

低温液体泵使用、维护安全技术规范

Safety technical specification for use and maintenance of cryogenic liquid pumps

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类	2
5 设计、制造	3
6 安装	3
7 使用	4
8 维护和检修	6
9 安全要求及应急处置	7

前 言

低温液体泵是深度冷冻法制氧行业的重要设备之一，在工艺生产和产品输送中发挥着重要的作用，低温液体泵（尤其高压液氧工艺流程泵）的安全、可靠稳定运行对装置安全起着决定性作用，为使低温液体泵更好的安全稳定、长周期可靠运行，参照EIGA、API，并结合我国相关规范标准，特编制本文件。

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。

本文件由中国工业气体工业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

CCGA

低温液体泵使用、维护安全技术规范

1 范围

本文件规定了低温液体泵（以下简称“低温泵”）的术语和定义、分类、设计制造、安装、使用、维护和检修，安全要求及应急处置。

本文件适用于从事或涉及深度冷冻法生产氧气的作业人员及相关人员的指导和培训。

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 3096 声环境质量标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 16754 机械安全 急停 设计原则
- GB 16912 深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程
- GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则
- GB/T 31481 深冷容器用材料与气体的相容性判定导则
- GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工规范
- GB 50274 制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范
- GBJ 140 建筑灭火器配置设计规范
- HG 20202 脱脂工程施工及验收规范
- JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度
- JB/T 9073 空气分离设备用离心式低温液体泵
- JB/T 9076 往复式低温液体泵 技术条件
- JC/T 1020 低温装置绝热用膨胀珍珠岩
- API 610 石油、石化和天然气工业用离心泵（Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries）
- API 674 容积式泵 往复式（Positive displacement pumps-Reciprocating）
- EN 418 机械安全 功能方面的紧急停止设备 设计原则（Safety of machinery-Emergency stop equipment, functional aspects-Principles for design）
- EN 60204-1 机械安全-电工机器设备 第1部分：一般要求（Safety of machinery-Electrical equipment of machines Part 1: general requirements）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低温液体 cryogenic liquid

正常沸点在120K(-150℃)以下的液体。

3.2

低温液体泵 cryogenic liquid pump

利用叶轮旋转产生的离心力或活塞的往复运动使泵腔工作容积周期变化，实现低温液体的压力升高而达到输送的目的的泵。

3.3

脱脂 degreasing

去除物体表面的油脂等有机物的过程。

[来源：HG 20202-2014, 2.0.1]

3.4

干气密封 dry gas seal

通过在机械密封的动环密封面上开有密封槽，当动、静环高速旋转时，在两端面间形成一层气膜，在气膜推力作用下把动静环推开，从而实现非接触密封的密封方式。

3.5

迷宫密封 labyrinth seal

利用密封齿腔室容积远大于轴间隙，当流程介质流过密封齿与轴表面之间的间隙时，受到节流作用，介质压力下降，速度增加，进而气化，而后由密封气差压封住，混合气从密封出口逸出的密封方式。

3.6

内压缩 internal compression

通过液体泵把主冷液氧加压后，通过换热器回收冷量再送到用户处的压缩过程。

3.7

急停装置 emergency stop device

用于启动急停功能的手动控制装置。

[来源：IEC 60947-5-5;2005, 3.2]

3.8

置换加热气 purge gas

用于吹扫、防止氧的富集或空气中水分凝结的环境温度干燥无油的空气、氮气或氩气。

3.9

冷端 cold end

泵装配组合体中让低温液体通过并使其压力升高的部分。

4 分类

4.1 按照工作原理的不同，低温泵主要分为往复式和离心式两类。

4.2 离心式低温泵（以下简称“离心泵”）的分类主要有以下几种：

- 按轴的位置分为：立式和卧式；
- 按密封形式分为：机械密封、干气密封和迷宫密封；
- 按叶轮级数分为：单级和多级；
- 按工作介质分为：液氧泵，液氩泵和液氮泵等。

