

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2015.09.030

核级阀门电动执行器抗震试验研究

郭庆¹, 韩松¹, 邱文¹, 李涛²

(1. 扬州电力设备修造厂, 江苏扬州 225003;

2. 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室, 辽宁沈阳 110016)

摘要: 介绍了 SDQH25 型和 SDQH50 型核级阀门电动执行器的抗震试验。试验利用地震模拟试验台, 采用多频波法, 按照要求的响应谱用人工模拟加速度时程控制, 对 SDQH25 型和 SDQH50 型核级阀门电动执行器进行动态特性探查试验和 5 次 OBE 地震模拟试验及 1 次 SSE 地震模拟试验。试验验证了 SDQH25 型和 SDQH50 型核级阀门电动执行器在地震载荷作用下能正常工作。

关键词: 核级阀门电动执行器; 抗震试验; 响应谱; 动态特性探查试验

中图分类号: TH132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3881(2015)9-103-3

Study on Earthquake-resistant Test of Nuclear-grade Valve Electric Actuator

GUO Qing¹, HAN Song¹, QIU Wen¹, LI Tao²

(1. Yangzhou Electric Power Equipment Manufacture Factory, Yangzhou Jiangsu 225003, China;

2. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang Liaoning 110016, China)

Abstract: The earthquake-resistant test for the SDQH25 and SDQH50 type nuclear-grade valve electric actuator was introduced. For the tests using an earthquake simulating shaking table and adopting the multi-frequency test, the tests were controlled with using manual simulated acceleration time-histories, which based on the required response spectrum. The dynamic characteristics detect tests on the SDQH25 and SDQH50 type nuclear-grade valve electric actuator were carried out, and OBE (operational base earthquake) earthquake simulation test five times and the SSE (safety shutdown earthquake) earthquake simulation test one time. These tests prove that the SDQH25 and SDQH50 type nuclear-grade valve electric actuator can work normally under the effect of earthquake load.

Keywords: Nuclear-grade valve electric actuator; Earthquake-resistant test; Response spectrum; Dynamic characteristics detect test

0 前言

为保证核电站的安全运行, 核电站所使用的设备、建筑等都必须经过相应的抗震试验, 以保证其抗震能力能够在平时可能地震的情况下对核电站的运行不造成影响。并且在有可能发生的最严酷地震状况下仍能做到安全停堆^[1-2]。核级阀门电动执行器是用于控制核电站的相关电动阀门^[3-4], 从而保证系统的安全稳定运行, 是核电站的重要设备之一。核级阀门电动执行器作为核电站的重要设备, 必须要验证核级阀门电动执行器的抗震性能, 因此要进行电动执行器实际工况的抗震试验。以下着重介绍了研究 SDQH 型核级阀门电动执行器的抗震试验。

1 电动执行器构成及参数

SDQH 型核级阀门电动执行器主要是开启和关闭核电站的风阀、闸阀、截止阀等, 其主要由罩盖, 下

壳体、连接盘、驱动电机、手动部件、电气组件及传动部件等零部件构成, 如图 1 所示。传动部件由一对正齿轮及 NN 型少齿差行星齿轮组成。主要技术参数如表 1^[5]。

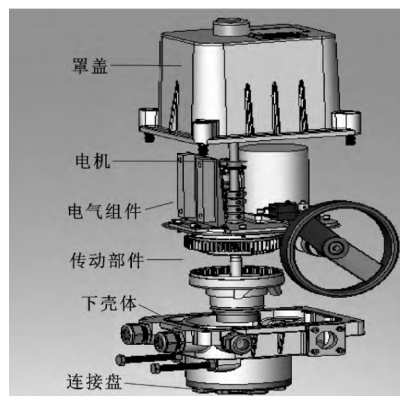


图 1 SDQH 型结构图

收稿日期: 2014-03-23

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2009AA04Z203)

作者简介: 郭庆 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事核级阀门电动执行器设计制造与分析。E-mail: dxwhgq@163.com。

