第十屆國際流體密封會議論文集

四川省密封技術研究所等 編譯

科學技術文獻出版社重慶分社

内 容 提 要

本文集汇编了“第十届国际流体密封会议”的全部论文共37篇。主要内容有机械密封、静密封、往复密封、旋转唇形密封、间隙密封等方面的理论探讨、结构设计、新型材料、应用技术、试验研究等。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师生参考。

流 体 密 封

第十届国际流体密封会议论文集

四川省密封技术研究所等 编译

责任编辑 鲍生武 胡席儒

科学技术文献出版社重庆分社 出版
重庆市市中区胜利路132号

新华书店重庆发行所 发行

科学技术文献出版社重庆分社印刷厂 印刷

开本:787×1092毫米1/16 印张:24.625 字数:61万

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

科技新书目:141—259 印数:2000

统一书号:15176·730 定价:5.00元

前 言

当前，流体密封技术的发展和已迅速深入到科学技术的各个领域。随着化工、石油、冶金、动力、国防、轻工、交通、原子能、航天等工业的发展，它日益重要，已成为机械设备方面解决泄漏必不可少的基础，并得到国内外的极大关注。

为了加速我国密封技术的发展，缩短我国与先进国家之间在密封技术方面的差距，取国外先进技术为我所用，我们编译了这本《流体密封》(第十届国际流体密封会议论文集)。

第十届国际流体密封会议于1984年4月3日至5日在奥地利因斯布鲁克会议中心举行。参加会议的代表来自英国、美国、西德、荷兰、法国、日本、中国等23个国家和地区。我国由机械工业部派代表团首次出席了这次会议。赴会代表有机械工业部合肥通用机械研究所高级工程师刘志国和天津机械密封件厂副总工程师王玉明。王玉明同志在会上发表了论文，得到国际流体密封学术界的好评。

本文集汇编了这次会议发表的论文37篇。这些论文反映了世界各国流体密封学术领域的科学家、工程技术人员在机械密封、静密封、往复密封、旋转唇形密封、间隙密封等方面的最新科研成果，及其在密封的理论探讨、结构设计、新型材料和试验研究方面的创新和发展。代表了当今世界密封技术发展的先进水平，值得我们学习和借鉴。

文集是在机械工业部基础件局的关心和支持下，组织行业各有关单位编译出版的，以期对从事流体密封设计、研究、制造与使用的工作者以及有关院校师生有一定的参考价值。

参加本文集翻译的单位有：机械工业部基础件工业局、机械工业部合肥通用机械研究所、天津机械密封件厂、四川省密封技术研究所、广州机床研究所和青岛密封件厂等。

参加译校的人员有：王玉明、邱海、刘志国、王春扬、蒋树德、张祖光、张超和、张玲娜、张煜、郑云翼、陈寿德、龚明基、张爱玲、蔡根喜、朱根佳、王嘉亮、陈仁慧、黄泽沛、李伟明、梁藻吉、于振华、赵春华和许承庚。参加编辑工作的有顾林青、梁藻吉和杨愉等。陈仁慧为主编。王玉明、张玲娜、陈仁慧和任宪生审阅了全部译稿。

由于编译者水平有限，书中可能有谬误，敬请读者批评指正。

编译者

1986年8月

目 录

机械端面密封的应用

- A1 对弗梯斯主输油管道油泵密封的评价…………… J. Harrison (1)
- A2 固体颗粒工况和无菌环境下使用的机械密封…………… W. Mathes (21)
- A3 在结垢水环境中使用的机械密封的现场研究…………… R. W. Van Houten (22)

静密封 I

- B1 通过静弹性密封对泄漏的研究…………… A. F. George (28)
- B2 推荐ASME规范采用的宽面密封垫的螺栓法兰连接…………… A. E. Blach (35)
- B3 法兰垫片密封的计算机模拟…………… B. S. Nau (48)

旋转唇形密封 I

- C1 通过动态条件下对密封面的观察来研究唇形密封的密封特性…………… K. Nakamura (57)
- C2 杆和轴密封表面的制备对起动和跑合时性能的影响…………… H. Deuring (74)
- C3 在轴偏心影响下径向唇形密封的动态特性…………… E. Prati (83)
- C4 唇形油封的动态分析…………… M. Gawlinski等 (96)

材料

- D1 氟橡胶的性能和应用…………… C. De Smedt等(105)
- D2 高压CO₂介质对硅橡胶和氟橡胶密封材料的影响…………… A. F. George(116)
- D3 弹性密封件向大间隙的静态和动态挤出…………… D. Reddy等(125)

机械端面密封的基本原理 I

- E1 计算机化的密封试验和数据处理系统…………… J. A. Hilaris(130)
- E2 端面密封在平稳运转时倾斜力矩对流体动力润滑膜的影响…………… K. Ikeuchi等(137)
- E3 受往复扭转作用的合成橡胶O型环辅助密封的刚度和阻尼特性…………… I. Green等(149)

往复密封

- F1 通过表面条件的改善以改变摩擦能密度来控制气动密封的摩擦磨损特性…………… G. Carius等(157)
- F2 往复运动用橡胶密封的流体动力特性…………… A. Karaszkiwicz(171)
- F3 隔膜失效的研究…………… Y. Kawahara等(181)
- F4 运行条件对往复动密封设计的影响…………… E. Gawrys等(190)

机械端面密封的基本原理 II

- G1 端面密封波度的预计、测量、起因和影响…………… A. O. Le beck等 (196)
- G2 高压动密封零件变形和失效的研究…………… L. Gominho等 (211)
- G3 一种用于机械密封设计的分析模型的建立…………… R. F. Salant等 (218)

静密封 II

- H1 密封垫片系数的新探索…………… J R. Payne等 (230)
- H2 流体对密封垫密封性能的影响…………… A. Bazergui等 (246)

间隙密封

- J1 流体静压非接触密封及其在极端条件下的应用…………… T. Koga (260)

- J2 关于粘性密封中“密封故障”和“气体摄取”问题的试验研究……王玉明、陈振强 (267)
- J3 具有净轴向流量的稀薄气体粘性密封的性能……T. Sawada (275)
- J4 阶梯迷宫密封中的可压缩流：排放系数的测量不精确性和泄漏量的预计误差
…… E. P. Tomasini (286)

旋转唇形密封 II

- K1 滚动轴承用的两种橡胶密封件的机械特性……G. Medri等 (308)
- K2 旋转油封件唇口特性研究……T. Kanaya等 (318)
- K3 橡胶旋转油封的动态密封机理……H. K. Müller等 (325)
- K4 一种通用的流体动力泥浆泵轴封……T. Visser (337)

