

双碳背景下皮带秤应用和计量的探讨

□ 韦宣¹ 倪向红² 华锋³ 倪伟明⁴ 马娟⁵ 朱永峰⁶ 裴传福⁷ 曹逢⁸

(1. 西安热工研究院有限公司 2. 国家能源集团科学技术研究院有限公司 3. 上海外高桥第三发电有限公司 4. 华电江苏能源有限公司句容发电分公司 5. 国能宿州热电有限公司 6. 大唐临清热电有限公司 7. 华能沁北发电有限公司 8. 徐州依科电气有限公司)

【摘要】碳达峰碳中和战略的实施，使得电厂、钢铁、港口、建材等企业环保压力和能耗指标压力上升。在《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施》中（以下简称“指南”），针对化石燃料消耗的数据监测设备，要求对入炉煤皮带秤进行周期性校验。“指南”中列举了三种情况下的校验方式，但文中的校验方案和周期要求均针对的是传统0.5级及以下皮带秤。伴随皮带秤技术的发展，0.2级高精度皮带秤已逐渐在市场中应用，并在GB/T 7721-2017《连续累计自动衡器(皮带秤)》中首次加入0.2级等级要求。0.2级皮带秤对“指南”中燃料消耗数据的监测提供了更准确的技术手段，对校验方案进行了优化并缩短了校验周期，在保证准确度、可靠性的前提下提高了工作效率，为化石燃料的计量提供了新方案，并能够为双碳战略的实现提供重要基础数据支撑。

【关键词】碳中和碳达峰；化石燃料；入炉煤皮带秤；0.2级高精度皮带秤；校验周期

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2024）11-0024-07

引言

碳中和碳达峰作为国家重要战略，在实现碳达峰碳中和目标的主要路径中，提到了推动重点领域节能降碳。

随着煤炭、焦炭、铁矿石、铜矿石、水泥等冶金建材原材料价格日益攀升，同时国家提出碳达峰、碳中和，电厂、钢铁、港口、建材等企业环保压力和能耗指标压力上升。伴随智慧电站的升级改造，作为核心数据的基础燃料数据的精确与否，对输送设备的计量精度、稳定性等提出较高要求。特别是火力发电厂，煤炭是其核心燃料，只有实现精确的计量才能夯实落实碳中和碳达峰重要战略的数

据基础。

火力发电厂内煤炭完全依靠皮带输送机调动，皮带输送是成本最低的散状物料运输方式，运量大，能耗低。作为动态衡器，与一般静态衡器不同，其稳定性较差，其精度受制于稳定性周期短，很难保证。而传统皮带秤实际使用精度偏差往往在5%以上，远远无法满足新时代的要求。

1 燃煤计量技术现状

煤炭作为火力发电厂第一消耗型能源，直接决定着电厂的生产运营成本、能耗指标、利润空间与整体经营业绩，从入厂采样、翻卸车、堆煤、取煤、配煤，到入炉计量、给煤机分配计量，整体

流程每一环节都需要环环相扣、精准到位、相互依托。近年来各集团燃料管控力度与要求更是提升前所未有的新高度。设备部、发电部、燃料部，直至厂领导，都需要花费大量心血关注并保障相关设备安全、可靠、稳定、精准运行。燃煤入厂需要精确称重计量及精准热值分析，这是火力发电厂对外结算的总闸口。精确称重计量设备使用主要包含三个方面：①实际运行称重计量精度；②允差范围内精度稳定周期；③使用中维护人力、物力、财力成本控制。这是目前火力发电厂的痛点，也是亟待解决的核心问题，直接影响成本控制与经营业绩考核。而碳达峰碳中和主要对实际用煤量进行实时监控，

这里面最关键的环节在入炉煤皮带秤和称重给煤机上，其中的核心还是皮带秤技术。传统0.5级皮带秤准确度低，稳定性差，几乎没有应用良好的现场，长久以来一直是火力发电厂治不好的“软伤”，以前可以通过热值进行内部调整，在碳达峰碳中和战略要求下，就成为难以治愈的“硬伤”。随着皮带秤技术的发展，0.2级高精度皮带秤的出现，有望解决这一问题。

