

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.09.010

某拖曳水池重型拖车系统设计

陈玉龙, 张 亮

(中国船舶重工集团公司 第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要:针对拖曳水池重型拖车系统设计展开验证说明的问题,提出了一种应用于国家某重点专项大型拖曳水池的重型拖车结构,介绍了重型拖车系统基本组成,阐述了进行拖曳试验的工作原理。通过运用三维设计软件 CREO2.0,建立了基于参数设计重型拖车三维实体模型。基于建立的三维实体模型,采用有限元前处理软件 HyperMesh 及数值分析软件 Abaqus 对重型拖车车体及两型中央测试平台升降杆的静刚度及强度、固有频率等展开了仿真分析,在此基础上对影响重型拖车运行精度的轨道系统进行了强度、挠度及固有频率的分析计算。研究结果表明:该型重型拖车的整体结构强度及固有频率等指标均能满足设计要求。

关键词:拖曳水池;拖车;刚度;强度;固有频率

中图分类号:TH114;U661.73

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)09-1004-05

System design on heavy trailer of towing tank

CHEN Yu-long, ZHANG Liang

(No. 710 Research & Development Institute, CSIC., Yichang 443003, China)

Abstract: In order to verify the design of heavy trailer of towing tank, a heavy trailer structure was presented. The basic components were introduced, and the working principle of towing test of the trailer system was expounded emphatically. Using the 3D design software CREO2.0, the model of the trailer was built based on the parameter design. Based on the solid model, the finite element analysis software HyperMesh and Abaqus were used to simulate the static stiffness and strength and the natural frequency of the trailer and the central bridge lifting rod. On the basis of this, the correlation analysis and calculation of the track system which affected the precision of the trailer was carried out. The research results show that the structure strength and natural frequency of the trailer can meet the design requirements.

Key words: towing tank; trailer; stiffness; strength; natural frequency

0 引 言

作为经略海洋的重要支撑,提高海洋工程装备的技术水平和高技术船舶的研发水平显得尤为重要。船舶研发的主要工作之一就是进行船型设计和性能预报,集中体现了船舶产品的核心竞争力。船舶性能研究是船舶研发的灵魂,是船舶更新换代的主要动力^[1-2]。

对于船舶性能的研究,主要采用理论方法和实验方法。理论方法主要是通过数值模拟来研究船舶性能,得益于计算机技术的飞速发展,这一方法大大缩短

了研制周期。但目前有限的理论模型也是以试验结果为基础的,关于船舶快速性方面的知识,特别是提供设计应用的优良船型以及估算阻力的经验公式和图谱,大部分都是通过船模试验得来^[3-5]。船模试验是进行船舶性能研究的重要组成部分,因此世界上造船工业比较发达的国家,无不重视船模试验水池的建设,并相应地发展船模试验技术^[6]。

拖曳水池是进行船模快速性试验研究的基本设施,同时也是海洋仪器设备检定的重要设施。目前我国的拖曳水池主要分布于大学及科研院所,大部分建于二十世纪七、八十年代,水池设备陈旧老化,已不能

收稿日期:2017-01-09

作者简介:陈玉龙(1986-),男,湖北宜昌人,主要从事非标机械结构设计方面的研究. E-mail:371682748@qq.com

满足试验研究需要,亟待改建。同时,受国家“海洋强国”战略推动,近年来水池建设进入爆发期。拖车是拖曳水池中最重要的技术设备,其作用是拖曳船模或海洋仪器设备在水池中按预定程序运动,从而进行相关船模性能测定及仪器检定^[7-10]。

本研究以国家某重点专项拖曳水池重型拖车为研究对象,对其系统设计展开说明,并对关键结构部件进行力学特性分析,以便为水池拖车设计研究人员提供参考帮助。

1 系统方案

1.1 系统组成

重型拖车由拖车(含X车、Y车、中央测试平台Ⅰ、中央测试平台Ⅱ、控制室、拖车运行状态监控视频系统等)、高精度轨道系统(含钢轨、轨道安装基础、轨座、滑撬的滑道、末端缓冲器等)、移动供电系统及控制系统等组成。

