

Seismic Analysis of Nuclear Safety-Related Butterfly Valve Based on Workbench

Jiangang Li, Xiaojian Zhang, Junyu Chen, Qijun Zou

Jiangsu Shentong Valve CO., LTD., Qidong Jiangsu
Email: ligang_4078@163.com

Received: May 20th, 2017; accepted: Jun. 2nd, 2017; published: Jun. 9th, 2017

Abstract

This paper introduces the load combination, criteria and methods of evaluation for seismic analysis, and verifies the seismic performance of the nuclear safety-Related butterfly valve by the ANSYS module of workbench. It has not only verified the structural integrity of the valve, but also verified and optimized the weak area of the valve at the design stage based on seismic analysis. It reduces the enterprise cost and shortens the product development cycle through the method of seismic analysis.

Keywords

Workbench, Seismic Analysis, Nuclear Safety-Related Butterfly Valve, Verify

基于Workbench对核级蝶阀的抗震分析

李建刚, 张晓剑, 陈俊宇, 邹其军

江苏神通阀门股份有限公司, 江苏 启东
Email: ligang_4078@163.com

收稿日期: 2017年5月20日; 录用日期: 2017年6月2日; 发布日期: 2017年6月9日

摘要

本文介绍了抗震分析载荷组合和评价标准及方法, 并通过workbench的ANSYS模块对核级蝶阀的抗震性能进行验证。通过抗震分析, 本文不但验证了阀门的结构完整性, 还使得在设计阶段就可验证和优化阀门的薄弱区域。这降低了企业成本, 缩短了产品开发周期。

关键词

Workbench, 抗震分析, 核级蝶阀, 验证

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

核电站用核级蝶阀作为核电站管道控制介质的重要设备，其可靠性对于核电站的正常运行具有重要的意义。最终产品需要经过核电标准的地震鉴定试验，若此时核级蝶阀地震试验不通过再去优化设计方案，这样就会增加制造企业的成本，workbench 的仿真分析此时就显的非常具有必要性和实际意义。

Workbench 仿真分析的应用可在产品生产之前，就对其进行验证并对设计方案进行优化，降低企业生产成本。

2. 核级蝶阀载荷组合和评价标准

核级蝶阀是特殊类承压设备，属于复杂的压力容器结构。需要根据管道安装方式完成核级蝶阀的载荷组合[1]，分别对不同的载荷情况进行仿真分析，并对其进行评价。

核级阀门具体载荷组合和评价标准[1]详见 NB/T20010.10-2010。

3. 核级蝶阀抗震分析

3.1. 核级蝶阀三维建模

可通过美国 Solidworks 公司开发的三维特征造型 CAD 软件进行建模。Solidworks 的参数化和特征造型技术可满足绝大部分的工程设计的需要。即能真实反映实际设计原型，也可考虑计算的真实性和可行性，对三维模型进行局部位置的简化。核级蝶阀的三维模型示例见图 1。

在 Solidworks 建立的三维模型，通过格式转换导入到 ANSYS Workbench 中。其中核级蝶阀驱动执行机构在 ANSYS Workbench 中通过质量点代替。本论文描述的阀门为核三级蝶阀为例，质保等级为 QA2 级，抗震级别为 1 I，阀门的公称直径为 DN250，压力等级 150 Lb，设计压力 2.0 MPa，密封试验压力为 2.2 MPa，设计温度不高于 120℃。

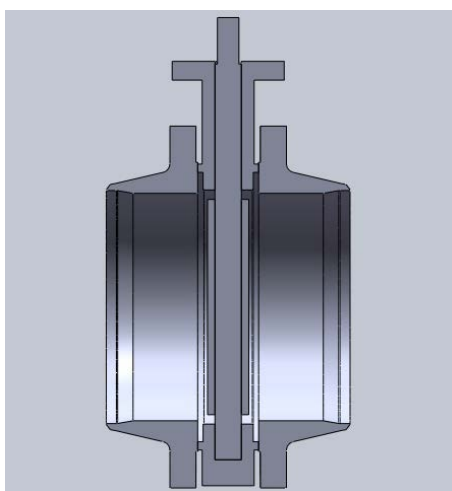


Figure 1. The 3D model of nuclear safety related butterfly valve

图 1. 核级蝶阀三维模型

3.2. 模态分析

在 ANSYS Workbench 中设置阀体、蝶板、配对法兰、阀轴部件的材料属性，包括材料杨氏模量、泊松比、密度等参数。其中阀体选用材质 20Mn5M (M1112)，材料基本在 150℃ 许用应力 161.0 MPa [2]。同时驱动装置通过质量点模拟，与中法兰螺栓孔建立连接。

