

便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统设计

黄平川,杨启帆,彭子健,赵辉,黄超,洪叶,吕青媛,时伟君

(国网湖北省电力有限公司 检修公司,湖北 武汉 430050)

摘 要:为解决 PTCT 补油机补油质量监测准确性低、信息传输能力差等问题,设计了便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统。利用油质监测仪获取 PTCT 补油机补油质量信息,通过 CAN 转换模块将油质监测仪输出的信号转换为电平信号后,采用应用程序控制主控机的 USB 状态,将转换后的补油质量信息传输至业务逻辑层。使用模糊 C 均值聚类算法获取 PTCT 互感器储油室内绝缘油质量聚类中心的欧式距离,通过计算样本内类簇与欧式距离中心最大数值并将其设置为聚类类簇阈值,对比绝缘油聚类中心欧式距离与阈值后,获取当前补油机补油质量,利用界面视图层与业务逻辑层内的查询服务将补油机补油质量监测结果呈现给用户。实验表明:所设计系统可有效监测不同容量绝缘油浓度和密度变化,具备较高的监测准确性、稳定性以及较强的信息传输能力,应用效果较好。

关键词:互感器;补油机;模糊 C 均值;油质监测仪

中图分类号:TP274 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0244-05

Design of Oil Replenishment Quality Monitoring System of Portable PTCT Oil Replenisher

HUANG Pingchuan, YANG Qifan, PENG Zijian, ZHAO Hui, HUANG Chao, HONG Ye, LYU Qingyuan, SHI Weijun
(Maintenance Company, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430050, China)

Abstract: To improve the low accuracy and poor information transmission capacity of oil replenishment quality monitoring of PTCT oil replenisher, a portable oil replenishment quality monitoring system of PTCT oil replenisher is designed. The oil quality monitor is applied to obtain the oil replenishment quality information of PTCT oil replenisher. After the CAN signal output is converted by the oil quality monitor into level signal through the CAN conversion module in the communication layer, the application program is used to control the USB state of the main control computer and transmit the converted oil replenishment quality information to the business logic layer. The fuzzy C-means clustering algorithm is adopted to obtain the Euclidean distance of the insulation oil quality cluster center in PTCT transformer oil storage room. By calculating the maximum value between the cluster and the Euclidean distance center in the sample and setting it as the cluster threshold, the current oil replenishment quality of the oil replenisher is gained after comparing the Euclidean distance of the insulation oil cluster center with the threshold. By means of the query service in the interface view layer and business logic layer, the oil replenishment quality monitoring results of the oil replenisher are presented to the user. Experiments show that the designed system can effectively monitor the concentration and density changes of insulating oil with different capacities, and has high monitoring accuracy, stability and strong information transmission ability with good application effect.

Keywords: transformer; oil replenisher; fuzzy C-means; oil monitor

0 引言

便携式 PTCT 补油机是为电压互感器(PV)和电流互感器(CT)提供补油或抽油的装置。互感器油室内的含油量是影响其绝缘性能的重要因素之一^[1]。当含油量较低时,需进行补油处理,因此便携式 PTCT 补油机是电网设备中必不可少的元件^[2]。为保障电力系统正常运转,需提升电压、电流互感器绝缘性能。很多专家学者致力于研究补油机补油质量监测方法或系统。董玉坤等^[3]以电压、电流互感器的假油位为研究点,使绝缘油和补油机泵体分离后,在真空循环状态下分离绝缘油的补油和抽油,进而利用两点压力差分方法对其展开监测。该方法虽可

实现补油质量监测,但受两点压力差分方法自身因素的影响,导致其收敛速度较慢、监测效果不够精准;何树营等^[4]以电力系统的总功率损失为出发点,通过控制互感器的散热功率范围,且合理配置 PTCT 补油机的泵马达功率损失,经过计算绝缘油流量实现补油机补油质量监测,但该系统仅从热功率角度出发,而影响补油机补油质量的因素很多。因此该系统存在一定的不足。

针对上述方法中补油机补油质量监测效果较差的问题,本文设计了便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统,以提升补油机补油质量监测效果。在分析补油机补油质量监测系统总体结构的基础上,分别设计了油质监测仪、CAN 转换模块和主控机通信控制模块,并基于模糊 C 均值聚类设计补油质量监控算法,实现便携式 PTCT 补油机