4.3 往复式低温泵（以下简称“往复泵”）的分类主要有以下几种：

- 按活塞数目分为：单列、双列、三列、多列；
- 按工作介质分为：液氧泵，液氩泵和液氮泵等。

5 设计、制造

5.1 基本要求

- 5.1.1 离心泵的设计、制造、检验、验收应不低于 JB/T 9073 及 API 610 的要求。
- 5.1.2 往复泵的设计、制造、检验、验收应不低于 JB/T 9076 及 API 674 的要求。
- 5.1.3 零部件选材应保证其在相应的运行温度、压力和介质环境下有良好的性能，包括机械、低温、润滑、兼容等性能。
- 5.1.4 材料与氧的兼容性应符合 GB/T 31481 的规定，避免使用非金属材料，铝和铝青铜等着火温度较低的材料、铝合金以及铝元素含量在 2.5% 以上的铜合金禁止在液氧工况下使用。

5.2 系统设计

- 5.2.1 低温泵电机应符合 EN 60204-1 的要求，电磁与 EMC 兼容，电机保护等级应不低于 IP55。
- 5.2.2 低温泵控制系统和电源控制箱应符合 EN 60204-1 的规定。当电源控制箱安装在室内时，其保护等级应不低于 IP22，当电控制箱安装在室外时，其保护等级应不低于 IP55。
- 5.2.3 低温泵应配置急停装置，急停装置应符合 GB/T 16754 和 EN 418 的要求，通过急停装置紧急停泵后，低温泵不应自动重新启动。
- 5.2.4 离心泵在设计时，应考虑低温侧介质泄漏或离心泵在低速惰转、冷态备用状态下轴承温度过低等影响轴承性能的因素，电机的驱动端轴承部位应设置通过轴承温度自动控制的加热装置，当驱动端轴承温度 $< -10^{\circ}\text{C}$ 自动投运，轴承温度 $> 25^{\circ}\text{C}$ 自动停止。
- 5.2.5 离心泵应设置进口压力、出口压力、轴承温度、轴封泄漏的在线检测仪表元件，并设置报警和自动停泵的逻辑连锁。
- 5.2.6 输送介质为液氧的低温泵，其入口管道应设置紧急切断阀，同时设置连锁，当低温泵出现异常时，可迅速切断液氧进口管。
- 5.2.7 输送介质为液氧的低温泵，其结构设计时应保证可能产生泄漏的氧介质不会接触到任何碳氢化合物润滑剂。在确实不能避免这种接触的场所，必须考虑使用符合 ISO 21010【9】要求的氧兼容润滑剂。
- 5.2.8 输送介质为液氧的离心泵，其电机驱动端轴承压盖处应设置防止润滑脂泄漏至泵冷端的防护设施，同时应在靠近泵冷端的轴承处设置采用惰性气体置换吹除的装置，防止氧气聚集进入轴承。
- 5.2.9 输送介质为液氧的低温泵，加温吹扫气体系统应完全独立于密封系统，防止氧气进入轴承。
- 5.2.10 输送介质为液氧的低温泵，其进口过滤器的过滤网宜选用镍铜合金材质，其他工况的离心泵应根据设备技术规范要求选用适合的过滤器。
- 5.2.11 机械式密封的外壳应设有置换吹除孔和排放孔，用干燥气体置换吹除密封的外表面，防止水分和冰在密封表面的积聚，同时将密封泄漏气排至安全区域，提高密封的寿命及设备运行的安全性。
- 5.2.12 低温泵内应清洁，不应有肉眼可见的机械杂质。与介质接触的部位清洁度应符合 JB/T 6896 的规定，与氧介质接触的零件表面应去除油脂，脱脂后的零件表面残油量不应超过 $125\text{mg}/\text{m}^2$ 。
- 5.2.13 低温泵对周围环境的噪声影响应符合 GB 12348 和 GB 3096 的有关规定，不应超过 85dB(A)。

6 安装

- 6.1 低温泵的安装应保证有充分的进出通道，便于操作、维修，同时满足消防、安全、环保和卫生等相关要求。
- 6.2 吸入管道宜短直、少弯曲，直径不小于泵吸入接管（接头和阀门）的直径，避免有急弯，应保证在低液位正常运行状态下所需的净吸入压头（NPSH）。

