

# 全自动包装机关键技术突破与产业化实践

苏江峰, 张宏斌, 杨宏伟, 岳龙, 田健鹏

(国投金城冶金有限责任公司, 河南 灵宝 472500)

**[摘要]** 针对有色冶炼行业含砷烟尘包装环节存在粉尘逸散、人工依赖度高及安全风险大等问题, 详细介绍全自动吨袋包装机在国投金城冶金有限责任公司的研发与应用, 通过引入先进的自动化技术与设备, 结合企业自身生产需求, 成功实现了含砷物料的智能化管理、无尘化包装。该技术显著提升了包装效率, 改善了人员作业环境, 符合国家环保与绿色发展的战略要求, 可为同行业企业的技术升级提供有益的参考。

**[关键词]** 有色冶炼; 智能化; 无尘包装; 全自动吨袋包装机; 绿色冶金

**[中图分类号]** TQ067; TF31 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 02-0124-05

## Key technological breakthroughs and industrialization practices of fully automatic packaging machines

SU Jiangfeng, ZHANG Hongbin, YANG Hongwei, YUE Long, TIAN Jianpeng

(SDIC Jincheng Metallurgy Co., Ltd., Lingbao 472500, China)

**Abstract:** In response to the problems such as dust escape, high reliance on manual labor and significant safety risks in the packaging process of arsenic-containing smoke and dust in the nonferrous metallurgy industry, the research and application of the fully automatic ton packaging machine in SDIC Jincheng Metallurgy Co., Ltd. are introduced in detail. By introducing advanced automation technology and equipment and combining with the company's own production needs, it has successfully achieved intelligent and dust-free packaging of arsenic-containing materials. This technology has significantly enhanced packaging efficiency, improved the working environment for personnel, and is in line with the national strategic requirements for environmental protection and green development. It can provide a useful reference for the technological upgrading of enterprises in the same industry.

**Key words:** nonferrous metallurgy; intelligentize; asteroid packaging; fully automatic ton packaging machine; green metallurgy

### 0 引言

传统人工作业模式不仅包装效率难以满足规模化生产需求, 而且伴随着显著的安全风险, 并严重恶化了现场操作环境。国投金城冶金有限责任公司(以下简称公司)积极响应国家智能制造与绿色发展号召, 将智能化、绿色化转型确立为企业核心发展战略。立足行业前沿, 将实现生产过程的智能化升级与绿色环保作为重点突破方向。通过自主研发与创新, 成功将全自动吨袋包装机应用于含砷物料的包装过程, 取得了显著的经济效益与社会效益。

有色冶炼行业是我国重要的基础工业之一, 其

生产过程中涉及大量的粉尘处理与物料包装。然而, 传统的人工包装方式在效率、环保和安全性方面存在诸多不足。近年来, 随着自动化技术和环保意识不断提升, 智能化包装技术逐渐成为行业发展的新趋势。公司凭借其在有色冶炼领域的技术积累和创新能力, 率先开展了全自动吨袋包装机的研发与应用工作, 旨在通过技术创新推动企业的可持续发展。

笔者详细介绍全自动吨袋包装机的研发背景、技术方案、实施过程以及应用效果, 探讨该技术在有色冶炼及相关上下游行业的推广价值和未来发展

方向。

## 1 技术背景与研发需求

### 1.1 技术背景

公司采用富氧底吹造钨捕金自热熔炼技术，该生产系统复杂，涉及多个环节的烟气处理与粉尘收集。在含砷物料的包装环节，传统人工作业暴露出一系列的弊端：首要问题是粉尘弥漫，作业环境恶劣；其次，人工操作节奏慢、强度高，容易出错；此外，整个流程高度依赖板车、叉车等运输设备，不仅成本高昂，而且存在额外的安全风险。这些问题严重制约了企业的生产效率与可持续发展能力。

