

旋转喷射泵的研究开发进展

许洪元, 王晓东, 朱卫华, 赵啸冰

(清华大学)

摘 要: 旋转喷射泵是利用皮托管原理研制的小流量高扬程泵, 属结构特殊的新型极低比转数泵。该文介绍旋喷泵在国内外的的发展概况, 并介绍该泵的两个关键部件——叶轮和集流管研究开发。对下一步研究工作提出建议。

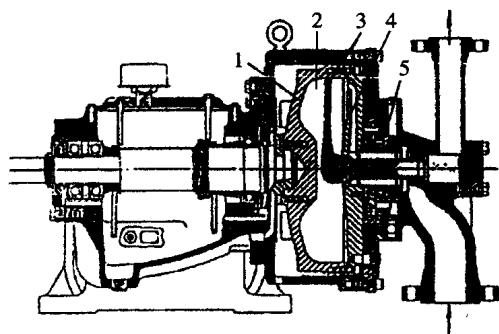
关键词: 旋转喷射泵; 结构; 叶轮; 集流管

中图分类号: TH31

文献标识码: C

文章编号: 100226819(2002)0220188203

旋转喷射泵(以下简称旋喷泵)又称皮托泵, 是一种工作原理和结构(见图 1)都很独特的极低比转数泵。主要工作部件为一高速旋转的转子体和一静止的集流管, 转子体由叶轮和转子腔组成。液体从吸入管进入叶轮, 在叶轮中获得能量后进入转子腔。固定的集流管收集转子腔中的高能液体, 将液体的动能转化成压能输出。它满足小流量高扬程的使用工况。与多级离心泵和高速泵比较有不少优点, 如其结构简单, 维修量小; 动密封在泵进口低压侧, 在主轴端无密封问题, 解决了高压泵普遍存在的高压密封问题; 效率比同比转数离心泵的高; 流量扬程曲线平滑, 不存在低比转数离心泵流量扬程曲线的驼峰



11 转子体 21 转子腔 31 集流管 41 叶轮 51 机械密封

图 1 旋转喷射泵结构图

Fig 1 Configuration of Rotojet pump

现象, 且液体输出无脉冲, 很适合对流体输送要求较平稳的生产岗位。故旋喷泵可适用于石油化工、液压系统、注水排水、锅炉给水、食品、造纸、矿山等多种行业, 以及丘陵、山区的小流量高扬程灌溉。本文简单介绍旋喷泵的发展进程, 并介绍其关键部件——叶轮和集流管的研究开发情况。需要说明的是, 尽管

旋喷泵在国外的生产应用已比较成熟, 但除了产品介绍与个别报道外^[1], 几乎看不到有关该泵的研究和设计方面的文章。而国内发表的文章, 几乎都是关于旋喷泵的设计和使用方面的初步探讨。因此, 要开发出性能先进的旋喷泵, 必须对其内部流动规律、设计原理和方法等作大量的研究工作。

1 旋喷泵在国内外的的发展概况

Steve Osborn^[1]对旋喷泵的发展历史、工作原理、结构、特点、应用等作了较全面的介绍。旋喷泵的结构原理是在 1923 年由 F. W. Krogh 提出, 他把皮托管的原理推广应用于泵的设计上, 故称为皮托泵。

第一台利用皮托管原理研制的泵是开式的, 有许多缺陷。直到 20 世纪 20 年代, 人们才研制出了闭式皮托泵。第二次世界大战爆发后, 德国和英国为开发火箭和导弹开始研制旋喷泵。随着二战的结束, 旋喷泵的研究陷入低谷。直到 20 世纪 60 年代, 人们发明了封闭叶轮和封盖, 这二者组成了一个径向的旋转叶轮才使得旋喷泵开始发展起来, 并最终形成了当前的基于皮托管原理的旋喷泵模型。此时, 众多的行业需要一种可以随意调节流量和在扬程曲线上全范围工作的性能稳定的高压泵。如在食品行业中清理系统就需要这种高压泵, 而旋喷泵恰好可以满足这种要求。这种清理系统在食品行业中到处可见, 如肉类包装、酿造、水果和蔬菜的罐头加工和饮料加工等。另外在造纸工业、石油化工与炼制以及电站中都需要具有这种工作特性的泵。在此背景下, 20 世纪 60 年代的美国出现了旋喷泵的专利, 到 70 年代, Kobe 公司生产出了第一台商用旋喷泵, 从此旋喷泵开始走向市场, 逐渐被人们所接受。此后七、八十年代在国际上出现了一段关于旋喷泵的专利高潮。在国外, 旋喷泵已具有比较令人满意的性能。

