

基于 SolidWorks 流固耦合对闸阀阀体结构分析和优化

张家振¹,王洪申¹,夏崇茅²,张小鹏¹,丁文义¹

(1.兰州理工大学 机电工程学院,甘肃 兰州 730050;

2.浙江维都利阀门制造有限公司,浙江 温州 325024)

摘要:对闸阀阀体结构强度进行分析,使用 SolidWorks 三维软件生成闸阀阀体的三维模型,运用 Simulation 模块直接对阀体进行结构分析,得出阀体的受力状态;再利用流固耦合的方法对阀体进行结构分析,分别对两种方法进行优化分析。结果表明,流固耦合方法的最大应力更小,优化裕量更大。

关键词:SolidWorks; 结构分析; 流固耦合; 优化

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)01-0097-04

Analysis and Optimization of Gate Valve Body Structure Based on SolidWorks Fluid-solid Coupling

ZHANG Jiazhen¹, WANG Hongshen¹, XIA Chongmao², ZHANG Xiaopeng¹, DING Wenyi¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Zhejiang Weidouli Valve Manufacturing Co., Ltd., Wenzhou 325024, China)

Abstract: This paper analyzes the structural strength of the gate valve body and uses SolidWorks software to establish its three-dimensional model. The structure of the valve body is directly analyzed by the Simulation module, and its force state is obtained. Then, its structural analysis is carried out with fluid-solid coupling method. The result shows that the stress analyzed by using the fluid-solid coupling method is less and the optimization margin is larger.

Keywords: SolidWorks; structural analysis; fluid-solid coupling; optimization

0 引言

随着现代阀门产业的迅猛发展,市场的开放性和全球化,使得阀门产品的竞争日趋加剧,对产品的质量、性能的追求越来越高^[1]。以往工程师们要通过实验装置的检测 and 理论公式的计算才能较好地对阀门产品的质量和性能进行评估,现在随着计算机技术的发展,可以最大限度地使用虚拟设计手段,以提高阀门的质量和性能。SolidWorks 凭借其简单易用、功能全面的优点成为工程师们的首选三维设计软件,其内部的 Simulation 和 Flow Simulation 模块可以很好地对阀门进行流体仿真和结构分析,并能对结构进行有效的优化,降低成本。

流固耦合力学是研究可变形固体在流场作用下的各种行为以及固体变形对流场的影响^[2]。流固耦合涉及的物理场包括流场和应力场,单向流固耦合考虑流体对固体结构的作用,求解应力场必须以求解流场为前提,应力场分析应依赖于流场分析的结果^[2],图 1 是流固耦合分析的原理图。

国内外学者对各类阀体结构和流固耦合问题进行了大量的研究,高平等^[1-2]利用 UG 软件强大的 CAD/CAE 处理模块对闸阀阀体进行有限元分析,并对阀体尺寸和结

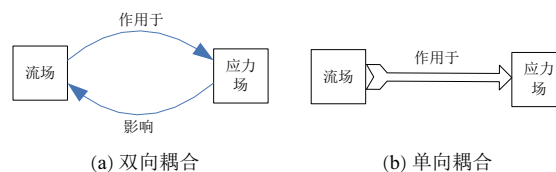


图 1 流固耦合示意图

构进行优化,提高了计算精度;权帅峰^[3]对大口径楔式闸阀阀体结构进行分析,并用 Monte-Carlo 随机有限元法 (SFEM) 实现对阀体结构的可靠性分析,得到了阀体结构的强度可靠度、设计变量的灵敏度等信息,为阀体结构优化提供了理论依据;陈红^[4]基于 FLUENT 软件对核电液压阀和主蒸汽隔离阀进行流体动力学分析,并将主蒸汽隔离阀的流体压力作为结构分析的载荷对其进行流固耦合分析;荷兰埃因霍芬理工大学的 A. Beune, J. G. M. Kuerten 等^[5]用流固耦合的模拟方法和实验方法研究了高压安全阀在开启过程中的特征,结果发现当入口和出口压力达到足够大的压差时,流体的冲击力才能将阀门打开,并通过对接高压安全阀的一系列的模拟研究,优化了阀门结构;美国的 ALTON J. Reich, VIJAYAN Parthasarathy 和 ALEX DiMeo^[6]运用流固耦合方法研究了开启状态下真空溢流阀模型中各个零部件受到的流体冲击,从而优化了阀门的

设计。总之,流固耦合分析已经开始研究,但是并没有系统地与传统静力学分析作对比。本文分别用流固耦合方法和传统静力学分析方法,对闸阀阀体进行静应力分析,比较两种方法结果,说明流固耦合方法的优势。