有色冶炼过程中产生的烟尘含有砷等有害成分<sup>[1]</sup>，属于危险废物，其包装与转运过程必须严格遵守环保法规。传统的人工包装方式不仅效率低下，还容易导致粉尘泄漏，对作业人员健康和环境造成严重影响<sup>[2]</sup>。因此，开发一种高效、环保、安全的包装技术成为企业的迫切需求。

近年来，随着自动化技术和智能制造的快速发展，智能化包装设备在多个行业得到了广泛应用。例如，在食品、化工等行业，全自动吨袋包装机已经实现了物料的自动计量、包装、码垛等一体化操作，不仅提高了生产效率，而且显著改善了作业环境。然而，在有色冶炼行业，由于物料的特殊性和生产环境的复杂性，智能化包装技术的应用相对滞后。公司针对这一技术空白，决定自主研发适用于有色冶炼行业的全自动吨袋包装系统。

### 1.2 研发需求

该系统需满足以下需求：全流程密闭化运行（输送+包装），实现粉尘零逸散；自动化作业显著提升效率，降低对人力的依赖；运行安全稳定，减少人为失误空间；全面符合环保及职业健康安全规范，体现绿色发展价值。具体而言，研发团队需要解决以下几个关键技术问题。

(1) 密闭输送技术：如何实现含砷物料的无泄漏输送，避免粉尘在输送过程中逸散到环境中。

(2) 自动计量与包装技术：如何确保包装机能够精确计量并快速完成包装操作，同时适应含砷物料的特殊性质。

(3) 环境控制技术：如何在包装区域实现全密闭操作，并配备有效的除尘系统，确保作业环境的清洁与安全。

(4) 智能监控与自动化操作：如何通过智能化系统实现包装过程的远程监控与自动化管理，减少

人工干预。

## 2 全自动吨袋包装机的研发过程

### 2.1 技术方案设计

在技术方案设计阶段，公司研发团队进行了详细的工艺流程分析和设备选型论证。通过对含砷物料的物理性质、流量需求、输送距离等因素的综合考虑，确定了气力输送系统的参数配置。同时，针对自动包装设备，研发团队对比了多种包装机的性能指标，最终选择了适合有色冶炼行业的全自动吨袋包装机。该设备具备高精度计量、快速包装和自动码垛的功能，能够满足企业的生产需求。

### 2.2 设备选型与集成

公司研发团队根据技术方案，精心选型并采购了高性能的设备，包括仓式泵、螺旋输送机、缓冲储灰仓、全自动吨袋包装机等。同时，对设备进行了深度集成与优化，确保各设备之间的协同运行。例如，通过精确控制仓式泵的气压与输送频率，实现了物料的稳定输送；通过优化全自动吨袋包装机的计量精度与包装速度，提高了包装效率。

在设备选型过程中，公司研发团队特别注重设备的可靠性和适应性。仓式泵作为气力输送系统的核心设备，其性能直接影响到物料的输送效率和稳定性。研发团队选择了具有高效气力输送能力的仓式泵，并对其进行了定制化改造：具体为在前部配置108 mm管径，后端配置133 mm管径，选择20倍半径弯头，并在每个弯头部位安装压力表，实时掌握管道输灰情况，以满足含砷烟尘物料的高密度和细颗粒特性。螺旋输送机则用于将物料从灰斗输送到仓式泵的进料口，其输送能力需要与仓式泵的输送频率相匹配<sup>[2]</sup>。研发团队通过多次试验，优化了螺旋输送机的转速和输送角度，确保物料能够平稳地进入仓式泵。

缓冲储灰仓的设计也至关重要。它不仅需要有足够的容量来满足生产需求，还需要配备高效的除尘系统，以保持作业环境的清洁。研发团队设计了一台容积为60 m<sup>3</sup>的钢灰仓，并在其顶部安装了布袋除尘器。该除尘器能够有效过滤输送过程中产生的粉尘，确保作业环境的空气质量符合环保标准。

