

# 关于耐高温称重技术的探讨

余姚市通用仪表有限公司 罗伏隆、孟如荣

【摘要】近年来，随着冶金、化工、铸造工业的迅速发展，带动了耐高温称重计量的国产化发展。高温环境下的称重计量给设计与操作提高了难度和要求。耐高温称重技术，需要重点解决称重传感器、承载秤体装置、称重信号传输的耐高温难题。虽然国内耐高温称重技术得到了较好的发展和应用，并取得了相应的成果，但还存在一些关键技术和问题有待去突破。这也将是称重计量领域需长期攻关的课题之一，有待称重计量工作者继续探索与攻关，特殊性环境的称重技术研发，任重道远。

【关键词】 称重计量；高温环境；耐高温称重传感器；制造工艺；称重信号传输；应用技术

## 一、概述

耐高温称重计量技术，是近年来我国衡器称重技术领域的技术攻关方向之一。近年来，随着冶金、化工、铸造工业的迅速发展，带动了耐高温称重计量的国产化生产发展。而以“高温环境”为主的恶劣条件及电子材料的温度特性，限制了耐高温称重计量技术的发展速度和质量。所以，耐高温称重计量技术，将是称重计量领域需长期的攻关课题之一。

电子称重设备因电子元器件受允许工作温度影响的限制，一般只允许在  $0 \sim +40$  条件下长期工作，军工级的电子设备的工作温度也只能在  $+70$  以下。

特殊性高温环境，如冶金企业的炼钢钢水包计量、铁水包计量、钢水包行车计量、热送焦炭计量、热送烧结矿计量、红送钢坯计量、线材轧制在线计量等的环境温度都较高，电子衡器设备所处的现场环境温度超出  $+70$  及以上，高温环境下的称重计量给设计与操作提高了难度和要求。

## 二、高温环境称重的特征认知与计量设计难点

高温环境条件下，往往是环境温度高，尘土多、各种湿汽多、噪声大、干扰大。

高温环境影响计量运行的主要不利因素有：

(1) 环境温度高于  $70$  以上甚或更高。如钢水温度高达  $1650$  左右，钢水包称量装置的环境温度达到  $200$  以上；称重传感器要求耐高温  $\geq 200$  以上，现场信号传输电缆要求耐高温  $\geq 250$  ；

(2) 使用环境差，干扰多，传感器采集的重量信号传输困难。称重信号要有有效的特殊性传输方式和抗干扰能力；

(3) 称重显示仪表因电子元器件工作温度限制，须远离高温区；

(4) 温度高，热幅射强，甚至有钢水钢渣溢出，器件与电缆容易被烧损；称重传感器与信号电缆安装必须具有防烧损设计；

(5) 高温环境中需计量的往往是笨、大、黑、粗物件，载重吨位大，冲击力大，称重传感器容易受损；秤体须抗冲击力强。

(6) 高温环境中的计量，往往是在移动中计量，操作时间短，须要快速操作，要求快速准确，要求称重信号的采集要响应快速。

(7) 高温环境温度梯度变化大，如钢水（铁水）包计量，当钢水（铁水）加入后，会使承载钢（铁）水包计量的称重传感器的环境温度迅速上升，具有较大的温差不确定性，这可能是高温环境影响计量器具的最大威胁。

高温环境影响因素的存在，给计量带来高温幅射、温变梯度大、各类干扰、钢水飞溅和溢出、重力冲击、不稳定性的影响。给高温环境现场计量的设计与操作带来较大的难度。

### 三、耐高温称重技术研究开发的模式与内容

我国冶炼企业为了解决高温环境下的物料计量，多年来依靠从国外进口耐高温称重传感器或全套耐高温称重装置。而进口国外的压磁式传感器，精度低，可靠性差，而采用国外的电阻应变式称重传感器，不但价格昂贵，而且供货备件困难，严重影响生产。所以近年来我国的传感器企业与冶金企业共同开展了耐高温称重传感器及耐高温称重装置的技术攻关工作。

#### (一) 我国耐高温称重计量技术发展的基本模式

1、耐高温称重，是近几年发展起来的一项专用技术；近年来国家和地方科技部门对适用于高温等恶劣环境用传感器的设计生产与检测研究也十分重视。

(1) 高温环境检测产品被纳入“国家高新技术产品目录”；《国家重点支持的高新技术领域》中的《高新技术改造传统产业》中的“面向行业和重大工程配套，智能化的专用传感器技术”，则属于此类技术创新的指引。

