高效无堵塞泵的研究开发与发展展望

施卫东，桑一萌，王 准，刘厚林，张启华
（江苏大学 流体机械工程技术研究中心，江苏 镇江 212013）

摘要：在系统归纳、总结了作为高效无堵塞泵叶轮的主要结构型式及其特点的基础上，重点探讨了双流道叶轮及压水室的设计方法，介绍了高效无堵塞泵水力设计 CAD 软件的开发与应用. 开发的高效无堵塞泵系列产品综合技术指标居国内领先和国际先进水平，已被江苏亚太泵业集团公司等几十家企业生产，并在国内外重点工程上广泛应用，取得了十分显著的经济和社会效益. 对高效无堵塞泵发展的深入展望，给今后的研究工作指明了方向.

关键词：无堵塞泵；设计方法；研究开发；发展展望
中图分类号：TH311 **文献标识码**：A **文章编号**：1005 - 6254(2006)06 - 0048 - 05

Development and prospect of non-clogging pump with high-efficiency

SHI Wei-dong, *SANG Yi-meng*, *WANG Zhun*, *LIU Hou-lin*, *ZHANG Qi-hua*
(Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: The present status of impeller design of non-clogging pump was summarized systematically. The design methods for the two channel impeller and its volute were discussed specifically. The CAD software for the hydraulic design of the non-clogging pump with high efficiency was introduced. The technology indices on a new series of the non-clogging pump with high efficiency have reached the advanced level of the world. The prospects of the non-clogging pumps with high-efficiency are also discussed.

Key words: non-clogging pump; design method; research development; prospect

高效无堵塞泵主要用于输送工业流程、生活污水、工业废水等中含有固体颗粒悬浮物或纤维状悬浮物的液体，例如抽送污水污物、泥浆、纸浆、灰渣、粮食淀粉、鱼虾贝壳等. 它广泛用于市政、环保、污水处理、轻工、化工、矿山、石油、水利、冶金等行业. 无堵塞泵形状特殊，流动复杂，是近年来国内外热门的研究课题和重点开发的新产品[1,2]。

江苏大学流体机械工程技术研究中心自 20 世纪 80 年代末开始，在借鉴国外先进经验的基础上，在国内，首次对污水污物潜水电泵进行了较为系统的研究. 1998 年至 2000 年，施卫东等主持了江苏省“九五”重大科技攻关项目‘高效无堵塞泵’的研究，在高效无堵塞泵叶轮结构型式的选择、高效无堵塞泵设计方法的进一步完善与提高、计算机辅助水力设计软件开发、高效无堵塞泵内部流场的数值模拟、系列产品的设计与开发、成果的推广应用与产业化等方面取得了较大突破，产生了显著的经济和社会效益[3]. 研究成果多次荣获国家及省、部级科技进步奖，已被江苏亚太泵业集团公司等几十家企业批量生产，并在上海宝钢等国内外工程上广泛应用，取得了十分显著的经济和社会效益.

1 高效无堵塞泵设计方法研究

1.1 高效无堵塞泵叶轮结构型式的研究

根据对国内外无堵塞泵整体结构的分析，目前

收稿日期：2006 - 07 - 05
基金项目：国家自然科学基金资助项目(50509009)；江苏省‘333 工程’学术技术带头人培养资金资助项目.
作者简介：施卫东(1964 -)，男，江苏南通人，研究员，博士生导师，主要从事流体机械及工程的研究.
桑一萌(1978 -)，女，辽宁丹东人，硕士研究生，主要从事泵技术的研究.
万方数据

常用的有潜水式无堵塞泵、立式无堵塞泵和卧式无堵塞泵等. 而无论是何种结构形式的无堵塞泵，要想实现无堵塞性能，关键在于叶轮的结构型式. 作者结合多年从事污水污物潜水电泵的设计经验，借鉴国外一些公司生产的潜水电泵叶轮的结构型式、特点及其工程应用[1]，通过消化、吸收先进技术，归纳、总结出了目前作为高效无堵塞泵叶轮的主要结构型式及其特点[4].

