

基于Fluent的悬浮颗粒输送泵的 优化设计研究

文/高泽锦 匡安宪 徐嗽 张建何 昆明嘉和科技股份有限公司

“基于Fluent进行CFD数值模拟、分析，优化设计离心泵的蜗壳、叶轮，性能得到了保证。”

随着我公司的不断发展，运用于液体悬浮颗粒工况渣浆泵的需求日益增加。为满足市场需求，对用于输送悬浮颗粒的渣浆泵进行优化设计，使用CFD数值模拟分析离心泵性能；进行模拟、仿真、优化设计，缩短了研发周期、降低了研发及生产成本。随着三维软件以

及相关流场分析软件的普及应用，对离心泵设计后性能的预测技术，也慢慢的成熟起来。在传统设计的基础上对蜗壳进行水力优化设计，通过流场分析优化，得到不同蜗壳与同一叶轮匹配后的性能参数，离心泵性能得到较大提升，保证了设计的可靠性。本文以JFZ100-

560泵型为例进行优化、设计分析。

概述

我公司两相流的离心式渣浆泵用来输送介质含固体悬浮颗粒料浆液（含固量 $>50\%$ ），采用涡流叶轮、流道叶轮、叶片叶轮等多种形式。目前存在的

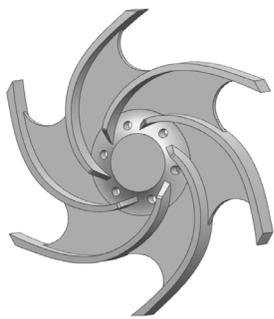


图1 星型叶轮三维图

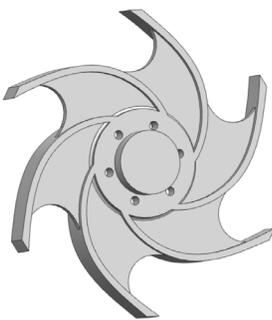


图2 原蜗壳三维模型

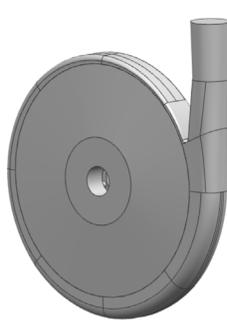


图3 优化蜗壳三维模型

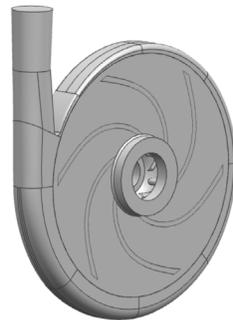
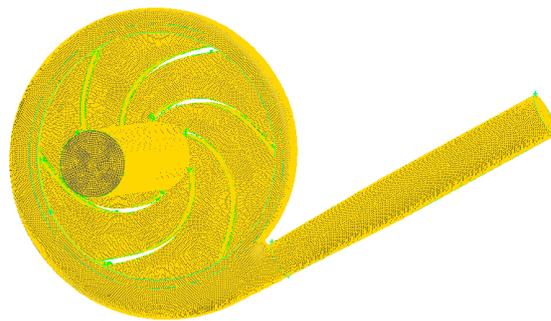
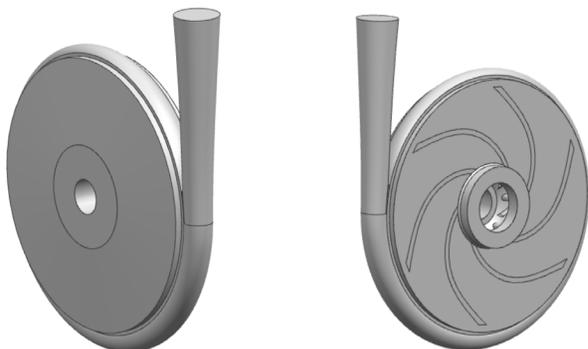


图4 计算域网格划分



问题是效率低、通过率不高、占用空间大。采用这种结构形式的蜗壳、叶轮输送液体悬浮颗粒介质时对颗粒的完整度会产生一定的影响，使用效果达不到预期。为使该泵型在输送液体悬浮颗粒介质时不对颗粒的完整度产生影响，提高效率，用Fluent进行CFD数值模拟，对蜗壳进行优化设计，采用星形叶轮提高了JFZ系列固液两相泵悬浮颗粒的通过率，效率提高，轴功率减小同时降低了电机功率，减轻了泵的重量，减小了占用空间，能够高效的满足客户需求。为公司及客户节约了成本，对我公司离心式渣浆泵在输送介质是含固体悬浮颗粒料浆液项目具有战略意义。

