

湿型粘土砂多参数集成检测方法与便携式检测装置开发

梁 仓, 马旭梁, 李大勇

(哈尔滨理工大学材料科学与化学工程学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

摘要: 型砂质量是影响铸件质量的重要因素之一, 型砂性能参数便携式检测装置尤其是多参数便携检测装置对于铸型质量控制具有重要作用。本文研制了一种基于单片机测试与控制的, 可实现湿型粘土砂紧实率、含水量、透气性和湿压强度生产现场同步检测的便携检测装置。文中介绍了仪器工作原理、硬件组成、软件设计和实测结果。便携式检测装置与标准检测方法检测结果对比的相对误差为紧实率0.60%、含水量2.12%、透气性1.87%、湿压强度1.61%, 检测时间小于2 min, 证明便携式检测装置具有较高的测试精度和工作稳定性。

关键词: 湿型砂; 性能参数; 集成检测方法; 便携式检测装置

在铸造生产过程中, 型砂所引起的铸件问题占到百分之六十以上^[1-2], 型砂性能及其稳定性直接影响铸件的质量和生产成本^[3]。因此, 型砂质量的有效检测与控制一直是铸造行业研究的重要课题之一^[4-5]。长期研究与生产实践证明, 湿型粘土砂质量的代表性参数主要有紧实率、含水量、透气性和湿压强度, 四参数的在线实时检测及生产现场抽检对型砂质量控制均具有重要意义^[6]。目前, 用于型砂质量生产现场抽检的便携式装置多为紧实率、含水量和透气性等单参数检测仪器^[7], 为满足实际需要, 本文研制了一种可一次取样完成紧实率、含水量、透气性和湿压强度四参数检测的便携式检测装置。

1 型砂质量参数检测方法

1.1 紧实率检测

紧实率因对含水量、有效粘土含量及水土比等十分敏感而成为重要的型砂质量参数之一。型砂紧实率定义为松散砂样紧实前后的高差比, 标准检测方法规定砂样需具有确定的初始松散度、实前样高及固定紧实力。本文采用固定高度筛落砂样, 固定样筒高度取样, 固定紧实力一次挤压紧实, 采用位移传感器监测砂样压实深度, 最后通过计算给出被测砂样紧实率。因样筒尺寸和实砂方法及紧实压力均与标准方法不完全相同, 对同一砂样采用本文方法和标准方法同时检测, 以标准方法为准完成检测参数标定。

1.2 透气性检测

透气性的标准测量装置为气钟式透气性测量仪, 因其测量时间长和测试装置不便频繁搬动而限制其在生产现场应用。电动透气性测定仪已有广泛应用, 实践证明, 与气钟式测定仪检测结果相同^[8-9]。本文所用透气性检测原理与电动透气性测定仪基本相同, 以恒压气源通过砂样的阻力表征透气性, 由于砂样紧实率变化使紧实后砂样高度不一致, 将对透气性测试结果产生影响, 本文采用补偿算法针对砂样高度变化予以修正。

作者简介:

梁仓 (1998-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湿型粘土砂快速检测。电话: 13304849825, E-mail: 13304849825@163.com

通讯作者:

李大勇, 男, 教授, 工学博士, 博士生导师。E-mail: dyli@hrbust.edu.cn

中图分类号: TG221;
TH873

文献标识码: A
文章编号: 1001-4977 (2024)
05-0677-06

收稿日期:

2024-01-02 收到初稿,
2024-03-10 收到修订稿。

1.3 含水量检测

型砂含水量的标准测定方法应该是直接烘干失重法，尽管早有红外快速烘干测湿方法问世，但其检测时间仍显过长^[10]，于是先后有多种间接测定水分的快速电测方法出现并用于现场检测，包括电阻法、电容法、电感法等^[11-15]。本文采用直流电阻法测定含水量，为消除直流电场作用下粘土含量对型砂电阻的影响，以初始直流电阻及其变化率等参数组合表征含水量，测试结果显示较单一电阻值表征具有更高精度。

1.4 湿压强度检测

湿压强度是指标准砂样在外力作用下溃散时所受的应力，标准仪器为机械或液压式型砂强度试验仪^[16-17]。本文采用电动推杆压溃砂样和载样传感器动态检测砂样受力的方法测定湿压强度，对于因砂样截面及高度尺寸与标准砂样（ $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ ）不同导致的数值偏差，本文通过检测结果与标准仪器检测数据对比建立的数学模型予以消除。

