

ICS 93.120

CCS P68

团体标准

T/CITSA XX-XXXX

散货船清舱作业智能化分级

Intelligent Grading in Cargo Hold Clearing Operations of Bulk Carrier

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 散货船清舱作业智能化分级概况 5

 4.1 智能化分级必要性 5

 4.2 智能化分级原则 5

 4.3 智能化等级评价指标 6

 4.4 散货船清舱作业智能化分级总体架构 6

5 起重机清舱作业智能化分级 7

 5.1 起重机清舱作业智能化分级原则 7

 5.2 起重机清舱作业智能化分级要求 7

6 清舱机清舱作业智能化分级 8

 6.1 清舱机清舱作业智能化分级原则 8

 6.2 清舱机清舱作业智能化分级要求 8

7 散货船清舱作业智能化分级 10

 7.1 散货船清舱作业智能化分级原则 10

 7.2 散货船清舱作业智能化分级要求 10

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。

本文件由武汉理工大学提出。

本文件由中国智能交通协会提出并归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、武汉港迪智能技术有限公司、张家港港务集团有限公司、国能黄骅港务有限责任公司、深圳赤湾港口发展有限公司、交通部水运科学研究院、南京港(集团)有限公司新生圩港务分公司、宁波镇海港埠有限公司。

本文件主要起草人：胡钊政、孟杰、严新平、张涛、石先城、涂铮、袁建明、刘建军、迟金生、曾钦坚、王文龙、顾群、邱志超、王宏锋、朱晓刚、肖汉彪、丁枫。

引 言

新一轮的科技革命与产业变革正以前所未有的速度重塑着各行各业的面貌，散货船清舱作业作为港口物流中不可或缺的一环，其智能化水平的提升已成为行业关注的焦点。随着智能技术的不断进步，散货船清舱作业的智能化等级标准亟需建立，以科学、规范地评价和指导这一领域的智能化发展。

本标准从多个维度出发，全面评估散货船清舱作业的智能化水平，从感知能力，规划控制能力以及协同能力等三个维度对清舱系统中的起重机和清舱机作业智能化等级进行了划分，然后基于起重机清舱作业智能化等级以及清舱机清舱作业智能化等级确定了散货船清舱作业智能化等级。本标准的制定充分考虑了当前散货船清舱作业智能化技术的现状和发展趋势，借鉴了国内外先进的标准制定经验，结合了我国港口物流的实际情况，进行了深入研究和科学论证。我们相信，通过这一标准的推广和应用，将有力促进散货船清舱作业智能化技术的普及和进步，为港口物流行业的智能化转型和可持续发展提供有力支撑。

散货船清舱作业智能化分级

1 范围

本文件规定了散货船清舱作业智能化分级的设立原则、总体框架和具体指标内容，并对散货船清舱作业智能化分级进行了规范。散货船清舱作业智能化等级由起重机清舱作业智能化等级以及清舱机清舱作业智能化共同决定。本文件设立了从感知能力，规划控制能力以及协同能力三个智能化等级评价维度对清舱作业智能化等级内容的要求。

本标准适用于散货船清舱作业的智能化分级，其他港口及船舶运维作业可参照执行。

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。

GB/T 8487—2010《港口装卸术语》

GB/T 6974.1—2008《起重机术语第1部分：通用术语 特种设备》

GB/T 39402—2020《面向人机协作的工业机器人设计规范》

GB/T 40429—2021《汽车驾驶自动化分级》

T/ITS 0093—2018《营运车辆自动驾驶系统分级》

ISO 3691-4: 2023《无人驾驶工业车辆安全标准》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

清舱作业 Cargo hold clearing operations

在干散货码头散货船卸货的后期阶段，当舱内剩余货料较少且受舱口尺寸和起重机抓取能力限制时，采用清舱机将散落于舱内各处的余料进行归堆处理，随后由起重机对归堆后的余料进行抓取并吊离货舱的作业过程。这一过程涉及起重机与清舱机的协同作业，共同构成了一个货物装卸及辅助作业系统。

3.2

散货船 Bulk carrier

散装运输谷物、煤、矿砂、盐、水泥等大宗干散货物的船舶的统称，习惯也称干散货船或散装货船。

3.3

起重机 Crane

用于吊运或顶举重物的货料搬运机械，是一种间歇工作、提升重物的机械。

[来源：GB/T 8487—2010]

3.4

清舱机 Cargo hold clearing robot

在采用起重机对干散货进行卸船作业时，将舱底和船舱死角处残存有抓斗无法抓取的剩余货物向舱口底部集中以便进一步进行卸船作业的专用机械。装载机、挖掘机、推耙机、推土机等均可作为清舱机。

[来源：GB/T 8487—2010，有修改]

3.5

智能化 Intelligence

作业过程中清舱机、起重机所具备的环境感知能力、规划控制能力以及协同作业能力。

3.6

感知 Perception

利用传感器技术对清舱环境或者特定物体、目标进行全方位检测、甄别、重构的功能，主要包括构建舱内模型、清舱机的定位、起重机抓斗定位、货料变化更新等功能。

3.7

规划控制 Planning and control

可根据感知信息规划出合适的作业轨迹并完成清舱作业动作。

3.8

协同作业 Cooperative operation capability

清舱作业中的清舱机与起重机工作于清舱作业环境下同时执行作业任务的行为。

[来源：GB/T 39402—2020，有修改]

3.9

人工作业 Manual operation

由码头工人驾驶的清舱机和起重机在散货船舱内进行的与装卸作业有关的清舱作业。

[来源：GB/T 8487—2010，有修改]

3.10

远控作业 Remote control operation

作业人员在非作业区域对散货船舱内清舱机所进行的操控作业。

3.11

辅助作业 Assistant operation

系统不能持续执行全自动作业，但具备持续执行清舱作业中的部分目标和事件探测与响应的能力，可感知环境、提供提示信息或短暂介入清舱机和起重机的控制以辅助作业人员避险。

[来源：GB/T 40429—2021，有修改]

3.12

有条件自主作业 Conditionally autonomous operation

系统在其设计运行条件下，可在无需人工介入时由清舱机与起重机协同配合完成清舱作业，但是在出现紧急情况时迅速介入人工控制。

[来源：GB/T 40429—2021，有修改]

3.13

全自主作业 Fully autonomous operation

系统在任何可作业条件下，无需人工介入，由清舱机与起重机持续性完成全部清舱作业任务。

[来源：GB/T 40429—2021，有修改]

