

典型石油勘探仪器的电路化实现与地质勘探应用研究

蓝永宗, 谢培, 诸梦青

杭州丰禾石油科技有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/EPTSM.2026020009

摘 要 : 石油作为影响国计民生的战略能源, 其勘探的效率与准确度不仅影响能源开发的经济效益, 还与国家能源战略安全紧密相连。对于典型石油勘探仪器而言, 电路化集成是提升勘探技术主要路径之一, 通过将传感采集、信号调理、数据传输等功能整合进电路系统, 能在一定程度上提升仪器的稳定性、传感灵敏度以及智能调控水平。基于此, 本文以典型石油勘探仪器为研究对象, 阐述概念并介绍主流勘探仪器类型, 分析各类仪器对应的电路化架构特点, 随后对于电路化实现过程中的技术难点与重点内容进行深入分析; 最后探讨在实际地质勘探场景中的具体应用路径, 以期为实施复杂地质条件下的石油勘探瓶颈提供有益参考。

关 键 词 : 典型石油勘探仪器; 电路化; 地质勘探; 技术

Research on the Circuitization of Typical Petroleum Exploration Instruments and Its Applications in Geological Exploration

Lan Yongzong, Xie Pei, Zhu Mengqing

Hangzhou Fenghe Petroleum Technology Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : As a strategic energy resource that affects national economy and daily life, the efficiency and accuracy of oil exploration not only impact the economic benefits of energy development but are also closely linked to national energy strategic security. For typical oil exploration instruments, circuit-based integration is one of the primary paths to enhance exploration technology. By integrating sensing acquisition, signal conditioning, data transmission, and other functions into a circuit system, this approach can improve the instrument's stability, sensing sensitivity, and intelligent control capabilities to some extent. Based on this, this paper takes typical oil exploration instruments as the research subject, elaborating on the concepts and introducing the main types of exploration instruments, analyzing the characteristics of the circuit-based architectures associated with each type of instrument. Subsequently, it provides an in-depth analysis of the technical challenges and key aspects of the circuit-based implementation process. Finally, it explores the specific application pathways in actual geological exploration scenarios, aiming to offer valuable insights for addressing the bottlenecks in oil exploration under complex geological conditions.

Keywords : typical petroleum exploration instruments; circuitry; geological exploration; technology

引言

随着全球能源需求趋势的持续增长, 石油勘探也加快了向深层地层以及复杂构造区域勘探的步伐, 由于传统的勘探仪器大多存在精度不够、响应慢、操作复杂等问题, 无法适应目前勘探工作需求。而电路化技术的快速发展为勘探设备的升级更新提供了有利条件, 利用电子电路的集成化和模块化设计, 能够有效实时观察勘探信号, 在进行准确分析后可以高效回传数据, 有效打破了传统技术的限制。推进典型石油勘探仪器的电路化改造, 是促使仪器走向智能化的关键路径, 还能有效提升地质勘探数据的可靠性, 优化勘探的经济效益。目前国内外相关研究大多集中在优化单一仪器的性能上, 对于电路化实现的相关研究以及在不同应用场景下的相关探索都需要积极完善。本研究重点探究典型石油勘探仪器电路化的实现原理, 结合实际的勘探需求提出几点具体的实施路径。

一、核心概念界定

石油勘探仪器的电路化实现,简单来说就是依靠电子电路技术将石油勘探过程中需要的信号采集、转换、处理、存储还有传输等功能,通过硬件电路集成搭配软件算法适配的方式进行整合,最终让仪器实现功能模块化、性能稳定化、操作智能化的技术过程。其中的核心思路就是将电路系统当成基础支撑,改变传统的机械或者模拟信号处理方式,通过数字电路和模拟电路的搭配设计,能够让仪器更好地捕捉地质异常信号,也能在一定程度上提高数据处理的效率。而地质勘探应用主要是把经过电路化改造的石油勘探仪器,用于油气储层探测、地质构造分析、资源储量评估等实际勘探场景中,根据仪器输出反馈的精准数据来支撑勘探的策略^[1]。这两者之间的存在着明确的关联:电路化实现是提升仪器性能的基础保障,地质勘探应用则是检验电路化效果的主要场景,通过两者间的配合能够推动石油勘探技术进行更新升级。要搭建这样的技术体系需要整合电子信息工程、地质勘探工程、控制工程等相关学科的理论知识,需要不同领域技术进行交叉融合。

