

基于电力线工频通信技术的电机故障研究

电力线工频通信技术利用电网电压和电流波形的微小畸变来携带信息，能够跨越变压器直接通信，基于该技术的油井远程监控系统已经得到应用。针对电机故障主要是停机故障的特点，研究了根据油井电机负荷特性进行停机检测的方法，并且通过工频通信方式实现故障报警，通过现场试验，证明了其有效性。

唐东升¹ 刘宗辉²/1. 华北电力大学电气与电子工程学院 2. 国网智能电网研究院

根据油田电网的需要，对油田电网的多种参数进行准确的测量。①常规参数。三相电压、三相电流、功率等参数。②电网优化方面的参数。为了配合配网优化项目的实施，需要对每台变压器的电流值、电压值、有功电量和无功电量进行监测。③油井电机故障检测与报警。

2 油田常见的故障情况分析

油田常见的故障情况有负载故障和配网故障，其中负载故障包括过载、轻载、欠电压、过电压、停机故障等，配网故障缺相、单相短路接地故障等。其中又以抽油机停机故障和配网单相短路接地故障影响最大。

油井抽油机停井会造成油田产油量下降，油井抽油机停机情况主要分为三种。

第一种是计划停机状态。油井里石油的采集效率会随着连续采集的时间长度逐渐降低。采集效率过低会影响油田的收入。油田工作人员会根据油井的采集情况安排油井抽油机每隔一段时间停机一次，在油井里注水，恢复油的采集效率。油井的配电网也要定期进行检修，检修期间油井负荷处于停机状态，直到恢复供电。

第二种是故障停机状态。抽油机因为机器故障处于停机的状态。油田的工作人员在巡线的过程中发现停止工作了抽油机时，会与计划停机状态的机器进行比较，发现不在计划停机内的停机现象，上报维修人员进行维修，此种故

0 引言

电力线工频通信技术利用电网电压和电流波形的微小畸变来携带信息，能够跨越变压器直接通信。根据数字化油田建设的业务需求，将该技术应用于传输油井远程监控信息，具有设备成本低、安装方便、没有通信服务费用等优点，同时适合油田配电网的线路结构和负载特点，为油田电网的信息化建设做出了重大的贡献。

1 油井电机远程监控结构

油井电机远程监控系统的主要目的是对油井电机电气信息量的远程监测，并通过上传信息判断电机的工作状态，进而对电机进行远程控制，油井远程监控系统的整体结构如图1所示。

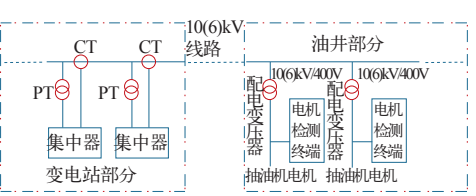


图1 油井远程监控系统整组成构图

关键词/Keywords

工频通信 ·
油井电机 ·
故障报警 ·

障以机械故障居多。

第三种是人为停机状态。抽油机没有故障，也不是处于计划停机状态，人为干预的停机状态。这种情况是针对不法分子来偷油时将抽油机人为停机提出的。这种情况也是最希望能够避免的。

3 油井抽油机起停的检测与分析

油井负荷主要包括抽油机、注水井设备、加热设备和无功补偿装置等。其中抽油机的工况最为复杂。分析抽油机的起停机状态和抽油机负荷的特点，为找出判别抽油机负荷起停机的判断依据提供理论基础。

3.1 油井抽油机起停机判断的意义

油井抽油机是油田生产环节中非常重要的设备，油田的值班人员很在意油井的抽油机设备是否处于工作状态。

油田电网分布范围广，如果采用巡线方式来确定油井抽油机是否处于工作状态就需要大量的人工费用，且效率很低，不能对油井的工作状态进行实时监控。如果对每一台油井抽油机端口处都安装工频通信设备，利用工频通信设备进行油井终端电气量的采集传输工作，根据工频通信设备所收集的电气信息量，在终端设备对抽油机负荷的工作状态进行判断，在抽油机停机时终端设备上传报警信号，则可以节省大量的人工费用，满足油田值班人员对油井工作状态的监控需求。

油田地广人稀，夜间经常发生不法分子将抽油机停机进行偷油的现象。对油田造成经济损失。目前解决这个问题的方法还是采用巡逻的方法。所以，及时通知油田值班人员在油井非计划内的停机现象就变得十分重要。一旦终端设备上传报警信号，值班人员会立刻派工作人员去现场查看油井的情况，对于抽油机故障造成的停机能够及时的修理，对于人为造成的停机能够及时采取行动，降低偷油事件所造成的经济损失。

