

可控源电磁发射系统运行参数 实时监测技术

王 诏¹, 张雪峰², 孙记红¹, 魏合龙¹, 安聪荣³, 戴勤奋¹, 苏国辉¹

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 中国兵器工业计算机应用技术研究所, 北京 10089; 3 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580)

摘 要:海洋可控源电磁(MCSEM)是应用地球物理方法探测海底油气资源的新方法,由于海上工作环境的特殊性,监测甲板温度、湿度以及船上装备的相关参数对安全、有效生产意义重大。基于对 MCSEM 生产工作和甲板工作模式的研究,设计了一套适用于 MCSEM 工作的甲板监控系统开发方法。主要是基于 .NET Framework 类库,应用 C# 和 C++ 语言进行了监控软件的研发,设计了软件的网络结构、数据存储和用户界面,综合运用了 Socket 网络编程技术、多线程技术、ADO.NET 数据库技术以及 GDI+ 和 OSG 结合的显示技术,较好地实现了海洋可控源电磁勘探生产过程的监控。

关键词:海洋可控源电磁勘探;参数监控;Socket 网络编程

中图分类号:TP277.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.03010

目前,在几种海洋地球物理勘探方法中,海洋可控源电磁法(MCSEM)以其勘探范围广、成本相对低,对海底油气具有较强的勘探能力而受到广大研究人员的重视,被称为“自 3D 反射地震出现至今几十年来最为重要的地球物理勘探技术”^[1]。海洋可控源电磁勘探的能量源是大功率电磁发射机,数据采集由投放到海底的采集站完成。结合发射源电流波形与采集站获取的电磁数据,对其进行处理和分析能够有效识别高阻目标体^[2]。

可控源电磁信号发射系统的运行参数对勘探质量的影响显著^[23],在可控源电磁勘探施工过程中必须对其参数进行实时监测。然而,电磁发射机的工作环境在海平面以下数十米到数千米范围

内^[4],可视性和可控性较差,要实现对其运行参数的实时监测必须借助计算机技术进行自动分析与记录。而截至目前,我国只有吉林大学设计完成了一套用于监控 MCSEM 发射系统运行参数的软件,在 MCSEM 运行参数监控方面,我国尚处于起步阶段^[5,6]。

本文基于 TCP/IP 通信协议,设计并实现了 Windows 操作系统下海洋可控源电磁发射系统运行参数监控软件。软件采用 C/S 结构,在服务器端集成了数据管理与数据检测功能,客户端仅负责数据的收集与传输,这一设计既降低了系统的通讯开销,又充分利用了现有的硬件设备,对软件进行的测试表明,软件对可控源勘探发射系统运行参数监控效果良好,满足预期设计。

1 可控源电磁发射系统及运行参数

海洋可控源电磁发射系统是一个多种设备协同工作的复杂系统,主要由甲板供电电源,拖曳绞

收稿日期:2018-01-08

基金项目:国家自然科学基金面上项目(47471322);中国地质调查局二级项目(DD20160157)

作者简介:王 诏(1991—),女,硕士,主要从事数字油田关键技术方面的工作。E-mail:hdswz01@163.com

车,发射机拖体和信号源发射偶极子等硬件设备和相应的控制软件构成。不同设备的运行参数由表 1 给出。

表 1 不同设备监测参数

Table 1 Monitoring parameters for different equipment

设备名称	监测参数	刷新间隔/s
---	系统时间	1
绞车	排绳张力	3
	牵引张力	3
	放绳速度	3
	放绳长度	3
	放出绳长	3
发射机拖体	入水深度	3
	离底高度	3
	X、Y、Z 轴倾角	3
	拖体空间坐标	1
电磁发射机	输入电流、电压	60
	输出电流、电压	60
	输出频率	3
	变压器温度	3
	二极管温度	3
	小舱温度	3

