

国家安全地球物理丛书（三）



地球物理 探测与应用

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（三）

地球物理探测与应用

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

地球物理探测与应用/刘代志主编. —西安:西安地图出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-80748-187-4

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(2007)第 182893 号

地球物理探测与应用

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 14.5 印张 372 千字

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—500

ISBN 978-7-80748-187-4

定价: 60.00 元

《国家安全地球物理丛书（三）》编委会

主 编：刘代志

副 主 编：刘光斌 龙 凡 张金城

执行编委：刘志刚 李夕海 王仕成 刘怀山 高增勇

《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：刘光斌 龙 凡 孙更文 靳 平

委 员：（按姓氏笔画为序）

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 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 徐贵明 曾新吾

韩天成 韩吉民 靳 平 滕云田

前 言

2007年是陕西省地球物理学会成立20周年、中国地球物理学会成立60周年的喜庆之年。陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会和中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会也已成立三年了。

2005年11月17日在第二炮兵工程学院召开了两个专业委员会的成立大会暨首届“国家安全与军事地球物理学术研讨会”，公开出版了由专业委员会主任委员刘代志教授主编的会议论文集——《国家安全与军事地球物理研究》。2006年9月11~12日在沈阳召开了第二届国家安全地球物理学术研讨会，公开出版了由专业委员会副主任委员龙凡少将主编的国家安全地球物理丛书（二）——《国家安全工程地球物理研究》，并商定以2005年出版的《国家安全与军事地球物理研究》作为国家安全地球物理丛书（一），以后每年争取公开出版一本论文集，形成国家安全地球物理丛书系列。2007年出版的本论文集——《地球物理探测与应用》为国家安全地球物理丛书（三）。

本论文集收录论文37篇，内容主要包括：军事情报侦测地球物理，军事地球物理环境，军事空间天气等。

本论文集的出版得到了上级学会领导，以及中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院刘光鼎院士的肯定与指导，并支持我们在中国地球物理学会学术年会上开设“国家安全地球物理研究”专题，目的有二：一是为国内同行专家学者在年会上提供一个学术交流的平台；二是征集国内同行专家学者愿意提供全文发表的论文，以便编入当年的国家安全地球物理丛书论文集。从2007年开始，我们将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——国家安全地球物理丛书，欢迎大家赐稿。

本论文集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。学院冯政杰院长、科研部邵军勇部长给予了有益的指导，并从出版经费上给予重要支持。

值此文集出版之际，我们要向所有给予关心和支持的领导、专家和同志们表示衷心的感谢。我们相信，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会更加健康、稳步地发展，并在国家安全与军事应用领域取得丰硕成果。

刘代志

2007年9月2日

目 录

浅议侦测工程中的几个地球物理问题.....	刘代志	(1)
在未知地质条件下反演远距离震源点位置的探索与实践	张金城 李 锐 刘 菲 韩若飞	(7)
利用地震波确定弹着点位置 (一): 理论基础	刘怀山 黄龙泽 张佳佳	(14)
利用地震波确定弹着点位置 (二): 实际应用	刘怀山 张佳佳 黄龙泽	(19)
核爆地震识别技术回顾与展望.....	刘代志 吴晓露 李夕海	(24)
一种新的基于主成分分析的原型模式选择方法及其在核爆地震识别中的应用	韩绍卿 刘代志	(38)
台阵 f-k 分析质量评估原理及其实现	严 锋 范广超 靳 平	(43)
次声信号自动提取技术研究.....	阙 刚 王晓航 栗松北	(48)
瞬变电磁法 S-反演与二维拟地震偏移成像研究	龙 凡 韩天成	(55)
简述稠密大气层天气与空间天气及其耦合.....	高增勇	(59)
热层、电离层和中层大气探测的新方法和新技术研究.....	焦维新 高增勇 陶 勇	(66)
空间环境与现代军事活动.....	高增勇 吴小林	(72)
空间天气对航天活动影响的评估方法研究.....	吴小林 陶 勇 高增勇	(76)
用 GPS 掩星方法探测中高层大气和电离层参数	焦维新 陈鸿飞 高增勇 陶 勇	(83)
美国雷电研究现状.....	徐 萍 赵洪涛	(88)
基于磁异常的目标侦察技术.....	李夕海 刘代志 王仕成	(94)
基于 WMM2005 的地磁计算	王仕成 苏德伦 张金生 乔玉坤 陈励华 杨小冈	(100)
使用 WMM2005 进行地磁匹配制导的可行性初探	王仕成 张金生 苏德伦 乔玉坤 陈励华 杨小冈	(105)
试论地磁场 H 分量所包含的信息量.....	齐 玮 李夕海 刘代志	(112)
磁暴地磁水平分量 ARIMA 模型建模	李志刚 荣长军 何志文 易世华	(119)
北京地磁台地磁场变化特征初探	易世华 齐 玮 李志刚 刘代志	(124)
多通道 GPS 中频信号仿真器的研制.....	刘光斌 张 博 焦 巍 范志良	(127)
高动态 GPS 信号仿真器方案设计研究.....	刘光斌 焦 巍 张 博 刘 冬	(134)
军事环境与工程地球物理探测方法及其应用	王 寒 黄世奇	(143)
构建针对导弹武器使用的复杂电磁环境初探	张晓安 洪 亮	(151)
碳纳米材料烟幕电磁干扰特性研究	王红霞 刘代志 宋仔标	(156)
烟幕气溶胶粒子沉降和扩散的数值模拟	宋仔标 刘代志	(162)
SAR 图像变化检测技术及其应用研究	黄世奇 刘代志	(166)
地质雷达技术及其在军事地球物理中的应用	王 凯 刘志刚	(173)
地下水污染的地球物理探测	孟 亮 李夕海	(178)