1 闸阀阀体传统应力分析

1.1 三维模型建立

本文选用的闸阀型号是 125Z40W-16,其公称直径为 125 mm,公称压力为 1.6 MPa,材料为特殊合金 A351 CN7M。通过 SolidWorks 软件建立闸阀阀体的三维模型,实体模型如图 2 所示,材料的基本参数如表 1 所示。

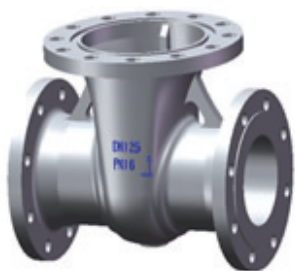


图 2 闸阀阀体三维模型

表 1 125Z40W-16 材料的基本参数

基本参数	弹性模量 (N/m^2)	泊松比	质量密度/ (kg/m^3)	张力强度/ MPa	屈服强度/ MPa
参数值	1.57×10^{11}	0.28	7 850	425	170

1.2 约束、载荷的施加

阀体的连接形式是法兰连接,用螺栓将阀体的端法兰与流体管道相连,所以相当于阀体两端被固定,应在端法兰面上施加固定约束,约束完成后的模型如图 3 所示。

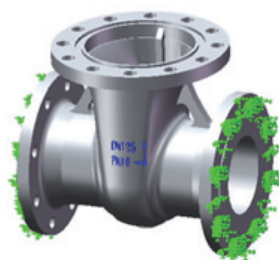


图 3 施加约束后的模型

在传统的力学分析中,载荷是均匀施加在所分析的对象上的。对于本例而言,介质流经阀体时对阀体内腔有一定的冲击力,所以将载荷均匀地施加在阀体内腔。依据《GBT-13927-2008-工业阀门-压力试验》的阀门压力试验标准,当试验介质为液体时,实验压力至少是阀门在 20℃ 时允许最大工作压力的 1.5 倍。该阀门的公称压力为 1.6 MPa,因此在阀门的内表面施加 2.4 MPa 的压力载荷,施加载荷后的模型如图 4 所示。

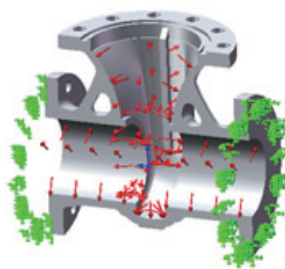


图 4 施加载荷后的模型

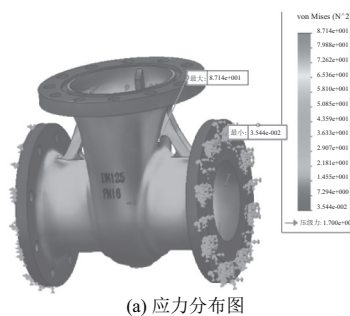
1.3 网格划分并计算

作为有限元分析的前提,网格划分的优劣直接影响最后结果的精确度。网格划分得越精细,结果误差越小,计算时间越长,因此要合理安排网格划分的精度。在本例中,因为闸阀的阀体有很多小细节无法一次性划分网格,这时要调整划分网格的精度或选取基于曲率的网格进行调整,网格划分完成的模型如图 5 所示。

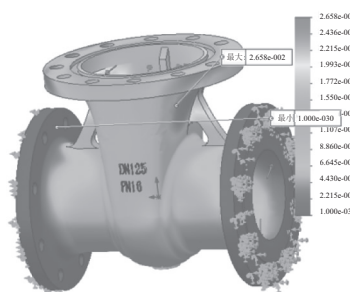


图 5 划分网格后的模型

网格划分完成后要进行算例计算,计算出来的应力分布图解和最大位移图解如图 6 所示。结果显示,阀体上应



(a) 应力分布图



(b) 位移分布图

图 6 应力分布图解和最大位移图解

力分布相对均匀,在加强筋的部位有些许应力集中。阀体上的最大应力位于加强筋与阀体的连接处,值为 87.14 MPa,小于阀体的许用应力 170 MPa,最大变形位移为 0.026 58 mm,总体来说结构符合设计使用的要求,但是与最大许用应力还有一倍的差距,故有一定的优化裕量。

1.4 结构优化

企业的工程师们都遵循“性能满足要求、成本最小”的原则,特别是对本文中的闸阀,材料是特殊合金,属于贵重金属,材料的节省对设计的意义重大。由以上分析结果可知,最大应力值要小于许用应力值,还有一定的优化空间。