补油质量监测。

1 补油机补油质量监测系统

1.1 系统总体结构

首先构建由数据层、转换通信层、业务逻辑层以及界面视图层组成的便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统,其详细结构如图 1 所示。

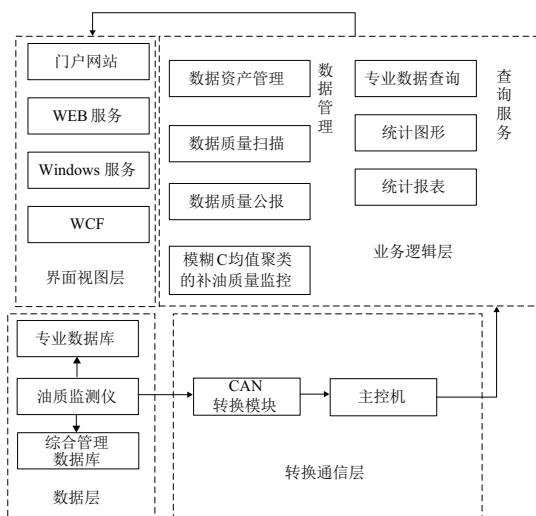


图 1 监测系统总体结构示意图

在便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统内,数据层利用油质监测仪获取当前补油质量监测数据,并存储补油机专业数据以及综合管理数据。其中油质监测仪监测到的数据划分为包含补油质量监测结果在内的专业数据和设备运行状况等综合管理数据;转换通信层的 CAN 转换模块转换油质监测仪监测数据后,将补油机补油质量监测数据经主控机传输至系统的业务逻辑层;业务逻辑层由数据管理和查询服务组成,其中数据管理复杂,包括数据资产管理、数据质量扫描、数据质量监控以及生产数据质量公报。查询服务则为用户提供相应图表数据等查询功能,通过界面视图层展示给用户;界面视图层为用户提供视图展示功能,用户通过登录便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统的门户网站,通过 WEB 服务、Windows 服务以及 WCF 技术等实现数据管理以及查询请求,发送和接收请求反馈。

1.2 油质监测仪设计

在监测 PTCT 补油机补油质量时,大多数企业将水分测试器、黏度传感器等设备组合,并采用离线的方式完成油品质量监测^[5-6]。由于技术分散导致上述监测方式监测效果不够理想,为此设计油质监测仪。该仪器具备自动化监测、数字化监测、信息处理等功能,其结构如图 2 所示。

油质监测仪由单片机(STM32F407VET6)、差频器、电容传感器、温度传感器、C/V 转换电路等组成,利用油质传感器获取当前 PTCT 补油机补油质量,经过多源信息融合、技术融合后,利用 CAN 转换模块传输至单片机内。当

油品质量不符合 PTCT 互感器要求时,光声报警器发出油品质量不合格警示;用户也可以通过 LED 显示器查看当前油品质量,利用键盘输入模块控制单片机。

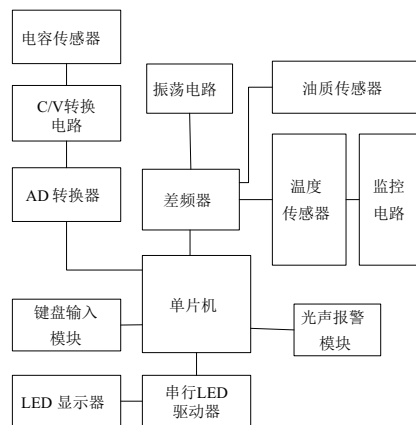


图 2 油质监测仪结构示意图

1.3 CAN 转换模块设计

由于油品质量在线监测仪所输出的补油质量监测数据均为 CAN 信号,而 PC 端与油品质量在线监测仪之间接口为 RS 串行接口,需将 CAN 信号转换为电平信号方可传输至 PC 端,为系统的业务逻辑层和界面视图层提供油品质量数据服务^[7]。该模块由主控制器、CAN 控制器、CAN 信号收发器和电平转换电路构成,其中 CAN 信号收发器型号为 MCP2551,该信号收发器与油品质量在线监测仪的单片机(STM32F407VET6)之间接口电路图如图 3 所示。

