

中国航海学会团体标准
**《非专业化干散货码头自动化改造技术指
南——装船环节》**
（征求意见稿）
编制说明

标准编写组

2025年10月

目 录

一、工作简况	1
二、指南编制原则、主要内容依据	7
三、已开展的试验验证情况、综述报告	13
四、与有关现行法律、法规和强制性国家标准、配套推荐性标准的关系	17
五、与国际标准化组织、其他国家或地区有关法律法规和标准的对比分析 ..	17
六、重大分歧意见的处理经过和依据	17
七、废止现行有关标准的建议	17
八、标准性质的建议说明	17
九、涉及专利的有关说明	17
十、其他应予说明的事项	18

一、工作简况

（一）任务来源

根据《关于公布中国航海学会 2024 年度第一批团体标准立项的通知》（航学发〔2024〕88 号），由交通运输部水运科学研究院牵头开展《非专业化干散货码头自动化改造技术指南-装船环节》编制工作。

（二）背景、目的和意义

我国码头种类繁多，包括集装箱、干散货、原油和液体化工等，其中干散货码头是我国水路运输体系的重要节点，专门服务于煤炭、金属矿石、散粮等无包装大宗散货的装卸、存储与中转。干散货码头分为专业化泊位和非专业化泊位两大类，其中专业化泊位依托专业化作业设施和设备，采用高效的运营模式，而非专业化干散货泊位则多采用人工操作机械设备的传统作业模式。根据《2024 年交通运输行业发展统计公报》数据，2024 年全国港口货物吞吐量 175.95 亿吨，其中煤炭及制品、金属矿石吞吐量分别达到 31.07 亿吨和 27.21 亿吨，比上年分别增长 2.3%和 4.0%，总占比达到 33.1%。全国万吨级及以上通用散货泊位 698 个，占万吨级以上泊位总量的 23.49%，在万吨级以下码头中非专业化的散杂码头占比更高，是我国干散货装卸、输送的重要组成。

自 2010 年以来，我国在集装箱码头自动化建设方面取得重大突破，陆续建成包括厦门远海、上海洋山、青岛新前湾、天津 C 段等多个自动化集装箱码头，实现集装箱装卸、储运作业的无人化。在专业化干散货泊位领域，我国大多实现了带式输送系统的自动化运行，自 2015 年以来，多个专业化干散货码头还开展了单机远程控制、无人运行技术的研发和应用，逐步实现了干散货码头堆取料机、装船机、卸船机等主要装卸设备的自动化运行，改善了工作环境，减少了安全风险，降低了运营成本，取得了良好的经济效益和社会效益。

在非专业化干散货泊位方面，目前尚面临一系列的生产作业和运营管理问题，包括装卸工艺杂乱，设备性能落后、安全风险高、装卸效率低、单位吞吐量能耗高、环境污染严重等，在建设交通强国和世界一流港口的背景下，亟待实施专业

化、流程化、自动化升级改造，对指导性文件和标准需求迫切。近年来一些港口码头企业针对门座式起重机、装载机、场内卡车进行了自动化改造技术探索，例如：山东港口潍坊港通过自动化门机+自动漏斗+散货 AGV 研发了非专业化泊位卸船自动化改造方案，山东港口集团青岛前港矿石码头、江苏港口集团镇江金港矿石码头针对装载机开展了远程控制技术改造，国家能源黄骅港针对煤炭装船作业研发了智能化无人装船系统，苏州港集团张家港港务集团有限公司进行了非专业化煤炭码头船舶装卸船环节专业化改造，这些新技术应用取得良好示范效果，为非专业化干散货泊位开展自动化升级改造提供了有力的技术支撑和保障。在此基础上，本指南和统一非专业化干散货码头装船环节自动化的技术要求，有助于提高非专业化干散货码头装船环节的自动化技术水平，推动干散货码头向安全港口、智慧港口方向发展，促进港口企业降本增效。

（三）主要工作过程

1. 研究立项阶段

2024 年 1 月~2024 年 4 月，交通运输部水运科学研究院牵头开展了指南编制计划项目建议的研究，形成了指南草案，并向中国航海学会提出指南计划制定建议。

2. 起草阶段

2024 年 5 月标准制修订计划下达后，项目承担单位组织成立指南起草组，落实参加单位和编写人员，确定了指南的总体编制实施计划，同步开始组织收集非专业化干散货码头相关设备资料，组织开展到山东、河北、江苏、浙江、广东、广西等地码头企业开展技术调研。编写组技术人员还通过科技论文检索、网络资源抓取等方式获取了大量关于自动化门座式起重机、无人装载机的技术资料，为本指南的编制提供了有力的技术支撑。

