

土压平衡盾构机刀盘电机控制系统的设计

王 军, 郭士民

(成都南车隧道装备有限公司, 四川 成都 610100)

摘要:为解决盾构机刀盘电机控制系统中存在的程序控制点多、逻辑复杂,易导致系统调试和维护不便的问题,将模块化编程技术应用于刀盘电机控制系统程序设计中。开展了刀盘电机控制系统结构分析,建立了刀盘运行状态和各个辅助系统之间的关系,提出了“将刀盘电机运行分成若干个状态,将各个辅助系统的条件采集过程设置为子程序”的状态机编程思想,子程序负责采集系统信息供给状态机决策使用,状态机完整描述了刀盘电机可能经过的各个状态并直接决定刀盘电机在该状态下所执行的动作。将该系统应用于实验型土压平衡盾构机中,并进行了大量的实验。研究表明,该系统完全满足土压平衡盾构机刀盘电机控制的需要,状态机编程可使整个程序构架更加清晰明了,易于调试和后期维护。

关键词:土压平衡;盾构机;刀盘电机;状态机;控制系统

中图分类号: TD421; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1314-04

Design of motor control system on cutterhead of EPB shield machine

WANG Jun, GUO Shi-min

(Chengdu CSR Tunnelling Equipments Co., Ltd., Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to solve the problems of testing and maintenance difficulties resulted from the logical complexity and too many control points on the cutterhead motor control system of earth pressure balance shield machine, modular programming technology was investigated. After the analysis of the motor control system structure, the relationship between the cutterhead's running status and the auxiliary system was established. A method was presented to divide the cutterhead motor's running into many parts of the state and set the conditional collection process of the auxiliary systems as a state machine programming. The subroutines were responsible for collecting system information which was needed by the state machine's decision-making. All kinds of states were precisely indicated on the state machine. The motions due to the states were also settled by the state machine. The technology was applied in the experimental earth pressure balance (EPB), and a large number of tests were done. The experimental results show that, the system is able to fully meet the needs for cutterhead motor control, and the state machine programming makes the whole program structure clearer and easier to test and maintain.

Key words: earth pressure balance (EPB); shield machine; cutterhead motor; state machine; control system

0 引 言

目前,盾构机^[1]设计技术主要掌握在欧美等发达国家的少数公司手中,如 Robbins、Herrenknecht、小松等。国内大部分盾构机生产企业一般是采取和国外公司合作组装的模式,基本都是负责一些钢结构件的生产,电气液压等技术含量比较高的系统一般是由国外企业成套提供^[2],进口的配套件价格昂贵,若不及早改变这一现状,在今后相当长的一段时间内地下工程

建设就会面临高额施工成本和技术上受制于外企的尴尬局面。目前,国内一些企业如中铁科工等已经开始了盾构机核心技术国产化的工作,也取得了一些成绩。但是国内对盾构机刀盘电机控制系统的研究还处于理论探索的阶段,缺乏实际的产品。

为了克服国外企业的技术垄断,成都南车隧道装备有限公司对电气系统核心技术刀盘电机控制系统^[3]进行自主研发,完成了相关硬件、软件的设计工作,本研究主要探讨土压平衡盾构机刀盘电机控制系

收稿日期: 2012-03-27

作者简介: 王 军 (1977-), 男, 四川资中人, 主要从事隧道产品电气控制方面的研究. E-mail: wjcqgy@sina.com

统的设计。

1 刀盘电机控制系统的构成

刀盘电机控制系统主要由 PLC、变频器和人机界面构成,操作手通过人机界面对刀盘运行状态进行控制。变频器通过 Profibus 总线和 PLC 进行通信^[4],每台变频器驱动一台刀盘电机。PLC 中运行刀盘逻辑控制程序,对变频器进行控制。其中变频器对 380 V/50 Hz 的工频交流电进行变频以直接驱动刀盘电机^[5],刀盘控制系统示意图如图 1 所示。

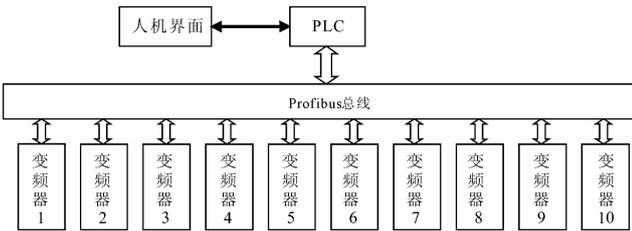


图 1 刀盘控制系统示意图

2 设计难点及解决方案

因为刀盘电机控制涉及的设备非常多,系统比较复杂,如刀盘电机的运行涉及到润滑系统、液压系统、水系统等一系列辅助系统。如何协调刀盘电机和这些系统的关系成为了一个非常棘手的问题。如果处理不当很容易造成系统崩溃^[6]。本研究的思路是引入了状态机编程,将刀盘电机运行分成若干个状态,将各个系统的条件设置为子程序,这些子程序负责采集系统信息以供给状态机决策使用。当刀盘电机处于某个状态时,整个系统满足若干条件,就会进入下一状态。

