



指南编号/Guideline No. T-06(202502)

**T-06**

# 低温电驱式压缩膨胀机

生效日期/Issued date: 2025 年 2 月 1 日

©中国船级社 China Classification Society

## 前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 [mp@ccs.org.cn](mailto:mp@ccs.org.cn)。

历史发布版本及发布时间：新编

本版本主要修改内容：无

## 目 录

1 适用范围 .....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语及定义.....	4
4 图纸资料 .....	5
5 技术要求 .....	6
6 原材料及零部件.....	8
7 型式试验 .....	8
8 单件/单批检验.....	10

## 低温电驱式压缩膨胀机

### 1 适用范围

1.1 本指南适用于以逆布雷顿循环原理，在空气、天然气等气体分离、液化或深冷过程中膨胀做功获得冷量的电磁轴承低温电驱式压缩膨胀机。

1.2 类似结构和原理的压缩机或膨胀机也可参照本指南相关要求。

### 2 规范性引用文件

2.1 CCS 《钢质海船入级规范》

2.2 CCS 《材料焊接规范》

2.3 CCS 《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》

2.4 《国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则》及其修正案

2.5 CCS 《船舶应用天然气燃料规范》

2.6 API617 石油、化学和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机-压缩机

2.7 API618 石油和天然气工业用往复式压缩机

### 3 术语及定义

上述检验依据中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用或补充下列定义。

3.1 压缩膨胀一体机：以逆布雷顿循环原理进行膨胀做功并辅以同轴电机驱动，使压缩叶轮具有足够的能力对工质进行压缩并使工质从膨胀叶轮处获得所需低温冷量的电驱式磁悬浮压缩膨胀一体机。

3.2 最高许用温度：设计时，在规定的最大运行压力下输送规定的流体时允许的最高连续温度。

3.3 最高许用工作压力：设计时，在规定的最高运行温度下输送规定的流体时允许的最高连续表压。

3.4 最高连续转速：在任何规定的运行工况下，对规定的流体能够连续运行的最高转速。

3.5 最低许用转速：设计时所允许的连续运行的最低转速。

3.6 最低许用温度：设计时，在规定的最大运行压力下输送规定的流体时所允许的最低工作温度。

3.7 跳闸转速：独立的紧急超速保护装置启动时使变速原动机停机的转速。

3.8 额定工况：由额定转速和额定进出口压力、温度等参数共同确定的工况。

3.9 电机功率：额定转速下，电机可以输出的最大连续功率。

#### 4 图纸资料

下列图纸资料应提交审查

##### 4.1 产品审图提交图纸/资料：

- (1) 产品主要性能规格表（包括申请认可产品的产品型号、最大许用压力（进口/出口）、最高许用温度（进口/出口）、转速、流量、电机功率、工作介质等）；
- (2) 系统原理图（润滑、密封、控制和安全报警、平衡（如适用））；
- (3) 总装配图；
- (4) 电机图；
- (5) 主要零部件图：蜗壳、膨胀轮、转子、叶轮、主轴、定子、磁轴承等主要零部件图；
- (6) 主要零件材料理化性能一览表；
- (7) 设备清单；
- (8) 工艺流程图及主要工艺文件（焊接工艺及热处理等（如适用））；
- (9) 设计计算书（应包含电机性能计算书（包含电机设计、转子动力学计算等），强度计算书等）；
- (10) 产品说明书、铭牌和出厂合格证样本（如用于国际航行船舶，应提供中/英文双语版本）；
- (11) FMEA 分析报告。

##### 4.2 认可提交图纸/资料：

- (1) 工厂概况：工厂名称、地址、生产历史、生产能力、技术和检验人员、主要产品、隶属关系、产品商标等；
- (2) 申请认可产品明细；
- (3) 主要生产设备清单；
- (4) 主要检测设备清单；
- (5) 申请认可产品的简要生产工艺；
- (6) 质量管理文件或质量体系证书；
- (7) 企业注册登记证明；
- (8) 资质证明和/或生产许可证，如适用；
- (9) 产品质量证明书或合格证样本；
- (10) 质量控制计划，如适用；
- (11) 合格供方清单，如适用；
- (12) 型式试验大纲。

