

国家安全地球物理丛书（七）

地球物理与核探测

主编 刘代志



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（七）

地球物理与核探测

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

地球物理与核探测/刘代志主编. —西安: 西安地图出版社, 2011. 11

(国家安全地球物理丛书; 7)

ISBN 978-7-80748-790-6

I. ①地… II. ①刘… III. ①地球物理勘探—应用—核试验—核观测 IV. ①TJ91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 228173 号

著作人及著作方式: 刘代志 主编

责任编辑: 徐 韬

书 名: 地球物理与核探测

出版发行: 西安地图出版社

地址邮编: 西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷: 西安地质矿产研究所印刷厂

规格开本: 787×1092 毫米·1/16

印 张: 27

字 数: 681 千

印 数: 001—500

版 次: 2011 年 10 月第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-80748-790-6

定 价: 68.00 元

《国家安全地球物理丛书（七）》编委会

主 编：刘代志

副 主 编：靳 平 黄世奇 李夕海

编 委：（以姓氏笔画为序）

王仕成 龙 凡 李夕海 刘代志 刘志刚

刘怀山 杜爱民 张金城 黄世奇 靳 平

《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） 魏奉思（院士） 游光荣（总工）

徐文耀（研究员）

主 任 委 员：刘代志

副主任委员：龙 凡 靳 平 王仕成 刘怀山 张金城

秘 书 长：李夕海

委 员：（以姓氏笔画为序）

于德浩 王仕成 王晓航 王胜国 王 哲 龙 凡 边少锋

刘 刚 刘代志 刘光斌 刘怀山 刘志刚 刘新学 刘 波

刘 俊 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 余志勇 张金城 张效信 张全虎

张金生 陈 洁 吴时国 何 彬 郑 毅 郑 重 查石祥

高增勇 高 超 郭有光 陶 勇 顾左文 徐白山 黄世奇

童思友 曾新吾 韩天成 韩吉民 靳 平 慕晓冬 滕云田

前 言

地球物理环境是人类赖以生存的基础，是国家安全保障的重要内容。2011年3月在日本发生的地震所引发的福岛核电站泄漏事件，给亚太地区周边国家的安全带来了挑战。近年来在世界各地频繁发生的极端天气所带来的各种自然灾害，引起了全球的极大关注。此外，2011年美国与俄罗斯就新的军控核查条约达成协议并生效实施，这给世界和平和发展带来了极大鼓舞。人类与自然的协调与共处是建立和谐、文明、持续、发展的人类社会的必然要求。但是，地球本身的活动以及人类改造客观世界的活动，必然会影响地球物理环境。对固体地球物理探测理论、方法与技术的研究和应用仍然是当今世界科技活动的一个热点；军控核查是维护世界和平与地区稳定的重要方式和有效监督手段。为了进一步研讨固体地球物理在军控核查的应用，推动国家安全与军事地球物理学科的发展，服务于国家安全大局，故本次研讨会的主题为“固体地球物理与军控核查”，由西北核技术研究所办。

2010年11月，在第二炮兵工程学院召开的以“空间地球物理环境与国家安全”为主题的第六届国家安全与军事地球物理学术研讨会上，经全体专业委员会委员讨论一致认为，从2011年开始，每年出版的丛书内容以每年的会议主题为主，同时设置相对固定的其他专题。因此，本届论文集的题目为《地球物理与核探测》，即国家安全地球物理丛书第七辑。本论文集收录论文65篇，内容主要包括以下几个方面：（1）军控核查与次声探测；（2）核爆、地震与爆炸的探测与识别；（3）磁暴、电磁、地磁、重力场等探测理论与应用；（4）空间环境、空间天气与大气及其影响；（5）海洋环境探测及水下目标探测；（6）物探及

空间遥感探测技术；(7) 其他勘测技术，如地质勘测、工程勘测等。

中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院院士刘光鼎先生，多年来一直关心和指导本专业委员会的工作，中国地球物理学会领导给予了大力支持。本辑丛书的出版继续得到了本专业委员会挂靠单位第二炮兵工程学院的资助，学院王耀鹏院长和科研部首长给予了有益的指导。今年恰逢第二炮兵工程学院升格为第二炮兵工程大学，以此作为厚礼回赠学院的长期支持和资助。

