

改性塑料造粒设备的改进与能效提升

徐伟^{1,2}

1. 重庆科聚孚新材料有限责任公司 重庆 401332

2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司 重庆 400039

摘要: 改性塑料造粒设备基础成型功能已趋成熟,但能效提升受诸多因素制约,成为产业绿色发展的重要瓶颈。为突破这一困境,需围绕核心部件结构、传动驱动、温控体系等核心方向推进设备改进,并融合智能控制、余热回收等关键技术形成协同优化方案。本文阐述相关改进方向与技术实现路径,可为设备能效提升提供切实可行的技术参考,助力改性塑料产业实现高效节能转型。

关键词: 改性塑料; 造粒设备; 结构改进; 能效提升; 智能控制

引言: 改性塑料产业发展对造粒设备能效与性能提出更高要求。当前造粒设备在能量利用、运行调控等方面存在不足,制约产业升级。探究设备改进方向,集成高效技术路径,成为突破能效瓶颈的关键。以下将从设备核心改进方向与关键技术实现路径展开分析,为设备优化升级提供思路。

1 改性塑料造粒设备的技术现状与能效瓶颈

当前改性塑料造粒设备主要以双螺杆挤出造粒机为主,配套混料、干燥、切粒等辅助系统,其核心工作原理是通过螺杆旋转产生的剪切、输送作用,实现物料的熔融塑化与混合成型。从技术应用来看,现有设备在基础成型功能上已趋于成熟,但在能效与性能优化方面仍存在显著瓶颈。在能耗结构上,螺杆驱动系统与加热系统能耗占比超80%,其中驱动电机普遍存在负载率偏低、能量转换效率不足的问题,传统电阻加热方式热损失率高达30%以上。在性能适配性上,现有螺杆结构对高填充、高粘度改性物料的适应性较差,易出现塑化不均、分散效果不佳等问题,进而影响产品质量稳定性。此外,设备运行过程中缺乏精准的参数调控机制,温度、压力等关键参数波动较大,不仅加剧能耗浪费,还降低了设备运行寿命。这些问题共同构成了改性塑料造粒设备能效提升的主要障碍,亟需通过技术改进实现突破^[1]。

2 改性塑料造粒设备的核心改进方向

2.1 核心部件结构优化

螺杆与机筒作为造粒设备的核心工作部件,其结构设计直接决定物料塑化效果与能量利用效率。现有螺杆结构存在螺槽深度、导程等参数匹配不合理的问题,导致物料在输送过程中剪切功损耗过大,能量利用率偏低。改进方向主要包括螺杆构型的仿生优化与参数精准匹配:采用变螺距、变槽深的渐变式螺杆结构,根据物

料在塑化各阶段(输送段、压缩段、均化段)的状态差异,精准设计各段螺距与槽深参数,减少物料在输送过程中的回流与能耗浪费;在螺杆均化段增设新型混合元件,通过提升物料的剪切混合效果,降低达到均匀塑化所需的能量输入。同时,对机筒内壁进行耐磨减阻涂层处理,采用陶瓷或碳化钨涂层材料,降低物料与机筒内壁的摩擦系数,减少摩擦能耗,同时提升机筒的使用寿命,间接降低设备维护与更换成本。

2.2 传动与驱动系统升级

传动与驱动系统是设备能耗的主要来源之一,传统造粒设备多采用定频电机搭配齿轮箱的传动方式,存在启动电流大、负载适应性差、能量转换效率低等问题。升级方向聚焦于变频调速技术与高效传动机构的集成应用:采用永磁同步变频电机替代传统异步电机,其功率因数高达0.95以上,能量转换效率较传统电机提升10%-15%,同时具备宽范围调速能力,可根据物料处理量与塑化需求精准调节转速,避免“大马拉小车”的能耗浪费。在传动机构方面,优化齿轮箱结构设计,采用硬齿面齿轮传动,提升齿轮啮合精度,降低传动过程中的机械损耗;引入精密行星齿轮箱,减小设备体积的同时,进一步提升传动效率与稳定性。此外,通过加装能量回馈装置,将设备制动过程中产生的再生电能回馈至电网,实现能量的循环利用,进一步降低综合能耗^[2]。

2.3 温控体系精准化改造

温度控制精度直接影响物料塑化质量与能耗水平,传统造粒设备采用分段电阻加热与简单温控仪表,存在加热不均匀、温度波动大、热损失严重等问题。精准化改造主要从加热方式优化与温控系统智能化两方面展开:采用电磁感应加热替代传统电阻加热,电磁感应加热通过电磁感应使机筒自身发热,热效率高达90%以上,

