铸管生产过程能源消耗分析与节能技术应用研究

崔建坤
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]铸管生产属于典型的高能耗制造过程，熔炼、浇注、热处理等环节的能源消耗集中，在国家“双碳”战略背景下，系统性节能降耗已经成了行业发展的迫切需求。文章从铸管生产工艺特点入手，分析铸管能源消耗特点及存在的主要问题，认为熔炼和热处理环节能耗较高、生产设备运行效率低、余热回收利用率不高、能源计量和管理机制不健全是造成铸管生产能效低下的主要原因。在此基础上，从熔炼和热处理工艺节能、生产设备节能改造、余热回收和综合利用、能源监测和智能化控制四个方面提出节能技术的应用路径，并对节能技术的应用效果进行比较分析，为铸管生产企业节能降耗提供一定的参考。

[关键词]铸管生产；能源消耗；节能技术；余热回收；智能化控制
DOI：10.33142/ec.v9i11.20750　　中图分类号：TG256　　文献标识码：A

Energy Consumption Analysis and Energy-saving Technology Application Research in the Production Process of Cast Pipes

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

Abstract: Cast pipe production belongs to a typical high-energy consumption manufacturing process, with concentrated energy consumption in melting, pouring, heat treatment and other links. In the context of the national "dual carbon" strategy, systematic energy conservation and consumption reduction have become an urgent need for industry development. Starting from the characteristics of the production process of cast pipes, this article analyzes the energy consumption characteristics and main problems of cast pipes. It is believed that the high energy consumption in the smelting and heat treatment process, low operating efficiency of production equipment, low utilization rate of waste heat recovery, and inadequate energy metering and management mechanisms are the main reasons for the low energy efficiency of cast pipe production. On this basis, the application path of energy-saving technology is proposed from four aspects: energy-saving of smelting and heat treatment processes, energy-saving transformation of production equipment, waste heat recovery and comprehensive utilization, energy monitoring and intelligent control. The application effect of energy-saving technology is compared and analyzed, providing a certain reference for energy-saving and consumption reduction of casting pipe production enterprises.

Keywords: cast pipe production; energy consumption; energy-saving technology; waste heat recovery; intelligent control

引言

铸管是市政供水、输气等领域的主要基础材料，生产过程中包含熔炼、球化处理、离心浇注、退火、涂装等诸多高能耗环节，工序链条长、能源品种繁多、热能和电能消耗集中，属于典型的高能耗制造过程。离心机铸管是球墨铸铁管生产的中心环节，它的能耗在总成本中所占比例很大，熔炼、浇注、热处理等重要工序的能效好坏决定着企业的成本控制和市场竞争力。在国家“双碳”战略的大背景之下，系统的节能降耗成了行业发展的迫切要求。目前，铸管行业正处在能源价格波动、环保要求严格和市场竞争激烈的大环境下，传统的粗放式能源管理方式已经不能满足绿色低碳发展需要，怎样对生产过程中能源消耗进行系统分析，准确找到高耗能环节和节能潜力点，有目的地应用节能技术，已经成为铸管企业实现绿色低碳转型的重要课题。本文主要研究铸管生产工艺及能耗特点、能源消耗存在的问题、节能技术应用及效果分析，为铸管生产节能降耗提供一定的参考。

