

隧道二次衬砌自动布料机控制系统设计

郑东强¹, 温永明², 王红燕², 曾俊雄²

(1. 集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 中交一公局厦门工程有限公司, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了满足二次衬砌逐层逐窗布料的控制需求, 设计一套液压自动控制系统。该系统采用双联液压泵, 分别对回转驱动液压马达和浇筑对接口油缸进行不同压力的供油。对比3种回转圆周点位控制方法的优缺点, 最终选择增量式旋转编码器对回转布料管圆周位置进行反馈。该系统的建立, 实现了隧道二次衬砌的自动逐层逐窗浇筑, 减少了工人劳动强度, 提高了工作效率和浇筑质量。

[关键词] 隧道二衬; 自动布料机; 控制系统; 点位控制

[中图分类号] U 455.3

The Design of Control System of Automatic Concrete Distributor of Tunnel Secondary Lining

ZHENG Dongqiang¹, WEN Yongming², WANG Hongyan², ZENG Junxiong²

(1. School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. CCCC First Highway Xiamen Engineering Co., Ltd., Xiamen 361021, China)

Abstract: According to the actions and control requirements of automatic concrete distributors of secondary lining, a set of hydraulic automatic control system was designed. Double hydraulic pump system was adopted to fuel supply to the rotary driver and hydro-cylinder pair interface of connecting casting with different pressures. The positions of the distributing pipes were fed by the encoder. The advantages and disadvantages of three kinds of control methods were compared, the incremental rotary encoder was finally selected to feedback the position of the rotary distributing pipe. The establishment of this system realized the casting of window-by-window and layer-by-layer of tunnel secondary linings, and reduced labor intensity of workers, and improved working efficiency and casting quality.

Keywords: tunnel secondary lining; automatic concrete distributor; control system; point-position control system

0 引言

公路隧道工程施工中, 二次衬砌工作大部分依赖人工牵拉泵管到各窗口, 进行逐层逐窗浇筑^[1-4]。工作强度大, 具有一定的危险性。姜军等^[5]和姬海东等^[6]提出一种双浇筑系统, 实现了自动浇注, 但其结构复杂, 成本高。张华^[7]采用滑槽的方式, 只能实现低层窗口的自动浇注。为克服以上不足, 本文在新型门架式二衬模板台车上, 开发了自动布料系统, 实现二次衬砌的逐层逐窗带压自动浇注。

[收稿日期] 2019-00-00

[基金项目] 厦门市建设局科技项目

[作者简介] 郑东强(1978—), 男, 讲师, 博士, 从事机电一体化、深度学习机器视觉, 虚拟现实研究。
E-mail:27047440@qq.com

1 二次衬砌自动布料机结构及控制需求

自动布料机模型如图 1 所示。回转驱动带动位于其中心的 90°地泵弯管转动, 布料机周围布置一圈的外接浇筑口泵管, 每个外接浇筑口泵管连接到不同的浇筑窗口。根据二次衬砌逐层逐窗布料回转驱动需要, 将 90°泵管转到对应浇筑口的位置; 对接顶推液压缸推动喇叭口状的对接套筒, 顶向套有端部橡胶密封圈的外接浇筑口泵管, 喇叭口到位后进行带压浇筑。浇筑完一个窗口后, 喇叭口对接套筒收回, 90°泵管转向下一个外接浇筑口泵管。如此循环, 实现隧道二次衬砌的自动逐层逐窗浇筑。

控制过程涉及到一个液压马达的圆周点位控制和一个液压缸的限位控制。在与液压马达同轴的蜗杆上连接一个旋转编码器, 配合接近开关实现圆周点位控制, 对接套筒的伸出与缩回通过两个限位接近开关实现。浇注时, 两侧浇筑高度差不得大于 500 mm, 并且严格控制浇筑速率^[8]。

