

[安装·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.026

叶轮叶片型线对冲压焊接多级离心泵性能的影响

朱波,牟介刚,郑水华,赵锦靖,甘建军,黄辉

(浙江工业大学机械工程学院,浙江杭州 310014)

摘要:以DQ100-64-22型冲压泵为研究对象,对设计空间扭曲叶片、倒角空间扭曲叶片和圆柱形叶片3种不同叶型的冲压焊接离心泵内部流场进行CFD数值模拟分析和样机实验。研究表明,在空间叶片与叶轮前后盖板连接处进行倒角对泵性能影响不大,但可以改变入口流态,减小入口处的冲击损失;圆柱形叶片对泵内部流场和水力性能影响较大,但在流量比较低时,对泵扬程和效率的影响很小。研究结论对冲压泵型线的设计和实际生产都有一定的指导意义。图6参10

关键词:冲压泵;叶片型线;数值模拟;实验研究

中图分类号:TH311

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2012)06-0095-04

Influence of Impeller Blade Style on Performance of Stamping and Welding Multistage Centrifugal Pump

ZHU Bo, MU Jiegang, ZHENG Shuihua, ZHAO Jinjing, GAN Jianjun, HUANG Hui

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Taking DQ100-64-22 stamping pump as study object, the paper proceeded inner flow field of three different blades—space distorted blade, chamfer space distorted blade and cylindrical blade—stamping welding centrifugal pump with CFD numerical simulation and experimental investigation. The results indicate that processing fillet at the connecting section of space blade and shafts being chamfer only results in slight influence on the pump performance, but can change the inlet flow state and decreases impact losses of the inlet spot. The cylindrical blade has great influence on both inner flow field and hydraulic performance of pump in the high flow rate situation. The research can provide a good support for the vane curve design and manufacture of stamping and welding multistage centrifugal pumps. [Ch, 6 fig. 10 ref.]

Key words: stamping and welding multistage centrifugal pump; vane curve; numerical simulation; experimental investigation

0 引言

冲压焊接离心泵具有流道表面光滑, 清洁环保, 制造过程省时省材, 使用寿命长和维修替换方便等优点^[1-2], 已经成为泵发展的主要方向。国外在冲压泵的发展和应用上都较早, 对冲压泵的研究也相对成熟; 而国内引进冲压泵较晚, 近年来, 对冲压焊接离心泵的设计、优化及工艺上的研究工作已经取得了一定的成果, 但与国外相比仍比较落后, 多数企业冲压泵的生产还

是以仿制改进为主。

有研究表明叶片型线对离心泵的性能具有重要的影响作用^[3]。由于加工工艺的原因, 铸造泵的叶轮叶片, 很难达到所设计叶轮叶片型线的要求, 因此对泵型线的相关试验研究和数值模拟的工作还处于起步阶段。而冲压泵的叶片, 是用模具冲压而成, 叶片可以较完美地接近设计曲线^[4]。随着冲压泵的发展, 有必要对叶片型线对泵性能的影响展开相关研究。低比转速

收稿日期:2012-04-07;修回日期:2012-04-23

作者简介:朱波(1986),男,山东肥城人,浙江工业大学流体机械及工程2010级硕士研究生,从事叶片泵相关理论和设计的研究。E-mail:zhuho363@163.com

泵的结构相对较小,为简化工艺,往往采用圆柱叶片来代替扭曲叶片,因此对泵的叶型进行研究对实际生产制造具有指导意义。在 DQ100-64-22 型冲压泵叶轮基础上,通过改变叶轮的叶片型式进行模拟比较,研究不同叶片型线对泵内流场和外特性产生的影响。

1 研究方案

DQ100-64-22 型冲压泵第 1 级的相关性能如表 1 所示。

表 1 泵第 1 级设计工况性能参数
Table 1 Performance parameters of pump
first stage impeller in design condition

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	扬程/m	效率/%	NPSH/m
64	22	76	3

