球墨铸铁管生产设备检修管理与维修效率提升研究

李 强 张 政 崔博阳
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]球墨铸铁管生产设备的检修管理长期以来被“坏了再修”的惯性所束缚，预防性维护、计划协同、诊断响应和备件保障这四个环节各自为政，导致维修效率的提高只是单点改善，而不是系统的提升。从故障预防、检修与生产衔接、诊断响应速度、备件管理四个方面来剖析检修管理的结构性缺陷，进而给出以状态监测和分层维护代替周期性拆检、以生产节拍嵌入检修窗口、以多源信号融合缩短诊断时间、以全寿命周期管理优化备件周转的改进途径。从分析结果可以看出，检修效率的瓶颈不是由于维修技能本身造成的，而是由于缺少可以协调的接口，即维护策略和生产节奏之间没有接口。

[关键词]球墨铸铁管；生产设备；检修管理；预防性维护；维修效率
DOI：10.33142/ec.v9i11.20746 中图分类号：TG256 文献标识码：A

Research on Maintenance Management and Efficiency Improvement of Ductile Iron Pipe Production Equipment

LI Qiang, ZHANG Zheng, CUI Boyang
Angang Yongtong Ductile Iron Pipe Limited Liability Company, He’nan Iron & Steel Group, Anyang, He’nan, 455133, China

Abstract: The maintenance management of ductile iron pipe production equipment has long been constrained by the inertia of "repairing when it breaks down". The four links of preventive maintenance, planning coordination, diagnostic response, and spare parts guarantee work independently, resulting in the improvement of maintenance efficiency being only a single point improvement rather than a systematic improvement. Analyze the structural defects of maintenance management from four aspects: fault prevention, maintenance and production connection, diagnostic response speed, and spare parts management. Then, provide improvement approaches such as replacing periodic disassembly and inspection with status monitoring and layered maintenance, embedding maintenance windows into production rhythms, shortening diagnosis time through multi-source signal fusion, and optimizing spare parts turnover through full life cycle management. From the analysis results, it can be seen that the bottleneck of maintenance efficiency is not caused by the maintenance skills themselves, but by the lack of a coordinated interface, that is, there is no interface between maintenance strategies and production pace.

Keywords: ductile iron pipe; production equipment; maintenance management; preventive maintenance; maintenance efficiency

引言

球墨铸铁管的生产线是以离心铸管机为主，串联熔炼、球化、退火、水压、内衬等多道工序，任何一个环节的设备停机会沿着工艺链条向后传导，造成铁水等待、管模空转或者退火炉温场波动。因此，设备检修管理对于球墨铸铁管企业来说比一般的制造业更加敏感，维修不能在故障发生之后才被动应对，而应该在生产节拍的间隙内完成。但是许多企业的检修工作仍然以事后维修、固定周期拆检为主，检修计划与生产调度是两条线，故障诊断依靠老师的判断，备件库存在“备而不用”和“用而无备”之间来回摇摆。分散化的管理方式对于单台设备来说还可以维持，但是对于离心铸管机、退火炉、水压机等串联运行的设备群来说，任何一个环节的响应迟缓都会沿着工艺链放大成整线停产。根据设备特点、问题原因和提升措施的顺序来展开论述，主要针对检修管理由被动应对转向主动干预所必需的机制改变进行论述，而不是单纯地增加维修资源投入。

1 球墨铸铁管主要生产设备及运行特点

球墨铸铁管生产的主要设备是水冷金属型离心铸管机，它的工作原理就是将球化处理过的铁水通过流槽注入高速旋转的管模，在离心力的作用下充型、凝固、形成致密组织，然后由拔管装置将管子拔出，送往退火炉。离心铸管机的传动系统承担着管模高速旋转和轴向行走的任