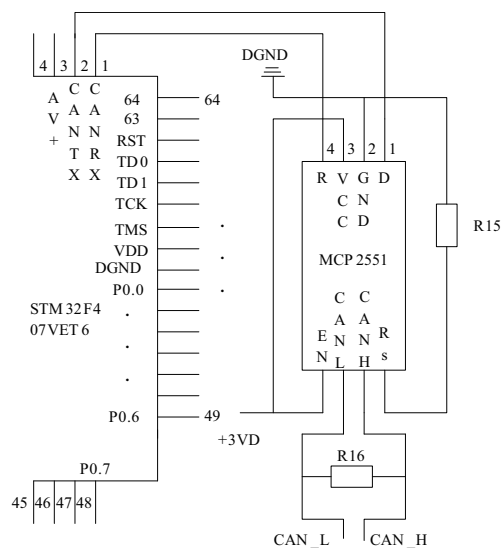


图 3 CAN 信号收发器与单片机接口电路示意图

1.4 主控机通信控制设计

转换通信层的 CAN 转换模块与主控机之间以 USB 方式连接,依据 USB 通信协议完成补油质量监测数据传输^[8]。利用主控机内的 USB 总线驱动程序和数据驱动程序传输 PTCT 补油机补油质量数据。当油质监测仪内单片机接收到主控机内 USB 协议发送的数据传输请求时,

利用 USB 的控制传输方式传输补油机补油质量数据,当该数据发生错误时,使用块传输方式对其检测并重新传输^[9]。在补油机补油质量数据传输过程中,使用用户端应用程序控制主控机的 USB 开启或关闭状态,并利用该程序控制 USB 数据传输管道、设置 A/D 接口状态等,其控制 USB 通信流程如图 4 所示。

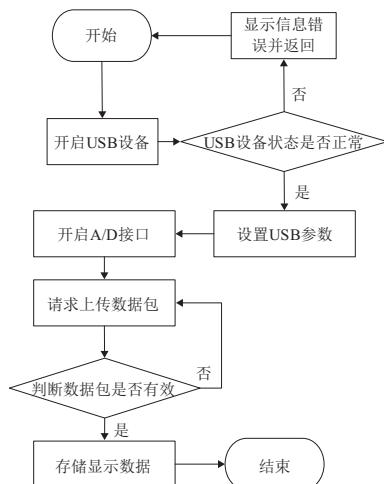


图4 用户端应用程序控制 USB 通信流程图

用户端应用程序通过开启 USB 设备并检测设备状态,当设备状态错误则向主控机发送显示信息错误并返回开始步骤;当检测 USB 设备状态正常,则设置 USB 数据传输参数并开启 A/D 接口,发送上传数据包请求;当数据包有效时,执行存储、显示数据操作,完成补油机补油质量数据传输;反之,则重新请求上传数据包。

1.5 基于模糊 C 均值聚类的补油质量监控算法

系统的业务逻辑层利用模糊 C 均值聚类算法实现。依据系统数据层内的油质量监测仪监测到的当前补油机补油质量信息,通过模糊 C 均值聚类算法获取绝缘油质量等级聚类中心的欧式距离后,再计算绝缘油信息样本内类簇与距离中心的最大数值,并将该数值作为聚类簇阈值,将所计算到的绝缘油质量等级聚类中心的欧式距离与该阈值进行对比后可获取当前补油机补油质量情况,实现补油机补油质量监测。

模糊 C 均值聚类算法具体步骤如下:

令 $\mathbf{x}_i$ 表示补油质量数据集, n 表示该数据集内补油质量样本数,其中 $i=1,2,\dots,n$,将 $\mathbf{x}_i$ 划分为 Q 个模糊数据组。为使补油质量数据聚类中心的相似性目标函数数值最低^[10],设置聚类中心隶属度阈值为 0~1 之间,经过对数据归一化处理后^[11],数据集的隶属度之和数值为 1,由 $\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1$ 表示,其中 $u_{ij} \in U$ 表示模糊隶属度函数,则补油机补油质量的目标函数表达式如下:

$$J(U, q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^q J_i = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (1)$$

式中:当模糊组为 i 时,其聚类中心由 q_i 表示; m 表示加权指数,当聚类中心为 i 时,该聚类中心与数据 j 之间的欧式

距离由 d_{ij} 表示。其表达式如下:

$$d_{ij} = A(q_i - x_j) B(q_i - x_j) \quad (2)$$

式中 A, B 分别表示拉格朗日乘子和聚类中心步长。

为使式(1)数值达到最小,设置其约束条件如下:

$$\begin{cases} q_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \\ u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^q \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \end{cases} \quad (3)$$

