

文章编号:1674-2869(2015)01-0014-06

射频识别技术在模具电极管理系统中的应用

李 欢^{1,2}, 陈绪兵^{1,2}, 王瑜辉³, 张 超³, 胡国繁^{1,2}, 韩桂荣^{1,2}

1. 武汉工程大学机电工程学院 湖北 武汉 430205; 2. 化工装备强化与本质安全湖北省重点实验室(武汉工程大学), 湖北 武汉 430205; 3. 东莞华中科技大学制造工程研究院 广东 东莞 523808

摘 要:在通常的模具生产车间,模具电极只能依靠人来监控和管理,导致工作量大且效率低. 为了解决这一问题,研究了无线射频识别技术在模具电极管理中的应用. 利用微软 Visual Studio 2008 作为开发工具,采用 B/S(浏览器/服务器)的系统架构,开发了一套基于无线射频识别技术的模具电极管理系统. 首先,对系统总体结构进行设计,包括主要硬件的选型及参数的设置;接着,对系统业务流程进行了规范,再根据业务流程进行了功能需求分析;然后,对系统各功能模块进行了划分,对数据库结构进行了设计;最后,运用 NET 技术开发了系统各界面及功能. 实践证明该系统对电极的管理方便有效,提高了模具电极管理的智能化水平.

关键词:RFID; 模具制造; 抗金属标签; 电极管理系统

中图分类号:TP315

文献标识码:A

doi:10. 3969/j. issn. 1674-2869. 2015. 01. 004

0 引 言

射频识别(Radio Frequency Identification,简称 RFID)是一种非接触的自动识别技术,通过射频信号来识别目标对象并获取相关数据. RFID 技术是从 20 世纪 90 年代开始兴起,被列为 21 世纪十大重要技术之一. 由于现代射频识别技术具有非接触性、可重复使用、快速识别、读取方便快捷、数据容量大、使用寿命长等优点^[1-3]被广泛应用于现代制造业、物流行业、交通运输管理、资产管理等诸多行业领域当中.

目前,随着模具行业生产规模的扩大,模具加工电极种类和数量快速增长,使得模具电极的管理日趋复杂和困难^[4-5]. 面对复杂的模具生产工艺流程和协作关系,加上数量日渐庞大的生产、配套和管理信息,传统的制造系统加上人工的电极管理模式,已经很难解决这种生产过程中流动量大,信息变换过程多,多场景信息交互的问题,一定程度上制约了模具生产企业的发展.

近年来,国内专家和学者先后对模具电极管理问题提出了一些研究方法. 如华中科技大学的苏兆河^[5]等研究了基于 UG 的注塑模具电极设计与管理系统,实现了电极的智能 CAD 功能. 苏州大学的徐炜^[6]等研发了一套面向 MES 的车间模具电极

管理系统,为模具生产企业建立智能制造执行系统提供了思路. 青岛大学的张云峰^[7]等从模具电极的制造工艺和结构相似性出发,利用 VB 和 SQL server 研发了一套用于模具电极管理的 CAPP 系统.

本文将新兴的 RFID 技术应用于传统模具制造行业,设计并实践了一套基于 RFID 技术的模具电极管理系统. 采用该系统能够对模具电极进行智能识别,减少大量人力操作,能够给模具生产企业的生产效率、管理成本、产品质量带来新的突破.

1 系统功能及结构设计

1.1 系统硬件构成

在电极座侧面内嵌式安装 SG-HT-113M 型抗金属电子标签(如图 1 所示),并将电极座与电极一

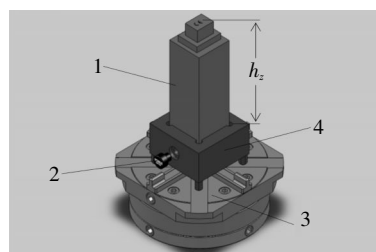


图 1 SG-HT-113M 抗金属标签安装位置图

Fig.1 The mounting position of SG-HT-113M anti-metal tag
注:1.模具电极 2.抗金属电子标签 3.电极座卡盘 4.电极座 h_z —电极 Z 轴高度.

收稿时间:2014-12-29

基金项目:国家 863 计划项目:支持模具设计制造全过程精益管控的制造物联技术研发与应用示范(2013AA040404);
武汉工程大学第五届研究生教育创新基金资助项目(CX2013074)

作者简介:李 欢(1988-),男,湖北黄冈人,硕士研究生.研究方向:物联网技术与应用研究.

一对应、相互绑定. 使用 ISO15693 协议的高频读写器对电极座 RFID 标签进行识别,在不同工位写入或读出电极信息(电极编号、X,Y 偏移量、Z 轴高度)与系统交互.

抗金属电子标签作为本系统的核心基础部件,其性能稳定性至关重要. 因此,本文笔者委托深圳

市计量质量检测研究院 (国家数字电子产品质量监督检验中心)对 SG-HT-113M 型抗金属 RFID 电子标签做了性能检测(报告编号:WT138002780),报告结果,电子标签的参数指标(如表 1 所示)均合格,能够满足工业应用要求.

表 1. SG-HT-113M 抗金属电子标签参数

Table1.The parameters of SG-HT-113M anti-metal tag

外形	封装	重量	频率	总容	协议	防护	使用	读取
尺寸/mm	材料	/g	/MHz	量/bit	标准	等级	温度/℃	模式
φ10×4.5	Pa12	2.0	13.56	240	ISO15693	IP67	-25~85	被动

1.2 系统业务流程设计

模具电极管理系统的业务流程主要包括计算机辅助加工(CAM)、电极坯料装夹和预调、电极数

控加工(CNC)、电极质量检测(QC)、电极偏移量测量(CMM)、电火花加工(EDM)等,如图 2 所示.