军事侦察中的两类图像超分辨率方法	刘志刚	钱昌松	(183)
美军打击效果评估技术的现状分析	刘志刚	钱昌松	(187)
基于统计模型的高光谱异常探测	陈 亮	刘代志	(191)
基于模极大值和分层搜索策略的无人机序列图像拼接	李树甫	钱昌松	韩庆生 (196)
一种新的经验模态分解及其应用初探	钱昌松	刘志刚	胡重庆 刘代志 (201)
巡航导弹制导特点及其光电干扰途径	荣长军	李志刚	刘代志 (206)
水中爆炸荷载下混凝土重力坝动力特性分析	孟会林	刘代志	孙新利 (212)

浅议侦察工程中的几个地球物理问题

刘代志

(第二炮兵工程学院 西安 710025)

摘要 军事地球物理学研究中的一个重要研究方向是军事情报侦察地球物理学。在军事情报侦察工程中涉及许多地球物理问题,对这些问题的研究是解决军事情报侦察工程问题的关键环节。本文以导弹侦察工程中涉及的地球物理问题为例,探讨了军事情报侦察工程中的几个地球物理问题。

关键词 侦察工程 军事地球物理学 军事情报学

1 引言

1995年,笔者通过调研学习之后,在撰写《侦察工程专业总体发展规划》中提出建立一门新的学科——侦察工程学(Engineering Science of Reconnaissance and Measurement),学科专业名称即为“侦察工程”;1996年,发表了《“侦察工程学”刍议》^[1]。文献[1]“从缘起,内涵与外延,研究对象,研究内容和研究方法以及与其他学科的关系等方面探讨了建立一门新的军事情报学的分支学科——“侦察工程学”的有关问题。”^[1]文献[1]还按军种将侦察工程学分为陆军侦察工程学、海军侦察工程学、空军侦察工程学和战略导弹部队侦察工程学,并从系统要素的角度将研究内容分为侦察工程原理与应用、侦察工程设备原理与应用和侦察工程信息处理与应用;从系统层次的角度则分为侦察工程理论与方法技术、侦察工程设备和侦察工程实践;从情报信息的获取过程角度则分为侦察信息采集、侦察信息传输和侦察信息处理与解释^[1]。针对具体的侦察工程问题则需采用不同的侦察方法。以战略导弹部队的军事情报侦察工程为例,侦察工程方法有:光测侦察方法,红外线跟踪测量方法,水声、次声、电磁脉冲、地震波探测方法,无线电技术侦察方法,照相侦察方法,雷达侦察方法,电视侦察方法等等^[2]。从侦察平台所处空间位置、侦察工程方式可分为航天(航天飞机、空间站、卫星等)航空(侦察飞机、气球等)侦察,地面侦察和海上与水下侦察;从侦察工程方法的物理背景还可分为声、光、电、震、磁、密度等侦察手段。而很多侦察工程方法都涉及地球物理背景,甚至可以说,它们本身就是地球物理探测方法,如水声、次声、电磁脉冲、地震波探测等方法,可以叫做军事情报侦察地球物理方法。因此,在侦察工程中必然要涉及一系列地球物理问题。值得指出的是,本文所论地球物理问题,都是广义地球物理学中的问题,涉及临近空间、气圈、水圈和岩石圈等等地球各圈层。有鉴于此,笔者以导弹侦察工程中的地球物理问题为例,从航天航空、地面地下、水上与水中三个空间区域的侦察工程角度,探讨一下有关的地球物理问题及其研究思路与研究进展。

