



## 固体散货内河水上过驳方案设计简析

邓灿<sup>1</sup>, 袁盛良<sup>2</sup>, 官至鑫<sup>1</sup>, 丁杰<sup>3</sup>, 熊智<sup>2</sup>, 吴锋箭<sup>2</sup>

(1. 湖南省港航水利集团有限公司, 湖南长沙 410004;

2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410200;

3. 湖南省城陵矶港口集团有限公司, 湖南岳阳 410004)

**摘要:** 针对传统浮吊在煤炭、矿石等重散货水上过驳作业中存在的效率低、污染重、安全隐患突出等问题, 为贯彻落实“长江大保护”战略要求, 研究探索一种新型过驳技术方案。通过对比分析现有过驳模式与船型特点, 结合连续式装卸设备的技术进展, 提出砂石过驳宜采用自卸船方案。对于煤炭和矿石类货物, 则创新构建了以链斗式卸船机、装船机和趸船平台为核心的集成系统, 并设计了两种技术方案: 方案1为“链斗式卸船机+带式输送机+固定装船机”的分体式布局; 方案2为卸船与装船功能高度集成的链斗式装卸一体机。结果表明: 两种过驳方案均能实现2 000 t/h的作业效率, 较传统浮吊过驳(500 t/h)提升300%, 并可实现作业过程零撒漏、零扬尘。其中, 方案2因设备高度集成, 在能耗与环保方面表现更优。该研究为重散货水上过驳作业的绿色、高效转型提供了创新性的技术路径。

**关键词:** 固体散货; 水上过驳; 链斗式卸船机; 一体机; 高效; 环保

中图分类号: U693

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0143-06

### Brief analysis on design of inland water solid bulk cargo overwater transshipment scheme

DENG Can<sup>1</sup>, YUAN Shengliang<sup>2</sup>, GUAN Zhixin<sup>1</sup>, DING Jie<sup>3</sup>, XIONG Zhi<sup>2</sup>, WU Fengjian<sup>2</sup>

(1. Hunan Provincial Port & Waterway Group Co., Ltd., Changsha 410004, China;

2. Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410200, China;

3. Hunan Chenglingji Port Group Co., Ltd., Yueyang 410004, China)

**Abstract:** To address the inefficiency, pollution, and safety risks of traditional floating cranes in water transshipping bulk cargo such as coal and ore, this study explores a novel transshipment technology solution to implement the requirements of the “Yangtze River Protection” strategy. Through a comparative analysis of existing transshipment models and vessel characteristics, combined with advancements in continuous loading and unloading equipment, it is proposed that a self-unloading vessel scheme is suitable for sand and gravel transshipment. For coal and ore cargo, an innovative integrated system centered on a chain-bucket continuous unloader, ship loader, and pontoon platform has been developed. Two technical solutions are designed: Scheme 1 features a separated layout of “chain-bucket unloader + belt conveyor + fixed ship loader,” while Scheme 2 integrates unloading and loading functions into a highly compact chain-bucket combined loader-unloader. The results show that both transshipment schemes can achieve an operational efficiency of 2,000 t/h, representing a 300% increase compared to traditional floating crane transshipment (500 t/h), while also enabling zero spillage and zero dust emission during operations. Among them, Scheme 2 demonstrates superior performance in energy consumption and environmental protection due to its highly integrated equipment design. This study provides an innovative technical pathway for the green and efficient transformation of heavy bulk cargo transshipment operations.

**Keywords:** solid bulk cargo; overwater transshipment; chain-bucket unloader; integrated machine; high efficient; environment protection

收稿日期: 2025-08-29 录用日期: 2025-10-29

作者简介: 邓灿(1988—), 男, 高级工程师, 从事港口、航道及水利工程的建设运营管理工作。

过驳作为一种成熟的货物中转方式，在水运领域得到广泛应用。在湖南省，受内河航道等级限制，来自长江的大型船舶须进行过驳减载后再靠泊内河港口作业，反之亦然。这一中转机制有效实现了物流成本的显著节约。位于湘、资、沅、澧四水与长江干线交汇处的岳阳，是湖南省水运门户，承担着大宗货物的水水中转功能。2024年，该区域水水中转量超过3 000万t，以砂石、矿石和煤炭等大宗散货为主。然而，现行的浮吊过驳作业模式存在效率低、污染重、安全风险高等问题。