全自动吨袋包装机是整个系统的核心设备，其性能直接影响到包装效率和质量。公司研发团队选择了具有高精度计量系统的全自动吨袋包装机，并将机械臂套袋定制开发为六轴机器人自动套袋，不再使用四吊耳吨包，开发出单吊耳卷式吨袋，实现

取袋及套袋过程的全自动化。该包装机能够自动完成物料的计量、包装和码垛操作，提高了包装效率。同时，研发团队还为包装机配备了智能控制系统，实现了包装过程的自动化和智能化<sup>[3]</sup>。

### 2.3 系统调试与优化

在设备安装完成后，公司研发团队进行了系统（见图1）的调试与优化。通过对输送管道的压力测试、包装机的计量精度校准、除尘系统的风量调节等环节的反复测试与调整，确保了系统的稳定运行<sup>[4]</sup>。同时，结合实际生产数据，对智能监控系统进行了优化，实现了对包装过程的实时监控与数据分析，为生产管理提供了有力支持。

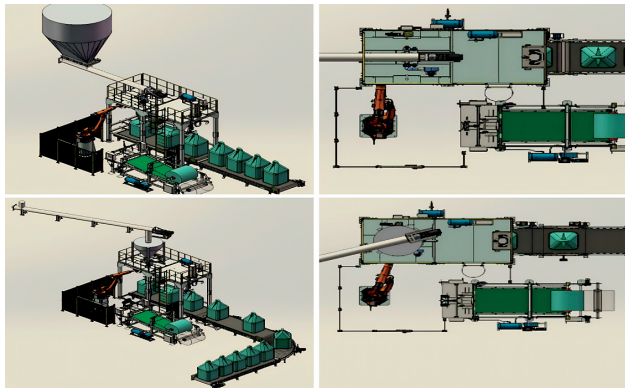


图1 智能化无尘包装系统结构图

Fig. 1 Structure of intelligent dust-free packaging system

系统调试阶段是确保全自动吨袋包装机能够稳定运行的关键环节。公司研发团队首先对气力输送系统进行了压力测试，通过在管道中注入0.6~0.8 MPa的空气，检测管道的密封性和输送能力。经过多次测试和调整，确保了输送管道在正常工作压力下能够稳定输送含砷物料，且无泄漏现象。

此外，研发团队对全自动吨袋包装机的计量精度进行了校准。由于含砷物料的密度和颗粒大小不均匀，计量精度的校准需要反复进行。研发团队通过多次试验，调整了包装机的计量精度，精度由10 kg调整到1 kg，确保包装袋的质量精度在允许范围内。同时，对包装机的包装速度进行了优化，通过调整包装机的运行频率和机械动作，提高了包装效率。

除尘系统的风量调节也是调试过程中的重要环节。研发团队通过在包装区域安装风量传感器，实时监测除尘系统的风量。通过对布袋除尘器的风机转速和风道阀门的调整，确保了除尘系统的风量能够满足作业环境的要求，有效过滤输送过程中产生的粉尘<sup>[5]</sup>。

最后，研发团队对智能监控系统进行了优化。通过在包装机上安装传感器和监控设备，实现了对包装过程的实时监控。研发团队开发了一套数据分析软件，能够对包装机的运行时间、称量、粒位高度、皮带等数据进行实时分析，为生产管理人员提供决策支持。通过智能监控系统的优化，实现了包装过程的自动化和智能化管理，减少了人工干预。

## 3 应用效果与经济效益分析

### 3.1 应用效果

全自动吨袋包装机的投入使用，显著改善了公司的生产环境与作业条件：

(1) 粉尘根治效果显著，实现无尘化作业。通过气力输送系统和密闭包装设备，含砷物料在整个包装过程中始终处于封闭状态，避免了粉尘逸散到环境中。作业现场彻底告别了粉尘弥漫的状况，环境洁净度获得质的飞跃，而且减少了粉尘对设备的磨损，延长了设备的使用寿命。

