

DESIGN AND PRACTICE OF
SMART PORTS

智慧港口

设计与实践

李冠军 陈艳春 著

人民交通出版社

北京

Preface

前言

随着全球经济的快速发展和国际贸易的不断增长,港口作为物流链的重要节点,其地位和作用日益凸显。为了应对日益激烈的市场竞争和不断提升的客户服务需求,智慧港口建设已成为我国港口企业转型升级、发展新质生产力的必由之路。自20世纪90年代荷兰鹿特丹港建成第一个自动化码头以来,全球港口掀起了由自动化到智能化再迭代升级到智慧化发展的浪潮。我国港口经历了消化引进、实践探索、自主创新三个发展阶段,正处于技术引领的崭新阶段。

习近平总书记高度重视港口,强调“港口是基础性、枢纽性设施,是经济发展的重要支撑”^①,提出“要志在万里,努力打造世界一流的智慧港口、绿色港口”^②。党的二十大报告明确指出,“要坚持以推动高质量发展为主题”“要加快发展方式绿色转型”。交通运输部以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,认真落实《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《数字中国建设整体布局规划》,按照《加快建设交通强国五年行动计划(2023—2027年)》《水运“十四五”发展规划》有关要求,积极推动全国智慧港口建设。2023年12月发布的《关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见》,明确了到2027年全国建成一批世界一流智慧港口和智慧航道的

^① 习近平在浙江考察时强调:统筹推进疫情防控和经济社会发展工作 奋力实现今年经济社会发展目标任务,载《人民日报》,2020年04月02日01版。

^② 习近平:稳扎稳打勇于担当敢于创新善作善成 推动京津冀协同发展取得新的更大进展,载《人民日报》,2019年01月19日01版。

目标任务。

根据港口发展战略部署,我国各港口企业结合自身战略规划和发展重点积极探索和尝试并取得显著成效,上海、天津、青岛建成首批五星级集装箱智慧港口。河北港口集团认真贯彻落实国家、交通运输部、河北省等关于智慧发展、绿色发展的相关要求,高度重视科技创新的引领作用,积极推动专业干散货和传统集装箱码头的智慧化改造,参与干散货码头智慧港口等级评价指南和评价实施细则的编制,“唐山港京唐港区集装箱码头智慧化改造”项目入选港口功能优化提升交通强国专项试点。

本书结合河北港口集团智慧港口建设历程,梳理了国内外智慧港口的理论和实践,明确了提升生产效率、提高客户满意度、降低运营成本和履行社会责任四个目标,确立了“生产作业智慧化、设备设施智能化、物流服务数智化、安全环保智联化、数字化基础设施建设”五项任务,给出了传统集装箱码头和专业煤炭码头智慧化改造的案例,介绍了国内外智慧港口的评价体系,结合集装箱码头智慧港口评价的案例给出了通过评估持续提升港口智慧化水平的方法。本书从理论、实践和持续改进三个维度对智慧港口的设计和实践进行了阐述。在理论方面,围绕企业智慧港口建设的“四个目标”和“五项任务”,设计了智慧港口建设的总体架构、功能结构、数据架构和系统原型,给出了任务实施过程中的具体方向、方法、工具、技术和关键要素。在实践方面,针对五项任务给出了关键工艺的具体实现,同时对集装箱和干散货码头智慧化改造的技术方案、关键设备、作业工艺等进行了详细介绍。在持续改进方面,结合国内外智慧港口评价标准和指南,以实际案例的形式提出了评估方法和问题诊断策略。

本书撰写过程中,河北港口集团的邵竞伟、高策、张春明、董明全、刘志明、王霄等分别参与了生产作业智慧化、设备设施智能化、集装箱和干

散货码头智慧化改造案例的撰写工作。在本书进一步修改完善过程中,河北港口集团的侯贵宾、杨立光、程建兵、褚国辉、王东旭等给予了支持和帮助并提出了许多建设性的建议,在此表示感谢。我们查阅了大量的文献资料,吸收了一些专家学者的观点,以参考文献的形式列于书末。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大同行专家和读者批评指正,以便我们不断改进和完善。

作 者
2023 年 12 月

Contents

目 录

第1章 绪论	1
1.1 智慧港口的概念与特征	1
1.2 智慧港口的理论研究	10
1.3 智慧港口的实践探索	13
1.4 智慧港口的建设要求	18
1.5 智慧港口建设的目标与任务	22
第2章 智慧港口的体系架构	27
2.1 智慧港口总体框架	27
2.2 智慧港口功能结构	29
2.3 智慧港口数据架构	31
2.4 智慧港口技术架构	38
2.5 智慧港口原型系统	39
第3章 生产作业智慧化	41
3.1 集装箱码头生产作业智慧化	41
3.2 专业干散货码头生产作业智慧化	56
3.3 件杂货码头生产作业智慧化	59
3.4 堆场数字化建造	64
第4章 设备设施智能化	67
4.1 集装箱码头设备智能化	67
4.2 专业干散货码头设备智能化	77
4.3 通用散货码头设备智能化	96
4.4 智慧航道建设框架	101
第5章 物流服务数智化	107
5.1 港口物流服务特点与数智化	107

5.2	通关物流一体化	109
5.3	港口“一站式”客户服务	111
5.4	港口数字化增值服务	114
第6章	安全环保智能化	120
6.1	设备状态在线监测	120
6.2	环境生态在线监测	124
6.3	能源管理系统	132
6.4	安全生产监管系统	135
第7章	数字化基础设施	141
7.1	港口云计算中心	141
7.2	港口通信网络	146
7.3	港口数据中台	152
7.4	港口电子地图	156
7.5	港口物联感知网	161
第8章	传统集装箱码头智慧化改造案例	166
8.1	项目背景与目标	166
8.2	项目建设内容	167
8.3	项目实施效果	176
第9章	专业散货码头自动化建设案例	179
9.1	项目背景	179
9.2	项目建设目标与步骤	182
9.3	项目建设内容	184
9.4	项目实施效果	193
第10章	智慧港口建设成效评估与展望	195
10.1	国外智慧港口评价体系	195
10.2	国内智慧港口等级评价标准	202
10.3	集装箱码头智慧港口等级自评案例	207
10.4	智慧港口建设发展趋势与展望	219
	参考文献	224