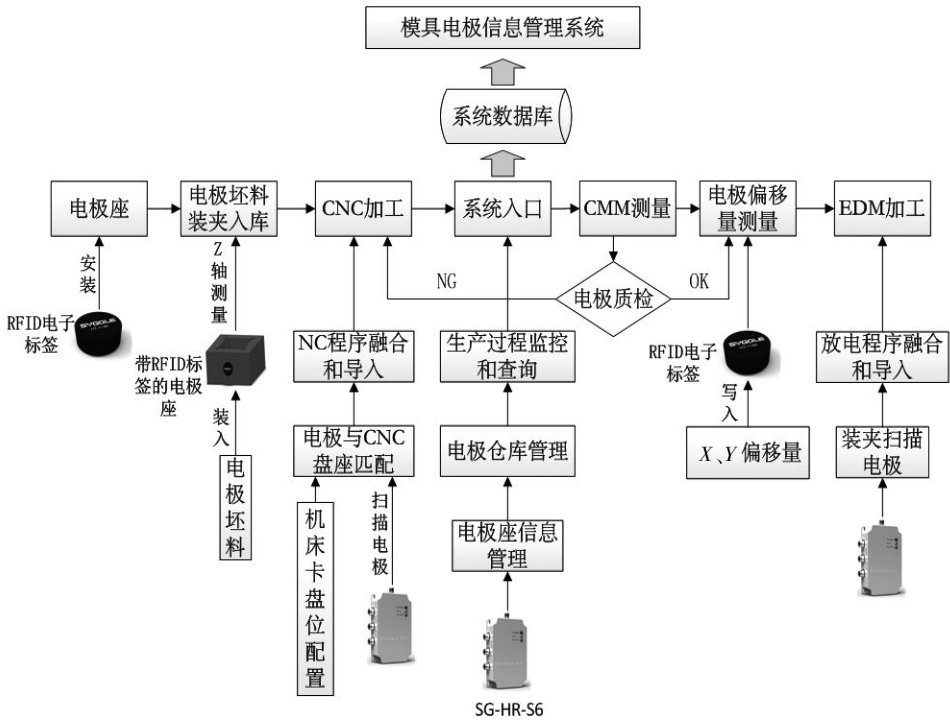


图 2 系统业务流程图

Fig.2 The diagrams of system business process

1.3 系统功能需求分析

根据系统业务流程要求,RFID 模具电极管理系统主要由以下几个功能模块组成,如图 3 所示.

- (1) 电极管理模块:能够显示加工模具所需的电极列表,包括电极编号、规格、材质、Z 轴高度、装夹次数等信息,支持电极信息的增、删、改、查功能.
- (2) 电极座管理模块:能够显示电极座信息列表,包括电极座编号、标签 ID、仓库位置、已装夹电极等信息,支持电极座信息的增、删、改、查功能.
- (3) 生产监控模块:支持生产监控和机床状态

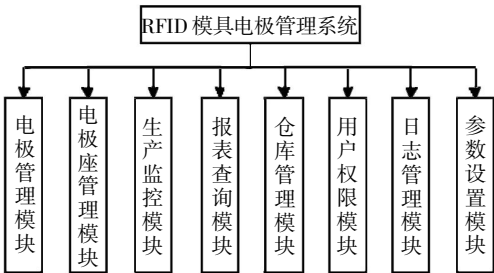


图 3 系统软件功能模块图

Fig.3 The diagram of system software function block

监控功能.

(4) 报表查询模块:支持通过日期区间、时间粒度、机床名,对机床工作量进行报表查询.支持通过电极编号、日期区间、用户名,对用户操作历史进行查询.

(5) 仓库管理模块:能够对电极清单、入库清单、出库清单、库存实况等进行查询与管理.

(6) 用户权限模块:支持对用户的账号、权限、状态等信息进行增、删、改、查操作.

(7) 日志管理模块:支持 CAM 同步、记录登录日志和操作日志等.

(8) 参数设置模块:包括仓库配置、货架配置、CNC 机床清单、EDM 机床清单等.

1.4 系统数据库结构设计

运用 Microsoft Office Visio 数据库模型图对模具电极管理系统进行数据库结构设计,系统数据库 E-R 图如图 4 所示.

