

国家安全地球物理丛书（四）



地球物理环境探测 和目标信息获取与处理

刘代志 主编



中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

国家安全地球物理丛书（四）

地球物理环境探测和目标 信息获取与处理

刘代志 主编

中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地球物理环境探测和目标信息获取与处理/刘代志主编. —西安: 西安地图出版社, 2008. 10
ISBN 978-7-80748-346-5

I. 地… II. 刘… III. 地球物理勘探—文集 IV. P631-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165121 号

地球物理环境探测和目标信息获取与处理

刘代志 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 西安地质矿产研究所印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 开本 13 印张 339 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—500

ISBN 978-7-80748-346-5

定价: 50.00 元

《国家安全地球物理丛书（四）》编委会

主 编：刘代志

副 主 编：李夕海 刘怀山 丁兴俊

编 委：（以姓氏笔画为序）

王仕成 龙 凡 李 刚 李夕海 刘代志

刘志刚 刘怀山 杜爱民 韩吉民

《国家安全地球物理丛书》编审委员会

顾 问：刘光鼎（院士） 何继善（院士） 刘振兴（院士）

许绍燮（院士） 游光荣（总工）

主 任 委 员：刘代志

副主任委员：龙 凡 孙更文 靳 平 陈玉春

秘 书 长：李夕海

委 员：（以姓氏笔画为序）

王仕成 王家映 王晓航 边少锋 龙 凡 刘 刚

刘代志 刘光斌 刘怀山 刘志刚 刘新学 朱培民

孙中任 孙凤华 孙更文 孙新利 李夕海 李艾华

李学正 杜爱民 张金城 陈玉春 陆其鹤 杨选辉

高增勇 郭有光 陶 勇 顾左文 徐白山 徐贵民

曾新吾 韩天成 韩吉民 靳 平 慕晓冬 滕云田

前 言

2007年在武汉会议上,我们提出要重视地球物理环境探(监)测和信息获取与处理方面的研究。因为“地球物理环境探测和目标信息获取与处理”研究在国家安全与军事应用领域有着广阔的应用前景,国外发达国家早在20世纪50年代末就开始了军事地球物理环境的监测研究,最早从军事气象(大气环境)开始,一直发展到空间环境监测、仿真模拟和空间天气预报。2008年“5·12”汶川大地震,也从一个方面对各种重要基础设施的地球物理环境评估提出了新的课题。

按照国家安全地球物理丛书系列出版计划,2008年出版的本论文集——《地球物理环境探测和目标信息获取与处理》为国家安全地球物理丛书(四)。本书收录论文35篇,内容主要包括:地磁环境探测与信息处理及应用,水下目标探测与定位预警,核物理环境监测技术与应用,工程与油气地球物理环境探测和地球物理信息处理等。

本书的出版得到了上级学会领导和中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院刘光鼎院士的支持与指导。中国地球物理学会在学术年会上将继续开设“国家安全地球物理研究”专题,为国内同行专家学者在年会上提供一个学术交流的平台并广泛征集国内同行专家学者愿意提供全文发表的论文。中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会将继续为国内同行专家学者提供一个公开发表有关国家安全与军事地球物理研究成果的空间——国家安全地球物理系列丛书,欢迎同行专家踊跃投稿。

本书的出版得到了两个专业委员会的挂靠单位——第二炮兵工程学院的有力支持。学院首长和科研部首长对本书的出版给予了有益的指导,并从出版经费上给予重要支持。

值此文集出版之际,我们向所有给予本书关心和支持的首长、专

家和同志们表示衷心感谢。我们希望，在领导、专家的指导和支持下，在各位同仁的共同努力下，国家安全与军事地球物理学科将更加健康、稳步、快速地发展，研究成果在国家安全与军事应用领域能得到广泛应用，愿《国家安全地球物理丛书》越出越精彩！