2024 年 5 月~2025 年 6 月编写组技术人员分别赴山东港口潍坊港、青岛港、烟台港，河北港口秦皇岛港、黄骅港，国能集团黄骅港，江苏港口镇江港，广西北部湾港钦州港和防城港等多个干散货码头就自动化技术改造和应用情况开展

了现场调研和技术交流。

2024年5月底编写组赴山东潍坊港东作业区通用散货码头开展现场调研，考察了其在通用散货码头实施自动化改造的工作情况。依据传统通用散货码头作业工艺，结合其自身业务需求和作业管控工艺，主要通过自动化门座式起重机、自动化接卸漏斗、自动散货导引车和自动堆场堆料机构成全自动化卸船进堆场工艺流程，初步实现了少人化介入的自动化卸船作业。编写组重点调研了自动化门机的改造和应用情况，包括自动化门机作业功能、主要设备配置，观看了自动化门机无人、少人作业的过程，实际应用效果良好。

2024年8月编写组赴山东港口集团烟台矿石码头、青岛港矿石码头开展现场调研。在烟台西港区矿石码头，编写组分别登上通用散货泊位的门座式起重机和专业化干散货泊位的桥式抓斗卸船机，了解了干散货泊位在码头前沿装卸作业的技术难点和实施自动化改造的相关技术要点。在青岛港前港矿石码头针对其门座式起重机、装载机和挖掘机实施自动化改造和应用情况进行了调研和技术交流。编写组了解到自动化门机可以实现远程控制、全自动化作业、自动对舱等作业，通过控制系统可以实现抓斗防摇和一键自动锚定等功能。在装载机和挖掘机方面，通过远程操控技术改造，实现司机在控制室内实现船舶清舱和堆场装车作业，改善了工作环境，降低了劳动强度。

2024年9月编写组赴国家能源集团黄骅港开展现场调研，重点了解其在装船作业方面开展的自动化改造工作情况。重点了解了其装船作业中对码头前沿作业空间模型的构建，以及定位和设备姿态感知技术内容。国能黄骅港装船采用北斗全域连续运行参考站（CORS），定位精度达到1 cm-2 cm，通过基于“5G+北斗+惯导”的船岸北斗位姿测量仪，对船舶位置、姿态实现高精度监测，通过低延时、大带宽、高可靠性的5G通信网络将船舶、装船机位置和姿态信息实时协同，建立以码头泊位为基准的三维空间坐标系，并将船舶与泊位三维空间坐标系融合一体，实现对船、机空间位置的精准测控。

2024年10月编写组赴河北港口集团秦皇岛港开展现场调研，了解秦皇岛港股份公司煤炭码头装船机自动化改造技术方案，通过激光扫描、光纤通信、视频监控等多种技术融合应用，实现装船机远程操控，使得装船作业由“有人操作”

向“无人干预”升级，实现卸、堆、取、装 100%远程操作。

2025 年 3 月编写组赴广西北部湾港集团钦州港、防城港港开展现场调研，了解了钦州港、防城港港通用散货码头生产作业情况，特别是传统通用散货码头的装卸工艺、作业流程等内容，针对通用散货码头开展自动化升级改造的技术需求进行了交流。

2025 年 4 月编写组赴江苏省港口集团的镇江金港矿石码头开展调研，了解了传统通用散货装卸船工艺情况，实地考察了远程控制电动装载机的技术方案，了解了电动装载机运行模式和远程操控台的构成和主要功能。

2025 年 6 月编写组赴宁波舟山港北仑矿石码头开展调研，了解了其装船机、卸船机、斗轮堆取料机的自动化改造技术方案，考察了其远程控制中心和远程操控台的建设情况。

在此期间编写组分别针对门座式起重机、装载机等主要装船作业装备自动化技术应用，通过科技论文和互联网收集大量技术信息。在开展调研、技术交流和资料收集的基础上，编写组结合 2024 年初形成的指南草案内容，经研究讨论确定了以系统构成、一般要求、作业模式、作业装备和辅助设施为主要内容的总体框架，自 2025 年 3 月起开始编写本指南的征求意见稿，至 8 月份基本完成征求意见稿和编制说明的编写。

（四）标准起草单位、主要起草人员及其所做的具体工作

本指南的起草单位包括：交通运输部水运科学研究院、广西北部湾国际港务集团有限公司、青岛港国际股份有限公司前港分公司、国投曹妃甸港口有限公司、唐山港集团股份有限公司。

指南制定牵头为交通运输部水运科学研究院，全面负责组织开展本指南研究和制定工作，统筹指南的编写和审查，组织项目调研、资料检索收集、指南主要技术内容编写，负责指南内容中核心关键参数的研究和确定。广西北部湾国际港务集团有限公司、唐山港集团股份有限公司、青岛港国际股份有限公司前港分公司负责项目研究的业务支持，参与项目调研、资料检索收集港作，参加指南主要技术内容编写工作，负责指南编写的业务工作，参与指南内容中核心关键参数的

