

长江干线航道绿色施工评价指标体系研究



韩兆兴^{1,2}, 唐 明³, 徐洪磊¹, 程金香¹, 曾 威³, 郑超蕙¹

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 清华大学, 北京 100084;

3. 长江武汉航道工程局, 湖北 武汉 430014)

摘要: 针对航道绿色施工评价问题, 对长江干线航道绿色施工评价指标体系进行研究, 基于长江干线航道整治特点及整治工程的主要施工流程, 结合航道整治生态环境影响分析, 采用系统分析方法, 提出长江干线航道绿色施工评价目标及评价原则, 得到长江干线航道绿色施工评价指标体系, 包括资源节约利用、生境保护、生物防护、水环境保护、大气环境保护、声环境保护、环境管理等7个方面共40个评价指标, 可为指导内河航道绿色施工行为、提升航道绿色施工水平提供参考。

关键词: 长江干线航道; 绿色施工; 指标体系

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0106-06

Evaluation index system on green construction of the Yangtze River main waterway

HAN Zhao-xing^{1,2}, TANG Ming³, XU Hong-lei¹, CHENG Jin-xiang¹, ZENG Wei³, ZHENG Chao-hui¹

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

2.Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3.Changjiang Wuhan Waterway Engineering Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: For the evaluation of the green construction of waterways, this paper studies an evaluation index system on the green construction of the Yangtze River main waterway. The regulation characteristics of the Yangtze River main waterway and the main construction processes of the waterway regulation projects are sorted out, and the ecological environment impact of waterway regulation is analyzed. On this basis, we put forward evaluation objectives and principles on the green construction of the Yangtze River main waterway by the system analysis method and obtain an evaluation index system including 40 indices in 7 aspects, i.e., resource conservation, habitat protection, biological protection, water environment protection, atmospheric environment protection, acoustic environment protection, and environmental management. The proposed system can provide a reference in guiding and improving the green construction of inland waterways.

Keywords: Yangtze River main waterway; green construction; index system

绿色航道应覆盖规划设计、施工建设、养护管理等航道建设和运营的全过程^[1]。国内学者在绿色航道研究方面多集中在生态护岸、生态护滩、生态坝体等绿色航道设计领域^[2-7], 针对航道绿色施工的系统性研究较少。绿色施工是指工程建设中, 在保证质量、安全等基本要求的前提下, 通过科学管理和技术进步, 最大限度地节约资源与减少对环境负面影响的施工活动, 实现四节一环保(节能、节地、节水、节材和环境保护)^[8]。施工

时间、施工材料、施工工艺以及施工管理直接决定了航道工程生态环境影响的途径、方式和程度。为此, 周亿迎等^[9]对内河航道绿色施工的内涵进行了研究, 重点从能源节约方面提出部分绿色施工技术, 雷晓玲等^[10]、谢孝如^[11]对环保疏浚等个别施工工艺开展了研究。但航道绿色施工仍处于研究积累阶段, 特别是有关航道绿色施工评价指标体系的研究成果还较为缺乏。

本文以长江干线航道为例, 分析航道建设特

点, 基于航道施工流程及主要生态环境影响分析, 提出长江干线航道绿色施工评价指标体系, 以期为推动航道绿色施工提供指导。

1 长江干线航道整治特点

1) 整治工程强度大。长江干线航道全长 2 838 km, “十三五”期间共规划航道整治项目 34 个。通过整治, “十三五”期间长江干线 2 688 km 航道条件得到大幅提升, 改善航道里程 1 284 km^[12]。由于项目数量较多、工程强度大, 长江干线航道整治需要重点关注施工过程的生态环境影响, 众多整治项目也为航道绿色施工技术研发和工艺研究提供了平台。

2) 涉及生态敏感资源多。据不完全统计, 长江干线航道涉及 11 个国家和省市级自然保护区、87 处饮用水取水口或水源保护地以及诸多重要湿地和鱼类“三场”等生态敏感区域^[13]。

3) 生态环境保护要求高。2017 年, 为贯彻落实国家生态文明建设和长江经济带绿色发展要求, 交通运输部印发了《关于推进长江经济带绿色航运

发展的指导意见》, 提出在长江经济带要推进绿色航道建设^[14]。2020 年 12 月, 全国人大审议通过了《中华人民共和国长江保护法》, 对长江干线航道整治提出更高的生态环保要求。