(2) 智能化水平提升。智能化操作是全自动吨袋包装机的另一大亮点。通过智能控制系统，包装机能够自动完成物料的计量、包装和码垛操作，无需人工干预。这不仅提高了包装效率，还减少了人为失误的风险。同时，智能监控系统能够实时监控包装机的运行状态，及时发现并处理故障，确保了包装过程的稳定性。

(3) 安全性提升。由于含砷物料中含有砷等有害成分，操作人员与物料的接触频率越高，职业病风险就越大。全自动吨袋包装机的投入使用，大大减少了操作人员与物料的接触机会<sup>[6-7]</sup>，降低了职业病的发生率。同时，通过智能化操作，避免了人工操作中的安全隐患，如车辆碰撞、物料泄漏等。

### 3.2 经济效益分析

全自动吨袋包装机的应用为公司带来了显著的经济效益。

(1) 在人力成本方面，全自动吨袋包装机的应用效果尤为显著。传统的人工包装方式需要6名操作人员，包括2名包装工、1名平板车司机、1名叉车司机和2名挂包人员。而全自动吨袋包装机投入使用后，仅需1名叉车司机和1名操作人员在仓库内监控包装机的运行状态，人力成本大幅度降低。以公司每年包装含砷物料1万t计算，人工成本的降低可为企业节省资金50余万元。

(2) 包装效率的提升。传统的人工包装方式每小时只能包装10t左右的含砷物料，而全自动吨袋包装机的包装速度可达30 t/h。这意味着在相同

的生产时间内，全自动吨袋包装机能够完成更多的包装任务，显著提高了生产效率。以公司每年包装含砷物料1万t计算，包装效率的提升可为企业节省时间数百小时，间接提高了企业的经济效益<sup>[8]</sup>。

(3) 设备损耗减少。传统的人工包装方式依赖大量的运输设备，如叉车、货车等。这些设备在频繁使用过程中容易出现故障，维修成本较高。全自动吨袋包装机的投入使用，减少了对这些运输设备的依赖，降低了设备损耗与维修成本。同时，由于包装过程的自动化和智能化，减少了人为操作对设备的磨损，进一步延长了设备的使用寿命。

(4) 环保效益显著。传统的人工包装方式在包

装过程中容易产生粉尘泄漏，对环境造成污染。全自动吨袋包装机通过密闭输送和无尘包装，有效减少了粉尘排放，符合国家环保要求<sup>[9-10]</sup>。这不仅避免了因环保问题导致的经济处罚，还提升了企业的环保形象，为企业带来了无形的经济效益。

#### 4 项目指标及国内外对比

在全球化竞争日益激烈的背景下，提升生产效能与技术先进性是企业保持核心竞争力的关键。为全面评估公司在包装工艺领域的综合水平，选取了国内先进企业（中国宝武钢铁集团有限公司）、国际先进企业（德国申克集团（Schenck））及国际领先企业（瑞士布勒集团（Bühler））进行多维指标对比分析，见表1。

表1 国内外技术性能指标及对比

Table 1 Comparison of technical performance indicators at home and abroad

单位名称	包装效率/(t·h <sup>-1</sup> )	人员配置/人	粉尘泄漏率/%	适用物料细度/μm	吨袋破损率/%	机器成本/万元
国投金城冶金有限责任公司	30	2	≤0.01	13~18	<1.0	210(2台)
中国宝武钢铁集团有限公司	20	4	0.5	25~75	5.0	200
德国申克集团	25	3	0.2	48~150	3.0	800
瑞士布勒集团	40	1	0.01	18~270	0.5	2000

首先是包装效率方面，国投金城冶金有限责任公司包装效率为30 t/h，超越国内先进水平（中国宝武钢铁集团有限公司20 t/h），接近国际领先水平瑞士布勒集团40 t/h，展现高效产能潜力；其次是自动化水平及环保优势，人员配置仅需2人，优于国内同行；粉尘泄漏率≤0.01%，与国际顶尖水平持平，凸显绿色生产的领先性。最后为质量与成本：吨袋破损率（<1.0%）显著优于国内标准，接近瑞士布勒集团吨袋破损率（0.5%）；机器成本仅为国际同行的1/10~1/4，性价比优势突出。