研究和确定，提供了具有建设性的意见和建议。

本指南主要起草人包括：纪懿桓、顾群、赵伟丽、吉学斌、陈荣昌、朱静、刘石乾、尹占强、李兆单、张良、饶京川、张杰、高梓瑄、王俊文、石滢锬、邓翰京、任勤雷、王太伟、王雪琳、黎广宇、刘力、贾远明。

本指南的主要起草人及任务分工见表 1。

表 1 指南主要起草人及任务分工

序号	姓名	单位	分工
1	纪懿桓	广西北部湾国际港务集团有限公司	主持指南的编写工作，负责组织和协调，制定指南编写框架，全面参与指南内容的编写，重点编写“1 范围”、“5 一般要求”和资料收集，负责指南的内部审核，同时负责审核指南征求意见汇总处理表和指南编制说明。
2	顾群	交通运输部水运科学研究院	负责组织赴港口码头企业开展技术调研，整体把握指南编写进度，重点负责“4 系统构成”的内容编写，参与编写“3 术语和定义”“5 一般要求”“6 作业模式”，负责组织征求意见和编制意见处理表，参与指南和编制说明的内部审核工作。
3	赵伟丽	青岛港国际股份有限公司前港分公司	参与制定指南编写框架，负责资料收集并参与调研工作，重点负责“3 术语和定义”“6 作业模式”，参与“4 系统构成”的内容编写，参与编写指南的编制说明和征求意见处理表，参与指南和编制说明的内部审核。
4	吉学斌	国投曹妃甸港口有限公司	参与制定指南编写框架，重点负责“6 作业模式”，参与“4 系统构成”的内容编写，参与编写指南的编制说明和征求意见处理表，参与指南和编制说明的内部审核。
5	陈荣昌	交通运输部水运科学研究院	负责指南立项，参与制定指南编写框架，重点负责“7 作业装备”中自动化门座式起重机的内容编写，参与“2 规范性引用文件”编写，负责编写编制说明，参与指南的内部审核工作。
6	朱静	交通运输部水运科学研究院	参与制定指南编写框架，参与指南的调研和资料收集。重点负责“7 作业装备”中远程操控台的编写，参与“2 规范性引用文件”“8 辅助设施”的编写，参与指南相关技术内容的内部审核。
7	刘石乾	广西北部湾国际港务集团有限公司	参与制定指南编写框架、相关指南和技术文件的收集，重点负责指南“7 作业装备”中自动化装载机内容的编制，参与编写“2 规范性引用文件”“8 辅助设施”的编写。

表 1 (续)

序号	姓名	单位	分工
8	尹占强	青岛港国际股份有限公司前港分公司	参与制定指南编写框架，负责相关指南和技术文件的收集，重点负责指南“8 辅助设施”的内容编制，参与“6 作业模式”的编写，参与指南和编制说明的内部审核。
9	李兆单	唐山港集团股份有限公司	参与技术调研和技术资料收集整理，参与编写“7 作业装备”相关技术内容，参与指南编制说明文本的内部审核。
10	张良	国投曹妃甸港口有限公司	参与调研和资料收集工作，参与“7 作业装备”“2 规范性引用文件”中相关内容的编写，参与编制说明编写和指南文本的内部校核，负责指南全文文本整理。
11	饶京川	交通运输部水运科学研究院	参与指南立项和指南编写框架和“范围”，重点负责“7 作业装备”中自动化门座式起重机的内容编写，参与“2 规范性引用文件”编写，负责编写编制说明。
12	张杰	青岛港国际股份有限公司前港分公司	参与制定指南编写框架和调研工作，参与“7 作业装备”相关内容的编写，参与编制寿命的编写，参与指南相关技术内容的内部审核。
13	高梓瑄	唐山港集团股份有限公司	参与指南“6 作业模式”“7 作业装备”等技术内容编写，参与指南技术内容内部审核。
14	王俊文	交通运输部水运科学研究院	参与指南资料收集和整理和现场调研工作，参与“4 系统构成”“5 一般要求”等内容编写，参与编制说明的编制和指南文本的内部校核，参与指南相关技术内容的内部审核。
15	石滢锶	交通运输部水运科学研究院	参与指南资料收集和整理和现场调研工作，参与编写“7 作业装备”的内容，参与审核指南编制说明和相关技术内容。
16	邓翰京	广西北部湾国际港务集团有限公司	参与指南技术内容编写，重点参与编写“4 系统构成”技术内容编写。
17	任勤雷	交通运输部水运科学研究院	参与指南资料收集和整理，参与编写“6 作业模式”相关技术内容，参与编写指南编制说明的编写。
18	王太伟	交通运输部水运科学研究院	参与指南资料收集和整理，参与编写“8 辅助设施”相关内容的编写，参与指南编制说明的编写。
19	王雪琳	交通运输部水运科学研究院	参与技术调研和技术资料收集整理，参与编写“7 作业装备”相关技术内容，参与指南编制说明文本整理。
20	黎广宇	交通运输部水运科学研究院	参与技术调研和技术资料收集整理，参与编写“7 作业装备”相关技术内容，参与指南编制说明文本整理。