2 航天航空侦测工程中的地球物理问题

航空磁测方法是二战期间苏联科学家发明的,当时主要用来探测德军的潜艇和水雷。战后,苏联科学家将航空磁法用于寻找磁铁矿和大地构造填图。后来国际上进一步发展航空物探方法,发展出航空重力法、航空电磁法、航空放射性(γ 能谱)法、航空红外法和航空气测(化探)法等^[3~9]。但是,直到目前为止,航空物探方法最成熟、最有效、使用最广的仍然是航空磁法。在航天航空侦测工程中,目前使用最多的方法是可见光、红外摄影、雷达成像、多光谱、高光谱(超光谱)和各种电子侦察(包括核爆炸等专题侦察卫星)等^[10~18]。在军事情报侦测地球物理研究领域中,航天航空侦测工程是主要研究方向。而航天航空侦测工程中的地球物理问题主要涉及三个方面:一是航天遥感侦测中地球大气层、电离层等对目标物的电磁辐射传输的影响^[19~21];二是临近空间物理环境对目标定位的影响;三是各种地物目标的地球物理特征(如辐射特性、反射特性、密度、磁性、介电性等)。其中,最重要的是各种军事目标的地球物理特征在地球物理场上的表现,即地球物理异常场,而光谱特征、对电磁波的反射特性、地磁异常场特征等又是最有代表性的地球物理特征(性)。

基于空基(机载与星载)的成像光谱仪从可见光到红外波段记录的地物太阳反射或发射的光谱能量,在数百个窄波段(5~10 nm)分别成像,记录地物(表观)光谱,形成空间—光谱的三维数据,具有地物精确识别的潜力。高光谱图像因其丰富的地表信息及其独特谱像表示方式,在军事上具有很高的应用价值。因此,研究各种军事目标的高光谱特性和从高光谱图像处理中识别目标是一类重要的军事情报侦测地球物理问题。

美国是高光谱遥感技术研究领先的国家,它在军事应用研究方面规划很清晰,已经把包括高光谱遥感在内的多光谱遥感器的测试与评估纳入了新一轮的武器更新中^[22,23]。已启动的美国国防部的高光谱遥感项目正在发展高光谱成像技术,作为国家遥感体系的组成部分,将使之在昼夜都具备快速精确的威胁鉴别能力和太空、空中及地面目标定位能力。此外,美国一直支持高光谱成像数据分析项目,研发高光谱数据分析工具,以形成高光谱自动处理系统^[24]。美国空军、海军和陆军分别制定了各自的高光谱遥感仪与数据处理的研究计划^[25~27],以满足美国在战略、战役和战术层次的应用需要。在加拿大、意大利和德国等其他国家,高光谱遥感技术也发展得很早很快,且易使用于军民两用的航空航天遥测平台。跟随世界遥感技术的前沿,中国也研发了几种航空高光谱成像仪,如 OMIS、PHI 等。近年来,高光谱遥感技术的发展前景也引发了各领域的研究者参与高光谱技术的理论方法与应用研究,但国内主要是在植被研究和环境监测等领域^[28],同时也开始了一些有军事应用前景的人工目标分类识别相关研究^[29,30]。

研究目标反射特性的航天航空侦测手段是合成孔径雷达(SAR)。SAR 是一种主动微波相干成像雷达,它具有高分辨力和全天候、全天时、大面积、远距离的成像探测能力。SAR 技术从 20 世纪 50 年代诞生起,从低分辨率、单波段、单极化、单模式、单基地、单平台、单视角,到高分辨率、多波段、多极化、多模式、多(双)基地、多平台、多视角,再到干涉体制和全极化体制的出现以及动目标显示,充分显示了其在对地观测领域中的卓越性能,现在已经成为微波传感器中发展最迅速和最有成效的传感器^[31,32]。20 世纪 90 年代至今,欧洲空间局,加拿大、日本、俄罗斯、德国等国家相继发射星载 SAR,如 ERS, RadarSAT, JERS,

