文章编号: 1000-8608(2007)05-0689-04

CFD辅助液压集成块管网优化设计

张 宏*, 田树军, 高艳明, 贾春强

(大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 针对液压集成块(HMB)的结构优化设计问题,应用计算流体动力学方法(CFD),从提高块内管网液流的性能品质出发,建立了求解区域的几何网格及三维瞬态数值模拟的初边值条件. 通过对管网典型流道结构数值模拟,定性地分析了液流在正交管路中的流态,得到了典型流道的结构形式对液阻性能的影响规律,进而提出流道在几何结构上的改进措施. HMB管网内流系统三维数值模拟结果表明,采用CFD方法研究HMB流道中典型结构的设计问题可以较准确地获得管网流场的基本结构特征,得到较为理想的管道布局结构,有效提高块体结构优化设计品质.

关键词: 计算流体动力学; 液压集成块; 管网; 优化设计

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

0 引 言

发展液压阀的集成配置,是液压系统实现集成化和标准化的普遍要求. 液压系统采用液压阀集成配置,可以显著地减少管路连接和接头,降低系统的复杂性,增加现场添加和更改回路的柔性. 液压集成块作为集成式液压系统的关键零件,具有结构紧凑、安装维护方便、泄漏少、振动小等优点,利于实现典型液压系统的集成化和标准化. 但是在当前的液压生产企业中,其设计工作仍然处于结构优化设计阶段,并未采用将集成块结构设计与孔道管网流场性能仿真合为一体的在性能上考核集成块综合特性的设计手段.

在油液的输运过程中,流道的交叉、突扩(缩)与不规则通流截面的结合,致使油液的外剪切应力发生了变化,局部以及全局的湍动会产生管网压降、温升与噪声等问题. 压降越大,造成的系统能量损失越多;温升过高,则易使油液变质,影响油液的工作性能. 如不考虑这些因素的影响,往往会造成结构上符合连通要求,但是在性能上却无法满足系统的设计和使用要求的情况. 解决这些问题的关键就在于有效掌握和控制集成块管网的内流场.

较早的基于管路的数值模拟侧重于系统状态空间方程的建立,常采用解析法与参数法,但是如何把精确的近似模型推广应用于复杂管网的动态分析一直是人们探讨的研究方向. 当前,计算流体动力学(CFD)和计算机技术等相关学科的发展为液压集成块管网内流的仿真计算提供了强有力的手段和切实可行的方法[1]. CFD是通过计算机数值计算和图像显示,对包含有流体流动和热传导等相关物理现象的系统所作的分析. 基本思想就是把原来在时间域和空间域上连续的物理量的场,如速度场和压力场通过一定的原则和方式建立起关于这些离散点上场变量之间关系的代数方程组,然后求解代数方程组获得场变量的近似值.

基于CFD的液压集成块管网优化设计是在已有的结构优化设计的基础上,模拟集成块典型管网内流系统特性的方法. 应用CFD的流场模拟结果可以清晰地反映出流场内压力、速度梯度和湍流强度的变化,使结构设计可以根据系统内流品质的要求作出调整. 这样的优化方法可为设计出结构合理、性能优越的集成块提供保障.

1 数值模拟液压集成块管网的一般步骤

本文以一个液压集成块的典型流道为研究对象(如图1所示).

收稿日期: 2006-01-20; 修回日期: 2007-07-11.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50375023); 辽宁省自然科学基金资助项目(20022132).
作者简介: 张 宏*(1977-), 女, 博士, 讲师; 田树军(1951-), 男, 教授, 博士生导师.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

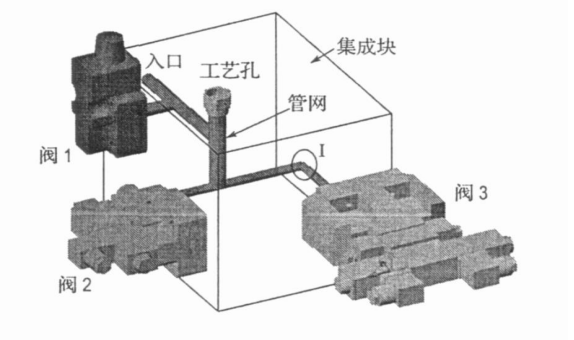


图 1 液压集成块典型管网结构示意图

Fig. 1 Sketch map of typical pipeline network structure

应用 fluent软件及前处理软件 Gambit对其进行设计分析. 对其分析的一般求解步骤如下:

(1) 确定管网内流系统的分析区域;

(2) 确定流体的流动状态;

(3) 生成计算网格;

(4) 设置边界条件;

(5) 设定求解方式;

(6) 检查分析结果.