DQ100-64-22 型多级冲压泵的全流体域三维实体建模可以实现,但是模拟时需要划分大量的网格,并且边界条件的定义容易出现大量的错误。综合考虑,只对其中一个套筒内的一级进行建模,包括叶轮、导叶和前后泵腔等所有流体域。

DQ100-64-22 型冲压泵的叶轮出口外径为 $d_2 = 142 \text{ mm}$, 叶轮进口直径 $d_1 = 80 \text{ mm}$, 流域厚度为 13 mm , 叶片数为 6, 叶片厚度为 1 mm 。叶片型线为空间扭曲曲线。

选取 3 种叶轮叶片型线方案进行 CFD 数值模拟。这 3 种叶片方案分别是设计叶片、圆柱叶片和倒圆角空间扭曲叶片(以下简称倒角叶片)。设计叶片方案是 DQ100-64-22 型冲压泵本身的设计空间扭曲叶片,也就是原模型的叶片型线。圆柱叶片是沿泵轴单向弯曲的,叶片与前后盖板垂直。倒角方案是在原设计叶片与盖板处增加过渡圆角连接而形成的一种叶片模型。冲压泵的叶片与盖板直接焊接在一起,连接处不存在过渡圆角,而铸造工艺决定了铸造泵的叶片与盖板的连接处存在一个过渡圆角。针对两种加工工艺特点的不同,设置倒角叶片型线方案。

采用这 3 种叶片型线的叶轮,与泵体其他部分组装成 3 个不同的水力模型,应用 Pro/E 软件进行三维建模,然后进行网格划分和数值模拟计算,得出稳态时泵出口流场的速度、压力等参数。对比分析在相同叶片厚度条件下,不同的型线对泵流场和性能效率的影响。

2 数值模拟研究

2.1 模型的建立及网格划分

以设计型线叶轮为例,利用 Pro/E 软件对泵单级

内的叶轮、导叶和前后泵腔等流体域进行三维建模,然后组装成整体,导入 gambit 软件,大部分区域采用非结构化网格划分,对前后泵腔流域的连接处进行加密处理。

2.2 控制方程及边界条件

应用 Fluent 软件模拟时,湍流模型选用 Realizable $k-\epsilon$ 模型^[5]。叶轮旋转区域与前后泵腔静止区域之间的流固耦合模型选用多参考坐标系模型(Multiple Reference Frame)^[6-7]。压力和速度之间耦合算法采用 SIMPLE 算法^[8],残差设定为 10^{-3} 数量级。

进口边界条件定义为 Velocity-inlet, 出口采用 outflow。叶轮出口与前后泵腔连接处的交接面都为 interface, 前后泵腔交接处与导叶流域入口也设置为 interface。叶轮、导叶及其它面都定义为 wall。在 Fluent 中设定边界,入口速度大小通过计算泵的流量得到;叶片水力模型外表面、前后泵腔水力模型的内表面以及叶片四周的面都设置为 moving wall, 绕轴转动,速度为 $2\ 900 \text{ r/min}$, 其它的 wall 都设为默认的静止状态。

3 计算结果分析

3.1 内流场流动特性的影响分析

图 1 分别为设计叶片、圆柱叶片和倒角叶片方案的水力模型在 $x = 0.022 \text{ m}$ 截面和 $z = 0$ 截面的泵内流场静压云图。

圆柱叶片模型内流场整体压力明显低于其它叶型。圆柱叶片模型入口流道较狭窄,液体流动受阻,所以在入口处叶片工作面附近有低压区,容易发生汽蚀;从叶轮入口到叶轮出口,液体压力先降低,再升高,不同于其他方案的压力逐渐升高的变化规律。圆柱叶片径向尺寸相对较短,所以叶轮对泵内的压力提升作用比较小,导致叶轮出口压力及泵内整体的压力较低。倒角叶片,虽然使得叶片入口端更加光滑,有利于减少入口处的冲击损失,但是对泵内流态尤其是压力变化的影响不大。

