

预制构件混凝土布料机自动预标定应用

李冬¹,李洋¹,程洪波²,张珂¹,吴玉厚¹

(1. 沈阳建筑大学机械工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 中建二局第四建筑工程有限公司,天津 300457)

摘要 目的 研究混凝土布料机在浇筑生产过程中的自动预标定方法,解决布料机无法定位到浇筑起始点的问题。方法 搭建预标定行走系统,采用伺服电机作为布料机行走机构的驱动电机,建立布料机的行走坐标系;通过在布料机上增设边模检测传感器,结合位置传感器实现边模位置检测;设计预标定方法,结合布料区边模摆放特点,给出预标定点确定原理,在此基础上,设计布料机自动预标定过程,将边模的位置信息映射至布料机行走坐标系中,实现预标定点坐标自动确定。结果 实验验证表明,此方法可使布料机自动确定预标定点,最终标定点 X 轴方向最大位置差为 13.8 mm, Y 轴方向的最大位置偏差为 14.3 mm,预标定最大定位偏差为 19.9 mm。结论 该自动预标定方法能够自动完成布料区预标定点的确定,可显著提高当前混凝土布料机在预标定定位方面的自动化水平、定位效率,同时具有较高的定位精度,可为后期混凝土布料机自动浇筑生产流程的实现奠定基础。

关键词 预标定;定位控制;混凝土布料机;预制混凝土构件

中图分类号 TP278

文献标志码 A

Application of Automatic Pre-calibration for Prefabricated Concrete Distributor

LI Dong¹, LI Yang¹, CHENG Hongbo², ZHANG Ke¹, WU Yuhou¹

(1. School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. The Fourth Construction Engineering Co. Ltd., China Construction Second Engineering Bureall, Tianjin, China, 300457)

Abstract: This paper studies the automatic pre-calibration method of concrete distributor in distributing production, and solves the problem that the concrete distributor cannot automatically locate the starting point of production. By using the servo motor as the driving motor of the walking mechanism of the concrete distributor, the pre-calibration walking system is built, and the walking coordinate system of the concrete distributor is established. The side mold detection sensor is added to the concrete distributor, combined with the position sensor to realize the detection of the

收稿日期:2020-03-06

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC0704003);住房和城乡建设部科技攻关项目(2019-K-079);沈阳市科技计划项目重大科技创新研发计划(Y19-1-004)

作者简介:李冬(1983—),男,副教授,博士,主要从事复杂过程建模、控制与优化等方面研究。

side mold position. According to the position of the concrete distributor and the placement characteristics of the side mold in the distribution area, the pre-calibration method is designed and the principle of calculating the coordinates of the pre-calibration points is given. On this basis, the automatic pre-calibration step of the concrete distributor is designed, and the coordinates of the pre-calibration point are automatically determined by mapping the position information of the side mold to the walking coordinate system of the concrete distributor. The experimental verification shows that this method can automatically determine the pre-calibration point, and the maximum position deviation of the calibration point in the X-axis direction is 13.8 mm, the maximum position deviation in the Y-axis direction is 14.3 mm, and the maximum positioning deviation of pre-calibration is 19.9 mm. This automatic pre-calibration method can automatically complete the determination of the pre-calibration point in the distribution area, which can significantly improve the automation level and positioning efficiency of the current concrete distributor in terms of pre-calibration positioning. At the same time, this method has high positioning accuracy, and it also lays the foundation for the realization of the later automatic pouring production process of the concrete distributor.