自皮带秤问世以来，结构历经变化，都是在对抗张力，一直无法解决稳定性差的难题，皮带秤发展历程见下图。



图 皮带秤发展历程

根据调研，目前约九成的火电厂仍然采用的是传统0.5级皮带秤，少数火电厂已经改造使用0.2级皮带秤。

2 传统皮带秤存在的问题

目前，传统的0.5级皮带秤在实际使用中由于无法克服张力变化、托辊窜动、皮带跑偏、料流不均等带来的干扰，所以精度低、稳定性差。以下对传统皮带秤各组成部分存在的问题进行阐述。

2.1 秤体部分

传统皮带秤传感器受力方式往往为杠杆式、全悬浮式，而杠杆式皮带秤的承载器的重量由称重传感器与作为支点的零部件(如：十字或X形簧片、橡胶耳轴等)共同承受，承载器相当于杠杆，承载器及物料的重力作用线到支点的距离为动力臂，称重传感器对承载器支撑力的作用线到支点的距离为阻力臂。除了特殊需要外，杠杆式皮带秤的阻力臂一般

都长于动力臂，因此称重传感器不能准确测量物料重量导致精度误差。我厂初次上皮带秤时选择了四托辊四称重传感器的全悬浮式皮带秤，多年使用发现，皮带发生跑偏及料流发生变化，传感器会受到水平侧向力及物料偏载的影响，导致四只传感器受力不均，四只传感器本身精度也会产生误差，若叠加托辊窜动、轴跳、粘料等因素，将加剧此类皮带秤内部干扰，因此，称重传感器不可能准确测量动态物料重量，容易导致较大精度误差。

2.2 称重传感器部分

传统皮带秤称重传感器是电阻应变式称重传感器，具有随环境温度变化自身灵敏度发生漂移的现象，所以未经精确温度补偿的电阻应变式称重传感器会随温度变化输出精度发生变化。每当季节变化时候，皮带秤的偏差都会变大很多。

2.3 测速部分

传统皮带秤的测速方式是用测速轮压在输送机的回程皮带上进行测速，由于上皮带有荷载物料重量，皮带处于张紧状态，而回程皮带相对放松，导致上下皮带的速度会发生偏差。安装于下皮带的测速滚筒长时间工作会与粉尘颗粒（煤粉、飞灰等）接触，易与回程皮带发生打滑现象，也会导致速度误差。

2.4 信号处理部分

传统皮带秤的信号处理是采用积算式（即重量×速度），属于单通道，一组AD（所有称重传感器并接成一路信号进入仪表）。由于皮带机在输料过程中料流的变化会导致皮带张力发生变化、皮带会发生跑偏现象、托辊也会发生径向跳动、卡死等现象，这统称叫“皮带效应”，这也是导致传统皮带秤稳定性差的很大原因。

传统皮带秤的重量信号采集是2只或4只传感器，这么短的测量距离不能有效反映皮带的运行状态，无法进行精确计量物料重量，无法进行多组数据比对、无法进行数学模型修正，也就无法自动判断超差。

2.5 校验误差

一直以来，皮带秤的校验方式为循环链码标定或实物标定。实物校验确实是最理想的方式，然而存在三方面的困难，首先是投资大，承载核算、土

建、设备加施工费用超过百万。其次是改造条件受限制，很难提供实物斗秤的空间；再次就是实物校验装置实际使用受制于输煤系统和锅炉负荷的状态，不是说标定就能标定的。

循环链码校验是模拟物料运行，皮带秤在两种（煤、链码）工控下的运行状态进行称量，皮带张力会发生很大变化，物料状态堆密度也不同，所以经循环链码标定的秤使用精度通常不符合要求。

2.6 皮带秤的安装

安装也是影响皮带秤精度的重要因素，通常，皮带秤安装规范及实际安装工作都将“皮带秤的称重辊与固定辊上表面应调整在同一平面”的要求提到极其重要的高度。国内有企业在安装时使用激光准直仪来进行校准，但是经过如此精心调整获得的准直度，使用时会因秤架荷重变形、焊接应力释放变形等原因而不复存在。更会因托辊粘料、磨损等原因使得皮带秤称重辊与固定辊无法长期保持在同一平面。