机械端面密封的应用 II

- L1 汽车水泵密封性能随端面材料改变的变化……C. R. Clifton等 (344)
- L2 水泵密封的粘着现象……F. Hirano等 (357)
- L3 平衡型端面密封的偏心……R. Metcalfe等 (366)
- L4 密封出现意外失效的原因……O. V. Bertele (378)

主要单位英汉对照表…… (386)

A1 对弗梯斯主输油管道油泵密封的评价

(英) D. Harrison等

内 容 摘 要

本文评述了用于弗梯斯(Forties)主输油管道油泵的机械密封的试验进展情况。

1978年末—1979年,由于弗梯斯主输油管道油泵上机械密封失效而遇到了严重问题。密封失效与被泵送的原油含水量增加有关,失效的直接原因是端面间液膜发生汽化。

为了能使密封在接近现在和将来的工作条件下(使用弗梯斯实际原油和水、砂的混合物)进行试验,建造了一个试验装置。通过用水作试验来确定密封的极限工作条件曲线,对几种专利密封的性能进行了评定。用原油和水的混合液作试验来确定密封的工作极限曲线是不可能的,这是由于液膜汽化,逐渐产生对这类混合液的密封面造成的破坏所致。当温度高于运行常温30℃时,在40小时之内变得很典型,密封性能与被泵送的液体蒸发特性有关。在提高温度的情况下,用原油和水的混合液对密封进行了持久试验。

本文说明了用水作的极限工作条件曲线结果与用原油和水混合液作的实验室试验结果之间以及与弗梯斯工作经验之间的关系。

1. 引 言

1978年末至1979年初期间,弗梯斯主输油管道(MOL)泵的单端面机械密封,在初始的满意运转之后,突然失效,这威胁着油田的生产。

在每个平台上串联使用两台双级卧式离心泵,以便在把原油排入海下管道之前,将其压力由大约10 bar提高到100 bar。每个泵使用两个单端面机械密封,密封的工作条件简示于表1中。

密封失效的突然增加与原油中可测量到的(约1%)含水量的出现有关,这是随着油田的贫化发生的。初步研究认为,密封失效系由密封端面间被泵送液体的液膜汽化不稳定所致。

表1 弗梯斯主输油管道泵密封工作条件

被泵送的流体	不稳定的原油;在75℃下蒸汽压为6或10 bar(表压) + 矿层水(典型比例为1—5%) + 固体(典型比例为20 ppm石英砂)	} 精确值随生产情况变化
流体温度	75℃	
流体压力	密封在10—80bar(表压)之间的4个区段工作	
轴转速	可变,典型的是3000—3600rpm	
滑动速度	典型的为21m/s	
pv值	最高达1680bar·m/s(按密封腔压力与端面平均滑动速度的乘积计算)	

经过与密封出售商进行广泛的讨论和对若干改进的密封作了海上试验后,密封的寿命恢复到了可以接受的水平。在现有的Borg-Warner UHT 4500型泵用密封中,端面材料组对由

原来的碳对碳化钨改为碳化硅对碳化钨。Flexibox公司也迅速地提供了RRECPB型密封，用碳化硅端面对狭窄的碳端面作摩擦副，以便减少发热量，其性能是满意的。

为了便于进一步的研究，在英国石油公司研究中心 (BP Research Centre, Sunbury)建立了密封试验台，并拟定了工作计划，以便在可以控制的条件下，评价主输油管道泵密封的性能，使试验条件尽可能接近典型的和预计更为严峻的油田现场的工作条件。

该试验计划的目的是，在保证密封在最严峻的未来工作条件下能满意地工作。

目前试验台研究计划主要目标在于了解工作条件的变化对于密封性能的影响，特别是原油中的含水量和密封工作压力的变化的影响，并且评价为弗梯斯主输油管道泵提供的不同设计的密封的性能。

2. 试验装置

该试验台概貌示于图1中。为了抵消端面推力，把两个密封背靠背地布置。试验主轴由变速直流电机通过三角皮带驱动。试验台上安装了测试仪器，以便测量密封工作扭矩、密封冲洗液进、出口温度、压力和流量。利用快速响应图线记录器连续地监测密封的工作参量，同时用微处理机系统来记录数据，并能使试验台在出现事故时停车。

该试验台设计成可用下列物质的混合物作试验的设备：实际的原油（即含有大量溶解的轻质碳氢化合物）和含有固体（例如砂子）的矿层水。试验回路的简化流程图（图2）表示，试验流体在氮气的高压下储存于收集器中。氮气压力维持在试验流体起泡点之上。在储存收集器中使用具有低渗透性的橡胶元件，以限制氮气与轻质碳氢化合物之间的相互扩散。用可変行程正位移泵使流体通过蒸汽加热器进入密封，然后再通过冷却器返回储存器。