Key words: pre-calibration; positioning control; concrete distributor; precast concrete

随着我国经济和科学技术的发展,传统混凝土现浇建筑方式已经不能满足当前建筑业的发展需求,预制混凝土构件工厂化生产逐渐成为我国建筑工业化发展的重要趋势^[1-3]。此生产方式将对我国预制构件生产发展产生巨大的推动作用,同时也为建筑业施工方式的巨变奠定基础^[4]。混凝土浇筑成型是预制混凝土构件工厂化生产的关键环节,该环节一般采用多螺旋式混凝土布料机辅助完成^[5-7]。此布料机的优势在于多个螺旋同时浇筑混凝土进行布料生产,不仅单次布料宽度宽,而且每个螺旋的出料量可调,配合布料机的行走机构,可通过高效、高精度的自动化混凝土浇筑完成预制构件生产^[8-10]。

在预制混凝土构件的浇筑生产过程中,边模被摆放到底模托盘上送至布料机的浇筑区域内。在每个底模托盘上,边模围成的混凝土浇筑区域位置及数量是不同的,所以每次更换布料环节的底模托盘后,都要重新定位布料机开始浇筑生产的起始位置,即预标定。只有通过预标定确定生产起始点位置,才能根据设定构件尺寸信息和位置数据,自动完成托盘上规定预制构件的浇筑生产。由

此可见,布料机位置的预标定是实现自动化混凝土布料的前提和基础,它不仅限制后续布料流程的自动完成,而且还会影响浇筑在布料区域内的混凝土分布位置,进而影响构件重量精度以及人工辅助摊铺工作量^[11-13]。

目前,在预制构件混凝土布料生产前,国内普遍采用手动控制方式实现布料机位置预标定^[14-16]。这种人工标定主要依靠岗位工人在布料区域旁观察布料机位置,通过手动控制布料大车和小车来确定布料机起始浇筑生产位置。此方法需设置专门操作人员,占用人力成本多,且布料机定位的精确性依赖人工操作经验。文献[17]提出了一种基于底模托盘标注和接近开关的预标定方法,此方法基于托盘在布料区域的精确定位,并通过在托盘表面标注和测量磁性边模摆放位置的方式实现布料机预标定,虽然具有布料系统改动小、成本低等优点,但会限制底模托盘上的边模摆放位置以及构件摆放数量。

为克服上述方法缺点,笔者以实现混凝土布料机自动预标定为目标,从布料机浇筑生产工艺出发,搭建布料机预标定系统,奠定布料机的检测和控制基础;在此基础上,设计布料机的标定方法,并给出了标定步骤,再通

过实物验证了混凝土布料机的预标定效果。研究表明:笔者所设计的预标定方法能够自动完成布料区预标定点的确定,可显著提高当前混凝土布料机的自动化水平和定位效率。

1 混凝土布料预标定问题的提出

采用多螺旋式混凝土布料机浇筑预制构件的生产过程示意图如图1所示。

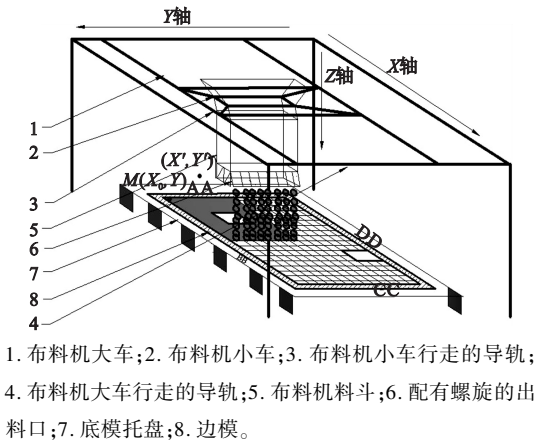


图1 多螺旋混凝土布料机浇筑生产过程示意图

Fig. 1 The schematic diagram of pouring production process of multi-screw concrete distributor

由图1可以看到,混凝土布料机实现浇筑生产的主要设备包括布料机大车、布料机小车、出料口及其内部配置的螺旋。当布料机开始浇筑生产时,通过布料小车沿 X 轴方向往复运动,配合多个出料口螺旋的旋转,完成底模托盘上边模围成布料区域的混凝土浇筑。若布料机小车一次行走布料无法完成预制构件的浇筑生产,则布料机大车沿 Y 轴方向调节布料机浇筑生产道次,然后由布料机小车再次沿 X 轴方向运动进行浇筑生产。布料机重复上述浇筑生产过程,直至完成所有布料区域内的混凝土浇筑生产,之后通过更换底模托盘,根据新的布料区域分布情况,重复上述过程完成接下来的预制混凝土构件浇筑生产^[18-20]。