近年来，随着“长江大保护”战略深入实施和《长江保护法》的颁布，传统过驳方式的生存空间日益受限<sup>[1]</sup>。2018年以来，长江沿线共取缔非法码头1 361座，腾退岸线158 km，大量砂石码头被关停，合法码头转运压力骤增，对包括过驳作业在内的转运体系的环保性和安全性提出了更高的要求。

由于浮吊为非连续卸船设备，在抓料及回转过程中易产生撒漏料及扬尘。因此，基于国内外过驳实际案例，结合连续式装卸设备最新应用，探讨一种集高效装卸、环保作业于一体的新型水上过驳系统，旨在突破内河过驳技术瓶颈，推动水运绿色转型，为长江经济带高质量发展提供技术支持。

## 1 水水过驳现状

在国际干散货水运领域，水水过驳的应用已十分广泛。在巴西亚马逊河道，当遭遇枯水期水深不够时，会使用浮式转运平台实现较大船舶与吃水较浅船舶间的水上过驳。在澳大利亚，很多偏远矿山通过小型支线船将铁矿石从低等级港口运输至沿海，再过驳至大型船舶出口<sup>[2]</sup>。国内水水过驳主要依托锚地<sup>[3-4]</sup>或者港口<sup>[5]</sup>广泛应用于沿海及长江流域。

总体上，国内外常用大宗固体散货过驳方案主要包括浮吊平台、自卸船、大型过驳平台<sup>[6]</sup>及靠岸过驳等4种形式。

### 1.1 浮吊平台

浮吊平台结构简单，船体为小型趸船，配备固定式起重机，具备起升、回转、俯仰功能，使用抓斗作业。浮吊平台方案见图1。

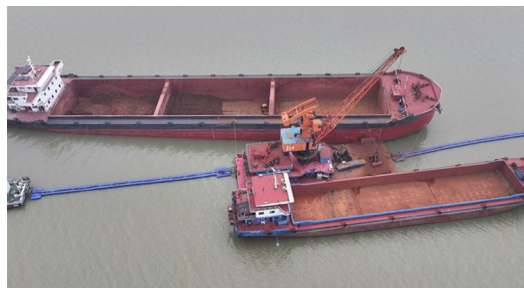


图1 浮吊平台

Fig. 1 Floating crane platform

过驳时，大、小船分别停靠趸船两侧，浮吊抓取物料并转装至对方船。其额定效率通常 $\leq 500$  t/h。该方案造价低，但效率不高，适用于运量小、船型小的作业场景，曾广泛应用于长江流域，近年来因通航安全与环保要求高，有逐渐被淘汰的趋势。

### 1.2 自卸船

自卸船为洞庭湖区砂石主力运输船，多为500~3 000吨级，其船舱底部呈漏斗形，下设带式输送机，物料经输送机提升至船头悬臂带式输送机完成卸船。自卸船过驳方案仅用于物料出运。自卸船方案见图2。