式中 k 表示类簇数量。

通过式(1)和式(3)可知,模糊 C 均值聚类算法是一个反复运算的过程^[12-13]。在补油机补油质量监测过程中,以比较实际测试值和聚类中心贴合度的方式判断补油机补油质量情况,令 $N(S, G)$ 表示聚类中心的最小贴合度,其表达式如下:

$$N(S, G) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_s(u) \wedge \mu_c(u)}{\sum_{i=1}^n \mu_s(u) \vee \mu_c(u)} \quad (4)$$

式中:运算符 $\wedge, \vee$ 分别表示选取最大数值和最小数值; $\mu_s(u)$ 、 $\mu_c(u)$ 分别表示补油机补油质量样本对模糊子集 S, G 的隶属度。

依据隶属度和聚类中心约束条件^[14-15],获取到补油机补油质量目标函数最小数值后,依据式(4)计算补油质量贴合度,实现补油机补油质量监测。

2 实验分析

为验证本文方法实际应用效果,以某品牌便携式 PTCT 互感器和补油机为实验对象,使用该补油机为便携式 PTCT 互感器补油,并使用本文系统监测其补油质量。

2.1 监测绝缘油质量准确性测试

从绝缘油的介电常数角度分析,测试补油机补油毫升数不同时,绝缘油的介电常数变化情况,对比实际测量和本文方法监测的介电常数偏差情况,结果如表 1 所示。

表 1 监测绝缘油质量准确性测试结果

补油量/mL	本文系统监测结果/(F/m)	实际介电常数数值/(F/m)	绝对误差/(F/m)
10	2.37	2.37	0
20	2.39	2.39	0
30	3.02	3.02	0
40	3.11	3.11	0
50	3.47	3.47	0
60	3.54	3.56	0.02
70	3.88	3.88	0
80	3.91	3.91	0
90	4.13	4.13	0
100	4.47	4.47	0

分析表 1 可知,随着补油毫升数的增加,PTCT 互感器储油室的介电常数也随之增加。对比本文系统监测的介电常数值和实际介电常数值可得出,本文系统监测补油机补油质量的精度较高,且监测结果出现偏差数值仅为 0.02 F/m,偏差数值较小。该结果表明:本文系统可有效用于补油机补油质量监测,监测结果可信度较高。

2.2 信息传输性能测试

以数据传输的缺失程度来衡量本文系统信息传输性能指标,测试不同大小的补油机补油信息量情况下本文系统信息传输的缺失率。通过缺失率可以反映便携式 PTCT 补油机补油质量监测系统的信息传输性能,缺失率越低,信息传输性能越优,系统稳定性越好。结果如图 5 所示。

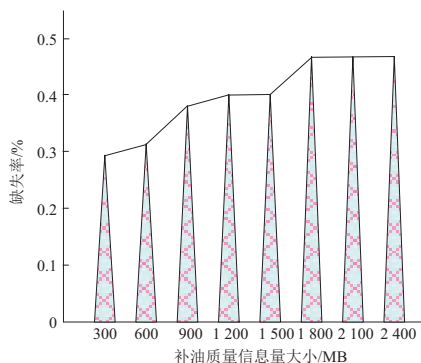
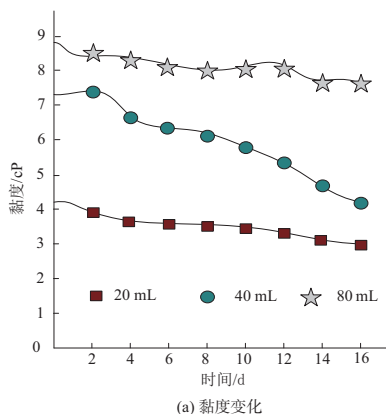


图 5 信息传输性能测试

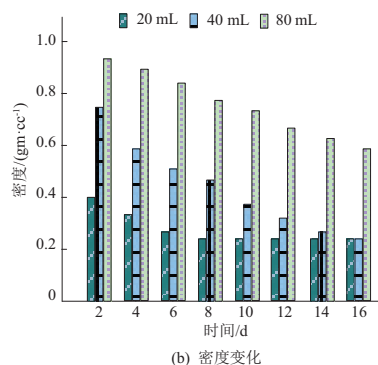
分析图 5 可知,系统信息传输的缺失率与补油质量信息量呈正比例关系,在补油质量信息量为 1 800 MB 之前,系统信息传输的缺失率呈现逐渐上升趋势,缺失率由最初的 0.29% 左右上升至 0.47% 左右,信息传输缺失率上升接近一倍;但随着补油质量信息量的增加,信息传输缺失率数值始终保持在 0.47% 左右。该结果表明:本文系统在信息传输时的缺失率数值较低,且随着信息量的增加,信息传输缺失率数值保持在一定数值,信息传输稳定性较好,所传输的补油质量信息完整性较好。