## 5 技术要求

### 5.1 材料要求

有关材料要求应满足中国船级社《材料与焊接规范》、《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》，适用指南、标准的有关规定，以及适用船用环境条件的要求。

### 5.2 承压机壳

- (1) 对于任何材料在承压机壳（不包括螺栓连接）的设计中所使用的许用抗拉应力，应不超过在最高规定的操作温度下该种材料的最小极限抗拉强度的 0.25 倍；
- (2) 对于机壳接合面连接螺栓使用的许用拉伸应力,根据水压试验载荷和衬垫预载荷，确定总的螺栓连接面积。预载荷应力应不超过螺栓材料最小屈服应力的 0.75 倍；
- (3) 应规定系统泄压阀的整定压力。机壳的最大允许工作压力至少应等

于泄压阀的整定压力；如果未规定泄压阀的整定值，则膨胀机机壳的最大允许工作压力应至少是最大规定进口压力的 1.1 倍，压缩机壳的最大允许工作压力应至少是最大规定出口压力的 1.25 倍。

### 5.3 进口导叶、可变管嘴及隔热层（如适用）

- (1) 压缩膨胀机应设置有可变进口导叶、可变管嘴及隔热层；
- (2) 进口导叶尺寸大小的确定应保证在最小规定进口压力和最大规定进口温度下，通过至少 110% 的最大规定质量流量；
- (3) 执行机构应能在所有正常运行条件下工作，包括最大进口压力、最大流量和最小出口压力；
- (4) 进口导叶及其执行机构应能在所有流量条件下随最大进口压力关闭。

### 5.4 叶轮

- (1) 叶轮应通过公认无损探伤标准检查焊接叶轮上的所有可达到的焊缝表面及电腐蚀叶轮的精机加工表面；
- (2) 铸造叶轮的轮毂和盖板应在精加工前进行射线或超声波探伤检查；
- (3) 每个叶轮至少应在最高连续转速 115% 的转速下作超速试验，时间至少持续 1min。制造厂标注的叶轮关键尺寸(如轴孔，进口密封圈和叶轮外径)在每次超速前后都应测量；
- (4) 进行超速试验后，每个叶轮都应全面地进行磁粉或着色探伤检查。

### 5.5 动平衡

膨胀机叶轮、压缩机叶轮和轴应进行动平衡校正，动平衡精度应满足 CCS 接受的公认标准要求。

### 5.6 运转间隙

旋转零件与静止零件之间的运动间隙应符合设计图纸要求。

### 5.7 轴

轴应按公认标准进行无损探伤，具体要求按本社批准的图纸及技术文件的规

定。

## 5.8 轴承

轴承设计应满足相关适用标准要求；应考虑到同介质的相容性以及强度、导热系数、热膨胀率等因素，每个磁力轴承应配备温度传感器。

## 5.9 装配要求

- (1) 喷嘴调节机构（如适用）装配时需进行低温转动检查，转动喷嘴环调节机构，负荷应均匀，无卡阻和轻重不均现象。装配后旋转部件与静止部件的间隙应符合图纸要求；
- (2) 零件外观检查无损伤、无毛刺、无锈痕，外形需光洁、平整，装配后不得有油污、碰伤等缺陷；
- (3) 与润滑油、冷却水及加工气体接触的所有非加工表面，必须清除干净，并做防锈防腐（不锈钢除外）处理。

## 5.10 临界转速

- (1) 转子为刚性转子时，设计时应满足在运转条件下，转子的实际第一临界转速应高于最大允许连续转速的 126%，也可根据转子动力学计算，确定隔离裕度；
- (2) 转子为柔性转子时，设计时应满足在运转条件下，根据转子动力学计算，确定隔离裕度。

## 5.11 噪声

在工作状态下，噪声值不得超过本社批准的图纸及技术文件的规定。

# 6 原材料及零部件

## 6.1 主要零部件

压缩膨胀机电动机，变频器、电气控制箱应持有本社证书，电气类产品有防爆要求的应持有产品证书（含防爆要求）和/或防爆证书。

# 7 型式试验

## 7.1 典型样品的选取

认可时,所选样机应覆盖工厂的加工能力、制造水平。试验样机按照申请认可的系列产品的冷却方式及额定排气压力下最大公称容积流量的原则分别选取。

## 7.2 型式试验项目

### 7.2.1 水压试验及密性试验

承压部件应该至少为最高许用工作压力的 1.5 倍但不低于 0.14MPa 的压力进行水压试验,保压 30 分钟以上不得泄漏;然后进行气密性试验,试验压力为最高许用工作压力,保压 10 分钟以上不得泄漏。