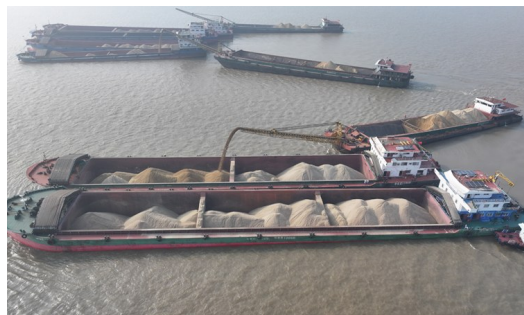


图2 自卸船

Fig. 2 Self-unloading ship

该方案卸船能力较大，兼具运输与过驳功能，但设备复杂、造价高、维护成本大，且船首盲区大、航行视线易受阻，碰撞风险较高，多用于砂石等物料的短距离运输与过驳。

### 1.3 大型过驳平台

大型过驳平台结构复杂,采用特制船体,配备抓斗卸船机、接料漏斗、带式输送机和装船机等设备。

作业时大、小船分靠平台两侧,物料经抓斗、漏斗、带式输送机及装船机实现转运,效率可达3 000 t/h,但造价高昂,主要适用于海运中船型大、运量高的过驳场景。

### 1.4 靠岸过驳

靠岸过驳将过驳平台设于码头,配置桥式抓斗卸船机、带式输送机和装船机等设备。靠岸过驳方案见图3。



图3 靠岸过驳

Fig. 3 Berthing for transshipment

作业时大、小船依次顺靠码头,利用卸船与装船系统实现同步转运,效率约2 000 t/h。该方案效率较高,但码头及设备投资大,多作为码头泊位的兼顾功能。

## 2 发展趋势

为克服传统浮吊过驳作业的局限性,国内外学者已开展多项替代方案研究。学者Johnson<sup>[7]</sup>提出一种创新的“浮动港口转运船”方案。该方案采用带顶棚的浮式船坞作为过驳平台,其艏部为船坞结构,能够为内河小船提供遮蔽良好的作业环境,从而显著减弱海况及天气条件对作业的干扰,有效增加年可作业天数。艏部设有临时货物存储区,船坞内部配备高效装卸系统,可快速将小船所载货物中转至停靠于船坞外侧的海轮。由于船坞整体设有顶棚,该方案还能有效抑制粉尘扩散,具备快速部署与运营的能力。

在国内,长江流域的水上过驳作业正经历系统性转型升级。长江下游区段因丰枯水期水位变

幅较小,已全面取消水上过驳作业,转而推行“弃水上岸”策略。以江苏段为例,自2017年起通过新建或改造专业化码头设施,增强散货中转能力,至2021年已全面完成水上过驳整治工作<sup>[8]</sup>。而在水位落差显著、枯水期持续时间较长的长江中上游段,受自然条件制约,减载过驳仍有其必要性。该区域目前主要遵循“三定原则”(定水域、定公司、定制度及流程)对传统浮吊作业实施规范化管理<sup>[9]</sup>,其非连续式的作业方式存在效率偏低与环境污染较重等问题。

在此背景下,连续式卸船设备凭借其高效、节能及环保等优势,已成为散货卸船技术的重要发展方向。连续式卸船机根据工作原理可分为气力式、夹带式、链斗式等多种类型。其中,链斗式卸船机尤其适用于煤炭、矿石等重散货作业,具备能耗低、效率高的特点<sup>[10]</sup>。陈再兴等<sup>[11]</sup>的研究进一步表明,链斗卸船机在实际作业中单舱平均卸船能力可达额定能力的76.8%,且在矿石与煤炭装卸中,其单位能耗较传统抓斗式卸船机分别降低45%与20%。

近年来,随着链斗式卸船机在散货码头的广泛应用,其技术也在实践中不断优化。例如,陈杨<sup>[12]</sup>借助EDEM离散元分析软件对链斗抛料过程进行模拟,以改善物料冲击及衬板磨损问题;刘永生<sup>[13]</sup>同样运用EDEM对物料中转的核心部件——中心溜筒进行建模,研究输送过程中的冲击力学行为与堵料预警机制;段建强<sup>[14]</sup>则通过对取料提升系统的运行分析,实现了生产率的实时监控,为保障料流稳定与设备产能提供了支撑。经过持续改进,链斗式卸船机已发展为一种成熟可靠的卸船装备。此外,倪立<sup>[15]</sup>研究对比了岸壁式与浮式卸船机的适应性,指出浮式卸船机特别适用于水位差较大的内河散货专业码头。

综合考虑湖南省过驳货物以煤炭、矿石等重散货为主,以及当地水位差大、波浪影响较弱的特点,构建以“趸船+链斗式卸船机”为核心的新型水上过驳系统,展现出显著的技术可行性与应用优势。新旧系统的主要特点对比见表1。

表 1 不同过驳系统特点对比  
 Tab. 1 Comparison of characteristics of different transshipment systems

过驳方案	效率/(t·h <sup>-1</sup> )	投资成本	环保性	使用场景	卸船型式	备注
浮吊平台	≤500	低	差	小运量、小船型	抓斗	非连续式
自卸船	1 000~1 500	中	中	砂石短途运输	自卸皮带	连续式
大型过驳平台	3 000	高	较好	海运大船型	抓斗	非连续式
靠岸过驳	2 000	高	较好	大宗散货中转	抓斗/链斗	码头兼顾功能
内河新型水上过驳系统	2 000	中	优	大宗散货中转	链斗	连续式