由表 1 可以看出,海洋可控源电磁发射系统的运行参数具有种类繁多,刷新频率不一致的特点,而电磁发射机的波形数据以打包文件的形式每分钟发送一次,这给数据通信与管理带来了很大的挑战:波形文件发送过程中对通信资源的占用容易造成数据丢失与软件系统的等待;波形文件与通信数据流的传输模式和管理方式也完全不同。上述两点是监控软件必须解决的两个关键问题,也是软件的主要技术要点。对发射系统进行监控应满足以下技术指标:①实时监测数据容量: >200 个信息点;②实时监测数据扫描周期:2~10 s 可调;③实时画面调用响应时间:<5 s;④平均无故障时间:>20 000 h。

2 软件系统架构

软件采用 C/S 结构,将数据处理与采集分离开来,整个监控软件由数据传输网络,数据管理模块和数据展示模块构成,本章对 3 个模块的结构进行介绍。

2.1 数据传输网络

监控软件处于环境潮湿、电磁干扰强烈、震动

频繁的工作环境中,而且监测数据项众多,对实时性要求较高。因此,高效稳定的数据传输网络对监控的有效性和持续性至关重要。

数据传输网络基于 TCP/IP 协议,并采用高可靠性的以太网技术,网络拓扑结构设计为星型结构^[4]:服务器对应于网络的中心节点,由甲板工作站实现,负责信息的展示、处理和存储;客户端对应于基本网络节点,由发射机主控机、绞车主控机和定位系统主控机实现,负责不同设备运行参数的采集和发送。任意一台客户端主机都与服务器直接相连,任意一台客户端之间通信都需要通过服务器进行。该结构具有管理方便、容易扩展、故障诊断和隔离方便的优点。

2.2 数据管理模块

数据管理模块负责勘探工区规划数据和电磁发射系统运行参数的存储和管理,管理对象包括:勘探测区、测线、测点平面规划文件,勘探工区多波束扫描文件,以及表 1 中列出的所有数据项。

数据管理由完全关系型数据库管理系统完成,该方式具有查询方便、数据冗余少、更新和维护方便等优点。本文采用的数据库管理系统为 SQL Server 2008,这是中大型数据库普遍采用的管理系统,能够很好地满足数据安全性要求。数据库结构如图 1 所示。

2.3 数据展示模块

监控软件显示的数据分为数值、波形和三维空间数据 3 个类型,高效合理地显示这些数据是数据展示模块的设计难点和工作重点。

监控软件过程中的实时通信量巨大,数据刷新频率变化范围较大,如发射机输出电流频率可达到 50~70 Hz,发射机拖体的空间位置刷新频率为 1 Hz,其余数值更新时间为 3 s。因此,对于不同刷新频率的数据,设计合理的显示策略显得尤为重要。笔者设计了静态显示和动态显示两种显示模式,静态模式用于显示刷新频率较低的数据,如绞车各项参数,发射机位置参数和水生环境参数等;动态模式用于显示刷新频率较高的数据,如发射机电流和电压真实波形文件。两种模式对应的监控参数如图 2 所示。



图 1 MCSEM 甲板监控数据库结构 UML 表示

Fig. 1 MCSEM deck monitoring database structure UML representation

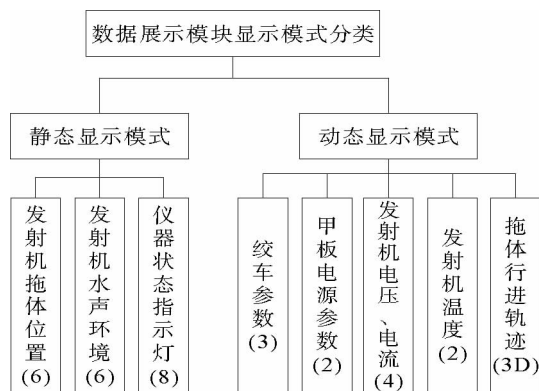


图 2 不同监控参数显示模式

(数字为该参数个数, 3D 表示三维展示)

Fig. 2 Different monitoring parameters display mode

(number represents the number of the parameters,

3D represents three dimensional display)