2 便携式检测装置

基于上述工作原理研制的湿型粘土砂多参数集成便携检测装置，主要由取样筒、电动推杆、拉压传感器、位移传感器、温度传感器、微压传感器、称重传感器、微型风机、激励电源、单片机测控单元等构成。仪器外廓尺寸为 $500\text{ mm} \times 145\text{ mm} \times 570\text{ mm}$ ，重量约为 5 kg ，以自动与手动相结合的方式完成制样和多参数测试。装置从加砂到四参数测量完毕，检测时间小于 2 min 。

2.1 装置总体构成及工作过程

便携检测装置的总体构成包括制样机构、紧实率及含水量检测单元、透气性检测单元、退样及湿压强度检测机构及单片机测控单元，各机构和单元之间关系如图1所示。

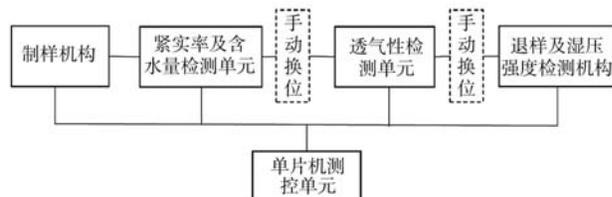


图1 便携式检测装置总体构成框图

Fig. 1 The general block diagram of the portable detection device

便携式检测装置的取样、制样及检测过程可描述如下：取适量湿型粘土砂，放入制样机构中的六目筛砂框，筛松后型砂经导砂筒落入取样筒，砂满后导砂筒内嵌砂位计输出砂满信号，提示操作者拖出换位底板，取样筒由取样工位换入制样工位后，重新将换

位底板推回原位。取样筒触碰行程开关使计算机发送制样指令，电动推杆伸出，压头进入取样筒紧实筒内型砂，与压头同步伸缩的拉压传感器和位移传感器记录紧实压力及砂样高度变化，达到预设紧实力后停止加压，对应砂样高度值读入计算机用于计算紧实率。电动推杆退回，激励电源随即向砂样电极输出直流电流，计算机读取砂样温度、初始压降及其变化率用于计算型砂含水量。手动抽出换位底板，取出样筒置入透气性测试工位，计算机发出透气性检测指令，启动微型风机运转，压缩空气经缓冲室和砂样排气，微压传感器测定缓冲室内稳定气压值用于计算砂样透气性。从透气性测试工位取下样筒，随换位底板推至退样工位，电动推杆再次伸出将砂样推出样筒落至称重传感器平台，压头继续下移将砂样压溃，称重传感器记录砂样受力过程，读取最大值用于计算砂样湿压强度。电动推杆退回原始位置，清理平台残砂，取样筒放入取样工位，至此取样、制样及测试过程结束。

2.2 制样机构

制样机构由六目筛砂框、导砂筒、砂位计、取样筒、换位底板、电动推杆、拉压力传感器、位移传感器等组成，部件之间相互关系如图2所示。

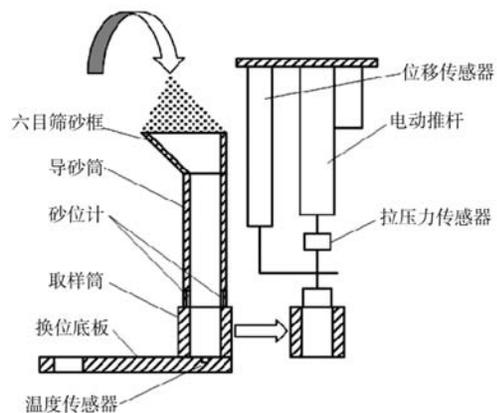


图2 便携式检测装置制样机构简图

Fig. 2 Diagram of the sample preparation mechanism used in the portable detection device

导砂筒内部镶嵌电极构成砂位计，取样筒砂满时型砂连通砂位计电极产生开关信号提示砂满。型砂经六目筛砂框筛松下落后可使砂样具有一致的初始紧实度，换位底板上装有两个样筒座和砂温传感器，通过变换取样筒在换位底板上的位置实现取样、制样及退样工位切换。电动推杆前端安装实砂压头、拉压力传感器和位移传感器，用于紧实过程中实时监测实砂压力及砂样高度。