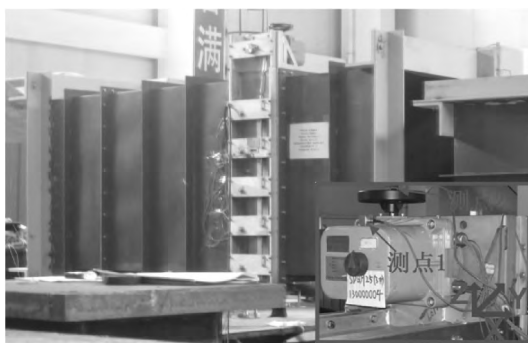
2 抗震试验

抗震试验的目的是通过试验,验证 SDQH 型样机在地震载荷作用下能否正常工作,是否能保持其完整性和可运行性。

表 1 技术参数

型号	质量/ kg	安全 类别	防护 等级	额定转矩/ (N·m)	输出转速/ (r·min ⁻¹)	运动 方式
SDQH25	≤17	K3	IP67	250	0.85	部分回转
SDQH50	≤35	K3	IP67	500	0.85	部分回转

SDQH25 型和 SDQH50 型核级阀门电动执行器抗震试验所用的设备分别为中国核动力研究设计院核级设备鉴定试验室 6 m×6 m 大型高性能地震模拟试验台和同济大学土木工程防灾国家重点实验室振动台试验室 4 m×4 m 地震模拟振动台。抗震试验按照实际工况安装,将 SDQH 型核级阀门电动执行器与风阀固定连接,同时被安装在振动台面上,通过振动台施加与预计地震等效的激励,并测试被测设备的响应。安装设备的方案如图 2 所示,SDQH25 型和 SDQH50 型与风阀安装方案相同。坐标系的建立见图 2,原点设置在连接盘底部中心处,Y 轴正向为连接盘垂直方向,Z 轴正向为手柄方向。同时在罩盖处和手轮处分别设置加速度传感器测点。在地震试验前首先进行动态特性探查测试,然后经过 5 次小量级的 OBE 地震模拟试验和 1 次大量级的 SSE 地震模拟试验。



(a)SDQH25 型安装及测点



(b)SDQH50 型安装及测点

图 2 设备安装及加速度测点

2.1 动态特性探查试验

通过动态特性探查试验查明设备的固有频率和阻尼比,获得设备的固有动态特性,并以此为基础,验证数学模型的合理性或对数学模型进行修正,选择抗震试验的最佳试验方法。试验中,在电动执行器 3 个正交轴方向进行激振,输入加速度幅值为 0.2g,激励类型为正弦扫频,扫描历时 120 s。

