

ICS 29.160.30

CCS K 26



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

-196°C深冷工况屏蔽泵可靠性要求与 测试方法

Reliability requirements and test methods for canned motor pumps under -

196 ° C cryogenic operating conditions

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 可靠性要求	3
4.1 结构可靠性要求	3
4.2 材料可靠性要求	4
4.3 电机可靠性要求	4
4.4 性能可靠性要求	4
5 测试方法	4
5.1 测试环境与准备	4
5.2 测试步骤	5
6 检验规则	6
6.1 检验分类	6
6.2 出厂检验	6
6.3 型式检验	6
6.4 检验报告	6
7 标志、包装、运输和贮存	6
7.1 标志	6
7.2 包装	6
7.3 运输	7
7.4 贮存	7

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

-196℃深冷工况屏蔽泵可靠性要求与测试方法

1 范围

本文件规定了在-196℃深冷工况下运行的屏蔽泵的可靠性要求、测试方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于输送介质温度范围在-196℃至-150℃之间（如液氮、液氧、液氩、液化天然气等）的单级或多级屏蔽式离心泵。对于介质温度低于-196℃（如液氢、液氦）或高于-150℃的类似工况屏蔽泵，其可靠性评价可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图形符号标志

GB/T 7021 离心泵名词术语

GB/T 20663 蓄能压力容器

JB/T 10483 管道屏蔽电泵

JB/T 13239 屏蔽式潜水电泵

3 术语和定义

GB/T 7021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深冷工况 cryogenic condition

工作介质温度低于-150℃的环境，针对液氮温度（-196℃）下的流体输送环境。

4 可靠性要求

4.1 结构可靠性要求

4.1.1 结构设计

结构设计要求如下：

- a) 深冷屏蔽泵的结构设计应充分考虑-196℃下的热收缩效应；
- b) 泵体与电机壳体应采用一体化或紧凑型法兰连接，减少密封面；
- c) 所有连接螺栓应具备防松脱功能，并考虑低温下的预紧力衰减；
- d) 设计时应确保转子系统在深冷状态下的动态平衡；
- e) 转子与定子屏蔽套之间的间隙应经过精确计算，既要保证磁场效率，又要防止在低温收缩或运行温升时发生干涉磨损。

