



干散货装卸码头带式输送机动态封闭技术研究*

孙津潇

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要: 针对干散货装卸船码头中带式输送机的封闭方案问题, 结合码头带式输送机的布置方式分析现有封闭方案的适用性。研究表明, 传统全程封闭覆盖带、封闭廊道等方式在带式输送机布置于装卸设备两轨之间时, 易受设备结构复杂等因素制约, 难以兼顾封闭效果与运行可靠性。基于上述问题, 提出了一种新型码头带式输送机动态封闭方式。该方式通过区分带式输送机承载区段与非承载区段, 仅对承载区段实施封闭, 并采用卷带装置实现覆盖带随装卸设备移动的动态收放。结合装船机和卸船机不同布置工况, 对该动态封闭方式的工作原理、结构组成及工程适用性进行了分析。研究结果表明, 该方案适用于带式输送机布置在装卸船设备两轨之间的干散货装卸船码头, 具备工程推广应用的可行性。

关键词: 干散货码头; 装卸码头; 带式输送机; 动态封闭; 封闭

中图分类号: U653.922

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)05-0080-05

Dynamic enclosure technology for belt conveyors at bulk cargo loading and unloading terminals

SUN Jinxiao

(CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: Addressing the enclosure methods for belt conveyors in dry bulk ship loading and unloading terminals, this study analyzes the applicability of existing enclosure solutions based on typical conveyor layouts. The results indicate that conventional solutions, such as fully enclosed cover belts and enclosed galleries, are often constrained by complex equipment structures when belt conveyors are arranged between the rails of loading and unloading equipment, making it difficult to simultaneously ensure enclosure effectiveness and operational reliability. To address these issues, a novel dynamic enclosure system for quay belt conveyors is proposed. The system distinguishes the loaded section from the unloaded section of the belt conveyor and applies enclosure only to the loaded section. A belt winding device is adopted to realize dynamic winding and releasing of the cover belt in synchronization with the movement of loading and unloading equipment. Based on different layout conditions of ship loaders and unloaders, the working principle, structural configuration and engineering applicability of the proposed system are analyzed. The results indicate that this solution is suitable for bulk cargo loading and unloading terminals where the belt conveyors are positioned between the two tracks of loading and unloading equipment, and it is feasible for engineering promotion and application.

Keywords: bulk cargo terminal; loading and unloading terminal; belt conveyor; dynamic enclosure; enclosure technology

随着全球经济的持续发展和港口吞吐量的不断增长, 港口作业活动对周边环境的影响日益显现。其中, 粉尘污染已成为制约干散货港口可持

续发展的重要因素之一。近年来, 随着生态环境保护要求的不断提高, 港口工程在规划、设计和建设阶段需同步满足环保、节能及绿色发展等多

收稿日期: 2025-09-30 录用日期: 2025-10-18

*基金项目: 中交第一航务工程勘察设计院有限公司重点科研项目(ZDIXM2024-01)

作者简介: 孙津潇(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为港口装卸工艺设计。

重目标^[1]，绿色港口理念已由倡导性要求逐步转变为工程建设的基本约束条件^[2]。

在各类港口中，专业化干散货码头由于作业物料粒径小、易扬尘，其装卸、输送及堆存环节往往成为粉尘污染治理的重点和难点区域^[3]。从粉尘产生机理分析，专业化干散货码头粉尘主要来源于卸料、装料、堆存及输送等作业过程。针对上述环节，国内外已形成多种成熟的抑尘技术路线：在卸料和装料环节，通常采用喷雾抑尘、负压集尘过滤等技术；在堆存环节，采用防风抑尘网、堆棚或封闭仓库；在输送环节，则多采用带式输送机罩、挡风板、封闭廊道或管状带式输送机等形式^[4-5]。

对于干散货装船与卸船码头而言，码头带式输送机需与装船机或卸船机协同运行，沿码头方向频繁移动，传统固定式输送设备的封闭方式难以直接适用。目前常采用的方案为全程覆盖带方案和侧开门封闭廊道方案。