如何能够找到一种可行的方法来检测出油井抽油机的停机情况，首先要对油井抽油机的负荷情况进行了解。

3.2 油井抽油机负荷的特点

抽油机负荷的主要特点如下：

1) 抽油机负荷是变化极大的脉冲负荷。变化频率常用冲程表示，其冲程一般来说约12次/min，变化周期约10s左右。

2) 变化周期的上下两个冲程各有一个死点，抽油机停车后再起动时，总是从两个死点中负载较大的死点开始的。因此，要求抽油机电机在电动机状态应具有较大的起动转矩。

3) 抽油机在工作中有一个输出功率的过程，输出功率的大小和时间随抽油机的实际工况不同而不同，所以抽油机在运行过程中，将有一个驱动电机发电运行的过程。

因此，由以上抽油机负荷的特点决定了在选择电机时，必须按最大转矩选配。实际中考虑到砂卡、结蜡等异常时，不致因起动困难烧毁电机，通常还要人为增大电机裕量，这无疑加剧“大马拉小车”现象，使得电机长期在低负荷下运行。电机负载率低势必影响到电机的运行效率。

油田抽油机的负荷曲线如图2所示。从图中可以看出功率因数的变化很大。抽油机通常装有无功补偿设备以及冬天防止油井结冰的加热设备，所以抽油机的功率因数为正，且浮动变化范围很大。如果抽油机停机，则功率因数角在一个周期内基本处于不变的状态。

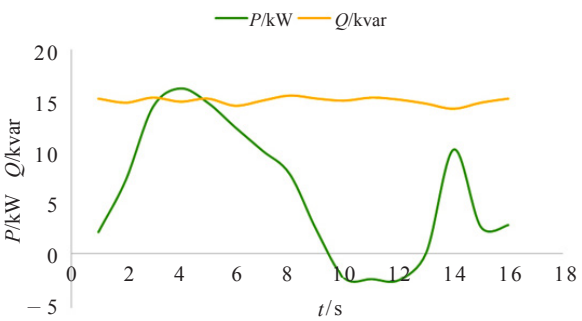


图2 抽油机的负荷曲线图

4 判断油井负荷起停的方法

4.1 根据负荷特点的运行检测手段

从如下表所示的现场数据来看，现场抽油机负荷所占的比重最大。油井负荷的特性为抽油机负荷在一个冲程内有功变化比较大，无功功率处于比较稳定的状态；其他负荷有功功率和无功功率都处于比较稳定的状态。基于此可知当油井

抽油机负荷投入使用的时候负荷总的有功功率变化范围很大，总的无功功率变化不大，即在这种运行状态下功率因数角变化得比较大；当油井抽油机负荷停机时，总的有功功率和无功功率变化都不大，即在这种运行状态下功率因数角变化很小。根据以上分析，可以得出通过功率因数角来判断油井抽油机负荷的起停。

表 油田负荷实测数据

时间点/s	抽油机有功功率/ kW	抽油机无功功率/ kvar	其他负荷有功功率/ kW	其他负荷无功功率/ kvar
1	2.1	15.2	10.5	6.1
2	7.2	14.8	10	6.4
3	14.4	15.3	9.5	6.3
4	16.2	14.9	10.0	6.2
5	14.8	15.2	9.7	6.0
6	12.4	14.5	10.2	5.9
7	10.1	15.0	10.0	6.0
8	7.8	15.5	9.8	6.1
9	2.2	15.2	10.3	6.2
10	-2.4	15.0	10.1	6.1
11	-2.5	15.3	10.3	6.0
12	-2.6	15.1	9.9	6.0
13	0.1	14.7	10.1	6.0
14	10.2	14.2	10.2	6.1
15	2.6	14.8	10.0	6.2
16	2.8	15.2	10.5	6.1

4.2 基于功率因数角诊断方法研究

要研究基于功率因数角的油井抽油机的诊断方法，即如何通过工频通信设备来获得功率因数角，通过什么条件来判断抽油机负荷的起停，以及如何确定一个比较好的判决门限。

(1) 功率因数角的获得

传统的计算电流、电压、功率的方法为主要采用傅里叶变换来进行处理。傅里叶算法本身带有很强的滤除高次谐波的能力，因而在电力系统相量计算中得到了广泛应用。

油田电网中被采样的电压、电流信号可以近似表示为

$$x(t)=X_0e^{-t/\tau}+\sum_{n=1}^NX(n)\sin(n\omega t+\varphi_n)$$
$$=X_0e^{-t/\tau}+\sum_{n=1}^N[A_n\cos(n\omega t)+B_n\sin(n\omega t)]$$

根据全波傅里叶算法

$$\begin{cases} A_n=\frac{2}{T}\int_0^Tx(t)\cos(n\omega t)dt \\ B_n=\frac{2}{T}\int_0^Tx(t)\sin(n\omega t)dt \end{cases}$$