刘代志

2008年9月15日

目 录

军事地球物理学的过去、现在与未来	刘代志	(1)
海洋地球物理与我国海洋安全	邢 磊 刘怀山 张 进	(10)
地球磁场模型与变化磁场特征	杜爱民 赵旭东 徐文耀	(16)
地球变化磁场对地磁匹配制导影响分析		
..... 王仕成 张金生 王 哲 苏德伦 乔玉昆 陈励华		(23)
FMI 算法的疏漏及其修正	齐 玮 李夕海 刘代志	(31)
地球物理方法在军事领域的应用思考	张金城 范启雄 韩若飞	(36)
天然地震预警系统原理及其应用	刘怀山 黄光南 童思友 张 进	(42)
基于地下声波的水下目标预警综述	刘怀山 孙更文	(50)
海上天然地震震源定位及灾害预警	黄龙泽 刘怀山	(57)
基于地下声波的水下目标预警距离测算	刘怀山 李高林 王林飞	(62)
自适应短时傅立叶变换在地震波信号分析中的应用	孟 亮 李夕海	(68)
杂波环境的建模仿真技术及其应用	牛 超 黄世奇	(75)
中子、 γ 射线对半导体器件辐射效应模拟研究		
..... 王 冬 何 彬 罗忠辉 李如松 张全虎		(81)
中子共振照相技术研究	张全虎 王 冬 王中杰 何 彬	(86)
一台 HPGe γ 谱仪在地震前的性能变化	弟宇鸣 宋 仓 张全虎 何 彬	(90)
含氢正比管测量中子能谱的数值模拟	尹武林 何 彬 王 冬 张全虎	(93)
核设施安全评估的两种方法及其比较	张全虎 何 彬 王 冬 张达求	(96)
利用地震 SV 波探测矿山采空区安全性的研究		
..... 徐白山 周红帅 王启军 石战杰 胡延林		(99)
地震灾害对地下工程的威胁与防范对策研究		
..... 张金城 乔俊建 韩若飞 刘 菲 李 锐 范启雄		(104)
遥感技术在浅层地下水勘测中的应用	于德浩 龙 凡 邓正栋 关洪军	(108)
TBM 施工隧洞的管片地质雷达影像特征	韩吉民 孙 毅 管 真	(118)
复杂地形条件下深埋地下洞室瞬变电磁法探测的模拟实验研究		
..... 韩吉民 王 巍 陈剑杰		(122)
电法探测深地下空洞的方法探讨	李 成 韩吉民 杨 峰 陈剑杰 王 巍	(129)
解析延拓在桃村磁法勘探中的应用	朱 琳 刘怀山	(134)
高光谱寻的技术初探	李夕海 何元磊 刘代志	(140)
高光谱图像光谱匹配技术述评	何元磊 刘代志	(144)
CFD 在烟幕扩散数值模拟中的应用与实现	宋仔标 刘代志	(149)
超分辨率图像重建及其应用	蔡欣华 黄世奇	(154)

基于离散 Gabor 变换的特征提取及其在核爆地震识别中的应用	韩绍卿	李夕海	(161)		
基于最速下降法的非实心圆柱磁性体中心位置确定方法研究	孙瑞凯	李夕海	(166)		
一种基于 IFT 特征的无人机视频图像自动拼接方法	王 寒	刘志刚	(170)		
油气地球物理勘探与国家能源安全	黄光南	刘怀山	童思友	张 进	(176)
东海天然气水合物地震资料 AVO 处理	童思友	王瑞敏	刘怀山	吴志强	(183)
海洋天然气水合物 BSR 特征研究	郭 磊	童思友	黄光南	(189)	
地球物理环境情报搜集系统研究	王 凯	刘代志	李东旭	齐 玮	(195)

军事地球物理学的过去、现在与未来

刘代志

(第二炮兵工程学院 西安 710025)

摘 要 军事地球物理学作为一门新兴交叉学科,是近几年才提出来加以建设和发展的。对该学科的研究历史、现状和未来发展进行研究,很有必要,也是学科发展所必需的。本文首先回顾了军事地球物理研究领域的诞生与发展、技术的应用与开拓性成果;然后,对我国的研究发展现状、存在的问题等等进行了分析;最后,对本学科的未来发展战略提出了笔者的浅见。

关键词 军事地球物理 研究领域 发展战略

国家安全地球物理学(National Security Geophysics)是中国地球物理学的一个分支学科,国外称之为“军事地球物理学”(Military Geophysics)。从近期国外(特别是美国)解密的报告(如美国的AD报告^①)可以看出,近期军事地球物理研究在国际上呈现出范围广泛而系统深入的持续发展态势,并出现了一些新的发展动向。

1 军事地球物理研究领域的诞生与发展

早在一战时就开始有军事地球物理研究与应用,二战之后,世界上一些军事强国即开始了较系统深入的军事地球物理研究,应用范围不断扩大,并成立了相应的机构来组织和实施相关研究计划。比较突出的是苏联科学院领导和组织实施的地震武器系列计划(如媒体上经常出现的“水星计划”、“火山计划”等等),美国空军领导和组织实施的气象武器系列计划(如“天火计划”、“暴风雨计划”等等);德国军事地球物理办公室(German Military Geophysical Office)几十年来也组织实施了一系列研究计划,1957年德国还在菲斯滕费尔德布鲁克空军基地(Fürstenfeldbruck Air Base)设有专门为全军培养军事地球物理学顾问的学校——军事地球物理学学校(School for Military Geophysics),受德国国防部和空军局军事地球物理处的双重领导^②。依据1958年2月12日的85-325(-7)号公众法案,根据美国国防部指示成立的高级研究计划署(ARPA: Advanced Research Projects Agency,后改名为DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency),是一个众所周知的国防科技管理机构,它有两项任务:一是执行国防部部长赋予的研发计划,二是向国防部部长推荐可行的附加计划。依据第一项任务,1958年春天,ARPA即被授权负责空间技术、导弹防御系统和推