第1章 | 绪论

1.1 智慧港口的概念与特征

1.1.1 智慧港口的发展历程

1.1.1.1 智慧港口的溯源

根据联合国贸易和发展会议(UNCTAD)对港口发展阶段的划分(图 1-1),自第五代港口起,全球港口步入了一个以智慧港口为代表的全新发展时期,标志着现代港口发展的前沿趋势。20 世纪 60 年代,港口的功能相对有限,主要聚焦于基本的装卸作业。然而,随着 60 年代至 80 年代的发展,港口开始与交通、产业、商业等多个领域实现了综合性一体化,这一转变不仅拓宽了港口的功能,也为港口提供增值服务创造了条件。进入 20 世纪 80 年代,港口的传统功能(即第一代和第二代港口的特点)得到了进一步的整合与深化,形成以港口为核心的综合运输和商业链条。特别是第三代港口,其特征更是突出了港城关系,着重于城市与港口空间的统筹规划以及资源的优化配置。而伴随着 2010 年之后的工业 4.0 革命,从第四代港口开始逐步向“智慧港口”的概念转型,这一历史性的演进阶段,特征是数字化转型的全面深化^[1]。在这一过程中,传感器技术、无线通信技术、无人机、区块链、新能源、智能网络等一系列新

兴技术的应用,为港口赋“智”赋“能”,集约经营,提质增效^[2]。

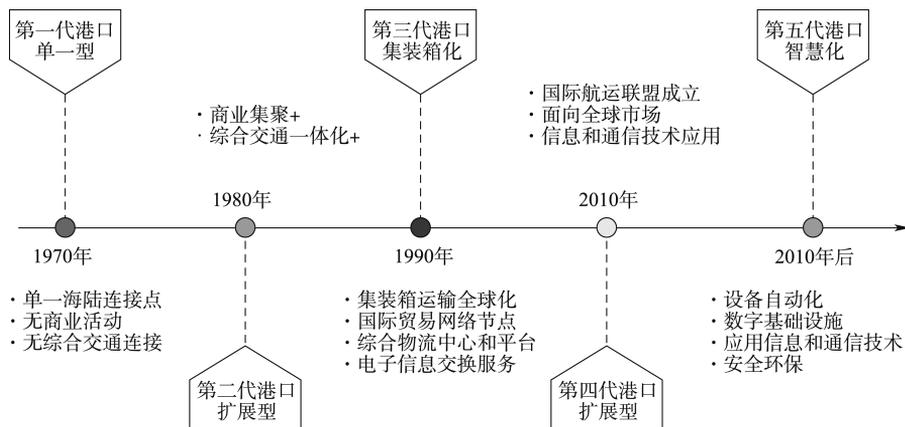


图 1-1 港口发展历程

1.1.1.2 第六代港口出现

港口发展是一个迭代演进的过程, Kaliszewski 等^[3] 参照第四代、第五代港口的标准, 提出第六代港口的概念。2015 年, Lee^[4] 定义了第六代港口相对第五代港口的特征和标准(表 1-1), 主要体现在港口的服务、技术、可持续发展、集群和枢纽五个方面。需要注意的是, 不同组织机构从不同的角度出发, 对港口发展阶段的划分会存在差异。

第六代港口与第五代港口的比较

表 1-1

方面	具体指标	第六代港口的评价指标	第五代港口的评价指标
服务	服务质量	具有可靠保障性, 有效应对任何不确定性	具有可靠保障性, 存在较低不确定性
		高效服务	—
技术	通信技术	通信网络广泛支持单一窗口和港口业务系统	通信网络广泛支持单一窗口和港口的生产运营业务系统
	信息技术	射频识别技术 (RFID) 和其他 IT(互联网技术) 在运营和管理中深度应用	RFID 和其他互联网技术在运营和管理中广泛应用

续上表

方面	具体指标	第六代港口的评价指标	第五代港口的评价指标
技术	智慧港口平台	广泛应用人工智能(AI)、区块链、智能计算、大数据分析,贯穿于全流程全方位的智能决策与实施	—
可持续发展	港城关系	港城协同度更高,网络化、立体化的协同体系显现	实现了一定程度的协同
	港口韧性	以常规化的培训、专业化的人员配置、有效的行动来应对各种风险和事故,展现出港口强大的韧性	—
	绿色环境	一体化发展、绿色发展	一体化发展、绿色发展
集群	港群管理	港群协同	港群协同
	航运资源集聚	航运资源向高端集聚	航运资源向高端集聚
枢纽	全球性连接	满足大型船舶,没有技术障碍,港口效率极大提升	满足大型船舶,没有技术障碍,港口效率极大提升
	物流枢纽	腹地连接更广泛、增值服务能力强	腹地连接更广泛、增值服务能力强
	智慧港口的管理	行业领先者地位	—

1.1.2 智慧港口的特征

智慧港口的特征也是第五代港口区别于第四代港口的特点,主要表现在业务、发展理念、支撑技术三个方面。

1.1.2.1 业务特征

Buiza^[5]等人定义了智慧港口涉及的五个活动领域:生产运营、自动化、创新技术的应用、能源和环境,其中自动化方面主要是指机械设备、系统或者生产过程和管理过程在没有人或者较少人员的直接参与下,按照

人的要求,经过自动监测、信息处理、分析判断、操作控制实现预期目标的过程。Molavi^[6]首先将 Buiza 提出的“创新技术的应用”和“自动化”合并到“生产运营”领域,并在 Buiza 的基础上又增加“安全和保障”活动领域,此时智慧港口的业务分为:生产运营、环境、能源、安全和保障四个活动领域^[7]。与智慧港口建设相对应的企业治理结构、社会责任和人力资源管理也随之跟进。因此,智慧港口与第四代港口在七个领域(生产运营、环境、能源、安全和保障、人力资源、智能基础设施、设备设施)均有显著区别^[8]。为了对智慧港口的绩效进行评价,Molavi 等^[6]在构建智慧港口评价体系框架时将智慧港口的业务活动领域进行梳理和归纳,形成“生产运营、环境、能源和安全”四个领域”,并对业务领域所包含的子领域做了严格划分。该研究为智慧港口的绩效评价指标的确定提供了依据。

(1)生产运营。包括生产作业、设备自动化和智能基础设施。以较低的成本实现港口作业效率和效益提升;为客户提供增值服务和智能交通管理与规划的定制服务;智能商业模式的实施和供应链纵向、横向整合带来的业务拓展,以及利益相关者管理和客户满意度的提升。

