

桥式数字称重传感器在煤炭行业的应用

□华亭华煤清能煤化工有限责任公司 杨一平

【摘要】电子汽车衡是一种利用计算机控制技术和电子称重技术对车辆重量进行精确测量和记录的设备。电子汽车衡开展称重作业，具有方便、准确、快捷的特点，广泛应用于大宗物料称重计量相关行业。称重传感器是电子汽车衡的核心部件，不同类型的称重传感器称重形式不同。本文通过探讨不同类型的称重传感器在煤炭行业电子汽车衡中的应用情况，方便煤炭行业的电子汽车衡用户能够选择更为适合自己的电子汽车衡结构特点的称重传感器类型。

【关键词】汽车衡称重传感器；柱式称重传感器；桥式称重传感器；模拟称重传感器；数字称重传感器
文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2024）01-0016-06

引言

20世纪中叶，随着利用单个或多个称重传感器并联的电子衡器被制造出来，标志着衡器由过去的机械时代跨入了电子时代。微处理机与称重传感器的结合引发了称重领域的重大变革。随着社会的进步，人们对于称重设备的准确度要求也越来越高，20世纪80年代以后，电子衡器因其优异的性能被广泛使用于微量称重到大型专业称重的各个领域。

电子汽车衡是一种大型货物称重装置，一般由承载器、称重传感器和称重显示仪表三部分组成。根据不同需求，电子汽车衡可以配合多种外接设备拓展其功能。随着中国科学技术水平的不断进步，目前中国电子汽车衡技术已经达到世界先进水平，中国也是世界范围内电子汽车衡生产制造大国。

煤炭行业的煤场管理中最为烦琐的就是运煤车辆进出称重核算，由于周转煤场数量多，煤场拉运环境相对恶劣，拉煤车辆数量多，导致煤炭拉运计量容易出现纰漏，过磅汽车衡也容易出现各种故障，尤其是相对精密的称重传感器，一旦出现问题，往往持续一段时间，涉及多个批次，将给相关煤炭企业带来巨额直接经济损失。煤炭行业对电子汽车衡的要求除了称重计量准确，还必须具备性能稳定，结实耐用，维护方便等特点。

称重传感器作为电子汽车衡的重要基础部件，在电子汽车衡计量称重中发挥着重要的作用，尤其在煤炭行业中，称重传感器对于准确测量物体重量至关重要。

1 汽车衡称重传感器的原理介绍

电子汽车衡称重传感器是一种称重时利用其内部电桥平衡原理，将质量信号转为可测电信号的信号输出装置。惠斯登电桥因其可以方便地解决称重传感器的补偿问题，可以抑制侧向力干扰，以及可以抑制温度变化影响等优点，在称重传感器中得到了广泛应用。其惠斯登电桥原理如图1所示。

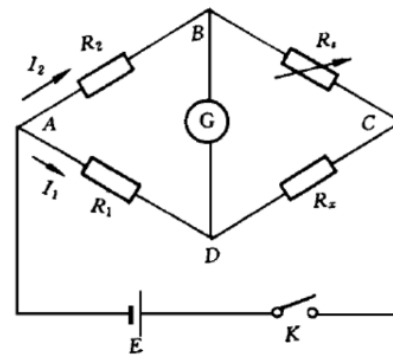


图1 惠斯登电桥原理图

图中电桥平衡的条件是B、D 两点电位相等，即
 $I_1R_1=I_2R_2$ ， $I_xR_x=I_sR_s$
又 $I_1=I_x$ ， $I_2=I_s$

