

SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG WUTAN JISHU
YINGYONG YU YANJIU

水利水电工程物探技术 应用与研究

曾宪强 毋光荣 郭玉松 主编

水利水电工程物探技术 应用与研究

曾宪强 毋光荣 郭玉松 主编

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共收录了2007~2010年发表在《工程物探》(内部刊物)有关工程物探方向的论文58篇,2010年全国水利水电物探学术年会交流论文37篇,其内容包括综合物探技术,地震勘探及弹性波测试技术,电法及电磁法勘探技术,仪器及数据处理技术,隧道超前预报技术,检测、监测技术等。

本书可供水利、电力、铁路、公路等相关部门人员及工程物探与工程检测的科技人员及大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程物探技术应用与研究/曾宪强,毋光荣,
郭玉松主编. —郑州:黄河水利出版社,2010.9

ISBN 978 - 7 - 80734 - 884 - 9

I. ①水… II. ①曾… ②毋… ③郭… III. ①水利工程 - 地球物理勘探 - 文集 ②水力发电工程 - 地球物理勘探 - 文集 IV. ①TV698.1 - 53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第169899号

策划组稿:马广州 电话:0371-66023343 E-mail: magz@yahoo. cn

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126. com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:41

字数:950千字

印数:1—1 500

版次:2010年9月第1版

印次:2010年9月第1次印刷

定价:100.00元

《水利水电工程物探技术应用与研究》

编委会名单

主 编:	曾宪强	毋光荣	郭玉松
副主编:	沙 椿	王宗兰	马爱玉
编 委:	才致轩	马爱玉	王宗兰
	王俊业	王 波	毋光荣
	田宗勇	卢小林	刘康和
	刘贵福	汤井田	冷元宝
	沙 椿	李 洪	陆二男
	郭玉松	徐义贤	高才坤
	常 伟	黄衍农	曾宪强

前 言

水利电力物探科技信息网在 2006 年第十届全网代表大会之时出版过一本《工程物探论文集》，作为信息网 2003 ~ 2006 年《工程物探》四年技术成果的总结，同时决定今后每届换届时都照此出版一本论文集。2010 年出版的论文集除 2007 ~ 2010 年在《工程物探》上发表的优秀论文外，还包含了部分即将在 2010 年 9 月召开的学术年会上准备交流的论文。

在 2006 ~ 2010 年的“十一五”期间，国家启动了数十万亿资金进行基础设施建设，如京沪高速铁路、南水北调工程、沪蓉高速公路、武广客运专线、西电东送、曹妃甸开发区、溪落渡水电站、向家坝水电站、杭州湾跨海大桥、国家电网建设、上海轨道交通建设、北京轨道交通建设，还有“5·12”汶川大地震后的重建和抗御 2010 年西南大旱的投入等，这些工程的完成将改善我们的生存环境和发展环境，同时也给我们提供了展示才能的大舞台。2008 年下半年以来，百年罕见的国际金融危机的冲击，使我们更加重视自主研发和创新。经历了高速发展的工程物探在这本论文集中留下了自己美丽的华章，同时也为我们下一步的发展打下了良好的基础，新的挑战在催促着我们更快地提升自己！

目前，国内外工程物探中爆破材料、放射性材料的使用受到了严峻的挑战，环保和可持续发展的呼声越来越高，如何在提高勘探精度和绿色环保的前提下做好工程物探也是我们面临的新课题，希望今后能看到更多这方面的论文。

工程物探已经走过了从艰难困苦创业到光辉灿烂收获的 60 年，我们期待着新的工程物探的壮丽篇章！

编 者

2010 年 8 月

目 录

前 言

第一篇 综合物探技术

工程地球物理探测技术的发展与未来	喻维钢等(3)
充满活力的工程物理探测	王振东(10)
综合物探在坝基勘察中的应用	刘康和等(13)
某水电站库区滑坡体综合物探勘察效果	邓希贵(17)
工程物探在工程地质勘察中的应用	刘宗选等(22)
抽水蓄能电站上水库岩溶探测研究与应用	常伟等(29)
采空区探测技术研究状况及发展趋势	薛云峰等(36)
戈兰滩水电站工程前期物探工作回顾	赵楠等(43)
黄河海勃湾水利枢纽工程地球物理勘测特点和效果	赵楠等(53)
综合物探在水电站坝址比选中的应用	文志祥等(63)

