

混凝土拌合过程电流信号特征及影响因素研究

张毅, 何彦琪, 蒋震, 刘斌

(中建西部建设湖南有限公司)

【摘要】为研究混凝土拌合过程电流信号预测新拌混凝土性能的可行性, 文章研究了混凝土拌合过程对应电流信号特征以及混凝土标号、稀稠状态、方量和搅拌机状态等对电流信号的影响规律。结果表明: 随着混凝土标号的增大, 其峰值电流、稳定电流及时间均相应增大; 混凝土稀稠状态主要影响电流信号搅拌阶段的平均斜率, 即混凝土越干稠, 其平均斜率绝对值越大; 搅拌方量的增大会导致峰值电流和稳定电流增大, 且呈线性关系; 搅拌机状态则主要影响空载电流的大小。

【关键词】混凝土拌合过程; 电流信号特征; 关联分析; 影响规律

【基金项目】中建西部建设科技研发计划, 项目编号: ZJXJ-2021-09

中图分类号: TU74

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.10.043

Study on Current Signal Characteristics and Influencing Factors in the Mixing Process of Concrete

ZHANG Yi, HE Yan-qi, JIANG Zhen, LIU Bin

(China West Construction Hunan Co., Ltd.)

【Abstract】In order to study the feasibility of predicting the performance of fresh mixed concrete by the current signal during the concrete mixing process, this paper studies the corresponding current signal characteristics of the concrete mixing process and the influence law of concrete grades, dilute density state, mixing quantity and mixer state on the current signal. The results show that with the increase of the concrete number, the peak current, stable current and time increase accordingly. The dilute density state of concrete mainly affects the average gradient of the mixing stage of the current signal, that is, the drier and thicker the concrete, the greater the absolute value of the average gradient; The increase of mixing quantity will lead to the increase of peak current and stable current and presents a linear relationship; The state of the mixer mainly affects the magnitude of the no-load current.

【Keywords】concrete mixing process; characteristics of current signal; correlation analysis; influence laws

1 引言

近年来,随着商品混凝土原材料供应的变化,如机制砂、石粉、外加剂等的使用,混凝土的性能较以往更容易出现波动^[1],给预拌厂质量控制提出了更高的要求。新拌混凝土性能直接影响着混凝土运输、浇筑、成形及到场交付等关键环节,而通常预拌厂混凝土出厂检测主要依靠质检员的经验或坍落度指标进行判断,其做法不仅存在因人而异的不稳定性风险,而且也无法做到出机前的及时检测和调整^[2-3],难以满足预拌厂新拌混凝土质量控制的要求。

电流信号是混凝土拌合过程中产生的电学信号,具有直观、实时、易获取等特点。相关研究表明,新拌混凝土的某些性能与搅拌机消耗功率存在关联^[1,4],例如匀质性^[5]。基于这一事实,本文研究了新拌混凝土拌合过程的电流信号规律及其影响因素,旨在为进一步通过电流信号实时监测新拌混凝土性

能提供基础依据和参考。

2 新拌混凝土拌合过程及电流信号

2.1 新拌混凝土拌合过程分析

新拌混凝土的拌合过程是各种原材料在搅拌主机作用下由散乱状态混合为均匀状态的过程^[2],也是搅拌叶片克服拌合物作用力做功、由电能转化为动能的过程。通常包括投料、搅拌、稳定和放料几个阶段^[6]。投料阶段——各原材料投入搅拌筒内,呈散乱不均匀状态,搅拌叶片主要受原材料重力、砂石之间的嵌挤力和摩擦力作用;搅拌阶段——物料投毕,材料混合均匀,水泥浆体形成,重力恒定、嵌挤力和摩擦力不断减小,粘聚力形成;稳定阶段——材料拌合充分,呈悬浮状态,受力稳定;放料阶段——混凝土放出,重力不断减小,其他力较为稳定^[7-8]。