图 2 分别为设计叶片、圆柱叶片和倒角叶片的速度云图。由于叶片的转速相同,每个方案内液体的最大速度相同,整体的速度分布相似。圆柱叶片叶轮内的整体速度分布相比其它方案有较大区别:由于圆柱叶片垂直于盖板,工作面垂直作用于流体,所以流体的周向速度较大;而空间扭曲的叶片,工作面与流体周向速度的分布面成一定的角度,所以液体周向速度相对较小,但垂直于叶片工作面的方向的速度较大。圆柱叶片叶轮在接近于转轴处,由于没有叶片分布,所以存

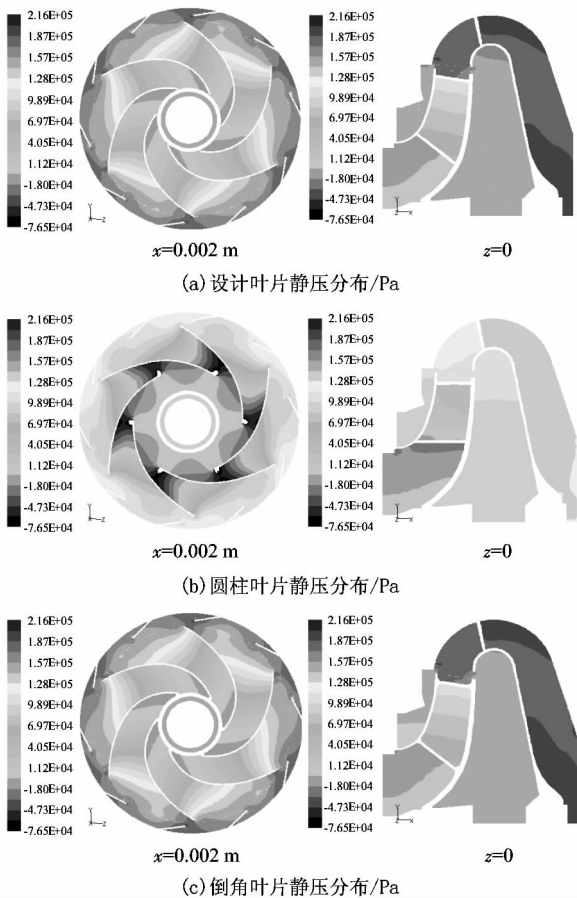


图1 3种叶型方案的静压云图

Figure 1 Static pressure distribution of 3 vane curves impellers

在速度相对最低的区域。在叶轮出口处,圆柱叶片叶轮内的两个叶片之间区域,周向速度较小,说明圆柱叶片模型产生的动压较小。

右侧截面速度云图显示,圆柱叶片方案前后泵腔的速度变化最明显,这说明圆柱叶片导致出口周向速度较大,带动前后泵腔的液体旋转,容易造成能力损耗。倒角叶片方案的叶轮内流场大致接近设计方案,只是在叶片入口处,倒角的存在使得流体流动更加流畅,低压区较少,流态更加平缓稳定。

3.2 泵效率技术指标的对比分析

图3和图4分别为不同叶片叶型相应的扬程对比图和效率对比图。

由图3可以看出,圆柱叶片的扬程随流量的变化较大,当流量增大时,扬程下降明显,在流量为 $80 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程比其他叶型低了约15%;而在流量为 $32 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,圆柱叶片的扬程与其它类型叶片方案比较接近;在设计流量时扬程约为15 m,相对其它叶型较低。圆柱叶片用于低流量高扬程的低比转速泵的设计时,扬程

