

# 双螺杆泵线型结构优化设计改造

王树利

西南石油大学中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300456

**摘要:** 双螺杆泵是一种技术含量高的容积式泵,具有转动平稳、结构紧凑、液体脉动小、寿命长等特点,近年来已越来越广泛应用于船舶、石油、化工、冶金、电力等领域。螺杆转子作为双螺杆泵的核心部件对其性能影响很大,因此研究螺杆转子的端面型线设计、动力学性能及螺杆运动干涉检测具有重要的理论意义和现实指导作用。

**关键词:** 双螺杆泵;渐开线;流场;数值模拟

## 引言:

本文提出一种新型高效、密封性能更优越的渐开线修形双螺杆泵,并基于有限容积方法与摆线型双螺杆泵进行对比,建立两种泵数值仿真模型,分析其压力场、速度场等的基本规律及特性曲线,得出了双螺杆泵流道的容积效率。研究表明:流道压力随密封腔逐级增大,且同级压力由于泄漏作用呈减小趋势;流道螺槽内存在涡流现象啮合区混合强烈,在转子与泵套壁面接触区域及啮合区存在负轴向速度,为主要泄漏区域;渐开线修形双螺杆泵容积效率相对较高,密封性能更优越。研究结果为螺杆泵开发以及性能预估提供了理论指导和依据。

## 1. 双螺杆泵背景及意义

螺杆泵采油技术目前已基本成熟配套,成为继游梁式抽油机、电潜泵之后第三大人工举升采油方式。而且螺杆泵能用于游梁式机泵和电潜泵无法抽采的稠油井、含砂油井和低产油井及中、后期水驱油田的采油作业。螺杆泵的应用成为石油开采的一种趋势。

双螺杆泵是通过泵体中主、从动螺杆的相互啮合,以及螺杆和泵体孔的配合,在泵体中形成一个个密封空腔,在螺杆转动时,这些密封空腔连续向前移动,推动密封腔中的液体从出口排出。由双螺杆泵的原理知道,对于外置轴承的双螺杆泵,两根螺杆在衬套中互不接触,齿侧之间保持一定的间隙,螺杆外圆与衬套内圆面也保持一定的间隙不变。这种结构大大拓宽了双螺杆泵的使用范围,可以输送润滑性介质及非润滑性介质、各种高粘度介质以及具有腐蚀性、磨蚀性的液体,能广泛应用于各种行业。正如德国阿尔维勒公司销售经理介绍:“世界上没有任何介质,是螺杆泵所不能输送的<sup>[1]</sup>。

## 2. 双螺杆泵主要工作

双螺杆泵以其节能环保、平稳可靠等优点,广泛应用于石油、环保等支柱产业。目前所有对螺杆泵螺杆转动系统的研究均是围绕螺杆转子型线修正和转子力学性

能展开的,而对于螺杆内部流场的流道特性、系统的动态特性等关键技术的研究还未见报道。泵内流体的流动状态具有复杂、非定常、不可压缩、黏性等特性,直接影响螺杆泵的性能,由于双螺杆泵几何结构及流动特性复杂,很难采用数学解析求解,因而如采用试验方法来验证几何设计的合理性,会耗费大量的人力和资金。

## 3. 双螺杆泵的发展及研究现状

目前,在国内开展双螺杆多相混输泵的研究并不多,研制开发国产多相混输泵系列已成为当务之急。中国石油天然气集团公司已将开发此项产品列入“石油装备科技进步规划”,并作为其中的重点项目。1995年,大庆油田和胜利油田从Bomemnan公司引进3台多相混输泵,目的是开发我国自己的混输泵,以满足大规模开发海上和沙漠油田的需要。西安交通大学、石油大学和大港油田中成机械制造有限公司都开展了相应的研究工作。1997年,双螺杆多相混输泵项目列入大港油田集团公司科研攻关计划,1999年列入国家重大技术装备国产化创新项目<sup>[2]</sup>。目前大港油田中成机械制造有限公司研制开发了轴承外置式双吸双螺杆多相混输泵,在大港等油田推广应用,取得了较好的效果,总体来说国内关于双螺杆混输泵的研究还在起步阶段。

## 4. 双螺杆泵的性能特点

(1) 输送液体平稳、无脉动、无搅拌、振动小、噪音低。

(2) 有很强的自吸性能,多相混输时,含气率不高于80%,含沙量不高于500g/m<sup>3</sup>。

(3) 外置轴承结构,采用独立润滑,可以输送各种非润滑性介质。

(4) 采用同步齿轮驱动,二转子之间不接触,即使短时间空转也无妨。

(5) 泵体带有加热套,可以输送各种清洁或含有固体小颗粒的低粘度或高粘度介质(一般颗粒直径小于

0.12~0.2mm)

(6) 正确的选用材料, 甚至可以输送很多有腐蚀性的介质。

(7) 双吸式结构, 转子上没有轴向力。

(8) 轴端采用机械密封或波纹管机械密封, 具有寿命长、泄漏少、适用范围广的特点。

### 5. 双螺杆泵湍流模型

双螺杆泵流场流动为复杂的湍流问题, 采用基于 Reynolds 时均方程的模拟方法来建立湍流模型。双螺杆泵的湍流是指由于压差、各流速层之间的流速差以及工作容积、空间形状随螺杆的运转而改变等因素造成的液体在各方向和流速上的紊乱流动<sup>[3]</sup>。本文针对双螺杆泵流道液体流动问题, 采用标准  $k-\varepsilon$  双方程模型进行分析。

