

# 连铸机大包称量系统耐高温研究

□郑建忠 陈翔

(广东中南钢铁股份有限公司, 广东韶关 512123)

**【摘要】**分析连铸机大包称量特点及在高温称重传感器、称量箱、输出信号传递等方面使用的防高温技术。提出一种由光纤称重传感器、钢包光纤称量箱、光开关、光电检测器等组成的钢包光纤称量系统技术方案,通过称量箱温度调节、称重传感器温度补偿修正、光源稳定控制、分段参数标定等方法,以消除光纤称重传感器对温度的敏感性,提高称量系统耐高温性能。

**【关键词】**连铸机;大包称量;应变片;光纤光栅;光电检测

文献标识码: B

文章编号: 1003-1870 (2024) 02-0012-06

## 引言

连铸机大包称量系统是指导连铸坯生产的重要系统之一,随着连铸自动浇钢技术的应用,根据大包钢水的实时重量,调节出口滑板的开度,控制进入中间包钢水的速度和重量,稳定中间包钢水的液位,达到连铸机浇钢平台无人化,可靠的称量系统,对连铸机生产的作用越来越明显。

连铸生产过程环境条件恶劣,称量系统面临大包钢水热辐射的同时,中间包钢水热辐射也在起作用,称重传感器工作温度可达200℃以上的高温。连铸机大包回转台可左右或者360°转动,当行车从空中将重量达百吨以上钢包座包到回转台支承大臂时会产生很大的冲击力,钢包中的钢水、钢渣也有可能发生外溢等情况,这些对重量传感器和信号电缆都会造成严重的威胁。

连铸机大包称量系统上述特点,导致容易损坏、维护困难、没有很好的在线校准方法。因此,如何克服钢水高温的考验是连铸机大包称量的一个课题。本文分析了现有大包称量系统耐高温技术应用,提出一种耐高温光纤称重传感器及重量测量系

统。

## 1 大包称量系统简介

连铸生产工艺过程示意图1,回转台大包支承臂上安装了重量传递机构、称重传感器、称量装置缓冲系统、信号传输装置等,这些共同组成了大包现场称量装置,现场称量装置与重量仪表(变送器)、大屏幕显示器、PLC(计算机)等组成大包称量系统。大包现场称量装置处于高温钢水包围的环境中,其具体结构如图2所示。

大包称量系统存在钢包座包难度大、座包时有巨大的冲击力、钢水高温辐射等问题,因此对比普通称量装置其结构相对复杂。

### 1.1 重量传递机构

在回转台大包支承臂上设置的钢包导向装置,使座包时钢包包耳沿斜面准确入位。导轨、导套、导轨座等组成水平限位器,确保载荷能够准确地传递到称量传感器上,克服座包过程碰撞、偏载、回转台旋转等产生的水平冲击力,减少支承臂水平挠动及热胀冷缩对称量的影响。前矮后高搭配的撞顶限位器的作用,除防止钢包撞击重量传递机构外,

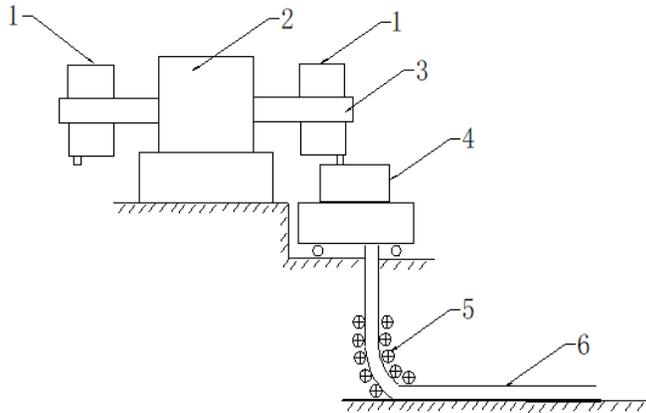


图1 连铸生产工艺示意图

1 大包（钢包） 2 钢包回转台 3 支承臂  
4 中间包 5 冷却段 6 钢坯切割

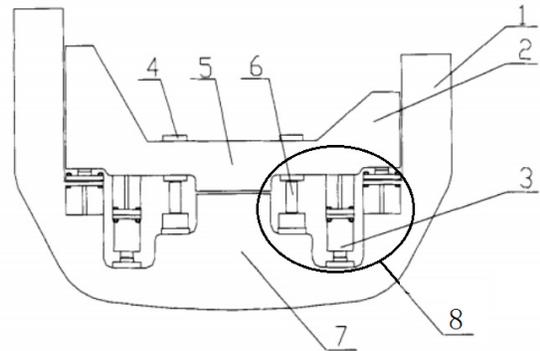


图2 大包现场称量装置

1 撞顶限位器 2 导向装置 3 水平限位器  
4 传感器承载压头 5 大包支承臂  
6 称重传感器 7 回转台称重底座 8 称量箱

对钢包座包过程也有导向作用。

在抗垂直冲击力方面可采用销轴限位<sup>[1]</sup>、碟簧缓冲<sup>[2]</sup>、液压缓冲<sup>[3]</sup>等多种形式，保护传感器不被过大冲击载荷损坏。

### 1.2 称重传感器

试验数据表明，连铸生产中称重传感器承载压头及环境温度可从160℃上升到210℃<sup>[2]</sup>，称重传感器要保证在200℃以上的高温条件下也能正常工作，采用双球面摆杆式<sup>[4]</sup>或者强度冗余的平面凹槽桥式高温传感器有较大的抗过载能力。

### 1.3 信号传输

由于回转台旋转运动，大包左右支承臂上两组称重传感器的信号传输通常使用导电滑环或者集流环信号传输装置，以解决信号线缠绕问题。利用无线传输技术传输传感器信号，可更好解决测量信号传输问题。

## 2 主要防高温技术措施

大包现场称量装置的防高温技术是整个称量系统耐高温的关键，涉及到高温传感器、称量箱结构、高温电缆以及防高温材料的选型和配置等。

### 2.1 高温传感器

对于使用金属电阻体作为敏感栅的称重传感器，工作温度介于60℃~300℃之间，属于中温应变

计<sup>[5]</sup>。大包称重传感器的工作温度上限通常设定到250℃，用于大包称重传感器的应变片，主要采用卡马合金（也称镍铬改良合金）的敏感栅，如型号WK箔式应变片，使用温度范围在-269℃~+296℃<sup>[6]</sup>，卡马合金应变片灵敏系数随着温度升高其灵敏系数随之降低。当选用40CrNiMoA材料的弹性体时，其弹性模量随温度升高而降低，产生传感器输出增大的效应，这样应变片灵敏系数与弹性体弹性模量随温度变化的特性在电桥电路中起到相互补偿的作用，达到温度自补偿的效果。

除敏感栅外，高温称重传感器变片胶粘剂、保护面胶、焊锡、应变计连接线等也有相应的要求，以保证在250℃下能够保持性能。传感器还必须经过老化处理、焊接密封、零点温度补偿等环节，以提高传感器有良好的稳定性。

为减少高温对传感器的影响，在弹性体和外壳之间设计螺旋状等形式的风冷管路，达到降低传感器周围温度降低的作用也取得一定的成果<sup>[7][8]</sup>。

### 2.2 称量箱结构

如图2中8所示圆圈部分将重量传递机构包围起来，形成一个整体结构的称量箱，称量箱侧面留有传感器检修更换小门，这是保护传感器不受钢水的高温辐射和飞溅等影响的一个有效方法。

称量箱内包括承载器、称重传感器、称重传感器底座、承压头、缓冲弹簧、缓冲套、信号过渡接线盒、接线盒等<sup>[9]</sup>，含有连铸机大包现场称量装置的大部分部件。

不同称量箱结构上主要围绕承压头到传感器力传递方式、轴套限位器的形式、高温导套的材质、风冷措施等进行改进，以满足抗冲击、力传递好、耐高温等特点。

### 2.3 高温电缆

高温电缆应该选择250℃可长期正常工作的电缆。一些采用无机材料工艺的电缆有很好的隔热性能，如隔热层为玻璃布绕包+云母带绕包+玻璃纤维编织并涂覆耐高温漆的结构，再增加一层金属丝编织铠装，即可达到抗拉、抗侧压和更高的耐热度，可在500℃的高温条件下工作<sup>[10]</sup>。

### 3 钢包光纤称量系统

近年来人们在光纤称重传感器应用研究方面取得一些成果，如利用光纤微弯引起光功率损耗变化，建立光损耗与应变的关系，通过测量应变大小

的方法来获得重量的数据<sup>[11][12]</sup>。各种光纤光栅受到压力时，由于折射率和光纤长度的改变，光程就会随着变化，带来反射波长发生了 $\Delta\lambda$ 的变化，通过测量反射波长位移量 $\Delta\lambda$ 的大小来获得重量的数据等方法<sup>[13][14][15]</sup>。光纤具有耐高温、抗干扰能力强等特点，即使温度性能条件最差的光纤光栅传感器，也可以在400℃以上环境中使用。根据连铸机大包称量系统的特点，下面介绍一种能够克服光纤光栅测量中存在应变与温度交叉敏感问题的钢包光纤称量系统。

#### 3.1 光纤称重传感器

光纤称重传感器采用平面凹槽桥式弹性体，弹性体由上下两部分组合而成，可实现较好的弹性挠度，又有良好的超载限位作用。

如图3所示，在一个平面凹槽桥式弹性体A上表面蚀刻多条可容纳光纤直径一半以上的凹道，另一个与A同材质、上平面同面积的长方体弹性体B的一侧也同样蚀刻对称多条可容纳光纤凹道，将耐高温光纤按C顺序循环布置在A表面凹道内，布置光纤前在A、B凹道内先涂抹少许耐高温粘合剂。

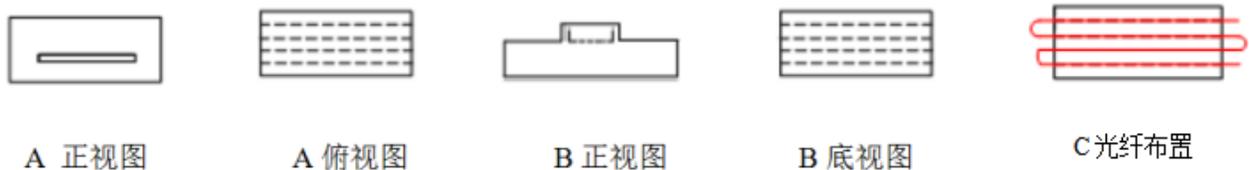


图3 传感器弹性体

布置完光纤的弹性体A上表面涂抹少许耐高温粘合剂，对称覆盖上弹性体B，组成装有耐高温光纤的弹性体D。弹性体外露光纤两侧安装光纤保护套，保

护套内填充耐高温的石棉等保护材料，其局部剖视图见E（见图4），再装上保护外壳，形成光纤称重传感器。



图4 光纤称重传感器

在平面凹槽桥式弹性体蚀刻容纳多条光纤的凹道，对比采用上下齿板、弹簧、别针等形式的调制方式，可以避免光纤受力破坏，尽量增加光纤形变的长度和形变量（增加凹道数量），以提高测量灵敏度<sup>[11]</sup>。

### 3.2 钢包光纤称量箱

连铸机钢包光纤称量箱结构示意图见图5，其中：1 承载压头、2 传感器压头、3 光纤传感器、4 光纤及保护管、5 称量箱隔断、6 测温热电偶。轴套限位器导向装置、传感器承载压头、碟簧缓冲等其他称量箱结构保留不变。

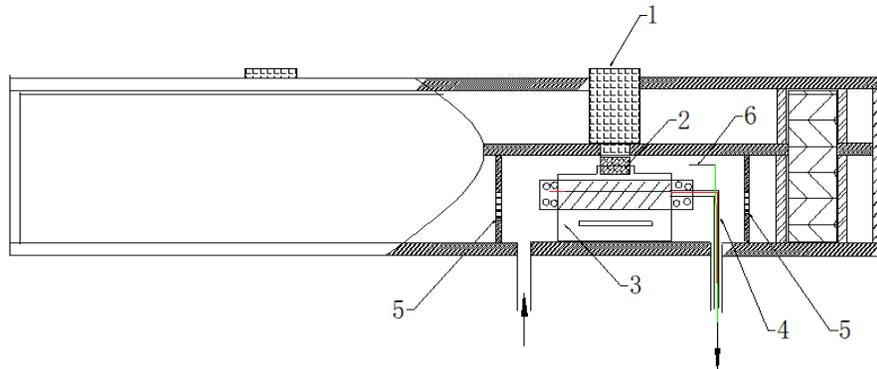


图5 钢包光纤称量箱结构图

光纤称重传感器安装在密闭的称量箱内，称量箱通有压缩空气进行降温。光纤传感器周边做密封隔断，在安装维修一侧留有可打开的密封门，称量箱底部留有两个进出通道气孔，压缩空气通过一侧的通气孔进入称量箱，压缩空气对称量箱内光纤传感器等降温，光纤、热电偶及保护管从压缩空气出

气管中引出称量箱，到达适合位置时光纤、热电偶导线及保护管与出气管分离，出气管后面安装有抽气泵。根据热电偶测量到称量箱内温度的高低，控制抽气泵运转达速度以控制称量箱温度的恒定。

### 3.3 钢包光纤称量系统

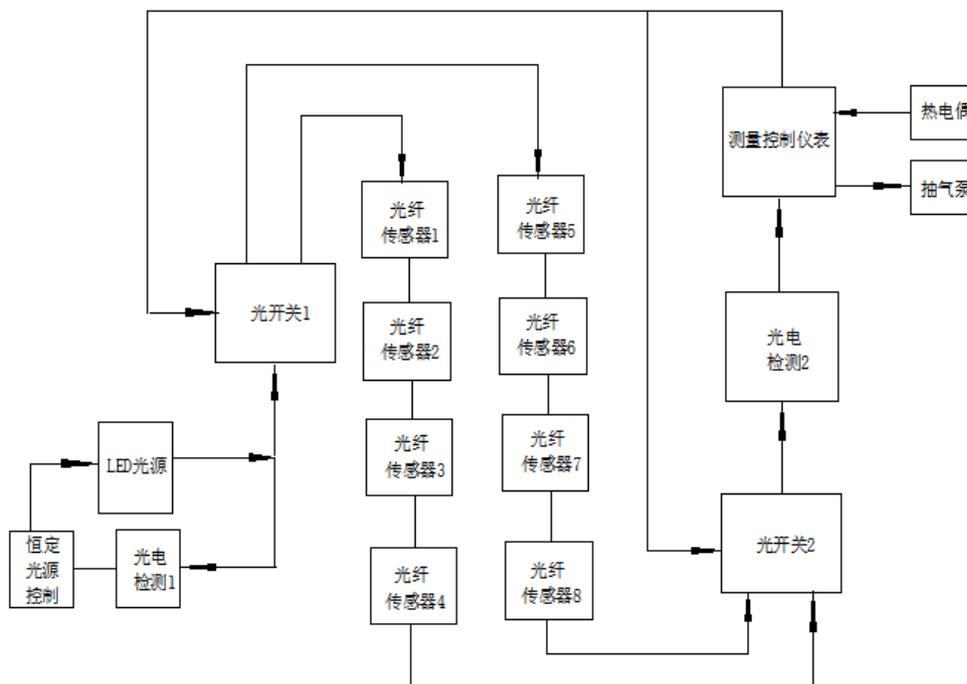


图6 钢包光纤称量系统原理图

连铸机钢包光纤称量系统由称量箱、承载压头、光纤传感器、光电检测功能模块、光源稳定测试功能模块、温度检测和控制调节模块等组成，传输光纤采用对弯曲不敏感的塑料包层硅芯光纤。图6为大包臂两组钢包光纤称重传感器采用串联方式输出信号时的测量系统，同理当传感器采用并联方式时，也可利用光开关实现两组称重传感器之间输出信号的切换。

### 3.3.1 传感器温度漂移量测试

光纤传感器安装前先做温度漂移测试，获取传感器在不同温度的输出补偿值。将一组四个光纤传感器放置恒温箱，按上述串联或者并联方式连接好测量系统，用强度为*i*的光源进行测试，室温情况下，测量系统测得光强为*i*<sub>0</sub>，测试温度按一定规律递增，如选取50℃、100℃、150℃、200℃、250℃作为测试点，测量系统测得光强为*i*<sub>1</sub>、*i*<sub>2</sub>、*i*<sub>3</sub>、*i*<sub>4</sub>、*i*<sub>5</sub>，则因温度变化引起光损耗漂移量  $\gamma_1=i_1-i_0$ ， $\gamma_2=i_2-i_0$ ， $\gamma_3=i_3-i_0$ ， $\gamma_4=i_4-i_0$ ， $\gamma_5=i_5-i_0$ ，在连铸机钢包重量测量计算中对相应的温度进行光强度漂移损耗核减。当称量箱温度控制在50℃时，则光电检测2对应光损耗读取值*i'*修正为*i'*<sub>50</sub>=*i'*+ $\gamma_1$ ；100℃时，*i'*修正为*i'*<sub>100</sub>=*i'*+ $\gamma_2$ ；150℃时，*i'*修正为*i'*<sub>150</sub>=*i'*+ $\gamma_3$ ；200℃时，为*i'*修正为*i'*<sub>200</sub>=*i'*+ $\gamma_4$ ；250℃时，*i'*修正为*i'*<sub>250</sub>=*i'*+ $\gamma_5$ 。

### 3.3.2 系统标定及参数设置

在连铸机重量量程范围内按测量区间进行分段线性标定，如量程200t，按0t、50t、100t、150t、200t等测量点进行分段。下面以传感器串联方式200t量程为例说明测量系统标定及参数设置方法。

系统首先标定第一测量点连铸机回转台无钢包空秤测量控制仪表参数：设置LED光源输出亮度*i*，读取光电检测2亮度*i*<sub>01</sub>，设置此时控制仪表重量输出值为0t。则得测量系统光纤测量线路光损耗  $\gamma_{01}=i-i_{01}$ 。

第二测量点：四个承载压头上位置均匀放置50t重量砝码或者替代物，读取光电检测2亮度*i*<sub>02</sub>，设置此时控制仪表重量输出值为50t。则光纤测量系统因应变增加光损耗  $\gamma_{02}=i_{01}-i_{02}$ ，则每kg重量对应光损耗  $k_2=\gamma_{02} \div 50000$ 。设置0~50t区间光电检测2测得值*i'*<sub>02</sub>

对应测量控制仪表重量输出按*k*<sub>2</sub>等比例输出，即重量值为  $(i_{01}-i'_{02}) \div k_2$ 。即在0~50t重量测试范围内，假设钢包重量为*X*<sub>1</sub>，承载压头承载重量为*X*<sub>1</sub>的钢包时光电检测2测得值为*i'*<sub>02</sub>，此时*X*<sub>1</sub>= $(i_{01}-i'_{02}) \div k_2$ 。

第三个测量点：四个承载压头上位置均匀放置重量砝码或者替代物增加到100t，读取光电检测2亮度*i*<sub>03</sub>，设置此时控制仪表重量输出值为100t。则光纤测量系统因应变增加光损耗  $\gamma_{03}=i_{02}-i_{03}$ ，每kg重量对应光损耗  $k_3=\gamma_{03} \div 50000$ 。设置50~100t区间光电检测2测得值修正值*i'*<sub>03</sub>对应测量控制仪表重量输出按*k*<sub>3</sub>等比例输出，即重量值为  $50000+(i_{02}-i'_{03}) \div k_3$ 。即在50t~100t重量测试范围内，假设钢包重量为*X*<sub>2</sub>，承载压头承载重量为*X*<sub>2</sub>的钢包时光电检测2测得到的值为*i'*<sub>03</sub>，此时*X*<sub>2</sub>= $50000+(i_{02}-i'_{03}) \div k_3$ 。

第四个测量点：四个承载压头上位置均匀放置重量砝码或者替代物增加到150t，读取光电检测2亮度*i*<sub>04</sub>，设置此时控制仪表重量输出值为150t。则光纤测量系统因应变增加光损耗  $\gamma_{04}=i_{03}-i_{04}$ ，每kg重量对应光损耗  $k_4=\gamma_{04} \div 50000$ 。设置100~150t区间光电检测2测得值*i'*<sub>04</sub>对应测量控制仪表重量输出按*k*<sub>4</sub>等比例输出，即重量值为  $100000+(i_{03}-i'_{04}) \div k_4$ 。即在100t~150t重量测试范围内，假设钢包重量为*X*<sub>3</sub>，承载压头承载重量为*X*<sub>3</sub>的钢包时光电检测2测得到值为*i'*<sub>04</sub>，此时*X*<sub>3</sub>= $100000+(i_{03}-i'_{04}) \div k_4$ 。

第五个测量点：四个承载压头位置上均匀放置重量砝码或者替代物增加到200t，读取光电检测2亮度*i*<sub>05</sub>，设置此时控制仪表重量输出值为150t。则光纤测量系统因应变增加光损耗  $\gamma_{05}=i_{04}-i_{05}$ ，每kg重量对应光损耗  $k_5=\gamma_{05} \div 50000$ 。设置150~200t区间光电检测2测得值*i'*<sub>05</sub>对应测量控制仪表重量输出按*k*<sub>5</sub>等比例输出，即重量值为  $150000+(i_{04}-i'_{05}) \div k_5$ 。即在150t~200t重量测试范围内，假设钢包重量为*X*<sub>4</sub>，承载压头承载重量为*X*<sub>4</sub>的钢包时光电检测2测得到的值为*i'*<sub>05</sub>，此时*X*<sub>4</sub>= $150000+(i_{04}-i'_{05}) \div k_5$ 。

### 3.3.3 稳定光源方法

用于光源稳定检测的光电检测器实时监测LED光源亮度输出变化情况，调整恒定光源控制器，使光源亮度输出保持恒定，获得光纤传感器称重过程

中的稳定光源。

### 3.3.4 称量箱温度控制

由于连铸机浇铸过程中钢水温度是不断在变化的，因此连铸机开浇前后光纤传感器在称量箱里温度范围变化很大的，尽管测量系统对相应的温度进行光强度漂移修正，大幅波动温度或者超出补偿范围的环境温度将影响测量系统的稳定性和重复性。从兼顾空气冷却效率和季节气候的不同情况出发，测量系统可将称量箱温度控制设定值在50℃、100℃、150℃、200℃等，当热电偶检测到温度高于设定温度时，加大空气冷却量，使连铸机浇注过程称量箱温度保持恒定。

## 4 结语

连铸机大包称量系统采用光纤称重传感器，可在更高的环境温度下工作。连铸机两臂称重传感器输出信号采用光开关切换，比集流环传输器的切换方法有更高的可靠性，带有温度调节控制功能的称量箱，可以较好保护传感器、测量线路等现场部件。传感器分段温度补偿修正方法及光源稳定控制方法，使称量系统较好消除对温度的敏感性，获得较高的稳定性。总之，当光纤称重传感器能够在实际应用中得到推广，钢包光纤称量系统将有良好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 盖旭升, 申良栋, 胡传旺. 一种钢包回转台称重装置的设计[J].《衡器》, 2011,02: 48-50.
- [2] 邹渊, 王忠强, 白先送等. 冶金连铸大包钢水称重高精度电子秤的研究与应用[J].《工业计量》, 2016,05:37-42,46.
- [3] 郑文波. 连铸大包秤的设计与制作: 第四届全国称重技术研讨会[C]. 上海: 中国衡器协会,2003.
- [4] 罗伏隆, 翁建明. 高温传感器在钢包电子秤秤体结构中的设计应用[J].《中国计量》, 2004,12:49-51.
- [5] 中国国家标准委员会. 金属粘贴式电阻应变计:GB/T13992-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 4.

[6] 尹福炎. 高温应变片在高温下的性能特性[J].《衡器》, 2011,09: 5-12..

[7] 余志辉, 顾虎祥, 宋志刚. 连铸大包称重系统传感器的应用与改进[J].《冶金设备》, 2005,04: 54-57.

[8] 宋松, 夏永海, 李梅. 钢包回转台称重系统改造[J].《山东冶金》, 2002,02: 11-13.

[9] 罗伏隆. 耐高温称重技术应用浅谈[J].《衡器》, 2016,03: 39-42,44.

[10] 李峰, 樊群, 许宪成. 耐500℃高温电缆的结构设计[J].《光纤与电缆及其应用技术》, 2012,06: 15-16.

[11] 徐亚军, 刘长华. 基于光纤微弯的分布式光纤应力传感器[J].《半导体光电》,2003,06:436-438.

[12] 张兴周, 李绪友, 包建新. 微弯型光纤传感器[J].《传感器技术》,1998,05:58-60.

[13] 翟玉锋, 张龙, 朱灵等. 光纤光栅称重传感器研究[J].《发光学报》,2007,06:414-416.

[14] 叶顺厂, 王幸国, 胡硕臻. 光纤光栅传感器在称重系统中的应用[J].《传感器世界》,2007,01:31-33.

[15] 李永国, 戴珩, 姚开方. 基于啁啾光纤光栅称重传感器的研究[J].《武汉理工大学学报》,2010,05:59-61.

## 作者简介

郑建忠(1967年—),男,福建晋江人,工程硕士,高级工程师。研究方向: 计量仪表检测方向。