1 铸管生产工艺及能耗特点

铸管生产用高炉铁水或者冷态生铁作为原料，经过熔炼调质、球化孕育处理、离心浇注成型、退火热处理和精

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

整涂装等主要工序来完成产品的制造。从能耗结构上来说，熔炼工序是铸管生产中能耗最集中的工序。熔炼是在中频电炉中用高炉铁水或生铁加热到 1480～1520℃的过程，在整个工艺过程中所消耗的能量大约占总能量消耗的40～50%，它是最大的耗能部分。中频感应电炉由于节能、环保等明显的优势，已经逐渐取代了传统的焦炭冲天炉，成为主流的熔炼设备，与工频感应炉相比，中频感应炉的电耗可以由原来的 700kW·h/t 降低到现在的 150～200kW·h/t。热处理环节也属于重要的能耗单元，退火工艺要在 800～1000℃的温度范围内对铸管实施保温处理，退火炉的燃料耗费及热损失在工序能耗里所占的比例较大。另外离心浇注环节的管模冷却、精整环节的打磨涂衬等工序也消耗了部分的电力和燃气，共同形成了铸管生产多环节、多能源品种并存的能耗格局。就铸管生产来说，其工序链条长、热能消耗大、余热资源丰富但是回收利用不足等特点十分明显。铸管能耗有明显的时段性、品种性。不同的管径、壁厚、接口形式、订单批量都会影响到熔炼升温、离心浇注、退火保温的时间，从而导致单位产品的能耗发生变化。所以能耗分析不能只用月度平均值，应该结合批次数据、设备状态和环境温度来对它进行详细的拆解，找出空载、待机、反复升温这些隐性的浪费，从而给之后的节能技术选择提供更加准确的依据。

2 铸管生产过程能源消耗存在的问题

2.1 熔炼及热处理环节能耗较高

熔炼、热处理属于铸管生产能耗最大的两个部分，能耗高低决定产品综合能耗的好坏。熔炼过程中铁水升温、过热和保温都需要消耗大量的电能或者燃料，如果铁水入炉温度偏低、等待时间过长，就会使熔炼能耗增大。铁水在转运、等待过程中温度急剧下降，导致后面中频炉需要消耗更多的电能来完成升温，从而降低了整个能源利用效率。热处理环节的退火工艺也存在着能耗偏高的问题，传统的退火工艺中消除珠光体的高温退火阶段耗时长、热损失大，退火窑的设备结构以及保温性能都会对能耗造成较大的影响。在双碳战略之下，怎样削减熔炼以及热处理过程中的能源耗费，提升热能的利用效率，已然成为铸管生产节能工作中的重中之重。

2.2 生产设备运行效率有待提升

铸管生产线上设备种类繁多、连续工作时间长，设备运行效率的好坏直接影响到能源消耗水平。部分老旧设备的设计中没有考虑到能效因素，运行过程中电力损耗大，风机、水泵等通用设备的运行参数与实际工况需求不符，存在“大马拉小车”的现象。在离心浇注环节，由于 MES 系统实现了数据驱动，操作工可以实时监测壁厚数据，兑铁工可以根据管重信息动态调节铁水配给，形成一个“测量-反馈-调整”的精确控制循环，在没有部署此类系统的情况下，管模转速、拔管速度的控制精度仍不够高，导致管壁厚度不均匀造成铁水浪费现象比较明显。另外，部分设备长时间处于高温[1]、高粉尘的工作环境当中，缺少了有效的维护保养措施，就会造成运行阻力变大、能耗上升，设备健康状况没有得到及时的监测，一旦出现故障就只能等到事故发生之后才能被发现，从而导致非计划停机以及能源的浪费。设备能效提升要兼顾预测性维护、工艺参数协同优化。利用振动、温度、电流等状态监测数据形成设备健康画像，可以提前发现风机失衡、水泵汽蚀、电机轴承磨损、炉体保温劣化等隐患，降低因带病运行而产生的额外电耗。对离心浇注、退火等重要工序要将设备维护计划同生产排程联动起来，防止出现频繁启停以及低温待料的情况，保证设备一直处在高效运转状态。

2.3 余热回收与能源利用不充分

铸管生产过程中存在着大量的余热资源，包括退火炉高温烟气余热、铸管脱模后显热和冷却水携带的热量等，但是这些余热资源在传统的生产模式中大多没有得到有效的回收利用。余热回收利用属于企业节能减排的重要方式。退火炉烟气带走的热量很大，如果直接排放到大气中，既会造成能源的浪费，又会增加环境热污染。离心浇注后的铸管自身带有的大量显热，在自然冷却过程中全部散失掉了，不能用以预热入炉原料或者为其他工序提供热源。从行业整体上来说，铸管退火炉中高温烟气余热、冷却循环水余热等众多余热资源还没有被充分利用起来，余热利用的覆盖范围以及利用深度都存在着较大的提升空间。

