

连续强制式水泥混凝土搅拌站及其控制算法研究

邵建华¹, 杨 光², 殷奎喜¹

(1 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097;
2 中铁十五局 第二工程有限公司, 河南 焦作 454003)

[摘要] 连续强制式水泥混凝土搅拌站由于没有很好的控制模型和算法, 一直得不到推广和应用. 首先阐述一种集散控制型的连续强制式水泥混凝土搅拌站的工作原理, 然后给出物料流量的最优积分分离式 PID 控制模型和算法, 并给出计算机仿真结果. 结果表明, 这种算法可以实现物料流量的快速过渡和稳定. 最后介绍基于上述控制模型和算法实现的连续式搅拌站, 具有效率高、节能及生产的混凝土指标一致性好等特点.

[关键词] 搅拌站, 连续强制式, PID 控制

[中图分类号] TP273 TV53+5 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2006)01-0072-05

Research on Control Algorithm for Continuous
Forced Cement Concrete Mixing Station

SHAO Jianhua¹, YANG Guang², YIN Kuixi¹

(1 School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China
2 The Second Construction Company Limited of China Railway No. 15 Bureau Group, Jiaozuo 454003, China)

Abstract The Design of a continuously forced cement concrete mixing station were developing slowly because of the lack of excellent controlling models and arithmetic. The paper firstly introduces the working principles of the station, then expresses PID controlling model and arithmetic of the material flux, and finally computes the simulation result. The result shows it can make the transit of material quickly and stably. Also the paper demonstrates the high efficiency and energy saving of the station and the good index consistency of the concrete produced by the station, based on the PID controlling model and arithmetic.

Key words cement concrete mixing station, continuous forced, PID

0 引言

目前混凝土搅拌站按配料的控制方式分为间隙式和连续强制式两大类. 间隙式是指根据配方计算所需各种料的重量并称重, 然后在搅拌机内进行混料、搅拌. 间隙式水泥混凝土搅拌站有间隙强制式和间隙自落式两种, 产品已成系列化, 在技术上相应比较成熟, 使用得也比较多.

连续强制式是指根据配方计算各种料的流量, 并控制瞬间流量满足配比要求的各种料连续同步地进入搅拌机, 搅拌机将进入入口处的混合料边搅拌、边推进至搅拌机出料口, 搅拌好的混凝土连续进入成品容器. 搅拌机为双卧轴强制式搅拌机, 其物流为单方向、不循环. 显然, 连续强制式搅拌站对控制的要求很高, 由于技术上的原因, 连续强制式水泥混凝土搅拌站的推广一度受到一些限制. 随着计算机技术、现代控制技术、机电一体化设计技术^[1]等在连续强制式搅拌站中的开发、应用, 连续强制式搅拌站原有的一些技术难题已被克服, 其优点越来越显现, 应用也必将越来越广泛.

收稿日期: 2005-09-15
基金项目: 南京广维机电设备有限公司资助项目 (K11080BY42).
作者简介: 邵建华 (1964-), 高级工程师, 主要从事卫星通信、编码及控制的教学与研究. E-mail: Shaojianhua@njnu.edu.cn

1 工作原理及组成

1.1 集散型控制系统

整套设备采用 3 级集散控制系统形式,如图 1 所示。

第一级为传感器、执行器.包括拉荷式重量传感器、压荷式重量传感器、涡轮流量计、含水率测试器、送料螺旋、强拉皮带及水泵等。

第二级为检测控制单元.每个检测控制单元包含两片 MOTOROLA 控制型单片机,完成物料流量信号的测量、转换、处理和控制在。这一级是整个搅拌站控制的核心部分,其控制模型和算法的好坏直接决定了连续式搅拌站的可行性。