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

务，传动系统的稳定直接影响到铸管壁厚的均匀性以及表面质量，液压系统驱动推管、拔管、托管等动作，在整个生产线上处处可见，任何一个液压元件的损坏都会造成工序的中断。退火炉、水压试验机、内衬及涂层设备虽然不会受到离心浇注的复杂载荷影响，但是它们的连续工作特性需要检修窗口同炉温周期以及工艺节拍相匹配。从运行特点来说，球墨铸铁管设备所处的环境是高速旋转、振动载荷、局部高温、铸造粉尘共存的复合工况，主要零部件容易出现磨损、疲劳、变形、失效等问题，在这样的复杂工况下连续工作，铸管离心机核心零部件容易出现磨损、疲劳、变形、失效等问题，造成设备停机检修，降低生产效率，增加生产成本。设备的劣化不是线性地累积，管模、托轮、轴承的失效一般在达到某个阈值之后突然加快，这就要求检修管理不能只依靠固定的周期来进行安排，而应该根据状态信息来判断干预的时间。

2 球墨铸铁管生产设备检修管理存在的问题

2.1 设备故障预防能力不足

故障预防能力欠缺的首要体现就是维护策略仍然以事后维修、定期拆检为主，状态监测的覆盖面较小。离心铸管机的传动系统、液压系统、管模是故障多发部位，但是大多数企业缺少对轴承温度、振动频谱、油液污染度等可以反映早期劣化信号的连续监测，维护人员只能等到设备发出异响、温升异常或者产品尺寸超差的时候才进行处理。离心铸管机传动系统中机械部件及电气控制系统出现的问题一般具有渐变性，振动增大、轴承温度上升、润滑油中有金属颗粒含量增多等前兆信号若不能及时发现，小的偏差就会演变为大故障。定期拆检可以发现一些隐患，但是它的代价就是必须停机拆解设备，并且拆检间隔的设定一般都根据经验而不是劣化速率，间隔太短会造成维护成本过高，间隔太长又会失去预防作用。更深层次的问题就是润滑管理、点检标准和故障诊断之间没有联动，润滑记录只记载了已经加注的油品状态和部件磨损趋势，没有和点检发现的异常联系起来，预防性维护就只是停留在制度文本上，不能变成对劣化过程的干预。

2.2 检修计划与生产安排衔接不畅

由于检修窗口的确定方式和生产节拍的形成逻辑没有协商机制，造成检修计划与生产安排相脱离。球墨铸铁管生产线一旦启动，熔炼、浇注、退火等工序就会按照固定的节拍连续运行，铁水温度和炉温场不能长时间中断，而检修计划的编制一般以设备运行台时或者固定周期为基础，很少把生产订单的交期、铁水供应节奏、退火炉的保温能力放在同一个时间框架里考虑。结果就是检修窗口要么被压缩到不能完成必要的作业的程度，要么因为生产任务临时加急而被取消或者推迟，检修计划的刚性和生产调度的弹性之间不断冲突[1]。虽然有些企业已经对年度检修预案进行了编制，但是月度和周度的计划仍然采用“见缝插针”的方式安排，维修班组接到停机许可后才开始准备工具、备件和作业票，准备时间本身就占用了停机窗口。检修计划和备件采购、外委维修的周期没有协同，长周期备件的到货时间不能提前到计划编制环节，造成检修在等待备件的过程中被迫延长停机时间。

2.3 故障诊断与维修响应效率不高

故障诊断效率的瓶颈，第一就是诊断信息的来源单一、传递链条长。离心铸管机的故障征兆常常会出现在振动、温度、噪声以及液压参数等诸多方面，但是运行人员一般只会把最直接的异常（如异响或者报警）报上去，维修人员到达现场之后再逐个排查，造成故障发生后到定位原因之间的时间被反复的现场确认和信息回溯所消耗。现场维修工、准备工、离心机台长和当班班长之间如果没有形成明确的并行分工，那么维修响应就会变成单线作业，处理突发情况的速度只取决于个人的经验，而不是组织的反应机制。备件到货之后的维修作业同样存在着效率损耗，拆装工序没有标准化的作业指导，工具和备件没有按照工位预置，修复后的试运行和质量检验没有纳入响应时间考核，造成修好和恢复生产之间还存在一定的间隔。诊断技术应用上存在碎片化现象，振动频谱分析、温度热成像、油液分析等手段虽然在个别场合有效果，但是没有形成涵盖主要设备类的诊断流程，诊断结论不能在班组间共享。