表 1 （续）

序号	姓名	单位	分工
21	刘力	交通运输部水运科学研究院	参与相关指南和技术文件规范的收集和技术内容整理，参与编写指南的编制说明，参与指南全文文本整理、GB/T 1.1—2020 的执行。
22	贾远明	交通运输部水运科学研究院	参与技术调研和技术资料收集整理，参与编写“总则”等相关技术内容，参与指南编制说明文本整理。

二、指南编制原则、主要内容依据

（一）编制原则

为确保指南条文所列的技术要求科学、合理、规范，本指南制定过程中遵循“规范性、一致性、服务应用、适应性”原则。

1. 规范性原则

本指南根据《中华人民共和国标准化法》及相关法律、规章，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》中的原则要求进行的，并参考了单位、符号、用语的相关标准，保障了本指南文本编写的规范性。

2. 协调一致性原则

本指南的起草主要参考已发布的国家标准、行业标准，以及交通运输行业相关团体技术标准，保持与近年来出台以及即将出台的相关政策、法规以及新技术紧密结合，增强标准关联性、协调性、适用性和统一性，避免出现矛盾。

3. 服务应用原则

指南的编制有助于规范非专业化干散货码头在实施自动化改造过程中，保障相关技术应用的可行性、可靠性和稳定性，为码头企业在实施装船作业整体改造或对门座式起重机、装载机单机系统进行局部升级工作中，提出通用性技术参考建议，提供标准技术服务和应用支撑。

4. 适应性原则

本指南面向非专业化干散货码头装船作业环节，规定了自动化改造的整体架构，提出了自动化、半自动化的作业组合模式，针对装船作业环节中的主要工艺装备，即门座式起重机和装载机的自动化改造提出了相关技术要求，主要包括定位建模、动作控制、防碰避撞、安全监控等方面的技术建议要求。

(二) 主要内容的依据

1. 标准名称

标准名称为《非专业化干散货码头自动化改造技术指南——装船环节》。

2. 范围

随着专业化集装箱码头和干散货码头在自动化技术应用方面的不断推进，一些通用的基础性技术不断优化升级，新技术、新装备不断推出，也为非专业化的干散货码头通过自动化改造，实现改善人员工作条件、降低人员成本、提高生产作业安全性等降本增效和提质增效带来了契机。一些码头企业已经面向门座式起重机、装载机的远程操控和无人化运行开展了应用技术探索，取得了良好的应用效果，但是相关技术实现存在差异，效果也不近相同，面向大量非专业化干散货码头开展自动化改造缺乏标准支撑。鉴于此，本指南对非专业化干散货码头装船环节进行自动化改造的系统构成、总体建议、作业模式、作业装备和辅助设施等内容提出方案建议。本指南适用于矿石、煤炭、散粮等非专业化干散货码头装船作业的自动化改造。

3. 术语和定义

(1) 条款 3.1 自动化门座式起重机

定义内容为：通过无人操控或有人远程操控实现装卸作业的门座式起重机。主要从门座式起重机实现自动化运行的方式入手给出定义，一种模式是人员不在起重机上操作，而是在其他控制室内通过远程操控台控制作业，另一种模式是无需人工干预介入，门座式起重机自主进行装卸作业。

(2) 条款 3.2 自动化装载机

定义内容为：通过无人操控或有人远程操控实现行驶、装卸作业的轮胎式装载机。主要从装载机实现自动化运行的方式给出定义，一种模式是人员不在装载机上操控，而是在其他控制室内通过远程操控台控制装载机的行驶、推铲、起升、放料等作业，另一种模式是无需人工干预介入，装载机通过自身控制系统实现自主行驶和作业。

(3) 条款 3.2 远程操控台

定义内容为：在作业现场以外，人工用于对设备实现监视、操作和控制的装置。主要是定义面向门座式起重机和装载机在现场以外的控制室内，由人工用于远程实现装载机作业控制的操作台。

4. 系统构成

本章主要描述了非专业化干散货码头自动化系统的总体构成，主要包括自动化门座式起重机、自动化装载机、远程控制中心、现场辅助设备设施。其中远程控制中心作为非专业化干散货码头实现自动化运行的控制中枢，主要包括门座式起重机和装载机的远程操控台，以及综合管控系统，指南中以系统构成图的形式对总体构成进行了表述。