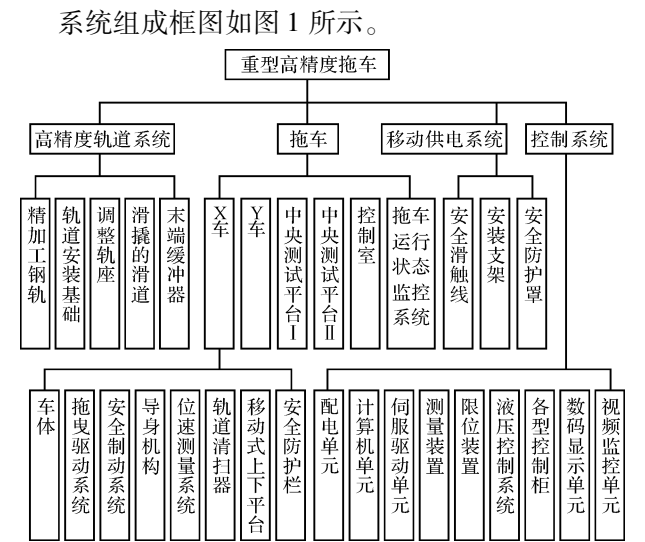


图 1 重型拖车系统组成框图

拖车车体(X车)由主梁、端梁和辅梁组成框架结构,车体上部敷设花纹钢板,安装相关试验设备;拖车左侧纵梁设置控制室,控制室内安装拖曳系统操控台、摄像监控操控台等;拖车前端右侧纵梁安装配电柜、伺服柜等;拖车中后部设置Y车及其导轨,Y车上安装中央测试平台Ⅱ;拖车中部安装中央测试平台Ⅰ。X车可沿水池长向(X方向)运动,Y车可沿水池宽向(Y方向)运动。中央测试平台Ⅰ和中央测试平台Ⅱ下挂升降杆,用于挂载被试品。整车具备XYZ和XYΦ3向复合运动功能。

整车结构示意图如图 2 所示。

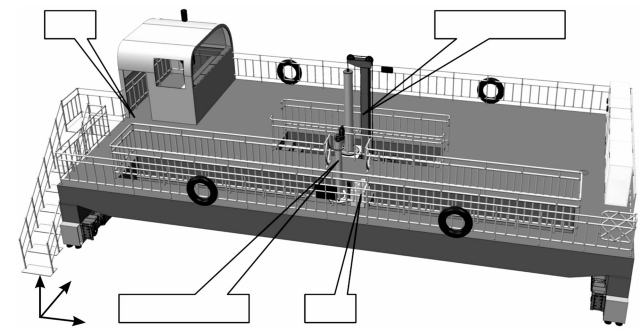


图 2 拖车结构示意图

1.2 工作原理

重型拖车主要实现被试品的安装、调试、装夹及拖曳试验。被试品挂载于测试平台升降杆下端,通过控制系统调整被试品的试验姿态,启动拖车按既定速度运行,通过检测仪器记录观察被试品的各项性能指标,然后进行制动停车,启动拖车复位,准备下一次试验。

本研究根据设备需求,设置Ⅰ、Ⅱ两型测试平台。中央测试平台Ⅰ固定在拖车中部,挂载较大较重的被试品,最大可深入到水下5 m位置;中央测试平台Ⅱ位于拖车后部Y车上,配合X车和Y车可完成XYZ和XYΦ3向复合运动功能。两型测试平台均可根据需要对被试品水中姿态进行参数化精确调节。

拖车制动采用电机能耗制动、液压抱轨制动、滑撬滑动制动以及末端缓冲器制动。正常情况下,低速试验一般可采用电机能耗制动,高速情况下启动液压抱轨制动。当系统出现故障导致前两级制动功能失效时,拖车驶上滑道,由于滑撬滑道和车轮轨道的高度差导致车轮抬高,拖车滚动变成滑行,滑撬在滑道上摩擦制动。缓冲器是拖车的最后一道制动防线,可防止拖车脱轨,确保拖车在任何情况下的安全运行。