第二篇 地震勘探及弹性波测试技术

水上地震折射互换法误差分析	陈新球等(71)
在云南山区河流上开展水上地震工作的探讨	王宗兰等(77)
水声勘探中的浅地层剖面技术应用	谢向文等(82)
孔间层析成像正反演研究	刘杰等(87)
浅析狭窄河谷覆盖层地震勘探特点	宋克民等(92)
地震法非纵观测系统在探测古河槽中的运用	王长录(96)
面波勘探在划分岩体风化带中的应用	黄宁等(102)
用弹性波测试指标进行工程岩体分类	刘善军等(109)
马吉水电站岩体静、动弹性模量对比关系分析	韩连发等(113)
黄河水下根石探测的浅地层剖面技术	郭玉松等(119)
BQ 分级法在隧道围岩划分中的应用	李晓磊等(126)
弹性波测试在新疆水利水电工程中的应用	饶权等(133)
水平层状介质浅层地震反射波的识别与研究	王志勇等(143)
弹性波 CT 检测混凝土防渗墙分辨率的研究	王峰等(149)

第三篇 电法及电磁法勘探技术

大地电磁技术在太行山隧道勘察中的应用	杜彦军(157)
--------------------------	----------

电法勘探在水库大坝渗流安全评价中的应用	郑灿堂等(164)
探地雷达勘察岩溶实例分析	刘康和(171)
频率域电磁法正演与反演——现状与趋势	汤井田等(176)
基于 RRI 反演的高频大地电磁测深在深边部矿产勘探中的试验研究··	高才坤等(188)
高频大地电磁测深在深厚堆积体探测中的应用	高才坤等(195)
绕坝渗流探测技术的应用研究	涂善波等(199)
屏障接地电阻测井法探讨	江兴奎等(205)
EH-4 电磁系统在隐伏断层探测中的应用效果	鲁 辉等(217)
边坡隐患探测方法研究	朱自强等(221)
梯度自然电位等(SP)方法确定水坝渗漏部位和形态	曾昭发等(227)
高密度电法在水库渗漏探测中的应用	肖长安等(233)
景观湖渗漏探测分析	王清玉等(238)
CSAMT 法与 EH4 探测铝土矿效果的对比	张 毅(242)
场差电阻率勘探法	常 伟等(261)
地面电阻率法装置技术研究	常 伟等(261)
地形对 EH4 资料的影响与分析	胡清龙等(275)
视电阻率测井在工程勘察中的应用	黄小军等(282)
瞬变电磁法与高密度电法探测淘金洞对比试验	祁增云等(285)
孔间电磁波 CT 技术在地质构造探查中的应用	杜爱明等(291)
基于南水北调西线工程岩性特征的 CSAMT 法有限元三维数值模拟的研究	薛云峰等(299)

第四篇 仪器及数据处理技术

SIRT 法及其改进型的反演结果对比	皮开荣等(313)
双谱时频分析在水电工程质量检测中的应用	蔡加兴等(318)
成像技术在某工程大口径钻孔中的应用	杨红云等(325)
测量岩体模量的全自动智能化钻孔弹模测试仪	马若龙等(329)
利用串口通信及 VC++ 编程技术实现弹模仪数据采集和成果输出	周锡芳等(334)
略论钻孔电视和钻孔全孔壁光学成像	杨红云等(342)
浅谈利用 VB 编程控制 Excel 的技术	陈卫东等(347)

