

颗粒剂分装包材节约研究

侯白俊

云南白药集团股份有限公司, 云南昆明

DOI:10.62836/gse.v3i3.1474

摘要: 颗粒分装是制药、食品精制以及化工原料制造中常见的包装技术手段, 其中所用包装耗材是分装环节中重要的配套材料, 但包装材料采购成本以及资源消耗等问题正随市场变化、社会发展需要日益突出, 因此对包装材料的降耗及分装工艺优化研究具有重要意义。文章结合国内多家企业对包材的应用情况, 拟对材料选型、工艺变量、自动装置运用和管理体系进行分析, 提出了颗粒剂分装包材节约路径。同时, 以相关方案推进生产, 使单产品包材消耗降低8%–15%, 降低了包材成本。从环保视角出发, 方案实施可减少塑料的使用及包材废料的产生, 对经济效益及环保都有相当益处, 可为颗粒类加工企业包材降耗提供决策参考。

关键词: 颗粒分装; 包装耗材; 工艺优化; 自动化生产线; 成本管控

Research on the Cost Savings of Packaging Materials for Granule Dosage Packaging

Baijun Hou

Yunnan Baiyao Group Corporation Limited, Yunnan, Kunming

Abstract: Particle packaging is a common packaging technology in pharmaceutical, food refining and chemical raw material manufacturing. The packaging consumables used are important supporting materials in the packaging process. However, the procurement cost and resource consumption of packaging materials are changing with the market and the needs of social development. It is of great significance to study the consumption reduction of packaging materials and the optimization of packaging process. Based on the application of packaging materials in many domestic enterprises, this paper analyzes the material selection, process variables, automatic device application and management system, and puts forward the saving path of granule packaging materials. At the same time, the production is promoted by relevant schemes, so that the consumption of single product packaging materials is reduced by 8%–15%, and the cost of packaging materials is reduced. From the perspective of environmental protection, the implementation of the scheme can reduce the use of plastics and the generation of packaging waste, which is of great benefit to economic benefit and environmental protection, and can provide decision-making reference for packaging material consumption reduction of granular processing enterprises.

Keywords: particle packing; packaging consumables; process optimization; automatic production line; cost control

1 引言

颗粒制剂是按一定要求将药物原料同填充剂或粘合剂一类的辅料调和均匀后再制成的干燥粒状固体制剂，可口服或以温水溶解混悬服用[1]。无论从医药上所称的药用颗粒还是食品类固体冲剂乃至化工粉状原料，其所涉及的分装工序、包材都对成品质量及全生产线的成本有直接影响。作为分装主要载体的包装材料，本身要满足保质、易储、便运诸项功能，其成本在总成本中通常占10%-20%的比例。随着市场环境的变化、环保政策收紧，企业需从节约包材维度实现降本增效的挑战，传统分装过程中包材选型不合理、工艺损耗过高、管理粗放等问题导致的资源浪费与成本压力愈发突出。

因此有必要就颗粒分装包材做节约性分析，设法减少单位包材用量及企业开销，实现节约资源，降低废弃物料对环境的压力，从而建立起可行的包材节约模式，把经济、生态效益同时落到实处，降低企业生产成本、践行绿色生产有实际意义[2]。

2 现有包材降耗相关研究梳理

国外有关包材节约的论述已有较长历史，所讨论的重点是可降解材料及自动分装类设备的应用，例如欧盟曾借由《包装与包装废物指令》把包材轻量化和再利用纳入政策目标，德国以分拣自动化和定量控制减少包材浪费。国内目前只对个别环节作较多分析（即材料或加工方式的改进），尚无完整意义上的“选型-工艺-管理”全链条节约思路，对颗粒各种特征（流动能力、大小）所对应的最优包材尚未做足够研究，现在用的多是复合多层膜分装，结果是用量大而后续回收困难。

3 颗粒分装常用包材类型与消耗现状分析

3.1 分装内、外包材分类及性能特点

颗粒分装所用的包材应按用途划为内包材或外包材。

内包材是直接于产品相接的材料，要符合阻隔及安全标准，其基本类型有：①复合膜袋：所

用材料是塑料及铝箔的多层组合，具有防潮、遮光与阻隔功能，能抑制水气、氧气及光线对内容物的侵入，有利于长期保存。一般用于各种颗粒类物品，现为内包材中用量最大的一类（约占60%），对所装物体有一定承重能力，运输或储藏时可较好地加以保护，但其热封损耗大、尺寸适配性并不理想。②铝塑泡罩：所用材料是铝箔和塑料硬片，特点是密封效果好、分剂量较精确，适合装药用颗粒，不过冲裁时废料比例较大（一般为8%-12%）。③玻璃瓶/塑料瓶：所用的重复率虽高，但瓶子本身较重、运载费用多，瓶盖垫也易坏。④纸塑复合包装：所用材料环保，但阻隔能力较差，只适合短期保存颗粒物。