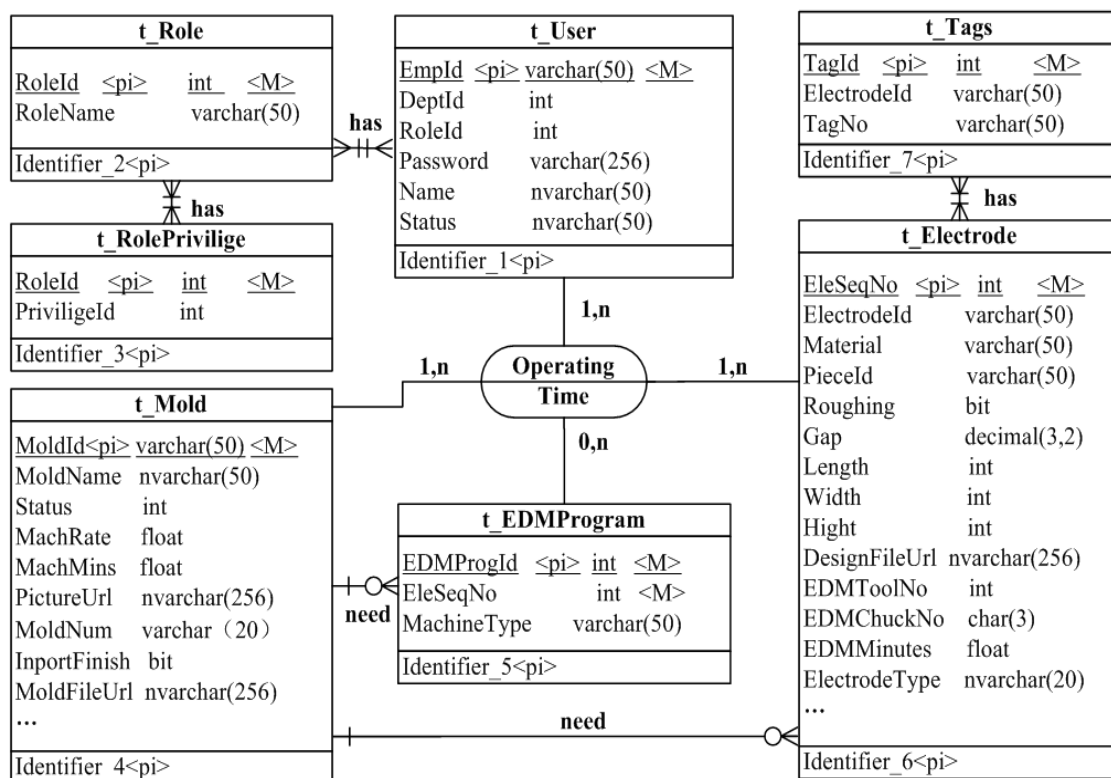


图 4 系统数据库 E-R 图

Fig.4 The E-R diagram of system database

2 系统实现

RFID 模具电极管理系统软件基于 C/S 与 B/S 混合构架开发,采用了 Visual Studio 2008 集成开发环境,并利用 SQL Server 2005 数据库进行系统数据管理.根据用户需求对同一授权用户系统提供功能完全对等的客户端和浏览器两种访问方式,以适应不同用户习惯的需求. RFID 模具电极仓库管理系统客户端软件界面如图 5 所示.

在电极管理系统仓库管理客户端软件界面中可以查看仓库视图,如图 6, A1,A2,A3,A4 分别表示 A 货架 1,2,3,4 层.每个货架都由 4 层组成,每层都

设有 28 列×8 行共 224 个电极存储位置.用户可以根据库房名和货架号组合查询,显示电极仓库各仓格的存储状态(空闲、电极、毛坯、空治具、已锁定、可回收旧料、报废旧料),并分别用不同的颜色加以区分显示.

RFID 模具电极管理系统浏览器界面如图 6 所示.

在系统管理界面,可以进行电极管理、电极座管理、生产状况监控、电极仓库查询等操作.在电极仓库查询中,能够查看各货架的信息(货架号、是否双格、层数、列数、格数)和使用状况(位置总数、存放电极数、占用比)等.

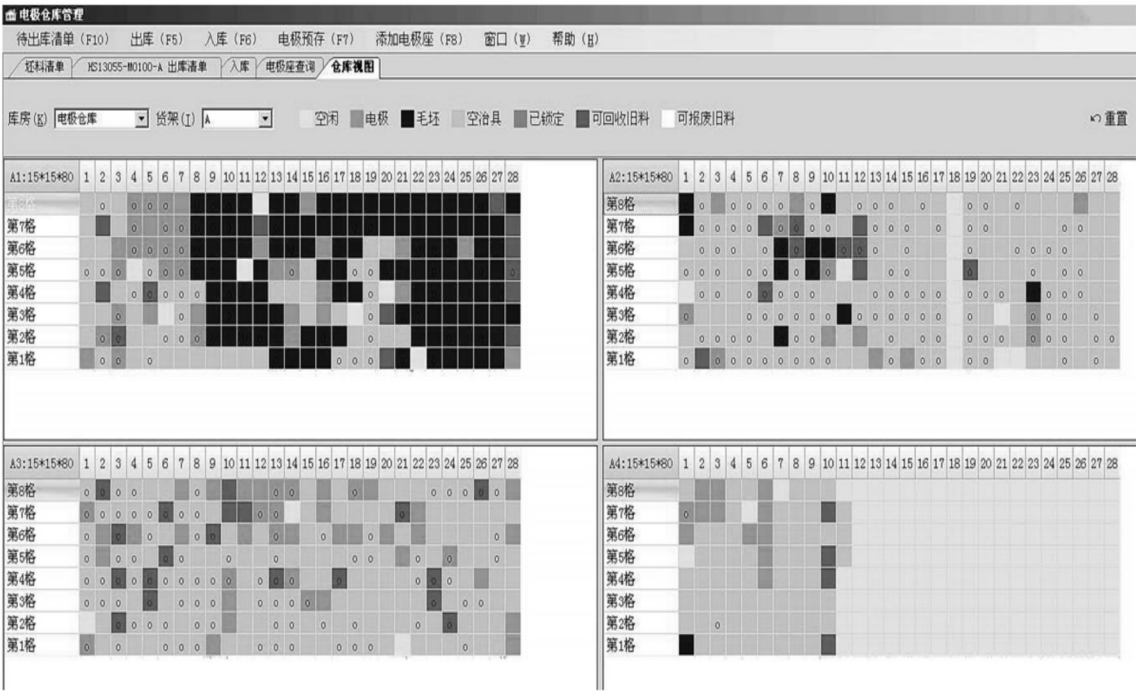


图 5 电极仓库管理客户端软件界面

Fig.5 The client interface of electrode warehouse management system



图 6 电极管理系统浏览器界面

Fig.6 The browser interface of electrode management system

3 系统测试及应用效果

表 2 所列是广东省东莞市东莞劲胜精密组件股份有限公司使用此 RFID 模具电极管理系统的前后效果对比。

可以看出将本 RFID 电极管理系统运用于模具制造企业,取得了较好的效果,主要表现如下:

(1) 出入库效率提高:利用无线射频识别(RFID)

技术对电极进行自动识别,从而省去了繁琐的手工录入过程,大大减少了操作时间,提高了效率。

(2) 盘点工作量减少、出错率降低:使用 RFID 电极管理系统大大减少了人工数据操作和比对繁重的工作量,出错率明显降低。

(3) 仓库空间利用率提高:在系统界面中仓格存储状态(空闲、电极、毛坯等)可视化,能够更加合理安排存储空间,极大地提高了空间利用率。

(4) 产能提升:以劲胜公司乌沙车间为例,运用 RFID 电极管理系统后,加工准备时间缩短,设备组产出速度平均增加 0.13 件/h,以车间 10 台夏米尔 EDM 机床每天工作 8 小时进行产能核算,乌沙车间每年新增产能 ΔM :

$$\begin{aligned}\Delta M &= F \cdot S \cdot (\Delta P) \\ &= (350 \times 8) \times 10 \times 0.13 \\ &= 3\,640 (\text{件}) (1)\end{aligned}$$

