

高频脉冲原油电脱水供电控制技术与装置研制

朱宝森, 王新宇, 陈庆国, 魏新劳, 王永红

(哈尔滨理工大学 电气与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 针对传统电脱水器对原油三次采出液处理困难的难题, 提出了高频脉冲原油电脱水的方法, 并详细分析了利用该方法进行原油脱水的优点. 结合现场脱水工艺的要求, 给出了高频脉冲原油电脱水供电装置的实现方案, 并开发出以三相全桥可控整流、IGBT 全桥逆变为核心的新型高频脉冲原油电脱水供电装置. 针对原油电脱水实际应用中经常出现的高压短路现象, 提出了长时间范围内的恒流与恒压和短时间范围内过流与过压的双重保护方案. 经现场试验验证, 该装置具有运行稳定、脱水效率高和节能等优点, 实现了设计要求, 并满足了油田现场原油电脱水的需求.

关键词: 原油; 电脱水; 高频脉冲

中图分类号: TM930.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2012)04-0008-05

Development of Crude Oil Dehydration Power Supply Equipment with High Frequency Pulse

ZHU Bao-sen, WANG Xin-yu, CHEN Qing-guo, WEI Xin-lao, WANG Yong-hong

(School of Electrical and Electronic Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: To solve the problems of difficult dehydration for the crude oil produced by tertiary oil production technique in conventional electric dehydrator, high-frequency pulse crude oil electric dehydration method is proposed and the advantages of this method is analyzed in detail in this paper. Combining with the requirements of electric dehydration process in the oil field, the implementation of crude oil dehydration power supply equipment with high-frequency pulse is given, and a new high voltage power supply device is developed based on high-frequency pulsed electric field dehydration, which is mainly constructed by the three-phase full-bridge controlled rectifier and IGBT full-bridge inverter scheme. Dual protection scheme of constant-current and constant-voltage in a long time and over-current and over-voltage in a short time is proposed for the common phenomenon of high voltage short circuit in the practical application of crude oil electric dehydration. The field test results show that the devices developed in this paper has the advantages of excellent operating stability, high dehydration efficiency and high energy saving rate, which achieve design requirements and meet the needs of the field electric dehydration of crude oil.

Key words: crude oil; electric dehydration; high frequency pulse

0 引 言

近年来,我国各大油田已经进入高含水期,原油

采出液含水在 30% 以上,部分油田甚至达到 90%。传统的电脱水器对高含水期的原油处理已显得力不从心。特别是三次采油技术推广后,采出液粘度高、乳化严重,组成成分复杂,三次采出液的处理难题一

收稿日期: 2012-02-02

基金项目: 黑龙江省科技攻关项目(GZ11A210); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金(RC2011DL007003)。

作者简介: 朱宝森(1953—),男,副研究员;

王新宇(1984—),男,硕士,E-mail: wangxinyu21_2004@163.com.

直没有得到有效解决. 因此, 能否实现三次采出液的高效处理, 对我国原油生产特别是老油田的稳产增产具有重大意义^[1-3].

现阶段我国大多数油田对采出原油均采用电脱水处理, 按照电场类型可分为交流电场脱水、直流电场脱水及交、直流复合电场脱水. 工频交流电场脱水应用较早, 虽然对油质有较好的适应能力, 但是由于每个周期内电场强度只有两个瞬间达到最大值, 因此效率较低; 直流电场脱水虽然脱水效率较高, 但是其对油品的适应能力差, 只有原油含水较少时才适用; 交、直流复合电场脱水虽兼具两种优点, 但是对工艺流程要求较高, 且能耗高. 为此, 针对高含水期传统电脱水器出现的控制电流大、高压电场不稳定、电场倒塌现象频繁发生等实际问题, 提出高频脉冲电场电脱水技术^[4], 采用先进的电流、电压控制模式及大功率 IGBT 开关器件, 对新型高频脉冲电源进行了设计, 从而实现为高含水期原油脱水提供稳定高效电场^[5-7].

1 脱水机理与优点

高频脉冲电脱水方法是基于常规电脱水方法发展起来的, 其脱水机理可用极化吸附理论和碰撞理论来解释. 在高频高压脉冲作用下, 液滴首先被极化并发生相互吸附, 由小水滴经碰撞聚结成较大的水滴, 多个大水滴经电场力作用聚结并形成成长的液滴链, 然后靠重力作用实现油水的分离. 在上述脱水过程中, 如果有过长的液滴链形成则会使传导电流加大, 严重的甚至造成电极间的放电与短路; 然而形成的水链也不是越短越好, 水链过短时水滴重量过轻无法通过重力沉降, 因此脱水效果不明显. 在高频脉冲电脱水过程中, 水滴成链长度的控制可根据不同油质状况, 通过对脉冲电场的幅值、频率、占空比等相关参数的调节, 来确定最佳脱水参数, 从而实现高效破乳脱水^[8]. 为了更好的说明脉冲电场的优越性, 图1给出了高频脉冲脱水与传统脱水工作波形对比.