对核级蝶阀进行网格划分，并依据管道实际的安装方式对核级蝶阀进行固定约束，并进行模态分析。分析结果见图 2，蝶阀模态分析的位移云图可以得出蝶阀的颈部为薄弱区域。可根据模态分析结果对此薄弱区域增加加强筋进行优化，增加蝶阀的刚度，优化后的见图 3。由图 2 和图 3 对比，蝶阀的固有频率增加了 28%，说明增加加强筋的方式是可行的。核级蝶阀据此调整优化设计方案。

由蝶阀的模态分析可知，核级蝶阀固有频率 > 33 Hz [3]，该蝶阀整机是属于刚性阀门组件。那么该阀门抗震分析计算可采用等效静力法计算。如果模态分析阀门为柔性组件，那么需要加速度反应谱法或

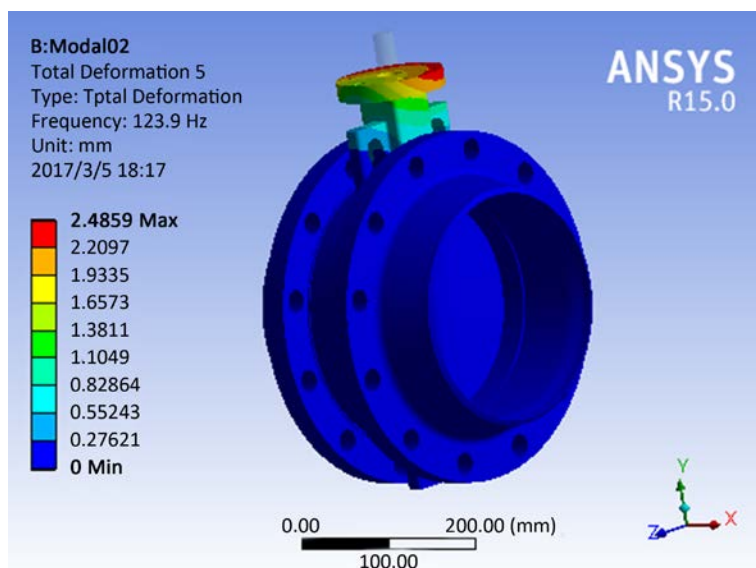


Figure 2. Pre-Optimized modal analysis

图 2. 优化前模态分析

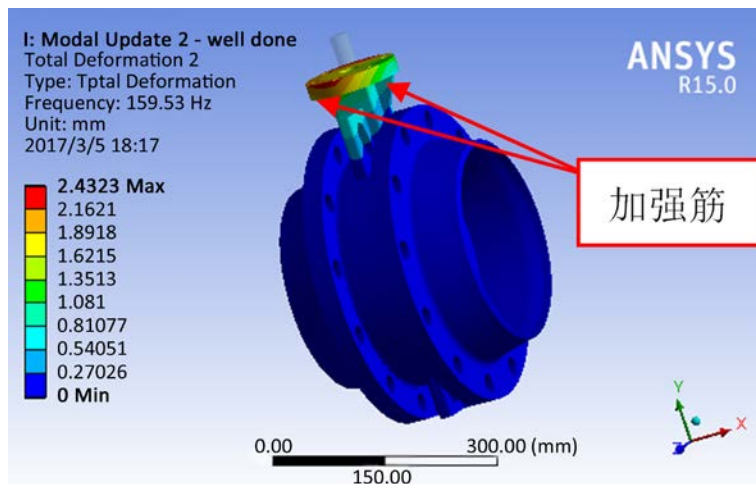


Figure 3. Optimized modal analysis

图 3. 优化后模态分析

时程法分析计算。本文采用的是等效静力法计算。

3.3. 抗震分析[1]

按照标准 NB/T20010.10-2010 中描述的五种工况下的载荷组合分别对核级蝶阀的进行抗震分析计算。边界条件为阀门一侧固定约束,另一侧施加管道反作用力(接管载荷),并正在内部施加设计内压和地震加速度。其中管道反作用力、设计内压、地震加速度具体值依据标准和规格书进行设定。

阀门承压边界的分析对象包括阀体、蝶板、阀轴。分析计算它们在各工况下的应力,然后进行应力强度校核与评定。阀体作为压力容器体,是基于应力分布确定典型的危险截面,根据应力分类原则,利用标准规范进行应力评定(对最大主应力进行应力分解)。阀轴及其他零部件(不包括阀座)均采用钢材塑性材料,分析采用第四强度理论(采用等效应力)进行评定。

