

高精度矩阵皮带秤在煤炭掺配中的应用研究

□方浩

(中国石化安庆石化分公司, 安庆市 246000)

【摘要】针对传统煤炭掺配系统存在的计量精度不足、工况适应能力差等问题,本研究通过引入8组独立单元的高精度智控矩阵电子皮带秤技术,提出系统性解决方案。该技术采用多单元矩阵布局、应力平衡型传感器、温度补偿装置及SEQ-AI智能算法,结合双秤对比计量系统与远程智能监控软件,有效克服了皮带张力变化、跑偏、物料流波动等干扰因素。现场应用表明,改进后的系统使用验证满足配煤掺烧工艺要求,配煤累积量误差得到有效控制。研究结果为煤炭行业实现精准掺配提供了可复制的技术路径,兼具经济效益与环保价值。

【关键词】煤炭掺配;高精度皮带秤;动态称量;误差控制

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2025) 06-0018-05

Research on Application of High-precision Matrix Belt Scale in Coal Blending

【Abstract】 Aiming at the problems of insufficient measurement accuracy and unfavorable adaptability to working conditions in traditional coal blending systems, this study proposes a systematic solution by introducing the high-precision intelligent control matrix electronic belt scale technology featuring 8 independent units. This technology adopts the multi-unit matrix layout, stress balance sensor, temperature compensation device and SEQ-AI intelligent algorithm, combined with a double-scale comparative measurement system and remote intelligent monitoring software, which effectively overcomes interference factors such as belt tension change, misalignment and material flow fluctuation. Field applications demonstrate that the improved system meets the requirements of coal blending and co-firing processes, with cumulative blending quantity errors effectively controlled. The research results provide a reproducible technical path for the coal industry to achieve precise blending, with both economic benefits and environmental value.

【Keywords】 coal blending; high-precision belt scale; dynamic weighing; error control

引言

煤炭掺配是通过混合不同物化特性的煤种,精准调控发热量、硫分、挥发分等关键指标的核心工艺。科学掺配不仅能提升燃烧效率、降低污染物排放以满足环保标准,还能显著优化企业经济效益。其核心目标可归纳为:①热值调节;②硫分控制;③灰分与灰熔点优化;④挥发分平衡,从而确保燃烧过程的稳定性与高效性。

传统煤炭掺配多依赖人工操作,采用铲车或皮带输送机进行比例混合。尽管该方法操作简便且应用广泛,但存在以下技术瓶颈:①物料偏析导致混合不均及成分波动;②硫分控制精度不足,易引发环保超标风险;③热值波动影响煤气化装置运行稳定性。上述缺陷凸显了提升掺配自动化水平与计量精度的迫切需求。

随着技术进步,机械化掺配逐步替代人工操

作，但其计量精度仍受制于设备性能。研究表明，采用电子皮带秤的掺配系统易受气象参数（风场分布、热力学状态）与设备异常工况（断料、机械对中度丧失）的交互影响，导致动态称量产生非平稳误差，成为工业现场难以维持计量基准稳定性的关键成因。尤其在单秤计量模式下，卡料、粘料或皮带跑偏等故障难以及时诊断，造成误差累积。因此，构建实时监控与动态纠偏机制已成为保障掺配精度的技术突破口。

1 现有配煤系统问题

根据现场实测，当皮带跑偏量超过带宽5%时，传统0.5级皮带秤计量误差可达1.2%~2.5%；输送机振动幅度达0.3mm时，瞬时流量波动率超过3%。这些物理干扰导致现有系统掺配误差长期维持在±5%以上，无法满足电厂锅炉或煤气化装置对煤炭掺配比例误差的工艺要求。中石化某分公司配煤工艺要求控制精度需达到5%，这是保障煤气化装置稳定运行的关键技术指标。现行配煤系统通过活化给煤机实现不同煤种的筒仓振动下料，其控制精度主要依赖于皮带秤的瞬时与累积流量监测。然而，传统皮带秤存在两方面技术缺陷：其一，计量精度波动幅度较大（±1.5%）；其二，数据反馈存在显著滞后性，导致误差在控制过程中持续累积。实际运行数据显示，系统配煤误差最高可达15%，严重偏离工艺标准。针对这一技术瓶颈，企业经系统论证后引入高精度智控矩阵皮带秤，该设备具备在5%~100%的最大流量范围内保持较长周期的稳定精度。

