

离心泵的配管设计

刘姣姣

胜帮科技股份有限公司 陕西西安 710000

摘要：离心泵作为石油化工装置中最常见的流体输送设备，其管道设计的合理性是装置安全稳定运行的关键因素。本文系统阐述了离心泵的结构与分类、布置要求及其配管设计，重点介绍了配管设计中的入口管道、出口管道、辅助管道布置、支架设置等关键技术要点。

关键词：离心泵；布置要求；配管设计；石油化工

引言

在石油化工生产过程中，液体介质的输送是生产流程的重要组成部分。离心泵因其结构简单、流量均匀、运转平稳、调节方便、适用范围广等优点，成为石油化工装置中应用最广泛的流体输送设备。

离心泵的运行稳定性不仅取决于泵本身的设计制造质量，更与其配管的设计密切相关。不合理的配管设计可能导致泵入口压力不足引起气蚀、管道应力过大造成泵体变形或破坏、管道振动导致法兰泄漏、辅助管路故障引发轴承损坏等一系列问题。这些问题轻则影响泵的运行效率，重则造成设备损坏甚至安全事故。

故结合相关的国家标准及规范，优化离心泵的配管设计，掌握其设计原则和关键技术要点，对于保证石油化工装置的安全、稳定、长周期运行具有重要的工程实践意义。本文将从离心泵的结构与分类、布置要求及其配管设计等方面，系统阐述石油化工装置中离心泵的管道设计要求和原则。

一、离心泵的结构与分类

（一）基本结构

离心泵主要由叶轮、泵壳、轴、轴承、轴封等部件组成。

1. 叶轮

叶轮是离心泵的核心部件，通过高速旋转对液体做功，将原动机的机械能转化为液体的压力能和动能。根据叶轮的结构形式，可分为闭式叶轮、半开式叶轮和开式叶轮。闭式叶轮效率高，适用于输送清洁液体；开式叶轮适用于输送含固体颗粒的液体。

2. 泵壳

泵壳是收集从叶轮流出的液体并将其导向出口的部件。根据泵壳的结构，可分为蜗壳式和导叶式。蜗壳式泵壳结构简单，适用于单级泵；导叶式泵壳多用于多级泵。

3. 轴封

轴封是防止泵内液体沿轴向外泄漏的密封装置。常用的轴封形式包括填料密封和机械密封。机械密封具有泄漏量小、使用寿命长等优点，在石油化工装置中应用广泛。

4. 轴承

轴承用于支撑泵轴，承受径向和轴向载荷。根据载荷类型，可分为径向轴承和推力轴承。石油化工用离心泵通常采用滚动轴承或滑动轴承。

（二）分类

离心泵种类繁多，可按多种方式进行分类：

1. 按叶轮吸入方式分类

a. 单吸泵：液体从叶轮一侧吸入，结构简单，适用于中小流量工况。

b. 双吸泵：液体从叶轮两侧对称吸入，能够平衡轴向力，适用于大流量工况。

2. 按级数分类

a. 单级泵：只有一个叶轮，扬程较低，适用于低压输送。

b. 多级泵：有两个或两个以上叶轮串联，扬程较高，适用于高压工况。

3. 按泵壳剖分方式分类

a. 水平剖分泵：泵壳沿水平面剖分，便于检修，适用于中低压工况。

b. 垂直剖分泵：泵壳沿垂直面剖分，承压能力高，适用于高压工况。

4. 按用途分类

- a. 工艺泵：直接用于工艺流程中的液体输送。
- b. 公用工程泵：用于冷却水、消防水等公用工程系统。
- c. 辅助泵：用于润滑油、密封油等辅助系统。

(三) 离心泵的特点

石油化工装置中对离心泵的特殊要求，主要体现在以下方面：

1. 高温工况：如热油泵，介质温度可达400℃以上，需考虑热膨胀和材料耐高温性能。
2. 低温工况：如液化气泵，介质温度低至-100℃以下，需选用低温钢材料。
3. 腐蚀性介质：如酸、碱、盐溶液，需选用耐腐蚀材料（如不锈钢、哈氏合金等）。
4. 易燃易爆介质：如烃类液体，需选用防爆电机，并确保密封可靠。

