

量提升、大气污染防治、能源节约使用等，今后将加强管理力度及技术研发强度。此举既有助于推动全省内河航运绿色发展水平的进一步提高，又可以为其他区域的绿色航运发展提供经验借鉴。

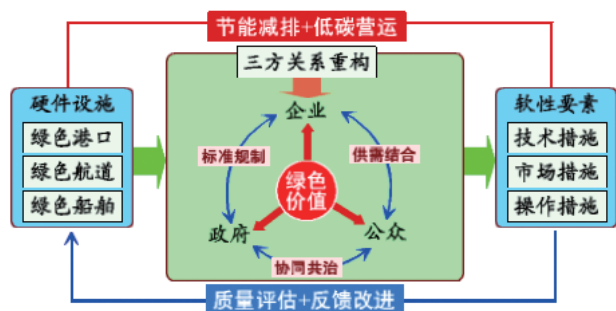


图1 江苏绿色航运发展有效机制的推进路径

在我国经济快速发展的同时，其他地方的内河航运呈现出利用LNG动力船舶、电动船舶等绿色高效的动力技术替代传统的燃油动力技术，而LNG动力船舶及电动船舶技术正是当今国际先进的船舶动力技术。同时，LNG动力船舶与电动船舶使用这种低污染高效的绿色能源还可以将原来的用能结构进行优化，进一步降低船舶排出的各类污染物，前景十分可观^[4]。但是我国现有内河航运还未完善LNG加注站和充电桩等配套相关设施，使得LNG动力船舶和电动船舶难以得到大面积推广和普及。

总之，内河航运绿色发展还面临一些问题，如产业规模较小，与发达国家相比，产业链条不够完善；部分绿色低碳技术尚未成熟，推广应用难度较大；内河航运绿色低碳产业项目投资规模较大，资金投入不足成为制约产业发展的重要因素。

3 路径优化策略分析

为加快推进内河航运绿色转型，应打造以内河新一代绿色智能船舶、绿色智能航运基础设施、岸基集控及信息服务和交通运营服务为一体的现代化内河航运系统^[5]。把生态保护融入到航运基础设施规划、设计、建设、运行和养护中，统筹考虑生态保护的全过程，在保证生态保护的前提下推进新技术、新材料的研发应用，进一步加强港口和船舶污染治理以及推广大宗货物绿色运输、清洁燃料使用力度等。具体分析如下：

3.1 绿色船舶制造与配套

环保材料研发，联合地方企业研发轻量化、可回收船体材料（如碳纤维复合材料）；报废更新高耗能高排放老旧营运船舶，大力支持新能源清洁能源动力船舶发展；探索标准化燃料罐、箱式电源等可移动船舶设备共

享共用，积极推动绿色甲醇、电力、液化天然气（LNG）、生物柴油、绿氨、绿氢等清洁能源在船舶上应用；依托内河港航优势，联合中国船舶集团、中远海运、中集集团等企业推广适合内河的绿色甲醇等清洁能源燃料船舶；对接氢能产业园，开发氢燃料电池内河船舶；与比亚迪、宁德时代合作研发大容量电池组，适配运河短途货运船舶。

3.2 清洁能源供应链

推动建设一批绿色燃料生产基地，加快提升绿色甲醇、电力、LNG、绿氨、氢能等供给能力。因地制宜结合港口周边农业秸秆、风光等生产绿色甲醇、LNG，在主要航道、港口等重要枢纽节点布局绿色甲醇、LNG加注设施，形成“生产-运输-加注”全链条能力；利用地方上分布式光伏资源（如采煤塌陷区光伏基地）电解水制氢，建立“光伏-制氢-储运”链条；建设沿运河岸电系统，推广船舶靠港使用岸电替代燃油发电；布局移动式充电桩（针对电动船舶）及氢能加注车。