2.2 拌合过程电流信号的获取

电流信号是搅拌主机在新拌混凝土成形过程中产生的重要电学信号。本文依托拌合站生产线的混凝土流变性能动态监控系统主机BY-DTJK 19/A型(见图1),对搅拌全过程的电流信号进行记录。表1为记录的部分电流信号数据,包括时间及其对应电流、电压和小门开关状态。

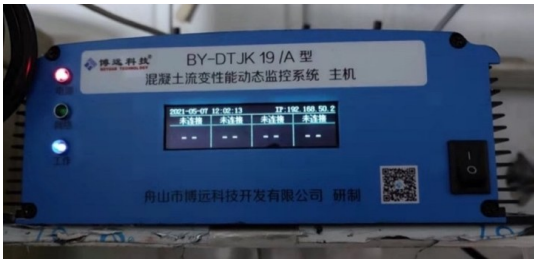


图1 电流信号实时监测主机

表1 某新拌混凝土成形过程对应电流信号数据(截取)

时间/ms	电流/A	电压/V	开门状态
2022/03/24_14:55:15.346	75.6	388.1	
2022/03/24_14:55:15.614	75.5	388.2	
2022/03/24_14:55:15.848	75.4	388.1	
2022/03/24_14:55:16.098	75.3	388.1	
2022/03/24_14:55:16.346	75.3	387.7	小*
2022/03/24_14:55:16.594	75.3	387.7	小
2022/03/24_14:55:16.846	75.3	388.1	小
2022/03/24_14:55:17.096	75.3	387.7	小
2022/03/24_14:55:17.346	75.3	388.2	小

“小”代表搅拌主机小门为打开状态,表明处于放料状态。

图2为通过新拌混凝土电流信号实时监测主机采集的某项目某车5个盘次C30混凝土生产过程的电流信号,由于不同盘次间隔时间很短,所使用的原材料、配合比、搅拌方量、设备状态可以视为相同。可以看出,各盘次拌合过程电流信号曲线具有显著的一致性,且表现出先以较快的速度增大至峰值(称为峰值电流),随后经历电流较快降低、基本稳定、逐渐降低的变化过程,其变化趋势与进料、搅拌、稳定及放料等过程的受力相对应。

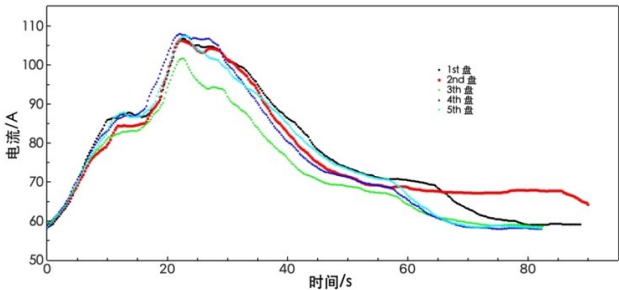


图2 电流信号散点图(C30)

2.3 拌合过程与电流信号的关联分析

在转速恒定和电压恒定条件下,搅拌主机功率将随受力大小变化而变化^[4]。图3是拌合过程与电流信号的关联关系,新拌混凝土拌合过程是电能转化为动能,进而转化为克服重力、嵌挤力、摩擦力、粘聚力等做功的过程,不同拌合过程的总做功大小具有差异,同一搅拌过程的不同时刻的瞬时功率的大小也是不断变化的。

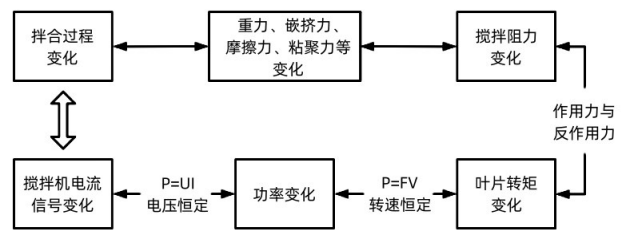


图3 新拌混凝土拌合过程与电流信号的关联路径

3 电流信号影响因素及分析

研究影响电流信号的因素及分析其规律是进行电流信号表征新拌混凝土性能的基础,具有十分重要的意义。按照来源,影响因素可以分为性能因素(内因)和生产因素(外因)(见图4)。其中,包括原材料种类、配合比以及标号在内的性能因素主要是通过改变新拌混凝土的内摩擦力、嵌挤力、粘聚力等内力来影响电流信号;而搅拌方量、搅拌机等生产因素则是通过影响搅拌机所受重力、外部摩擦力等来影响电流信号。