第五篇 隧道超前预报技术

地质超前探测技术中物探方法的探讨	喻维钢等(353)
我国施工隧道地质超前预报技术简评	宋先海(358)
深埋隧洞突发性高压涌水预测及对策研究	赵国平(369)
深埋长隧洞超前地质预报技术研究	吴国晓(374)

隧道超前地质预报综合预报技术	谭天元等(381)
聚焦电流法(BEAM)在隧道超前预报中的研究初探.....	楼加丁(389)
隧道超前地质预报地质综合分析技术	叶勇(401)

第六篇 检测、监测技术

水电站运行振动对黑叶猴生存环境影响的观测评价	袁景花(413)
工程检测中钻孔变形模量和声波速度的综合应用	许振奎等(420)
锚杆检测方法与实践	徐永煜(425)
龙河口水库东大坝混凝土截渗墙质量检测方法与效果	徐长顺等(436)
“堆石体密度测定的附加质量法”中地基刚度测试技术研究	李丕武(442)
超声法检测混凝土缺陷在小湾水电工程中的应用	田连义(449)
钻孔电阻率法检测桩长专利技术与工程应用	黄世强(454)
微地震监测技术在锦屏水电站的应用研究	何刚等(457)
略论附加质量法检测堆石土密度的三代技术	李丕武等(465)
塑性混凝土防渗墙质量评价研究	刘康和(473)
大坝裂缝检测方法的研究及应用	田宗勇等(479)
常时微动、面波、检层法在场地土测试中的综合应用	樊广利(485)
声波法在硐室混凝土衬砌质量检测中的应用	李洪(494)
堆石土密度原位测试技术	李丕武等(502)
适合TBM施工的HSP声波反射法地质预报技术研究	李苍松等(508)
微地震监测技术在地下工程中的应用研究	裴琳(514)
黄河河道整治工程水下根石探测专有技术——小尺度水域精细化探测技术初论	张晓予等(521)
井间高密度电阻率成像法检测深孔帷幕注浆效果	唐英杰(526)
综合物探在思林水电站坝基检测中的应用	孙永清等(532)
截渗墙质量无损检测方法研究与应用	徐长顺等(538)
某在建水库大坝震后安全评价分析	樊广利等(549)
坝基爆破开挖影响程度及破坏机理的检测研究	魏树满等(557)
大坝截渗墙综合检测技术研究	涂善波等(563)
大口径钻孔弹模测试仪在某水利工程中的应用	马若龙等(569)
电磁波CT技术在光照水电站防渗帷幕探测中的应用	尹学林等(572)
关于锚杆锚固密实度检测方法的探讨	黄世强(580)
混凝土钻孔灌注桩质量事故的发生、预防及检测	李军等(584)
全自动智能化钻孔弹模仪在某水利枢纽工程中的应用	马若龙等(589)
抬动监测在紫坪铺2#泄洪排沙洞震损修复工程固结灌浆过程中的应用与研究	胡伟华等(597)

运用滑动测微计分析灌注桩受荷时内力分布	李 戟 等(601)
综合物探在高地应力条件下硐室群开挖过程中的检测应用研究	何 刚 等(607)
综合物探在拱坝建基岩体检测的应用	何 刚 等(612)
刚度相关法测试堆石体密度	薛云峰 等(620)
锚杆锚固质量检测技术研究与应用	崔 琳 等(626)
对附加质量法检测堆石体密度的认识	杨永强 等(631)
施工爆破振动(冲击)对建筑物和设备的影响试验与研究	崔 琳 等(640)

第一篇 综合物探技术

工程地球物理探测技术的发展与未来

喻维钢¹ 刘润泽¹ 刘方文¹ 肖柏勋²

(1. 长江工程物探检测公司 武汉 430000; 2. 长江大学 荆州 434000)

摘要:工程地球物理发展最基本的规律是在获取探测信息能力和利用信息能力的互动下,逐步向高层次发展;获取探测信息能力的突破必然引发如何利用信息的研究,反之利用信息研究的成果必将促进获取探测信息的研究。现阶段工程地球物理探测体系最大的问题是强噪声背景下弱信号检测能力的不足。未来发展的关键技术是伪随机编码观测技术,发展的战略支撑点是基于伪随机编码观测技术的时延工程地球物理探测技术。