- 6.3 吸入管道上避免使用“T”形管接口，宜使用“Y”形管接口，减少入口阻力。
- 6.4 低温泵前管道宜倾斜配置，应具有连续的坡度，避免下弯低点和长距离的水平布管，以便将产生的蒸汽返回，避免管道系统中出现可能积存气体的高点。
- 6.5 通往低温排液系统的管道应有一定的坡度，防止形成气封。
- 6.6 管道配置应避免形成死区蒸发造成碳氢化合物积聚。
- 6.7 吸入和排出管道连接到低温泵时，应确保在环境温度、低温运行或备用条件下，管道应力不超过低温泵法兰载荷。
- 6.8 低温泵的管道在安装时应考虑管道的应力补偿，确保无应力安装，同时避免管道热胀冷缩的应力传递到低温泵体上。
- 6.9 当使用挠性软管或波纹管时，应考虑安装位置与连接管道间可以三维方向的变形应力补偿。
- 6.10 对于高压低温泵，由于高压挠性软管或波纹管失效后果严重，因此应考虑其他方法来补偿由于温差和机械负载而引起的突变应力。
- 6.11 低温泵进口、出口和回流管道的固定支点安装应符合 GB 50274 的技术要求。
- 6.12 低温泵分支管道的阀门应在靠近总管处安装，减少液体的积存、碳氢化合物的集聚。
- 6.13 低温泵的工艺管道应采取在阀门关闭后，避免液体汽化蒸发引起管道超压的安全防护措施。
- 6.14 低温泵进口端应安装过滤器，过滤目数不应低于 40 目，其压力降在低温泵最大额定流量时不应超过 5kPa，其有效面积至少应为吸入管道面积的 1.5 倍，过滤器应可定期拆卸清洗。
- 6.15 往复泵应设置出口压力超压的停机控制联锁及超压安全保护装置。
- 6.16 往复泵出口应安装缓冲装置。
- 6.17 低温泵密封气体宜选用清洁干燥的氮气，也可选用清洁干燥的仪表空气，密封气管路上应安装过滤器，精度不大于 $10\ \mu\text{m}$ 。
- 6.18 输送介质为液氧的低温泵，其泵体、管道、阀门采用法兰或螺纹连接时，应采用金属导线跨接，其跨接电阻应小于 $0.03\ \Omega$ ，并符合 GB 16912 的规定。
- 6.19 输送介质为液氧的低温泵和液氧管道应设置导除静电的接地装置，接地电阻应小于 $10\ \Omega$ ，并符合 GB 16912 的规定。
- 6.20 输送介质为液氧的低温泵周围应有良好的通风，防止发生泄漏时氧在低点或泵旁死角区域聚积。
- 6.21 工艺系统中流程类（包含后备系统）离心泵应设置独立泵箱，当采用膨胀珍珠岩保冷时，保冷材料应符合 JC/T 1020 的要求。
- 6.22 低温泵管道的保冷材料应与所输送的流体相兼容，符合 GB 50126 的要求，当发生环境空气的冷凝时，应与冷凝空气相兼容。
- 6.23 低温泵裸露的回转部位应安装防护罩。
- 6.24 电机配有独立冷却风扇时，DCS 应设置风扇的运转信号的指示。
- 6.25 液体排放阀门及液体管道安全阀排放口应排放到安全区域。

7 使用

7.1 基本要求

- 7.1.1 低温泵启动前手动盘车检查泵及电机，应转动自如、无卡涩现象。
- 7.1.2 低温泵不应在泵内没有液体的情况下运转：包括点动和试运转。
- 7.1.3 轴封为迷宫密封的离心泵，不应在无密封气的情况下运转泵，应通过适当的流量、压力以及联锁装置或操作程序来确保密封气供应正常。
- 7.1.4 轴封为迷宫密封的离心泵，密封气的气源压力应高于泵进口压力的 0.3MPa 以上，密封气压力最大不应超过 1.5MPa。

