

文章编号: 1002-5855 (2006) 06-0029-04

Solidworks 在安全阀设计开发中的应用

朱欣涓¹, 罗小龙¹, 吴小霞²

(1. 武汉锅炉集团阀门有限责任公司, 湖北 武汉 430070; 2. 中南民族大学工商学院, 湖北 武汉 430223)

摘要 以设计全启式弹簧安全阀为例, 介绍了运用 Solidworks 对阀门零部件进行相关参数化建模设计, 并运用 Solidworks 内嵌的 COSMOS/ works 有限元分析处理模块对阀门零部件进行应力分析, 以考察零件在承载工况下的工作性能及受力情况。借助 Solidworks 虚拟三维设计及装配技术, 能有效地提高设计效率、缩短产品的研发周期, 降低生产成本从而提升产品的市场竞争力。

关键词 全启式弹簧安全阀; 参数化; 三维建模; 有限元分析

中图分类号: TH134 **文献标识码**: A

The application of solidworks in the design and development of valve products

ZHU Xin-juan¹, LUO Xiao-long¹, WU Xiao-xia²

(1. Wuhan boiler group valve co., Ltd., Wuhan 430070, China;

2. South - Central University Fornationalities College of Engineering and Commerce, Wuhan 430223, China)

Abstract: Taking fall lift spring safety valve for example, the paper introduces advanced modeling software Solidworks, by which the accessories of the valve are designed parameterizedly. And it also analyses the stress of the accessories of the valve using COSMOS/ works finite element analysis disposal module nested in the Solidworks to review their working performances and the forces in the condition of bearing the weight.

Key words: fall lift spring safety valve; parameterized; three - dimensional modeling; finite element analysis

1 概述

安全阀属于自动阀类, 常用于系统或装置的安全保护, 当介质压力由于某种原因升高并超过预定的安全整定压力值时, 安全阀在流体压力的作用下, 阀瓣开启一定高度, 自动泄压排放多余介质, 从而保护装置的安全可靠。当介质压力下降到安全区域值时, 安全阀又由其自身弹簧力的作用而自动关闭并阻止介质流出, 泄放停止。安全阀对锅炉压力容器和压力管道的安全运行起着至关重要的作用。安全阀设计和制造时, 如果采用传统的图纸上画模型的设计方法, 既费时费力, 又容易出错, 且修改十分不便。采用 Solidworks 辅助设计软件进行阀门产品设计研发, 不仅可以加快设计进程, 提高

工作效率, 缩短新产品的开发周期, 而且通过 3D 建模还能对新设计产品进行查漏补缺, 减少出错率, 从而优化阀门产品设计。

2 产品设计

以全启式弹簧安全阀产品设计开发为例, 运用 Solidworks 软件对阀门产品进行参数化建模研发。全启式弹簧安全阀具有多规格及多参数系列设计的特点, 其中仅压力和通径的搭配组合就可形成多种规格和型号。

2.1 零件设计

产品设计包括零件设计和装配设计。在进行产品设计时, 可以先设计产品零件, 然后再进行装配设计并根据要求配合零件, 也可以从装配总图到零

作者简介: 朱欣涓 (1981 -), 女, 陕西宝鸡人, 工程师, 从事阀门的设计及开发工作。

件的设计，先建立装配结构，逐步添加零件或设计几何结构，产生子装配或部件。该装配设计方法既符合人们的设计习惯，又能提高建模效率，所以采用此方法进行设计建模。全启式弹簧安全阀的使用性能主要取决于安全阀工作时的蒸汽排放量 E 。

$$E = CA (10.2 P + 1) K_{sh} \quad (1)$$

式中 E ——安全阀的排气能力，kg/h

P ——安全阀排放压力，MPa

$$P = 1.03 P_{set}$$

P_{set} ——安全阀整定压力，MPa

A ——安全阀排放面积，mm²

$$A = \frac{D^2}{4}$$

K_{sh} ——安全阀蒸汽修正系数

C ——安全阀排放系数 ($C = 0.416$)