关键词:工程地球物理 发展规律 未来发展 伪随机编码 时延探测

工程地球物理是应用地球物理的重要分支。20世纪90年代以来,随着地球物理勘探技术、计算机信息技术的发展,在工程建设需求的强力推动下,工程地球物理得到了迅猛的发展。目前,已在工程建设前期、施工期和运行期,地质、水文和环境等地球物理问题探测或检测中发挥着重要的作用。随着工程问题需要解决的要求和复杂程度的提高,现有的工程地球物理探测技术水平已不能适应工程问题的要求。文献^[1-9]对工程地球物理研究的内容、技术方法的现状、反演方法等作了较详尽的阐述。本文在回顾近年主流的地球物理探测技术发展的基础上,从宏观上把握了地球物理探测技术发展的基本规律,展望了工程地球物理探测技术发展的突破点和支撑点。

1 工程地球物理的基本原理

工程地球物理探测的基本原理主要是:借用石油和金属矿产等资源地球物理勘探领域的理论体系,相对资源勘探,利用的是物理场近场或远场近区场,研究对象主要针对地球浅表介质。浅表地层或浅表工程建筑是由岩土体或混凝土等介质构成的,这些介质具有不同的地球物理和力学属性,如介质的波场响应和电场响应属性,这些属性包括介质的波速 v 、电阻率 ρ 、磁导率 μ 、介电系数 ϵ 、密度 σ 等参数,其中主要的属性是力(或弹性)属性和电属性,也就是说,介质的差异主要表现为弹性波速度和电阻率差异。一般来讲,完整、均一、强度高的介质,表现为高阻、高速、对电磁波低吸收,当其受到各种破坏时,其波速、电阻率将变低,对电磁波表现为高吸收。但也有例外,如充填空气的岩溶,弹性波表现为低速,电阻率则为高阻,对电磁波因其多次反射而呈现高吸收;混凝土里的钢筋,弹性波为高速,电阻率为低阻,对电磁波高吸收。这些规律是由波场传播或电场分布特点决定的,工程地球物理探测就是利用物理场在不同属性介质中的不同响应特征来探测介质属

性差异的,探查属性差异变化界面、属性异常带,进行地质或工程单元划分,进而对岩土体或混凝土作出地质或工程评价。于是,相应地形成了工程地球物理弹性波勘探、电(磁)法勘探等。

以数学方法描述某种被观察的物理过程,地球物理勘探的过程可以抽象成从模型空间通过某种映射关系,映射成可以感知的数据空间——地球物理观测数据,即:

$$D = T(M) \tag{1}$$

式中: D 为模型响应; M 为一个包含地下模型参数集的矢量; T 为某种线性或非线性变换。

反演就是通过逆映射变换到模型空间,即:

$$M = T^{-1}(D) \tag{2}$$

式中:算子 T^{-1} 表示从数据空间到模型空间的逆变换。

映射关系见地球物理探测空间变换示意(见图 1)。这种映射关系遵循地球物理学的两大模型原理:滤波器模型原理和场效应模型原理。因此,地球物理数据处理:一是基于信号分析理论的信号处理技术,主要目的是去噪、增益、提取有效信号;二是基于物理场效应理论的反演技术。