全程覆盖带方案是在码头带式输送机全程安装覆盖带，在装船机或卸船机位置通过改向滚筒使覆盖带局部打开^[6-9]。但在装船机尾车尺寸较大、卸船机数量较多或其他工艺布置复杂的情况下，覆盖带改向路径显著加长，改向滚筒数量增多，易导致覆盖带跑偏、张力控制困难等问题，运行可靠性受到一定影响。

侧开门封闭廊道方案是将码头带式输送机安装在封闭式廊道内，廊道一侧设条形开孔，通过中继输送机与装船机或卸船机相连接^[10-13]。该方案钢结构工程量较大，投资成本较高，对柔性挡帘的耐久性及维护管理要求较高；同时，在设备布置受限或改造工程中实施难度较大。

另外一种人字形可开闭覆盖带方案是在带式输送机两侧设挡风板，上方设搭接的人字形可开闭覆盖带。但此方案对覆盖带材料性能要求较高，装卸设备频繁运行使覆盖带需反复开闭，易产生疲劳损伤，从而影响封闭效果，工程应用案例相对较少。

鉴于上述现有方案所面临的问题，如何在满

足装卸工艺要求的前提下，实现带式输送机输送过程的有效封闭，已成为干散货码头工艺设计中的关键问题之一。本文提出一种新型带式输送机动态封闭方式，其仅对承载区段实施动态封闭的特点可应对常规方案难以布设的情况，以期对相关工程设计及既有码头环保改造提供参考。

1 码头带式输送机布置方式及现有封闭技术存在的问题

根据码头带式输送机与装船机或卸船机轨道的相对位置关系，可将其布置形式分为带式输送机位于后轨之外和位于两轨之间两种典型工况。

1.1 装船机工况分析

当带式输送机布置在装船机后轨之外时，一般通过中继输送机将尾车与主机连接，尾车结构相对紧凑。此种布置条件下，无论采用全程封闭覆盖带还是侧开门封闭廊道，均具备较好的实施条件。但该布置方式可能导致码头平台宽度增加，同时中继输送机的设置也增加了物料转接次数。

当带式输送机布置在装船机两轨之间时，尾车带式输送机需爬升至装船机上方，爬升高度较大。若采用全程封闭覆盖带，覆盖带需随尾车爬升并绕过臂架结构，导致改向路径复杂、跨度增大，覆盖带跑偏风险显著增加；同时，部分装船机臂架具备回转功能，运行过程中会与覆盖带产生干涉。由于尾车结构尺寸较大，侧开门封闭廊道方式亦难以适用。然而，对于离岸式大型干散货装船码头，为提高装船设备利用率，常采用码头平台双侧靠泊的装船工艺形式^[14]。在该工艺条件下，装船码头带式输送机必须布置于两条行走轨道之间，传统封闭方式难以有效实施，导致输送系统难以满足封闭要求。因此，双侧靠泊装船工艺在现有主流封闭技术条件下实施难度较大，工程可行性受限。

1.2 卸船机工况分析

当带式输送机布置在卸船机后轨之外时，场地条件相对宽裕，全程封闭覆盖带和侧开门封闭廊道均可采用，但同样存在码头平台宽度增加及

物料转接次数增多的问题。

当带式输送机布置在卸船机两轨之间时，侧开门封闭廊道难以实施，通常仅可采用全程封闭覆盖带方案^[15]，但受卸船机主结构干扰，覆盖带改向滚筒布置难度较大。

综上，现有封闭技术在带式输送机布置于两轨之间、装卸设备结构复杂的工况下，普遍存在适应性不足的问题，制约了双侧靠泊等高效装卸工艺在易扬尘物料中的应用。

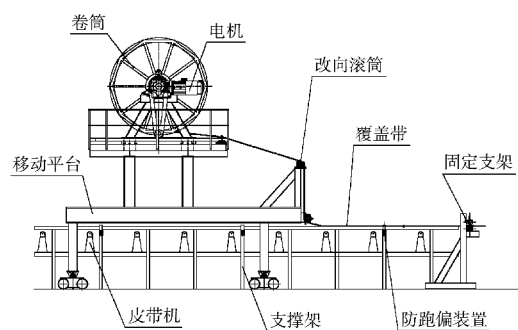


图1 卷带装置

Fig. 1 Belt rolling device

2 新型动态封闭方式的设计目标与基本原理

针对上述问题，本文提出一种新型码头带式输送机动态封闭方式，其设计目标主要包括：在不改变码头装卸工艺布置的前提下，实现带式输送机输送过程的有效封闭；减少封闭构件与装卸设备运动之间的相互干涉；降低结构复杂度，提高运行可靠性，并具备在既有码头工程中实施改造的可行性。

