

文章编号: 1000-8241(2017)07-0861-06

基于北斗短报文的输油管道预警系统设计

焦智¹ 檀朝彬¹ 孙介涛² 孟凡琢¹ 梁星¹ 骆林依¹

1. 北华航天工业学院电子与控制工程学院; 2. 厦门大学航空航天学院

摘要: 为解决移动通信网络盲区长距离输油管道盗漏预警的问题, 利用北斗 FB3511 模块的短报文卫星通信功能, 设计了集单片机、DSP、北斗模块于一体的低功耗长距离输油管道预警系统。根据输油管道预警系统工程应用的要求与通信网络盲区无法使用移动网络链路进行数据传输的特点, 提出了实时预警、地理位置定位、分布式拓扑结构及低功耗的功能要求, 据此完成了整个系统的方案设计。预警系统硬件平台由信号采集与调理模块、单片机模块、DSP 模块、北斗短报文模块及供电模块组成, 详细介绍了整个系统的工作流程。现场应用试验结果表明, 本系统可以实现移动通信网络盲区长距离输油管道盗漏的实时预警, 定位精度、系统延时、平均功率等各项指标均满足系统的设计要求。该系统对于保障移动通信网络盲区长距离输油管道的运行安全具有重要的工程意义。(图 3, 参 20)

关键词: 管道预警; 移动通信网络盲区; 北斗; 短报文

中图分类号: TE832.2

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.07.019

网络出版时间: 2017-06-01 8:25:37

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1093.TE.20170601.0825.002.html>

Design of pre-warning system for oil pipeline based on Beidou short message

JIAO Zhi¹, TAN Zhaobin¹, SUN Jietao², MENG Fanzhuo¹, LIANG Xing¹, LUO Linyi¹

1. Department of Electronic & Control Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering;

2. School of Aerospace Engineering, Xiamen University

Abstract: To realize theft and leakage pre-warning on long-distance oil pipelines in the blind areas of mobile communication network, the function of Beidou FB3511 module (i.e., satellite short message communication) was used in this paper to design a long-distance oil pipeline pre-warning system with low power consumption which integrates SCM, DSP and Beidou module together. According to the requirements of engineering application on oil pipeline pre-warning system and the characteristics that mobile network link is not available for the data transmission in the blind areas of mobile communication network, the functional requirements of real-time pre-warning, geological location, distributed topology and low power consumption were put forward. And accordingly the program design of the whole system was completed. The hardware platform of pre-warning system is composed of signal acquisition & conditioning module, SCM module, DSP module, Beidou short message module and power supply module. The working process of the whole system was described in detail. It is shown from its field test that this system can provide pre-warning on theft and leakage of long-distance oil pipelines in the blind areas of mobile communication network, and its indicators satisfy the design requirements, e.g. locating precision, system delay and average power. This system is of great engineering significance to ensure the operation safety of long-distance oil pipelines in the blind areas of mobile communication network. (3 Figures, 20 References)

Key words: pipeline pre-warning, blind areas of mobile communication network, Beidou, short message

管道作为石油、天然气的主要输送设备, 每年承担着数亿吨油气资源的输运任务^[1]。目前, 大口径长距

离输油管道网络分布广泛, 一旦发生不法分子打孔盗油事件, 不仅会造成巨大的财产损失, 还会导致严重的

环境污染并存在爆炸隐患^[2-3]。当前输油管道预警技术主要分为振动波预警技术和分布式光纤系统预警技术2类^[4-6]。其原理为利用振动加速度传感器或光纤分布式传感器采集管道振动信号,预警系统对振动信号进行处理、识别、判断,预警信息通过移动通信网络(GPRS/3G/4G)传送给管道运行维护管理人员。但是,在没有覆盖移动通信网络的地区无法应用该系统。因此,需要设计一种实时、可靠、经济的非移动通信网络链路的长距离输油管道实时预警系统,对荒漠、森林、海洋等移动通信网络盲区中的长距离输油管道的运行情况实时监控。在管道遭到破坏时,能够第一时间将预警信息通知管道运行维护管理人员并及时处理,最大限度地减少管道泄漏造成的经济损失和生态破坏,提高长距离输油管道运行的安全性^[7-9]。