2.4 能源计量与管理机制不够完善

能源计量是节能管理的基础，但是目前很多铸管企业能源计量及管理还存在着薄弱环节。采集能耗数据的不完整、分散造成不能按照生产计划进行能源的智能控制[2]。能源数据采集与统计大多依靠人工抄表，实时性差、误差大，不能支持精细化的能耗分析和节能决策。从管理角度来讲，一些企业还没有形成完整的能源管理体系，没有对各个工序、设备的能耗进行定额考核，节能目标也很难落实到具体的岗位上。由于能源数据分散管理，工序间能源流向不清，能源浪费环节不能被及时发现、定位。能源管理机制要由“事后统计”变成“过程控制”。企业可以建立分厂、车间、班组、设备四级能耗看板，将电、燃气、蒸汽、水等介质按照工序归集起来，对超定额用能进行报警并追查原因；定期开展能源审计和能效对标，把节能指

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

标纳入岗位考核，并配套奖惩措施，才能使计量数据真正变成管理决策和现场改进行动。

3 铸管生产过程节能技术应用

3.1 熔炼及热处理工艺节能技术

熔炼环节的节能技术主要是为了缩短流程、提高热效率、降低电耗而采取的措施。新型节能中频电源应用后可以提高功率因数，设备功率因数一直保持在最高值（≥0.96），不会产生高次谐波，不会对电网造成污染，吨钢铁耗电量控制在 380 度以下。热处理工艺上，优化退火工艺结合智能燃烧控制系统根据管壁厚度实时调节温度，可以避免过度加热造成的能源浪费。

3.2 生产设备节能改造技术

生产设备节能改造是以提高设备运行效率、降低单位产品能耗为目的的改造工作。离心浇注时采用浇注系统结构优化、温度场分布控制、转速参数调节、冷却工艺改进等手段，可以提高铸管壁厚均匀性，减少铁水浪费。集成式离心机、高效水压试验机、全封闭环保型喷锌机等关键设备研制出来之后，在混流生产模式下能比传统的生产线提高了 20%以上的生产效率。对高能耗风机、水泵进行变频调速改造，使设备运行参数同实际工况相符。在具体的实践当中，将变频器的频率控制在 45Hz 以下、风机进出口风门始终保持 100%常开的状态，减小了风机系统运行阻力。开展电力系统无功补偿管理，使功率因数控制在 0.9～0.95 以上，提高设备利用率，降低线路损耗。

3.3 余热回收与综合利用技术

余热回收和综合利用属于铸管生产节能潜力最大的方面之一。退火炉烟气余热可以设置余热利用锅炉进行回收，利用设置在退火工艺缓冷段的余热利用锅炉对退火工艺缓冷段进行余热回收，将水蒸汽通过管道输送至养生池进行铸管的蒸汽养生。该系统采用 PID 控制技术，用自动控制电动阀门开度的方式使生产线上砂芯烘干炉、外涂预热炉、外涂烘干炉等设备按工艺温度利用退火炉的余热。在更大的系统集成上，铸管退火炉循环冷却和余热转化双作用系统可以同时满足急冷段和缓冷段的冷却工艺要求，把多余的热烟气转化成热空气和蒸汽供给其它需要热空气和蒸汽的设备使用[3]。从退火炉烟气改造工程竣工以后，每年能节省煤气，减少二氧化碳排放。通过退火炉余热回收给铸管衬水泥养生用蒸汽、喷涂预热炉和烘干炉供热，形成工序间热能梯级利用体系。余热回收系统设计时还要考虑热源波动和用热负荷的匹配问题。退火炉烟气温度、流量随产量、工艺的变化而波动，如果直接按最大负荷配置回收设备，会造成投资过大、低负荷运行效率降低。可以采用模块化换热、蓄热缓冲、智能旁通调节等手段来提高系统的适应性，优先将回收的热量用在自身工序的预热、烘干、蒸汽养生上，形成先自用、再外供、最后转换的梯级利用顺序，减少能量品位损失。