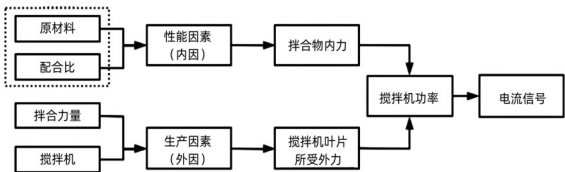


图4 电流信号的主要影响因素

3.1 性能因素对电流信号的影响

为研究混凝土稀稠状态对电流信号的影响,通过目测和坍落度指标对新拌混凝土的状态进行了稀、干和正常三种状态的评价,选取三种状态共6组新拌混凝土的电流信号计算了对应电流信号散点图(曲线)(见图5)的平均斜率,结果如表2所示。

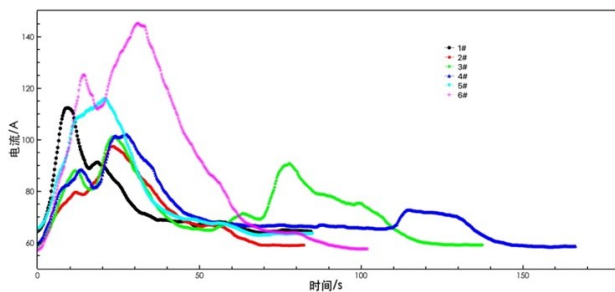


图5 1#~6#测试组对应的电流曲线散点图(曲线)

表2 不同状态混凝土及电流信号参数

编号	状态 目测	坍落 度/cm	峰值电 流/A	峰值时 间/s	稳定电 流/A	稳定时 间/s	平均斜 率*
1#	稀	245	112.30	9.00	67.30	51.50	-1.06
2#	稀	240	97.40	23.25	52.00	52.00	-1.07
3#	正常	210	101.10	23.25	64.90	51.50	-1.28
4#	正常	200	101.90	27.50	67.40	57.25	-1.16
5#	干	180	115.70	20.75	69.00	45.50	-1.89
6#	干	185	145.20	31.00	64.40	71.50	-2.00

注*: 平均斜率=(峰值电流-稳定电流)/(峰值时间-稳定时间)。

从表2和图5可以看出,不同状态的混凝土对应的电流曲线在形态上具有明显的差异,即空载电流、峰值电流和稳定电流及对应时间等存在显著不同。通过分析其峰值电流、稳定时间及所用时间进行平均斜率的计算,可以发现,新拌混凝土状态越干稠(坍落度越小),对应电流曲线的平均斜率绝对值越大,表明电流信号在搅拌阶段下降速度越快(电机功率下降越迅速)。结合稳定阶段的受力分析,在平均斜率计算区间(搅拌阶段),主要是混凝土内部摩擦力、嵌挤力、粘聚力变化的过程,当新拌混合料过稀时,常常伴随着泌水、骨料分离的现象,材料均匀性差,骨料间的嵌挤力和摩擦力仍十分明显,下降速度慢且水泥浆体的润滑作用有限,骨料间的嵌挤力和摩擦力下降较快,表现为搅拌过程电流降低过程较为缓慢;而当新拌混凝土处于正常和过干状态时,内力变化稳定,比起过稀状态时,混凝土属于悬浮状态,内部嵌挤力和摩擦力较小,电流(功率)下降速度较快。

此外,本文还对比了不同标号(C30、C35、C55、C60)新拌混凝土拌合过程的电流信号。如图6所示,标号的变化直接影响峰值电流、稳定电流和对应时间等。究其原因,是因为标号变化意味着原材料、配合比的变化,进而改变新拌混凝土内部的嵌挤力、摩擦力、内聚力等,引起搅拌机功率的变化。