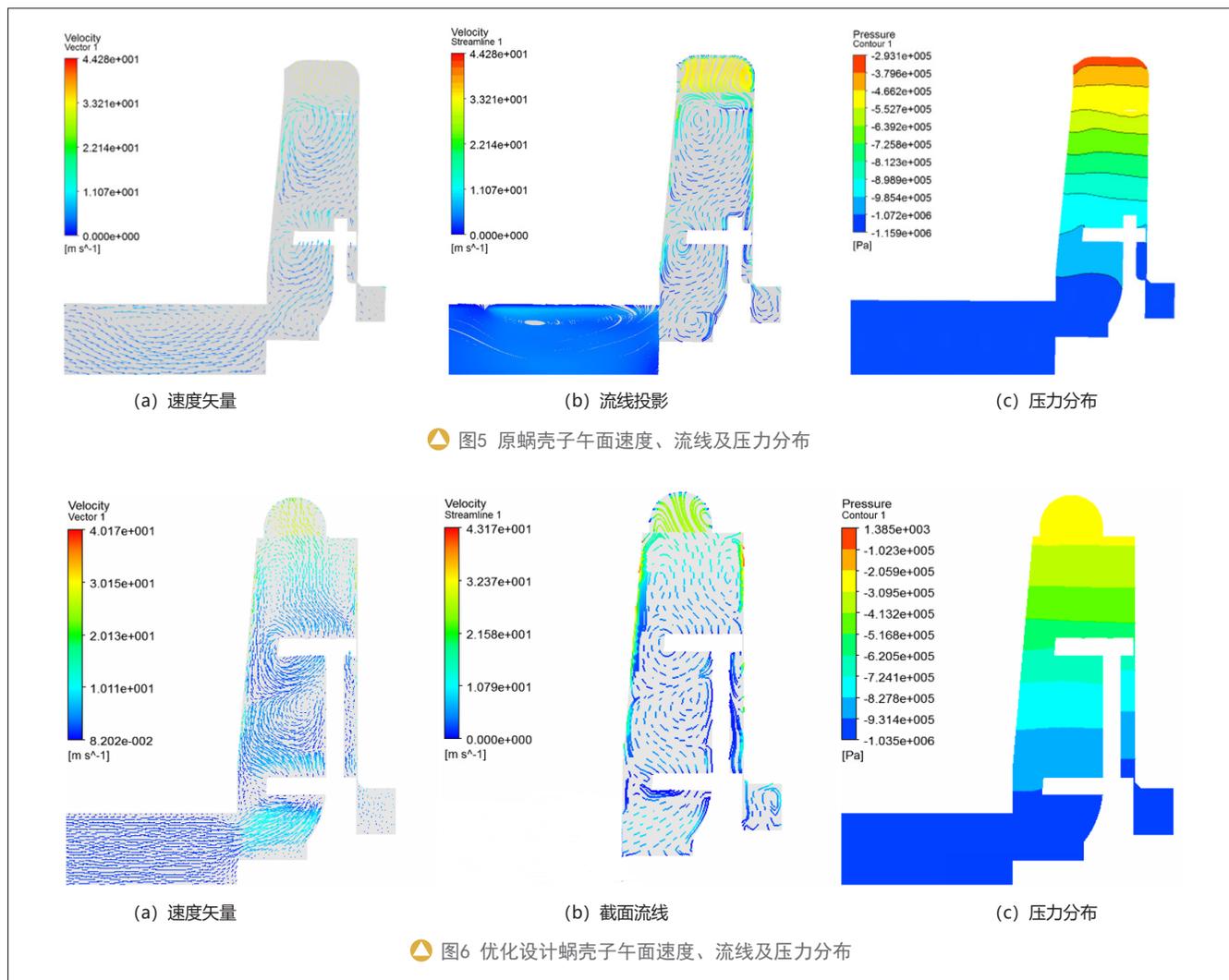
离心式渣浆泵蜗壳优化及数值模拟分析

本次数值模拟JFZ100-560泵型，分别模拟星形叶轮与原蜗壳与新设计蜗

参数	数值
叶轮进口直径 D_j (mm)	150
叶轮出口直径 D_2 (mm)	550
叶轮出口宽度 b_2 (mm)	32
叶片数 Z	6

参数	原蜗壳	新蜗壳
蜗壳端面形状	矩形	梨形
蜗壳基圆直径 D_3 (mm)	585	585
流道宽度 (mm)	81	50

边界	边界条件
进口	Velocityinlet
出口	OutBow
两相流模型	欧拉模型
湍流模型	$k-\epsilon$ 标准双方程
交界面	Interface
动静交界	MRF
壁面边界	无滑移