旋喷泵在国内的发展基本上经历了引进——消化吸收——开发生产这一过程。我国最早引进旋喷

收稿日期: 20011211219

作者简介: 许洪元, 教授, 博士生导师, 北京市清华大学热能工程系, 100084

泵是在 1987 年左右在炭黑新工艺改造中用于原料油的输送^[2]。温州有机化工厂的新工艺炭黑生产线的原料油从喉管进入, 要求有一定的压力且流量稳定。由于原料油是富含芳烃的非润滑性油, 对设备会造成磨损。在使用三螺杆泵、高压齿轮油泵以及多级离心泵时, 寿命都非常短, 低压下最长寿命仅能达到半年。在引进了美国两台 RO—S266 型旋喷泵投入运行半年后, 其运行状况仍然具有无脉动流动、压力稳定、运转平稳、不需检修、不磨损零件的特点。1988 年, 龙兴茂等^[3]对旋喷泵作了专题介绍, 详细介绍了旋喷泵结构和原理, 列出了系列产品的性能范围和所用的材料, 并说明了旋喷泵在小流量高扬程范围内的发展前景。他认为随着石油化工、化学工业、印染业、冶金业等的发展, 旋喷泵必然会得到发展和应用。董长善^[4]也专门对美国贝克休斯公司的旋喷泵进行了介绍, 详细列出了贝克休斯公司生产的 3 种旋喷泵的主要参数和主要部件的材料。

1989 年北京化工机械厂^[5]开始对旋喷泵进行调研和试制, 1992 年通过化工部鉴定。其中有 2 台泵在天津炭黑厂进行了工业性考核试验, 使用良好。经过他们的实验验证表明, 旋喷泵的扬程和功率曲线都比较平缓, 效率比高速泵要高 6%~8%。

随着旋喷泵的成功引进, 国内开始对旋喷泵的工作原理、结构特点、水力设计及使用条件等进行研究^[6~9], 取得了一些初步成果。杨军虎等^[10]进行了旋喷泵叶轮内的准三元流动计算, 计算显示叶片工作面速度先减小后增大, 叶片背面速度先增大后减小。旋喷泵作为国内的新泵型, 在推广和使用方面还缺乏经验。针对使用中的问题, 张宏等^[11]介绍了旋喷泵故障的预防和处理措施。目前, 旋喷泵在国内主要用于炭黑行业, 在其它行业应用量还很少, 主要是人们对其工作原理和结构特点了解不多。

2 叶轮的研究开发

旋喷泵的叶轮属极低比转数离心式叶轮, 为防止叶轮流道严重扩散, 导致小流量工况下工作不稳定及效率偏低, 常采用长短叶片结合的复合叶轮。王乐勤、朱祖超等关于极低比转数高速离心泵复合叶轮的研究成果^[12,13]可以作为旋喷泵叶轮设计的参考。齐学义、杨军虎等^[7~9]分析了影响旋喷泵性能的主要参数, 给出了计算叶轮和集流管几何参数的经验公式。并根据旋喷泵扬程—流量曲线特点, 提出了旋喷泵叶轮的优化设计数学模型、优化设计方法及水力参数的设计原则, 并进行了实例计算^[14]。修宝清^[15]也对旋喷泵设计计算中的一些内容进行了讨论, 推荐了一种设计方法。王成木等^[6]将 3 种型式

