

doi: 10.7690/bgzd.2025.05.008

一种船载显控台的数字化样机设计

刘 玲¹, 罗昊文², 马婷霞¹

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司系统总体部, 四川 绵阳 621000;

2. 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨 150000)

摘要: 为了实现轻量化、经济性双重要求, 设计一种新型船载显控台数字化样机。采用钣金结构的显控台柜体, 利用 3 维软件 CREO 和分析软件 ANSYS 设计仿真, 通过静应力分析、模态分析、瞬态应力分析以及振动分析仿真结果, 暴露设计的薄弱结构, 加筋优化结构设计, 缩短产品研发周期。试验结果表明: 针对钣金结构显控台的仿真分析数据准确可信, 能够对显控台的数字化样机起到理论指导作用。

关键词: 显控台; 数字化样机

中图分类号: TB476 **文献标志码:** A

Digital Prototype Design of a Shipborne Display and Control Console

Liu Ling¹, Luo Haowen², Ma Tingxia¹

(1. System General Department, Automation Research Institute Co., Ltd., of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;

2. College of Communication and Information Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150000, China)

Abstract: In order to meet the dual requirements of lightweight and economy, a new digital prototype of shipborne display and control console is designed. The display console cabinet with sheet metal structure is designed and simulated by using 3D software CREO and analysis software ANSYS. Through static stress analysis, modal analysis, transient stress analysis and vibration analysis simulation results, the weak structure of the design is exposed, the structural design is optimized by reinforcing, and the product development cycle is shortened. The test results show that the simulation analysis data of the display and control console with sheet metal structure are accurate and credible, which can play a theoretical guiding role in the digital prototype of the display and control console.

Keywords: display and control console; digital prototype

0 引言

船用电子设备承载着舰船指挥、通信等电子设备的综合集成功能, 在舰艇控制系统的各组成设备中, 显控台承担着重要角色, 是人参与到指挥控制流程中的重要手段^[1]。舰船在航行过程中不可避免地会受到来自海浪、触礁、碰撞引起的各种周期或非周期性干扰, 且对于气温、湿度、电磁防护都有很高的要求, 因此显控台的质量和性能要求都要相应可靠。在实际生产中, 显控台多采用铸造工艺生产, 砂型重力依靠金属液自重成型^[2], 存在充型缓慢、生产效率低、铸件容易出现大量的气孔和缩孔等缺陷; 精密铸造技术则需要高精度的设备和工艺, 成本较高; 复合材料碳纤维重量虽轻, 但也需要开模, 造价颇高。伴随着电子设备的高性能化、高可靠性、小型轻量化的发展趋势, 显控台的结构外观也将朝着“精、巧、新”的方向发展。

国外目前已研制的分布式指控系统中都采用了

多功能显控台, 如美国的 UYQ-70、法国的 VISTA、荷兰的 MOC MK2/3 等。西方国家得益于电子技术的发展, 已经用了第三代开放式显控台, 可以在有限的机身内增加更多的作战站位以及电子设备。目前, 国内最先进的是属于第三代和第四代开放式复合材料显控台, 由横排三连屏设计, 使用的复合强度材料, 相比金属减重, 但造价较高^[3]。

笔者针对某船上轻量化显控台, 在实现硬件模块化、人机接口和通信接口标准化的基础上^[4], 根据系统功能配置的新型显控台。柜体采用钣金不锈钢焊接而成的结构, 不仅满足船体使用的强度要求, 而且经济性强。整个产品结构采用了主流的 3 维设计软件 CREO 和有限元分析软件 ANSYS 设计分析, 实现 3 维数字化样机设计和结构分析, 数字化样机, 即在机械工程中对产品、机构的动态仿真^[5], 确保了钣金结构的强度与铸造、复合材料一样能满足使用。