1 工程需求

综合输油管道预警系统工程应用的要求及移动通信网络盲区不能使用移动网络链路进行数据传输的特点,系统应满足如下要求。

(1)实时预警:长距离输油管道安全预警系统旨在尽可能减少石油泄漏造成的经济损失和环境破坏,故该系统应能实现输油管道盗漏前期的实时精准预警,系统延时小于5.0 s,预警准确率不低于90%。

(2)地理位置定位:输油管道预警系统安装在长距离输油管道上,当预警事件发生时,系统应能够向管道运行维护人员发送预警事件发生的地理位置信息,定

位精度为水平方向15.0 m、高程方向25.0 m。

(3)分布式拓扑结构:每个预警单元为一个独立的结构,具有预警功能。多个预警单元形成分布式拓扑结构,并组成预警系统,能够实现管道破坏事件的判断、定位及预警,并且当一个预警单元发生故障时,保证系统预警功能不受影响。

(4)系统低功耗:长距离输油管道网络分布地域广阔,管道安全预警系统不便于频繁更换电池,因此系统功耗要低,设计待机时间为30天,采用太阳能或风能供电以适应野外工作环境。

2 方案设计及试验

2.1 工作原理

当不法分子对管道实施破坏时会产生强烈的振动信号,这种信号会在破坏点以振动波的形式沿管道双向传播。位于破坏点正负两个方向的预警单元利用振动速度传感器实时采集管道振动信号,并对振动信号进行分析,对预警事件进行综合判断,依据预警单元中北斗模块提供的地理位置信息确定预警事件发生的位置,利用北斗短报文通信功能将预警事件的信息发送给管道运维人员。

2.2 系统组成

针对系统要求,设计了基于北斗短报文通信的长距离输油管道预警系统方案,系统硬件平台由信号采集与调理模块、单片机模块、DSP模块、北斗短报文模块及供电模块组成(图1)。

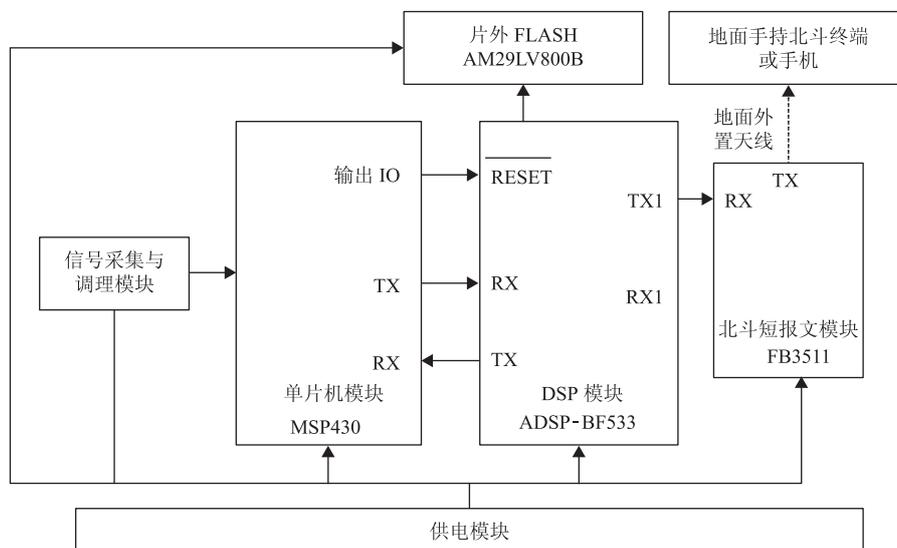


图1 基于北斗短报文的输油管道预警系统硬件组成示意图

2.2.1 信号采集与调理模块

信号采集与调理模块实现输油管道振动信号的采集、滤波及 A/D 转换。根据所收集试验数据可知,输油管道遭到破坏时的钻孔、敲击信号为 1 kHz 以下的低频信号,选用 OD9200 系列振动速度传感器实现管道振动信号的采集,其灵敏度为 $20 \text{ mV}/(\text{mm/s})^{[10]}$ 。以运放 OP07AH 为主要芯片,与电阻电容器件构成 RC 低通滤波放大电路,其截止频率设计为 1 kHz,对信号进行调理。为了得到更高的电压增益从而准确分析、判别微小信号,信号调理部分的放大电路选用 PGA202 芯片,利用其程控增益实时补偿振动信号沿管道的衰减。