图3为装于试验台一端用于试验的密封的布置简图。通过密封端面泄漏的流体进到“泄漏

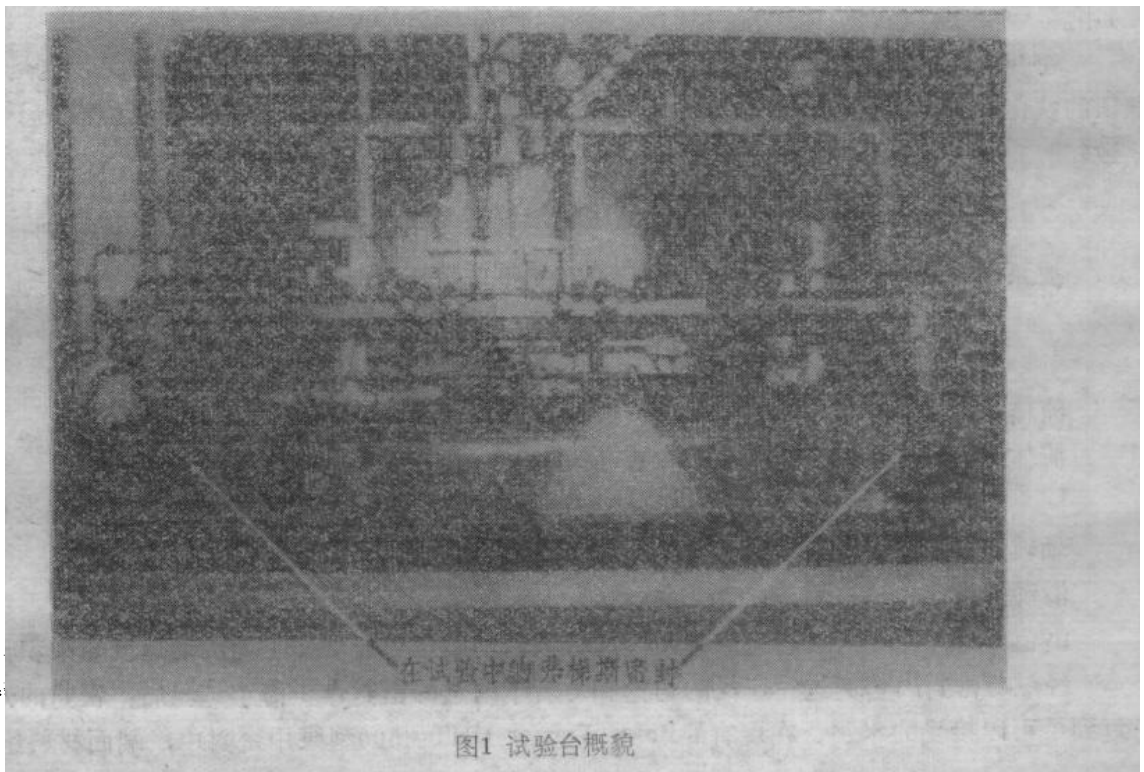


图1 试验台概貌

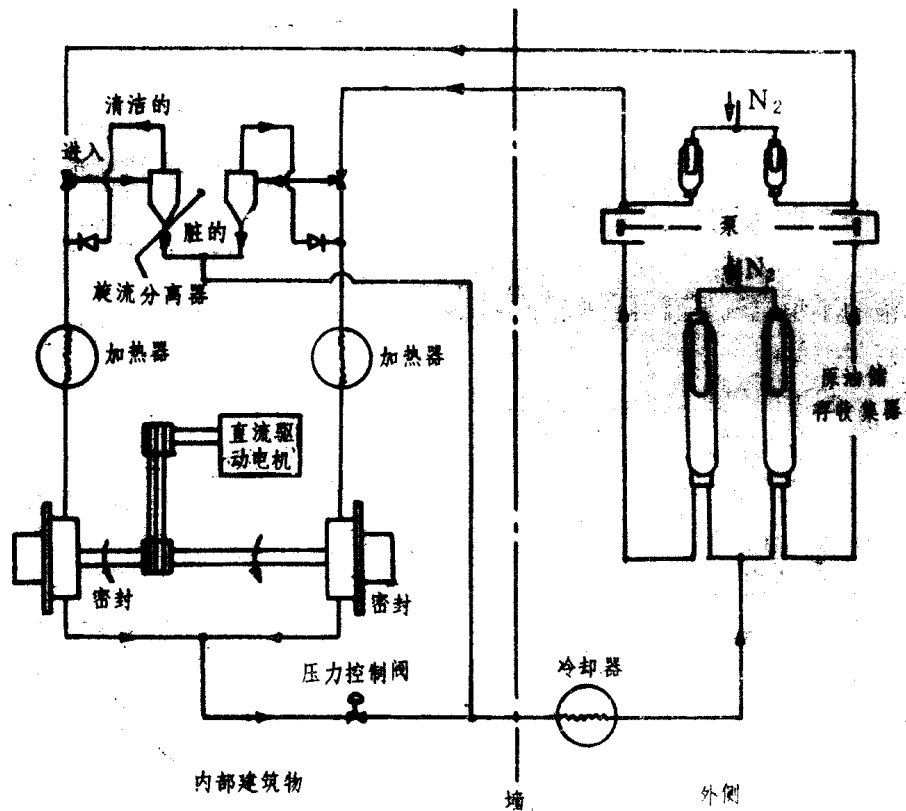


图2 泵用密封试验台简化流程图

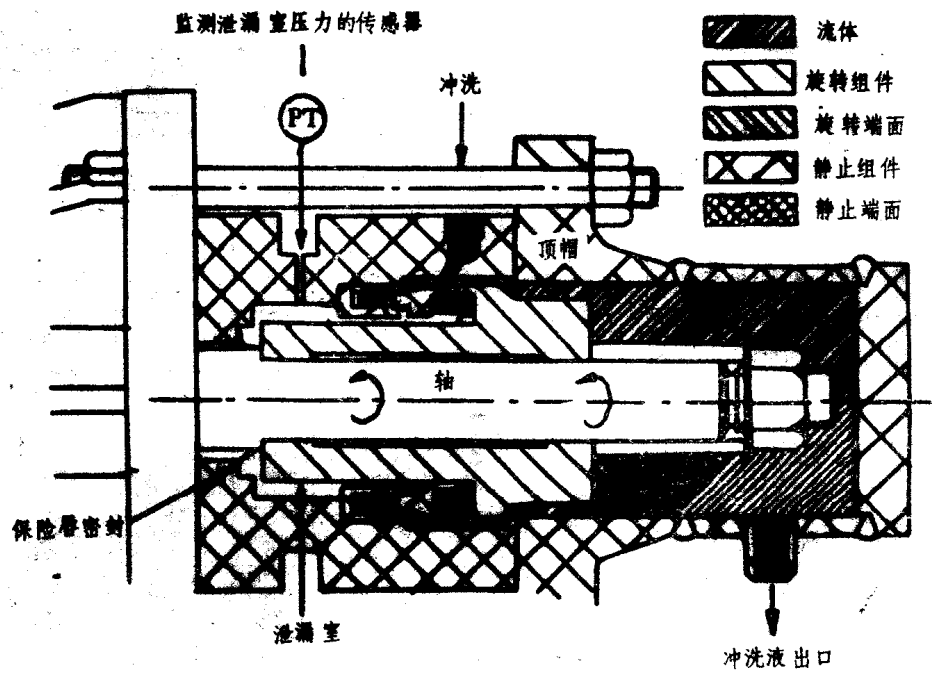


图3 机械密封示意图

室”，借助于辅助保险唇形密封，将泄漏的流体保存在该室中，以防止一旦试验中密封损坏时流体进入轴承。从该泄漏室出来的流体排到开孔的集漏筒中，在此可以监测泄漏率。通过在泄漏室中密封大气侧安装的敏感的压力传感器，可在运转过程中进一步指示密封的性能。

3. 密封端面的汽化

为保证单端面机械密封的稳定工作，密封端面需要用泵送液体的薄膜进行适当的润滑。密封端面的载荷是由端面间的流体静压和流体动压一起来支承的，流体静压沿径向分布，流体动压沿切向分布，它们是由端面波度引起的。倘若液膜破坏，便进入边界润滑工况，伴随着固体表面凸起的接触，导致摩擦发热和磨损的增加。决定密封性能的重要的限制因素，是由于润滑液的不稳定汽化而引起的界面膜的破坏。

在被密封液体的温度大于其在大气压力下的饱和温度的地方，密封端面间的液体显然必定会发生一定程度的汽化。许多密封在稳定的两相流体膜下能可靠地工作。在密封低压侧，有限程度的受控气化可增强流体静压承载能力，并防止泄漏，对此，Orcutt（参考文献1）、Hughes等（参考文献2）和Lebeck（参考文献3）已阐述过。