二、典型石油勘探仪器及电路化架构

(一) 地震勘探仪电路化架构

地震勘探仪主要是用来采集地震波信号,进而分析地下地质构造的主要仪器,其电路化实现的核心就是做好信号采集和同步处理这两项任务。电路系统主要包括传感器接口电路、前置放大电路、滤波电路、A/D转换电路和数据传输电路这几个部分。其中传感器接口电路主要采用差分输入的设计思路,能够让地震检波器输出的信号及时稳定的接入,还能在一定程度上减少环境噪声产生的干扰;前置放大电路使用的是低噪声运算放大器,能够将微弱的地震信号适当放大到合适的幅度,其放大的倍数还能通过可编程电阻来进行动态调节;滤波电路使用的是二阶巴特沃斯低通滤波结构设计,能够过滤高频干扰信号,只留下有效的地震波频段;A/D转换电路使用的是16位的高速转换器,能够保证信号转换的准确以及实效性;数据传输电路则使用的是以太网接口技术,能够实现采集数据的远距离传输。

(二) 测井仪电路化架构

测井仪是井下地质参数测量的关键设备之一,它的电路化改造首先要能够适应井下高温、高压、强辐射等恶劣的环境。整个电路系统采用模块化的设计思路,主要包含井下探测电路、信号调理电路、数据存储电路和遥传电路等这几个主要部分。其中井下探测电路整合了电阻率、声波、伽马等多种传感器模块,通过专用的驱动电路,能够有效实现多个参数进行同步采集;信号调理电路使用了屏蔽式设计,通过搭配自适应滤波技术能有效压制井下的电磁干扰和温度漂移的问题,能够保证采集信号的稳定性;数据存储电路使用的是抗辐射闪存芯片,不仅能保存下大量的测井数据,还支持数据快速读写;遥传电路则使用的电缆载波通信技术,能够实现井下数据和地面控制系统之间进行双向传输,其传输速率能达到1Mbps。

(三) 电磁勘探仪电路化架构

电磁勘探仪通过测量地下介质的电磁响应特征,判断油气储层分布,其电路化实现重点解决微弱电磁信号的检测问题。电磁勘探仪的电路系统主要分成发射电路和接收电路两部分,其中发射电路主要包括信号发生器、功率放大电路以及发射线圈驱动电路;信号发生器能够产生多种频率的正弦波信号,功率放大电路使用乙类互补对称功率放大结构,能够用来提升信号的输出功率,这样能有效满足不同探测深度的需求。接收电路则主要包含接收线圈接口电路、前置小信号放大电路、锁相放大电路以及数据处理电路;接收线圈接口电路使用高阻抗设计,能够有效增强对微弱电磁感应信号的捕获能力;前置小信号放大电路使用的是低噪声且高输入阻抗的运算放大器;锁相放大电路还能够有效压制背景噪声,将和发射信号同频率的有用信号进行提取,以此提高信号的信噪比。

(四) 声波测井仪电路化架构

声波测井仪通过分析声波在地下岩石中的传播速度与衰减特性,判断岩石孔隙度、渗透率等参数,其电路化实现以声波信号的精准收发为核心。电路系统包括声波发射电路、声波接收电路、信号处理电路及时序控制电路。其中声波发射电路主要使用的是高压脉冲驱动电路,通过控制压电换器能够产生特定频率的声波信号,发射功率还能够根据探测的需求进行调节;声波接收电路则结合使用了差分放大和滤波的设计,能够有效压制声波在传播过程中所产生的干扰信号,进而提升接收信号的精确度;信号处理电路通过使用峰值检测、时间测量等模块准确算出声波的传播时间;时序控制电路使用FPGA芯片来实现发射和接收的同步控制,能够有效保证测量的精度。