经过离散，采样求和可得

$$\begin{cases} A_n=\frac{2}{N}\sum_{k=1}^Nx(k)\cos(nk\frac{2\pi}{N}) \\ B_n=\frac{2}{N}\sum_{k=1}^Nx(k)\sin(nk\frac{2\pi}{N}) \end{cases}$$

式中， n 为倍频次数； N 为单个数据窗内采样点数； k 为采样点的序号。

则 n 次倍频的幅值和初相角为

$$X(n)=\sqrt{A_n^2+B_n^2}$$

$$\varphi_n=\arctan\frac{A_n}{B_n}$$

实际中计算中，以某一相电压和电流为例，其电压瞬时值的表达式为

$$u=U_m\sin(\omega t+\varphi_u)$$

电流瞬时表达式为

$$i=I_m\sin(\omega t+\varphi_i)$$

功率因数可由一个周期内电压、电流的采集数据通过傅里叶级数公式得出

$$a_k=\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi}u(t)\cos(k\omega t)d(\omega t)$$

$$b_k=\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi}u(t)\sin(k\omega t)d(\omega t)$$

离散后为

$$a_n=\frac{2}{N}\sum_{k=1}^Nu(k)\cos(nk\frac{2\pi}{N})$$

$$b_n=\frac{2}{N}\sum_{k=1}^Nu(k)\sin(nk\frac{2\pi}{N})$$

初相角

$$\varphi_k=\arctan(\frac{b_k}{a_k})$$

先计算出一个周期内电压的初相角 φ_u ，再计算出同一计时点时电流的初相角 φ_i ，则可得到功率因数角

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i \tag{13}$$

然后可得到功率因数

$$\lambda = \cos \varphi \tag{14}$$

(2) 判决条件

抽油机完成一个冲程所需的时间大约为15~20 s，选择25 s作为一个检验周期，对于一般的抽油机负荷基本包含了一个冲程的时间。每秒算一次功率因数，记为， $\cos \theta_n$ 的取值范围为1,2,3,...,25。则这段时间功率因数的方差为

$$D = \sum_{n=1}^{25} (\cos \theta_n - \overline{\cos \theta})^2 \tag{15}$$

$$\overline{\cos \theta} = \frac{1}{25} \sum_{n=1}^{25} \cos \theta_n \tag{16}$$

式中， D 为25 s内功率因数方差， $\overline{\cos \theta}$ 为25 s内平均功率因数。设 ε 为判决门限值，即判决条件为

$$D < \varepsilon \tag{17}$$

当 D 值小于 ε 时，判断抽油机停井，工频通信的终端设备就会调用故障报警程序，将抽油机的故障信息上传给主站设备。

(3) 判决门限的选择

判决门限在选择时综合考虑两种情况下的功率因数方差。第一种情况为检测中其他负荷无改变时，也就是在一个判决周期内其他负荷正常运行，没有改变运行状态时的情况，即没有由退出到投入或由投入到退出的状态发生。第二种情况为检测中其他负荷有改变时，也就是在一个判决周期内其他负荷有改变运行状态时的情况。

5 基于工频通信的报警传输

当工频通信终端设备判断出油井处于停机状态则会立即准备发送报警信号。报警信号的发送主要有三种模式，第一种为轮询报警模式，第二种为单路主动报警模式，第三种为多路并行主动报警模式。

1) 轮询报警模式又叫作主从报警模式。主站设备为主机，终端设备为从机。主从模式的一般做法是这样的：主站依次向从站发出点名信号，点名信号可以是在进行电气信息的采集时要求从

站上传电气信息量的控制信号，从站收到点名信号后可以将从机处抽油机的状况信息上传给主站以达到报警的效果。这种做法的优点是实现起来简单，只需在上传的电气信息量上增加一个抽油机状态的编码位即可实现。但是所有油井轮询一次所花费的时间较长，不能快速及时的上传油井抽油机的停机报警信号。适合负荷数量比较小的情况。

2) 单路主动报警模式就是当终端设备检测到油井抽油机退出运行要进行报警时，终端设备主动向主站设备提出申请，采用监听技术，在没有设备发信号时才发送申请信号，采用竞争机制。这种报警模式的优点是等待时间短，报警信号能够及时传送，缺点是程序实现起来比较复杂，在有两路以上的报警信号同时提出申请时容易造成相互干扰。但由于报警时间短，适合负荷数量比较多的情况。

3) 多路并行主动报警模式是在单路主动报警模式中传输报警信号时上行通信信号的编码采用正交编码，从而使多路报警信号能够同时传输。这种方法可以看成是在单路主动报警模式基础下的改进模式。也比较适合负荷数量比较多的情况。

