ICS 47.020.99
CCS U11

团　　体　　标　　准

T/CIN XXXX—XXXX

船模快速性拖曳水池智能化程度评价方法

Evaluation method for the intelligence level of ship model towing tanks

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中国航海学会　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 3
2　规范性引用文件 3
3　术语和定义 3
4　评价原则 4
5　评价要素 5
6　评价标准 5
7　智能化等级 7
8　特性要求 7
参考文献 11

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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：上海船舶运输科学研究所有限公司，哈尔滨工程大学，中山大学。

本文件主要起草人：张立、车霖源、陈伟民、谢凤伟、伍锐、邢磊、郑敏敏、周传明、董明玉、范笑行、李艳丽、常杏、胡健、邓锐、赵大刚、张维鹏。

船模快速性拖曳水池智能化程度评价方法

1 范围

本文件确立了船舶快速性拖曳水池的智能化程度的评价方法、评价指标体系，规定了评价指标的取值规则，描述了评价结果形成的规则。

本文件适用于一般排水量型船舶的船舶快速性试验的拖曳水池在运行控制、数据采集和分析、数据输出等步骤的综合能力的智能化评价。其他类型的模型试验参考执行。

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。

CB/Z 239-2008 常规排水型船船模双桨自航试验方法

CB/Z 816-2019 螺旋桨模型敞水试验方法

CB/Z 817-2019 一般排水型船船模阻力试验方法

CB/Z 818-2019 一般排水型船模单桨自航试验方法

ITTC 7.5-01-01 船模（Ship Models）

ITTC 7.5-02-02-01 阻力试验（Resistance Test）

ITTC 7.5-02-03-01.1 自航/系柱拉力试验（Propulsion/Bollard Pull Test）

ITTC 7.5-02-03-02.1 敞水试验（Open Water Test）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船模 ship model

船舶按照几何相似缩尺后的模型。

3.2

桨模 propeller model

螺旋桨按照几何相似缩尺后的模型。

3.3

拖曳水池 towing tank

用于拖曳模型的水池。

3.4

拖车 carriage

用于拖曳模型运动的运动结构。

3.5

阻力测试系统 resistance measurement system

用于测量船模在水池中的航行阻力的仪器、传感器及软件。

3.6

自航测试系统 self-propusion measurement system

用于测量桨模转速、推力和扭矩的仪器、传感器及软件。

3.7

敞水测试系统 open water measurement system

用于测量桨模在开放水域中的转速、推力和扭矩的仪器、传感器及软件。

3.8

控制系统 control system

用于控制测试系统运行。

3.9

可靠性 reliability

在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。

[来源：GJB 451A—2005，2.1.3.1]

3.10

安全性 safety

系统、产品或环境在特定条件下避免不可接受风险的能力，强调通过技术和管理手段保障人员、财产及环境免受损害。

[来源：GJB 900A—2012，3.3]

3.11

人机交互 user interface

通过输入、输出设备，以有效的方式实现人与终端设备交互的技术。它包括人通过输入设备给机器输入交互信息，机器通过输出或显示设备给人提供大量交互信息，最终实现人机互动。

[来源：YD/T 4088—2022，3.1]

3.12

易用性 usability

在指定的使用周境中，产品或系统在有效性、效率和满意度特性方面为了指定的目标可为指定用户使用的程度。

[来源：GB/T 25000.10—2016，5.1.8]