二、离心泵的布置要求

(一) 总体布置原则

1. 符合工艺流程

泵应尽量靠近其服务的工艺设备（如塔、容器、换热器等），以缩短管道长度，减少压力损失和投资成本。对于大型联合装置，泵通常集中布置在泵房或泵区内。

2. 满足国家标准规范

应符合《石油化工企业设计防火标准》（GB 50160）等规范要求。输送易燃易爆介质的泵应布置在非爆炸危险区域或满足防火间距要求。泵区应设置消防通道和消防设施。

3. 集中布置与分区布置相结合

同类泵宜集中布置，便于集中管理、维护和公用工程供应。不同用途的泵可根据工艺流程分区布置，以优化流程。

4. 便于检修

泵本体周围应留有足够的检修空间。通常，泵的主要通道宽度不小于1.2 m，泵与泵之间净距不小于0.8 m。对于大型泵，应考虑转子抽芯空间、电机吊装空间等。

(二) 布置形式

1. 露天布置

石油化工装置中的泵通常采用露天布置，便于通风和消防，同时节省投资。露天布置的泵应设置防雨罩或采用防水型电机。

2. 半露天布置

在寒冷地区或对操作环境有特殊要求的场合，可采用半露天布置，即设置顶棚但不设围墙。

3. 室内布置

对于需要严格控制环境温度或介质易冻凝的泵，可布置在室内。室内布置需设置通风、采暖设施。

4. 基础设计要求

离心泵应设置独立的基础，基础宜高出地面100 ~ 200 mm，便于排水和操作。基础应具有足够的刚度和质量，以避免振动传递。对于大型泵，基础设计需由结构专业进行核算。

三、离心泵的配管设计

配管设计是离心泵工程设计的核心环节，其目标是在满足工艺要求的前提下，通过合理的管道布置、精确的应力分析、有效的支架设计，确保管道系统的安全、稳定、长期运行。

(一) 入口管道设计

泵的入口管道设计是影响泵性能的关键因素。不合理的入口管道设计可能导致泵入口压力不足、气蚀、振动等问题。

1. 入口管道的管径及长度

泵入口管道的直径通常大于或等于泵入口法兰的直径。一般情况下，入口管道直径应比泵入口法兰大一级，以降低入口流速，减少压力损失。泵入口管道应尽可能短、直，减少弯头和阀门数量。弯头产生的局部阻力损失会降低泵的入口压力，增加气蚀风险。若必须设置弯头，宜采用大曲率半径弯头。

当泵入口管道直径大于泵入口法兰直径时，需设置偏心异径管。偏心异径管的安装方向应根据输送介质的特性确定：

a. 对于从上方进入的介质，采用底平的偏心异径管，以防止空气积聚。

b. 对于从下方进入的介质，采用顶平的偏心异径管，以防止气体在异径管处积聚。

2. 入口过滤器

为了保护泵机组的内部件，防止异物进入泵体，在泵入口管道上应设置临时过滤器或永久性过滤器。对于新建装置，通常在试车阶段安装临时过滤器，正常运转后拆除。对于输送含杂质的介质，应设置永久性过滤器。

3. 入口阀门

泵入口管道应设置切断阀，用于检修时隔离泵。入口阀门宜选用闸阀或蝶阀，以减少流阻。阀门应安装在

便于操作的位置，且与泵入口法兰之间应留有足够的直管段（通常大于3倍管径）。

4. 防止气蚀的措施

气蚀是离心泵运行中的常见问题，严重影响泵的寿命和性能。配管设计时应采取以下措施防止气蚀：

- a. 保证泵的有效汽蚀余量（NPSHa）大于泵的必需汽蚀余量（NPSHr），通常留有0.5 ~ 1.0 m的安全裕量。
- b. 入口管道应避免出现高点，防止气体积聚。
- c. 入口管道应尽量减少阻力损失，如采用大曲率半径弯头、避免不必要的阀门等。
- d. 对于从储罐抽送的泵，应保证储罐液位不低于最低操作液位。

（二）出口管道设计

出口管道的设计直接影响泵的流量调节和运行稳定性。

1. 出口管径

出口管道直径通常根据经济流速确定。出口管道直径可以等于或大于泵出口法兰直径。

2. 出口阀门

泵出口管道应设置切断阀和止回阀。切断阀用于检修时隔离泵，通常选用闸阀或截止阀。止回阀用于防止泵停止时液体倒流，造成泵反转或损坏。止回阀应安装在切断阀与泵之间，便于检修。

3. 最小流量管线

当泵可能在低于最小连续稳定流量下运行时，应设置最小流量管线。最小流量管线从泵出口引出，经限流孔板或最小流量阀后返回储罐或泵入口。最小流量管线的设计应确保泵在任何工况下流量不低于最小连续稳定流量。

4. 压力表与仪表

泵出口管道应设置压力表，用于监测泵的出口压力。对于重要泵，还应设置压力变送器，将压力信号送至控制系统。压力表应安装在便于观察的位置，并设置切断阀。

5. 试车用临时管线

在泵的试车阶段，可能需要设置临时循环管线或排放管线。配管设计时应预留相应的接口。

（三）辅助管道设计

离心泵的辅助管道包括冷却水管、冲洗液管、密封液管、排液管等。

1. 冷却水管道

对于高温泵或需要冷却的泵（如轴承冷却、机械密封冷却），应设置冷却水管道。冷却水管道宜采用独立供水，确保冷却水流量和压力稳定。冷却水进出口管道应设置切断阀，便于检修。

2. 冲洗液与密封液管道

对于机械密封，通常需要提供冲洗液或密封液，以带走密封面产生的热量，并保持密封面的清洁。冲洗液管道的设计应确保流量和压力符合密封制造商的要求。对于双端面机械密封，还需设置密封液循环系统。

3. 排液管道

泵体和管道的低点应设置排液阀，用于检修时排空泵内和管道内的介质。排液管道应引至合适的收集系统，对于易燃、有毒介质，必须密闭排放。

4. 暖泵与冷泵管线

对于高温泵（如热油泵），为防止启动时热冲击，应设置暖泵管线。暖泵管线从泵出口引出，经限流孔板后返回泵入口或储罐，使泵体保持热态。对于低温泵，应设置冷泵管线，防止启动时冷冲击。

（四）管道支架的设计

为了使泵进出口管口不受力或少受力，应在靠近泵的进出口管道上设支吊架。其中，成排布置的泵，应在进出口管道上方设一承受管道质量的钢梁，一般不得将质量支吊在其它管道上。在泵的进出口管道处宜设可调支架，有振动的管道，应设减振支架，以适当调整管道位置，减少由于安装误差产生的对泵管口的附加力。有垂直热（冷）位移的管道，应选用弹簧支吊架，以减少对泵管口的作用力。对于管径较大的高温泵，为减小摩擦应力及泵管口的推力，应选用低摩擦支架。为使管道按某一特定方向变位或限制某一方向上的位移，以减少垂直于泵轴线方向作用力，应设导向支架或限位支架。

（五）材料选择

石油化工装置中介质种类多样，管道材料的选择需综合考虑介质特性、温度、压力等因素。

1. 碳钢

碳钢适用于非腐蚀性或弱腐蚀性介质，如水、油品、蒸汽等。但需注意温度限制，通常碳钢的使用温度为-20 ~ 425℃。

2. 合金钢

对于高温工况（如热油泵的出口管道），需选用合金钢，如1Cr5Mo、12Cr1MoV等。合金钢具有良好的高温强度和抗氧化性能。

3. 不锈钢

对于腐蚀性介质（如酸、碱、盐溶液）或要求洁净度高的介质，应选用奥氏体不锈钢（如304、316L）。不锈钢具有良好的耐腐蚀性能，但线膨胀系数大，配管时需特别注意柔性。

4. 低温钢

对于低温工况（如液化气泵），需选用低温钢，如16MnDR、09MnNiDR等。低温钢具有良好的低温韧性，防止冷脆断裂。

（六）典型配管设计要点

1. 热油泵配管

热油泵输送的介质温度可达400℃以上，配管设计需特别注意：

- a. 泵入口管道应设置足够长的直管段，保证介质均匀进入泵体。
- b. 管道应设置π型弯或波纹补偿器，吸收热膨胀。
- c. 设置暖泵管线，防止启动时热冲击。
- d. 采用弹簧支架，吸收管道的垂直位移。
- e. 管口载荷应严格控制在允许范围内。

2. 低温泵配管

低温泵输送的介质温度可达-100℃以下，配管设计需特别注意：

- a. 选用低温钢或不锈钢材料。
- b. 管道应进行保冷设计，减少冷量损失。
- c. 设置冷泵管线，防止启动时冷冲击。
- d. 避免管道中出现积液点，防止低温脆裂。
- f. 支架应设置保冷垫块，防止冷桥。

3. 液化气泵配管

液化气泵输送的介质为易挥发液体，配管设计需特别注意：

- a. 保证足够的有效汽蚀余量，防止气蚀。
- b. 泵入口管道应避免高点，防止气体积聚。
- c. 机械密封应选用双端面密封，确保密封可靠。
- d. 管道连接应采用焊接或密封性能好的法兰。

4. 多级泵配管

多级泵扬程高，出口压力大，配管设计需特别注意：
a. 出口管道应进行详细的应力分析，确保管口载荷在允许范围内。

b. 管道壁厚应根据高压工况计算确定。

c. 设置最小流量管线，保护泵在小流量工况下的安全运行。

d. 法兰连接应选用高压法兰，紧固件按规范选用。

结论

离心泵的配管设计是石油化工装置工程设计中的重要环节，涉及管道布置、应力分析、支架设计、管道材料的选择等多个方面。其中，入口条件是关键，出口设计需全面，应力分析是保障，辅助管路不可忽视，分类设计需有针对性，配管设计时需根据工况特点采取针对性措施。

随着石油化工装置向大型化、复杂化、高参数化方向发展，对离心泵配管设计的要求也将不断提高。未来，基于数字化的三维设计、应力分析技术的深化应用、以及对特殊工况下配管技术的持续深入研究，将进一步提升配管设计的精准度与可靠性，为石油化工行业的安全、高效、绿色发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50160-2018 石油化工企业设计防火标准[S].北京：中国计划出版社，2018.
- [2] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会.GB/T 20801-2020 压力管道规范 工业管道[S].北京：中国标准出版社，2020.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部.SH/T 3012-2011 石油化工管道设计规范[S].北京：中国石化出版社，2011.
- [4] American Petroleum Institute. API Standard 610, Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries [S]. Washington, D.C.: API, 2021.