2 高精度智控矩阵皮带秤性能特点及优势

（1）智控矩阵皮带秤通过创新的秤架结构，解决了传统皮带秤存在的零点不稳定和校验复杂性问题。其智能校验系统为每个传感器提供独立的AD检测，具备故障报警和超差剔除功能，确保高精度、高稳定性。相比传统0.5级皮带秤的标定方法，智控矩阵皮带秤消除了高投资、空间限制和高维护需求，通过SEQ-AI智能算法与矩阵控制技术，自动修正偏差并保持长期稳定的精度。

（2）该皮带秤采用8组单托辊矩阵秤体单元和8只C6等级高精度称重传感器，克服了传统杠杆式秤架的精度误差问题。矩阵结构设计消除了大部分皮带张力的影响，9.6m的秤区长度和连续水平安装，

有效避免了震颤对称重精度的影响，从而确保了称重精度的稳定性。

（3）创新性地引入了温度补偿器，内置温度传感器提供实时温度变化脉冲信号，确保系统能够实时进行温度补偿，避免温度波动对称重精度的影响，从而保障了精度的长期稳定。

（4）采用单支点平衡型称重平台，该设计突破了传统电子皮带秤仅能在20%~100%流量范围内精确计量的问题。传统皮带秤在低于20%的流量下无法保持精度，难以适应低流量和断续流料的工况。而单支点平衡型平台利用输送带本身的张力实现自然平衡，消除了传统皮带秤因张力变化带来的干扰，显著提高了精度范围。该平台能够在5%~100%的流量范围内稳定计量，满足不同工况下物料的精确计量需求。

（5）采用应力平衡型传感器，解决了传统电阻应变式传感器的滞后、蠕变和零漂等缺陷。该传感器具备温度补偿和线性补偿功能，确保了皮带秤在温度变化和外部环境干扰下的稳定性和高精度，满足OIML C6等级标准。

（6）智控矩阵皮带秤采用上置式双轮测速设计，确保测速装置与输送物料皮带下表面紧密接触，避免了回程皮带测速产生的误差。该测速系统配有数字脉冲发生器，能够精确测量皮带速度，并具备IP68防护等级，适应现场恶劣的工况。

（7）配备自动互校系统，实时监控各称重单元并进行数据比对。当某一单元出现超差时，系统会自动启动动态校验，修正偏差，确保系统在不同工况下始终处于高精度状态，进一步提高了称重的准确性和稳定性。

（8）高精度矩阵式皮带计量系统由五类核心组件构成：B159型阵列式称重模组（包含8组及以上单元）、E897W型动态测速装置、MT8X型多通道数据采集模块、MW900E型智能处理终端（支持8~32路AD通道配置）以及环境温度补偿装置。该系统的创新性体现在每个计量单元均集成独立模数转换电路，实现信号数字化预处理后向中央处理器传输。动态测速装置采用上置式双轮结构，两个宽幅铝合金耐磨压花滚轮，直接测量称重域运煤皮带的下表面，并在配重块实现反向压力的同时，增加高强拉

簧装置提供快速反应防止打滑，有效规避传统机械传动误差，提升瞬时速度检测精度。环境补偿装置通过实时参数修正机制，确保系统在复杂工况下的稳定性。智能终端运用自适应算法对多源信号进行融合处理，构建多维数据模型，实现物料瞬时流量与累积量的精确解算。值得注意的是，各传感单元采用嵌入式温度-线性双补偿架构，显著提升了计量系统的长期稳定性与抗干扰能力。