式(1)中, ΔM 为设备增加的产能; F 为单台设备有效工作时间; S 为设备数量; ΔP 为增加的产量定额。

由公式(1)计算后可得,系统上线后预计新增产能约 3640 件/年。若以模具均价 800 元/件进行估算,乌沙车间年新增产能约 291.2 万元。

表 2 使用 RFID 电极管理系统前后的效果对比表

Table.2 The effect comparison table of using RFID electrode management system before and after

对 1 000 件电极 进行操作管理	传统手 工模式	用 RFID 管理系统	效率 比较
入库时间	4.0 h	0.5 h	87.5% ↑
出库时间	4.5 h	0.6 h	86.6% ↑
库存盘点时间	1.6 h	0.25 h	84.3% ↑
盘点误差率	2.45%	0.30%	87.7% ↑
空间利用率	57.40%	84.20%	46.6% ↑

4 结 语

将 RFID 技术应用到传统模具制造行业,设计并实现了一套集 RFID 电极座管理、模具电极管理、电极仓库管理等为一体的模具电极管理系统。首先对系统总体功能与结构进行了设计,规范系统业务流程;接着对系统的主要硬件构成及参数进行选型;再根据系统业务流程进行功能需求分析、数据库结构设计;最后运用.NET 技术进行系统开发,实现了系统各管理界面与功能。该系统能够对数量庞大、规格各异的模具用电极进行智能化管理,对于提高模具生产企业的生产效益和市场竞争能力具有重要意义。

上述设计的基于 RFID 技术的模具电极管理系统还可以在电极转运自动化、仓库实现无人值守等方面进行拓展。此研究之后可进一步研究应用 AGV 小车或智能搬运机器人,实现电极仓库的无人值守,进一步提高模具电极管理的智能化水平。

致 谢

感谢东莞华中科技大学制造工程研究院提供

的项目支持和帮助;感谢东莞劲胜精密组件股份有限公司提供的应用环境!

参考文献:

- [1] 李航,陈后金.物联网的关键技术及其应用前景[J].中国科技论坛, 2011(1):81-85.
LI Hang, CHEN Hou-jin. Key technology and application prospect of internet of things[J]. Forum on Science and Technology in China, 2011(1):81-85.(in Chinese)
- [2] 龚金梅,肖红卫,刘消寒,等.物联网领域关键技术专利分析[J].云南大学学报(自然科学版),2012(2):152-158.
GONG Jin-mei, XIAO Hong-wei, LIU Xiao-han, et al. The patent analysis for key technologies on Internet of things [J]. Journal of Yunnan University:Natural Sciences Edition,2012(2):152-158.(in Chinese)
- [3] 谢磊,殷亚凤,陈曦,等.FID 数据管理:算法、协议与性能评测[J].计算机学报,2013(3):457-470.
XIE Lei, YIN Ya-feng, CHEN Xi, et al.RFID data management:algorithms, protocols and performance evaluation [J]. Chinese Journal of Computers,2013 (3):457-470.(in Chinese)
- [4] 顾新建,黄沈权,陈茂熙,等.模具行业需求驱动的云制造服务平台 [J]. 计算机集成制造系统,2012(7):1650-1657.
GU Xin-jian, HUANG Shen-quan, CHEN Ji-xi, et al. Cloud manufacturing service platform driven by mold manufacturing industry demand [J].Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012 (7):1650 - 1657.(in Chinese)
- [5] 苏兆河. 基于 UG 的注塑模电极设计与管理系统的研究与开发[D].武汉:华中科技大学,2007.
SU Zhao-he.The development of UG based Electrode CAD system of plastic injection mould [D].Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2007. (in Chinese)
- [6] 徐炜. 面向 MES 的模具车间电极管理系统研究[D].苏州:苏州大学, 2010.
XU Wei. Research on electrode management system in mould making shop based on MES [D]. Suzhou: Soochow University, 2010.(in Chinese)
- [7] 张云峰,王进,潘雪桥,等. 基于模具电极的 CAPP 系统的研究与开发[J].机床与液压, 2011(20):12-14.
ZHANG Yun-feng, WANG Jin, PAN Xue-qiao, et al. Study and development of CAPP system for mold electrode [J]. Machine Tool & Hydraulics,2011(20): 12-14.(in Chinese)

Application of radio frequency identification technology in the mould electrode management system

LI Huan^{1,2}, *CHEN Xu-bing*^{1,2,*}, *WANG Yu-hui*³, *ZHANG Chao*³, *HU Guo-fan*^{1,2}, *HAN Guirong*^{1,2}

1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China; 2. Hubei Key Laboratory of Chemical Equipment Intensification and Intrinsic Safety(Wuhan Institute of Technology), Wuhan 430205, China; 3.DG-HUST Manufacturing Engineering Institute, Dongguan 523808, China

Abstract: the mould electrode can only be monitored and managed by human in common mould manufacturing workshop, which led to plenty of workload and low efficiency. To solve this problem, the application of radio frequency identification technology in mould electrode management was researched. And the microsoft visual studio 2008 was employed as the development tool and a Browser/Server framework was used to develop an electrode management system. Firstly, the overall structure was designed, including major hardware selections and parameter settings. Secondly, the functional requirements were analyzed after the business process was standardized. Thirdly, the functional modules were partitioned and the database structure was designed. Finally, the NET technology was used to develop interfaces and functions. Practice indicated that the developed management system makes mould electrode management convenient and effective, which is important to improve the intelligent level of electrode management.