3.3 绿色港口与航道基建

港口绿色化改造：重要港口推广“零碳码头”模式，全流程电气化装卸设备（如电动龙门吊），光伏顶棚+储能系统实现港口用电自给。

航道生态治理：建设生态护岸，种植本土水生植物，利用石材加工废料推广“透水型”护坡材料。

综上，通过鼓励船舶更新换代，推广使用清洁能源船舶。船舶的发动机改造成绿色发动机，航道与港口沿线区域内通过太阳能、风能和生物能源生产电、绿色甲醇和生物天然气，而沿线布置绿色甲醇、生物天然气的加注站及船舶充电桩供运河上绿色动力船舶补充燃料，从而降低沿线及周边的碳排放。让内河航运从传统的动力向绿色动力转型，带动了沿线整个产业链的绿色转型，从而达到了绿色交通、绿色航运。

4 结论

综合以上分析讨论，内河航运绿色发展可以采取一系列路径优化策略。应着力提升内河航道等级与通航条件，推动船舶更新升级和运力资源优化配置，并建立高效智能的水运物流组织机制^[2,6]。例如，通过合理规划运输路线，建立多港联运体系，引入先进的航行技术、信息系统和自动化技术，扩大船舶规模，发展多式联运和集装箱化运输等^[2]。此外，还应重视内河航道运输的信息化与智慧化建设，全面提高航运效率和安全水平^[7]。

推进内河航运绿色发展是一项综合性系统工程，既要加强内河航运基础设施建设，改善通航条件，为内河

东乡县沿洮河河道生态缓冲带修复设计探讨

王红侠

(甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 本文主要对东乡县沿洮河河道生态缓冲带修复设计原则、缓冲带布置以及滩面生态修复设计进行探讨, 其中滩面生态修复设计选择当地乡土树种及经济且成景效果佳的马蔺、红豆草、紫花苜蓿、鳶尾、波斯菊、千屈菜、黄菖蒲、小香蒲、芦苇、水葱、水生鳶尾、高羊茅+黑麦草+早熟禾混播等地被花草相结合的植物群落体系, 形成相对连续且具有一定隔离功能的带状生态屏障。同时, 综合考虑护岸抗冲刷的需求及过洪断面的局限性, 河道内湿地整体以紫花苜蓿、红豆草、马蔺、千屈菜、碱蓬、早熟禾等地被、湿生类植物进行滩地生境的生态修复, 尽量确保层次化和空间感, 合理控制种植密度, 分片按不同比例配置上述植物, 注重色彩配置, 塑造多元化的植物格局, 体现洮河的水体美感。

关键词: 河道生态缓冲带; 修复设计; 沿洮河; 东乡县

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2025) 21—0055—03

1 设计原则

在河道与城镇生态功能区交界地带, 河道生境恢复以植物为主, 发挥一定缓冲作用, 既能保护河道的生物多样性、过滤污染物、调控洪水防止水土流失, 又可以减少公路噪音对周边生活环境产生的影响, 同时, 对河道生境恢复植物进行合理搭配, 种植本土树种为主, 适当配置经济且具有观赏性的植物, 在净化水质、拦截减少入河污染物, 提高河道缓冲带生物多样性, 美化河道

生态, 改善人居环境的基础上, 做到层次复合, 物种多样, 构成沿洮河经济带自然风景线。

(1) 基于现状河道条件, 丰水期和枯水期水位落差较大, 需要考虑到应对枯水期时的弹性解决策略, 以生态治理为依托, 以植物净化为手段, 遵循自然规律, 平衡护岸防洪功能与生物栖息地的生态功能, 对现状河滩地进行分层生态绿化^[1]。

(2) 为了响应相关政策, 满足流域生态系统保护

船舶安全高效航行提供优质硬件服务; 又要加快内河航运领域技术的应用与推广, 大力发展节能、环保、经济船舶, 不断提升运力配置水平与利用效率; 还要不断完善和健全相关政策法规及管理运行体系, 营造公平竞争有序发展的内河航运市场环境。以上从多方面齐头并进才能促使内河航运真正实现绿色发展, 最终服务好区域经济社会的大局。

未来内河航运绿色发展, 应以建设资源节约型、环境友好型航运为目标导向, 以先进技术为支撑, 以体制机制创新为动力, 加快转变发展方式, 走集约、高效、绿色、智能的现代化发展道路。要立足内河航运在综合交通运输体系中的独特优势, 发挥好大宗货物和区域运输的“压舱石”作用, 推动建立完善内河航运标准规范体系, 加强人才队伍建设, 全面提升内河航运综合服务功能, 为建设交通强国、服务经济社会发展大局作出新的更大贡献。

参考文献:

[1] 张哲辉, 殷翔宇, 骆义, 等. 水运服务国家三大战略的举措研

究[J]. 物流技术, 2016,(08):1-4+8.

