

低温液氧泵（离心式）安全运行

孙洋洋¹ 杨俊博² 李光辉¹

1. 空气化工产品（滨州）有限公司 山东 滨州 256600

2. 林德投资（中国）有限公司 上海 200000

摘要：深入研究液氧泵在液氧输送系统中的关键作用以及相关技术参数、材料和加工工艺等方面。首先，对液氧泵的工作原理进行了详细阐述，包括结构、工作特点和适用范围等方面，为后续章节的讨论提供了理论基础。其次，对液氧泵所采用的主要材料进行了分析和评述，包括液氧泵的选型、使用条件和材料特性等内容。然后，对液氧泵的加工工艺进行了深入探讨，重点介绍了泵体、整体式泵体、组合式泵体、泵盖以及密封面等关键部件的加工过程和质量控制要点。最后，对液氧泵的安装和保养进行了详细介绍，包括安装步骤、注意事项以及日常保养方法，旨在确保液氧泵的长期稳定运行和提高其使用寿命。

关键词：液氧泵；液氧输送；低温泵

引言：在现代工业体系中，低温液氧作为一种关键的工业介质，广泛应用于航天、化工、冶金等诸多领域，其安全稳定的供应对于保障相关产业的正常运转起着至关重要的作用。而离心式低温液氧泵作为低温液氧输送系统的核心设备，肩负着将低温液氧从储存容器输送至使用终端的关键任务，其运行的安全性直接关系到整个工业生产流程的可靠性和稳定性，甚至关乎人员生命安全与企业的可持续发展。

1 工作原理

低温泵（离心式）的工作原理是：离心泵是利用叶轮旋转而使低温液体产生的离心力来工作的。离心泵在启动前，必须使泵壳和吸入管内充满低温液体（液氧、液氮、液氩），然后启动电机使泵轴带动叶轮和低温液体做高速旋转运动，低温液体在离心力的作用下，被甩向叶轮外缘，经蜗壳的流道流入泵的出口管路。低温泵的叶轮中心处，由于液体在离心力的作用下被甩出后形成真空，容器中的低温液氧便在压力的作用下被压进泵壳内，叶轮通过不停地转动，使得低温液氧在叶轮的作用下不断流入与加压后流出，达到了输送目的^[1]。

低温泵可以理解为是一种特殊的压缩机，离心泵是由许多零件组成的。泵的本体主要由三部分组成：（1）泵壳；（2）叶轮；（3）轴承。

泵壳内装有叶轮、轴和轴承等零件。当电动机带动轴转动时，叶轮在泵壳内旋转并将工质吸入和排出。由于叶轮具有很大的叶片和较高的速度梯度以及气体与液体之间存在着密度差，因而能使工质克服气体或液体之间的密度差而被吸入和排出。在整个工作过程中，由于叶轮叶片周期性地向后弯曲和旋转，并将工质输送到吸

入室与液体混合并被压缩成高压气体。

2 主要技术参数

压力：泵的出口工作压力参考实际工艺需求。

流量：指单位时间内通过泵体的工质的体积。

扬程：指的是标准状态下水的扬程即对应工艺介质出口压力。

温度：依据工艺介质温度合理选型（一般 $\geq -200^{\circ}\text{C}$ ）

效率：指被输送工质在单位时间内所获得的功，即流量与工质进口温度的比值（参考选择合适的电动机）。

2.1 结构

泵的结构形式主要有：立式单级、多级和卧式多级泵。对于较高的真空要求，可采用卧式多级泵，以提高效率，降低能耗。其具体形式有：

单级离心泵是由叶轮和泵壳组成的，叶轮为偏心旋转叶轮，用轴承支撑。当泵壳内工质输送到叶轮中心时，会产生一系列旋转运动。随着叶轮的转动，工质由进水口进入叶轮中心，又由出水口排出。同时，由于转子的转动而引起的离心作用，使工质沿径向和轴向方向做周期性运动。

多级离心泵是由几个单级离心泵组成的多级泵。每一级都具有很高的流量和扬程，并能实现多级串联运转。多级泵具有结构简单、运行平稳、维修方便等优点。

液氧泵是用来输送液氧（液氮、液氩等低温介质）的专用设备。由于其工作时需要提供低温环境，因此一般采用卧式（中、低压力）或立式（高压）泵。液氧泵泵体结构：泵壳、轴承和密封系统等。

2.2 工作原理

液氧泵由两个部分组成：一部分为电机，另一部分

为泵体。电机通电旋转进而带动叶轮旋转。由于低温液氧充满泵体被叶轮旋转带动,沿导流器进入扩压室排出,从而将工质从入口处不断的输送到出口管道。在实际工作中,离心式空气压缩机和低温液体泵是原理相同的。