### 3 项目依托情况

项目拟依托湘阴虞公港附近的水上绿色综合服务区，该服务区为集成布局公共锚地、生活服务、污染物接收、避险、加油、岸电、水水中转、待港等功能的水上绿色综合服务区，其中水水中转功能主要服务于砂石、煤炭及矿石的水水中转。

#### 3.1 砂石运量及船型

湘江、资水及洞庭湖河道砂石储量大、质量好，绝大部分开采的砂石在洞庭湖与长江交汇处过驳转大船后销往长三角地区，年运量超 3 000 万 t，项目拟承担其中的 600 万 t/a。

洞庭湖区砂石运输船型主要为自卸驳船，是与工程采砂船配套使用的运输船只，其单船运量主要为 1 000~2 000 t，发往长三角的干线船多为 1 万~2 万吨级散货船。

#### 3.2 煤炭、矿石运量及船型

湖南属于“两江一湖”缺煤少气地区，年均外调煤炭约 1 亿 t，其中水运来煤约 5 000 万 t，以海进江为主，多数在岳阳换小船后经湘资沅澧四水输送至用户。湖南省钢铁企业年需铁矿石超 1 000 万 t，均在岳阳城陵矶中转，项目拟承担煤炭及矿石的水水中转运量为 400 万 t/a。

长江干线来船主要为 1 万~2 万吨级散货船为主，发往湘资沅澧四水流域的船型则以 1 000~

3 000 吨级内河散货船为主。

### 4 过驳方案技术研究

#### 4.1 砂石过驳方案

砂石自卸船自带输送设备，宜采用自卸至大船的过驳方案。工艺流程为：自卸船(自卸臂架皮带机)→万吨级干线船。

自卸船运输量为 1 000~3 000 吨级，额定自卸效率为 1 500 t/h。根据 JTS 166—2020《河港总体设计规范》<sup>[16]</sup>，过驳泊位年设计通过能力和泊位数量可按下式计算：

$$P_{ii} = \frac{T_y G}{(t_z + t_f) / (t_d - t_s)} \cdot A_p \quad (1)$$

$$N = Q_n / P_{ii} \quad (2)$$

式中： $P_{ii}$  为泊位年通过能力，t； $T_y$  为年可营运天数，砂石过驳作业运营时间按 330 d 计算； $A_p$  为泊位有效利用率； $t_z$  为装卸一艘设计船型所需的纯装卸时间，h； $p$  为设计船时效率，t/h； $G$  为设计船型的实际装卸量，t； $t_s$  为昼夜泊位非生产时间之和； $t_f$  为船舶装卸辅助与技术作业时间之和； $t_d$  为昼夜小时数； $N$  为泊位个数； $Q_n$  为年吞吐量，万 t。

经计算，单个过驳位砂石设计通过能力 314 万 t/a，600 万 t 砂石过驳量需要设置 2 个过驳泊位。砂石过驳泊位计算取值见表 2。

表 2 砂石过驳泊位计算取值  
 Tab. 2 Calculated parameters for sand and gravel transshipment berth

$N/\text{个}$	$Q_n/\text{万 t}$	$P_{ii}/\text{万 t}$	$G/\text{t}$	$T_y/\text{d}$	$P/(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$	$t_d/\text{h}$	$t_s/\text{h}$	$t_f/\text{h}$	$A_p/\%$
2	600	314	2 000	330	1 000	24	2	1.0	65

### 4.2 煤炭及矿石过驳方案

煤炭与矿石运输船多为直壁式平底仓船型, 无自卸能力, 需配置中转平台。拟采用以趸船+链斗式卸船机为基础的新型水上过驳平台。

根据式(1)、(2), 单台 2 000 t/h 的链斗式卸船机设计年通过能力约 529 万 t, 400 万 t 煤炭及铁矿石运量需 1 个过驳泊位。煤炭及矿石过驳泊位计算取值见表 3。