(2)环境。主要是通过环境保护,降低港口活动对人类和动物的福祉产生有害影响。在实践中,智慧港口通过实施环境管理系统,减少大气排放,降低噪声污染,减少废弃物排放。

(3)能源。港口实施能源管理解决方案,一方面是扩大可再生能源的使用,最大程度取代化石能源,另一方面是提供最佳的能源消耗管理系统^[7]。

(4)安全和保障。减少与港口运营有关的事故,保护员工和居民免受任何外部和内部威胁。根据国际和国家法规、法律和标准,包括符合国际海事组织(IMO)标准和要求的安全管理体系,做好企业内外部资产和威胁的识别,完善安全体系^[8]。

1.1.2.2 发展理念特征

(1)迭代创新。智慧港口是数字技术创新的成果,在数字技术支撑

下,港口具有自主感知、自主决策、自主装卸、自主协同和自主演进五方面特点^[10]。智慧港口基于物联网、大数据等及时感知工作对象的位置和状态;通过采集的数据和已有工艺标准作出最佳决策;将决策指令传递到设备设施,实现货物的自主装卸;将作业信息共享给船公司、货主、口岸、铁路等单位,实现自主协同;利用深度学习技术,优化工作方案,实现自主演进,带动港口更加智慧。

(2)数字共享。共享是指公众通过社会化网络平台,分享各自所拥有的闲置资源,帮助其他有需求的人或组织完成消费。港口领域的共享主要包括数据及信息的共享、设备与设施的共享、运输工具动态信息的共享。港口作为腹地与外部联系的平台,其服务对象不仅是港口城市本身,还包括腹地中的其他城市,处在枢纽地位的港口在发展过程中要充分考虑区域发展情况,加强与腹地其他城市的互动,在提升港口服务范围的同时,还要使港口能够更大范围地调配腹地资源,充分发挥腹地其他城市在港口物流链中的比较优势,实现港口与腹地深度整合,形成一个整体参与国际竞争,突出港口在全球资源配置中的积极作用,提高港口的国际竞争力。

(3)多元协同。协同是指协调两个或者两个以上的不同资源或者个体,使其协同一致地完成某一目标的过程。港口领域的协同包括港口内部各单元间的协同及港口外部各单元间的协同。港口内部的协同主要有水平运输设备、堆场、装卸设备间的协同。港口外部的协同包括车、船、货之间的协同,也包括车与路、车与码头、船与码头之间的协同。标准化、智能化的港口设备与物联网技术是港口协同运作的基础,而港口自动化程度的提高最终目的是要提升港口资源配置的能力。大数据、云计算、区块链等数字技术与港口业务的融合使港口的资源配置范围显著扩大,从而引发更大范围的港口竞合。随着数字技术的广泛采用,港口物流的商业模式也随着创新,港口大数据的资源价值提升,不仅提高了物流服务的效率,同时促进了供应链的深度协作。

(4)绿色发展。自第四代港口开始,建设生态环保的绿色港口已经成为港口建设的基本要求,在第五代智慧港口建设过程中,绿色港口仍然是关键的组成部分。港口与所在城市居民的生产生活有着紧密的联系,随着绿色发展理念深入人心,港口对城市居民生存环境的负面影响受到了广泛关注。智慧港口在运用环保技术的同时,优化商业运营模式,控制港区的规模,减少港口运营对城市用地及城市交通资源的占用,实现更深层次的绿色发展。智慧港口发展的高级阶段必然要统筹环境效益与经济效益之间的权衡关系,一味地追求经济效益而忽略了环境效益的发展自然不可取,而一味地考虑环境效益不顾经济效益亦违背了智慧港口建设的初衷。

(5)开放发展。智慧港口与国际接轨不仅体现在集疏运体系和设施设备方面,更体现在航运服务等软实力方面。现如今,世界上知名的先进港口大都以自由贸易港为主,如新加坡、中国香港、迪拜等,其成功的背后都有良好的政策支持。因此,打造与国际标准接轨的自由贸易政策体系是智慧港口建设的重要环节。此外,智慧港口还将运用先进的数字技术,积极发展平台经济,为全球的合作伙伴提供诸如航运金融、航运保险、航运仲裁等服务,真正成为国际化的先进港口。

(6)集约高效。智慧港口回归港口的原始功能,以运输枢纽为核心,以互联网的形式为市场提供信息服务、航运金融等延伸业务,不会过度发展以物流配送、仓储服务为主的实体延伸业务,从而控制港区陆域规模和投资规模,优化资产配置,提高港口的抗风险能力,避免因不良资产影响港口主业的健康发展。智慧港口以沿海港口、腹地陆港及支线港口的港区为主要活动范围,对港口业务进行合理配置,确保港口在瞬息万变的市场竞争中具备灵活应变、捕捉机遇的能力。

1.1.2.3 支撑技术特征

智慧港口的关键在于“智慧”。智慧是知识的学习、应用、交流的过

程^[11]。与人类智慧的产生相比,港口只有具备感知、思考、运用和交流四个要素才能表现出智慧。这四个方面的能力需要物联网、大数据、云计算、自动化和人工智能等技术作为支撑,具体到港口作业中,感知设备的作用是采集生产和环境安全监测中产生的数据,大数据的作用是将得到的数据进行分析,得到其规律和规则,从而形成知识。通过对知识的运用提高港口决策水平。智慧港口的主要支撑技术见表 1-2。随着人工智能和深度学习的发展,港口的智慧水平不断提升,港口的运行更加高效、安全和环保。

智慧港口的支撑技术

表 1-2

业务领域	应用场景	主要支撑技术
作业自动化	智能闸口	RFID、图像识别、定位
	车辆管理	全球导航卫星系统(GNSS)、RFID、自动驾驶
	船舶管理	GNSS、卫星通信、船舶自动识别系统(AIS)、船舶交通管理系统(VTS)
	泊位与航道	感知技术、卫星通信、遥测遥控
	库场管理	RFID、地理信息系统(GIS)、图像识别、数字孪生
	设备自动化	远程操控、自动控制、协同优化技术、机器人
	作业调度	大数据分析
	设备监测	传感技术
智慧物流	港口内外物流	通信技术、AI、RFID、电子数据交换(EDI)
	线上客户服务	EDI、区块链技术、认证技术(CA)、电子签章
智慧口岸	海关、海事、边检、检验检疫	数字签名、EDI、区块链技术
智慧商务	跨境电商	区块链技术、EDI、数字签名
	增值服务	数字签名、认证技术、大数据分析
	网上收费与结算	安全支付技术
能源和环境	能源使用、环境监测	感知技术、大数据分析
安全、应急管理	安全生产	智能安防
经营管理	人财物等综合管理	决策支持技术、AI
智慧基础设施		通信技术、云计算、GIS、AI