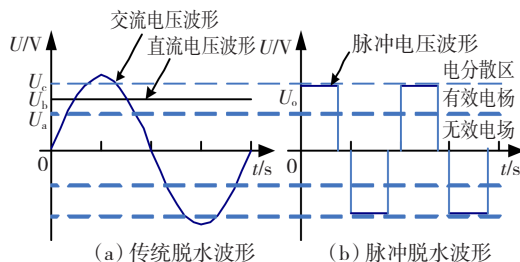


图1 脉冲脱水波形与传统脱水波形对比

从图1中可看出脉冲脱水优点如下^[8]：

- 1) 通过对脉冲幅值的调节, 可使输出电压在整个波形范围内均能进行脱水, 有效避免了电分散及无效电场作用.
- 2) 通过对脉冲频率及占空比的调节, 可将输出频率调整于接近乳化液固有频率, 提高脱水效率, 防止极板间水链引起的短路发生.
- 3) 脉冲电场由零开始越变到极大值能够对乳化膜形成最为强烈的冲击.

2 高频脉冲电脱水的总体方案

高频脉冲供电电源整机由2部分组成, 分别为高频脉冲电源发生器及高频脉冲变压器, 其主要技术指标为: 供电电源: 工频三相 380 V; 控制输出电压: 0 ~ 590 V; 输出脉冲频率: 1 ~ 5 kHz; 脱水输出电压: 0 ~ 40 kV; 额定容量: 50 kVA.

高频脉冲供电装置总体结构如图2所示. 三相 380 V 电源电压经整流、逆变后形成高频脉冲, 该高频脉冲经高频脉冲变压器升压后, 接入脱水罐内电极板建立高频高压脱水电场. 系统的电压调节由三相可控整流单元实现, 并针对实际原油脱水工况设置了恒流、过流及过压保护功能. 为实现对原油电脱水效率的最优控制, 逆变及其控制单元具有频率和占空比调节功能; 同时还具有过流和过压双重保护功能, 以防止高频脉冲变压器的过压输出及由于极板间短路造成主回路器件的损坏.

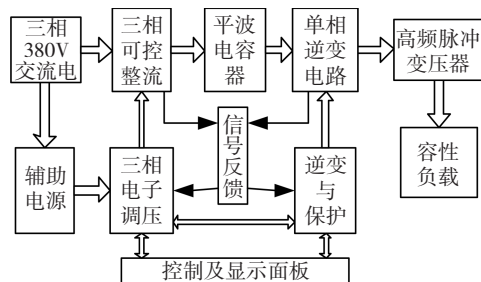


图2 高频脉冲电脱水总体实现方案

3 硬件电路设计

3.1 主电路

为了使电源输出波形更加平稳、提高电能利用率、得到较高的外输出电压, 本供电装置主电路采用三相全桥可控整流及 IGBT 全桥逆变为核心结构, 分为三相全桥可控整流电路、滤波电路、单相 IGBT 逆

流信号检测端引脚1外接稳压管 DA3 及隔离二极管 DA2, 设置电路保护阈值为 8.1 V, 对应主电路保护电流 81 A. 当实际运行电流超过设定值后, 芯片认定过流故障, 此时脚 5 经光耦立即输出低电平信号, 将 IGBT 的门极与发射极两端置于负向偏置, 可靠关断 IGBT. 过流同时, 故障信号输出端(脚 8) 输出低电平过流信号, 此信号经光耦 OA1 隔离后控制外部保护电路动作. 限流电阻 RA4 取值 10 Ω 对应驱动电流值为 0.5 A; 在 IGBT 的 G、E 间并联稳压管 ZA2 和 ZA3 及电阻 RA5, 防止栅极过电压引起的误导通, 同时为栅极电容提供放电路径^[1].

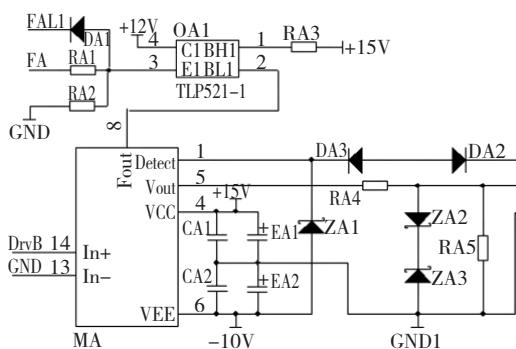


图6 IGBT 驱动电路原理图

3.4 保护电路

针对电脱水器在联合站内实际运行过程中经常出现由于高压短路引起的运行电流高、瞬变电流过大、高压电场不稳等问题. 分别给出了长时间范围内的恒流与恒压保护以及短时间范围内过流与过压的双重保护方案.