1.1.1　闭式叶轮

闭式叶轮的设计、制造与一般离心泵相仿. 优点是效率相对较高，能够保证在较长时间内运行工况稳定. 缺点是易缠绕，抗堵塞性能很差，故一般不用.

1.1.2　开式或半开式叶轮

开式或半开式叶轮的优点是制造方便，当叶轮内堵塞时易于清理. 缺点是磨损后会造成叶轮与前泵盖内侧壁的间隙增大，导致效率下降，并造成大量的旋涡损失. 同时还会使泵的轴向力增加，流道间液流的稳定性也较差，易引起较大的径向力及振动.

1.1.3　旋流式叶轮

旋流式叶轮结构简单，容易制造，且性能稳定，运行可靠，具有良好的无堵塞性能，特别适合于输送未经处理的、含有固体物和易产生缠绕或聚束的纤维状物质的液体. 主要缺点是效率低，无损性较差. 旋流泵通常采用江苏大学关醒凡教授等提出的以叶轮外径、压水室最大半径和压水室喉部面积为三要素的设计方法进行设计[5,6].

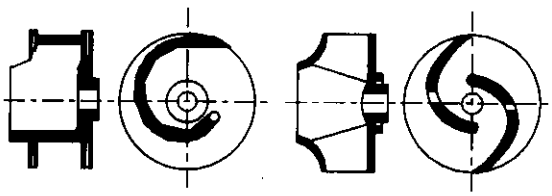
1.1.4　螺旋离心式叶轮

螺旋离心式叶轮无堵塞性能好，通过能力强，且流动平稳，无损性好，效率高，功率曲线比较平坦，吸入性能好，输送浓度高. 主要缺点是叶轮制造比较困难，且一般很难掌握和控制. 且在小流量运行时会产生较大的振动和噪声. 螺旋离心泵通常采用两条流线方格网保角变换法进行设计[5,6].

1.1.5　流道式叶轮

流道式叶轮又称无叶片叶轮，并可分为单流道叶轮和双流道叶轮两种，从叶轮进口至出口分别是一个或两个弯曲的流道，适合于输送大颗粒或含长纤维物质的液体，如图 1 所示. 它的抗缠绕、无堵塞性能在几种无堵塞叶轮中为最佳，泵的效率较高，功率曲线较平坦，耐磨损性也较好. 尤其对于双流道式叶轮，平衡性好，运行平稳、可靠，适合于较大流量和较高扬程.

经广泛调研、用户使用，并从抗缠绕、无堵塞性能、通过能力、效率指标、工艺性、经济性、可靠性、先进性等的综合分析，决定在高效无堵塞泵系列产品的开发中主要采用双流道叶轮结构型式.



(a) 单流道叶轮　　(b) 双流道叶轮

图 1　流道式叶轮

1.2　双流道叶轮的设计方法

通过对比转数 $n_s = 30 \sim 420$ 的 50 余种规格的双流道无堵塞泵的设计、试制、试验，经正交分析、对比，用最小二乘法回归计算出了用速度系数法设计双流道叶轮时的有关系数值[7,8].

1.2.1　叶轮进口直径

$$D_j = k_j \sqrt[3]{Q/n}$$

式中，$k_j = 3.5 \sim 5.0$. 其中主要考虑效率时，$k_j = 3.5 \sim 4.0$；兼顾效率和汽蚀时，$k_j = 4.0 \sim 4.5$；主要考虑汽蚀时，$k_j = 4.5 \sim 5.0$.

但是，计算出 D_j 后，要对叶轮进口处的液流速度进行验算，流速不得小于固体物的临界沉降速度.

1.2.2　叶轮出口直径

$$D_2 = k_2 \sqrt[3]{Q/n}$$

式中，$k_2 = (9.5 \sim 10.5)\left(\frac{n_s}{100}\right)^{-1/2}$，其中比转数小时取大值；比转数大时取小值.