(9) 采用B159 型阵列式称重模组，每个矩阵配备一组托辊，并使用应力平衡型称重传感器构建平衡中心。独特的矩阵秤体结构设计实现自平衡，降低了对称重托辊平面度的要求，最大程度简化了对输送机现场的依赖。高精度称重传感器具有耐压、温度与线性补偿功能，结构独特，精度高且抗水平

力干扰能力强。秤体采用模块化组件结构，安装简便且无需维护，秤架无物料堵塞或堆积，几乎消除了零点漂移的可能性，确保系统具有优异的稳定性。

(10) 采用SEQ-AI 智能算法，矩阵皮带秤通过人工智能技术智能分析多组称重单元数据，克服了传统0.5 级皮带秤在单通道积算式信号处理中无法精确反映皮带张力变化、跑偏和“皮带效应”等问题。传统皮带秤依赖少量传感器，无法进行有效数据比对和自动修正，导致稳定性差。矩阵皮带秤通过实时数据比对和自动校验，确保系统精度稳定，能够在运行中自动修正偏差，恢复精度。其逻辑如图1 所示。

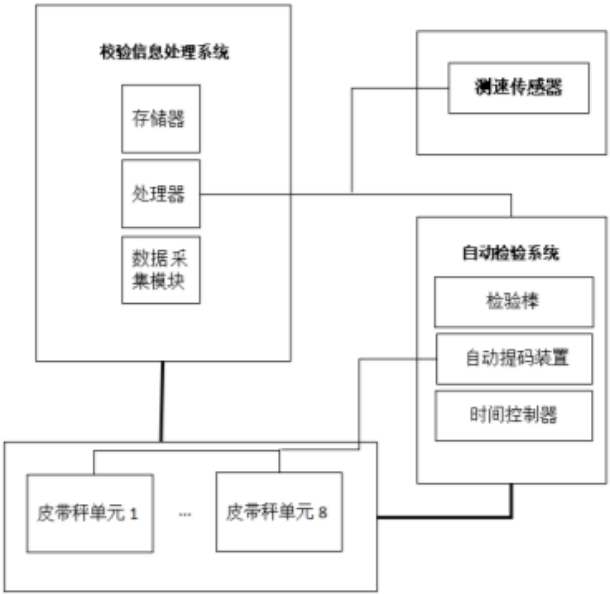


图1 逻辑简图

(11) 采用无源发电自动导正装置，有效解决了皮带机跑偏对计量精度的影响。皮带跑偏通常由安装不当、运转不灵活、物料冲击不均或托辊问题引起，导致物料散落、皮带损坏和机架磨损。为确保皮带秤精度，装置被安装在每台皮带秤称重区域前后第10 组托辊处，能够将跑偏产生的电能转化为导正动能，自动调整皮带跑偏，确保30m 范围内皮带机的稳定运行，从而提升了皮带秤的计量精度与可靠性。

(12) 采用智能软件结合双秤对比系统: 八组模

块化秤体之间可以相互校验相互冗余，矩阵模块化秤体均可采用电动自动挂码校验，无需人工。模块化秤体之间的可以按序列间隔使用，配合矩阵智能称重仪表将之分为系统内双套秤。八组模块化秤体中的其中 $n/2+1$ 组(高序号) 控制电动砝码升降装置，实现系统内双秤在线校验，自动修正系统精度，实现自我判断精度状态，自我修正。有效解决了设备故障对计量精度的影响。

同时通过实时比对两台皮带秤的计量数据，远

程配煤系统能够及时识别单台皮带秤故障引起的计量误差，并在偏差发生时自动报警与预警，提示进行标定和维护。该系统显著提高了计量精度，并优化了日常管理，确保计量过程更加精准高效。系统还支持自动校验与修正，确保长期稳定的计量精度，同时通过数据记录与报表分析，保障配煤和生产数据可靠性。

