

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802278

井控与举升控制系统的供电设计方法研究^{*}

陈佳 张浩 王国玮 王楠 付道俊

(武汉第二船舶设计研究所 武汉 430064)

摘要: 针对带压装置操作程序繁琐,用液压与自动控制相结合的方式形成井控设备与夹持装置的逻辑控制,实现了操作流程自动化。但有关供电设计部分保护功能简单、易间断、可靠性较低。首先介绍了液压与自动控制相结合的井控与举升控制系统设计原理,而后具体剖析了已有电源模块中双 AC/DC 转换器的冷备用、热备用衔接模式各自存在的问题,并提出了一种双 AC/DC 转换器供电系统设计方案。研究表明,双 AC/DC 转换器能够增强供电模块的可靠性,有效地解决了直流电源在供电中的可持续问题。

关键词: 井控;举升控制;AC/DC 转换器;供电模块

中图分类号: TL503.5, TN7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Research on power supply design method of well control and lift control system

Chen Jia Zhang Hao Wang Guowei Wang Nan Fu Daojun

(Wuhan Second Ship Design Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: In view of the cumbersome operation procedure of the pressure device, the logic control of the well control equipment and the clamping device is formed by the combination of hydraulic pressure and automatic control, and the operation flow is automated. However, the protection function of the power supply design is simple, easy to break, and low in reliability. This paper first introduces the design principle of well control and lift control system combining hydraulic and automatic control, and then analyzes the problems of cold backup and hot backup connection modes of dual AC/DC converters in existing power modules. A design scheme of the dual AC/DC converter power supply system is proposed. The research results show that the dual AC/DC converter can enhance the reliability of the power supply module and better solve the problem of continuous power supply of the DC power supply.

Keywords: well control; lift control; AC/DC converter; power supply module

0 引言

现阶段带压装置操作程序繁琐^[1-3],仅单根管柱的起或下就需要涉及多个控制单元的开关,且不能出现顺序上的错误,否则会引发工程事故的发生^[4-5]。针对这一现状,以多工艺作业操作流程为指导,以关键装置位置状态的判断为反馈信号,研究装置的控制机理,采用液压与自动控制相结合的方式,形成了井控设备与夹持装置的逻辑控制,设计实现了一种操作流程自动化的井控与举升控制系统。

但伴随着带压作业控制装置的日趋复杂化^[6-8],传统的人工切换备用电源并不能满足在紧急状况下的负载设备正常供电需求。而且井控与举升控制过程较复杂,涉及压力、调节阀、液位等控制^[9-10],电磁阀、无线传输通信设

施等要求电力供电是持续的,对供电电源模块的无缝切换提出了更高的要求^[11-13]。双 AC/DC 转换器的冷热备用供电设计为解决这种问题提供了可行性方案,与传统的备用电源相比,不需人工切换处理,具有自动转换、可靠稳定等特点,保障了深层页岩气带压作业中供电系统的安全有效运行。

为此,本文首先介绍了此种液压与自动控制相结合的井控与举升控制系统设计原理,然后具体剖析了现存电源设计模块中双 AC/DC 转换器的冷热备用连接方式各自存在的问题,从而提出了一种能够使冷备用转换器自动切换故障转换器的双 AC/DC 转换器供电系统设计方案,为实现井控与举升自动控制系统的安全可靠运行提供了很好的借鉴思路。

收稿日期:2018-11-09

^{*} 基金项目:国家重大科技专项(2016ZX05038-003)资助

1 井控与举升控制系统

该系统主要是通过合理配置系统传感及控制器材,简化系统配置并优化系统构成。通过对传感信息采集技术研究,实现带压作业装置卡瓦和防喷器工作信息及状态监测,通过系统控制流程以及联动互锁控制技术研究,降低操作人员操作难度,提高带压作业装置自动控制水平。

