

基于多 PLC 通信与前馈控制的圆盘剪故障消除方法

许红兵¹,彭辉²,刘凡³,许润国⁴

(1. 铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司,安徽 铜陵 244002; 2. 中南大学 自动化学院,湖南 长沙 410083;
3. 铜陵瑞莱科技有限公司,安徽 铜陵 244021; 4. 琼台师范学院,海南 海口 570203)

摘要:针对剪切线机组中圆盘剪机架打不开的故障进行机械、液压、电气解耦分析,是刀轴膨胀滞后和圆盘剪电机动作不协调导致键与槽的错位所造成。对于控制系统中原来的 2 个独立 PLC,放弃传统的搭建通信模块方式,采用搭建中间继电器的方式建立信息交流,并将其连锁信号作为圆盘剪和其他电机等建立速度和张力的必要条件。通过设置延迟动作时间及采用前馈控制方式,以补偿液压响应的滞后时间并替代传统液压系统的优化调整,解决了该机械故障,提高了生产效率。

关键词:机械错位;解耦;双 PLC 通信;连锁;膨胀响应滞后;前馈控制

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)04-0225-04

Fault Elimination Method of Disc Shear Based on Multi-PLC Communication and Feedforward Control

XU Hongbing¹, PENG Hui², LIU Fan³, XU Runguo⁴

(1. Jinvi Copper Branch of Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Tongling 244002, China;
2. School of Automation, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Tongling Ruilai Technology Co., Ltd., Tongling 244021, China; 4. Qiongtai Normal University, Haikou 570203, China)

Abstract: Hydraulic and electrical decoupling is analyzed regarding the failure in opening the disc shear frame in shear line unit. It is found that the dislocation of the key and slot is caused by the expansion lag of the cutter shaft and the uncoordinated action of the disc shear motor. For the original two independent multi-PLC in the control system, the traditional way of building communication modules is abandoned, and the way of building intermediate relays is adopted to establish information exchange, and its interlocking signal is used as a necessary condition for establishing speed and tension for disc shears and other motors. By setting the delay action time and adopting the feedforward control mode, the lag time of hydraulic response is compensated and the optimization and adjustment of the traditional hydraulic system is replaced, which solves mechanical fault and improves productivity.

Keywords: mechanical dislocation; decoupling; dual PLC communication; electrical interlock; expansion response lag; feedforward control

0 引言

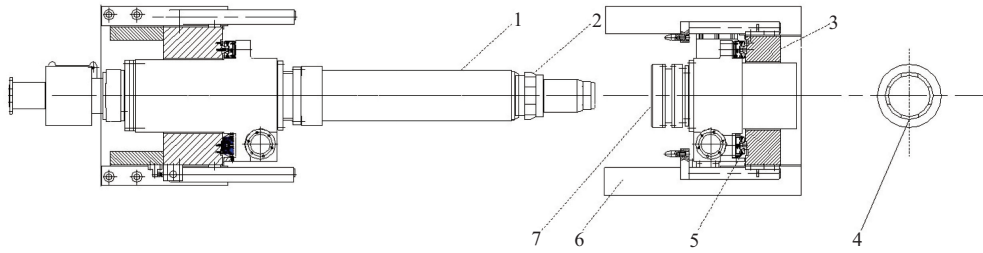
剪切线的主要任务是通过圆盘剪完成分条和修边。分条是将带材分切成不同宽度的产品,修边是切除带材边部的缺陷,供给下游设备进行进一步生产,如轧机、清洗线等。一般来讲,剪切线主要是刀轴重叠量和轴向窜动问题较多^[1-2],某公司剪切线由三部分组成,即甲外方提供的圆盘剪,乙外方提供的皮带张力站,其余部分由国内设计制造。在剪切不同带材时需要打开圆盘剪龙门架,更换刀具和橡胶环,但有时刀头机架打不开,实际操作中必须拆开机架锁紧套,耗时费力,制约生产的连续性,影响了设备精度,故解决这个故障对于生产显得尤为迫切和重要。

现场拆开圆盘剪机架后发现其刀头的互锁结构错位,即圆盘剪机架刀轴的 4 个公键与机架的 4 个母槽发生 2~

8 mm 左右的错位,正是这个错位造成了机架打不开,该错位和刀轴机械构造存在关联性。

1 刀轴机械构造和液压控制

刀轴基本结构如图 1 所示,圆盘剪在换刀时机架正常打开和合上机架的基本原理和步骤如下:合上操作侧机架时,刀轴锁紧 4 个公键对准定位套的 4 个母槽进入,然后上下刀轴旋转 45°,此时刀轴锁紧的 4 个公键对准操作侧机架定位套的 4 个公键,阻挡刀轴脱落,液压阀动作、刀轴锁紧和膨胀。打开机架时,刀轴首先定位,即寻找初始位,然后反向旋转刀轴 45°,此时刀轴锁紧的 4 个公键对准定位套的 4 个母槽,释放刀轴锁紧和膨胀,顺利退出机架。如果二者错位,则无法打开机架,需要拆开操作侧机架的锁紧套,调整位置后才能够打开机架。