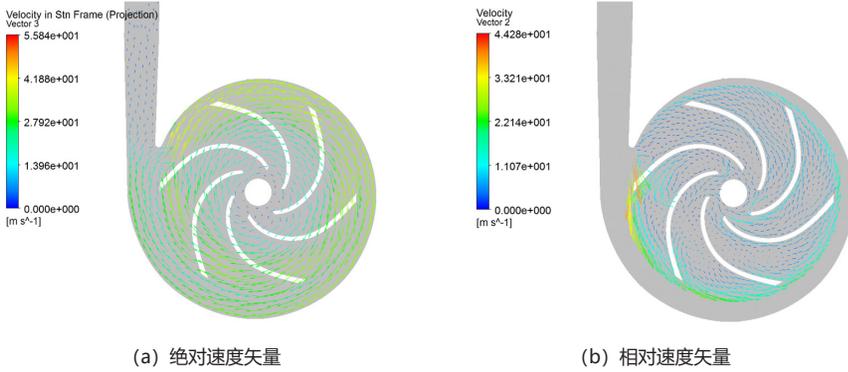


图7 原蜗壳绝对速度及相对速度矢量分布

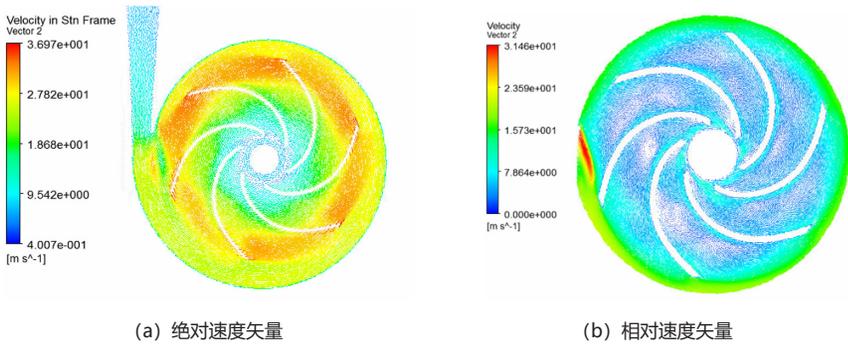


图8 优化设计蜗壳绝对速度及相对速度矢量分布

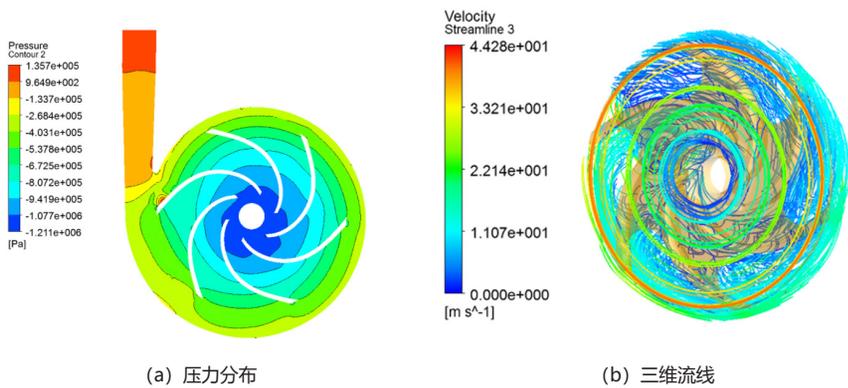


图9 原蜗壳内压力分布及三维流线

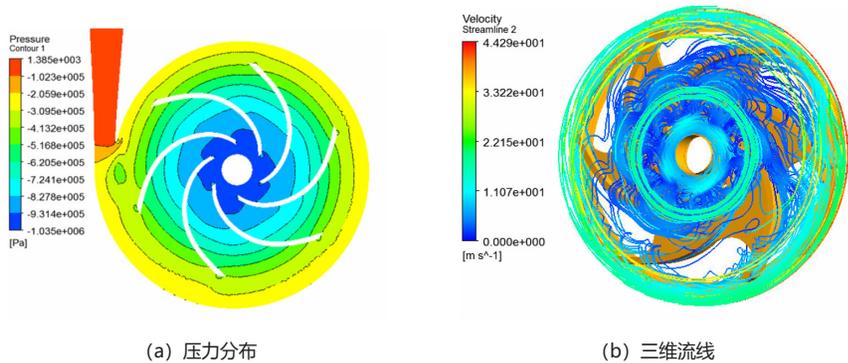


图10 优化设计蜗壳内压力分布及三维流线

壳匹配后输送不同含固体悬浮颗粒介质的性能、特性。基于Fluent进行CFD数值模拟，分别得到离心泵蜗壳内部流场分布规律及特性。

■ JFZ100-560泵型设计

设计参数：流量：150m³/h；扬程：100m；转速：1450r/min

▲ 星型叶轮基本尺寸（见表1）

▲ 原蜗壳及新设计基本尺寸（见表2）

■ 蜗壳计算模型和网格划分

▲ 边界条件设置（见表3）

蜗壳优化性能对比分析

从蜗壳子午面速度、流线及压力分布，绝对速度及相对速度矢量分布，蜗壳压力分布及三维流线分布几方面对比分析。