(2) 宁波市在 2002 年就对余姚市通用仪表有限公司设计生产的“HSB 钢包电子秤”认定为宁波市高新技术产品；

(3) 宁波市在 2006 年对“智能型耐高温电子称量装置”立项为宁波市创新基金项目。

#### 2、我国耐高温称重计量技术发展的基本方式

近年来国内耐高温称重计量技术发展的基本过程是：企业（冶金）根据高温恶劣环境的急需计量提出需求 委托国内传感器厂家利用耐高温应变计设计生产制造耐高温称重传感器 配套设计制造耐高温秤体 设计高温环境特殊性的称重信号采集传输方式 配上称重显示仪表 形成耐高温电子称量装置 完成高温环境称重计量。

#### (二) 耐高温称重技术需研究开发的主要项目内容

耐高温称重技术，需要重点解决称重传感器、承载秤体装置、称重信号传输的耐高温难题。

1、称重传感器，是称重计量装置的核心元件。耐高温称重技术，首要的是需解决称重传感器

的耐高温难题，设计生产制造耐高温称重传感器。重点是耐高温称重传感器制造工艺方法研究，以保障称重传感器在恶劣使用温度环境下，长期高温热幅射，环境温度梯度变化或瞬变时，能保持称重传感器的准确度与稳定性。

2、承载器秤体装置的耐高温设计制造。秤体装置，是电子称重的承载器。高温环境用称量装置，除选用耐高温称重传感器之外，还须有特殊性的防高温、防烧损、防冲击的特殊设计与工件的特殊制造以及补偿手段等技术措施。

3、研究高温环境称重信号的特殊性采集与传输方式。高温称重传感器的使用环境一般都非常恶劣，如何将高温区电子秤的称重信号传输到常温区进行处理和显示，是耐高温称重技术研究的重要内容之一。

#### 四、耐高温称重传感器

耐高温称重传感器，是耐高温称重计量的核心部件。耐高温称重传感器的研发制造，是耐高温称重技术的首要攻关技术。

##### （一）高温称重的机理

称重传感器的工作原理，是由外力作用导致弹性体微应变，使桥路电阻发生变化，从而导致电压输出变化，其中，弹性体及应变计是一个力敏载体。对于高温环境用称重传感器，弹性体及应变计不但是一个力敏载体，同时也是热敏元件。

1、称重传感器，是一个力敏器件：外力作用 弹性体微应变 应变计微应变 桥路电阻变化 电压（电流）输出变化；

2、弹性体热敏效应，对弹性体加热时，其温度升高，对弹性体也会引起与力的作用同样的变化：对弹性体加温 弹性体膨胀 应变计微应变 桥路电阻变化 电压（电流）输出变化；

3、温度对弹性模量也有一定影响：对弹性体加温 弹性模量变化 弹性体应变加大 应变计微应变加大 桥路电阻变化加大 电压（电流）输出变化加大；

从上述原理看，应变式称重传感器弹性体（含应变计）既是一个力敏载体，又是一个热敏元件。

而耐高温称重重要解决的关键要点，在于克服或减小高温环境温度对称重传感器的影响程度。

##### （二）耐高温称重传感器制造工艺

耐高温称重传感器，其工作原理与常温电阻应变式称重传感器相同，不同之处主要在于采用自动补偿的耐高温应变计、耐高温粘结剂、耐高温焊锡与耐高温电缆，采用了系统的温度补偿、特殊性的工艺处理和补偿元件。

#### 1、材料选用工艺

##### A、电阻应变计选用

采用具有温度自补偿功能的玻璃纤维网格加固式卡玛片；工作温度： $-196 \sim +250$ ，补偿温度： $+10 \sim +250$ ；如美国威世 MM 公司的高温型传感器用电阻应变计，其性能特点如下：

测量温度范围：静态： $+205$ ，动态： $+260$ ；

材质：改性卡玛合金；

工艺：栅丝复盖；

寿命：疲劳寿命  $10^8$ 次；

粘贴胶：Mbond450 高温胶水。

#### B、弹性体材料选用

采用热敏系数较小的铬钢，如 40CrNiMoA，1Cr18Ni9Ti。选择合适的弹性材料，保证其弹性模量在  $0 \sim +250$  范围内总体性能稳定可靠。弹性体结构设计，应保证工作应变片之间空间距离尽可能地集中于一点，以减少温度梯度下引起的零漂。