样机的固有频率可通过频谱图得到,图 3 和图 4 所示为 X、Y、Z 3 个方向的频谱图。

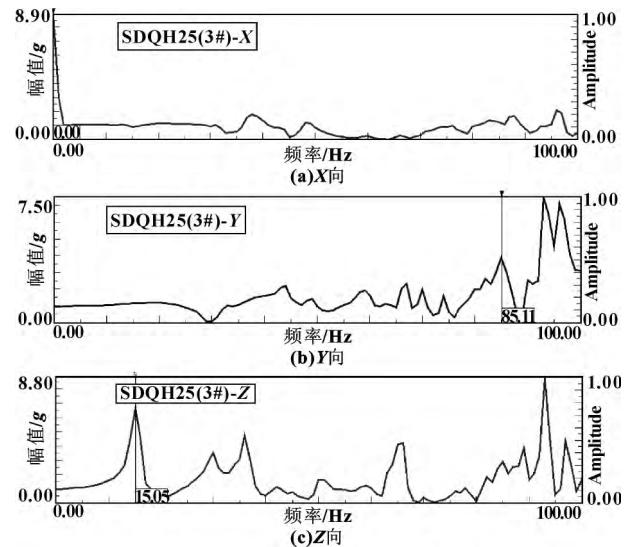


图 3 SDQH25 型频谱图

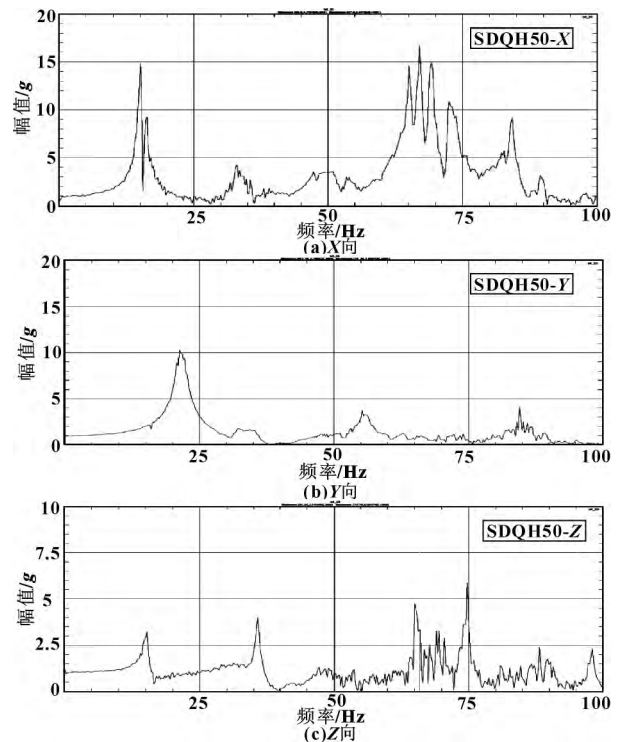


图 4 SDQH50 型频谱图

从图 3 和图 4 中可以看出 SDQH25 样机 X 方向的固有频率大于 100 Hz; Y 方向的固有频率为 85.11

Hz; Z 方向的固有频率为 15.05 Hz。SDQH50 样机 X 方向的固有频率为 15 Hz; Y 方向的固有频率为 21.25 Hz; Z 方向的固有频率为 15.25 Hz。样机 3 个方向的固有频率相对于振动试验所测值^[6]下降,在振动试验中,SDQH25 型 X、Y、Z 方向的固有频率分别为:大于 200 Hz、74.6 Hz、63.3 Hz,SDQH50 型 X、Y、Z 方向的固有频率分别为:131 Hz、132.6 Hz、129.2 Hz。这主要是由于样机在振动试验中是直接和振动台相连,而在抗震试验中是按照实际工况与风阀相连并固定在振动台面上。

2.2 抗震试验

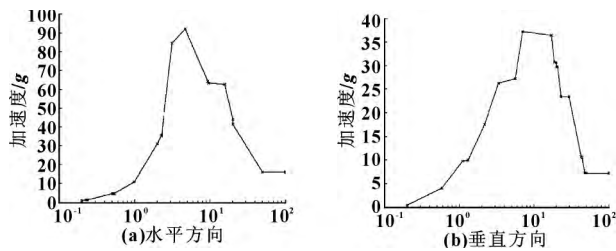


图 5 抗震试验响应谱图

抗震试验采用多频波法^[7],用人工模拟加速度时程控制,时程由要求的响应谱 RRS 计算生成,同时由该人工模拟加速度时程所转换得到的目标响应谱

TRS 必须包络 RRS。试验要求的响应谱如图 5 所示,其频率范围为 0.2 ~ 100 Hz,阻尼比为 4%。按照要求的地震加速度响应谱,生成的人工模拟地震波作为输入信号激励振动台台面进行抗震试验。

地震响应^[8-9]是指抗震试验中被试设备对输入激励的放大情况。地震响应与被试设备的自振特性、地震输入频谱以及振动量级有关,是被试设备对地震输入综合反应的结果。表 2 为被试设备测点处加速度响应的最大峰值(绝对值)。从表 2 中可见,在 SSE 地震模拟试验中,SDQH25 型在相同位置测点的加速度高于 SDQH50 型的测点值,这主要是由于 SDQH50 与 SDQH25 质量和质心位置不同以及振动台等综合因素产生的样机对地震加速度响应的差异;SDQH25 型手轮测点处的加速度反应最大,三轴向峰值分别为 15.9g、20g、14.9g。在整个抗震试验中,SSE 地震模拟试验最为严酷,图 6 和图 7 所示为抗震试验的 SSE 地震模拟试验加速度时程图。从图 6 和图 7 中可以看出,试验时间约为 30 s,其中强震时间超过 20 s。样机在 SSE 试验前处于开启状态,试验开始后在强震过程中操作电动执行机构对风阀进行关闭。试验中,被试设备工作处在正常运行状态,试验过程中和试验后,被试设备始终保持其完整性。