4 散货船清舱作业智能化分级概况

4.1 智能化分级必要性

鉴于散货船清舱作业智能化技术的持续进步与发展，其智能化改造需求正不断攀升。此分级体系旨在为行业内的制造商或使用单位提供一个标准化的研发和改造升级框架。通过对散货船清舱作业系统进行明确且细致的智能化等级划分，该体系不仅能够帮助供应商清晰地定义其产品的智能化层次，还能够使港口码头等使用单位更为便捷地提出自身的智能化需求。进而，这一分级体系有助于推动智能化改造产品的标准化与规范化，提升整个港口装备行业的智能化应用水平，促进散货船清舱作业向更高效、更智能的方向迈进。

4.2 智能化分级原则

清舱作业是一个错综复杂的流程，它涵盖了散货船货舱、舱内清舱机械设备以及岸基起重机之间的多维度信息交互与精密的协同作业。鉴于这一复杂特性，当前的散货船清舱作业高度依赖于清舱机与起重机这两个紧密相连且相互协作的子系统，它们共同协作以完成整个作业流程。本标准特此构建了一套二维的散货船清舱作业智能化等级评价体系，该体系将散货船清舱作业的智能化等级划分为两个核心维度：一是起重机子系统的清舱作业智能化等级，二是清舱机子系统的清舱作业智能化等级，这两个子系统的智能化等级共同构成了整个清舱作业智能化水平的全面评估指标，为行业内的相关方提供了一个科

学、准确的衡量标准。在制定散货船清舱作业智能化分级体系时，我们具体遵循了一系列核心原则，以确保该体系的科学性、实用性和前瞻性。这些原则包括：

开放性原则：鼓励技术创新与标准制定的开放性，允许新技术、新方法的融入，保持分级体系的动态更新与适应性，促进智能化水平的持续提升。

一致性原则：确保清舱机与起重机两个子系统的智能化分级标准在逻辑上连贯、在定义上统一，避免歧义，便于行业内形成共识。

协调性原则：强调两个子系统间智能化水平的协同匹配，既要考虑各自独立发展的需求，又要确保它们能高效、和谐地共同完成清舱作业，实现整体效能最大化。

易用性原则：分级体系的设计应简洁明了，便于清舱相关从业人员理解和应用，提升清舱作业系统智能化改造的可行性。

经济性原则：在追求技术先进性的同时，兼顾经济可行性，满足不同使用者的智能化需求，确保清舱作业系统智能化改造的成本效益比合理，促进智能化技术在散货船清舱作业中的广泛应用。

安全性原则：将安全作为智能化分级的重要考量，确保智能化技术的应用不会降低作业的安全标准，反而能提升风险防控能力，保障人员、设备及环境的安全。

综上所述，这些原则共同构成了散货船清舱作业智能化分级体系的基石，旨在推动该领域智能化发展的健康、有序与高效。

4.3 智能化等级评价指标

本标准会从三个智能化等级评价维度划分散货船清舱作业智能化等级，智能化等级评价维度主要包括：

- 感知能力；
- 规划控制能力；
- 协同能力。

4.3.1 感知能力

感知能力是散货船清舱作业智能化的必要因素之一，系统对作业环境中障碍物的智能化感知能力以及对环境内待交互物体的定位能力是衡量其智能化的重要原则。

4.3.2 规划控制能力

智能化清舱作业可根据感知信息规划出合适的作业轨迹并完成清舱作业动作，执行正确的清舱卸货操作。

4.3.3 协同能力

清舱作业由清舱机和起重机两部分协同完成，可根据相互感知的结果实现全局最优的协同控制，在清舱作业环境下同时执行作业任务。

4.4 散货船清舱作业智能化分级总体架构

散货船清舱作业主要包含起重机清舱作业和清舱机清舱作业两部分，本标准从感知能力，规划控制能力，协同能力三个智能化等级评价维度对起重机和清舱机清舱作业进行智能化分级，具体分为人工作业、远控作业、辅助作业、有条件自主作业、全自主作业等五个智能化等级，最终由起重机和清舱机清舱作业智能化分级结果共同决定散货船清舱作业智能化分级，整体智能化分级架构如下所示：

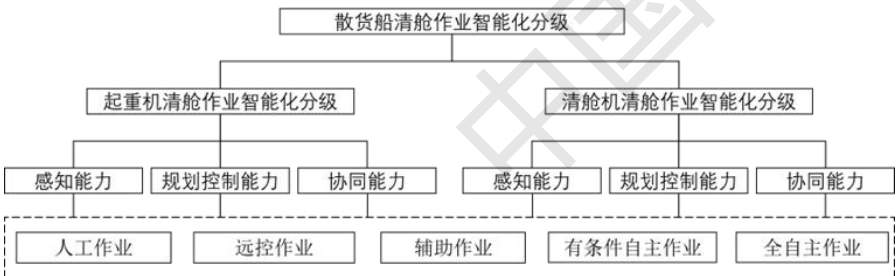


图 1 散货船清舱作业智能化分级架构图

5 起重机清舱作业智能化分级

5.1 起重机清舱作业智能化分级原则

起重机清舱作业从感知能力，规划控制能力，协同能力三个维度进行智能化评估。每个等级选取能够代表这一等级特征的作业能力等级，如果同时满足三个维度的等级要求，则起重机清舱作业为该智能化等级。

5.2 起重机清舱作业智能化分级要求

具体的起重机清舱作业智能化等级中感知能力，规划控制能力，协同能力三个维度各等级要求如下表所示：

表 1 起重机清舱作业智能化分级

起重机清舱作业智能化 分级	智能化等级评价维度		
	感知能力	规划控制能力	协同能力
U0 (人工作业)	人工感知	1.人工规划。 2.操作人员必须通过传统操纵杆控制	无协同
U1 (遥控作业)	1.起重机安装有传感器，可以呈现货舱以及货料的场景原始数据给操作人员。 2.具体的交互对象位置和障碍物种类（散料和货舱等舱内物体）需要操作人员来识别	1.起重机能够执行预设的、重复性的单一清舱动作（包括但不限于，抓料，放料和移动）。但无法利用环境的感知的结果修正清舱动作。 2. 操作人员可以通过传感器数据辅助操作。	起重机上可以获取到其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）的传感器原始数据反馈。
U2 (辅助作业)	起重机具备感知能力，可以识别到环境中货料地位置和种类，船舱以及操作人员的具体位置。	1.起重机能够根据环境感知的结果为操作人员提供辅助提示功能引导操作员进行清舱操作并提供错误操作警报。 2. 起重机可以通过辅助驾驶功能减轻操作人员的负担。	起重机可以与其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）进行感知信息共享，并根据清舱机的工作状态防止协同清舱作业时发生碰撞。
U3 (有条件自主作业)	起重机具备复杂的感知能力，具备识别到特定清舱任务的场景中货料的颗粒度，大小形状，具体位置和种类，且能够进一步预测追踪货舱环境中货料和人工，清舱机的位置和状态。感知信息足以支撑起重机安全的实现在预设场景的自主化作业。	1.起重机可根据环境感知的结果，在特定预设的场景内实现自主清舱作业，将货料抓起运往料堆。 2.操作人员只需要简单的设置清舱任务中货料类型和作业场景的参数即可开始自主作业 3.自主作业与人工操作可根据实际情况进行切换	起重机上可以获取其他清舱装备的完全状态，包含位置运动信息，正在执行的清舱任务状态，舱内感知到的障碍物信息，待清理货料信息。并在自主作业时能够考虑到其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）的工作位置实现简单的协同逻辑，防止发生安全事故。
U4 (全自主作业)	起重机具备复杂的感知能力，具备识别到特定清舱任务的场景中货料的颗粒度，大小形状，具体位置和种类，且能够进一步预测追踪货舱环境中	1. 起重机可以在无预设的清舱场景内实现完全自主作业。 2. 操作人员只需控制起重机的启停即可实现操作作业。 3.自主作业与人工操作可	起重机上可以获取其他清舱装备的完全状态，包含位置运动信息，正在执行的清舱任务状态，舱内感知到的障碍物信息，待清理货料信息，且根据其他清舱装