Keywords: radio frequency identification; mould manufacturing; anti-metal tag; electrode management system

本文编辑:陈小平

文章编号:1674-2869(2015)01-0020-05

圆柱段长度对水力旋流分离性能的影响

郑小涛¹, 龚程¹, 徐红波², 喻九阳¹, 林伟¹, 徐成¹

1. 化工装备强化与本质安全湖北省重点实验室(武汉工程大学), 湖北 武汉 430205;

2. 广州民航职业技术学院飞机维修工程学院, 广东 广州 510470

摘要:采用 Fluent 软件对以 Martin Thew 液-液旋流器为基础的不同圆柱段长度模型进行了数值模拟, 对比分析了分离效率、压力降、速度分布及流场, 研究了圆柱段长度对旋流器的分离性能的影响。结果表明: 随着圆柱段长度的减少, 分离效率呈线性增长, 但当圆柱段长度趋近于 0 时, 分离效率反而下降; 底流口和溢流口的压力降随着圆柱段长度的减少而增大; 随着圆柱段长度的减少, 大锥段和小锥段处的切向速度和轴向速度逐渐增大, 循环流区域逐渐减小; 当无圆柱段时, 循环流区域完全消失。

关键词:旋流分离器; 油-水分离; 圆柱段; 数值模拟

中图分类号: TE991.2

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2015.01.005

0 引言

水力旋流分离器广泛应用于化工、石油、选矿、环保、制药、食品、轻工等领域, 其中固-液旋流器发展较早, 技术也相对成熟^[1]。液-液旋流器在最近 10 多年才用作海上油气平台的油-水分离装置^[2]。利用油-水等两相互不相溶物质的密度差和水力旋流器内部强烈的回旋流产生的离心力, 使油水发生分离。Thew^[3]和 Caldenty^[4]研究了液-液分离过程和液-固分离的不同之处, 发现由于液体之间的密度差较小, 液-液分离较固-液分离困难, 因此对液-液旋流器的结构研究显得尤为重要。近年来, 许多学者对分离器的结构进行了研究, 通过优化入口形式^[5]、锥角^[2]以及溢流口^[6]等方式提高油水旋流器的分离效率, 但对圆柱段结构的研究相对较少。本文将圆柱段长度作为出发点, 通过数值模拟的方法, 研究圆柱段长度对旋流分离器的性能影响。

1 物理模型与计算模型

1.1 物理模型

图 1 为油-水旋流器的物理模型, 基准模型采用的是 Martin Thew 的液-液旋流器。模型为对称双入口形式, 因此具有良好的流场稳定性和对称性。其基准尺寸为大小锥结合处直径 D , 大锥段锥角 α

为 20° , 小锥段锥角 β 为 1.5° 。圆柱段长度 L_c 的标准长度为 $2D$, 本文基于改变 L_c 长度进而分析油-水旋流分离的分离性能。

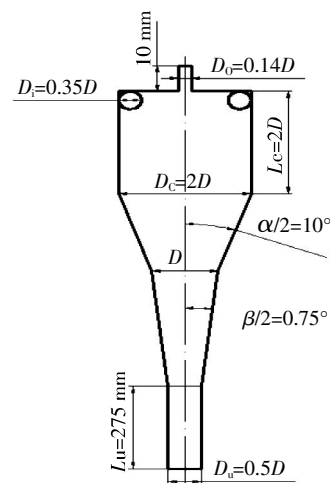


图 1 Martin Thew 液-液旋流器模型图

Fig.1 The model of Martin Thew's liquid-liquid hydrocyclone

1.2 计算模型

由于旋流器的非稳态不可压缩流动特征, 因此采用适于流线强烈弯曲和旋转三维流动的雷诺应力模型(RSM)^[7]。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u'_i u'_j) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u'_i u'_j) = D_{ij} + P_{ij} + \Pi_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

式(1)中 D_{ij} 、 P_{ij} 、 Π_{ij} 、 ε_{ij} 分别为扩散项、产生项、压力应变项和耗散项, 分别表示如下:

收稿日期: 2014-06-13

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2012FFB04707); 武汉工程大学科学研究基金项目(K201414); 武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX2013080)

作者简介: 郑小涛(1982-), 男, 湖北武汉人, 副教授, 博士。研究方向: 结构完整性、流体设备以及传热与传质。

$$D_{ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\mu_t}{\rho_k} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} \right) \quad (2)$$

$$P_{ij} = -(\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial U_j}{\partial x_k}) + \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{ij} = & -C_1 \varepsilon a_{ij} + C_2 \varepsilon (a_{ik} a_{kj} - \frac{1}{3} a_{ij} a_{kk} \delta_{ij}) + C_3 k S_{ij} + C_4 k (a_{ik} - \\ & S_{jk} + a_{jk} S_{jk} + a_{jk} S_{jk} - \frac{2}{3} a_{ij} a_{kk} \delta_{ij}) + C_5 (a_{ik} W_{jk} + a_{jk} W_{ik}) \end{aligned} \quad (4)$$

压力应变项包括了雷诺应力的各向异性张量的二次方项,式(4)中:

$$C_1 = 3.4 + 1.8 P_{KK} / \varepsilon; C_2 = 4.2; C_3 = \frac{4}{5} - 1.3 \Pi_q; \quad \frac{1}{2}$$

$$C_4 = 1.35; C_5 = 0.4; a_{ij} = \frac{\overline{u'_i u'_j}}{2k} - \frac{1}{3} \delta_{ij}; \Pi_a = a_{ij} a_{ji};$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right); W_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

多相流模型选择的是适用于强烈耦合的各向同性多相流模型 Mixture 模型^[8]. 对流项离散格式选择的是在复杂网格条件下具有良好收敛性的二阶迎风格式,压力插补格式采用的是 PRESTO 格式,压力-速度耦合算法采用的 Simple 算法.

1.3 边界条件与数据处理

入口采用速度入口,入口含油率为 5%,油的密度为 850 kg/m³,黏度为 3.32 cP;溢流口和底流口均为充分发展 outflow,其流量比分别为 15%和85%;壁面采用无滑移条件.

分离效率: $E = 1 - \alpha_o / \alpha_{in}$

其中; α_o 为底流口含油溶度; α_{in} 为入口含油浓度.

底流口压降: $\Delta P_u = P_i - P_u$

溢流口压降: $\Delta P_o = P_i - P_o$

其中: P_i 为入口压力; P_u 为底流口压力; P_o 为溢流口压力.

2 数值模拟计算

2.1 网格划分与独立性验证

网格采用 gambit2.4.6 进行划分,由于旋流器结构细长,且不同部位结构尺寸差距较大,因此采用分区划分. 以溢流口、入口段、圆柱段和大锥段、小锥段和底流管四个区域,采用六面体非结构网格,图 2 为网格划分整体图.