由上述浇筑生产过程可知,布料机自动浇筑的顺利完成,不仅需要布料机同时在大

车和小车行走轨道形成的平面内以及边模围成的布料区域内实现精确定位,还需要使布料机在这两个平行平面内的坐标同一化。因为每次完成构件浇筑生产,边模围成布料区域的位置和大小均会发生变化,且布料区域环境复杂,很难在布料区平面内安装位置传感器,指导行走轨道平面内的布料机在布料区域内精确定位,所以只能选择将布料区域内坐标映射到行走轨道平面内。若能在自动浇筑生产前,确定图1中点 M 在行走轨道平面内的坐标位置,则不仅确定了布料机浇筑生产的起始位置,而且依据构件尺寸信息还可将布料区平面坐标映射到与其平行的行走轨道平面内。浇筑生产前确定的点 M 即为预标定点。综上可知,解决预标定点的确定问题,不仅可使布料区域平面与行走轨道平面的坐标同一化,也使混凝土布料机自动浇筑成为可能。

2 混凝土布料机预标定系统的搭建

由第1节可知,预标定点虽然只有一个点,但此点的确定却需要布料系统能够实现定位功能以及坐标映射功能,按此需求,对混凝土布料机预标定系统进行搭建。

2.1 混凝土布料机定位功能

为了在行走轨道平面内实现布料机定位,设计布料机的大车和小车行走驱动装置均采用伺服驱动装置,既实现了布料机在 X 轴和 Y 轴方向上的位置精确检测和定位,又可通过伺服驱动装置和检测装置的默契配合使布料机行走动态性能达到最优。

采用3台SIEMENS公司的伺服电机作为布料机行走机构驱动电机,且每台伺服电机配1个该公司的V90伺服驱动器,它们的驱动方式为:布料机小车由1套伺服电机和驱动器来驱动,布料机大车采用2套伺服电机和驱动器进行同步驱动。每台伺服电机的编码器选择绝对式编码器,输出值为布料机的绝对位置,即使断电也不会影响数据,无需

反复重新调整零位。上述伺服驱动系统,可在伺服驱动器环节构成位置闭环控制,且控制周期短,能提高布料机在 X 轴和 Y 轴方向的定位精度。

2.2 布料区坐标点映射功能

为了将布料区平面内坐标映射到行走轨道平面内,可选用开关量传感器,其检测方向与布料区域平面垂直,设为 Z 轴方向。此开关量传感器选用西克 DT35 距离传感器,并将其安装在布料机料斗侧面钢板上。此传感器分辨率可达 0.1 mm ,而且还具有非常短的响应时间,仅为 2.5 ms 。通过调节传感器参数,可检测到底模托盘上的边模。

将用于实现坐标映射功能的传感器与伺服电机的绝对值编码器相结合,即可将布料区平面内坐标映射到行走区平面内。具体方法:布料机在行走平面内运行,当布料区域内的边模处于传感器正下方时,传感器发出触发信号,同时记录下布料机大车和小车编码器位置反馈值,即可得布料区域内边模在行走轨道平面内的具体坐标值,这样就实现了布料区坐标点映射功能。

3 布料机预标定方法设计

结合布料区域特点,给出预标定点确定原理,在此基础上,完成混凝土布料机自动预标定过程设计。

3.1 自动预标定原理

由图1可知,预标定点 M 是边模 AA 与边模 BB 的交点,且 2 个边模夹角成直角。在布料区域平面内,由边模 AA、边模 BB 和预标定点的几何关系可知,预标定点 M 的 X 轴坐标与边模 AA 内沿的相同;预标定点 M 的 Y 轴坐标与边模 BB 内沿的相同。因此,只要分别检测到边模 AA 内沿的 X 轴坐标以及边模 BB 内沿的 Y 轴坐标,并将它们由布料区域平面内映射到行走轨道平面内,即可确定预标定点 M 在行走轨道平面内坐标。

