



中华人民共和国国家标准

GB/T 37477—2019

救援装备水面搭载与吊放仿真试验方法

Simulation test methods of surface support, launch and recovery for rescue system

2019-05-10 发布

2019-12-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国船用机械标准化技术委员会(SAC/TC 137)提出并归口。

本标准起草单位:中国船舶重工集团公司第七一九研究所。

本标准主要起草人:谭颖、喻卫宁、邹军、甘霖、唐辉。

救援装备水面搭载与吊放仿真试验方法

1 范围

本标准明确了救援装备水面搭载与吊放装置仿真试验的试验目的,规定了救援装备水面搭载与吊放装置仿真试验的试验对象、试验项目、试验条件、试验系统要求、试验方法、试验中断及异常处理、试验报告等。

本标准适用于救援装备水面搭载与吊放装置的数字仿真试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

潜水系统与潜水器入级与建造规范(中国船级社)

船舶与海上设施起重设备规范(中国船级社)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

救援装备 rescue system

应用于水下应急救援的深潜救生艇、救生钟、潜水钟、遥控水下机器人(ROV)和常压潜水装具等装备的统称。

3.2

仿真模型 simulation model

以图像、运动、函数等为典型特征,并在一定程度上反映仿真对象物理特性的计算机运算模型。

3.3

仿真试验 simulation test

基于仿真模型,利用专业分析工具,对装备主要功能、性能进行模拟试验验证的过程。

3.4

水面搭载与吊放装置 equipment for surface support, launch and recovery

用于救援装备存放、支承、紧固、移位及布放回收的装置,一般布置在水面平台或母船上。

3.5

升沉补偿系统 heave compensation system

一种通过对母船的升沉运动进行补偿,以降低救援装备在水中的升沉位移幅度,满足作业需要的系统(装置)。

3.6

被动式升沉补偿系统 passive heave compensation system

一种被动地接受母船升沉运动的影响,并利用气体(或弹簧等)的可压缩原理,通过相应执行机构对升沉运动进行补偿的升沉补偿系统。

3.7

主动式升沉补偿系统 active heave compensation system

一种采集母船升沉运动参数,驱动并控制执行机构进行主动补偿的升沉补偿系统。

3.8

主被动复合式升沉补偿系统 combination active/passive heave compensation system

同时具有主动式升沉补偿和被动式升沉补偿功能的系统。

3.9

纵横摇缓冲系统 pitch and roll buffer system

救援装备吊放装置的一个辅助系统,用于降低母船纵横摇对救援装备吊放过程产生的不利影响。

3.10

冲击载荷缓冲装置 snap load alleviator

救援装备吊放装置的一个辅助系统,具有减振功能,用于减轻吊放过程中的冲击载荷。

4 仿真试验目的

救援装备水面搭载与吊放仿真试验的主要目的包括:

- a) 为救援装备水面搭载与吊放方案的论证、评估及优化提供依据;
- b) 为新研救援装备水面搭载与吊放装置的基本功能和重要性能指标提供验证手段。

5 仿真试验对象

救援装备水面搭载与吊放仿真试验的对象包括:

- a) 救援装备水面搭载与吊放的实施过程;
- b) 救援装备水面搭载与吊放装置中的重要设备和系统,如移放车架、紧固装置、A型门架、绞车、纵横摇缓冲系统、升沉补偿系统、冲击载荷缓冲装置等。

6 仿真试验项目

根据仿真试验对象和仿真试验目的,选择救援装备水面搭载与吊放仿真试验项目,典型试验项目有:

- a) 力学仿真试验;
- b) 绞车驱动控制仿真试验;
- c) 升沉补偿系统仿真试验;
- d) 纵横摇缓冲系统仿真试验;
- e) 应急工况冲击载荷缓冲装置仿真试验。

7 仿真试验条件

救援装备水面搭载与吊放仿真试验时,应考虑以下条件:

- a) 作业海况:包括风力与海浪的影响等。一般救援装备水面搭载与吊放作业海况不高于6级。仿真试验常用海况对应的风速和浪高见表1。
- b) 载荷情况:包括试验对象的重力载荷、起升载荷、由船舶倾斜所产生的力、回转与变幅运动惯性力等。吊放装置一般考虑下述四种工况所产生的载荷组合:

- 1) 工况 1:吊放装置工作于无风状态,应考虑载荷如下:
载荷(1):质量载荷+支持结构倾斜(横倾和纵倾)所产生的质量载荷水平分力;
载荷(2):[起升载荷+支持结构倾斜(横倾和纵倾)所产生的起升载荷水平分力]×动载系数;
载荷(3):其他最不利的水平力(通常由回转加速度产生)。
该工况的载荷组合可用下述方式表示:
[载荷(1)+载荷(2)+载荷(3)]×作业系数
其中,作业系数、动载系数按照《潜水系统与潜水器入级与建造规范》附录 B 选取。
- 2) 工况 2:吊放装置工作于有风状态,应取的载荷组合为:工况 1 所表示的载荷组合加上最不利的风载荷。
- 3) 工况 3:吊放装置处于放置状态,应取下述各载荷的组合:支持结构倾斜、支持结构(船舶)运动所产生的力和风的作用力。如有锚定、锁紧和绑扎等情况时,亦应考虑在内。
- 4) 工况 4:吊放系统承受特殊载荷,这些载荷为:
- 碰撞缓冲器的作用力;
 - 起吊缆破断或带平衡重的吊放系统平衡重突然跌落;
 - 吊放系统进行试验时的试验负荷。
- c) 应急工况:包括绞车制动异常、主动升沉补偿失效、液压系统故障等非正常工况。

表 1 仿真试验海况、风级、浪高对照表

海况	蒲氏风力	风速 m/s	平均浪高 m	平均周期 s
1	2	2.57	0.055	1.4
	3	4.37	0.183	2.4
2	3	5.14	0.268	2.9
	4	6.17	0.427	3.4
3	4	6.95	0.549	3.9
	4	7.20	0.610	4.0
	4	8.23	0.884	4.6
4	5	9.26	1.16	5.1
5	5	9.77	1.31	5.4
	5	10.29	1.52	5.7
	6	11.32	1.95	6.3
6	6	12.35	2.41	6.8
	6	12.60	2.50	7.0
	6	13.38	2.92	7.4
	7	14.40	3.35	7.9
7	7	15.43	4.27	8.6
	7	15.69	4.27	8.7
	7	16.46	4.88	9.1

8 仿真试验系统要求

8.1 系统组成

救援装备水面搭载与吊放仿真试验系统由仿真硬件和仿真软件组成。仿真硬件一般包括仿真计算机；仿真软件一般包括虚拟样机通用软件（如运动学仿真软件、动力学仿真软件、控制系统仿真软件等）和救援装备水面搭载与吊放特定的专用仿真软件，如吊放回收过程控制仿真软件、升沉补偿仿真软件等。

8.2 仿真软件

仿真软件应便于构造仿真模型，满足以下功能要求：

- a) 能有效运行、分析、控制和管理救援装备水面搭载与吊放装置仿真模型；
- b) 能进行参数化三维实体造型；
- c) 能进行虚拟装配、公差分析、力学分析；
- d) 能实现运动学和动力学仿真；
- e) 能进行驱动及控制系统仿真；
- f) 能进行仿真输出结果的显示、存储、检索与管理。

8.3 仿真模型

仿真模型应满足以下要求：

- a) 仿真模型原则上应具备和真实样机相同的影响仿真试验结果的物理属性；在力学分析时，可根据实际情况适当给予简化；
- b) 仿真模型应满足试验的类型和精度要求；
- c) 模型的逼真度应满足试验要求的程度；
- d) 进行力学分析仿真试验的仿真模型应能满足特定精度要求的公差分析和有限元分析仿真试验；
- e) 进行运动学或动力学仿真试验的仿真模型应能够表达真实样机的工作原理、运动方式、运动范围、运动传递关系；
- f) 进行故障预测或故障复现的仿真模型应能够直观表达故障运动过程、故障状态特征以及故障的因果关系。

9 仿真试验方法

9.1 力学仿真试验

9.1.1 试验内容

力学仿真试验对以下救援装备水面搭载与吊放装置的重要承载设备的力学性能指标进行检验：

- a) 结构强度；
- b) 结构稳定性。

9.1.2 试验程序

9.1.2.1 仿真模型建立

按照设计文件，利用三维设计软件为试验对象建立三维模型。根据各设备之间的位置关系和接口

关系,进行虚拟装配。本试验的仿真模型包括移放车架、紧固装置、A型吊架、绞车、纵横摇缓冲系统、升沉补偿系统、冲击载荷缓冲装置等。初步检查模型是否存在干涉、移位受限等问题。

9.1.2.2 仿真条件确定

根据水面搭载与吊放装置的类型、工况和作业特性,在其作业时应考虑如下几种载荷和力:

- a) 质量载荷:不包括在起升载荷中的吊放系统部件的重量。
- b) 起升载荷:吊放装置安全负荷和吊放装置中的运动部件自重之和。这些部件与安全工作负荷直接相连,吊运中,与安全工作负荷作相同的运动。
- c) 吊放装置中运动部件的各种运动所产生的惯性力(如有时):如A型吊架变幅而作用于起升载荷与其他结构上的惯性力。在变幅运动时,作用在起升载荷上的水平惯性力按起升钢索(垂直部分)的摆幅所产生的水平力计算。A型吊架变幅机构加速与减速时,作用在运动部件与起升载荷上的水平惯性力,应为该质量与加速度乘积的1.5倍。
- d) 由支持母船或其他海上平台倾斜所产生的力(如有时):支持母船横倾角和纵倾角可分别取 5° 和 2° 。
- e) 救援装备非垂直吊运时,由救援装备摆动所产生的力。
- f) 风力和环境的影响:包括由风速产生的风压和作用在起升载荷上的风力。

- 1) 由风速产生的风压按式(1)计算。

$$q = 0.613v^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

q ——由风速产生的风压,单位为帕(Pa);

v ——风速,单位为米每秒(m/s)。吊放系统作业时的风速应取20 m/s,水面搭载时风速应取55 m/s。

- 2) 作用在起升载荷上的风力,一般按下列情况计算:

- 当安全工作负荷不超过490 kN时,按式(2)计算:

$$F_n = 37 \times \text{SWL} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

F_n ——作用在起升载荷上的风力,单位为牛顿(N);

SWL ——安全工作负荷,单位为千牛(kN)。

- 当安全工作负荷超过490 kN时,按式(3)计算:

$$F_n = 815 \times \sqrt{\text{SWL}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- 对起升载荷的形状和尺度为特殊者,亦可按其外形和尺度来考虑风的作用力。作用在吊放系统上或单根构件上的风力,按式(4)计算:

$$F_w = C \times q \times A \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

F_w ——作用在吊放系统上或单根构件上的风力,单位为牛顿(N);

C ——风力系数,方向与风向相同,按照《船舶与海上设施起重设备规范》第3章选取;

A ——构件的投影面积,方向与风向垂直,单位为平方米(m^2),组合结构的投影面积为结构上每个构件的投影面积之和。

- g) 通道和平台上的载荷(如有时):通道和平台的设计应能承受均布载荷为5 000 N,与在单个构件上应能承受的集中载荷为3 000 N。

9.1.2.3 动力学计算

动力学计算按下列步骤进行:

- a) 利用 9.1.2.1 的三维模型,通过规定的文件格式,一般是 .x_t 文件,将模型导入机构动力学软件中。按照机构动力学软件的约束定义规则对虚拟装配重新进行连接定义。亦可在机构动力学软件中直接建模。典型的约束有:液缸的缸体和活塞杆之间设置圆柱副约束,销轴组件间设置旋转副约束,基座设置固定约束等。
- b) 利用 9.1.2.2 计算所得外部载荷,通过机构动力学软件载荷设置功能,选择作用点,设定力的方向和数值大小。
- c) 利用机构动力学软件计算求解运动副的相对位移、速度、加速度、约束力和约束载荷等。

9.1.2.4 结构力学计算

结构力学计算按下列步骤进行:

- a) 利用 9.1.2.1 的三维模型,通过规定的文件格式,将模型导入有限元分析软件中。必要时对模型进行合理简化。亦可在有限元分析软件中直接建模。
- b) 根据仿真对象的载荷工况及计算类型选择合适的单元类型,应采用多节点高精度单元。
- c) 设定材料参数,如线弹性材料、非线性材料、专用材料等。
- d) 设定截面参数,如壳单元、梁单元的截面形状、厚度、尺寸等参数。
- e) 对模型进行网格划分,应尽量划分为规则的六面体单元或四边形单元,在结构突变区域应进行网格细化以体现应力变化情况。
- f) 对模型施加 9.1.2.3 中计算的载荷及约束。
- g) 设置合理算法,对模型进行计算,得出结构应力及变形数据。
- h) 对承压构件进行屈曲分析,取最低压力的模态即为结构失稳模态。

9.1.3 试验输出

力学仿真试验输出结果包括约束力、应力、变形、临界载荷等。

9.1.4 试验数据处理

根据 9.1.3 试验输出,分析得出结构最大应力、最大变形量、强度安全系数、稳定性安全系数等。其中强度安全系数可由最大应力除以材料屈服强度获得。稳定性安全系数可由临界载荷除以实际工作载荷获得。

9.1.5 试验结果判定

9.1.5.1 结构强度判定

对于第 7 章 b) 中不同的工况,安全系数 n 应不小于表 2 中数值。

表 2 安全系数最低要求

工况	1	2	3	4
安全系数 n	1.5	1.33	1.15	1.15

9.1.5.2 结构稳定性判定

对于单纯受压构件的稳定性安全系数要求同表 2。

对于同时承受轴向压力和弯矩作用的构建,按《潜水系统与潜水器入级与建造规范》附录 B 进行校核。

9.2 绞车驱动控制仿真试验

9.2.1 试验内容

绞车驱动控制仿真试验对以下绞车驱动控制性能指标进行检验：

- a) 绞车运行稳定性情况；
- b) 绞车控制系统可靠性。

9.2.2 试验程序

9.2.2.1 仿真模型建立

利用液压控制仿真软件对绞车及其动力系统进行建模,直接使用软件的标准元件模型库或者根据需要创建专用元器件模型。救援装备水面搭载与吊放装置相关的典型液压系统建模常用元器件及其参数设置,见表 3。

表 3 典型液压系统元器件建模及参数设置

元器件名称	参数设置
液压马达	排量,转速等
齿轮泵	排量,电机转速等
轴向柱塞定量泵	柱塞个数,斜盘倾角,柱塞分布圆直径和柱塞直径等
轴向柱塞变量泵	柱塞个数,斜盘倾角,柱塞分布圆直径和柱塞直径等。轴向柱塞变量泵的变量部分通过信号处理模拟变量机构的实际运动情况
溢流阀	开启压力,流量压力梯度等
板式油冷却器	流量,相应压降,临界流数(层流→紊流)等
过滤器	流量,相应压降,临界流数(层流→紊流)等
背压阀	开启压力,流量压力梯度
单向阀	开启压力,流量压力梯度,开启/关闭的滞后压力等
梭阀	开启/关闭的滞后压力,流量压力梯度等
节流阀	等效节流孔直径,最大流量系数,临界流数(层流→紊流)等
压力补偿阀	最大开口时的流量,相应的压降,临界流数(层流→紊流)等
先导比例方向控制阀	额定电流,固有频率,阻尼比,各油口额定流量、相应压降及临界流数(层流→紊流)等
电液换向阀	额定电流,固有频率,阻尼比,各油口额定流量、相应压降及临界流数(层流→紊流)等
电磁方向阀	固有频率,阻尼比,最大开口时的流量,相应的压降,最大开口时的等效横截面积,最大流量系数,临界流数等
比例溢流阀	开启压力,流量压力梯度,额定电流等
平衡阀	弹簧预紧力,阀口全开时需要的先导压力,阀口全开时的额定流量,额定压差,先导压力端口的无量纲面积,开启/关闭滞后压力等
电液比例节流阀	最大开口时的流量,相应压降,临界流数(层流→紊流)等
液压油	牌号,密度,体积模量,温度,绝对黏度,溶解气体的饱和压力,空气/气体/蒸汽的相变指数等

表 3（续）

元器件名称	参数设置
钢丝绳	单位长度钢丝绳的硬度、重量及黏性摩擦,初始长度,倾角等
吊放绞车	转动惯量,绞车直径等
吊放对象	重量,倾角等

9.2.2.2 仿真条件确定

绞车驱动控制仿真条件确定包括:

- a) 根据实际情况,设置固定载荷、交变载荷、冲击载荷等;
- b) 设定仿真精度,仿真时间。

9.2.2.3 仿真实施

绞车驱动控制仿真按下列步骤进行:

- a) 根据控制系统的复杂程度,一般采用分析计算软件对控制系统进行建模,实施联合仿真。设置联合仿真正接口,利用数据共享或模型导入等多种联合仿真模式实施仿真。
- b) 在分析计算软件中设计控制器及控制算法。通过软件数据传输,液压控制仿真软件将控制量的偏差值及偏差变化率等输入给控制器,通过控制算法解算,控制器输出驱动指令给液压系统执行器。
- c) 运行程序,提取绞车性能曲线。

9.2.3 试验输出

绞车驱动控制仿真试验输出包括液压系统流量及压力、缆绳张力、绞车运行速度、绞车启动时间、绞车制动时间、绞车制动距离、控制系统阶跃响应等。

9.2.4 试验数据处理

根据 9.2.3 中的输出,分析得出绞车速度,控制系统性能等。

9.2.5 试验结果判定

9.2.5.1 绞车速度判定

绞车起升和下降速度应满足系统设计要求。

9.2.5.2 控制系统性能判定

控制系统稳定性、鲁棒性、可靠性应满足设计要求。对于液压驱动绞车,允许的滑移量一般应不超过 1 m/min。

9.3 升沉补偿系统仿真试验

9.3.1 试验内容

升沉补偿系统仿真试验对升沉补偿系统的以下性能指标进行检验:

- a) 升沉补偿系统补偿幅值;

- b) 升沉补偿系统补偿精度；
- c) 升沉补偿系统补偿周期。

9.3.2 试验程序

9.3.2.1 仿真模型建立

根据被动式、主动式、主被动复合式升沉补偿系统的补偿原理,利用液压控制仿真软件建模。直接使用软件的标准元件模型库或者根据需要创建专用元器件模型。典型液压系统建模常用元器件及其参数设置见表 3。

9.3.2.2 仿真条件确定

根据海况,采用数字模型模拟母船升沉运动。一般根据浪高和周期,采用正弦波简单模拟母船升沉运动规律。亦可采用由多个不同频率、振幅、初相位、传播方向等要素叠加而成随机海浪模型。

9.3.2.3 仿真实施

升沉补偿系统仿真按下列步骤进行:

- a) 对于主动式、主被动复合式升沉补偿系统,采用分析计算软件对控制系统进行建模、仿真和分析,实施联合仿真。设置联合仿真正接口,利用数据共享或模型导入等多种联合仿真模式实施仿真。
- b) 在分析计算软件中设计控制器及控制算法。通过软件数据传输,液压控制仿真软件将母船升沉和吊放对象位移的偏差及偏差变化率等输入给控制器,通过控制算法解算,控制器输出驱动指令给液压系统执行器,驱动吊放系统回收或下放吊放对象。

9.3.3 试验输出

升沉补偿系统仿真试验输出的结果应包括:

- a) 采用不同控制器,系统的阶跃响应;
- b) 吊放对象在不同控制器作用下的位移曲线;
- c) 吊放对象补偿运动跟随曲线。

9.3.4 试验数据处理

根据 9.3.3 中的输出,计算控制系统超调量、响应速度及精度,升沉补偿系统补偿精度、补偿幅值、补偿周期等。

9.3.5 试验结果判定

升沉补偿系统的补偿精度、补偿幅值及补偿周期应满足系统设计要求。

9.4 纵横摇缓冲系统仿真试验

9.4.1 试验内容

纵横摇缓冲系统仿真试验对纵横摇缓冲系统的以下性能指标进行检验:

- a) 横摇缓冲幅值;
- b) 纵摇缓冲幅值。

9.4.2 试验程序

9.4.2.1 仿真模型建立

利用三维设计软件创建纵横摇缓冲系统三维实体模型,经干涉检验和运动学分析,在其满足动力学原理的前提下,将其导入机构动力学仿真软件中。

9.4.2.2 仿真条件确定

纵横摇缓冲系统仿真条件确定的内容包括:

- a) 在机构动力学仿真软件中对整体机构进行各部件之间的运动关系约束定义。典型的约束有:液缸的缸体和活塞杆之间设置圆柱副约束,销轴组件间设置旋转副约束;基座设置固定约束等。
- b) 在模型中,可通过加点驱动的方式,模拟实际作业海况。点驱动分别驱动装置沿 Z 轴和 X 轴以一定速度转动,即可模拟船体随海浪发生横摇和纵摇的情况。
- c) 利用液压控制仿真软件纵横摇缓冲系统的动力系统进行建模,基于软件的专业元器件模型库和专用元器件设计模型库构件数字模型。相关的典型液压系统建模常用元器件及其参数设置,参见表 3。
- d) 根据是否与吊放对象刚性连接、采取主动控制还是被动补偿、仅横摇还是纵摇缓冲这几种不同的仿真条件,对模型进行设置,具体仿真条件包括:
 - 1) 缓冲系统与吊放对象刚性连接前/后,仅横摇缓冲,主动控制和被动补偿;
 - 2) 缓冲系统与吊放对象刚性连接前/后,仅纵摇缓冲,主动控制和被动补偿;
 - 3) 缓冲系统与吊放对象刚性连接前/后,横摇加纵摇缓冲,主动控制和被动补偿。

9.4.2.3 仿真实施

实施机构动力学和液压控制仿真软件联合仿真。设置联合仿真接口,创建/检查需要交换的变量,导入/导出模型。动力学仿真在机构动力学仿真软件中完成,动力系统的仿真则在液压控制仿真软件中完成。各自使用其合适的求解器,计算数据共享,联合完成复杂多变系统的仿真。

9.4.3 试验输出

纵横摇缓冲系统仿真试验输出的结果包括:

- a) 缓冲液缸位移曲线;
- b) 缓冲液缸压力曲线;
- c) 缓冲液缸流量曲线;
- d) 吊放对象偏角曲线。

9.4.4 试验数据处理

根据 9.4.3 中的输出,计算纵横摇缓冲幅值,亦得出母船纵横摇和吊放对象偏角对比曲线,提取缓冲效果图。

9.4.5 试验结果判定

纵横摇缓冲系统的纵横摇缓冲幅值应满足系统设计要求。

9.5 应急工况冲击载荷缓冲装置仿真试验

9.5.1 试验内容

应急工况冲击载荷缓冲装置仿真试验对应急工况下冲击载荷缓冲装置的以下性能指标进行检验，包括：

- a) 吊放缆绳张力；
- b) 冲击载荷缓冲装置滑轮位移。

9.5.2 试验程序

9.5.2.1 仿真模型建立

根据海况，采用数字模型模拟母船升沉运动。一般根据浪高和周期，采用正弦波简单模拟母船升沉运动规律。亦可采用由多个不同频率、振幅、初相位、传播方向等要素叠加而成的随机海浪模型。典型的冲击载荷缓冲装置简易功能原理图见图 1。

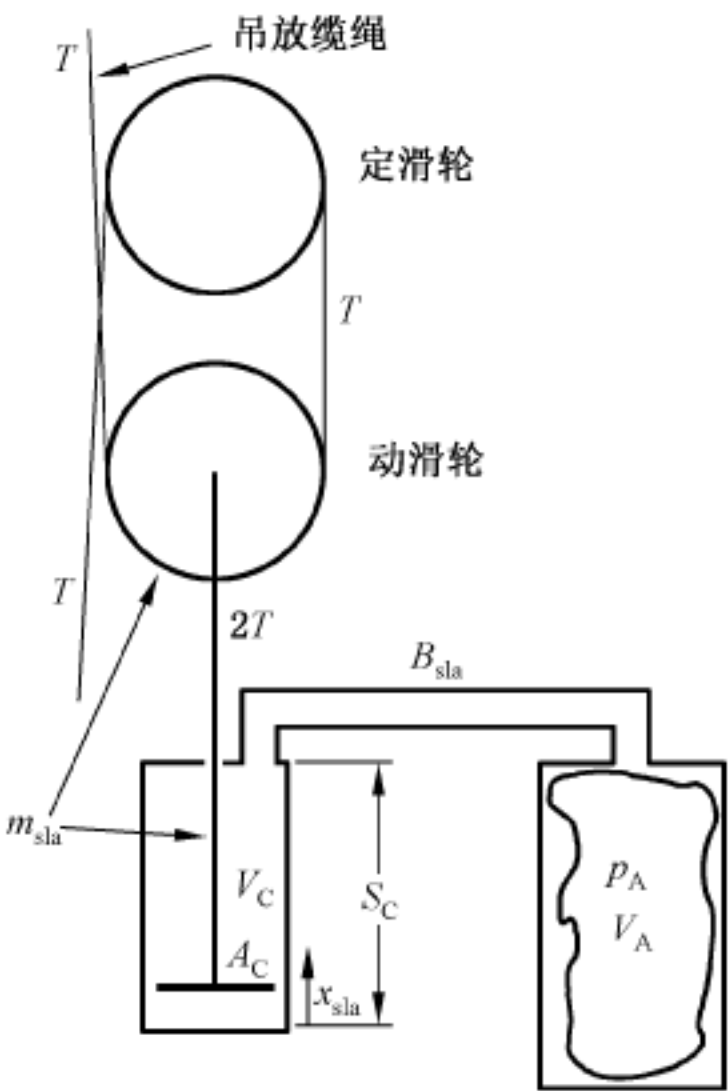


图 1 冲击载荷缓冲装置简易功能原理图

通过分析计算软件建立冲击载荷缓冲装置的数学模型。冲击载荷缓冲装置动态数学模型包括式 (5) 和式 (6)：

$$m_{sla} \ddot{x}_{sla} = 2T - F_{sla}(x_{sla}, v_{sla}) \dots\dots\dots (5)$$

$$2T + F_{block}(x_{sla}) = m_{sla} \ddot{x}_{sla} + A_C^2 B_{sla} x_{sla}^2 + \frac{\bar{p}_A A_C}{1 - \frac{A_C}{V_A} x_{sla}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- m_{sla} ——总运动部件的质量，单位为千克(kg)；
- x_{sla} ——油缸活塞杆的位移，单位为米(m)；
- T ——缆绳张力，单位为牛顿(N)；
- F_{sla} ——液压油缸内部产生的液压恢复力，单位为牛顿(N)；
- v_{sla} ——动滑轮的速度，单位为米每秒(m/s)；
- F_{block} ——液压非线性阻力，单位为牛顿(N)；

- A_c ——液压油缸的活塞面积,单位为平方米(m^2);
 B_{sla} ——流量阻力参数,单位为帕秒每立方米($Pa \cdot s/m^3$);
 p_A ——气囊内的压力,单位为帕(Pa);
 V_A ——气囊的体积,单位为立方米(m^3)。

9.5.2.2 仿真条件确定

冲击载荷缓冲装置仿真试验应急工况一般包括:

- a) 制动器异常;
- b) 主动升沉补偿失效;
- c) 液压系统故障。

应急工况冲击载荷缓冲装置仿真条件确定内容包括:

- a) 假定故障发生时间、持续时间;
- b) 分析应急工况机理,确定冲击载荷,在数字模型上施加脉冲载荷。

9.5.2.3 仿真实施

利用分析计算软件进行数据处理、数据分析、曲线绘制,得到冲击载荷缓冲装置的性能参数曲线。

9.5.3 试验输出

应急工况冲击载荷缓冲装置仿真试验输出的结果包括:

- a) 母船、救援装备、绞车和冲击载荷缓冲装置位移曲线对比图;
- b) 吊放缆绳张力曲线;
- c) 冲击载荷缓冲装置滑轮位置曲线;
- d) 冲击载荷缓冲装置滑轮速度曲线。

9.5.4 试验数据处理

根据 9.5.3 中的输出,计算各种应急工况下吊放缆绳最大张力、冲击载荷最大位移量。

9.5.5 试验结果判定

冲击载荷缓冲装置性能判定要求如下:

- a) 吊放缆绳张力应不大于吊缆的最小破断负荷 Q_b 。最小破断负荷按式(7)计算:

$$Q_b = n_b \cdot W \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

Q_b ——吊放缆绳的最小破断负荷,单位为牛顿(N);

n_b ——吊放缆绳的安全系数。对深潜救生艇、救生钟等载人潜器, n_b 取 8;对无人潜器, n_b 取 7;

W ——吊放缆绳上的安全工作负荷,单位为牛顿(N)。

- b) 冲击载荷缓冲装置滑轮移动距离应小于油缸行程。

10 试验中断及异常处理

10.1 中断试验

在试验中,出现下列异常情况使得试验结果无意义时,应中断试验:

- a) 力学仿真试验中出现远大于材料屈服应力的应力、奇异点、不正常的变形云图、承压构件受力超过临界载荷等情况；
- b) 出现与理论趋势相矛盾的结果。

10.2 异常情况处理

10.2.1 异常情况判定

通过检查模型装配、网格划分以及载荷、约束等仿真条件的设置,判定仿真试验的错误位置。

10.2.2 异常情况处理方式

对于试验中的异常情况,应采取以下措施:

- a) 改正错误设置;
- b) 对试验过程中的异常情况应据实进行文字记录。

11 试验报告

仿真试验结束后应编制仿真试验报告,内容应包括但不限于:

- a) 试验对象;
- b) 试验目的;
- c) 试验人员;
- d) 试验条件;
- e) 仿真试验数字模型;
- f) 试验结果数据记录、分析与处理;
- g) 仿真试验结果、结论和建议。

仿真试验报告格式参见附录 A。

附 录 A
(资料性附录)
仿真试验报告格式

仿真试验报告格式见表 A.1。

表 A.1 仿真试验报告

试验对象	
试验目的	
试验人员	
试验条件	
仿真试验数字模型	
试验结果数据记录、分析与处理	
仿真试验结果、结论和建议	