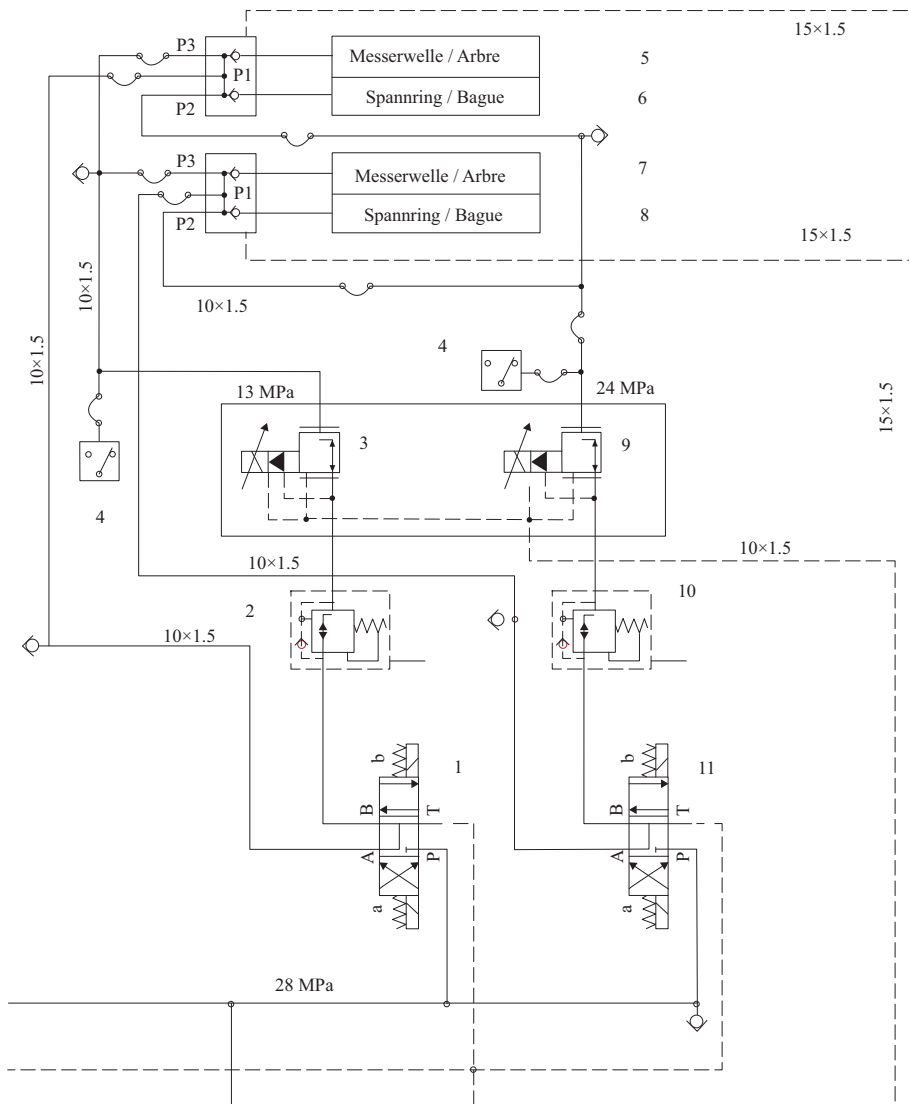
1—刀轴;2—刀轴上的 4 个公键;3—轴承座;4—锁紧套上的 4 个母槽;5—液压环;6—机架;7—锁紧套。

图 1 刀轴基本结构图

研究发现,机械错位反映的只是现象,其原因涉及到液压和电气。通过对这个机电液系统进行解耦分析^[3],发现主要是圆盘剪的刀轴锁紧和膨胀没有完全到位,液压膨胀环的压力没有达到设定值。此时,如果转动圆盘剪的电机,必然导致刀轴锁紧的 4 个公键和定位套的 4 个母槽发生滑动、产生错位^[4]。检测其电气控制,发现控制结果与控制命令存在时间差,且滞后。