^① AD报告原为美国武装部队技术情报局(ASTIA: Armed Services Technical Information Agency)编辑出版的科技报告,始于1951年,由ASTIA统一编号,ASTIA Documents,简称AD报告;现由美国国防技术情报中心(DTIC: Defense Technical Information Center)负责收集整理和出版,主要是美国陆海空三军科研机构的科技报告。

^② 菲斯滕费尔德布鲁克空军基地始建于1935年,目前有4个单位:第一空军师,空军军官学校,空军航空医学院和军事地球物理学学校,详见<http://www.mil-airfields.de/de/fuerstenfeldbruck.htm>。

进剂化学。依据第二项任务,1958年7月8日ARPA要求国防分析研究所成立一个代号为“137计划”研究工作组,任务是:“确认在对国家安全(National Security)能作出贡献的科学领域尚未受到足够重视的问题,推荐解决这些问题和继续确认重要的新问题的技术或组织手段。”其研究报告被设为“秘密”级,直到1991年才解密。该报告中有一节专门讨论了“军事地球物理”(Military Geophysics)^[1],这是目前在国外文献中见到的最早提出“军事地球物理”这一概念的研究报告。

国外的军事地球物理研究是从军事气象学开始的,至今已发展到军事空间天气。二战结束后,除美苏等发达国家秘密研究和发展地球物理武器(气象武器等已应用于实战,如人工造雾、消云消雾、人工降雨等等)外,军事地球物理研究领域不断拓展。从军事气象到军事空间天气(为航空航天作保障),从法医地球物理(Forensic Geophysics,如军控核查中的核试验监测与识别)到军事工程地球物理(用于各种军事工程建设与环境评估中的地球物理方法技术),从军事情报侦测地球物理(各种遥感遥测与军事目标伪装等侦测反侦测中的地球物理方法技术)到军事地球物理环境^①监测与信息获取(为军事行动提供地球物理环境状态信息,如重力、地磁、电磁辐射等等地球物理场参数;大气层、电离层、战区固体地球物理环境信息获取技术等),地球物理学已渗透到军事领域的方方面面。鉴于此,2002年5月,在华盛顿召开的美国春季地球物理年会中特设了“地球物理与恐怖主义”(Geophysics and Terrorism)的专题,探讨现在的地球和空间科学研究以及环境监测等地球物理技术在反恐怖行动中的重要意义及应用^②;2003年澳大利亚勘探地球物理学家协会(ASEG: Australian Society of Exploration Geophysicists)第16届会议上设立了一个专题:法医和军事地球物理学(Forensic & Military Geophysics)^[2,3]。

我国在军事地球物理领域的研究已有几十年的历史。从20世纪60年代的核爆探测开始,我们在卫星侦察、国防工程、气象、空间环境(空间物理与空间天气)等等诸多领域都开展了较广泛的军事地球物理研究。2001年“9·11”事件以后,重新掀起对地球物理战与地球物理武器的探讨^[4],2003年开始探讨在我国建立一门新的交叉学科——军事地球物理学(Military Geophysics)^[5,6],2004年中国地球物理学会常务理事会和陕西省地球物理学会常务理事会正式授权,开始筹备成立“军事地球物理专业委员会”,2005年11月,在第二炮兵工程学院正式成立了中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会和陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会。在此之前,已成立了“军事海洋学会”,其中亦涉及军事海洋地球物理学方向。2007年在贵阳成立了中国地球物理学会空间天气专业委员会,其中亦涉及“军事空间天气学”方向,有关这方面的内容,在此不再赘述。

2 以往研究的特点与核监测技术成果

保密的原因,世界各国在军事地球物理领域的研究成果都受到各自保密制度的约束而难以及时进行交流,更谈不上及时公开。从解密的科技报告来看,不难发现这样几个特点:①

① 军事地球物理环境在国外英文文献中有两个类似的名字,一是 Military Geophysical Environment,一是 Military Geophysical Condition。二者含义相当,前者外延似乎更广一点,后者注重于作战中所涉及的战场地球物理状态。

② 详见 <http://agu.org/cgi-bin/sessions?meeting=sm02&part=U22A&maxhits=100>。

地球物理学各领域发展的新技术和开拓性研究成果几乎都可以在军事领域得到应用,同样,在军事领域的方方面面也都在发展和应用地球物理技术与研究成果;②许多军事地球物理研究成果都具有军民两用的特点,而且,军事地球物理研究项目也多与民用地球物理研究项目互相兼容,既可以保密,又确实兼顾了军民两用的特点,典型的如 GPS、GIS、各种仿真技术等;③即使是国际上公开讨论的军事地球物理研究领域,如军控核查技术、空间环境监测、仿真模拟等等方面,国内外均建立了相应的保密制度。鉴于此,我们拟从公开的文献资料分析入手,仅对国外核爆监测技术及开拓性成果简要介绍如下。