■ 叶轮与原蜗壳、优化设计蜗壳子午面速度、流线及压力分布对比

■ 叶轮与原蜗壳、优化设计蜗壳绝对速度及相对速度矢量分布对比

■ 叶轮与原蜗壳、优化设计蜗壳压力分布及三维流线分布对比

图5至图10为叶轮匹配原蜗壳和优化设计蜗壳的CFD流场可视化分析。可以发现，原蜗壳导致了叶轮内产生了严重的流动分离，叶轮内涡结构的出现严重影响了泵的水力效率，且导致叶轮内压力分布的不均匀，大大增加了泵的无用轴功率。另外，通过叶轮内三维流线可视化分析，原蜗壳叶轮内流动极为混乱，叶轮的轴功无法有效地传递给流体，造成能量的浪费，相比之下，优化设计蜗壳内流体则更加均匀有序。

性能对比分析

通过CFD分析JFZ100-560泵型得到星型叶轮与优化设计蜗壳与原蜗壳的性能曲线比较，在规定点新设计的蜗壳的JFZ100-560泵型扬程、效率得到了大幅提升。从试验数据表可知，在额定工作点流量：150m³/h；星型叶轮+原蜗壳的性能：扬程67m、效率22.3%；星型叶轮+设计优化蜗壳的性能：扬程105m、效率39.7%。设计优化后的JFZ100-560泵型在流量相同的情况