即便可以清楚地认识到传统皮带秤的诸多影响因素，由于其固化的结构和原理，使得这些不利因素无法消除，唯一能做到的是，通过加强维护、不断地校准来维持皮带秤的准确性，但这样做除了额外增加成本和能耗，不能从根本上解决传统皮带秤的固有缺陷。

3 高精度皮带秤的应用

依据现行GB/T7721-2017连续累计自动衡器，以及JJG 195-2019连续累计自动衡器（皮带秤）。按0.2级皮带秤设计要求进行技术改造，实现燃煤计量的精确核算，为碳达峰碳中和提供坚实准确的数据。与传统皮带秤相比，0.2级皮带秤具有以下技术特点：

3.1 先进的称重数学模型

可加入其他影响量参与称重数学模型的计算，影响量包括温湿度、大气压等。对这些影响量进行补偿，以期提高称重数学模型的准确性，这一点也是皮带秤技术发展的重要方向。同时，可以实现皮带秤精度的自我判断，并可以实现在线实时校验修正功能。

3.2 多组称重单元

0.2级皮带秤通常配备8组以上的称重传感器，

以矩阵式排布，可以减少皮带张力的影响，大幅提高皮带秤称重精度。

3.3 单支点平衡型称重平台

全新型平衡称重装置，结构巧妙，称重精度高，稳定性极好，免日常维护。矩阵式称重秤体结构本身就是利用输送带本身的张力来取得自然的平衡，使得将以往所有型式皮带秤造成干扰的皮带张力变化消化于无形。物料的重量准确而完整地传递到称重平台，精确地反映物料重量的瞬时变化。这种结构可以防震、防潮、防腐及防止物料堆积。轻量型秤体易于安装，并且可以将称量物料的精度范围大大提高，满足不同物料工况中不同密度物料堆积时在流量变化较大时获得稳定精度。可以满足2%~100%流量条件下精确计量。

3.4 应力平衡型称重传感器

单点悬浮称重平台专用高精度传感器，结构独特且具有称重精度高、抗水平力干扰能力强等特点。精确的温度补偿，满足OIML称重传感器C6等级，远优于其他皮带秤所用C3等级传感器。

3.5 测速传感器

采用的测速装置为上置式安装，与输送物料的皮带下表面接触，确保测得速度为运载称重的称重无缝匹配，并且消除了皮带的任何打滑几率。速度传感器为数字脉冲发生器，它发出一系列脉冲，每个脉冲代表皮带行程的一个单位，脉冲频率和皮带速度成正比。IP68等级，防尘、防水、防油、耐高温，适应现场经常冲水的工况环境。

3.6 自动挂码校验与实时自动互校高精度稳定系统

0.2级高精度皮带秤每组单元采用2只挂码，通过棘爪和执行机构，将砝码置于托辊支架两翼的空间内，不占用走廊空间，后期易于检定。砝码不与皮带接触，对系统无干扰。自动挂码机构在皮带下方，皮带表面粘料对其无影响。自动挂码只有升降机构动作，砝码无运动，所以一直保持高精度不变。自动挂码校验时不与皮带接触，直接加载到秤体上。自动校验装置校验时，皮带为自然输送状态，为空载状态，张力未受外力干扰。校验的精度取决于皮带秤结构、稳定性以及受皮带张力变化影响的大小。传统皮带秤不可以使用，只能用高精度

智控矩阵电子皮带秤。

无论皮带秤处于空载或者带料状态，只要积算仪判断系统超差，即可自动进行实时自动互校，仪表内部数据模型将间隔提起矩阵秤单元电动砝码装置，比对额定砝码的瞬时量与累积量进行自动修正，使皮带秤始终保持在高精度状态稳定运行，真正达到矩阵秤免维护，免人工干涉的全自动自检高精度运行状态。

4 皮带秤周期性校验存在的问题

在“指南”6.2数据的检测与获取这一章节中提到：“燃煤消耗量应优先采用经校验合格后的皮带秤或耐压式计量给煤机的入炉煤测最数值，其中皮带秤须皮带秤实煤或循环链码校验每旬一次。无实煤校验装置的，应利用其他已检定合格的衡器，至少每季度对皮带秤进行实煤计量比对。不具备入炉煤测量条件的，根据每日或每批次入厂煤盘存测量数值统计消耗量。”

