

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

代替 T/CMES XXXX—201X

低温磁性液体旋转密封

Low-Temperature Magnetic Fluid Rotary Sealing

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次..... II

前 言..... III

引 言..... IV

低温磁流体旋转密封..... 5

1 范围..... 5

2 规范性引用文件..... 5

3 术语和定义..... 5

4 磁流体低温性能测试方法..... 6

 4.1 磁流体倾点测试方法..... 6

 4.2 使用旋转流变仪测量磁流体流变性能方法..... 7

5 低温磁流体旋转密封性能测试方法..... 8

 5.1 密封泄漏率测量方法..... 8

 5.2 用悬挂法测量密封启动力矩..... 8

 5.3 用悬挂法测量密封摩擦力矩..... 9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：清华大学、北京交通大学、北京机械工业自动化研究所有限公司、北京市神然磁性流体技术有限公司、北京科理科技技术有限公司、沧州蒂德机械有限公司

本文件主要起草人：李德才、郭昀奇、恭飞、于文娟、聂世琳、赵文曦

本文件由清华大学提出。

本文件首次制定

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

随着我国工业化进程的加速和高端装备制造业的发展，低温密封技术在航空、航天、机械工程等关键领域的需求日益增长。磁流体旋转密封作为一种前沿技术，因其零泄漏、高可靠性、长寿命等显著特点，在低温工况下的密封应用中展现出广阔的应用前景。与传统密封技术相比，磁流体旋转密封在低温环境中具有更好的适应性和稳定性，能够有效保障设备的安全运行。

在新材料与新技术的推动下，低温磁流体旋转密封技术逐步突破了上述难题，开发出耐低温型磁流体和新型密封结构，显著提升了密封性能和使用寿命。然而，目前低温磁流体旋转密封技术在国内尚未形成统一的技术标准和检测规范。因缺乏标准化指导，市场上相关产品质量参差不齐，没有统一的检测标准，难以满足高端装备制造中对高性能密封的严格要求。为进一步规范低温磁流体旋转密封的设计、制造与检测，推动技术健康发展，本标准应运而生。

《低温磁流体旋转密封》标准详细规定了低温磁流体旋转密封的定义、技术要求、性能指标及检测方法，涵盖外观检测、磁流体倾点测试、常温及低温耐压测试（包括保压和氦质谱检漏）、低温摩擦力矩测试等内容，同时明确了储存、搬运和安装要求。通过统一技术规范，本标准旨在提升产品一致性，确保低温环境下的密封可靠性和设备运行安全，满足航空、航天、机械工程等领域对高精度密封的迫切需求。

此外，《低温磁流体旋转密封》标准的制定将进一步推动低温磁流体旋转密封技术的创新发展，为我国高端装备制造业水平的提升提供技术支持，增强相关产品在国际市场上的竞争力，同时助力实现节能减排和环境保护的目标。

低温磁流体旋转密封

1 范围

本文件规定了低温磁流体旋转密封的性能要求、测试方法及使用规范，涵盖密封性能、耐久性、兼容性等关键指标，明确测试条件、程序与合格判定标准，同时给出安装、操作、维护指导，以保障密封系统在低温工况下的稳定运行。

本文件适用于低温环境下磁流体旋转密封装置的设计、制造与应用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3535-2025 石油产品倾点测试法

JY/T 0590-2020 旋转

GB/T 14211-2019 机械密封试验方法流变仪测量方法通则

GB/T 32562-2016 滚动轴承 摩擦力矩测量方法

3 术语和定义

GB/T DDDD—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了GB/T DDDD—2016 中的某些术语和定义。