表 2 设备测点处加速度响应

测点	罩盖 X/g		罩盖 Y/g		罩盖 Z/g		手轮 X/g		手轮 Y/g		手轮 Z/g	
	SDQH25	SDQH50	SDQH25	SDQH50	SDQH25	SDQH50	SDQH25	SDQH50	SDQH25	SDQH50	SDQH25	SDQH50
OBE1	5.19	4.42	6.39	4.73	6.11	3.63	5.99	3.37	8.80	6.63	4.32	2.17
OBE2	6.05	4.47	6.85	4.76	8.15	3.64	7.13	3.41	10.7	5.64	5.50	2.22
OBE3	6.85	4.46	8.43	4.72	9.26	3.63	9.93	3.36	11.1	5.66	5.22	2.20
OBE4	7.16	4.43	7.23	4.76	9.03	3.63	10.4	3.37	12.9	5.66	5.18	2.23
OBE5	6.60	4.44	8.39	4.47	7.73	3.65	11.0	3.38	11.4	5.64	6.43	2.20
SSE	12.4	5.88	16.02	6.85	13.05	5.06	15.90	5.87	20.0	8.07	14.9	3.40

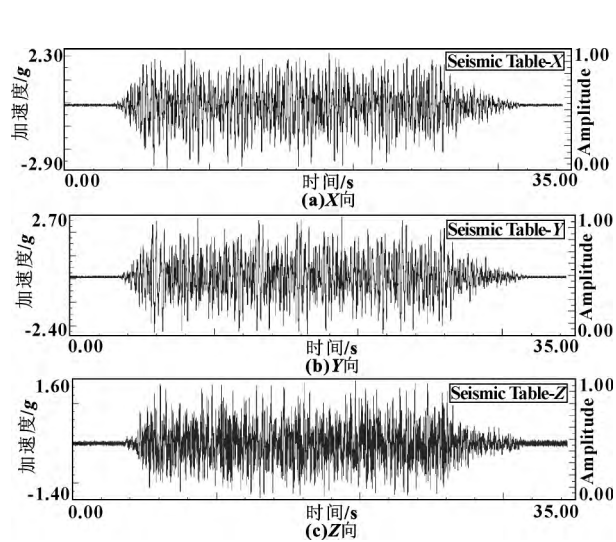


图 6 SDQH25 型 SSE 地震模拟试验的加速度时程

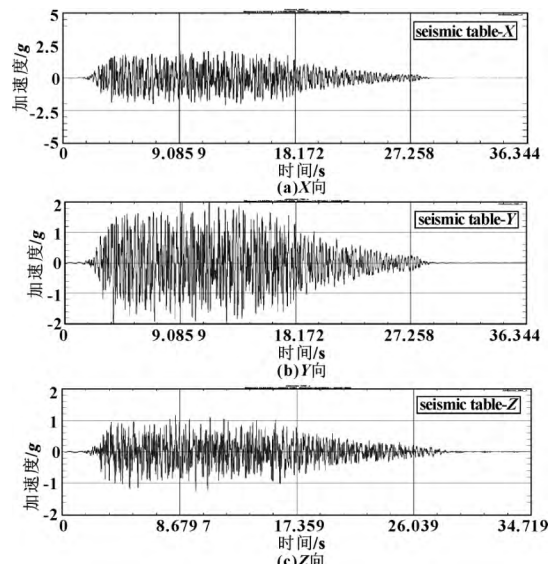


图 7 SDQH50 型 SSE 地震模拟试验的加速度时程

(下转第 161 页)

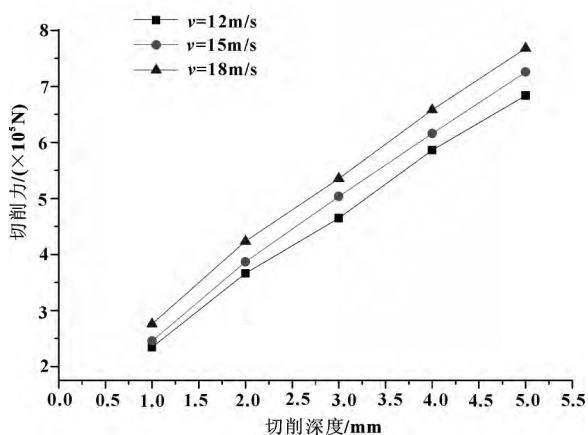


图6 切削力随切削深度波动曲线图

6 结论

以有限元为指导思想,运用 ABAQUS 有限元软件,建立了二维钛合金切削模型并成功进行了仿真模拟,其主要成果如下:

(1) 分析了金属切削模拟的几个关键问题:本构模型的选择、切削分离准则、切削失效准则,局部网格加密等。

(2) 模拟了钛合金切削应力和温度场的分布状况,得出:切削过程中,其最高应力与最高温度点相互重合,且其并不出现在刀尖处,而是出现在前刀面距离刀尖一定距离的位置。其随着切削速度和切削深度的增大而增大。

(3) 具体研究分析了切削参数对于切削力的影响:在一定范围内,切削力随着切削深度和切削速度的增加而增加,而 x 向切削力对于切削合力的影响比 y 向切削力的影响更大一些。

金属切削仿真模拟是一个高度非线性问题。利用 ABAQUS 软件建立仿真模型并得到较为精确的计算结

果。从结果来看,得知进行二维切削仿真是可行的,也可以进行拓展研究,使其运用到三维有限元模拟中以期得到更为精准的结果。ABAQUS 软件的仿真避免了在实际生产譬如试切削加工中所带来的费时、费力的缺点,降低了生产成本,提高了劳动生产率,并为其其他二维及三维切削模型的建立奠定了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 王洪祥,徐涛,杨嘉.航空钛合金铣削过程有限元数值模拟[J].机械传动,2008,36(2):45-47.
- [2] 莱茵斯,皮特尔斯.钛与钛合金[M].北京:化工工业出版社,2005.
- [3] 魏树国,吴照银,马光锋.钛合金的切削加工性及其改善方法[J].工具技术,2005,39(12):50-51.
- [4] 杜茂华,李露露,白玉峰,等.立铣加工过程的三维有限元模拟[J].中北大学学报,2012,33(4):397-402.
- [5] SHI Jing, LIU C Richard. The Influence of Material Models on Finite Element Simulation of Machining [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126(4): 849-858.
- [6] 刘胜.钛合金正交切削的温度场和切削力仿真与试验研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [7] SUN J, GUO Y B. Material Flow Stress and Failure in Multi-scale Machining Titanium Alloy Ti-6Al-4V [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 41: 651-659.
- [8] 中国航空材料手册编辑委员会.中国航空材料手册:钛合金、铜合金[M].2版.北京:中国标准出版社,2001.
- [9] 陈献廷.硬质合金使用手册[M].北京:冶金工业出版社,1986.
- [10] 程林.二维金属切削应力场和温度场的数值模拟[D].合肥:合肥工业大学,2004.
- [11] 蒋志涛,刘泓滨,王飞,等.ABAQUS 的高速铣削二维仿真分析[J].现代制造工程,2008,30(8):45-47.

(上接第105页)

3 结束语

综上所述,在对 SDQH25 型和 SDQH50 型样机进行规定的抗震试验后,试验验证了两种核级阀门电动执行器在地震载荷作用下能正常工作,并且样机结构及工作性能保持完好。

参考文献:

- [1] 徐剑峰,徐建平,郭爱华.核电站电气设备抗震试验方法探讨[C].第一届中国(国际)核电仪控技术大会.北京:中国核学会,2011.
- [2] FRANO R Lo, FORASASSI G. Preliminary Evaluation of the Seismic Response of the ELSY LFR [J]. Nuclear Engineering and Design, 2012, 242: 361-368.
- [3] 翟欢乐,余于仿,张为,等.核级阀门电动执行机构抗震分析与试验[J].机电工程技术,2012,41(7):171-174.
- [4] RAHMAN MS, BANIK SC. A Software Based Electric Actuator Control System with Robotic Arm-learning for Undergraduate Students [J]. International Journal of General Engineering and Technology, 2013, 2(1): 15-24.
- [5] 余于仿.小转矩多回转核级阀门电动装置的研制[J].阀门,2009(4):35-36.
- [6] SDQH 型式试验报告[Z].中国核动力研究设计院二所,2003.
- [7] 方庆贤.关于核级设备的静动态抗震试验的思考[J].原子能科学技术,2008,42(Z2):609-611.
- [8] 张钰.电工电子设备机柜的地震试验[J].电器工业,2003(8):48-51.
- [9] BHARTI S D, DUMNE S M, SHRIMALI M K. Seismic Response Analysis of Adjacent Buildings Connected with MR Dampers [J]. Engineering Structures, 2010, 32(8): 2122-2133.