液压系统本身存在非线性、滞后、强耦合、不确定性及

干扰等控制难题^[5],其中,有液压缸内泄,它会造成压力达不到设定值和液压油温度过高现象^[6],即所谓的滞后。从图 2 可以看出,液压系统出来 28 MPa 压力经过 2 次减压阀到刀头锁紧液压缸为 13 MPa,刀轴膨胀液压缸为 24 MPa,通过旋转接头到达刀轴,环节多,机械和液压系统改造存在实施难度大和周期长的问题^[7]。因此,需从电气控制角度探讨解决的合理性和可操作性。



1—刀轴锁紧电磁阀;2、10—减压阀;3、9—比例减压阀;4—压力开关;5、6—上下刀轴锁紧油缸;7、8—上下刀轴膨胀油缸;11—刀轴膨胀电磁阀。

图 2 圆盘剪刀轴锁紧和膨胀液压控制图

2 多 PLC 功能及现状

该剪切线是由三方设备配套组合的生产线,相应的电气控制系统也是三方单独配置和完成的,其中圆盘剪 PLC 的控制包括机架打开、合上等顺序操作,刀轴锁紧膨胀等液压操作,刀轴重叠量调整的伺服系统控制。整个机组 PLC 除了开卷机、卷取机等变频器挂在 PROFIBUS-DP 网上,特别是圆盘剪变频器也挂在该网上,也就是说圆盘剪控制是在机组 PLC 完成的,而这两个 PLC 改造前是完全独立的,没有通信联系,整个机组的顺序控制、电气传动包括圆盘剪电机驱动等由机组 PLC 完成。可以看出二者交集在于圆盘剪的驱动,现场唯一的联系是 HMI 上有个机组联动的按钮。

分析认为,有时机组操作人员在完成配刀后,合上机架,点动圆盘剪,观察配刀情况时,刀轴没有完全锁紧和膨胀,这样就导致刀轴上 4 个公键没有同步,发生滑动,产生了公键与母槽的错位。因此,必须建立两个 PLC 通信,把刀轴膨胀后的信息传递到机组 PLC,可靠、有效地控制圆盘剪,才是实现正确顺序控制的首要问题。

3 多 PLC 通信之优选

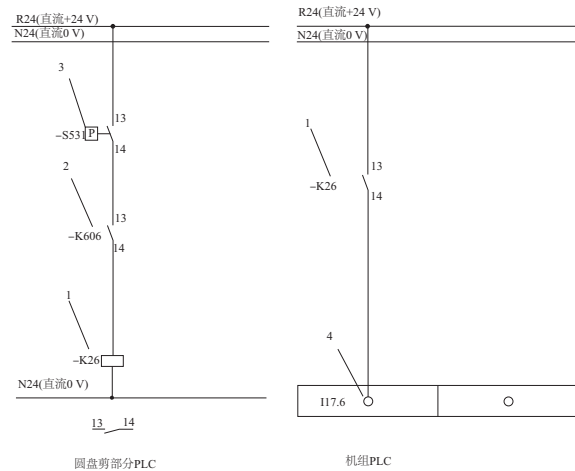
实现多 PLC 通信的传统做法,是在 PLC 上增加接口通信模块来实现的。

改造前两个 PLC 之间没有通信,可以采用西门子 S7 协议来建立通信,该协议遵循 S7 协议中以太网协议,S7 以太网协议是 TCP/IP 协议簇的一员,它对 OSI 中的第 5—7 层协议进行了定义^[8]。硬件上增加 CP343-1 西门子以太网模块,配置网线^[9],进行硬件组态和网络配置,软件编制时分别在 PLC 中插入 OB35 定时中断程序块和数据块 DB1, DB2,并在两个 OB35 中调用 FC5(AG_Send)和 FC6(AG_Recv)程序块^[10]来实现,这是传统做法。从实际需要解决该问题来看,实际上两个 PLC 之间并不需要大量数据交换,只需传递开关量信号。因此,设置中间继电器进行信号转换,对于圆盘剪 PLC 来讲它只是一个普通开关量输出信号,对于机组 PLC 来讲,它的常开接点只是一个普通开关量输入信号。如图 3 所示,实际操作时把圆盘剪机架 PLC 的液压膨胀环电磁阀信号和压力开关信号串联,作为中间继电器导通条件,通过其辅助触点 13—14 信号连锁到机组 PLC 中,作为圆盘剪驱动的必要条件。改造后,中间继电器担当了双 PLC 通信的任务,搭建了不同控制系统信号物理隔离传输桥梁,这也是本次改造的独特之处,在可靠性、改造成本和可操作性等方面具有比较明显的优势。