### 6. 双螺杆泵数值仿真分析

采用流体专用分析软件 Fluent 对螺杆泵内部流场进行仿真分析。压力速度耦合采用 SIMPLIC 算法, 并监测进出口流量变化, 当进出口流量变化趋向稳定时说明计算结果收敛。对整个内部流动区域取合适的截面, 以获得需要的计算结果并进行详细分析。图 7、图 8 是双螺杆泵流道对称面压力分布云图, 可以看出, 对称截面流道内存在四级压力梯度, 且压力从入口的低压逐级增大, 到出口处达到 0.8MPa 左右, 主从螺杆啮合区高低压交替变化<sup>[4]</sup>。

为了更清晰地分析流道内压力  $p$  沿轴向的分布情况, 摆线双螺杆泵与渐开线修形双螺杆泵压力分布趋势相似。双螺杆泵在工作时, 液体压力从低压腔到高压腔是阶梯变化的, 压力是随着密封腔而逐级增大的, 但同一级内由于泄漏的原因, 在该级压力范围内沿轴向逐渐减小。

液体在螺槽内的运动是复杂的湍流流动, 液体在螺杆的拖拽带动下, 总体沿圆周方向运动。螺槽区域内液体的运动十分复杂, 从截面速度矢量图可以明显看出螺槽区的涡流流动, 液体在螺槽 I、II、III 处易产生涡流, 此三个螺槽靠近啮合区, 受液体经过啮合区时速度矢量发生突变的影响较大, 原来较为规则的圆周运动轨迹将被破坏。

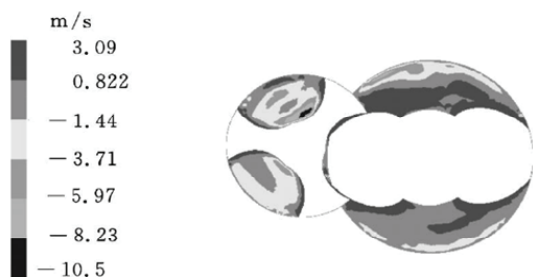


图 1 摆线双螺杆泵轴向 50mm 处截面速度图

图 1 可以看出, 在螺杆壁面区域为正速度, 且速度相对其他区域较大, 说明此处受正向剪切作用的影响, 流体是沿泵出口挤出的, 不存在回流现象; 螺槽区及啮合区速度分布较复杂, 既有正速度又有负速度; 螺槽与泵套间间隙处为负速度区域, 螺槽区涡流中心及啮合区速度交换处是负速度最大区域, 说明泄漏主要存在于流道间隙处、流体涡流中心及啮合区。由图 14 可知, 渐开线修形双螺杆泵流场与摆线双螺杆泵流场轴向速度分布趋势相同, 但渐开线修形双螺杆泵流道平均速度场大于摆线双螺杆泵流道速度场, 说明渐开线修形双螺杆泵输送能力强于摆线双螺杆泵。

容积损失是双螺杆泵流道的主要损失形式之一, 因为啮合螺杆之间、螺杆与泵套间存在间隙, 而液体受轴向压力梯度和切向压力梯度的作用, 在这些间隙中产生流动, 其中一些流动方向与流出方向相反, 形成回流<sup>[5]</sup>。不同结构的螺杆元件组成的流道几何结构不同, 因此具有不同的回流量。通过整个流道正负速度的积分计算, 得到双螺杆泵流道的流量, 渐开线修形双螺杆泵流道的输送能力较为优越。

### 7. 结束语

在进行课题的研讨之后, 我平台将泵的方案进行了改良, 由摆线双螺杆向渐开线型双螺杆进行转变, 对螺杆的线型进行了修改和更新 (如图 1), 新泵的类型 SW7.3ZK/A-94JM1W81D, 投用以后, 经现场的观察和计算, 螺杆泵回流量相对较小, 新泵的容积效率为 91.8%, 大大增加了泵的使用效率, 排量明显提高; 根据现场实际情况, 将原有转子的螺旋导程由 75mm 增大为现在的 94mm, 通过牺牲少量的排出压力, 换来更大的排量。

由于平台对电脱喂料泵进行了换型升级后, 泵的排量由原来的 170m<sup>3</sup>/h 增加到 220m<sup>3</sup>/h, 满足了平台生产需要, 彻底解决了由于泵排量不足导致的平台限产瓶颈。

### 参考文献:

- [1] 螺旋轴流式多相泵试验及相似性能研究[J]. 石油机械, 2008, (09).
- [2] 王世清, 邱晓翼. 多相混输泵输送技术在油田的应用[J]. 油气储运, 2002, 21(1): 34-36.
- [3] 于凤荣, 闫国军, 张建蓉. 射流泵流场三维数值模拟[J]. 水泵技术, 2006(6): 2123.
- [4] 蒋炎坤, 钟毅芳, 周济, 等. 基于流场动力学行为的机械产品结构性能研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(4): 115119.
- [5] 荆珂. 双螺杆反应器组合螺杆的三维流场数值模拟[J]. 机械设计与制造, 2008(5): 8587.