液压集成块管网的数值模拟首先要将液压集成块管网结构设计的初步结果作为物理模型进行 CFD几何模型的构建. 通过 MDT(或其他 CAD软件)中软件接口 ACISOUT将 3D实体图形以数据交换文件的形式传送到 CFD的前处理软件 Gambit当中,由该前处理程序将 3D实体图形的管网生成计算网格,并设定求解方式与边界条件的属性. 然后将生成的网格文件传给 fluent软件,设定离散格式和边界条件,从而求解代数方程组. 最后将计算结果以流线和场云图的形式进行显示.

其中液压集成块管网数据传递中面临的问题是如何将导入的 CAD模型改造成适合 CFD网格划分及分析的模型. CAD模型的"完整性"问题困扰着网格的划分,部分细小凹坑、微小突起、小曲面与大曲面不相交融连接等现象制约着计算网格的合理生成. 在本文中,对液压集成块管网 3D实体图形应用"布尔运算"来"切除"多余细节和修理"非完整"特征取得了很好的效果.

2 液压集成块的数值模拟

2.1 仿真方法及网格划分

本文采用结构化的网格进行划分,应用有限体积法(FVM)来求解连续性方程和 Navier-Stokes方程,采用 κ-X模拟模型构建流道的湍流模型,并对近壁面区域内的低 *Re*数流动区域应用壁面函数法进行处理[2],应用 Simple法进行离散方程的求解[3]. 集成块采用的油液密度 d = 900 kg/m^3,_ = 0.026 1 Pa· s,进口管径为 20 mm. 分析时假定进口流体的平均流速为 5 m/s,并且垂直于进口流场方向上的液流速度为零,即在所有壁面上施加无滑移边界条件.

计算区域的网格划分是三维数值模拟计算的前提和基础. 为了保证管网中结构各异而又非正交管路处网格的质量,采用贴体坐标网格生成技术,使求解域的几何边界与计算坐标的曲面重合[4]. 这样一方面简化了边界条件的处理,提高边界处理的精度;另一方面也尽可能准确地获得了外形与流体流动性能之间的定量关系,为优化内流系统的外形设计提供了指导. 液流管网的网格划分如图 2所示.

