

离心机铸管生产过程节能降耗措施研究

贾振华 范文龙 郜礼涵

河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司, 河南 安阳 455133

[摘要] 离心机铸管是球墨铸铁管生产的核心环节, 其能耗在生产总成本中占据较大比重, 在国家“双碳”战略背景下, 系统性的节能降耗已成为行业发展的迫切需求。文章从离心机铸管生产工艺特征出发, 系统分析了熔炼、浇注、热处理及精整各环节的能耗构成与损耗问题, 在此基础上从原材料配比优化、生产工艺流程优化、设备节能改造与升级、能源管理体系优化、信息化与精细化管理以及人员操作规范与节能意识提升六个维度提出了系统化的节能降耗措施, 并结合行业标准与典型案例对各项措施的实施效果进行了经济性评价。研究表明, 通过上述综合措施的系统推进, 离心机铸管生产的单位产品能耗可下降 15%以上, 余热回收利用效率可提升至 30%~40%, 具有良好的经济效益与环境效益。

[关键词] 离心机铸管; 球墨铸铁管; 节能降耗; 短流程工艺; 余热回收

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19549

中图分类号: TG255

文献标识码: A

Research on Energy-saving and Consumption Reducing Measures in the Production Process of Centrifuge Casting Pipes

JIA Zhenhua, FAN Wenlong, GAO Lihan

Angang Yongtong Ductile Iron Pipe Limited Liability Company, He'nan Iron & Steel Group, Anyang, He'nan, 455133, China

Abstract: Centrifugal tube casting is the core process of ductile iron pipe production, and its energy consumption accounts for a large proportion of the total production cost. Under the background of the national "dual carbon" strategy, systematic energy conservation and consumption reduction have become an urgent need for industry development. Starting from the production process characteristics of centrifuge cast pipes, this article systematically analyzes the energy consumption composition and loss problems of melting, pouring, heat treatment, and finishing in each link. Based on this, systematic energy-saving measures are proposed from six dimensions: raw material ratio optimization, production process optimization, equipment energy-saving transformation and upgrading, energy management system optimization, information and fine management, and personnel operation norms and energy-saving awareness improvement. The implementation effect of each measure is evaluated economically by combining industry standards and typical cases. Research has shown that through the systematic promotion of the above comprehensive measures, the energy consumption per unit product in centrifuge casting pipe production can be reduced by more than 15%, and the utilization rate of waste heat recovery can be increased to 30% to 40%, with good economic and environmental benefits.

Keywords: centrifugal casting tube; ductile iron pipe; energy-saving and consumption reduction; short process technology; waste heat recovery

引言

球墨铸铁管因为优异的力学性能和耐腐蚀性, 在市政供水、输气、供热等各个方面得到了广泛的应用, 离心浇注工艺是它的主要生产过程。但离心机铸管生产能耗大, 是机械工业耗能大户, 其能耗占机械工业总能耗的 23% 到 62%, 能源利用率低, 仅为 15%~25%, 节能降耗潜力巨大。在国家“双碳”目标和越来越严格的环保政策的影响之下, 减少离心机铸管生产过程中的能源消耗成了行业

发展的主要任务。本文从工艺技术、设备配备、能源管理等几个方面出发, 对离心机铸管生产过程中节能降耗的措施进行研究, 为行业提供一定的借鉴。

1 离心机铸管生产工艺概述

离心机铸管的生产是以球墨铸铁管为主的产品, 它的完整的生产工艺包含熔炼、离心浇注、退火处理和精整加工等几个部分。原料主要是生铁、废钢和回炉料, 在熔炼过程中经过熔炼设备熔化为铁水, 再经过球化处理将铁水

中的片状石墨转变为球状石墨,使管材的力学性能得到极大的提高。中频感应炉利用电磁感应原理在熔化的炉料中产生热量,使炉料熔化,熔化速度快、电效率高、热效率高、能耗低、冶炼合金元素烧损少、脆性夹杂物少、纯净度高,是目前铸造工艺中熔炼的核心设备。中频感应炉的电热转化有效利用率达 75%以上,远高于传统燃气炉、冲天炉的 40%~50%左右。离心浇注是铸管生产的主体工序,将熔化的铁水注入高速旋转的金属模具里,在离心力的作用下铁水均匀分布在模具内壁上形成管状铸件,不需传统铸造所必须的浇冒口系统,材料利用率大大提高。浇筑完的铸件放在连续式退火炉里加热冷却,消除内应力,改善组织性能。最后通过喷锌、打磨、水压试验和内外涂层处理等精整工序得到成品管材。