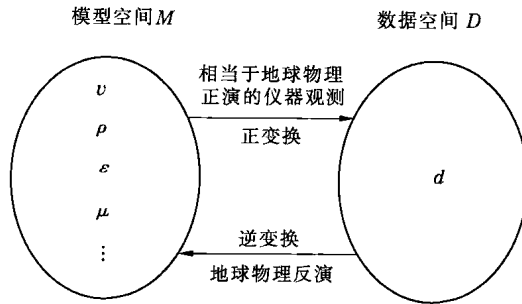


图 1 地球物理探测空间变换示意

地球物理反演,就是在模型空间寻找一组参数向量,这组向量通过某种映射关系,能再现数据空间的观测数据。因此,在一定的假设条件下,反演问题可以表示为某种误差泛函的极小化问题:

$$\min \| G(M) - D \|^2 \tag{3}$$

也就是说,地球物理反演是利用模型参数和模型正演来获取合成数据 $G(M)$,再通过合成数据与观测数据的匹配估算出最佳 M 参数的。

当然,地球物理反演已经被证明是非唯一的。首先, T^{-1} 不可确定;其次,观测数据不完备;再次,观测数据含有噪声。因此,反演问题的不确定性是地球物理反演必须永远面对的课题。

2 工程地球物理发展的基本规律

工程地球物理属于观测科学,谈工程地球物理的发展规律,就需要认识地球物理的发展。围绕着地球物理基本原理,下面讨论地球物理探测技术呈现的发展脉络和基本的发展规律。

纵观地球物理探测技术的发展,地球物理勘探技术水平主要表现在获取探测信息的

能力和利用信息能力的提高两方面,两者是相互促进的统一整体。探测信息的能力与式(2)的 D 相关,实质上就是地球物理的观测方法和观测手段,包含提供信息量的多少和提供什么样的信息;利用信息的能力与式(2)的 D 和算子 T^{-1} 相关,实质上就是反演能力,包含利用什么样的信息和如何利用信息。了解这些,就不难发现地球物理探测技术发展的主要脉络。

从数据观测方法的角度来看,为了获取更多、更有效的数据,地球物理学家们研究了从地面到地下的许多观测系统,总体上讲是从一维观测发展到三维观测,目前从二维到三维观测是主流,如三维地震、网络型电(磁)系统;现在人们已不满足于观测地球物理的瞬时数据,地球连续观测(时延)时代已经拉开序幕^[10-16],时延4C的地震观测已经在资源勘探领域得到成功应用,4C电磁系统的研究工作已经取得一定进展。时延观测的出现将赋予工程地球物理新的内涵。

从数据观测手段的角度来看,不能不提及20世纪60~70年代数字地震勘探设备开发的成功,使地震勘探获取数据的能力取得突破,地震勘探技术得以迅猛发展。地震勘探的示范作用也引发了地球物理勘探其他方法技术的改造和革新,如数字声波仪、数字电磁(波)仪等也相继开发成功。为了获得更丰富的信息,人们已不满足于观测单频信息,多波多分量的地震观测技术已经实现,电法中的变频激电法、多频伪随机观测技术^[17-19]已得到实现,电磁勘探多频收发技术、多分量探测技术正处于发展之中。

从利用数据的角度来看,从利用单频信息到多频信息,直至全波形,如地震层析成像从利用透射波数据到利用反射波数据,从利用运动学信息到利用动力学信息。

从地球物理反演的角度来看(如何利用信息),最初的反演模型是均匀性、线性、各向同性、简单介质,现在发展到非均匀性、非线性、各向异性、多相介质;算法从线性发展到非线性反演,从单一参数发展到多参数的联合反演。虽然这些反演方法还有许多不足,所利用的模型还不足以满足要求,但这些都是迈向“逼近”的重要发展。

了解地球物理探测技术发展的主要脉络,就可以发现地球物理探测技术就是在获取探测信息和利用信息能力的互动下,逐步迈向更高层次。获取探测信息能力的突破必然引发如何利用信息的研究;反之,利用信息研究的成果必将促进获取探测信息的研究。这是地球物理探测技术发展最基本的规律。例如,地震波动的研究最早是建立在均匀、完全弹性和各向同性三大假设的原则下进行求解的。正是由于数字地震勘探设备开发的成功,使地震勘探获取探测数据的能力取得突破,促进了地震勘探利用信息的研究,才有今天非均匀性、非线性和各向异性反演方法的出现(尽管不成熟);随着对信息利用研究的深入,人们又深感信息量的不足,才有今天多波多分量观测手法的出现。其他方法也呈现类似的发展规律。