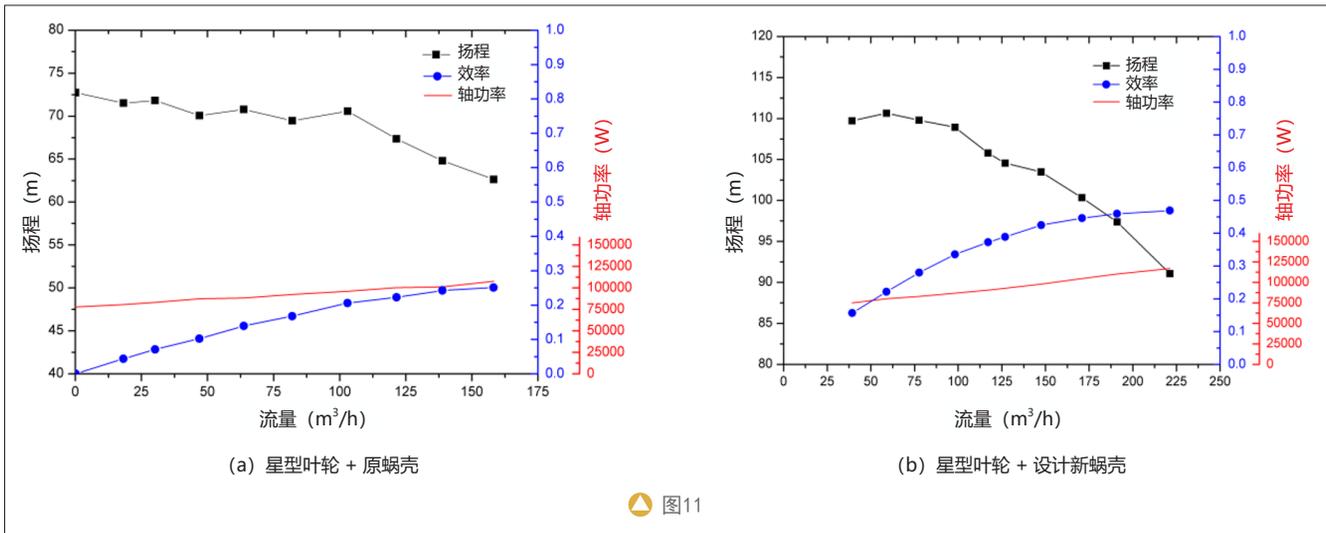


图11

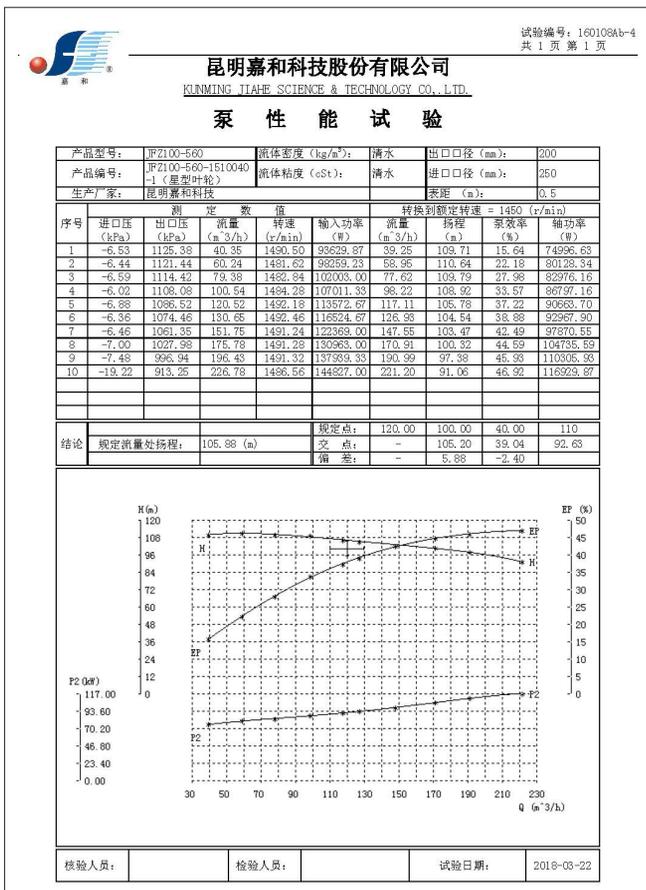


图12 JFZ100-560泵型蜗壳与星型叶轮试验性能

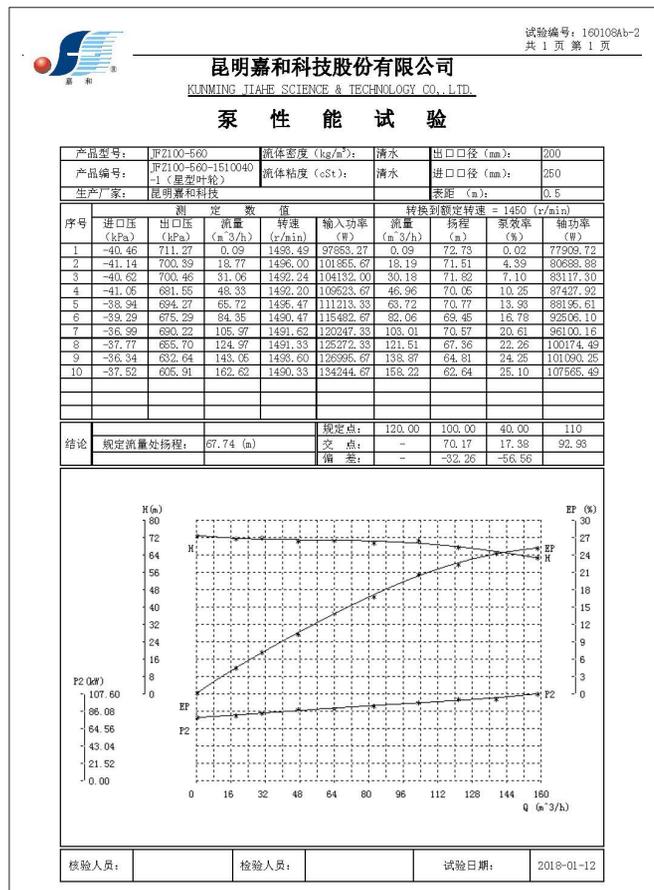


图13 JFZ100-660泵型优化设计蜗壳与星型叶轮试验性能

下,扬程提高38m,效率提高17.4%。使用原蜗壳的JFZ100-560泵型,最大流量可达到160m³/h、最大扬程可达到72.5m、最高效率可达25%,使用范围更广泛;使用设计优化蜗壳后的JFZ100-560泵型,最大流量可达到221m³/h、最大扬程可达到113m、最高效率可达50%。综上试验结果,设计优化蜗壳后的离心泵流量、扬程、效率均得到大幅提升,使用范围更广泛,能够满足客户的扩能、工艺改变需求。满足节能环保的同时,也为客户节约了生产成本。

测试结果对比分析

设计优化JFZ100-560蜗壳、原蜗壳与星型叶轮匹配,通过CFD分析JFZ100-560泵型模拟试验数据与实现产品在我公司试验台试验结果(试验介质:清水)对比如表4:

表 4 JFZ100-560 泵型模拟试验数据与试验结果对比

	星型叶轮 + 原蜗壳	星型叶轮 + 设计优化蜗壳
转速	1450r/min	
介质比重 (清水)	1000 kg/m ³	
扬程	66.5m	106m
扬程偏差	+39.5	
效率	23%	42%
效率偏差	+19%	
轴功率	107.5kW	97.8kW
轴功率偏差	-9.7	

通过模拟数据与实测数据对比可知,设计优化蜗壳后的JFZ100-560流量、扬程、效率、均得到大幅提升、轴功率降低,设计优化蜗壳后的JFZ100-560性能完全达到设计标准要求。

本的设计方法设计,再进行流场分析,得到优化设计蜗壳、叶轮性,保证了设计的可靠性。对公司离心式渣浆泵在输送含固体悬浮颗粒料浆液项目具有更远的战略意义。 **PEM**

