

数字化喂线球化站的设计

廖志金^{1, 2}, 李仕林^{1, 2}, 朱福生^{1, 2}, 汪志刚³

(1. 龙南龙钇重稀土科技股份有限公司, 江西赣州 341000; 2. 江西省重稀土冶金工业添加剂工程技术研究中心, 江西赣州 341000; 3. 江西理工大学材料冶金化学学部, 江西赣州 341000)

摘要: 数字化喂线球化站是在传统喂线站基本框架的基础上, 借助数字化手段, 集喂线平台、智能数字化控制系统、环保系统、铁液转运系统为一体的数字化作业平台。采用数字化喂线球化站试生产QT450-10球铁铸件, 经过智能数字化控制系统精准调控后, 球化后的铁液液相线共晶点CE更为合理, 铁液冶金质量指标均满足要求。数字化喂线球化站充分利用现有设备, 在能实现原有球化工艺的基础上, 充分提升了喂线系统的数字化、智能化水平, 大幅提高了生产过程的可靠性、安全性, 让球铁生产企业的球化处理实现自动化和精细化的管理。

关键词: 数字化喂线球化站; 球铁铸件; 智能化; 包芯线; 喂线机

喂线技术在铸造领域被广泛地应用, 采用喂线站生产的球铁铸件, 无论对企业产品质量的提高和生产成本的下降, 还是对生产环境的改善以及自动化水平的提升, 都发挥着巨大的作用^[1]。传统喂线站在调控铁液质量, 仍存在精度不高, 自动化程度偏低等问题, 难以让企业生产实现精细化管理。为了进一步提高铁液冶金质量水平, 实现全自动化生产, 急需开发数字化智能喂线站。

当前, 国内外学者和研究机构在传统喂线站的基础上, 对铁液智能调控系统开展了研究。如欧洲AZTERLAN铸造技术中心研发的Thermolan铸造质量智能控制系统^[2]。合肥工大双发信息系统技术有限公司推出的C408B型双发智能仪, 可用于铸铁的碳当量CE、C、Si、抗拉强度、伸长率、球化率、回升温度等参数检测。该仪器检测参数多, 测试范围宽。徐振宇等^[3]在球化、孕育喂线补加过程中采用了PID数字增量精确控制算法, 构建了动态调控试验系统的测评单元和调控单元。姚国秀^[4]采用基于BP神经网络的专家系统建立喂线量的网络模型, 模拟结果与实际生产应用数据基本吻合。王文青等^[5]利用球墨铸铁智能测控设备可实现球墨铸铁铁液化学成分的精准设计与测控, 为企业的精益化管理打下良好基础。

我国现有铸铁企业1.4万家左右, 铸铁件产量占铸件总产量的70%以上, 无论企业数量还是铸件产量都处于主导地位^[6-11]。随着喂线平台和技术水平的提高, 使我国铸铁件生产技术基本与世界同步, 部分骨干企业的规模、装备和生产技术水平已达到国际水平, 涌现了一批数字化引领和绿色化示范铸造企业, 并在国际竞争中取得明显优势^[12]。

新一代喂线球化站得益于诸多关键零部件的数字化和智能化升级。铁液自动化转运、量化浇注装置的研制与应用, 可缩短铁液的出炉、检测与转运时间, 增加安全性, 改善吊车和人工推拉小车转运铁液现状, 提高熔炼设备效率; 定量浇注可保证铸件质量、节约铁液用量, 降低熔炼和浇注过程中的能源消耗, 实现熔炼和浇注过程的绿色化。先进的球化、蠕化和孕育处理工艺技术与装备, 如喂丝机、包芯线的研究与应用, 使整个熔化、球化、蠕化和孕育处理过程连贯, 数字化程度高, 减少镁光烟尘, 浇注的铸件质量大幅提升^[12]。

作者简介:

廖志金(1975-), 男, 高级工程师, 主要从事重稀土添加剂生产及其配套设备的研发工作。电话: 0797-3505172, E-mail: 1779560679@qq.com

通讯作者:

朱福生, 男, 高级工程师。电话: 0797-6581279, E-mail: 429048924@qq.com

中图分类号: TG146.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)10-1369-04

收稿日期:

2023-01-17 收到初稿,
2023-05-08 收到修订稿。

1 数字化喂线球化站

喂线球化站主要由包芯线、球化包、喂线平台、喂线机、进线笼及出线导管、安全门及其提升机、包盖及其提升机构、除尘管道、控制系统、球化辊道组成（见图1、2）。

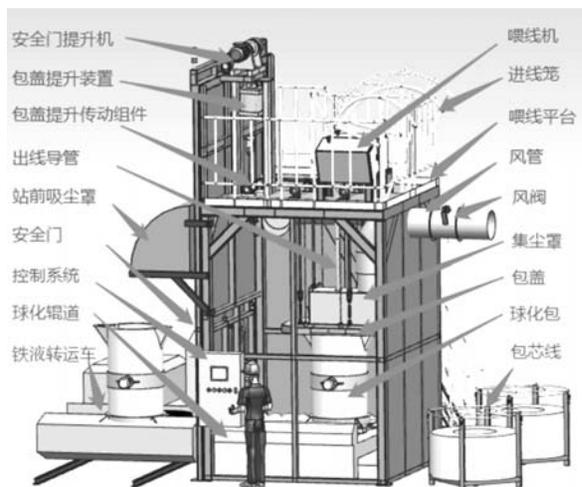


图1 数字化喂线球化站结构示意图

Fig. 1 The structural sketch map of the new type feeding line spheroidization station



图2 现场使用图

Fig. 2 Field application picture

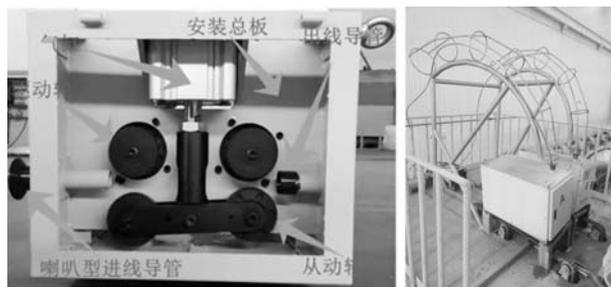
2 各组成部分设计制作及功能

2.1 喂线平台

喂线平台主要防止球化反应时铁液飞溅，以及安装喂线机、进线笼、出线导管、包盖及其提升机构、安全门及其提升机、球化辊道。喂线平台具有一悬空的承载平台；喂线机设于所述承载平台上；包盖，通过4条传动链条悬挂于喂线平台的下方；包盖提升气缸安装在喂线平台上，通过传动链条及链轮轴升降包盖；球化辊道安装在喂线平台下方，用于沿预设的轨道将铁液包运送至包盖的下方；安全门安装在喂线站侧方，安全门的提升机安装在喂线站上方，通过钢丝绳牵引安全门的升降。

2.2 喂线机

喂线机为喂线站的主要部分，选择喂线机既要考虑穿线等操作使用的方便性，又要考虑便于维护保养和适用现场环境^[13]，同时要满足不同线径的包芯线的传送需求以及确保包芯线间的驳接接头顺畅通过。如图3所示的喂线机，主要由喇叭型进线导管、法兰式带电机减速机、驱动轮、出线导管、安装总板，安装总板用于承载安装喇叭型进线导管、法兰式带电机减速机组成，两从动轮和两驱动轮均同向设置，也就是该四个轮子的转轴相互平行，且其中心接触边沿的轮廓均在同一平面内，保证了喂线机在水平放置和工作状态都能保持平衡。工作时，将芯线从喇叭型进线导管穿入机箱内，并经喂线主动轮与喂线从动轮间穿至气缸接头的孔中，然后再经过另一喂线主动轮与另一喂线从动轮间穿至出线导管内，启动电机的减速机和气缸，气缸带动定位支撑轴和喂线从动轮安装板移动，喂线从动轮靠近喂线主动轮，将包芯线卡紧，使包芯线发生齿形形变，喂线主动轮、包芯线、喂线从动轮间形成啮合运动，往前传送包芯线，实现喂线。反向对气缸通气，使喂线从动轮离开喂线主动轮，停止带电机的减速机，停止喂线^[14]。



(a) 喂线机结构图

(b) 喂线机现场安装图

图3 喂线机

Fig. 3 Cored-wire feeding machine

2.3 控制系统

智能数字化控制系统是基于铸铁热分析的原理，用C#编程开发了铁液质量检测系统，在这个基础上应用人工神经网络建立了铁液质量的实时监控与反馈，主要监控的目标参数包括铁液温度 T ，铁液C、Si、S、P等元素含量。通过出炉后的铁液量设定初步的球化线、孕育线的加入量和喂线速度，再根据实时的铁液质量，控制系统自动优化调整最终的喂线量，从而可得到精确的镁、稀土加入量。为了降低系统误差，采用计算机模拟误差分析方法，解决了神经网络“黑箱”模型的传递误差分析问题。

球墨铸铁中残余镁的含量直接影响产品质量，过高的Mg含量会保证铸件的球化率，但同时会增加芯线的用量，导致铸件产生缩孔缩松倾向，加大白口倾

向；过低的残Mg量会降低铸件的球化率，严重时会导致球化不良^[15]。喂丝的长度与速度直接影响残余镁量，所以在喂线球化处理时要严格把控喂线参数。

3 数字化喂线站的应用

3.1 数字化喂线站设计方案

根据数字化项目改造原则，保持原有的基本工艺路线不变，主要是实现由原来的人工操作改成智能数字化设备自动完成喂线球化处理、铁液转运工艺全流程的目标，设计出了如图4所示的工艺方案。