3 工程地球物理发展的不足

必须承认,由于工程地球物理的理论体系是借用资源勘探的理论体系,同资源勘探相比,工程地球物理是小尺度、复杂的探测对象。资源勘探基于大、中尺度,多相介质甚至多相非均匀、各向异性模型的勘探体系还不能完全满足工程地球物理的要求,建立工程地球物理理论体系,弄清物理场在复杂介质的场效应特征应该是工程地球物理最大的不足。

只有基于光栅模型的勘探理论才是工程地球物理的支点,但还有一段很遥远的路要走,这有赖于整体科学技术的进步。因而,理论体系的问题还不是现阶段最关键的问题。

那么,在现有的工程地球物理探测体系下,现阶段迫切需要解决的问题是什么?从以上对地球物理的发展脉络和规律做出的简单的剖析中,让我们沿袭最古老的哲学分析法——筛选法来找出工程地球物理现阶段关键的不足。

第一,在获取信息能力方面,已经研究出许多的观测方法和手段,数字化的采集设备已经让我们能够获取多角度的、频率较丰富的探测信息,虽然对反演而言投影还不完全,但在一般意义上够用,那么问题就出在利用信息上。

第二,在利用信息能力方面,如何利用信息是地球物理反演要解决的主题,地球物理专家们在这方面做了许多超前性的研究工作,从利用单频到利用多频数据,从单参数反演到联合反演,从简单模型到复杂模型,甚至可以在接近真实的数学或物理模型上做正反演,也就是说,我们知道用什么信息,也知道该如何利用这些信息来达到探测目的,但为什么实际效果大多却不尽如意?重要的一点是地球物理探测的信号不像理论信号,能被利用或可被利用的信息量较少。例如,地震勘探中的地震信号提供了丰富的信息,但目前工程地震层析用得更多的依然是透射波,反射 CT 由于反射子波的难以识别而不能被广泛推广,虽然它比透射 CT 具有更高的效率;在地震反射勘探中,用到 P 波或 S 波,其他子波都被当做干扰波而浪费掉。再比如,锚杆质量检测,在锚固体系中,锚杆是一均匀的弹性杆件介质,始终是波场响应或质点运动的主体,当锚杆、砂浆和围岩都浇灌均匀、密实时,锚杆各处的振动特性不会有明显的差异;当应力波遇到锚固缺陷时,原有的振动发生变化,通过研究,这种振动的变化在时频特性上是微弱的。也就是说,锚杆检测信号往往是一种在其一阶或多阶偏导可能产生奇异的而时域难以觉察的连续平滑信号,寻找缺陷就是在近乎相同的“基因群体”中去寻找“个体差异”,但目前的信号分析手段还不具备这样的“微侦察”能力。

工程地球物理探测技术也许存在许多方面的问题,通过以上的筛选,可以认为最关键的问题就是利用信息的能力不足,具体表现在我们知道利用什么信息,也知道该怎么利用这些信息,但我们却不知道这些信息在哪儿,也就是强噪声背景下弱信号识别能力不足。

4 工程地球物理发展的方向

从以上分析得出:制约工程地球物理探测技术水平的关键因素就是强噪声背景下弱信号识别能力不足。提高这种能力,一种思路是在信号处理方法上做研究,但是从傅里叶分析到小波分析,依然看不到反演所需要的信息。另一种思路是不依赖时间的全波场反演,但目前实际上很难做到这一点。这就让我们不得不怀疑获取信息的能力是否出了问题。

从发射和接收的角度来看,目前的手段是一种被动式的观测,也许我们知道发射源的频带或者能量,但发射的信号却只能任由自然的造化——“随波逐流”。也许地球物理探测获取数据的能力的终点是定点、定向观测技术,但在未来很长一段时间里也许不会看到希望的影子。电磁波通信伪随机编码技术^[20-24]为我们带来可以借鉴的解决途径,它让我们得到启示:能否将被动观测变为主动观测?能否按自己的方式去获取信息(也就是获