密封端面间液体蒸发量任何明显的增加（例如由密封工作温度升高而增加蒸发量）都将使汽-液界面的位置向密封的高压侧移动，从而导致界面膜液体润滑区宽度的减小。

由于这种变化，再加上粘度因温度升高而减小，使润滑膜的承载能力减小，导致密封端面间的边界润滑程度增加，结果使密封界面流体温度进一步升高，密封开始产生不稳定汽化。Hughes等人（参考文献2、4）和Lebeck（参考文献3）已经从理论上研究了密封从稳定工作状态向不稳定工作状态的转变，实际上，这种变化可能是由密封工作条件的变化或者流体性质的变化所引起的。

在不稳定汽化工况下工作的密封，会发出既可看到又可听到的故障信号。流体膜周期性的破裂和重新形成，使蒸汽从密封的大气侧喷逸，并发出噼啪的燥声（见Lymer的文献5，Netzel的文献6以及Harrison和Watkins的文献7）。这种情况迅速地导致密封端面汽化的破坏，如系脆性材料制造的密封，则其破坏的特征是出现小的凹痕、彗尾（Comet trails）和缺口（向低压边）（图4）；如系较坚韧材料制造的密封，则端面表现为热裂破坏（图5）。这种热裂现象表明是由密封端面上局部感应的大的热应力引起的〔Kennedy和Karpe（参考文献8）〕，并且与汽化过程中流体膜破坏的周期有关。如果不稳定汽化在密封运转过程中一个很长的时期内连续发生，危害可能很严重，最终将导致密封端面的破坏。

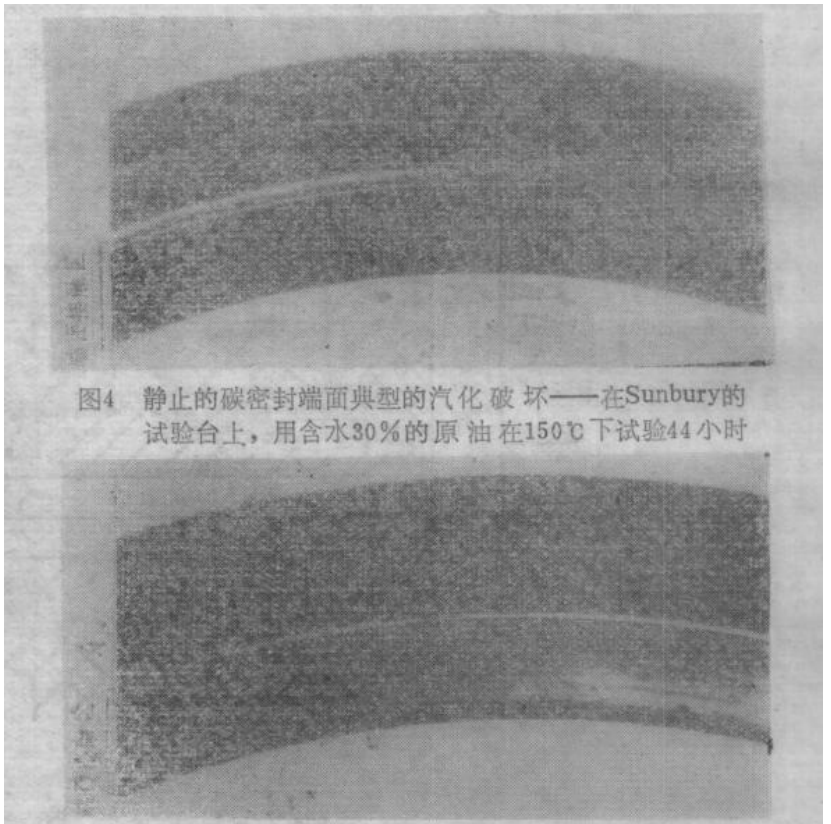


图4 静止的碳密封端面典型的汽化破坏——在Sunbury的试验台上，用含水30%的原油在150℃下试验44小时

图5 在弗梯斯运转后静止的碳化钨密封端面的破坏状况——该密封在弗梯斯平台上，以含水量高达8%的原油为介质运转了9个月

4. 性能测量

显然,密封能可靠工作而不产生不稳定汽化现象,是选择密封的一个重要准则。由Flexib-ox公司的Lymer (参考文献5) 提出来的表示密封汽化特性的方法,是通过实验确定其“工作极限”(operating envelope)。工作或汽化极限表示使用某一种特定流体时不稳定汽化开始发生的条件,因此表示密封无故障安全工作的最高极限。表示密封工作温度随压力的不稳定而变化的典型工作极限曲线如图6所示,图中分别标出了位于工作极限左侧的稳定工作区和位于其右侧的不稳定工作区。

图6还表明,可以通过‘ ΔT 参量’使实验确定的汽化点同流体的饱和曲线关联起来。 ΔT 代表在同样的工作压力下,密封端面间可能发生汽化的温度与密封冲洗液温度之间的差别。因此, ΔT 表示密封运转可以对液体饱和曲线接近到什么程度而不致于发生不稳定性。这样,可以根据 ΔT 值来比较密封的性能。在给定压力下具有较低 ΔT 值的密封,其性能较为优良。

在英国石油公司研究中心所进行极限试验的程序是:在固定压力、固定速度和固定冲洗流量下进行密封试验,但须逐步提高冲洗液的温度,直到探测到密封不稳定信号为止。不稳定性开始发生的温度是密封中的发热率与热量从密封中的耗散率之间关系的一种度量 [Lymer (参考文献5)和Dolan (参考文献9)]。密封中热量的产生取决于密封设计参量,例如密封的平衡比、端面宽度、以及密封端面间存在的润滑条件;而热量从密封端面区的耗散率决定于密封端面材料的导热性以及热量从密封端面向冲洗液体的传输率。

5. 弗梯斯密封的实验室试验

5.1 不稳定性的探测

开始用蒸馏水作的密封试验,成功地证明该试验台具有诱导和探测不稳定汽化的能力。不稳定汽化通过在升高温度时密封工作力矩的变化指示出来,这同由密封剥落而引起的端面损坏信号相一致。

随着工作温度的增加,密封工作力矩的典型记录曲线表示如图7。工作力矩在正常工作期间基本上保持不变,它随温度的增加而逐步增加。其原因可以认为是随着温度的升高,被密封液体的粘度便降低,从而增加了边界润滑的成分。密封温度的进一步提