4 评价原则

评价原则应从以下方面进行评价：

a) 安全可靠性：不对人员、财产产生不利影响，在多种环境下具备较为稳定的执行；

b) 系统性：全面、综合判断试验系统的功能；

c) 客观性：量化评价指标；

d) 动态适应性：预留升级空间，增强扩展能力；

e) 社会经济性：社会效益和经济成本的最优。

5 评价要素

评价要素应包含以下方面：

a） 控制自动化：设备及控制能力和维度、设备异常情况识别、按照指令自动执行；

b） 系统智能化：数据处理的智能化程度、数据异常判别、数据智能化处理和输出；

c） 易用性：人机交互能力，操作界面的友好程度；

d） 数据安全：数据加密、数据备份。

6 评价标准

6.1 试验范围

范围适用于一般排水量型的常规船舶快速性试验，包含：阻力试验、自航试验、螺旋桨敞水试验及相关的设备设施。船模和桨模以及附体的加工精度应满足ITTC 7.5-01-01的要求。阻力试验执行流程和设备要求应满足ITTC 7.5-02-02-01或CB/Z 817-2019中的要求。自航试验执行流程和设备要求应满足ITTC 7.5-02-03-01.1或CB/Z 818-2019或CB/Z 239-2008中的要求。敞水试验应满足ITTC 7.5-02-03-02.1或CB/Z 816-2019中的要求。