4 液压滞后与前馈控制

在多次实验中发现存在两个问题。

- 1) 中间继电器信号连锁到圆盘剪驱动条件后,仍然不时出现刀头打不开的现象。
- 2) 在延时后,偶尔存在刀头打不开。



1—中间继电器;2—液压膨胀环电磁阀控制继电器;
3—压力开关;4—机组 PLC 输入点。

图 3 双 PLC 搭建中间继电器通信原理图

问题 1), 液压执行机构从得到命令到完全膨胀仍然需要一定时间,有的气相传输滞后时间达到 60 s^[11]。目前,一般来讲,传感器信号传输、控制器的控制算法计算和执行器的工作响应都会有延迟时间。该比例减压阀的压力-流量方程如式(1)所示^[12]。

$$q_L(t) + \frac{V}{E} \cdot \frac{dp_{s2}(t)}{dt} + C_L p_{s2}(t) = C_d W x_v(t) \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{s1}(t) - p_{s2}(t))} \quad (1)$$

式中: $q_L(t)$ 为流向负载流量; C_L 为泄漏系数; E 为油液体积弹性模量; V 为减压阀进口处受控油腔的容积,由泵出口、溢流阀进口和负载之间的容腔构成; $p_{s1}(t)$ 、 $p_{s2}(t)$ 为减压阀入口、出口压力; C_d 为阀口流量系数; W 为阀口面积梯度; $x_v(t)$ 为阀芯位移; ρ 为油液密度。调整时滞方法多种多样,当然,可以通过如更换新阀和密度小液压油减少时滞,如式(1)所示。液压油的不可压缩性,油缸容积填充以及泄漏等都需要一定的时间^[12],其中,现场能够处理的内泄不仅是更换垫圈,还包括打磨抹胶,耗时费力。该比例减压阀的最大斜坡响应时间达到 5 s,调节范围受限于液压系统自身,如果调节过小则容易引起给定值阶跃变化过度响应,如震荡和压力冲击等^[13],如图 4 所示。

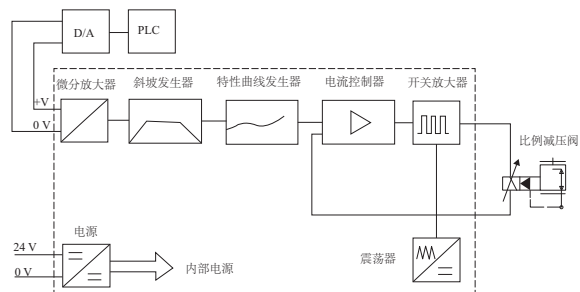


图 4 比例减压阀放大器原理图

通常,时滞检测有实验法、解析法、自适应法^[14],根据液压系统本身情况,现场实际检测如表 1 所示。

表 1 滞后时间测试表

测试序号	滞后计时/s	观察膨胀、锁紧(状态)	测试序号	滞后计时/s	观察膨胀、锁紧(状态)
1	5	否	5	10	否
2	6	否	6	12	是
3	8	否	7	14	是
4	9	否	8	16	是

因此,在比较分析后,在电气控制中采用时间补偿方法即前馈控制来解决液压滞后问题,对联锁信号做 12~16 s 的延时,多次试验发现 16 s 这个延时能更加可靠地实现点动、正反转、运行等要求。这种前馈控制方式有效地克服了处理液压滞后的耗时费力问题,解决了时滞问题。

问题 2),延时 16 s 后的信号,不仅要作为必要条件用来驱动圆盘剪,即作为圆盘剪变频器的速度和转矩给定控制命令信号^[15],此外,还要作为必要条件用来驱动其他设备电机,包括开卷机、矫直机、张力辊、卷取机等,即步调一致,形式上包括点动和运行,实现整个机组的顺序逻辑控制、工艺控制的协调统一。

5 结语

圆盘剪作为剪切线的核心,它的换刀时间直接决定生产效率,机架打不开故障现象反映的是机械错位,通过对机、电、液的解耦分析,找到了既有液压动作非线性、滞后等自身存在的固有问题,又有两个控制系统部分各自独立缺少联系这样的系统集成商统筹协调的问题。经实际方案择优设计,并不是通过搭建通信模块,而是通过中间继电器来搭建双 PLC 联系实现两个控制系统的通信。改造后的生产运行结果表明:采用前馈控制来补偿液压响应滞后时间,该机械故障得到了较好的解决,使机电加以耦合,消除了故障导致的换刀延误时间,设备产能和生产的连续性得到了提升。