	货料和人工，清舱机的位置和状态。感知信息足以支撑起重机的安全实现全场场景的自主化作业。	根据实际情况进行切换	备（如清舱机或其他起重机）的作业路径进行协同作业，避免发生安全事故的同时实现全局最优的作业效率。
--	---	------------	--

各智能化等级描述如下：

- U0 级智能化等级：不具备智能化等级，协调工作完全依靠传统的通讯工具和人工完成。
- U1 级智能化等级：具备了初步的智能传感器，且现场设备进行了联网。操作人员可以根据现场各传感器的反馈数据进行判断辅助工作。设备可以执行预定的动作，减少操作人员的工作量。操作人员可以获取整个清舱作业的传感器数据，以此实现人工协同。
- U2 级智能化等级：起重机可以结合传感器数据辅助感知识别现场环境。根据感知的结果执行机构可以给与操作人员引导，提示和警报。协同能力方面起重机可以根据其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）的位置信息，实现防撞防干扰作业。
- U3 级智能化等级：起重机具备复杂的感知能力，可以实现在特定环境里的自动化作业。操作人员只需简单的设置即可完成作业任务。起重机可以根据其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）的工作状态实现简单的协同逻辑，保证任务的正确执行。
- U4 级智能化等级：起重机具备复杂的感知能力，具备在宽泛定义的场景中实现自主化作业的能力。操作人员只需要简单的控制操作开关即可实现作业。协同能力方面起重机与其他清舱装备（如清舱机或其他起重机）具备完全的协同能力，可以实现全局最优的作业效率。

6 清舱机清舱作业智能化分级

6.1 清舱机清舱作业智能化分级原则

清舱机清舱作业从感知能力，规划控制能力，协同能力三个维度进行评估。每个等级选取能够代表这一等级特征的作业能力等级，如果同时满足三个维度的等级要求，则清舱机清舱作业为该智能化等级。

6.2 清舱机清舱作业智能化分级要求

具体的清舱机清舱作业智能化等级中感知能力，规划控制能力，协同能力三个维度各等级要求如下表所示：

表 2 清舱机清舱作业智能化分级

清舱机清舱作业 智能化分级	智能化维度		
	感知能力	规划控制能力	协同能力
R0 (人工作业)	无感知能力	1.人工规划。 2.操作人员必须通过传统操纵杆控制	无协同
R1 (遥控作业)	1.清舱机安装有测距传感器和图像传感器，可以呈现原始数据给操作人员 2.具体的交互对象位置和障碍物种类（散料和	1.清舱机能够执行预设的、重复性的单一清舱动作（包括但不限于铲料、放料、推料和按预定路线移动）。清舱机无法利用环境感知的结果 2.操作人员可以通过传感器数据辅助操作	清舱机上可以获取到其他清舱装备（如起重机或其他清舱机）的传感器原始数据反馈。

	货舱等舱内物体)需要操作人员来识别		
R2 (辅助作业)	清舱机具备感知能力,可以识别到环境中货料位置和种类、船舱以及操作人员的具体位置。	1.清舱机能够根据环境感知的结果为操作人员提供辅助提示功能,引导操作员进行清舱操作并提供错误操作警报。 2. 清舱机可以通过辅助驾驶功能减轻操作人员的负担。	清舱机上可以与其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)进行感知信息共享。防止协同清舱作业时发生事故
R3 (有条件自主作业)	清舱机具备复杂的感知能力,具备识别到特定清舱任务的场景中货料的颗粒度、大小形状、具体位置和种类的能力,且能够进一步预测追踪货舱环境中的货料、人工以及清舱机的位置和状态。感知信息足以支撑清舱机安全的实现在预设场景的自主化作业。	1. 清舱机可根据环境感知的结果,在特定预设的场景内实现自主作业。将货料聚集起来供起重机抓起运输。 2. 操作人员只需要简单的输入清舱任务中货料类型和作业场景的设置即可开始自主作业 3. 自主作业与人工操作可根据实际情况进行切换	清舱机上可以获取其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)的完全状态,包含位置运动信息,正在执行的清舱任务状态,舱内感知到的障碍物信息,待清理货料信息。并在自主作业时能够考虑到其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)的工作位置,实现简单的协同逻辑,防止发生安全事故。
R4 (全自主作业)	清舱机具备复杂的感知能力,具备识别到特定清舱任务的场景中货料的颗粒度、大小形状、具体位置和种类的能力,且能够进一步预测追踪货舱环境中货料、工人和清舱机的位置和状态。感知信息足	1. 清舱机可以在无预设的清舱场景内实现完全自主作业。 2. 操作人员只需控制清舱机的启停即可实现操作作业。 3. 自主作业与人工操作可根据实际情况进行切换	清舱机上可以获取其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)完全的工作状态,包含位置运动信息,正在执行的清舱任务状态,舱内感知到的障碍物信息,待清理货料信息。并根据其

	以支撑清舱机安全的 实现全场景的自主化 作业。	他清舱装备(如起重 机或其他清舱机)的 作业路径实现协同 作业,避免发生安全 事故的同时实现全 局最优的作业效率。
--	-------------------------------	--

各智能化分级描述如下:

- a) R0 级智能化等级: 不具备智能化能力, 协调工作完全依靠传统的通讯工具和人工完成。
- b) R1 级智能化等级: 具备了初步的智能传感器, 且现场设备进行了联网。操作人员可以根据现场各传感器的反馈数据进行判断辅助工作。设备可以执行预定的动作, 减少操作人员的工作量。操作人员可以获取整个清舱作业的传感器数据, 以此实现人工协同。
- c) R2 级智能化等级: 清舱机可以结合传感器数据辅助感知识别现场环境。根据感知的结果执行机构可以给与操作人员引导、提示和警报。在与其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)的协同能力方面清舱机可以根据其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)的位置提供防撞防干扰作业。
- d) R3 级智能化等级: 清舱机具备复杂的感知能力, 可以实现在特定环境里的自动化作业。操作人员只需简单的设置即可完成作业任务。清舱机可以根据其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)的工作状态实现简单的协同逻辑, 保证任务的正确执行。
- e) R4 级智能化等级: 清舱机具备复杂的感知能力, 具备在宽泛定义的场景中实现自主化作业的能力。操作人员只需要简单的控制操作开关即可实现作业。清舱机与其他清舱装备(如起重机或其他清舱机)具备完全的协同能力, 可以达到全局最优的作业效率。

7 散货船清舱作业智能化分级

7.1 散货船清舱作业智能化分级原则

散货船清舱作业细致划分为起重机清舱作业与清舱机清舱作业两大环节。鉴于这两个子系统均具备独立实施智能化升级的能力, 并且它们的智能化水平可以有所差异。然而, 整个清舱任务的圆满完成又离不开两者的紧密配合。因此, 在确定散货船清舱作业的智能化分级时, 必须综合考虑清舱机清舱作业的智能化分级与起重机清舱作业的智能化分级, 两者共同构成了评估散货船清舱作业智能化水平的全面且最终的依据。

7.2 散货船清舱作业智能化分级要求

散货船清舱作业的智能化分级采用二维指标体系进行界定, 在下表中, 横向颜色渐变代表起重机清舱作业的智能化分级, 纵向颜色渐变则代表清舱机清舱作业的智能化分级。我们将这一综合指标以C来表示, 用以全面衡量散货船清舱作业的智能化水平。基于起重机清舱作业与清舱机清舱作业各自智能化分级的详细划分, 散货船清舱作业的智能化分级体系共涵盖了25个不同的等级。这一分级的确定, 是起重机清舱作业智能化分级与清舱机清舱作业智能化分级两者共同作用的结果。具体而言, 例如C0-0这一等级, 代表着散货船清舱作业中, 起重机清舱作业处于U0级别(即传统人工操作阶段), 同时清舱机清舱作业也处于R0级别(同样为传统人工操作)。而C1-2等级则意味着, 起重机清舱作业已提升至U1级别, 虽略显不足, 但清舱机清舱作业已达到了R2级别, 具备了一定的辅助作业功能。至于C4-4等级, 则标志着起重机清舱作业与清舱机清舱作业均达到了U4级别和R4级别的高水平智能化, 整个清舱作业系统已完全具备全自主作业的能力。具体智能化分级划分如下表所示:

表 3 散货船清舱作业智能化分级

散货船清舱作业智能化分级		清舱机清舱作业智能化分级				
		R0	R1	R2	R3	R4
起重机清舱作业	U0	C0-0	C0-1	C0-2	C0-3	C0-4

智能化分级	U1	C1-0	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4
	U2	C2-0	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4
	U3	C3-0	C3-1	C3-2	C3-3	C3-4
	U4	C4-0	C4-1	C4-2	C4-3	C4-4

中国智能交通协会团体标准
《散货船清舱作业智能化分级》
编制说明

标准编制组

2025 年 2 月

目 录

一、工作简况	1
二、编制原则	5
三、标准内容的起草	5
四、主要试验验证结果及分析	6
五、标准水平分析	12
六、采标情况	12
七、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系	12
八、重大分歧意见的处理过程和依据	13
九、标准性质的建议	13
十、贯彻标准的要求和建议	13
十一、 废止、替代现行有关标准的建议	14
十二、其他应予以说明的事项	14

一、工作简况

1. 任务来源

《智能交通摄像机安全技术要求》标准源于中国智能交通协会下达的 2024 年度团体标准制修订计划。

本标准起草单位为武汉理工大学，参与起草单位有武汉港迪智能技术有限公司、张家港港务集团有限公司、国能黄骅港务有限责任公司、深圳赤湾港口发展有限公司、交通部水运科学研究院、南京港(集团)有限公司新生圩港务分公司、宁波镇海港埠有限公司。

2. 起草单位情况

2024 年 3 月，武汉理工大学智能交通系统研究中心接到标准制定任务后，成立了标准编制组，成员单位有武汉理工大学、武汉港迪智能技术有限公司、张家港港务集团有限公司、国能黄骅港务有限责任公司、深圳赤湾港口发展有限公司、交通部水运科学研究院、南京港(集团)有限公司新生圩港务分公司、宁波镇海港埠有限公司。标准编制组开展了前期调研工作，阅读了国内外工业机器人协同作业、港口装载机械以及自动驾驶的相关标准、法规及技术资料，对目前国内外机器人的协同作业情况进行了总结分析，提出了本标准的制定大纲和工作计划，并进行了分工。

2024 年 4 月，标准编制组对深圳赤湾港、山东日照港等散货港口的散货船清舱作业进行了调研。

2024 年 4 月，标准编制组在武汉理工大学召开研讨会，并对标准的修改稿进行了深入讨论，针对各部分内容达成一致，将此标准向中国智能交通协会申报并经过协会专家函审后立项。

2024 年 6 月，标准编制组根据立项审查意见调整和完善了标准内容架构。

2024 年 7 月-2024 年 10 月，标准编制组完成了标准的相关验证工作，对试验数据进行了分析整理。

2024 年 11 月，标准编制组确认标准征求意见稿并提交协会。

3. 主要起草人及其所做的工作

介绍本标准的主要起草人、工作单位及主要工作，可以表格形式展示。

起草人	工作单位	职务	主要工作领域
胡钊政	武汉理工大学	中国人工智能学会智能交通专业委员会副秘书长	智能交通
孟杰	武汉理工大学	无	港口智能装备
严新平	武汉理工大学	中国工程院院士	智能交通
张涛	武汉港迪智能技术有限公司	总工	港口智能装备
石先城	武汉港迪智能技术有限公司	技术总监	港口智能装备
涂铮	武汉港迪智能技术有限公司	副总工	港口智能装备
袁建明	武汉理工大学	港口装卸技术 交通运输行业 重点实验室副 主任	港口智能装备
刘建军	张家港港务集团有限公司	技术工程部部 长	港口设备及作 业工艺
迟金生	国能黄骅港务有限责任公司	技术保障中心 经理	港口设备管理 及智慧化散杂