的叶轮和 4 种不同的集流管相匹配进行试验, 发现对于超低比转数旋喷泵来说, 长短叶片的复合叶轮(图 2)不如流道均匀规则的矩形断面的叶轮(图 3)的效率, 且后者结构简单, 不需铸造, 可采用全机加工的方法获得精度很高、表面粗糙度很小的叶轮, 值得进一步研究。

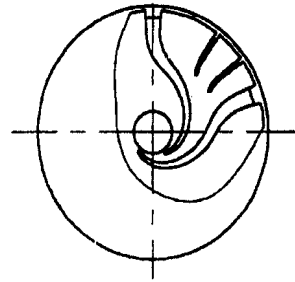


图 2 复合叶轮
Fig 2 Composite
impeller

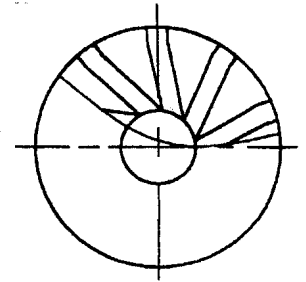


图 3 矩形断面叶轮
Fig 3 Rectangle section
of impeller

3 集流管的研究开发

集流管是旋喷泵的重要过流部件之一。旋喷泵利用皮托管原理就直接体现在集流管上, 转子腔加集流管即等于压水室。集流管的设计优劣对旋喷泵的效率至关重要。目前国内对比研究还很少。齐学义等^[9]对集流管的水力设计方法进行了探讨, 给出了集流管的进口直径、出口直径、扩散段高度、最佳扩散角等几何参数的计算公式, 并给出绕流阻力较小的集流管外部形状, 但缺乏验证。从文献看, 仅王成木等^[6]发表了有关旋喷泵水力性能的试验研究成果, 工作比较深入。他们设计了 4 个集流管方案, 主要是两种型式, \acute{E} 、 $^{\circ}$ 方案为双管结构(图 4), 仅 $S_{\acute{E}} > S_{^{\circ}}$, 其他相同; 、 、 、 方案为单管结构(图 5), 仅 $L_{\text{、}} < L_{\text{、}}$, 其他亦相同。 、 、 、 集流管的内外表面光滑。

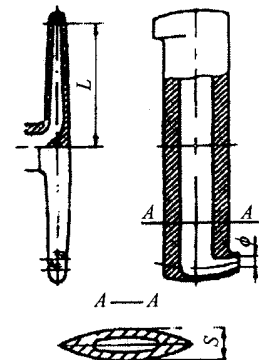


图 4 \acute{E} 、 $^{\circ}$ 方案集流
管简图
Fig 4 The sketch of
collecting pipe
scheme \acute{E} 、 $^{\circ}$

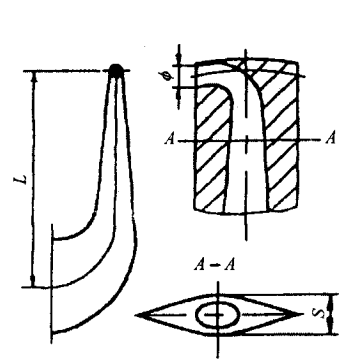


图 5 、 、 、 方案集流
管简图
Fig 5 The sketch of
collecting pipe scheme 、 、 、

洁度较高, E° 集流管内表面较粗糙。试验结果表明, 制造精度较高的单管比表面粗糙的双管损失小, 说明国外旋喷泵的集流管大多采用单管型式是合理的; 只增加叶轮直径而不增加集流管长度并不能增大泵的扬程; 集流管的喉部直径的大小不仅影响泵的能量特性, 而且直接影响集流管断面尺寸的大小, 因此, 适当选择该处流速至关重要。这些成果对集流管的设计具有重要的指导意义。

4 结 语

旋喷泵是一种值得推广的新型极低比转数泵。国外对它的设计、生产和使用已比较成熟, 但对其研究报道极少。国内对旋喷泵的研究开发尚处于起步阶段。在以下几方面尚需进一步开展工作, 使旋喷泵能在国内得到广泛的推广应用。