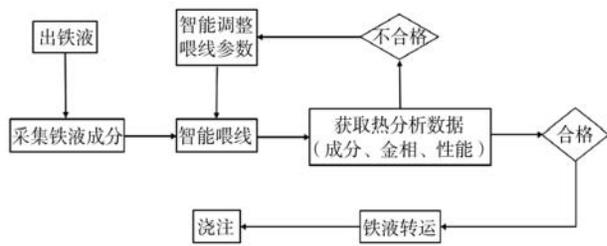


图4 数字化喂线球化处理工艺方案示意图

Fig. 4 Schematic diagram of digital feed line spheroidization processing technology

3.2 数字化喂线站实施方案

原铁液出炉后，铁液质量检测系统根据铁液中的硫含量、铁液温度等参数计算出初始球化喂线长度、喂线速度和孕育线的加入长度及速度，然后进行喂线处理。

喂线处理结束后，采集处理后铁液试样的热分析数据，包括试样的成分、热分析数据、抗拉强度、硬度HB、伸长率等参数。喂线站智能数字化控制系统根据第一炉次喂线的热分析数据，自动优化第二炉次包芯线的喂线长度、喂线速度、退线长度等喂线参数。如此重复，不断优化，直到稳定。每次喂线结束后都会自动获取并保存当前炉次的试样数据。

4 数字化喂线站在重稀土球铁件上的应用

笔者公司采用钇基重稀土复合包芯线生产牌号为QT450-10的球铁铸件，原先主要采用光谱分析仪来分析原铁液化学成分并进行适当调整，原铁液碳当量设计为4.5%，铸件经常出现力学性能不达标，试样内部存在缩松现象。现采用喂线站智能数字化控制系统进行智能喂线，调控铁液成分，球化后系统再对铁液冶金质量参数进行检测分析，精准调控喂线参数。得到预测喂线球化后的铁液成分，球化等级、孕育指数，以及力学性能的目的。

为了进一步验证智能数字化调控系统和用光谱分

析仪调整铁液冶金质量的差异，采用相同的原材料，主要包括钇基重稀土复合包芯线、孕育剂、废钢、增碳剂、硅铁等。原铁液成分设计为3.6%~3.9% C，1.6%~1.8% Si，铁液出炉温度控制在1 500~1 530 ℃。通过对比试验，得到应用调控系统前、后铁液冶金质量的差异（见表1），以及球化后试样的金相组织（见图5）和力学性能（见表2）之间的差异。数字化调控系统提示球化喂线后的铁液成分为共晶成分，球化率和孕育指数合格。

表1 应用数字化系统前后铁液冶金质量参数差异
Table 1 Differences in quality parameters of molten iron metallurgy before and after application of digital system

调控	C%	Si%	S%	球化等级	共晶指数	孕育指数	球化喂线量/m	孕育喂线量/m
调控前	3.82	2.71	<0.02	3	-	-	20	20
	3.78	2.68	<0.02	2	-	-	20	20
	3.89	2.69	<0.02	3	-	-	20	20
调控后	3.73	2.58	0.018	2	1.0	48	20.2	19.8
	3.72	2.60	0.019	2	1.1	51	20.1	20.0
	3.72	2.61	0.018	2	1.0	52	19.8	20.1

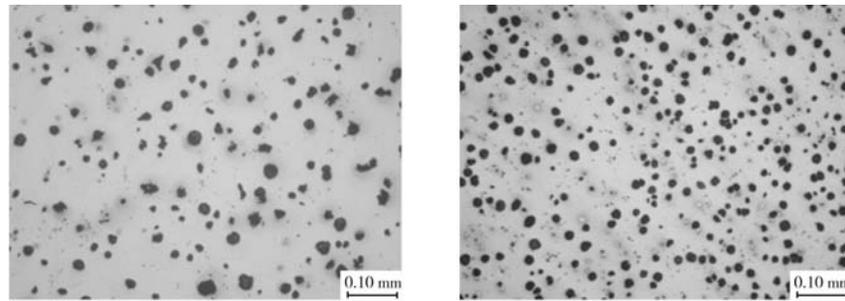
表2 应用数字化系统前后球铁试样的力学性能
Table 2 Mechanical properties of ductile iron samples before and after application of digital system