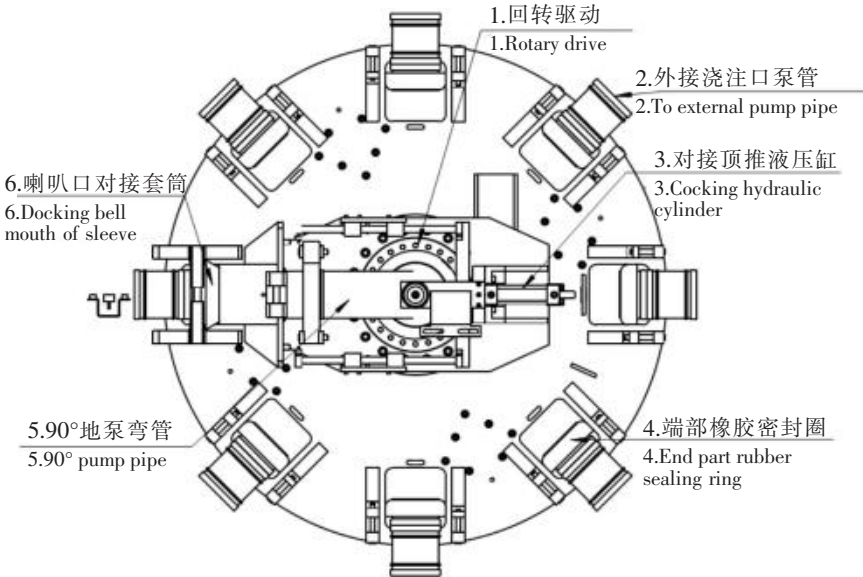


图 1 自动布料机模型

Fig.1 Model of an automatic concrete distributor

2 控制系统总体结构设计

根据以上控制需求, 以自动布料机为控制对象, 以三菱型号为 FX3U - 128MT 的 PLC 为主控制器, 威纶通 TK8071IP 为人机界面, 欧姆龙三通道增量式编码器为传感器, 双联泵液压系统和液压马达及液压缸为执行系统, 设计如图 2 所示自动布料机控制系统结构。

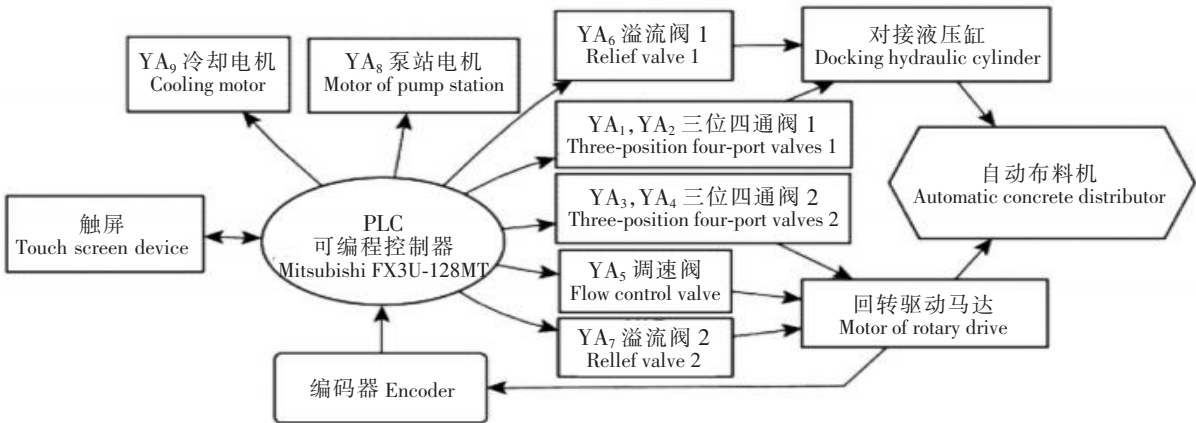


图 2 自动布料机控制系统结构

Fig.2 The structure of a control system for an automatic concrete distributor

4 人机界面设计

控制系统采用触摸屏作为人机界面。触摸屏与 PLC 进行通信, 获取布料机工作状态, 并发送控制指令。根据隧道二次衬砌控制功能需求, 设计自动布料机控制系统人机界面, 如图 4 所示。主要包括 6 个模块, 分别为: 登录界面、自动运行界面、手动操作界面、输出状态界面和参数设置界面。