2 长江干线航道主要施工流程及对环境的影响

2.1 施工流程

从建设内容分类, 长江干线航道整治主要包括护岸、护底、护滩、坝体、疏浚、清礁、航标配布等; 从项目所在区域分类, 可分为山区航道、平原航道和潮汐河口航道整治等; 从施工作业地点分类, 可分为岸上施工和涉水施工等。

对长江干线航道主要建设内容的典型施工流程进行梳理可知(表 1), 疏浚、清礁施工流程相对独立, 护岸、护底、护滩、坝体施工的部分施工流程相似。因此, 可从施工流程角度将长江干线航道整治工程细分为测量、预制、铺排、抛投、开挖/回填、绿化、疏浚、爆破, 以及辅助施工等主要环节(图 1), 其中辅助施工内容包括施工便道修建、施工营地及预制场建设、施工船舶调度等。

表 1 典型航道整治工程施工流程

施工内容	主要流程
护岸	水下沉排→排上抛石→抛护脚石→岸坡开挖和回填→削整岸坡→沟槽开挖→枯水平台砌筑→生态护坡砖(或其它生态护岸结构)→绿化
护底(以排体、散抛体为例)	混凝土构件预制工程(透水框架、联锁块等)→铺排船定位→排体沉放→排体检测→补排施工
护滩(以石笼网为例)	滩面整平→放样固定→滩面铺设→锚钉锚固→回填碎石或泥土
坝体	软体排铺设→抛石护脚→抛堤芯石→抛石护面
疏浚	施工准备→浚前测量→挖泥作业(绞吸式、耙吸式挖泥船等)→疏浚土运输→疏浚土处理(边抛或再利用)→检测→补充施工
清礁(以水上炸礁为例)	建立控制网→炸礁船定位→钻孔→装药→填塞→连线→移船起爆

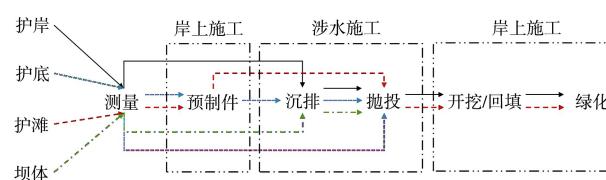


图 1 护岸、护底、护滩、坝体施工主要环节

2.2 施工对生态环境的影响

施工对环境影响的分析见图 2。从环境要素看, 施工环境影响可分为水、生态、大气及声环境影响; 从环境影响持续时间看, 可分为长期影响(如建设航道整治建筑物对河势的改变)和短期

影响(如施工船舶废气排放对空气质量的影响); 从环境影响途径看, 可分为直接影响(如铺排造成底栖生物损失)和间接影响; 从环境影响性质看, 可分为有利影响(如稳定河势、减少冲刷)和不利影响。

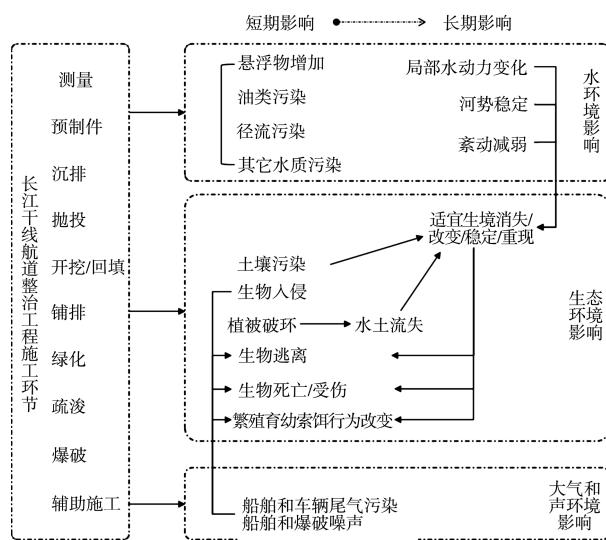


图 2 航道施工对环境的影响

2.2.1 水环境影响

在水文情势影响方面，抛投、铺排等航道整治建筑物建设及疏浚、清礁等整治工程会引起局部水动力条件发生变化。但开展护岸、坝体、护底(滩)等航道整治也可以稳定河势及滩槽格局^[15-16]，提高生态系统的稳定性，产生对环境有利的影响。

