

· 机械与密封 ·

# 多级离心泵技术综述

周 夏<sup>1</sup> 白云升<sup>2</sup>

(1. 内蒙古三维煤化科技有限公司, 鄂尔多斯 010300; 2. 新能源有限责任公司, 鄂尔多斯 014300)

**摘要:** 简述了多级离心泵的基本结构, 从设计、操作与管理、拆装与维修等方面探讨和总结了多级离心泵的关键技术, 常见问题和改进措施。

**关键词:** 多级离心泵; 关键技术; 常出问题; 改进措施

**中图分类号:** TQ051.21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3281(2008)02-0041-04

## Summary of Technology Used in Multi-stage Centrifugal Pump

ZHOU Xia<sup>1</sup> BAI Yun-sheng<sup>2</sup>

(1. IM JB Resources Co., Ltd, Erdos 010300; 2. Xinneng Energy Sources Co., Ltd, Erdos 014300)

**Abstract** In this article, the fundamental structure of multi-stage centrifugal pump was briefly described. From the respects of design, operation and management, dismount and installation and maintenance, the key techniques, constant problems and improving measures of the pump were discussed and summarized.

**Keywords** multi stage centrifugal pump; key technique; constant problem; improving measure

多级离心泵装有两个以上串联的叶轮, 它相对于单级离心泵可以实现更高的扬程; 相对于活塞泵、隔膜泵等则可以泵送较大的流量。多级离心泵效率较高, 能够满足高扬程、高流量工况的需要, 在石化、电力、建筑、消防等行业得到了广泛的应用。

由于其本身的特殊性, 与单级泵相比, 多级泵在设计、使用和维护维修等方面, 有着不同、更高的技术要求。人们往往在一些细节上的疏忽或考虑不周, 使得多级离心泵投用后频繁发生异常磨损、振动、抱轴等故障, 以致停机。

## 1 设计方面

### 1.1 基本结构

常用的多级离心泵有水平中开式和节段式(或称多级串联式)两种形式。水平中开式的结构特点是上下泵体通过轴心的水平剖分面上对接, 进出口管、部分蜗壳及流道铸造在下部泵壳体上, 检修维护比较方便, 维修时不需拆卸泵的管线便可直接取下泵的上壳体。节段式的结构特点是每一级由一个位于扩压器壳体内部的叶轮组成, 扩压器用螺栓和连杆连在一起, 各级以串联方式由固定杆固定在一起, 好

处是耐压高, 不易泄漏, 但在维修时必须拆卸进口管道, 拆装难度较大。

吸入室结构, 水平中开式多级泵一般均采用半螺旋形, 节段式多级泵大都采用圆环形。而每级叶轮的压出室, 由于蜗壳制造方便、将液体动能转换为压能的效率高, 水平中开式多级泵一般采用蜗壳结构; 但由于蜗壳形状不对称, 易使轴弯曲, 在节段式多级泵中只是限于首段和尾段可以采用蜗壳, 而在中段则采用导轮装置来进行一级叶轮和次级叶轮之间的能量转换。

对于压力非常高的泵, 用单层泵的壳体难以承受其压力, 常采用双层泵壳体, 把泵体制作成筒体式。筒体式泵体承受较高压力, 筒体内安装水平中开式或节段式的转子。

我国有关标准规定, 高压锅炉给水泵采用单壳体节段式或双壳体筒式结构, 300 MW 及其以上发电机组用泵一般应采用双壳体筒式结构。双壳体的内壳采用节段式或水平中开式结构。

收稿日期: 2007-10-22

作者简介: 周夏(1968—), 男, 高级工程师。现任内蒙古三维煤化科技有限公司副总经理。

## 1.2 轴向力平衡

多级离心泵轴向力的平衡措施一般有:叶轮对称布置、采用平衡鼓装置、平衡盘装置以及平衡鼓、平衡盘组合装置等几种。也有采用双平衡鼓平衡机构的,如有的高压锅炉给水泵。叶轮对称布置或采用平衡鼓装置,轴向力不能完全平衡,仍需安装止推轴承来承受残余轴向力,多级离心泵更多的是采用具有自动调整轴向力作用的平衡盘来平衡轴向力。

在某大氮肥项目一期工程中,高压灰水泵采用了节段式多级离心泵,轴向力平衡装置采用了“平衡鼓+止推轴瓦”的方式,由于轴向力平衡不好,泵轴的强度设计得也不够,在使用中多次发生过轴瓦烧坏、抱轴、断轴等事故。在该公司大氮肥项目二期工程中,高压灰水泵采用了水平中开式多级离心泵,叶轮对称布置,能自动平衡轴向力,没有平衡盘、平衡鼓等平衡机构。投用10个多月以来,运行状况良好,各项性能指标完全满足了使用要求。