2.2.2 单片机模块

为了满足系统实时采集数据和低功耗的要求,单片机模块选用具有 40 ns 指令周期的 16 位超低功耗 MSP430 处理器作为信号采集初始模块,负责实时接收前端信号采集与调理模块传送过来的数据,并根据设定阈值对采集的信号进行是否疑似预警信号的判别。

2.2.3 DSP 模块

为实现输油管道泄漏的精准预警,DSP 模块采用小波变换算法实现预警信号的检测和识别^[11-13]。系统选用 ADI 公司高性能、低功耗的 DSP 芯片 ADSP-

BF533 作为核心处理器,主频为 600 MHz,单片处理能力为 1.2 GMIPS,能够对敲击、钻孔、机械磨削等产生的不同频率振动信号进行分析,并保证预警信号识别过程中复杂小波变换算法运算的实时性要求^[14]。ADSP-BF533 采用片外 FLASH 引导方式,程序代码烧录在 FLASH 芯片 AM29LV800B 中。DSP 的动态电源管理功能可以极大地降低其功耗,正常情况下(无预警信号),处于深度休眠状态的 DSP 只有内部时钟 RTC 模块工作,功耗仅为 50 mW,可以很好地满足输油管道预警系统低功耗的设计要求。

2.2.4 北斗短报文模块

北斗短报文模块基于我国自主研发的北斗卫星导航系统实现管道预警信息的传送,尤其针对移动通信网络盲区,北斗短报文模块能实时地将预警信息成功发送至手机或地面北斗手持终端。系统选用带短报文功能的北斗 FB3511 型射频基带模块实现定位与短报文发送,该模块支持北斗卫星无线电测定业务(Radio Determination Satellite Service, RDSS)和卫星无线电导航业务(Radio Navigation Satellite System, RNSS),频带上兼容北斗二代系统 B1 频段和 GPS L1 频段,可以实现实时高精度定位,并且模块内置功率放大模块(Power Amplifier, PA),将 L 频段信号放大并发送至外置无源天线(图 2)。

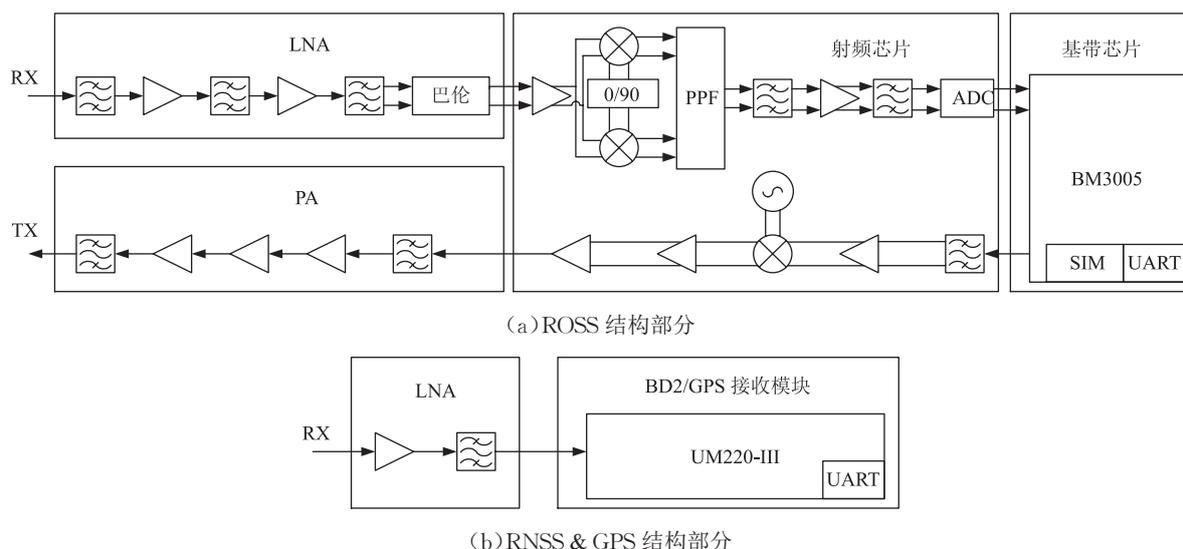


图 2 北斗 FB3511 模块功能示意图

为发送预警信息,将外置天线置于地上。FB3511 通过 UART 接口与 DSP 的 GPIO 模拟 UART 口实现物理连接,负责将 DSP 运行的正常信息、管道预警信息及预警地点经纬度坐标,发送给地面管道维护管