较电阻加热节能30%-50%，同时减少了环境热污染；在加热布局上，采用多段分区精准加热设计，根据螺杆各段物料塑化温度需求，实现各加热区域的独立温控。温控系统方面，引入PID模糊控制算法，结合红外测温技术实时采集机筒与物料温度数据，通过智能算法对加热功率进行动态调节，将温度波动控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，避免因温度过高导致的物料降解与能耗浪费。

2.4 物料处理系统适配性提升

改性塑料物料种类繁多，性能差异较大（如高填充、高粘度、热敏性等），现有设备物料处理系统适配性不足，易导致塑化不均、能耗增加等问题。提升方向主要包括进料系统与排气系统的优化设计：进料系统采用变量螺旋进料装置，根据物料堆积密度与流动性差异，精准调节进料速度，实现进料量与螺杆塑化能力的动态匹配，避免因进料过多导致的螺杆堵料与能耗激增，或因进料不足导致的设备空转能耗浪费；在进料口增设预混与预热装置，对物料进行初步混合与预热处理，降低螺杆塑化阶段的能量输入。排气系统方面，采用多级真空排气结构，针对不同物料的挥发分含量，精准调节真空度与排气位置，有效排出物料中的水分与挥发分，避免因气泡存在导致的产品质量缺陷与二次加工能耗；同时优化排气口结构设计，减少排气过程中的物料损耗，提升物料利用率。

3 改性塑料造粒设备能效提升的关键技术与实现路径

3.1 智能控制系统集成技术

智能控制系统是通过对设备运行参数的实时监测、精准调控与智能优化，实现设备全流程的高效运行。该技术的核心在于构建多参数协同调控模型，集成物料特性识别、运行状态监测与能耗实时分析功能。首先，通过物料特性检测模块，对进料物料的成分、湿度、粘度等关键参数进行实时检测，基于预设的物料数据库，自动匹配最优的螺杆转速、加热温度、进料速度等运行参数，实现设备的自适应运行。其次，搭建全流程状态监测网络，采用振动传感器、压力传感器、能耗监测仪等设备，实时采集螺杆转速、机筒压力、电机负载、能耗数据等关键信息，通过工业互联网平台实现数据的实时传输与存储。基于采集到的运行数据，采用机器学习算法构建能耗预测模型，精准识别设备运行过程中的能耗异常点，提前预警潜在的设备故障，避免因故障导致的能耗激增与生产中断。此外，开发可视化操作与远程监控界面，操作人员可实时掌握设备运行状态与能耗数据，通过远程调控功能实现设备的精准运维，进一步提升设备运行效率^[3]。

3.2 余热回收与利用技术

改性塑料造粒设备运行过程中会产生大量低品位余热，主要包括机筒散热、物料冷却余热及电机运行余热，传统生产中这些余热多直接排放至环境中，不仅造成严重的能量浪费，还会加剧车间热污染。余热回收与利用技术通过构建分级回收、梯级利用的余热回收系统，将这些废弃热能转化为可利用能源，实现能量的高效循环，是提升设备综合能效的重要路径。针对机筒散热余热，采用纳米绝热毡、陶瓷纤维等高效保温隔热材料对机筒外侧进行全包裹，可将机筒表面热损失降低60%以上，同时通过在保温层内部嵌入金属导热盘管，将收集的余热传递至进料预热系统，对进料物料进行预加热处理，使物料进入螺杆前温度提升至80-120 $^\circ\text{C}$ ，大幅降低主加热系统的能量输入。对于物料冷却过程中产生的余热，采用闭环式冷却余热回收系统，通过板式换热器将冷却水携带的余热进行回收，回收的热能可灵活应用于多个场景：一方面可接入设备加热循环系统，补充主加热负荷；另一方面可用于车间冬季供暖或辅助干燥系统加热，实现余热的多场景梯级利用。针对电机运行产生的热量，采用液冷散热系统替代传统风冷系统，通过专用冷却液高效吸收电机定子、转子产生的热量，再将携带余热的冷却液导入余热回收回路，进一步提升余热回收效率。经工程实践验证，整套余热回收系统的应用可使设备综合能耗降低8%-15%，其中机筒余热回收贡献率达60%以上，不仅显著提升了能量利用效率，还降低了车间空调制冷负荷，实现了经济效益与环境效益的双重提升。