D ——喉径，mm

式 (1) 反映出喉径 D 与阀座有关，而阀座尺寸又与阀体、阀瓣和阀杆相关联。所以安全阀的阀体、阀瓣、阀座和阀杆是整个产品的核心零件，它们在很大程度上决定了安全阀的结构形式和使用性能。掌握了这些核心零件，再参照装配关系把产品分解成若干个零部件，确定这些零部件之间的几何和位置的约束关系，根据约束条件再逐个对零件进行概念设计及详细设计。在每单个零件的 Solidworks 建模中，根据其自身的工作需要和结构特点，先建立模型基体或建立以扫描特征为基础特征的零件毛坯，再参照零件粗加工工艺过程，逐步创建零件的基体特征。最后再按照零件精加工工艺对零件进行倒角和去毛刺等工序加工。各特征建立的顺序应尽可能与零件的加工顺序相一致。单个零部件中不仅包括着自身特征和属性信息，也保存着与其他零部件之间的关联信息，当零件参数发生改变时，可以自动传递到其他相关零部件，促使有关零部件变动更新。所以零件设计总是基于装配的关联设计，零件或装配的任何修改都将传递到所有关联的零件图、装配图和 2D 工程图中，从而保持了整个产品设计的一致性、完整性和相关性。

2.2 零件参数化设计

在设计开发中，参数化是指零件的结构形状比较定型，可以用一个或一组参数来确定设计对象，参数与设计对象的控制尺寸有明显的对应关系，从而可使设计的结果受参数的驱动。在全启式弹簧安全阀研发中可以应用参数化设计零件。在参数化建

模设计前，对该阀门零件进行仔细的分析，首先从整体上形成关于零件建模的思路，明确设计需要创建的各种特征以及它们的内在联系及其各自特点，最后明确该零件需要几个参数进行驱动。Solidworks 中的系列零件设计表是通过嵌入在 Microsoft Excel 工作表中指定参数，可以使用材料明细表建构多个不同配置的零件或装配体。系列零件设计表保存在模型文件中，对 Excel 表格的修改实现尺寸驱动，从而能够完成设计系列参数化。图 1 是以阀杆的形状参数（即阀杆长度参数） L 的取值范围实现阀杆的参数化建模。

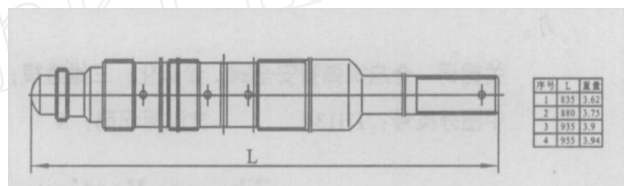


图 1 全启式弹簧安全阀阀杆参数

(1) 建立零件实体 根据图 1 所示的阀杆二维图在零件模板中创建基准 3D 实体，在 FeatureManager 特征管理树中，用右键单击左侧 Solidworks 工具栏中 [注解] 文件夹，选择“显示特征尺寸”会把所有特征相关的尺寸显示出来。在图形区域中右键单击要修改的特征尺寸，然后选择“属性”，在对话框中重新命名特征（图 2，为了显示清楚，图中隐藏了其他非重要尺寸，只显示阀杆长度尺寸）。

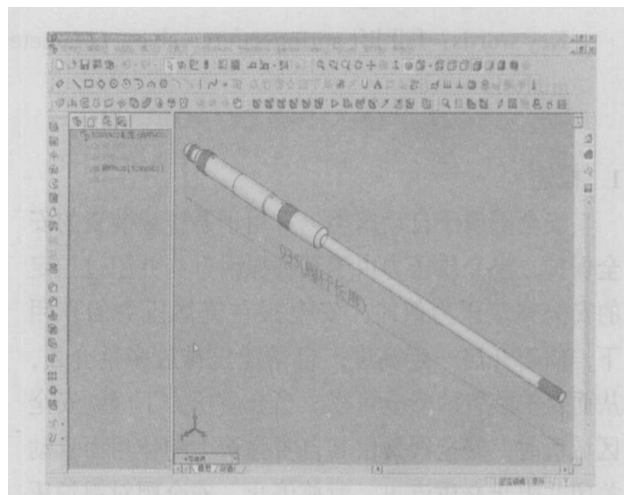


图 2 阀杆系列化配置清单

(2) 插入系列零件设计表 选择“插入”“系列零件设计表”“新建”，一个嵌入的 Excel 工作表出现在 Solidworks 用户界面窗口（图 3），在默认情况下，第三行（单元格 A3）包含第一个新配置的默认名称。“第一实例”，为便于察看修改