收稿日期: 2024-08-13; 修回日期: 2024-09-15

第一作者: 刘 玲(1983—), 女, 安徽人。

1 显控台的振动环境

振动：满足 GJB1060.1-1991《舰船环境条件要求机械环境》中 4.2.4.3 条的规定要求，并能通过 GJB150.16A-2009《军用设备实验室环境试验方法第 16 部分振动试验》所规定的振动试验。

冲击：满足 GJB1060.1-1991《舰船环境条件要求机械环境》中 5.3.1.2 条所规定的 A 级水平的要求，并能通过 GJB150.18-1991《军用设备环境试验方法冲击试验》中“试验十”所规定的冲击试验。

颠簸：满足 GJB4.8-1983《舰船电子设备环境试验颠簸试验》的有关要求。

显控台数字化样机的结构设计大致可归纳为如图 1 所示。

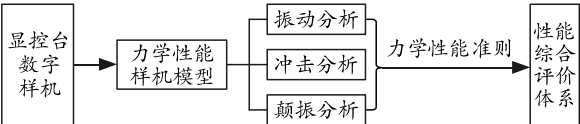


图 1 数字样机[6]

2 显控台数字化样机的结构设计

2.1 结构设计

柜体外形尺寸 600 mm×770 mm×1 200 mm，框架采用不锈钢钣金 316 L 壁厚 2.0 mm 的材料折弯焊接成型，316 L 钣金材料的特点在于轻量化、高强度、耐腐蚀且加工模具标准化高。柜内布置了加强筋、走线槽，加强其抗拉强度。底部和背部必须设计减振器，按照显控台总重 100 kg 的分配，以及重心位置的测量，底部靠前配备了 2 个 40 kg 重量级的减振器，底部靠后配备了 2 个 25 kg 重量级的减振器。

显控台安装固定于船舱内，操作人员通过操控各组件来控制系统。其台面板斜面上布置有显示屏，平面上布置了按键面板，操纵手柄等操控单元，柜内放置了计算机单元。

该产品总体采用模块化设计，各功能单元相互较为独立，之间再通过连接器和线缆连接通讯。各组件组装和安装方便，且框架内部装配和理线空间充足，易于装配和维修。

2.2 仿真优化设计

3 维建模设计完后，根据显控台的振动环境，需对基本框架进行仿真分析，考虑设计出的零部件能否满足强度、刚度等要求，并通过仿真分析，反映出零部件的薄弱部位，可辅助优化设计。

仿真分析中的有限元结构分析软件 ANSYS，运

用 ANSYS workbench 中的静应力分析、模态分析、瞬态振动分析与瞬态应力分析，如图 2 所示。有限元分析由许多单元以一定方式链接成的离散体。建立简化几何模型如图 3 所示，导入软件，赋材料如表 1 所示，划网格，添加底部减振器安装固定约束，进而模型求解，如图 4 所示。