控制系统可对拖车进行前进、后退、停止操作。拖车运行控制采用闭环自动控制、开环手操电动控制两种方式,可通过操控面板按钮切换。

2 拖车设计计算

2.1 X车相关计算

X车主要由主梁、辅梁和端梁组成,长8 020 mm,宽16 050 mm,车体跨度较大。主梁为连接两行走端梁的桥架及吊装被试品的承重构件。主梁和端梁为箱梁焊接结构,辅梁采用H型钢、角钢及槽钢拼接成框架结构,各结构件采用螺栓连接。由于结构模型较复

杂,已超出了经典力学求解范畴,需采用有限元算法来模拟结构承载情况。笔者通过 HyperMesh 前处理分析,得到拖车有限元模型,然后采用 ABAQUS 进行计算仿真分析及后处理。

(1) X 车固有频率计算

拖车在运动过程中存在较大的加速和减速,设计中为使车上设备避开 X 车固有频率防止共振,对 X 车固有频率进行计算,X 车一阶固有频率大于 18 Hz,X 车一阶固有频率如图 3 所示。

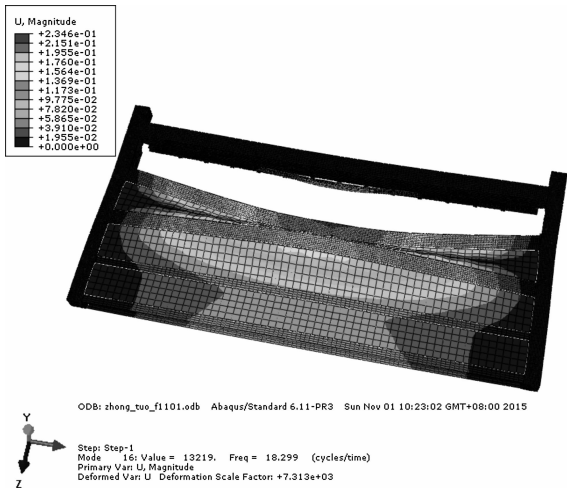
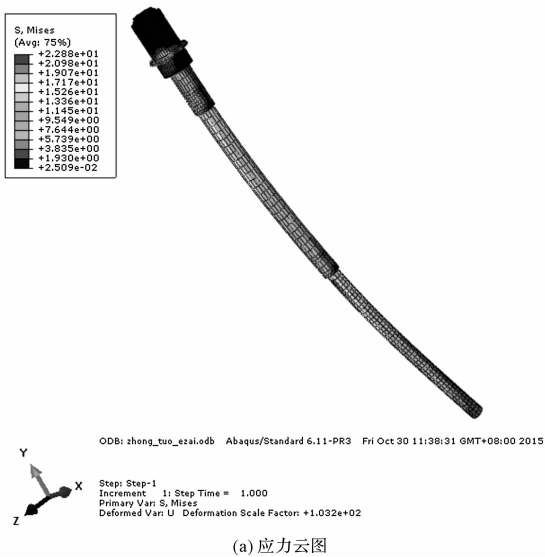


