

· 港口 ·



海港总体设计关键技术及展望

张志明, 杨国平, 张 鹏

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 梳理了我国水运工程近十多年来在海港总体设计方面取得的多项创新成果, 重点对港址选择, 港区平面形态分类, 港口水域尺度, 码头掩护程度划分标准, 码头高程、水深、长度等主尺度确定等几个关键技术的核心内容 and 应用情况进行了简要论述, 展现了我国海港总体设计领域最新的发展成就和对专业学科领域知识体系的引领作用。

关键词: 海港; 总体设计; 关键技术; 总平面

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0061-07

Key technology and outlook of general design of sea ports

ZHANG Zhi-ming, YANG Guo-ping, ZHANG Peng

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The paper studies some innovative achievements of general design of domestic sea ports in the last ten years. The key points focus on the site selection of sea ports, the classification of the general layout of port area, the scale of harbor basin, the division standard of jetty's sheltered degree, and the major dimension about jetty elevation, water depth, and the berth length. The result reveals the newest development achievements of general design fields in our country and the leading role to the professional sciences knowledge field.

Keywords: sea ports; master design; key technology; general layout

1 海港总体设计技术的发展和特点

1) 总体设计技术的定位。

海港总体设计技术体系是一项综合性的技术门类, 其涉及的政策性强, 需要体现国家在经济、环境和节约等方面的技术政策; 涉及的行业和部门多, 包括交通、建设、铁路、海关、商检、环保、土地、海事等诸多行业和部门; 涉及海港工程设计的平面直属专业和众多辅助专业; 而且实践性强, 是港口管理、建设和营运部门多年实践经验的直接体现。

从水运建设标准体系角度看, 海港总体设计技术标准是海港工程系列标准的基础性和纲领性部分, 是对海港工程系列设计标准的总体指导和

高度凝练, 体现概括性、指导性和引领性^[1]。

2) 总体设计技术体系的历史演变。

五十多年来, 水运工程建设总体技术经历了从无到有、从简单引用到提高升华的过程。

建国初期, 主要借鉴前苏联码头工程技术, 并结合我国特点陆续修改更新。

20世纪60年代, 提炼海港总体设计内容, 形成海港总体设计规范。

20世纪七八十年代, 结合不断涌现的各类型码头, 总体设计技术不断进行完善。

20世纪90年代, 结合船舶大型化的发展趋势, 在大量工程实践和建设经验不断丰富的基础上, 形成了相对完整的总体设计标准, 对促进我

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 张志明 (1962—), 男, 硕士, 水运工程勘察设计大师, 教授级高级工程师, 从事港口工程规划、设计、研究与咨询工作。

国港口建设技术进步发挥了重要作用。

而近十多年来,伴随着建港高潮的持续,为满足船舶大型化的需求,国内外许多海港工程总体建设新技术被及时吸纳和运用,特别是新理念、新技术、新工艺、新结构和新材料的发展与应用,有力地促进了创新成果的推广与应用,提高了标准的技术水平,提升了工程品质,对我国海港工程建设产生积极的影响。

因此,对海港总体设计技术进行系统整理和总结就显得尤为重要。

3) 新时期总体设计技术体系的特点。

①技术基础理论扎实,实践性强,注重与国际接轨。

海港总体设计技术体系具有坚实的技术基础。其中,近十多年沿海港口大量工程实践积累的新经验和建港技术的新发展为总体技术的总结提供了较为丰富和必要的基础资料;海港设计相关标准的编制、修订为总体技术标准制定奠定了基础;新的设计、管理经验为技术标准制定提供了技术支持;行业主要设计单位完成的一大批大型集装箱、大型专业化原油和矿石、成品油及液体化工等颇具代表性的码头,设计完成的商品汽车、液化天然气及游艇等新型专业化码头,为总体技术标准制定积累了新的设计、使用经验;日益增多的国内外交流为掌握国际港口建设先进理念与技术提供了高效途径,部分技术已处于国际领先水平。