该井控与举升控制系统主要分为采集执行层、无线传输层和自动化控制层。采集执行层包括液压电磁阀、传感单元(到位传感单元、压力传感单元、载荷传感单元)及适配工装。通过到位传感单元采集卡瓦打开/关闭状态信息、防喷器打开/关闭状态信息,通过压力传感单元采集放喷阀及平衡阀状态信息、通过载荷传感单元测量卡瓦载荷信息,使用液压电磁阀控制卡瓦打开/关闭、防喷器打开/关闭、放喷阀及平衡阀打开/关闭。无线传输层包括无线传输收/发组件。用于采集信息的无线传输,将传感单元采集的信息通过无线方式传输给自动化控制层。自动化控制层主要由综合控制箱、数字化显示仪表及操控组件组成。用于处理传感单元采集到的状态信息,对卡瓦、防喷器、放喷阀及平衡阀打开/关闭进行自动控制。井控与举升控制系统原理如图 1 所示。

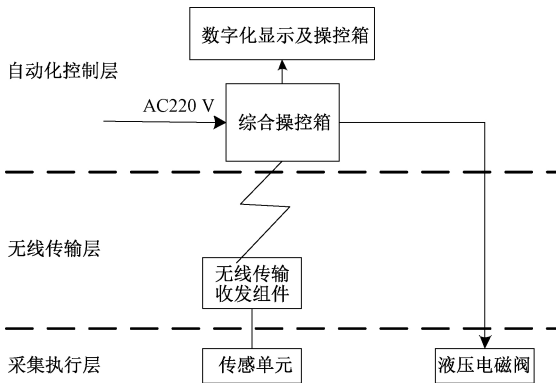


图 1 井控与举升控制系统原理

可以看出,综合控制箱是电控设备的核心,而综合控制箱里的供电模块必须平稳可靠运行才能保证整个系统的有序工作,因此,本文提出一种智能双 AC/DC 转换器供电系统设计方案并加以分析。

2 双 AC/DC 转换器的供电系统设计

2.1 双 AC/DC 转换器的连接方式

双 AC/DC 转换器的连接模式分为热备用和冷备用两种。

1) 热备用连接

如图 2 所示,热备用连接模式是指工作转换器和备用转换器一同连接到处于上电状态的 AC 电源上,两个 AC/DC 转换器的 DC 输出则通过隔离二极管连接负载。

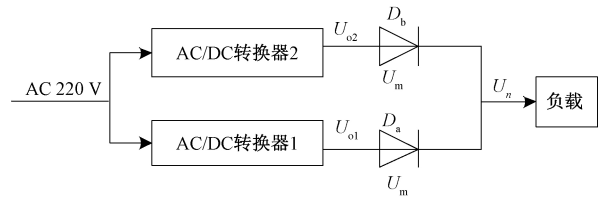


图 2 两个 AC/DC 转换器的热备用连接

在热备用模式下,设 AC/DC 转换器 1、2 的输出电压分别为 U_{o1} 、 U_{o2} , 隔离二极管的降压 $U_{d1} = U_{d2} = U_m$, 负载侧的电压为 U_n , 则 AC/DC 转换器的工作情况分为以下 5 种:

(1) $U_{o1} = U_{o2} = U_o$, $U_n = U_o - U_m$, 转换器 1、2 并联工作。二极管 D_a 、 D_b 正向偏置, $U_{d1} = U_{d2}$, 该情况下负载侧的电流由 2 个转换器平均提供。

(2) $U_{o2} = U_o$, $U_o - U_m < U_{o1} < U_o$ 或 $U_{o1} = U_o$, $U_o - U_m < U_{o2} < U_o$. $U_n = U_o - U_m$, 转换器 1、2 并联工作。二极管 D_a 、 D_b 反向偏置, 此时若 $U_{d1} < U_{d2}$, 则转换器 1 供给负载的电流比转换器 2 小; 若 $U_{d2} < U_{d1}$, 则转换器 1 供给负载的电流比转换器 2 大。此时, 负载侧的电流由输出电流大的转换器提供。

(3) $U_{o2} = U_o$, 转换器 1 损坏会使 $U_{o1} < U_o - U_m$, 甚至 $U_{o1} = 0$. 此时 $U_m = U_o - U_n$, 二极管 D_a 、 D_b 偏置方向相反, 分别为反向偏置和正向偏置。并且转换器 2 供给负载侧全部的电流, 由于二极管 D_a 的隔离效果, 转换器 1 处于故障上电状态。