[2] 朱敏喆. 内河水运物流体系现状分析及建设对策[J]. 中国航务周刊, 2023,(31):43-45.

[3] 孙正春, 张妮妮, 韩兵, 等. 绿色港口发展体系及分类分级管理方案研究[J]. 中国水运(下半月), 2021,(10):18-19+71.

[4] 崔艳, 肖山民, 任川. 北盘江-红水河绿色港航建设技术[J]. 中国水运(下半月), 2019,(04):145-146.

[5] 严新平. 内河新一代航运系统构建的思考[J]. 中国水运, 2021,(09):6-8.

[6] 屠琳桓. 国际航运中心航线发展路径研究[J]. 天津航海, 2021,(04):40-43.

[7] 罗劲松. 内河智慧航道与船舶智能航行建设[J]. 城市建筑, 2021,(35):157-159.

[8] 付春. 内河航运在区域经济发展中的作用[J]. 船舶物资与市场, 2020,(08):83-84.

[9] 钱兆燕. 绍兴市绿色航道(水运)建设实践与思考[J]. 中国水运, 2023,(03):71-73.

和减少水污染物排放,结合自然生态湿地营建和河滩地生态修复的相关措施,实现沿洮河经济带沿线的水生态环境质量、保护和恢复区域生物多样性。以人为本,营建独特的区域小气候,强调流域生态特色,以还原天然河道环境为原则,对滩地进行生态修复设计,确保生态廊道完整性,改善区域生态环境^[2]。

(3)充分考虑水情特点,植物设计选择要既保证生态景观效果,又注重长期的运营管理,因地制宜的选择本土抗冲、耐淹、耐泥的树种、合理布局,形成陆生、湿生、挺水、浮水、沉水等植物相对完整的典型植被群落,衍生出一处处水清岸绿,优美宜人的滨水空间,提升人民幸福感和宜居感^[3]。

2 缓冲带布置

经实地勘察,滩面生态修复设计选择当地乡土树种及经济且成景效果佳的马蔺、红豆草、紫花苜蓿、鸢尾、波斯菊、千屈菜、黄菖蒲、小香蒲、芦苇、水葱、水生鸢尾、高羊茅+黑麦草+早熟禾混播等地被花草相结合的植物群落体系,形成相对连续且具有一定隔离功能的带状生态屏障,流域内植被大面积增加,同时开展基底地形改造,利用开挖形成深浅交替的深潭和浅滩,为植物提供多样化基底生境,并进行缓坡地形改造或修补。本次设计面积11.9hm²,纵向范围4.55km,横向长度3km。本次治理河道纵向长度4.55km,洮河干流段河道缓冲带面积为14.1hm²,其中滩面生态修复的面积为11.6hm²,配套管护道路3.96km。

从全局角度考虑,为达到滩地(湿地)对入河污染物最佳的削减效果,在滩地区域植物群落修复的基础上,构建生态水系,并利用抛石或沉石等形成浅滩和水域,构建急流、缓流和滩槽等丰富多样的水流条件及多样化的生境条件,创造两栖类、鸟类等动物栖息环境,增加植物种类多样性,形成小型生态系统,滩地内建设2.82 km生态水系。

3 滩面生态修复设计

3.1 滩地分层利用

根据河道治理前后水面线对比分析结果,分别进行2年、5年、10年一遇设计洪水水面线计算^[4],经分析研究确定洮河干流上游起点安家咀水电站——下游八丹沟入洮河河口,对河道内滩地进行一定程度的微地形修复,覆绿美化,进行植物补植补种措施,保障河道、边坡及滩地的生物多样性。

对2年一遇洪水水位以下的河滩不进行利用,维持自然河床;对2~5年一遇洪水水位之间的滩地进行微地形整理后生态修复,只允许种植草本植物;对5年一遇洪水水位以上的河滩地分层进行生态修复,以草本水生