结论

本研究通过Fluent软件对JFZ100-560泵星型叶轮分别在两种泵体匹配下输送颗粒固液两相介质进行数值模拟,得到以下结论:

根据设计工况,优化、设计水力的蜗壳与原蜗壳的性能比较,针对星型叶轮,在规定点效率得到了大幅提升。在额定工作点,泵的性能从67m扬程、22.3%水力效率上升到105m扬程、39.7%水力效率。完全满足设计标准要求。

采用CFD优化分析得到其全工况下的性能曲线。与原蜗壳的性能比较,在规定点泵的效率得到了大幅提升。按此方法试验10个JFZ系列产品后性能均达到了设计要求。以后在设计中,采用基



本文参与有奖征文评选

欢迎您对本文发表评论,也希望您能参加《泵工程师》有奖征文活动,期待您的来稿!

评论和投稿请发至:

pem@jixunmedia.com



参考文献

- [1] 关醒凡, 现代泵理论与设计, 北京宇航出版社, 2011.
- [2] 何希杰、劳学芬, 清水泵及渣浆泵规范化设计, 2000.
- [3] 袁寿其, 低比转速离心泵理论与设计, 北京: 机械工业出版社, 1997.

低温位热能回收系统用 JSB 合金 及循环酸泵的研发与应用

昆明嘉和科技开发有限公司 陈永松 陈兴 王倩

摘要: 低温位热能回收是目前硫酸生产的趋势, 要实现该装置中低温位热能回收, 对系统中的设备提出了更高的要求。针对目前的情况, 昆明嘉和科技开发有限公司研发了 JSB 系列合金材料, 并成功应用于该系统的循环酸泵上。

关键词: JSB 合金 低温位热能回收 循环酸泵 应用

1 概述

在能源日益匮乏的今天, 节能降耗, 能源回收利用已势在必行。在硫酸生产过程中, 含硫原料的焚烧、二氧化硫转化及三氧化硫的吸收三个主要过程均有大量的化学能释放出来。目前, 大部分硫酸装置对含硫原料的焚烧和二氧化硫的转化产生的高、中温位热能尽可能的进行回收利用, 而对于干燥和吸收系统中的低温位热能, 除了少数生产企业用于加热工业用水和生活用水外, 一般都是通过循环冷却水而流失于环境之中。