系统构成图如图 1 所示：

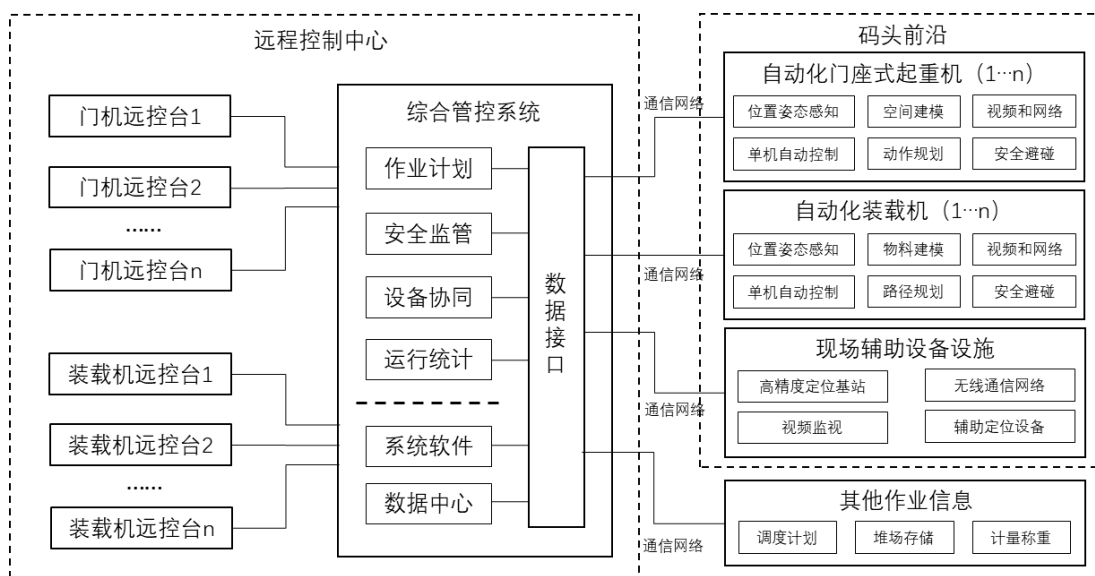


图 1 非专业化散货码头自动化装船系统构成图

自动化门座式式起重机和装载机主要通过多种传感器和感知设备,对其位置和姿态信息进行采集,通过计算机应用软件对其作业空间和物料进行数字化建模,并对设备、机构的动作进行规划或接收远程控制中心发来的动作指令,按照动作规划或远程指令,利用机上的单机自动控制系统实现各种设备的运行控制。为保证装船作业的安全,机上建议配有相应的视频监控系统,通过通信网络将实时作业的视频画面传送到远程控制中心,以便人工远程操作参考和自动运行监管。

布置在远程控制中心的远程操控台是在门座式起重机和装载机处于远程操控作业模式时由人工进行操作的,此外当处于自动运行模式时,则用于人工对设备运行情况的监管。

布置在远程控制中心的综合管控系统主要由作业计划、安全监管、设备协同和运行统计等应用软件,以及计算机、服务器、数据库及存储等软件和硬件资源构成。综合管控系统通过通信网络将远程操控台和码头前沿的自动化门座式起重机和装载机进行关联匹配,并实现现场作业情况和设备动作指令的双向交互。

综合管控系统中的作业计划模块能够根据船舶调度计划、堆场存储、气象条件和设备情况实现装船作业计划自动生成功能。安全监管模块收集装船现场作业设备的位置、姿态等信息,以及现场车辆、人员位置信息,实现安全监管、预警和报警功能。设备协同模块实时收集现场设备运行情况,实现高效装船、避碰防撞等设备协同运行功能。运行统计模块收集计量称重信息,对装船作业实现运行统计功能,主要包括装卸作业量、设备能耗、风险预警等内容。

现场辅助设备设施主要是为配合非专业化干散货码头装船作业自动化运行而配套建设的高精度定位基站、高速无线通信网络、码头区域视频监控等设备和设施,为自动化运行提供必要的技术支撑。

5. 总体建议

本章主要针对非专业化干散货码头在实施自动化改造中需要注意的一些总体性、通用性的一般要求。主要包括改造的实用性和适用性,技术的稳定行和经济性,系统的可靠性和安全性等内容,以及对改造后的运行和维护队人力资源的要求。

6. 作业模式

本章对非专业化干散货码头装船作业存在的运行模式进行了描述，主要包括全自动化、半自动化和人工作业三种模式。其中人工作业模式是指完全由人工在机上操作的模式，不属于自动化作业的范畴。