3.4.1 电压及电流的检测

为了有效避免因高频波形畸变所引起的测量误差, 系统采用 CHV-50P/800 型霍尔电压传感器和 CHB-100SF 型电流传感器对主回路中电压及电流信号进行测量. 传感器输出信号经峰值检波电路处理后, 一路送至控制面板表进行显示, 另一路作为反馈信号进入控制系统. 峰值检波电路如图 7 所示.

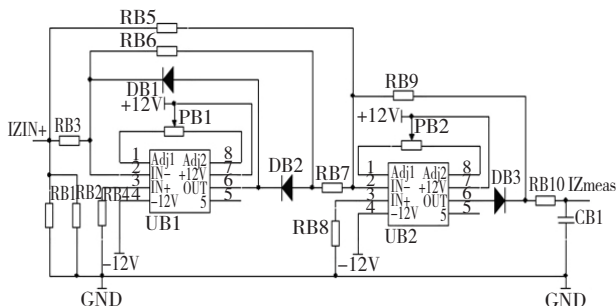


图7 峰值检波电路原理图

由传统的精密全波整流电路改进而来, 传感器输出的检测电流信号经取样电阻后变为电压信号, 进入峰值检波电路进行信号调理, 经峰值检波放大 2 倍后得到符合显示要求的直流电压信号. 为了提高系统输入阻抗, 减小输入信号的干扰, 可在峰值检波电路输出端接一电压跟随器.

3.4.2 恒流保护

针对油品较差时, 脱水器长期大电流运行问题, 在保护控制单元中设置了恒流保护功能, 选用仪用放大器实现, 其具体应用电路如图 8 所示.

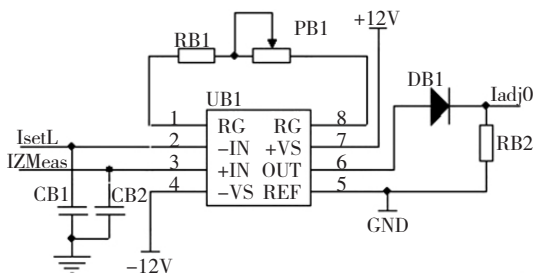


图8 恒流保护电路

通过增益可变的仪用放大器 UB1 对反馈信号进行处理以产生相应的恒流信号. 运行过程中芯片在电流反馈值低于恒流设定值时不工作; 而当反馈值高于设定值时, 输入信号被差分放大, 放大倍数可由 PB1 调节. 增益关系式为

$$G = \frac{49.4}{R_G} + 1 \quad (2)$$

式中, 增益调节电位器 R_G 取值为 10 k Ω , 增益范围约为 5 ~ 26. 输出的恒流保护信号 I_{adj0} 与外部调压信号进行累加后进入调压控制单元, 从而实现自动恒流功能.

3.4.3 过流及过压保护

为防止脱水器运行过程中常出现由于“水链”引起的极板间的瞬间短路, 及短路恢复后变压器过压输出问题, 设计了双路过压及过流保护电路, 其原理图如图 9 所示.

经信号检测单元得到的运行电压、电流反馈值与设定保护值进行比较, 如果有过压、过流情况发生, 比较器输出 FAL1 高电平故障信号进入继电器互锁电路, 立即停止送电. 同时 OV、OC 输出相应故障信号, 控制面板上的过压、过流指示灯亮起, 直观显示故障状态.