1.2.3　叶轮出口宽度

叶轮的出口宽度 b_2 要保证液体中的固体物能顺利通过，因此，当叶轮流道出口断面大致为圆形时，$b_2 = (0.60 \sim 0.75) D_j$；而当叶轮流道出口断面不是圆形时，$b_2$ 可取较小值，但应保证单个流道出口断面面积大致等于叶轮进口断面面积的一半.

同时，为了防止在叶轮中堵塞，整个流道的最小过流断面应大于输送的最大固体颗粒.

1.3　压水室的设计方法

在高效无堵塞泵的设计中，压水室的形状通常有螺旋形、环形和中介形三种，至于采用何种形式的压水室，主要根据泵的比转数高低及通过颗粒的大小而定. 这三种压水室的断面形状也有梯形、矩形和半圆形三种. 在一般的高效无堵塞泵设计中，常采用介于螺旋形和环形压水室之间的中介形压水室，这种压水室隔舌较短，既可保证在最大颗粒通过时无堵塞，又可使压水室获得较高的水力效率，且尺寸较

万方数据

小,也容易制造. 实践证明,这是十分可行的.

为了使大颗粒和长纤维能顺利通过,中介形压水室的基圆直径通常比一般离心泵大. 考虑到流道式叶轮内的大颗粒可能在错过隔舌位置进入涡室,因而实际通过的颗粒要比基圆和叶轮出口间的间隙尺寸大得多. 因此,基圆直径可根据泵的大小和通过能量酌情确定.

压水室内流速确定后,可按一般离心泵的作图步骤来设计各断面.

1.4 高效无堵塞泵的水力设计 CAD 软件

为了提高设计的速度和精度,我们依据实用性、易用性、智能性的原则,选用 Windows 98/2000/XP/NT 作为操作系统,在 Auto CAD 2000/2004 平台上,用 Microsoft Visual C + +5.0 进行 ARX、ADS 编程,并在高效无堵塞泵设计方法的基础上,开发成功了高效无堵塞泵双流道叶轮、单流道叶轮、压水室的计算机辅助水力设计 CAD 软件[7].

由于该水力设计软件以归纳、总结出的优秀水力模型作为基础,从而可以在设计时自动进行参数优化,因而能使一般技术人员设计出高性能的泵,并可对优秀水力模型进行完全模仿. 设计中安排的人机对话,可以将具有丰富设计经验的技术人员先进的、与众不同的设计思想充分体现出来.

高效无堵塞泵的水力设计 CAD 软件功能齐全,实用性强,设计范围广,可设计任意参数、任何结构形式的高效无堵塞泵,应用广泛,并已先后转让了 100 余家泵厂,使用效果良好,深受用户好评,为我国泵行业的技术进步作出了积极贡献.

2 高效无堵塞泵系列产品开发

根据高效无堵塞泵的国内外发展现状、主要应用领域及市场需要情况,本着先进性、安全性、可靠性和经济性相结合的原则,先后开发成功了潜水排污泵、立式排污泵、无堵塞料浆泵、多功能清淤排污泵及其他特种无堵塞泵系列产品[3],并建立了产品优化设计软件包. 产品的综合技术指标居国内领先和国际先进水平. 开发的产品已被江苏亚太泵业集团公司、山东双轮集团有限公司等几十家企业生产,年产值达 5 亿元以上,并在国内外重点工程上广泛应用,同时还出口创汇,取得了十分显著的经济和社会效益.

2.1 潜水排污泵系列产品开发

潜水排污泵是高效无堵塞泵的一种最主要结构型式,由于它本身及选用潜水排污泵的泵站工程具有很多优点[9,10],它可使工程造价大大降低,安装维护方便,操作简单,运行条件大为改善. 因此,目前日处理能力 25 万吨以下的污水处理厂大部分采用潜水排污泵.

产品设计中,为了提高产品的标准化程度,增强通用性和互换性,采用按照电机机座号分类的办法来设计潜水电机的部装结构. 因此,从 1.5 ~250 kW 的几十种乃至上百种规格的系列产品只采用了 16 种潜水电机部装、共计 28 种规格的潜水电机,可使一种电机部装配数个泵头,从而使其通用化程度大幅度提高. 潜水电机的定、转子选用普通 Y 型电机的定、转子,便于降低成本,适合批量生产,给用户的选型、配套、维修带来了极大的方便. 潜水排污泵结构如图 2 所示.