本辑丛书收录的论文数量和质量有了很大的提高，内容几乎涉及军事地球物理各个领域，这与各位委员和国内同行专家的大力支持是分不开的。因此，借本辑丛书出版之际，谨向所有给予我们关心和支持的首长、专家和同志们表示真诚的谢意。同时，我们希望在领导、专家的指导和支持下，在各位委员和同行专家的共同努力下，继续推进国家安全与军事地球物理学科全面、健康发展，拓宽军事地球物理学的应用领域，提高理论与应用研究水平，愿《国家安全地球物理丛书》一年上一个台阶，不断进步。

刘代志

2011年9月30日

目 录

禁核试核查地球物理探测技术的发展.....	朱双华 (1)
核爆地震识别算法新进展.....	韩绍卿 刘代志 李夕海 (8)
地下爆炸源等效地震矩张量的理论反演.....	朱号锋 靳平 肖卫国 (15)
卫星遥感技术在不扩散核武器核查方面的应用.....	张全虎 刘杰 左广霞 黎素芬 (22)
禁核试核查地震信息系统中的地震事件库建设及其质量控制	 张慧民 郑学锋 刘文学 (27)
低震级重复矿山爆破的相关检测.....	王红春 靳平 何燕 (35)
美俄新核裁军条约的现场视察程序	 黎素芬 许鹏 左广霞 弟宇鸣 邱晓林 张全虎 (45)
卫星遥感在全面禁止核试验条约验证中的作用.....	张金城 范启雄 周家丹 (51)
切尔诺夫脸谱图与核爆地震识别.....	王仁明 陆晓鹏 孙伟 (56)
基于 Web Service 的核爆炸地震监测基础数据库函数接口技术研究	 金赞 郑学锋 张慧民 孙鹏 徐雄 (63)
基于新疆暨附近地区地震台站的地震事件区域性识别判据研究	 潘常周 靳平 卢娜 (69)
基于差异性度量的多分类器融合及其在核爆地震识别中的应用	 冯军 李夕海 祁树锋 (80)
次声监测在 CTBT 核查中的应用	林源根 姜猛 王晓航 董靖 (87)
克里金走时标定技术研究.....	苏亚军 靳平 (95)
宁夏实验次声观测台阵与其数据处理技术	 陈虎虎 王同东 沈旭峰 唐云凯 李欣 王敏超 卢娜 张晓鹏 (104)
综合地震信号整体特征的震相识别和关联技术研究	 张诚臻 靳平 王红春 沈旭峰 卢娜 (110)
次声测量降噪管阵列设计	沈旭峰 陈虎虎 靳平 王同东 (117)
Fisher 检测在次声信号检测中的应用	沈旭峰 靳平 陈虎虎 (124)
核爆次声监测的发展及思考	徐萍 陈蛟 冯军 (131)
关于天基探测近地核爆瞬发辐射的思考	范启雄 段成君 杨威 (137)

地表起伏对 CLVD 源 Rg 波谱低谷点影响的数值模拟研究 ...	徐恒垒 靳平 刘文学	(143)
次声信号检测技术现状与展望	陈蛟 李夕海 曾小牛 祁树锋 冯军	(150)
微震监测中定位方法的初步研究	肖卫国 唐云凯 靳平 陶良小 王军	(158)
天山和邻区地壳上地幔速度结构及地震波传播		
.....	刘文学 李欣 张慧民 王红春 徐恒垒	(167)
钻地核弹爆炸探测方法探讨	张金城 范启雄 杨威	(175)
空间环境态势感知技术需求分析	王胜国 孙姣 陈凤贵 谢志辉	(181)
基于地物波谱特性的高光谱图像目标检测与识别	刘代志 何元磊 黄世奇	(187)
美国海军航空磁探潜技术概况	周坚鑫 高维 舒晴 刘利军 尹航	(194)
航空物探技术在军事领域中的应用分析	王卫平 周坚鑫 周锡华 吴成平	(199)
1.06 μm 激光在大气气溶胶中的传输特性	王红霞 宋仔标 孙超 李磐石	(205)
核事故应急航空放射性监测方法	米耀辉 肖刚毅 王蓬	(211)
SSH 框架在地震数据共享中的应用	孙鹏 郑学锋	(216)
基于卫星资料的中高层大气风场分析	黄华 陈凤贵 王胜国 谢志辉	(221)
电磁波在雨中的传输衰减特性研究	孙超 王红霞 傅关新 李磐石 孙振	(225)
星载合成孔径雷达技术进展与趋势分析	刘志刚 张伟 陈振	(230)
基于高光谱遥感图像的地物特征反演模型研究初探		
.....	王百合 刘代志 黄世奇 李义红	(237)
基于 IMF 分量比的核爆与雷电电磁脉冲识别	祁树锋 李夕海 曾泰 张晓倩	(244)
核爆核素探测发展研究及建议	范启雄 周家丹	(248)
浅析 SAR 图像的判与读	刘志刚 陈振 张伟	(251)
高光谱遥感图像波段选择现状研究	王艺婷 黄世奇 刘代志	(256)
基于均值漂移的红外目标跟踪算法综述	徐青松 王仁明 刘代志	(262)
基于知识驱动的地下水综合探测技术研究	龙凡 于德浩 边玉龙	(267)
日本核泄漏辐射物扩散对我国环境安全影响的研究		
.....	陈凤贵 朱玉先 陈光明 王也英 王世远 韩文兴	(272)
地震映像法在涵洞探测中的应用		
.....	赵维娜 刘怀山 张进 王林飞 石太昆 岳振欢	(279)
微震工程检测与应用技术	李学政 唐云凯	(284)