图 3 X 车一阶固有频率

(2) X 车主梁挠度计算

根据 X 车自重及车上设备分布情况施加边界条件,计算 X 车主梁挠度,X 车主梁挠度不大于 6 mm,如图 4 所示。



(a) 应力云图

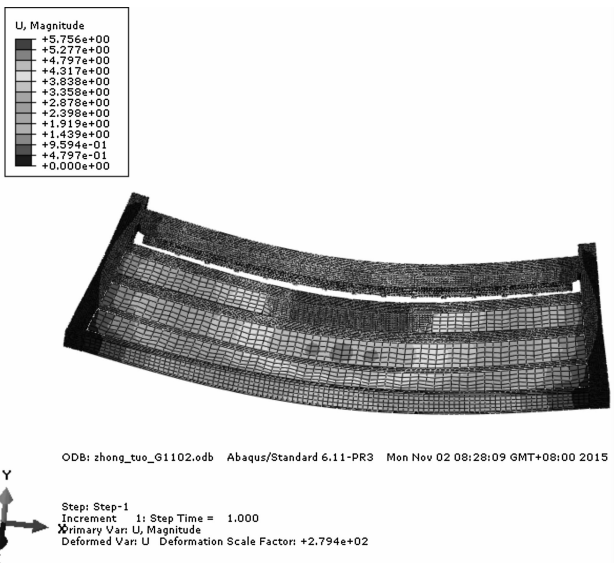


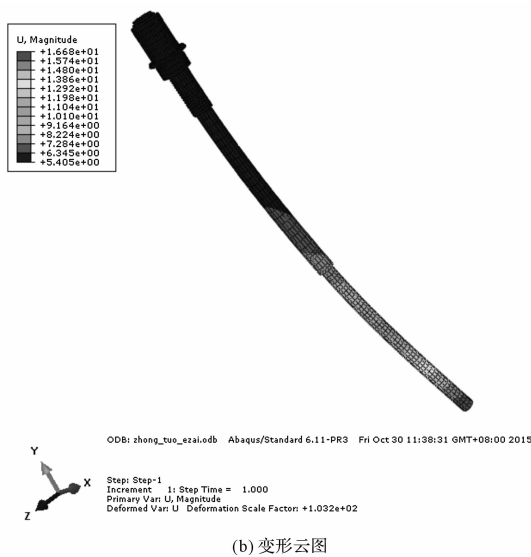
图 4 X 车主梁挠度

2.2 测试平台升降杆强度计算

测试平台为整个拖曳水池的核心测量机构,关乎系统的正常运行。平台 I 升降杆升降行程可达 6.2 m,平台 II 达 2.2 m。

(1) 中央测试平台 I

根据挂载被试品参数施加边界条件,平台 I 升降杆垂向载荷按 40 000 N、水平载荷按 3 000 N 计算,其应力及变形如图 5 所示。通过分析可知,升降杆最大应力不大于 23 MPa,最大变形不大于 17 mm,小于 45#钢屈服强度 471 MPa。