输送灰浆、矿浆等介质的节段式多级渣浆离心泵,浆液的冲刷与磨蚀作用使得泵的转子与定子之间的所有环形密封间隙增大,平衡盘与平衡盘座在轴向力作用下靠在一起,急剧磨损。整个转子部件轴向窜动,叶轮与中段隔板、密封环等高速碰撞、摩擦,产生碎裂,曾经导致了多次恶性事故发生。为了延长这种泵的大修时间,减缓密封间隙的磨损速度,某单位在设计上采取了下列措施<sup>[1]</sup>:

(1) 改进泵的平衡机构,制造一个平衡盘座(平衡板)、两个平衡盘,如图1所示。这样既可减少该泵运行初期的平衡机构泄漏损失,又可保证该泵运行后期的安全可靠,泵的大修寿命得以延长。

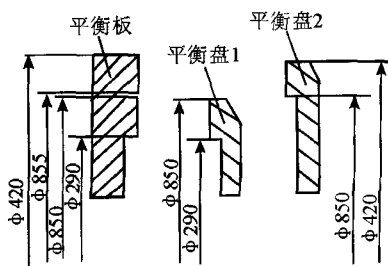


图1 泵的平衡机构简图

(2) 叶轮、密封环、轴套、导轮套、平衡盘、平衡盘座等采用喷焊处理。针对多级离心泵易出现平衡盘与平衡盘座贴合而引起平衡盘及泵损坏的现象,现设计出了多级离心泵动力楔防磨平衡盘<sup>[2]</sup>,如图2所示。该结构与离心式压缩机的干气密封原理相似:当平衡盘向平衡盘座靠近时,动力楔可产生巨大

的开启力,从而起到防止平衡盘与平衡盘座贴合的作用。经9个月的运行试验,平衡盘工作正常,工作面无磨损和划痕,可见这种新型动力楔防磨平衡盘可有效防止平衡盘与平衡盘座的贴合。该动力楔平衡盘不仅能延长平衡盘使用寿命,而且能减小平衡盘间隙泄漏量,节能降耗。

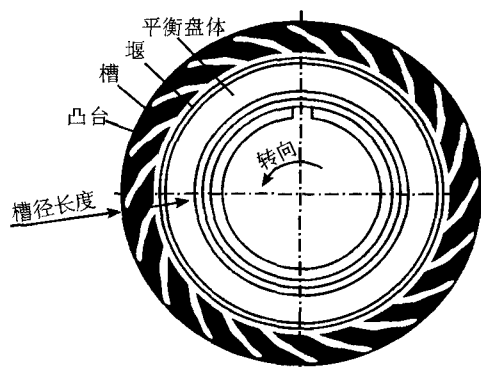


图2 动力楔防磨平衡盘简图

在设计多级泵的平衡盘、平衡鼓等装置时,必须配置合适的平衡管路,才能使轴向力平衡装置满足设计要求。在多级泵的轴承温升过高、轴承烧毁事故中,很多都是因为平衡管过流面积偏小、管路阻力损失过大、平衡能力达不到要求造成的。文献<sup>[3]</sup>以平衡鼓装置为例,提出了平衡管管径的计算方法。

根据多级泵轴向力的产生是由于各级叶轮都是一侧吸水的原因,有人提出通过改进泵体、叶轮和级间隔板结构让叶轮双侧进水,实现轴向力平衡,这样不需要设置平衡盘、平衡鼓等机构,也不需要考虑轴向窜动量。

## 1.3 轴挠度

多级离心泵泵轴挠度过大,容易引起异常振动、抱轴、机械密封密封面受力不均以致失效等故障,应该从设计上控制径向力的产生,尽量减少泵轴在运行中的挠度值。在设计方面应考虑:

(1) 采用蜗壳结构进行导流和能量转换的多级泵,蜗壳形状的不对称在运行中容易使轴弯曲,应将相邻两级蜗壳错开180°布置来减少径向力。

(2) 泵叶轮的级数不要太多,必要时靠提高每级叶轮的扬程来保证总扬程,这样通过减少泵叶轮级数尽量减短泵轴长度。

(3) 选择多级离心泵泵轴材料时,在考虑适合于介质种类、温度等需要的同时,优先选择强度、刚度综合机械性能好的材料。

(4) 设计计算泵轴直径时,综合考虑传递功率、

启动方法、径向力、轴挠度和有关惯性负荷等因素；考虑在非设计流量工作时可能产生的径向力对泵轴抵抗弯曲变形的需要。

(5) 合理选择泵轴的支撑点。

#### 1.4 抗振减振考虑

设计上可以考虑的多级泵抗振减振的措施有：

(1) 控制泵轴挠度在规定范围内。

(2) 明确要求泵轴、叶轮等进行动、静平衡试验。

(3) 尽量把多级泵的泵轴按刚性轴设计，工作转速宜小于等于0.75倍的一阶临界转速。

(4) 泵轴、叶轮等选材时，应选用质量均匀性好的材料，选择能够保证断面质量均匀的加工方法。

(5) 设计合理的轴向和径向间隙，避免因转子、定子非正常摩擦、窜轴引发振动。

(6) 对采用平衡盘来平衡轴向力的多级泵，设计合理、正确的平衡盘机构。

#### 1.5 立式多级泵

对于立式多级离心泵，一般设计时考虑了正常运行状况时总的轴向力向下。但在开车初期，由于出口压力还未上升，叶轮前后压差尚未建立，存在向上的轴向力，可能导致轴向上窜起，并伴有机械密封、轴承部位过热，电机超电流等现象，严重时引起跳车。1999年4月，某公司罐区的16台DL型立式多级泵均不同程度地出现过这种情况。这是由于泵轴组件结构上存在问题，应从结构上考虑使轴承轴套和轴相对固定，从而使向上的轴向力也由推力轴承来平衡<sup>[4]</sup>。

具有自动调整轴向力作用的平衡盘装置由于结构尺寸太大，而且需要一个泄压回水管，在受井径限制的深井潜水泵中无法安装，所以轴向力平衡问题一直是高扬程深井潜水泵设计中的一个难题。文献<sup>[5]</sup>推出了一种轴向力平衡方法，将深井潜水泵的叶轮前盖板直径扩大到泵体内壁边缘，使叶轮直径在同样的井径条件下达到极大值，同时叶轮后盖板直径适当减小，使叶轮上的轴向力完全平衡。

文献<sup>[6]</sup>介绍了另外一种新型轴向力平衡装置，它把一对动静摩擦副装于末级叶轮之后，动环随叶轮旋转，静环则不旋转，端面密封副前面为末级叶轮出口的高压液体，端面密封副之后与大气压或泵进口低压区相通，靠密封形成高、低压差平衡轴向力。该新型平衡轴封装置，既能平衡轴向力，又基本上无泄漏，主要适用于深井潜水泵和节段式多级泵，采用

该装置后，泵总效率可提高3%~6%。

## 2 操作与管理方面

### 2.1 开泵前

当被输送的高温液体突然进入多级泵的泵体时，泵体的温度会发生很大的变化，由于受热不均、热变形的不统一导致泵体和转子部件变形，耐磨部件间本身只有很小的缝隙从而导致不正常的接触。若设备在这种情况下启动，则会由于过热而导致振动、咬合、抱轴现象。所以说，泵用于输送高温液体时，在启动之前，须充分暖泵。只有在泵体温度达到一致时，才能启动泵。在冷态下紧急启动多级泵是不允许的。

某公司8.7 MPa的水煤浆气化装置上用来泵送灰水的高压差多级离心泵，投入运行后多次发生轴瓦和机封损坏故障，就是每次开泵前准备工作不充分，盘泵、排气方法不正确所致<sup>[7]</sup>。后来改进盘泵、排气等工作后，再没出现以上问题。

### 2.2 运行中

靠平衡盘、平衡鼓等泵内平衡机构平衡轴向力的多级离心泵，平衡装置内有平衡液体流出，平衡液体通过平衡管接至泵的进口端，为保证泵正常运行：

(1) 平衡管绝对不允许堵塞。

(2) 平衡管内发生结垢的，应及时清洗、疏通。

(3) 平衡管高压侧加装压力表，监测平衡管出口压力。

输送渣浆的多级离心泵，采用平衡盘的，运行时需注入高压密封清水，使平衡盘、平衡盘座在清水中工作，防止渣浆、硬颗粒对平衡盘座、平衡盘的磨损。

多级泵在运行中巡检时应注意对泵的温升、振动、声音等的检查，必要时，为保护泵免受非正常损坏，对多级离心泵的轴向力、温升、振动等设置联锁，超过设定值时自动停泵。

### 2.3 停泵后

当多级离心泵较长时间停止工作时，由于叶轮和转子的重量，使泵轴在一个方向上受力，容易造成轴弯曲。应定期对其盘泵一次，每次按同一方向将轴转动120°。

备用的多级离心泵如出口阀关闭不严，出口管道内的高温介质倒流回泵内，由于停转的泵轴上下部位受热不均，导致泵弯曲。备用的多级离心泵应每班盘泵一次。

### 3 拆装与维修方面

多级离心泵解体、拆卸时,应依次拆卸各级叶轮,并做好标记。应测量转子叶轮、轴套、叶轮密封环、平衡盘、轴颈等主要部位的径向和端面跳动值以及转子部件与壳体部件之间的径向总间隙,其允许偏差应符合相应技术文件的规定。