参考文献:

- [1] 景群平,贾海亮,张勇安,等.特殊超高强钢切边圆盘剪关键技术研究[J].重型机械,2014(2):47-51.
- [2] 牛卫兵.圆盘剪主轴轴向窜动的研究[J].机械管理开发,2003,18(3):12-14.
- [3] 李伟,齐建家,刘喜平.机电一体化产品中的解耦和耦合分析方法[J].黑龙江工程学院学报,2003,17(4):50-52.
- [4] 许红兵,胡铜生,叶叶,等.圆盘剪及控制系统:中国,CN110202205B[P].2020-09-01.
- [5] 黄伟,巫茜.液压 AGC 系统的智能融合控制策略[J].机床与液压,2012,40(12):91-96.
- [6] 刘云贵.曲轴车铣中心液压系统油温高压不穩故障[J].设备管理与维修,2014(9):26-27.
- [7] 马春祥,李占宝,李嘉树.立式车床主轴旋转液压缸的技术改造[J].液气传动与密封,2009,29(1):61-62.
- [8] 侯建华.西门子 S7 协议研究及基于嵌入式平台的驱动开发[J].自动化仪表,2019,40(9):93-96.
- [9] 原通文,姜川,孟晖,等.基于 S7-1200 和双 PLC 通讯的悬挂输送系统的设计与实现[J].制造业自动化,2019,41(6):123-125.
- [10] 贾建,余琼,吴昊,等.连退机组圆盘剪控制系统改造[J].金属世界,2021(2):81-84.
- [11] 刘勋元.在线分析仪试样传输滞后时间的计算及分析[J].石油化工自动化,2018,54(3):65-67.
- [12] 张海亮.电动静液压主动悬架时滞稳定性分析及控制研究[D].西安:西安科技大学,2021:21-34.
- [13] 何仁,吴海嘯,张涌,等.比例减压阀的特性及在无极变速器速比控制中的应用[J].汽车工程,2008,30(7):618-621,630.
- [14] 李竹芳,赵方,蔡普.电液比例技术在电液制动试验台上的应用[J].机械工程师,2015(6):98-101.
- [15] 郭健名,刘璇,漆雕.圆盘剪自动控制系统的應用[J].工业仪表与自动化装置,2013(4):98-100.

收稿日期:2022-04-29

(上接第 216 页)

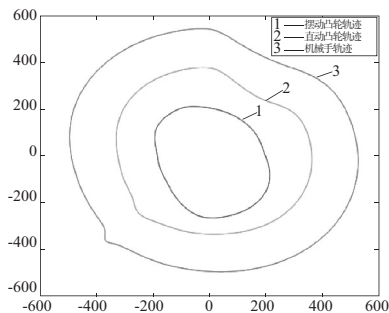


图 8 双凸轮理论轮廓曲线

5 结语

本文通过对吹瓶机双凸轮驱动取送瓶机械手进行分析,得到主要结论如下。

1)采用三次样条插值法对机械手曲线进行拟合,有效解决了在衔接点处速度和加速度不连续的问题,同时也确保了机械手的动作要求和整体运行的平稳性。

2)对过渡段摆动凸轮曲线采取分段式设计,在保证

机械手运行稳定的同时又降低了摆动凸轮从动件在运行过程中的最大加速度,为后续双凸轮驱动取送瓶机械手的设计提供新的思路。

参考文献:

- [1] 孙朕. PET 吹瓶技术的创新[J].塑料包装,2009,19(1):18-29.
- [2] 胡伟,胡国清,魏昕,等.吹瓶机中机械手凸轮曲线解析计算的研究[J].机械设计与制造,2009(4):183-185.
- [3] 郭松旺.全自动旋转式 PET 吹瓶机凸轮机构优化设计研究[D].广州:华南理工大学,2006.
- [4] 胡安朋.基于旋转式吹瓶机取、送瓶系统的组合凸轮参数化设计[D].广州:华南理工大学,2013.
- [5] 琚贻宏.平面机构运动的复向量分析法[J].青岛建筑工程学院学报,1997,18(1):92-96.
- [6] 陈文略,王子羊.三次样条插值在工程拟合中的应用[J].华中师范大学学报(自然科学版),2004,38(4):418-422.
- [7] 刘晓麟,林仕高,欧元贤.双五次多项式过渡机械手轨迹规划[J].机械设计与制造,2014(4):40-43.
- [8] 武文佳. MATLAB 在数学建模中的应用[J].现代制造技术与装备,2019(11):78-79.

收稿日期:2022-02-11