理人员,从而满足移动盲区管道的预警需求。FB3511 支持字母、数字、汉字及混合类型数据发送/接收,其要求的短报文发送格式为“@ 北斗号码 @ 信息正文或 @ 手机号码 @ 信息正文”^[15-17]。

2.2.5 供电模块

预警系统供电采用“太阳能光伏发电+蓄电池”方式,可以极大地减轻日常的电源管理与维护工作。蓄电池选用5 V-20 000 mA·h大容量锂电池。通过系统低功耗设计,正常无预警时DSP处于深度休眠状态,北斗模块关闭,只有前端的低功耗单片机处理器MSP430负责管道振动信号的实时采集和简单的阈值判别,实测设计功耗低于100 mW,系统一次充电待机时间不少于30天^[18-20]。

2.3 工作流程

根据所设计预警系统的工作流程(图3),系统启动后,DSP进入深度休眠状态,MSP430处理器实时接收采集数据,并根据设定阈值对采集信号进行是否疑似预警信号的判别。若判为否,MSP430继续接收采集数据;若判为疑似预警信号,单片机模块向DSP输出唤醒信号,并将接收到的数据通过UART口传送给DSP,由DSP调用基于小波变换的预警信号识别算法进行处理。若DSP处理结果为假,则DSP重新转入深度休眠状态,等待RTC中断或者单片机模块的下次唤醒;若DSP处理结果为真,则模拟UART口控制北斗模块发送预警及定位信息,然后转入深度休眠的低功耗模式。正常情况下,DSP处于深度休眠状态,RTC中断周期设为1天,当RTC计数满1天后DSP

转入激活状态并通过UART口向北斗模块发送一次短报文信息(“管线运行正常”),然后DSP再次进入深度休眠状态,完成整个工作流程。

2.4 样机试验

基于北斗短报文的输油管道预警系统样机在中纬度华北地区某模拟场地进行了试验测试,其中试验管道直径为813 mm,埋深为1 m,现场环境温度为18.3℃,无冻土层。人为模拟对管道的机械破坏操作10次,对系统测试结果进行统计可知:系统识别准确率为90%;地理位置定位误差为水平方向10.0 m、高程方向20.0 m以内;系统延时为2.2 s;系统平均功率为95 mW;以5 V-20 000 mA·h锂电池为电源,系统一次充电待机时间为40天。预警系统各项技术指标达到了设计要求。

3 结束语

针对移动通信网络盲区长距离输油管道盗漏预警问题,利用北斗导航定位系统短报文功能,设计开发了“单片机+DSP+北斗模块”架构的长距离输油管道盗漏预警系统。样机试验应用结果表明,该系统可以实现移动通信网络盲区长距离输油管道盗漏的实时预警,且具有实时性高、运行稳定可靠、功耗低、待机时间长的特点。该系统可对荒漠、森林、海洋等移动通信网络盲区长距离输油管道的运行情况实时监控,在管道遭到破坏时,第一时间将预警信息通知管道运行维护管理人员并及时处理,最大限度地减少管道泄漏造成的经济损失和生态破坏,提高长距离输油管道运行的安全性,对于保障移动通信网络盲区长距离输油管道运行安全具有重要意义。

参考文献:

[1] 陈朋超.长输管道安全预警系统若干关键技术研究[D].天津:天津大学,2009:12-14.
CHEN P C. Study on several key techniques of the long-distance pipeline security pre-warning system[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009: 12-14.
[2] 王维斌.油气管道的在线检测与直接评估技术[J].石油工业技术监督,2005,21(5):45-46.