1) 旋喷泵内部流动的数值模拟。由于该泵结构的特殊性, 对其内部流动进行实验研究极其困难。利用数值模拟, 有助于了解旋喷泵内部流动, 对水力设计有参考价值。一般离心式叶轮内的数值模拟的文章已不少, 而复合叶轮内的数值模拟工作尚未开展, 转子腔和集流管中的流动数值模拟尚未见报道。

2) 旋喷泵的设计原理和设计方法研究, 目前还很不完善, 还有大量工作要做。相比于普通极低比转数离心泵, 两者的叶轮大体一致, 研究也较多。旋喷泵没有圆盘摩擦损失和蜗壳水力损失, 而多了转子腔和集流管的水力损失, 因此转子腔(集水管外部流场)和集水管的设计研究尤为重要。

3) 旋喷泵的外特性研究。主要是叶轮和集流管有关几何参数对泵性能影响的试验研究和理论分析, 为完善旋喷泵的设计方法积累资料。

4) 旋喷泵产品开发与推广应用。在我国石油化工、冶炼、炭黑等行业引进设备中旋喷泵并不少

见, 在近年来的化工设备中亦有用旋喷泵替代部分高压多级泵和高速泵的成功事例, 但国内自主开发的新产品很少, 应用量不大, 应加强这方面的工作。

[参 考 文 献]

- [1] Steve Osborn. The RotoJet pump: 25 years new [J]. World Pumps, 1996(12): 32~ 35.
- [2] 李 刚 引进设备, 完善新工艺炭黑生产线[J]. 炭黑工业, 1990(1): 16~ 17.
- [3] 龙兴茂, 史国平. 旋转喷射泵概述[J]. 水泵技术, 1988(3): 47~ 48.
- [4] 董长善. 美国贝克休斯公司的旋转喷射泵[J]. 石油化工设备技术, 1994(4): 38~ 39.
- [5] 刘长治. 小流量高扬程旋转喷射泵[J]. 石油化工设备技术, 1994(4): 36~ 37.
- [6] 王成木, 黎成行等. 旋喷泵水力性能的试验研究[J]. 水泵技术, 2000(5): 3~ 7.
- [7] 齐学义, 杨军虎, 刘在伦. 旋喷泵设计参数的分析讨论[J]. 流体机械, 1999(10): 19~ 21.
- [8] 齐学义, 李德忠, 杨军虎. 旋转喷射泵叶轮的设计方法探讨[J]. 水泵技术, 1999(6): 12~ 15.
- [9] 杨军虎, 齐学义. 旋喷泵的效率及集流管水力设计方法探讨[J]. 化工机械, 1996(2): 29~ 31.
- [10] 杨军虎, 马希金. 旋喷泵叶轮内的准三元流动计算[J]. 甘肃工业大学学报, 1994(3): 48~ 53.
- [11] 张 宏, 郭玉亮. 关于旋转喷射泵使用的几点体会[J]. 炭黑工业, 1999(1): 18~ 20.
- [12] 朱祖超. 超低比转数高速复合叶轮离心泵的设计方法[D]. 浙江大学, 1997.
- [13] 王乐勤, 朱祖超. 低比转数高速复合叶轮的设计理论与工业应用[J]. 流体机械, 1998(11): 18~ 22.
- [14] 杨军虎. 旋喷泵的理论扬程和叶轮的优化设计[J]. 甘肃工业大学学报, 1995(3): 26~ 29.
- [15] 修宝清. 旋转喷射泵的工作原理、特点及设计中几个问题的探讨[J]. 石化技术, 1999(3): 184~ 187.

Progress of the Research and Development of Roto-Jet Pump

Xu Hongyuan, Wang Xiaodong, Zhu Weihua, Zhao Xiaobing

(Department of Thermal Energy and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The rotojet pump is a low flow rate and high pressure pump based on the theory of Pitot pipe. It is a new type of very low specific speed pump with special configuration. The domestic and overseas development of the rotojet pump was introduced and the research and development of two key components—impeller and collecting pipe of the pump were introduced. Some proposals were put forward for next research.

Key words: rotojet pump; configuration; impeller; collecting pipe