SIR-C/X-SAR 等。我国于 20 世纪 70 年代开始 SAR 成像技术研究,在机载方面已达 $1\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的分辨率,但离美国 $0.3\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 的高分辨率还有一定的距离。今后 SAR 成像继续向高分辨率发展,无人机载 SAR 也是重要的发展方向。在军事领域,SAR 的全天候、全天时的成像能力在传统的光学和红外传感器观测困难的地区有着特别的意义,SAR 具有一定穿透植被和遮盖物的能力,很容易辨别地面的伪装目标和隐藏于山林中的军事目标,如识别一般伪装的导弹地下发射井、识别云雾笼罩地区的地面目标、通过不同时相的 SAR 图像检测目标变化情况^[33~36]。

此外,利用航天航空侦测技术探测局部地磁场的磁异常来获取情报就是一种有效的途径。1985 年 Arkani-Hamed 等人就曾利用美国宇航局于 1979 年 10 月发射的 MAGSAT 磁测卫星绘制了加拿大的标量磁异常图^[37];1987 年 Taylor 等人也绘制了苏联库尔斯克地区的卫星磁异常图;1991 年 Baldwin 等人绘制了非洲卫星磁异常图等。通过分析和处理这些磁异常图可以获得有价值的经济与军事情报。

对于航空磁测,美国曾于 1980—1990 年期间执行了代号为“磁铁”的航磁测量计划,目的是编制全球地磁图,其飞行高度定在 $4.6 \sim 7.6\text{ km}$,航行精度由最初的 9.3 km 逐步改善到 100 m ,其磁测使用三分量磁通门磁力仪,实际测量精度达到 $\pm 15\text{ nT}$ ^[38]。此外,美国奥斯汀德克萨斯大学地球物理研究所于 1994 年在 Wilson 及其邻区为环境灾害调查进行了航磁测量^[39],采用氦光泵磁力仪(灵敏度 0.01 nT)和 GPS 系统($\pm 2\text{ m}$),飞行高度普查 100 m ,详查 30 m 。普查磁测结果经滤波处理后清楚地显示了油气管网,磁测详查结果确定了有记录的全部 10 口油井的位置(目前地面已无痕迹),圈定了幅度仅为 10 nT 异常的化学垃圾区(废弃的铀矿加工厂和废矿坑)。以上结果表明航磁测量能清楚地分辨并确定地下油井的位置。从这点上来看,若使用高精度磁力仪对特定军事区域进行航空磁测,并降低飞机的飞行高度(或将磁测数据向下延拓),是完全可以获取局部区域的磁异常数据进而确定其位置。

综上所述,航天航空侦测工程中的地球物理问题主要是各种地物目标,特别是军事目标的地球物理侦测信息(高光谱图像、SAR 图像、磁异常等)处理与特征识别。

3 地面(地下)侦测工程中的地球物理问题

地面(地下)侦测工程包括各种地面地球物理探测手段与方法技术(如重力、磁法、地震、探地雷达等等),地下侦测工程主要是井中地球物理探测手段与方法技术(包括各种井中物探手段与方法技术)。除了核爆炸侦测中所涉及的地球物理问题(核爆侦测工程包括核爆地震、次声、电磁脉冲、水声、光辐射、冲击波等探测方法技术,关于这方面的地球物理问题,本丛书有系列文献涉及,此处不赘述)外,地面(地下)侦测工程中所涉及的地球物理问题主要是各种目标,特别是军事目标所在的地球物理环境(包括各种地球物理信号的传播介质环境等)和地球物理特征信息的获取与识别处理。如磁法勘探在探测失事飞机残骸^[40]、遗留炮弹^[41]和地下洞穴^[42]等方面所开展的研究,还有军事设施选址与环境评价、废弃的军事设施环境评价和环境污染探测与评价等等^[43~46],都是地面侦测工程中的重要地球物理问题。地下侦测工程中的地球物理问题研究与地面侦测工程中的地球物理问题类似,只是求解地球物理问题的空间维度发生了变化(由二维或二维半空间变成了三维空间),而探测器移动范围通常由平面空间网格测点变成了一维离散测点。

