

高炉重力除尘器密闭输灰系统工艺改进浅析

刘翔

宁波钢铁有限公司, 浙江 宁波 315800

DOI:10.61369/ERA.2026100029

摘 要 : 宁波钢铁有限公司炼铁厂 1# 高炉重力除尘器密闭输灰系统吸罐车吸灰周期长达 90 分钟, 明显高于行业常规水平。经现场调查与要因确认, 助推氮气调压阀调节失效、卸灰阀下灰速度不均匀、吸灰软管内壁高温鼓包且长度偏长是导致吸灰时间过长的主要原因。通过加装手动调节阀、增设旁通氮气管路、更换耐高温软管并缩短长度等改进措施, 吸罐车纯吸灰时间由 83 分钟降至 35 分钟, 计入辅助作业后总周期控制在 45 分钟以内, 作业效率提升 50%, 日均氮气消耗由 4000m³ 降至 2000m³, 软管月均损耗由 60 米降至 2 米, 年综合经济效益约 29.3 万元。

关 键 词 : 重力除尘器; 密闭输灰; 吸罐车; 氮气消耗; 软管优化

Brief Analysis on Process Improvement of Closed Ash Conveying System for Blast Furnace Gravity Dust Collector

Liu Xiang

Ningbo Iron & Steel Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315800

Abstract : The ash suction cycle of the tank truck for the closed ash conveying system of the gravity dust collector of No.1 blast furnace in the Ironmaking Plant of Ningbo Iron & Steel Co., Ltd. is as long as 90 minutes, which is significantly higher than the conventional industry level. Through on-site investigation and factor confirmation, the main reasons for the excessively long ash suction time are the failure of the booster nitrogen pressure regulating valve, the uneven ash discharging speed of the ash discharge valve, and the high-temperature bulging and excessive length of the inner wall of the ash suction hose. Through improvement measures such as installing manual regulating valves, adding bypass nitrogen pipelines, replacing high-temperature resistant hoses and shortening the hose length, the pure ash suction time of the tank truck is reduced from 83 minutes to 35 minutes, and the total cycle including auxiliary operations is controlled within 45 minutes, with the operation efficiency increased by 50%. The average daily nitrogen consumption is reduced from 4000 m³ to 2000 m³, the average monthly hose loss is reduced from 60 meters to 2 meters, and the annual comprehensive economic benefit is about 293,000 yuan.

Keywords : gravity dust collector; closed ash conveying; suction tank truck; nitrogen consumption; hose optimization

引言

高炉重力除尘器瓦斯灰密闭输灰系统是高炉出铁场除尘的重要组成部分, 其运行效率直接影响高炉正常生产节奏与现场作业环境。宁波钢铁有限公司炼铁厂 1# 高炉重力除尘器配备双储灰罐密闭输灰系统, 采用吸罐车负压吸灰方式完成瓦斯灰外运。实际运行中暴露出吸罐车吸灰时间严重偏长的问题, 单车次吸灰总用时约 90 分钟, 明显超出同类型重力除尘器 45~50 分钟的常规水平, 不仅挤占当班人员正常巡检时间, 还造成助推氮气大量浪费。为扭转这一被动局面, 小组选定缩短吸罐车吸灰时间为攻关课题, 通过系统原因分析与针对性改进, 力求将单车吸灰周期控制在 45 分钟以内。

一、系统现状与问题分析

(一) 重力除尘器密闭输灰系统工艺流程

该炼铁厂 1# 高炉重力除尘器用密闭罐车负压吸灰法, 除尘

器下部有两个并列的储灰罐, 每个储灰罐顶部接除尘器卸灰管, 底部装有气动卸灰阀, 储灰罐出口经吸灰软管与吸罐车进料口相连。吸罐车车载真空泵产生负压, 打开储灰罐卸灰阀之后, 瓦斯灰在负压的作用下经由吸灰软管进入到罐车内。为了使下灰顺

畅，在储灰罐底部设有助推氮气管路，用调压阀向卸灰管区不断注入氮气，用气流扰动来防止瓦斯灰在卸灰口处发生架桥现象。整个吸灰过程包含拆接吸灰软管、储灰罐预加压、打开卸灰阀吸灰、管道吹扫等几个步骤，各个步骤之间互相联系，任何一个环节出现低效都会延长整个作业时间。