该动态封闭方式的核心思路在于区分带式输送机的承载区段与非承载区段，仅对存在物料输送的承载区段实施封闭。在带式输送机两侧设置挡板，在承载区段上方布置覆盖带，对挡板之间的开放区域进行遮盖。装船机或卸船机上设置卷带装置，用于覆盖带的卷绕与释放。随着装卸设备沿码头方向移动，卷带装置同步动作，使覆盖带封闭范围随承载区段位置动态变化，而非承载区段由于无物料输送可不进行封闭。

3 动态封闭系统结构组成及控制方式

3.1 卷带装置机械结构

卷带装置主要由卷筒、驱动电机、移动平台及导向系统组成，见图1。覆盖带一端固定于卷筒，卷筒由电机驱动实现覆盖带的收放。移动平台可沿带式输送机方向往复移动，并在上方设置若干改向滚筒，用于引导覆盖带平稳过渡至带式输送机两侧的覆盖带支撑架。覆盖带支撑架两侧设置挡板，与覆盖带及地面共同构成封闭空间，并设置防跑偏装置以提高运行稳定性。覆盖带另一端通过固定支架与地面锚固。

卷带装置卷筒的卷芯直径700 mm，卷筒外径根据卷绕覆盖带长度和厚度确定。覆盖带采用EP300型，帆布层数为2层，上覆盖层3 mm，下覆盖层3 mm。上述参数可根据项目具体情况进行调整。

3.2 控制方式

卷筒由变频电机驱动，其转动与移动平台的移动实现同步控制。系统在基于速度传感器的闭环矢量控制框架下，采用开环转矩控制方式，并结合覆盖带在卷筒上的缠绕半径变化，实时计算目标输出转矩，以实现覆盖带的恒定张力收放。恒定张力既可防止覆盖带松弛引起跑偏，又可避免张力过大导致封闭不严或结构受力异常。控制策略的具体实现形式可根据工程条件灵活配置。

