

全自动铁钢快分系统风送国产样盒应用与优化研究

周翔¹, 李若龙¹, 陈禹旭², 林春来², 陶军²

¹广西钢铁集团有限公司检测计量中心, 广西防城港

²中冶检测认证有限公司, 北京

收稿日期: 2025年5月7日; 录用日期: 2025年6月9日; 发布日期: 2025年6月17日

摘要

本文针对全自动铁钢快分系统中风送样盒国产化替代需求, 通过材料分析、结构优化及性能测试, 解决国产样盒使用寿命短的问题。研究发现, 国产一代样盒存在样盖松脱、检测环开裂等缺陷, 通过螺纹连接加固、增加壁厚、密封胶应用及耐磨环结构优化等措施, 开发出二代国产样盒。测试表明, 优化后样盒平均使用寿命超6个月, 平均使用次数达6000次以上, 较进口样盒成本降低75%, 为钢铁行业风送系统国产化提供了技术参考。

关键词

风动送样盒, 风动系统

Research on the Application and Optimization of the Domestic Pneumatic Conveying Sample Carrier in the Automatic Fast-Separation System for Iron and Steel

Xiang Zhou¹, Ruolong Li¹, Yuxu Chen², Chunlai Lin², Jun Tao²

¹Inspection and Metrology Center, Guangxi Iron and Steel Group Co. Ltd., Fangchenggang Guangxi

²Inspection and Certification Co., Ltd., MCC, Beijing

Received: May 7th, 2025; accepted: Jun. 9th, 2025; published: Jun. 17th, 2025

Abstract

Aiming at the localization replacement demand of pneumatic conveying sample boxes in the fully

文章引用: 周翔, 李若龙, 陈禹旭, 林春来, 陶军. 全自动铁钢快分系统风送国产样盒应用与优化研究[J]. 冶金工程, 2025, 12(2): 72-78. DOI: 10.12677/meng.2025.122010

automatic iron and steel quick sorting system, this paper solves the problem of short service life of domestic sample boxes through material analysis, structural optimization, and performance testing. The study finds that the first-generation domestic sample boxes have defects such as loose sample lids and cracking of detection rings. By implementing measures such as reinforcing threaded connections, increasing wall thickness, applying sealant, and optimizing wear-resistant ring structures, a second-generation domestic sample box is developed. Tests show that the optimized sample boxes have an average service life of over 6 months and an average number of uses exceeding 6000 times, with a cost reduction of 75% compared to imported sample boxes. This provides a technical reference for the localization of pneumatic conveying systems in the steel industry.

Keywords

Pneumatic System Sample Carrier, Pneumatic Conveying System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在钢铁冶炼生产中,全自动铁钢快分系统的风送样盒作为关键部件,承担着样品快速、稳定传输的重要任务。然而,长期以来国内钢铁企业普遍依赖进口样盒,其高昂的成本和受制于人的供应局面,成为制约生产效率提升和成本控制的瓶颈。随着钢铁行业智能化、国产化进程的加速,实现风送样盒的自主可控与性能优化,成为行业技术升级的迫切需求。

目前,国产风送样盒在实际应用中暴露出使用寿命短、结构可靠性不足等突出问题。例如,样盖松脱、检测环开裂、螺丝脱落等故障频发,导致系统停机维护频繁,严重影响冶炼生产的连续性和检测效率。与此同时,进口样盒虽性能稳定,但成本高昂,且维修更换周期长,难以满足国内钢铁企业大规模、高频次的生产需求。因此,开展国产样盒的国产化替代研究与性能优化,对降低生产成本、提升设备稳定性具有重要的现实意义。

本文以广西钢铁集团有限公司检测计量中心的应用实践为依托,针对国产风送样盒的现存问题,通过材料成分分析、结构优化设计及多场景性能测试,系统研究国产样盒的改进路径。重点分析进口样盒与国产样盒在材料选择、硬度特性及结构设计上的差异,通过螺纹加固、壁厚增加、密封胶应用及耐磨环结构优化等技术手段,开发出二代国产样盒,并验证其实际应用效果。研究成果旨在为钢铁行业风送系统的国产化提供技术参考,推动相关设备的自主创新与产业升级。