对于传统硫磺制酸来说, 生产每吨硫酸可产生蒸汽 1.0~1.1t, 废热利用率为 60%~70%, 随着低温热能回收技术在硫磺制酸系统上的运用, 回收制酸装置中低温位热能副产低压蒸汽, 可将废热利用率提到 90%以上。欲利用这部分低温位热能, 必须提高循环酸的酸温, 酸温的提高使耐酸材料的腐蚀加剧。因此循环酸的温度几乎完全由组成吸收塔系统的循环酸泵、管槽式分酸器、循环酸槽、各式阀门及管道附件等设备材料的耐高温、耐腐蚀性能决定。

目前, 国内建成的低温位热能回收利用装置, 大部分设备及管道附件从国外进口, 不但价格昂贵, 而且交货周期长。一旦关键设备出现故障, 将导致系统停车, 给用户造成巨大的经济损失。因此, 该系统用合金材料及设备的国产化成为各设备生产厂家的主要任务之一, 我公司虽对低温位热能回收系统装置用合金材料及设备研发起步较晚, 但近些年通过对国外产品的消化吸收, 从材料、密封到产品结构的研究均已形成成熟的技术, 并成功研发了适用于该系统的循环酸泵、管槽式分酸器、酸排出泵、蒸发器、各式阀门和管道附件的 JSB 系列合金材料及其产品。

2 JSB 系列合金的研发

由于低温位热能回收系统中设备主要输送的介质为 99%~99.6% H_2SO_4 ，且温度可达 220℃，只要酸浓控制不严，极易造成各种动、静设备的腐蚀而失效，因此，研发能够适用于 98.6%~100% H_2SO_4 合金材料，将具有更大的现实意义。我公司吸收国外的先进技术，自主研发适合低温位热能回收系统的 3 种 JSB 系列合金材料，该系列合金材料是通过加入微量的稀有合金元素，对其元素加入量和热处理工艺参数进行控制，并对合金件的沉淀硬化处理及化学成分的工艺参数进行综合设计等而研发的，通过控制铸态合金碳氮化合物的析出量及分布，细化铸态基体晶粒尺寸，从而提高材料的韧性；通过合金沉淀硬化处理，获得明显的抗热膨胀、耐磨损、耐腐蚀作用。该 3 种 JSB 系列合金材料分别为：

JSB-24 奥氏体铬镍合金，该合金在 1200℃具有良好的抗氧化性能，抗硫腐蚀性能优于 Cr25Ni20，有良好的高温力学性能，是取代 2520 耐热钢的优良耐热材料。主要用于制造低温位热能回收系统中的循环酸槽、管道附件、分酸槽、循环酸泵液下封头螺母以及 1200℃高温阀门等。

JSB-25 高铬镍奥氏体合金，通过合金沉淀硬化处理，硬度在 HRC50 左右，并具有良好的抗热膨胀性能、耐磨蚀性能和腐蚀性能；在 220℃静态 98.6%~100% H_2SO_4 中年腐蚀率小于 0.05mm/a，用于制造循环酸泵轴套、衬套，密封环等重要零部件。

JSB-26 高铬镍奥氏体特殊合金，是我公司最新研发适合低温位热能回收系统制造设备的最好材料。通过提高铬镍含量和降低含碳量及加入适量的硅、钼铜和氮补充合金化，使其具有较高的高温强度和组织稳定性，尤其在高温条件下具有良好的抗氧化性和耐晶间腐蚀能力，经特殊热处理后，具有良好的机械性能和耐高温、耐腐蚀、耐冲刷性能，其在 220℃静态 98.6%~100% H_2SO_4 中腐蚀率小于 0.04mm/a。特别适用于制造超高温循环酸泵、酸排出泵、各式阀门、管槽式分酸器、蒸发器等设备的零部件。