4 水面（水下）侦测工程中的地球物理问题

水面或水下侦测工程主要采用声纳、电磁波、重力、磁场探测等方法。水中声纳探测又是主要的侦测手段与方法技术^[47~50]。沿海光电侦察技术^[51]，机载激光侦察水下目标技术^[52]，高频地波超视距雷达^[53]等技术手段也是水面（水下）侦测工程中的重要方法技术。在水面或水下侦测工程中的地球物理问题中，除了侦测工程中的地球物理机制问题外，主要是各种侦测方式与侦测信号分析与处理问题，如测向、目标识别等等。此外，水面/水中磁场监测和目标定位与识别，海上重力与地磁导航等等也是水面或水下侦测地球物理研究的重要内容。

5 结束语

侦测工程中涉及许多军事地球物理问题，有的与一般地球物理学问题相同或相似（即地球物理探测原理相同或相似），有的则有其独特性。特别是军事情报侦测工程中的许多地球物理问题，因其敏感性和保密的要求，涉及的一些地球物理问题也就有其特殊性，主要是涉及各种地球物理特性及其特征参数。而这些地球物理问题的研究又是军事地球物理研究中的重要内容，有赖同行专家在维护国家利益的前提下开展广泛而深入的合作。因此，期待国内同行专家参与到国家安全地球物理研究行列中来，为我国的军事地球物理研究和军事地球物理学学科建设作贡献。

参考文献

- [1] 刘代志. “侦测工程学”刍议 [J]. 第二炮兵工程学院学报, 1996, 10 (4): 1-3
- [2] 军事情报学编写组. 中国军事百科全书——军事情报学分册 [M]. 北京: 军事科学出版社, 1992
- [3] 陆克. 俄罗斯航空物探新思路 [J]. 国外地质勘探技术, 1995 (1): 29-30
- [4] 郭良德. 国外航空物探发展趋向 [J]. 中国地质, 1996 (6): 30-32
- [5] 王守坦. 航空物探技术 [J]. 地学前缘, 1998, 5 (1~2): 224-230
- [6] 线纪安. 航空物探的技术现状及其应用 [J]. 地质找矿论丛, 2003, 18 (增刊): 191-195
- [7] 郭良德. 西方国家航空物探技术的若干进展 [J]. 物探与化探, 2000, 24 (5): 340-345
- [8] 周坚鑫. 国外航空重力测量在地学中的应用 [J]. 物探与化探, 2004, 28 (2): 119-122
- [9] 张洪瑞, 范正国. 2000年来西方国家航空物探技术的若干进展 [J]. 物探与化探, 2007, 31 (1): 1-8
- [10] 姚怀钧. 国外卫星军事应用技术发展概况 [J]. 国际太空, 2000 (6): 20-22
- [11] 王四红, 刘义, 王光文. 商业成像情报卫星的现状和发展趋势 [J]. 上海航天, 2002 (2): 49-52
- [12] 王泽和. 沿海光电侦察技术 [J]. 激光与红外, 2000, 30 (4): 195-197
- [13] 陈茂良, 徐捷. 现代电子侦察卫星的应用与发展 [J]. 国际太空, 2001 (10): 16-18
- [14] 曲长文, 何友. 空载 SAR 发展状况 [J]. 遥感技术与应用, 2001, 16 (4): 242-247
- [15] 喻光正. 无人机 SAR/MTI 侦察技术中若干问题的探讨 [J]. 电讯技术, 2001 (4): 1-5
- [16] 赵勇, 徐永胜. 国外海洋监视卫星系统的现状与发展趋势 [J]. 电讯技术, 2002 (5): 154-160
- [17] 曲长文, 何友, 龚沈光. 机载 SAR 发展概况 [J]. 现代雷达, 2002 (1): 1~10, 14
- [18] 付小宁, 李西安. 单站被动定位及光电实现 [J]. 华北工学院测试技术学报, 2002, 16 (1): 45-47
- [19] 马蔼乃. 遥感概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1984