2.4 备品备件管理不够完善

备品备件管理的主要矛盾不是库存总量的多少，而是库存结构和设备失效模式是否相适应。球墨铸铁管生产设备备件种类繁多，管模、托轮、拔管钳等关键易损件价格昂贵、采购周期长，轴承、密封、液压元件属于通用件但是消耗量变化较大，下机修复件还要考虑修复质量以及再上机时机的追踪。很多企业备件定额按照历史消耗量简单平均来确定，没有根据备件的关键度、采购周期、失效后果分层管理，造成长周期关键备件库存偏低，故障后被迫等待采购；通用件由于领用记录不完整而重复申报。备品备件 3～6 个月出库考核机制是经过实践检验的一种库存控制方式，它的要点是以出库频率而不是库存总量作为考核标准，从而抑制积压、提高周转率[2]。但是如果没有备件全寿命周期的上下机记录，出库考核只能反映领用的数量，不能反映出某类备件由于频繁失效而反复消耗的情况。表 1 按照备件种类把管理短板和优化方向进行分类。

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

表 1 为球墨铸铁管生产设备备品备件管理问题及优化方向

备件类别	典型备件	常见管理问题	对维修效率的影响	优化方向
关键易损件	管模、托轮、拔管钳	定额未按失效后果分级，安全库存偏低	故障后等待长周期备件，停机延长	按采购周期与关键度设定安全库存与预警
通用消耗件	轴承、密封、紧固件	领用记录不完整，重复申报	临时缺件或库存虚高并存	统一编码，领用与库存联动
液压元件	油缸、泵、阀	未跟踪修复件上机状态	可用修复件闲置，新件采购增加	建立修复—检验—上机全寿命记录
下机修复件	传动件、结构件	“以换代修”倾向未根本扭转	修复能力闲置，备件费用偏高	推行修旧利废，修复质量与上机验证挂钩

3 球墨铸铁管生产设备检修管理与维修效率提升措施

3.1 完善设备预防性检修机制

预防性检修的完善应该用状态信息的连续获取代替固定的拆检周期，把维护动作按照设备的关键度和劣化速率分层。对离心铸管机的传动系统和液压系统进行逐步的振动、温度、油液污染度在线或者离线监测，振动频谱分析法、温度热成像检测法、噪声声发射法、电气参数检测法各有不同的适用故障类型，组合使用可以对轴承磨损、主轴偏移、液压内泄等典型的劣化在初期阶段发出预警。监测数据的价值并不在于采集本身，而在于将其转化为可以执行的维护决策，应该给每种重要的设备设定从正常到预警再到干预的阈值区间，在预警触发的时候安排有针对性的检查而不是整机拆解，在干预触发的时候结合生产计划选择停机窗口。润滑管理要从“按时加注”向“按质换油”转变，把油液分析结果同部件磨损趋势联系起来，让润滑记录变成劣化评价的数据来源而不是简单的操作凭证。预防性维护的考核指标应该从“完成多少次保养”转变为“非计划停机时间是否降低”，使维护投入的效益可以度量。

3.2 优化检修计划与生产协同

检修计划与生产的协同，要将检修窗口的确定由单方面的计划安排变为生产、设备、备件三方共同参与的滚动协商。年度上，将离心机、退火炉等核心设备的检修需求同生产订单的季节性变化相衔接，把长周期备件采购和大型外委维修归入年度预算和时间表当中；月度和周度层面，以生产节拍里的自然间隙（计划换产、管模替换、退火炉保温段）当作检修窗口的首选，缩减因为检修而产生的额外停机。黄石新兴的实践证明，当班班长和熔炼工序做好协调，减少待铁时间，根据设备状态实行满负荷生产，建立快速响应机制使维修工和操作人员精细配合，可以有效地减少故障造成的生产停滞，同样的道理也适用于检修窗口的安排，检修不是生产中断，而是生产节奏中预留的恢复环节。检修准备应该由“停机后开始”前移至计划确认时，工具、备件、作业票、人员分工在窗口开启前完成核验，使有限的停机时间用在实际维修上而不是准备上。对多台设备串联检修，可以采用化整为零、以短平快的方式完成多项作业的组织方法，把长停机拆解成多个可以嵌入生产间隙的短窗口。