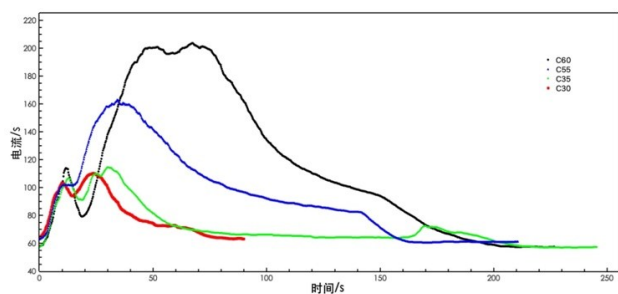
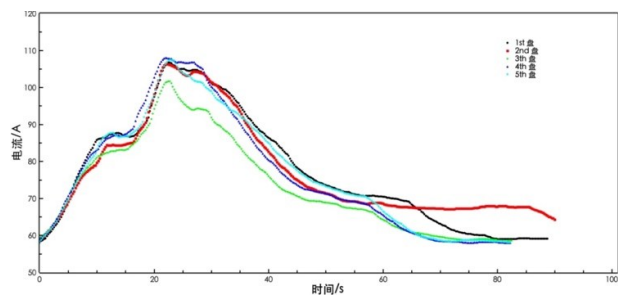


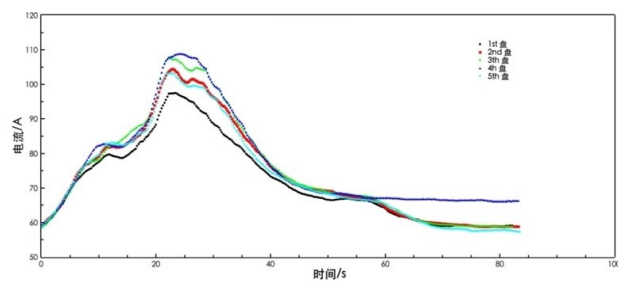
图6 不同标号对应的电流信号散点图

3.2 生产因素对电流信号的影响

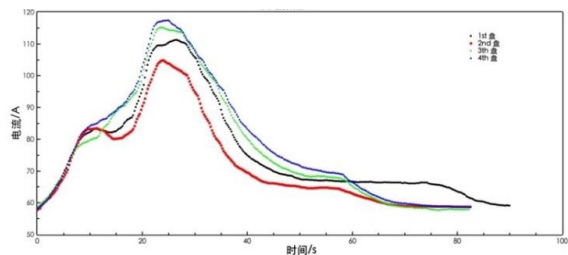
图7是相邻车次(一车4或5盘)、搅拌方量分别为2.6、2.8和3.0方的混凝土拌合过程对应的电流散点图,由于时间间隔很小、原材料、配比相同,可认为除搅拌方量之外,其他因素均相同。可以看到,搅拌方量的不同在电流信号上的变化主要体现在峰值电流和稳定电流信号上,搅拌方量为2.6、2.8和3.0方对应的峰值电流平均值分别为:106.0A、104.2A和112.2A,稳定电流则分别为:69.2A、70.3A和71.8A。



a 搅拌方量为2.6方的电流信号散点图



b 搅拌方量为2.8方的电流信号散点图



c 搅拌方量为3.0方的电流信号散点图

图7 不同搅拌量对电流信号的影响

进一步地通过分析获取的不同搅拌方量及对应空载电流、峰值电流和稳定电流(见表3),假设搅拌方量为0时的峰值电流和稳定电流均为空载电流的值)。结果表明搅拌方量与峰值电流以及稳定电流存在线性关系(见图8)。

表3 不同搅拌方量的电流信号特征值

搅拌方量	空载电流/A	峰值电流/A	稳定电流/A
0	58.5	58.5	58.5
2.6	58.7	106.0	69.2
2.8	58.8	104.2	70.3
3.0	58.1	112.2	71.8