密封气的质量对泵密封的使用寿命至关重要，密封气的质量应满足以下要求：

- 含水量 ≤ 10 ppm；
- 无固体颗粒的污染；
- 无碳氢化合物的污染。

7.1.5 加温气应使用干燥洁净的氮气或空气，新安装的低温泵一般加温 12h~24h，加温后应检测泵出口处的露点，露点低于 -65°C 为合格。

7.1.6 介质为液氧的内压缩低温泵，当出口阀门前后的正压差小于 0.3MPa 时，才能开启。。当泵的出口阀门采用自动阀门时，应设置相关联锁。

7.1.7 当运行期间发生气蚀时，应及时处理，必要时停车检查，重新冷泵后再启动。

7.1.8 泵系统的低点会积聚有害杂质和碳氢化合物，应定期冲洗或制定例行采样分析规程，当系统低点处碳氢化合物浓度超过极限值时，应排空泵系统液体。

7.1.9 低温泵在排放液氧、液氮、液氩或液空时，应按介质种类汇集排放至安全区域，排液结束后应及时关闭排液阀，防止湿空气进入泵体或管道内。

7.2 操作

7.2.1 启动条件

在启动泵之前，应确认以下内容：

- 密封气系统完好、运行正常；
- 电机的轴承温度正常；
- 仪表气和电气投用正常；
- 密封气和吹扫气满足条件；
- 冷、热端中间密封气体温度正常；
- 自动排气阀和排液阀关闭，出口阀门处于关闭状态；
- 逻辑联锁测试已完成；
- 安全附件齐全，有效。

7.2.2 泵预冷

在泵预冷过程中，应注意以下事项：

- 泵体加温后露点低于 -65°C ；
- 冷泵时温度下降速率应不超过 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；
- 冷泵时长按设备制造商要求执行，一般多级离心泵预冷时间为 2h~4h；
- 低温液体进入泵腔后，急剧气化，沿回流阀回到储罐或其他设备，期间应关注储罐或其他设备的压力；
- 泵体冷却时间到达要求的冷却时长后，泵体回流温度应低于 -170°C ；
- 冷泵期间加强现场巡检，如发现泄漏，停止冷泵，消除漏点后方可继续进行冷泵。

7.2.3 运行监测

泵在运行过程中，应监测以下内容：

- 泵的吸入、排出压力；
- 泵吸入口滤网压降；
- 泵的排出流量和电机电流；
- 密封气流量、压力；
- 轴承温度和密封泄漏温度；

- 运转声音/噪音；
- 转速与振动检测。

7.2.4 泵联锁条件

出现以下情况时，泵联锁保护装置应跳闸：

- 按下紧急停车按钮（现场）；
- 电气故障；
- 气蚀保护（包括低电流、低排压或差压低联锁）；
- 密封气压力低联锁；
- 排气压力高高联锁（用于变频驱动的液氧泵）；
- 电机驱动端轴承温度高高或低低联锁；
- 密封泄漏温度低低联锁；
- 气化器出口温度低于 -20°C 。

7.3 运行参数

- 7.3.1 单级卧式离心泵在正常工况下运行时，轴承温升不应高于环境温度 40°C ，最高温度不应超过 80°C 。
- 7.3.2 刚性连接的立式多级离心泵或转速超过 4000 r/min 的高速离心泵，在正常工况下运行时，轴承温升不应高于环境温度 80°C ，最高温度不应超过 120°C 。
- 7.3.3 往复泵传动箱温升不应高于环境温度 40°C ，最高温度不应超过 85°C 。
- 7.3.4 往复泵在额定转速下运行应平稳，传动箱轴承部位的全振幅应 $\leq 100\mu\text{m}$ 。
- 7.3.5 立式低温泵运行期间电机振动应 $\leq 2.5\text{mm/s}$ ，振动极限值 $\leq 5.0\text{ mm/s}$ 。
- 7.3.6 电流、电压平稳，运转无杂音，泵出口压力、流量应满足工艺要求。
- 7.3.7 各部件达到完好标准，密封部位应无跑、冒、滴、漏现象。

8 维护和检修

- 8.1 低温泵应按照设备操作说明书或技术操作规程的要求，定期进行维护、检修。
- 8.2 低温泵因故障需要拆开时，应先用热空气或氮气加热至常温后方可解体。
- 8.3 离心泵的电机轴承应使用专用油脂，并严格控制加油量，按规定时间补充和更换油脂。介质为液氧的离心泵应使用氧兼容性的专用低温润滑脂，氧兼容的润滑剂应通过 ASTM 标准认证，润滑剂应适用于 -40°C 的运行温度。
- 8.4 与氧接触的低温泵、设备和部件应达到氧服务的清洁标准，应按照 JB/T 6896 的要求进行脱脂及验收，清洁度应符合以下要求：
- 泵体内部各部件无腐蚀及颗粒物（焊渣、金属屑、飞溅物、氧化皮、砂子或现场垃圾等），无油脂及粘合剂、密封剂之类的碳氢化合物或有机物；
 - 死角及低点无残留的清洗剂；
 - 采用清洁干燥的白色滤纸或绸布擦拭脱脂工件表面，应无油脂痕迹；
 - 采用波长 $320\text{nm}\sim 380\text{nm}$ 的紫光灯检查脱脂工件表面，应无油脂荧光，或对脱脂工件的表面进行油脂定量分析，不大于 $125\text{mg}/\text{m}^2$ 为合格；
 - 在清洁和脱脂后，所有的部件应进行严格的密封保护，防止被污染，密封的包装和防护设施在即将安装之前才可打开。
- 8.5 离心泵的检修应注意以下事项：