2.3 紧实率及含水量测试单元

紧实率、含水量测试单元主要由位移传感器、

紧实砂样（等同电阻本体）、砂样电极、砂温传感器和激励电源等部分组成，紧实率参数在制样过程中完成，含水量参数通过砂样电极对紧实砂样施加直流电源激励，利用初始直流电阻及其变化率和砂温信号求解型砂含水量。为了兼顾砂样电阻检测准确性和制样机构便捷性，本文采用样筒内嵌环形双电极，外配电极插头结构。砂样温度选用AD590半导体传感器测定，其信号输出也设计为快插方式。各传感器及直流激励电源之间关系如图3所示。

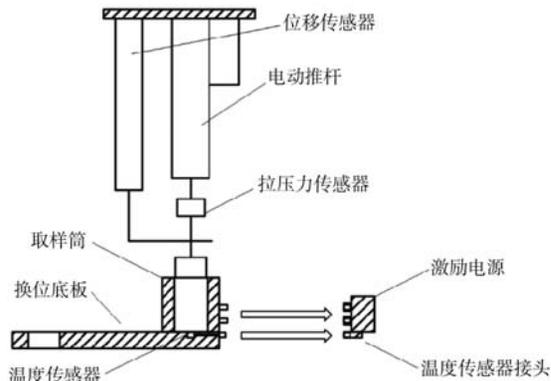


图3 紧实率及含水量测试单元结构简图

Fig. 3 Diagram of the structure used in the compactness and water content test unit

2.4 透气性测试单元

透气性测试单元主要由弹性样筒座、微型风机、微压传感器及连接管路组成，如图4所示。

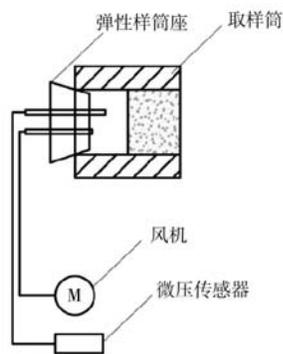


图4 透气性测试单元结构简图

Fig. 4 Diagram of the structure used in the permeability test unit

取样筒中空腔部分构成透气性检测缓冲室，微型风机提供恒压气源至缓冲室，缓冲室内气压将随砂样透气性不同而变化，通过微压传感器测定室内压力用于表征砂样透气性。受砂样紧实率影响产生的试样高度变化对测试结果的影响将通过修正公式予以补偿。

2.5 退样及湿压强度检测机构

便携式检测装置退样及湿压强度检测机构主要由取样筒、换位底板、电动推杆及称重传感器组成，结

构简图如图5所示。

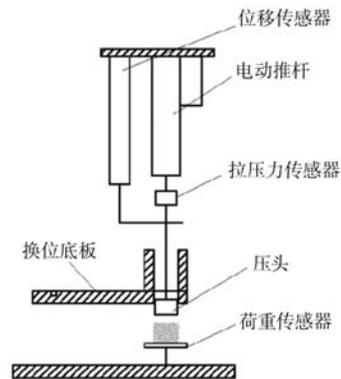


图5 便携式检测装置退样及湿压强度检测机构简图

Fig. 5 Diagram of the sample ejection and wet compression strength detection mechanism used in the portable detection device

装有紧实砂样的取样筒置入退样工位后，电动推杆进入样筒将砂样推出落在下方称重传感器平台上，推杆继续推进将砂样压溃，称重传感器动态记录砂样承受压力，最大压力值换算为压强即为被测砂样湿压强度，因砂样紧实率变化导致砂样高度差异对强度值的影响将通过经验公式进行修正。

2.6 单片机测控单元

设计了以单片机为核心的测控单元，以完成电动推杆伸缩、激励电源通断、风机启停等动作控制及各传感器输出信号采集。该测控单元主要由高性能单片机STM32F103C8T6最小系统、HX711芯片、OLED显示屏、6路继电器、限位开关及砂位计等构成，测控单元电路简图如图6所示。

模拟输入信号中位移传感器、微压差传感器和测量含水量用电阻式传感器产生的电压信号直接送入STM32F103C8T6单片机最小系统，由STM32F103C8T6单片机内部自带ADC完成模/数转换。AD590温度传感器输出的电流信号接10 K电阻转换为电压信号后接入单片机。拉压力传感器和称重传感器输出的差分电压信号，经24位称重传感器芯片HX711处理后送至单片机。换位底板极限位置及砂位对应的开关量信号一端接地，一端接单片机。开关量输出信号用于控制电动推杆伸缩、风机启停、激励电源通断电。数据显示采用I2C通信的OLED显示屏，可实时显示紧实率、含水量、透气性、湿压强度等参数。