(4) $U_{o2} = U_o$, 转换器 1 故障会使 $U_{o1} > U_o$. 此时 $U_n > U_o - U_m$, 负载侧电压会提高, 而甚至会出现电压提高的幅度很大情况, 以至于超过了可承受电压的最大值。假如 U_d 提高的幅度比 U_{o1} 提高的幅度小, 则 D_a 和 D_b 分别正向和反向偏置, 转换器 1 供给负载侧全部的电流, 且负载侧的电压会高于常规值。此时即使转换器 2 正常输出电压, 也会受到二极管的隔离作用的影响, 转换器 2 不会有载运行。

(5) 在热备用模式下, 2 个转换器 AC 端一同连接到 AC 电源, 当出现短路, 如雷击、误操作等情况, 两个转换器会一同出现故障。热备用模式下的线路连接相对简单直观, 但该模式存在的问题如下: 在前两种情况下, 两个转换器实际上只有一个在使用, 效率不高, 转换器无法备用; 而在第(3)种情况下, 损坏的转换器处于上电运行的状态时间过长, 这种情况是极其危险的, 而且损坏的转换器在置换时则必须断开电源, 此时设备的供电将停止, 不是连续的; 在第(4)种情况下, 升高的转换器电压会使负载侧的电压也升高, 严重时更会烧坏负载侧, 备用转换器的功能失效; 在最后一情况下, 备用转换器将彻底失效。

综上所述, 热备用的连接模式的安全性和可靠性都不高, 很容易出现故障问题。

2) 冷备用连接

通常冷备用连接模式是只有指工作转换器连接 AC 电

源,备用转换器则不接通,经过隔离二极管,两者的 DC 输出端连接到负载上,备用转换器处于空闲的状态。当工作转换器损坏时,DC 输出的电压超出限制时,此时人为使工作转换器的 AC 电源切断,备用转换器的 AC 电源连通。因此,相对热备用,冷备用更可靠,缺点是人为切断 AC 电源时,整个线路将停止通电,通电的连续性无法得到保障^[14-16]。

冷备用转换器能够在工作转换器损坏,DC 输出电压超出限制时,自动的切换备用转换器,持续的为设备供电;而当工作转换器工作时,此时备用转换器是掉电的,处于空闲状态。因此冷备用模式的效率更高。

一个闭环的开关控制系统,是使冷备用转换器自行代替出现损坏的转换器的核心要点,该系统能够实时监控、判断、计算转换器的输出,并产生相应的控制量,从而对转换器的 AC 输入进行控制。基于上述分析,本文结合冷备用形式连接的特点,提出了一种双 AC/DC 转换器自动切换的控制电路设计方案。

2.2 双 AC/DC 转换器自动切换的控制电路设计

1) 电源模块电路设计

如图 3 所示为冷备用自动切换逻辑控制电路控制系统(其中的 A、B 是 AC/DC 转换器 1、2,而 U_A 、 U_B 是转换器 1、2 的输出电压)。

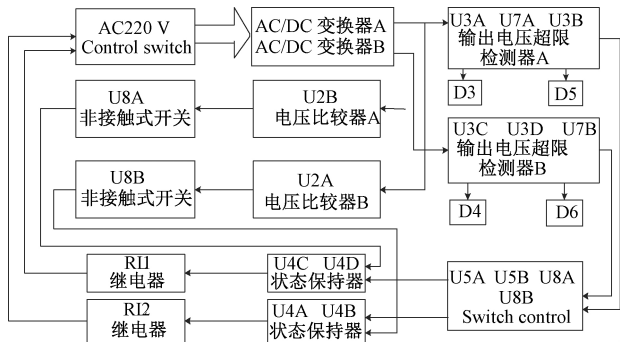


图 3 冷备用 AC/DC 转换器自动切换逻辑控制电路原理

(1) A 与 B 的输出电压比较器:这 2 个电压比较器组成部分是 U_{2A} 、 U_{2B} 。当 $U_A > U_B$,那么 $U_{2Bout} = H$, $U_{2Aout} = L$; 当 $U_B > U_A$,那么 $U_{2Bout} = L$, $U_{2Aout} = H$ 。

(2) A 与 B 的输出电压超限检测器: U_{3A} 、 U_{3B} 、 U_{7A} 以及 U_{3C} 、 U_{3D} 、 U_{7B} 构成了 A 与 B 的电压超限检测器。