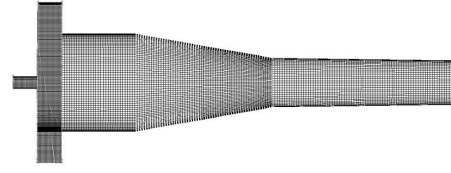


图 2 网格划分图

Fig.2 Generated mesh for hydrocyclone simulation

为保证计算结果准确性,对网格进行独立性验证,验证模型初始条件采用 Belaidi and Thew^[9-10]的实验数据和结果,分别在 3 种不同密度网格下,不同粒径油滴的分离效率与实验数据作对比. 图 3 为网格独立性验证图,由图 3 可知,在网格数量为 58 万时,计算结果与实验数据较接近,而当网格数量进一步加大到 95 万时,分离效率变化不大,且误差控制在 10%以内,计算结果有效.

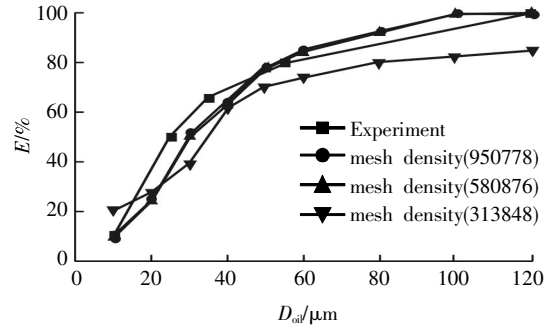


图 3 网格独立性验证

Fig.3 The independence verify of grid

2.2 数值模拟结果

分别将圆柱段长度 L_c 为 $2D$ 、 $1.5D$ 、 D 、 $0.5D$ 、 0 五种油水旋流器的模型导入 FLUENT 中,以油滴粒径为 $30 \mu m$ 和入口速度分别为 4 m/s、5 m/s、6 m/s 进行计算,最终得到不同圆柱段长度油水旋流器的分离效率和压力降.

图 4 为不同圆柱段长度下的分离效率对比图,结果表明,分离效率随圆柱段缩短呈线性增长,在 $L_c=0.5D$ 时达到最大. 当 L_c 进一步减小到 0,即无圆柱段时,分离效率基本无较大变化,并在入口速度为 4 m/s 时呈下降趋势.

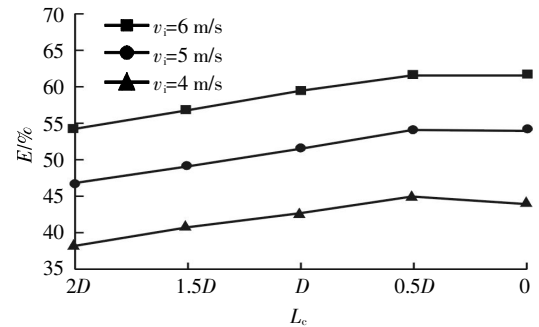


图 4 不同圆柱段长度分离效率对比图

Fig.4 De-oiling hydrocyclone separation efficiency of different length of cylindrical section

图 5 和图 6 分别为不同圆柱段长度下底流口压降和溢流口压降对比图,结果表明,随着圆柱段长度变化,溢流口和底流口的压力降变化趋势基本一致。当圆柱段长度减小,压力降增大;当去除圆柱段时,压力降有所增加,但幅度较小。

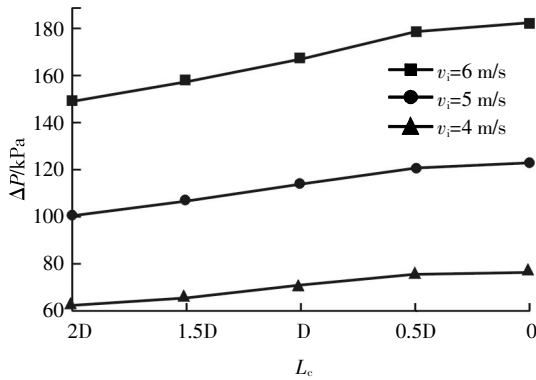


图 5 不同圆柱段长度底流口压降对比图

Fig.5 The underflow mouth pressure drop of different length of cylindrical section

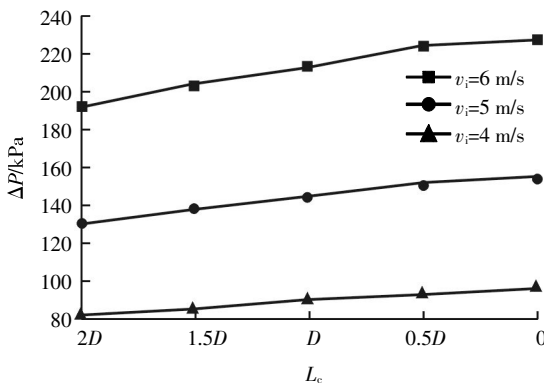


图 6 不同圆柱段长度溢流口压降对比图

Fig.6 The overflow mouth pressure drop of different length of cylindrical section

3 结果分析

3.1 速度分布

旋流器以 Y 轴为中心轴,大锥段与圆柱段结合处为 $Y=0$ 截面。图 7 和图 8 分别为 $Y=-30$ mm 和 $Y=-80$ mm(大锥段中间和小锥段上端)截面处的不同圆柱段长度的切向速度分布图。由图 7 和图 8 可知,不同圆柱段长度旋流器的近壁面和内旋流区域的流体切向速度相差不大,而在外旋流区域,切向速度随着圆柱段的减少而增大,在主分离区域提供较大的离心力,增加油水旋流器的分离效率。

图 9 和图 10 分别为 $Y=-30$ mm 和 $Y=-80$ mm 截面处的轴向速度分布图,由图 9 和图 10 可知,随圆柱段长度减小,外旋流区域的轴向速度变化不大,而内旋流区域轴向速度随圆柱段长度的减小而增大。