单片机测控单元软件采用C语言编写，将控制开关量、模拟量所需流程分别编为多个子程序，主要子程序有继电器子程序、HX711芯片子程序、开关子程序、OLED子程序、ADC采集子程序。只需在主程序中调用子程序即可完成相应流程操作，可使主程序大为简化。主程序流程图如图7所示，退样+测强度子程序流

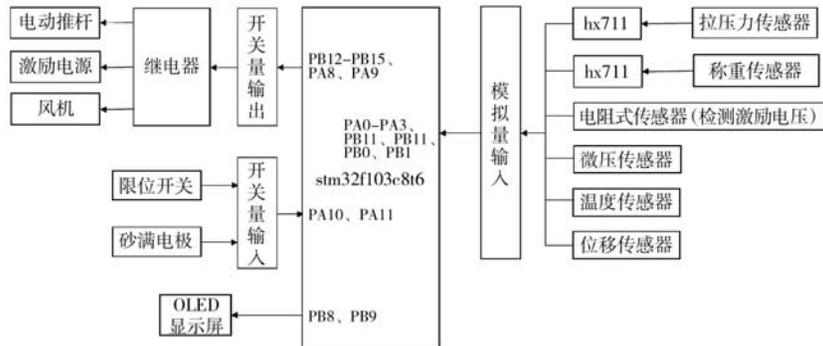


图6 单片机测控单元构成简图

Fig. 6 Composition diagram of the single chip microcomputer measurement and control unit

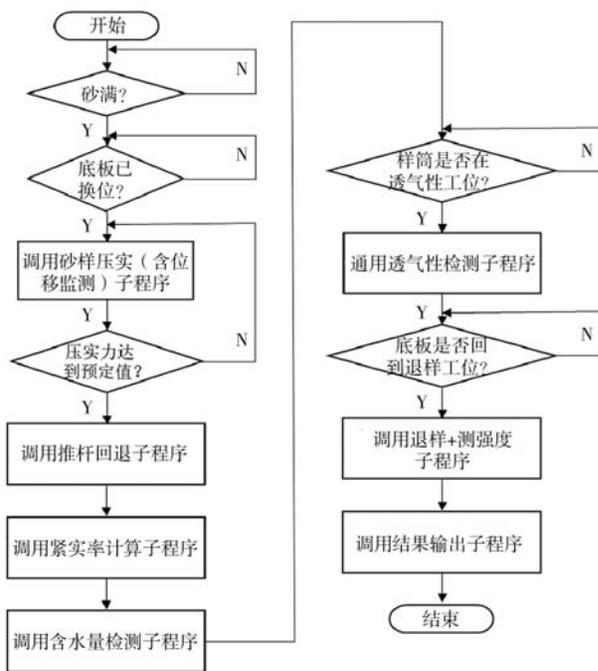


图7 主程序流程图

Fig. 7 Flow chart of the main program

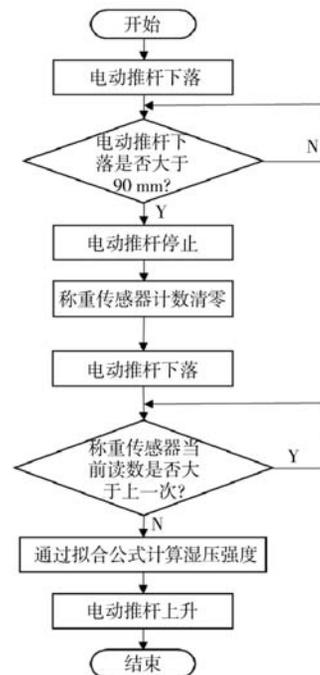


图8 退样+测强度子程序流程图

Fig. 8 Flow chart of the subroutine of the sample ejection and wet compression strength measurement

程图如图8所示。

3 便携式检测装置应用试验

3.1 实验室湿型粘土砂参数测试

在实验室条件下，混制不同配比的湿型粘土砂，分别采用便携检测装置与标准法检测装置对湿型粘土砂进行了多参数对照检测试验。含水量、紧实率、透气性和湿压强度测定所用标准仪器分别为：SFY型砂水分仪、三锥制样机、STZ直读式透气性测定仪、SWY-S智能液压型砂强度机。四种参数测试结果如表1所示，对比结果表明，便携检测装置与标准法所测装置的测试结果一致。