- [20] 吕斯骅. 遥感物理基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1981
- [21] 孙星和. 宇航遥感物理基础 [M]. 北京: 地震出版社, 1990
- [22] Fiscal Year 2004 (U. S. A.). President's budget submission for the Operational Test and Evaluation [R]. Defense (OT & E, D) appropriation (0460); R - 2a Multi - spectral Sensors Test & Evaluation. Feb. 2003
- [23] Department of Defense (U. S. A.). Space Technology Guide: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance [R] . FY2001-01, 8-1-7
- [24] Air Force (U. S. A.). DOD in-house RDT & E activities report; MightySat I program, MightySat II. 1 program [R]. FY2000, 8-9
- [25] United States Air Force Scientific Advisory Board. Report on A Space Roadmap for the 21st Century Aerospace Force. Volume 1; Summary, Nov. , 1998, 19-21
- [26] United States Air Force Scientific Advisory Board. Report on A Space Roadmap for the 21st Century Aerospace Force. Volume 1; Summary, pp. 19-21, Nov. , 1998
- [27] R. L. Crout, C. Kent. Current Navy Applications of Satellite Remotely Sensed Data [A]. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03), Vol. 2, July 2003, 1026-1028
- [28] Army Hyperspectral R & D Consortium. The Way Forward[R]. U. S. Army Topographic Engineering Center Technical report. Number: ADA413170, 05 Feb 2002
- [29] Qingxi TONG, etal. Hyper Spectral Remote Sensing Technology and Applications in China [A]. Proc. of the 2nd CHRIS/Proba Workshop, ESA/ESRIN, Frascati, Italy April (ESA SP - 578, July 2004), 28-30
- [30] 李智勇, 匡纲要, 邹焕新, 等. 基于特征层融合的高光谱图像异常检测算法研究 [J]. 遥感学报, 2003, 7 (4): 304-308
- [31] 易尧华, 梅天灿, 秦前清, 等. 高光谱影像中人工目标非监督提取的投影寻踪方法 [J]. 测绘通报, 2004 (2): 20-24
- [32] (美) John C. Curlander, Robert N. McDonough. 合成孔径雷达: 系统与信号处理 [M]. 韩传钊, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2006
- [33] 保铮, 刑孟道, 王彤. 雷达成像技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [34] 黄世奇, 刘代志. 基于散射特性的 SAR 图像目标变化检测研究 [M]. 信号与信息处理技术及其在生命科学中的应用 [A]. 2006; 145-148
- [35] F. Bovolo, L. Bruzzone. A Detail—Preserving Scale—Driven Approach to Change Detection in Multitemporal SAR Images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43 (12): 2963-2972
- [36] Y. Bazi, L. Bruzzone, F. Melgani. An Unsupervised Approach Based on the Generalized Gaussian Model to Automatic Change Detection in Multitemporal SAR Images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43 (4): 874-887
- [37] P. Gamba, F. Dell' Acqua, G. Lisini. Change Detection of Multitemporal SAR Data in Urban Areas Combining Feature—Based and Pixel—Based Techniques [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44 (10): 2820-2827
- [38] 安振昌, 谭东海, 王月华, 等. 亚洲 MAGSAT 卫星磁异常图 [J]. 地球物理学报, 1996, 39 (4): 461-468
- [39] 徐文耀. 地磁学 [M]. 北京: 地震出版社, 2003
- [40] 管志宁, 郝天珧, 姚长利, 等. 21 世纪重力与磁法勘探的展望 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17 (2): 237-244

- [41] 何敬礼. 高灵敏度磁力仪在寻找坠落飞机残骸中的应用 [J]. 物探与化探, 1999, 23 (6): 470-473
- [42] 李远强, 李祥强等. 利用高精度磁法探测地下遗弃炮弹 [J]. 北京地质, 2002, 14 (2): 40-45
- [43] 温一波, 石小平等. 磁法勘探解析延拓算法在探测地下洞穴中的应用 [J]. 云南大学学报: 自然科学, 1998, 20 (1): 47-50
- [44] Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers. Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations [R]. AD Report, 1995
- [45] Stone, Webster. Former Warehouse Area Site Investigation Report [R]. Environmental Technology and Services, 1997
- [46] Jose L. Llopis, Janet E. Simms, Dwain K. Butler, John O. Curtis, Harold W. West. WES—Site Characterization Investigations in Support of UXO Technology Demonstrations [R]. Technical Report GL—98—20, 1998
- [47] Katharine Kadinsky — Cade, Steven Cardimona. Proceedings of the Environmental Site Characterization and Monitoring Basic Research Program [R]. PL—TR—95—2047, ERP, 1995: 1170
- [48] 李汉清, 戴修亮. 美国海军正在发展的水下探测系统 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26 (4): 37-38, 51
- [49] 李启虎. 进入 21 世纪的声呐技术 [J]. 应用声学, 2002, 21 (1): 13-18
- [50] 岳剑平. 水下动目标被动跟踪研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2004
- [51] 杨益新. 声呐波束形成与波束域高分辨方位估计技术研究 [R]. 西北工业大学博士学位论文, 2002
- [52] 王泽和. 沿海光电侦察技术 [J]. 激光与红外, 2000, 30 (4): 195-197
- [53] 付伟, 侯振宁. 机载激光侦察水下目标技术的发展现状 [J]. 激光与红外, 2001, 31 (2): 71-72
- [54] 刘春阳, 王义雅. 高频地波超视距雷达述评 [J]. 现代防御技术, 2002, 30 (6): 38-46