3.1

倾点 pour point

在规定条件下，被冷却的磁流体能够流动的最低温度。

3.2

流变仪 rheometer

在设定的参数条件下(如:温度、剪切速率、剪切应力、角频率、应变、时间等)，测量物质流变学性质的仪器。

3.3

流变测量法 rheometry

设定温度、剪切速率或剪切应力(应变)等条件下，测量物质的黏度、储能模量，损耗模量、力学损耗等流变函数随温度、时间、剪切速率或剪切应力(应变)变化的技术方法。

3.4

剪切应力 shear stress

在简单剪切流动中，样品剪切面单位面积上的应力，以表示 τ ，其单位为 Pa。

3.5

剪切速率 shear rate

在简单剪切流动中，垂流方向的速度梯度，以表示 $\dot{\gamma}$ ，其单位为 s^{-1} 。

3.6

泄漏率 leak rate

指单位时间内通过密封泄漏的速率。

3.7

启动力矩 starting torque

使磁流体旋转密封极靴相对于转轴开始旋转时所需的最小力矩。

3.8

摩擦力矩 friction torque

当磁流体旋转密封极靴相对于转轴匀速旋转时所需的最小力矩。

4 磁流体低温性能测试方法

4.1 磁流体倾点测试方法

4.1.1 仪器

倾点测量装置包括试管、温度测量装置、软木塞、套管、圆盘、垫圈、冷浴、计时器等，满足 GB/T 3535-2025 石油产品倾点测试法要求。

4.1.2 实验步骤

4.1.2.1 将磁流体试样倒入试管中至刻度线。如果试样在试验开始前 24h 内曾被加热至高于 45℃，或是不知其受热经历均需在室温下放置 24h 后，方可进行试验。

4.1.2.2 用温度测量装置配备的软木塞塞住试管，调整软木塞和温度测量装置的位置，使软木塞紧紧塞住试管，要求温度测量装置和试管在同一轴线上，并且温度测量装置浸在试样液面下合适的采度。对于玻璃液体温度计，温度计的毛细管起点应浸在试样液面下 3mm 的位置。对于接触式数字温度计，探头的末端应浸入试样液面以下 10 mm~15 mm 的位置。

4.1.2.3 将试管中的试样进行预处理。试样在不搅拌的情况下在 48℃ ± 1.5℃ 浴中加热至 45℃，然后将其放在 24℃ ± 1.5℃ 的浴中冷却至 27℃。

4.1.2.4 保证圆盘、垫圈和套管的内壁是清洁和干燥的，并将圆盘放在套管的底部。在插入试管前，圆盘和套管应放入冷浴中至少 10min。将垫圈套在试管的外壁，离底部约 25mm，并将试管插入套管中。不能将试管直接放入冷浴中。

4.1.2.5 从第一次观察温度开始，每降低 3℃ 都应将试管从浴或套管中取出，将试管充分地倾斜以确定试样是否流动。通常情况下，取出试管、擦拭和试管返回到冷浴中的全部操作要求不超过 3s。

4.1.2.5 当试管倾斜而试样不流动时，应立即将试管放置于水平位置 5s，用计时器测量，并仔细观察试样表面。如果试样显示出有任何移动，应立即将试管放回冷浴或套管中(根据实际使用情况)，待

再降低 3℃时，重新观察试样的流动性。

4.1.2.6 按此方式继续操作，直至将试管置于水平位置 5s，试管中的试样不移动，记录此时观察到的温度计读数。

4.1.3 结果表示

将 4.1.2.6 记录得到的结果加上 3℃，作为试样的倾点(据实际使用情况)，结果精确到 1℃。

4.2 使用旋转流变仪测量磁流体流变性能方法

4.2.1 仪器

4.2.1.1 旋转流变仪主要包括变形驱动马达、轴承、扭矩传感器、光学编码器、法向力传感器和测量转子系统等。对于磁流体流变性能测量，旋转流变仪可具备磁场模块以提供磁场。

4.2.1.2 旋转流变仪在使用前及使用过程中，应采用检定或校准等方式，对检测分析结果的准确性或有效性有显著影响的部件(如马达和传感器等)有计划地实施检定或校准，以确认其是否满足测量的要求。检定或校准应按有关检定规程、校准规范或校准方法进行。