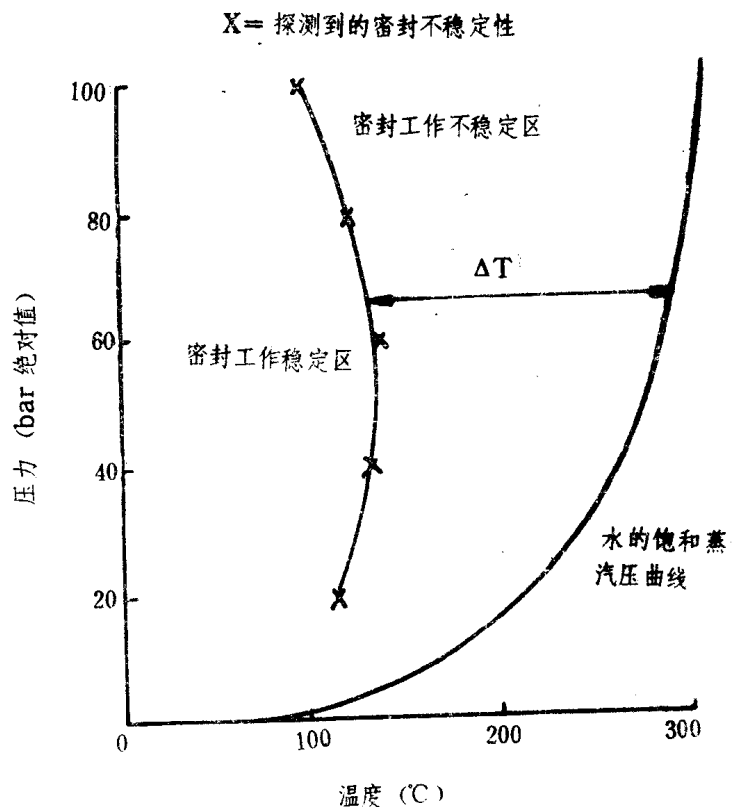
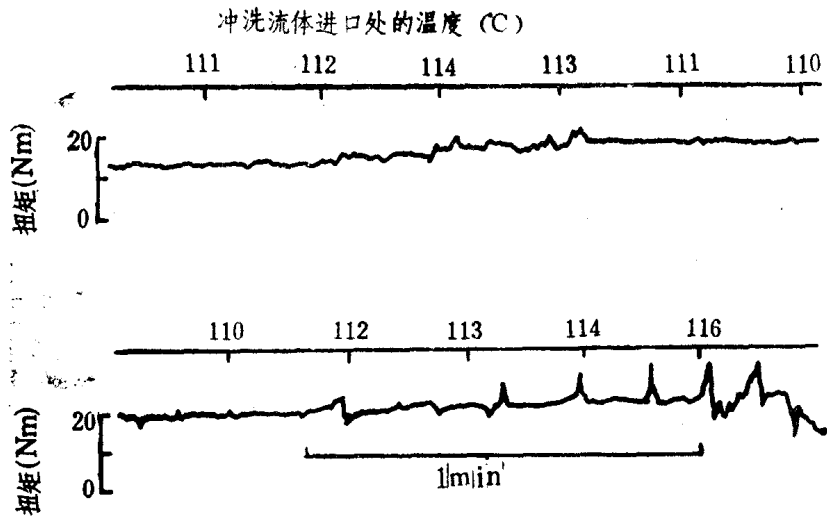
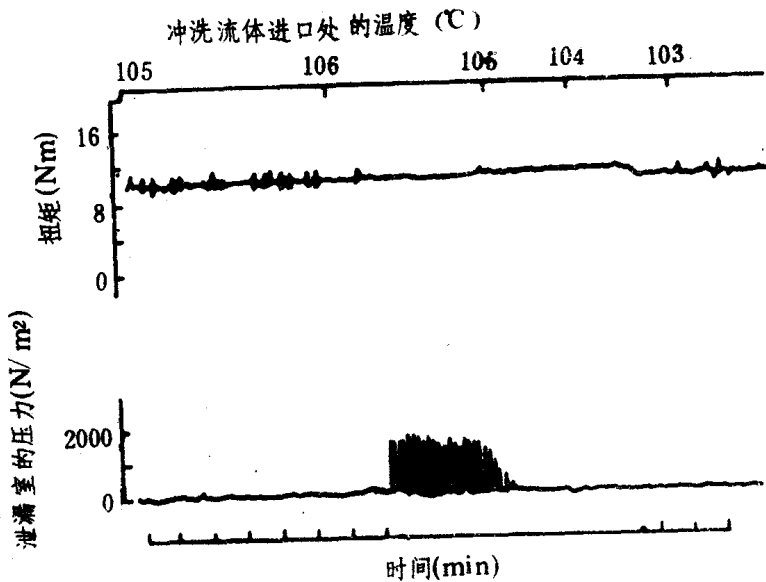


图6 以水为介质时,典型的密封工作极限



碳对碳化硅密封, 试验流体为水, 转速为3600rev/min,
冲洗流量5 l/min。压力56bar(表压)

图7 在不稳定试验中记录的密封工作扭矩曲线



碳对碳化硅密封, 试验流体为
水, 转速为3600rev/min, 冲洗流
量为13.5 l/min, 压力为30bar

图8 在极限试验中密封的工作扭矩和泄漏室的压力

高, 引起密封力矩的剧烈波动, 伴随着从密封中发出可以听得见的噼啪噪声, 并导致密封的最终失效。

后来将灵敏的压力传感器(能够记录100N/m²的压力波动)装在密封泄漏室中。利用这些压力传感器可以在相当早的阶段探测到汽化的开始, 这样, 密封可以重复进行高温汽化极限试验而不会有任何端面损坏的痕迹。这种技术使我们可以用一组密封端面迅速地确定汽化极限。

图8表示初期汽化的典型情况。当温度发生很小变化时, 泄漏室中压力传感器的输出曲线便呈现出陡峭的变化。

5.2 用原油与矿层水混合物进行的试验

用含有重量比为30%以下的矿层水的弗梯斯实际原油对密封进行了高温试验, 以便确定在弗梯斯使用的密封的汽化极限, 并评价由于原油中含水量的增加而引起的密封性能的恶化状况。

试验中用的原油从装于海上的泵的入口管道取来, 矿层水从分离器的排水管道取来, 以

使试验流体的性质能够代表现场的实际条件。

试验表明不可能清楚地探测初期不稳定性的开始。然而可以看出在高的试验温度下，在密封端面间存在着较小的间歇的汽化，其特征表现为隔音的泄漏室中存在低幅值的压力波动。（图9）。

接着进行了一系列固定温度下的“寿命”试验，试验压力为40bar，温度比弗梯斯通常的工作温度高15℃和30℃。这些试验表明，使用原油和水混合物时，汽化破坏的出现是缓慢地逐渐发生的，典型的是在试验进行了大约44小时之后，破坏的发生率随着温度的升高和原油中含水量的增加而增加。用碳对碳化硅密封端面在含30%水的原油中，在105℃下试验44小时，发现汽化故障达到显著的程度，而用碳化钨对碳化硅端面组对在同样的条件下运转，这种故障则表现得比较轻微。