3.2 自动预标定过程设计

参与布料机自动预标定的主要装置为布料机大车和小车的伺服驱动电机,所以在自动预标定开始前,需确定它们的状态正常。然后,按照自动预标定原理,对照图1设计其实现过程:

步骤1:布料机移动至初始固定位置。此初始位置需要使布料机位于非布料区域外,一般为布料区域一侧边缘,同时需要使 Z 轴方向检测的传感器位于 Y 轴中点位置,以对摆放在不同位置的边模均能检测其预标定点。

步骤2:检测边模 AA。布料机小车带动布料机沿 X 轴直行, Z 轴方向传感器开始检测边模位置。当边模 AA 位于 Z 轴传感器正下方时,会触发传感器,控制器控制布料机继续沿 X 轴直行,直至 Z 轴传感器触发信号消失,此时检测到是边模 AA 的内沿,并记录下此时布料机的 X 轴位置坐标 X_{j0} 。之后控制器控制布料机继续前行一段距离后停止,此时 Z 轴传感器远离边模 AA,避免此边模对之后的标定操作造成干扰。

步骤3:检测边模 BB。布料机大车带动布料机沿 Y 轴移动,使 Z 轴传感器移动到边模 BB 所在侧布料区边缘。然后,令布料机从边模 BB 所在侧布料区域沿 Y 轴向边模 DD 所在侧布料区移动,直至 Z 轴传感器产生触发信号又再次消失为止。这说明 Z 轴传感器检测到边模 BB 的内沿,令布料机停止运行,并记录此时布料机的 Y 轴位置 Y_{j0} 。

步骤四:计算预标定点。基于步骤二和步骤三检测的 Z 轴传感器坐标值 (X_{j0}, Y_{j0}) ,同时结合其安装位置,可得布料机预标定点坐标 $M(X_0, Y_0)$,如式(1)和式(2)所示。然后令布料机移动到这两个式子的计算值,完成布料机自动预标定。

$$X_0 = X_{j0} - X_j \quad (1)$$

$$Y_0 = Y_{j0} - Y_j \quad (2)$$

式中: X_j, Y_j 分别为 Z 轴传感器距离布料机

定位 X 轴和 Y 轴位置的距离。

4 实验验证

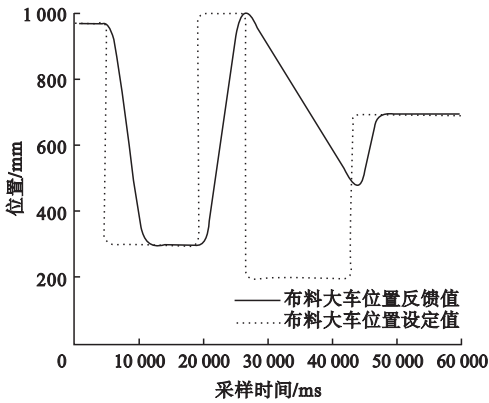
在实验室多螺旋实验平台上完成预标定系统搭建,如图 2 所示。以此为基础,采用西门子博图 V15 软件平台,按照上节所设计的自动预标定过程编写控制程序,并在西门子 S7-1500PLC 上运行此程序,验证笔者提出的自动预标定效果。自动预标定过程中,布料机大车、布料机小车和边模坐标映射触发信