“指南”中提到的皮带秤包括入炉煤皮带秤和耐压式计量给煤机，对校验方式及周期分了三种情况进行要求，前两种情况均采用计量的方式。以下为对“指南”6.2章皮带秤校验方法和周期论述的看法。

4.1 入炉煤皮带秤

“指南”中要求“皮带秤须皮带秤实煤或循环链码校验每旬一次”。首先，实煤校验只能在少数已经安装实物校验装置的现场可以实现，并且检定时需要将两条输送系统同时备妥具备条件，协调各部分配合，调节仓位，消除对生产的影响，任何环节不具备条件都无法实施校验。如果想通过改造的方式加装实物校验装置，不仅要投入至少百万元以上的资金，还需要具备加装的空间和上料条件。其次，采用循环链码的校验方式，因循环链码自身溯源难的问题导致其准确度无法保证。

“指南”中要求“无实煤校验装置的应利用其他已检定合格的衡器，至少每季度对皮带秤进行实煤计量比对”，提到的参比衡器通常为汽车衡和轨道衡。采用此方案成本巨大。

对于汽车衡而言，燃料途经皮带秤前，由地沟→下料机→多道转运站溜槽→破碎机，其中难以避免出现撒料、粘壁、溜入残料等误差因素，还有除

尘、水损等细处影响。为了降低影响，只有加大校验用煤量。对于采用汽车衡来说，投入的汽车、人力、时间、成本都是巨大的。

对于轨道衡而言，除了存在与汽车衡同样的问题，轨道衡本身的精度较低，而且有的车厢粘料不能及时清理投入校验系统。更重要的是，这样的校验本身能耗是巨大的，已经背离了碳达峰碳中和的初衷和战略意义。

笔者认为，新“指南”在这一条的论述存在考虑不周的地方：

(1) 没有充分考虑到当前的皮带秤技术发展情况。即0.2级皮带秤技术要求，实物校验装置和循环链码从精度要求来讲均无法对其进行校验。采用轨道衡和汽车衡作为参比标准的方式，检测方法本身的不确定度就远远大于皮带秤准确度要求，故该方案也不适用。

(2) 未提到最重要的稳定性及其周期要求。

(3) 每10天一次的校验周期提高了运行成本，使得校验本身更加的耗能，同时不能解决皮带秤稳定性差的根本问题。

4.2 耐压式计量给煤机

耐压式计量给煤机是在自动控制方式下，控制系统根据机组负荷指令将对应所需煤量指令自动分配至在运行的给煤机，给煤机就地控制单元对所分配的煤量指令以称重数据自我检测方式进行皮带转速的闭环控制，从而保证燃料供应对机组负荷变化的及时响应与有效控制。综上所述，给煤机皮带秤的准确性与稳定性甚至直接影响机组运行状况。目前，计量给煤机的校验除了和入炉煤皮带秤存在相似的问题之外，还存在如下问题，使其校验更加棘手难以实施：

(1) 至少3个专业相互配合才能完成，费时费力：每次校验机务专业至少需要3人将两侧厚重的检修门体进行拆装，运行人员做相关停运、隔绝措施，热控人员进行零点与挂码满度校验，整体过程至少需要3小时。因为现场给煤机启停流程繁琐，受机组负荷与实际工况的综合性因素制约，检修、校验条件局限性很大，造成工作效率十分低下，无法准确预估效验时长，此项工作一直深深困扰着热控及机务专业每一位工作在最前沿的专工。

(2) 大多给煤机皮带秤采用2只称重传感器居中吊起托辊的简单机械结构方式称重，每次校验必须先进行整体框架的调平检测工作，否则对校验准确性影响极大。由于托辊轴工程直径小、刚性不足，再加上实际运行中托辊本身轴向与径向的位移、振动，导致称重精度超差、检测数据不稳定，且这种称重方式根本无法消除皮带张力变化的影响，皮带跑偏、托辊粘料、两只传感器内应力相互作用等外力因素更是雪上加霜，让称重精度、稳定性、可靠性根本无从谈起。

(3) 人工挂码不易操作，受整体给煤机机械结构影响，挂码位置十分狭小，局限性很强，设计不合理，挂码与取码时，检修人员手臂有磕碰受伤风险，且砝码容易掉落至给煤机内部。