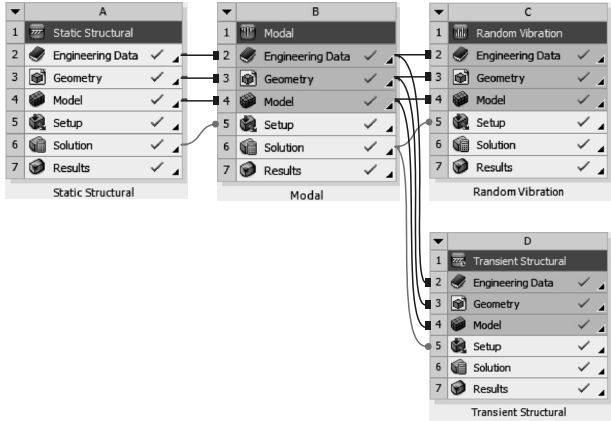


图 2 ANSYS 分析流程

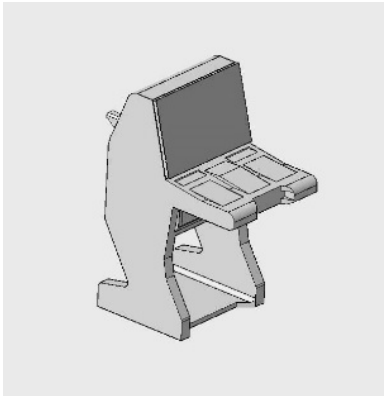


图 3 简化模型

表 1 显控台主体材料参数

材料	弹性模量/ GPa	密度/ (kg/m³)	泊松比	屈服极限/ MPa
不锈钢 316 L	200	7 850	0.3	310

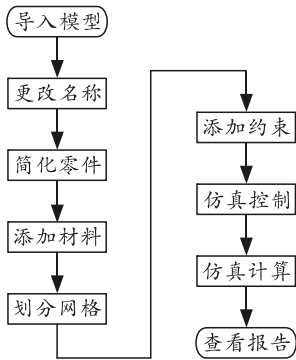


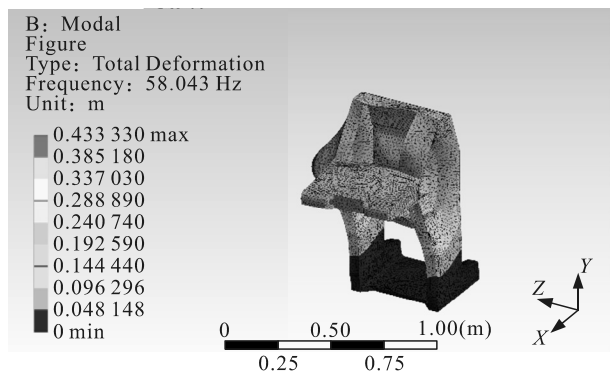
图 4 ANSYS 分析步骤

2.3 模态分析

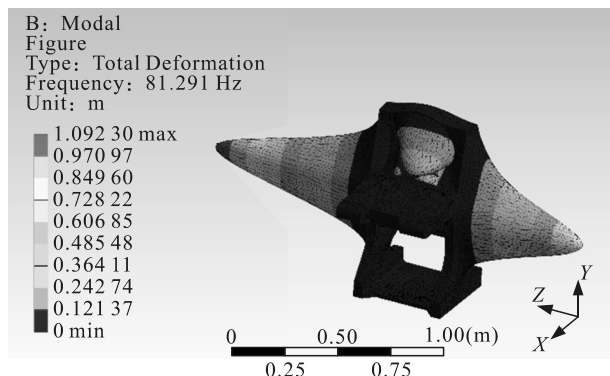
根据显控台的结构形式以及安装条件，运用

ANSYS 软件对显控台进行模态分析,从固有频率的数值了解结构的共振特性,较低的固有频率通常与结构的整体刚性相关,从此柜体的固有频率数值也可以观察出柜体整体刚性一般。另外模态形状,展示了结构的变形模式和振动特性,展现了结构中的关节部位和潜在的问题区域,从图 5 中看出:1、6 阶的模态形态柜体的侧面强度太弱,容易发生形变。

如图 6 所示,对柜体侧面每面各添加加强筋进行局部加强,提高刚性与结构强度,再进行模态分析,明显从模态形态有很大改善。数字化设计可以在分析软件的辅助下及时发现结构的薄弱环节,更好的优化设计。