将其重命名为“阀杆 NO3”，列标题栏单元格 B2 为激活状态命名为“阀杆长度”。

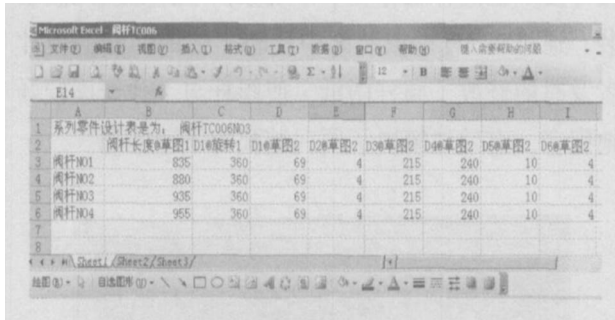


图3 阀杆参数系列化配置的系列零件设计表

(3) 编辑 Excel 表实现零件参数系列化配置

系列零件设计表是嵌入到零件文件中的，而不是链接到文件，这表明可以改变原有的 Excel 电子表格文件，而不会影响其他零件文件。选择“编辑系列零件设计表”命令，Excel 建立的系列零件设计表出现在 Solidworks 图形区域中，根据设计需要编辑该表格，可以改变单元格的参数值，添加行以容纳增加的配置，或是添加列以控制所增加的参数。根据阀杆二维图纸设计要求，在阀杆 3D 图上配置另三个不同系列的阀杆长度尺寸，即可得到图 3 所示的 Excel 系列化配置表。在表格外单击 [配置管理器] 标签，同时系统自动关闭系列零件设计表，可以看到 Excel 工作表驱动生成的参数系列化配置。通过 Solidworks 建立的零件参数配置，当设计人员想要用到相关零件不同系列尺寸时，只需在 [配置管理器] 中选取所需系列类型，系统即可自动生成该零件的三维模型。需要注意的是若直接在 3D 模型（而不是表格）中所进行的更改是不会反映在原始的 Excel 工作表或嵌入的表格中。下次计算系列零件设计表时，配置会根据进行模型中的数据进行更新。下一步保存 Excel 表格及其实例零件，建立零件实体库，即可完成实体零件库的建立。通过参数化设计能够大幅度提高建模效率，摆脱了重复劳动，增加零件的通用性，对于设计其他阀门需借用本阀杆时会显示出更大的优势。

2.3 零件结构的有限元分析

有限元分析技术是阀门产品结构设计和分析中必不可少的计算工具。把有限元技术应用到全启式弹簧安全阀关键部件的设计过程中，可以为产品的高可靠性、耐用性和耐高温提供有价值的参考依据，它是提高设计质量，缩短产品开发周期，降低生产成本，优化产品设计结构，节省昂贵试验费

用的一种有效途径。COSMOS/ works 是内嵌在 Solidworks 的完全集成的工程分析系统，COSMOS/ Works 提供了单一屏幕解决方案来进行零部件的应力分析、频率分析、扭曲分析、热分析和优化分析。COSMOS/ works 的内嵌使得 Solidworks 具有了在三维建模基础上进行工程分析的能力，其良好的无缝集成，保证了基于实体特征的有限元分析技术的实施。COSMOS/ Works 使用有限元素方法 (FEM)。以全启式弹簧安全阀阀瓣为例进行 COSMOS/ works 有限元分析。阀瓣材质为 3Cr13，经过调质处理后，有良好的综合机械性能 (表 1)。

表 1 3Cr13 材料的力学性能

材料	公称厚度 t (mm)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	屈服点 σ_s (N/mm ²)	伸长率 δ_5 (%)	断面收缩率 (%)	硬度 HB
3Cr13	100	735	539	12	40	240~280