自有核武器以来,核爆监测与后来的军控核查就是一项以地球物理探测为主要手段的、以军事应用与国家安全为目的的地球物理工作。1995 年下半年开始,美国能源部(DOE)有计划地开展了瞬发事件快速在轨记录(FORTE: Fast On-Orbit Recording of Transient Event)小卫星试验研究。FORTE 现已成为科学家们研究瞬发事件的理想平台,并在宇宙膨胀、云层放电、风暴识别等领域开展了大量卓有成效的研究。闪电和超级闪电是核爆光辐射的最大近似噪声源。近年来,国外主要对闪电、超级闪电与光辐射的信号特征差异进行了研究,建立了一些经验性判据,可以基本有效地对闪电及核爆进行识别^[7]。

核爆电磁脉冲的主要进展在源特征方面,国外重点研究了电磁脉冲的产生机理。对 X 射线、 γ 射线、中子源产生核爆电磁脉冲的机制进行了仿真建模。传播模型方面除了对三种波导传播的途径及衰减特性进行建模研究外,主要还研究了核爆高度对电磁脉冲传播模式的影响机理。目前核爆电磁脉冲的研究热点是地下核爆的等离子层核电磁脉冲探测法,该方法进行了初步的理论探讨及实验论证,认为结合其他探测手段可以有效地提高识别精度。在现代战场的复杂电磁脉冲环境下,核爆电磁脉冲的研究除了探测技术的发展外,还结合了电磁脉冲对武器装备的损伤效应研究,研究内容包括对核电磁脉冲损伤机理的确定,以及武器装备,尤其是电磁脉冲探测装置的防护方法,这是目前核电磁脉冲研究的重点方向^[8]。

核爆次声波探测技术主要是用于研究大气核爆炸次声波信号数据的一项技术,其基本识别定位技术相对比较成熟,电容及光纤次声传感器也获得了一定的发展。但是由于噪声的存在,其定位精度一直是研究的难点,所以,应重点发展传播模型及大气模型^[9~11]。核爆水声探测技术的发展热点在于研究地震和水声站协同探测方法以及水声传播模式的转变^[12]。水下核爆炸是和平利用核爆炸以及逃避核查进行的核试验的一种形式,对其研究,还有利于对海底地震及海底结构等进行研究^[13]。

核爆地震监测要回答三个问题:地震事件的位置在哪里?事件的震源类型是什么?如果是爆炸,事件的震级是多少(Dale N. Anderson, 2005)?而要定位和识别事件,都需要研究核爆地震波区域特征及传播特性。对地震波的区域特征、传播过程及地球内部结构的研究,是核爆地震探测技术的地震学基础。尤其对接收到的远震信号的识别,很大程度上取决于对其传播过程的了解程度。因此,近年来地震学分析法的发展大大促进了核爆地震探测技术的发展。在地震波反演技术方面,随着地震数据记录的持续增加和计算机计算能力的大幅提高,并基于层析成像等方法的应用,建立各区域的高分辨率三维(3D: Three-Dimensional)地球结构模型是目前及将来地震探测的重点发展方向^[14];地下核爆炸设计中的空腔构造研究也是核爆地震识别技术的应用热点,Ari Ben Menahem 研究了散射环境下的非球体空腔爆炸的地扰动源函数及其在天然地震与核爆地震识别上的应用^[15]。核爆地震识别技术是核爆侦测研究的重点发展方向,主要研究仍沿着两种研究思路展开:①对地震波波形、频谱进行分析、处理、

计算得到一些具有较明确物理意义的特征,构成一系列识别判据,有时也将几个特征组合形成多维特征判据,来进行地震事件的分类判别;②从模式识别的角度,对地震信号(主要是数字信号,或曰时间序列)进行分析处理,提取一系列数值特征,通过设计和训练各种分类器来实现地震事件的分类判别。具体表现在: P 波初动及其波形复杂性判据, mb : M_s 准则, P/S 及其他振幅比,频谱分析和模式识别^[16]。目前核爆侦测的难点和重点是地下人工化学爆炸和地下核爆炸的监测与识别研究。

3 我国的军事地球物理研究历史与发展现状

从历史上看,我国属于军事地球物理性质的研究工作开展得也很早,主要是军事气象、物理大地测量等领域所涉及的地球物理研究。但是,作为一个学科来建设和发展,则是近几年的事。从历史与现状相结合的视角,本文对我国的研究发展现状有重点、有选择地加以简要分析。