2. 样盒国产化研究

2.1. 国产样盒现有问题

目前市面上大部分国产样盒其使用寿命远低于进口样盒,现阶段国产送样盒在生产过程中主要存在的问题:

风动送样盒损坏较快:一般取样点和分析室之间的距离较长,且工厂每天检测样品数量较多,风动送样盒长时间处于高速高温的摩擦状态,因此导致风动送样盒磨损较快[1]。并且送样时产生的高速撞击,也使盒体容易发生形变(样盒输送速度:不小于 20 m/s,压缩空气:压力 0.4~0.6 MPa,流量 5 m³/min)[2]。

风动送样阻力较大或漏气：风动送样盒在使用一段时间后，由于盒体形变和盒体耐磨层磨损，导致盒体无法与输送管路形成密封，导致漏气无法风动送样。

风动送样盒结构问题：风动送样盒因高速碰撞及摩擦导致脱盖、螺丝脱模、检测环开裂，甚至脱落。

因此，我们抽选 4 个厂家，合计 50 个国产风送样盒，在广西钢铁检测计量中心进行使用测试，跟踪并记录样盒应用测试情况，各厂家制造的样盒使用寿命 1~3 个月不等。经统计，样盒主要存在以下四个问题影响使用寿命，见表 1。

Table 1. Usage situation
表 1. 使用情况

序号	样盒故障问题描述	频次(起)
1	样盒与样盖间隙大，样盖松脱	19
2	检测环开裂损坏	13
3	固定螺丝脱落	10
4	样盒盒体与样盒尾部螺纹连接松动	8

2.2. 样盒材料成分分析

材料成分是决定样盒物理性能(如强度、耐腐蚀性、加工性)的核心因素。进口样盒与国产样盒在实际使用中表现出显著寿命差异(进口样盒使用寿命长达 1 年，国产样盒仅 1 个月即变形)，需通过成分分析揭示两者材料本质区别，为性能差异溯源并提供改进依据。

使用帕纳科 X 射线荧光光谱进行半定量分析，使用 X-射线光管发出的初级线束辐照样品，激发各化学元素发出二次谱线(X-荧光)。波长色散型荧光仪(WD-XRF)用分光晶体将荧光光束色散后，测定各种元素的特征 X-射线波长和强度，从而测定各元素的含量[3]。

Table 2. Component analysis of domestic sample carrier
表 2. 国产样盒成分分析

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration	Unit	Calculation method	Status
Mg	Calibrated	Mg	2.483	%	Calculate	BgC; DC;
Al	Calibrated	Al	89.584	%	Calculate	BgC; DC;
Si	Calibrated	Sj	0.069	%	Calculate	BgC; DC
Ti	Calibrated	Ti	0.031	%	Calculate	BgC; DC;
V	Calibrated	V	0.014	%	Calculate	BgC; DC;
Cr	Calibrated	Cr	0.237	%	Calculate	BgC; DC;
Mn	Calibrated	Mn	0.035	%	Calculate	BgC; DC
Fe	Calibrated	Fe	0.085	%	Calculate	BgC; DC
Ni	Calibrated	Ni	0.006	%	Calculate	BgC; DC;
Cu	Calibrated	Cu	1.629	%	Calculate	BgC; DC
Zn	Calibrated	Zn	5.815	%	Calculate	BgC; DC
Ga	Calibrated	Ga	0.009	%	Calculate	BgC; DC;
Zr	Calibrated	Zr	0.004	%	Calculate	BgC; DC