			货作业
曾钦坚	深圳赤湾港口 发展有限公司	工程技术部副 总经理	港口设备、设 施、资产、工程 建设管理
王文龙	深圳赤湾港口 发展有限公司	工程技术部总 经理助理	港口设备设施 技术
顾群	交通部水运科 学研究院	无	港口、水运领域 电气自动化和 信息化
邱志超	南京港(集团) 有限公司新生 圩港务分公司	副总经理	港机设备液压 动力系统技术 和无人化自动 化控制
王宏锋	宁波镇海港埠 有限公司	工程技术与信 息部经理	港口设备设施 管理、工程建设 和信息化建设
朱晓刚	宁波镇海港埠 有限公司	杂货队技术队 长	港口设备设施 管理
肖汉彪	武汉理工大学	无	港口智能装备
丁枫	武汉理工大学	无	港口智能装备

表 1 主要起草人及分工

4. 主要工作过程

标准编制组通过多次会议研讨、邮件交流、独立以及集中修改等方式，共同开展《散货船清舱作业智能化分级》的编制工作。标准编制组开展的各个阶段主要工作如下：

选题阶段：2024年3月，经对散货船清舱作业智能化发展现状及发展需求进行调研分析，主要起草人之间经过措辞研讨，最终确定了散货船清舱作业智能化分级指南申报选题。

立项申报阶段：2024年4月，修改完善团标申报材料。标准编制组对最新草案整体内容进行逐条研讨，最终各部分内容达成一致，统一向中国智能交通协会申报此团体标准，经过协会专家函审，通过立项。

立项审查阶段：2024年5月，中国智能交通协会召开了标准立项审查会，会上专家肯定了标准立项的前期准备工作，一致认为散货船清舱作业智能化分级标准的研制具有必要性、可行性，虽然研制存在难度，但可从指南性标准入手。2024年6月，根据立项审查意见，标准编制组调整和完善了标准内容架构，经审查后正式立项开展标准编制工作。

起草阶段：2024年7月到2024年11月，针对前期草案修改并完善，形成征求意见稿。该阶段，标准编制组进行了多次会议研讨，会议情况如下：

- 1) 2024年7月13日，由武汉理工大学智能交通系统研究中心主持召开现场研讨会议，与会人员就散货船清舱作业智能化的现状及产业实践案例、各主要厂商提供的智能化方案、散货船清舱作业系统在交通行业的应用场景、本标准的规范对象及适用范围、标准撰写思路等方面的问题进行交流与探讨，进一步完善标准的初步内容。
- 2) 2024年9月9日，由武汉理工大学智能交通系统研究中心主持召开网络会议，与会专家对标准初步内容、标准分级思路、结合测评需要考虑的标准条款以及后续工作计划等问题进行讨论。
- 3) 2024年10月16日，由武汉理工大学智能交通系统研究中心主持召开了标准征求意见稿(初稿)讨论会等。
- 4) 2024年11月5日，标准编制组采用线上线下结合方式组织召开了讨论会，最终确认征求意见稿提交至协会。

二、编制原则

本标准的格式、内容及表述方法参照了GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写》，主要要求、实验方法参照了JT/T746-2009《无人遥控潜艇器协同潜水作业要求》等。

目前散货码头的散货船清舱作业的标准还未出现，但是有相关的系统作业的标准以及其它行业机器人的相关标准，本标准的制定，解决了散货船清舱作业智能化过程中无标准的问题，并能够与我国现行的标准体系相衔接。

三、标准内容的起草

1. 主要技术内容的确定和依据

（1）起重机清舱作业智能化要求的确定

通过对《岸边集装箱起重机智能化技术规范》（计划编号为2020-0484T-JB）、《集装箱门式起重机智能化技术规范》（计划编号为2020-0485T-JB）等标准及文献的调研分析，对智能交通领域清舱作业中起重机的智能化需求分析，对一些港口运营方进行咨询调研等多方输入，确定了本标准中安全功能要求部分的主要内容。

（2）清舱机清舱作业智能化要求的确定

通过对《面向人机协作的工业机器人设计规范》（GB/T 39402—2020）、《汽车驾驶自动化分级》（GB/T 40429—2021）等标准及文献的调研分析，对智能交通领域清舱作业中起重机的智能化需求分析，对一些港口运营方进行咨询调研等多方输入，确定了本标准中安全功能要求部分的主要内容。

（3）散货船清舱作业智能化要求的确定

散货码头清舱系统整体的智能化等级根据两个子系统的智能化等级采取就低不就高的原则。

2. 标准中英文内容的汉译英情况

本标准中标题、术语和定义的英文由标准编制组翻译。经过武汉理工大学孟杰研究员的核对，认为汉译英内容能准确表达原条款的真实意思，翻译语句通顺，符合英文习惯。

四、主要试验验证结果及分析

当前标准中的主要内容以文献调研、产品调研为主来确定，对部分条款要求进行了产品实测分析。进行过试验的部分整体情况如下文所述：

1. 试验概况

(1) 沿海散货码头作业流程

干散货码头生产作业主要依赖于干散货码头装卸工艺，如图1所示，包括装卸、运输货物的机械设备作业组合方式或方法，主要分成卸船作业子系统、堆场作业子系统和装车作业子系统。