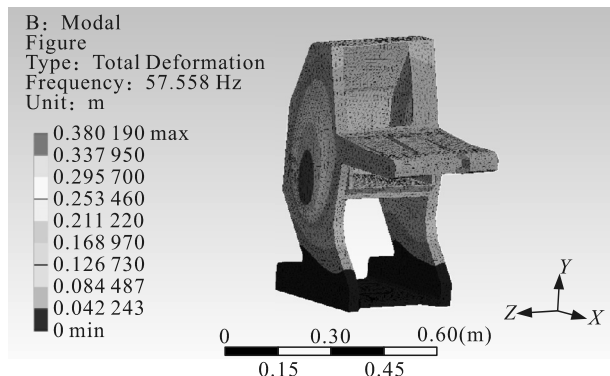


(a) 未加强柜体 1 阶模态

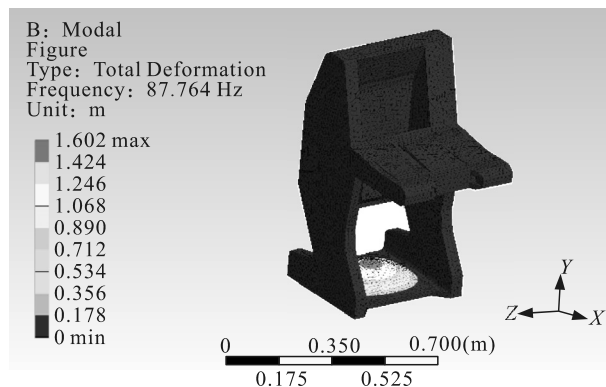


(b) 未加强柜体 6 阶模态

图 5 未加强模态分析



(a) 已加强柜体 1 阶模态



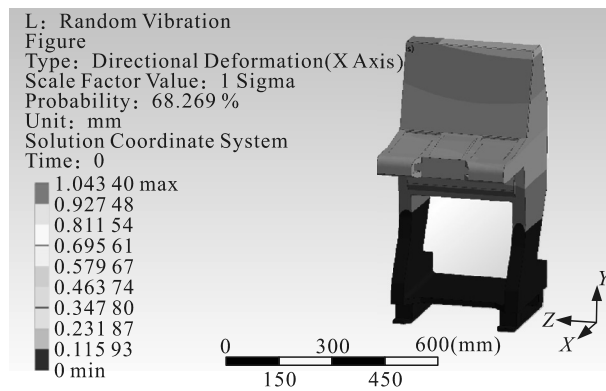
(b) 已加强柜体 6 阶模态

图 6 加强模态分析

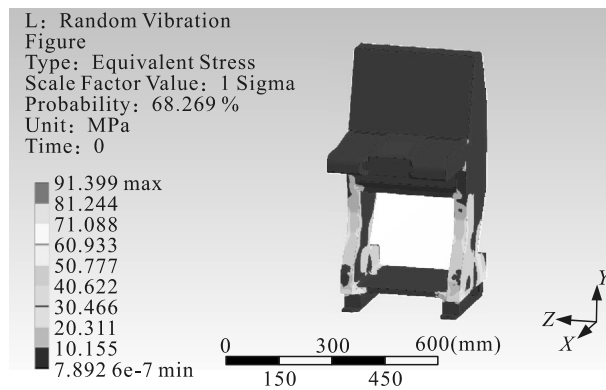
在总重控制的前提下,进一步完善了柜体的加强筋布置后,保证显控台的固有频率避开了舰船共振频率。

2.4 随机振动仿真分析

进一步振动仿真分析验证柜体整体的刚性和强度,根据运输过程和 GJB4.7 舰船电子设备振动试验的要求,对柜体进行 3 个轴向的随机振动仿真分析,3 个轴向最大位移 1.04 mm,最大应力 98.729 MPa 小于材料屈服极限,能满足运输、振动试验以及设备使用要求,3 个轴向位移如图 7-9 所示。