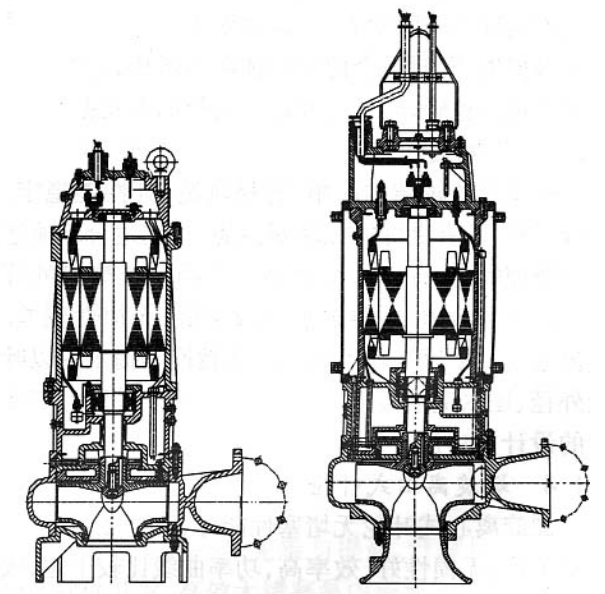


图 2 潜水排污泵结构图

为了保证潜水排污泵安全可靠地运行,开发、设计了潜水排污泵专用保护控制柜,它可对潜水排污泵进行全自动保护(过载、缺相、短路、超温、渗漏等保护). 控制柜能控制一台至多台泵的自动运行,控制系统将根据水位、泵的运行时间和工作状态,自动投入运行泵台数,控制电泵自动运行或停止. 系统运行安全可靠,控制灵活自如,操作简单,便于实现远距离无人化管理和自动化运行监测.

对于电机功率 11 kW 以下的小型潜水排污泵,一般采用自由移动式安装. 而潜水排污泵的另一主要安装型式为固定式安装,为了便于安装、检修和维护保养,设计、开发了口径 ϕ 为 50 ~600 mm 的全系列潜水排污泵自动耦合安装装置. 采用自动耦合安

万方数据

装装置，维护、保养、检修时只要将泵沿导轨吊出即可，不用人进入污水中拆卸、十分方便. 不仅可以实现泵的快速安装与起吊，而且还可大大减轻工人的劳动强度，改善劳动条件.

2.2　立式排污泵系列产品开发

立式排污泵属于高效无堵塞泵的一种，采用立式结构的主要优点是结构紧凑，占地面积小，安装、维修方便，如图 3 所示.

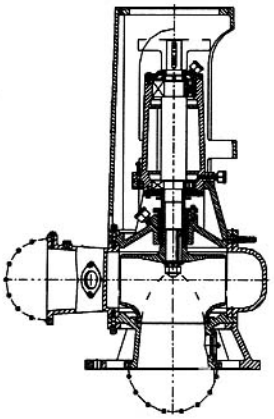


图 3　立式排污泵结构图

产品设计中，保证轴承架在某一功率范围内通用，功率相同的泵尽量采用相同的电机架. 叶轮与泵体之间装有可更换的密封环，以保证泵以最佳效率运行. 下端的进口锥管与进水管道直接相联，并用橡胶板隔垫，以保证良好的气密性能. 进、出口检查孔主要用于停泵后打开检查进、出水管用. 采用加长轴结构使该泵在具有特殊要求的场合使用，扩大应用范围，同时还可使泵房与电动机房分离，大大改善运行条件和操作管理人员的作业环境，减轻劳动强度.

2.3　无堵塞料浆泵系列产品开发

无堵塞料浆泵是造纸工艺流程中的关键设备之一，是制浆机械、造纸机械配套的主要产品. 国内对于料浆泵的研究工作开展的比较少，其老产品不仅效率低，而且堵塞现象十分严重，从而大大束缚了造纸厂的生产能力.