第三级为计算机控制中心.实现良好的人机接口、协调整个系统的工作,并向更高一级的系统(多套搅拌设备的群控、厂级计算机管理系统等)提供信息及发送指令。

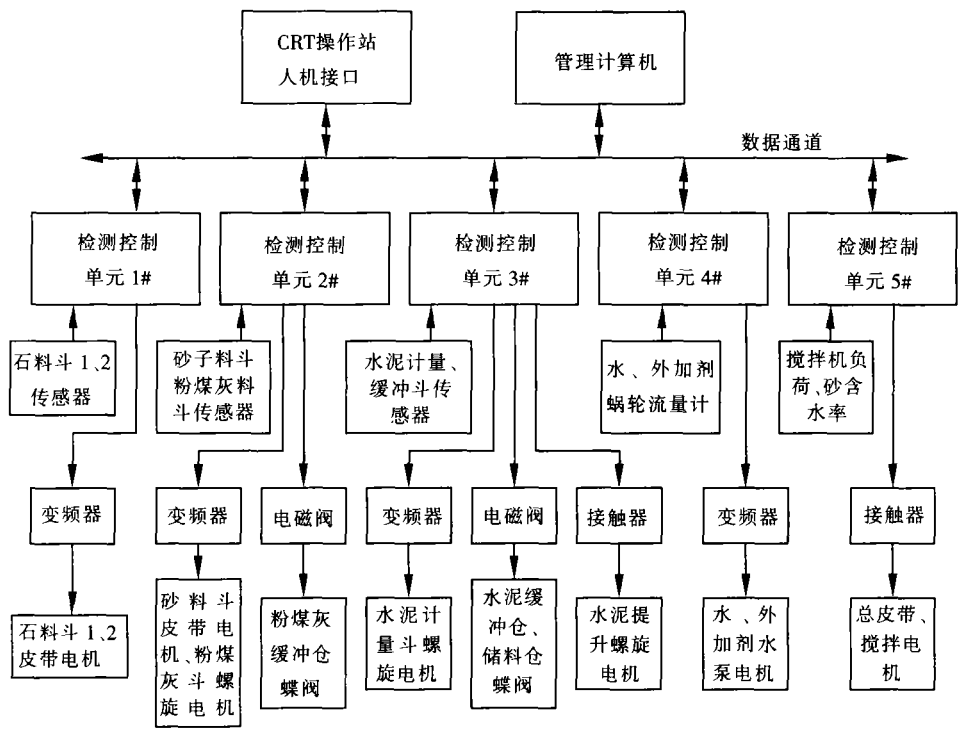


图 1 集散控制型的连续强制式水泥混凝土搅拌站框图

1.2 基本工作原理

1.2.1 计算机控制中心

各物料的给料量通过计算机控制中心输入,并计算出各种物料的流量比,下装到检测控制单元,每个检测控制单元内部有两片 MOTOROLA 控制型单片机,完成一种物料流量的测量和控制.计算机控制中心同时通过检测控制单元将瞬时现场信息(物料流量、电机转速等)收集起来并显示在 CRT 上,并根据各个现场信息,统一协调各单元的工作。

计算机控制中心还通过厂级计算机管理系统等构成局域网,直接统计出每台搅拌站生产、经营情况。

1.2.2 砂石、水泥及粉煤灰等给料原理

砂石给料利用强拉皮带连续进行,粉料给料利用螺旋连续进行。

检测控制单元从荷重传感器中获得整个料斗的重量,计算机用两次测得的重量之差除以间隔时间求得物料流量,根据要求值并通过超前控制、自适应 PD 控制等算法算出皮带(或螺旋)速度,算出应向变频器输入的频率设置电压值.变频器根据设定电压输出一个频率,电动机在此频率下输出一定转速,从而调整物料流量。

检测控制单元根据测得的总重量可判断出料斗内是否有料,料接近完时给出料空信号,接近满时给出料满信号.对砂石系统,此信号可提醒装载机加料;对粉料系统,此信号可启闭缓冲斗蝶阀,自动进行加

料.

1.2.3 水、外加剂给料原理

装于管路中的流量传感器检测实际流量并输出与之成正比的频率信号,检测控制单元测量此信号,进而获得物料流量,根据要求值通过控制算法求得应向变频器输入的频率设定电压值,变频器带动水泵转速变化调节流量.

1.3 控制算法及其实现

连续强制式混凝土搅拌站的主要难点是实现各物料的流量的快速过渡和稳定,为此必须采用超前控制技术^[2]、PID参数自寻最优控制技术及非线性控制技术^[3]等.

图 2 为 PID 调节器方框图. 调节器输入 $e(t)$ 是某种物料给定流量与瞬时实测流量的差值, 调节器输出通过变频控制物料流量. 调节器的输出与输入之间为比例-积分-微分关系, 即

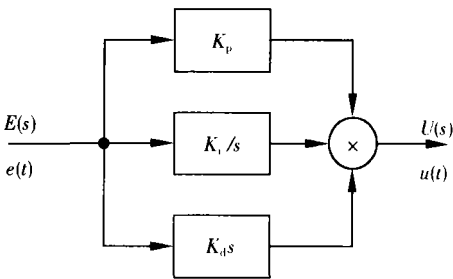
$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \tag{1}$$

或

$$U(s) = K_p E(s) + K_i \frac{E(s)}{s} + K_d s E(s) \tag{2}$$

式中, T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数; K_p 为比例系数; $K_i = K_p/T_i$ 为积分系数; $K_d = K_p T_d$ 为微分系数.