(1) 建立约束，施加载荷 阀瓣三维模型建成后，直接在 Solidworks 中打开 COSMOS/ works 对模型进行分析计算。约束固定面选取阀瓣上部与导向套接触的搭子平面，其水平及垂直方向位移均为零。施加载荷主要来自阀瓣下部压力容器所释放的蒸汽 $P_N = 20$ MPa，工作温度 $T = 540$ ，垂直于阀瓣工作面，方向向上。

(2) COSMOS/ works 计算分析 输入其相关参数等信息后，系统经过运行各种计算功能，得到零件的应力分布云图 (图 4)。从图中可以看出，阀瓣受力变形比为 1 502.8，其最大应力为 1.2376×10^8 N/m² (位于 $X = 2.22233$ mm, $Y = 3.5$ mm, $Z = 25.403$ mm 处)，最小应力为 440006 N/m² (位于 $X = -1.46189$ mm, $Y = -0.429942$ mm, $Z = -38.479$ mm 处)。再利用设计检查向导评估设计的安全性。运行后从图 5 中可以观察到系统计算出阀瓣工作中所承受的最大应力为 73.31 MPa，而系统给定的材料的屈服和抗拉强度分为 206.807 MPa 和 517.017 MPa，模型最小安全系数为 2.8 (如果安全系数小于 1.0 表示材料已屈服，设计不安全。安全系数为 1.0 表示材料刚开始屈服。安全系数大于 1.0 表示材料没有屈服。如果应用当前载荷乘以所产生的安全系数相等的载荷，材料将开始屈服)，远小于设计给定，所以阀瓣设计满足要求合格。在 COSMOS/ works 中，分析得出的应力、应变、位移和变形可以用 AVI 的动画格式演示和保存，系统随后给出详细的综合分析报

告,使设计者能直观的了解工件在受载情况下的应力变化和变形情况等。最后比较 COSMOS/ works 对阀瓣分析计算的结果与理论计算值的结果,其出现最大应力、最大位移量的结点位置基本一致,其变化规律也相近,说明其数据分析准确,结果符合强度设计要求。

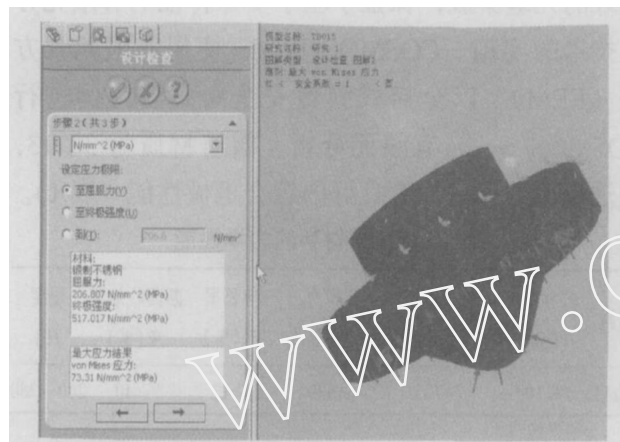


图 4 全启式弹簧安全阀阀瓣应力分析图

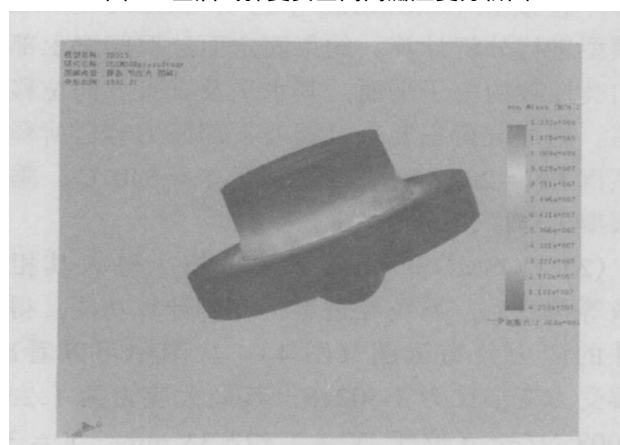


图 5 阀瓣应力分析图

2.4 产品装配设计

全启式弹簧安全阀的虚拟装配设计过程,是对已经建立产品零件按照相互的装配关系完成的 3D 装配模型。进行零件装配时,必须合理选取第一个装配零件(安全阀阀体设定为第一装配零件)。第一个装配零件是整个装配模型中最为关键的零件,而且在以后的工作中不会删除。在装配过程中,已存在的零件称为父零件,与之相装配的后来零件称为子零件,子零件可单独删除,而父零件不行,删除父零件,与之相关联的所有子零件都将一起被删除,所以删除第一个零件也就删除了整个装配模型。Solidworks 在装配零件时同步进行动、静态干涉检查。一旦发现设计不合理之处及时修改与调整图纸,从而可缩短产品制造与装配生产过程的时间,

