

打胶装置在集装箱湿砂建材外发的应用实践

崔志远 张玉涛 史健廷

首钢集团有限公司矿业公司运输部 河北 唐山 064404

摘要:在国家绿色发展战略与“公转铁”政策推动下,湿砂建材作为矿业公司绿色建材的核心产品,依托铁路集装箱外发需求持续增长。然而,湿砂建材水粉含量高、流动性强的特性,导致集装箱运输过程中箱门缝隙易出现泄漏问题,传统人工封堵方式存在操作不便、效率低、密封效果差等弊端。本文针对这一痛点,深入分析集装箱湿砂建材外发的运输特性与密封需求,剖析现有运输流程中的核心问题,结合实际项目实践,详细阐述打胶装置的选型依据、设计优化要点,以及在应用前准备、操作流程中的关键环节,并通过具体案例验证其应用效果。

关键词:打胶装置;集装箱运输;湿砂建材;应用实践

1 集装箱湿砂建材外发的运输特性与密封需求

1.1 湿砂建材的物理特性

湿砂建材由矿业公司利用排土场废石与尾沙加工而成,其物理特性显著影响运输密封难度。该材料含水率达15%-25%,兼具流动性与固态特性,运输中受颠簸或箱体倾斜影响,易通过微小缝隙渗出。其颗粒级配中,细颗粒(粒径 $<0.075\text{mm}$)占比10%-15%,与水分结合形成黏附性强的泥浆,可穿透0.5mm以下缝隙,导致持续泄漏。另外,装载过程中挤压产生的孔隙水压力会进一步推动水分与细颗粒向缝隙渗透,加剧泄漏风险。这些特性要求运输密封必须高效可靠,以防止运输过程中物料损失及环境污染。

1.2 集装箱运输湿砂的密封难点

集装箱运输湿砂面临多重密封挑战。箱门结构复杂,缝隙包括周圈、中间及底部间隙,宽度不均且可能因变形超2mm,传统材料难以全面覆盖。运输振动(2-5Hz)导致密封材料剥离,失去密封效果。箱体无内部登踩点位,人员无法进入作业,外部封堵难以确保内侧贴合,尤其是底部缝隙受视线遮挡易遗漏。装载与密封时间冲突显著,铁路运输要求5分钟内完成密封并装车,而传统方式单人单箱需30分钟以上,无法满足高效作业需求。这些难点导致传统方案难以适配集装箱湿砂运输场景。

1.3 打胶装置的应用适配性需求

针对集装箱湿砂运输密封难点,打胶装置需满足多维适配性。密封材料须10秒内快速凝固,避免装车冲散,且黏结性强、抗振动脱落,固化后形成弹性密封层以适应微小变形。作业距离需达3米,喷射轨迹呈柱状以确保精准填缝,突破传统设备伞状喷射局限。效率方面,单列20-30箱需支持连续作业,单箱密封时间控制在1分钟内,减少人工干预。设备部署须符合铁路安全限

界,避免侵入轨道,同时配备夜间作业能力,确保全天候适用性。这些需求共同指向集成快速固化、远距离精准喷射及安全适配的打胶解决方案^[1]。

2 集装箱湿砂建材外发运输现状及问题分析

2.1 集装箱湿砂建材外发运输流程

集装箱湿砂建材外发运输包含前期准备、装载密封、铁路运输、卸车交付四环节。前期准备时,矿业公司运输部要与铁路部门协调列车调度,检查集装箱箱体完整性,排除破损、门缝过大等问题。装载密封环节是关键,列车到后先密封箱门,再驶入料棚装湿砂,装载量按额定载重(通常28吨/箱)控制。铁路运输中,密封好的列车沿自有线运至中转站,再转至客户指定站点,时长4-24小时。卸车交付时,客户卸车并检查密封情况,确认无泄漏后完成交付。整个流程里,装载密封环节的效率与质量影响后续运输,密封不及时或不佳,会导致运输延误或泄漏,影响客户满意度。

2.2 运输过程中存在的问题

2.2.1 密封性问题

密封性问题是集装箱湿砂运输的突出难题,箱门缝隙泄漏常见,集中在中间对接处与底部缝隙。传统密封用草捆填充与瓶装聚氨酯泡沫填缝剂结合,草捆难填微小缝隙,还易受挤压变形致缝隙暴露;瓶装填缝剂喷射距离仅1米左右,不满足3米作业需求,且凝固超30分钟,装车易被冲散。前期统计,传统密封方式下,运输泄漏率达35%,20%在运输中途,15%在卸车环节。泄漏致湿砂堆积,污染场地,增加清理成本,还可能引发轨道打滑等安全隐患,威胁铁路运输安全。

2.2.2 建材损耗问题

密封不足致湿砂运输损耗,且随运输距离增加。2023年数据表明,传统密封单箱平均损耗0.8吨,损耗率

2.86%，年湿砂损耗约5840吨。这造成直接经济损失约70.08万元，还影响客户收货量，超合同约定3%需补货，增加成本。同时，泄漏湿砂在轨道沿线堆积，年清理成本6万元。这些损耗与附加成本降低经济效益，制约业务规模扩大。