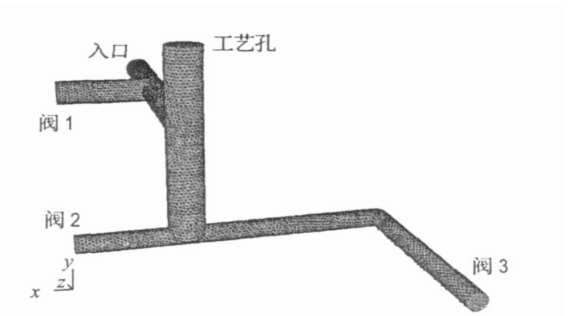


图 2 网格划分

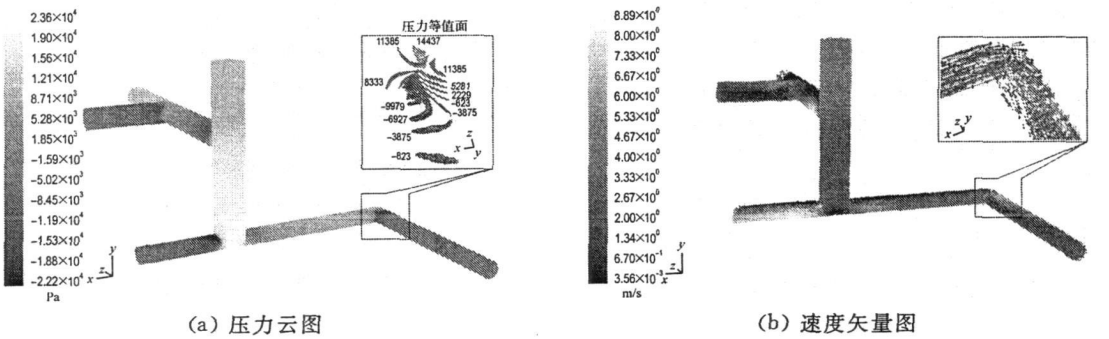
Fig. 2 Grid dividing

2.2 模拟结果

在求解中,采用的压力松弛因子为 0.1,离散模型中的动量方程和湍动能方程均采用二阶迎风格式时可以取得很好的收敛效果[5]. 其速度与压力数值模拟结果如图 3所示.

在图 1所示的 I处,为两直管相交点,两管路正交和过盈相交及不正交的网格结构图及仿真速度矢量如图 4所示.

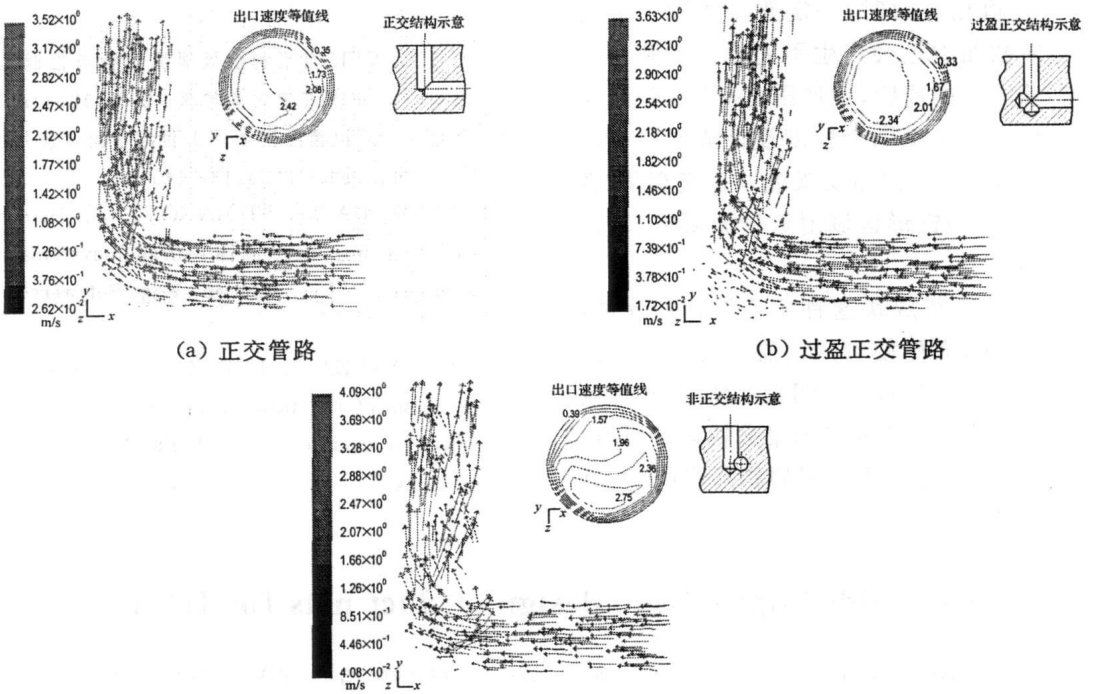
?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 压力云图　　(b) 速度矢量图

图 3　液压集成块典型管网结构数值模拟结果

Fig. 3　Simulation results of typical pipeline networks in HMB



(a) 正交管路　　(b) 过盈正交管路

(c) 非正交管路

图 4　典型相交管路流场速度矢量图

Fig. 4　Velocity vector diagram in typical intersection pipes

3　结果分析

从图 3所示的典型管网油液流动的速度矢量图和压力云图可以看出,在直角相交的压力面附近,均存在一定范围的分离区,即存在壁面附近的反向流动,分离区内存在复杂的涡结构,具有强的非线性. 在直管交叉的流动区域内速度脉动强度很大,存在很强的剪切应力,这主要是由于大尺度涡流将湍流能量提供给近壁面的分离流动,这种分离现象在流场分析中一直是流动结构和性能破坏的一个主要因素. 因其不仅对流动有很大的阻碍作用,恶化了流场结构,而且在分离滞止区内部的流动情况非常紊乱,使流场中的剪切力大大增加,对油液造成破坏,使油液容易变质. 因此在航空航天等需要高性能品质的集成块设计中,应考虑铸造加工两相交管路为圆弧形流道[6].