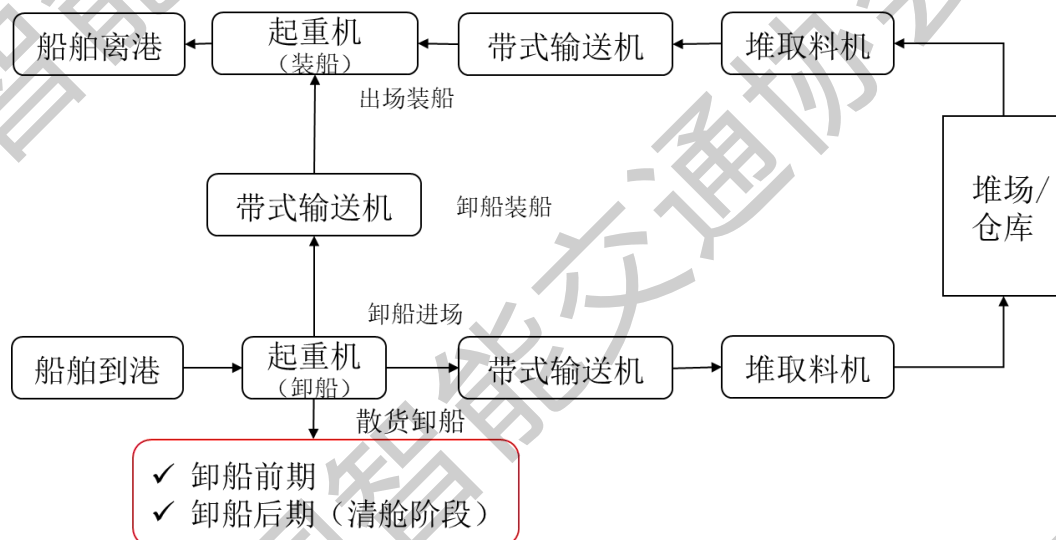


图1 散货码头卸船工艺流程

首先，船舶抵港后根据指泊规则选择空闲可停靠的泊位，否则在锚地等待。船舶靠泊后为船舶分配合适的堆垛、装卸作业线以及装卸设备（堆料机、堆取料机、皮带机和起重机等），若堆垛集合非空且装卸作业线以及装卸设备空闲，则进行卸船进场作业，否则在泊位等待。卸船进场作业过程中先通过起重机卸载物料，然后将物料通过皮带机运输到合适的堆场垛位，再通过堆料机或者堆取料机进行堆存作业。整个装卸作业过程中，按照流程依次启动装卸作业线中的装卸设备，首先启动堆料机或者堆取料机，然后港口指挥控制中心依次启动堆料进场皮带机、接力皮带机、码头皮带机等地面皮带机，最后启动起重机，调整起重机取料口对准船舱。在整个卸船过程中，起重机需要多次移舱才能完成卸船作业。船舶卸载完毕后离港，此时泊位空闲，

等待下一艘船舶进港。

(2) 散货码头清舱系统业务处理流程

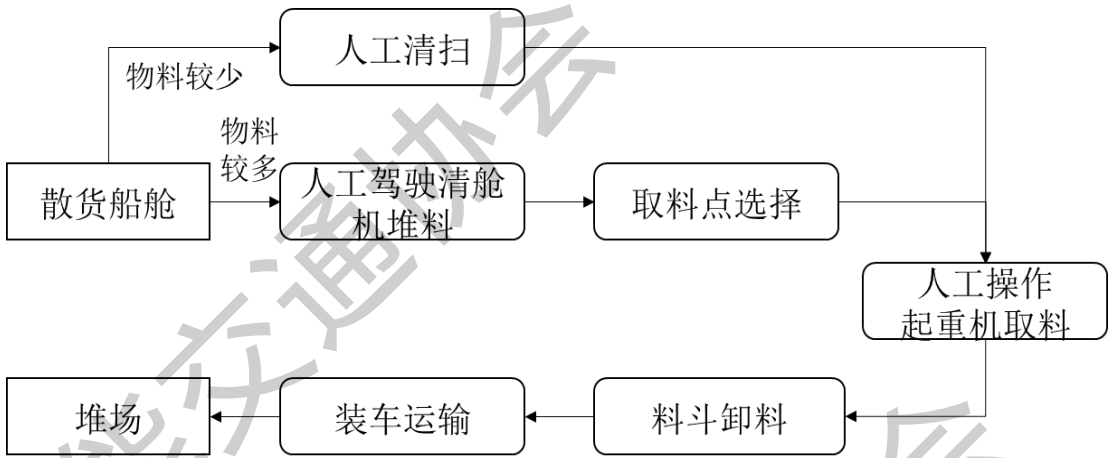


图 2 散货码头清舱系统业务处理流程

散货码头清舱系统业务处理流程如图2所示，当舱内物料剩余不多时进入清舱阶段，此时将清舱机吊入舱内协同起重机进行清舱作业。在清舱前中期，舱内物料较多，需人工驾驶清舱机进行堆料作业，当区域物料堆积到达一定程度，起重机抓斗抓取该区域物料并移动至料斗区域进行卸料作业，料斗下的货车进行装车后运输至堆场存放。在清舱后期物料较少时，清舱机无法实现堆料作业，此时需要派遣多名清舱人员下舱进行清扫作业。

(3) 散货码头清舱系统智能化业务处理流程图。

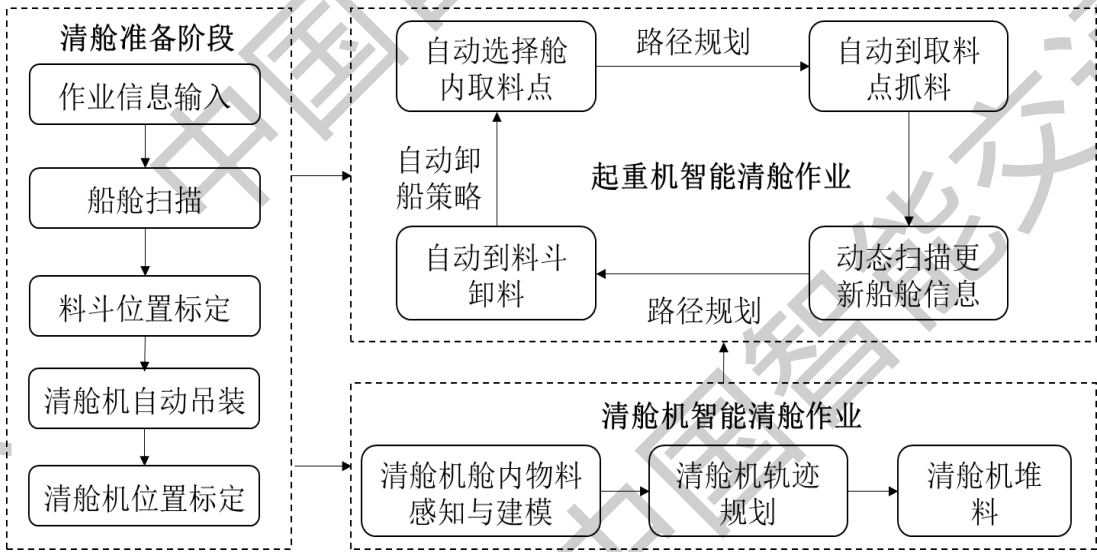


图 3 散货码头清舱系统智能化业务处理流程

散货码头清舱系统智能化业务处理流程如图3所示，散货码头智

能清舱系统首先输入作业信息并进行船舱扫描，当舱内物料剩余20%时进入清舱阶段，此时清舱机通过自动吊装设备吊入舱内，在标定完料斗和清舱机位置后，起重机与清舱机开始协同智能清舱。清舱机智能作业模块中，清舱机在实现舱内物料感知与建模的基础上，完成作业轨迹规划并实现堆料操作；在起重机智能作业模块中，首先选定自动卸船策略并进行取料点选择，随后利用路径规划算法移动抓斗到取料点与料斗点进行抓料与卸料操作，在起重机作业过程中，船舱信息将根据时间与作业阶段进行动态更新。

试验搭建了清舱机实物操作平台和模拟仿真平台，实物平台为智能化改造后的大型装载机，并同步改造了一个小型装载机器人。此外还针对门式起重机进行自动化、协同作业适配性改造。清舱系统智能化改造如图4所示：