1.1.3 智慧港口的概念

1.1.3.1 智慧港口的概念框架

智慧港口的概念是不断发展的,到目前为止还没有标准化的定义。研究者多从智慧港口的特征出发描述智慧港口,主要观点如表 1-3 所示。一是从发展理念出发来定义,如 Karaš^[12]从发展理念上认为智慧港口更专注于客户满意度的提升,认为智慧港口不应仅强调客户满意度,更应该关注合作伙伴之间的关系,考虑整个物流生态系统的协同。二是从港口的业务特征来定义,认为智慧港口是一个互联的、可持续的、安全和自动化的港口,它依赖于智能的基础设施和设备、经验丰富的员工队伍和智慧化的管理实践,以提升客户满意度、环保水平和生活质量。三是从技术特征来定义,认为智慧港口是新一代信息通信技术、人工智能和自动化等前沿技术,以应对船舶大型化挑战,符合安全和环保法规要求,并满足社会公众关切。

智慧港口的概念集

表 1-3

作者	定义
Heilig ^[13]	智慧港口首先已经成为转运中心(枢纽港),通过对港口基础设施的投资以提高竞争力、改善运营效率。向智慧港口转型,需要利益相关者的合作、认可与支持,以避免货物延误、问题频出和产生额外的成本
Yau ^[14]	港口通过在利益相关者之间实时共享动态信息,提供创新性的服务和解决方案,从而实现高效和可持续的决策
González ^[15]	智慧港口主要体现在集装箱完全自动化(装、卸、储、移)处理
Williams ^[16]	通过实时共享的平台,在利益相关者之间提供全新的高效服务
Buiza ^[5]	从运营、创新性技术应用、自动化、能源、环境五个方面来界定智慧港口涉及的业务领域。尤其创新性技术应用和自动化,这将使以更低的成本进行数据共享、提高生产率、港口运营效率等成为可能

续上表

作者	定义
Kaliszewsk ^[3]	智慧港口成为港口腹地和海洋运输连接和整合的物流网络
Siror ^[17]	智慧港口是基于创新的信息通信技术、前沿技术、人工智能和自动化来做出有效预测的决策,智慧港口还被认为是一个可持续发展的港口,以应对船舶大型化挑战、安全和安保法规要求,并满足社会公众关切
Abbasi ^[18]	智慧港口采用创新技术,实现预测性决策,并采用实时工具来监测减轻不利的环境影响
Marikka ^[19]	智慧港口成为智慧城市的一部分,由一系列基于数字化和先进可持续技术的公司和生态系统组成
宓为建 ^[20]	智慧港口秉承创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,指出智慧港口是为现代物流业提供高安全、高效率和高品质服务的新型生态港口
中国港口协会 ^[21]	以现代化设施设备为基础,以完善的发展规划、管理机制为导引,通过物联网、移动互联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术与港口功能的深度融合,具备智能管理、智能装卸、数智服务等鲜明特征的新型生态港口

为了更好地对智慧港口进行定义,美国国家开发银行在 2020 年提出一个智慧港口的概念框架,该框架将港口放在整体物流生态系统的核心位置,将智慧港口分为数字化战略、数字技术、人力资源、效率、可持续性、安全与保障六个组成部分^[22]。

1.1.3.2 智慧港口的概念界定

借鉴图 1-2 的概念框架思想,结合第六代港口的研究进展,对智慧港口的概念进行界定。对于港口企业来说,将传统港口改造成智慧港口不仅要考虑自身的需求,更要考虑其所在价值链的需求;不仅要考虑使用哪些数字技术,更要有数字化战略和文化战略的指引^[22]。本书将智慧港口定义为:智慧港口是以安全、便捷、绿色、高效、经济、包容、韧性为发展方向,以提升



图 1-2 智慧港口的概念框架

来源:美国国家开发银行智慧港口手册。

生产效率、提高客户满意度、降低运营成本和履行社会责任为目标,基于物联网、人工智能、云计算、大数据等技术的持续创新与应用,通过生产作业智慧化、设备设施智能化、物流服务数智化、安全环保智联化以及数字化基础设施建设,实现信息全面感知、业务高效协同、决策科学智能、发展绿色安全的现代化港口。

1.2 智慧港口的理论研究

1.2.1 数字化转型与智慧港口

在早期的“数字化”文献中,“数字化”多用于测量与计算,指依靠计算机技术把各种形式的信息转换成二进制数字代码,以方便处理加工、储存传输,并在需要时进行还原,从而实现信息快速处理与交流的过程。这种以二进制形式表达的作品被称为数字作品,经过数字化处理并通过数字网络传输的产品被称为数字产品,在这层含义上,计算机历史有多长,“数字化”的历史就有多长。

1994年,袁正光《数字革命:一场新的经济战》一文首次从整合的视角总结了数字化对于各个行业的影响。此后,数字化表现为数字技术发展及应用的一种社会趋势和过程状态,这个过程被称为数字化转型。数字化转型作为企业发展的核心战略方向已被广泛关注。对企业而言,数字化主要从业务流程、价值创造方式、组织形式、技术创新以及决策方面做出转变。除此之外,数字化转型还引致企业文化等其他方面的转型。

数字化是一个“新赛道”,为港口提供了新机遇。智慧港口的建设不是

一蹴而就能实现的。首先,需要依据图 1-3 确定其所处的发展层级,然后开始行动。图 1-3 中,第一级(Level 1)是港口内部数字化转型,主要是为办公、生产作业和商务管理开发软件。第二级(Level 2)是港口间连接提升阶段,实现贸易便利化及电子手续办理。第三级(Level 3)港口区域连接阶段,强调物流节点的协同,在第二级基础上,强调港口与所在城市的连接。第四级(Level 4)是泛在连接的港口。采用互连网、大数据、区块链、人工智能和虚拟现实等技术实现车辆、设备、基础设施、个人、企业、城市、环境之间的互连,为端到端的物流连接提供数字平台。



图 1-3 智慧港口的层级划分

1.2.2 智慧港口建设的关键因素

智慧港口的建设是一个复杂的过程,影响其成功的关键因素包括投资回报、技术成熟度、合作伙伴、人才支撑、安全性五个方面。

1.2.2.1 投资回报

智慧港口的建设需要在数字基础设施、先进设备、软件开发、专业人才以及培训等方面投入大量资金。因此,对于港口企业的决策者而言,对投资

带来的作业效率提升和经济效益增长进行深入分析是至关重要的。

1.2.2.2 技术成熟度

技术的成熟度直接关系到智慧港口能否成功建设。如果采用的技术尚未成熟,可能会导致整个项目的失败。考虑到港口作业的连续性和可靠性,关键环节应选用成熟的技术和设备。在技术广泛应用前,进行充分的验证和试验是确保技术可行性的有效途径。