②技术成果内容全面,体现“总体”思想,准确反映经验积累和技术进步。

海港总体设计技术成果体系涵盖码头工程、航道工程、辅助工程等海港工程的各个方面,体现了船舶大型化带来的设计经验、营运经验的变化;体现了以人为本、可持续发展的新理念;准确把握住控制性、约束性与灵活性、创新性以及原则性与量化的关系;较好地处理了广泛性、超前性和稳定性的关系,适应了港口内在品质的不断提升;准确、全面反映了港口总体设计经验积累和技术进步。

2 海港总体设计关键技术

本节结合新时期港口建设技术条件的变化,对近十多年来海港总体设计的关键技术进行整理,就几个方面的重大技术问题予以明确。其中,在港址选择,港区平面形态分类,港口水域尺度,码头掩护程度划分标准,码头高程、水深、长度等主尺度确定等方面提出了较为丰富的创新成果,使我国海港总体设计的整体水平上了一个台阶,既与国际接轨又有中国特色,部分成果达到国际领先水平。

2.1 港址选择的理论与方法更加全面

港址选择是一项对自然条件、经济和社会条件、运输条件等诸多影响因素进行综合评估的过程,港址选择的合理与否对地区和沿海城市的发展具有重大影响。

影响港址选择的因素较多,有地理位置、经济、社会、自然条件等。港址选择时需考虑港址与腹地经济、地区经济、城市发展、沿海经济区布局、城市综合物流、水利及军事要求、老港与新港址、环境的关系等。同时港址选择应注重港址集疏运条件,包括水运、公路、铁路、管道等运输方式,充分发挥各种集疏运的优势,尽量减小对环境的影响。除上述因素外港址自然条件包括地质地貌条件、水文气象条件等,是影响港址选择的重要因素。以建设资源节约型、环境友好型港口为目标,根据港口性质、规模、功能选择适当的自然条件,节省工程造价,使港口建筑物对环境的影响减至最小,使资源利用最大化。

港址选择理论清晰明确了港口选址有两个层次:第一个层次是全国港口布局性规划选址,主要从宏观经济发展考虑,对港址作出区域性合理安排;第二个层次是港口总体布局规划选址,主要是在上述基础上,在有限区域内论证港址的具体位置。港址选择的两个层次侧重点不同。

科学调整了港址选择要素权重。随着经济的发展、国力的增强、技术的进步,港址选择考虑的诸多因素中,经济发展需求和国家综合运输体系

建设要求等因素权重在增加,而自然条件、基础设施条件等因素权重在下降,并且好坏具有相对性。

港口选址更加从区域整合和协同发展的宏观角度,关注国家发展战略、国家经济安全、国家竞争力、国家综合运输体系、岸线资源合理利用等;与此同时,通过不断积累总结先进的工程技术,已能够解决以往遇到而难以触碰的不良条件下港口建设的难题,如洋山港区、黄骅港、京唐港区、曹妃甸港区以及苏北诸港口等选址。这也从侧面反映出,自然条件的好坏是一个相对性的理念,在岸线资源匮乏的地区,自然条件相对较差的区域也有可能选为区域性大港港址,应从需求、技术、经济等方面综合论证。

此外,港址选择还全面补充了淤泥质海岸、粉沙质海岸、辐射状沙洲潮汐水道、天然岛屿、人工岛、沙岛瀉湖海岸等特殊海岸选址的要求,理论体系更加完善。

2.2 港口(港区)平面布局形态分类更加合理

港口总平面布局是港口建设和发展的总策划,是整个港口建设中最大的设计。港口宏观层面的规划布局是否合理,关系到港区是否能与区域自然条件良好契合,港区建成后能不能很好发挥作用,港口能否进一步发展等重要问题。

为此,开展专项研究对世界各国多个港口进行了系统调研,对港区平面布局的基本形态进行了科学整理和归纳,并对其适用条件、布置关注重点进行整理和规定。这是国内外首次对港区平面形态进行的科学分类,是阶段性的创新成果,具有较好的指导性。