建立半定量分析方法是指实际分析样品时，在 X 荧光快速、定性扫描后得到扫描谱图，从众多谱线中寻找合适的谱线作为分析线，用基本参数法计算各元素的半定量分析结果。

分别将进口样盒与现有国产样盒底部切割至合适的大小，并进行抛光后放入光谱仪进行半定量分析，分析结果见表 2~4。

Table 3. Component analysis of imported sample carrier
表 3. 进口样盒成分分析

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration	Unit	Calculation method	Status
O	Calibrated	O	2.106	%	Calculate	BgC; DC
Mg	Calibrated	Mg	0.717	%	Calculate	BgC; DC;
Si	Calibrated	Si	0.488	%	Calculate	BgC; DC;
Ti	Calibrated	Ti	0.020	%	Calculate	BgC; DC;
V	Calibrated	V	0.013	%	Calculate	BgC; DC;
Fe	Calibrated	Fe	0.118	%	Calculate	BgC; DC;
Ni	Calibrated	Ni	0.008	%	Calculate	BgC; DC;
Cu	Calibrated	Cu	0.005	%	Calculate	BgC; DC;
Zn	Calibrated	Zn	0.016	%	Calculate	BgC; DC;
Ga	Calibrated	Ga	0.017	%	Calculate	BgC; DC;
<Al>		Al	96.492	%	Balance	
O	Calibrated	O	2.106	%	Calculate	BgC; DC
Mg	Calibrated	Mg	0.717	%	Calculate	BgC; DC;

Table 4. Component comparison
表 4. 成分比对

成分	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
进口样盒	0.069	0.085	1.629	0.035	2.483	0.237	5.815	0.031
国产样盒	0.488	0.118	0.005	-	0.717	-	0.016	0.020

通过测试，进口样盒采用了一种高强度铝合金，其成分设计通过 Mg、Zn、Cu 等元素的合理配比，实现了固溶强化与时效强化效果，奠定了高硬度、耐损耗的性能基础；而国产样盒关键强化元素含量不足，杂质元素可能导致材料韧性下降，是使用寿命短的根本原因之一。

2.3. 样盒材料硬度分析

硬度作为材料抵抗局部塑性变形能力的核心力学指标，与样盒的耐磨耗性、抗形变能力及使用寿命直接相关。

通过硬度测试与成分分析的交叉验证，可系统揭示材料性能差异的内在关联。本次分析使用德国 KB 布氏硬度计进行硬度测量，测量三次取平均值。布氏硬度计利用光学原理来测量圆形压痕直径，用一定的载荷把一定大小的淬硬钢球压入材料的表面，在保持一段时间之后去载，负荷与其压痕面积之比值，就是布氏硬度值(HB)，其单位是：公斤力/mm (N/mm)；下表中 HBW 表示压头为硬质合金。测试结果见表 5：

Table 5. Comparison of material hardness
表 5. 材料硬度对比

序号	进口样盒	国产样盒
1	162	36.8
2	159	36.8
3	163	26.4
平均	161.33	33.33

进口样盒的平均硬度 161.33 HBW，表明其通过合理的成分设计(Mg、Zn、Cu 元素配比)及热处理工艺(固溶 + 人工时效)实现了高强度特性，能够承受长期高频次的自动化系统作业载荷，磨损速率显著降低。平均硬度仅 33.33 HBW，低硬度导致材料抵抗塑性变形能力不足，在实际使用中表现为表面快速磨损、边缘塌陷等失效形式。进一步结合成分分析结果(关键强化元素含量不足、杂质元素偏高等)，可推断其硬度缺陷源于材料成分设计不合理及热处理工艺缺失。

2.4. 样盒材料选材方向

综合成分测试以及硬度测试结果，为样盒改进提供了方向：需通过调整合金成分(如将 Mg、Zn、Cu 含量对标 7075 标准)并增加热处理工艺，使硬度提升至 150 HBW 以上，以满足自动化系统对承载部件耐磨性和结构稳定性的要求[4]。

3. 样盒结构优化改进

3.1. 样盒盖部分

由于风送管道压缩空气压力较高，样盒在管道内经压缩空气驱动高速运转，温度迅速升高[5]。为保障样盒和样盖紧固，我们将样盖部分采用螺纹连接方式拧紧，涂抹黑色高强度、高垂直力的密封螺纹胶。该螺纹胶具有良好耐高温性能，适合高温高压环境下的高负荷螺纹连接。与此同时，样盖部分配上打销孔，通过固定弹簧销连接加强固定，保证弹簧和滚珠不松动，能够牢牢箍紧样盒本体，保证样盒在高速震动、冲击环境下，样盖不松脱。