图 2 PID 调节器方框图



若以传递函数 $D(s)$ 的形式表示

$$D(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \tag{3}$$

计算机控制实现的是数字化 PID 调节器, 即对 (1) 式进行离散化有

$$u(kT) = K_p \left\{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(jT) + \frac{T_d}{T} [e(kT) - e(kT - T)] \right\} \tag{4}$$

式中, T 是采样周期. 由 Z 变换的移序特性

$$Z[e(kT - T)] = z^{-1} E(z) \tag{5}$$

及 Z 变换的部分和特性

$$Z\left[\sum_{j=0}^k e(jT)\right] = \frac{E(z)}{1 - z^{-1}} \tag{6}$$

得到数字式 PID 调节器模型:

$$U(z) = K_p \left\{ E(z) + \frac{T}{T_i} \cdot \frac{E(z)}{1 - z^{-1}} + \frac{T_d}{T} \cdot [E(z) - z^{-1} E(z)] \right\} \tag{7}$$

由 (7) 式得到数字式 PID 调节器的 Z 传递函数

$$D(z) = K_p + K_i \frac{1}{1 - z^{-1}} + K_d (1 - z^{-1}) \tag{8}$$

式中, K_p 为比例系数; $K_i = K_p T/T_i$ 为积分系数; $K_d = K_p T_d/T$ 为微分系数.

物料流量控制模型框图如图 3 所示.

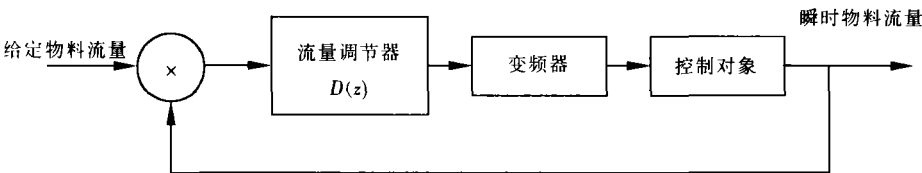


图 3 物料流量控制模型框图

对于变频器, 可采用增量型算式:

$$\Delta u(kT) = u(kT) - u(kT - T) = K_p [e(kT) - e(kT - T)] + K_i e(kT) + K_d [e(kT) - 2e(kT - T) + e(kT - 2T)] =$$

$$K_p \Delta e(kT) + K_i e(kT) + K_d \Delta^2 e(kT) \tag{9}$$

而 $u(kT)$ 可由递推公式获得:

$$u(kT) = u(kT - T) + \Delta u(kT) \tag{10}$$

系统中,加入积分校正后,会产生过大的超调量,使得搅拌站在生产混凝土时,料头的质量不能保证.为改善控制性能,需采取两项技术:一是采取超前估计;二是采取积分分离 PID 算法^[4].

积分分离算法要设置积分分离阈 E_0 . 当 $|e(kT)| \leq |E_0|$ 时,采用 PID 控制,以保证物料流量控制精度;当 $|e(kT)| > |E_0|$ 时,采用 PD 控制,降低超调量,保证混凝土料头质量. 积分分离 PID 算法可表示为

$$u(kT) = K_p e(kT) + K_i \sum_{j=0}^k e(jT) + K_d [e(kT) - e(kT - T)]$$

$$K_i = \begin{cases} 1 & |e(kT)| \leq |E_0| \\ 0 & |e(kT)| > |E_0| \end{cases} \tag{11}$$

计算机仿真结果如图 4 所示,从仿真结果可以看出,积分分离 PD 算法显然降低了超调量. 这对商品混凝土生产是非常必要的.

在混凝土生产过程中不可预测的干扰很多,一组固定的 PID 参数,要满足各种负荷或干扰时的控制性能的要求是困难的. 采用自寻最优 PID 控制^[5],可实现工况发生变化时,能及时改变 PID 参数,使控制性能最佳,以保证生产的混凝土质量.

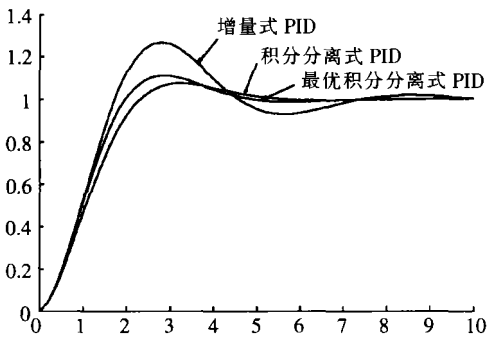


图 4 计算机仿真结果

2 连续强制式搅拌站的主要特点

基于上述算法控制模型的连续强制式水泥混凝土搅拌站,与间隙式搅拌站相比具有如下特点:

- (1) 产量大、效率高. 由于连续平稳工作,单机产量高.
- (2) 混凝土性能指标高,一致性好.