3 系统开发技术

从软件工程的角度来看,软件编码是实现软件功能,使软件从概念逐步成为实际产品^[8]。软件编码选用 C# 语言,利用 .NET Framework 4.0

提供的类库完成操作界面功能的编码,三维场景的展示利用开源工具包 OSG 提供的接口,选用 C++ 语言完成编码,两种开发语言之间通过 dll 交互调用。

3.1 Socket 网络编程和多线程技术

通信协议定义了不同进程通信遵循的基本规则,包括数据编码方式、数据参数顺序以及校验项。笔者采用 UTF8 编码方式,网络传输的一条有效数据流以“msg”字符串作为开始标志,以特殊字符“#”作为数据项分隔符,数据项包括发射机输入输出电流、变压器温度等共 24 项,结束标志为“end”字符串。由于 UTF8 编码方式是一种变长编码,数据流的长度随数据项发生改变,因此为了保证数据流的有效传输,在每条数据流前附加数据流字符串的长度作为校验,客户端和服务端之间发送的消息字符串实际格式如下:

[length = 数据流有效长度] + 开始标志 + 数据标示码 + 数据项 1 + 分隔符 + 数据项 2 + 分隔符 + ... + 结束标志。

在 TCP/IP 四层参考模型中,Socket 是对应于应用层和传输层之间的一个抽象层,它将 TCP/IP 协议复杂的层间操作封装为几个简单的编程接口,大大减少了开发人员的工作量。遵循上述通信协议,在 C# 语言中利用 Socket 实现服务器和客户端之间通信的流程如图 3 所示。

Socket 提供同步和异步两种通信模式。异步方式无法立即得到调用结果,不满足系统的实时性要求,因此本文采用同步通信的方式。同步通信能够立即得到调用结果,但在得到结果之前会一直等待,造成 UI 线程阻塞,为了保证系统响应顺畅,开发过程应用到了多线程技术,将造成线程阻塞的代码放到线程中运行。

Socket 通信的第一步是在服务器端开启监听,然后通过 Accept() 同步方法接收客户端的连接请求并启动监听线程。C# 语言提供了 Thread 类,能够非常灵活的实现对线程的控制,新线程的创建就是新建一个 Thread 对象。监听线程传递的参数为监听函数的签名,监听函数签名的语句定义为:private void StartAcceptingClients();与客户端建立连接之后,服务器与客户端之间开始发生数据通信。数据通信、数据接收和发送线程

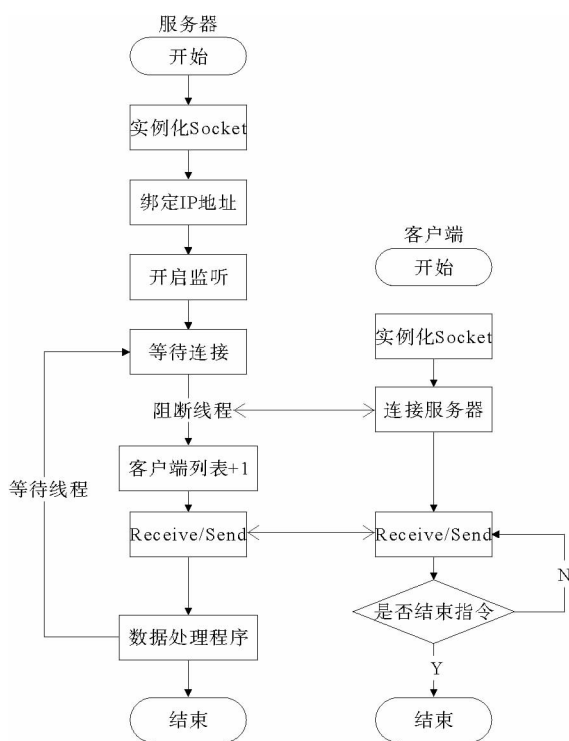


图 3 Socket 网络通信流程

Fig. 3 Flow chart Socket network communication

传递的参数为数据处理程序的函数签名,这一线程从消息字符串中提取有效数据项,完成不同数据项的展示和存储等任务。

通过 Socket 和多线程技术的结合,能够完全解决同步通信模式的阻塞问题并实现服务器和客户端之间的一对多全双工通信。

3.2 ADO.NET 数据库交互技术与数据展示

ADO.NET 提供一组用于数据访问的专用类,能够实现对数据库的访问、查询、更新、维护、删除等操作。笔者将 ADO.NET 技术和 SQL Server 2008 数据库管理系统结合起来构建海洋可控源甲板监控数据库。