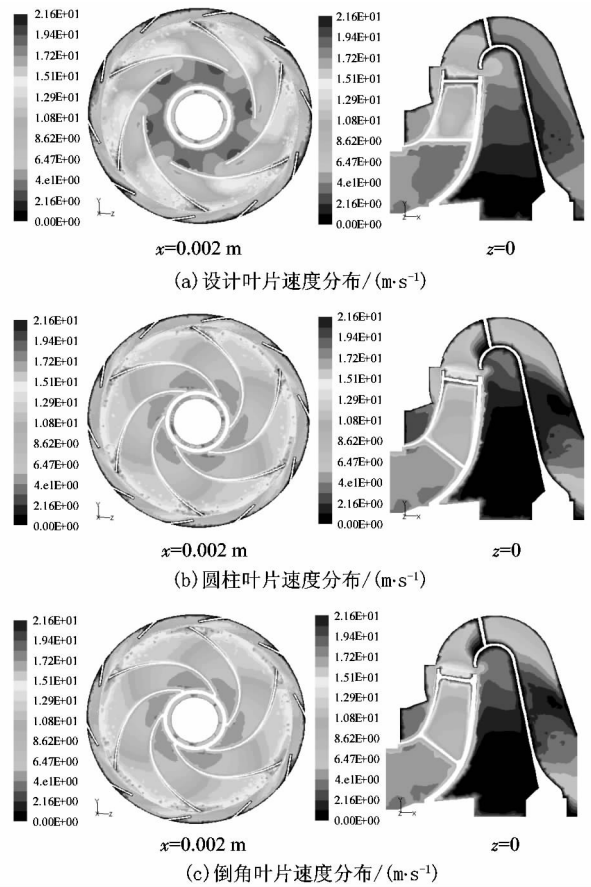


图2 3种叶型方案的速度云图

Figure 2 Velocity distribution of 3 vane curves impellers

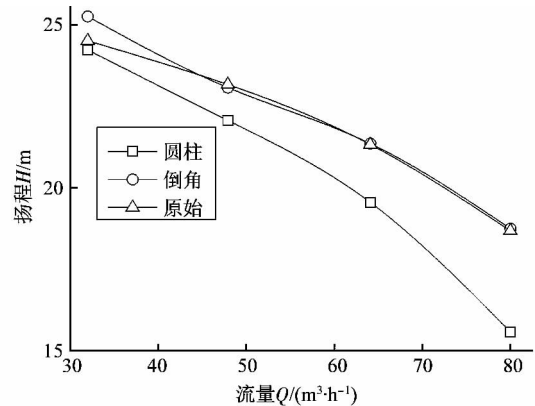


图3 3种叶型流量扬程曲线对比图

Figure 3 $H-Q$ performance curves

与空间叶型几乎没差别。因此在低比转速、超低比转速的叶轮设计中,完全可以采用圆柱叶片叶型。另外,倒角叶片方案扬程的变化与设计叶片大致相同。但当流量较小时,倒角叶片对应的扬程略高于设计叶片。

从图4可以看出,流量较小时,直叶片叶型方案效率曲线变化与其它叶型基本一致。流量增大到一定值

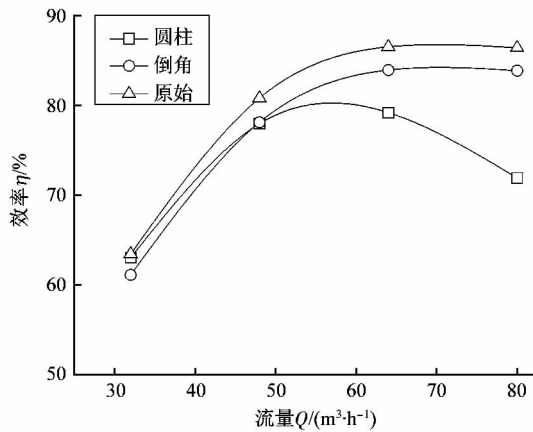


图 4 3 种叶型流量效率曲线对比图

Figure 4 $\eta-Q$ performance curves

时,直叶片叶型的效率曲线就开始明显的下降,当流量为 $80 \text{ m}^3/\text{h}$ 时效率下降了约 10%。图 4 进一步说明了,圆柱叶片叶型,在设计低比转速和超低比转速冲压泵时,能够保持良好的水力性能。而对叶片倒角,泵的效率没有明显变化。

4 实验研究

选取叶片倒圆角方案进行了实验研究,以验证模拟结果的准确性。对比试验与模拟结果见图 5 和图 6,实验所测扬程稍高于模拟结果,而实验的效率曲线略低于模拟的效率曲线。由于数值模拟对泵的结构做了适当的简化,如泵的进出口、法兰等在建模过程中都没有考虑,导致模拟的效率远高于试验的效率,考虑到容积和机械损失,比较两者数据时,对模拟的效率数据做了修正处理^[9-10]。从结果看,模拟与实验相符合,证明了模拟结果的可靠性,叶型的模拟结果可以用作分析。