通过对试验数据分析可知，实验室条件下便携式检测装置测量紧实率、含水量、透气性、湿压强度相对误差分别为0.60%、2.12%、1.87%、1.61%，证明便

携式检测装置在实验室条件下具有较高检测精度。

3.2 铸造车间湿型粘土砂参数测试

为了考察便携式型砂检测装置抗干扰能力及用于铸造车间现场型砂质量检测的可行性，选择某铸铁件生产车间进行了回用旧砂及新混制砂的质量参数监测试验。标准法与本装置检测数据对比列于表2。

通过对试验数据分析可知，铸造车间条件下便携式检测装置测量紧实率、含水量、透气性、湿压强度相对误差分别为0.95%、1.92%、1.22%、1.79%，试验结果表明，便携式检测装置在铸造车间电磁及振动干扰环境下能正常工作，测试数据稳定。检测数据与标准法检测结果一致，证明其可用于铸造生产现场型砂质量检测。

表1 实验室条件下型砂质量检测数据对比
Table 1 Comparison of the molding sand quality test data under laboratory conditions

序号	标准法测定				检测装置测定			
	紧实率/%	含水量/%	湿压强度/MPa	透气性	紧实率/%	含水量/%	湿压强度/MPa	透气性
1	53.30	2.57	0.041	53	53.42	2.52	0.041	52
2	57.50	3.16	0.044	51	57.29	3.32	0.043	51
3	58.30	3.56	0.040	52	58.26	3.59	0.040	51
4	59.10	4.06	0.032	52	59.31	4.02	0.033	50
5	59.50	4.47	0.032	52	59.07	4.21	0.034	54
6	60.00	4.64	0.031	52	60.30	4.59	0.031	52
7	58.75	4.81	0.030	50	58.99	4.90	0.030	48
8	57.20	5.34	0.033	50	57.05	5.17	0.032	51
9	56.25	2.77	0.017	53	56.17	2.83	0.017	53
10	56.66	3.31	0.017	52	56.74	3.24	0.018	53
11	57.00	3.70	0.018	51	57.05	3.53	0.017	51
12	58.75	4.28	0.017	51	58.78	4.29	0.017	52
13	57.90	4.47	0.016	50	57.92	4.41	0.016	50
14	57.90	4.84	0.017	50	57.95	4.89	0.017	49
15	57.90	4.94	0.021	45	58.01	4.89	0.022	47
16	58.33	5.23	0.022	46	58.06	5.02	0.022	48

表2 铸造车间回用旧砂及新混制砂检测数据对比
Table 2 Comparison of the detection data of the recycled sand and mixed sand in foundry workshop

序号	标准法测定				检测装置测定			
	紧实率/%	含水量/%	湿压强度/MPa	透气性	紧实率/%	含水量/%	湿压强度/MPa	透气性
1	52.40	2.71	0.108	130	53.00	2.67	0.109	128
2	58.33	3.02	0.072	129	57.47	3.10	0.070	130
3	62.50	3.49	0.082	130	61.77	3.44	0.081	127
4	62.90	3.58	0.084	140	61.84	3.56	0.082	136
5	55.83	2.77	0.054	137	55.99	2.69	0.054	137
6	58.73	3.05	0.052	127	59.31	3.17	0.054	125
7	59.51	3.39	0.050	138	60.08	3.47	0.050	135
8	61.20	3.58	0.052	135	61.64	3.58	0.053	134
9	60.70	3.73	0.052	140	61.31	3.76	0.055	137
10	59.95	3.86	0.051	140	60.82	3.71	0.053	139
11	50.80	2.72	0.124	140	50.85	2.73	0.123	141
12	56.82	3.17	0.109	145	56.13	3.06	0.107	147
13	50.80	2.73	0.136	152	50.98	2.75	0.135	151
14	57.08	3.07	0.127	166	56.57	3.04	0.125	166
15	44.16	2.69	0.160	169	44.31	2.73	0.159	170
16	50.26	2.87	0.129	179	49.57	2.77	0.128	181

4 结论

(1) 采用自动与手动相结合方式,以单片机为测控核心,以取样筒、换位底板、电动推杆、微型吹风机和传感器组等为主要部件,构建的湿型粘土砂质量便携式检测装置可实现紧实率、含水量、透气性及湿

压强度快速检测。

(2) 实验室条件下及铸造车间环境下应用便携式检测装置检测湿型砂质量参数,与标准检测仪器检测结果相比,紧实率、含水量、透气性及湿压强度检测相对误差分别为0.60%、2.12%、1.87%、1.61%,检测