针对于样盒盖：由夹紧环、滚珠固定件、滚珠、弹簧、顶部盖、销钉等组成。顶部盖与滚珠固定件通过螺纹拧紧，使用细牙 M4 连接，同时涂螺纹胶，更利于自锁防松。同时配 B 销钉孔，固定弹簧销加固，防止滚珠在长期开关盖以后出现松动甚至滚珠掉落的情况，增加样盒使用寿命，见图 1。

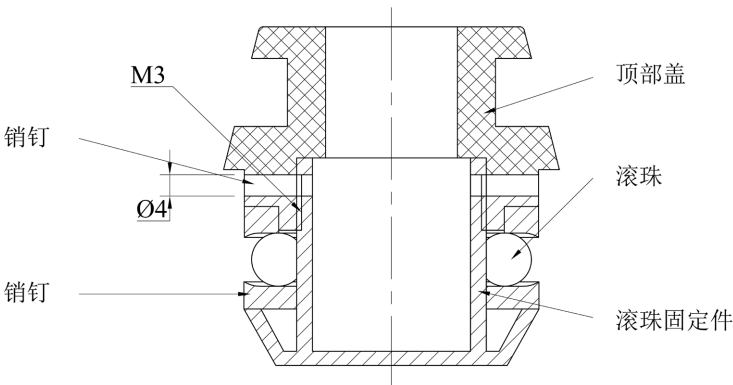


Figure 1. Schematic diagram of cover improvement
图 1. 样盒盖改进示意图

3.2. 样盒防护圈下耐磨环部分

改进后下耐磨环为完整的环形，下耐磨环套进样盒身槽中，底部盖通过与样盒身螺纹连接将耐磨环夹紧。其中样盒身连接部分壁厚 t_1 和底部盖壁厚 t_2 增加壁厚，保证在长期使用中不变形。样盒身和底部盖连接螺纹使用细牙 M1 连接，同时涂螺纹胶，更加利于自锁、防松，见图 2。

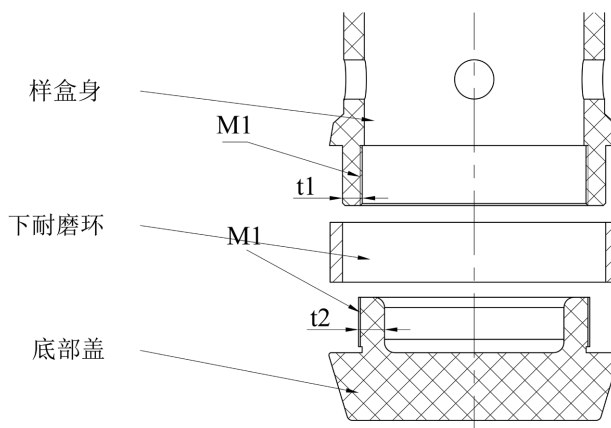


Figure 2. Schematic diagram of bottom wear-resistant ring improvement
图 2. 样盒下耐磨环改进示意图

3.3. 样盒防护圈下耐磨环部分

样盒身与上耐磨环通过螺纹拧紧，使用细牙 M2 连接，同时涂螺纹胶，更利于自锁防松。同时配打 ΦA 铆钉孔，铆接加固，保证上耐磨环与样盒身连接稳固不松动，见图 3。

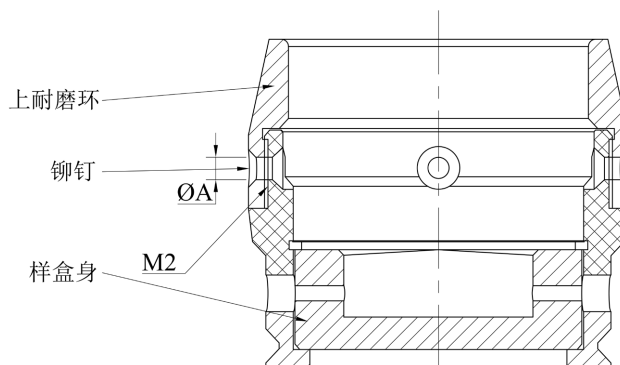


Figure 3. Schematic diagram of top wear-resistant ring improvement
图 3. 样盒上耐磨环改进示意图