2.3 油品质量监测效果

设置 PTCT 互感器储油室内剩余绝缘油分别为 20 mL、40 mL 和 80 mL 时,该互感器运行 16 d,本文系统监测的绝缘油黏度和密度变化情况,结果如图 6 所示。



(a) 黏度变化



(b) 密度变化

图 6 油品质量监测效果

分析图 6(a) 可知,PTCT 互感器储油室内剩余绝缘油黏度随着 PTCT 互感器运行天数的增加而降低,绝缘油剩余量不同,其初始黏度也不同。绝缘油剩余较多时,其黏度数值较大,而随着 PTCT 互感器运行天数的增加,当绝缘油容量为 80 mL 时,其黏度呈现小幅度波动下降趋势,绝缘油容量较高,黏度呈现饱和状态,因此浓度下降幅度较小。当绝缘油容量为 40 mL 时,其黏度数值曲线下降幅度最快,其初始黏度数值较高,而绝缘油容量适中,黏度下降空间较大,因此其黏度曲线呈现大幅度下降趋势。当绝缘油容量为 20 mL 时,其初始黏度数值较低,而随着时间的增加其黏度下降空间较小,因此其黏度呈现较平缓下降趋势。分析图 6(b) 可知,绝缘油密度与 PTCT 互感器运行天数为反比例关系,当绝缘油容量为 20 mL 时,在 PTCT 互感器运行天数为 6 d 之前,绝缘油密度呈现下降趋势;当 PTCT 互感器运行天数超过 6 d 后,绝缘油的密度保持在 $0.27 \text{ gm} \cdot \text{cc}^{-1}$ 左右,密度不再下降,表明此时的绝缘油密度已达到最低数值。当绝缘油容量分别为 40 mL 和 80 mL 时,容量较大的绝缘油初始密度数值较高。随着 PTCT 互感器运行天数的增加,二者平均密度均呈现下降趋势,但容量为 40 mL 的绝缘油密度数值下降幅度较大。综上所述表明:随着 PTCT 互感器运行天数增加,本文系统可有效监测不同容量的绝缘油浓度和密度变化情况,对绝缘油质量监测效果较好。

2.4 监测延迟测试

以系统数据读入延迟作为衡量系统监测延迟性指标,测试在不同补油机补油质量信息量情况下系统读入监测信息延迟时间,结果如图 7 所示。

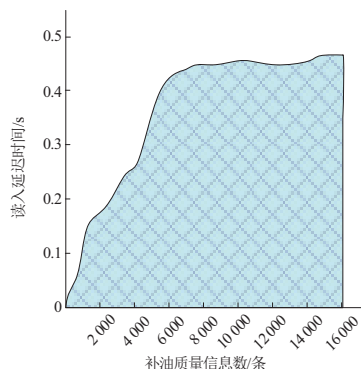


图 7 监测延迟性测试

分析图7可知,本文系统的读入延时时间在补油质量信息数约为5 800条之前呈现迅速上升趋势,当补油质量信息数超过5 800条后,系统的信息读入延迟时间在0.43 s上下波动。该结果表明:本文系统在补油质量信息数较少时,其信息读入延时较小。随着数据量的增加,信息读入延时呈现稳定状态,较适合对大型电网的PTCT补油机补油质量监测或对多个补油机补油质量进行监测,也从侧面印证本文系统具备较强的扩展性。