工作时,由于叶轮旋转产生离心力,将工质从一处输送到另一处时会损失一部分能量;另外,在叶轮进口处形成了压力损失和吸入损失;在出口处则会形成压力损失和排出损失。这些损失都是不能忽略的。由于泵体中不断有工质流动而产生的能量损失以及叶轮中不断发生的摩擦阻力和泄漏都会消耗能量。

泵体中的工质在叶轮中不断旋转产生离心力时,还会产生一定的力矩,为了提高泵的效率,通常要在叶轮与泵体之间加装一个离心分离器。离心分离器的作用是将工质从叶轮中分离出来,使工质与泵形成相对独立的两部分。离心分离器的作用是使工质和泵之间不再发生直接联系(即不发生工质交换)。当电机旋转时,轴承体中的液体在叶轮的带动下会产生压力和旋转运动在这种情况下,工质只能顺着轴向方向运动。

2.3 工作特点

结构紧凑,体积小,重量轻;

输送介质的温度低,液氧在 -183°C (液氮 -196°C),泵内工质为液态氧,泵内介质温度低,对泵的材质要求比较高;

对泵的工作压力有部分限制,但对泵的结构强度、材质有较高要求;

在工作过程中,泵体和叶轮不能与空气直接接触。为防止气体从叶轮流出时被吸入叶轮内部而损坏泵体和叶轮,通常在泵体内设置一个排气(回气)管路;

根据工作需要,可采用单级或多级泵;

采用液氧作为工作介质时,应注意其安全性和可靠性,避免因泄漏而发生安全事故;

为保证良好的气密性和稳定性,要求有足够大的静密封压力。当用多台泵并联运行时,应该格外注意吸入入口压力,避免因多台泵同时吸入低温液氧造成入口压力不足而吸瘪进口管道。在串联使用时,其连接管道应按最短原则配置;

泵的轴封处应使用迷宫式密封件。在高压下工作时,轴封处易产生高压气体或液体对密封件产生冲击、磨损等现象;

当泵出口压力较高时,应设置出口压力表和安全阀、安全联锁保护装置;

液氧泵体和叶轮必须使用铜合金材料且要有足够的强度和刚度。对于高压低温液体泵而言,其叶轮要有足够强

度和刚度以承受因泵体受到振动而引起的压力脉动;

在低温环境下工作的泵应具有良好的耐腐蚀性。

2.4 适用范围

液氧泵可用于液氧、液氮、液氩等低温液体的输送。液体泵可以使用在 -196°C 的环境中,也可以在 -183°C 的液氧压缩中使用。

液体泵是一种特殊的机械设备,它在工业生产过程中起着举足轻重的作用。而对于其主要零部件的材料要求也越来越高。目前,我国已生产出了多种规格型号的液体泵,但仍然有部分进口产品。为了满足我们工业生产和科学研究方面的需要,我国正在着手研制适合自己需要的国产液体泵。低温泵一般分为两大类:一种是容积式泵,它是一种容积式压缩机,通过压缩液氧体积使工质获得压力。低温液体压缩所需的功即为排气所消耗的功。它在工作时,泵腔内工质所受压力等于气缸体上作用在活塞上的力与进气口容积之间成正比。当气体压缩时,推动活塞运动,同时通过进气阀使泵腔内工质进行往复运动,从而实现对气体进行循环输送。

第二种是速度型离心式低温液体泵,它是电机或汽轮机带动离心泵高速旋转使低温液体产生离心力,动能转化为压力。这也是现在工艺中使用最广泛的一种低能耗、高效率、维修更换方便的泵,它不仅可以使用在低温液体中,也可以使用在输送流动介质的工艺中(水、润滑油、石油、牛奶等)。

3 主要材料

钢材:一般情况下,低温泵选用合金钢制造。如果对强度要求高,可采用较高强度的合金钢。这个材质大多数使用在普通泵体上,例如:水泵、普通制冷剂的溴化锂制冷机组上,常用的材料有:20 CrMnSi、40 CrMo、50 CrNiMo、60Si2Mn等。

不锈钢:目前,大多数低温泵用不锈钢制作,例如:低温泵的外壳、迷宫密封的构件等,常用材料有:20 CrMnSi、20 CrMnSi(0Cr13Ni12Mo2)和35Si2Mn等。为了防止低温泵的物理性腐蚀,绝大多数采用不锈钢制造低温泵的泵壳。

合金钢:由于金属在低温时虽强度和硬度有所提高,但塑性和模韧性都会下降。而且温度更低时还要出现冲击韧性突变。这时对泵中承载零件要慎重考虑。绝大部分在低温时都不用铸铁,当温度低于 -50°C 时,应选用硅、锰或铝脱氧镇静钢, $\phi 85^{\circ}\text{C}$ 时用含3.5%的镍钢, -100°C 时用含9%的镍钢,到 -250°C 时要选用奥氏体不锈钢或优质铝合金、优质铜合金。这是为了这些钢在低温时不会出现冲击韧性突然下降的问题。