号如图 3 所示。

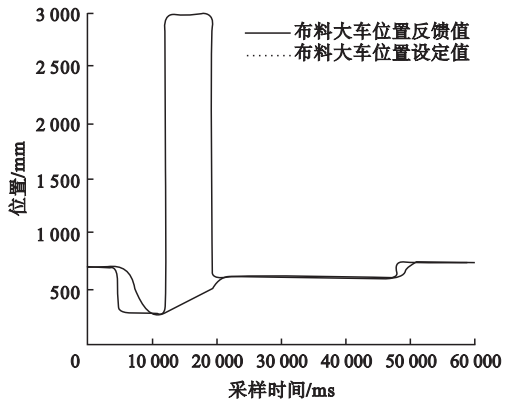


图 2 多螺旋布料机实验平台

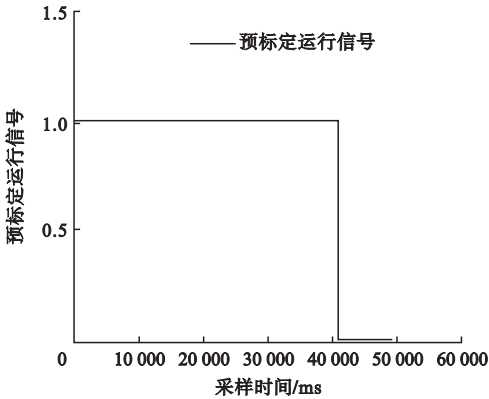
Fig. 2 The experimental platform of multi-screw concrete distributor



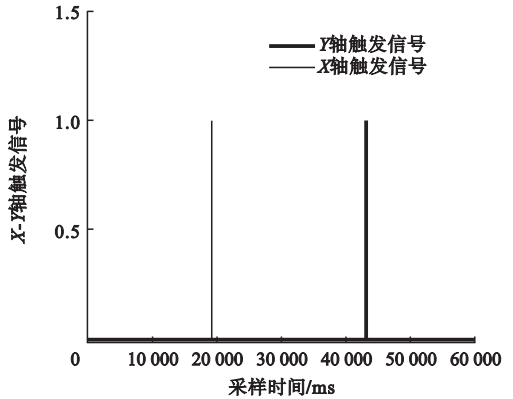
(a)布料大车位置反馈图



(b)布料小车位置反馈图



(c)布料大车位置反馈图



(d)布料大车位置反馈图

图 3 自动预标定运行效果曲线

Fig. 3 The experimental running curves of automatic pre-calibration

由图 3(a) ~ 图 3(c) 可知,在自动预标定启动前,布料机大车和小车位置没有发生变化,即处于静止状态。自动预标定开始后,立刻设置布料机初始位置(300,300) mm,随后布料机大车和小车同时向初始位置移动。当布料机大车和小车均到达初始位置后,设置布料机小车目标位置为 3 000 mm,使布料

机小车带动布料机沿 X 轴方向移动。在此过程中,若 Z 轴传感器先有触发信号,随后信号消失,则检测到边模 AA 的内沿,同时产生记录边模 AA 的触发信号,如图 3(d) 所示。之后,布料机小车继续保持原方向运行 100 mm 后停车,布料机大车向 1 000 mm 目标位置运行。当二者均达到目标位置后,令

布料机大车沿 Y 轴坐标减小方向运行,目标位置为 200 mm。在此过程中,若 Z 轴传感器检测到边模 BB 内沿,立刻记录边模 BB 内沿 Y 轴坐标,如图 3(d) 所示。布料机大车停车,利用检测值按照式(1)和式(2)计算出预标定点坐标为 (757.95, 695.1) mm,并将布料机边缘布料口定位到预标定点上方,至此,自动实现了预标定所有过程。

为了测试预标定的重复定位精度,在相同环境下连续进行 10 次预标定操作,测量布料机每次到达预标定点的 X 轴向偏差和 Y 轴向偏差,采集到的数据如表 1 所示。

表 1 预标定轴向定位偏差

Table 1 The axial positioning deviation of pre-calibration

标定/次	X 轴向偏差/mm	Y 轴向偏差/mm
1	13.8	14.3
2	10.5	13.7
3	10.2	11.2
4	13.1	10.3
5	13.5	14.2
6	10.4	12.1
7	13.4	14.3
8	12.8	11.2
9	13.4	11.1
10	11.3	11.5