成规模性港口(港区)布局形态可分为:利用天然海湾、自然平直岸线、天然岛屿、人工岛及人工环抱岸线布置等几类^[2]。各类布局形态应当遵循特定的建设原则。

1) 利用天然海湾布置港口(港区)。

涵义——是指在具有良好掩护条件的天然海湾内沿岸布置多个码头的方式。具有掩护条件好、建设成本低、码头布置集中的优点。

重点关注——湾内岸线的充分利用、口门的

布置和港口水域的平面形态和尺度等。

应用案例——天然海湾一般是优良的港址,如大连港大窑湾港区(图1)、青岛港前湾港区、福州港罗源湾港区等。欧洲、北美洲、大洋洲等发达国家的港口利用天然海湾建设的港湾式港区较为普遍。

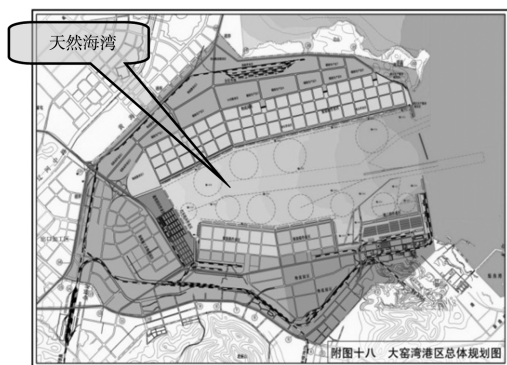


图1 天然海湾港口实例——大连大窑湾港区

2) 利用自然平直岸线布置港口(港区)。

涵义——是指沿自然岸线顺势布置顺直的码头岸线的方式,是最常见的布置方式。具有布置简单、船舶进出方便、占用自然岸线多等特点,一般适用于岸线较为平直、没有湾岬、掩护条件良好的海岸及河口岸线。

重点关注——应根据自然岸线、水流条件和船舶靠离等因素重点考虑各码头岸线的位置、走向、以及相邻岸线段的衔接。

应用案例——我国上海外高桥港区、宁波港北仑港区(图2)、厦门港海沧港区等都是沿岸型港口布置。欧洲、北美洲等国家的港口利用河口布置顺岸式港区较为常见,有着初期投入和维护成本低的优点。



图2 自然平直岸线港口实例——宁波北仑港区

3) 利用天然岛屿布置港口(港区)。

涵义——是指利用离岸的天然岛屿布置港区的方式。具有依托条件差、受岛屿自然条件限制性大等特点。适用于大陆天然深水岸线不足,且拥有适宜建港岛屿的地区。

重点关注——港区的掩护效果、港口建设对潮流及泥沙运动的影响、挖填平衡以及港口的集疏运等问题。

应用案例——如大连长兴岛、上海洋山港区(图3)、宁波-舟山港的大榭岛、六横岛等是利用天然岛屿建港的工程实例。

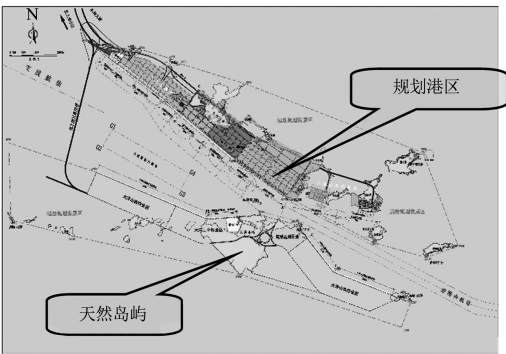


图3 天然岛屿港口实例——上海洋山港区

4) 利用人工岛布置港口(港区)。

涵义——是指在离岸的海域中通过人工造陆形成岛屿以建设港区的方式,具有占用自然岸线少、对海岸动力环境和滨海湿地生态影响小、建设成本高等特点。适用于可用自然岸线少、近岸水深较浅的地区。

