

浊度法检测原砂含泥量

马旭梁, 刘泽宇, 李大勇

(哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040)

摘 要: 含泥量是原砂质量的重要表征参数之一, 含泥量通过影响以原砂为骨料的型砂的性能而影响铸件质量。目前原砂含泥量检测以国标检测方法为主, 因其操作过程繁琐, 耗时较长, 不适合铸造车间配砂现场检测。在遵循国标检测方法基本原则的基础上, 采用浊度传感器对涡洗之后的原砂进行含泥量测定, 开发了一种测量周期短、自动化程度高的快速检测方法及装置。与国标检测方法相比, 测试时间减少 90%, 通过 T 检验证明, 与国标检测法测试结果接近程度为 99%。

关键词: 原砂; 含泥量; 快速检测; 浊度传感器

DOI: 10.15938/j.jhust.2020.06.018

中图分类号: TG247 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2020)06-0126-05

Turbidity Method for Detecting Mud Content in Base Sand

MA Xu-liang, LIU Ze-yu, LI Da-yong

(School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin, 150040, China)

Abstract: The mud content is one of the important characterization parameters of the quality of the base sand. It affects the quality of castings by its effects on the mold sand, in which base sand is the aggregate. At present, the detection of mud content in base sand is mainly based on the national standard detection method, and the operation process is cumbersome and time-consuming, so it is not suitable for on-site inspection in sand mixing shop. Based on the basic principles of the national standard detection method, uses a turbidity sensor to measure the mud content of the base sand after vortex washing, and develops a rapid detection method and device with short measurement period and high degree of automation. Compared with the national standard detection method, the test time is reduced by 90%. Through T-test, it is proved that the test results are 99% close to those of the national standard.

Keywords: base sand; mud content; rapid detection; turbidity sensor

0 引 言

含泥量是原砂质量的重要表征参数之一, 对湿型黏土砂性能具有直接影响。含泥量增多致使型砂

变脆, 起模性变坏, 同时也会使砂型的透气性降低, 导致铸件产生气孔、浇不足等缺陷。因此, 为保证铸件的质量, 需对原砂含泥量实施检测和控制^[1-14]。

目前, 原砂含泥量检测主要采用 GB/T2684-2009 规定的标准检测方法, 这也是目前最普遍的原

收稿日期: 2019-03-10

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E2018045)。

作者简介: 马旭梁(1973—), 男, 博士, 教授, 硕士研究生导师;

刘泽宇(1995—), 男, 硕士研究生。

通信作者: 李大勇(1958—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, E-mail: dyli@hrbust.edu.cn。

砂含泥量测量方法^[1]。该方法首先根据悬浮在水中的原砂和泥分的直径不同,其下降速度也不同的原理使泥分与砂粒在水中形成分层,然后用虹吸管将洗砂杯上部分水和悬浮的泥分吸出。经过多次反复沉降和虹吸,直至将砂样中的泥分洗净为止。最后将剩余砂样烘干、称量并计算,获得砂样含泥量。

该方法主要靠人工操作完成,测量步骤繁杂、耗用时间长,一般用于实验室检验,不适合生产现场随时检测。为此,本文设计并试制了一种测试周期短、自动化程度高的原砂含泥量测试装置。

1 测试原理及实现方法

1.1 原砂含泥量浊度法测试原理

浑浊度是水体物理性状指标之一。它是由水中存在颗粒物如黏土、污泥、胶体颗粒、浮游生物及其他微生物所致,用以表示水的清澈或浑浊程度。水中的不溶解物质越多,浑浊度也越高。

国标检测方法本质上是通過渦洗+虹吸將原砂中的泥分排除出,然後測量被排除固體占總固體質量的百分比,以此計算含泥量。洗砂過程中洗砂杯中混合液的渾濁度與混合液中含泥量存在明顯的對應關係,因此可用洗砂杯內混合液的渾濁程度表征混合液中的含泥量,進而用其表征被測原砂的含泥量,稱為濁度檢測法^[12-13]。

1.2 原砂含泥量濁度法檢測的實現方法

洗砂杯內的混合液經攪拌並靜置一段時間後,懸浮於水中的泥分使得混合液具有一定的渾濁度,渾濁程度可由濁度傳感器測得。濁度傳感器是一種光學傳感器,主要應用於水質檢測^[4-18],其內部有IR958和PT958封裝的紅外對管,對管平行放置,紅外對管的發射端發出光線,光線的透過量取決於水中懸浮顆粒量,水質渾濁度越高表明水中的懸浮顆粒越多,透過的光線也越少。紅外對管的接收端將透過的光強度轉化為電壓,水質越清晰,電壓值越高,反之,水質越污濁,則電壓值越低。因此,通過測量紅外對管的接收端電壓,即可計算出洗砂杯中液體的污濁程度,並間接測得被測原砂的含泥量。

圖1為濁度傳感器檢測原理圖,當濁度傳感器浸入液體後,由濁度傳感器左側發射檢測光,光在液體中發生散射,其光線散射量與液體中的懸浮粒子量或膠体量成正比,剩餘光線穿越被測液體到達右側的光電接收端,接收到的光強度代表液體的渾濁度。被測液體完全透明時,濁度散射量为0%,濁度

传感器输出电压达到最大值;而在被测液体完全隔光时,浊度散射量为100%,浊度传感器输出电压为最小值。图2为实验中所用浊度传感器实体图,其工作电压为5V,最大工作电流30mA,响应时间小于500ms,可在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 温度范围内工作,适合涡洗后洗砂杯内液体的浊度检测^[19-21]。

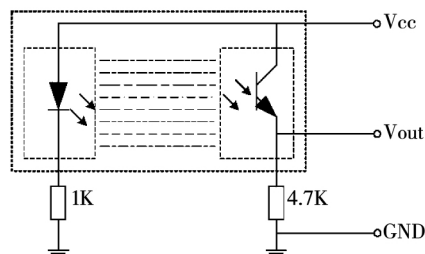


图1 浊度传感器检测原理图

Fig. 1 Schematic diagram for measuring turbidity by sensor

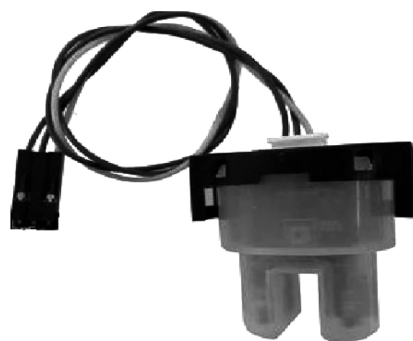


图2 浊度传感器实物图

Fig. 2 Physical picture of turbidity sensor

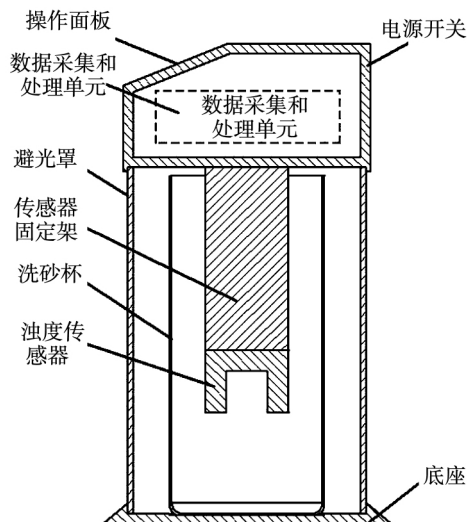
2 测试装置构成及标定

2.1 测试装置构成

根据上述测试原理,搭建了基于浊度传感器的原砂含泥量测试装置,该装置主要由洗砂杯、传感器、操作面板和数据采集与处理单元组成,检测装置结构简图如图3所示。数据采集与处理单元对传感器数据进行采集和处理,结果显示于操作面板的显示屏上。

因洗砂杯中不同高度处混合液的浑浊度会有差异,为保证测试精度,必须保证每次测量时浑浊度传感器处于同一位置,本测试装置设计了传感器固定杆用于限定传感器位置。

根据浊度传感器的工作原理,自然光的强弱及变化将影响传感器的灵敏度和准确度。为消除自然



1 - 操作面板 2 - 数据采集和处理单元 3 - 避光罩 4 - 传感器固定架 5 - 洗砂杯 6 - 浊度传感器 7 - 电源开关 8 - 底座

图3 浊度传感器法原砂含泥量检测装置结构简图

Fig.3 Structural diagram of the device for base sand mud content detection based on turbidity sensor method

光对浊度检测的影响,检测装置中设计了避光罩。

此外,为了减少每次检测时水本身浊度的影响,采取了两方面的措施,一是采用蒸馏水,二是对水本身浊度进行检测,作为零点校核,在测试中增加零点校核步骤。

使用图3所示检测装置测定原砂含泥量的操作程序如下,打开检测装置开关,使传感器通电,在容量为600 mL的专用标准洗砂杯中,加入400 mL蒸馏水(约为刻度线高度的三分之二处),放入检测装置避光罩内;按下“零点”按钮,数据采集与处理单元自动记录当前数据,并作为装置标定零点值供后续含泥量测试时使用;取出洗砂杯,将称好的50 g被测原砂放入洗砂杯中,并将其放置在洗砂机托盘上锁紧,以转速4 000 r/min 涡洗15 min;取下洗砂杯,向杯中加入蒸馏水至标准高度125 mm刻度线处,并用玻璃棒搅拌约30 s;将洗砂杯放回检测装置避光罩中,静置10 min后按下操作面板上的“测试”按钮,显示屏即显示原砂含泥量检测结果。

2.2 测试装置的标定

浊度传感器法原砂含泥量检测装置标定,即建立原砂含泥量与涡洗后洗砂杯内混合液体浑浊度之间的对应关系,可通过配制不同含泥量的试验用砂和检测所对应的浑浊度建立数学模型。

标定用不同含泥量(0.1%~1.0%)的配制砂是通过含泥量为1.0%的原砂和洗净砂配制而成

的,其配比如表1所示。

为保证所配制原砂含泥量的准确性,用国标检测法对所配制的含泥量为0.3%、0.6%、0.9%三个组别的实验用砂分别进行了测试,测试结果得出的含泥量值与所配实验用砂的含泥量值一致。

表1 不同含泥量试验用砂所需原砂与洗净砂配比

Tab.1 The ratio of base sand to washed sand required for the experimental sand with different mud content

配制砂含泥量 / %	含泥量为 1.0% 的原砂 / g	洗净砂 / g	配制砂含泥量 / %	含泥量为 1.0% 的原砂 / g	洗净砂 / g
0.1	5	45	0.6	30	20
0.2	10	40	0.7	35	15
0.3	15	35	0.8	40	10
0.4	20	30	0.9	45	5
0.5	25	25	1.0	50	0

然后对所配制好的不同含泥量的实验用砂分别进行浑浊度的测定,其结果如表2所示。

表2 不同含泥量试验用砂所测浑浊度测量值

Tab.2 Turbidity measurement value of experimental sand with different mud content

配置砂含泥量 / (%)	浑浊度测量值 / V				
	一	二	三	四	平均
0.1	3.94	3.93	3.90	3.95	3.93
0.2	3.85	3.88	3.87	3.86	3.86
0.3	3.68	3.73	3.67	3.72	3.70
0.4	3.67	3.60	3.64	3.64	3.64
0.5	3.55	3.56	3.58	3.54	3.56
0.6	3.41	3.43	3.44	3.46	3.44
0.7	3.36	3.28	3.39	3.33	3.34
0.8	3.22	3.20	3.23	3.19	3.21
0.9	3.10	3.13	3.15	3.09	3.12
1.0	2.98	3.06	3.04	3.08	3.04

3 实验结果与分析

3.1 原砂含泥量 - 浑浊度关系数学模型

利用 matlab 对实验数据进行数据拟合,结果如图4所示。

拟合结果经过零点校核变形得到:

$$y = -0.9784x + k \quad (1)$$

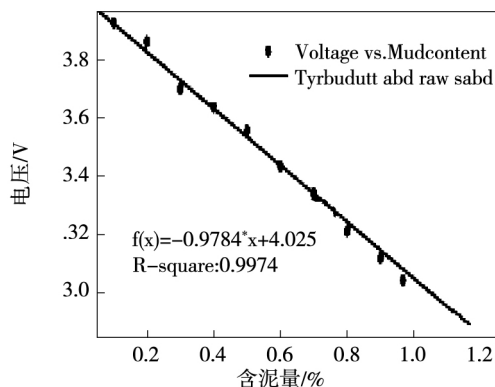


图4 使用一次函数拟合含泥量与电压数据曲线

Fig. 4 The relationship between the mud content and voltage data using a linear function to fit the curve

式中: x 为含泥量, y 为浊度测量值, k 为清水的浊度测量值。

将拟合的曲线作为含泥量与浑浊度测量值之间的数学对应关系,从而导出本方法测量含泥量为

$$x = -1.022y + 1.022k \quad (2)$$

3.2 原砂含泥量的对比测试结果

为验证基于浊度传感器的原砂含泥量测试方法的准确性,分别利用该方法和国标检测法对未知含泥量的原砂进行测试,结果如表3所示。

表3 不同测试方法下原砂含泥量测试结果

Tab. 3 The test results of base sand mud content by different test methods

组号	含泥量/%	
	标准检测法	快速检测法
1	0.860	0.850
2	0.840	0.830
3	0.820	0.860
4	0.840	0.850
5	0.840	0.830
6	0.880	0.890
均值	0.847	0.852

设标准检测法与快速检测法所得实验数据分别服从正态分布 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 和 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 。其中: μ_1, μ_2 为总体均值, σ_1^2, σ_2^2 为总体方差。

在显著性水平 $\alpha = 0.01$ 下,进行原假设为 $\mu_1 = \mu_2$ 的假设检验,由表3可知:

标准检测法:

$$n_1 = 6, \bar{X} = 0.847, S_1^2 = 0.00427 \quad (3)$$

快速检测法:

$$n_2 = 6, \bar{Y} = 0.852, S_2^2 = 0.0005 \quad (4)$$

其中: n_1, n_2 为样本容量, $\bar{X}, \bar{Y}$ 为样本均值, S_1^2, S_2^2 为样本方差。

对其进行 T 分布假设检验,检验统计量为:

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_w \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t(n_1 + n_2 - 2) \quad (5)$$

其中:

$$S_w = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}} \quad (6)$$

将式(3)和式(4)代入式(6),计算结果代入式(5)得:

$$|t| = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{S_w \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0.177 \quad (7)$$

经查表可知:

$$|t| = 0.177 < t_{0.005}(10) = 3.1693 \quad (8)$$

故两种测试方法在显著性水平 $\alpha = 0.01$ 下无显著差异。这说明在 T 检验条件下,两种检测法检测所得的原砂含泥量结果一致性好,相似程度为 99%,说明本方法测试精度较高。

此外,标准法测定原砂含泥量的主要过程为预热、称量、洗砂、虹吸、过滤、烘干、称量、计算,整个过程大约需要 5 h。而基于浊度传感器的原砂含泥量检测方法主要过程为称量、洗砂、测试,省去了繁琐的反复虹吸涡洗过程,省时省力,且不需使用电烘箱,减少了能源损耗。在测量时只需要进行一次浑浊度的测定即可直接测出原砂含泥量,整个过程只需 0.5 h。比标准法减少时间 90%。

4 结 论

1) 在遵循原砂含泥量国标检测方法原则的基础上,提出了一种基于浊度传感器的原砂含泥量快速检测新方法,可实现原砂含泥量生产现场快速检测。

2) 设计和试制了一种基于浊度传感器的原砂含泥量测试装置,试验确定了原砂含泥量与浑浊度关系的数学模型,与标准检测方法相比,采用新装置测定原砂含泥量速度提高 90%。

3) 分别利用标准检测方法和基于浊度传感器的检测方法对原砂含泥量进行了测试,经 T 检验表

明,两种检测方法所得的检测结果相似度为 99%。

参 考 文 献:

- [1] 魏华胜. 铸造工程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 1.
- [2] 蒙睿, 郭永斌, 张敏. 型砂各参数对其透气性的影响 [J]. 化工管理, 2015(20): 158.
MENG Rui, GUO Yongbin, ZHANG Min. Influence of Molding Sand Parameters on Its Permeability [J]. Chemical Management, 2015(20): 158.
- [3] 陈时云. 探索砂的含泥量检测 [J]. 城市建筑, 2014(4): 331.
CHEN Shiyun. Exploration on the Detection of Sand Mud Content [J]. Urban Architecture, 2014(4): 331.
- [4] 黄春雨. 铸造用原砂含泥量检测中应注意的问题 [J]. 铸造技术, 2014, 35(1): 201.
HUANG Chunyu. Some Problems of Detecting Clay Content in Casting Raw Sand [J]. Foundry Technology, 2014, 35(1): 201.
- [5] 肖宁宁, 孙志扬, 宋述同, 等. 湿型砂性能检测及成分控制 [J]. 机械工业标准化与质量, 2014(5): 46.
XIAO Ningning, SUN Zhiyang, SONG Shutong, et al. Performance Test and Composition Control of Green Sand [J]. Standardization and Quality of Machinery Industry, 2014(5): 46.
- [6] KHATIB J M, ELLIS D J. Mechanical Properties of Concrete containing Foundry Sand [C] // Fifth CANMET ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology. 2001.
- [7] 石德全, 高桂丽, 李大勇, 等. 湿型砂组分和性能参数检测技术评述 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2011, 16(6): 77.
SHI Dequan, GAO Guili, LI Dayong, et al. Review of Green Sand Composition and Performance Parameters Detection Technology [J]. Journal of Harbin University of Technology, 2011, 16(6): 77.
- [8] 霍卯田, 武炳焕, 刘永安. 自动控制系统中含泥量对型砂性能和铸件质量的影响 [J]. 铸造工程: 造型材料, 2003, 27(3): 1.
HUO Maotian, WU Binghuan, LIU Yong'an. Influence of Mud Content in Automatic Control System on Sand Properties and Casting Quality [J]. Foundry Engineering: Molding Materials, 2003, 27(3): 1.
- [9] 沈东明, 张亚挺. 探讨一种定量检测人工砂含泥量的方法 [J]. 水力发电, 2016, 42(2): 120.
SHEN Dongming, ZHANG Yating. Discussion on a Quantitative Detection Method of Clay Content in Artificial Sand [J]. Hydro-power, 2016, 42(2): 120.
- [10] 李远才. 铸型材料基础 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 13.
- [11] GB - T2684 - 2009. 5.2 含泥量的测定. [S].
- [12] 杨耀天. 细颗粒泥沙静水沉降实验研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017.
- [13] 李大鸣, 吕小海, 焦润红. 泥沙静水沉降阻力系数 [J]. 水利学报, 2004, 35(1): 1.
LI Daming, LV Xiaohai, JIAO Runhong. Resistance Coefficient of Sediment Deposition in Still Water [J]. Journal of Water Resources, 2004, 35(1): 1.
- [14] 王志丹. 光学浊度传感器的设计与实现 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [15] 刘建华, 李平, 张成成, 李旭. 浊度计法测定工业废水中的悬浮物 [J]. 绿色科技, 2015(11): 181.
LIU Jianhua, LI Ping, ZHANG Chengcheng, et al. Determination of Suspended Solids in Industrial Wastewater by Turbidimeter [J]. Green Technology, 2015(11): 181.
- [16] 姜德志, 姬光荣, 陈艳丽. TS 浊度传感器在洗衣机中的应用 [J]. 国外电子器件, 2007(8): 68.
JIANG Dezhi, JI Guangrong, CHEN Yanli. Application of TS Turbidity Sensor in Washing Machine [J]. Foreign Electronic Components, 2007(8): 68.
- [17] 谌丹, 陈健. 散射式红外浊度传感器的设计 [J]. 微计算机信息, 2009, 25(19): 97.
CHEN Dan, CHEN Jian. Design of Scattering IR Turbidity Sensor [J]. Microcomputer Information, 2009, 25(19): 97.
- [18] 左辉. 浊度的检测原理及方法 [J]. 中国计量, 2012(4): 86.
ZUO Hui. Detection Principle and Method of Turbidity [J]. China Metrology, 2012(4): 86.
- [19] 丁小田. 基于 MSP430 的地下水检测仪的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [20] 李绍鹏, 汪亮, 程曦. 混凝土用砂含泥量检测方法改进与装置设计 [J]. 混凝土与水泥制品, 2018(6): 78.
LI Shaopeng, WANG Liang, CHENG Xi. Improvement of Detection Method for Mud Content of Sand for Concrete and its Device Design [J]. Concrete and Cement Products, 2018(6): 78.
- [21] 翟直上. 自动涡洗式洗砂机的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.

(编辑: 温泽宇)