利用 ADO.NET 实现数据库操作首先需要建立连接。对应于 SQL Server 数据库管理系统,完成连接需要实例化 SqlConnection 类,并利用 Open() 方法打开与数据源的连接。

ADO.NET 提供两种数据访问方法:直接访问模式和数据集模式。数据集模式将数据库绑定到 DataSet 对象,避免对数据源的操作,对数据源的更新、修改和维护等通过数据适配器

(DataAdapter) 桥接,安全性更高。使用数据集模式实现数据库访问,其流程如图 4 所示。

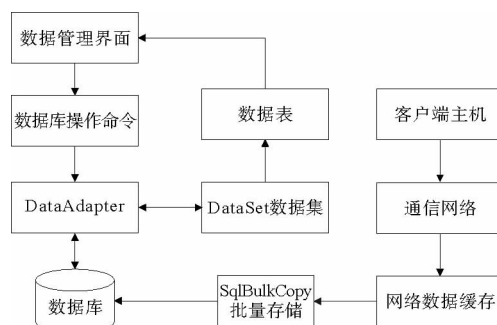


图 4 ADO.NET 数据集访问方式

Fig. 4 ADO.NET data set access mode

DataSet 对象仅是数据库在内存中的逻辑表示,实现 DataSet 对象与数据存储相对应,要利用 DataAdapter 对象提供的 Fill() 方法填充数据集。填充数据集是指从数据源中选择符合条件的数据,将其加载到 DataSet 相应的数据表中,数据的选择通过新建 Command 对象并执行 SQL 语句。对于 DataSet 中数据表众多、表间关系复杂、管理不易的现象,监控软件设计了数据管理界面,界面展示如图 5 所示。界面主体由 3 部分功能区组成,分别为:①数据展示区;②数据筛选区;③数据绘图区。

数据管理界面提供“全部显示”和“仅显示所选内容”两种显示模式,由用户选择展示数据表的所有数据或者仅展示符合要求的数据;数据筛选区完成数据的选择功能,通过用户设定的不同筛选条件,将数据表中符合筛选条件的数据提取出来并用填充到 DataSet 对象相应的数据视图中,当数据筛选条件复杂时,数据选择由“高级选择”功能完成,高级选择窗体由图 6(a)所示;数据绘图区可以绘制当前展示的表格中数值型字段随时间变化的趋势图,当用户希望绘制多条字段的趋势图时,则由“高级绘图”功能完成,图形绘制效果见图 5,高级绘图功能窗体见图 6(b)。