外包材是瓦楞纸箱及缠绕膜一类的东西，用作整体包装或外层防护，目前有关纸箱大小太宽而造成材料、运载空间浪费的情况较多。

3.2 国内企业包材损耗实地调研结果

通过对10家制药及食品企业相关包材损耗统计，发现颗粒分装包材目前使用情况存在以下问题：

①选型不合理：在所调查的35%企业中发现存在“过度包装”现象，即将高阻隔复合膜用于低湿度所需颗粒包装中，从而使包材成本增加；有20%的企业因所用包材大小与颗粒填充无对应关系，出现“空袋”“胀袋”报废情况[3]。

②工艺损耗过高：按手工方式分装，包材破损率高达10%-15%；使用半自动设备热封，其偏差致使包材报废率可达7%；而冲裁环节由模具精度问题导致的包材废料率比行业最优情况高5%-8%。

③管理环节缺失：在各环节的管理中普遍存在以下问题——库存包材周转缺乏通畅，库存积压导致包材过期而损耗约占3%；此外生产中并未根据项目方案所需包材进行针对性配额，缺乏定额配发意识，造成一定包材浪费；在包材回收再利用方面，缺乏完整的可长期沿用的闭环体系，缺乏规范的回收流程，使得所回收材料再利用率低于40%。

3.3 影响包材消耗的核心因素汇总

通过对生产企业包材损耗情况的统计分析，

大致可归纳为以下原因：①未充分考虑产品自身物理属性：如颗粒径小于0.1mm则属于易漏粉，此时采用高阻隔性包材才能防止颗粒泄漏；而对于流动性比较差的颗粒通常会出现粘壁情况，则需大包装空间适配充填。产品与包材不匹配则可能导致包材损耗。②生产设备更新慢：老旧设备因磨损及工艺精密度等问题，存在计量偏差、封口温度不稳定等缺陷，增加了包材报废率；老旧生产线缺乏自动化辅助检测设备，对包材质量的检测缺乏准确性，可能导致后续工序重复，增加生产成本。③执行人员包材节约意识缺乏：因包材节约意识不足，对诸如热封技术参数掌握不足，对产品质量监测不及时，包材储存随意，都是造成包材人为损耗的重要因素。④现行政策和行业规范不清晰：环保政策出来，促使企业采用可降解材料；但相关包材节约标准缺乏行业性指标，企业执行缺乏参照，相关包材生产改进措施缺乏指导。

4 颗粒分装包材节约关键路径研究

4.1 包材优化选型原则

4.1.1 基于颗粒特性的包材适配模型

根据颗粒包材需要具备防潮、防氧化、防破损等功能，可以“颗粒特性-包材性能”作为包材优化选型的核心要素，从源头解决过度包装情况[4]。以对湿度敏感的颗粒为例，宜采用铝塑复合膜（阻隔率 $\geq 99\%$ ）；对常规干燥类食品冲剂，可用单层PE膜，可使包材成本降低30%。

包材选用应根据颗粒特性进行选择，有关成本的比较如下：对湿度敏感、易氧化的颗粒宜用铝塑复合膜[氧气透过率 $\leq 1\text{cc}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$]，其比铝箔成本低15%；对中等防潮、流动性好颗粒，镀铝复合膜是优选[水蒸气透过率 $\leq 5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$]，其成本较铝塑复合膜低20%；对于干燥或短期储藏颗粒，可用单层PE膜（拉伸强度 $\geq 15\text{MPa}$ ），其成本比复合膜低50%。大颗粒、易损物，可实用加厚纸塑复合袋（耐冲强度 $\geq 5\text{J}$ ），可回收再利用，降低环保支出。

4.1.2 包材轻量化与结构优化

在满足产品保护要求的前提下，通过以下方式

实现轻量化：

①减薄壁厚：在不影响包材功能及颗粒质量条件下，可将复合膜厚度从80 μm 减至60 μm ，可以使单袋重量降低25%，而每年可节约的包材成本约12%。

②优化包装尺寸：可以根据颗粒填充量，在满足颗粒封装条件下，采用“最小适配原则”设计袋型，比如将原10g颗粒包装袋尺寸为100mm $\times$ 150mm调整为80mm $\times$ 120mm袋型尺寸，从而减少耗材使用，本方案可使材料消耗减少30%。