4 典型工程应用工况

在装船机工况下，卷带装置可布置于装船机尾车末端，由尾车作为移动平台，随装船机同步移动，见图2。尾车自身带式输送机部分可采用常规固定带式输送机密闭罩壳进行封闭。

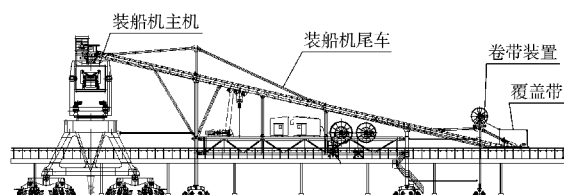


图2 卷带装置在装船机上的应用

Fig. 2 Application of belt rolling device on a ship loader

在卸船机工况下，卷带装置安装于卸船机卸料口附近，由卸船机主机作为移动平台。对于共用一条码头带式输送机的工况，靠近带式输送机

尾部的卸船机仅需在卸料口一侧设置卷带装置，其余卸船机需在卸料口两侧分别设置卷带装置，以保证不同作业区段的有效封闭，见图 3。

该方案尤其适用于带式输送机布置在两轨之间的双侧靠泊装船码头工况，可在不增加中继输送机的前提下实现输送过程封闭，有利于提高装卸设备利用率。

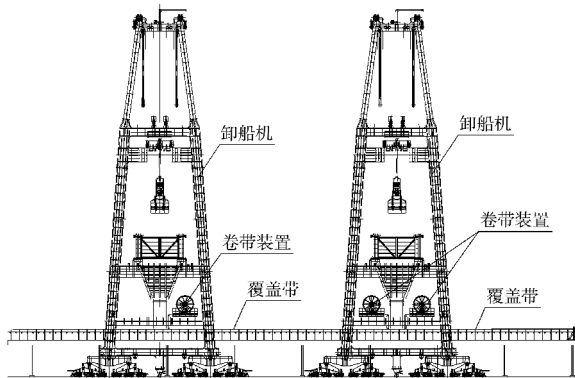


图 3 卷带装置在卸船机上的应用

Fig. 3 Application of belt rolling device on a ship unloader

5 技术经济与工程适用性讨论

在综合考虑封闭对象、结构复杂度及不同工况适用性的基础上，对本文提出的动态封闭方式与现有码头带式输送机封闭技术进行对比分析，其技术特征与工程适用性见表 1。

由表 1 可知，本文提出的动态封闭方式在封闭对象选择、结构运动形式及对复杂布置条件的适应性方面，与现有封闭技术存在明显差异，能够在带式输送机布置受限的工况下实现输送过程的有效封闭。

与侧开门封闭廊道相比，该方案无需大规模钢结构廊道，结构工程量较小，投资成本相对较低；与全程封闭覆盖带方案相比，覆盖带改向路径简化，运行可靠性更高。

此外，卷带装置体积小、质量轻，可集成布置于现有装船机或卸船机钢结构上，具备良好的工程实施条件和推广应用前景。

表 1 不同码头带式输送机封闭技术方案的技术特征与适用性对比

Tab. 1 Comparison of technical characteristics and applicability of different belt conveyor enclosure technologies

封闭技术方案	封闭对象	封闭方式	是否随装卸设备移动	覆盖构件运动形式	与装卸设备结构干涉风险
全程封闭覆盖带	带式输送机全线	覆盖带固定连续封闭	是	长距离改向、张紧	较高
侧开门封闭廊道	带式输送机全线	结构性整体封闭	否	无	较高
人字形可开闭覆盖带	带式输送机全线	覆盖带开闭式搭接	是	反复开闭	中等
本文提出的动态封闭方式	带式输送机承载区段	覆盖带随设备移动动态封闭	是	卷带收放、短行程改向	较低

封闭技术方案	对带式输送机布置条件要求	适用于带式输送机位于两轨之间工况	适用于双侧靠泊装船工艺	运行可靠性	结构复杂度	新建工程适用性	改造工程适用性
全程封闭覆盖带	较高	受限	困难	中等	中等	较好	较好
侧开门封闭廊道	较高	不适用	不适用	较高	较高	较好	较差
人字形可开闭覆盖带	较低	受限	困难	偏低	中等	一般	一般
本文提出的动态封闭方式	较低	适用	适用	较高	中等	较好	较好

6 结语

1) 本文提出并论证了一种新型“动态局部封闭”方案。该方案通过仅封闭承载物料区段，并利用卷带装置实现覆盖带的同步移动与收放，在原理上克服了传统全程封闭方案在结构干涉、运行可靠性方面的固有矛盾。该方案能有效适配带式输送机位于装卸设备“两轨之间”的苛刻布置，特别解决了双侧靠泊装船工艺下输送系统无法封闭的技术瓶颈，为相关工艺的环保实施提供了可行

路径。

2) 本文方案在复杂布置工况下具有良好的工程适用性。与侧开门廊道相比，其结构简单，初始投资与维护成本显著降低；与全程封闭覆盖带相比，其覆盖带改向路径更短、张力控制更容易。方案兼具适用于新建与改造项目的灵活性，具备明确的工程推广应用价值。

3) 该方案主要基于典型工况的理论分析与概念设计。所讨论的运行可靠性、耐久性等优势尚

缺乏长周期工业运行数据的实证支持。此外, 研究中对卷带装置的控制策略仅作了原理性阐述, 其动态同步精度、极端环境下的稳定性等具体工程参数有待通过实物测试或仿真进一步量化验证。

4) 后续深化研究包括: 开展 1:1 样机试验或高保真数字孪生仿真, 量化评估覆盖带疲劳寿命、动态密封效率及能耗等关键性能指标; 研发自适应智能控制系统, 集成位置、张力与粉尘浓度传感, 实现闭环优化控制。