所以有 $R_x=(R_1/R_2)R_s$

根据公式推导，利用惠斯登电桥可以测量出称重传感器受力时其内部电阻的变化，根据所测阻值变化，可以得出称重传感器所受的重力大小。

2 称重传感器的类型划分及特点介绍

2.1 结构划分及特点

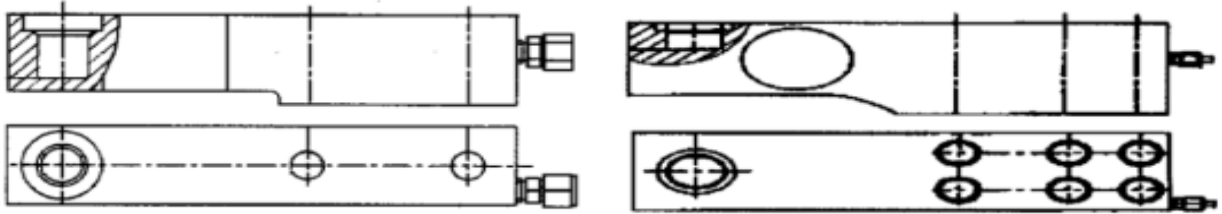


图2 剪切梁称重传感器

剪切梁称重传感器受到的偏心载荷影响小，可以承受大的侧向力，刚性好，安装高度要求低。但量程较大（30t 以上）的剪切梁称重传感器，会受到安装空间和安装条件严重制约，更换、安装以及维护难度大。我国煤炭行业，因为煤炭运输车辆的总重都较大，量程在30t 以上的电子汽车衡中，汽车衡称重传感器使用剪切梁结构的非常少见。因此，该类型称重传感器基本无法在煤炭行业中推广使用。

2.1.2 柱式称重传感器特点

柱式结构称重传感器量程范围比较大，但是该类型的称重传感器最大允许侧向偏载、最大允许倾斜和回复力在使用过程中均表现一般。煤炭行业的拉运车辆不光载重大，还伴随称重环境恶劣、使用频次高等情况，柱式结构的称重传感器并非最优

称重传感器按照其不同外形大致可分为剪切梁称重传感器、柱式称重传感器、双剪梁型称重传感器或桥式称重传感器，三种类型如图2、图3、图4 所示。

2.1.1 剪切梁称重传感器特点

择。

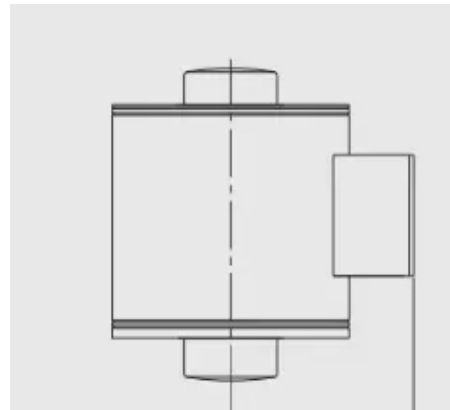


图3 柱式结构称重传感器

2.1.3 双剪梁型称重传感器或桥式称重传感器特点

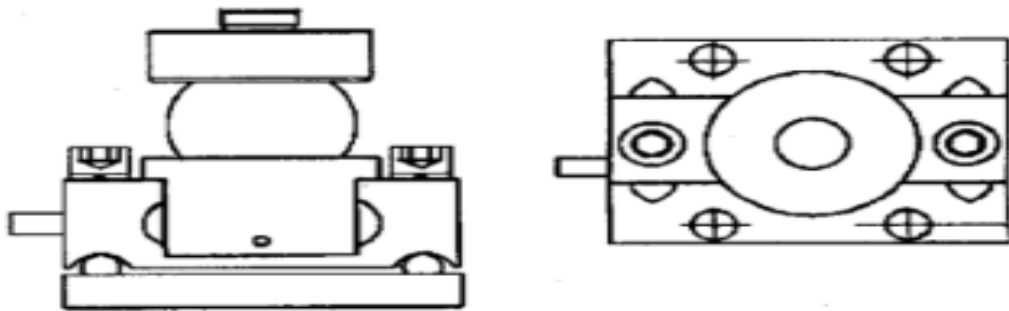


图4 双剪梁型称重传感器（或桥式称重传感器）

双剪梁型称重传感器主要采用钢球进行力值传递，相比柱式结构的凸弧面结构或凹弧面结构，要求更好的回复性，极大程度上避免了秤体晃动对称重传感器自身产生的不可逆损伤，同时能承受的自由摆动幅度相比柱式结构更大，不会出现因秤体大幅晃动而出现压头与传感器卡死，信号线缆损伤、夹断等现象。近年来通过技术革新，双剪梁型称重传感器体积尺寸得到进一步缩小，实现了一体化结构。通过不断改进完善，该类型称重传感器的安装使用更加方便，称重传感器在粉尘环境下的适应性得到显著提升。通过煤炭企业使用情况反馈，该类型称重传感器在煤炭行业的使用寿命比柱式结构更有优势。