三、典型石油勘探仪器电路化实现的关键技术

(一) 低噪声信号采集技术

低噪声信号采集技术,是石油勘探仪器电路化改造里的主要技术之一,仪器能否检测到微弱的地质信号,在很大程度上就靠它。在进行电路设计的过程中,会有限选择使用低噪声的元器件,比如低噪声运算放大器、高精度电阻电容等,能够有效减少元器件本身带来的噪声干扰;还能使用差分输入的电路结构,有效进行压制共模干扰,进而让信号采集更加稳定;另外还会采用屏蔽技术,给电路模块进行电磁屏蔽设计,以此降低外部电磁环境对信号采集产生的影响。与此同时,还能够优化软件的算法,运用自适应滤波、小波去噪等相关方法,能够对采集到的信号进行后期降噪处理,能够进一步提升信号的质量。

(二) 高可靠性电路集成技术

石油勘探仪器主要工作在高温、高压、强振动、强辐射的恶劣环境中,要保障仪器能够稳定运行,运用高可靠性的电路集成技术是非常重要的^[2]。在进行电路集成设计的过程中,主要采用模块化的设计思路,将信号采集、处理、传输等功能整理为独立的模块,能够让后续排查故障、维护工作更加方便;元器件的选择上优先考虑工业级或者军工级的,能够让电路系统更好的适应恶劣环境;还会做冗余设计,为关键的电路模块进行备份,后续

就算某个单一的模块出故障，仪器也能够进行正常的工作；同时对电路的布局和布线进行优化，减少模块之间产生的信号干扰，有效提升电路的电磁兼容性。除此之外，还可以通过高低温循环、振动冲击、电磁辐射等环境进行试验，对电路系统做可靠性的验证，及时发现并及时解决电路设计过程中的薄弱环节，以此确保经过电路化改造的仪器能够在复杂的勘探环境中进行长期稳定的运行。

（三）数据同步传输技术

数据同步传输技术对于勘探仪器电路化实现也很重要，是实现多通道、多参数勘探数据精准采集和整合的关键支撑。在进行电路化改造的过程中，会使用到时钟同步技术，比如 GPS 同步、北斗同步，或者是高精度的晶振同步，这样能够有效保证多个探测模块的采集时钟保持相同，避免在进行数据采集时出现时间偏差；还会使用高速的数据传输接口，比如以太网、USB3.0、光纤等，能够有效提升数据传输的速度，以此满足海量勘探数据实时传输的需求；同时使用数据校验和纠错技术，比如 CRC 校验、汉明码纠错等技术，能够保证数据在传输的过程中完整，有效减少数据丢失或者数据出错的情况。除此之外还会设计合理的传输协议，优化数据传输的时序控制，有效实现采集数据和地面控制系统之间进行高效、准确的交互，为后续的实时数据处理以及勘探决策提供及时的数据支持。

四、典型石油勘探仪器电路化的地质勘探应用路径

（一）深层油气储层探测应用路径

由于深层油气储层埋藏深、地质构造复杂，而且岩石致密性较高，这对勘探仪器的精度和探测深度都有着更高的要求。将经过电路化改造的石油勘探仪器应用在深层油气储层探测上，可以按照已下这几个思路来进行推进：首先，优先挑选使用经过电路化升级的地震勘探仪以及电磁勘探仪，组建多源联合的探测系统。其中，地震勘探仪凭借优化后的电路化架构，能够有效提升地震波信号的采集精度、穿透深度，还能有效捕捉到深层地质构造的反射信号；电磁勘探仪主要是依靠低噪声电路设计，进而增强对深层介质电磁响应信号的检测能力，能够辅助判断储层里有没有油气存在。其次，可以利用电路化仪器的同步传输功能，实现地震信号与电磁信号进行同步采集与整合，再通过数据融合的算法分析这两种信号之间的关联，进而提高对深层地质构造解释的准确性。最后，可以结合测井仪的电路化检测模块，对钻井过程中的井下地质参数进行实时监测，将测井数据和地面探测数据进行对比验证，能够准确的判断出深层油气储层的位置和边界。