1.2.2.3 合作伙伴

合作伙伴的选择对于智慧港口的建设同样至关重要。尤其是在技术提供和系统集成方面,合作伙伴需要有丰富的经验、强大的实力和良好的市场口碑,这些都是项目成功实施和长期运营的重要保证。

1.2.2.4 人才支撑

人才支持是智慧港口建设的另一个关键。信息技术、机电一体化、人工智能训练师、物流管理、供应链服务等领域的专业人才是构建和运营智慧港口的基础。如果缺乏这些专业人才,将严重影响智慧港口的建设和运营。

1.2.2.5 安全性

在智慧港口建设中,数据安全、隐私保护是重要的考虑因素,必须确保所有操作和数据存储都符合相关法规和行业标准。

综上所述,资金、技术、合作伙伴、人才和安全性共同构成了影响智慧港口建设的多维度原因。在智慧港口的建设过程中,必须全面考虑这些因素,并制定出相应的策略和措施,以保障项目的顺利进展和最终的成功实现。

1.2.3 智慧港口的发展态势

在智慧港口的建设中,发展理念由单一提升客户满意度拓展到物流生态系统建设;业务领域由单一港口业务领域数字化拓展到全球港口数据交换数字化;建设目标由单一提升运营效率拓展到经济、社会、环境和安全多

目标融合。同时,我们还注意到,在智慧港口建设中,以亚马逊和阿里巴巴为代表的电子商务巨头已经成为海上物流的重要参与者。这些巨头通过将业务扩展到货运代理和物流服务,通过传感技术和物联网将实现门到门的跟踪和监控。在此背景下,一些货运代理和航运代理将会被淘汰,港口航运链的利润也将再分配。目前看智慧港口发展的基本态势如下:

(1) 高端技术应用引领传统港口向智慧港口转型升级,成为港口发展新方向。以数字化推动智慧化港口建设,以数字化带动信息流、资金流循环,以数字化推动港口资源配置能力提升,能够提高港口综合竞争力和效益。通过高端技术的融合应用,让智能监控、响应、协同、分析、预警以及智慧展示融为一体,促使港口业务全过程实现“能知、能看、能管、能预测”,引领智慧港口转型升级。

(2) 与港口业务深度融合的一体化链式协同平台,成为港口服务链的支撑。随着“互联网+”思维不断深化,以港口、航运企业为代表的传统型劳动密集型产业亟待打破自身业务的局限,实现业务的横向合作和纵向延伸。通过共创一体化链式协同平台,在港口智能化运营、港际联盟对接、口岸监管互通、电子商务拓展、供应链金融增值服务等方面取得新进展和新突破,实现港口供应链上各种资源和各个参与方之间无缝连接与协调联动,形成数字化、智能化、最优化的现代港口。

(3) 突破数据共享瓶颈,全球港口数据交换全面提升。数字技术不仅支撑港口技术与业务融合,还是政府制度创新的催化剂。政府需要及时为技术创新、人才培养提供理想的发展环境和政策支持,携手探索新一代信息技术在港口业的多元化应用,共同突破行业数据共享瓶颈,加速整个产业链的优化与整合,全面提升行业综合服务能力,实现合作、发展、共赢。

1.3 智慧港口的实践探索

世界主要港口都在探索智慧港口的建设,由表 1-4 可以看出,新加坡港

的很多实践都是由港务局和码头公司共同完成的^[19],这是我国智慧港口建设中值得借鉴的地方。

智慧港口的实践

表 1-4

类别		创新活动	安特 卫普	巴塞 罗那	费力 克斯托	哥德堡	汉堡	鹿特丹	上海	深圳	新加坡	
码头 自动化	码头 作业	设备远程控制			AT			T	AT	T	AT	
		码头自动化	T	T			T	T	AT	T	AT	
		集装箱转场和操作优化					T		AT	T	AT	
	海侧 交通 优化	自动靠泊/海侧设备							A			
		感应监测数据	A	A				AT	AT	AT	T	AT
		港口外部数据共享平台	A	A				AT	A		T	AT
		智能交通管理(物联网, 预测性大数据分析)			A			AT	A		T	AT
	腹地 交通 优化	数字化海关流程	A	A				T	AT	AT	AT	AT
		集卡预定系统 (预期卡车到达时间)	T	A	AT			T		AT	T	AT
		自动化闸口	T	T			T		AT	AT	T	AT
		多式联运路线规划	A		AT				A	AT		AT
	安全 保障	货物放行/货物 质量检测(区块链)	A		AT				A			AT
		网络安全						A	A			AT
可 持续 性	能源	船舶岸电使用	A	A		A	A	A	AT	T		
		太阳能	A	T	AT						T	
		风能	A					T	A			
		码头能源使用多样化	T	T	AT	T	T	T	T	AT	T	AT
	其他	可持续性证书/资质		A	AT	T	A	AT			T	T
		空气质量检测	A	A	AT	A			A	AT		T

续上表

类别		创新活动	安特 卫普	巴塞 罗那	费力 克斯托	哥德堡	汉堡	鹿特丹	上海	深圳	新加坡
合作 相关者 价值 创造	利益	创新基金		A			T	A			AT
		创新生态圈打造	A	A	AT	AT	A	A		T	AT
		跨组织平台数据共享	A	AT	AT	T		A		T	AT
		集装箱监控设备					T	AT		T	AT
		异常处理,创新挑战	AT	A			T	A			AT
技术示范 及应用		5G	A	AT	AT		A	A	AT	T	AT
		区块链		A		T	A	AT	AT	T	AT
		碳捕获	A			A	T	AT		T	AT
		数字孪生/物联网	A					A			AT
		车辆循环穿梭					A	A	AT	T	AT
		氢能	A				T	A			
		自动化船舶	A				A	A	AT		A
		自动化集卡			AT	T	T	A			AT
		无人机	A				A	A	AT	T	AT
	3D 打印					T	A			AT	