表 3 煤炭及矿石过驳泊位计算取值

Tab. 3 Calculated parameters for coal and ore transshipment berth

$N/\text{个}$	$Q_n/\text{万 t}$	$P_{ti}/\text{万 t}$	$G/\text{t}$	$T_y/\text{d}$	$P/(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$	$t_d/\text{h}$	$t_s/\text{h}$	$t_r/\text{h}$	$A_p/\%$
1	400	529	10 000(75%) 15 000(25%)	330	1 500	24	3	2	65

在趸船+链斗式卸船机的基础上, 提出 2 种水水过驳平台方案。

#### 4.2.1 方案 1

1) 平面方案: 将链斗式卸船机、带式输送机 and 固定装船机分体布置于大型钢制趸船。卸船机可沿轨道行走, 支持双档靠泊作业, 趸船采用导管架定位, 保障作业稳定性。“链斗卸船机+带式输送机+固定装船机”分体布局方案见图 4。

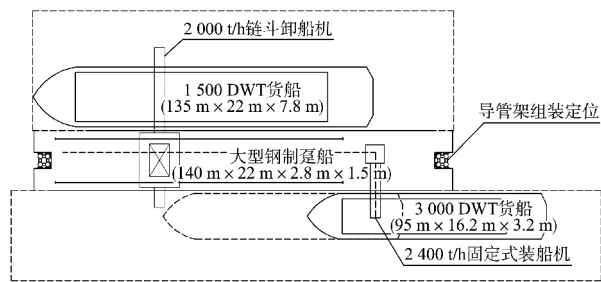


图 4 过驳方案 1

Fig. 4 Transshipment Scheme 1

2) 工艺方案: 水水过驳装卸一体化平台上, 卸船采用 2 000 t/h 连续链斗式卸船机, 右侧配置 1 台 2 000 t/h 固定式臂架装船机, 臂架可伸缩适应大小船的装船需求。链斗式连续卸船机和固定式装船机之间通过带宽  $B = 1\ 400\ \text{mm}$  额定效率 2 400 t/h 带式输送机连接。

3) 工艺流程: 1 万~2 万吨级散货船(定船移机)→链斗式连续卸船机→带式输送机→固定式装船机→2 000~3 000 吨级散货船(移船满载)。

#### 4.2.2 方案 2

1) 平面方案: 将链斗式卸船机升级为装卸一体设备, 尾部加装溜筒装船结构, 实现边卸边装。设备可沿轨道移动, 支持双档作业, 趸船采用导管架固定。链斗式装卸一体机方案见图 5。

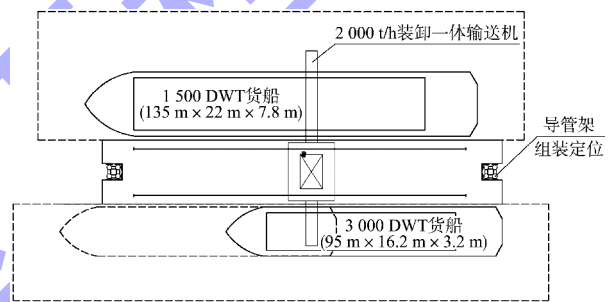


图 5 过驳方案 2

Fig. 5 Transshipment Scheme 2

2) 工艺方案: 水水过驳装卸一体化平台上布置一台 2 000 t/h 的装卸一体输送机, 装卸同时进行。

3) 工艺流程: 1 万~2 万吨级散货船(定船移机)→链斗式装卸一体机→2 000~3 000 吨级散货船(移船满载)。

#### 4.2.3 方案比选

两方案均能高效、环保地完成中转任务, 满足通能力要求。其中方案 2 集成度高、能耗更低、环保性更好, 推荐方案 2 作为平底仓船型的过驳平台。两方案优缺点对比见表 4。

表 4 两方案优缺点对比

Tab. 4 Pros and cons comparison of the two schemes

过驳方案	效率/ $(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$	投资成本	环保性	维护成本	能耗	适用性
方案 1	2 000	中(多 1 条皮带)	良(输送皮带不能封闭)	中(设备成熟)	中	广泛(技术成熟)
方案 2	2 000	中(需专项研发)	优	中(集成度高)	低(一体化减少传输环节)	受限(需定制)