(4) 理论上，打开盖板后改变了给煤机的内部环境，特别是压力和温度，在常压环境校验，在正压环境运行，所校验出来的数据也是不精确的，这也是当前耐压称重给煤机普遍存在的重大缺陷之一。

(5) 受整体称重框架设计机构影响，称重数据精度差，稳定周期短，后期校验、维护工作量较大。

(6) 给煤机无法采用实物校验，其精度完全取决于秤体本身特性。

综上所述，进行校验的目的不仅是判定其测量是否准确，更应该是判断皮带秤的是否稳定可靠，确定其稳定性周期。因为皮带秤是动态衡器，其精度的基础是稳定性，而稳定周期就是不用做任何标定，它自身可以保持在精度范围内的时间。每一次校验都应该在精度允许的范围内，这才是合理的校验。

如果一台皮带秤的稳定性周期只有一天（根据大量试验证明，大多数0.5级皮带秤的稳定性周期只有数个小时），那么，“指南”中提到的校验周期不管是每季度甚至是每10天，均为无效校验，空耗能源，以此数据参与的碳核算结果，必然存在很大的不确定度。

归根结底，一台皮带秤的准确与否，是由它自身决定的，取决于结构、传感器、安装位置、算法等构建的稳定性周期。只要皮带秤的稳定性达到要求，实施的校验才能达到其根本目的。如果皮带秤本身稳定性差，在校验后的数小时内又失准状态，

那么，任何方式的周期性校验均失去意义。

5 建议的解决方案

5.1 设备选型

采用0.2级皮带秤，采用多组单元矩阵布置，独立AD数据，智能算法判断精度超差，消除张力变化，托辊窜跳粘料，胶带跑偏的干扰因素，自校验，免维护，长期保持使用精度0.2%，同时实现了超长稳定周期保持使用精度，以此可望彻底解决入炉煤、入厂煤皮带计量的难题。

采用0.2级皮带秤技术，安装多组矩阵单元，对耐压称重给煤机进行改造，自校验装置置于矩阵称重单元上，既保障了给煤机计量的稳定性周期，又保障了校验环境即为运行时的正压环境，消除了开盖校验导致常压校验正压运行的干扰因素，优化使用精度。

5.2 校验方法

因为实物校验所用的标准仪器（料斗秤、汽车衡、轨道衡等）精度大都不符合要求，及校验方法不确定度大等问题，0.2级皮带秤的现场校验宜采用模拟校验的方式。皮带秤的精度取决于其自身的稳定性周期，而稳定性周期越长表明张力变化对其影响越小，那么采用与皮带无接触的自动挂码校验与实物校验之间的偏差越小，这样就能保证使用精度。建议校验周期为3个月。

目前，0.2级皮带秤主要应用于入炉煤皮带秤，对于计量给煤机而言，同样可以采用该技术。因其皮带长度限制导致称重单元数量有限，改造效果不如入炉煤皮带秤，亦可实现0.3%的实际使用精度，同时达3个月以上的稳定性周期。

6 实证结果

某火电厂#12A皮带秤出厂等级为0.5级。为了降低在物料运输环节撒料、沾壁、溜入残料等因素给校验带来的误差，在校验前准备时，通过采取一系列措施，使得物料在经过标准衡器称量后，仅经过2条皮带就抵达皮带秤称量位置，将运输环节物料的盈亏影响降到最低。

6.1 改造前校验数据

改造前，#12A皮带秤实物校验结果如下表1所示。物料的称量采用汽车衡，为了减小系统误差，尽可能多地增加物料重量，每次校验使用物料重量

约为140t。

表1 改造前实物校验数据

汽车衡 (t)	皮带秤 (t)	误差
141.62	148.116	4.59%
143.78	151.591	5.43%
140.72	145.984	3.74%

从表1数据可以发现，该皮带秤的短期重复性和稳定性不符合0.5级要求。

改造前采用循环链码进行模拟载荷试验，数据如表2所示。

表2 循环链码校验数据

循环链码 (t)	皮带秤 (t)	误差
25.669	25.649	-0.08%
25.669	25.634	-0.14%
25.669	25.606	-0.25%