取什么样的信息)? 如果我们发射的勘探信息是编码信息,那么接收的子波就是除具有一般物理意义下的波场特征外,还携带有编码信息的包络,通过解读包络的编码信息就可以准确地知道各种子波到达的精准时间,各种子波的提取就会变得轻松,地球物理勘探将可能从真正意义上实现自动化,多波联合反演、全波形反演就会变得可能,那时地震波、电磁波的多次干扰也许就会成为非常有用的信息,锚杆锚固缺陷检测就变得相对简单。

因此,伪随机编码的观测技术是目前工程地球物理下一个最为关键的目标(伪随机编码观测技术在工程地球物理领域由肖柏勋率先提出,我们这里是推论)。目前,伪随机编码技术在通信领域得到广泛的应用,其工作原理为:信息数据 D 经过常规的数据调制,变成了带宽为 B_1 的基带(窄带)信号,再用扩频编码发生器产生的伪随机码(PN 码)对基带信号做扩频调制,形成带宽 B_2 (B_2 远大于 B_1) 功率谱密度极低的扩频信号,相当于把窄带 B_1 的信号以 PN 码所规定的规律分散到宽带 B_2 上,再发射出去。接收端用与发射时相同的伪随机编码 PN 做扩频解调,把宽带信号恢复成常规的基带信号,即以 PN 码的规律从宽带中提取与发射对应的成分积分起来,形成普通的基带信号,然后可再用常规的通信处理解调发送来的信息数据 D ,从而实现数据 D 的传输。理论和实践证明:同常规的电磁波通信技术相比,伪随机编码观测技术具有极强的抗干扰、信号识别能力,即使在信号被噪声淹没的情况下,只要相应地增加信号带宽,仍然保持可靠的通信,也就是可以用扩频的方法以宽带传输信息来换取信噪比。虽然地球物理的传播介质远比空气复杂,但地球物理观测与电磁波通信的伪随机编码技术具有类似的原理,不同的是,需要对编码信号的异变和探测距离作更加深入的研究。伪随机编码技术不仅可以应用于弹性波、电磁波探测,而且已经被证明用于电法勘探也是可行的^[17-19],在伪随机编码的地球物理观测技术中,识别已知的编码要比识别单纯的子波容易得多,即便是不能百分之百地解读出编码信号,但它还是可以告诉我们“我来了”,这将使强噪声背景下弱信号识别能力得到极大的提升。

除关键技术必须突破外,工程地球物理还必须有带动整个技术发展的战略支撑点。我们认为,基于伪随机编码观测技术的时延探测技术就是工程地球物理的战略支撑点,相比资源勘探而言,其具有更广泛的发展空间。

四维地球物理探测^[10-16]始于 20 世纪 80 年代,当时用于监测油藏驱油情况及提高采收率。它是由三维物理探测发展演变而来的,是由通常的三维空间和时间组成的总体,勘探作业使用空间的三个坐标和时间的一个坐标,通过随时间推移观测的勘探数据间的差异来描述地质目标体的属性变化。时延探测技术最大的优势是:在随时间推移的物理探测过程中,被观测目标体会存在明显的属性变化,如岩土体温度、压力、岩土体孔隙流体性质的变化等,这将引起岩土体物理性质(力属性、电属性等)的变化,使物理场穿越目标时,可引起物理场特征(如走时、振幅、频率等)的变化。这使得我们可以通过时间推移观测的物理场数据间的差异来描述目标体的属性变化,达到认识岩土体的动态变化来预测其未来。单从这一点,就不难推测出时延探测技术在工程地球物理探测中的广泛用途。

4C 勘探是地球物理获取信息能力和利用信息能力互动下的必然产物。工程地球物理时延探测技术的研究不应限于 3S-T 空间,应包括 2S-T 甚至 1S-T 空间,把时延探测技术作为工程地球物理的方向,不仅可以以点带面,全面提高工程地球物理探测技术的