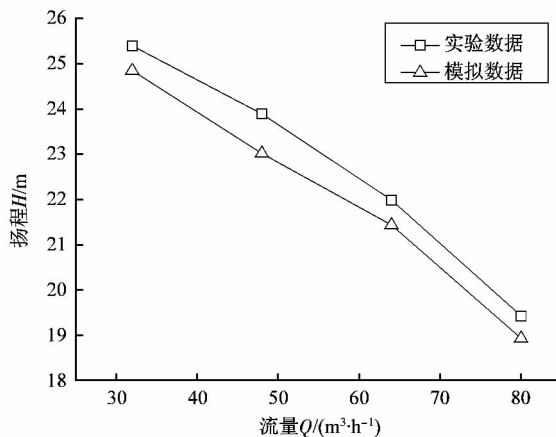


图 5 实验结果与模拟结果的扬程对比图

Figure 5 $H-Q$ performance curves of simulation and experimental results

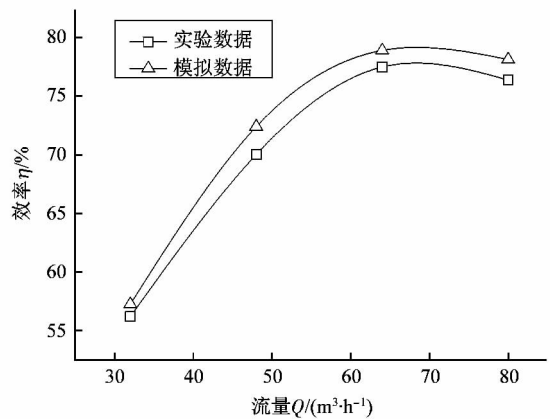


图 6 实验结果与模拟结果的效率对比图

Figure 6 $\eta-Q$ performance curves of simulation and experimental results

5 结论

1) 采用圆柱叶片叶型的泵,其内部流场的整体压力明显低于空间扭曲叶片叶型的内部流场压力,而且其内部流场的周向速度更大。

2) 相对于空间扭曲叶片而言,采用圆柱叶片的泵,流量增大时,扬程下降明显,并且泵的效率也大幅降低。但当流量比较小时,圆柱片叶型泵的扬程和效率随流量的变化趋势与其它叶型基本保持一致。

3) 对叶片和盖板连接处进行倒圆角处理,可以使叶片入口处流体的流动更加平缓稳定,低压区较少,有利于减少入口处的冲击损失,但是对泵其他流域的流场及泵的扬程和效率变化的影响不大。

参考文献 (References):

- [1] 刘元义,蔡保元,霍春源. 不锈钢冲压焊接多级泵研究发展现状及应用前景[J]. 淄博学院学报,2002,4(4):66-69.
- [2] 钱家祥,童志成,陈文正. 冲压泵的特点及其应用[J]. 流体机械,1999,27(8):30-33.
- [3] 朱玉才,武春彬,李莉. 离心泵无分离条件下叶片型线对比试验[J]. 辽宁工程技术大学学报,2003,22(6):844-846.
- [4] 王广业. 不锈钢冲压焊接多级离心泵叶轮优化设计及 CFD 分析[D]. 淄博:山东理工大学,2006.
- [5] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [6] ANAGNOSTOPOULOS J S. A fast numerical method for flow analysis and blade design in centrifugal pump impellers [J]. Computer & Fluids, 2008(2):1-6.
- [7] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 柏威,鄂学全. 基于非结构化同位网格的 SIMPLE 算法[J]. 计算力学学报,2003,20(6):702-709.
- [9] 张韬. FLG40-200 离心泵内流场数值模拟及性能改善[D]. 杭州:浙江工业大学,2009.
- [10] 陈松松,阮越广,阮晓东,等. 半开式叶轮离心泵的效率优化与分析[J]. 机电工程,2011,28(7):806-808.