2 离心机铸管生产过程能耗与损耗问题分析

离心机铸管生产过程中主要消耗的有熔炼、离心浇注和热处理三个环节。熔炼过程占生产过程总能耗的 50%以上,熔炼能耗与炉料组成、炉型选择、操作方式有关。传统的冲天炉熔炼方法热效率低,大量的热量被烟气带走,而且冲天炉废气中存在很多可燃物以及一氧化碳等有害物质,造成了极大的能源浪费。即使使用中频感应电炉,如果炉料的配比不恰当或者操作不当,也会产生电能损失。铸造行业能源消耗主要包括电力、燃料、辅助材料,电力消耗所占比例最大,其次才是燃料。离心浇注过程中能耗问题主要是设备运行效率低、工艺参数控制粗放造成的。目前球墨铸铁管离心浇注工艺在铸管质量稳定性、生产效率和能耗控制等各方面还存在着提高的空间,浇注工部生产成本所占比例较大,壁厚均匀度控制精度影响材料利用率和能耗^[1]。壁厚偏差太大时需要使用正偏差的拉管方法来保证产品的合格率,造成管材重量增加、材料浪费。设备液压系统不稳、操作人员技术水平良莠不齐,同样是造成能耗上升的主要原因。铸件在退火、精整加工过程中也存在着能源利用率低下的问题,余热回收率一般较低。铸造过程中产生的余热种类繁多,分为固态余热、液态余热和气态余热,但是我国铸造行业余热回收率普遍偏低。这些问题是相互交织在一起的,是离心机铸管生产过程节能降耗要重点解决的技术难题和管理上的不足之处。

3 离心机铸管生产节能降耗优化措施

3.1 原材料配比优化与循环利用措施

原材料配比的改善属于减少能耗的基础工作。在传统的生产方式中,生铁、废钢、回炉料的配比不适宜会引起熔化时间延长、电耗增大。通过改善炉料结构来提高废钢、

回炉料比例,从而大幅度减少生铁消耗以及熔化能耗。电渣增熔炉能产生较为纯净的钢水,离心铸造可制造出致密的铸件,电渣离心浇铸将两者工艺优势结合起来,回收废旧块料、碎屑等,实现材料循环利用。另外铸管生产过程中产生的浇注余料、废管等都应全部回收利用,不能浪费。生产过程中要建立健全炉料分类制度,将各种废料按品级分别存放在相应的仓库里,科学配用,在降低原材料采购成本的同时也减少熔炼环节的无效能耗。采用喂线法球化处理新工艺,可以减小球化剂用量及烧损,在保证铸管内在质量的同时降低能源消耗和污染排放。

3.2 生产工艺流程优化措施

工艺流程优化属于节能降耗的途径之一。短流程生产方式已经成为目前离心机铸管行业的主要发展方向。短流程工艺利用高炉铁水余热,取消了传统铸造方法的铸铁块重熔过程,社会能源消耗总量大大降低,污染物排放量大幅度减少,一次制备铁水量大、效率高、成分稳定,有利于保证铸造产品质量水平的稳定性。企业可以根据自身的条件,将高炉铁水直接送入电炉进行调质处理,省去铁块的冷却、运输和重熔等环节,大大降低综合能耗。在浇注工艺上应该从浇注系统结构的改善、温度场分布的控制、转速参数的调节、冷却工艺的改进、金属液的净化处理以及自动化控制系统的更新等几个方面进行系统的改善。新兴铸管获得的发明专利给出了一种离心球墨铸铁管的生产方法,在铸态下就能直接得到铁素体基球墨铸铁管,不再需要经过传统工艺中的热处理工序,从而可以有效地降低能耗、降低生产成本。铸态球墨铸铁技术得到推广使用后可以省去退火工序,每吨铸管可以节省大量能源^[2]。用精确控制的浇注温度和离心机转速,可以保证管壁质量均匀,并且减少浇注能耗。