2.5 系统运行稳定性测试

为验证本文系统的稳定性,使用本文系统对补油机补油质量进行为期300 d的监控,统计不同信息量时,系统运行中断次数,结果如图8所示。

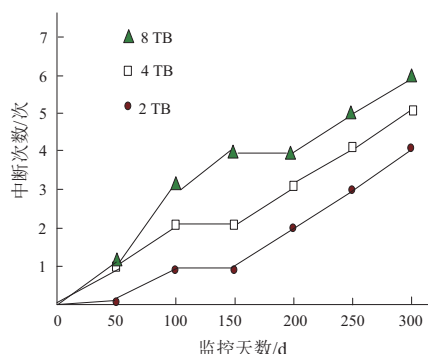


图8 系统运行中断次数测试结果

由图8可知,系统运行中断次数随着监控天数的增加表现为指数增长状态,而系统监控的信息量越少,则系统的中断次数越少。当信息量为2 TB时,在为期300 d的监控行为中,系统运行的中断次数共4次;而信息量分别为4 TB和8 TB时,系统运行的中断次数分别为5次和6次。该结果表明:本文系统的运行稳定性较好。

3 结语

本文设计便携式PTCT补油机补油质量监测系统由数据层、转换通信层、业务逻辑层和界面视图层构成,通过设计油品质量在线监测仪、CAN转换模块、主控机通信控制等实现系统采集、转换、通信各项功能,并利用模糊C均值聚类算法实现PTCT补油机补油质量监测。将系统应用在某便携式PTCT补油机上,对其补油质量展开监测,监测结果表明:本文系统监测的PTCT互感器储油室内绝缘油介电常数数值与实际数值最大偏差仅为

0.02 F/m,监测结果可信度较高;系统信息传输的缺失率随着补油质量信息量的增加而增加,当补油质量信息量超过1 800 MB之后,系统信息传输缺失率始终保持在0.47%左右,传输的补油质量信息较为完整;在PTCT互感器运行过程中,可有效监测不同容量的绝缘油浓度和密度变化情况;随着数据量的增加,系统信息读入延时呈现稳定状态,且中断次数少,运行稳定性较好。

参考文献:

- [1] 俞芳芳,董蓉,李勃,等. 基于深度学习的食用油灌装质量检测系统[J]. 中国粮油学报,2018,33(3):112-118.
- [2] 张若愚,齐波,张鹏,等. 面向电力变压器状态评价的油中溶解气体监测数据补全方法[J]. 电力自动化设备,2019,39(11):181-187.
- [3] 董玉坤,沈胜楠,路欣,等. 基于压力传感器的变压器油位检测和带电补油装置[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(5):37-42.
- [4] 何树营,曹春花,郭强,等. 从系统热平衡及压力匹配计算闭式液压系统补油参数[J]. 机床与液压,2018,46(22):41-44,50.
- [5] 邵帅,吴景鑫,郭秀军,等. 储油区泄漏电化学实时监测系统设计与应用效果分析[J]. 地球物理学进展,2020,35(2):786-792.
- [6] 周俊丽,李光斌. 基于工业互联网的设备油液在线监测信息化系统开发[J]. 机床与液压,2020,48(17):140-145.
- [7] 陈佳,于修焯,刘晓丽,等. 基于傅里叶变换红外光谱的食用油质量安全检测技术研究进展[J]. 食品科学,2018,39(7):270-277.
- [8] 姜振楠,王欣,宋晓光,等. 大型履带起重机起升机构闭式液压集中式补油系统研究[J]. 机床与液压,2021,49(7):79-83,96.
- [9] 李一凡,寿韬,谢玉海,等. 功率法抽油机井平衡分析仪的设计与应用[J]. 石油钻采工艺,2018,40(4):522-525.
- [10] 李飞过,张建军,申文娟. 基于SVPWM调制抽油机能量回馈装置设计[J]. 电子器件,2018,41(6):1582-1586.
- [11] 孙爱军,叶勤友,孙伟. 直连式液压抽油机的设计与应用[J]. 钻采工艺,2019,42(1):71-73,6.
- [12] 曹忠亮,郭登科,徐志宇,等. 一种新型无游梁抽油机的设计与分析[J]. 机床与液压,2019,47(11):57-60,6.
- [13] 卢秋羽,蒋薇,解文琦,等. 大数据挖掘技术支持下抽油机井系统效率影响因素分析[J]. 数学的实践与认识,2020,50(19):246-252.
- [14] 杨盛泉,龚晨,刘萍萍,等. 基于物联网的油田输油泵远程DCS系统设计[J]. 油气储运,2018,37(11):1266-1271.
- [15] 胡泽民,施洪生,亢凯,等. 基于光学法的油液磨粒在线监测系统[J]. 电子技术应用,2018,44(8):52-55.

收稿日期:2021-09-15