由表 1 中的数据可以看出,布料机预标定 X 轴方向最大位置偏差为 13.8 mm, Y 轴方向的最大位置偏差为 14.3 mm。利用表 1 中布料机 X 轴向和 Y 轴向的预标定误差,计算出每次完成预标定后布料机的实际定位点与理论预标定点之间的直线定位偏差,则 10 次预标定定位偏差曲线图如图 4 所示。

从图 4 中可以看出,布料机的预标定定位偏差均小于 20 mm,最大定位偏差为 19.9 mm。从上述实验效果可以看到,按照笔者设计自动预标定方法,无需操作人员参与,可以一次自动完成预标定点的确定,既避免人工定位不准导致小范围内操作布料机反

复定位的发生,同时也为后期自动浇筑生产流程实现奠定基础。

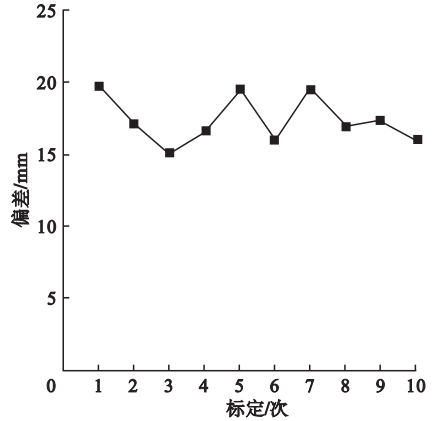


图 4 预标定定位偏差曲线

Fig. 4 The positioning deviation curve of pre-calibration

5 结论

(1) 笔者所设计的预标定方法能够自动完成布料区预标定点的确定,可显著提高当前混凝土布料机的自动化水平和定位效率。

(2) 混凝土布料机预标定的重复定位偏差均小于 20 mm,具有较高的定位精度,能够满足布料机的浇筑要求。

(3) 笔者所设计的预标定方法对现有设备改动小、易实现,具有较好的推广价值。

参考文献

- [1] 王俊,赵基达,胡宗羽. 我国建筑工业化发展现状与思考[J]. 土木工程学报, 2016, 49(5): 1-8.
(WANG Jun, ZHAO Jida, HU Zongyu. Review and thinking on development of building industrialization in China [J]. China civil engineering journal, 2016, 49(5): 1-8.)
- [2] 刘东卫,周静敏. 建筑产业转型进程中新型生产建造方式发展之路[J]. 建筑学报, 2020(5): 1-5.
(LIU Weidong, ZHOU Jingmin. The development path of new construction mode in the transformation of architectural industry [J]. Architectural journal, 2020(5): 1-5.)
- [3] 高欣,陈琳彦,皮宗婕,等. 装配式混凝土结构施工风险管控机制[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(11): 1676-1682.
(GAO Xin, CHEN Linyan, PI Zongjie, et al. Construction risk control mechanism for fabricated concrete structure [J]. Journal of