6 现场测试结果

在大庆油田第五采油厂的二矿电站内进行试验。试验时对某一线路上的两口抽油机进行停机，在主站的管理界面发现这两台抽油机的报警信号已经传到，如图3所示。

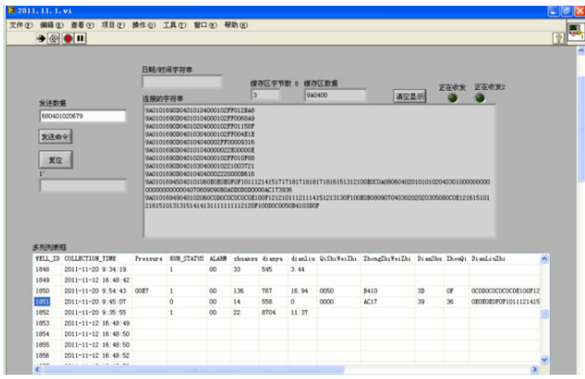


图3 现场测试结果图

7 结束语

油井抽油机是油田电网的重要生产设备。本文根据油田现场对抽油机起停机判断的需要，分

析油井抽油机的负荷特性，提出利用功率因数判断抽油机起停机的方法。介绍了利用该方法实现抽油机停机报警的程序流程。经过现场测试证明这种判断方法能够有效地对抽油机的起停机进行判断，成功上传停机报警信号。

参考文献

[1] Velasco-Ramírez E, Ángeles-Camacho C, García-Martínez M. Smart transmission grids: benefits and risks[J]. Ingeniería, Investigación y Tecnología 2013, 14(1): 81-88.

[2] Barker I J. Some considerations on future developments in ferro-alloy furnaces[J]. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 2011, 111(10): 691-696.

[3] Albiero Daniel, Daher Sérgio, Monteiro Leonardo de Almeida. Wind turbine for family farming in semi-arid areas with technological innovations for low wind speeds[J]. Revista Ciência

Agropecuária, 2014, 45(1): 186-196.

[4] Sioe T Mak, Richard L Maginnis. Power frequency communication on longfeeders and highlevels of harmonic distortion[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(4): 1731-1736.

[5] 金玉生, 刘赫, 李文, 等. 双向工频通信下行信号系统的准最优控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(10): 84-91.

[6] 卢文冰.用于电机群远程监控的电力线通信关键技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011:1-82.

[7] Mak S T. Application of a differential technique for characterization of waveform distortions[C]. Power Engineering Society Winter Meeting, 2000: 975-980.

作者简介

唐东升（1989-），男，主要研究方向为用电信息采集、电力通信系统状态监控、工频通信应用。

（收稿日期：2015-12-10） **EA**

（编辑：鞠佳）

（上接第632页）

相应的安全防护措施。上表展示了该系统网络安全防护体系的主要防护维度和相应安全要求。

通过部署信息安全防御体系，可以在一定程度上保障系统运行的安全可靠、用户身份的真实可信，防止恶意、非授权访问；保障用户数据的完整性、保密性，防范互联网用户访问外网应用服务器时可能发生的信息窃听、篡改，防范敏感信息的泄露。

3 结束语

限于数据来源、系统建设边界和周期等因素，目前本系统覆盖的数据范围还局限于华北电科院服务对象中的部分电力基础设施的短时期内数据，未来将通过人工导入、自动化识别等方式，扩大电力技术服务数据涵盖的地理范围和历史时期；同时，还将结合之前的系统实践经验，在国内电力技术服务行业进行推广，进一步提升电力技术服务工作的水平。

参考文献

[1] 罗军舟, 吴文甲, 杨明. 移动互联网: 终端、网络与服务[J]. 计算机学报, 2011(11): 2029-2051.

[2] 贾淑华. 浅谈移动互联网技术的发展趋势及热点业务[J]. 信息通信, 2014(2): 247-248.

[3] 马友忠, 孟小峰, 姜大昕. 移动应用集成: 框架、技术与挑战[J]. 计算机学报, 2013(7): 1375-1387.

[4] 许婧, 王晶, 高峰, 等. 电力设备状态检修技术研究综述[J]. 电网技术, 2000, 24(8): 48-52.

[5] 侯文英, 尹朝晖, 曾德强. 基于GPS/GPRS/GIS技术的动态车辆调度[J]. 物流技术, 2013, 32(4): 159-161.

[6] 国家电网公司. 信息化“SG186”工程安全防护总体方案[S]. 2008.

作者简介

徐小天（1985-），男，工程师，主要从事智能电网信息技术方面的工作。

（收稿日期：2015-12-10） **EA**

（编辑：鞠佳）