(3) 非接触式开关:它由三态门 U_{8A} 、 U_{8B} 组成,使能端由 A、B 输出电压超限检测器经由 U_{5A} 进行控制。

(4) 状态保持电路与交流 220 V 开关控制电路: RS_1 (U_{4C} 与 U_{4D}) 和 RS_2 (U_{4A} 与 U_{4C}) 触发器组成状态保持电路。触发器的左处设置 0 端(即低电平有效),右处设置 1 端(低电平有效)。

(5) 指示灯: D_3 、 D_4 和 D_5 、 D_6 分别是 A 与 B 的工作指示灯与超限检测指示灯。

(6) RS 触发器复位电路。

(7) 逻辑电路供电电路:A、B 两个转换器输出直流 24 V,5 V 电压是由 DC 转换器 MC34063 输出,为整个逻辑控制电路提供电压。

2) 工作流程

(1) 电路启动

当连接 AC220 V 时, RL_1 、 RL_2 都是释放的状态。正常情况下,A 与 B 一起接通 AC220 V,A 与 B 均会有输出,指示灯 D_3 、 D_4 亮,输出略高的 AC/DC 转换器将成为工作转换器(即为负载状态),而另外一个会成为备用的转换器(即为空载状态)。如果其中的一个转换器发生故障,依然可以启动电路。在电路启动时,4 个 RS 触发器均是复位(即置 0)的状态, U_9 的 4 个三态门全是有效的状态。

(2) 切除备用转换器的 AC220 V

电路启动后,备用转换器的 AC220 V 须立刻进行切除,令其处于一种冷备用的状态。在启动时 A、B 均连接 AC220 V,电路输出正常。其电压超限检测器输出 $U_{7Aout} = H$, $U_{7Bout} = H$, $U_{5Aout} = L$,三态门 U_{8A} 和 U_{8B} 打开。

(3) 工作转换器 A 超上下限时的自动切换

如果 U_A 超上限或下限时,电压检测器 $U_{7Aout} = L$, RS_2 设为 0, Q_1 导通, Q_2 截止, RL_2 释放,备用变换器 B 接通 AC220 V。如果 B 没有输出时,会保持 A、B 同时接通 AC220 V,让控制电路处于不失电的状态。但是电压检测器 $U_{7Aout} = L$, $U_{5Aout} = H$,三态门 U_{8A} 和 U_{8B} 呈现高阻态,故电压比较器对 RS_1 、 RS_2 的控制失效。当 U_B 正常输出时, $U_{7Bout} = H$,三态门 U_{9D} 通,A 的电压检测器 U_{7A} 输出低电平,通过 U_{9D} 使触发器 RS_1 设为 1,这时 Q_1 导通,继电器 RL_1 吸合,A 断开 AC220 V。由于工作转换器在 B 超上下限时的自动切换过程与此类似,不再赘述。

3 供电系统的可靠性

其中逻辑控制电路部分的 DC 转换器 MC34063,它允许通过的输入 $U = 3 \sim 40$ V,为了让控制电路部分的供电不存在一定影响,A 或 B 在转换器的变化区间内可以保障 MC34063 输出稳定性。

当存在故障转换器时,其输入端口会自交流端口断开,在输出端口存在一个隔离二极管,如若实现更换根本不需要断电处理,且更换以后的转换器即为冷备用转换器。在工作转换器被检测到超限时,无需立刻切除。原因是一般开关型 AC / DC 转换器从接入 AC 再输出 DC 存在一定工作时间,如果立即切除了会在短时间内会发生“停电”,本电路设计能保证备用转换器自接入到输出达下限值前原转换器的正常工作。

4 双 AC/DC 转换器供电模块的测试及应用

4.1 供电模块系统测试

为验证供电模块的可靠性,对自动切换逻辑控制电路

进行了测试分析。当输出 AC 电压在 220 ± 0.5 V 时,实际所测数据如表 1 所示。

表 1 双 AC/DC 转换器切换测试数据 (V)

| 输出电压 | 转换器 1 电压 | 转换器 2 电压 | 转换器 1,2 的 运行状态 |
|-------|-------------|-------------|-------------------|
| 220 | 23.8 | 0 | 正常工作/冷备用 |
| 220.2 | 23.9 | 0 | |
| 220.4 | 23.9 | 0 | 冷备用/正常工作 |
| 220.3 | 24.0 | 0 | |
| 220.5 | 0 | 23.8 | |
| 219.6 | 0 | 23.9 | 故障/备用工作 |
| 219.8 | 0 | 24.0 | |
| 219.7 | 23.9 | 0 | |
| 219.5 | 23.9 | 0 | 备用工作/故障 |
| 219.9 | 24.0 | 0 | |