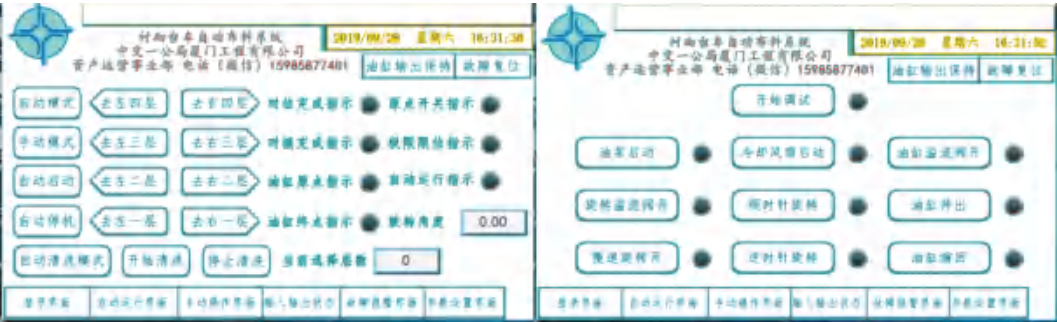


图 4 自动布料机控制系统人机界面

Fig.4 User interface of a control system of an automatic concrete distributor

5 控制程序设计

布料机有三种工作状态: 1) 初始化; 2) 自动运行; 3) 手动操作。
程序总体流程图如图 5 所示。

自动运行状态本质为点位跟踪模式, 即根据用户按下的浇注口, 作为新的目标位置, 替换原有目标位置。使用 PLC 绝对位置指令跟踪新目标位置, 在 90°泵管接近目标位置之前的指定范围内, 开启回转驱动前的减速阀, 切换到慢速状态。另, 液压马达旋转的前提条件是液压缸必须处于收回状态。其程序流程图如图 6 所示。