调控	屈服强度/MPa	伸长率/%	冲击韧性/J	硬度HBW
调控前	423	8.9	8.5	186.0
	456	10.2	9.0	192.0
	439	9.4	9.5	206.0
调控后	477	11.0	11.5	211.0
	480	11.3	11.0	206.0
	476	11.1	12.0	215.0

通过对比智能数字化调控前、后多组试样的检测数据可知，数字化调控系统由于采用了精准的控制算法，整个过程都是动态优化调控，使得球化后的铁液成分更为稳定，碳当量更接近共晶成分，球化等级和力学性能也更加满足要求。

5 结束语

总的来说，“十四五”规划以来，我国传统制造业正面临着转型升级，提质降本增效，尤其是在环保政策持续收紧、市场低迷、成本持续上升等影响下。企业需要不断转变新的发展理念，持续创新。数字化喂线站作为一种数字化绿色铸铁生产关键技术与装备，借助于智能数字化控制手段，有效提高了生产效率和铸造产品质量，对提高铸造装备数字化水平，强化企业自动化、精细化管理有着重大的意义。



(a) 智能化喂线站使用之前

(b) 智能化喂线站使用之后

图5 QT450-10金相组织

Fig. 5 Metallographic microstructures of the QT450-10

参考文献:

- [1] 张铁军, 王明光, 黄磊, 等. 铸铁喂线球化技术的影响因素及应用实例 [J]. 热加工工艺, 2013, 42 (23): 98-100.
- [2] 张佃政, 祝建勋. 智能化球铁在线控制技术及应用 [J]. 今日铸造, 2011 (48): 196-199.
- [3] 徐振宇. 球墨铸铁球化孕育处理动态调控方法及系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
- [4] 姚国秀. 基于神经网络的球铁球化处理喂线量的研究 [D]. 锦州: 辽宁工学院, 2007.
- [5] 智能调控系统在球墨铸铁质量控制中的应用 [J]. 现代铸铁, 2021, 41 (4): 3-6.
- [6] Modern Casting Staff. Census of world casting production: global casting production stagnant [J]. Modern Casting, 2016, 106 (12): 25-28.
- [7] Modern Casting Staff. Census of world casting production: global casting production growth stalls [J]. Modern Casting, 2017, 107 (12): 24-28.
- [8] Modern Casting Staff. Census of world casting production: global casting production expands [J]. Modern Casting, 2018, 108 (12): 23-26.
- [9] 中国铸造协会. 2020年度中国铸件产量统计数据 [J]. 铸造, 2021, 70 (6): 759-760.
- [10] Modern Casting Staff. Census of world casting production: total casting tons hits 112 million [J]. Modern Casting, 2019, 109 (12): 22-25.
- [11] Modern Casting Staff. Census of world casting production: fewer castings made in 2020 [J]. Modern Casting, 2021, 111 (12): 26-28.
- [12] 李克锐, 李增利, 崔宇, 等. 我国铸铁生产技术现状与发展趋势 [J]. 铸造, 2022, 71 (2): 123-135.
- [13] 廖志金, 朱福生, 杨清, 等. 新型喂线球化站的开发与应用 [J]. 铸造, 2019, 68 (11): 1269-1272.
- [14] 月山峰, 钟伟昌, 杨清, 等. 一种包芯线夹送装置: ZL2020 2 0535824.X [P]. 2021-02-26.
- [15] 吴荷生, 吴玉彬, 孟少良. 用高镁合金包芯线生产球墨铸铁 [J]. 铸造, 1999 (8): 33-34.

Design of Digital Wire Feeding Spheroidization Station

LIAO Zhi-jin^{1,2}, LI Shi-lin^{1,2}, ZHU Fu-sheng^{1,2}, WANG Zhi-gang³

(1. Longnan Longyi Heavy Rare Earth Technology Co., Ltd., Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 2. Jiangxi Engineering Technology Research Center of Heavy Rare Earth Metallurgy Industrial Additives, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3. Faculty of Materials Metallurgy and Chemistry, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract:

Based on the basic framework of traditional wire feeding stations, digital wire feeding spheroidization station is a digital operation platform that integrates wire feeding platform, intelligent digital control system, environmental protection system, and hot metal transfer system with digital means. QT450-10 ductile iron castings were tested and produced using a digital wire feeding spheroidization station. After precise control by an intelligent digital control system, the eutectic point CE of the liquid iron after nodularization is more reasonable, and the metallurgical quality indicators of the liquid iron meet the requirements. The digital wire feeding spheroidization station makes full use of existing equipment, and on the basis of being able to achieve the original spheroidization process, it fully improves the digital and intelligent level of the wire feeding system, greatly improving the reliability and safety of the production process, enabling enterprises to achieve automated and refined management of production and manufacturing.

Key words:

digital wire feeding spheroidization station; ductile iron castings; intelligent; cored wire; wire feeder