③一体化设计：将包装袋与撕口、易撕线一体化成型，一方面可减少辅料的使用，同时也降低了开封时的包材破损率。

4.2 分装工艺参数改进：降低生产过程损耗

4.2.1 计量与充填工艺优化

由充填量偏差所引发的“多装返工”“少装报废”是造成车间包材损耗的主要因素。可以通过下面的方案进行损耗改进[5]：①对计量做动态校准：将重量传感器应用于全自动充填设备中，这样能够及时反馈计量偏差数据，从而自动调整充填量，使计量精度从 $\pm 2\%$ 缩小到 $\pm 0.5\%$ ，可将因装量不同而报废的包材报废率降低80%。②升级防搭桥装置：缺乏流动性的颗粒填充时，在装料斗中加设振动或搅拌辅助装置，防止颗粒搭桥堵住通道，使填充中断，造成空袋现象。通过防搭桥装置升级，可将包材利用效率提高至5%。

4.2.2 热封与冲裁工艺参数优化

通过正交实验法，确定不同包材的最优工艺参数（见表1），减少热封不良与冲裁废料：

表1. 不同包材的最优工艺参数

包装材料	热封温度 ($^{\circ}\text{C}$)	热封压力 (kPa)	热封时间 (s)	冲裁速度 (次/min)	报废率 降低 (%)
铝塑复合膜	180-190	300-350	1.5-2.0	60-80	65
镀铝复合膜	160-170	250-300	1.0-1.5	80-100	58
单层PE膜	120-130	200-250	0.8-1.2	100-120	45

此外，更换高精度冲裁模具（公差 $\leq 0.1\text{mm}$ ），将冲裁废料率从10%降至4%以下。

4.3 自动化与智能化技术应用：提升包材利用效率

4.3.1 全自动分装生产线升级

将“人工计量-半自动封口”的传统生产线，升级为“自动上料-精准计量-智能封口-在线检测”全自动生产线，以实现以下流程的优化[6]：①对包材实行自动供料（智能定位包材、机械手自动抓取），从而避免人工作业造成破损，可使破损率降低到2%。②以视觉系统在线监测包材质量，如判断包材有无褶皱或污渍、漏封问题，对问题包材能够及时预警提示或直接从流水线剔除，避免后续包装填充造成质量问题，可使包材实际利用效率提升6%。

4.3.2 数字化管理系统搭建

将MES（制造执行系统）及WMS（仓库管理系统）应用于包材使用的全周期，实现数字化控制[7]：①规范领用定额制度：按生产方案计算出包材应领数量，超量需经审批，保障包材合理使用，由此使包材领用准确度达到95%。②库存动态检测：对临期物品自动统计并发出提醒，使临期材料得到有效利用，避免过期报废，通过库存动态监测，过期损耗可由3%降至0.5%。③损耗数据分析：对所涉各工序的包材损耗自动进行数据统计分析，设置高损耗环节点（例如某批产品热封废品多或制得的颗粒过细）智能预警，以便提升工艺质量。

4.4 管理体系完善：全链条节约管控

4.4.1 建立包材节约标准体系

制定《颗粒分装包材选用规范》《包材损耗定额标准》《废弃包材回收管理办法》等制度，明确各环节节约目标：如内包材损耗率 $\leq 5\%$ 、外包材尺寸适配率 $\geq 90\%$ 、可回收包材利用率 $\geq 70\%$ 。

4.4.2 人员培训与激励机制

技能培训：定期开展设备操作、工艺参数调整培训，使操作人员技能达标率提升至100%，人为损耗率降低60%。

激励机制：设立“包材节约奖”，对超额完成节约目标的班组给予奖金奖励，调动员工积极性。

4.4.3 废弃包材回收与再利用

废弃包材回收与再利用应形成“分类回收-破碎-再生”的处理闭环。内包材的回收利用：应参照对未接触产品的废弃复合膜、铝塑硬片分类回收，按类分拣后的废弃包材送专业生产企业进行再生加工，再生材料可根据质量用于外包材或工业辅助用料，可节省包材成本。外包材的回收，如瓦楞纸箱经拆解又作成型处理，可复用2~3次，所用缠绕膜被回收造粒，再利用率可达65%。