4.2.1.3 仪器工作的环境温度和湿度应符合各仪器使用说明书的要求。应避免外部振动对仪器的干扰。

4.2.2 操作方法

4.2.2.1 安装实验需要的测量转子系统，设定测量转子系统的几何和物理参数。

4.2.2.2 选择温控方式，设定起始温度。待温度稳定后，确认样品台无任何样品，手动或自动调节上下样品台(夹具)刚好接触，设定为零位。

4.2.2.3 根据需要进行实验气氛，开启马达。

4.2.2.4 装载测试样品，调整间距，确保测量系统间隙中样品完全填充，(平行平板或锥板夹具)刮掉边缘多余样品。

4.2.2.5 根据加工、使用条件或研究需要，选择如下测量模式：

a)稳态测量模式，施加恒定的外加磁场，用连续的旋转方式以得到恒定的剪切速率，在剪切流动达到稳态应力响应对时间基本不变时，测量由于形变而产生的应力和黏度等参数；

b)动态(振荡)测量模式，在固定的或线性升降温过程中，施加恒定或变化的外加磁场，对样品施加周期振荡应变或应力，测量样品、模量、损耗角等参数。动态测量模式常用的测量方式有：动态应变(应力)扫描、动态频率扫描、动态温度扫描、动态时间扫描等；

c)瞬态测量模式，通过施加瞬时改变的磁场、应变(速率)或应力，来测量样品的应力或应变响应随时间的变化。常用的测量方式有：阶跃应变速率测试、应力松弛实验、蠕变实验、触变实验等。

4.2.2.6 设定测量参数(如温度、时间、磁场强度、剪切速率、应变、应力、频率等)，根据需要设定恒温等待时间和预剪切，选择线性采点或对数采点，

4.2.2.7 通过操作软件开始实验，自动或手动保存数据。

4.2.2.8 实验结束，关闭马达，卸载样品，清理样品台；关闭流变仪主机。

4.2.3 结果报告

4.2.3.1 基本信息至少应包括：委托单位信息、样品信息、仪器设备信息、环境条件、检测方法(标准)、检测人、检测日期等。

4.2.3.2 测量结果包括所选测量转子系统、测量模式和设定参数及其相应的数据和曲线。

5 低温磁流体旋转密封性能测试方法

5.1 密封泄漏率测量方法

5.1.1 测试步骤

5.1.1.1 连接被检容器。按被检容器的容积 V 、抽气接头或容器真空阀的大小，选择与之相适应的测量装置。

5.1.1.2 将密封放置在常温环境中 24 小时或待密封件温度稳定后，向被检容器中充入气体或抽真空至工作压力值，记录初始压力。关闭阀门后保压 30 分钟，记录最终压力。按 5.1.2 步骤计算密封泄漏率，泄漏率不应低于要求值。

5.1.1.3 将密封放置于低温环境中，待低温温度稳定在设定温度后，保温 2 小时。

5.1.1.4 向被检容器中充入气体或抽真空至工作压力值，记录初始压力 p_1 。关闭阀门后保压一段时间 t 后，记录最终压力 p_2 。按 5.1.2 步骤计算密封泄漏率，泄漏率不应低于要求值。

5.1.2 数据处理

泄漏率按公式 (1) 计算：

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{t} \cdot V \quad (1)$$

式中： Q ——泄漏率， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

p_1 ——初始压力， Pa ；

p_2 ——最终压力， Pa ；

V ——被检容器的容积， m^3 ；

t ——保压时间， s 。

5.2 用悬挂法测量密封启动力矩

5.2.1 启动力矩测量原理

悬挂法测量磁流体旋转密封启动力矩的原理是，将密封极靴端或者密封转轴端中的一端进行固定，作为固定端，另一端作为旋转端。在密封的旋转端安装一个力臂，通过在力臂上悬挂砝码逐级施加驱动力。当旋转端相对于固定端启动并维持转动到规定弧度，称量砝码重量并计算力矩，得到的结果作为密封的启动力矩。