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.027

热灌装生产线冷瓶机废热利用

何卫冰,冯中来,刘凤臣,叶鹏,冯爱玲

(杭州娃哈哈集团有限公司,浙江杭州 310018)

摘要:热灌装饮料生产过程中,灌装后的热饮料需要用冷瓶机进行喷淋冷却,从而产生了大量的热水。传统的方法是用闭式冷却塔将热水冷却,然后再流回冷瓶机使用。通过对冷瓶机、北方地区冬季供暖系统的综合研究,作者利用了一个不锈钢板式换热器,将冷瓶机的热量传递给车间、仓库的暖气管网,用作车间、仓库的冬季取暖使用。实践表明,该方案具有施工方便,投资小,节能大的优点,适合在北方的热灌装厂推广。图2参10

关键词:冷瓶机;闭式冷却塔;板式换热器;供暖;节能

中图分类号:TB486 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2012)06-0099-03

Heat Recycles of the Bottles Cooling Machine in Hot Filling Line

HE Weibing, FENG Zhonglai, LIU Fengchen, YE Peng, FENG Ailing

(Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: During the production process of hot filling beverage, the bottles cooling machine was used to spray water for cooling the products. Usually, the closed type cooling tower was used to cooling the spray water. The paper researched on the bottles cooling machine and the northern winter heating system to develop a heat quantities recycle system for heating the workshop and the storehouse in winter. Through application, the results show that the system can save a lot of energy in the heating season with advantages of easy in construction, low in investment and energy saving thus suitable to popularize in hot filling line in northern. [Ch, 2 fig. 10 ref.]

Key words: bottles cooling machine; closed type cooling tower; plate heat exchanger; heating; energy saving

0 引言

随着社会的发展,人们生活水平的提高,PET瓶装饮料(如茶饮料、果汁饮料、乳制品等)在我们的生活中随处可见,这其中大部分是通过热灌装的方式生产出来的^[1-2]。所谓热灌装就是饮料在用UHT超高温瞬间灭菌后,再冷却到89~93℃之间,然后通过灌装机灌装到PET瓶子里并封盖。之后通过倒瓶链,使瓶中热饮料对瓶盖进行二次杀菌。通过热灌装的方式,基本可以确保瓶中产品无菌。由于灌装温度较高,为了减少PET等瓶子的受热时间保留饮料的口感,也为了生产出的成品能马上入库并长时间储存,需要在倒瓶杀菌后,尽快将饮料冷却到室温。目前通常采用的方法是让瓶子通过冷瓶机,用冷水喷淋的方法来使热饮料降温^[3]。

1 传统冷瓶机分析

冷瓶机的结构如图1所示,冷瓶机根据产品产能

不同,采用的冷却段数也不同,一般在5~9段之间,此处以5段冷瓶机为例进行分析。冷瓶机中每段都有一个各自独立的水箱和喷淋水泵,喷淋水泵从各自水箱中抽水,通过众多的喷淋头,喷淋冷却缓慢移动的产品。同时,水箱也用来回收本段的喷淋水。在冷瓶机工作过程中,由于水分外溅和蒸发,因此还配置了一个补水水箱,其水位由液位感应器控制(从纯净水管道补水)。一个水泵从补水水箱进水,通过恒压变频控制,将水输送到闭式冷却塔。经闭式冷却塔冷却后的水分成了两路,一路直接给第1、2、3、4段水箱加水(由进水阀控制);另一路经过一个小型冰水板式换热器进一步降温,再用来给第5段水箱加水(由进水阀控制)。每个水箱的水位都是单独控制,当水箱中的水位在规定的水位之下,或者水箱中的水温高于设定温度的时候,进水阀打开。当水箱的水位高于限定水位的时候,多余的水从溢流口流出,溢流出来的水流回补

收稿日期:2012-04-23;修回日期:2012-05-30

作者简介:何卫冰(1974),男,浙江杭州人,工程师,长期从事食品、饮料机械的研究与开发工作。E-mail:hwb1224@hotmail.com