## 5 结语

1) 针对不同货类与船型, 需采用差异化的过驳方案。对于已配备自卸系统的砂石运输船, 宜直接利用其臂架带式输送机进行过驳; 而对于无自卸能力的煤炭、矿石等平底仓船型货物, 采用基于链斗式连续卸船机的新型水上过驳系统是高效且环保的解决方案。

2) 创新的链斗式装卸一体机方案(方案2)展现出显著综合优势。该方案通过设备集成, 在保持2 000 t/h高作业效率的同时, 实现了能耗的进一步降低与全流程的封闭环保作业(零撒漏、零扬尘), 是内河重散货水上过驳的优选方向之一。

3) 为保证作业安全与系统稳定性, 布置于浮趸上的链斗卸船机需进行轻量化设计, 以降低对趸船重心及动平衡性能的不利影响。

## 参考文献:

- [1] 尹政兴, 王敏, 尹大聪, 等. 基于长江大保护的岳阳港长江段港口布局优化[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(18): 48-50.  
YIN Z X, WANG M, YIN D C, et al. Port layout optimization of Yueyang Port in Yangtze River section based on conservation of Yangtze River[J]. China water transport(the second half of the month), 2019, 19(18): 48-50.
- [2] MACFARLANE G J, LILIENTHAL T, BALLANTYNE R J, et al. An experimental study on the relative motions between a floating harbour transhipper and a feeder vessel in regular waves [J]. International journal of maritime engineering, 2021, 154(A2): A97-A107.
- [3] 陈丹涌, 刘明明, 叶颖怡, 等. 广州港锚地固体散装货物水上过驳风险评价[J]. 广州航海学院学报, 2020, 28(2): 18-23.  
CHEN D Y, LIU M M, YE Y Y, et al. Risk assessment of water transfer of solid bulk cargoes at anchor in Guangzhou Port [J]. Journal of Guangzhou Maritime University, 2020, 28(2): 18-23.
- [4] 杨彩燕, 谷文强. 过驳锚地作业环境条件分析[J]. 水运工程, 2024(8): 55-58, 103.  
YANG C Y, GU W Q. Operating environmental conditions for lightering anchorage [J]. Port & waterway engineering, 2024(8): 55-58, 103.
- [5] 刘春阳, 杜木子, 陈邦杆. 新形势下干散货水水中转码头规划建设研究[J]. 中国水运, 2024, 24(12): 21-23.  
LIU C Y, DU M Z, CHEN B G. Study on planning and construction of dry bulk cargo water-water transfer terminal under the new situation [J]. China water transport, 2024, 24(12): 21-23.
- [6] 侯曾奇, 孙津潇. 大宗固体散货海上过驳系统设计简析[J]. 港工技术, 2020, 57(S1): 33-36.  
HOU Z Q, SUN J X. Study on dry bulk lightering system based on flexsim simulation [J]. Port engineering technology, 2020, 57(S1): 33-36.
- [7] JOHNSON N T M. The floating harbour transhipper: well dock hydrodynamics of a novel transshipment concept[D]. Hobart: University of Tasmania, 2018.
- [8] 林天宇. 长江江苏段水上过驳专项整治经验[J]. 中国港口, 2022(8): 48-50.  
LIN T Y. Experience of special regulation of waterborne transshipment in Jiangsu section of the Yangtze River[J]. China ports, 2022(8): 48-50.
- [9] 唐锡生, 赵虎. “水上过驳”让黄金水道增效[N]. 中国水运报, 2015-01-05(3).  
TANG X S, ZHAO H. “Water Transshipment” increases efficiency of the golden waterway [N]. China water transport news, 2015-01-05(3).
- [10] 郑见粹, 张振雄. 连续卸船机的使用与发展[J]. 港口装卸, 2005(5): 40-43.  
ZHENG J C, ZHANG Z X. Application and development of continuous ship unloader[J]. Port operation, 2005(5): 40-43.
- [11] 陈再兴, 周筱川. 大型散货码头链斗式连续卸船机的应用[J]. 起重运输机械, 2011(S1): 8-10.  
CHEN Z X, ZHOU X C. Application of chain bucket continuous ship unloader on bulk cargo terminal [J]. Hoisting and conveying machinery, 2011(S1): 8-10.