全自动化模式是指作业完全没有人工介入操作，由自动化设备自主完成装船作业。半自动化作业模式主要是指装船作业环节中的主要设备可以实现自动化运行，或者通过与远程操控相结合实现作业的模式。

半自动化装船工艺模式是门座式起重机自动化运行与装载机远程操控结合，或者与人工驾驶装载机结合，或者是门座式起重机远程操控与装载机远程操控结合，或者与人工驾驶装载机结合的模式。

由于半自动化模式涉及装船作业环节中不同设备达到自动化的程度存在差异，由此形成了半自动化装船模式中不同程度的自动化设备应用的组合，见下表 1：半自动化装船工艺模式表

表 1：半自动化装船工艺模式表

半自动化装船工艺模式	自动化门座式起重机	自动化（远程操控）门座式起重机	人工远程操控装载机	人工驾驶装载机
1	√		√	
2	√			√
3		√	√	
4		√		√

本章还针对码头现场作业设备之间防碰防撞、人员作业等提出相关建议。

7. 作业装备

本章主要针对非专业化干散货码头自动化改造中涉及的工艺装备提出相应技术要求，主要包括自动化门座式起重机、自动化装载机和远程操控台。

本章的 7.1 节主要针对自动化门座式起重机相关内容进行描述，主要包括设计标准、运行模式、定位监测、作业功能和安全防护等维度的内容。设计方面建议总体按照国家标准《起重机设计规范》GB/T 3811 的内容进行；自动化运行模式主要包括人工远程操控和无人自动运行两种模式，能够实现顺序抓取、定点抓取和全自动抓取；定位监测针对采用编码器、高精度差分定位、RFID 磁钉等位技术应用；通过激光扫描对船舶、船舱、舱内物料、岸上物料、作业装备等进行三

维空间建模；对实现自动化门机的远程操控以及自动化运行需要的网络通信支持等内容；此外对自动化门机作业区域提出了应通过视频监控系统设置电子围栏建议，通过视频智能识别人员进入围栏区域发出警告信息，防止发生人员碰撞事故。

本章的 7.2 节主要针对自动化装载机相关内容进行描述，主要包括功能设计、感知定位、通信控制及安全协同等技术内容。自动化装载机需要支持多模式操作，包括人工驾驶、视距遥控、远程遥控（需配备专用操控台）和全自动运行，并能够实现远程/本地控制的灵活切换；定位系统采用双天线高精度差分卫星技术（厘米级精度），并融合激光雷达、超声波传感器或毫米波雷达进行环境探测，配合车身多方位可见光/红外摄像头（建议带自清洁功能）实现全域监控；单机控制系统采用 CANopen 协议，与远程中心通过 5G 专网或无线局域网连接，要求数传时延 $<30\text{ms}$ 、图传时延 $<150\text{ms}$ 、带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ ；改造后的装载机控制系统能够完成实现行驶、转向、装卸料等基础动作，且效率不低于原机型，同时需实时预判碰撞风险，按照报警、减速、停机分级响应，并与门座式起重机联动避撞；此外，车辆主机能够实时上传运行数据至远程中心，统计装载次数、作业量等信息，并存储至少 30 天历史记录；整体设计强调高精度定位、多传感器融合、低延时通信及智能安全逻辑，以保障复杂工况下的高效协同作业。

本章的 7.3 节主要针对远程操控台相关内容进行描述，主要包括布设位置、硬件组成、主要功能、机台匹配等技术内容。操控台设置于中控室或专用操控室内，工作条件按照 GB 50174 相关内容执行；其基础硬件配置主要包含监视器、视频系统、控制主机、计算机、网络设备、语音对讲系统及操控手柄/按钮，可根据需求选配触摸屏；系统通过高速网络与数据中心服务器实时交互机载视频及控制数据；遵循“一对一”绑定原则，即单个操控台仅能绑定一台设备，且设备不可被多台操控台同时控制；操作模式分为远程手动、半自动和全自动三级，在半自动/全自动模式下需设置人工监视机制，异常时可通过手柄介入，故障排除后支持一键恢复自动运行。此外，针对门座式起重机的特殊需求，监视器能够实时显示 7 类关键信息：包括机构运行画面、船舶/物料数据、码头作业区监控等；装载机操控台则需显示 4 类信息（机载视频、运行状态、作业量统计等）和 8 项操控功能（含转向、铲斗动作等）。所有操控台均配备语音对讲系统实现现场沟通，确保异常情况及时处置。该规范通过分层控制逻辑和完备的人机交互设计，

实现远程操作的安全性与高效性统一。

8. 辅助设施

本章主要针对除自动化门座式起重机、装载机和远程操作台以外，为支持非专业化干散货码头实现装船作业自动化，还需要的其他支撑系统、设施等内容进行描述，主要包括码头区域的定位和导航设施、视频监控系统 and 通信网络设施。