从表2所示可知，采用循环链码进行的模拟载荷试验结果不满足0.5级指标要求，只能满足1级称量要求。

6.2 改造后校验数据

改造后，实物校验结果如表3所示。为了客观反映皮带秤的计量性能，刻意用较少物料重量，每次校验使用物料重量约为45t。

表3 改造后实物校验数据

汽车衡 (t)	皮带秤 (t)	误差
45.11	45.184	0.16%
42.62	42.685	0.15%
44.76	44.812	0.12%

从表3可知，改造后皮带秤进行实物校验结果满足0.2级使用要求。

同时，采用间隔2个月的方式对#12A皮带秤进行为期6个月的稳定性考核，稳定性结果如表4所示。

表4 稳定性数据

汽车衡 (t)	皮带秤 (t)	误差	稳定性	日期
45.11	45.184	0.16%	-	2020.1.20
55.64	55.792	0.27%	0.11%	2020.3.21
49.33	49.445	0.23%	-0.04%	2020.5.25

改造后采用自动挂码进行模拟载荷试验的数据如表5所示。

表5 挂码校验数据

理论值 (kg)	皮带秤 (kg)	误差
14943	14935	-0.05%
14943	14931	-0.08%
14943	14933	-0.07%

虽然国家检定规程未规定0.2级皮带秤模拟载荷试验的技术指标要求,但从表5数据看出,改造后采用挂码的校验精度明显提高。

7 结语

能源计量的主要目的为减少能耗,提高能源使用效率;碳计量的主要目的为减少碳排放,是能源计量的一部分;化石燃料消耗量的计量则为碳计量的关键环节。皮带秤作为火力发电厂燃料消耗的测量设备,其计量性能直接影响机组的经济运行,0.2级高精度皮带秤,目前已在相关的重点领域广泛应用,其解决了传统皮带秤稳定性差、准确度低的问题,为能源领域节能降耗作出了一定贡献。

建议,“指南”增加皮带秤的精度和稳定性的要求,并允许企业采用更先进的测量手段和方法,在碳达峰碳中和国家战略实施过程中,能够实现对基础数据的强力支撑。

参考文献

[1] 刘其英. 皮带秤新型校准方法初探[J]. 中国冶金, 2014,24(12):146-149.

[2] 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.

[3] 王江. 无人机盘煤在火力发电企业燃料管理中的应用[J]. 华电技术, 2019,41(6):78-80.

[4] 徐信荣. 新型电子皮带秤的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.

[5] 胡夕岚. 提供皮带秤使用精度的方法[J]. 华中电力, 2007,20 (2):51-54.

[6] 郝鹏宇. 新型分布式电子皮带秤的设计[J]. 矿冶, 2016,25(4):64-67.

[7] 牛小惠. 港口杆散货码头电子皮带秤计量装置简析[J]. 港工技术, 2019, 56(3):46-48.

[8] 霍国平. 一种新型连续累计自动衡器(冲板皮带秤)在实际应用中的可行性探讨[J]. 衡器, 2018, (8):28-32.

[9] 吕继强. 电子皮带秤测量误差来源分析及解决[J]. 中国计量,2016(05):91-92.

[10] 沈立人. 基于0.2级皮带秤实施的构想[J]. 衡器, 2015, (07):27-29.

[11] 方原柏. 电子皮带秤的安装位置与皮带张力[J]. 衡器,2012,41(10):1-4.

[12] 张德华. 皮带秤称重传感器选型及其安装维护[J]. 衡器,2010,39(03):36-39.

[13] JJG 195-2002. 连续累计自动衡器(皮带秤)[S].2002:8-9.

[14] OIML R 50-1 Edition 2014(E).Continuous totalizing automatic weighing instruments(belt weighers)[S].2014:22-23.

[15] GB/T 7721-2017. 连续累计自动衡器(皮带秤)[S].2017:14-15.

[16] 曹逢. 高精度皮带秤: 208296949U[P]. 2018-12-28.

[17] 权启栋. 一种电子皮带秤自动挂码校验装置: 208296969U[P]. 2018-12-28.

[18] 陆勤生. OIML TC9/SC2 伦敦会议关于皮带秤“耐久性”试验方法之异同探讨[J]. 工业计量, 2011, (06):50-52.

作者简介

韦宣(1987—),男,西安热工研究院有限公司,高级工程师,一级注册计量师,研究方向为热工、衡器、新能源等仪表检测及研发。