3.4 能源监测与智能化控制技术

能源监测与智能化控制技术给铸管生产精细化管理提供技术支持。在各个生产车间安装智能无线网关，可以采集该生产车间管理范围内所有的能耗仪表数据、生产过程数据、机泵振动和加速度数据，实现生产线能源计量和设备健康状态的同步控制。在智能管控平台创建过程中，搭建起包含 MES、ERP、能源管理等数字化管控平台，对生产、质量、能耗等各方面数据实施实时采集并加以智能剖析，能源管理系统借助大数据分析来预估可以削减综合能耗 10%～15%，实现人工智能驱动全链条降本增效。在退火炉温度控制上，温度分布优化控制系统依靠温度检测模块实时获取退火炉内部温度信息，然后经过控制模块和故障诊断模块共同执行，从而达到炉温精确调节的目的。依靠 SCADA 系统对能耗数据进行同源输入、自动归集，使三级能耗管控体系得以落地，各级可以及时获取数据并加以精确调节。

4 铸管生产节能技术应用效果分析

4.1 节能技术应用方案

铸管生产节能技术应用要从工艺优化、设备改造、余热回收、智能管控四个方面一起推进。工艺上采用铁水短流程直供、中频炉节能电源等方式从源头降低熔炼能耗；设备上对离心机、退火炉、风机水泵等主要设备进行节能改造和变频调速；余热利用上建立退火炉烟气回收、铸管显热利用、工序间热能梯级利用的余热回收网络；管控上建立能源计量、设备健康诊断系统，实现能耗数据实时采集、分析、优化[4]。四个层次的技术措施互相配合，形成一个从能源输入、消耗到回收利用的全过程节能系统。

4.2 节能效益与应用价值分析

节能技术的应用带来明显的经济效益和环境效益。经济效益上，铁水短流程直供技术可以大大降低电费支出，余热利用改造、变频优化等项目也有可观的节能收益。从环境效益角度来说，退火炉烟气改造后每年可以节约 2540.8 吨标煤，减少 6606.28 吨二氧化碳排放。全面推行节能降碳、协同增效，能耗强度下降 13 公斤标准煤/吨，累计减碳约 10000 吨。从行业角度来讲，节能技术的规模化应用对降低整个铸管行业的能耗水平有着十分重要的示范作用以及推广意义。从推广应用条件来说，节能技术的效果受到生产规模、产品结构、能源价格、管理水平等

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

各方面的影响比较大。企业在实施之前需要进行技术经济比选，确定投资回收期、节能量计量边界和运行维护责任，不能只重建设、轻运行。提出可以复制的节能改造包，采用合同能源管理和能效诊断服务等降低一次性投资的压力，使节能措施从点上开始变成系统的集成。

5 结语

铸管生产过程中的能源消耗情况表明，熔炼、热处理过程中高能耗、设备运行效率低、余热回收率不高、能源管理不健全等问题，是造成能源利用率低的主要原因。采用铁水短流程直供、中频炉节能电源、退火工艺改进、余热梯级利用、智能能源管控等技术，可使单位产品能耗降低 15%以上，余热回收率提高到 30%～40%。未来要继续推进能源管理同生产调度的深度融合，扩大余热回收的应用范围，加快人工智能技术在能耗预估和优化控制方面的应用，给铸管行业达成“双碳”目的赋予更为有力的技术支持。

[参考文献]

[1]王耿清,李海超,吴英,等.铸管行业环保与能源协同降本增效的研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(1):137-138.

[2]田帅.浅析如何提升企业能源管理水平[J].当代矿工,2024,10(8):32-33.

[3]王海玲,黄新高.铸管企业绿色铸造与环保提升实践[J].铸造工程,2020,44(1):55-60.

[4]董民,张龙华,杨亚京.新兴铸管：以思政引领凝聚产业工人成长力量[J].企业文明,2026,20(5):11-13.

作者简介：崔建坤（1982-），男，河南新乡人，工程师，天津科技大学机械专业毕业，现就职安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司，从事车间管理，设备工艺改进等工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.