- tongji university (natural science), 2019, 47 (11): 1676 - 1682.)
- [4] 齐宝库,张阳.装配式建筑发展瓶颈与对策研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2015,17(2):156-159.
(QI Baoku,ZHANG Yang.Prefabricated construction development bottleneck and countermeasures research [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (social science), 2015, 17 (2): 156 - 159.)
- [5] 张世英,邹德芳,周鹏,等.多螺杆混凝土布料机运行中的问题分析及对策[J].建筑机械化,2019,40(2):65-68.
(ZHANG Shiyang,ZOU Defang,ZHOU Peng, et al. Problems analysis and countermeasures in the operation of multi-spiral concrete spreader [J]. Construction mechanization, 2019, 40 (2): 65 - 68.)
- [6] 张珂,李志刚,于文达,等.混凝土布料机打散棒的能耗分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020,36(6):1121-1127.
(ZHANG Ke,LI Zhigang,YU Wenda, et al. Energy consumption analysis of the scattering-rod of concrete distributor [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2020, 36 (6): 1121 - 1127.)
- [7] 邹德芳,闻诗洋,于文达,等.多螺杆混凝土布料机螺旋下料装置驱动功率计算[J].建筑机械化,2019,40(7):17-20.
(ZOU Defang,WEN Shiyang,YU Wenda, et al. Driving power calculation method for screw cutting device of multi-screw concrete distributing machine [J]. Construction mechanization, 2019, 40 (7): 17 - 20.)
- [8] 欧阳周全.螺旋式混凝土布料机关键技术研究[J].河南科技,2019(16):70-72.
(OUYANG Zhouquan.Research on key technology of spiral concrete distributor [J]. He' nan science and technology, 2019 (16): 70 - 72.)
- [9] 赵冬梅,余书豪.变螺距螺旋输送机的螺距设计与性能分析[J].机械设计与制造,2018(6):52-55.
(ZHAO Dongmei,YU Shuhao. Variable pitch design and performance analysis of the variable pitch screw conveyor [J]. Machinery design & manufacture, 2018 (6): 52 - 55.)
- [10] LI D, LI Y, ZHANG K, et al. Pre-calibration method for concrete distributor based on laser sensor [C]//2nd International conference on clean energy and electrical systems. Nanjing: Journal of Physics Conference Series, 2019: 27 - 29.
- [11] 孙红,孙健,吴玉厚,等.大型智能PC构件自动化生产线简介[J].混凝土与水泥制品,2015(3):35-38.
(SUN Hong,SUN Jian,WU Yuhou, et al. Introduction of large scale intelligent PC component automated production line [J]. China concrete and cement products, 2015 (3): 35 - 38.)
- [12] LI D, ZHOU P, FAN L T, et al. Research on multi-agent control system for concrete distribution [C]. Romania: IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2018.
- [13] 陈章华,马月辉,石彦辉.混凝土布料机布料厚度测量系统[J].现代电子技术,2020,43(23):76-78.
(CHEN Zhanghua,MA Yuehui,SHI Yanhui. Measuring system of concrete thickness distribution made by concrete distributor [J]. Modern electronics technique, 2020, 43 (23): 76 - 78.)
- [14] 路阳.PC自动化技术在预制构件生产线中的应用[J].电气传动,2015,45(4):69-72.
(LU Yang. Application of automation technology based on PC in precast element production line [J]. Electric drive, 2015, 45 (4): 69 - 72.)
- [15] 周鹏,郭菁菁,李冬,等.混凝土布料机输送量影响因素研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2019,35(4):723-730.
(ZHOU Peng, GUO Jingjing, LI Dong, et al. Research on influencing factors of concrete distributor's delivery amount [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2019, 35 (4): 723 - 730.)
- [16] 胡国宁,夏静波,张树辉,等.智能布料机控制系统设计与应用[J].中国标准化,2019(24):7-8.
(HU Guoning, XIA Jingbo, ZHANG Shuhui, et al. Design and application of intelligent distributor control system [J]. China standardization, 2019 (24): 7 - 8.)
- [17] ZHOU P, GUO J J, LI D, et al. A pre-calibration method for concrete distributor [C]. Nanchang: Proceedings of the 31st Chinese Control and Decision Conference, 2019.
- [18] 邹德芳,周鹏,孙健,等.大型智能PC外墙板混合生产线工艺及成套设备介绍[J].混凝土与水泥制品,2017(4):37-41.
(ZOU Defang,ZHOU Peng,SUN Jian, et al. Introduction to the technology and complete equipment of the large scale intelligent PC exterior wall panel mixing production line [J]. China concrete and cement products, 2017 (4): 37 - 41.)
- [19] 于明,任霞,刘兴刚,等.混凝土预制构件关键技术研究与成套装备开发[J].科技创新导报,2015,12(30):67-68.
(YU Ming,REN Xia,LIU Xinggang, et al. Key technology and complete equipment development of precast concrete components [J]. Science and technology innovation herald, 2015, 12 (30): 67 - 68.)
- [20] LI D, LI Y, ZHANG K, et al. Design of pre-calibration method for concrete distributor based on photoelectric switch [C]. Guangzhou: Chinese Control Conference, 2019.

(责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)