4.1.2 热补偿与应力消除

具体要求如下：

- a) 泵组应能够吸收从常温到深冷状态切换时的温差应力；
- b) 轴承座、屏蔽套固定端应采用对称设计；

c) 对于大型深冷屏蔽泵，应设计预冷通道，满足冷能够均匀渗透到电机内部及轴承区域，避免局部冷缩不均导致的转子卡死。

4.1.3 屏蔽套结构可靠性

屏蔽套应符合GB/T 20663的相关规定。

4.2 材料可靠性要求

4.2.1 金属材料

4.2.1.1 应选用具有优异低温冲击韧性的奥氏体不锈钢或高镍合金。

4.2.1.2 在-196℃下，材料的V型缺口冲击功平均值应不低于41J。

4.2.1.3 所有铸件应进行射线检测或超声波检测，检测结果无气孔、裂纹等缺陷，防止低温脆裂。

4.2.2 轴承材料

深冷屏蔽泵应采用具备自润滑功能的低温轴承，其他要求如下。

a) 陶瓷轴承：宜选用氮化硅全陶瓷或混合陶瓷轴承，利用其低膨胀系数和极高的硬度，在液氮润滑条件下保持极低的磨损率；

b) 石墨复合材料：对于推力轴承或导向轴承，可采用浸渍树脂或金属的高纯石墨，在无油润滑状态下满足干摩擦启动可靠性。

4.2.3 屏蔽套材料

屏蔽套应选用非磁性、高电阻率、耐腐蚀的材料。

4.3 电机可靠性要求

4.3.1 绝缘系统

4.3.1.1 电机的绝缘等级应不低于H级。

4.3.1.2 绝缘材料必须经过-196℃下的冷热循环试验，试验后不应出现剥落、龟裂或电气强度下降现象。

4.3.1.3 漆包线应选用耐电晕、高强度的复合涂层线。

4.3.2 回路

介质应从泵出口引出一部分，流经定转子间隙及轴承，带走电机损耗产生的热量并提供润滑，最后返回泵进口。

4.4 性能可靠性要求

4.4.1 水力性能

在-196℃连续运行周期内，泵的流量、扬程波动范围应不超过额定值的±3%，效率下降不应超过初始值的5%。

4.4.2 振动与噪声

应符合JB/T 10483的相关规定。

4.4.3 密封

应符合JB/T 13239的相关规定。

4.4.4 平均无故障工作时间

应符合JB/T 10483的相关规定。

5 测试方法

5.1 测试环境与准备

5.1.1 测试介质

可靠性测试应采用液氮（温度约-196℃）作为模拟介质；对于有特殊要求的泵，可采用实际工况介质，但应严格遵守安全防爆规程。

5.1.2 测试回路

测试回路应包括深冷储罐、增压系统、真空绝热管路、流量计、压力变送器、温度传感器及回流调节阀；回路系统应具备良好的真空绝热性能，测试期间泵入口处的介质过冷度不低于3K，防止发生汽蚀。

5.1.3 传感器精度

具体要求如下：

- a) 压力表/变送器：精度不低于0.5级；
- b) 流量计（深冷型）：精度不低于1.0级；
- c) 温度计（Pt100铂电阻）：精度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 电参数测量仪：精度不低于0.5级。

5.2 测试步骤

5.2.1 绝缘系统测试步骤

绝缘系统测试应按下列步骤进行：

- a) 试验前准备：在泵组处于常温、干燥状态下，检查电机引出线、接线端子及绝缘部位外观，应无裂纹、脱落、受潮或污染现象；确认测试仪器经计量检定合格并在有效期内；
- b) 常温绝缘测试：在环境温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于75%的条件下，采用兆欧表对定子绕组对地及相间绝缘电阻进行测量，测试电压按产品额定电压等级选取，记录初始绝缘电阻值；
- c) 深冷状态绝缘测试：将屏蔽泵置于试验回路中，按5.2.2规定完成预冷过程，使电机内部温度稳定在 $(-196\pm 3)^{\circ}\text{C}$ ，并保持不少于1 h；在不解冻、不升温的条件下，对绕组绝缘电阻进行在线或快速断电测试，记录测试数据；
- d) 冷热循环后绝缘测试：按5.2.2规定完成不少于3个完整冷热循环后，将泵恢复至常温状态，再次测量绝缘电阻和耐电压性能；
- e) 结果判定：试验过程中及试验后，绝缘电阻不应出现突变性下降，耐电压试验过程中不应发生击穿、闪络或异常放电现象，测试结果应符合4.3.1的规定。

5.2.2 回路测试步骤

回路测试应按下列步骤进行：

- a) 系统检查与充装：检查深冷试验回路的密封性、真空绝热状态及各阀门启闭灵活性；确认管路内无杂质、无水分残留后，缓慢向系统充装液氮；
- b) 预冷过程：通过旁通回路对泵体、电机及轴承区域进行均匀预冷，控制降温速率不大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，避免因温差过大引起结构应力集中；
- c) 建立稳定运行条件：当泵入口介质温度稳定在 $(-196\pm 3)^{\circ}\text{C}$ ，入口压力、流量及过冷度满足5.1.2要求后，启动屏蔽泵，逐步升至额定转速；
- d) 连续运行试验：在额定工况下连续运行不少于规定时间（由产品技术文件或型式检验方案确定），期间应持续监测以下参数：
 - 泵入口、出口压力；
 - 流量；
 - 定子绕组温度；
 - 轴承区域温度；
 - 电机输入电流、电压及功率。
- e) 异常工况监测：试验过程中如出现异常振动、噪声突变、电流异常波动或温升异常，应立即记录并分析原因，必要时中止试验；
- f) 停机与回温：试验结束后，按先降载、后停机的顺序停止运行，并控制自然回温，严禁采用强制加热方式升温。