3 高精度矩阵皮带秤引入与应用

作为动态称量装置的关键形态，皮带秤的机械构型持续演进（发展路径详见图2），其迭代方向始终聚焦于张力场调控技术优化。



图2 皮带秤发展路径

本次于在中石化某分公司储配煤项目引入了8组独立单元高精度智控矩阵皮带秤，以提高配煤过程中的计量稳定性。

该项目拟新建3座配煤筒仓(设计储量 3200 t/座)，2座转运站，1座采样楼，以及3座栈桥系统。在每座筒仓下设活化给料机，实现机械配煤，3座筒仓共用1条输送带，每个落料口前端布置一套皮带秤，数据实时接入现场PLC 控制系统，提供精准的下煤量反馈比对，项目流程如图3 所示。。

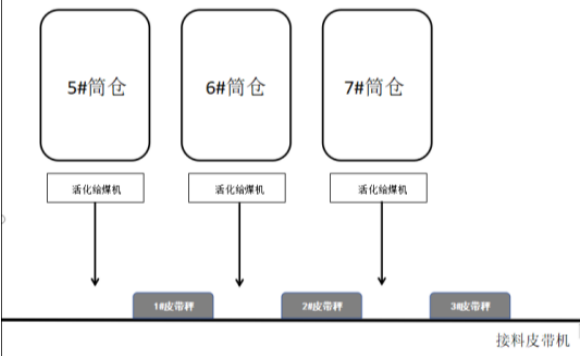


图3 项目流程图

4 应用结果验证

高精度智控矩阵皮带秤布置完成后，根据运行

状态跟踪显示，配煤称重系统运行反馈稳定。并由第三方检测机构对皮带秤进行检定，分别进行零点校准试验、挂码标定试验和物料试验，物料试验采用的标准器为电子汽车衡。

在使用近一年后进行复核，多通道称重仪表和皮带输送机各部件运行正常，8组矩阵秤架与16组校验装置安装稳固，称重传感器无故障，复核测试结果显示，皮带秤性能符合使用指标要求（详见表1、表2、表3）。

表1 零点校准试验

序号	秤编号	原零点值/mV	新零点值/mV	误差值/mV	偏差(%)
1	1#	1.6970	1.6969	-0.0001	-0.01
2	1#	1.6970	1.6969	-0.0001	-0.01
3	1#	1.6970	1.6970	0	0
4	2#	1.6510	1.6512	0.0002	0.01
5	2#	1.6510	1.6510	0	0
6	2#	1.6510	1.6514	0.0004	0.02
7	3#	1.7010	1.7012	0.0002	0.01
8	3#	1.7010	1.7011	0.0001	0.01
9	3#	1.7010	1.7009	-0.0001	-0.01

表2 挂码标定试验

序号	秤编号	标定值(kg)	秤示值(kg)	误差值(kg)	偏差(%)
1	1#	9190	9194.9	4.9	0.05
2	1#	9190	9199.1	9.1	0.10
3	2#	11480	11486.1	6.1	0.05
4	2#	11480	11478.6	-1.4	-0.01
5	3#	12164.3	12163.9	-0.4	0.00
6	3#	12164.3	12164.2	-0.1	0.00

表3 物料试验

汽车衡称量值/t	1# 秤量值/t及误差/%	2# 秤量值/t及误差/%	3# 秤量值/t及误差/%
421.34	421.76 (0.10)	421.62 (0.07)	421.18 (-0.04)
400.92	401.23 (0.08)	401.33 (0.10)	400.90 (0)
357.34	357.54 (0.06)	357.68 (0.10)	357.39 (0.01)

数据表明，高精度智控矩阵皮带秤满足允许误差要求。表3 中的偏差数据进一步显示，同一输送机上的两台皮带秤测量结果一致性良好，验证了高精度

皮带秤在运行中的高测量精度、稳定性和可靠性。

此次试验煤种包括陕煤2号、镇雄高硫煤和神优1号三元混煤，通过对筒仓下料设备（活化给煤机）远程调控振动频率，频率调整在39~42Hz区间内，建立各给煤机不同频率下煤量数据库，指导后续配煤工作。