8.1 节主要提出码头区域的定位和导航基站采用高精度的差分模式，定位精度达到的精度；此外就装船作业空间、船舶、自动化门座式起重机、装载机等主要涉及的作业要素，建议建立统一的空间模型，位置信息采用统一的大地坐标系。

8.2 节主要表述码头装船作业区域内，除自动化门座式起重机、装载机自带的视频摄像设备以外，在必要的、合理的位置对整个作业区域形成无死角视频监控覆盖，能够通过高速网络实时传送至中央控制室或远程操控室，并可以利用视频摄像系统建立电子围栏监控。

8.3 节主要对码头装船作业区域的无线网络覆盖以及网络安全保护提出相关描述和建议。

三、已开展的试验验证情况、综述报告

（一）试验分析

本指南中涉及的自动化门座式起重机、自动化装载机已经在一些港口码头开展了试点应用。青岛港前港矿石码头对其门座式起重机进行了改造，能够实现远程操控和大部分作业场景的自动化运行，山东港口潍坊港矿石码头的门座式起重机也开始实现远程操控和无人自动化运行。青岛港前港矿石码头对轮胎式装载机进行了智能化改造升级，通过远程操控实现码头面清垛和船舱清理，镇江金港矿石码头对其轮胎式装载机进行了电动化和远程操控改造。目前整体改造效果良好，可以完成大部分场景的无人化作业，作业效率基本与人工持平。

此外徐工集团近年来一直致力于轮胎式装载机的远程操控和自动运行技术研发和应用，陆续推出了 XC958 型、XC968E 型无人驾驶装载机，并在水泥生产

仓库开展了实际应用，效果良好。

（二）综述报告

我国港口码头从装卸货种上主要分为集装箱、干散货、原油和液体化工、件杂货等泊位类型，从装卸方式上主要划分为专业化泊位和非专业化泊位。非专业化泊位中又分为通用散货泊位、通用件杂货泊位、多用途泊位等，其中通用散货泊位主要面向煤炭、矿石、散粮等干散货货种的装卸作业。

非专业化干散货泊位作业工艺主要分为装船、卸船、水平输送、堆场作业等环节。装船作业是指在码头前沿通过起重设备将货物装载到船舱内，卸船作业是指在码头前沿通过起重设备将货物从船舱卸载到码头前沿，水平输送作业是指实现货物在堆场和码头前沿之间的搬运，堆场作业是指货物进出堆场的装卸作业，本指南主要面向非专业化干散货泊位装船作业环节，提出进行自动化改造的技术指南。

传统的非专业化干散货泊位装船作业工艺主要通过人工操作的门座式起重机，利用抓斗将码头前沿作业面上堆积的干散货抓取并装载到船舱中，由于料堆会随着抓斗抓取的影响发生变化，以至于影响门座式起重机抓取效率，还会配合人工操作的装载机对码头面上的料堆进行整理，保证料堆的形状适用于抓斗高效取料，整个装船作业主要呈现出依靠人员在门座式起重机和装载机上进行作业的特点。

传统非专业化干散货泊位装船作业主要存在以下问题：

一是人工作业生产效率难保证。在装船作业中，门座式起重机反复抓取、移转、卸料效率是保证整个装船环节高效率的关键。长时间重复性操控，人工操作对人员的技术水平、工作经验、熟练程度、身体能力等具有较高的要求，由于人员水平良莠不齐，尽管码头企业采用倒班制工作，单班中持续保持高效率作业难度较大，较难保证作业持续处于高效率水平。

二是人工作业安全风险隐患多。装船作业中需要人工操控门座式起重机和装载机，最大的安全隐患是发生碰撞事件，由于采用人工操作，由此受人员个体操作技能、经验、熟练度、精神集中等多要素影响，存在较大的碰撞风险，主要包

括抓斗与码头面装载机发生碰撞，抓斗与船体、船舱盖、舱壁等发生碰撞，造成设备损坏，严重时还会带来人员伤害，为码头企业带来经济损失。

三是人工作业生产成本比较高。在装船作业中主要涉及门座式起重机和装载机联合作业，一台门座式起重机配备 1~2 台装载机，均由人员在机上现场进行操控，一般采用倒班制，这样的作业组合需要约 10 名操作人员，一般情况下一个非专业化码头会配置进百名操作人员，人员成本较高。此外，两种主要作业设备的操控人员需要经过周期较长的专业培训，在一定程度上也增加了成本。

面向传统非专业化干散货码头存在的主要问题，采用自动化技术应用对码头作业进行技术升级，避免或减少人工操控带来的不足，是实现降本增效、提质增效的重要技术手段。随着集装箱码头、干散货码头近十年来在自动化技术应用上的快速发展，也带动了非专业化干散货泊位自动化改造的探索。