5 包材节约方案实践验证与效果评估

5.1 实践案例概况

以某制药企业所用的板蓝根颗粒分装生产线为试点进行分析，原使用的是半自动分装设备，包材是80 μm 类型的铝塑复合膜，仅2023年单袋包材用量就为1.2g，年包材费用高达800万元。2024年上该企业采用上述方案进行包材节约处理，将包材改为60 μm 的镀铝复合膜，把分装改为全自动化操作，引进数字管理体系，设立回收制度。

5.2 方案实施过程

①包材选型优化：按板蓝根颗粒所要求的防潮标准[水蒸气透率 $\leq 5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$]，将原用80 μm 铝塑复合膜替换为60 μm 镀铝复合膜，此时每袋成本为0.12元，较原包材成本下降20%。

②工艺参数调整：按正交方法得出热封的适当条件：温度170 $^{\circ}\text{C}$ 、压力300kPa、时间1.5s，冲裁所用模具改成高精度型，由此使热封报废率（原7%）变为2%，废料率降到4%。

③设备升级：采用全自动分装所用的生产线（配备在线视觉检查及动态计量校准），可使人工造成的破损减少到2%（原为8%），计量报废率降到0.5%。

④管理完善：将包材的领用定额定为1.05g/袋，对有关人员作3次培训，将废弃包材纳入回收范围，由此可回收包材利用率达70%。

5.3 效果评估

5.3.1 经济性评估

试点半年后，生产线包材单耗从1.2g/袋降至1.02g/袋，降低15%；单袋包材成本从0.15元降至0.12元，降低20%。按年产能5000万袋计算，年节约包材成本： $5000 \text{万} \times (0.15 - 0.12) + (1.2 - 1.02) \times 5000 \text{万} \times 0.12 \approx 258 \text{万元}$ ，投资回报率（ROI）达180%。

5.3.2 环境效益评估

半年内减少废弃包材产生量12吨，其中再生利用8.4吨，减少塑料垃圾填埋量6吨，降低了环境处理成本；包材轻量化与回收利用减少了原材料开采与加工能耗，折合二氧化碳减排约20吨。

5.3.3 合规性与稳定性评估

更换后的镀铝复合膜符合《药用包装材料容器通则》（YBB00132002-2015）要求，产品密封性、保质期均未受影响；生产线包材损耗率稳定在4.5%以下，波动幅度 $\leq 0.5\%$ ，方案稳定性良好。

6 结论

颗粒分装包材消耗所涉的主要问题有选型不当、工艺损耗多、管理不够精细，应以“选型-工艺-技术-管理”为思路来解决。按颗粒性质选配包材、将工艺参数作正交优化、用自动技术改造流程或引入数字化信息化管理体系，这些都是实现节约包材的有效路径。实践表明推行此方案，能购使包材单耗降低8%-15%，年度合计将节约较大成本，

同时通过包材节约使资源用量得到控制，废料降低有利于环境环保，对企业长效健康发展具有重要意义。但目前方案对高粘性或易吸潮颗粒的适配情况尚无完整定论，包材再生质量的控制标准尚未全部出台，再生材料的使用范围可能受到一定限制。未来，从材料角度出发应加快研发可降解、高强度的新型包材（如聚乳酸类复合膜），力争将环保成本压低一些。同时，在智能化背景下，推进智能升级已是大势所趋，将AI算法用于包材设计和参数优化，做到“颗粒特性-包材-工艺”所指的自洽匹配，并联合行业协会制定《颗粒分装包材节约评价规范》，以试点企业成果带动行业整体的绿色转型。

参考文献

- [1]国家药典委员会.中华人民共和国药典（四部）[S].北京：中国医药科技出版社,2020.
- [2]余丽平,王利平.绿色制造赋能乡村振兴的路径研究[J].甘肃农业,2024,(5):68-72.
- [3]程峥,庄莹辉,李怡涛,等.粮食制品包装研究现状及未来发展趋势[J].粮食科技与经济,2024,49(5):70-73+89.
- [4]李华.食品冲剂包装材料的优化选型与成本控制[J].食品工业科技,2021,42(15): 312-316.
- [5]张小明.药用颗粒分装过程中包材损耗的控制方法研究[J].中国医药包装,2022,22(3):45-48.
- [6]王涛.全自动颗粒分装生产线的设计与应用[J].包装工程,2023,44(7):189-195.
- [7]仲文艳.NJX制造公司生产数字化转型策略研究[D].南京农业大学,2023.