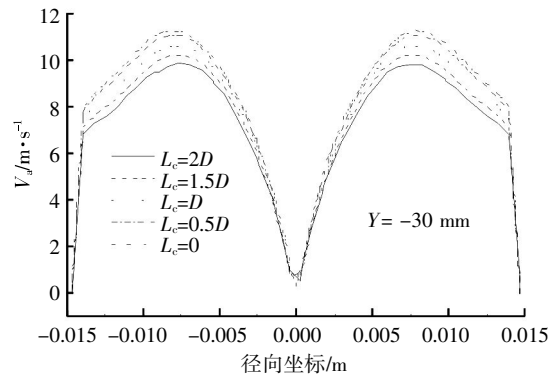


图 7 $Y=-30$ mm 平面处切向速度对比图

Fig.7 Comparison of tangential velocity between different length of cylindrical section in $Y=-30$ mm

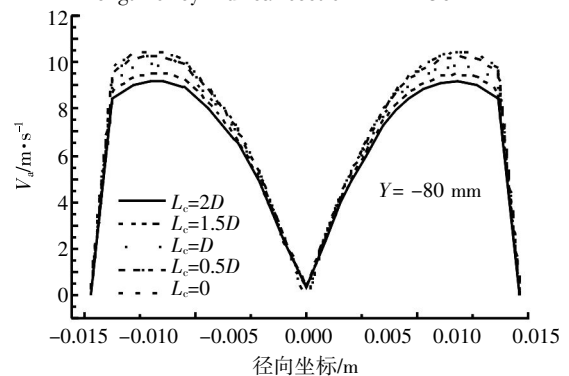


图 8 $Y=-80$ mm 平面处切向速度对比图

Fig.8 Comparison of tangential velocity between different length of cylindrical section in $Y=-80$ mm

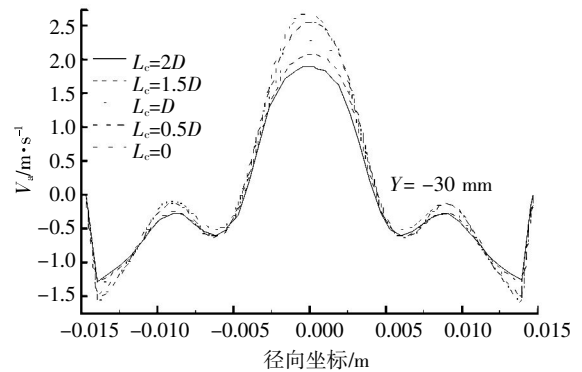


图 9 $Y=-30$ mm 平面处轴向速度对比图

Fig.9 Comparison of axial velocity between different length of cylindrical section in $Y=-30$ mm

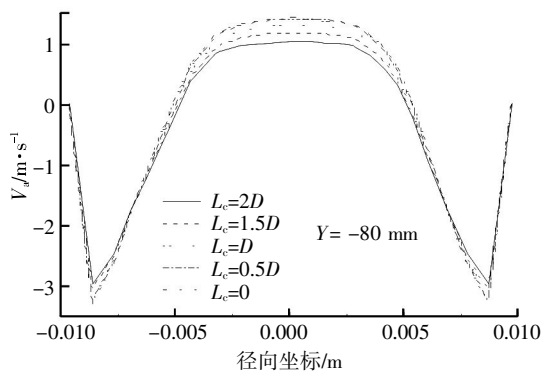


图 10 $Y=-80$ mm 平面处轴向速度对比图

Fig.10 Comparison of axial velocity between different length of cylindrical section in $Y=-80$ mm

3.2 流场分布分析

图 11 为不同圆柱段长度下的流场分布图,随圆柱段长度的减小,旋流器圆柱段和大锥段区域的循环流区域逐渐减小,且涡流核心向下迁移,在 $L_c=0$ 时,循环流消失. 循环流会影响油滴向内旋流迁移,并随循环流区域的增大,旋流器的分离效率会降低^[1]. 因此,随圆柱段长度的减小,其油水旋流器的分离效率增大.

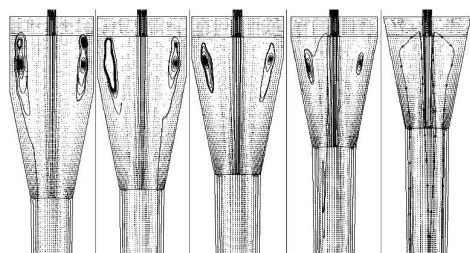


图 11 不同圆柱段长度下流场对比图

Fig.11 Comparison of flow field between different length of cylindrical section

3.3 湍流分析

图 12 为 5 种圆柱段长度下的湍流强度分布云图,由图 12 可知,因圆柱段和大锥段的中心区域循环流的改善,随圆柱段长度的减小,其湍流强度减小. 而在大小锥结合处,湍流强度随着 L_c 的减小而增大,且此区域的湍流强度达到最大.

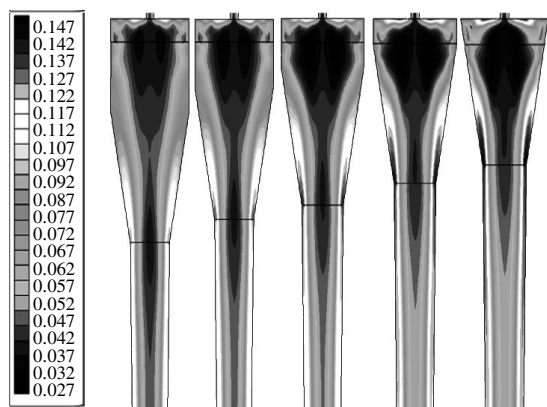


图 12 不同圆柱段长度湍流强度分布图

Fig.12 Comparison of turbulence intensity between different length of cylindrical section

图 13 为大小锥结合处的湍动能耗散率分布图,前文所知,随圆柱段减小,底流口和溢流口的压力降反而上升的结论和一般低雷诺数下的圆管流动规律相背离.