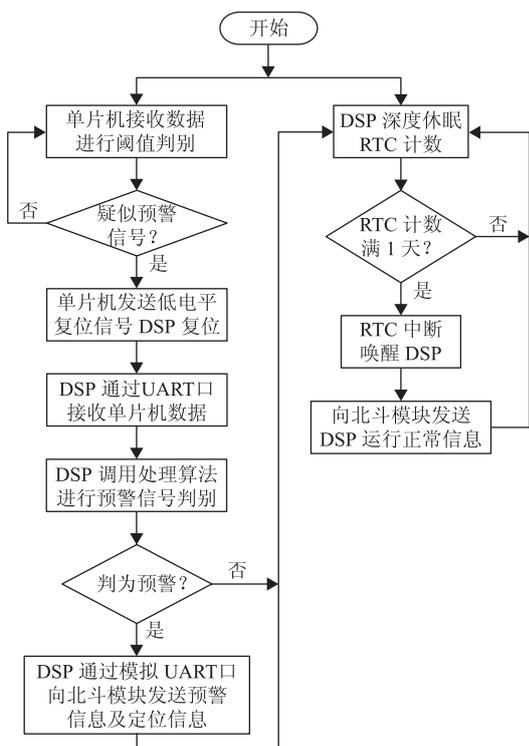


图3 基于北斗短报文的输油管道预警系统工作流程图

- WANG W B. Online detection and direct evaluation technique on oil and gas pipeline[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2005, 21(5): 45-46.
- [3] 李玉星, 彭红伟. 油气管道泄漏检测方案对比研究[C]. 乌鲁木齐: 新疆油田第四届油气储运技术与管理研讨会, 2008: 21.
- LI Y X, PENG H W. Comparison of oil and gas pipeline leak detection schemes[C]. Urumqi: The 4th Oil and Gas Storage and Transportation Technology and Management Seminar of Xinjiang Oil Field, 2008: 21.
- [4] 葛道明. 分布式光纤油气长输管道泄漏检测及预警技术研究[J]. 硅谷, 2014(4): 39-41.
- GE D M. Research on distributed optical fiber oil and gas pipeline leakage detection and pre-warning technology[J]. Silicon Valley, 2014(4): 39-41.
- [5] TAN D J, TIAN X Z, SUN W, et al. An oil & gas pipeline pre-warning system based on Φ -OTDR[C]. Santander: 23rd International Conference on Optical Fibre Sensors, 2014: 1-2.
- [6] 石军, 李国洪, 焦智. 一种基于双CPU的管道安全监测系统设计[C]. 杭州: 中国高校通信类院系学术研讨会, 2009: 175-176.
- SHI J, LI G H, JIAO Z. A pipeline security early warning system designed based on dual-CPU[C]. Hangzhou: Academic Conference on Communication Classes in Chinese Universities and Colleges, 2009: 175-176.
- [7] 智彦利, 许振清. 公用燃气管道在线外检测技术现状[J]. 石油工业技术监督, 2006, 22(4): 23-24.
- ZHI Y L, XU Z Q. Current status of online external detection technology for public gas pipeline[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2006, 22(4): 23-24.
- [8] 孙赢. 基于无线传感网络的输油管道泄露监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(11): 2932-2933, 2958.
- SUN Y. Based on wireless sensor network leakage detection system pipeline design[J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(11): 2932-2933, 2958.
- [9] 林猛, 牛迎战, 郑春凡. 管道安全预警系统的应用[J]. 化工设备与管道, 2014, 51(3): 70-72.
- LIN M, NIU Y Z, ZHENG C F. Application of piping safety pre-alarm system[J]. Process Equipment & Piping, 2014, 51(3): 70-72.
- [10] 高立慧, 赵振刚, 张长胜, 等. 压电式加速度传感器振动信号采集系统[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(10): 100-102.
- GAO L H, ZHAO Z G, ZHANG C S, et al. Research on vibration signal acquisition system based on piezoelectric acceleration sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2016, 35(10): 100-102.
- [11] 李迎春, 付兴建, 刘培培, 等. 管道盗油事件监测与提升小波熵分析[J]. 机床与液压, 2016, 44(2): 147-150.
- LI Y C, FU X J, LIU P P, et al. Monitoring and lifting wavelet entropy analysis for stealing oil events of pipeline[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44(2): 147-150.
- [12] HUANG B, SUN P J, WANG X M. The denoising method based on wavelet transform in signal dynamic detection[J]. Advanced Materials Research, 2014, 889-890: 766-769.
- [13] THIRUVENGADAM S J, CHINNADURAI P, KUMAR M T, et al. Signal detection algorithm using discrete wavelet transform and radon transform[J]. IETE Journal of Research, 2016, 50(5): 353-360.
- [14] 焦智, 张增良, 李国洪. ADSP-BF533 在低耗高速实时系统中的应用[J]. 微计算机信息, 2009(23): 125-126.
- JIAO Z, ZHANG Z L, LI G H. Application of ADSP-BF533 in low power consumption and high speed real-time signal processing system[J]. Microcomputer Information, 2009(23): 125-126.
- [15] 凌海军, 蒋巍, 季卫松. 基于北斗短报文实现位置共享的方法[J]. 农业网络信息, 2015(9): 78-79.
- LING H J, JIANG W, JI W S. Method for location sharing based on Beidou short message[J]. Agriculture Network Information, 2015(9): 78-79.
- [16] 孙方霞. 基于北斗短报文通信的落水报警终端设计[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2015, 14(4): 12-15, 28.
- SUN F X. Design of portable Beidou alarm terminal for maritime[J]. Journal of Guangdong Industry Technical College, 2015, 14(4): 12-15, 28.
- [17] 谷军霞, 王春芳, 宋之光. 北斗短报文通信信道性能测试与统计分析[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 458-463.
- GU J X, WANG C F, SONG Z G. Channel performance testing and analysis of Beidou short message communication[J]. Meteorological Science and Technology, 2015, 43(3): 458-463.
- [18] 张元良, 高艳, 王金龙. 基于太阳能的野外检测系统低功耗设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(1): 107-110.
- ZHANG Y L, GAO Y, WANG J L. Low power design of field measurement system based on solar power[J]. Instrument