在门座式起重机方面，山东港口集团东营港、潍坊港开展了自动化门座式起重机研发，并取得突出效果，东营港“门座起重机智能化控制系统研发及应用”项目通过中国港口协会科技奖一等奖评审。青岛港前港矿石码头、广州新港公司、苏州张家港港等码头也开展了门机自动化作业的研发和应用。在装载机方面，青岛港前港矿石码头开展了远程控制改造研发，江苏镇江金港矿石码头也开展了自动化装载机作业的探索，徐工集团、柳工集团和三一重工近年来研发了多款无人装载机，在水泥场站、矿山等场景开展了应用。这两种设备实现自动化技术升级，摆脱人工机上操作的方式，为非专业化干散货码头装船作业实现无人化或少人化作业提供了有力的技术基础。

结合自动化门座式起重机、自动化装载机的作业特点，码头装船作业可以分为多种作业模式，主要包括全自动、半自动和人工操作三种。全自动作业模式主要是全部实现无人化自主运行，门座式起重机实现抓斗取料、放料点自主选取，移转路径自主规划和管控，自动防碰避撞，多机作业协同等，装载机实现料堆清理策略和路径自主规划，行进、推扒、举升、翻卸动作自动控制，实现物料、抓斗自主避碰等。半自动模式主要是不同的设备进行全自动或半自动运行的组合，其中包括远程操控方式。人工操作则与传统作业模式相同，由人工在机上操控。

在主要工艺设备实现自动化运行的基础上，要形成码头装船作业的系统环境，

还需要建立码头物理空间的数字化场景，建立高带宽、低延时的通信网络，实现精准的设备物料等位置、姿态感知，以及作业过程中的无死角可视化监控系统。目前一般采用激光扫描、卫星定位和电子地图技术实现码头装船作业的空间坐标系建立，借助 5G 通信网络及光纤网络搭建区域告诉通信网络，通过激光扫描、传感器技术配合计算机算法和自动控制系统获取设备机构的实时姿态和货物料堆形状，利用现场布设多个高清视频摄像机对整个装船作业场景实现全覆盖。

随着装卸设备、空间定位、高速通信等技术的不断成熟应用，非专业化干散货码头开展了有益的自动化升级改造研发，相关技术成果也取得了良好效果，在行业内广泛推广具备显著的经济效益和社会效益。面向我国众多的通用散货码头、件杂货码头市场应用前景广阔，为了在后续推广中引导码头企业积极应用，统一技术要求，针对非专业化散货码头装船作业环节制定自动化改造技术指南亟需而且迫切。

（三）预期效果

本指南是在结合目前我国门座式起重机、装载机自动化技术应用水平日趋成熟的基础上编制的，并综合考虑装船作业的系统性建设，提出了非专业化干散货码头实施自动化装船改造的整体技术框架和主要功能要求，对我国众多的通用散货码头后续开展自动化升级改造将发挥较强的引导和指导作用，一些技术环节内容对件杂货码头也存在借鉴意义。

此外，在我国大力推进智慧港口建设、打造世界一流港口的大背景下，针对非专业化泊位如何实现自动化升级改造这一难题，编制本指南是助力弥补自动化码头建设薄弱环节，本指南的编制覆盖从装备个体到码头系统的技术要求，将有力推进非专业化码头实现自动化作业的进程，为有效引导、指导和规范码头自动化建设提供有力的技术支撑。

（四）经济效益分析

本指南的执行，有利于规范非专业化干散货码头实施自动化技术改造，促进码头装船作业自动化技术的进步，实现装船作业无人化操作，避免操作人员个体因素带来的效率低、风险大、成本高的问题，有效助力码头企业降本增效和提质

增效，保障港口高效、安全、稳定运行，因此具有较好的经济效益。

四、与有关现行法律、法规和强制性国家标准、配套推荐性标准的关系

本指南与现行法律、法规、规章和强制性标准协调一致。

五、与国际标准化组织、其他国家或地区有关法律法规和标准的对比分析

本指南与现行起重机相关标准相衔接，作为技术指南提出指导和建议，未采标。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本指南在编制/修订过程中，未出现重大分歧意见。

七、废止现行有关标准的建议

本指南为新制定标准，无现行标准。

八、标准性质的建议说明

本指南旨在引导和指导非专业化干散货码头在实施自动化升级改造工作，尽管相关技术应用已经日趋成熟，但是在一些技术细节上仍需在实际过程中不断细化、优化并完善，建议本指南性质为推荐性标准。

九、涉及专利的有关说明

在本文件编制过程中，目前未接到任何涉及相关专利或知识产权争议的信息、文件。

十、其他应予说明的事项

无。