3.3 设备轻量化与高强度设计技术

设备轻量化与高强度设计技术通过材料革新与结构优化的双重手段，在保证设备结构强度与运行稳定性的前提下，大幅降低设备自身重量，从源头减少驱动能耗。在材料选用上，采用高强度铝合金、碳纤维复合材料等新型轻量化材料替代传统铸铁与普通钢材，这些材料具有密度小、比强度高、耐腐蚀等优势，其中碳纤维复合材料的密度仅为钢材的1/4，强度却达到钢材的3-5倍，应用于机座、机架等非核心受力部件，可使设备关键部件重量降低20%-30%；对于螺杆、机筒等核心受力部件，则采用高强度合金钢材搭配表面强化处理，在保证强度的同时控制重量增量。在结构设计上，采用拓扑优化技术，借助有限元分析软件对机座、机架等承载部件进行结构仿真，精准识别受力薄弱点与冗余材料区域，通过去除冗余材料、优化结构形态，在保证承载能力不降低的前提下，进一步减轻设备重量。同时，通过三维建模与动力学分析，优化设备重心布局，使设备运

行过程中受力更加均匀,减少因重心偏移导致的振动与噪声,降低机械传动损耗,间接提升能效。此外,轻量化设计还能显著降低设备的运输成本与安装难度,减少设备搬运过程中的能耗与人力投入,经测算,采用该技术的造粒设备,驱动系统能耗可降低12%-18%,设备全生命周期成本降低10%以上^[4]。

3.4 多设备协同运行优化技术

改性塑料造粒生产是一个包含混料、干燥、造粒、冷却等多个环节的系统工程,各设备的独立运行易导致系统整体能效偏低。多设备协同运行优化技术通过构建系统级的协同控制平台,实现各设备运行参数的动态匹配与协同优化,提升整个生产系统的能效。首先,基于生产工艺需求,建立各设备运行参数的关联模型,明确混料量、干燥温度、造粒转速、冷却水量等参数之间的最优匹配关系;其次,通过协同控制平台实时采集各设备的运行数据,根据生产负荷的变化,动态调节各设备的运行参数,避免因某一环节参数失衡导致的系统能耗增加。例如,当进料量增加时,协同提升干燥系统的加热功率、造粒机的螺杆转速及冷却系统的冷却水量,确保各环节产能匹配,避免物料堆积或设备空转。此外,采用智能调度算法,实现多批次、多品种生产任务的优化调度,减少设备启停次数与生产切换时间,进一步降低系统能耗,提升生产效率。

3.5 磨损自补偿与长效稳定运行技术

设备运行过程中的部件磨损会导致设备密封性能下降、运行阻力增加,进而加剧能耗浪费,缩短设备使用寿命。磨损自补偿与长效稳定运行技术通过采用新型耐磨材料、增设磨损监测与自补偿装置,减少部件磨损对设备能效的影响,实现设备的长效稳定运行。在易磨损部件(如螺杆、机筒、止推轴承等)的设计上,采用等

离子喷涂、激光熔覆等表面强化技术,提升部件表面硬度与耐磨性,延长部件使用寿命;增设磨损状态监测模块,通过传感器实时监测易磨损部件的磨损量,当磨损量达到预设阈值时,自动触发补偿机制,如通过液压调节装置对螺杆与机筒之间的间隙进行动态补偿,保证设备密封性能与塑化效果,避免因间隙过大导致的物料回流与能耗增加。同时,优化设备润滑系统,采用自动润滑装置,根据设备运行状态精准控制润滑剂量与润滑周期,减少部件之间的摩擦损耗,提升设备运行稳定性与能效。通过该技术的应用,可有效降低设备维护频率,延长设备稳定运行时间,减少因维护与停机导致的能耗损失^[5]。

结语:造粒设备的改进与能效提升需依托多维度技术协同。核心部件优化、系统升级与智能技术集成等路径,可有效突破现有能效瓶颈。这些改进思路与技术方

案,为设备迭代升级提供全面支撑,推动改性塑料生产向高效、节能方向转型,助力产业可持续发展。需要我调整某一部分的语气或表述风格吗?比如让引言更具引导性,或让结语更具展望性。

参考文献

[1]高莺旗.改性塑料造粒设备能效提升策略研究[J].塑料加工与应用,2023(5):78-82.

[2]赵晴川.纳米粒子增强改性塑料的制备与性能分析[J].材料科学与工程,2022,40(2):234-240.

[3]张伟杰.环保型淀粉基改性塑料的制备工艺与性能优化[J].绿色包装材料,2021,38(3):9-14.

[4]程诺.再生塑料已达千亿级市场,哪些国产厂商已布局?[J].资源再生,2023(10):42-44.

[5]赵晓飞,刘雅文.再生塑料:变废为宝之路怎么走?[J].中国石油和化工,2022(6):20-23.