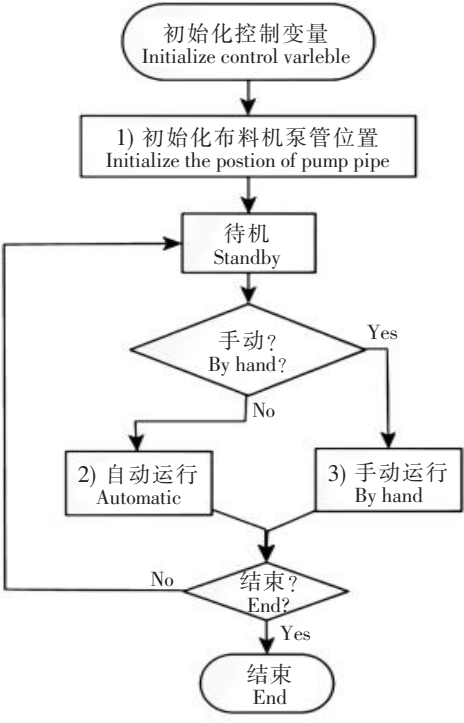


图 5 控制程序总体流程图

Fig.5 Overall flowchart control program

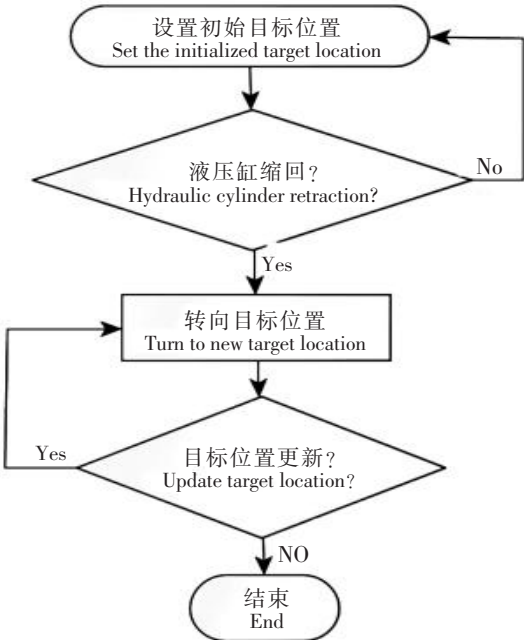


图 6 自动运行程序流程图

Fig.6 Flowchart of automatic operation program

图 6 目标位置可以分为接近开关方式和编码器方式。

1) 接近开关方式：对 8 个接近开关进行编号，当用户按下如图 4 中所示不同层按钮，则缓存该层对应编号作为目标位置。

具体实现方式为：每个对接口设置 2 个接近开关，其中一个为定位接近开关，另一个为减速接近开关。对每个接口及其减速点进行编号，每次开机，先进行 90°泵管回原点初始化，然后再依据用户输入的 90°泵管目的位置与当前 90°泵管所在位置进行对比，将泵管转至相应接口。定位开关的信号只能取上升沿或者下降沿。本系统设定 90°泵管顺时针进入定位开关为到位信号。程序记录上一次经过的减速和目标位置信息，进入新的接口位置时，判断上一次减速开关是否是本接口位置，如果是则停止，如果不是则继续旋转，直至遇到本次进入的接口减速开关，反向进入接口位置。该方式的缺点：运动时间长，接线工作量大，拆装不方便。

2) 编码器方式：人工校准 8 个对接管位置编码器，设定其对应的脉冲数或绝对值，作为该层的目标位置，存于列表。根据用户选择的层数，取出对应数值，作为目标位置。液压马达旋转方向则由 90°泵管目标位置与当前位置的偏差计算得到。

增量式编码器实现方式为：在与液压泵连接的回转驱动蜗杆轴的后面连接一个增量式编码器，作为回转驱动的位置反馈。整个控制过程先进行 90°泵管初始化，到原点时将计数器清理，之后依据编码器反馈脉冲数量及其方向，进行计数器的增减。当用户输入不同连接目标时，修改目标脉冲，与当前位置脉冲对比，驱动液压马达驱动 90°泵管转向目标接口位置。增量式编码器在使用过程中有如下不足：每次开机需要初始化；计数如果出现错误无法知道；当设备发生故障的时候需要人工恢复初始状态。

绝对式编码器实现方式为：采用 12 位绝对式编码器，通过 RS485 与 PLC 进行通信，角度检测精度为 0.012°（考虑减速比），线距离检测精度 0.032 mm。实际使用过程中由于惯性的作用，实际精度略低，绝对式编码器没有累计误差，并省去了所有接近开关。第一次使用时，通过人工机械对位，设定原点以及各连接口的位置即可，具体控制方式与增量式编码器类似。