参考文献:

- [1] 贺林林, 金勇, 彭银霞, 等. “双碳”背景下国内外绿色港口建设发展综述[J]. 水运工程, 2024(7): 42-50, 67.
HE L L, JIN Y, PENG Y X, et al. Review of green port construction and development under carbon peaking and carbon neutrality goals background[J]. Port & waterway engineering, 2024(7): 42-50, 67.
- [2] 交通运输部, 国家发展改革委, 财政部, 等. 关于建设世界一流港口的指导意见[EB/OL]. (2019-11-06) [2025-05-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-11/13/content_5456313.htm.
Ministry of Transport, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance, et al. Guiding opinions on building world-class ports [EB/OL]. (2019-11-06) [2025-05-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-11/13/content_5456313.htm.
- [3] 汪大春. 煤炭港口粉尘排放问题的测算[J]. 水运工程, 2021(7): 60-64, 71.
WANG D C. Calculation of dust emission in coal port[J]. Port & waterway engineering, 2021(7): 60-64, 71.
- [4] 马君. 煤炭港口煤粉尘控制技术[J]. 水运工程, 2019(4): 56-60, 66.
MA J. Coal dust control technology for coal port[J]. Port & waterway engineering, 2019(4): 56-60, 66.
- [5] 吕庆新, 洪宁宁, 詹水芬, 等. 港口粉尘污染防治技术研究进展[J]. 水道港口, 2008, 29(6): 451-452.
LYU Q X, HONG N N, ZHAN S F, et al. Research progress on prevention and control technologies of dust pollution in ports[J]. Journal of waterway and harbor, 2008, 29(6): 451-452.
- [6] 李小东, 杨爱荣, 王传贵, 等. 大宽度输送机用密封覆盖带的研制[J]. 橡胶工业, 2005, 52(4): 239-240.
LI X D, YANG A R, WANG C G, et al. Development of wide steel cable conveyor belt[J]. China rubber industry, 2005, 52(4): 239-240.
- [7] 韩露, 余艳英. 氧化铝装船码头的装卸工艺设计[J]. 港口技术与管理, 2017(2): 45-48.
HAN L, YU Y Y. Design of loading and unloading technology for alumina loading dock [J]. Technology & management of port & harbor engineering, 2017 (2): 45-48.
- [8] 张雨, 徐文鹏. 覆盖带式连续输送工艺在散粮码头项目中的应用[J]. 科技资讯, 2018, 16(2): 20-20, 22.
ZHANG Y, XU W P. Application of covered belt continuous conveying technology in bulk grain terminal project [J]. Science & technology information, 2018, 16(2): 20-20, 22.
- [9] 刘元平, 陈伟良, 朱敏, 等. 安庆某内河通用码头装卸工艺设计研究[J]. 中国港湾建设, 2025, 45(4): 91-97.
LIU Y P, CHEN W L, ZHU M, et al. Research on the operation design of a general inland terminal in Anqing[J]. China harbour engineering, 2025, 45(4): 91-97.
- [10] 王宝山. 漳州后石电厂煤码头卸船工艺简介[J]. 水运工程, 2000(4): 22-23, 53.
WANG B J. Brief introduction of ship unloading technology at the coal terminal of Zhangzhou Houshi power plant[J]. Port & waterway engineering, 2000(4): 22-23, 53.
- [11] 侯二册. 澳大利亚 GPA 5 000 t/h 装船机除尘系统设计[J]. 起重运输机械, 2015(1): 20-21.
HOU E P. Design of dust pelletizing system of Australia GPA 5 000 t/h ship loader[J]. Hoisting and conveying machinery, 2015(1): 20-21.
- [12] 魏雅康, 吴邵强, 邱俊文, 等. 电厂配套煤码头封闭式装卸系统设计[J]. 港口装卸, 2021(3): 69-71.
WEI Y K, WU S Q, WU J W, et al. Design of closed loading and unloading system for coal terminals in power plants[J]. Port operation, 2021(3): 69-71.