C、耐高温应变胶，采用耐高温应变计生产厂家对应推荐的粘胶。粘贴高温应变计的粘胶，必须能耐高温，具有高粘合性，高绝缘性和优良的蠕变特性。

#### D、耐高温焊锡、引线和电缆

高温焊锡，熔点 $\geq 280$ ；高温引线，对应变计的特性，灵敏度，零点温度漂移等影响较大。应选用电阻率和电阻温度系数较小，有足够的绝缘电阻的引线；

高温电缆价格昂贵，选用时，应根据实际测温现场，确定电缆长度。

### 2、温度补偿工艺

#### A、零点温度补偿，

耐高温称重传感器制造，虽然选用了能对温度进行自补偿的电阻应变计，使应变计在高温环境下工作时，几乎没有热输出或热输出很小。但是，耐高温称重传感器的零点输出随温度，特别是温度梯度的影响，零点输出随环境温度变化还会有所变化，因此，还必须对耐高温称重传感器逐一进行零点温度补偿。

根据测试经验数据，耐高温称重传感器的高、常温的零点输出差值大于  $40\mu\text{V}$  时，则需对其进行零点温度补偿。

#### B、灵敏度温度补偿

称重传感器弹性元件材料的弹性模量（E）随着温度而改变，变化的结果使得称重传感器的输出信号变化，即会产生称重传感器灵敏系数的温度影响。

应变计的灵敏系数在常温下是一常数，在高温环境中，由于敏感栅材料的灵敏系数、粘贴剂和基底材料的传递变形能力都会随温度发生变化。因此，必须对高温称重传感器逐个进行弹性模量补偿。在实验操作中，按每隔 50 设一个测试补偿点，最大限度地模拟实际工况测试各项数据，对各点进行灵敏系数温度补偿。

补偿与组桥焊接方式均为高温焊锡焊接，电烙铁焊接温度应调至 300 。

3、通过对材料的选择和温度补偿工艺，材料热胀冷缩十分接近，降低材料对称重传感器零点漂移的影响，降低弹性体、应变计及高温应变胶的弹性模量对应变计灵敏系数的影响，减小温度升高引起的电压输出变化，提高称重传感器在长期高温热幅射，环境温度梯度变化或瞬变时，能保持

称重传感器的准确度与稳定性。

### 五、耐高温称重的现场应用技术

钢铁冶金企业，是比较典型的高温生产环境。为了适应高温条件计量的需要，解决高温计量难题，冶金企业与衡器仪表企业进行了一些有效的探索。

#### （一）耐高温称重电子秤的高温环境特征

高温环境中需计量的，一般都是笨、大、黑、粗、热的物件，如钢水包、铁水包、钢坯、钢材、热焦炭、热球矿等。其特征是，温度高，冲击力大，热量大，灰尘多。

如钢包电子秤，结构形式多样，但一般都是在钢包支承座底下设计一台特殊结构的电子秤，使钢包落在左右两只底座支承的电子秤秤架上。

钢包电子秤结构设计制造时，需重点考虑如下因素的影响：

1、在吊运过程中，由于行车操作室离地面较高，降落时凭经验操作，有时会造成较高落差，对秤体冲击很大。

2、行车吊运钢包，属于高空作业，钢包支承耳落入电子秤支承座内的难度较大。

3、在现场实际使用中，钢包一般都没有加盖，电子秤安装位置的温度很高，可达 200 左右。

#### （二）抗冲击防护

1、选用具有抗垂直冲击和抗水平冲击，受力好的称重传感器。此类电子秤一般都为工艺计量秤，对精度要求不高，在选择称重传感器时，可尽量采用大量程传感器。这样可提高电子秤的总体抗冲击能力，延长称重传感器使用寿命。

2、秤体设计采用模块式结构

专利技术模块式秤体，专利号：ZL200920118451.X。秤体由一组长方体钢结构件焊接组成，内部安装称重传感器，秤体外形尺寸根据现场实际需要确定。秤体内设有导柱导向和限位装置，保证称重传感器不受侧向力冲击，称重受力垂直准确。秤体模块如图 1。



图 1 HSB 钢包电子秤模块秤体

3、引导导向架

当行车龙门吊钩吊着庞大的钢包，放置到秤体位置时，行车操作者在几十米外凭目测进行操作，如果秤体周围不设置引导装置，要使钢包准确地进入秤体位置，是比较困难的。需在秤体左右设计安装导向装置，引导导向架固定于秤体两侧。

引导导向架的顶部制作成一定斜面，给吊运操作者一个明显的参照标志指示。当钢包包耳接近导向架时，斜面带动包耳顺利进入秤体，提高操作安全性，同时又可保护秤体和称重传感器。