应力评定只涉及总体一次薄膜应力 σ_m 以及局部薄膜应力与一次弯曲应力之和 σ_m (或 σ_L) + σ_b 。在总体结构不连续区域,局部薄膜应力与弯曲应力(包括二次弯曲应力)都按局部薄膜应力加一次弯曲应力评定。

在异形压力容器阀体上供选取了 22 个路径进行应力评价,确保核级蝶阀符合要求。路径详见图 4 和图 5。

从选取的 22 条路径的分析数据可以得出在设计工况、正常工况、异常工况、紧急工况和事故工况中所有路径线性应力值均小于材料的基本许用应力值,应力分析结果为阀门各种工况下阀门能够保持结构完整。

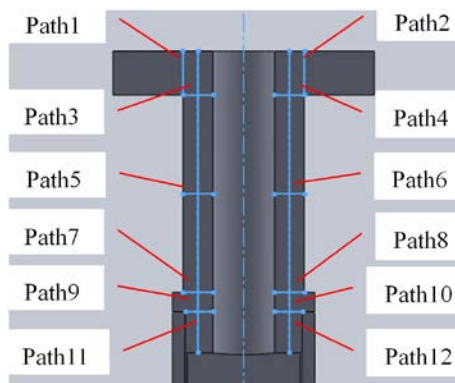


Figure 4. Butterfly Valve Evaluation Path 1
图 4. 蝶阀评定路径 1

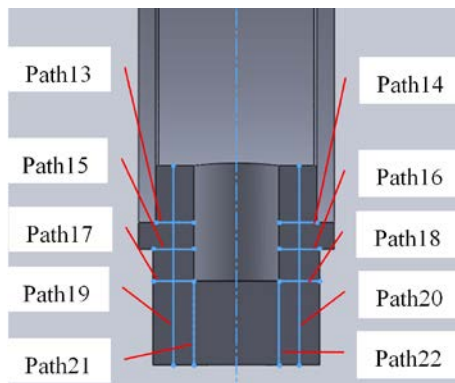


Figure 5. Butterfly Valve Evaluation Path 1
图 5. 蝶阀评定路径 1

Table 1. Comparison of Seismic Data Before and After Optimization under Five Conditions (MPa)

表 1. 五种工况下优化前后的抗震分析数据对比^③(单位: MPa)

路径	抗震分析计算值										
	设计载荷		正常载荷		异常载荷		紧急载荷		事故载荷		
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
优化前	Path7	12.18	18.10	21.97	39.79	22.24	40.15	12.70	18.74	29.82	54.96
	Path8	12.25	19.00	16.09	21.17	16.33	21.43	12.80	19.75	21.08	27.46
优化后	Path7	9.36	11.35	13.30	16.57	13.47	16.77	9.77	11.79	17.72	22.09
	Path8	8.44	9.59	15.14	16.84	15.23	16.92	8.68	9.77	20.58	22.79

注: ① 代表体一次薄膜应力 σ_m ;

② 代表局部薄膜应力与一次弯曲应力之和 σ_m (或 σ_L) + σ_b ;

③ 图 2 为优化前模型, 图 3 为优化后模型。

3.4. 抗震分析结果评价[1]

从上述路径的分析数据得出 Path7 和 Path8 的一次薄膜应力、局部薄膜应力加一次弯曲应力是最大的。Path7 和 Path8 为核级蝶阀阀体与颈部交接处, 该区域为核级蝶阀最危险截面。与模态分析改进一致, 在阀体和颈部交接处增加加强筋后, 核级蝶阀 Path7 和 Path8 的应力明显降低, 如表 1。

为提高核级蝶阀的抗震性能, 确保核级蝶阀在地震事故工况下的结构完整, 需要加强核级蝶阀阀体和颈部交接处的刚度和强度。如增加加强筋、改变阀体与颈部截面连接的形状等方案。对于阀体和颈部连接处的刚度加强后的分析, 与上述一致, 再此不多做叙述。

4. 结论

由此可见, 利用 Workbench 的 ANSYS 模块对核级蝶阀进行抗震分析, 既可验证阀门在各种工况下的结构完整性, 还可以在设计阶段就验证和优化阀门的薄弱区域。避免样机多次改进制造, 多次试验验证, 可降低企业成本, 缩短产品开发周期。

参考文献 (References)

- [1] NB/T20010.10-2010 压水堆核电厂阀门 第 10 部分: 应力分析和抗震分析.
- [2] RCC-M-2000 版 2005 补遗压水堆核岛机械设备设计和建造规则.
- [3] GB50267-97 核电厂抗震设计规范.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：met@hanspub.org