2.2 输出信号形式划分及特点

我国电子汽车衡使用的各类称重传感器根据输出信号的形式一般分为模拟传感器和数字传感器。模拟信号是将源信号的一些特征未经编码直接通过载波的方式发出，是连续的。数字信号则是通过数学方法对原有信号进行处理，编码成二进制信号后，再通过载波的方式发送编码后的数字流是离散的。

2.2.1 模拟称重传感器

可以输出与称重传感器所受作用力成正比例的电压（模拟量），输出的是模拟电压信号，需要地磅称重仪表进行转换，变成可视化的称重数字。模拟称重传感器的称重系统利用就地接线盒把多路信号汇总成一路信号输出，每个称重传感器的信号无法独立辨别，可靠性差。单个称重传感器出现故障，无法通过称重仪表在线故障定位。

2.2.2 数字称重传感器

可以通过数字量形式输出称重传感器所受作用力，把A/D转化的过程集中到了传感器内置芯片里，但是仍然需要数字仪表进行运算处理及显示。数字称重传感器可以对自身状态诊断反馈，仪表可在线监测各个数字称重传感器运行状况，整个称重系统可以实现无接线盒串联式的信号传输。数字传感器对比模拟传感器可以轻松解决大皮重小称量等难点问题。

对比模拟称重传感器和数字称重传感器，显而易见，数字传感器要优于模拟传感器。

2.2.3 优势主要体现在以下几个方面

(1) 精度提升

模拟式称重仪表存在“敏感区”的缺陷，数字式称重仪表直接处理数字信号，能有效避免该缺陷。数字式称重仪表的抗干扰能力、现场适应能力、高精度计量能力都优势明显，为高计量精度的称重系统实现提供了可能。

(2) 智能化程度提升

数字式汽车衡仪表可以准确判断单个称重传感器故障，实现智能线性修正、自动数字化角差修正，以及单个称重传感器测量状态显示等功能，更加便捷智能。

(3) 抗干扰防作弊能力提升

数字称重传感器输出数字信号，避免了微小信号连续变化波动中易受到干扰的缺点，数字信号处理范围大于模拟信号，能有效避免称重过程中作弊的可能，安全性得到提升。

3 实际应用案例分析

举例华能煤业下属的某煤化工企业的电子汽车衡升级改造案例，结合电子汽车衡称重传感器在煤炭行业中应用的共性问题，就能够充分说明哪种称重传感器更适合在煤炭行业中推广使用。2018年以前，该煤化工企业的两台120吨电子汽车衡，每台配置的是8只柱式模拟称重传感器，在10多年的实际使用中，经过长时间的维修经验积累，发现是因为该类型柱式模拟称重传感器自身选型的原因，导致地磅秤经常出现称重不准、无法称重的情况，特别是在冬季气温低、运输车辆多的时候，无形中更是增加了现场检修作业开展的难度。

3.1 柱式模拟称重传感器主要存在如下问题

3.1.1 限位间隙不易调节

柱式结构的称重传感器对地磅秤限位要求异常严苛，季节变换热胀冷缩，以及剧烈撞击等原因，都会造成地磅秤原有限位大小的改变。当地磅秤限位过大时，磅秤过磅时摇摆幅度变大，极易造成称重传感器倾斜幅度过大、磨损严重、称重后无法复位等异常情况，会导致地磅秤称重计量不准确、重复性差等问题。地磅秤限位过小又会造成磅秤秤体和引坡顶板刷蹭，称重仪表显示不能回零，以及磅秤称重计量偏差大等问题。

3.1.2 接线盒受潮、信号线缆损伤

由于柱式模拟称重传感器专用接线盒的存在，地磅秤称重过程中故障频繁出现。尤其在雨雪天气，放置在户外的接线盒会因为潮湿的空气侵入，造成称重仪表显示的重量数值跳动，造成磅秤无法正常使用。柱式称重传感器的出线部分也会因为其传感器自身来回晃动、旋转等复杂现场状况，造成信号线缆破损、拉伤、夹伤的情况，接线盒内称重传感器信号线缆密集汇聚，破损线缆线头互相搭接，地磅秤经常出现称重信号错乱，导致磅秤无法正常使用。

3.1.3 煤泥堆积、低温结块

连接件间隙、称台大梁、端板下方煤灰长时间的堆积，在低温潮湿环境中冻成硬块，甚至将柱式模拟称重传感器专用接线盒埋入其中，使称重传感器不能正常工作，造成偏载误差大，磅秤无法正常