重点关注——人工岛的功能、位置、平面形态与尺度、陆域形成及集疏运条件等。同时,需对人工岛填海过程中的海洋生态、环境保护、防洪纳潮、通航、海底底质等方面的影响开展充分论证。

应用案例——人工岛布置港口在日本、美国等应用较多,近年国内也出现,如南通港洋口港区(图4)是近年来建成的人工岛港区。

5) 人工环抱式港口(港区)布置。

涵义——是指依托自然海岸通过建造两侧环抱式的防波堤形成的人造港湾的方式。具有掩护条件好、投资大等特点。适用于缺少天然掩护、水域开阔或滩宽水浅、泥沙运动活跃的海岸。



图4 人工岛港口实例——南通洋口港区人工岛

重点关注——应根据港区规模、船舶航行以及水深、风、浪、流、泥沙运移等自然条件,重点研究掩护水域的面积、防波堤的轴线及港区口门的布置。

应用案例——营口港仙人岛港区(图5)、董家口港区、日照石臼港区等都是这一类布置形态的港区。随着天然海湾和优良深水岸线的日渐稀少,特别是在宽滩海岸的条件下建设大型环抱式港区,会被越来越多地采用。

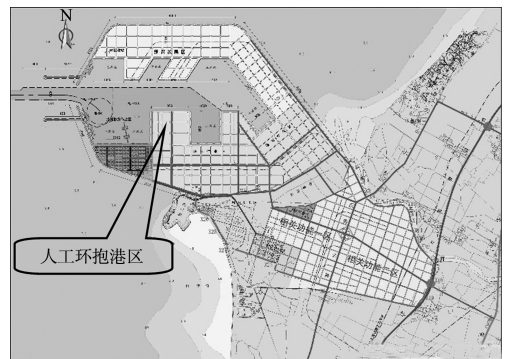


图5 人工环抱港口实例——营口仙人岛港区

2.3 码头掩护程度的划分标准更加科学

码头掩护程度的界定问题是涉及码头总体设计的重要问题。根据不同的关注点会有不同的码头掩护程度界定标准。若以船舶泊稳条件划分,则与船舶大小和类型、码头结构形式有关;若以施工条件划分,则与施工船机性能、造价取费构成等有关。目前没有绝对、唯一和通用的标准。

统一划分码头掩护程度是非常困难的,需根据不同的关注点,抓住主要矛盾与因素。同时,码头掩护程度的划分标准也是动态的,划分标准随着装卸设备性能、船舶性能的进步和船型大型

化的发展也是在逐步调整的。

海港总体设计中码头掩护程度的划分更多从确定码头面高程、码头前沿水深、码头长度等设计主尺度角度考虑, 将码头掩护程度划分为良好掩护码头、部分掩护式码头和开敞式码头。

码头掩护程度划分标准最主要的是良好掩护码头划分标准。传统上认为, 具有良好掩护的港口, 可以保证在港外波浪作用情况下全年仍有 92%~95% 以上的时间可以靠泊、离泊和装卸作业。按照这一定性标准, 转换为波高判断, 在 1987 版《总体规范编制说明》中, 有掩护港口“通常码头前波浪 ($H_{4\%}$) 不超过 0.6 m”。1999 版《海港总平面设计规范》规范沿用了这一说法。近十多年来, 船舶大型化发展趋势明显, 船舶作业允许的泊稳波高在逐渐加大, 对重新论证有掩护码头作业标准提出了新的要求。

专题研究收集了沿海(含河口)44 个有掩护码头的设计水位、码头前沿顶高程等, 计算富裕高度(码头面顶高程与设计高水位差值)。对码头设计富裕高度进行分级, 统计各级富裕高度的码头数量(表 1)。

表 1 有掩护码头富裕高度分级统计

富裕高度/cm	码头数量/个	富裕高度/cm	码头数量/个
120~129	4	170~179	2
130~139	6	180~189	5
140~149	6	190~199	5
150~159	7	200~219	2
160~169	5	220 以上	2