注:此表根据文献[9]整理而成。A-港务局,T-码头运营商。

1.3.1 国外智慧港口的实践经验

在智慧港口建设中,港航管理部门发挥着重要的引领作用。欧盟委员会在2019年制定了包括港口在内的交通运输路线图行动计划,在水上运输方面提出四个目标:安全、提高效率、创新商业模式、环保。根据该行动计划,首先推进的是自动化系统的应用(如基于多传感器数据融合的实时监控系统、自动系泊、短途海运的自主船舶)。海事部门相继制定发展计划,鼓励港口努力实现智能化和可持续的企业管理,但普遍认为这仅是海事部门的

发展计划,目标仅仅是提高效率,很少提及港口应该采用哪些技术去实践。随着人们环境意识的增强,交通运输政策的目标增加了运输“碳中和”及环境监管职能,港口主要是利用数据分析工具监测港口运营环境。此时,数据分析行业内的权威认为从港口长期发展规划来看需要制定数据传输标准。国际海事组织在2014年11月启动电子导航行动计划,引导通过培养大局意识来提高海上安全,数据标准化旨在解决数字化导航系统和港口信息系统的兼容问题。

在智慧港口建设中,港口企业对内运用物联网和云计算等技术实现精细化管控,对外通过创新经营模式,提升整个服务链的协作能力。对内应用物联网技术实现数据的采集和处理,实时跟踪、监控、统计与查询,通过数据流的有效组织整合信息资源,实现大数据平台与码头作业调度的衔接,不仅可以对港口生产经营的全过程进行监控,还可以提高风险管控能力、客户服务能力、辅助决策能力。对外,整合口岸通关服务,形成网上港口平台,提供一站式服务,降低客户服务、物流衔接等的时间成本,尤其是对航线较少的港口,更可以提高服务精准性。

1.3.2 我国智慧港口的探索与实践

我国港口经历了消化引进、实践探索、自主创新和技術引领四个发展阶段,当前正处于技术引领的崭新阶段。自2016年以来,厦门远海码头、青岛港前湾四期、上海港洋山四期等集装箱自动化码头相继建成并投产,如今自动化集装箱码头数量达到18个,泊位数量54个。截至2022年,我国港口万吨级及以上泊位数量2751个,智慧码头建设和应用积累了较多的成功经验,也存在着广阔的发展空间。

2017年,交通运输部正式印发《关于开展智慧港口示范工程的通知》,我国智慧港口建设正式开启快速发展阶段。我国集装箱自动化码头建设在平面布局、装卸工艺、设备选型、系统及网络建设、低碳绿色等方面各具特

色,例如:天津港北疆港区 C 段智能化集装箱码头是全球首个智慧零碳码头;日照港建成全球首个顺岸开放式全自动化集装箱码头;深圳妈湾智慧港是我国首个由传统散杂货码头升级改造成的自动化集装箱码头;北部湾港钦州自动化码头是全球首个海铁联运自动化集装箱码头(表 1-5)。

我国港口自动化集装箱码头

表 1-5

	码头泊位	自动化程度	投产时间(年)
新建	青岛港前湾自动化码头	全自动	2017
	上海港洋山四期码头	全自动	2017
	芜湖朱家桥综合物流园区一期码头	半自动	2020
	太仓港四期码头集装箱码头	半自动	2021
	天津港北疆港区 C 段码头	全自动	2021
	广州港南沙港区四期码头	全自动	2022
	广西北部湾港钦州大榄坪南 7~10 号泊位	全自动	2022
	南通港通州湾吕四作业区 8~9 号泊位	全自动	2022
	深圳盐田港东作业区集装箱码头	全自动	2023
改造	厦门港远海码头(海沧港区 14~17 号泊位)	全自动	2016
	宁波舟山港梅山港区二期 6~10 号泊位	半自动	2020
	深圳港妈湾港区 3~4 号泊位	全自动	2021
	日照港顺岸开放式集装箱码头	全自动	2021
	武汉阳逻港集装箱铁水联运二期码头	半自动	2021
	厦门港海润码头(海沧港区 4~6 号泊位)	全自动	2022
	威海港青威集装箱码头 17 号泊位	半自动	2022
	唐山港京唐港区 25 号泊位	全自动	2023

2023 年 11 月 10 日,交通运输部办公厅发布《关于公布港口功能优化提升交通强国专项试点项目(第一批)的通知》。《通知》入选的 14 个试点项

目包括7个专业散货码头、4个集装箱码头和3个客运码头,目的是通过对已建成的港口、码头的升级和智慧化改造,增强港口能力韧性,巩固强化沿海港口“硬核”力量,维护产业链、供应链稳定,力争通过试点形成一批先进经验和典型成果^[23]。

总的来讲我国智慧港口建设的探索与实践取得了显著成效,走在了世界前列。但是仍然面临着一些短板和问题。一是数字化智慧化应用深度和广度有待拓展,尚未形成统一的规范标准,港口物流链的互通共享和协同作业还存在不足。二是网络安全、数据安全保护重视不够,关键核心技术自主可控水平有待进一步提升。三是码头生产管理系统(TOS)作为生产作业智慧化的“核心大脑”,其标准化和市场化推广尚显不足。四是多梯级船闸信息交互不畅,联合调度还未全面实现,航道养护管理智慧化程度不高。

1.4 智慧港口的建设要求

1.4.1 国家层面的指导意见

习近平总书记高度重视数字经济、智慧交通发展,多次作出重要指示,强调“要大力发展智慧交通和智慧物流”^①“努力打造世界一流的智慧港口、绿色港口”^②,为包括智慧港口和智慧航道在内的智慧交通发展指明了前进方向、提供了根本遵循。国家层面先后出台了《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《数字中国建设整体布局规划》,以及《加快建设交通强国五年行动计划(2023—2027年)》《水运“十四五”发展规划》等,推

^① 与世界相交 与时代相通 在可持续发展道路上阔步前行——在第二届联合国全球可持续交通大会开幕式上的主旨讲话,载《人民日报》,2021年10月15日02版。

^② 习近平:稳扎稳打 勇于担当 敢于创新 善作善成 推动京津冀协同发展取得新的更大进展,载《人民日报》,2019年01月19日01版。

动智慧港口和智慧航道建设发展,加快建设交通强国水运篇。2023年11月,交通运输部印发《关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见》,包括总体要求、夯实数字底座、推进生产运营管理智慧化、推进对外服务智慧化、强化科技创新与国际交流合作、实施要求六部分,提出了25项任务。按照该意见,智慧港口建设的任务主要包括以下内容:

1.4.1.1 夯实数字底座

推进信息基础设施建设:强调要推进港口和航道智能感知设备部署应用,增强动态监测能力,加快重要港区和高等级航道智能感知网建设,推动新建码头和通航建筑物同步实现基础设施自动化监测,提升沿海航道的透彻感知及精确定位能力。推进港口和航道基础设施与云计算、大数据、物联网、人工智能(AI)、区块链、移动通信、卫星导航、建筑信息模型(BIM)等信息通信技术的融合应用。鼓励建设港口和航道数字孪生平台。

构建水运数据资源体系:强调要提升行业数据共享水平,建立“部-省-运行单位”三级数据资源体系,建立健全港口和航道信息资源共享机制,实现相关数据资源共享共用。推动打造数据、服务、算法为一体的“数据大脑”,按需构建技术和数据支撑平台,强化多层次智能算力支持。加强数据资源管理,推动建立数据的分类分级确权授权制度,依法开展数据的挖掘、评估、流通、交易和服务,推动培育数据服务生态,发展数据要素产业链。

提升网络和数据安全能力:强调要完善网络安全防护体系,加强码头自动化控制、生产作业、通航建筑物运行调度等重要信息系统的网络安全管理、安全检测与风险评估。加强数据安全保护,落实数据分类分级管理,推进数据的全生命周期安全管理。

1.4.1.2 推进生产运营管理智慧化

推进港口生产智慧化:有序推进集装箱码头和大宗干散货码头作业自动化、智能化建设或升级改造。推动干散货数字堆场建设。加快研发新一

代自主可控的自动化集装箱码头生产管理系统,鼓励建设干散货码头生产作业一体化管控平台。

推进航道养护智慧化:推动长江干线、西江航运干线、京杭运河等建设完善航道智慧养护管理系统,推进智能航道巡查、智能疏浚装备及配套系统应用。推进航道测量技术智能升级,推进高等级航道船闸智慧化升级。

推进运营管理智慧化:建立健全港口和航道智慧安全防控体系,提升应急处置和调度指挥智慧化水平、安全监管智能化水平。推动船闸自动化运行、多闸联动一体调度、通航建筑物联合调度机制,推广船闸区域集中控制技术。推进港口岸电信息系统建设,鼓励清洁能源多能互补及设备迭代升级,推进能耗智能监测、能源智能管理、环境智能监测等系统的应用。鼓励建设基于“数据大脑”的综合管理系统,加强运营监管与风险防控,增强综合管控效能。

1.4.1.3 推进对外服务智慧化

推进港口对外服务智慧化:推进物流服务便利化,提升港口集疏港智能化水平,推进作业单证“无纸化”和业务线上办理,推动建设面向全程物流链的“一站式”智慧物流协同平台。推进商贸服务协同化,推进国际贸易、航运信息、交易平台、融资授信、航运保险等商贸增值服务,发展定制化服务。

推进航道公共服务智慧化:建立智慧航道服务体系,推进船舶过闸服务、航道公共服务智慧化,推进船舶过闸“一站式”服务,加大水上服务区智慧化建设力度。推动电子航道图建设和应用,推进高等级航道率先实现电子航道图全覆盖,加强电子航道图与电子海图推广升级、融合应用,服务江海联运。提升长江航运智慧化水平,完善长江数字航道建设。

1.4.1.4 强化科技创新与国际交流合作

强化科技和标准支撑:鼓励围绕智慧港口和智慧航道关键技术开展联

合科技攻关、发展战略研究,加快推进自动化港作机械等关键技术研发与应用。建立健全智慧港口和智慧航道标准体系、相关技术指南和标准规范。

强化协同联动和交流合作:强化港航和海事的信息互换和监管互动,加强与海关、国检、边检等部门信息互换、执法互助合作,建立“互联网+”信用监管模式。推动港航数据共享、业务协同、一体化发展。开展智慧港口和智慧航道的国际交流,开展智慧港口国际对标评估,统筹做好与国际标准的衔接。

1.4.2 港口企业的保障要素

从港口企业的角度来说,智慧港口的建设是一个彻底的信息化和数字化转型过程。支撑智慧港口建设的要素有很多,这些要素相互交织、相辅相成,共同构建了智慧港口数字化转型的坚实基础。

(1)顶层设计。港口企业一把手的领导和承诺是推动港口智慧化的关键。需要制定全面的信息规划,充分考虑各部门、各单位的切实利益和完整的业务流程。

(2)资源投入。需要足够的资源投入,包括财务、人力和技术支持,保证数字化转型所需的基础设施和系统建设。

(3)跨部门合作与协调。智慧港口管理的高管团队在促进部门间的协作方面起着至关重要的作用,要从顶层打破各部门之间的壁垒,建立有效的沟通桥梁,创建良好的协作机制,塑造全员对数字化转型的认同感和紧迫性,才能保证数字化转型推动的顺利进行。

(4)激励与培训。设定激励机制,激发全员参与数字化转型的积极性,并提供必要的培训与支持,确保每个员工都能适应新技术和系统。

(5)监督与评估。需要建立有效的监督机制,定期评估数字化转型的进展,制定可衡量的指标并定期进行考核,及时调整和优化顶层设计,以确保目标的实现。

(6)数据共享。智慧港口建设需要建立一个统一的数据交换标准,实现流畅的数据交换与共享,促进港口运营更高水平的业务协同。

(7)持续创新。为了应对不断变化的技术、环境和需求,港口企业在数字化转型中需要时刻关注并持续创新,不断探索新技术,评估其在港口运营中的应用潜力,并积极推动实施这些创新。

(8)人才培养。建设智慧港口不仅需要拥有技术能力的专家,还需要能够适应技术变革、具备创新思维和解决问题能力的管理人员^[24]。因此,人才的引进、储备和培养是保障港口数字化转型的关键。