引导导向架在斜面的作用下，迫使钢包向中心靠近，最后座落到承重梁上。

### (三) 密封式结构的称量箱

称重传感器安装在全密封箱体内部，高温信号电缆全部进入金属导管，防止钢水钢渣溢溅时烧损称重传感器与信号电缆。钢包电子秤的高温威胁，主要来自钢水外溅及钢包内高温钢水 1600 左右的高温辐射，以及钢包包壁的自身温度对秤体的传导。在秤体周围要设置防钢水溅射隔热板，称重传感器引线由秤体中间引入到线管内，进行双重防护。

### (四) 耐高温称重信号传输

称重显示仪表及各种变送器，因电子器件受允许工作温度的影响限制，一般只能在 0~+40℃ 条件下长期工作。如何将高温区电子秤的称重信号传输到常温区进行处理与显示，是一个必须解决的重要问题。

高温环境称重，除选用耐高温称重传感器、接线端子、引线、专用电缆等特殊元件外，还必须采用特殊制造工件、补偿手段及多种传输方式来保障称重信号的准确可靠传送。

1、由于模拟式称重传感器输出信号小，抗干扰能力差，传输距离短。称重信号要进行数字化处理，提高抗干扰能力，提高信号传输距离。

2、采用无线传输方式

在行车吊车称重计量、钢包炉前称重信号有线传输有困难的地方，可采用无线传输接收方式。称重数据无线传输装置，由称重数据发射机和称重数据接收机组成，传输距离 $\geq 500\text{m}$ ；称重数据无线传输发射与接收方式原理如图 2。称重数据无线传输装置，产品实物如图 3。

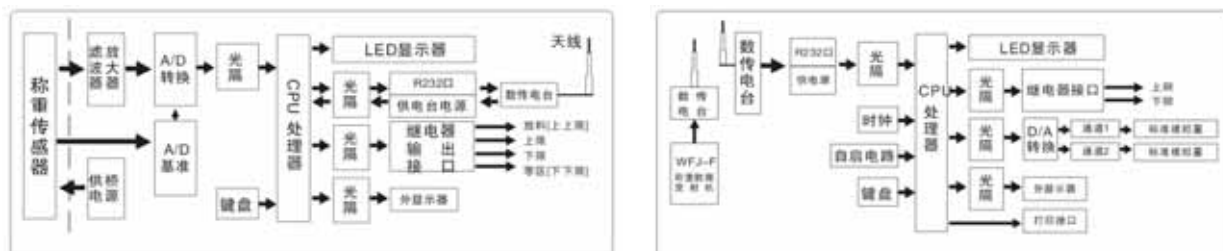


图 2 称重数据无线传输原理图



图 3 称重数据无线传输发射与接收装置

### 3、专用信号转换传输装置

对于旋转设备，称重传感器信号线会被缠绕，信号无法进行有线传输。如炼钢回转炉钢包电子秤，工作中是 360°旋转，称重信号无法直接传送，则需设计专用信号转换传输装置。

### 4、称重信号电气联接处理

- (1) 信号电缆线应采用耐高温电缆；
- (2) 信号电缆线应远离强电电源及其它强干扰源；
- (3) 信号电缆线应采用防高温、防水导管保护；

## 六、耐高温称重技术的成果与存在的问题

**(一) 经过近十多年的努力，国内耐高温称重技术得到了较好的发展和应用。据有关资料报告，国内耐高温称重技术取得了相应的专利学术成果、标准规程成果及现场应用成果。**

在专利学术方面，由余姚市通用仪表有限公司申请和获得的发明和实用新型专利有：一种高温环境用称重传感器的制造方法，专利号：ZL200710164758.9；适用于钢包电子秤的带缓冲模块的称量装置，专利号：ZL200920118451.X；轧制力传感器，专利号：ZL201020049997.7。

在标准规程方面，2003 年 3 月，在国内首次起草发布了 JJG（浙）68—2003《高温负荷传感器地方计量检定规程》，该规程由当时的浙江省衡器管理所与余姚市通用仪表公司共同起草。经浙江省质量技术监督局批准发布，使高温称重传感器的检验校准有了基本规范。

2007 年开始，中国衡器协会全国衡器标准化技术委员会从标准入手，组织制定标准来规范高温称重传感器制造。行业标准《高温称重传感器》，于 2009 年形成草稿，并在国内行业征求讨论，目前仍在讨论审批中。

在实际应用方面《智能型耐高温电子称量装置》2006 年 5 月被批准列为宁波市创新资金项目，2008 年 6 月通过验收，2009 年该项目被评为余姚市科技进步二等奖。