产品设计中，努力提高可靠性，增加使用寿命. 轴承体采用上、下中开结构，泵体采用前、后开门结构，便于维修、保养. 叶轮进行动、静平衡试验，平衡性能好. 叶轮背面设置背叶片，以减少泄漏和防止堵塞，并采用合理的密封结构. 对于较高扬程的料浆泵，可通过在叶轮上开设平衡孔的办法来平衡轴向力，从而保证料浆泵能够安全可靠地运行. 为了增强通用性和互换性，扩大使用范围，目前整个系列只采用了四种悬架部件，从而不仅给用户的选型、配套、维修带来了极大的方便，而且还大大降低了生产成本. 无堵塞料浆泵结构如图 4 所示.

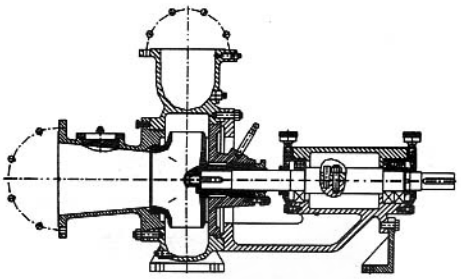


图 4　无堵塞料浆泵结构图

2.4　多功能清淤排污泵系列产品开发

根据市场使用普通排污泵在输送污水污物时无法解决存在的沉淀物顺利排放的不足，根据作者长期以来对有关潜水排污泵的研究，结合用户的实际需要，研究、开发了多功能清淤排污泵系列产品.

在开发多功能清淤排污泵系列产品的过程中，针对污水处理中普通排污泵在清淤方面存在的不足，在结构设计上进行了大胆创新，在原有排污泵结构的基础上，增加了多功能清淤排污装置，增加了内、外引液冲洗滑动轴承及润滑系统. 多功能清淤排污泵结构如图 5 所示.

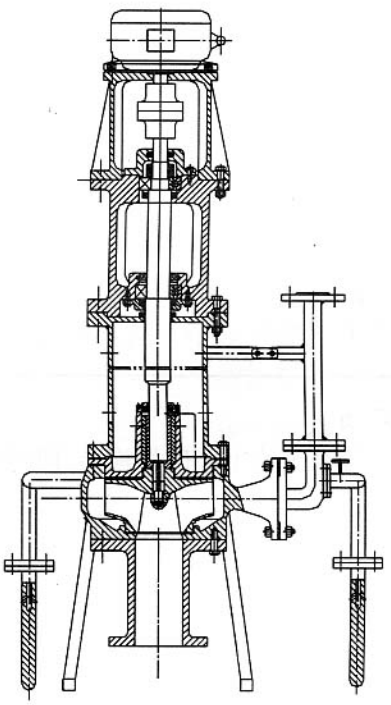


图 5　多功能清淤排污泵结构图

多功能清淤排污装置是在一个无堵塞排污泵的四周安装一个配带多冲头的环行管路，在排污泵出口的侧面有一个装滤网的通孔，滤网的位置垂直于

万方数据

水平面,通孔与环行管路相通并与多冲头的喷嘴相通. 当排污泵抽送污水污物时,有一部分污水(称为返回流)经滤网过滤后通过环行管路从各个冲头的喷嘴喷向污水池中的沉淀物,经高压水把沉淀物冲击、搅拌成悬浮物,通过无堵塞排污泵排至池外.

3 高效无堵塞泵发展展望

(1)进一步完善和发展高效无堵塞泵的设计理论与方法,增强泵的通过能力,提高泵的效率和运行可靠性,降低泵的振动和噪声.

(2)进一步开发具有三维实体造型功能的高效无堵塞泵 CAD 软件,并且与 CAM、CAPP 技术相结合,形成泵的计算机集成制造系统 CIMS.

(3)继续加强两相流理论和数值计算方法的研究. 由于目前两相流理论大部分都采用近似模型和经验公式,理论与事实存在较大误差. 因此,建立和完善两相流理论不仅具有重要的学术价值,而且还具有广泛的应用前景.