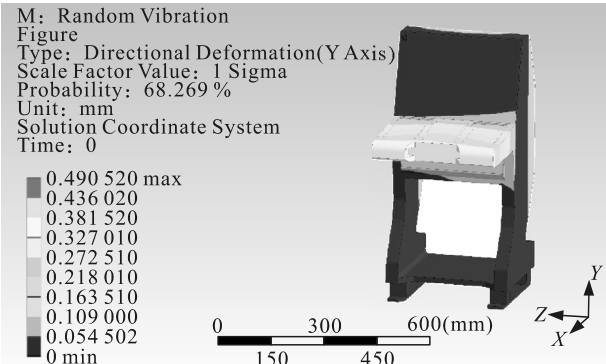


(a) X 向随机振动位移

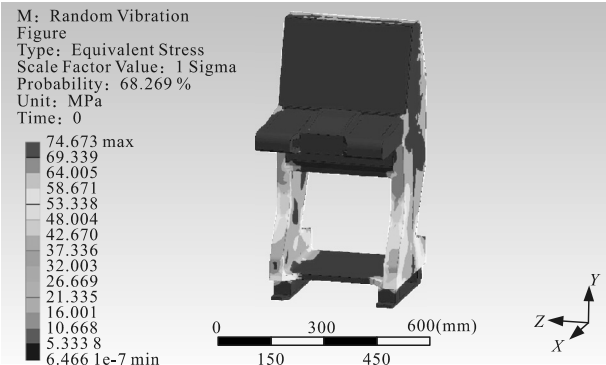


(b) X 向随机振动应力

图 7 X 向随机振动位移和应力

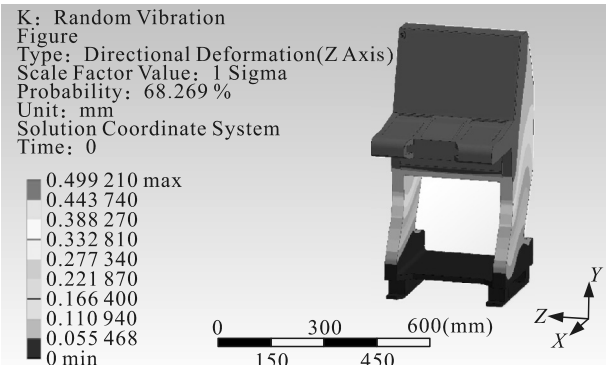


(a) Y 向随机振动位移

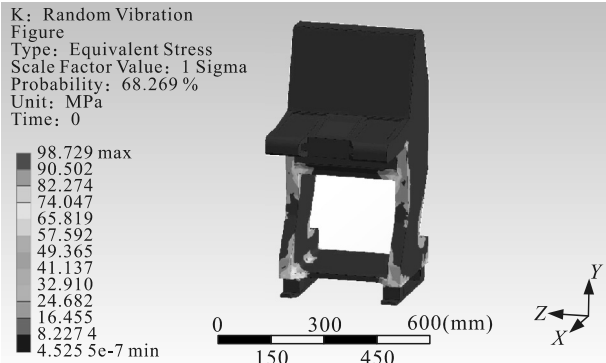


(b) Y 向随机振动应力

图 8 Y 向随机振动位移和应力



(a) Z 向随机振动位移



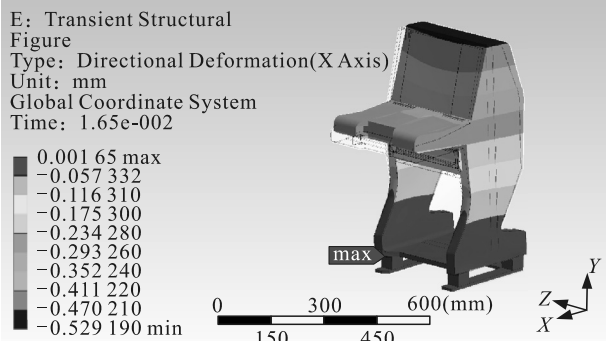
(b) Z 向随机振动应力

图 9 Z 向随机振动位移和应力

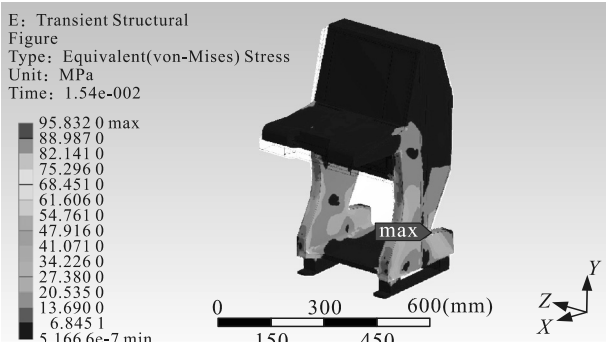
2.5 冲击仿真分析

冲击仿真分析验证，将 GJB4.9 舰船电子设备

冲击试验中的条件转化为各个方向的冲击脉冲，采用完全法进行仿真分析，3 个轴向最大位移 0.5 mm，最大应力 95.832 MPa 小于材料屈服极限，能满足冲击试验要求，3 个轴向位移如图 10-12 所示。