3.3 GDI+ 和 OSG 显示技术

发射机发射波形最直观的显示方式是绘制波形图,GDI+ 技术是实现绘制波形图的最佳方式之一。本文利用 GDI+ 技术,完成了电流、电压波

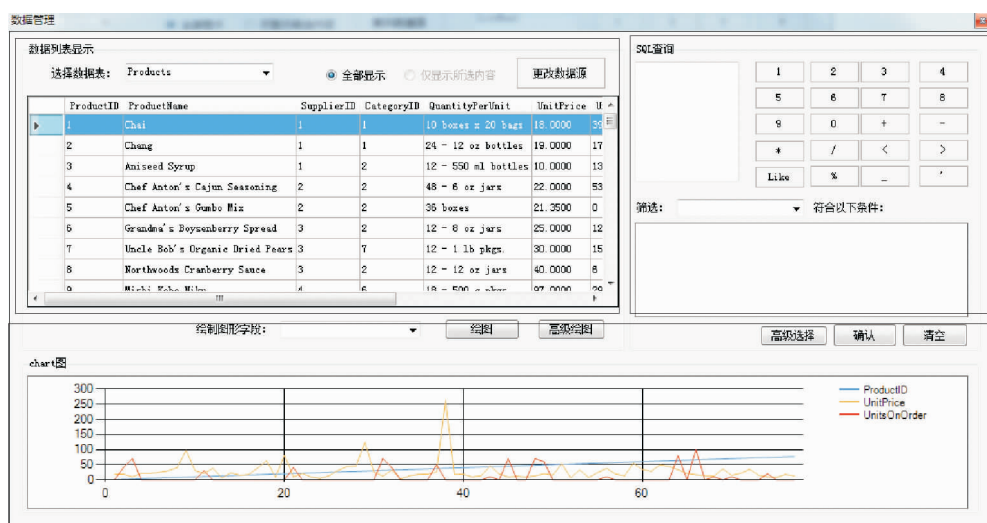
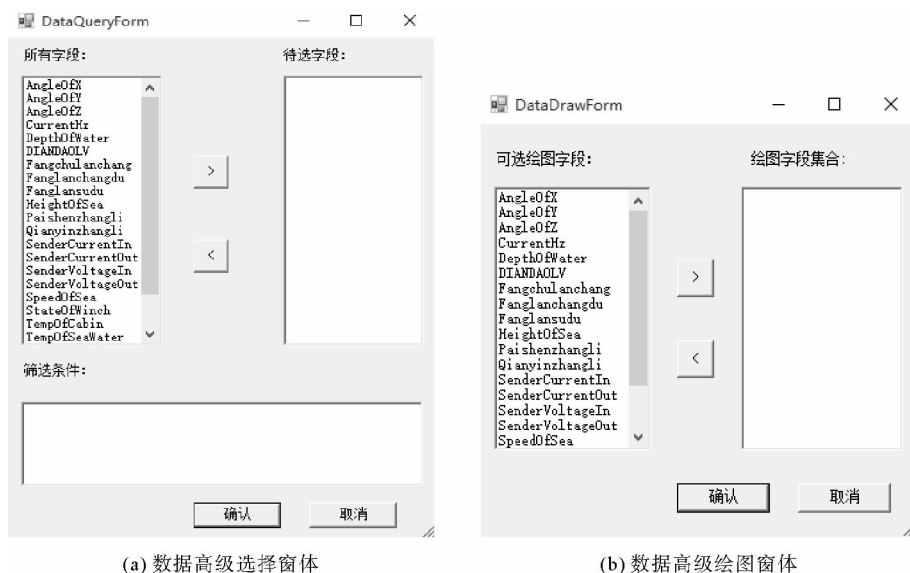


图 5 监控软件系统数据管理界面

Fig. 5 The data management circle of monitoring software system



(a) 数据高级选择窗体

(b) 数据高级绘图窗体

图 6 数据筛选与绘图窗体

Fig. 6 Data screening and drawing forms

形参数的绘制,波形显示效果如图 7 所示,图中所示横坐标为时间,坐标范围为 60 s,纵坐标为实际电流和电压值,坐标范围设为电流最大值和最小值之差的 1.1 倍。

在 GDI+ 中,绘制图形的容器是 Graphics 对象,该对象通过 PictureBox.Paint 事件的参数 e 创建,为了改善显示效果,填充了纯白色背景。波形图的绘制过程大体上可以分为 4 步:绘制初始坐标轴→计算新加入数据点坐标→判断新加入坐

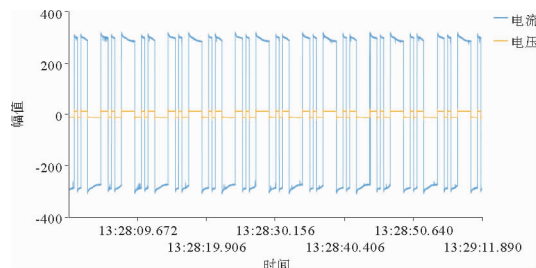


图 7 基于 GDI+ 技术的波形显示效果示意图

Fig. 7 A schematic diagram of the effect of waveform display based on GDI+ Technology