结果显示, 早期建设的码头船型较小, 要求有较高的泊稳条件, 取 0.6 m 及以下波高为有掩护港口, 是可以理解的。近些年随着船舶逐渐大型化, 船舶需要的泊稳条件不再特别苛刻。从实际按有掩护码头确定的富裕高度看, 不少新建大型港口的富裕高度比较大, 而且还有增高的趋势。此时有掩护标准再按 0.6 m 控制就显然偏低了。随着码头逐步向外海发展, 有相当部分码头既达不到原规定的良好掩护码头标准, 又明显非完全开敞式码头, 往往介于两者之间, 故本次划分还明确提出增加了部分掩护式码头情况。

分析对比有掩护港口的波浪情况, 综合考虑码头高程计算考虑的因素后, 新的标准对良好掩护码头的界定进行重新归纳: “从港外传到码头前沿的 2 a 一遇的年内最大波高 ($H_{4\%}$) 一般在 1.2 m 以内^[3]。” 2 a 一遇设计波高在 1 a 内出现的频率是 50%, 约等于该波向历年最大波高系列的多年平均值。

总体而言, 新提出的码头掩护程度划分标准, 在合理确定码头前沿顶高程、前沿水深以及码头长度等重大参数方面, 是合理可行的, 具有很强的指导性。

2.4 大型船舶制动距离、回旋圆直径和码头前港池水域尺度更加优化

船舶大型化的发展, 使得船舶的速度、排水吨、船体形状均发生了较大变化, 原来依据万吨级以下的小型船舶提出的船舶制动距离、船舶回旋圆尺度已不能适应需要。

专题研究选取并实测了全国主要港口近 200 艘大型集装箱船、散货船和原油船等具有代表性的船舶样本, 依据结论对大型船舶的制动距离规定进行了调整, 适当加大大型满载船舶的制动距离(分空重载情况, 空载可取 $3L\sim 4L$, 重载可取 $4L\sim 5L$; 大船重载可比 $5L$ 适当加长, L 为设计船长); 增加了没有拖轮或侧推协助转头情况的回旋圆尺度规定 ($2.0L\sim 3.0L$); 强调受流影响较大港口回旋水域尺度应通过操船试验确定的原则。

对于码头前港池水域宽度, 明确了回旋水域和停泊水域的重叠问题(码头前沿宽度占用一个船宽 B , 总宽度 $1.5L+1.0B$)。

2.5 码头主尺度确定的理论与方法更加完善

码头前沿顶高程、码头前沿水深、码头泊位长度是码头总体设计中最重要 3 个主尺度。标准体系在这些方面开展了大量的基础研究, 积累了扎实的试验数据, 提出重要的创新成果。

1) 码头前沿顶高程的确定。

原标准在高程计算规定上较为混乱, 有掩护和开敞式计算理论不统一、使用中存在较多混淆和用错的可能, 积累了较多的问题。

新的标准深入分析码头面高程计算的原理, 阐明高程确定应主要考虑的因素。创新提出了需同时满足两个标准(表 2), 一是码头顶面上水控

制标准, 另一个是码头上部结构受力控制标准。

两个标准充分考虑了良好掩护、部分掩护与开敞式码头的普适性, 理论体系科学、深入、全面。

表 2 潮位与波浪的组合标准及富裕高度

组合情况	上水标准		受力标准		
	设计水位	富裕高度 Δ_w	设计水位	波浪重现期/a	富裕高度 Δ_F/m
基本标准	设计高水位	一般情况可取 10~15 a 重现期波浪的波峰面高度, 并不小于 1.0 m; 掩护良好码头可取 1.0~2.0 m	设计高水位	50	0~1.0
复核标准	极端高水位	一般情况可取 2~5 a 重现期波浪的波峰面高度; 掩护良好码头可取 0~0.5 m			