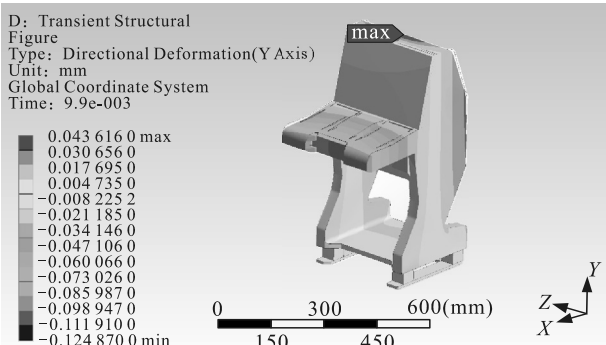


(a) X 向冲击位移

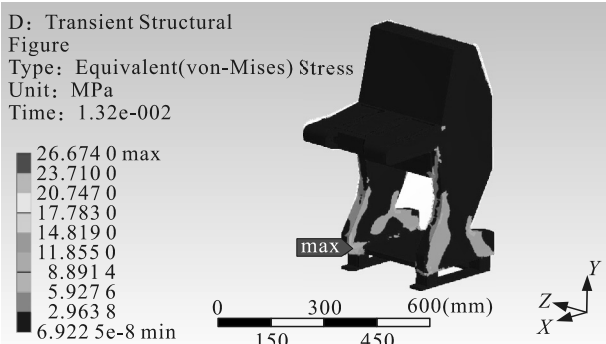


(b) X 向冲击应力

图 10 X 向冲击位移和应力



(a) Y 向冲击位移



(b) Y 向冲击应力

图 11 Y 向冲击位移和应力

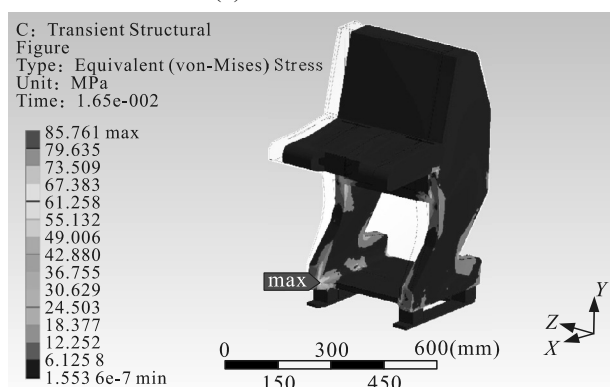
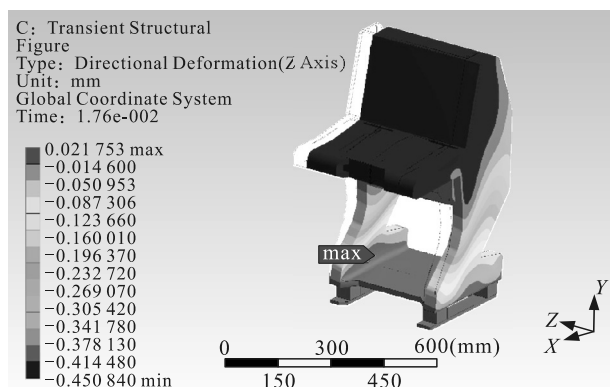


图 12 Z向冲击位移和应力

2.6 颠簸仿真分析

颠簸仿真分析, 根据舰船类型选择 GJB4.8-1983《舰船电子设备环境试验颠簸试验》中 2 级试验等级作为试验参数的输入, 其加速度为 7 m/s^2 , 冲击脉冲持续时间为 16 ms , 单个激励波如图 13 所示。