3 刀盘电机的逻辑控制

刀盘电机控制系统以 PLC 为核心,设计中笔者将刀盘电机控制程序分为刀盘电机旁路、变频器故障检测、扭矩模式选择、刀盘联锁、刀盘启动、刀盘状态参数计算、扭矩报警共 7 个子程序和 1 个变频器状态机。7 个子程序主要负责采集输入信息 and 人机界面显示,变频器状态机依据子程序输入,直接控制刀盘电机运行。

3.1 刀盘电机旁路子程序

该子程序的作用是:当有一台或几台刀盘电机或变频器出现故障时,将故障电机或变频器从控制系统中旁路,使用剩余的电机和变频器驱动刀盘。程序中每个刀盘电机的工作状态分为在线和旁路两个状态,两个状态可以通过人机界面上的按钮进行切换,该程

序的流程图如图 2 所示。

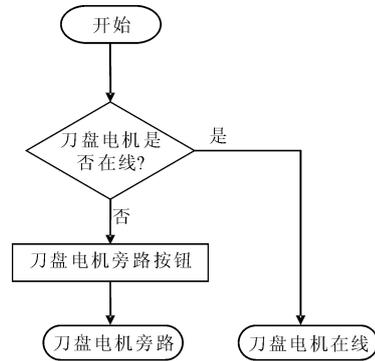


图 2 刀盘电机旁路流程图

3.2 变频器故障检测子程序

该子程序的作用是检测未被旁路的变频器是否存在故障,PLC 分别读取每个变频器的状态寄存器,确定该变频器是否故障。只有当电机轴温没有超出正常范围、对应变频器无故障且对应的电机在线时才能确定变频器工作正常。该子程序的流程图如图 3 所示。

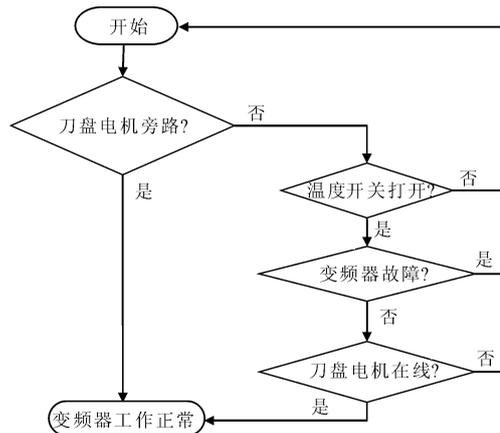


图 3 变频器故障检测流程图

3.3 扭矩模式选择子程序

由于盾构机工作环境地质条件复杂,在遇到特殊地层时刀盘可能会转动困难,这时电机的扭矩会短时间内过载,如果操作手认为这种过载是不可避免并且在可接受的范围之内,就可以选择扭矩最大模式以保持盾构机的正常掘进^[7]。

扭矩模式分为两种:正常扭矩模式和最大扭矩模式。当操作人员选择正常扭矩模式时,程序会把所对应的扭矩报警值和关闭值分别设为 80% 和 100%。当操作人员选择最大扭矩模式时,程序会把所对应的扭矩报警值和关闭值分别设为 100% 和 120%。这两种模式是互斥的,操作人员可以通过人机界面上的按钮进行模式切换。当 PLC 进行第一次上电扫描时自动进入正常扭矩模式。

3.4 刀盘联锁条件子程序

刀盘运转受联锁条件的限制。联锁条件可以在人机界面上查阅,当全部指示灯变绿时,则刀盘联锁条件满足。PLC 第一次上电扫描时自动解除刀盘联锁。这些条件里面包含了油脂系统的信息,该信息对刀盘的运行来说至关重要。油脂系统主要负责为刀盘主驱动提供润滑,如果该系统出现故障,必须要停机解决,否则有可能损坏主驱动,对盾构机造成不可弥补的损失^[8]。当刀盘报警或停止运行时,操作人员可通过人机界面查阅联锁条件,查看问题所在,以便采取相应措施解决相应问题。联锁条件如表 1 所示。

表 1 刀盘连锁条件

机械电气系统条件	辅助系统条件
刀盘旋转许可	启动油脂泵 1
刀盘联锁正常	启动油脂泵 2
变频器运行正常	密封润滑系统准备
刀盘扭矩报警	轴承润滑系统失败
刀盘逆时针选择	密封温度低于 58 ℃
刀盘顺时针选择	密封温度高于 60 ℃
刀盘换向延时	