6.2 评价体系

评价体系从控制自动化、系统智能化、易用性和数据安全的维度进行综合评价，如图1所示。

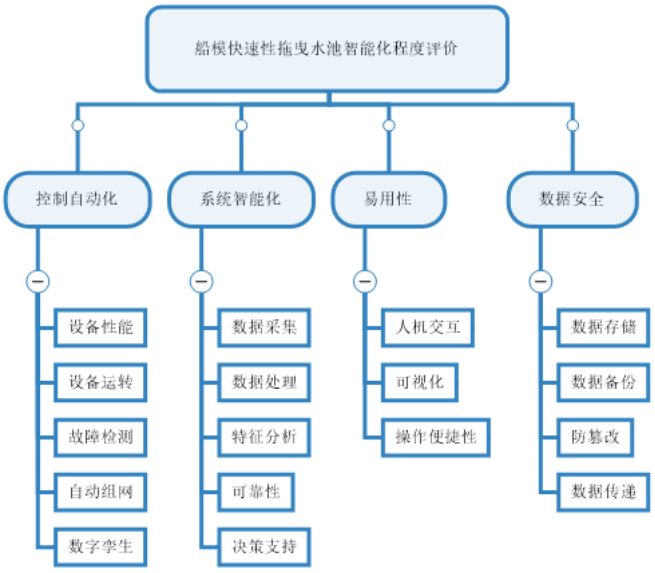


图1 船模快速性拖曳水池智能化程度评价体系

6.3 控制等级评价

控制系统的评价等级从以下方面考虑：

a） 人工控制

人工运行方式为人工控制所有试验设备的运行、采集、停止，运行及停止的输入条件均为人工判断。

b） 半自动控制

半自动控制为关键参数可由结合控制逻辑的硬件设备控制，辅助人工完成仪器的运行、采集、停止。

c） 自动控制

根据既定的试验计划，设备运行过程中实时监测仪器设备的运行状态，并针对设备的异常情况发出警报和提醒，具备故障检测功能。

d） 自主控制

根据试验方案，自主调用设备资源和自动组网，设定相关工况并优化和动态调整执行试验内容，具备数字孪生功能。

6.4 系统智能化评价

系统的智能化程度从以下功能的实现程度进行评价：

a） 原始数据输出

根据仪器设备采集得到的数据直接输出为测试结果。数据通过模拟量采集卡获得，经过简单的记录存储在文本文件中。

b） 基础处理

可针对测试结果数据实现数据清洗、格式转换等功能。数据经过降噪、滤波、平均处理，转换为实际物理量，供后续环节使用。

c） 智能分析

根据测试结果提取数据特征，分析数据的异常，结合数据库和机器学习进行比对，获得可靠性程度95%置信区间内的试验结果。

d） 决策支持

根据测试结果和分析结果，提供预测与优化，融合多源数据，包括不同途径、不同时间的多个维度的数据，进行结果的预测，给出针对过程及研究对象的优化建议。

6.5 易用性评价

易用性从以下方面的实现程度进行评价：

a） 基本交互

能够结合试验步骤具备基本的操作界面和试验参数输入功能。

b） 标准功能

具备原始数据可视化界面，具备参数输入检验功能。

c） 高级功能

具备实时监测的可视化界面，能够基于数据库统计分析的错误修正，提供推荐性的测试参数。

d） 智能交互

结合云端数据库数据进行预测性提示。

6.6 数据安全性评价

数据安全性从以下功能的实现程度进行评价：

a） 基本存储和备份

本地存储和手动备份可编辑格式的数据。

b） 标准存储和备份

具备数据加密功能，具备防篡改功能，本地存储和自动备份测试数据。

c） 高级存储和备份

数据多层加密，权限分级管理，数据云端备份和传输。

d） 端到端存储和备份

数据安全实时监测，端到端加密，原始数据可溯源。

7 智能化等级

经过多个维度的评价后，智能化程度的等级如表1所述。

表1 智能化程度等级

智能化级别	名称	维度	特征要求
C级	基本智能型	设备控制	人工控制设备运行，单设备操作
		系统智能	原始数据输出功能
		易用性	具备基本的操作界面和试验参数输入功能
		数据安全	无加密，本地存储，手动备份
B级	标准智能型	设备控制	半自动控制，多设备串联
		系统智能	具备数据清洗、格式转换等功能
		易用性	参数输入检验
		数据安全	基础加密，本地存储，自动备份
A级	高级智能型	设备控制	全自动控制，多设备协同，故障检测
		系统智能	智能分析，基于数据库测试数据可靠性检验
		易用性	试验参数校验，基于数据库的错误修正
		数据安全	多层加密，权限分级管理，云端备份
S级	自主智能型	设备控制	自主控制，自动组网，动态优化和调度，数字孪生
		系统智能	决策支持，优化试验方案
		易用性	智能交互，预测性提示
		数据安全	端到端加密，数据溯源，实时安全监测

8 特性要求

8.1 C 级（基本智能型）

8.1.1 拖车控制系统

拖车控制系统的特性为：1）设备控制：人工操作，手动调速、启停。2）系统功能：按照输入参数控制速度，记录操作时间戳。3）易用性：参数输入无校验，无状态显示（如当前速度、剩余工况）。4）数据安全：本地存储未加密，手动备份，全员可修改。

8.1.2 阻力测试系统

阻力测试系统的特性为：1）设备控制：人工控制阻力测量设备的启动、运行和停止。2）系统功能：人工记录试验测量的阻力、速度，无自动采集，应手动读数、计算。采集得到的原始数据输出，人工筛选异常值，人工计算阻力特性。3）易用性：参数输入无校验，如单位错误、超过量程，界面无分析工具，需导出数据手动绘图。4）数据安全：本地存储未加密，手动备份。5）多设备协同：单设备操作，与拖车、自航试验无关联（需依次手动执行，无并行）。

8.1.3 自航测试系统

自航测试系统的特性为：1）设备控制：人工启动螺旋桨，与拖车手动协同。2）系统功能：原始数据记录（转速、推力、扭矩），人工计算自航特性（推力减额、推进效率、伴流特性、旋转效率）。3）易用性：参数输入无校验，界面无提示，如超过量程。4）数据安全：本地存储未加密，手动备份。5）多设备协同：单设备操作，设备与拖车无联动。

8.1.4 敞水测试系统

敞水测试系统的特性为：1）易用性：基本参数输入界面。2）设备控制：人工操作螺旋桨敞水试验仪器，手动调节转速，人工记录推力 / 扭矩。3）系统功能：原始数据输出（转速、推力、扭矩），人工计算敞水性能系数(K_T)、(K_Q)，无可视化分析，手动绘图。4）数据安全：本地存储未加密，手动备份。5）多设备协同：单设备操作，与其他试验无关联，依次手动执行。