3.4.4 继电器互锁装置

系统选用面板微型继电器组成互锁电路, 该电路具有功耗小、动作快等优点; 响应速度可满足保护时间的要求, 操作时间约为 2 ms, 动作时间 1 ms, 继

电器互锁电路如图 10 所示,其中 DA5 为续流二极管,在通断电瞬间对继电器线圈进行保护。

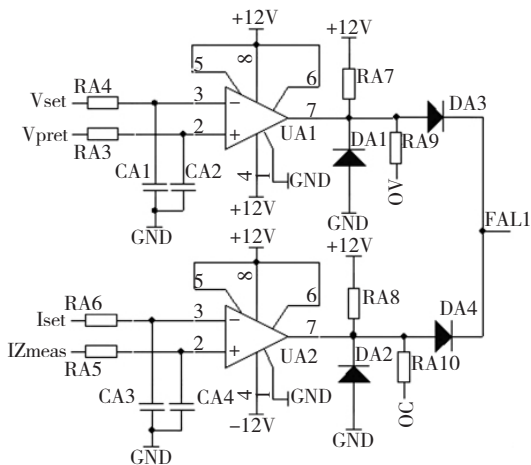


图 9 过压及过流保护电路

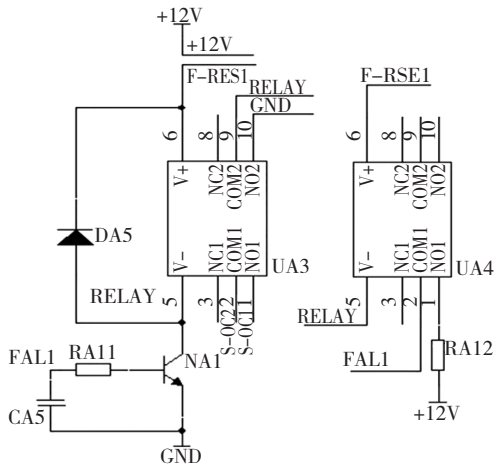


图 10 继电器互锁电路

功率管 NA1 在高电平故障信号 FAL1 输入时导通,此时继电器 UA3 线圈通电,常开触点闭合,为继电器 UA4 线圈供电,UA4 继电器动作后输出一个维持高电平的故障信号到 FAL1,进而两继电器形成自锁,对主电路进行可靠保护。当控制面板上复位按钮被按下后,可解除自锁,控制电源重新送电运行。

4 实验验证

为了验证高频脉冲原油电脱水的脱水效果,于 2010 年 4 月在大庆油田某联合站内对该供电装置进行了现场电脱水试验。现场运行情况表明,所开发出的脱水供电装置能自动调节输出的电压和电流,可有效防止由于高压电场倒塌而造成的短路停电事故,其与传统电脱水方法的脱水参数比较如表 1 所示。

表 1 3 种电场脱水情况对比

参数	入口含水率/%	出口含水率/%	平均电流/A	处理量/(m^3/h)	电场情况
工频	34	0.26	21	40	较稳定
直流	37	0.18	27	40	不稳定
高频	36	0.07	12	50	稳定

由表 1 可以看出,即使在高频脉冲原油处理量高于工频和直流处理量情况下,高频脉冲脱水后的原油含水率比工频和直流脱水后的原油含水率要低得多,且运行电流比前二者要低,说明本文开发出的高频脉冲原油电脱水具有脱水效率高、节能和运行稳定等优点。

5 结 语

随着原油开采力度的加深,原油电脱水要求也在日渐提高。经现场试验验证,新型高频脉冲原油电脱水供电装置与传统电脱水器比较,具有高效、稳定、节能等突出优点,同时可防止原油电脱水过程中的电场垮倒现象发生,特别适用于高含水期,乳化严重的原油乳化液的破乳脱水。

参 考 文 献:

- [1] 张晓华. 原油脱水技术研究进展 [J]. 化工科技, 2009, 17(5): 57-62.
- [2] 陈锋, 杨总. 乳状液破乳方法综述 [J]. 石油化工应用, 2009, 28(2).
- [3] 贾鹏林, 姜世松, 楚喜丽. 原油电脱盐脱水技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2010.
- [4] 陈维民, 陈庆国. 脉冲原油电脱水控制装置 ZL 200620021367.2 [P]. 中国: 2007-11-14.
- [5] 丁艺, 陈家庆. 高压脉冲 DC 电场破乳技术研究 [J]. 北京石油工学院学报, 2010, 18(2): 27-33.
- [6] 张建. 高压脉冲直流电场影响原油乳状液破乳的机理 [J]. 油气田地面工程, 2004, 23(1): 13.
- [7] 黄松涛, 陈家庆, 焦向东. 高压变频交流脉冲原油脱水电源及其静电聚结特性 [J]. 高电压技术, 2011, 37(10).
- [8] 樊春燕, 陈美然. 原油电脱水高频高压脉冲电源控制器设计 [J]. 石油化工自动化, 2011, 47(2): 48-50.
- [9] 林萍萍. 矩形波交流原油脱水电源的研制 [D]. 中国石油大学, 2008: 37-41.
- [10] 王晓峰, 王京梅. 基于 SG3525 的开关电源设计 [J]. 电子科技, 2011, 24(6): 118-121.
- [11] 刘力涛. IGBT 驱动电路研究 [J]. 电焊机, 2011, 41(6): 83-85.

(编辑: 关 毅)