通过测试发现,电路启动后,其中一个转换器正常工作,而另一个处于冷备用状态。当转换器发生故障时,此双 AC/DC 转换器可以实现转换器的冷备用自行转换功能,使冷备用转换器能够自行替代故障转换器,确保了电源的持续可靠工作,给井下持续带电工作提供了稳定性,很好地解决了直流电源持续供电的问题。

4.2 系统应用

此供电系统模块已经成功地应用于中石化石油机械股份有限公司的深层页岩气带压作业装备研制中的电源设备中,实际应用情况下,当接入 AC220 V 后,数字化显示仪表、无线传输收发组件供电正常,执行层液电磁阀也能正常供电,供电模块转换器指示灯亮。实际负载工作变换器发生故障时,其中一个工作指示灯灭掉但系统各组件依然供电正常,即自动地替换掉了故障变换器,保障了系统的可靠性。

5 结 论

国内带压作业装备仍处于起步阶段,所引进的 110 t 左右的带压作业装备,采用液压控制,仅单根管柱的起或下就需涉及十多个控制单元开关,操作顺序严格,操作程序繁琐,对操作人员素质要求很高。本文提出了一种带压作业装置操作流程的自动控制系统,能解决带压装置操作流程复杂,易发生误操作的问题。并设计了一种基于数字逻辑控制电路的双 AC/DC 转换器供电系统,处于冷备用的转换器可以自动地代替已发生故障的转换器。该设计方法增

强了电源的可靠性,且结构简单,抗干扰能力强,能实现井控与举升自动控制系统的安全可靠运行。

参考文献

- [1] 魏后超. 关于带压作业技术应用的若干思考[J]. 化工管理, 2014(23):146.
- [2] 强会彬,王大彪,周健. 电磁溢流阀在一体化带压作业机改造中的应用[J]. 石油知识, 2015(1):55-56.
- [3] 姚文彬,李辉,尚捷. 井下振动实时测量存储系统设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(3):106-109.
- [4] 朱祥军,李丽,金莉. 高压管汇泄漏声发射检测研究[J]. 中国测试, 2012, 38(4):26-28.
- [5] 汪云鹤. 带压作业技术的原理与应用分析[J]. 工业, 2016(1): 277.
- [6] Wen H, Yang Z, Xue J, et al. Oil Test by Gas Lift and Intelligent Control System for Producing Oil Well [J]. Well Testing, 2010.
- [7] 谢冲,唐洋,严永发. 井控设备无线远程集中控制系统设计[J]. 控制工程, 2016, 23(3):361-365.
- [8] 张玉娥,贾光政,杨松山,等. 海洋石油平台带压作业自动控制装置研究[J]. 黑龙江科技信息, 2013(9):49-50.
- [9] 李晓,李磊. 矿用综合保护器插件自动测试系统的研制与开发[J]. 仪器仪表学报, 2007(S1):66-69.
- [10] 付光杰,乔永娜,王佳楠,等. 流量控制阀堵转保护装置的设计[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(1):102-105.
- [11] 刘涛,尹勇生,王晓娟. 一种带备用电源切换的线性稳压器设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2007, 21(4):93-96,101.
- [12] 王芬芬,舒冬梅,王凤文,等. 二次直流电源的可靠性设计[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(S2):642-644.
- [13] 凌雷鸣,姜江,庞玲玉,等. 双向 DC/AC 在船舶供电系统中的应用[J]. 江苏船舶, 2017, 34(5):23-25.
- [14] 赵建民. 复杂系统可靠性冗余的平衡优化方法[J]. 机械强度, 2000, 22(4):283-285.
- [15] 方翼翔. 超级不间断电源系统的仿真及控制研究[D]. 杭州:浙江大学, 2016.
- [16] 许将军,杜仲. 冷贮备飞机供电系统可靠性分析[J]. 中国测试, 2015, 41(4):125-128.

作者简介

陈佳,博士、高级工程师,主要从事无线通信及控制技术开发工作。

王国玮(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为电力电子应用技术。

E-mail:55437951@qq.com