在水质影响方面，抛投、沉排、疏浚等水下施工会引起局部水体悬浮物增加，从而影响水环境质量。以悬浮物浓度增加值超过 10 mg/L 作为影响范围，典型航道整治工程的实地监测显示沉排、抛石等施工的影响范围一般在作业点周边 100~200 m^[17]；模型模拟显示疏浚悬浮泥沙影响范围通常在疏浚点周围 2~3 km 范围^[18]。其次，施工船舶事故会导致燃料油泄漏，造成大面积水质恶化。同时，施工船舶含油污水、生活污水、垃圾等若随意排放或丢弃，施工人员、机械检修产生的生活污水和生产废水如果处理不当，均会造成水体污染。此外，施工营地、预制场产生初期雨水会形成径流污染。

2.2.2 生态影响

在水生生态影响方面，抛投、开挖、铺排等施工会改变鱼类栖息环境，减少鱼类栖息空间，造成施工区域底栖生物、浮游生物等生态损失；爆破、疏浚会促使局部河段紊动能减弱，而适宜的紊动强度可以刺激鱼类产卵行为和受精卵的

形成^[19]。通常，抛投、铺排等形成的航道整治建筑物对漂流性鱼类产卵场流态影响较小^[20]；爆破产生的冲击波和噪声可能会伤害水生生物，惊扰鱼类索饵和栖息。但研究表明长江深水航道丁坝群建设后形成的复杂水流条件也为鱼类提供了产卵场、越冬场和索饵场^[21]；抛投、疏浚等施工作业及施工船舶会改变水下声环境对江豚觅食、集群等产生不利影响^[22]；网兜抛石噪声可能会压缩长江江豚的自然栖息地，对幼年长江江豚造成伤害的可能性较大^[23]。

在陆域生态影响方面，岸上开挖、回填、弃渣等会造成表层植被破坏，易引起水土流失，影响陆域生态系统。护岸绿化、施工营地复垦等选择植被不当会引发生物入侵。

2.2.3 其他环境影响

施工船舶、机械、车辆会排放大气污染物，影响施工区域空气质量。施工作业会对周边区域产生噪声，影响周边居民区、风景名胜区等敏感目标。污染疏浚土陆上堆弃处置可能造成土壤污染，监测发现长江中游荆江太平口航道河段排污口处疏浚土存在部分重金属超过土壤环境质量二级标准的情况^[24]。

3 长江干线航道绿色施工评价目标及评价指标体系

3.1 评价目标

通过构建绿色施工评价指标体系，指导长江干线航道绿色施工行为，评价航道整治工程施工过程的绿色化水平，从而促进航道绿色发展，保护航道工程涉及区域的生态环境，实现工程与自然保护共生。

3.2 评价原则

- 1) 全面性：对可能产生不利环境影响的施工作业进行全面评价，包括水环境影响、大气环境影响、声环境影响，以及直接和间接产生的生态环境影响。
- 2) 定量化：基于工程实践经验，总结施工操作及其环境影响程度的量化指标，作为绿色评价指标预期水平值的参考。
- 3) 动态性：绿色评价指标及预期值应根据航道

工程特点及最新施工水平进行选择、调整和完善, 以确保指标对于长江航道绿色施工具有指导意义。

3.3 指标选取

对标长江干线航道绿色施工目标, 根据施工可能的环境影响, 选取7个主要方面共40个评价指标(表2)。

1) 资源节约利用: 主要包括疏浚土利用率、土石方综合利用率、就地取材率、温室气体排放量等6个指标。其中, 土石方综合利用率、就地取材率、施工区域节能灯具比例等指标根据JT/T 1199.3—2018《绿色交通基础设施评估技术要求 第3部分绿色航道》要求, 预期指标值可分别设定为30%以上、60%以上和90%以上。

2) 生境保护: 主要包括专业施工船舶定位系统安装率、二次回挖次数、环保疏浚装备使用比率等12个指标。其中, 采用全球定位系统(DGPS)和自动测深系统可以提高施工精度, 控制施工范围, 减少施工时间, DGPS系统定位精度可达到1 m^[25-26]。

3) 生物防护: 主要包括驱鱼措施比率、重要水生生物观测频率等4个指标。研究表明, 网兜抛石对江豚的影响较其他施工影响更大, 因此在江豚集中栖息区域进行航道施工应考虑降低网兜抛石施工频次。