然而从图 13 可看出随着圆柱段长度减小,其湍动能耗散率增大. 由湍流强度分布和湍动能耗散率的分布可解释随圆柱段长度的减小,其底流口和溢流口的压降增加的现象.

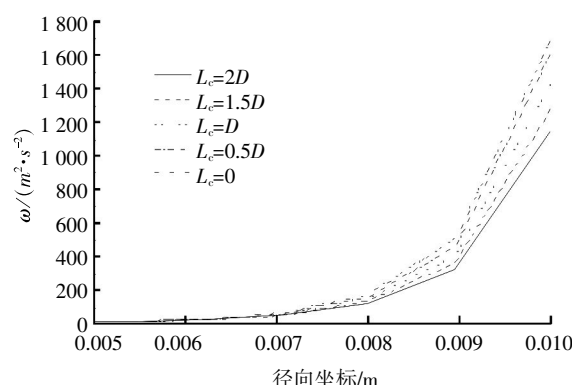


图 13 大小锥结合处湍动能耗散分布

Fig.13 The turbulent dissipation rate in the connection of the big and small cone sections of different length of cylindrical section

4 结 语

通过对不同长度的油水旋流器进行数值模拟研究,结果表明:

- 随着圆柱段长度的减小,其分离效率呈线性增长,但去除圆柱段后分离效率无变化,并呈减小趋势;底流口和溢流口的压降随着 L_c 的减小而增大.
- 随着圆柱段长度减小,在其大锥段和小锥段处的切向速度和轴向速度逐渐增大,循环流区域逐渐减小,并在去除圆柱段后完全消失,从而提高了分离效率.

- 圆柱段减小后,其大小锥结合处湍流强度增大,且其湍动能耗散率也随着 L_c 的较小而增大,解释了随着圆柱段减小其底流口和溢流口的压降增大的现象.

致 谢

本文研究工作得到了湖北省自然科学基金项目(2012FFB04707)、武汉工程大学科学研究基金项目(K201414)和武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX2013080)的资助,在此一并表示衷心感谢.

参考文献:

- 赵国庆,张明贤.水力旋流器分离技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
ZHAO Guo-qing, ZHANG Ming-xian. Hydrocyclone separation technology [M]. Chemical Industry Press, 2003. (in Chinese)
- 郑小涛,徐成,喻九阳,等.液-液旋流分离器分离特性数值模拟[J].武汉工程大学学报,2014,36(3):48-52.
ZHENG Xiao-tao, XU Cheng, YU Jiu-yang, et al.

- Numerical simulation of separation character in liquid-liquid hydrocyclone [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2014, 36(3): 48-52.(in Chinese).
- [3] Thew M T. Hydrocyclone redesign for liquid - liquid separation [J]. ChemEng, 1986(427): 17 - 23.
- [4] Caldentey J C. A mechanistic model for liquid hydrocyclone (LHC)[D]. The University of Tuls, 2000.
- [5] 艾志久, 贺会群, 牛贵锋, 等. 油水旋流分离器入口结构优化研究 [J]. 石油机械, 2007, 35(1): 5-8.
- AI Zhi-jiu, HE Hui-qun, NIU Gui-feng, et al. Optimization research the inlet structure of de-oiling hydrocyclone [J]. Petroleum Machinery, 2007, 35(1): 5-8. (in Chinese)
- [6] 许妍霞. 水力旋流分离过程数值模拟与分析[D]. 华东理工大学, 2012.
- XU Yan-xia. Numerical Simulation and Analysis of the Separation Process in the Hydrocyclone[D]. East China University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- [7] 王海刚, 刘石. 不同湍流模型在旋风分离器三维数值模拟中的应用和比较[J]. 热能动力工程, 2003, 18(4): 337-342.
- WANG Hai-gang, LIU Shi. Application and comparison of different turbulence models in the three - dimensional numerical simulation of cyclone separators [J]. Journal of Engineering Thermal Energy and Power, 2003, 18(4): 337-342. (in Chinese)
- [8] Grady SA, Wesson GD, Abdullah M, Kalu EE. Prediction of 10-mm hydrocyclone separation efficiency using computational fluid dynamics [J]. Filtr, 2003, 40(9): 41 - 46.
- [9] Belaidi A, Thew M T. The effect of oil and gas content on the controllability and separation in a de-oiling hydrocyclone [J]. Chem Eng Res Des, 2003, 81 (3): 305 - 314.
- [10] Belaidi A, Thew M T, Munaweera S J. Hydrocyclone performance with complex oil - water emulsions in the feed [J]. Chem. Eng. 2003(81): 1159 - 1170.
- [11] Noroozi S, Hashemabadi S.H. CFD analysis of inlet chamber body profile effects on de-oiling hydrocyclone efficiency [J]. Chemical Engineering Research and Design, 2011, 8(9): 968 - 977.

Influence of cylinder section length on separation performance of hydrocyclone

ZHENG Xiao-tao¹, GONG Cheng¹, XU Hong-bo², YU Jiu-yang¹, LIN Wei¹, XU Cheng¹

1. Hubei Key Laboratory of Chemical Equipment Intensification and Intrinsic Safety (Wuhan Institute of Technology), Wuhan 430205, China; 2. Department of Aircraft Maintenance and Engineering, Guangzhou Civil Aviation College, Guangzhou 510470, China

Abstract: The Fluent software was adopted to simulate the models of different lengths of the cylinder section which were designed based on the Martin Thew's hydrocyclone. The comparative study of the separation efficiency, pressure drop, velocity distribution and flow field in hydrocyclones was carried out to research the influence of the cylinder section length on the separation performance of hydrocyclone. The results show that the separation efficiency increases linearly as the length of the cylindrical section reduces, but the separation efficiency reduces when the length of the cylindrical approaches to zero; the pressure drop of the bottom out-flow and overflow increases with the length of the cylindrical section decreasing; the tangential velocity and the axial velocity in big and small conic sections increase gradually and the area of circulation flow decreases as the length of cylindrical section decreases, and the area of circulation flow disappears when no cylindrical section exists.

Keywords: hydrocyclone; oil-water separation; cylindrical section; numerical simulation

本文编辑: 陈小平