在未知地质条件下反演远距离震源点位置的探索与实践

张金城 李 锐 刘 菲 韩若飞

(第二炮兵指挥学院阵地保障教研室 武汉 430012)

摘 要 利用地震仪检测远距离震源产生的地震波,推演震源的位置,对于天然地震预报、反恐和侦测重大爆炸等事件具有重要作用。本文通过有针对性的试验,运用已有的地球物理勘探和数据处理方法,探索了远距离震源点的定位问题。

关键词 震源 反演 地震波 传播速度

目前,对于在未知地质条件下接收远距离震源(100 km 以上)地震波并反演震源点位置的问题,还未见对其进行深入系统研究的报道。课题组在 2007 年 4 月进行第一次试验的基础上,于 2007 年 7 月进行了第二次验证性试验,并对实验数据作了初步分析。

1 反演震源点的基本理论方法

由于地质条件复杂,无法预知地震波在地下传播的实际路径和速度。因此,我们在研究中,把问题简化为地震波在震源与排列构成的平面上,以某一视在速度 V' 进行圆形扩散传播,视在速度 V' 等于地震波实际传播速度 V 在震源点与检测点之间连线上的投影速度的平均值,如图 1 所示。

理论上震源点是未知的,我们需要通过处理接收到的地震波信号来反演震源点,但实际上我们可以预先知道震源点的大致方位,即震源点会在某一区域内,可以在震源点所处的区域内以某一长度为步长设定网格,每个网格节点都有可能是震源点。如果假设包括真实震源点在内的每个网格节点都会产生一个独立的地震波信号,就可以知道

除了真实的震源点以外,其他的网格节点产生的地震波无论以何种速度进行传播都不可能在排列上产生与真实记录完全吻合的波形。即只有当真实的震源点产生的地震波以真实的视在速度传播时,各道的初至地震波信号振幅值叠加起来才是最大的。因此,只要网格步长足够小,通过计算所有节点以所有可能的速度传播地震波,并比较各个振幅叠加值,其中产生最大振幅叠加值的节点和速度就是实际的震源点和实际的视在速度。

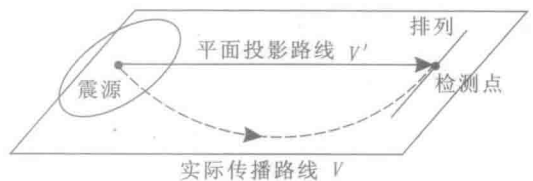


图 1 实际速度 V 与视在速度 V'

2 试验情况

为了探索反演远距离震源点位置的理论和方法,我们在江汉平原进行了一次远距离爆破定位试验。

2.1 地理信息

为提高精度,试验共布置了两条排列接收地震波的信号。其中一条排列布置在湖北省沙市附近(文中将此排列称为沙市排列),另一条排列布置在江陵县附近(文中将此排列称为江陵排列),两排列中点之间的距离大约为 32 km。每一条排列布置有 60 道,道间距为 50 m。震源点选择在两排列中心连接线的中垂线上,分别距离两排列中心连接线 30 km、60 km 和 100 km。具体布设及震源点的大地坐标如图 2 所示。