4) 水环境保护: 主要包括船舶水污染物接收处理率、防污屏布设率、船舶溢油事故发生频率等6个指标。其中, 在水源地开展航道施工时可通过布设防污屏控制施工影响范围, 根据水文条件防污屏布放可采用半包围方式, 在加强防护的同时提高水流的连通性。

5) 大气环境保护: 主要包括船舶非合规燃油使用处罚次数、清洁能源船舶比率等4个指标。

6) 声环境保护: 主要包括施工设备维护频率、噪声敏感建筑物集中区域内夜间施工作业时间2个指标。

7) 环境管理, 主要包括环保工作检查考核频次、综合环保培训频次、专项环保培训频次等6个指标。

表2 长江干线航道绿色施工评价指标体系

准则层	保护要求	施工要求	指标层(部分预期指标值)	评价方法
资源节约利用	节约资源, 降低水资源、能源消耗, 减少温室气体排放	根据条件开展疏浚土、土石方资源再利用, 推广利用节能设备, 利用非传统水资源, 降低施工作业碳排放	1) 疏浚土利用率; 2) 土石方综合利用率(30%以上); 3) 就地取材率(60%以上); 4) 施工区域节能灯具比例(90%以上); 5) 施工场地雨水、中水等非传统水资源利用比率; 6) 单位航道整治里程温室气体排放量	1) 非污染疏浚土利用量/非污染疏浚土总产生量; 2) 岸上开挖土石方利用量/总土石方量; 3) 施工现场500 km以内生产的建筑材料用量/总建筑材料用量; 4) 节能灯具数量/施工区域总灯具数量; 5) 施工场地雨水、污水处理后中水使用量/总用水量; 6) 航道整治工程施工作业温室气体排放量/各整治点位涉及航道长度总和
生境保护	保护自然生境, 满足各生态功能区划要求, 维持区域陆域和水生生境稳定	控制施工区域范围, 提高施工精度, 减少施工对生态环境扰动, 控制并恢复临时用地	1) 专业铺排船、疏浚船等定位系统安装率; 2) 专业铺排船、疏浚船等自动测深仪器安装率; 3) 采用分层、分段、分条施工比例; 4) 分条施工重叠宽度(1 m以内); 5) 二次回挖次数; 6) 环保疏浚装备使用比率; 7) 溢流施工中溢流桶使用比率; 8) 抽舱不溢流作业率; 9) 机械清礁作业率; 10) 实际临时用地减征比(5%以上); 11) 临时用地生态恢复率; 12) 护坡或高滩开挖表土剥离率	1) 安装定位系统专业铺排船、疏浚船数量/专业铺排船、疏浚船总数量; 2) 安装自动勘测仪器的专业铺排船、疏浚船数量/专业铺排船、疏浚船总数量; 3) 采用分层、分段、分条施工面积/总施工面积; 4) 每条施工重叠宽度; 5) 二次回挖总次数; 6) 使用的涡流防护罩耙头、全封闭防漏抓斗等环保疏浚船舶数量/疏浚船舶总数量; 7) 安装有溢流桶的疏浚土转运船舶(疏浚船、泥驳)数量/疏浚土转运船总数量; 8) 抽舱不溢流施工作业面积/涉及生态敏感目标的疏浚施工面积; 9) 非爆破清礁点位/总清礁点位; 10) (设计临时用地面积-实际临时用地面积)/设计临时用地面积; 11) 临时用地生态恢复面积/实际临时用地面积; 12) 表土剥离面积/护坡和高滩开挖面积