整个阀体可优化的部分是阀体壁厚和加强筋,查标准《GB26640-2011 阀门壳体最小壁厚要求规范》可知,该闸阀阀体的壁厚正好是规定的最小壁厚 11 mm,故不能优化,又因为最大应力分布在阀体两端的加强筋上,所以主要优化加强筋的尺寸。

优化算例有三要素:变量、约束和目标,如表 2 所示。优化变量是加强筋的 2 个基本尺寸,图 7 是加强筋的优化尺寸,尺寸 a 和 b 的原始值都是 16 mm,因为要消减质量,所以 a 和 b 的值要在 12 mm~16 mm 之间变化,变化步长为 1 mm;约束设为最大应力 < 120 MPa;约束目标是质量最小。

表 2 优化算例的要素

优化三要素	优化参数
变量	$12 \leq a \leq 16$, 步长为 1
	$12 \leq b \leq 16$, 步长为 1
约束	应力 < 120 MPa;
目标	质量最小

共有 25 种优化的情形,每种情形优化的结果如图 8 所示。从图 8 上可以看出。满足最大应力 < 120 MPa 且质量最小的情形是情形 2,最终优化的结果是 $a = 13$ mm, $b = 12$ mm,最大应力 91.533 MPa,质量最小为 35.302 9 kg。

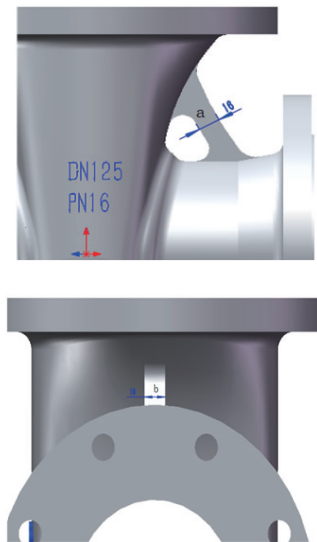


图 7 加强筋的优化部位

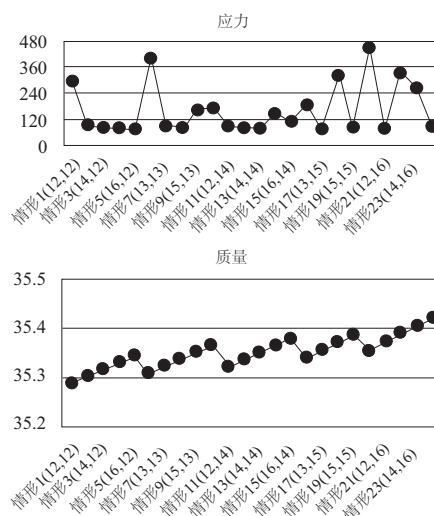


图 8 优化结果

2 闸阀阀体基于流固耦合的结构分析

2.1 闸阀阀体的流体仿真分析

流体仿真以计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 为原理的,CFD 是基于基本流动方程控制下对流体流动过程的数值模拟,通过划分网格和输入边界条件,就可以得到内流场的静压力、速度、温度、浓度等基本物理量随时间的变化情况^[4],CFD 的工作流程如图 9 所示。

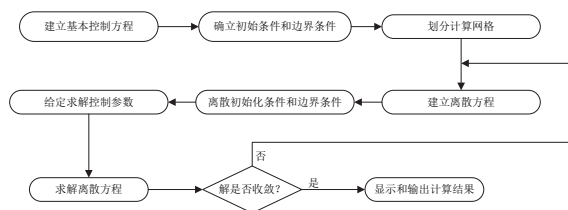
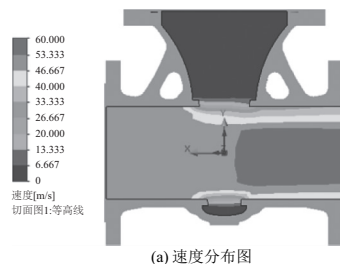


图 9 CFD 的工作流程图

所以在对阀体进行流体仿真时,先确定介质为水,温度是 30℃,再设定边界条件:入口边界条件是压力入口,入口压力为 2.4 MPa;出口边界条件为压力出口,出口压力为 2 MPa。然后自动划分网格,最后进行计算,流体流经阀体时的速度与静压力分布如图 10 所示。由速度和压力分布图可知,闸阀的流阻小,速度和压力分布平稳,且分布呈反比关系。