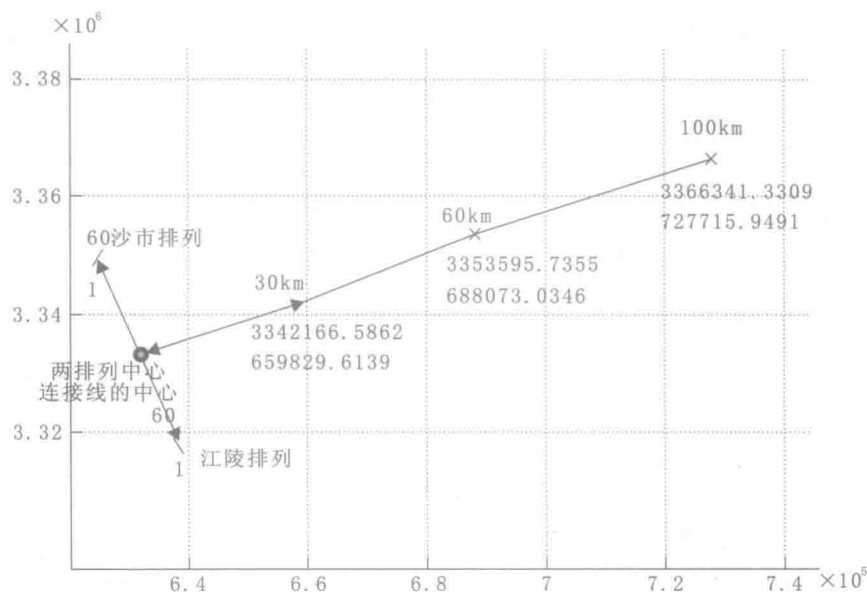


图 2 江汉油田试验布设图

2.2 试验仪器设备

- ①地震仪为租用江汉油田物探公司的 2 台法国 SN388 (PAM) 地震仪。
- ②采集站使用 SN388 地震仪专用采集站 SU6A/SU6B。
- ③检波器型号为 SS-10N。
- ④2 台地震仪使用 MACHA 震源同步系统的主从功能同步启动仪器,在无线方式下测试两台编码器钟 TB 时差 ≤ 1.5 ms。

2.3 震源情况

30 km 处震源为 12 kg 硝氨炸药,60 km 处震源为 20 kg 硝氨炸药,100 km 处震源为 24 kg 硝氨炸药。3 处震源点均用钻井设备打井 10 m 深左右,再将炸药填入井中,以增强地震

波信号以及减少地面破坏。

3 计算方法

我们以实际震源点为中心, 设置一个与大地坐标轴平行的 60×60 的网格, 步长为 20 m, 即假设震源点在这个 1.2 km 见方的区域内。各网格节点坐标由实际震源点的坐标通过计算产生。

(1) 假设某一节点为震源点时, 该节点至检测排列各道的距离可通过计算得出, 当地震波以某一速度从该节点传播至检测排列时, 第一个接收到地震信号的检波器与其他各道接收到地震信号的道间时差为:

$$\Delta t_{i-f} = \frac{S_i - S_f}{v}$$

式中, Δt_{i-f} ——第 i 道与第一个接收到地震信号的检波器之间的道间时差;

f ——第一个接收到地震信号的道号;

S_i ——该节点与第 i 道之间的距离;

S_f ——该节点与第一个接收到地震信号的检波器之间的距离;

v ——假设的地震波传播的视在速度。

(2) 对各道的地震波信号振幅值进行叠加。当某一节点产生的地震波信号以某一速度传播时, 各道的道间时差可以确定, 即初至波在各道检波器上产生的波形形状是可以确定的。如果按照该波形形状从所记录的地震波信号中叠加各道数据, 叠加后幅值最大的就是真实的初至波。叠加幅值为:

$$S_k = \sum_{i=1}^n D_i(k)$$

式中, S_k ——第 k 次叠加和;

k ——采样时间序列, k 值范围从 1 至总采样点数;

i ——第 i 道;

n ——排列总道数;

$D_i(k)$ ——第 i 道在第 k 次叠加时的振幅值。

按照上述方法, 计算出所有节点在所有可能的假定视速度情况下, 所有该波形的叠加和。由于噪声将在检波器上产生没有规律的随机振幅, 而地震波在检波器上产生的检测值具有极性, 因此, 在理想的情况下, 所有叠加结果中, 叠加值最大的采样点所对应的节点和速度即为实际震源点和实际传播视速度。

4 试验数据初步分析结果

根据以上理论, 课题组编制了相应的计算程序, 对已经做了前期数据处理的试验数据进行了一些尝试性的分析。下面以 100 km 震源、江陵阵列的数据分析为例进行说明。

4.1 验证 100 km 处激发的地震波能否在阵列中接收到

为简便起见, 在此过程的分析中采用的方法是将一个宽度一定的时窗框, 沿采样时间进