注: ①按受力标准设计时波浪采用波列累积频率为 1% 的波高; ②按上水标准设计时波浪采用波列累积频率为 4% 的波高; ③对于风暴潮增水情况明显的码头, 应在设计高水位基础上考虑增水影响; ④受力标准的波浪重现期采用结构设计的规定, 一般为 50 a, 有特殊要求时, 可相应调整。

2) 码头前沿设计水深的确定。

原标准码头前沿水深计算仅考虑了有掩护和开敞式两种典型情况, 选择不同情况计算的结果相差很大, 使得数量很多的部分掩护式码头无所适从, 计算体系是断崖式的。

新的研究成果对码头水深计算体系进行了连续化, 使设计人员可以根据新划定的不同码头掩护程度, 方便快捷地计算确定码头前沿设计水深。

新标准对开敞式码头系泊船舶在波浪作用下的运动进行了系统研究, 分析大型开敞式码头船舶在横浪作用下船舶下沉量与波高的比值关系, 调整了横浪系数(横浪 K_1 由原 0.5 调整至 0.5~0.7), 体现船舶在横浪作用下更大幅的运动响应。

水深计算规定还充分考虑了流对大型船舶作用力的影响(图 6), 结合开敞式大型码头船舶在波浪作用下的运动和船舶受水流力大小的特性及安全性要求, 规定开敞式大型码头水深吃水比宜取 1.1 以上, 与国际标准基本一致。

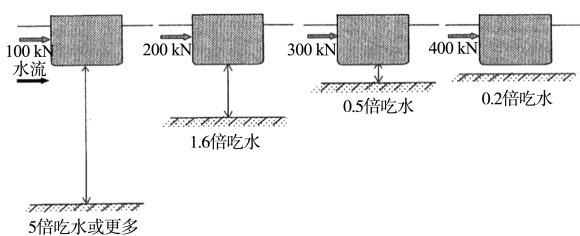


图 6 船舶受水流力作用与其水深吃水比的关系

3) 码头泊位长度的确定。

码头泊位长度除了与设计船型长度有关外, 很大程度上受码头平面布置形式的影响。根据系

缆方式的不同, 码头平面布置一般可分为一字形布置和蝶形布置, 两种布置最大区别在于蝶形布置将部分系缆墩后移, 横缆几乎与船舶轴线垂直, 各缆绳长度相对较为均匀。不管哪种布置方式, 首尾缆越长, 其与船舶轴线的角度越小, 码头的长度也就越大。

国内外实践经验表明, 对于垂直于船舶轴线的横向风、浪、流荷载, 横缆对横向船舶位移起主要约束作用; 而对于纵向荷载, 倒缆因与船舶轴线夹角较小将发挥主要作用。

新的标准针对码头泊稳条件开展了较为系统的研究, 创新提出了优化离岸深水港码头泊稳条件的技术成果, 将开敞式蝶形布置码头的泊位长度调整到 1.1~1.3 倍的设计船长, 提出了短泊位的理念和方法。

提出缆绳布置的一般原则: 纵向力主要依靠倒缆承受, 横向力则靠横缆; 艏缆艉缆的水平系缆角可采用 75°, 横缆尽量垂直船舶的中轴线, 倒缆与船舶中轴线的角度很小; 追求各缆绳长度大致均等。见图 7。

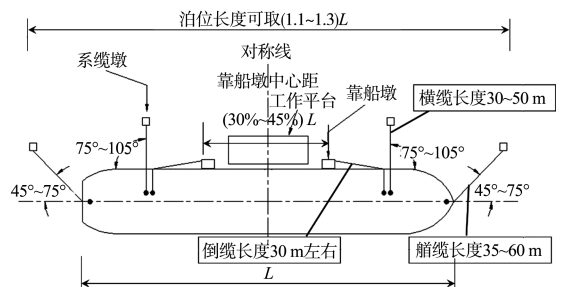


图 7 最优系缆布置一般原则^[4]