2.2.3 操作不便问题

传统密封依赖人工，存在操作难、效率低、风险高问题。操作难度上，箱门高度与底部缝隙位置特殊，操作人员需借助梯子变换姿势10次以上，劳动强度大且密封不均。作业效率方面，单人密封单个集装箱需30分钟，日均发运200箱需10名操作人员，人力成本高，还受人员技能影响。安全风险上，外部作业无防护，高处梯子易滑动致坠落；进入箱体检查，攀爬易因湿滑坠落，这些问题影响效率，威胁人身安全。

3 打胶装置的选型与设计

3.1 打胶装置的类型

针对集装箱湿砂运输的密封需求，打胶装置主要由设备主体与作业平台构成。设备主体按动力来源与喷射方式，可分为压缩空气驱动式打胶机与电动式打胶机。压缩空气驱动式打胶机以压缩空气为动力，带动提料泵抽取胶料，经加压泵加压后输送至胶枪。其优势显著：动力稳定，喷射压力可在0.5-1.2MPa范围内调节；连续作业时间长，单次加料可作业8-10小时；设备体积小，长×宽×高约1200×800×1000mm，便于在作业平台上部署，契合铁路沿线作业场景；电动式打胶机以电机为动力，操作噪音低，但存在诸多局限。电机功率通常 $\leq 5.5\text{kW}$ ，喷射压力最高仅0.8MPa，连续作业时间短，单次加料作业4-5小时。且在潮湿环境下，电机有短路风险，不适用于湿砂料棚周边的潮湿作业环境；从密封材料适配性看，打胶装置需兼容双组分胶料（组合聚醚与异氰酸酯），设备主体要具备双料桶独立供料、胶料比例精准控制（组合聚醚：异氰酸酯=1:1）的功能。压缩空气驱动式打胶机可通过调整提料泵转速实现精准控制，而电动式打胶机胶料比例控制精度较低（误差 $\pm 5\%$ ），易导致胶料固化效果不佳。综合多方面因素，最终选定压缩空气驱动式打胶机作为核心设备^[2]。

3.2 打胶装置的选型依据

打胶装置选型需围绕密封效果、作业效率、安全适配性三大核心目标，结合实际作业场景确定参数与配置。（1）密封效果方面：打胶装置的喷射距离要满足3米作业距离要求。市场常规建筑物保温喷涂设备喷射距离仅1-1.5米，无法满足需求。经与厂家沟通，确定喷射距离需达到4米（预留1米安全余量），喷射形态为柱

状，喷射直径控制在5-8mm，以确保胶料精准填入集装箱门缝。（2）作业效率方面：打胶装置的胶料固化时间需 ≤ 10 秒。经测试，组合聚醚与异氰酸酯按1:1比例混合后，在25℃环境下10秒内可完成发泡并初步凝固，2分钟内完全固化。因此，设备要确保双组分胶料在胶枪混合室内充分混合，混合室容积需 $\geq 50\text{mL}$ ，且具备搅拌功能，避免胶料混合不均导致固化时间延长。（3）安全适配性方面：打胶装置作业平台要符合铁路运输安全要求，不得侵入铁路限界（铁路限界规定距离钢轨外侧1.2米范围内不得有障碍物）。所以，作业平台需设计为可折叠结构，非作业状态下收起后，距离钢轨外侧距离 ≥ 1.2 米；作业状态下展开后，距离集装箱箱体 $\geq 300\text{mm}$ ，避免与列车运行产生干涉。同时，设备需具备夜间作业能力，作业平台要加装照明系统与声光报警装置。照明系统功率 $\geq 100\text{W}$ ，光照覆盖范围 ≥ 10 平方米；声光报警装置在平台展开时自动启动，提醒过往机车注意安全。

3.3 打胶装置的设计优化

基于选型依据与实际作业场景，对打胶装置进行多维度设计优化，确保设备性能与作业需求高度适配。

3.3.1 打胶作业平台设计

（1）主体结构：平台主体采用10#槽钢制作，尺寸为高4500mm×长3000mm×宽3000mm，顶部向东侧探出1000mm作为作业平台。立柱间用50×50角钢做斜拉筋加筋板固定，增强整体稳定性。工作面铺设6mm厚花纹板，增加防滑性能。（2）上下通道：设置宽700mm、倾斜角度60°、梯阶间距230mm的直梯，方便人员安全上下。（3）铁路限界适配：平台东段设计为折叠作业平台，折叠部分伸出长度1000mm，采用两套链子双重防护，非作业状态折叠收起，避免侵入限界。（4）配套踏步斜梯：向西伸出直线距离3.5米，侧梁用16#槽钢，踏步用6mm厚花纹板，长700mm、宽240mm，前后用40×40角钢封边。斜梯基础混凝土浇筑，尺寸东西向2.1米×南北向1.2米×深度1米，预埋两块600×300mm预埋铁（锚钩长600mm）。平台立柱加双层角筋（直边400×500mm，共8块），角筋间加80mm宽筋板并与预埋铁、角筋焊接，柱脚基础浇筑尺寸东西向3000mm×南北向4700mm×高度500mm，提升抗水害能力。