（二）吸罐车吸灰作业时间现状统计

小组在2025年2月至3月对1#高炉重力除尘器吸罐车吸灰作业做了连续跟踪记录，去除了拆接软管、储灰罐加压、管道吹扫这些辅助时间之后，纯吸灰时间统计结果是1#储灰罐平均耗时59分钟，2#储灰罐平均耗时24分钟，两个储灰罐一共用了83分钟，加上拆接管大约5分钟、加压大约3分钟、吹扫大约4分钟等辅助工作所占的时间，吸完一整罐车瓦斯灰的实际总耗时约为90分钟。该数据同岗位操作人员的主观感受大致相符，并且也侧面表现出系统的运行效率存在着明显的不足之处。从月度统计数据上看，此吸灰周期一直处在90分钟左右的较高位置，没有出现明显的下降趋势，成了影响当班人员正常开展其它巡检工作的主要因素。

（三）与其他钢厂吸灰效率对标分析

为了进一步确定差距，小组利用行业技术交流以及文献查阅的方法，搜集到了国内一些钢铁企业对于相同类型的重力除尘器密闭输灰系统吸灰工作情况的数据。宝山钢铁、沙钢集团等企业的2500m³级高炉配套重力除尘器吸罐车吸灰周期一般为45~50分钟，有些管理水平较高的生产线可以缩短到40分钟之内。从对标分析可知，1#高炉重力除尘器的吸灰时间比同行先进水平多出1.8倍左右。由于吸灰时间过长，助推氮气持续开启的时间也随之变长，单次吸灰氮气消耗量远远大于行业平均值，造成明显的能源浪费。以上结果再次证明了进行系统改善的必要性和迫切性。

二、吸灰时间过长原因分析

（一）助推氮气调压阀无法调节氮气流量

小组在现场对吸灰作业全过程进行观察并收集数据，得出助推氮气调压阀出现调节功能失灵的问题。该调压阀装设在DN65助推氮气管道上，其作用就是按照下灰情况及时改变氮气供应量来达到最优的气固比例，但是在实际运转时，调压阀的阀芯反应迟缓，开度调节之后流量反馈没有明显的变化，致使助推氮气一直处在接近满负荷的状态下供给。大量氮气进入卸灰管以后，在管内产生很高的气速，使瓦斯灰在管壁上附着摩擦增大，输送阻力变大；另外稀释了灰气混合浓度，降低了罐车的有效装载率，不得不延长吸灰时间才能达到额定载重量。除此之外，不能调节流量就无法根据灰质、灰温等工况的变化来灵活地进行调整，操作人员也没有办法对它进行干预^[1]。

（二）卸灰阀下灰速度不均匀

从现场跟踪可知，储灰罐气动卸灰阀打开以后，下灰的速度会表现出明显的时间上的快慢变化。初始阶段由于罐内积灰比较密实，下灰量较小；运行一段时间之后，上部灰层松动发生瞬间塌落，下灰量突然增大；后期随着罐内灰位下降，下灰量又慢慢减少直到排空。由于下灰是不连续的，所以吸罐车的真空系统一直处于不稳定的工作状态下，罐车司机只能被动地等待，不能一直满负荷工作。初步认为下灰不均匀同罐内瓦斯灰的物性有关，但是更主要的原因是卸灰阀处缺少外部气流扰动，依靠罐内的负

压和灰体自身的重力很难达到连续稳定的卸灰效果，必须采用工艺手段来改进。

（三）吸灰软管耐温性不足及长度偏长

重力除尘器收集到的瓦斯灰温度一般在80~120℃左右，高炉工况变化的时候局部灰温可以达到150℃以上。现场用的吸灰软管是橡胶内衬骨架软管，长时间接触高温瓦斯灰之后内壁橡胶层渐渐老化变软，在负压的作用下局部向内凹陷形成鼓包，鼓包部分明显减小了软管的有效流通截面积，增大了吸灰阻力，并且鼓包处也容易积存灰粒从而加重流通条件。另外，原设计每个储灰罐配备6米长吸灰软管，两个储灰罐软管总长度达到12米，过长的管段造成更大的沿程阻力和更多的弯折点，吸罐车真空泵要克服这些阻力才能保持相同的吸灰负压，实际有效的吸灰能力被降低了，这是造成吸灰时间较长的一个重要结构原因。