#### 5 运维要点

全自动吨袋包装机的稳定运行依赖各零部件的相互协作，其中多处传感探头作为核心检测元件，其灵敏度与准确性直接影响包装精度和设备安全性。为增加设备使用年限、消除故障隐患，结合自动包装机设备运行特点，提出以下维护保养要点，主要涵盖传感探头及关键零件的日常保养与维护。

开机前对设备进行检查是设备安全运行的基础，需重点关注光感探头、接近开关等传感元件。清理探头表面的浮灰、油污及物料残留，避免污染或遮挡导致检测信号失真；检查探头固定是否牢固，连接螺丝有无松动、连接线有无破损，确保探

头检测点位无偏离，灵敏度调节至正常范围，开机时注意观察信号反馈是否准确，异常时立即停机调试。

日常运行中的巡检需常态化，传感探头工作状态每1~2 h检查一次，观察设备是否出现误触等情况，及时处理探头周边的物料。同时检查输送螺旋、扎口机的运行状况，清理皮带上的残留物料；检查扎口机的平整度，及时调整参数，避免封口不牢固。

定期养护需按周期执行，每月对所有传感探头进行校对，确保检测精度误差在允许范围内；对六轴机器人传动部位、轴承等添加润滑油，减少机械磨损，防止出现卡顿现象。每季度拆解检查液压系统、气动元件，排查漏气、漏油问题，更换老化密封圈；清理电气控制柜内的灰尘，检查线路连接，避免短路故障。

长期停机需彻底清理设备表面及内部的残留物料，重点清理输送带及封口部位、传感探头等，防止物料腐蚀部件。关闭设备总电源、气源和水源，整理好连接线和管路。详细记录每次检查、校准及故障处理情况，建立维护保养台账，便于追溯设备运行状态，及时发现并消除隐患，确保全自动吨袋

包装机长期稳定、高效运行。

## 6 未来展望

全自动吨袋包装机的成功应用为公司的智能化、绿色化转型奠定了坚实基础。未来,公司将继续深化技术研发,引入物联网、大数据等先进技术,实现包装过程的远程监控与智能优化。同时,将该技术推广至其他生产环节,进一步提升企业的智能化水平与绿色发展能力,为有色冶炼行业的可持续发展提供更多的技术解决方案。

随着物联网和大数据技术的不断发展,未来的全自动吨袋包装机将具备更强的智能化功能。通过在设备上安装更多的传感器和监控设备,实现对包装过程的实时数据采集和分析。利用大数据技术,对采集到的数据进行深度挖掘和分析,为企业提供生产优化建议和决策支持。例如,通过对包装机运行数据的分析,预测设备的故障时间和维护需求,提前安排维修保养,减少设备停机时间。

同时,公司将把全自动吨袋包装机的技术应用推广到其他生产环节。例如,在物料输送、仓储管理等环节引入智能化设备和技术,实现整个生产过程的智能化和自动化。通过智能化设备的协同运行,提高生产效率,提升系统回收率<sup>[1]</sup>,降低生产成本,提升企业的竞争力。

此外,公司还将加强与高校和科研机构的合作,开展产学研联合攻关。通过与外部科研力量的合作,进一步提升企业的技术创新能力,开发更多先进的智能化包装技术和设备。例如,研究开发适用于有色冶炼行业的新型包装材料和包装工艺,提高包装质量和环保性能。