用原油和水的混合物在实验室作试验的结果，为在弗梯斯运转后对密封端面检查所观察到的迹象所证实。

5.3 以水为介质的工作极限曲线的评定

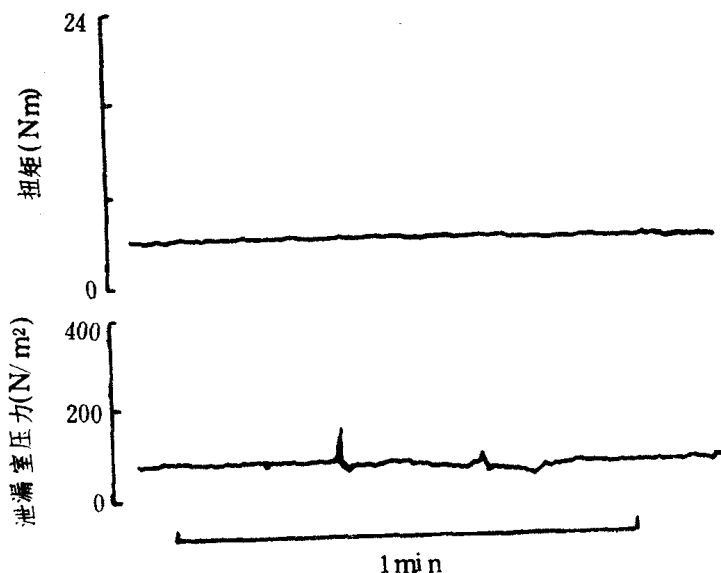
为使不同设计的密封能按汽化极限性能分等，曾用蒸馏水继续进行了试验。

对三种不同设计的密封，成功地确定了它们的工作极限曲线，这三种密封都在弗梯斯使用过。它们是：

- (i) Flexibox RRECPB 95—68 SM，端面材料为碳对碳化硅。
- (ii) Flexibox RRECPB 95—68 SM，端面材料为碳化钨对碳化硅。
- (iii) Borg-Warner UHT 4500，端面材料为碳化硅对碳化钨。

三种密封的试验结果用图10中的不稳定工作温差 ΔT 与压力的关系曲线表示。三条直的试验曲线是根据实验数据按最小二乘法绘制的。正如Dolan（参考文献9）从理论上所正确预计的一样，如果在所有试验压力下润滑工况均相似，则 ΔT 与压力的关系曲线为直线。可以看到Flexibox和Borg-Warner的硬对硬端面密封具有相似的汽化极限特性；从统计数据上看，这两种密封的 ΔT 曲线的差别是不明显的。在70 bar的压力下，两种用硬对硬端面的密封同Flexibox用碳对碳化硅端面的密封相比，在汽化极限性能方面提供了大约30℃的安全裕度。尽管在较高压力下的实验数据是有限的，但看来当压力高于70 bar时用硬对硬端面的密封同用碳对碳化硅端面的密封相比，其性能有所降低。实验数据揭示出用硬对硬端面的密封在高压条件下，其润滑工况可能发生变化。

对Borg-Warner UHW 4250 碳对碳化钨密封作过高温极限试



碳对碳化硅密封，试验流体为含水30%的原油，转速为3600rev/min，冲洗流量为22.5l/min，压力为40bar（表压），温度为155℃

图9 高温运转过程中，密封的工作扭矩和泄漏室的压力

验，弗梯斯原规定用的就是这种密封。这种密封后来被机械上更坚固耐用的Borg-Warner UHT密封所代替。令人惊奇的是，发现这种密封比其它三种密封具有更优良的汽化极限特性。在温度高达155℃时（这是试验台的工作极限），试验中探测不到不稳定的信号。

5.4 以水为介质的开槽密封试验

对 Burgmann 公司提供的 HSHV3, 4/107密封，进行了以水为介质的同样形式的工作极限试验，该密封的两个端面都是用碳化硅材料制造的。上述试验用的其它几种密封，其端面都是普通的平直表面，而 Burgmann 的密封，其旋转端面上带有热流体动力槽（图11）。设计这些槽，用以控制端面的热变形而产生端面波度，从而造成密封端面间的流体动压效应。

这种密封在试验中的特性与其它几种常规密封的有显著的不同。当Burgmann密封的试验温度超过100℃时，密封的泄漏率迅速增加。在114℃下测得密封的典型泄漏率为每小时7升。这种效应是可逆的和可以重复的。这看来是此种密封设计上的特性，与Burgmann自己所报告的趋势相似（参考文献10）。Burgmann密封的所有试验都是在110℃至130℃之间的温度下终止的，原因是泄漏率高，但是，无论在试验过程中还是在随后的端面检查中，都没有发现任何不稳定汽化的迹象。

由此可以得出结论，汽化极限试验不是评价这种密封性能的合适方法。尽管似乎还有必要用原油和水混合物对Burgmann密封进行寿命试验，以充分地评价其工作潜力，但不存在密封不稳定汽化破坏却是令人鼓舞的。

6. 流体汽化特性对密封性能的影响

6.1 实验密封特性方面的考虑

把用蒸馏水(5.1节)所进行的试验与用原油和水混合物(5.2节)所进行的试验相比较，在所观察到的密封汽化特性方面存在着差别，根据每种情况下液体汽化过程的热力学方面的原