3.5 刀盘启动运行子程序

当变频器运行正常且满足刀盘联锁条件时,刀盘使能。这时操作人员只要设置刀盘的转动方向,并按下刀盘启动按钮,刀盘将会按照设置好的方向转动。为了保证刀盘的安全以及防止变频器频繁重启导致故障,本研究在刀盘运行之前和刀盘换向时设定一个 10 s 的定时器。当刀盘转速大于等于 0.5 r/min 时,程序判定刀盘已经开始运行,将运行状态在人机界面上显示,程序流程图如图 4 所示。

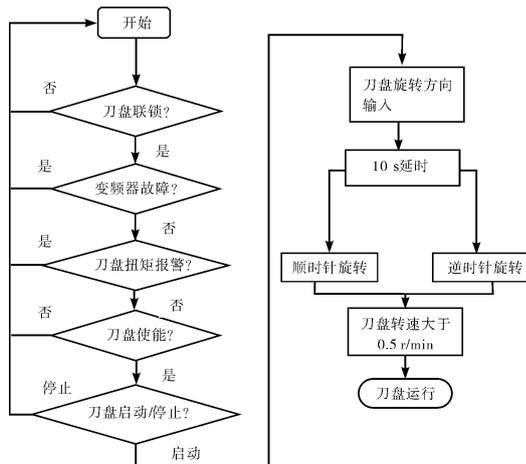


图 4 刀盘启动运行流程图

刀盘运行之后操作手可以通过调节操作台上的刀盘转速旋钮改变刀盘电机的转速,也可以通过人机界

面上的刀盘速度设定来调节刀盘转速。PLC 将设定转速与传感器采集到实际转速进行对比并调节变频器输出。为了保护刀盘电机传动系统,笔者在控制程序设计时设定了最大转速,当设定转速超过最大转速时强制给定最大转速。

3.6 刀盘参数计算子程序

刀盘运行时在人机界面上会显示刀盘运行时的一系列相关参数,提供给操作人员参考。这些参数一定程度上反映了地层的状况,操作人员可以根据这些反馈回来的参数及时调整盾构机的运行状态,保证盾构机的持续掘进。这些参数根据传感器采集到的原始参数经过一系列运算得出,需计算的主要参数如下:

- (1) 刀盘转速和在线电机的平均速度;
- (2) 电机总电流,每台电机的平均电流,每台电机的负荷百分比;
- (3) 刀盘总功率;
- (4) 刀盘总扭矩与每台电机的平均扭矩。

3.7 扭矩报警子程序

为了保护电机和小齿轮,在正常扭矩模式下实际扭矩达到或超过 80% 的总扭矩时,或者在扭矩最大模式下达到或超过 100% 的总扭矩时,系统设置一个报警。而当在扭矩正常模式下实际扭矩超过 100% 或者在扭矩最大模式超过 120% 时,为保护小齿轮和电机系统强制关闭所有刀盘电机。

4 变频器状态机

变频器状态机完整地描述了刀盘可能经历各个状态,为整个控制系统的核心^[9],它直接决定着变频器当前所执行的动作。该状态机通过接收子程序的前一次扫描输出来决定变频器现在处于哪个状态以及在该状态要执行哪些动作,并确保在一次扫描中只处于一种状态。使用状态机的优势是使整个程序构架更加清晰明了,整个状态机的描述如图 5 所示。

当 PLC 第一次上电扫描时变频器进入上电状态,进入该状态后 PLC 发送一个复位信号到变频器,完成变频器初始化,同时将变频器输出寄存器设置为 0。初始化完成之后直接进入故障状态,在故障状态下操作人员按复位按钮可退回到上电状态。如果检测变频器状态正常,则进入联锁状态。

当变频器进入联锁状态之后操作人员按复位键可回到上电状态,在联锁状态下程序会检测以下两个条件是否同时满足:①刀盘使能;②刀盘停止。如果两个条件同时满足则系统进入准备运行状态。