过磅使用。

3.1.4 个别称重传感器故障、维修耗时费力

该煤化工企业的汽车衡为三段秤台，由8只称重传感器构成。如果个别称重传感器性能下降无法满足计量精度要求，现场要将其排查出来十分困难，甚至需要返厂检测，常常需要厂家相关技术人员及时到达现场协助开展相关检修作业。

基于以上原因，国内某电子汽车衡厂家主动联系该煤化工企业相关技术人员开展技术攻关研讨，最终确定对现场原有地磅秤进行技改，在保留原有秤体的前提下，将原有柱式模拟称重传感器更换为新型数字串联型传感器。该称重传感器结构型式为球形桥式结构，并配备智能诊断技术，在异常情况下可将有问题的称重传感器按编号地址直接显示在智能汉显称重仪表中。更换前后传感器结构外形对比如图5所示。

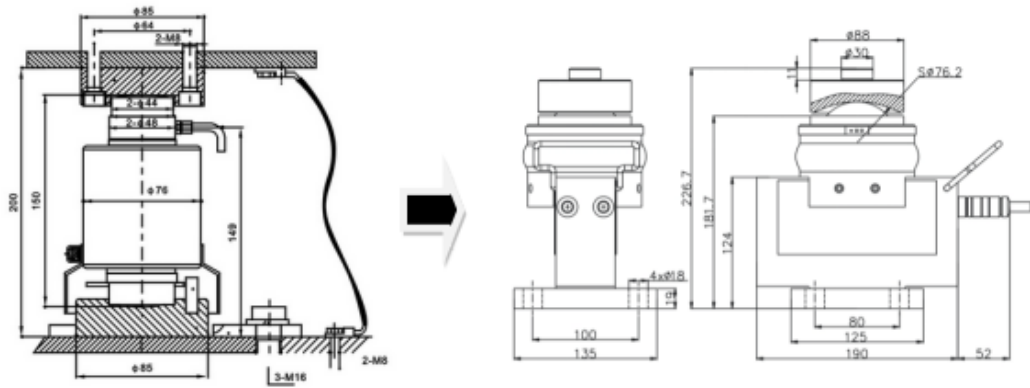


图5 更换前后传感器结构外形对比图

表1 柱式模拟称重传感器参数表

额定称量	30t	灵敏度温度系数	$\leq 0.002^{\circ}\text{C}$	建议激励电压	5~15V(DC/AC)
灵敏度	$2 \pm 0.002\text{V/mV}$	零点温度系数	$\leq 0.002^{\circ}\text{C}$	最大激励电压	20V(DC/AC)
不重复性	$\leq 0.01\%$	工作温度范围	$-20\sim+65^{\circ}\text{C}$	安全过载	150%
滞后	$\leq 0.02\%$	温度补偿范围	$-10\sim+40^{\circ}\text{C}$	极限过载	300%
非线性	$\leq 0.01\%$	输入阻抗	$1160 \pm 10\Omega$	防护等级	IP68
蠕变(30min)	$\leq 0.02\%$	输出阻抗	$1000 \pm 3\Omega$	电缆长度	13m
零点输出	$\leq 1\%$	绝缘电阻	$\geq 5000\text{M}\Omega(50\text{V/DC})$		

表2 桥式数字称重传感器参数表

技术参数	单位	数字式串联传感器
精确度等级		C3
额定载荷	kg	40000
温度对零点影响	%ofCn/10K	± 0.088
灵敏度	mV/V	2.0
灵敏度误差	%ofCn	-10%~+10%
温度对灵敏度影响 +20℃ ~ +40℃ -10℃ ~ +20℃	%ofCn/10K	± 0.0130 ± 0.088
非线性误差	%ofCn	± 0.0173
滞后误差	%ofCn	± 0.0173
蠕变及蠕变恢复 (30min)	%/30min	± 0.0210
连接方式		RS-485 串联
零点平衡	mV/V	≤0.05
额定温度范围	℃	-10 ~ +40
工作温度范围	℃	-30 ~ +70
存储温度范围	℃	-40 ~ +80
安全承载	%ofEmax	150
极限承载	%ofEmax	300
保护等级 (IP)		IP68
材料		17-4PH