图 4 清舱系统智能化改造

同时本项目也考察了多个散货港口的现场实际清舱作业情况，基于此构建了散货船清舱仿真平台，如图5所示：

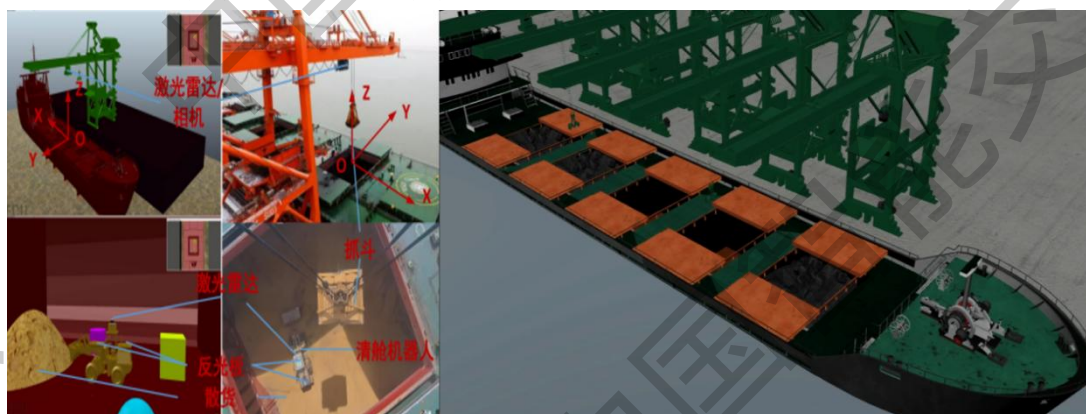


图 5 仿真模拟平台

仿真平台模拟了真实的散货船和散货堆料舱，并在该场景中搭建了基于ROS测试环境的模拟清舱机，该机器人搭载了多线激光雷达、IMU和图像传感器，可在ROS环境下进行算法验证和模拟实验。

2. 试验方法

试验采用仿真环境和实车运行构成，主要实验的内容有：

(1) 舱内无盲区感知测试

使用多路相机构建3D环视系统，可最大化提升远控模式下的操作视角；紧耦合多激光雷达与IMU实现舱内无盲区感知建图定位。

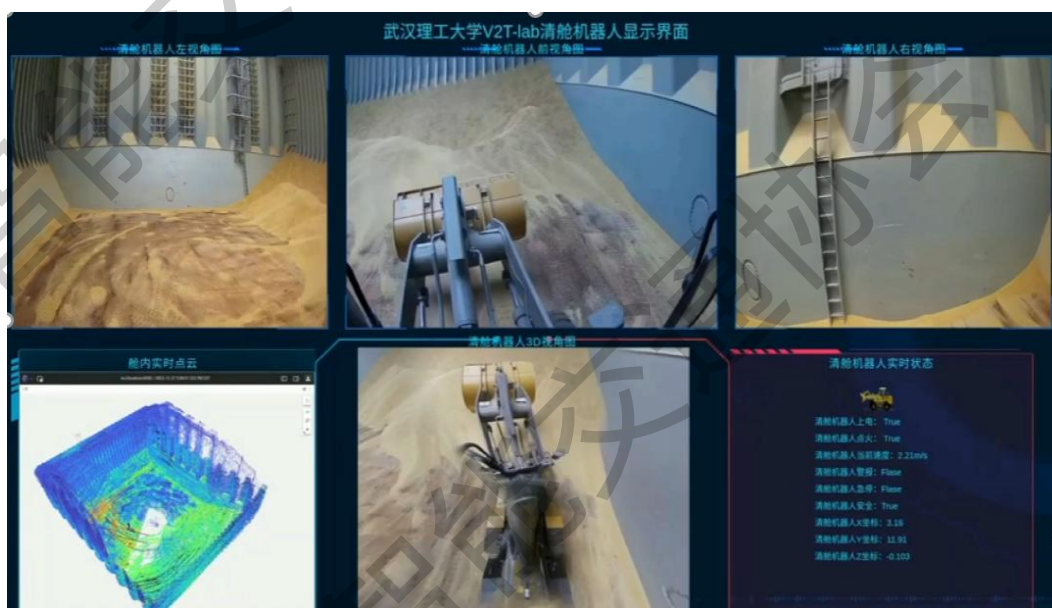


图 6 清舱机舱内感知效果

(2) 船舱场景长时间定位测试

考虑到清舱过程中抓斗和物料动态变化导致舱内环境具有的高动态性，设计自适应地图更新算法，对舱内环境地图进行自适应滑窗更新。实验效果表明，与主流SLAM算法对比本算法可以有效去除环境中的动态障碍物的干扰。