(a) 速度分布图

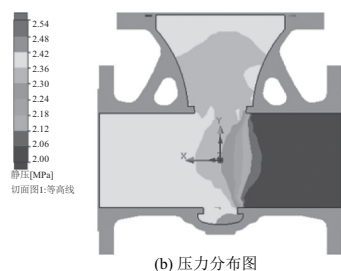


图 10 速度和静压力分布

2.2 闸阀阀体的流固耦合分析

在进行阀体的静力学分析之前,需要将流体分析的结果作为外部载荷导入到静力学分析中,这就是流固耦合的过程。在添加载荷之后,再添加固定夹具,然后进行网格划分,且运算得到结果。流固耦合分析的应力及位移分布如图 11 所示。

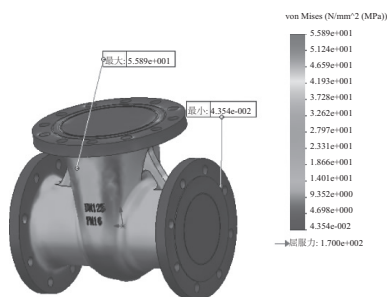


图 11 流固耦合结构分析应力分布

由图 11 可知,阀体的最大应力还是发生在加强筋上,相比于传统的静力学结构分析,采用流固耦合方式生成的最大应力较小,为 55.89 MPa,比许用应力小得更多,也需要进行结构优化。

介质以一定的静压力流入阀体,在流动过程中,由于受到壁面条件和内腔的影响,阀体内腔所受到的压力因结构的不同而不同,故用传统结构分析的方法是不精确的。流固耦合分析正是将流体流动导致内压变化的状态形象地传给静力学分析,使计算结构更加精确。

2.3 结构优化

流固耦合的结构优化与传统静力学结构优化的方式是一样的,优化参数设置也是一样的,优化结果见图 12。

经过了 25 种情形的计算,发现情形 1 满足优化的条件, $a=b=12\text{ mm}$,结构分析的最大应力为 103.77 MPa,质量为 35.2904 kg,在满足约束条件的情况下,质量最小,总体来说满足设计要求。

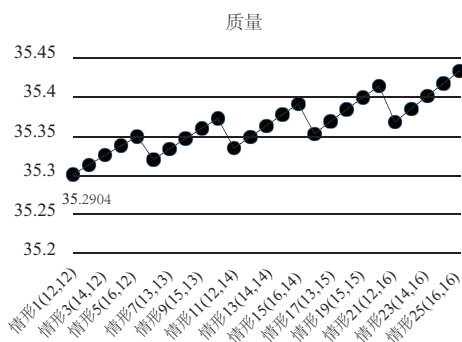
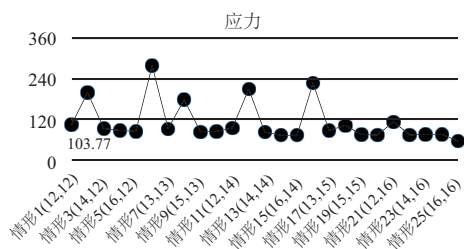


图 12 优化结果

3 结果对比

经过传统静力学分析和流固耦合分析后,再分别对结构进行优化,两者分析优化的结果见表 3。

表 3 结果对比

分析参数	分析方法	
	传统静力学分析	流固耦合分析
原始质量/kg	35.422 7	35.422 7
最大应力/MPa	87.14	55.89
a/mm	13	12
b/mm	12	12
优化后应力/MPa	91.53	103.77
优化后质量/kg	35.302 9	35.290 4

从表 3 可以看出,传统静力学分析在优化前的最大应力比流固耦合分析的大,这就说明流固耦合分析有更大的优化裕量。优化后的结果显示,传统静力学法优化的最大应力和流固耦合法的最大应力都满足要求,但是流固耦合分析的优化空间要大,这就证实了流固耦合分析有更大优化裕量的假设。最后优化的质量比传统静力学分析的小,所以成本比传统方法更低,故采用流固耦合的方法比传统静力学方法更有优势。

4 结语

本文对闸阀阀体结构进行了静力分析,把流固耦合的方法与传统计算静力学的方法作对比,可以发现在针对阀门的结构强度分析过程中,流固耦合方法的优化裕量更大,在结构优化过程中,优化的质量更小,比传统静力学方法的成本小,更有优势。

参考文献:

- [1] 高平,郑军. 闸阀阀体的有限元分析[J]. 石家庄铁道学院学报,2005(2):91-93.
- [2] 陈黎明. 用流固耦合方法对阀体进行应力分析[J]. 阀门,2016(1):25-26.

(下转第 133 页)