HSB-A-450t 大型转炉出钢车称量装置在上海宝钢三炼钢厂安装应用，现场安装实景如图 4。在此基础上，耐高温称量装置在国内各大钢厂不同程度地开展了推广应用。



图 4 HSB-A-450t 大型转炉出钢车称量装置安装现场

## （二）问题探讨

耐高温称重技术，虽已取得不少成果与成功，但此类技术要实现根本性的突破，还有待艰难地去探索。

### 1、耐高温称重计量产品的“高温”界定问题

《高温称重传感器》行业标准讨论稿提出：“本标准适用于试验温度在+20 以上但不高于+200 的电阻应变式称重传感器。对该类传感器简称高温称重传感器，(以下同)。”

到底温度高到什么程度才算是“高温”？在电子产品技术领域，目前大部分电子产品适应的允许工作环境温度是+45 以下，也有规定+50 以下的，军工级电子产品也只能达+70 。电阻应变式称重传感器也属电子产品。

而在高温称重应用中，有+200 及以上高温环境，还有湿气，甚至还有+300 以上，同时有其它气体的环境，也在寻求称重计量解决方案。定义多少度才是“高温”，存有争议。

### 2、电子材料的“耐高温性”对高温称重技术的制约问题

高温称重技术的核心，是耐高温称重传感器，耐高温称重传感器的核心是电阻应变计。电阻应变计的机理在目前技术条件下，所谓的高温应变，是非常有限的。就目前国外技术表明，电阻应变计的最高耐高温特性是+260 (动态)，而国内还未能见有此技术指标过关。国产的相关的应变计粘胶、电缆、组桥引线、补偿引线、焊接焊锡等耐高温特性也没突破。

### 3、制造工艺对耐高温称重传感器质量的制约问题

我国电阻应变式称重传感器生产工艺存在的问题主要在于：手工操作与人工控制成份大，人为的因素对产品质量影响较大，生产效率低，难以适合多品种、大批量生产。手工操作的制造工艺，最大的问题是重复性、一致性差。对于“耐高温称重传感器”的耐高温程度，关键是应变电路对“高温”条件的“反应应变”能力，在电阻应变计现有材料与制造技术条件下，“高温称重传感器”的“高温应变”能力，关键是依赖于称重传感器的制造工艺。加强“耐高温称重传感器”工艺技术规范和改进，很有必要。

### 4、耐高温称重传感器出厂前的“高温试验”与使用现场的差异问题

温度梯度变化的不确定性，是高温环境影响计量器具的最大威胁。由于称重传感器的现场使用温度区间较大(行标稿 :+20 ~+200 )，而温度梯度往往是造成称重传感器数据超差的最大杀手。

所以能满足“实验室试验”状态下的称重传感器，不一定能满足现场的要求。工艺计量电子秤，首先应将满足用户现场需要放在首位。

5、“耐高温称重传感器”，如果要形成标准进行规范生产的话，可能有不少问题需要实验、探讨与商榷。

因为“高温称重传感器”不是一种常规计量产品，主要用于“高温”环境工艺计量。只是一种有特殊性要求的非常规计量产品，只有一个所谓“高温”的适应要求，其它指标都是常规的。这类产品要形成国家标准，必要性不强，或条件不成熟。其技术结构原理仍是电阻应变式机理，称重传感器的



其它指标，已有现行国家标准（GB/T7551）。

#### 七、结束语

耐高温称重技术，在我国发展应用已有十多年的历史。在发展应用过程中，虽已取得了不少的成果和成功，但终究还是发展缓慢，存在不少关键技术有待去突破。耐高温称重计量技术，是近年来我国衡器称重技术领域的技术攻关方向之一，也将是称重计量领域长期的攻关课题之一，有待称重计量工作者继续探索与攻关。特殊性环境计量，任重道远。

#### 主要参考文献

- 1、中国衡器协会《高温称重传感器》行业标准讨论稿。
- 2、刘九卿：中国衡器协会专业技术培训教材“电阻应变式称重传感器”：高温应变式称重传感器技术与关键工艺。
- 3、张益平：《250 高温称重传感器及其应用》，《衡器》1998 年 03 期。
- 4、发明专利《一种高温环境用称重传感器的制造方法》ZL200710164758.9。
- 5、罗伏隆：《耐高温称重计量方案设计探讨》，《衡器》2008 年第 3 期。

#### 作者简介

罗伏隆，华南理工大学毕业，高级工程师，中国衡器协会技术专家委员会委员，从事计量控制与计量管理研究方向。

电话：13867825699，0574-62736258

电邮：hnhylfl@126.com

单位：余姚市通用仪表有限公司

地址：浙江省宁波余姚市明伟村荣达路 30 号，邮编：315400