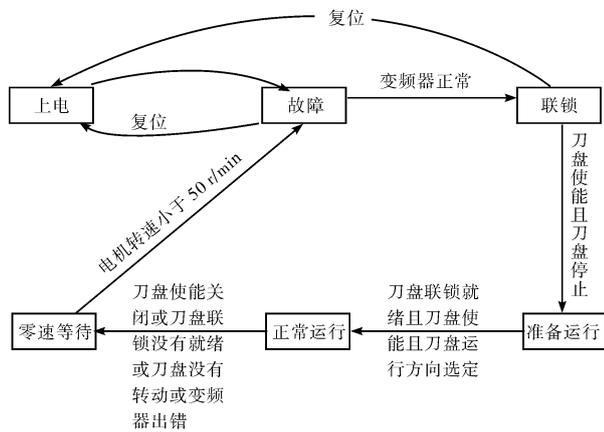


图 5 变频器状态机

在准备运行状态下程序会检测以下 3 个条件是否同时满足:①刀盘联锁就绪;②刀盘使能;③刀盘运行方向选定。如果 3 个条件同时满足则进入正常运行状态。在该状态下 PLC 循环读取操作手设定的变频器速度值并将该值送入变频器输出寄存器。

当满足以下任意一个条件时:①刀盘使能关闭;②刀盘联锁失效;③刀盘没有转动;④变频器出错,则系统进入零速等待状态,PLC 停止发送速度设定到变频器输出寄存器,同时系统检测电机转速是否小于 50 r/min,如果电机速度小于 50 r/min 就进入故障状态。在人机界面上有状态机的指示灯,指示变频器处于哪个状态,供操作手查看。

5 结束语

刀盘电机控制系统是土压平衡盾构机中技术含量

最高的部分^[10],本研究设计了一种易维护、高效率、高可靠性的刀盘电机控制系统。研究设计结果表明,基于状态机的程序设计可把复杂的系统分解为能单独处理的众多子状态,使得程序代码更清晰。在隧道施工设备产业大发展的今天,该系统可以提高国内公司在盾构核心技术上的设计水平,打破国外公司在该技术上的垄断。

参考文献 (References):

- [1] 谭经世,唐元宁.掘进机与盾构机[M].北京:中国铁道出版社,2009.
- [2] 刘宣宇,邵 诚.盾构机自动控制技术现状与展望[J].机械工程学报,2010,46(20):153-157.
- [3] 王 喆.盾构刀盘变频驱动技术研究[J].重工与起重技术,2011,30(2):20-23.
- [4] 蔡启仲,汤 饶,吴玉鹏.盾构机刀盘变频驱动控制研究[J].广西工学院学报,2011,22(1):44-47.
- [5] 唐 键.盾构机电气控制系统设计概要[J].隧道建设,2002,22(1):33-35
- [6] 王胜勇.盾构机刀盘驱动研究[J].城市道桥与防洪,2007(12):95-96.
- [7] 石庆能.盾构机主驱动启动控制研究[J].机电信息,2011,297(15):66-67.
- [8] 林 军,刘 强.盾构机刀盘控制系统的机理与维护[J].机床与液压,2007,35(5):243-246.
- [9] 孙宏旭,邢 薇,陶 林.基于有限状态机的模型转换方法的研究[J].计算机技术与发展,2012,22(2):10-13.
- [10] 闵 锐.复合型盾构掘进机刀盘的设计分析[J].设计制造,2004(8):6-10.

[编辑:李 辉]

(上接第 1289 页)

签扫描器等)代替模型中的传感器来实现具体的分拣要求;通过改变模型机中的传送带以及步进电机的运动轨迹、仓储设备的结构来满足具体应用中的经济性、便捷性要求。此外,研究者还可以使用旋转编码器精确控制工件在传送带上的位移。

参考文献 (References):

- [1] 陈照强,马 琳,张绪鹏,等.一类规则形状物品的自动分拣原理[J].山东轻工业学院学报,2010,24(4):20-23.
- [2] 张玲莉.基于 PLC 控制的自动识别、分拣系统设计[J].自动化技术与应用,2010,29(5):110-111.
- [3] 郑燕华.PLC 控制系统与智能化中央空调[J].建筑与设备,2011(5):63-66.
- [4] 王 强,张明珠.材料自动分拣系统中的 PLC 应用研究[J].首都师范大学学报:自然科学版,2011,32(6):5-8.

- [5] 唐四元,鲁艳霞.现代物流技术与装备[M].2 版.北京:清华大学出版社,2011.
- [6] 于 昊.PLC 在材料自动分拣系统中的应用[J].煤炭技术,2011,30(12):31-32.
- [7] 陶跃珍,王 东.啤酒瓶自动检测系统的设计[J].机械,2010,37(10):59-61.
- [8] 张振祥,袁云龙,陈廉清.微小轴承表面缺陷检测中的自动分拣系统设计[J].机电工程,2010,27(5):35-37.
- [9] 浙江大学罗克韦尔自动化技术中心.可编程序控制器系统[M].杭州:浙江大学出版社,2005.
- [10] 张道松.变频器节能探析[J].科技传播,2012(3):74.
- [11] 张孝红.变频器节能作用概述[J].节能技术,2010,28(6):573-575.

[编辑:张 翔]