降低产品的装配成本,提高设计质量。

在安全阀虚拟装配过程中(图 6),发现 CAD 设计图纸在阀杆上存在干涉现象,下弹簧座无法组装。通过在 3D 虚拟装配中反映出来的问题,设计者及时的修改了阀杆图纸,使阀杆与下弹簧座较好地配合,有效地解决了阀门装配的干涉问题。

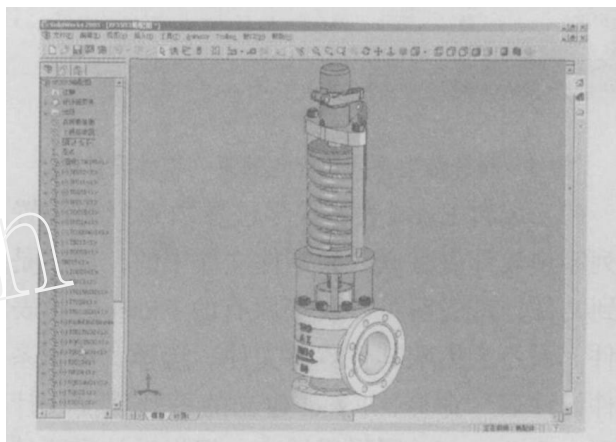


图 6 全启式弹簧安全阀虚拟装配图

Solidworks 还可以根据装配过程给装配图中指定零件添加运动轨迹,生成用于表达装配关系的爆炸视图,清晰的展现产品的结构。生成爆炸视图,最后录制成 AVI 格式影视文件,用以动态地演示设计意图及进行干涉检查。整个阀门的虚拟装配过程流程如图 7。设计者通过干涉检查的反馈信息最大限度地减少错误,提高工作效率,使得设计流程更加顺畅。

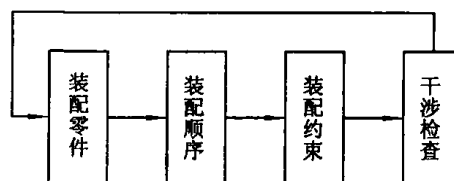


图 7 虚拟装配设计流程

3 结语

在全启式弹簧安全阀三维建模过程中,通过采用虚拟装配和 COSMOS/ works 有限元分析技术,设计者在模型图中能够方便、快捷地对阀门各部件进行操作和受力分析。通过对零件模型的有限元分析,可以使设计人员直观及全面地了解零件在工作状态下的应力分布规律和变形情况,可以指导设计改进,缩短研发时间,提高设计的准确性和可靠性,使得阀门的设计建立在更加科学合理的基础上,从而达到优化设计的目的。另外 Solidworks 在创建基准零件的参数化模型的基础上 (下转第 42 页)

= 0.027 735m

式中 L ——膨胀量, m

K —— (取 $K = 1.2 \times 10^{-6}$), 1/m

L ——固定点距顶部的距离, m

T ——工作温度与正常温度之差,

由于排汽管为固定连接, 所以附加在安全阀上的应力很大, 造成安全阀与高压加热器间发生不同步的震颤而导致泄漏。

(2) 使用 疏水管装有阀门并关闭造成堵塞, 违反了 GB/T 12243 第 140 条和 DL 612 - 1996 第 9 条中关于安全阀疏水管不允许装设阀门的规定, DRESSER 安全阀安装使用指导手册中同样有此规定。由于疏水管堵塞造成安全阀腔内及排汽管内积水 (特别是在雨季时雨水的灌入), 使安全阀相关部件因温差而发生形位变化导致泄漏。