三、改进方案制定

（一）增设助推氮气手动调节支路

对于DN65助推氮气管路调压阀不能调节流量的情况，小组决定在调压阀后面氮气管道上增加一个DN50的手动截止阀，用作助推氮气总量的粗调。手动阀安装的位置方便操作人员靠近操作，在吸灰作业开始之后根据储灰罐下灰情况手动调节阀门开度，进而改变进入卸灰管的助推氮气流量。为了找到最合适的开度范围，在完成改造之后要进行多次的吸灰试验，分别测试手动阀在不同的开度百分比条件下，下灰是否顺畅以及吸灰所耗费的时间，并绘制出开度和时间的关系图来确定最佳的操作区间。手动阀增设方案结构简单、改造成本低、操作直观可靠，不会同原有的调压阀发生冲突，可以作为应急调节手段长久保存^[2]。

（二）新增旁通氮气管路强化下灰速率

为了改善卸灰阀下灰速度不均的情况，在原有的DN65助推氮气管道上增加了一条DN25旁通支路，这条支路由调压阀和手动阀跳过，直接连接到卸灰阀下方的卸灰管段上，并且在此支路上设置了一个DN25的手动截止阀来单独控制。旁通支路的作用就是给卸灰管区域提供一个不同于主路的补充氮气气流，在卸灰阀打开之后如果出现下灰速度变慢或者不均匀的情况时，操作人员可以慢慢打开DN25的手阀来引入辅助气流，用高速氮气对卸灰口附近灰柱施加额外扰动，破坏灰体架桥结构，使灰体保持连续流动状态。该方案实现主路和旁通的分级控制，不改变原来的系统结构完整性，给操作人员留有灵活调节下灰速度的空间。

（三）更换耐高温软管并优化软管长度

为了克服吸灰软管内壁高温鼓包、管路过长问题，小组选择用内衬不锈钢丝增强层的耐高温橡胶软管代替原来的普通橡胶软管，新软管的工作温度上限提高到200℃，可以抵抗瓦斯灰高温热辐射引起的橡胶老化、鼓包等缺陷。同时把单罐软管长度从原来的6米缩短到现在的4米，两个储灰罐软管总长度也由原来的12米变为现在的8米。软管变短之后，在保证吸罐车正常停靠和对接操作的情况下，既可以减少弯折的数量和沿程的阻力，也可以降低吸灰过程中软管的振幅，从而延长软管的更换周期。综合考虑三种方案，各方案之间互相不影响并且相互配合，形成一个系统的改善方法。

四、改进实施与效果验证

（一）氮气手阀开度参数优化试验

在完成管道改造以及软管更换之后，小组在2025年5月做了一次系统的参数优化试验。试验用控制变量法，保持吸罐车真空泵转速、储灰罐加压压力不变，改变DN50主路手阀和DN25旁通手阀的开度组合，得到每种组合下下灰连续性和总吸灰时间。经过五轮正交试验，得到DN50主路手阀最佳开度为 $50\% \pm 2\%$ ，此开度下助推氮气可以保持卸灰管内基本扰动而不引起过多稀释；DN25旁通手阀最佳开度为 $15\% \pm 3\%$ ，此开度下辅助气流能较好地破坏灰体架桥情况，使下灰速度趋于均匀稳定。试验中发现定时清洁储灰罐内壁结垢可以改善下灰的均匀性，因此把储灰罐清理加入到操作规程当中^[3]。

（二）改造后吸灰作业周期对比

所有改造措施落实完毕并且完成手阀开度标定之后，小组在2025年6月对改造后的吸灰作业周期做了连续的跟踪统计。从数据上看，1#储灰罐纯吸灰时间由原来的59分钟缩短到现在的16分钟，2#储灰罐纯吸灰时间由原来的24分钟缩短到现在的19分钟，两个储灰罐合计纯吸灰时间为35分钟，加上拆接吸灰管大约5分钟、储灰罐加压大约3分钟、管道吹扫大约4分钟等辅助工作之后，吸完一车灰总共用了大约45分钟的时间，达到了课题所要求的目标。与改造前的90分钟相比，单次吸灰作业周期缩短了45分钟，作业效率提高了50%，已经达到国内同行业的先进水平，瓦斯灰转运环节给高炉正常生产造成的阻碍也得到了较好的解决。