3.3 提升故障诊断与快速维修能力

诊断响应能力的提高应该沿着信号融合、分层定位、并行处置这条路径进行，而不能只是增加诊断仪器。从信号上讲，把振动、温度、液压压力、电机电流等通道的数据在设备层级上关联起来，使得异常模式可以被综合判断，防止维修人员在不同的仪器、系统之间来回切换。多源信号融合与分层分级相结合，即运行人员根据点检标准做一级筛查，维修班组根据频谱、热成像数据做二级定位，把需要拆解或者外委的疑难故障转入到三级处理中去，使诊断资源集中到真正需要专业判断的地方。从组织上讲，应该将维修响应由原来的“接到通知再出发”变为“预警即启动”，即当监测系统或者点检发现达到预警阈值的异常时，维修工、准备工和台班长按照预定分工同步到位，备件和工具按故障类型预置，缩短从预警到干预的等待时间[3]。修复后的验证环节也应被纳入响应时间的管理之中，试运行、质量确认、现场清理的时间和故障诊断、拆装作业一起考核，把恢复生产而不是修完设备作为响应的终点。

3.4 加强备品备件及维修资源管理

备件管理应该由原来的总量控制转变为结构优化，依靠全寿命周期记录来支撑定额的不断修正。对于重要的易损件要根据采购周期、失效后果以及历史消耗速率来确定安全库存，并且把库存预警同检修计划相联系，保证备件到货的时间和计划窗口一致；对通用件可以采用统一编码和领用记录的方式消除账外库存，使得申报的数量反映真实的消耗而不是局部的记忆。关键、重点备件进入设备系统之后，依靠上下机操作来达成备件的全部生命周期管理，这是让备件消耗和设备劣化之间产生可追溯联系的前提条件。下机修复件要纳入与新品同等的管理轨道，修复后

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

的检验结果、上机时间、运行情况都要记入档案，修复质量不合格的备件不能以“已经修复”的名义入库[4]。推行修旧利废、引导维修人员转变“以换代修”的思想，其意义不单是节约采购费用，更在于使维修能力由“换件”向“修复”延伸，在备件供应紧张的时候保留一个替代方案。维修资源的管理还要包含外委服务，对需要厂家支援的关键设备，在年度计划里要确定服务响应时间及到场标准，防止出现故障后再商量解决。

4 结语

球墨铸铁管生产设备检修管理的效率瓶颈，并不是由维修人员是否努力、工具是否先进造成的，而是由于预防、计划、诊断、备件这四个环节没有形成一个协调的机制，即没有根据设备实际劣化的进程来运行。故障预防只停留在制度文本上，缺少状态信息的支撑，检修计划和生产节拍各自运行，缺少滚动协商，诊断响应依靠个人经验，缺少分层定位和并行处置，备件管理重视总量而忽略结构和全寿命记录，都是造成效率损失的原因。相应的改进应该沿着状态监测和分层维护、检修窗口嵌入生产节奏、多源信号融合和预警即启动、备件结构优化和修旧利废的方向推进，把检修管理由被动的故障响应转变为主动的劣化干预。

[参考文献]

[1]张志伟.大口径球墨铸铁管道水压试验技术研究[J].北京水务,2021,10(1):58-61.
[2]刘远哲,郭孝瑞,司家旋,等.球墨铸铁顶管结构设计参数敏感性分析[J].市政技术,2026,44(9):344-348.
[3]黄煜,张士恒,杨永刚,等.球墨铸铁管卧式离心铸造仿真工艺影响研究[J].特种铸造及有色合金,2026,46(9):1343-1350.
[4]朱共澳,翟敢超,胡绍东,等.离心铸造球墨铸铁管的研究和生产现状及发展趋势[J].上海金属,2026,48(3):12-23.

作者简介：李强（1994—），男，河南安阳人，助理工程师，郑州职业技术学院广告设计与制作专业毕业，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，从事球墨管离心铸造工作；张政（1994—），男，河南鹤壁市浚县人，助理工程师，郑州轻工业大学电气工程及其自动化专业毕业，现就职于河南钢铁集团永通球墨铸铁管有限公司，从事冶金铸造工作；崔博阳（1995—），男，河南安阳人，助理工程师，中原工学院电气工程及其自动化毕业，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，从事铸管天车工作。

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