3.1 历史的简要回顾

我国卫星事业的开创者、著名地球物理学家赵九章教授1964年12月27日在给周恩来总理的信中说:“从美国和苏联已发射的卫星的情况来看,人造卫星是直接用于国防或服务于国防的。……就美国发射的卫星来说,至今年11月份为止,据不完全统计(因有些秘密卫星没有公布),共计发射了288个,成功的228个。直接用于国防的,在发射成功的228个中为174个。直接用于国防或服务于国防的卫星中,包括美国公开宣称的秘密卫星(绝大多数用于侦察核爆炸和导弹发射)和间谍卫星等。……不属于上述一类的卫星,也还是和国防有关的……如探险者系列(共发射了34个,成功24个),表面上看来,也好像是为了纯科学目的,探测高空辐射带,高空磁场等等,其实探测辐射带的仪器和探测核爆炸后产生的放射性粒子的仪器,原理是一样的。由此可以说,所有的人造卫星,几乎都是与国防有关的。”^[17]我国的人造地球卫星的研制与应用研究正是地球物理学家们领头进行的一项首先具有明显军事应用目的的地球物理探测活动。从20世纪60年代初开始,除了空间环境探测、模拟、效应等一系列研究之外,1963年3月20日国家专委下达“320”任务,即正式开展了核爆炸信息侦察。为此,中科院地球物理研究所第七室组织了核爆炸速报系统研究。除了进行核武器研制所需的核爆炸效应探测外,远区核爆炸探测研究也一直延续至今,且随着国际军控核查形势的发展而得到进一步加强。

在地球物理环境监测与基础信息获取领域,最初主要是区域重力测量和地磁测量。这方面的工作军地同时在进行,总参测绘总局和国家测绘局在区域重力测量方面是领导组织机构,几十年来建立了较系统全面的基础数据库;军(总参系统)地(中科院系统等)在基础理论与方法技术方面也取得了一系列成果。在区域地磁测量方面,主要有中科院地球物理研究所以及后来分出来的中国地震局地球物理所负责进行的“中国地磁图”及地磁模型的测量、编(研)制与更新,国土资源部(原地矿部)航测遥感中心(原航测遥感大队)负责组织实施的中国航磁图测量与编制。除此之外,还有国防工程建设中进行的局部地球物理异常场测量,包括武警黄金部队的勘探地球物理研究工作。

3.2 研究现状与国际差距

我国在军事地球物理学科所取得的成就与国际差距,概括起来有以下几个特点:一是国家安全(军事)地球物理学作为一门新的交叉学科,在我国建立的时间不长,但军事地球物理研究工作的历史并不很短(有如上述);二是与国家安全(军事)相关的地球物理分支学科很多,几乎涵盖了地球物理学的各个研究领域,这与国家安全领域所涉及的范围广有关,所以,相关地球物理分支学科所取得的成就与国际差距,事实上也反映出军事地球物理学科的现状;三是和国际上的情况一样,我国军事地球物理研究也多以任务专项的形式出现,所取得的成果难以具体表现。尽管如此,我国在地球物理环境监测与基础信息获取方面所取得的成就是有目共睹的,如区域重力、地磁测量,大气物理与气象,空间物理与空间天气,航空航天与对地观测、水文与工程地球物理、浅层军事目标地球物理探测等领域所取得的成果都具有重大的军事应用价值,有些成果已直接为国家安全服务,或为军事活动提供了重要技术保障。当然,与国际上的差距也是明显的。下面仅从核爆炸监测与识别这一军控核查领域中的重要研究方向作一简要分析。

“全面禁止核试验条约”(CTBT: Comprehensive Test Ban Treaty)于1996年9月24日在纽约联合国总部开放以来,条约各成员国将依照本国的法律规定履行批约程序,尤其是条约核查手段的完善工作。全面禁核试条约国际监测系统(IMS: International Monitoring System)是联合国裁谈会科学专家组(GSE: Group of Scientific Expert)在广泛总结各国地震学家关于地下核试验侦察和识别的经验及研究成果的基础上,充分利用现代数字地震学方法和最新网络信息技术,经过三次大规模全球技术联试(GSETT: GSE Technical Test)而发展起来的智能化准实时、多功能数据监测系统。IMS采用了4种监测手段:地震、放射性核素、水声和次声,相应地建立了各自的台站。地震台站设基本台(Seismic Primary Station)50个,辅助台(Seismic Auxiliary Station)120个;放射性核素站(Radionuclide Station)80个;水声站(Hydroacoustic Station)11个;次声站(Infrasound Station)60个。其中,中国有基本地震台2个,辅助台4个,放射性核素站3个,放射性核素实验室1个,次声站2个。