植物为主,沿堤边可少量以花草点缀的形式布置^[5]。通过建设人工湿地,利用湿地水生植物对氮磷的吸收,提高水体自净能力。

3.2 滩面修复布局

本工程根据现场踏勘情况,滩面生态修复设计主要针对沿洮河经济带安家咀电站枢纽的减水河段两岸裸露的河滩地区域,对其进行生态修复,实现水域和陆域之间的连通性,增强区域整体碳汇效果,减缓农村面源污染,提高河道流域环境和生态系统的多样性。

遵循河道的自然特征,科学适度地对现状滩地(湿地)进行生态修复,植物结合基地条件,尽量选用耐冲刷、抗盐碱、耐寒耐旱、耐水湿、扎根能力强的植物种类,以近自然的方式进行种植^[6]。利用滩地(湿地)水生、湿生物对氮磷的吸收,提高水体自净能力。

综合考虑护岸抗冲刷的需求及过洪断面的局限性,本次河道内湿地整体以紫花苜蓿、红豆草、马蔺、千屈菜、碱蓬、早熟禾等地被、湿生类植物进行滩地生境的生态修复(控制植物株高20cm以下),尽量确保层次化和空间感,合理控制种植密度,分片按不同比例配置上述植物,注重色彩配置,塑造多元化的植物格局,体现洮河的水体美感。

本次工程河道生态缓冲带主要布置在洮河干流,通过对现状滩地进行整治重塑,确定为向岸坡左侧倾斜而成的缓坡,逐级分层布局,自河道左岸依次布置生态绿化、生态水系、管护道路等工程与非工程措施。

3.3 滩地植物设计

3.3.1 现状分析

本次河道生态缓冲带位于河道右岸,长度约为4.55公里,面积约为12.6hm²,设计主要针对河道内2年一遇洪水范围线外的裸露滩地进行植物设计。现状滩地情况较为复杂,部分杂草阻塞河道,影响防洪;部分区域为砂砾石,滩面裸露严重。本次设计清理河道杂草,水系两侧种植植物,靠近水面部分种植千屈菜、黄菖蒲、水生鸢尾等水生植物,靠近护岸部分种植紫花苜蓿、红豆草、马蔺、波斯菊、混播草坪等植物,对河道滩面进行修复。

3.3.2 具体设计

植物是营造河道生境最简单也是最有效的方式,大量研究证明,水生植物可以直接吸收水体中的污染物质,减少风浪对水体和底泥的扰动,亦可以为微生物、动物提供栖息的场所^[7]。在洪水期,植物群落能够起到护坡固土,阻止底泥上浮形成二次污染,有利于水质改善和水生生态系统的构建,同时形成具有观赏性的植物群落^[8]。

本次植物选择以当地乡土树种及经济且成景效果佳的品种为主,主要有:马蔺、红豆草、紫花苜蓿、鸢尾、波斯菊、千屈菜、黄菖蒲、小香蒲、芦苇、水葱、

水生鸢尾、高羊茅+黑麦草+早熟禾混播等。

3.3.3 种植土要求

根据《园林绿化工程施工及验收规范》(CJJ 82-2012)要求,种植土要求土壤 pH 值小于等于 8.3,全盐含量小于 2‰,有机质含量不小于 1.5%^[9]。本次河道生态缓冲带种植土平均回填 30cm,不同区域覆土深度不同时,可根据实际情况进行覆土。

3.3.4 苗木质量要求

(1) 未受肥害、药害、无病虫害,树干结构,树皮及枝叶无断裂破损。截干乔木锯口处要干净、光滑、无撕裂或分裂。

(2) 所有苗木原则上均采用入库单位苗木或本地苗,并做到随挖苗,随运输。挖取后不应搁置过久,防止根部干涸,叶芽枯萎或掉落。

(3) 严格按设计规格选苗,应保证移植根系完好,带好土球,包装结实牢靠^[10]。

3.3.5 绿化给水

河道滩地中旱地植物丰水期采用河道抽水进行浇灌,枯水期采用人工浇灌的方式进行浇洒。

3.4 滩地生境营造

3.4.1 生态水系

基于生物群落修复,创造两栖类、鸟类等动物栖息环境,增加植物种类多样性,形成小型生态系统,在河道内使用抛石或沉石等形成浅滩和水域,构建急流、缓流和滩槽等丰富多样的水流条件及多样化的生境条件。