目前,合理布置的“短泊位”理念已逐渐为我国业内人士接受。新的设计理念不仅提高了系泊的安全性,也节省岸线长度,对建设资源节约型港口意义重大。

2.6 深水航道设计参数研究更加深入

以交通运输部西部课题《沿海港口深水航道选线及设计主要参数研究》为基础,提出了能够适应船舶大型化、高速化、货种多样化、自然条件更加复杂的沿海港口深水航道选线原则、航道尺度参数确定方法及航道通过能力计算方法^[5]。

根据大量实船模拟提出在航道大角度转弯情况下的转弯半径计算公式,与船舶模拟器结论接近,适用性提高。

补充了两个连续转弯之间的直线长度应大于或等于 5 倍船长的要求,与国际标准一致。

针对我国航道特点,重点分析了我国非限制性航道和限制性航道船舶航行下沉值 Z_0 、波浪富裕深度 Z_2 的计算原理和适用条件,并对适航水深应用范围、适航水深应用技术参数及确定技术参数应进行的试验等的规定。

在航道通航宽度计算上,补充了横流流速介于 0.1~0.25 m/s 的船舶漂移倍数和风流压偏角,航道宽度计算序列更加完善。

借鉴工程实例,补充长航道的设计特殊要求,复式航道设置条件、类型和要求。

2.7 其他总体设计技术的新发展

此外,海港总体设计在专业术语、设计基础条件、装卸工艺、拖轮配置等方面也有了相关技术发展,主要体现在:1) 对设计船型、码头掩护程度等特殊名词和术语进行定义和解释,引导正确理解、使用;2) 设计基础条件中强调吞吐量预测应把握货源的总体发展趋势,进行科学论证,并具有一定前瞻性和弹性;3) 强调设计船型应综合考虑各种因素分析论证确定,重视未来船型发展趋势因素;4) 给出了以系泊船舶主要运动分量限值表示的作业标准;5) 给出了各货种码头的生产区用地参考指标;6) 清晰了拖轮配置考虑的因素、原则及方法。

3 结语

在国际经济复杂多变、国内经济进入“新常态”的形势下,“十三五”期间,我国港口在发展方式、发展动力方面有所调整,建设全面整合港口资源、聚集经济要素,深度参与产业分工和资源配置,提供柔性化供应链服务手段的第四代港口仍是现代化港口发展的主流方向。

与此同时,随着物联网、互联网和物流信息技术与港口的结合发展,以及现代化港口更加重视生态、低碳环境因素,努力建设第五代——绿色智慧港口是实现港口可持续健康发展的重要目标。

港口总体设计技术未来必须紧紧围绕着“绿色、智能”两大主题,将技术核心聚焦于体现第五代港口建设的特征,即以绿色智能技术为核心,努力构建绿色、智慧港口建设标准体系,攻克相关关键技术,提高在绿色港口建设技术、自动化码头总体建设技术、综合集疏运技术和信息管控技术上的积累和运用,达到“低消耗、低排放、低污染,高效能、高效率、高效益”的总目标,获取较高的经济、社会、环境效益。

近二十多年来,我国海港工程建设在港口选址、码头掩护程度、平面布置水域尺度、深水航道设计参数等多个方面取得了多项创新成果,已初步形成了系统的、总体具有国际领先或先进水平的大海港总体设计技术,相关成果已在我国大型港口建设中应用,并取得良好的社会和经济效益。这对实现我国沿海港口的跨越式发展、保障国民经济持续稳定发展、提升我国港口建设的国际竞争力、实现走出去战略具有十分重要的意义。

海港工程总体设计技术的不断积累和革新,将逐步形成扎实而厚重的专业学科技术框架体系,培养出一批海港工程高精专人才队伍,对促进海港工程总体设计技术进步,加快水运学科技术体系构建和完善具有十分重要和积极的意义,也将为我国下一代港口的发展奠定坚实的技术和人才基石。

(下转第 89 页)