自1991年起我国参加了全球地震核查试验,在北京设立了国家数据中心(NDC: National Data Center);与美国合作的数字地震台网——CDSN(China Digital Seismic Network)建成之后,1992—2001年,中美双方执行了CDSN二期技术改造计划^[18];2002年,在中国科技部支持下,以CDSN二期技术改造后形成的准实时数据通信系统为基础,开始构建CDSN地震数据实时/准实时分析系统的硬件平台,创建一个具有国际水准的、适合于实时地震学研究的数字地震实时分析处理的基本软环境,开展实时与非实时地震波形数据的应用研究,该实时分析系统已于2007年5月完成结题验收^[19]。这一新系统的建立,对核爆地震监测与军控核查将发挥重要作用。

我国从20世纪60年代初即在傅承义、许绍燮院士领导下开展了地震核侦察研究,我国地震台上报的核爆侦察第一张速报报告是王碧泉和曲克信先生作出的^[20]。以往的核爆地震识别主要采用两类方法,一类是地震学的方法,即用震源深度、面波震级比等地震学特征参数来进行判别;另一类是用统计模式识别方法对地震波进行自动解释,即用复倒谱、频率三次矩、谱比值等数学特征通过各种分类器来进行识别。但是,识别结果尚不理想,以至地震学家得出这样的结论:对于天然地震和地下核爆炸,看来并不存在一个理想的鉴别判据^[21]。20世纪

90 年代中期,核爆地震的统计模式识别研究进展不大,人们仍然是用地震学的方法进行研究^[22]。所以,1995 年国际军控谈判专家组仍然认为,要准确无误地识别地下核试验尚无把握^[23]。

从 1995 年开始,我们团队用地球物理方法与模式识别方法相结合的“灰箱”方法,在模式识别过程中,综合应用非线性科学与现代信号处理理论,发展出一条有地球物理特色的智能核爆地震模式识别研究思路,取得了一些进展:研究了地震信号预处理中对地震波信号进行初至点检测的方法,提出了一种新的基于小波包分解的 AR 模型信号初至点检测方法,该方法较好地解决了 AR 模型信号初至点检测方法和基于二进小波分析的信号奇异性检测方法在实际应用中存在的问题;总结了以往核爆地震模式识别中各种传统的时域、频域特征,将传统的时域、频域特征统一并推广为时频平面上的矩特征和复杂度特征,提出了利用互模糊函数图像,时频平面上的时频面积比和累积分布等作为新特征;利用离散小波变换对侦测信号进行多尺度分解,提出了小波包分量比特特征、能量分形特征;把分形、混沌理论应用于侦测信号的时序分析,提出了基于相空间重构的时间序列相空间分布特征;研究了 PCA 主分量分析法在特征选择中的应用,提出了一种新的基于最优分类准则的 PCA 方法,它保证了压缩后的特征子空间其分类信息(基于某种分类准则)损失最小,取得了比较理想的实验结果;以特征子集两两间相关系数绝对值之和的大小作为标准,并结合类间距判据,提出了一种新颖的次优特征子集自动选择算法;将序优化思想和 Gamma Test 思想进行融合,提出了基于序优化和 Gamma Test 的特征选择算法,能有效地解决特征组合爆炸问题;对特征相空间分析方法进行了理论分析,利用多种理论模型,采用数值试验方法验证了特征相空间同原始相空间之间在关联维计算上的等价性,从而为应用特征相空间方法确定侦测信号的最小不相关特征数下界提供了依据;利用从时域地震信号中提取的各种特征值来构造相空间,对四组样本进行计算的结果发现,在该相空间中存在两个“吸引子”:地下核爆炸吸引子和天然地震吸引子;求得吸引子的关联维数均为分数维,且小于相空间的维数;当相空间的维数从低到高增加时,吸引子维数明显出现饱和值;不同吸引子的分维数不同,进而提出了在特征相空间中计算吸引子关联维的方法,以及特征相空间中的吸引中心、吸引域的概念,从而在工程应用意义上解决了目标识别的特征量下界、训练样本选择等问题;在确定训练样本集的规模的实验中,通过对实验结果进行分析,我们发现,在特征相空间中,当样本集的容量大到吸引子能充分展开后,样本数继续增加对结果已影响不大,因此可以选取嵌入维达到饱和时,吸引子能充分展开的最少样本数,作为训练样本集规模上界的估计;将主成分分析的思想融入到 BP 神经网络分类器的结构确定中,提出了一种基于 PCA 的 BP 神经网络结构确定算法;针对神经网络在欠定学习状态下,网络训练时期学习精度高而检验时期泛化能力差的问题,提出了一种基于随机辅助样本拟合误差次优准则的神经网络 GA 泛化学习方法,从而较好地解决了欠定网络学习推广能力差的问题;通过实验验证了同类样本之间的相关性大于异类样本之间的相关性这一现象,并基于此结合最近邻和 K-近邻分类器的设计思想,提出了一种新的 K-相关分类器和变权 K-相关分类器;将核函数的思想融入 K-相关分类器中,提出了一种基于核函数的 K-相关的分类算法;将支撑向量思想和最近邻特征线分类方法相融合,提出了一种基于最近邻支撑向量特征线融合的分类算法;将支撑向量思想应用到协同模式识别的原型模式选择中,提出了一种基于支撑向量样本加权平均的原型模式选择算法,并在此基础上与信息叠加算法相结合,进一步改善了原型模式选择的有效性;将变权思想融入到协同模式识别的