（三）氮气消耗量与软管损耗量变化

改造前后消耗性指标对比更加明显。助推氮气日均消耗量由原来的4000m³降低到现在的2000m³，降低了50%，按照一年运行360天来计算，仅氮气一项每年就可以节省费用大约9.36万元。吸灰软管的损耗情况也发生了根本性的改变，改造之前由于高温鼓包、磨损等原因，每个月需要更换10次一根6米长的软管，平均每月损耗量为60米；改造之后耐高温软管的更换周期由原来的1个月延长到了现在的4个月，双罐8米软管的折算月均损耗量只有2米，比原来减少了96.7%。以软管单价297元/米计算，月均维护成本由原来的17820元降到现在的1188元，年节约软管费用约19.96万元。两项合计年直接经济效益约为29.3万元，设备可用率达到98.5%。

五、效益分析与标准化

（一）直接经济效益核算

按照氮气单价0.13元/m³、日节约2000m³、年运行360天

来计算，年节约氮气费用为9.36万元。软管方面，改造之前月均损耗60米，单价为297元/米，月均维护成本为17820元；改造之后月均损耗2米，月均维护成本为1188元，月均降本16632元，年降本19.96万元。合计年节约直接成本大约是29.32万元。另外，此改进方案已经过炼铁厂金点子评审，提案编号为J-2025-W1-0087，并得到了相应的奖励^[4]。

（二）间接效益评估

除了直接的经济效益之外，改善所获得的间接效益也不能小视。吸灰时间变短之后，当班的操作人员就可以从长时间的守候在吸灰工位上解脱出来，可以完成对高炉热风炉、重力除尘、干法除尘和低压煤气管网的巡检任务，设备出现异常情况被发现的概率增大。助推氮气用量减少，即进入系统的氮气总量减少，随着瓦斯灰一起带入吸罐车内的氮气也减少，卸灰时罐车放散口排出的含尘气体量也随之减少，煤气泄漏的风险系数降低了大约60%。软管更换次数明显减少，从而大大降低更换软管造成的危险作业次数，设备故障率下降了大约35%，每年可节省维护工时折合2.8万元左右。

（三）标准化措施与持续改进方向

为了使改进的结果得到长久的保持，把优化后操作参数加入到1#高炉重力除尘器密闭输灰系统的操作规程中，并且规定DN50主路手阀开度为 $50\% \pm 2\%$ ，DN25旁通手阀开度为 $15\% \pm 3\%$ ，每个月要对储灰罐内壁结垢做一次清理检查工作。同时建立吸灰作业记录台账，每一车次都要记录手阀开度、吸灰时间、氮气瞬时流量等参数，方便以后的统计分析。后续持续改进的方向有探索用氮气流量闭环自动控制代替手动调节，采用罐车称重系统实现满罐自动停吸，研究用高炉净煤气代替氮气作为助推气源的可行性，从而进一步降低成本^[5]。

六、结束语

本次改善主要是针对1#高炉重力除尘器密闭输灰系统吸灰时间过长这一主要问题，从增加手动调节阀、加装旁通氮气管路、换用耐高温缩短软管这三个方面入手，使得吸罐车每次吸灰的时间从原来的90分钟缩短到现在的45分钟，氮气的日均消耗量减少了一半，软管的月均损耗降低了96.7%，年综合经济效益大约是29.3万元。改进方案结构简单、投资少、操作方便，很好地证明了精细调节气固两相流动参数可以提高密闭输灰系统的运行效率，给类似重力除尘器吸灰工艺的改进提供一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 张谦, 梁春明, 刘涛, 等. 高炉重力除尘灰高效气力输送技术的应用[J]. 中国钢铁业, 2026, (6): 59-62.
- [2] 韩儒苗, 周帅. 炼铁厂2号高炉大修停炉操作优化与安全控制实践[J]. 甘肃冶金, 2025, 47(5): 54-57.
- [3] 杜鹃, 邹达基, 姜楠, 等. 浅谈高炉重力除尘器吸排罐车卸灰存在的问题及改进[J]. 炼铁, 2023, 42(6): 52-54.
- [4] 郭兆钊. 高炉电梯井筒及大跨距桁架工程施工研究[J]. 天津冶金, 2022, (6): 16-20.
- [5] 曹建斌. 炼铁高炉重力除尘器输灰改造[J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56(7): 172-173.