水平,而且时延地球物理探测技术的解决标志着工程地球物理从瞬时探测走向连续探测,标志着工程地球物理将走向一个新的领域——动态监测。确立基于伪随机编码观测技术的时延工程地球物理探测的发展方向,不仅能提高瞬时探测的技术水平,而且会促进我们对如何获取时空探测信息,如何对时空探测信息进行时空地球物理反演进行深入的研究,这无疑对工程地球物理的发展具有重大的战略意义。

5 结语

地球物理勘探的过程可以抽象成模型空间和数据空间的转换,基于这个原理,地球物理发展规律可以概括为获取信息的能力和利用信息的能力的互动,其发展脉络在观测信息量的多少,观测什么样的信息,利用什么信息反演,如何利用信息进行反演四个方面得以体现。通过对以上四个方面影响地球物理反演因素的筛选,认为目前工程地球物理最大的不足是强噪声背景下弱信号识别能力不足,提出以伪随机编码观测技术作为解决强噪声背景下弱信号识别能力不足的突破点,以基于伪随机编码观测技术的时延探测技术作为工程地球物理发展的战略支撑点。

参考文献

- [1] 曹俊兴,贺振华,朱介寿. 工程与环境地球物理的发展现状与趋势——1997年工程与环境地球物理国际学术会议侧记[J]. 地球科学进展,1998(5): 501-504.
- [2] 赵永贵. 中国工程地球物理研究的进展与未来[J]. 地球物理学进展,2002(2): 305-309.
- [3] 朱德兵. 工程地球物理方法技术研究现状综述[J]. 地球物理学进展,2002(1): 163-170.
- [4] 成谷,马在田,耿建华,等. 地震层析成像发展回顾[J]. 地球物理学进展,2002(3): 6-12.
- [5] 李清松,潘和平,赵卫平. 井间电阻率层析成像技术进展[J]. 地球物理学进展,2005(5): 374-379.
- [6] 胡祖志,胡祥云. 大地电磁三维反演方法综述[J]. 地球物理学进展,2005(1): 214-220.
- [7] 王家映. 地球物理反演理论[M]. 北京:中国地质大学出版社,1998.
- [8] 杨文采. 地球物理反演的理论与方法[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [9] 杨文采. 评地球物理反演的发展趋向[J]. 地学前缘,2002,9(4): 389-396.
- [10] Demshur DM. 4-D需要精确的岩石和流体资料[J]. 范伟粹,译. 国外油气勘探,1997,11(6): 754-756.
- [11] Lee D S. 关于热监测的综合地震研究[J]. 傅启岳,译. 国外油气勘探,1997,9(5): 622-629.
- [12] Paul J, Hicks J. 油藏模拟在时间推移地震(4-D)分析中的应用[J]. 冯弘,译. 国外油气勘探,1998,10(5): 632-635.
- [13] Nur A. Four-dimensional seismology and (true) direct detection of hydrocarbons: the petrophysical Basis [J]. The Leading Edge, 1989,8(9): 30-36.
- [14] Meunier J, Huguet F. Cere-la-Ronde: a laboratory for time-lapse seismic monitoring in the Paris Basin [J]. The Leading Edge, 1998, 17: 1388-1394.
- [15] Sonneland L, Veire H H, Raymond B, et al. Seismic reservoir monitoring on Gullfaks [J]. The Leading Edge, 1997, 1247-1252.
- [16] Wang Z. Feasibility of time-lapse seismic reservoir monitoring: the physical basis [J]. The Leading Edge, 1997, 16: 1327-1329.
- [17] 何继善,等. 双频道激电法研究[M]. 长沙:湖南科技出版社,1990.
- [18] 何继善,等. 双频道数字激电仪[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1987.
- [19] 何继善,等. 论双频道幅频法的电流波形[J]. 中南矿冶学院学报,1981(6).
- [20] 肖国镇,梁传甲,王育民. 伪随机序列及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1996.