### [参考文献]

- [1] 方项林,苏江峰,陈儒稼.电除尘器供电电源的优选分析[J].硫酸工业,2022(4):40-42.  
FANG X L, SU J F, CHEN R J. Optimal Analysis of Power Supply for Electrostatic Precipitators [J]. Sulfuric Acid Industry, 2022(4): 40-42.
- [2] 苏江峰,方项林,董志鹏,等.两级密封溢流螺旋输送机在冶炼烟气收尘系统中的应用[J].硫酸工业,2022(9):48-50.  
SU J F, FANG X L, DONG Z P, et al. Application of two-stage sealed overflow screw conveyor in melting flue gas dust collection system[J]. Sulfuric Acid Industry, 2022(9): 48-50.
- [3] 苏江峰,申健,陈儒稼.大型铜冶炼厂电除尘器自动保护装置的研究与应用[J].有色设备,2021,35(4):48-50, 73.  
SU J F, SHEN J, CHEN R J. Research on ESP Automatic Protection Device Precipitator and Its Application in Large Copper Smelters [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2021, 35(4): 48-50, 73.
- [4] 苏江峰,方项林,高慧妹,等.有色冶炼含砷烟气分级骤冷处理新工艺[J].绿色矿冶,2024,40(4):62-66.  
SU J F, FANG X L, GAO H M, et al. New Process of Arsenic-containing Flue Gas Grading Quench Treatment in Non-ferrous Smelting [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(4): 62-66.
- [5] 苏江峰,陈儒稼,申健,等.有色金属火法冶炼系统大口径阀门配置应用与实践[J].硫酸工业,2021(9):52-56.  
SU J F, CHEN R J, SHEN J, et al. Application and practice of large diameter valve configuration in nonferrous metal smelting system [J]. Sulfuric Acid Industry, 2021(9): 52-56.
- [6] 周春虎,苏江峰,张卫星,等.降低冶炼烟气制酸系统净化污酸金含量的生产实践[J].硫酸工业,2022(3):27-30.  
ZHOU C H, SU J F, ZHANG W X, et al. Production practice of reducing the content of gold in waste acid from purification process of acid-making system from smelting flue gas [J]. Sulfuric Acid Industry, 2022(3): 27-30.
- [7] 苏江峰,方项林,陈儒稼,等.浅谈铜冶炼厂白烟尘自燃危害及预防[J].有色设备,2022,36(5):43-45.  
SU J F, FANG X L, CHEN R J, et al. A Brief Introduction to the Hazards and Prevention of Spontaneous Combustion of White Soot in Copper Smelters [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2022, 36(5): 43-45.
- [8] 苏江峰,陈儒稼,孟虎,等.基于“富氧底吹干法收砷”提升布袋除尘器运行效果的研究与应用[J].有色设备,2023,37(4):48-51.  
SU J F, CHEN R J, MENG H, et al. Based on the “Oxygen Rich Bottom Blowing Dry Method for Arsenic Recovery and Smelting” to Enhance the Bag Filter Research and Application of Operational Effectiveness [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(4): 48-51.
- [9] 申健,吕鑫宽,苏江峰,等.基于“富氧底吹三连炉”烟气除尘系统收尘效率提升的研究与实践[J].有色设备,2023,37(2):77-79,83.  
SHEN J, LYU X K, SU J F, et al. Research and Practice on Improving the Dust Collection Efficiency of the Flue Gas Dust Removal System Based on the “Oxygen Rich Bottom Blowing Triple Furnace” [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(2): 77-79, 83.
- [10] 侯晨茹,南君芳,张叶新,等.工业循环水泵及管线的计算与选型[J].有色设备,2023,37(4):78-82.  
HOU C R, NAN J F, ZHANG Y X, et al. The Calculation and Selection of Industrial Circulating Water Pumps and Pipelines [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(4): 78-82.
- [11] 丁永昌,张宏斌,苏江峰.基于“三连炉造钨捕金”提升铜冶炼企业金属回收率的金属平衡管理研究[J].有色设备,2023,37(2):84-87.  
DING Y C, ZHANG H B, SU J F. Research on Metal Balance Management for Improving the Metal Recovery Rate of Copper Smelting Enterprises Based on “Three Continuous Matte Making and Gold Capture” [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(2): 84-87.