注意参数设置中,提出了一种变步长的注意参数设置算法和一种更广义的基于核函数的协同模式识别算法;将隐马尔可夫模型应用于核爆地震模式识别,提出了前后向隐马尔可夫模型组合方法,以综合利用侦测信号时序结构中的正、反向依赖信息;把统计相关分析应用于核爆炸模式识别,特别是应用于核爆炸的单站定位检测,提出了一种基于单特征识别率的改进的线性判别函数分类方法;将分类器组合方法应用于核爆地震模式识别,针对基于模糊积分的分类器组合规则,提出了确定模糊密度的门限方法,并将混沌优化方法应用于门限参数的确定;把模糊综合判决、模糊聚类 and 模糊变权等方法应用于分类器设计,提出了多重模糊变权、模糊聚类和多层模糊综合判决方法^[24]。

与国外发达国家相比,存在的差距除体现在科技层面外,主要反映在以下三个方面:一是国防科技管理体制上,国外在 20 世纪 50 年代即有军事地球物理研究计划管理机构,或国防科技管理部门设有国家安全(军事)地球物理专题研究计划;二是我国在该学科领域开始有计划有系统的研究时间晚,且尚未形成系统和气候;三是国防(军队)对本学科研究应用的重要性和价值认识尚不足,有的部门尚无认识,所以科技管理部门亦未有计划地设置专题研究计划项目。

4 军事地球物理学科面临的问题与发展前景

从上述三个方面的差距可以发现,我国军事地球物理学科面临三个方面的问题:一是观念和认识方面的问题,国防科技管理部门一般都把地球物理学作为一门基础学科,主要在民用,如资源、环境与工程,是广义的国家安全,于军事领域的应用有限,所以在军事地球物理学科发展对国家安全的重要性上认识不足,往往头痛医头、脚痛医脚,因而缺乏系统的计划性;二是科技管理体制方面的问题,由于存在观念和认识上的问题,所以各部门只针对具体问题寻求地球物理学的帮助,没有建立相应的科技管理机构,更谈不上建立像美国 DARPA 那样的统一管理机构;三是军地研究长期分割隔离,互不交流,我国地球物理工作者绝大多数从事民用方面的研究,很少从事军事地球物理研究,而且不少学者因涉密而不愿进入本学科领域,所以本学科领域研究自我封闭,力量相对薄弱。

如果能解决上述三个方面的问题,本学科的发展前景将会十分广阔。理由有三:一是国家安全领域对地球物理学存在现实需求;二是国防科技实力要提高,不可能背离国防科技发展规律,信息时代军队信息化建设对军事地球物理学科的发展必然提出迫切要求;三是军事地球物理学科自身发展要求,以及国际上相关学科领域的交流与促进,必然推动本学科在广度和深度上全面发展。因此,我们要坚持科学发展观,走科技强军的道路,就必须发展有中国特色的军事地球物理学。当然,前途是光明的,道路是曲折的,任重而道远。

5 军事地球物理学的未来发展

地球物理学不仅是六大基础学科之一——地球科学中的一个分支学科,而且是一门具有鲜明应用特色的应用基础学科,在国民经济和国家安全各个领域都得到了前所未有的广泛应用,在 21 世纪进一步发展我国的地球物理学,其重要性和意义不言而喻。而军事地球物理学科的发展,其重要性和意义在于:应对信息时代世界新军事变革的挑战和并不安定的国际形

势对我国国家安全构成的威胁,同时也是我国军事地球物理学自身发展的需要。

笔者认为,军事地球物理学科发展的指导思想是:以国家安全对地球物理学的需求为牵引,以军事地球物理研究引导国家安全需求,建立统一的国防科技管理机制,顶层设计我国军事地球物理研究与发展,在国防科技管理部门设立相应委员会协调管理我国军事地球物理研究计划的制定与实施,使本学科研究成果与国家安全应用需求相统一,学科自身得到全面系统的发展。

任何一个学科的发展都离不开研究课题的支持,军事地球物理学的未来发展同样需要相关研究方向上的课题支持。除了国家 973、863、国防预研已经资助的领域或课题外,我国应当优先资助开展以下几方面的研究:①军事地球物理环境监测与基础信息获取理论、方法技术与地球物理探测装备研究;②异常地球物理环境变化预测预报模式,异常环境对军事装备与活动的影响效应仿真模拟及评估研究;③重要目标的地球物理侦测与反侦测理论、方法技术与仪器装备研究;④国防工程地球物理领域中的关键技术与仪器装备研究。