经过跟踪检查，抽查2025年3月23日班组配煤数据（见表4），当天生产任务下达的配煤比例为1:1:1（以5#筒仓为基准，对6#、7#进行配煤调控），30min动态配煤数据显示，各筒仓瞬时配比误差峰值为2.60%，累计误差始终稳定在0.54%以内。

表4 30分钟配煤数据抽查（2025.3.23）

序号	时间	5#筒仓 下煤量	6#筒仓 下煤量	7#筒仓 下煤量	5#/6#下 煤量误差	5#/7#下 煤量误差
1	9:00	61.83	60.85	60.48	-1.58%	-2.18%
2	9:30	65.97	65.72	67.47	-0.38%	2.27%
3	10:00	66.76	67.59	65.53	1.24%	-1.84%
4	10:30	67.32	67.21	66.15	-0.16%	-1.74%
5	11:00	66.24	67.85	67.54	2.43%	1.96%
6	11:30	54.99	55.98	55.08	1.80%	0.16%
7	12:00	75.45	75.65	74.80	0.27%	-0.86%
8	12:30	78.14	78.26	76.16	0.15%	-2.53%
9	13:00	72.32	72.69	73.02	0.51%	0.97%
10	13:30	70.86	71.21	69.37	0.49%	-2.10%
11	14:00	74.65	73.65	74.88	-1.34%	0.31%
累计		754.53	756.66	750.48	0.28%	-0.54%

调取2025年3月当月配煤数据（见表5），配煤生产要求比例同样为1:1:1（以5#筒仓为基准，对6#、7#进行配煤调控），全月22150吨级配煤作业中，5#基准仓与6#、7#筒仓的累计质量误差分别为-0.05%和-0.03%。

表5 2025年3月份配煤量统计

班次	5#筒仓 下煤量	6#筒仓 下煤量	7#筒仓 下煤量	5#/6# 误差	5#/7# 误差
一班	6176.22	6160.14	6177.70		
二班	6187.65	6202.83	6192.88		
三班	3595.19	3583.44	3593.65		
四班	6191.71	6194.36	6179.26		
合计	22150.77	22140.77	22143.49	-0.05%	-0.03%

经过不断跟踪试验，抽查多日配煤数据误差均小于目标值，系统达成机械配煤比例误差降至5%以内的攻关目标，实现的数值远优于既定目标，为煤气化平稳运行提供了有效保障。

5 结语

本次研究通过实践验证，成功解决了煤炭掺配系统中的计量精度瓶颈问题。高精度智控矩阵皮带秤通过多传感器融合、环境补偿算法及自动化校验系统，显著提升了动态称量稳定性。现场测试数据表明，改进系统在零点试验、模拟载荷试验及物料试验中均满足配煤工艺的精度要求，配煤误差远低于传统系统。矩阵皮带秤对比机制与远程控制技术的结合，为配供煤系统的稳定运行提供了可靠保障。该技术的成功应用，不仅推动了煤炭掺配工艺的智能化升级，其模块化设计及抗干扰能力，也为其他散装物料计量领域提供了技术借鉴。未来可进一步探索物联网技术集成，构建全流程数字化配煤系统。

参考文献

[1] 徐信荣. 新型电子皮带秤的研究[D]. 西北工业大学, 2002.

[2] 胡夕岚. 提高电子皮带秤使用精度的方法[J]. 华中电力, 2007.

[3] 初琦. 皮带秤的研究与应用现状 [C]. 北京: 有色金属工业低碳发展, 2010.

[4] 袁海琛, 滕杉. 皮带秤计量精度的影响因素分析[J]. 机械制造, 2019.

[5] 曹逢. 高精度皮带秤. 中国, 208296949U[P].2018.

作者简介

方浩，男，助理工程师. 主要从事煤炭转运存储管理工作。