3 JHG 超高温浓硫酸液下泵设计特点

3.1 高效的水力设计应用于 JHG 超高温浓硫酸液下泵

泵的效率由三部分构成：机械效率、容积效率和水力效率，泵水力模型的好坏是影响泵效率的最主要的因素，我公司生产的 JHB 高效节能型高温浓硫酸液下泵系列是公司的主导产品，产品自投放市场以来，已成功替代了进口产品，因此，我们将设计 JHB 高效节能高温浓硫酸液下泵优秀水力模型的设计方法，应用于 JHG 超高温浓硫酸液下泵的水力设计上，使之秉承了传统高温浓硫酸的优良性能，同时，根据工艺特点确定装置所需流量、扬程进行设计，避免了因车削叶轮外径导致泵水力效率的下降，使装置扬程与泵扬程相匹配，泵运行在高效区。

3.2 优化结构设计, 确保长寿命、高可靠性

在结构形式上, 针对超高温浓硫酸介质的特点, 在高效节能大型高温浓硫酸循环泵的基础上进行全新设计, 提高运行可靠性和提高泵的效率。

秉承了传统 JHB 立式高温浓硫酸泵的结构优点, 采用六级电机驱动, 结构紧凑, 在水力模型设计中充分考虑了汽蚀余量, 使泵的效率可高达 80% 以上, 泵运行平稳, 降低能耗。

按 API610 标准中 VS4 型结构设计, 不仅泵的效率有所提高, 而且使循环酸泵液下深度达 3500mm 以上, 完全满足生产工艺技术要求。

泵体采用对称双涡壳结构, 减少轴承径向载荷, 延长轴承使用寿命。控制合理的进出口流速, 减少介质对泵的腐蚀、冲刷, 延长使用寿命。

在超高温浓硫酸介质中, 滑动轴承设计必须解决耐腐蚀、耐磨蚀、抗热膨胀特性三个问题, 根据 API610 之规定, 由硬化材料制造摩擦副, 耐磨表面的硬度差至少应为布氏硬度 50, 否则旋转耐磨表面和静止耐磨表面两者的布氏硬度至少都是 400 以上, 因此, 滑动轴承设计应采用“硬对硬”设计方法设计, 同时, 优化液下滑动轴承的宽径比, 考虑滑动轴承的承载能力和散热能力的同时, 选择合理的宽度与直径的比值, 合理控制滑动轴承的间隙, 达到支承稳定的效果。

3.3 轴封的选择

烟气的存在对泵的密封难度较大, 传统的密封方式有填料密封和机械密封, 但由于其工位要求该泵为连续运行状态, 一旦密封泄漏将会造成环境污染。

填料密封: 操作方便, 但由于填料与轴套的直接接触磨损, 很难保证长期无故障运行。

机械密封: 采用接触式干运转或者非接触式干运转机械密封。

接触式干运转机械密封: 两密封端面直接接触, 端面摩擦发热严重、温升明显, 对端面材料的选择和端面比压的控制十分重要, 但要保证密封稳定运行一年以上是一个很大挑战。

非接触式干运转机械密封: 或称干气密封, 近年发展很快, 在离心式压缩机等高速设备上已获得了广泛应用, 但制造工艺复杂, 技术附加值高, 价格昂贵, 对于循环泵, 密封成本占整台泵的成本比例也是需要考虑的重要因素。

在保证密封可靠性的前提下, 我公司研发了新型的组合式密封, 采用 JSB 合金为基体材料, 对密封面进行特殊处理, 双重密封, 确保密封不论是在运行还是停车的过程中均不会产生泄漏。

4 JSB 合金及其产品成功应用

我公司研发的 JSB 合金材料及 JHG1840-20 超高温循环酸泵已成功应用于云天化国际化工红磷分公司 800kt/a 硫磺制酸装置中的 HRS 吸收塔, 该案例可说明:

(1) 低温位热能回收系统中循环酸泵是整个系统的关键设备之一, 也是该系统中的容易损

坏的设备。从流体的角度看，由于该泵长期处于高温硫酸的腐蚀和不停冲刷的情况下，对该泵的可靠性和腐蚀要求极高，由此可判定，在该系统中，只要能用在该泵上的材料，用在同系统中的其他设备是完全可以的。

(2) 我公司研发的 JHG 超高温循环酸泵、管槽式分酸器以及其他设备，如：各式阀门、高温吸收塔、循环酸槽、管道附件等将在低温位热能回收系统中再次成功应用。

5 结束语

昆明嘉和科技开发有限公司通过几年的研制与开发，低温位热能回收系统中各种设备的关键技术已攻关完成，JSB 系列合金及其产品为低温位热能回收系统用设备的国产化将作出更大的贡献。