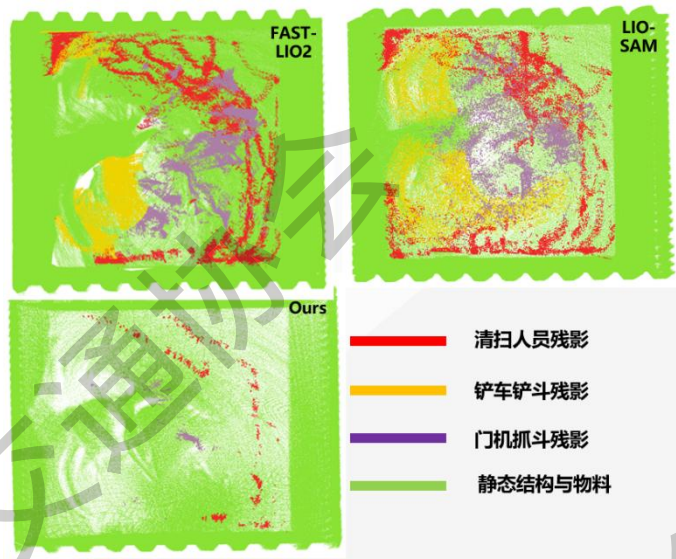


图 7 作业环境自适应建图更新测试

在仿真环境下进行激光建图定位算法长时间稳定性测试，结果表明运行较长时间后建图和定位里程计均运行正常，建图定位算法可有效应对散货船长时间清舱作业。

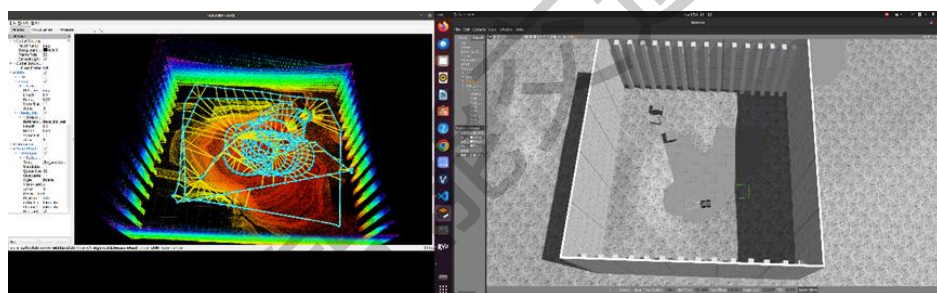


图 8 基于激光点云的船舱仿真平台定位测试

(3) 多点导航及铲装动作调试

该实验编写了多目标点导航程序及车子的自动铲装程序，在模拟船舱仿真环境下进行测试。仿真环境中实现多目标点导航以及导航后实现落铲推铲等动作。

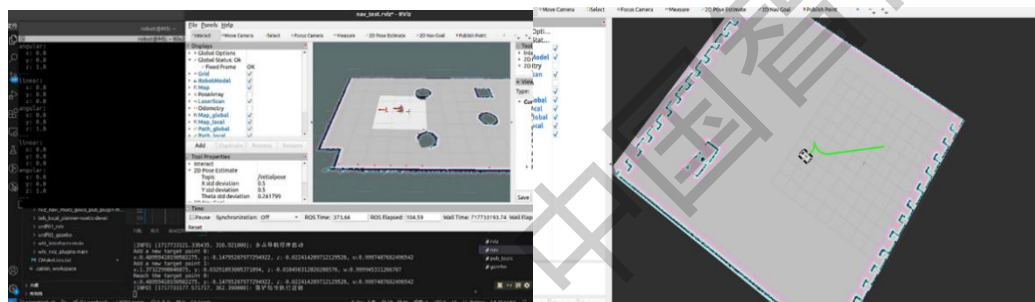


图 9 多点导航及自动铲装仿真测试

该实验也进行了实车测试，小型装载机机器人在校园环境内实现了多目标点连续导航，并在多目标点导航过程中完成铲装动作，实现了由起始点出发、前进至铲料点、到达铲料点落铲并推料前进、到达堆料点翻斗放料等动作。



(a) 起始点出发

(b) 前进至堆料点放料

图 10 多点导航及自动铲装实车测试

(4) 实船清舱测试验证

通过前期算法测试，最终将清舱机在深圳赤湾散货码头进行现场实测，可通过远控或者自主作业配合自动化门机完成无人清舱作业，现场效果运行良好。



图 11 在实际清舱环境中的清舱测试

3. 试验总结分析

(1) 验证试验中，根据编制组讨论情况，选择了满足清舱机智能化基本要求进行实验验证，实验表明，当前的技术在清舱机可以做到目前的智能化等级，且满足了这样的智能化等级要求之后，清舱作

业智能化才能达到应有的水平。

(2) 通过试验验证，确认本标准的主要技术要求能够落地实施，不存在技术壁垒。

(3) 通过试验验证，确认本标准的试验方法均可实际操作。

五、标准水平分析

目前散货码头的散货船清舱系统智能化尚无标准，对感知决策系统的标准国内有《基于多远融合感知智能决策的智能清舱机研究与应用》，国内对于清舱机的协同作业相关的标准目前也没有，但是与协同作业相关的标准有目前国内具有《面向人机协同作业的变电机机器人装备及体系研究》，但是没有同时具有感知决策，也具有协同作业的清舱机系统智能化等级标准。本标准的制定，解决了散货船清舱机的智能化系统无标准的问题，将能为散货船的自动化卸货提供技术依据。对散货船运输行业的发展起引导作用，达到了规范行业管理的要求，对散货船运输行业的发展具有更加良好的支撑作用。

六、采标情况

说明本标准是否采用国际标准或国外先进标准制修订等情况。

七、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系

本标准为国家推荐性标准，标准内容适合国内散货船卸货作业发展现状，可指导散货船机器人协同作业产品技术提升。与现行相关法律、法规、规章及标准相互协调、没有冲突。

国内以颁布有关散货船清舱机协同作业的标准还没有，但是跟该作业相关的标准有许多，通过引入GB/T 1.1-2020标准化工作导则第一部分：标准的结构和编写进行该标准的编写，应用了GB/T 20001.1-2001 标准编写规则第一部分：术语。该部分应用于标准编写的规范术语，其次JTS/T186-2022 《港口干散货封闭式料仓工艺设计规范》和GB/T 43380-2023 《自动化干散货码头综合管理系统技术要求》通过参考这两个标准更加清晰的了解干散货码头的详细情况，为编写标准奠定基础，最后通过《岸边集装箱起重机智能化技术规范

编制说明》、《自动驾驶系统安全性评估体系及多维度评价方法规范》、以及《基于多远融合感知智能决策的智能清舱机研究与应用》这些标准为参考，编写了散货船清舱系统智能化等级划分的相关内容。

八、重大分歧意见的处理过程和依据

介绍本标准起草过程中出现的重大分歧意见的背景和原因，包括不同利益相关方的观点、技术路线的分歧等方面的内容。说明重大分歧意见的处理原则和依据，包括依据相关法律法规和政策文件的规定、参考国内外类似标准的制定情况、利益相关方的意见和建议等方面的内容。还要说明重大分歧意见的处理过程，包括开展协商磋商、征求意见、召开专家论证会议等方式的内容。在处理过程中，应充分听取各方面的意见和建议，依据相关原则和依据进行分析、研究和协商，最终确定本标准的内容和技术要求。对于无法达成共识的重大分歧意见，应说明其处理方式和原因，包括是否采纳意见或是否在标准中给出明确的说明等方面的内容。

九、标准性质的建议

根据《标准化法》，参考本标准的制定目的、适用范围、主要技术内容等方面的特点，确定本标准的性质。例如，本标准是国家标准、行业标准、地方标准、企业标准等。介绍本标准的性质所具有的主要特点和优势，包括对标准实施对象的指导作用、对标准实施过程的规范作用、对标准实施结果的保障作用等方面的内容。根据制定本标准的实际需要，对本标准的性质提出相应的建议。在建议中，应说明建议的依据和理由，包括本标准的实际情况和需要、相关法律法规和政策文件的规定、标准制定程序的要求等方面的内容。

十、贯彻标准的建议

本标准主要规定了散货船清舱作业智能化分级各等级的功能要求，适用于散货船清舱作业的项目需求、项目开展、维护和测评。建议相关单位能够积极主动的学习标准和相关资料、结合实际业务需求组织学习研究标准，贯彻实施标准。标准实施后，建议标准编制组组

织标准宣贯，并开展散货船清舱作业智能化分级测评。在行业内部甚至对外的有关信息上公开宣传标准及测评工作，推进散货船清舱作业智能化发展。

十一、废止、替代现行有关标准的建议

本标准为新立项制定的标准，不影响现行有关标准。

十二、其他应予以说明的事项

补充内容