续表2

准则层	保护要求	施工要求	指标层(部分预期指标值)	评价方法
生物防护	保护江豚、中华鲟等珍稀、濒危野生生物，减少对水生生物的损伤	合理安排施工时间，施工前采取驱鱼措施，降低生物活动密集区域施工强度，加强施工期观测	1)在施工河段主要珍稀水生生物繁殖、抚育期内开展航道施工作业时间； 2)涉及重要水生生物区域施工前驱鱼措施比率； 3)江豚集中栖息区域网兜抛石作业率； 4)重要水生生物观测频率	1)在施工河段主要珍稀水生生物繁殖、抚育期内开展航道施工作业时间； 2)驱鱼措施次数/涉及重要水生生物保护区、主要栖息地的施工次数； 3)江豚集中栖息区域网兜抛石次数/该区域总抛投次数； 4)重要水生生物观测次数/涉及重要水生生物保护区、主要栖息地的施工时间
水环境保护	保护水环境质量，减少对水源地影响，防范水环境风险	减少施工船舶污水排放，实施取水口防护，合规处置施工营地生活污水和生产废水，防治船舶溢油事故	1)船舶水污染物接收处理率(100%)； 2)船舶水污染物接收情况纳入信息监管系统比率(100%)； 3)防污屏布设率； 4)施工营地生活污水和生产废水处理率(100%)； 5)船舶溢油事故发生频率； 6)船舶溢油应急设备配备率	1)船舶生活污水、含油污水、垃圾岸上接收量与达标排放量之和/船舶水污染物产生量； 2)利用信息监管平台报送船舶水污染物接收次数/船舶水污染物接收总次数 3)防污屏布设时间/涉及水源地施工总时间 4)施工营地生活污水和生产废水纳管及达标处理量/污水产生总量； 5)船舶溢油事故发生次数/施工作业时间； 6)配备有吸油粘等溢油应急设备的施工船舶数量/施工船舶总数量
大气环境保护	保护大气环境质量，减少大气污染物排放	船舶使用合规燃油，推广新能源利用，封闭物料运输	1)船舶非合规燃油使用处罚次数； 2)电能、LNG 动力等清洁能源船舶比率； 3)施工营地清洁能源使用率； 4)物料封闭运输比率	1)船舶使用非合规燃油处罚次数； 2)电动船舶、LNG 船舶数量/施工船舶总数量； 3)施工营地太阳能、市政电能、风能等清洁能源使用量/施工营地总能耗； 4)易散落、飞扬、流漏的物料封闭运输次数/物料运输总次数
声环境保护	保护声环境质量，减少对敏感区域影响	定期实施施工设备维护保养，减少在噪声敏感建筑物集中区域内的夜间施工时间	1)施工设备维护频率； 2)噪声敏感建筑物集中区域内夜间施工作业时间	1)施工设备维护次数/施工作业时间； 2)噪声敏感建筑物集中区域内夜间连续施工作业时间
施工环保管理	通过环保管理规范施工行为	健全环保管理体系，明确施工管理方案，开展环保培训，实施环境监测和生态调查	1)环保工作检查考核频次； 2)综合环保培训频次； 3)专项环保培训频次； 4)环境污染事故应急演习频次； 5)施工期水环境监测频次； 6)施工期生态调查频次	1)环保工作检查次数/施工作业时间； 2)环保培训次数(或培训时长)/施工作业时间； 3)针对生态敏感区环保培训次数(或培训时长)/涉及生态敏感区施工作业时间； 4)环境污染事故应急演习次数/施工作业时间； 5)施工期水环境监测次数/施工作业时间； 6)施工期陆域和水域生态调查次数/施工作业时间

4 结语

1)长江干线航道整治强度较大、涉及生态敏感因素较多、环境保护要求较高，需要进一步加强航道整治工程绿色施工研究和应用工作，弥补绿色施工方面的短板，不断提高施工绿色水平。

2)基于各航道整治工程施工类型剖析，航道施工环境影响包括水环境影响、生态影响、大气环境影响、声环境影响，长期影响和短期影响，直接影响和间接影响，有利影响和不利影响。

3)针对施工对生态环境要素的影响，从资源节约利用、生境保护等 7 个方面研究建立长江干线航道绿色施工评价指标体系，共包含 40 个评价

指标。评价指标值的确定需要结合环境保护政策、标准规定等，部分指标评价还需要根据研究试验和专家论证给出半定量或定性的评价限值。

参考文献：

- [1] 中设设计集团股份有限公司.绿色交通设施评估技术要求(第3部分:绿色航道):JT/T 1199.3—2018 [S].北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [2] 刘怀汉,雷国平,尹书冉,等.长江干线航道治理生态措施及技术展望[J].水运工程, 2016(1): 114-118.
- [3] 曹民雄,张卫云,马爱兴,等.软体排与扭双工字透水框架结构潜堤下游联合护底试验研究[J].水运工程, 2015(7): 1-7.