3.3.2 打胶机设备优化

胶枪结构改造方面，将混合室入料口与出料口直径从10mm扩大至15mm以增加胶料流量，加装螺旋搅拌叶片确保双组分胶料充分混合，还在出料口加装孔径5mm、内部为锥形流道的特制喷嘴，形成柱状喷射轨迹来提升喷射距离。供料系统优化上，新增空压机与0.3m³

储气罐，空压机压力设定0.8MPa并用稳压阀稳定供料压力，提料泵转速可在500-1500r/min调节，能精准控制双组分胶料比例且误差在 $\pm 1\%$ 以内。加热保温措施是，新增加热保温管路，在原料桶与胶枪间供料管外包裹加热带，加热温度设为20-25℃，保障冬季低温（最低-10℃）时胶料流动性良好^[3]。

3.3.3 安全与辅助系统设计

照明系统是在作业平台顶部加装两套100W照明灯具，配备光控开关，当环境光照度低于50lux时自动开启，满足夜间作业需求。安全报警装置为在平台折叠部分安装行程开关，与声光报警装置联动，展开时红灯以1次/秒的频率闪烁，报警音量 $\geq 80\text{dB}$ ，回收后自动关闭，以此提醒机车驾驶员注意安全。紧急停止功能是打胶机设备加装紧急停止按钮，当出现胶料泄漏或设备故障时，可快速切断电源与气源，防止事故扩大。

4 打胶装置在集装箱湿砂建材外发中的应用实践

4.1 应用前的准备工作

打胶装置应用前，要完成设备调试、人员培训与作业流程制定，保障安全高效应用。设备调试分平台和打胶机调试。平台调试时，先检查折叠机构，手动操作展开与收起，确保动作顺畅、限位到位，展开后平台距钢轨外侧1.2米、距集装箱箱体300mm；再检查照明与声光报警装置，模拟状态验证其启停。打胶机调试时，先检查供料系统密封性，注入胶料后开启空压机至0.8MPa查管路接口；调整提料泵转速，用称重法确保双组分胶料比例1:1、误差 $\leq \pm 1\%$ ；最后测试喷射性能。人员培训采用“理论+实操”模式，考核合格上岗。作业流程衔接铁路调度，明确“列车到站-平台展开-打胶密封-平台收起”步骤，5分钟内完成单列车密封准备。

4.2 打胶操作流程

打胶操作严格遵循“确认-喷射-检查”三步标准化流程。第一步，操作人员登作业平台后，先确认集装箱停稳、防护信号已设置，再检查打胶机参数（空压机压力

0.8MPa、提料泵转速1000r/min）与胶料余量，确保设备状态正常；第二步，手持胶枪对准箱门缝隙，按“先顶部-再两侧-最后底部”顺序喷射，保持胶枪与缝隙90°垂直，喷射速度控制在0.5m/s，确保胶料均匀填缝且无溢出；第三步，喷射完成后等待10秒胶料初步凝固，用手轻触确认无黏连，再检查门缝胶层是否连续，对遗漏部位补喷，单箱操作全程控制在1分钟内，完成后关闭供料阀门，准备下一箱作业。

4.3 应用案例分析

以矿业公司2024年1-3月应用实践为例，该期间累计发运集装箱湿砂1820箱，应用打胶装置后，泄漏率从传统35%降至0，单箱损耗量从0.8吨降至0，年预计减少湿砂损耗5840吨，节约经济成本76.08万元（含清理费）。作业效率方面，2名操作人员单日可完成200箱密封，人力成本降低60%，且未发生安全事故。客户反馈显示，卸车时箱体无泄漏，湿砂实收量与约定一致，满意度从82%提升至98%，验证了打胶装置的实用性与经济性。

结束语

打胶装置在集装箱湿砂建材外发运输中成效显著，解决了传统密封方式泄漏率高、建材损耗大、操作不便等问题，大幅提升了运输效率与质量，降低了经济成本与安全风险，还提高了客户满意度。未来，随着技术不断进步，打胶装置有望进一步优化升级，为集装箱湿砂建材外发运输提供更可靠、高效的解决方案，推动行业持续健康发展。

参考文献

- [1]吕雨竹,万海明,徐玉貌.单点吊挂集装箱动稳定性分析[J].北京航空航天大学学报,2025,51(2):419-427.
- [2]范湘丰旭,丁倩.集装箱码头自动化背景下操作人员心理变化及其影响因素[J].集装箱化,2025,36(3):9-13.
- [3]胡亚林.基于自动化技术的光伏打胶设备设计与优化[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(6):1843-1844.