在滩地内建设生态水系 3.75 km,主要是对河道滩面进行地形整理,对河道砂砾石土开挖,清理沟道,结构层自下而上分别为场地平整、黏土垫层、干砌块石和坡面绿化。

3.4.2 生态置石

在水系内布设 13 组生态置石,通过水泥砂浆对自然块石进行粘连,形成深潭、浅滩的效果,稳固周边河道生物多样性,恢复河流生态。本次设计利用河流地貌自然结构,结合高坡降、垂直侵蚀大的河道特点,结合生态跌水工程措施形成水域构建生境,修复河道自净能力。

河道生境恢复位于河道距离 5~60m 的裸露滩地区域,形成相对连续且具有一定隔离功能的带状生态屏障,通过塑造生态水系及生态跌水,对直接排入沿洮河经济带的水污染物形成系统拦截,还降低了噪声的污染。

设计功能:①调整河道纵坡、稳定河床的同时,增加河流曝气,有利于恢复水体中微生物的活力,进而改善水质;②使河道水面宽度加大,形成小湿地,增加水体净化能力;③有助于增加空气湿度,过滤空气尘埃,调节小气候,改善区域生态环境。

4 总结

经实地勘察,滩面生态修复设计选择当地乡土树种及经济且成景效果佳的马蔺、红豆草、紫花苜蓿、鸢尾、波斯菊、千屈菜、黄菖蒲、小香蒲、芦苇、水葱、水生鸢尾、高羊茅+黑麦草+早熟禾混播等地被花草相结合的植物群落体系,形成相对连续且具有一定隔离功能的带状生态屏障,流域内植被大面积增加,同时开展基底地形改造,利用开挖形成深浅交替的深潭和浅滩,为植物提供多样化基底生境,并进行缓坡地形改造或修补。本次设计面积 11.9 hm²,纵向范围 4.55 km,横向长度 3 km。

本次治理河道纵向长度 4.55km,洮河干流段河道缓冲带面积为 14.1hm²,其中滩面生态修复的面积为 11.6hm²,配套管护道路 3.96km。从全局角度考虑,为达到滩地(湿地)对入河污染物最佳的削减效果,在滩地区域植物群落修复的基础上,构建生态水系,并利用抛石或沉石等形成浅滩和水域,构建急流、缓流和滩槽等丰富多样的水流条件及多样化的生境条件,创造两栖类、鸟类等动物栖息环境,增加植物种类多样性,形成小型生态系统。

参考文献:

- [1] 莫菁仪,刘佳,方煊莹,等.生态修复视角下的村落型河湖生态缓冲带景观规划策略研究[J].安徽农业科学,2024,52(18):192-197+201.
- [2] 贾建龙.潮白河水生态空间划分与生态修复策略[J].水利技术监督,2024,(02):73-75.
- [3] 姜丽.生态修复视角下的广通河水环境综合治理研究[J].黑龙江生态工程职业学院学报,2022,35(05):8-11.
- [4] 朱昌涛,余洋洋.某综合治理工程设计洪水计算及水面线推求[J].河南水利与南水北调,2024,53(06):31-32.
- [5] 张杰,李绪妹,刘思雨,等.人工湿地中湿地植物选择及其净化水质能力的研究进展[J].湿地科学与管理,2024,20(05):65-69.
- [6] 胡葆莉,马贯成,饶刚,等.永定河滩地生态修复治理分析——以永定河休闲森林公园为例[J].绿化与生活,2022,(06):51-54.
- [7] 吕亮雨,施建军,蔡宗程,等.三江源区干枯河道生境下光稈茅香典型群落结构及其物种多样性分析[J].青海大学学报,2024,42(05):1-8.
- [8] 赵丰,宋英伟,黄民生,等.城市景观河道生境改善技术研究与应用进展[J].净水技术,2008,(04):16-18+55.
- [9] 龚雨润.园林绿化种植土质量基本要求[J].河北林业科技,2014,(02):90-91.
- [10] 庆建军.园林绿化中苗木种植的施工与养护管理策略[J].园艺与种苗,2023,43(06):51-52.