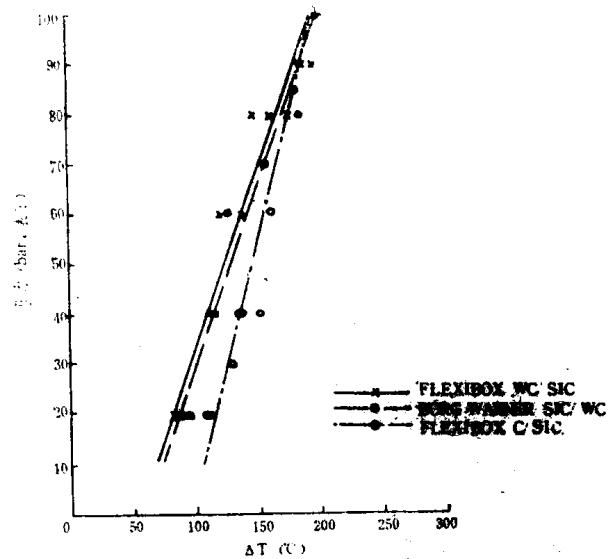


图10 ΔT随压力的变化

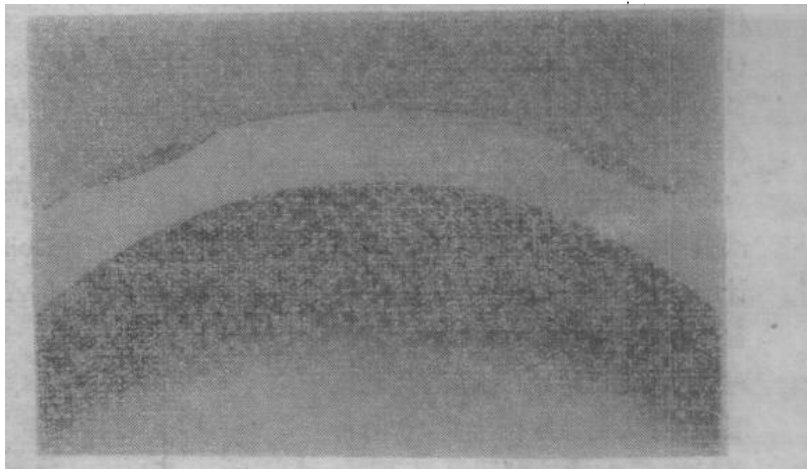


图11 带有热流体动力槽的Burgmann密封端面

因，可以对这种差别加以解释。

两种液体的汽化特性(所讨论的流体的汽化特性是由英国石油公司的一套计算机程序 GENESIS给出的)影响密封汽化现象的形式:

(i) 起泡点或液体饱和曲线，表示相变开始时流体的状态。对于纯水、弗梯斯原油以及含30%矿层水的原油混合物，其曲线表示在图12中。

(ii) ‘闪蒸’曲线，表示相变一旦开始之后汽化过程的速度或剧烈程度。图13表示在恒定压力下流体汽化的百分比与温度的关系。图中表示的几种流体为：弗梯斯原油本身，含水1.5%和30%的原油，以及纯水。

对于纯水，起泡点与露点一致，用同一曲线表示。一旦达到饱和条件，汽化程度仅受由密封可得到的为完成相变所需要的热量的限制。在弗梯斯密封中，5 μm 厚的水界面流体膜的完全汽化只需要几十焦耳的热量。密封功率消耗具有5kw的量级，因此从那些局部受热点的初始汽化到密封端面大面积被闪蒸的水蒸汽所复盖是非常迅速的。

原油与原油和水的混合物的特性是不同的。一旦达到起泡点，汽化的流体的份额随着温度的升高和压力的降低而逐渐增加；汽化流体的百分比取决于密封端面间存在的压力和温度状态。尽管当水含量较高时在固定的压力、温度状态下，汽化的强度明显地增大(图13)，但它永远也不可能达到纯水闪蒸的强度。通过表2中的比较，可以更加清楚地看出这种特性的差别。该表给出了各种流体的体积

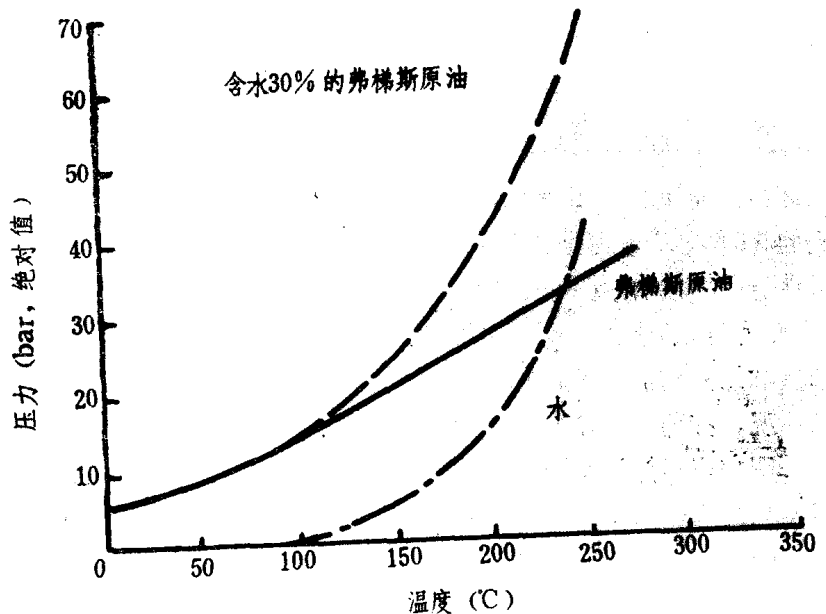


图12 起泡点曲线

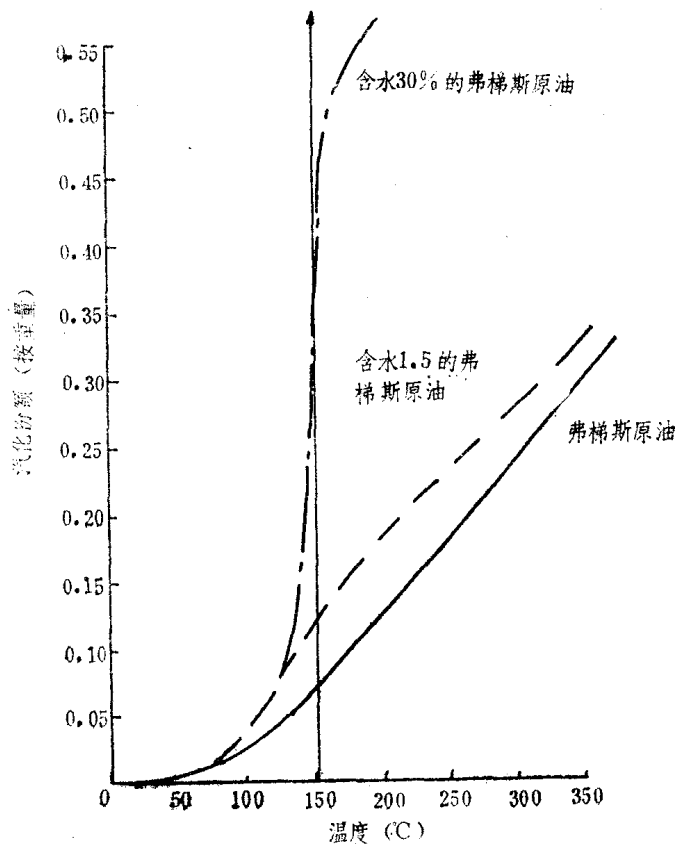


图13 在恒压下的闪蒸曲线

表 2 从5bar (绝对压力)、100℃到1bar (绝对压力)、100℃闪蒸过程中体积的变化

流 体	体积增大到(倍)
弗梯斯原油	11.1
原油 + 重量比1.5%的水	12.7
原油 + 重量比30%的水	117.3
水	1543

变化与闪蒸条件的关系,这种闪蒸条件在靠近密封的大气侧是可能存在的。流体汽化特性的研究表明,对于原油和水的混合物,其汽化开始点是难以确定的,并且由此可以说明探测这种混合物不稳定汽化起始点的尝试不易成功的原因。