从图 4所示的正交、过盈正交及非正交管路的流场矢量图上来看,两直管相连时,中心线正交时,小尺度涡形成的最少,壁面与中心线位置的速度分布都比较均匀,流场压降最小,湍流能量损失最低. 其中在保证界面通流面积的情况下,直管正交取得的通流效果最好,直管非正交的性能最为恶劣,形成了大尺度的漩涡. 因此在设计中应优先采用正交设计,在多目标集成块结构优化设计中,增加管路流场设计的权重值,以便能够降低集成块管网湍动能损失.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由以上分析可以看出,通过 CFD对液压集成块管网的数值仿真,初步给出了液流在管网中的流动情况,发现管网流动中存在的缺点,以便在图纸阶段对其加以改进,得到性能更加优越的设计方案.

4 结 论

(1) 集成块管网中的流体流动非常复杂. 流动中大尺度分离是造成流体升压比下降的主要原因,因此在连通管路设计中应尽量避免分离现象的发生.

(2) 两孔道相连通时,一定要将两管完全连接,否则在横截面附近会产生不完全流动和较大的液阻,影响液流的速度,增加压力损失. 但是在直角交叉的位置,应将两管长度设计成两中心线相交叉的位置,而不是过盈交叉或非正交交叉,否则会在钻孔头部的锥形区域附近形成涡流,增加系统压能损失.

(3) 对于液压集成块这种按需设计的元件,不同的管网结构,必然使管网内流系统具有不同的运动形式,各种运动形式之间相互依赖、相互制约,所以对于高精度使用要求的集成块设计而言,需要综合考虑各运动形式之间的相互影响,对其动态品质作以评价,这样才能设计出结构合理、品质优异的集成块产品.

参考文献:

[1] VALDES J R, MIANA M J, PUTZ T. CFD dynamic simulation of a valve performance using UDF's and the deforming mesh model [C] // **Proceedings of the 1st European Automotive CFD Conference**. Bingen: Fluent Inc, 2003: 147–154

[2] PAYRI F, BENAJES J, MARGOT X, *et al*. CFD modeling of the in-cylinder flow in direct-injection diesel engines [J]. **Comput & Fluids**, 2004, **33**: 995–1021

[3] 王福军. CFD在水利机械湍流分析与性能预测中的应用 [J]. 中国农业大学学报, 2005, **10**(4): 75–80

[4] 蒋炎坤. CFD辅助发动机工程的理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 137–145

[5] VUGDELIJA M, STOJANOVIC Z. Determination of a time step interval in hydraulic systems transient simulation [J]. **Adv in Eng Software**, 2000, **31**: 143–148

[6] HERNÁNDEZ J, LÓPEZ J, FAURA F, *et al*. Analysis of the flow in a high-pressure die casting injection chamber [J]. **J Fluids Eng**, 2003, **125**: 315–324

CFD-aided optimizing design of duct nets for HMB

ZHANG Hong*, TIAN Shu-jun, GAO Yan-ming, JIA Chun-qiang

(School of Mech. Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract The structure optimal design of hydraulic mechanical block (HMB) from the angle of characteristics, which is too difficult to solve for a long time, is presented. On the basis of computational fluid dynamic (CFD) method, the strategies dealing with grid and initial and boundary conditions from testing in HMB inner flow fields are given. Through the numerical simulation of typical duct in pipeline networks, flow status in orthogonal ducts was qualitatively analyzed, and the regulation that the pipeline configuration affected the flow-resistance was gained, which helped to provide improvements on the pipeline's geometry structure. The 3D simulation results of HMB indicate that CFD method can acquire the basic structure characteristics of flow field in pipeline networks and ideal pipeline layout scheme, which improves the optimal design quality with great accuracy.

Key words CFD; HMB; pipeline networks; optimal design

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net