标点是否超出范围并适当调整 Y 轴→新坐标点连线。

GDI+使用 3 种坐标:全局坐标、页面坐标和设备坐标。为了使用与数据真实值相统一的坐标,将坐标原点变换到 PictureBox 的左下角, X 轴指向右, Y 轴指向上。坐标变换通过平移、旋转和比例变换 3 个过程:第一步先将坐标原点平移到控件左下角;第二步反转 Y 轴;第三步调整 X 轴和 Y 轴的范围。

经过平移、旋转和比例变换后,可以利用真实电流和电压值进行波形绘制,在绘制波形图时做如下设计。数据点坐标的计算包括 X、Y 坐标的计算:当系统运行不足 60 s 时,第 n 个数据点的 X 坐标为当前时刻;系统运行超过 60 s 时,该点的 X 坐标为 60,但早于当前点 i 秒的数据点的 X 坐标变为 $60-i$ 。第 n 个数据点的 Y 坐标计算分两种情况:当前数据点的 Y 值不超过先前数据点的最大值 $Y_{\max}$ 时,该点的 Y 值可以直接绘制波形;当前数据点的 Y 值超过 $Y_{\max}$ 时,需要将当前数据点的值设为最大值,并重新调整 Y 轴的坐标范围。计算得出当前新加入数据点的坐标后,新建一个 PointF 对象,并利用 Graphics 对象的 DrawLine()方法绘制新波形段。

结合 GDI+ 技术,用户主控界面如图 8(a)所示,主控界面将监测参数以合理的形式展示,随时间变化明显的参数以波形图方式显示,设备运行状态等较为平稳的参数以仪表盘和状态指示灯的形式展示。

对于监控参数中发射机拖体的三维坐标和姿态数据,基于 OSG 工具包开发了三维显示模块。海水和海底的三维仿真场景通过多波束扫描文件获得,随时间不断刷新的更为复杂的三维场景则通过设定相机跟踪视角和数据帧刷新来实现。基于 OSG 的三维显示模块效果如图 8(b)所示。

4 系统验证与应用效果

监控软件的可靠性与运行效率对其实际应用效果至关重要。监控软件于 2016 年 6 月进行了勘探施工现场测试,测试结果如下:

(1)网络通信质量测试。主要测试了通信网

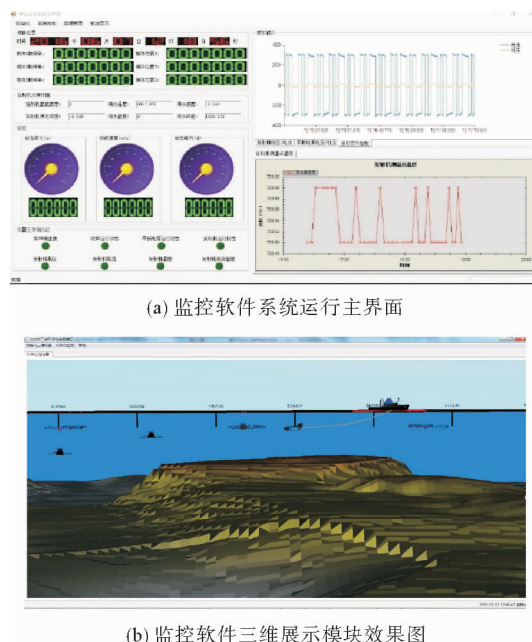


图 8 可控源电磁发射系统参数监控软件界面展示效果

Fig. 8 The display effect of the parameter monitoring software interface of the controllable source electromagnetic emission system

络的连接情况、数据包丢失率和多条信息通信的网络延迟。测试结果表明,连接到同一台路由器的不同主机可以实现良好连接,数据包丢失率为 0%;多条信息的通信响应时间与信息量呈正相关,在 30 条以内的信息同时发送时,通信响应时间与信息条数的散点图由图 9 表示:30 条信息的平均响应时间约为 214 ms,每条消息平均处理时间约 7.1 ms,满足实时画面调用响应时间 < 5 s 的要求。