6.2 理论汽化极限曲线

在确定了流体蒸发特性对密封性能的影响之后,便可将对于原油和水的混合物计算的起泡点曲线同以水为介质的工作极限试验中得到的 ΔT 的实验数据结合到一起,从而导出一个用来预计以原油和水的混合物为介质时的密封性能的‘理论汽化极限曲线’。弗梯斯原油和水具有类似的粘度,若把用水作试验得到的 ΔT 的数据用于原油和水的混合物,则可假定对于这两种不同流体为工作介质的密封,界面摩擦和热量向流体的传输是相同的。如要完全避免密封汽化破坏,则极限曲线应当基于最坏的情况,亦即基于由实验得到的最大的 ΔT 值。

图14表示为Flexibox两种密封建立的理论极限曲线。这两种密封的端面材料组对分别为碳对碳化硅和碳化钨对碳化硅,其工作介质为含水30%的弗梯斯原油混合物。该图中还表示了以前在5.2节中所叙述过的寿命试验,其中某些密封端面在经过44小时的运转周期后发生损坏。如前所述,Flexibox设计的碳对碳化硅和碳化钨对碳化硅两种密封,是在一些恒定工作条件下试验的。在105℃下运转后的碳端面上观察到的损坏程度较重,而在90℃下运转后的碳端面上发现的损坏程度较轻。对于碳化钨对碳化硅的密封,在较高温度下运转后,仅在碳化钨端面上发现轻微的损坏。由此可见,所观察到的密封损坏程度与寿命试验状态点对图14中的理论汽化极限曲线的位置有密切关系。

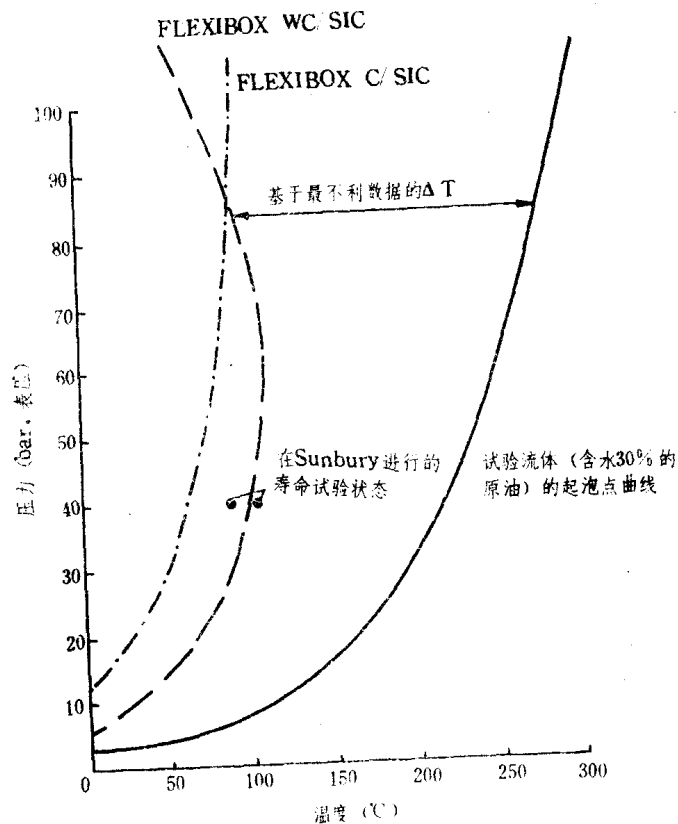


图14 “理论汽化极限曲线”

把在恒定工作条件试验中所观察到的密封的其他损坏情况,与理论汽化极限曲线联系起来,类似想法,同样也是令人鼓舞的。

7. 结 论

7.1 弗梯斯主输油管道泵密封的实验室试验,能够使这种密封发生在现场使用时所发现的损坏形式,并可证实润滑流体膜的不稳定汽化是造成这种损坏的原因。

7.2 在高温工作极限试验过程中,监测密封大气侧的压力,为评价在水中运转的普通平直端面的密封的汽化特性提供了快速方法。在试验精度范围内, Flexibox和Borg-Wamer两个公司的以碳化钨对碳化硅为端面材料组对的密封,从统计资料上看没有明显的差别;在弗梯斯大多数工作压力范围内,这种材料组对的性能优于碳对碳化硅。对普通密封所用的试验方法证明,它是不适于评价Burgmann的开槽密封的性能的,在试验过程中和根据试验之后的目测,都没有发现不稳定汽化迹象。

7.3 用原油和水的混合物来实验密封,得不到密封的工作极限,这是因为难于清楚地探测到汽化的开始点。用水作试验与用原油和水的混合物作试验相比,其密封性能不同,这种差别可以用流体汽化特性方面的差别加以解释,即油、水混合物汽化的开始发生远较单独的纯水容易。

7.4 使水的极限实验结果与油水混合物的起泡点曲线联系起来绘制了油水混合物的‘理论汽化极限曲线’。将在恒定工作条件下运转所记录的密封损坏情况与理论汽化极限曲线加以比较,结果表明,通过这种方法建立的理论曲线有助于选择在工作中不发生不稳定汽化的密封。

参 考 文 献

- (1) Orcutt, F. K.: "An investigation of the operation and failure of mechanical face seals". Trans ASME Series F, 91, 4, Oct 1969, pp713—725.
- (2) Hughes, W. F., Winowich, N. S., Birchak, M. J. and Kennedy, W. C.: "Phase change in liquid face seals". Trans ASME, 100, Jan 1978, pp74—80.
- (3) Lebeck, A. O.: "A mixed friction hydrostatic face seal model with phase change". Journal of Lubrication Technology, 102, Apr 1980, pp133—138.
- (4) Hughes, W. F. and Chao, N. H.: "Phase change in liquid face seals II—isothermal and adiabatic bounds with real fluids." Trans ASME, 102, Jul 1980, pp350—357.
- (5) Lymer, A.: "An engineering approach to the selection and application of mechanical seals". In: Proc 4th International Conference on Fluid Sealing (Philadelphia, USA; May5—9, 1969).
- (6) Netzel, J. P.: "The effect of interface cooling in controlling surface disturbances in mechanical face seals". Wear, 79, 1982, pp119—127.
- (7) Harrison, D. and Watkins, R.: "The detection of mechanical seal failure due to face vapourisation in laboratory tests". In: Proc 1st International Conference on On-Line Surveillance and Monitoring (London, UK; Aug 31—Sep 2, 1983).
- (8) Kennedy, F. E. and Karpe, S. E.: "Thermocracking of a mechanical face seal". Wear, 79, 1982, pp21—36.
- (9) P. J. Dolan; Private Communication.
- (10) W. Krause; "Mechanical seals for pipeline and injection pumps". Publication ref. E28/3000 -5.83, Feodor Burgmann, wolfratshausen.