- [4] 曹民雄, 申霞, 应翰海. 长江南京以下深水航道生态型整治建筑物结构研究[J]. 水运工程, 2018(1): 1-11.
- [5] 曹民雄, 申霞, 黄召彪, 等. 长江南京以下深水航道生态建设与保护技术及措施[J]. 水运工程, 2018(7): 1-9.
- [6] 荆江整治工程坚持绿色先行打造生态航道. 搜狐网 [EB/OL]. (2016-01-11) [2016-01-11]. https://www.sohu.com/a/53849226_119663.
- [7] 葛高岭, 潘瑞琦. 季节性蜿蜒河道生态景观构建[J]. 水运工程, 2019(7): 136-142, 161.
- [8] 中华人民共和国建设部. 绿色施工导则[R]. 北京: 中华人民共和国建设部建设部, 2007.
- [9] 周亿迎, 贾远明, 李静. 内河航道绿色施工技术应用与效益分析[J]. 港口科技, 2015(8): 1-3, 20.
- [10] 雷晓玲, 丁娟, 雷雨. 疏浚过程中的环境影响分析及其对策研究[J]. 环境工程, 2015, 33(2): 140-142.
- [11] 谢孝如. 新常态下长江航道绿色疏浚发展状况研究[J]. 中国水运, 2019(6): 15-17.
- [12] 大美长江, 迈向绿色生态航道建设新征程——长江航道局“十三五”绿色生态航道建设综述. 中国水运网 [EB/OL]. (2021-01-04) [2021-01-04]. <http://www.zgcsyb.com/news.html?aid=578497>.
- [13] 罗雄, 方建章. 航道治理建设规划环境影响识别及指标体系建立[J]. 水运工程, 2018(8): 219-224.
- [14] 交通运输部. «关于推进长江经济带绿色航运发展的指导意见»[R]. 北京: 交通运输部, 2017.
- [15] 陈怡君, 江凌. 长江中下游航道工程建设及整治效果评价[J]. 水运工程, 2019(1): 6-11, 34.
- [16] 付桂. 长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程福姜沙水道整治工程效果对比分析[J]. 水运工程, 2021(1): 104-110.
- [17] 交通运输部规划研究院. 长江南京以下深水航道二期工程河段环境保护与修复研究[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2018.
- [18] 中交第二航务工程勘测设计院有限公司. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程环境影响报告书[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘测设计院有限公司, 2014.
- [19] 童朝锋, 周云, 孟艳秋. 航道清礁对西江鱼类保护区紊流体的影响[J]. 水运工程, 2018(11): 138-144, 218.
- [20] 李向阳, 郭胜娟. 内河航道整治工程鱼类栖息地保护探析[J]. 环境影响评价, 2015, 37(3): 26-28, 56.
- [21] 常留红, 徐斌, 张鹏, 等. 深水航道整治丁坝群对鱼类生境的影响[J]. 水利学报, 2019, 50(9): 1086-1094.
- [22] 王克雄, 王丁. 航道整治工程对长江江豚影响及缓解措施分析[J]. 环境影响评价, 2015, 37(3): 13-17.
- [23] 居涛, 张天赐, 王志陶等. 抛石噪声特性及其对长江江豚的可能影响[J]. 声学技术, 2017, 36(6): 580-588.
- [24] 胡红兵, 吴中乔, 高辰龙, 等. 长江航道疏浚土潜在的健康风险[J]. 水运工程, 2018(1): 45-49.
- [25] 张伟, 王耀明, 赵丽娜, 等. 泥驳船水下高精度抛填施工工艺[J]. 水运工程, 2020(S1): 105-109.
- [26] 施军. 长江口南槽航道治理一期工程软体排铺设施工工艺[J]. 中国港湾建设, 2020, 40(11): 66-70.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 75 页)

2) 港产城的融合发展是一个跨学科、综合性很强的领域, 在产业导入、规划实施等方面仍有不少难题, 需要继续深化研究, 不断完善规划技术。

参考文献:

- [1] 朱吉双. 世界一流港口经济贡献测算比较研究[J]. 综合运输, 2020, 42(5): 49-55, 92.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 国家综合立体交通网规划纲要学习读本[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限

公司, 2021.

- [3] 朱善庆, 吴晓磊, 刘健, 等.“多规合一”背景下临港经济区规划探索[J]. 水运工程, 2016(10): 28-33, 45.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 青岛港城空间规划研究[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2018.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司. 湄洲湾港产城协调发展研究[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2016.
- [6] 中交水运规划设计院有限公司. 铜陵港产城一体化发展研究[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2021.

(本文编辑 郭雪珍)