(b) 变形云图

图 5 测试平台 I 应力变形云图

(2) 中央测试平台 II

根据挂载被试品参数施加边界条件,平台 II 升降杆垂向载荷按 10 000 N 计算(水平载荷忽略不计),其

应力及变形如图 6 所示。通过分析可知升降杆最大应力不大于 28 MPa,最大变形不大于 8 mm,小于 45#钢屈服强度 471 MPa。

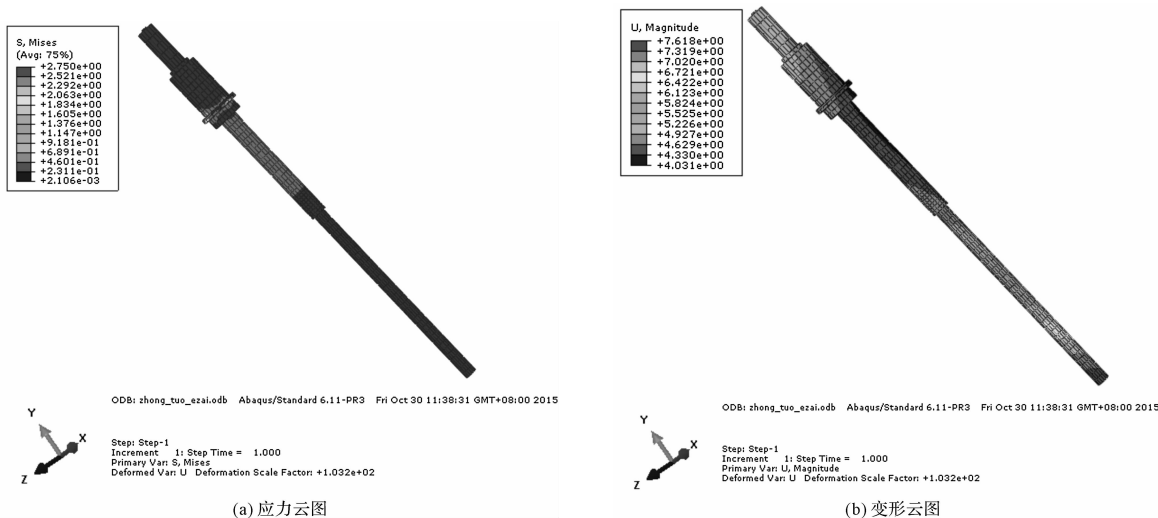


图6 测试平台Ⅱ应力变形云图

3 轨道设计计算

3.1 强度及挠度计算

拖车采用8个车轮支承于轨道上,每两个车轮一组,含被试品拖车总重 $M=40\text{ t}$,则单个车轮承重为:

$$P = \frac{1\ 000Mg}{8} = 49\ 000\ \text{N} \quad (1)$$

轨道支座间距 $L_1=560\text{ mm}$,则钢轨最大弯矩:

$$W_{\max} = \frac{PL_1}{2} = 13\ 720\ 000\ \text{Nmm} \quad (2)$$

轨道选用 Q75U71Mn 重型钢轨,其抗拉强度 $\sigma_b=880\text{ MPa}$,屈服强度 $\sigma_s=528\text{ MPa}$,根据 TB/T2344-2003 可得轨道下部截面系数为 509×103 ,当车轮位于跨中间(轨道支座之间),跨中钢轨轨底受拉,则轨底弯曲应力为:

$$M_d = \frac{W_{\max}}{\text{下部截面系数}} = 26.95\ \text{MPa} \quad (3)$$

当两车轮同时位于某支座两侧,支座处轨道轨头受拉,其负弯矩最大,车轮间距 $L_2=750\text{ mm}$,则最大负弯矩为:

$$W_f = 2PL_2 = 73\ 500\ 000\ \text{Nmm} \quad (4)$$

根据 TB/T2344-2003 可得轨道上部截面系数为 432×103 ,则轨头弯曲应力为:

$$M_t = \frac{W_f}{\text{上部截面系数}} = 17\ \text{MPa} \quad (5)$$

将相邻两轨道支座作为简支支座处理,当某个车轮位于两支座中间位置,根据集中载荷下最大挠度公式:

$$V = \frac{PL_1^3}{48EI} = 0.019\ \text{mm} \quad (6)$$

由以上计算可知,所选钢轨满足强度要求。

3.2 固有频率计算

本研究根据实际工况,施加边界条件,利用有限元算法计算轨道侧向一阶固有频率,轨道侧向一阶固有频率为 827 Hz ,轨道侧向一阶振型如图7所示。

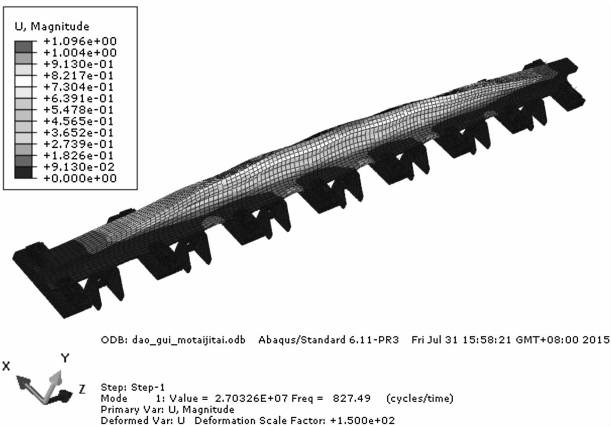


图7 轨道侧向一阶振型

去除垂直方向约束,计算轨道垂向一阶固有频率,轨道垂向一阶振型轨道垂向一阶固有频率为 471 Hz ,轨道垂向一阶振型如图8所示。

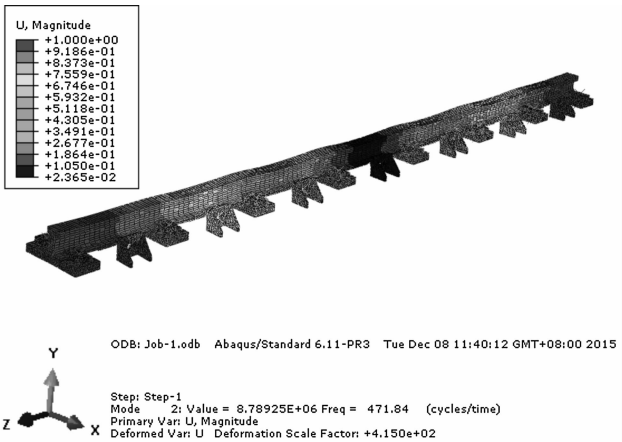


图8 轨道垂向一阶振型

4 结果分析

计算结果如表 1 所示。

表 1 计算结果				
部件名称	固有频率/ Hz	最大应变/ mm	最大应力/ MPa	挠度/mm
X 车	大于 18	——	——	不大于 6
平台 I	——	不大于 17	不大于 23	——
平台 II	——	不大于 8	不大于 28	——
轨道	侧向大于 827/ 垂向大于 471	——	轨底弯曲应力 26.95/ 轨头弯曲 应力 17	0.019

根据工程经验,拖车上设备及被试品的固有频率大多在 10 Hz 以下,故 X 车固有频率满足要求,挠度不大于 6 mm,满足指标要求。

平台 I、平台 II 的最大应力远小于 45#钢屈服强度 471 MPa,满足强度要求。

轨道弯曲应力远小于所选钢轨屈服强度528 MPa,满足强度要求。

5 结束语

本研究以某拖曳水池重型拖车为研究对象,对系统方案设计展开说明,介绍了重型拖车的系统组成及工作原理,根据要求展开相关计算并对重要结构部件进行强度校核及模态分析。

由介绍可知,重型拖车结构设计中应重点考虑大车重与较大跨度下车体的强度校核,同时应充分考虑大车重下的运行安全性设计,并考虑输入和运行中避开重要结构件的固有频率。为保证重型拖车运行精度,轨道系统设计也应重点考虑。

该方案经有限元仿真分析,结果表明能够满足设计指标要求。

参考文献(References):

[1] 朱德祥,冷文浩,李百齐,等. CAE 在船舶性能研究领域的应用[J]. 中国造船,2007,48(2):1-8.

[2] 陈玉龙,雷 宇,张 亮. 拖曳水池拖车结构方案设计[J]. 机电工程,2015,32(12):1586-1589,1594.

[3] 周广利,黄德波,李凤来. 船模拖曳阻力试验的不确定度分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2006,27(3):377-381.

[4] 李广年,谢永和,郭 欣. 拖曳水池方案设计[J]. 中国造船,2011,52(3):109-114.

[5] 余湘三,陈泽梁,楼连根,等. 船舶性能实验技术[M]. 上海:上海交通大学出版社,1991.

[6] 孙长龙. 船模拖曳水池主要参数的确定[J]. 武汉水运工程学院学报,1981(2):102-107.

[7] 杨松林,孙小峰. 确定拖曳水池长度的方法[J]. 船舶工程,2001(6):61-63.

[8] 谢克振,周占群,宋家瑾,等. 水池阻塞效应的试验探讨[J]. 上海船舶运输科学研究所学报,1978(2):1-5.

[9] 于德会,朱武峰,周显军. 电比例复合控制泵源拖车液压系统设计与仿真[J]. 液压气动与密封,2016(5):18-21.

[10] 于志丹. 试验水池拖车速度控制系统设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2008.

[编辑:李 辉]

本文引用格式: