ICS 19.020；47.080
CCS　U 18

团　体　标　准

T/CIN 006—2022

全垫升气垫船垫态初稳性试验方法

Cushion initial stability test method of hovercraft

（发布稿）

2022-06-06发布　　2022-06-13实施

中国航海学会　发 布

全国团体标准信息平台

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 原理 2
5 试验条件 2
6 试验设备与人员 3
7 试验船舶 5
8 试验过程 6
9 试验数据处理 9
附录 A（资料性）试验记录表 12
附录 B（资料性）典型试验结果分析 18
参考文献 20

全国团体标准信息平台

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国航海学会（CIN）提出并归口。

本文件起草单位：中国船级社武汉规范研究所、上海备格船舶工程有限公司、山东省黄河航运局有限责任公司、山东省济南船舶技术服务中心、上海市港航事业发展中心。

本文件主要起草人：陈志飚、肖曙明、武俊杰、朱加刚、潘文欢、崔云龙、周巍、邓乐、张净宙、郭龙刚、何恩新、刘滔、周健。

全国团体标准信息平台

全垫升气垫船垫态初稳性试验方法

1 范围

本文件规定了全垫升气垫船垫态初稳性试验的原理、试验条件、试验设备与人员、试验船舶、试验过程、试验数据处理等要求。

本文件适用于全垫升气垫船垫态初稳性试验。

本文件不适用于全垫升气囊浮体气垫船。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 13146 气垫船术语

3 术语和定义

GB/T 13146界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全垫升气垫船 hovercraft

船体重量全部由气垫支承，脱离支承表面航行，具有两栖性能的气垫船。

［来源：GB/T 13146-1991，2.2］

3.2

垫态初稳性 initial stability on cushion

气垫船在全垫升状态小倾斜角时的稳性，包括垫态初横稳性和垫态初纵稳性。

［来源：GB/T 13146-1991，2.137,2.138，2.139,有修改］

3.3

试验目标工况 test target condition

船舶可正常航行，船上的消耗备品、物料、货物、乘客（乘员）、船员、行李、燃油和其他液舱液体等均已就位，船舶垂向重心高度最大（初稳性高度最小）的装载工况。

3.4

移动重量 moved weight

试验过程中通过移动其位置，使船舶产生横倾或纵倾的重物。

3.5

试验压载重量 test ballast weight

压载于船上指定位置使船舶总重量与试验目标工况保持相当的重物，一般用于模拟船上缺少的乘客和/或货物。

3.6

重量移动设备 move weight equipment

试验过程中用于使移动重量位置发生变动的设备和装置。

3.7

倾侧力矩 inclining moment

相对于初始位置，移动重量变动位置后所产生的绝对力矩。

3.8

初横稳性试验 initial transverse stability test

通过横向变动移动重量位置使船舶产生横倾，以确定垫态初横稳性高度的试验。

3.9

初纵稳性试验 initial longitudinal stability test

通过纵向变动移动重量位置使船舶产生纵倾，以确定垫态初纵稳性高度的试验。

4 原理

4.1 一般原则

在船上布置移动重量并变动其位置，使船舶在全垫升状态下产生倾斜（横倾或纵倾），按照倾斜试验基本原理，确定全垫升气垫船的垫态初稳性高度（初横稳性高度或初纵稳性高度）。

4.2 倾斜试验基本原理

移动重量变动位置后船舶产生小的倾角，船舶绕稳心转动，其初稳性高度按式（1）计算：

$$\overline{GM} = \frac{M}{\Delta \tan \alpha} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

$\overline{GM}$ ——初稳性高度，单位为米（m）；

Δ——试验状态下的船舶总重量，单位为吨（t）；

α——船舶倾角（相对于初始状态的横倾角或纵倾角），单位为度（°），右倾和首倾为正，反之为负；

M——移动重量产生的倾侧力矩，单位为吨·米（t·m），按式（2）计算：

$$M = Wl \quad \cdots\cdots (2)$$

W——移动重量的质量，单位为吨（t）；

l——移动重量的移动力臂（相对于初始位置的横向或纵向变化量），单位为米（m），向右或向首移动取正，反之取负。

5 试验条件

5.1 环境条件

5.1.1 试验应安排在平坦的硬质地面进行。地面与水平面的夹角不应超过 0.5°。地面应干净无杂物或影响试验正常开展的障碍物。

5.1.2 试验应在风力不大于蒲氏 2 级的天气条件下进行，有风的情况下，初横稳性试验时船首应正对风向，初纵稳性试验时船首应垂直于风向。有条件的情况下，宜在室内开展试验。

5.2 系泊状态

5.2.1 船舶四周应留有适当的空间，能使其在试验中处于全垫升状态，并与周围障碍物之间留有足够的空间以防试验中被干扰。

5.2.2 所有非试验用的电缆、软管、缆绳、梯子等连接船舶与船外（设施、场地、人员等）的物体应拆除或解除连接。

5.2.3 试验中船舶不应系缆。试验用的电缆或其他线缆、软管等，应处于松弛状态，确保其不会对船舶产生附加倾侧力。

6 试验设备与人员

6.1 总体要求

6.1.1 试验用设备主要包括移动重量、试验压载重量、重量移动设备、质量测量设备、距离测量设备、倾角测量设备、通信指挥设备。

6.1.2 重量移动设备和倾角测量设备宜具备遥控操作能力。

6.1.3 试验人员应包括主持人、指挥助手、驾驶员、记录人员、操作人员。试验时除驾驶员和必要的操作人员外应无其他人员位于船上。

6.2 移动重量和试验压载重量

6.2.1 移动重量和试验压载重量均为试验时需置于船上的试验重量。

6.2.2 试验压载重量应具有易于确定其重心位置的固定外形构造，用于模拟乘客和/或货物等重量项。不允许采用真人作为试验压载重量来模拟乘客或其他人员。如采用容器装载液体作为试验压载重量，则容器应装满。

6.2.3 移动重量应易于确定其重心位置，便于安置在船上指定位置。

6.2.4 移动重量可以是固态（例如压铁），也可以是液态（例如装在容器中的水）。不论何种形态，移动重量的位置变动后所有移动重量的总重心高度宜保持不变，否则应记录此高度变化量，并在试验数据处理时进行修正。

6.2.5 采用液态移动重量时，则当盛装液体的容器不动而容器内液体的液位变化后，剩余液体的重心水平位置应保持不变。最终计算所得的初稳性高度应进行自由液面修正。

6.2.6 对于初横稳性试验，移动重量初始时应按左右舷各 3 组对称布置，当全部移动重量变动到左舷（或右舷）时，应能使船舶在围裙不触底情况下产生的横倾角不小于 4°（若 4°时已触底则倾角可适当降低），且不大于 5°。其中，移动重量的总质量按式（1）估算，估算时倾角可取 4.5°或根据实际经验取值。

6.2.7　对于初纵稳性试验，移动重量初始时应按首尾端各 2 组对称布置，当全部移动重量变动到船首（或船尾）时，应能使船舶在围裙不触底情况下产生的纵倾角不小于 0.5°（若 0.5°时已触底则倾角可适当降低）。其中，移动重量的总质量按式（1）估算，估算时倾角可取 0.8°或根据实际经验取值。

6.3　重量移动设备

6.3.1　重量移动设备的动力源不宜采用人力，确有需要使用人力时，仅允许用在移动重量的位置校正，且从事位置校正的人员在读数前应回到初始位置。

6.3.2　重量移动设备宜采用专门设计制造的组合（成套）集成装置，该装置能动力操控。

6.3.3　对于固态移动重量，重量移动设备宜采用电动导轨。

6.3.4　对于液态移动重量，重量移动设备宜采用泵组合装置，即通过泵将液体经传输管路从初始位置搬运到指定位置。其中，传输管路应具有止回功能。

6.4　质量测量设备

6.4.1　质量测量设备的精度应达到±0.001t，量程应满足试验压载重量、移动重量、试验人员等质量测量需求，且应具备数字直接显示功能。

6.4.2　对于液态重量，可测量其体积并按密度（容重）换算为质量，也可装在容器中直接测量。若密度（容重）未知则应使用密度计进行测定。

6.4.3　对于液态移动重量，若通过泵经传输管道搬运时，可通过流量计测量其流量（体积或质量）。流量计测量所得为体积流量时，应先测定液态移动重量的密度（容重），然后换算为质量。

6.4.4　对于液态试验压载重量，其质量为连同容器一起的总质量，应视为固体重量直接测量。质量过大不便于直接测量时，也可先测量容器的质量，再测量其容积并按液体密度（容重）换算为质量。

6.5　距离测量设备

6.5.1　距离测量设备的精度应达到±0.001m，量程应满足移动力臂（移动重量之间距离）、垫升高度等项目的测定。

6.5.2　测量设备应能测量移动重量的重心到指定点之间的水平距离。测量水平距离时应进行水平校准，其水平校准可通过自带的功能实现，或使用铅垂线、水平仪等辅助工具实现。

6.5.3　测量设备应能测量气垫船气道甲板或指定点至地面的垂直距离。

6.6　倾角测量设备

6.6.1　倾角测量设备的精度应达到±0.01°，输出频率应不小于 1Hz，且可直接将测量值输出到信息技术设备（例如计算机、智能手机等）。

6.6.2　倾角测量设备一般采用倾角传感器，不应采用挂锤装置或一端读数的 U 型管装置。

6.6.3　试验时应安设两个倾角测量装置，且布置位置应符合下列要求：

a）初横稳性试验时，分别位于船首和船中部（或船尾）的适当位置；

b）初纵稳性试验时，分别位于靠近左舷和靠近右舷（或纵中剖面）的适当位置；

c）尽可能避开船体或机械振动，如无法避开则应采取适当减振措施，且需在该振动环境下校验倾角测量的准确性。

6.7　通信指挥设备

6.7.1 通信指挥设备应包括即时通信装置(如电话、对讲机等)和广播装置，用于试验人员之间交流和发布指令。

6.7.2 应准备指令牌（令旗）等辅助指挥设备，实现试验指令的统一执行。辅助指挥设备应能传达试验所需的关键指令，包括但不限于垫升、降落、变动、读数。

6.8 试验人员

6.8.1 主持人为试验负责人，对试验结果负责，在试验过程中负责指挥、协调，包括但不限于：

——对试验现场进行检查确认；

——对移动重量进行验证、变动和读数；

——对试验数据进行偏差检查；

——确认试验结束。

6.8.2 指挥助手负责将主持人的指令传达给驾驶员、记录员和操作人员。

6.8.3 驾驶员负责按指令操控船舶，包括垫升、降落以及姿态调整等。

6.8.4 记录人员负责记录试验过程中采集的各种数据，包括环境条件参数、重量、位置、倾角等，同时也负责对采集数据进行相关的统计和处理。

6.8.5 操作人员负责操控试验仪器设备，包括重量移动设备和倾角测量设备等。

7 试验船舶

7.1 试验船舶状态

7.1.1 试验船舶应已达到完工状态，并已完成空船状态重量重心的测定。

注：空船状态重量重心的测定可采用称重试验或其他可接受的方式进行。

7.1.2 试验船舶应具备垫态运行能力，且持续时间足以完成一组初横稳性试验或一组初纵稳性试验。

注：一组初横稳性试验是指从初始位置开始到完成所有的重量位置横向变动和读数；一组初纵稳性试验是指从初始位置开始到完成所有的重量位置纵向变动和读数。

7.1.3 试验目标工况应取空载到港、满载出港或其他载况中重心垂向位置最高的装载状况。若无法分辨时，可取多个载况作为试验目标工况，此时应对每个试验目标工况分别开展试验。

7.1.4 试验时船舶装载状态应与试验目标工况相当，即总重量不小于试验目标工况，总重心的平面位置与试验目标工况相同，总重心高度不低于试验目标工况，并符合下列要求：

a）试验用到的仪器设备（含移动重量）、船上试验人员等应视为重量项纳入统计；

b）与试验目标工况相比缺少重量项时，可用试验压载重量来模拟；

c）总重量超出试验目标工况时，可适当精简试验压载重量，但应确保总重心高度不低于试验目标工况。

7.2 试验所需图纸资料

初稳性试验时应备有下列图纸资料：

——试验目标工况数据（含空船和船舶总重量重心，以及垫态初横稳性高度估算值和初纵稳性高度估算值）；

——试验仪器设备（含移动重量和试验压载重量）的布置图；

——垫态初稳性试验大纲。

8 试验过程

警示——试验人员与旋转机械（如空气螺旋桨）之间应采取适当的防护措施或警示标志。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全措施，确保试验全过程所有参加试验人员的人身和船舶设施安全。

8.1 总体要求

8.1.1 每一个试验目标工况均应分别开展一组初横稳性试验和一组初纵稳性试验。

8.1.2 每一组初横稳性试验或每一组初纵稳性试验应按 8.2～8.4 步骤操作。

8.2 试验准备

8.2.1 对试验现场作全面检查，确认试验条件、仪器设备、试验船舶等均符合试验要求。

8.2.2 对试验现场的试验条件做如下确认并做记录（记录表格样式见表 A.3）：

a）观测风向、风速和周围场地情况，应符合 5.1 环境条件的规定；

b）检查船舶与地面之间的连接情况，应符合 5.2 系泊状态的规定。

8.2.3 确认移动重量的初始位置与图 1 相符。

a) 初横稳性试验　　b) 初纵稳性试验

标引序号说明：

■——有移动重量的位置；□——无移动重量的位置

图1 移动重量的初始位置

8.2.4 按 6.2.6 或 6.2.7 要求，估算试验所需移动重量的总质量（估算所用表格样式见表 A.2 和表 A.4）。

8.2.5 对试验现场的仪器设备和试验人员做如下确认并做记录（记录表格样式见表 A.5～表 A.7）：

a）对测量装置进行精度检查和校准（如有时），效能应满足试验需求；

b）对移动重量逐一标记名称/编号，测定质量，标定初始位置，做记录和计算（记录表格样式见表 A.5），计算所得的总计重量应不小于按 8.2.4 估算所得之值（即表 A.4 中的总重量）；

c）对液态移动重量进行检查，若存在自由液面，则测定其密度和容器尺寸，参照表 A.6 记录其自由液面数据，若其通过泵经传输管路搬运时，则该传输管路内应已经充满液体；

d）对船上的仪器设备（不含移动重量和试验压载重量）和试验人员等重量项，逐一核实其上船的必要性，并标记重量项的名称/编号，测定质量，标定初始位置，参照表 A.7 做记录和处理；

e）对船上船下试验人员之间的通信情况进行核查，试验人员之间应能及时有效沟通（获取指令和反馈信息等）。

8.2.6 对试验时船舶载况做如下确认并做记录（记录表格样式见表 A.8～表 A.14）：

a）检查所有机械、管路及系统内的液体，应处于工作状态，且不会产生非预定的流动与流失；

b）核查液体舱柜内液体，与试验目标工况相比有多余或缺少时，做记录和处理（表格样式见表 A.8 和表 A.9）；

c）检查燃油舱（柜）内燃油，载量应能满足试验时段内的消耗；

d）核查船上固体重量，与试验目标工况相比存在的多余重量（仪器设备/移动重量、试验人员、液体舱柜除外）和不足重量（包括需载运的人和货）时，做记录（记录表格样式见表 A.10 和表 A.11）；

e）计算船上应增加的试验压载重量总量（计算表格样式见表 A.12）；

f）核查船上的试验压载重量，做记录和处理（表格样式见表 A.13），按该表计算所得总计项的重量和重心高度应不小于上述 e）计算所得的应增加的试验压载重量总量，否则应调整试验压载重量的配备和布置；

g）统计试验时船舶总重量重心（表格样式见表 A.14），确认其符合 7.1.4 的规定。

8.3 移动重量的验证、变动和读数

8.3.1 目视确认移动重量、试验压载重量、重量移动设备、倾角测量设备、试验人员位于标定的初始位置。

8.3.2 操纵试验船使其处于垫升悬停状态，保持垫升发动机的转速处于常用转速范围。检查确认船舶初始横倾不超过 0.5°，初始无首倾且纵倾不宜超过 0.25°。

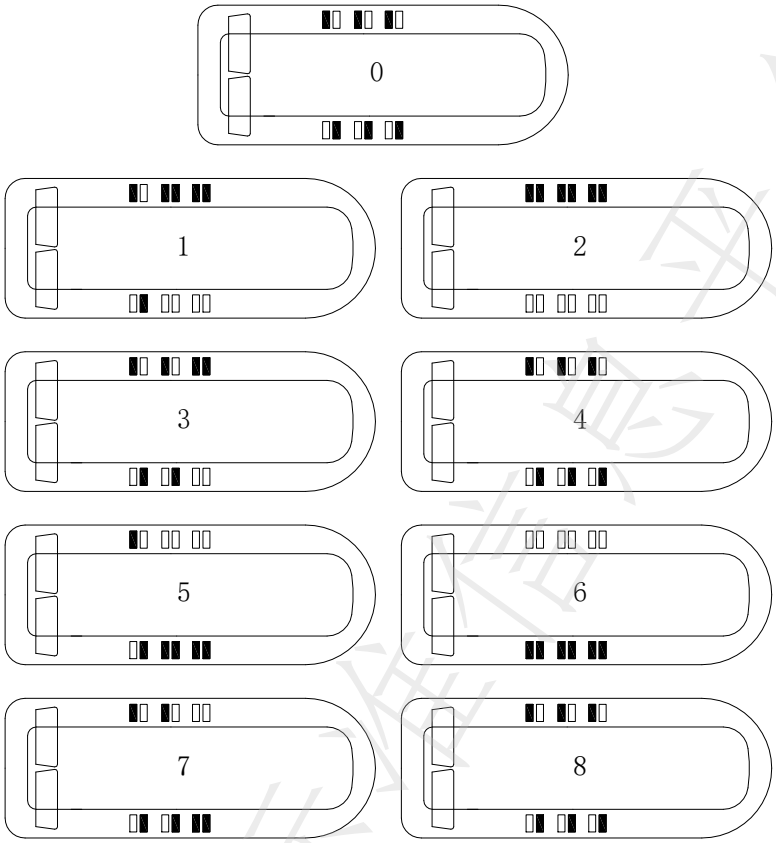
8.3.3 按试验类别对移动重量进行验证和调整，确保其能使船舶产生满足试验要求的倾角：

a）对初横稳性试验，将所有移动重量全部变动到左舷（或右舷），横倾角应符合 6.2.6 的规定，若不能产生满足要求的倾角，则应调整移动重量的大小或位置；

b）对初纵稳性试验，将所有移动重量全部变动到首部（或尾部），纵倾角应符合 6.2.7 的规定，若不能产生满足要求的倾角，则应调整移动重量的大小或位置。

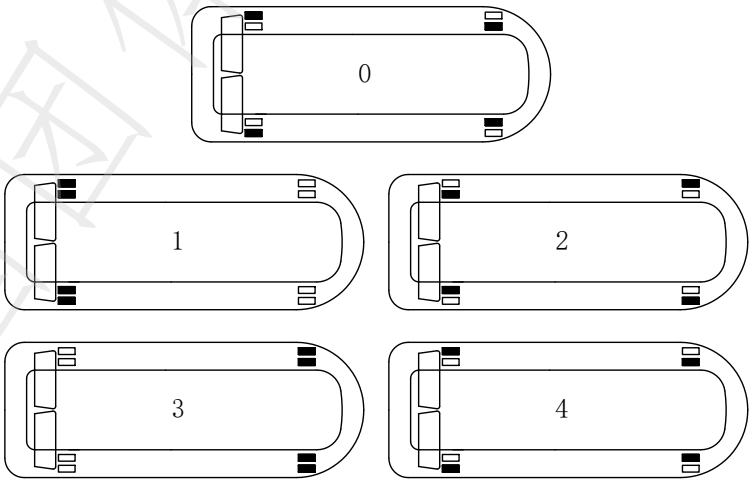
8.3.4 变动移动重量使其回到初始位置，确认船舶横倾和纵倾仍然符合 8.3.2 的规定。将此状态作为初始状态（即 0 状态），记录此时的船舶倾角（记录表格样式见表 A.15 和表 A.16）。

8.3.5 初横稳性试验时，按图 2 所示顺序依次变动移动重量 8 次，使船舶在船宽方向产生 8 个尽可能均匀分布的横向倾侧力矩，过程中船舶保持垫升悬停。每次变动移动重量后，等待船舶摇摆趋于平缓，然后检查确认船舶处于自由垫升（即不存在带缆、触底等情况），再然后按主持人指令统一进行读数，包括移动重量的质量/流量、移动力臂和重心高度变化量以及船舶倾角，并做好记录（记录表格样式见表 A.15～表 A.18），其中倾角应连续记录不小于 10 次。



标引序号说明：
0——初始位置；1～8——重量变动顺序号；■——有移动重量的位置；□——无移动重量的位置

图2 初横稳性试验时移动重量变动示意



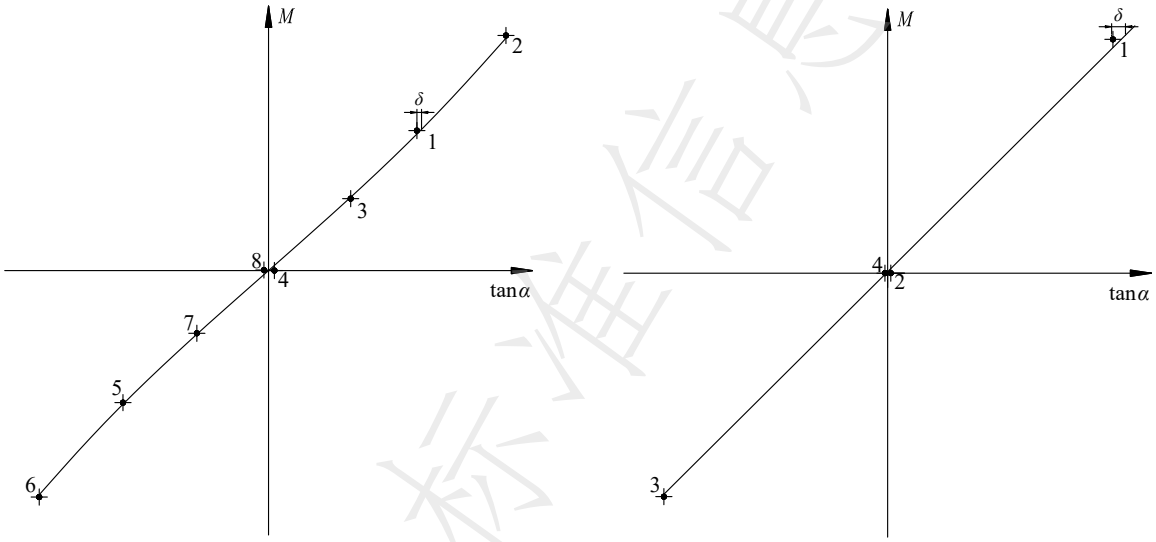
标引序号说明：
0——初始状态；1～4——重量变动顺序号；■——有移动重量的位置；□——无移动重量的位置

图3 初纵稳性试验时移动重量变动示意

8.3.6　初纵稳性试验时，按图 3 所示顺序依次变动移动重量 4 次，使船舶在船宽方向产生 4 个尽可能均匀分布的纵向倾侧力矩，过程中船舶保持垫升悬停。每次变动移动重量后，等待船舶摇摆趋于平缓，然后检查确认船舶处于自由垫升（即不存在带缆、触底等情况），再然后按主持人指令统一进行读数，包括移动重量的质量/流量、移动力臂和重心高度变化量以及船舶倾角，并做好记录（记录表格样式见表 A.15～A.18），其中倾角应连续记录不小于 10 次。

8.4　偏差检查

8.4.1　绘制偏差检查图，在图上依次绘出各试验数据点，作一根拟合线作为检查线。初横稳性试验检查图如 4a）所示，检查线为三次多项式回归曲线；初纵稳性试验检查图如 4b）所示，检查为线性回归直线。



a）初横稳性试验　　b）初纵稳性试验

标引序号说明：

1～8——重量变动顺序号；　tanα——倾角正切值；　*M*——倾侧力矩，单位为吨・米（t·m）；

δ——数据点与检查线的横坐标偏差。

图4 偏差检查

8.4.2　参照表 A.19，测算试验数据点与检查线的横坐标偏差*δ*。当|*δ*|＞0.014 时，应分析原因并判断该试验数据点是否有效，如为无效数据点则需要重做。典型试验结果分析见附录 B。

8.4.3　确认所有试验数据点均有效后，停止船舶垫升，结束本组试验。

9　试验数据处理

9.1　试验数据

9.1.1　清晰完整地记录试验船舶主要参数和测量所得数据（表格样式见表 A.1～A.18），确保移动重量的大小、位置和船舶倾角数据无缺漏。

9.1.2　试验结束时，应由主持人、记录员、相关方代表在相应的试验数据表格中签署姓名与日期。

9.1.3　试验结束后，应按签名认可的试验测量数据计算船舶在试验状态下的垫态初稳性高度（计算表格样式见表 A.19），并给出试验结果（结果表格样式见表 A.20）。

9.2 计算公式

9.2.1 试验数据点最小二乘多项式拟合回归公式见式（3）和（4）：

初横稳性试验：$M_i = c_0 + c_1 \tan\alpha_i + c_2 \tan^2\alpha_i + c_3 \tan^3\alpha_i$ ……(3)

初纵稳性试验：$M_i = c_4 + c_5 \tan\alpha_i$ ……(4)

式中：

c_0——初横稳性试验数据点最小二乘三次多项式回归系数；

c_1——初横稳性试验数据点最小二乘三次多项式回归系数；

c_2——初横稳性试验数据点最小二乘三次多项式回归系数；

c_3——初横稳性试验数据点最小二乘三次多项式回归系数；

c_4——初纵稳性试验数据点最小二乘线性多项式回归系数；

c_5——初纵稳性试验数据点最小二乘线性多项式回归系数；

α_i——第 i 次变动后的船舶倾角（当前状态相对于初始状态的横倾或纵倾），单位为度（°），右倾和首倾为正，反之为负；

M_i——第 i 次变动后的考虑移动重量重心高度变化修正后的倾侧力矩，单位为吨·米（t·m），按式（5）计算：

$$M_i = \sum_{k=1}^{i}(W_k l_k) + \tan\alpha_i \sum_{k=1}^{i}(W_k h_k) \quad \cdots\cdots (5)$$

W_k——第 k 次变动重量的质量，单位为吨（t）；

l_k——第 k 次移动力臂（当前位置相对于前一位置的横向或纵向变化量），单位为米（m），向右或向首移动取正，反之取负。

h_k——第 k 次变动重量的重心高度变化量，单位为米（m），从低处变动到高处时取正，反之取负。

9.2.2 试验状态下未经修正的初稳性高度按式（6）和（7）计算：

初横稳性试验：$\overline{GM_0} = (c_1 + 0.0349c_2 + 0.0012c_3)/\Delta$ ……(6)

初纵稳性试验：$\overline{GM_0} = c_5/\Delta$ ……(7)

式中：

$\overline{GM_0}$ ——未经修正的初稳性高度，单位为米（m）。

9.2.3 液态移动重量的自由液面对初稳性高度的影响系数，按式（8）计算：

$$\delta_1 = \rho_1 \sum I_1 \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

δ_1——试验状态下的初稳性高度修正系数，单位为吨·米（t·m）；

I_1——液态移动重量的自由液面惯性矩，单位为四次方米（m^4），初横稳性试验时对应横向惯性矩I_x，初纵稳性试验时对应纵向惯性矩I_y；

ρ_1——液态移动重量的密度，单位为吨每立方米（t/m^3）。

9.2.4 其他液体舱柜的自由液面对初稳性高度的影响系数，按式（9）计算：

$$\delta_2 = \sum \rho_2 I_2 \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

δ_2——试验状态下的初稳性高度修正系数，单位为吨·米（t·m）；

I_2——液体舱柜的自由液面惯性矩，单位为四次方米（m^4），初横稳性试验时对应横向惯性矩I_x，初纵稳性试验时对应纵向惯性矩I_y；

ρ_2——液体舱柜内液体的密度，单位为吨每立方米（t/m³）。

9.2.5 实测初稳性高度按式（10）计算：

$$\overline{GM_1} = \overline{GM_0} + (\delta_1 + \delta_2) / \Delta \quad \cdots\cdots (10)$$

式中：

$\overline{GM_1}$ ——实测初稳性高度，单位为米（m），初横稳性试验时对应初横稳性高度，初纵稳性试验时对应初纵稳性高度；

9.3 试验报告

9.3.1 试验结束后，应将试验测量数据及计算结果汇总编制成垫态初稳性试验报告。试验报告应至少给出下列内容：

a）试验对象与试验日期；

b）所使用的仪器设备或装置；

c）关键指标（如移动力臂、重量、倾角）；

d）初稳性高度计算；

e）结果，包含初稳性高度以及倾侧力矩-倾角的曲线或表达式。

全国团体标准信息平台

附　录　A
（资料性）
试验记录表

A.1　主要参数

A.1.1　基本信息记录表格样式见表A.1：

表 A.1 基本信息

船名		工程编号	
船长 L	m	气垫长度 L_q	m
总长 L_{oa}	m	气垫宽度 B_q	
船宽 B	m	气室高度 h_q	m
型深 D	m	空船重心 x_0	m
吃水 d	m	空船重心 y_0	m
空船重量Δ_0		空船重心 z_0	
试验依据的标准			
试验主持人		试验记录员	
验船师		船东代表	
注 1：坐标原点取在_____。 注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。			

A.1.2　试验目标工况记录表格样式见表A.2。

表 A.2 试验目标工况

序号	试验 目标工况	总重量 △ t	总重心 x m	总重心 y m	总重心 z m	初横稳性高度估算值 m	初纵稳性高度估算值 m
1							

A.2　试验数据记录与处理

A.2.1　环境条件与系泊状态记录表格样式见表A.3。

表 A.3 试验条件

试验日期及时间	年　月　日　时　分起至　日　时　分完成					
试验地点						
天气情况	气温		场地风速		场地风向	
垫升时间	起始		终止		合计	
垫升发动机转速						
船舶系泊状况						

A.2.2　需要的移动重量估算表格样式见表A.4。

表 A.4 移动重量估算

序号	船舶总重量△ t	初稳性高度估算值 $\overline{GM}$ m	期望倾角α （°）	移动力臂 l m	总重量 W t
1					

注 1： $W=\overline{GM}\big/(l\Delta\tan\alpha)$ 。

注 2：初横稳性试验时，$\overline{GM}$ 对应初横稳性高度估算值，l 对应移动重量位置在横向（Y 方向）的变化量；

注 3：初纵稳性试验时，$\overline{GM}$ 对应初纵稳性高度估算值，l 对应移动重量位置在纵向（X 方向）的变化量。

A.2.3 移动重量初始布置记录表格样式见表A.5。

表 A.5 移动重量

序号	名称/编号	位置描述	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
				力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1									
2									
…									
Σ	总计								

注 1：坐标原点取在_____。

注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

注 3：总计重量应不小于表 A.4 中的总重量。

A.2.4 液态移动重量的自由液面（如适用时）记录表格样式见表A.6。

表 A.6 液态移动重量的自由液面

液体密度(ρ_1) t/m³				
序号	液态移动重量 名称/编号	容器长 m	容器宽 m	惯性矩(I_1) m⁴
1				
2				
…				
Σ	总　计			
初稳性高度的自由液面修正系数$\delta_1=\rho_1\sum I_1$				

注 1：初横稳性试验时，I_1 对应液态移动重量的横向自由液面惯性矩 I_x；

注 2：初纵稳性试验时，I_1 对应液态移动重量的纵向自由液面惯性矩 I_y。

A.2.5 仪器设备（不含移动重量和试验压载重量）和试验人员初始布置记录表格样式见表A.7。

表 A.7 仪器设备和试验人员

序号	名称/编号	位置描述	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
				力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1									
2									
…									
Σ	总计								

注 1：坐标原点取在_____。

注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

A.2.6 试验前船上液体舱柜多余（缺少）的装载记录表格样式见表A.8。

表 A.8 液体舱柜多余（缺少）的装载

序号	名称/编号	位置描述	密度 t/m³	多余的载量 m³	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
						力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1											
2											
…											
Σ	总计										

注 1：坐标原点取在_____；装载量比预定少时，“多余的载量”列按负值填写。
注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

A.2.7 试验前船上液体舱柜的自由液面（不应装液体却装了或应装液体而未装时适用）记录表格样式见表A.9。

表 A.9 液体舱柜多余（缺少）的自由液面

序号	舱柜 名称/编号	液体密度(ρ_2) t/m³	容器长 m	容器宽 m	惯性矩(I_2) m⁴	修正值(ρI_2) t·m
1						
2						
…						
Σ	初稳性高度的自由液面修正系数$\delta_2=\sum \rho_2 I_2$					

注 1：初横稳性试验时，I_2 对应横向自由液面惯性矩 I_x；初纵稳性试验时，I_2 对应纵向自由液面惯性矩 I_y；
注 2：不应装液体却装了时，液体密度取正；应装液体而未装时，液体密度取负。

A.2.8 试验前船上多余重量（仪器设备/移动重量、试验人员、液体舱柜除外）记录表格样式见表A.10。

表 A.10 船上多余重量

序号	名称/编号	位置描述	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
				力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1									
2									
…									
Σ	总计								

注 1：坐标原点取在_____。
注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

A.2.9 试验前船上不足重量（液体舱柜内液体除外，包含需载运的人和货）记录表格样式见表A.11。

表 A.11 船上不足重量

序号	名称/编号	位置	空船重量项	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
					力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1			是/否							
2										
…										
Σ	空船不足重量总计									
Σ	全部不足重量总计									

注 1：坐标原点取在_____。空船不足重量是指“空船重量项”列值为“是”的项目的重量和。 注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

A.2.10　试验前船上应增加的试验压载重量总量计算表格样式见表A.12。

表 A.12 应增加的试验压载重量总量

序号	重量项	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
			力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1	移动重量							
2	仪器设备和试验人员							
3	液体舱柜多余装载							
4	船上多余物件							
5	全部不足重量							
Σ	试验压载重量总量 =5-(1+2+3+4)							

注 1：坐标原点取在_____。
注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。

A.2.11　试验前船上增加的试验压载重量明细记录表格样式见表A.13。

表 A.13 试验压载重量明细

序号	名称/编号	位置描述	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
				力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m	力臂 m	重量矩 t·m
1									
2									
…									
Σ	总计								

注 1：坐标原点取在_____。
注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。
注 3：总计项中，重量须不小于应增加的试验压载重量总量，力臂 Z 须不小于应增加的试验压载重量总量。

A.2.12　试验时船舶总重量重心统计表格样式见表A.14。

表 A.14 试验时船舶总重量重心

序号	重量项	重量 t	垂向坐标(Z)		纵向坐标(X)		横向坐标(Y)	
			力臂 m	重量矩 t・m	力臂 m	重量矩 t・m	力臂 m	重量矩 t・m
1	空船重量							
2	移动重量							
3	仪器设备和试验人员							
4	船上多余物件							
5	空船不足重量							
6	试验压载重量							
Σ	总计△=1+2+3+4-5+6							

注 1：坐标原点取在_____。△为试验时船舶总重量（排水量）。
注 2：X 轴为船长方向，船首为正；Y 轴为船宽方向，左舷为正；Z 轴为型深方向，甲板为正。
注 3：总重量不小于试验目标工况，总重心的平面位置与试验目标工况相同，总重心高度不低于试验目标工况。

A.2.13　试验时倾角读数记录表格样式见表A.15、表A.16和表A.17。

表 A.15 第一测点倾角读数

读数次数	重量移动顺序								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
平均值									
相对初始状态的倾角α	0								
倾角 tanα	0								
设置位置：						观测员：			

注 1：“0”对应“初始状态”。对于初纵稳性试验，重量移动顺序由“0～8”修改为“0～4”。
注 2：对初横稳性试验，右倾取正，左倾取负；对初纵稳性试验，首倾取正，尾倾取负。

表 A.16 第二测点倾角读数

读数次数	重量移动顺序								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
平均值									
相对初始状态的倾角α	0								
倾角 tanα	0								
设置位置：						观测员：			

注 1：“0”对应“初始状态”。对于初纵稳性试验，重量移动顺序由“0～8”修改为“0～4”。
注 2：对初横稳性试验，右倾取正，左倾取负；对初纵稳性试验，首倾取正，尾倾取负。

表 A.17 倾角平均

重量移动顺序	0	1	2	3	4	5	6	7	8
第一测点 tanα	0								
第二测点 tanα	0								
平均 tanα	0								

注 1：“0”对应“初始状态”。对于初纵稳性试验，重量移动顺序由“0～8”修改为“0～4”。
注 2：对初横稳性试验，右倾取正，左倾取负；对初纵稳性试验，首倾取正，尾倾取负。

A.2.14　试验时倾侧力矩记录表格样式见表A.18。

表 A.18 试验时倾侧力矩

重量移动顺序	0	1	2	3	4	5	6	7	8
移动重量的质量 W_i t	0								
移动力臂 l_i m	0								
重心高度变化量 h_i m	0								
倾侧力矩 M_i t·m	0								

注 1：“0”对应“初始状态”。对于初纵稳性试验，重量移动顺序由“0～8”修改为“0～4”。
注 2：移动力臂是指当前状态与前一状态的变化量，初横稳性试验中向右移取正，初纵稳性试验中向首移取正。
注 3：重心高度变化量是指当前状态与前一状态的变化量，从低处变动到高处取正。
注 4：倾侧力矩是指从“0”变动到当前状态产生的绝对力矩。其中：$M_i = \sum_{k=1}^{i}(W_k l_k) + \tan\alpha_i \sum_{k=1}^{i}(W_k h_k)$

A.2.15　初稳性高度实测值计算表格样式见表A.19。

表 A.19 初稳性高度实测值计算

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
倾侧力矩 M_i t·m								
倾角平均 tanα								

回归系数	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5

未经修正的初稳性高度 $\overline{GM_0}$		m
液态移动重量的自由液面对初稳性高度的影响系数δ_1		t·m
其他液体舱柜的自由液面对初稳性高度的影响系数δ_2		t·m
试验时船舶总重量△		t
初稳性高度实测值 $\overline{GM_1} = \overline{GM_0} + (\delta_1 + \delta_2)/\Delta$		m

注 1：对于初纵稳性试验，序号由“0～8”修改为“0～4”。
注 2：c_0~c_3 为初横稳性试验三次多项式回归系数；c_4~c_5 为初纵稳性试验线性回归系数。
注 3：对初横稳性试验：$\overline{GM_0} = (c_1 + 0.0349c_2 + 0.0012c_3)/\Delta$；对初纵稳性试验：$\overline{GM_0} = c_5/\Delta$。

A.3　试验结果

表 A.20 试验结果

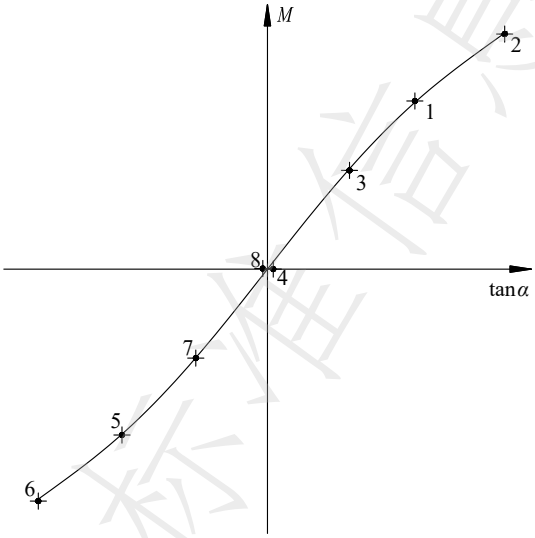
序号	试验状态	试验类型	总重量△ t	总重心 x m	总重心 y m	总重心 z m	初稳性高度 $\overline{GM_1}$ m
1		初横稳性					
		初纵稳性					
		倾侧力矩-倾角曲线表达式	横倾：$M = c_1\tan\alpha + c_2\tan^2\alpha + c_3\tan^3\alpha$				
			纵倾：$M = c_5\tan\alpha$				

注 1：总重量指试验时的重量，包括移动重量、试验压载重量、试验仪器、试验人员等。
注 2：倾侧力矩-倾角曲线表达式中 c_1~c_3 和 c_5 用实际值替代。

附　录　B
（资料性）
典型试验结果分析

B.1　存在较大自由液面

液体舱柜内存在较大自由液面时，偏差检查图将如图 B.1 所示，此时试验数据为有效，不需重做试验。



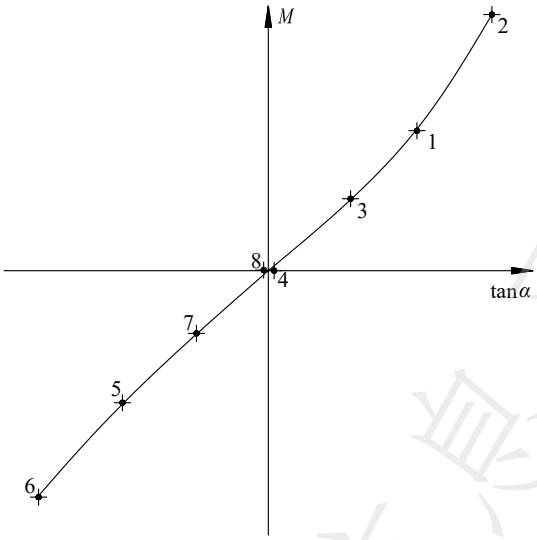
标引序号说明：

1～8 ——重量变动顺序号；　tanα——倾角正切值；M——倾侧力矩，单位为吨・米（t·m）。

图B.1 存在较大自由液面

B.2　船舶触底或有带缆

试验读数时船舶触底或有带缆，偏差检查图将如图 B.2 所示，此时第 2 个试验点无效，需重做试验。



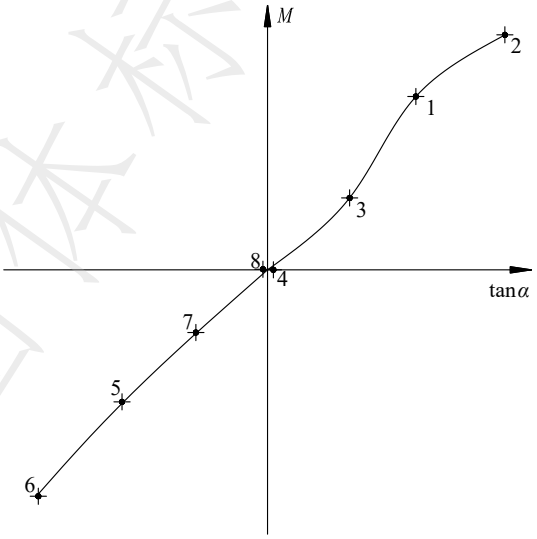
标引序号说明：

1～8——重量变动顺序号； tanα——倾角正切值；M——倾侧力矩，单位为吨·米（t·m）。

图B.2 船舶触底或有带缆

B.3 有阵风吹过

试验读数时有阵风吹过，偏差检查图将如图 B.3 所示，此时第 1 个试验点无效，需重做。



标引序号说明：

1～8——重量变动顺序号； tanα——倾角正切值；M——倾侧力矩，单位为吨·米（t·m）。

图B.3 有阵风吹过

参 考 文 献

[1] CB/T 3035-2005，船舶倾斜试验[S]
[2] 盛振邦，刘应中.船舶原理[M].上海：上海交通大学出版社，2003

全国团体标准信息平台