连续强制式搅拌站一直得不到推广和应用的原因之一,是料头、料尾质量难以保证而影响混凝土性能指标的一致性. 图 5 是基于上述算法控制模型的连续强制式混凝土搅拌站与传统的间隙式搅拌站,在两个多月时间内,使用同一配方为同一工地生产 C30 混凝土的 28 d 抗压强度的 12 次抽样试验结果. 结果表明,连续强制式搅拌站生产的混凝土抗压强度指标一致性不差于间隙式搅拌站.

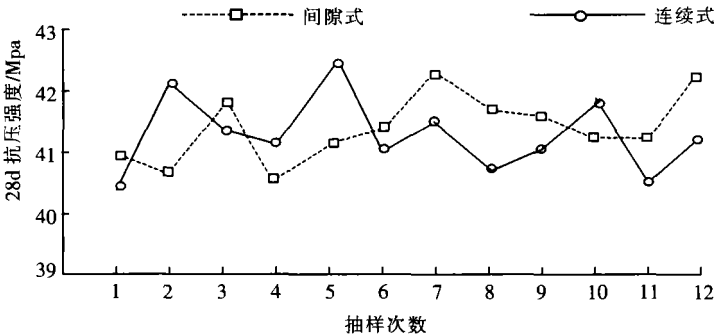


图 5 混凝土 28d 抗压强度

- (3) 不漏浆,磨损小. 物流在搅拌机内为单方向,搅拌机端头不存在物流的侧向压力,因此不漏浆. 料位高度不高,因而对搅拌机及耐磨材料的磨损小.
- (4) 运转平稳、故障率低. 机械设备的启停次数远低于间隙式搅拌站,因此设备寿命长、故障概率低.
- (5) 节能. 生产 C30 混凝土满负荷运转时,产能为 $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 的连续强制式搅拌站,总耗电量仅为 78.5 kW 左右,而与之产能基本对应的搅拌机容量为 3 m^3 的间隙式搅拌站,总耗电量约为 135 kW 左右,同等产量前提下节能 40% 左右,主要原因是连续式搅拌机负荷低及搅拌时间相对较短.
- (6) 自动坍落度调整. 砂子含水率对坍落度影响最大,利用在砂斗出口处对砂子含水率及搅拌机负荷的自动、动态测试,可进行坍落度的自动调整.
- (7) 控制技术要求高. 主要是各原料流量的测定及控制;在频繁启停时料头及料尾的配比控制等,这点在商品混凝土搅拌时显得更为重要. 随着计算机技术、现代控制技术、机电一体化设计技术等

搅拌站中的开发、应用,上述技术难题已被克服.

3 结束语

基于上述控制模型和算法的连续强制式水泥混凝土搅拌站,由于成功地利用了计算机技术、现代控制技术 & 机电一体化设计技术,与传统的间隙式水泥混凝土搅拌站相比,具有成本低、产量高、节能、环保、维护方便等特点,市场前景十分广泛.产品现已成功进入国际市场.

[参考文献] (References)

[1] 王树清, 赵鹏程. 集散型计算机控制系统 (DCS) [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.
WANG Shuqing ZHAO Pengcheng Distributed Computer Control Systems [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1994 (in Chinese)

[2] GRAHAM C GOOGW N. Control Systems Design [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002 (in Chinese)

[3] KARL J ASTROM. Computer Controlled Systems [M]. Englewood Cliffs, New Jersey: PrenticeHall Inc, 1984.

[4] 何克忠, 李伟. 计算机控制系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
HE Kezhong LI Wei Computer Controlled Systems [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998 (in Chinese)

[5] 韩曾晋. 自适应控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
HAN Zengjin Adaptive Control [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第 60 页)

[参考文献] (References)

[1] JIAW EIHAN, MICHELNE KAM BER. Data Mining: Concept and Techniques [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2001: 223- 239.

[2] 高新波. 模糊聚类分析及其应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 92- 97.
GAO Xinbo Fuzzy Cluster Analysis and its Application [M]. Xi'an: Xi'dian University Publisher, 2004: 92- 97.
(in Chinese)

[3] ESTE J KR IEGEL H P, SANDER J et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise [J]. Proc KDD, 1996: 226- 231.

[4] PABITRA MITRA C A, MURTHY, SANKAR K PAL. Density-based multiscale data condensation [J]. IEEE Trans PAMI, 2002, 6(24): 734- 747.

[5] CHAUDHURI D, CHAUDHURI B B. A novel multiseed nonhierarchical data clustering technique [J]. IEEE Trans SMC, 1997, 10(27): 871- 877.

[责任编辑: 刘 健]