3.4. 送样盒整体部分

在设计中，将盒盖体的外部轮廓塑造成球面形状。首先，球面外形使得盒盖体的圆径能够紧密贴合并接近传送管道的通路，大大减少了因形状不匹配而可能产生的摩擦和阻碍，从而确保了盒盖体在管道内的顺畅移动[6]。

此外，针对盒盖体的改进，通过精细的设计优化，成功地减少了该区域的气体泄漏量，这对于维持管道内正负压传送条件的稳定性至关重要。减少气体泄漏不仅提高了系统的整体密封性能，还有助于保持管道内气压的平稳，进一步增强了传输的可靠性和效率。

考虑到自动返回机制，盒盖体可能因长期使用而超出服役周期，从而与炮弹本体脱开的情况。在这种情况下，盒盖体能够利用管道内的气路压力，在管道内自由通行，并最终被自动传送回指定的安全位置。可以有效避免了盒盖体在管道内滞留可能造成的堵塞问题，还极大地简化了后续的维护和清理工作，降低了整体运营成本。

4. 二代样盒应用测试

我中心将优化升级后的二代国产样盒投入全自动铁钢快分系统风送管道，测试其使用寿命。由于管道压力、环境、发样频次、管道长度等不同因素差异，我中心决定将样盒分别投放至不同管道内进行综合应用测试。

改进后的 4 个样盒分别在 4 个条风送线上使用，平均使用次数在 6000 次以上，均平使用寿命均超过半年；A 厂共 2 个样盒分别在 2 条风送线上使用，平均使用次数在 2750 次左右，平均使用寿命 98 天；B 厂平均使用次数在 3600 次左右，平均使用寿命 45 天。经测试改进后的样盒其耐用性大大增加，但因不同管道距离不同、线路不同、内部情况不同因此导致样盒实际使用状况存在差异。

5. 结语

进口样盒和国产样盒单价相差 4 倍，使用寿命均为半年左右，按照 19 条线，每年消耗样盒 38 个，故样盒国产化替代与优化升级每年可降低冶炼成本数十万元，同时大大提高设备的稳定性和可靠性，保障冶炼生产的持续高效进行。这不仅为冶炼行业的技术进步提供了有力支持，也为类似设备的国产化替代和优化升级提供了宝贵的经验参考。

展望未来，我们将继续深入探索样盒的优化升级技术，致力于进一步提升其性能和使用寿命。通过不断的技术创新和实践应用，推动全自动铁钢快分系统风送样盒的国产化进程，为冶炼行业的快速发展贡献更多力量。

同时，我们也将关注其他相关领域的技术动态，积极引进和消化国际先进技术，不断提升自身的技术实力和创新能力，为冶炼行业的转型升级和高质量发展作出更大的贡献。

参考文献

- [1] 董会. 风动送样在钢铁企业中的成功运用[J]. 冶金标准化与质量, 2004(6): 40-42.
- [2] 宋立伟, 张永丰, 何文英, 等. 炼钢钢水成分快速检测的前沿技术发展与应用[J]. 冶金分析, 2024, 44(2): 47-54.
- [3] 姚宁娟, 陈吉文, 杨志军, 等. 一种用于冶金炉前快速分析的新仪器——激光诱导击穿光谱仪[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 41(7): 21-23.
- [4] 中华人民共和国国家市场监督管理总局. 铝及铝合金挤压棒材: GB/T 3191-2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [5] 李鹏芸. 风动送样在日照钢铁精品基地检化验系统的应用[J]. 冶金信息导刊, 2019(6): 59-61.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 冶金用风动送样系统技术规范: YB/T 4851-2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.