- 叶轮、扩压器表面应光滑，无气孔、砂眼、裂纹或严重冲蚀、减薄等缺陷；
- 叶轮与轴的配合应采用 H7/h6；
- 叶轮与轴配合键的顶部应留有 0.10mm~0.40mm 的间隙；
- 主轴颈圆柱度为轴径的 0.25%，最大值不超过 0.025mm，且表面应无伤痕，表面粗糙度为 Ra1.6；
- 多级泵轴弯曲度应小于 0.03mm，最大不应超过 0.05mm，否则应校直或更换；
- 衬套及迷宫密封槽单边磨损量≤0.2mm，超过 0.2mm 应更换；
- 各部件形位公差、装配间隙应在设备装配技术标准要求范围内；
- 转子如需进行动平衡时，应按 API 610 的要求进行动平衡测试，立式多级低温泵的不平衡等级 R 应小于 2.5mm/s。

8.6 往复泵的检修应注意以下事项：

- 定期对活塞环、导向环、填料密封环等易损件进行检查、更换；
- 各部件装配间隙、形位公差应符合设备技术规范要求；
- 进液及排液阀组件中阀盘、阀座、弹簧应无异常磨损或变形情况；
- 活塞杆、气缸应无异常磨损，活塞杆的最大磨损量不应超过 0.2mm，活塞杆直线度应符合设备技术规范要求；
- 曲轴箱各零部件应无异常磨损，装配间隙符合设备装配技术标准要求。

8.7 检修后各部件装配间隙应符合设备安装维护说明书、装配图纸、质量合格说明书等相关技术文件要求，检修记录齐全；各项性能参数（振动、温度、流量、压力）均应达到设计技术要求或满足生产需要，运行平稳；各部件完好，密封部位无跑、冒、滴、漏现象。

8.8 备件应采取防污染和防腐蚀措施。

9 安全要求及应急处置

9.1 使用单位应按 GB/T 29639 及相关法律法规要求，编制低温泵运行的应急处置预案。

9.2 低温液体充装站内应设置消防车通道、专用消防栓、消防水源、灭火器材以及在紧急情况下处理事故的消防设施和器具，灭火器的配量应符合 GBJ 140 的规定。

9.3 立式高压液氧泵的泄漏会导致设备（支架、冷箱壳体和混凝土等）的低温脆裂以及低温冻伤，引起该区域设备、管道等热端部件的损坏，可能导致有机材料（油脂、润滑油、电缆线）着火，周围环境中高浓度氧气富集可能导致人身伤害，存在潜在危险，因此立式高压液氧泵和电机周围应设置一个半径不小于 5m 的安全区域。在有可控工作流程、且低温泵周围无任何报警信号存在的前提下，才可缩小该安全区域。

9.4 当 2 台立式高压液氧泵之间距离小于 5m，其中 1 台运行，另 1 台需要检修时，应在两泵之间设置隔离保护墙。隔离保护墙应由二层板构成，一层使用 3mm 或以上厚度的碳钢板，第二层使用 3mm 厚的铜板做，铜板面对正在运行的液氧泵。

9.5 液氧泵区域应有以下标示和措施予以警示：

- 明确危险区域，标记危险区域（例如：警示标志、地面标记、扶手等），警示标志应放置在清晰可见的位置，包括液氧泵标识；
- 液氧泵运行期间，非操作人员不应进入危险区域；
- 根据液氧泵的负荷和排压，安装防护罩或防护屏；
- 使用视觉或听觉信号提醒液氧泵的自动启动，在自动或远程启动液氧泵时发出声音或视觉警报。