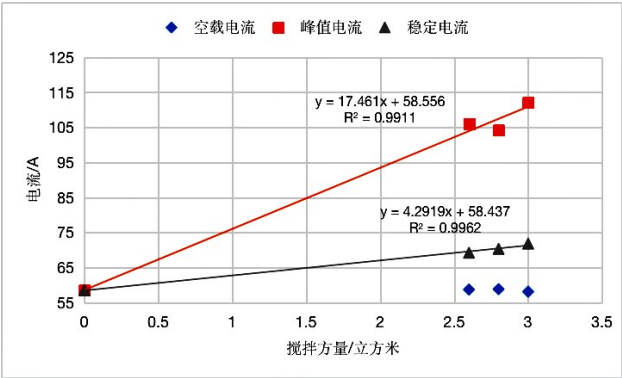


图8 搅拌方量与电流特征值的关系图

图9为同一配比(C30)在固定生产线在不同时间点(搅拌机状态不同,主要差别为搅拌罐罐壁残留混凝土情况)生产过程的空载电流记录,在记录的30天内该生产线的空载电流呈现出较大的周期性波动。其最大差值达到了12.76A,表明搅拌主机状态对电流信号空载电流的影响是明显的。是由于生产线(搅拌机)使用一段时间后,罐壁会残留部分混凝土,并随着时间不断加厚,导致搅拌叶片空转时与罐壁的摩擦力大小的变化,从而导致功率(空载电流值)大小的变化,而其周期性的波动,则主要与拌合站生产线周期性的清罐维护相关。

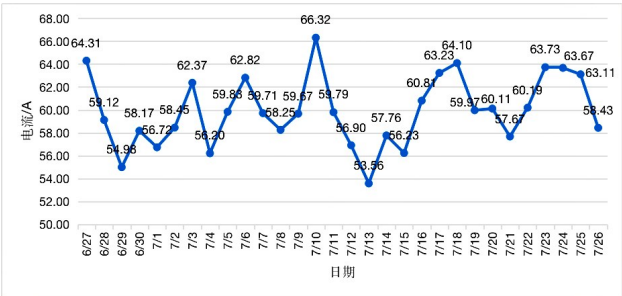


图9 不同时间搅拌机的空载电流

4 结语

①新拌混凝土拌合过程主要受到重力、嵌挤力、摩擦力、粘聚力等,其受力种类及大小的变化是新拌混凝土搅拌过程变化的实质,是引起搅拌机电流变化的内在原因。

②新拌混凝土拌合过程的电流信号受性能因素和生产因素的影响。其中,稀稠状态变化表现为电流信号曲线稳定阶段平均斜率的变化;混凝土标号越高,对应的峰值电流、稳定电流和所用时间均有所增长;搅拌方量主要影响峰值电流、稳定电流的数值;而搅拌主机罐壁残留混凝土状态将显著影响空载电流的大小。

③新拌混凝土电流信号与其拌合过程具有良好的关系性,对其出厂质量检测具有重要应用价值,但其影响因素较多且机理较为复杂,因而需要进一步对电流信号信息进行筛选和挖掘。

参考文献

[1] 范朝明.混凝土搅拌站搅拌质量的预测方法研究[D].福建:华侨大学, 2016.

[2] 高海鹏.混凝土拌合过程量化品质管理研究[D].天津:河北工业大学, 2014.

[3] 周浩.基于搅拌主机电流反馈的混凝土质量控制方法[J].建材与装饰, 2020 (5): 48-50.

[4] 张培瑞, 曹毅松, 王超.利用搅拌机电流值对混凝土坍落度预测的试验及应用[J].建筑工程技术与设计, 2020 (19): 481.

[5] David Chopin, Bogdan Cazacliu, Francois De Larrard, etc. Monitoring of concrete homogenisation with the power consumption curve[J].Materials and Structures Materiaux et Construction, 2007, 40 (9): 897-907.

[6] 冯忠绪.混凝土搅拌理论与设备[M].北京:人民交通出版社, 2001.

[7] 黄明奎.公路工程材料流变学[M].成都:西南交通大学出版社, 2010.

[8] 江见鲸, 冯乃谦.混凝土力学[M].北京:中国铁道出版社, 1991.