3.3 设备节能改造与升级措施

设备节能改造是达成节能降耗的物质支撑。熔炼设备要逐步淘汰能耗高、污染重的冲天炉,使用高效节能的中频感应电炉。中频感应炉作为铸造熔炼装备,电热转化有效利用率可以达到 75%以上,远远大于传统燃气炉和冲天炉,已经成为现代铸造工艺熔炼、保温最有效的基础工艺装备。随着铸造行业向节能降耗、实现绿色可持续发展的方向前进,人们越来越追求高质量、高效率、稳定性、节能、环保、可控的生产方式,中频感应炉已经基本上取代了燃气炉和冲天炉。该铸造企业改造后年产铸件 7 万 t,综合能耗由原来的 11452t 标准煤降低到现在的 10934t 标准煤,万元产值能耗大幅度降低。水冷金属型高效离心浇

铸机实际生产效率比传统离心浇铸机提高很多倍, DN100 管机时产量达到 92 支/h, 比传统离心浇铸机机时产量高得多。该装备是自动化控制, 直管壁厚的偏差、波动控制在 1mm 以内。退火炉应采用连续式高效退火炉并安装余热回收装置, 余热回收可以降低能源消耗, 降低生产成本, 投资回收期一般为 1~3 年, 经济效益较好。同时高温金属熔体的显热用水冷系统转化成热水, 供给厂区供暖或者生活热水。回收率可以达到 40%。

3.4 能源管理体系优化措施

能源管理体系优化属于保证节能降耗举措得以落实的制度性支撑。企业要按照有关标准建立并取得能源管理体系认证, 设立能源管理专职机构, 确定各级能源管理负责人。应根据 GB17167《用能单位能源计量器具配备和管理通则》的要求, 在各个用能环节都必须安装齐全各种类型的能源计量设备以保证对能源消耗进行实时监测、统计。余热回收技术包括热交换器、热泵、热管等, 其目的为提高能源利用率, 不同铸造工艺及材料对余热回收技术的要求也不同, 应按实际需要选用相应的回收方式^[3]。企业要定期执行能源审计, 依照 YB/T 6017-2022《球墨铸铁管单位产品能源消耗限额》所规定的能耗等级标准(1级 $\leq 121\text{kgce/t}$, 2级 $\leq 140\text{kgce/t}$, 3级 $\leq 170\text{kgce/t}$), 同标对照找出差距并制订改进办法。铸造行业颗粒物排放比 2020 年下降 30%以上, 年铸废砂再生循环利用量达 800 万 t 以上, 节能减排低碳化要求也更加具体。创建能耗考核制度, 把各个车间、各个工序的能耗指标加入到绩效考核体系当中, 塑造起全员参加节能降耗的长效机制。

3.5 信息化与精细化管理措施

信息化技术的应用给离心机铸管生产节能降耗赋予了新的技术手段, 用 MES 制造执行系统、能源管理系统来对生产全过程进行数字化监控和调度。根据自动控制技术、DP 通讯连接、工业以太网等智能控制与现代通信技术的应用, 可以完成离心机各个参数的准确调节。用大数据分析技术来挖掘历史生产数据, 可以创建工艺参数同能耗水平的关联模型, 进而给工艺改良给予决策支撑。该企业经过技术革新后, 将绿色、智能的离心球墨铸铁管生产线进行升级改造, 以高温高炉铁水直接浇筑代替原来的周转、倒运方式来减少耗能与生产成本, 在浇铸过程中应用了智能数字化冶金起重机, 提高了生产效率 30%以上, 全流程智能化制芯系统可以使产品的合格率达到 99%以上。在设备管理上, 利用物联网技术对重要设备开展在线状态监测与故障预估, 缩减非计划停机所造成的能源损耗。

智能管控中心对各个实业部用能点位进行逐一点检并采取精细化管理, 把责任逐层分解, 将目标明确定向, 为实现能源降本增效的目标打下根基。信息化和精细化管理相互融合之后, 不但可以降低直接消耗, 还能通过提高生产效率间接达到节能目的。