对多级泵,转子组件(包括叶轮、叶轮挡套或叶轮轮毂和平衡盘等),应预先进行组装,检查转子的同轴度和偏斜度。将叶轮、叶轮挡套和平衡盘装于校正好的泵轴上,用轴套锁紧后,安装在车床顶尖之间或支承在 V 形铁上,测量转子各部件与泵轴的同轴度。如果同轴度超过允许值,可用车床车削,使其符合要求。把泵轴架成水平后,叶轮口部端面和平衡盘的摩擦面应当是与泵轴线垂直的铅垂面。该铅垂面若有偏斜,运转中会严重磨损,甚至影响平衡盘的工作。偏斜度超过规定时,可采用车削校正。

应对泵轴组件的轴向间距进行测量、调整:相邻叶轮出口间距;首级叶轮与末级叶轮的总间距;相邻导轮的进口间距;首末级导轮的进口总间距。要使相邻叶轮之间距相等,且等于相邻导轮之间距,首末级叶轮出口的总间距等于首末级导轮在中段之间装有垫片并且相互压紧时的总间距。在平衡盘与平衡盘座靠紧的情况下,叶轮出口的宽度应在导轮进口宽度范围内。调整叶轮出口和导轮进口"中心一致"不但保证泵的正常效率,而且可避免泵转不动或叶轮前后碰磨等故障情况发生。

多级离心泵泵轴细长,传递功率大,工作时易弯曲引起故障。在深井潜水泵修理实践中发现,泵轴

弯曲以轴端弯曲最为突出。实际校直工作中,易错误地按径向跳动值的大小来判定是否有弯曲,这往往把真正的弯点放过了,而对本来不弯曲的点进行校压,越校弯点越多。轴端弯曲难以校直的主要原因是校前很难准确地确定弯点位置,文献<sup>[8]</sup>提出了两种确定弯点的方法:作图分析法和数值比较法。

### 4 结束语

为了多级离心泵能够正常使用,稳定运行,需要多措并举,应从设计、使用与维修等多方面细致考虑多级离心泵的特殊点、常见问题以及可能出的问题,不断总结经验教训,积极创新,使多级离心泵达到、保持最佳运行状态。

### 参考文献

- [1] 崔巍. 多级离心泵输送渣浆时的轴向力分析及技术改进[J]. 煤炭学报, 2000, 25(1): 100-104.
- [2] 王宗明, 周龙昌. 多级离心泵动力楔防磨平衡盘的设计[J]. 石油机械, 2004, 32(5): 43-44.
- [3] 张翼飞, 杨从新. 多级离心泵平衡管径的确定方法[J]. 水泵技术, 1996, (5): 24-27.
- [4] 盛家福. 立式多级低温泵窜轴原因及措施[J]. 中氮肥, 2000, (6): 44-46.
- [5] 陆伟刚, 张启华, 施卫东. 拉杆式深井潜水泵的轴向力平衡方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 195-120.
- [6] 关醒凡, 朱荣生, 黄道见, 等. 新型多级离心泵轴向力平衡装置试验研究[J]. 机械工程学报, 1996, 32(4): 68-72.
- [7] 汪泽强, 陈兆元, 许荣发, 等. 中石化南化 8.7 MPa GE 煤气化装置运行总结[J]. 氮肥与甲醇, 2007, 2(5): 15-19.
- [8] 吴其江. 校直多级离心泵泵轴时轴端弯点的确定[J]. 石油机械, 1997, 25(3): 25-26.

## 法国企业将参加第九届中国国际化工展(ICIF)

在法国企业国际发展局和法国驻华大使馆经济处的组织主办之下,十多家法国企业将组成法国展团,参加 2008 年 4 月 23 日至 25 日在上海光大会展中心举办的第九届中国国际化工展览(ICIF)。

参加这次展会的法国展团有生产厂家,设备配套厂家和工程公司,代表了法国化学工业的优势力量,参展企业大都是一些在专门的领域具有尖端和创新产品的高水平中小企业。法国的化学工业在西欧占有重要的优势地位,向市场提供的产品占全世界生产总量的 30%,同时也向中国出口。

参加这次展览会的法国展团有如下企业:

ARELCO; CASTANET. SA; ETNA Industrie; FAREX; GEORGIN; H + Valves; MECA INOX; MIXEL agitateurs; PCAS

(邹晓文)