(3) 质量 按规定对安全阀进行手动试验后, 操作者一般不注意将手柄复位。由于手动转轴与护罩间的密封填料压紧力过大, 使手动提升装置与提升挡圈之间未脱开, 仍有部分向上作用力作用于提升挡圈上, 减小了弹簧作用力, 引起阀门泄漏。另外, 原制作的研磨块过长, 研磨密封面时工作重心难以控制, 导致研磨效果差, 也易引起阀门泄漏。当安全阀检修并组装后进行冷态启跳密封试验时, 未能同时注意压力表与密封面泄漏情况的变化, 造成判断不准确, 整定动作压力低于额定动作压力, 从而引起阀门泄漏。如果检修中相关部件清洁度低, 异物未去除等均可留下泄漏隐患。

2.2 弹簧断裂

由于安全阀泄漏以及疏水管堵塞, 阀门泄漏后的蒸汽凝结水及外来雨水未能得到及时排尽, 汽水混合物进入安全阀盖内, 使弹簧表面湿度增大受到不均匀腐蚀, 局部应力过大而断裂。

2.3 回座性能差

未能按 DRESSER 安全阀安装使用指导手册中关于下调整环的调整指导意见并根据现场实际工况进行调整, 下调整环的位置偏高, 排放量过小。

3 解决措施

(1) 将安全阀排汽口法兰与排汽管间的固定连接改为金属软管连接, 以消除因高压加热器筒体受热向上膨胀而附加给阀门的应力, 同时消除了阀门与高压加热器间的不同步震颤。

(2) 打开疏水管阀门 (未去除) 并进行疏通, 确保疏水管畅通。消除了因安全阀腔与排汽管内积水, 从而使相关部件因温差发生形位变化继而引起安全阀泄漏以及造成弹簧局部腐蚀而断裂的因素。

(3) 将手动转轴与护罩间的密封填料去除, 改装铜套, 铜套与轴之间的间隙为 0.15 ~ 0.20 mm。这样, 在进行手动活动试验以后手动提升装置能自动复位, 消除了提升装置向上的作用力。

(4) 重新制作并缩短研磨块, 改进研磨方法, 提高研磨质量, 使表面光洁度和平整度得到提高。

(5) 在对阀门进行启跳和密封试验时, 试验介质由水改为空气, 使用 0.4 级以上标准压力表。这样, 可明显听到阀门启跳时的泄漏声, 同时根据压力的微小变化, 正确判断和整定安全阀启跳值。

(6) 严格检修工艺, 完善相关检修工艺标准, 确保检修质量。

(7) 根据阀门结构及其工作原理, 按 DRESSER 安全阀安装使用指导手册中关于下调整环的调整指导意见并根据现场实际工况对下调整环进行调整, 降低下调整环位置, 增加阀门的排放量, 提高安全阀的回座压力。

4 结语

通过正确分析安全阀发生泄漏、弹簧断裂和回座性能差等故障原因, 采取了适当的改进措施, 避免了故障的再次发生, 保证了设备安全。

(收稿日期: 2006.06.10)

(上接第 32 页) 基础上, 借助 Excel 电子表格快速准确地生成同系列零件中的任何一个零件。这是一种不需要二次开发, 即可完成实体零件库建立的方法, 为零件的系列化建模、装配和分析提供了有效的技术支持。总之, 参数化的应用提高了阀门零件的建模效率, 增强了建模的通用性。实践证明, 在阀门产品设计时, 充分运用先进的 CAD 软件, 进行相关参数化设计建模, 可以有效地提高设计效率, 极大的缩短产品的研发周期, 降低生产成本并提升产品的市场竞争力。

参 考 文 献

- [1] J. L. 莱昂斯. (美) 阀门技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] Saeed Moaveni 著, 欧阳宇、王松等译. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [4] 曹岩, 等. Solidworks 2004 产品设计实例精解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 周震, 等. 锅炉压力容器压力管道安全泄放装置实用手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [6] 祝凌云, 等. Pro/Engineer 运动仿真和有限元分析. 北京: 人民邮电出版社, 2004. (收稿日期: 2006.07.14)