4 液氧泵

液氧泵的种类很多,按其结构形式,可分为单级泵和多级泵。按其工作原理,可分为离心泵、螺杆泵和活塞式泵三种。一般适用于低温液氧压缩的泵大多数采用的是铜合金材质,它能很好的减少液氧在气化为氧气后产生的燃烧爆炸类安全问题。目前,液氧泵的种类繁多,基本结构形式是:

按其工作原理可分为容积式泵、速度型两类;

按其驱动方式可分为电机驱动式和汽轮机驱动式;

按其转速可分为低速、中速和高速三种。

在我国,液氧泵的应用已有30多年的历史。在这期间,随着技术的发展和产品性能的改进,液氧泵的种类也不断增加。目前,国内生产的液氧泵有20余种,主要以离心式和容积式为主。

4.1 液氧泵的选型

按输送介质的特点来选择泵的型式。在低温液氧泵的设计选型中,通常首先根据用户的使用条件(温度、压力、流量等)进行初步选型。然后,根据所选泵的参数进行详细选型^[2]。对于有特殊要求的用户,还应对泵进行专门设计,如耐压、耐温、耐腐蚀等方面的设计。

根据液氧泵的工作压力和流量选择泵的扬程。对于大型低温液氧泵,其工作压力一般在0.5MPa以上,流量则在600~175000L/h之间。因此,选用液氧泵时,应考虑到液氧泵的工作压力和流量范围内能获得较高的效率,即有较高的效率。

根据所输送介质及使用条件确定泵的转速。对于一般低温液氧泵,其转速可在100~10000r/min范围内选择;对于大型液氧泵,其转速可在3000~30000r/min范围内选择。

5 液氧泵的使用条件

液氧泵是一种使用温度极低(液氧-183℃)的设备,在液氮使用低温泵时液氮温度可达到-196℃。它的主要作用是:通过液氧泵给低温液体的氧进行加压,把压力提高到需要的压力;把带压力的液氧进换热器回收冷量传递给其他介质复热后送出给客户使用。为了保证液氧泵安全稳定地运行,需要注意以下几点:

液氧泵必须安装在干燥、通风良好、远离热源的地方(大多数安装在单独的保冷箱内)。否则,容易受环境影响复热产生气蚀,导致泵体叶轮变形或损坏。

液氧泵应尽量安装在室外,周围设置氧气报警仪和静电释放器,接触液氧防止冻伤人员。如在室内或是通风不良处应采取防静电换风系统,防止氧气泄露后的积聚造成燃烧爆炸安全事故。

液氧泵应远离强磁场和强电场。如果有必要靠近这些地方,必须要采取屏蔽措施。

液氧泵应尽量避免剧烈振动和冲击。如果振动或冲击对泵体造成损伤,可能会导致轴承损坏、轴封卡死和泵体变形等问题。

在使用液氧泵时,应避免强烈的气流冲击和摩擦。

如果液氧泵长期处于低温状态下运行,且环境温度较低(露点<-60℃)时,可能会出现冻结现象,影响正常使用。

6 低温泵的安装和保养

安装时,泵体要水平,并固定牢固。为了防止泵体变形,应将泵体的两个法兰用螺栓紧固在一起。

安装时,要用手盘动转子,检查其转动方向是否正确,如不正确则应调换电动机的位置。

转子上的轴承润滑良好,一般采用低毒的异丙醇清理油脂、二硫化钼进行润滑。为了保证润滑效果,在安装前必须将轴承内的润滑油倒出并清洗干净。

电机不能反转。

电机应安装在室外,通风良好处,不得靠近热源或阳光直射。

为了防止管道杂质进入泵内,应在泵体上装过滤器。

使用时要注意轴承的温度不能超过50℃(按照厂家设计指标来执行)。当泵体温度超过70℃时,必须停车检查原因并采取降温措施。

泵运转时不得进行修理和拆卸。如发现问题应立即停止运转并进行修理和拆卸。

结束语

低温液氧泵(离心式)的安全运行是保障诸多工业领域稳定运作的关键环节,历经对其结构特性、工作原理的深入剖析,以及对影响安全运行的低温环境、流体特性、机械故障等多方面复杂因素的细致探究,一系列针对性的安全运行策略得以构建。从设备设计制造阶段对材料低温性能与结构可靠性的严苛把控,到运行过程中全方位监测系统的精准部署与维护管理体系的严格执行,每一项措施都旨在为低

温液氧泵的安全稳定运行筑牢防线。

参考文献

- [1]何迎,何亮.高压液氧泵电机轴承故障分析与润滑维护[J].化工管理,2023,(22):100-102.
- [2]周岩.液氧泵电机轴承损坏原因分析与优化改造[J].设备管理与维修,2022,(17):98-100.