(4)开发集 CAD 与 CFD 功能于一体的软件[11]. 同时,在 CFD 计算的基础上,进一步开展泵性能预测工作的研究,并与 CFD 一起形成一个完整的系统,最终为泵的反问题求解、改善泵的性能打下良好的基础.

(5)加强流场测试技术的研究. 数值模拟的结果最终要与试验结果相比较,才能检验数值计算方法的正确与否. PIV、PDPA 技术的发展,为三维流场的测试提供了可能.

(6)加强高效无堵塞泵材料及磨蚀机理的研究. 搞清楚泵的磨蚀机理,对于合理设计和延长泵的使用寿命具有重要意义. 在高效无堵塞泵中应积极推广使用不锈钢、工程塑料等防腐耐磨材料.

(7)针对目标市场进行多样化、特种化研究与开发,以满足不同介质输送的要求. 即根据输送介质和运行条件的特点,设计、开发、制造通过能力适当,效率高,可靠性高,运行安全性好的产品.

参考文献(References)

[1] KSB A G. Sewage pump designed for high efficiency [J]. *World Pumps*, 1996(4):42 - 43.

[2] Frost, Sullian. Submersible pumping in the European sludge treatment industry[J]. *World Pumps*, 1998(7): 26 - 29.

[3] 施卫东. 高效无堵塞泵的研究开发及内部流场数值模拟[D]. 镇江:江苏大学,2006.

[4] 施卫东. 污水泵水力设计综述[J]. 流体机械,1997,25(8):26 - 29, 37.

[5] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京:宇航出版社,1995.

[6] 关醒凡,张 涛,魏 东,等. 无堵塞泵设计及结构研究[J]. 排灌机械,2003,21(4):1 - 4.

[7] 刘厚林. 流道式无堵塞泵 CAD 软件开发及三维不可压湍流计算[D]. 镇江:江苏理工大学,2001.

[8] 刘厚林,关醒凡. 双流道叶轮的设计方法[J]. 流体机械,1999,27(9):15 - 17.

[9] 施卫东. 潜水电泵的结构与安装形式[J]. 中国农村水利水电,1999(8):34 - 36.

[10] 施卫东,关醒凡,曹卫东. 污水污物潜水电泵的研究现状与典型结构分析[J]. 排灌机械,1997,15(3):9 - 11.

[11] 王福军,黎耀军,王文娥,等. 水泵 CFD 应用中的若干问题与思考[J]. 排灌机械,2005,23(5):1 - 10.

(责任编辑 贾国方)

(上接第 47 页)

(4) 加强管子的出厂质量检验,同时对预应力混凝土管子的制作、运输、装卸、施工、安装等各环节要认真把关,确保各个环节的质量控制.

(5) 对长管道及管线局部凸起处要设进排气补气阀,防止事故停泵管道中产生过大的负压.

参考文献(References)

[1] 金 锥,姜乃昌,汪兴华,等. 停泵水锤及其防护[M]. 第二版. 北京:中国建筑工业出版社,2004:1.

[2] 栾鸿儒. 水泵及水泵站[M]. 北京:水利电力出版社,1995:262 - 266.

[3] 梁 兴,刘梅清,张进国,等. 空气罐对输水管道水锤的防护研究[J]. 排灌机械,2005,23(6):16 - 18.

[4] 蒋桂林,周龙才,冯 军,等. 惠州深能源丰达电厂取水工程水锤计算与防护[J]. 排灌机械,2005,23(1):15 - 18.

[5] 贾伟智. 有压输水管道的排(进)气问题研究[J]. 人民黄河,2004,26(9):24 - 26.

[6] 耿灵生,郝晓晖. 多功能水泵控制阀在水厂的应用[J]. 排灌机械,2004,22(4):20 - 22.

[7] 杨远东,邓志光. 停泵水锤计算及其防护措施[J]. 中国给水排水,2000,16(5):29 - 32.

(责任编辑 张文涛)

万方数据