（二）复杂断块油气藏勘探应用路径

复杂断块油气藏的储层分布比较零散，而且岩性变化较大，

这为勘探工作带来了一定的挑战。将电路化石油勘探仪器应用在这类油气藏的勘探上，可以根据以下思路进行：一是用电路化的声波测井仪以及电阻率测井仪进行井下探测。其中，声波测井仪主要依靠电路化实现的高精度时间测量功能，能够准确的识别出断块界面的声波反射特征；电阻率测井仪则依靠高灵敏度的电路设计，准确的检测出不同断块岩层间的电阻率差异，能够为判断断块边界以及储层分布提供有效的数据支持^[3]。二是利用电路化地震勘探仪的多通道采集功能，对于勘探区域进行高密度的地震勘探，依靠电路系统能够快速处理信号的能力，进而生成高精度的地震剖面，对复杂断块的空间分布形态进行清晰的呈现。三是搭建基于电路化仪器的实时数据监测平台，将勘探过程中所产生的各类数据，实时传输到后台的处理中心，再通过大数据分析以及人工智能算法，针对复杂断块油气藏的储量和及开采可行性进行综合评估，以此为勘探部署和开采方案的制定提供科学合理的依据。

（三）海上石油勘探应用路径

海上石油勘探要长期面对海洋环境复杂、勘探设备安装维护繁琐以及信号干扰严重等问题，应用电路化石油勘探仪器能够有效提高海上勘探的效率、精度。具体为以下几点思路：首先要针对海上环境的主要特点，对电路化勘探仪器进行防水、防腐蚀、抗盐雾等优化设计，要选用能够耐受海洋环境的元器件以及封装材料，这样能够确保仪器在海上恶劣的环境中进行稳定的运行。其次可以用经过电路化改造的海洋地震勘探仪以及海洋电磁勘探仪，通过海底电缆或者海底节点的方式布置相关的探测设备，依靠电路系统的远距离同步传输技术，实现对海上油气储层进行大范围、高精度的探测。同时可以利用电路化仪器的低功耗设计，延长设备的续航时间，减少海上设备维护的次数以及成本。最后，可以通过搭建海上勘探数据一体化处理平台，将电路化仪器采集到的地震、电磁、测井等数据进行整合处理，再结合海洋地质的背景资料，精准判断出海上油气储层的位置和规模。

五、结束语

典型石油勘探仪器的电路化实现是石油勘探技术发展的主要方向，依靠电子电路技术与勘探技术的有效结合，在很大程度上提高了仪器的精度、稳定性以及智能化程度，为地质勘探工作提供了有力的技术支撑。随着电子信息技术的不断发展，石油勘探仪器的电路化实现还会向微型化、集成化、智能化的方向进行发展，后续的相关研究可以重点关注新型电路材料以及算法的融合应用方面，能够进一步优化电路系统的性能，还能扩大其在更复杂勘探场景中的应用范围，进而为石油勘探的高质量发展提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 陈广成. 石油地质勘探技术的创新与发展 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 135-136.
[2] 胡亮, 周阿明, 王康. 关于石油地质勘探的技术发展研究 [J]. 科学大众, 2021, 000(004): P.138-139.
[3] 耿战峰, 张化庆, 刘金平, 等. 石油测试仪器的电流检测系统 [J]. 福建化工, 2021(5): 213-214.