5.2.2 测量步骤

5.2.2.1 将密封连接力臂（力臂长度记为 L ）并在高低温箱等装备中固定，当温度降低到设定值后保温 2 小时。

5.2.2.2 将砝码逐步悬挂于力臂一端，观察 5 秒，若力臂没有明显转动，则继续添加悬挂砝码直至密封旋转端在 5 秒内发生明显转动。

5.2.2.3 取出所有砝码并进行称量记为 m_1 。

5.2.2.4 将砝码逐步悬挂于力臂的另一端，观察 5 秒，若力臂没有明显转动，则继续添加悬挂砝码直至密封旋转端在 5 秒内发生明显转动。

5.2.2.5 取出所有砝码并进行称量记为 m_2 。

5.2.3 数据处理

启动力矩按公式（2）计算：

$$\tau_s = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot g \cdot L \tag{2}$$

式中： τ_s ——密封启动力矩，N·m；
 m_1 ——砝码重量（正转），kg；
 m_2 ——砝码重量（反转），kg；
 g ——重力加速度，m/s²；
 L ——力臂长度，m。

5.3 用悬挂法测量密封摩擦力矩

4.1.2 转动力矩测量原理

转动力矩的测量是传感器安装在一个轴承套圈上，或安装在一个与轴承套圈机械式连接的测量装置上，在规定的载荷条件下，轴承以固定转速旋转，在规定的时间内检测传感器信号，得出一个或多个表征转动力矩的参数。

文字文字XXXXXXXXXXXX1234567891,XXXXXXXXXXXX,XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX,XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX,XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX,XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

在规定的测量条件下，轴承应预运转后开始测量，预运转圈数不应少于 2 圈 6.2.1

6.2.2 对于转动力矩的测量，在测量过程中，测量圈数不应少于 2 圈。

对于启动力矩的测量，在测量过程中，测量点数不应少于 3 点，3 点应均匀分布，6.2.3

6.2.4 对于能够承受双向轴向载荷的轴承应进行双面测量。

6.2.5 要求双向转动的轴承，应在正转和反转两个方向上测量。

6.2.6 按规定未能通过的轴承应退磁、清洗、润滑，再测量。第 2 次测量还未通过的轴承应退磁、清洗润滑，再次进行测量。未能通过第 3 次测量的轴承按不合格品处理，

5.3.1 摩擦力矩测量原理

悬挂法测量磁流体旋转密封摩擦力矩的原理是，将密封极靴端或者密封转轴端中的一端进行固定，作为固定端，另一端作为旋转端。将旋转段正转 10 圈、反转 10 圈后，在密封的旋转端安装一个力臂，通过在力臂上悬挂砝码逐级施加驱动力。当旋转端相对于固定端维持持续转动，称量砝码重量并计算力矩，得到的结果作为密封的摩擦力矩。

5.3.2 测量步骤

5.2.3.1 将密封连接力臂（力臂长度记为 L ）并在高低温箱等装备中固定，当温度降低到设定值后保温 2 小时后，将旋转段正转 10 圈、反转 10 圈。

5.2.3.2 将砝码逐步悬挂于力臂一端，观察 5 秒，若力臂没有明显转动，则继续添加悬挂砝码直至密封旋转端在 5 秒内发生明显转动。

5.2.3.3 取出所有砝码并进行称量记为 m_1 。

5.2.3.4 将砝码逐步悬挂于力臂的另一端，观察 5 秒，若力臂没有明显转动，则继续添加悬挂砝码直至密封旋转端在 5 秒内发生明显转动。

5.2.2.5 取出所有砝码并进行称量记为 m_2 。

5.3.3 数据处理

摩擦力矩按公式（2）计算：

$$\tau_f = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot g \cdot L \quad (2)$$

式中： τ_f ——密封摩擦力矩，N·m；

m_1 ——砝码重量（正转），kg；

m_2 ——砝码重量（反转），kg；

g ——重力加速度，m/s²；

L ——力臂长度，m。

中国机械工程学会标准征求意见稿