8.2 B 级（标准智能型）

8.2.1 拖车控制系统

拖车控制系统的特性为：1）设备控制：半自动控制，可预设速度，自动调整至目标值，启动和停止由人工确认。2）系统功能：速度实时监测，绘制速度-时间曲线。3）易用性：参数输入检验（格式、范围，错误弹窗），界面显示实时状态（当前速度、剩余工况）。4）数据安全：基础加密，手动备份。5）多设备协同：多设备串联，按固定顺序执行。

8.2.2 阻力测试系统

阻力测试系统的特性为：1）易用性：参数输入检验，界面提供基础分析，绘制散点图，手动拟合曲线。2）设备控制：阻力测量设备与拖车控制系统协同，按照预设速度同步采集数据，具备异常检测和报警功能。3）系统功能：数据清洗，筛选异常值，格式转换，手动计算阻力系数，系统提供公式模板，需人工输入。4）数据安全：基础加密，手动备份。5）多设备协同：串联执行，与拖车操作按顺序进行，数据独立存储。

8.2.3 自航测试系统

自航测试系统的特性为：1）易用性：参数输入检验（航速、转速范围），界面显示实时测试数据（转速、推力、扭矩）。2）设备控制：半自动控制，自航测试系统与拖车控制系统协同，预设航速-转速曲线，自动运行，人工确认关键步骤。3）系统功能：数据自动采集（推力、扭矩、转速、拖曳力），基础分析（自动计算推进效率）。4）数据安全：基础加密，手动备份。5）多设备协同：串联控制，与拖车控制按顺序执行，数据共享有限。

8.2.4 敞水测试系统

敞水测试系统的特性为：1）易用性：参数输入检验（转速范围），界面实时显示航速、转速、推力、转速信息。2）设备控制：半自动螺旋桨控制，敞水测试系统与拖车控制系统协同，预设转速，自动运行，人工确认关键步骤。3）系统功能：数据清洗（去除异常值），格式转换，自动生成敞水性能数据。4）数据安全：基础加密，手动备份。5）多设备协同：串联控制，与拖车控制按顺序执行，数据共享有限。

8.3 A 级（高级智能型）

8.3.1 拖车控制系统

拖车控制系统的特性为：1）易用性：参数输入校验，界面动态布局（根据用户习惯置顶常用功能）。2）设备控制：全自动控制，按照输入参数自动执行多个个工况，实时数据反馈，与传感器协同，故障检测。3）系统功能：智能分析（自动拟合阻力公式，生成可视化曲线），多船模数据对比。4）数据安全：多层加密，权限分级（管理员修改，操作员查看），自动备份（每日云端 + 本地），审计日志（记录操作，可追溯）。5）多设备协同：多设备并行（拖车、传感器、船模同步，时间戳对齐）。

8.3.2 阻力测试系统

阻力测试系统的特性为：1）易用性：智能交互（按照项目需求，自动生成测试方案），预测性提示。2）设备控制：与拖车全自动联动，多物理场感知（温度、压力传感器，修正阻力计算），故障检测。3）系统功能：数据深度分析（集成仿真数据，实时对比实测与仿真，动态修正参数），决策支持。自动加载新算法（基于新数据训练），支持多类型船模（自动识别尺寸，加载分析模板）。4）数据安全：多层加密，权限分级（管理员修改，操作员查看），自动备份（定期云端 + 本地），审计日志（记录操作，可追溯）。5）多设备协同：并行执行（与自航、敞水试验同步，数据共享，支持多维度分析）。

8.3.3 自航测试系统

自航测试系统的特性为：1）易用性：智能参数推荐（基于项目方案，自动生成推荐参数），界面自适应用户（优先显示常用功能）。2）设备控制：与拖车控制系统和阻力测量系统协同，全自动控制（机器学习优化航速-转速，适应负载变化），与拖车同步（同步误差≤0.5%，数据共享，延迟≤50ms）。3）系统功能：智能分析（自动计算推进效率，生成多工况对比图，排序船模性能），决策支持（推荐最优航速-转速组合，基于历史和仿真数据）。4）数据安全：多层加密，权限分级（管理员修改，操作员查看），自动备份（每日云端 + 本地），审计日志（记录操作，可追溯）。5）多设备协同：与阻力、敞水试验同步，数据共享，支持多维度分析。