Technique and Sensor, 2014(1): 107-110.

[19] 刘海营,管萍. 双馈风力发电系统优化控制[J]. 电气技术, 2016, 17(3): 13-17.

LIU H Y, GUAN P. Optimal control of doubly fed induction generator systems[J]. Electrical Engineering, 2016, 17(3): 13-17.

[20] 王秀敏,姜利亨,熊日辉,等. 基于太阳能光伏发电系统的直流电源分析与设计[J]. 浙江大学学报(理学版), 2016, 43(1): 103-107, 114.

WANG X M, JIANG L T, XIONG R H, et al. Analysis and design of the DC power supply based on solar photovoltaic power systems[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2016, 43(1): 103-107, 114.

(收稿日期:2016-10-19; 修回日期:2017-05-31; 编辑:王雪莉)

基金项目: 河北省科技支撑计划项目“基于北斗系统定位与授时的分布式地震勘探系统研究”, 15210333; 河北省科技支撑计划项目“基于北斗系统和高分遥感数据的县域集成信息服务平台关键技术研究”, 16210310D。

作者简介: 焦智,男,1974年生,副教授,2006年硕士毕业于北京工业大学信号与信息处理专业,现主要从事实时信号处理、电路与系统方面的教学与研究工作。地址:河北省廊坊市爱民东道133号北华航天工业学院电控学院,065000。电话:13731628778, Email: ad21533@126.com

通讯作者: 檀朝彬,男,1977年生,副教授,2006年博士毕业于中国人民解放军军械工程学院武器系统与运用工程专业,现主要从事电子与通信工程方向的教学与研究工作。地址:河北省廊坊市爱民东道133号北华航天工业学院电控学院,065000。电话:13582771945, Email: ylmin76@sina.com

·期刊动态·

欢迎关注《油气储运》官方公众号——油气储运科技界

为紧跟新媒体时代的发展潮流,《油气储运》杂志建立了微信公众号——油气储运科技界,定期发布《油气储运》最新论文成果和行业发展资讯,致力于打造最全面的油气储运知识与服务平台,欢迎您的关注。

该微信平台由3个栏目组成:互动服务、资讯分享、个人中心。主要功能包括:①期刊论文检索和阅读,能够通过篇名、关键词、作者等要素在线检索创刊以来所有论文并获取全文;②查询投稿状态,专家在线审稿;③了解油气储运行业知名专家学者信息,并为广大读者择校择师、学习交流、项目合作搭建平台;④汇聚专题热点,脱离晦涩难懂的论文,让您秒变专业达人。

《油气储运》杂志社向广大油气储运行业专家发出邀请,诚挚邀请您加入“行业大咖”专家智库!愿我们借助新媒体的力量,携手促进油气储运行业学术的交流与发展!