设备组装完成后,在最高许用工作压力下,持续 30 分钟进行气密性试验,应满足设计图纸要求。

### 7.2.2 超速试验

每个叶轮至少应在最高连续转速 115% 的转速下作超速试验,时间至少持续 1min。

### 7.2.3 动平衡试验

叶轮总成动平衡试验要求应满足本社接受的标准要求。

### 7.2.4 机械运转试验

- (1) 设备在不带叶轮情况下,以约 25% 的增速从零运行到最高连续转速,直至轴承温度、电机温度和轴振动振幅稳定为止;
- (2) 设备应在最高连续转速下持续运行 4 小时;
- (3) 将转速增大到跳闸转速,并在此转速下至少运转 15min (如适用)。

### 7.2.5 绝缘电阻测量

应测量压缩-膨胀一体机的电机的绝缘电阻,其最低试验电压值和相应绝缘电阻值应符合本社相应规范指南要求。

### 7.2.6 耐电压试验

应按照中国船级社认可的相应标准 (参考 (IEC 60034-1:2017 {Ed.13.0} 旋转电机 第 1 部分:定额和性能 第 9.2 条)所要求的试验电压条件执行耐电压试验。试验中应无击穿或闪烁现象,试验后应立即测量绝缘电阻,其测量结果应符合上述对绝缘电阻的规定。

### 7.2.7 低温运行试验

根据需及条件，对每种设计工况进行实际功能验证试验，低温运行试验可在制造厂进行，也可在再液化装置总成厂进行，也可在用户现场进行。试验要求及过程应满足本社批准的图纸及技术文件。

#### 7.2.8 性能试验

根据需及条件，通过转速调节或其他措施调节工况，改变流量与出口温度，使设备达到设计性能要求，性能试验可在制造厂进行，也可在再液化装置总成厂进行，也可在用户现场进行。试验要求及过程应满足本社批准的图纸及技术文件。

#### 7.2.9 安全保护及报警装置试验

按本社批准的安全保护措施，至少包含轴承温度（也可在系统中集成监测）、绕组温度（也可在系统中集成监测）、转速、应急电源故障、悬浮状态反馈，应急关断 ESD（如适用），安全阀（如适用）效用试验等进行安全保护效用及报警装置试验。并根据风险评估要求增加相应试验。

#### 7.2.10 拆检

压缩膨胀机经试验后，应按要求进行拆机检查，检查主轴、前后轴承、叶轮、密封套、密封盖等关键零部件，是否有异常的质量现象，经本社验船师同意，可根据实际情况确定拆检范围或无需拆检。

### 8 单件/单批检验

8.1 签发船用产品证书的检验应在制造厂业已完成规定的检验/试验并合格已达到可交付状态的情况下进行。验船师应按照每批/每规格至少抽验 1 台的原则随机选取该批低温电驱式压缩膨胀机中的产品进行下述试验项目的复验或在制造厂进行试验时现场见证。

#### 8.2 对获得中国船级社型式认可的制造厂的产品单件/单批检验

##### 8.2.1 水压试验及密性试验

##### 8.2.2 绝缘电阻测量

##### 8.2.3 耐电压试验

##### 8.2.4 空载机械运转试验

以约 25% 的增速从零运行到最高连续转速，试验过程中，设备应无异常。

##### 8.2.5 安全保护及报警装置试验

8.3 对未获得中国船级社认可的制造厂的产品单件/单批检验应包括：

- (1) 申请方应按照本章第 4 条的要求，向中国船级社提交图纸/技术资料；
- (2) 首次产品检验应进行型式试验,型式试验项目见本章第 7.2 条；
- (3) 对已经进行型式试验的产品，后续产品检验时，出厂试验按照本章 8.2 条的要求进行。