1.5 智慧港口建设的目标与任务

1.5.1 智慧港口建设的目标

智慧港口的建设是多目标的,从港口建设者的角度,智慧港口建设目标包括提高作业效率、降低运营成本、提升客户满意度以及履行社会责任(图1-4)。

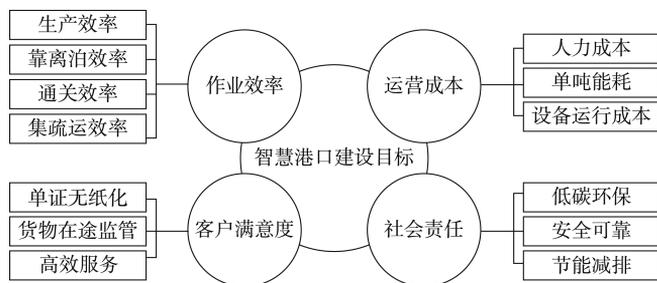


图 1-4 智慧港口建设目标

1.5.1.1 提高作业效率

作业效率是港口企业的一个重要指标。智慧港口利用物联网、大数据、人工智能等新兴技术,实时采集和分析港口作业相关数据,对港口生产作业

情况进行全面监控、精准预测、科学调度和流程优化,通过设备智能化改造和数字堆场建设有效避免人工操作熟练程度不同对生产作业造成的波动,从而全面提高港口作业效率。

1.5.1.2 降低运营成本

传统港口是劳动密集型产业,人力成本在企业整体运营成本中占比较高。智慧港口将5G、人工智能、区块链、GNSS等新兴技术与港口生产作业场景相结合,可以实现港口设备的集控化操作、流程化管理和智能化运行,最大程度地减少现场操作人员。另外,还可以减少能源消耗成本,降低货物的丢失、损坏以及减少设备故障等损失。

1.5.1.3 提升客户满意度

港口是现代物流服务业的一个重要节点,服务是港口企业生存和发展的基础。智慧港口利用大数据、区块链、大模型等新兴技术,打破物流链各节点的“数据孤岛”,实现“高效率、高安全性、高品质服务”的新一代运输模式,为客户实时提供业务办理、货物装卸、货物监管、物流跟踪、统计分析等港口物流信息服务,从而提高客户的满意度。

1.5.1.4 履行社会责任

港口的绿色发展是港城融合的重要举措。智慧港口通过加快岸电设施建设,推行燃油设备的电动化改造,推广风能、太阳能、氢能等新能源在港口的应用,打造风光荷储一体化的低碳、零碳港口,努力建成高水平的绿色港口,从而更好地履行港口的社会责任。

1.5.2 智慧港口建设的原则

根据智慧港口建设的路线图^[4],首先是分析港口群的当前状态,评估港口的状态,总体技术发展程度;其次是采用类似第一步的方法评价重点领域的发展状态;然后是制定智慧港口实施计划,重点是对港口运营及其自身业

务有重大影响的技术和项目,站在港口生态圈的角度组成工作组来讨论并确定计划的优先级;最后是创建一个包含短期、中期和长期行动的行动计划,同步制定需要跟踪和考核的关键绩效指标。在智慧港口建设过程中,应该坚持如下原则。

1.5.2.1 统筹谋划

智慧港口的建设也是港口数字基因重构的过程,这取决于新技术的供给。智慧港口建设的成效可能呈现出三五年的“滞后效应”,因此,在智慧港口建设中要考虑技术的适宜性、数字技术与绿色技术的融合趋势和技术的累积效应,先行规划。

1.5.2.2 分步实施

树立分步实施、迭代提升的发展思路,推行任务项目化、项目清单化的实施策略。顺应数字化发展潮流,聚焦核心领域、重点环节和关键场景,优先开展数字化转型试点及示范工作,带动港口数字化发展水平持续提升。

1.5.2.3 确保安全

以互联网的形式将港口服务链的利益相关者连接起来,为市场提供信息服务、航运金融等延伸业务。智慧港口建设涉及的主要业务是装卸、运输、物流和贸易四方面。每一个环节都涉及生产、运营、设备、交通、资金以及网络和信息安全,在智慧港口规划、设计、建设、运营中要高度重视、统筹谋划、确保安全。

1.5.2.4 注重实效

坚持投资节约、功能集成、数据共享、业务协同原则,统筹推进集团数字化转型项目建设,加快打造“平台化协同、数据化决策、在线化服务”的“大平台、大数据、大系统”。

1.5.3 智慧港口建设的任务

智慧港口的建设不仅涉及码头作业问题,还向水域扩展到智能航道、船舶服务和船舶供应等方面,向陆域扩展到与物流园、集疏运、单一窗口服务的衔接。在建设目标方面,各个国家由于人力成本、技术创新水平、关注点不同,目标也不尽相同。我国港口企业在智慧港口建设中关注的主要内容有:智能管理、设备设施智能化、信息技术的应用水平、数智化服务以及信息安全和绿色环保等。总的来说,智慧港口建设可归纳为五大任务:生产作业智慧化、设备设施智能化、物流服务数智化、安全环保智联化、数字化基础设施建设。在每项任务的推进中,要系统论证、统筹安排,明确任务执行的优先顺序。

(1)生产作业智慧化。提升港口码头的信息化水平,推进现有码头设备设施的自动化改造,在港口生产运营和管理方面进一步提升智能港口技术和系统的集成能力,有效提高港口的智能化水平和运营效率。

(2)设备设施智能化。借鉴已经建成的自动化集装箱码头建设和运营经验,针对重点设备设施开展关键技术研发和实践,提升迭代设计能力,提高港口、航道等设施与智能船舶自主航行、自动化装卸设备的智能水平,实现设备设施与码头自动化系统有效衔接。

(3)物流服务数智化。一是创新港口物流运作模式,建立全程一单制服务方式,完善港口智能感知和数据采集系统,实现进出闸口等作业智能化,逐步实现实时货物追踪、全程监控和在线查询。二是完善港口物流信息系统,完善基础数据,丰富物流服务项目,开展定制化服务。三是加强港口物流公共信息平台建设,促进信息开放共享,深化 EDI 技术应用,提高行业运行监测能力。

(4)安全环保智联化。建设设备设施运行监测平台,实现企业自查、隐患排查、风险管控,创新港口安全管理模式,对危险品等货物实施在线监控,

增强预警预测功能,完善应急管理功能。建立包括用电、用水、用油、蒸汽热水数据在内的智慧能源管理系统。建设环境监测系统,实现空气质量、水面溢油、堆场扬尘、生产生活废水等环保要素的实时在线监测;建设环保集控系统,开展基于环境数据的抑尘策略研究,科学精准联动场区分布式环保设备,提升港口绿色要素管理、环境风险预测预警和管控水平。

(5)数字化基础设施建设。建设全球领先的智慧绿色港口网络信息基础设施(港口全光网、融合的无线宽带网、可视的水下监测网、端到端下一代互联网、泛在的广域物联网、主动连接的全域智联网、绿色的云数据中心和智能化的决策中心/港口运营中心等),建设基于大数据和人工智能的超算平台或“港口操作系统”,以港口运营中心为载体,构建港口智慧决策平台和应用平台/生态,服务政府、市场和社会三大客户主体。