8.3.4 敞水测试系统

敞水测试系统的特性为：1）易用性：智能交互（按照项目需求，自动生成方案并执行），预测性提示。2）设备控制：全自动螺旋桨测试，与其他试验测试系统协同。3）系统功能：深度分析（知识图

谱推荐工况，自动调整转速，覆盖全性能区间）（生成敞水曲线，计算性能系数），决策支持（推荐螺旋桨-船模匹配分析，基于多维度数据）。4）数据安全：多层加密，权限分级（管理员修改，操作员查看），自动备份（每日云端 + 本地），审计日志（记录操作，可追溯）。5）多设备协同：与阻力、自航试验共享数据，与拖车协同，调整参数，实现“无人干预”试验。

8.4 S 级（自主智能型）

8.4.1 拖车控制系统

拖车控制系统的特性为：1）易用性：基于项目需求自动生成运行方案；预测性提示，界面自学习（动态优化布局）。2）设备控制：自主控制（故障自修复；自学习优化，自适应环境），数字孪生。

系统功能：决策支持（虚拟与物理试验同步优化）。3）数据安全：端到端加密，实时监测。4）系统扩展：模块化架构（新增硬件即插即用，自动集成；软件动态扩展，自学习优化算法）。5）多设备协同：设备自组网（拖车、传感器、船模、螺旋桨自组织，动态分配任务，避免冲突，实现“无人干预”全流程）。

8.4.2 阻力试验系统

阻力测试系统的特性为：1）设备控制：与拖车自主协同（动态调整速度，多物理场感知，修正阻力计算）。2）系统功能：决策支持（生成多场景最优解，知识图谱推理，推荐改进方案）。3）易用性：智能交互（分析阻力异常，自动回溯数据，生成报告并推荐方案），预测性提示。4）数据安全：端到端加密，实时监测。5）系统扩展：模块化架构（新增硬件即插即用，自动集成；软件动态扩展，自学习优化算法）。6）多设备协同：设备自组网（与其他试验深度协同，调整拖车策略，实现全系统智能化）。

8.4.3 自航试验系统

自航测试系统的特性为：1）设备控制：自主控制（数字孪生优化，适应复杂工况；动态平衡负载）。2）系统功能：决策支持（推荐最优配置，集成故障诊断，推荐处理方案）。3）易用性：智能交互（自动生成、执行方案并反馈结果），预测性提示。4）数据安全：端到端加密，实时监测。5）系统扩展：模块化架构（新增硬件即插即用，自动集成；软件动态扩展，自学习优化算法）。6）多设备协同：设备自组网（与其他试验深度协同，调整拖车策略，实现全系统智能化）。

8.4.4 敞水试验系统

敞水测试系统的特性为：1）设备控制：自主螺旋桨测试（规划工况；与拖车协同，调整参数）。2）系统功能：决策支持（虚拟与物理同步优化）。3）易用性：智能交互（自动回溯数据，推荐改进方案），预测性提示。4）数据安全：端到端加密，实时监测。5）多设备协同：设备自组网（与其他试验深度协同，调整拖车策略，实现全系统智能化）。

参 考 文 献

[1] Riedmaier S, Danquah B, Schick B, et al. Unified framework and survey for model verification, validation and uncertainty quantification[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2020.

[2] GJB 451A—2005. 可靠性维修性保障性术语[S]. 北京：中国人民解放军总装备部， 2005.

[3] GJB 900A—2012. 装备安全性工作通用要求[S]. 北京：中国人民解放军总装备部， 2012.

[4] YD/T 4088-2022. 面向移动终端的手势交互应用系统技术要求[S]. 北京：人民邮电出版社，2022.

[5] GB/T 25000.10—2016. 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价(SQuaRE) 第10部分：系统与软件质量模型[S]. 北京：中国标准出版社， 2016.