LNG 换罐加注模式下 新型换罐快速接头设计及应用研究

程亦薇¹, 崔腾飞¹, 陈来生², 王健¹, 宋宇¹, 樊杰², 程子云¹

(1. 中国船舶集团有限公司第七一一研究所, 上海 201108; 2. 南通中集能源装备有限公司, 江苏南通 226001)

摘要: 针对 LNG 动力船换罐加注模式下快速接头需兼具长时连接可靠性与快速断连便捷性的技术要求, 本研究设计开发了一种抱箍连接式新型换罐快速接头。通过数值仿真分析了接头在低温工况下的温度场分布特性及流阻-流量关系, 结果表明: 在 -162℃ 低温环境下, 接头手柄部位无结冰现象; 当流量为 50m³/h 时, 流阻仅为 0.07MPa, 且未出现汽蚀现象。通过开展系统性型式试验, 包括结霜工况操作力测试、10,000 次耐久性循环试验以及振动可靠性试验等, 验证了接头的综合性能: 在 10mm 冰层覆盖条件下分离力为 25N; 经 110 小时持续振动及低温测试后仍保持零泄漏; 所有测试指标均满足设计要求。研究表明, 该新型快速接头具有结构可靠、抗振动性能优异、操作便捷等显著优势, 可有效提升 LNG 动力船换罐作业效率及管路系统连接可靠性。

关键词: 液化天然气; 换罐加注; 接头; 快速连接

中图分类号: TE835

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 21—0058—05

Design and Application Research of New Type Tank-changing Quick Couplings under LNG Tank-changing Filling Mode

Cheng Yi-wei¹, Cui Teng-fei¹, Chen Lai-sheng², Wang Jian¹, Song Yu¹, Fan Jie², Cheng Zi-yun¹

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108, China; 2. Nantong CIMC Energy Equipment Co., Ltd., Nantong 226001, Jiangsu, China)

Abstract: For the tank-changing filling mode of LNG-powered vessel, the quick couplings should both have long-term connection reliability and connecting operation convenience. The new type quick couplings with hoop connection be designed to meet this requirement. The temperature field and flow resistance curve have been obtained through simulation. Result shows there is no icing at the handle of the quick couplings when used at low temperature. The flow resistance of the quick couplings is 0.07MPa at 50m³/h, and no cavitation occurs. Type tests such as operation force test when frost, 10000 times durability test and vibration test were carried out. The results showed that the performance of the quick couplings met the requirements. The separation force of this quick couplings under 10mm thick ice layer was 25N. Compared with the dry-type quick couplings which was leaking during vibration test, the new type quick couplings had no leakage after above 110 hours of cryogenic vibration. It has the characteristics of high reliability, strong vibration resistance, better operation convenience, which improves the efficiency of tank-changing filling and the reliability of pipeline connection.

Key words: liquefied natural gas; tank-changing filling; couplings; fast connection

为加快推动航运业能源清洁低碳转型, 响应国家“双碳”目标, 近年来国家和地方政府密集出台了一系列清洁能源支持政策。液化天然气 (LNG) 凭借其高热值、低污染和低碳排放的优势, 作为清洁能源代表在我国内河航运领域迅速发展。国家发改委、交通运输部、工信部等陆续发布了相关政策文件, 推动 LNG 在船舶等交通领域的应用, 并推进相应燃料配送及加注支撑体系建设。在政策的有力引导和支持下, 截至当前, 我国 LNG 动力船数量已突破 500 艘。

LNG 动力船舶产业的持续发展, 离不开配套加注

基础设施的支撑。然而, 截至 2022 年底, 我国现有 LNG 加注站总计仅 28 座, 且其中仅 7 座投入运营, 远不能满足日益增长的 LNG 动力船加注需求。目前常用的船用 LNG 加注模式主要包括槽车加注、岸站加注、趸船加注、船船加注以及换罐加注等方式^[1]。其中, 前四种方式均需新建岸上加注设施, 存在投资大、建设周期长、审批手续复杂等缺点, 难以快速响应需求的增长。相比之下, 换罐加注模式可有效克服这些困难, 摆脱对固定加注站的依赖, 并显著节省加注时间。换罐加注流程为: 提前在 LNG 接收站充装完毕的 LNG 燃料罐被公