时间小于2 min。

(3) 试用结果表明, 本文研制的湿型粘土砂质量参数便携检测方法及装置适用于铸造车间回用旧砂及

混砂机新混砂质量参数随时监测, 升级全自动模式, 可用于型砂生产线质量控制。

参考文献:

- [1] 李大勇. 铸造生产过程在线快速检测技术研究及应用进展 [J]. 铸造, 2022, 71 (5): 517-543.
- [2] ANWAR Nurul, JALAVA Kalle, ORKAS Juhani. Experimental study of inorganic foundry sand binders for mold and cast quality [J]. International Journal of Metalcasting, 2022, 17 (3): 1697-1714.
- [3] SAHOO P K, PATTNAIK S, SUTAR M K. Investigation on the influence of different additives on properties of green sand mould [J]. Materials Science Forum, 2020, 978: 29-33.
- [4] 孔龙, 高仲春, 李祉辉. 粘土砂造型线型砂综合添加剂的应用 [J]. 铸造工程, 2021, 45 (1): 46-51.
- [5] 汪大新, 罗磊. 高密度造型型砂表面质量控制 [J]. 铸造设备与工艺, 2020, 224 (5): 33-35.
- [6] 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): 77-82.
- [7] PANDIT H, DESHPANDE A. Theory of combined imbalance for quality improvement in green sand molded castings [J]. Materialstoday: Proceedings, 2021, 47 (10): 2315-2321.
- [8] NANDAGOPAL M, SIVAKUMAR K. Experimental investigation on influence of mould wall thickness and hardness on green sand mould permeability [J]. Materials Today: Proceedings, 2022, 66 (P3): 942-947.
- [9] IHOM P A, ALLEN M A, NWONYE I M, et al. Investigation of the accuracy of non linear model in the study of green permeability of green sand moulds [J]. African Journal of Engineering Research, 2014, 2 (1): 14-20.
- [10] 于彦奇. 型砂质量控制和管理的MES系统 [C]//第十六届中国铸造协会年会暨第五届全国铸造行业创新发展论坛论文集, 2020.
- [11] SHI Dequan, GAO Guili, SUN Ming, et al. Feasibility of measuring moisture content of green sand by a low frequency multiprobe detector based on dielectric characteristics [J]. China Foundry, 2023, 20 (3): 197-206.
- [12] SUREKHA B, KAUSHIK L K, PANDUY A K, et al. Multi-objective optimization of green sand mould system using evolutionary algorithms [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011 (5): 3365-3374.
- [13] 蓝伟铭. 型砂水分及铸型紧实度检测与控制 [J]. 热加工工艺, 2015, 44 (5): 109-110.
- [14] 史先传, 冯苏杭, 顾玉凯, 等. 型砂水分在线检测系统设计 [J]. 自动化仪表, 2022 (4): 10-15.
- [15] 张颖, 赵京鹤. 基于STM32的型砂品质在线监测仪研制 [J]. 铸造技术, 2017 (7): 1742-1744.
- [16] BEATA G, DANIEL N. Nondestructive, microwave testing of compression strength and moisture content of green molding sands [J]. Journal of Nondestructive Evaluation, 2021, 40: 86.
- [17] 李明霞, 李苗苗, 骆坤, 等. 加热温度对型砂抗压强度的影响及机理分析 [J]. 现代铸铁, 2021, 41 (5): 49-51.

Multi-Parameters Integrated Detection Method and Development of Portable Device for Green Sand Quality

LIANG Cang, MA Xu-liang, LI Da-yong

(School of Materials Science and Chemical Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

Abstract:

Molding sand quality is one of the important factors affecting the quality of castings. Portable detection device for molding sand properties, especially multi-parameter portable detection device, plays an important role in mold quality control. In this paper, a portable detection device based on single chip microcomputer testing and controlling was developed, which can finish the detection of compaction rate, water content, air permeability and wet compressive strength of wet clay sand synchronously in site. The testing principle, hardware composition, software design and measured results of the detection device were introduced in this paper. The relative error between the portable detection device and the standard method was that the compaction rate was 0.60%, the water content was 2.12%, the air permeability was 1.87%, the wet compression strength was 1.61%, and the detection time was less than 2 min, which proves that the portable detection device has high test accuracy and working stability.

Key words:

green sand; properties; integrated detection method; portable device