3.6 人员操作规范与节能意识提升

人员操作规范和节能意识提高是节能降耗措施得以良好落实的关键。操作人员技术水平的好坏决定着设备运转是否顺畅, 以及耗能情况如何。根据操作人员技术水平参差不齐、设备液压系统不稳定等实际情况, 按照规范的操作技术和设备的改造措施提高铸管负偏差率, 达到节能降耗增效的目的, 也就是控制好壁厚偏差, 使得管材重量接近理论最小重量, 节约原材料。企业要制订标准的作业指导书, 把各个工序的操作规程及能耗控制要点加以明确, 还要定时对操作人员展开培训并实行考核。创建节能激励制度, 对节能成绩好的班组和员工予以表彰奖励, 调动起全部人员参与节能降耗的热情。熔炼阶段规范加料顺序及熔化功率调节方法能缩减熔化时间, 削减电耗; 浇注时合理掌控离心机转速与冷却参数, 可提升成材率, 削减废品产量。开发离心机生产参数自动调用系统, 面对多品种、小批量的订单需求, 把十几种铸管产品工艺参数封装成 PLC 数据块, 完成“一键式”智能匹配, 换型效率提高 40%以上, 用数据加密技术有效地保护了企业的核心工艺参数安全。经过系统的培训和技术支持, 把节能意识深入到员工的操作行为之中, 营造出良好的节能文化氛围。

4 节能降耗效果评价与经济性分析

本文以行业标准 YB/T 6017-2022 为依据, 结合企业实际操作的数据, 从单位产品综合能耗、中频电炉电热转化率、离心浇注机出产量、产品合格率、废钢及回炉料利用率、余热回收利用六个方面展开评分。优化前对应传统冲天炉熔炼、常规浇注、无余热回收的典型工况, 优化后对应中频电炉、短流程、余热回收、信息化管理等综合措施。从经济效益上讲, 年产 20 万吨铸管企业的单个产品综合能耗每减少 10kgce/t 一年可以节省标准煤约 2000t, 节约几十万元左右。中频电炉代替冲天炉的投资回收期为 2~3 年, 余热回收系统为 1~3 年。短流程工艺用高炉铁水余热直接浇注, 比传统流程生产效率高 40%以上, 产品质量废品率也大大降低。由于环保政策越来越严格, 所以余热回收可以降低 30%以上的二氧化碳排放量。节能降耗既能降低企业的生产成本, 又能提高企业的市场竞争

力。各项指标的优化效果用表 1 来展示。

表 1 离心机铸管生产过程节能降耗效果评价指标汇总

评价指标	优化前水平	优化后水平	改善幅度
单位产品综合能耗 (kgce/t)	165~180	140~155	下降 15%以上
中频电炉电热转化效率	65%~70%	75%以上	提升 5~10 个百分点
离心浇注机时产量(支/小时)	51	92	提升 80%以上
产品合格率	95%~97%	99%以上	提升 2~4 个百分点
废钢/回炉料利用率	60%~70%	85%以上	提升 15~25 个百分点
余热回收利用率	不足 10%	30%~40%	大幅提升

注：表中数据综合行业调研及相关文献整理得出。

5 结语

离心机铸管生产过程的节能降耗是多方面、多环节的综合工程，工艺技术、设备选型、能源管理、人员素质等都会影响到节能降耗效果。本文主要从原材料配比优化、生产工艺流程改进、设备节能改造、能源管理体系、信息化精细化管理和人员操作规范六个方面提出系统化的优化措施。研究表明，采用短流程生产、中频电炉代替冲天炉、余热回收利用、铸态球墨铸铁技术和自动化智能化升

级等手段，离心机铸管生产单位产品能耗可降低 15%以上，有较好的经济效益和环境效益。目前我国铸造行业的节能降耗水平同工业发达国家相比还存在较大差距，今后要进一步加大技术创新和管理创新的力度，持续推进离心机铸管生产向着绿色化、智能化的方向发展。

[参考文献]

- [1]尹亦池.卧式螺旋卸料沉降离心机节能研究进展[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(4):126-127.
- [2]傅长军,顾凯,翟公涛,等.脱水离心机节能装置的研究与改造[J].通用机械,2018,10(7):59-64.
- [3]尹志伟.浅析 PIA 装置离心分离单元节能降耗[J].石化技术,2023,30(1):179-180.

作者简介：贾振华（1994.05—），本科，毕业于华北水利水电大学交通土建工程专业；现就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司，一线铸管工，助理工程师；范文龙（1997.04—），毕业于安阳学院计算机应用技术专业，现就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司，一线铸管工，助理工程师；郜礼涵（1991.03—），本科，毕业于兰州财经大学艺术设计专业现就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司，一线铸管工，助理工程师。