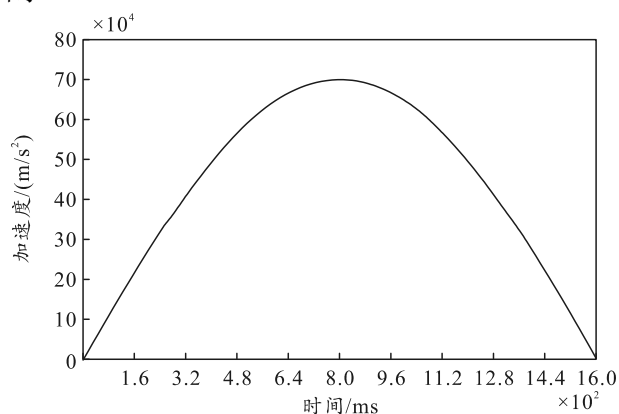


图 13 单次激励波形图

仿真, 垂向位移如图 14 所示, 显控台最大位移为 0.17 mm , 最大应力为 30.9 MPa 远小于材料屈服极限, 能满足颠簸试验要求。

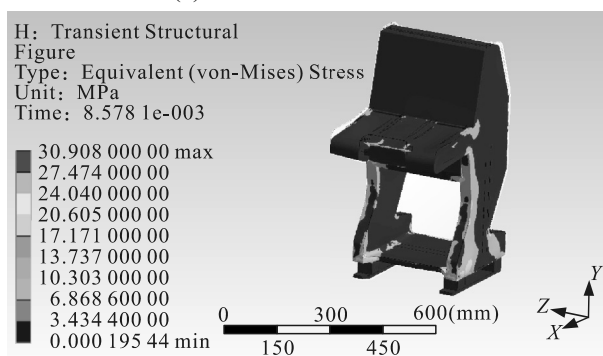
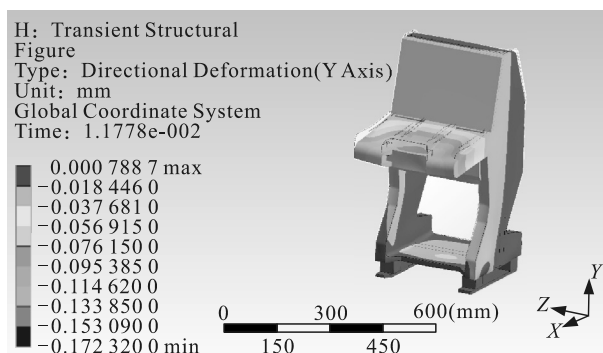


图 14 显控台颠簸位移和应力

3 结束语

为了进一步验证数字化样机仿真数据的可靠性, 针对经过上述仿真优化的显控台样机, 开展了实验室振动、冲击和颠簸试验。试验结果表明: 显控台整体钣金结构没有受到破坏, 抗振动冲击要求满足设计要求。在 3 维和分析软件的加持下, 该数字化样机的设计, 优化了产品结构, 提高了产品质量, 缩短了产品研发周期。

参考文献:

- [1] 许建平, 曹宁生. 国外舰艇多功能显控台的现状和发展趋势[D]. 北京: 舰船电子工程, 2008.
- [2] 刘继广. 多功能显控台低压铸造工艺设计及优化[D]. 滁州: 特种铸造, 2020.
- [3] 顾金良. 舰艇多功能显控台的未来发展展望[D]. 连云港: 仪表技术, 2011.
- [4] 李文志, 于扬. 基于人机工程学的机载显控台结构设计[D]. 南京: 电子机械工程, 2010.
- [5] 习稳庆. 发射机数字化样机的结构设计[D]. 南京: 电子机械工程, 2010.
- [6] 吴洪才. 某舰载雷达系统数字化样机设计[D]. 南京: 电子机械工程, 2002.