在本案例中，该煤化工企业在使用桥式串联的数字式称重传感器代替原有柱式模拟称重传感器后，有效解决了之前地磅秤故障频发的问题。通过加强现场维护，在升级换代后的4年时间里，两台改造过的地磅秤均实现了地磅秤零故障运行，不但为地磅秤正常过磅计量保驾护航，还极大的降低了检修备件消耗，降低了地磅秤相关检修人员维护工作强度，很好地提高了企业经济效益。

3.2 桥式数字式称重传感器使用中有下列优点

(1) 桥式数字传感器设计科学，使用安全稳定。

桥式数字传感器可有效避免强电（如电焊）干扰和浪涌（如雷击）影响，确保了称重传感器的正常工作，加强了地磅秤安全性和稳定性。

(2) 桥式数字传感器具有优秀的故障报警提示功能。

可以提前通过仪表观察了解称重传感器的工作状况，发现某个称重传感器可能出现故障时，可自

动报警，提前预判称重传感器故障，及时处理消除故障发生苗头，能有效避免因磅秤故障造成的煤炭拉运车辆无法正常过磅计量情况出现的可能。

(3) 桥式数字传感器环境适应能力强。

地磅秤改造后有效减少现场故障的出现，降低了检修人员现场劳动强度。只需对改造后的地磅秤开展简单的日常清扫维护，就可有效避免因气候变化、高频次的使用、粉尘堆积等原因对地磅秤造成的影响。

(4) 桥式数字传感器角差容易调整。

原来模拟称重传感器组成的称重系统，因为要将所有称重传感器信号汇总至地磅秤接线盒再汇总成一路模拟量信号进行输出，导致多路称重传感器信号无法有效辨别，地磅秤调试时需要反复调整角差，用来提升过磅精度。而由数字称重传感器搭建的称重系统，称重仪表可以直接解读取每个称重传感器受力情况，只需要一次加载就可以完成角差调校，现场调校工作开展更加简便高效。

(5) 桥式数字传感器传输距离远，防作弊功能强。

模拟称重传感器输出信号小，易受干扰，线缆的电阻会造成传感器信号衰减。数字称重传感器的信号不易受到干扰，按照现场总线通信协议传输，通信信号强，纠错能力强，通信协议保密，无法对称重系统进行作弊。

通过本案例，我们可以得出如下结论：在煤炭行业的汽车衡称重传感器选择方面，数字式串联型通信方式以及桥式的结构特点，都能很好地满足煤炭行业对煤炭拉运车辆称重计量需求。

4 结语

随着称重传感器技术的快速发展，电子汽车衡在各行各业中的应用更加广泛，不同产品具有不同的特点，根据应用场合的不同，对称重传感器的选型至关重要。针对煤炭行业的实际应用环境和特点，结合本文中对不同称重传感器类型和特点的介绍，以及实际应用案例分析，我们可以分析出煤炭行业的电子汽车衡用户，选择球形桥式串联的数字

型称重传感器是一个不错的选择。

参考文献

- [1] 朱炜淋, 杨青锋. 基于称重传感器在电子汽车衡中应用的探究[J]. 衡器, 2011,40(04):15-18.
- [2] 李国岁. 汽车衡称重计量的数字改造及应用——以中石化南阳石蜡精细化工厂为例[J]. 科技与企业,2015(02):240.
- [3] 傅建红, 胡绍忠. 一种新型、实用性电子汽车衡的研制[J]. 中国农机化, 2010(03):91-93+109.
- [4] 夏国民. 应变式力与称重传感器非线性补偿案例[J]. 衡器, 2023,52(10):14-15+30.
- [5] 沈立人. 电子衡器静电环境下多个案例分析[J]. 衡器, 2023,52(10):5-8+25.
- [6] 李怀新, 张小华, 李志彬. 电子汽车衡典型故障处理方法及点检维护要领[J]. 衡器, 2022,51(12):22-25.
- [7] 刘九卿. 电子汽车衡的定位限位装置及其力学分析[J]. 衡器, 2022,51(07):9-17.
- [8] 袁浩, 王发珍. 人工智能在衡器自动化中应用现状与趋势分析[J]. 衡器, 2021,50(10):4-8+19.

作者简介

杨一平（1982.06-），男，机电工程师，本科，研究方向为机电设备长周期稳定运行、智能化工业控制平台及无人值守系统。