5.2.3 水力性能测试步骤

水力性能测试应按下列步骤进行：

- a) 测试工况设定：在深冷连续运行状态下，将泵运行工况调整至额定流量点，确保系统压力、温度及流量稳定；
- b) 参数测量：在工况稳定不少于10 min后，依次测量并记录流量、扬程、轴功率、电机输入功率及介质温度等参数；每个工况点的测量次数不少于3次，取算术平均值作为测试结果；
- c) 多工况测试：根据需要，可在 $0.7Q_n$ 、 $1.0Q_n$ 、 $1.2Q_n$ 等典型工况点重复上述测试过程，绘制深冷工况下的性能曲线；
- d) 运行稳定性观察：在整个水力性能测试过程中，应观察泵的运行状态，不应出现汽蚀、流量突变、异常振动或功率剧烈波动现象。

e) 结果评定：测试所得流量、扬程及效率数据应符合4.4.1规定，其性能偏差应在允许范围内。

6 检验规则

6.1 检验分类

本文件要求的检验分为出厂检验和型式检验两类。

6.2 出厂检验

出厂检验的项目只应包括外观，若有不合格项目，允许返修后重新检验，重新检验仍不合格的，判定为不合格产品，不得出厂。

6.3 型式检验

6.3.1 检验时机

有下列情形之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品试制定型鉴定时；
- b) 设计、工艺或主要原材料有较大改变，可能影响产品性能；
- c) 正常生产满一年时；
- d) 间隔一年以上再生产时；
- e) 出厂检验结果与同产品型号或批次的型式检验有较大差异时。

6.3.2 检验项目

型式检验的项目应包括本文件第4章规定的全部技术要求。

6.3.3 抽样规则

抽样规则应符合GB/T 2828.1的要求。

6.3.4 判定规则及处理措施

所有检验项目均满足本文件的技术要求时，判定为合格。任一项不符合规定时，判定为不合格。对于不合格的产品，应进行返工或报废处理，返工产品应重新进行检验。

6.4 检验报告

所有检验记录和报告应妥善存档，每次检验结束后应出具完整的检验报告，并包括下列内容：

- a) 基本信息：产品名称、产品批次编号、检验日期、检验机构和参与人员等；
- b) 检验目的与检验依据；
- c) 检验环境与检验设备清单等；
- d) 检验方法与检验过程；
- e) 检验数据：详细列出各项的检测数据；
- f) 检验结论：评估该批次产品是否合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

产品标志应满足下列要求：

- a) 应有清晰、牢固、持久的标志，内容包括：产品名称、牌号、规格尺寸、生产单位、出厂编号、生产日期等；
- b) 所有标志应清晰、耐磨，符合GB/T 191的相关规定。

7.2 包装

产品包装应满足下列要求：

- a) 包装应采用防潮、防震、防尘材料，确保产品在运输和存储过程中不受损；
- b) 包装内部应有缓冲材料；
- c) 包装箱外应标明产品的名称、型号、毛重、净重及运输标志；

d) 每件产品随包装附带说明书、合格证及出厂检验报告。

7.3 运输

产品运输应满足下列要求：

- a) 运输过程中应避免剧烈碰撞、挤压和抛掷；
- b) 在运输过程中不得与有毒、有腐蚀性或易燃物品混装；
- c) 产品运输过程中应避免暴露在高湿或雨淋环境下。

7.4 贮存

产品贮存应满足下列要求：

- a) 产品应存放于 $-40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的环境温度内，相对湿度 $\leq 85\%$ 的干燥环境中；
 - b) 贮存环境应通风良好，避免阳光直射及高湿度环境；
 - c) 长期贮存时，应每6个月对产品进行一次检查和维护。
-