(2)数据管理效果测试。数据管理效果主要

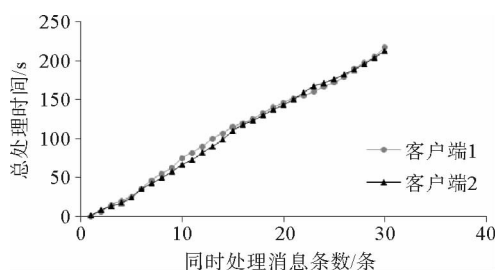


图 9 通信响应时间与同时处理消息对应情况

Fig. 9 Correspondence response time and simultaneous processing of messages

包括大数据量存储和数据查询的响应时间。为了提高大数据量的存储效率,系统设计了数据缓存并用 SqlBulkCopy 类将缓存中的数据批量存储到数据库中,测试过程中存储峰值达到4 000条/s,完全能够满足系统的性能需求。在数据查询方面,本文选择 DataGridView 控件完成查询的快速响应和展示,大大减小了用户等待时间。

5 结论

本文设计并完成了海洋可控源电磁发射系统运行参数监控软件,结合海洋可控源电磁勘探施工实际,软件由通信网络、数据管理模块和数据展示模块3个模块构成,协同进行海洋可控源电磁发射系统运行参数的监控。系统的可靠性在模拟测试和现场测试中得到了充分证明,可以应用于海洋可控源电磁勘探施工现场。

参考文献:

- [1] Constable S, Smaka L J. Special Section—Marine Controlled-Source Electromagnetic Methods: An introduction to marine controlled-source electromagnetic methods for hydrocarbon exploration[J]. *Geophysics*, 2007,72(2):WA 3-WA 12.
- [2] 何展翔,孙卫斌,孔繁恕,等.海洋电磁法[J].石油地球物理勘探. 2006,41(4):451-7.
- [3] 刘云鹤,殷长春,翁爱华,等.海洋可控源电磁法发射源姿态影响研究[J].地球物理学报,2012,55(8):2757-2768.
- [4] 陈凯,邓明,伍忠良,等.海底可控源电磁采集站的低时漂技术研究[J].现代地质,2012,26(6):1312-1316.
- [5] 陈厚瑾.海洋电磁发射机运行参数甲板监控软件关键技术研究[D].长春:吉林大学,2015.
- [6] 刘伟宇.海洋可控源电磁甲板监控系统通信技术研究[D].长春:吉林大学,2014.
- [7] 周苗,杨家海,刘洪波,等. Internet 网络拓扑建模[J].软件学报,2009,20(1):109-123.
- [8] 李明树,杨秋松,翟健.软件过程建模方法研究[J].软件学报,2009,20(3):524-545.

REAL-TIME MONITORING TECHNOLOGY FOR OPERATING PARAMETERS OF MCSEM TRANSMITTING SYSTEM

WANG Zhao¹, ZHANG Xuefeng², SUN Jihong¹,
WEI Helong¹, AN Congrong³, DAI Qinfen¹, SU Guohui¹

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China;

2 North Institute of Computer Application, Beijing 10089, China;

3 School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: Marine controlled source electromagnetic (MCSEM) is a new geophysical method for detecting submarine oil and gas resources. Owing to the specific offshore working conditions, monitoring deck temperature, humidity and relevant parameters of ship equipment becomes extremely significant for safety and effective production. Based on the study of MCSEM production and deck work mode, this paper studied and designed a set of method for developing the deck monitoring system for MCSEM work. Based on .Net Framework class library, this paper designed and accomplished the monitoring software of marine controlled source electromagnetic (MCSEM) transmitting system using C# and C++ language. The network architecture, data storage and user interface were designed, and the Socket network programming technology, multi-threading technology, ADO. Net database technology and display technology, which combines GDI+ with OSG, were integrated. The system test results show that the software has good performance and can be applied to MCSEM.

Key words: MCSEM; parameter monitoring; Socket network programming