参考文献

- [1] Institute for Defense Analyses Advanced Research Projects Division. Identification of Certain Current Defense Problems and Possible Means of Solution. 1970 Group-4 Document Markings, 4 Apr. 1991
- [2] ASEG 16th Conference and Exhibition: Growth Through Innovation. Preview ASEG, 2003 (18), 或见: <http://www.aseg.org.au/conference/Adelaide/default.htm>
- [3] 陈颢,李娟.2001年地球物理学的一些进展.地球物理学进展,2003,18(1):1-4
- [4] 陈英方,等.军事应用地震(地球物理)学研究进展概况.地震科技情报快讯,2003(11)
- [5] 刘代志.军事地球物理学刍议.第二炮兵工程学院学报,2003,17(4):1-6
- [6] 刘光鼎,刘代志.试论军事地球物理学.地球物理学进展,2003,18(4):576-582
- [7] L. W. Thomason, et al. The Effects of Clouds on the Light Produced by Lightning [J]. American Meteorological Society, 2005, 1882-1886
- [8] Robert A. Roussel-Dupre, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NH 87595 USA (e-mail: bobld@lanl.gov). Prompt Nuclear EMP and Synchrotron Radiation: A Resolution of Two Approaches [J]. IEEE Transaction on Eletromagnetic Compatibility, 2005, 47(3): 552-558
- [9] David E. Norris, BBN Technologies. Time-Domain Modeling Techniques and the Study of Infrasound Propagation [C]. 26th Seismic Research Symposium, 2004, 654-659
- [10] David Norris¹, Joydeep Bhattacharyya, Rodney Whitaker. Development of Advanced Propagation Models and Application to the Study of Impulsive Infrasonic Events [C]. 28th Seismic Research Symposium, 2006, 919-925
- [11] Michael S.O' Brien¹, J. Roger Bowman, et. al. Improved Infrasound Locations Through Refining Atmospheric Models Using Wind Data and Ground-Truth Infrasound Events [C]. 28th Seismic Research Symposium, 2006, 926-935
- [12] Zachary M. Upton¹, Joydeep Bhattacharyya¹, et. al. Improving the Physical Understanding of Hydroacoustic Blockage Statistical and Model Based Studies [C]. 27th Annual Seismic Research Symposium, 2005, 749-758
- [13] Eric Matzel, Abe L. Ramirez, Philip E. Harben. Model-Based Hydroacoustic Blockage Assessment and Development of an Explosive Source Database [C]. 27th Annual Seismic Research Symposium, 2005, 733-739

- [14] Douglas, A. Forensic Seismology Revisited [J]. *Surv. Geophys.*, 2007, 28 (6): 1-31
- [15] Ari Ben Menahem. Seismic Source Functions for Explosions in a Non-Spherical Cavity Embedded in a Scattering Environment; Application to the Regional Discrimination of Nuclear Explosions and Earthquakes [J]. *Geophys. J. Int.*, 1997, 128 (7): 97-124
- [16] Dale N. Anderson, Deborah K. Fagan, Mark A. Tinker, Gordon D. Kraft, Kevin D. Hutchenson. A Mathematical Statistics Formulation of the Teleseismic Explosion Identification Problem with Multiple Discriminants. 29th Monitoring Research Review; Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, 2007, 526-530
- [17] 叶笃正. 赵九章纪念文集, 北京: 科学出版社, 1997
- [18] 周公威, 等. 中国数字地震台网的现状和近期发展 [J]. *地震学报*, 2005, 27 (1): 109-116
- [19] 周公威, 等. 中国数字地震台网 (CDSN) 的近期发展 [J]. *地球物理学进展*, 2007, 22 (4): 1130-1134
- [20] 许绍燮, 等. 地震核侦察进展简况 [M]. *核爆效果侦察*, 1985, 154-162
- [21] 吴忠良, 陈运泰, 牟其铎. *核爆炸地震学概要*. 北京: 地震出版社, 1994
- [22] Jiakang Xie, et al., Spectral Characteristics of the Excitation and Propagation of Lg from Underground Nuclear Explosion in Central Asia. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101 (B3): 5813-5822
- [23] CD/1341. Progress Report to the Conference on Disarmament on the Forty-First Session of the Ad Hoc Group of Scientific Experts to Consider International Cooperative Measures to Detect and Identify Seismic Events. Conference on Disarmament, 1995
- [24] 刘代志, 吴晓露, 李夕海. 核爆地震识别技术回顾与展望. *地球物理探测与应用* [M]. 西安: 西安地图出版社, 2007, 24-37