6 试验及分析

对以上 3 种圆周点位控制方式，结合减速阀，各做 20 次定位精度实验，实验结果如图 7 所示。

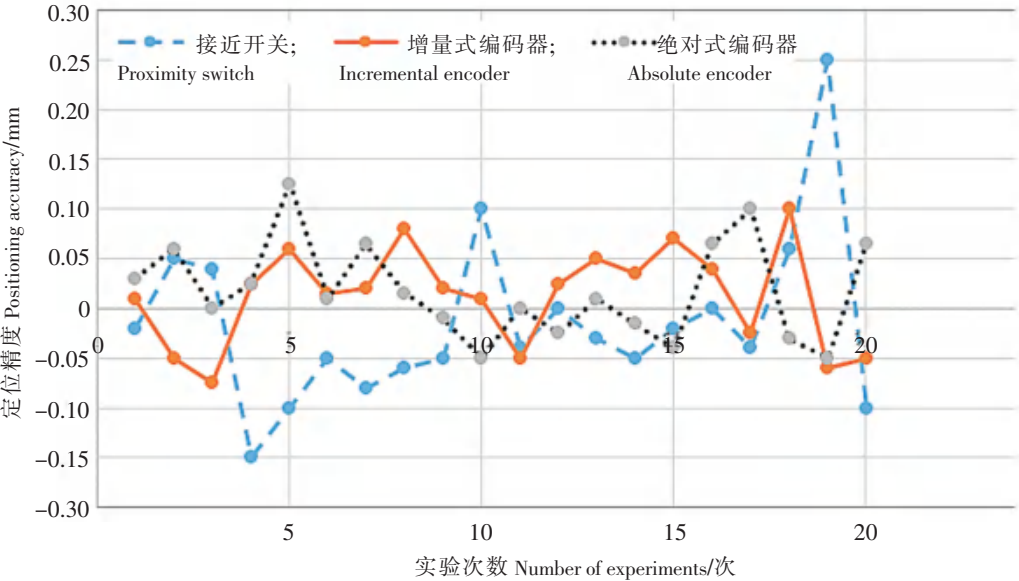


图 7 3 种定位精度对比

Fig.7 The comparison of positioning accuracy from 3 methods

根据实验结果可知, 3 种控制方式均可实现 8 个位置的定位, 而且满足使用要求, 但是在安装、成本、可靠性上存在差异, 性能对比如表 1 所示。

表 1 3 种圆周点位控制方式对比
Tab. 1 The comparison of 3 methods of point position control

圆周点位控制方式 Control methods for circle points	定位精度 Positioning accuracy /mm	成本 Cost /元 Yan	可靠性 Reliability	安装工作量 Workload of installation
接近开关 Proximity switch	0.3	500	低 Low	大 Heavy
增量式编码器 Incremental encoder	0.2	300	中 Normal	中 Normal
绝对式编码器 Absolute encoder	0.2	1 000	高 High	小 Small

虽然增量式和绝对式编码器检测精度都很高, 但是实际上因为液压阀及液压马达的响应速度和惯性, 均有一定的过冲。在更高精度要求的场合, 可以考虑用比例阀或者伺服阀控制。绝对式编码器要求额外增加一个 PLC 的 RS485 通信模块, 因此成本较高。

7 结论

回转驱动的液压马达点位控制及液压缸伸缩的喇叭口压紧控制是隧道二次衬砌自动布料机控制系统的核心。液压马达的旋转定位通过到达前的减速, 精度可以达到 0.07° ~ 0.012°, 线距 0.2 ~ 0.3 mm, 虽然 3 种点位控制方式均满足定位要求, 但综合考虑, 最终选择增量式编码器。液压缸提供 5 ~ 10 kN 的压力即可保证混凝土浆的密封性, 过大的压力使布料机产生较大地变形, 对机械特性和接近开关精度都会有不良影响。在浇注顶模时橡胶圈必须有卡箍, 否则容易被挤出。

[参 考 文 献]

[1] 姜虎成. 隧道衬砌浇筑混凝土施工技术 [J]. 工程施工技术, 2020(7): 211-213.
[2] 励益民. 隧道二次衬砌浇筑混凝土施工技术要点及应用探述 [J]. 智能城市, 2019(19): 162-163.
[3] 徐伟. 公路隧道竖井衬砌施工滑模浇筑工序控制 [J]. 建筑技术开发, 2019(12): 141-142.
[4] 赵继平. 隧道衬砌分层逐窗浇筑混凝土施工工艺 [J]. 西部探矿工程, 2018(4): 193-198.
[5] 姜军, 郭宝库. 自动布料带压浇筑智能衬砌台车施工技术研究 [J]. 铁道建筑技术, 2019(2): 18-23.
[6] 姬海东, 刘在政. 新型带压浇筑隧道数字化衬砌台车研究与应用 [J]. 隧道建设, 2018(8): 1384-1390.
[7] 张华. 隧道衬砌逐层逐窗浇筑及带模注浆技术的应用 [J]. 隧道建设, 2017(12): 193-198.
[8] 王祥军. 高速公路隧道二次衬砌混凝土施工技术 [J]. 黑龙江交通科技, 2019(7): 167-168.
(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)