封记技术的薄弱性研究	左广霞 弟宇鸣 张全虎 黎素芬 秦晋 许雄	(290)
剩余静校正在地震资料处理中的应用	李婧 刘怀山 童思友 刘晨	(297)
气候变化影响国家安全的主要途径	谢志辉 王胜国 陈凤贵 黄华	(302)
基于 ANSYS/LS-DYNA 的土中爆炸数值模拟	刘伟 郑毅 程先有	(306)
基于经验周期模态单元滤波消除地震波中的汽车震动干扰的方法	何志文 钱昌松 吴晓露	(311)
基于 Dst 指数的磁暴发生率统计分析	王仁明 齐玮 李冰	(318)
地磁匹配导航最佳匹配特征量选取方法研究	王哲 赵大磊 周源	(323)
综合利用航磁梯度测量构建区域磁场模式	骆遥 段树岭 王平	(332)
海洋重力场与重力辅助导航	高德章	(339)
重力梯度测量对仪器的精度要求分析	吴琼 滕云田 郭有光	(343)
热红外遥感技术在水源侦察中的应用	于德浩 龙凡 赵宝民 韩天成 边玉龙	(350)
利用水下立体观测系统探测水下移动目标	卢志君 童思友 邱娜	(360)
水下大型工程的岩体完整性探测与评价方法研究	石光益 徐白山 王永增 穆林森	(365)
综合物探在桃村采石场小断层探测效果	魏晓华 刘怀山 童思友 王林飞 马海	(372)
基于线性声传感器阵列信号包络线叠加的运动车辆检测方法	陶良小 靳平 王军 王同东 唐云凯 朱维	(379)
车辆目标地面振动信号的识别技术研究	朱维 靳平 陶良小 唐云凯	(385)
InSAR 技术在卫星监测中的应用研究	芦颖 倪维平 严卫东 边辉	(392)
基于 TM 图像某场地地质解译研究	王培忠 严卫东 马心璐 边辉 孙彬 郑刚	(403)
无源雷达分类及其发展研究	张文华 杨晓君 陈振 刘志刚	(409)
具有信息屏障功能的神经网络识别系统的方案设计	许鹏 左广霞 黎素芬 秦晋	(415)

禁核试核查地球物理探测技术的发展

朱双华

(中国人民解放军某部)

摘 要 本文介绍了《全面禁止核试验条约》(CTBT)规定的地球物理探测核查技术及其作用,禁核试条约组织(CTBTO)核查技术谈判进展,禁核试核查地球物理探测技术研究进展及其发展趋势等。提出了以掌握关键技术和形成重点能力为目标,深化地球物理探测技术在禁核试核查中的应用研究,不断提高我国自主的核查体系水平和核查技术能力的发展思路。

关键词 禁核试核查 地球物理 国际监测系统 现场视察 探测技术

CTBT Verification of Geophysical Detection Technology Development

ZHU Shuanghua

(A certain PLA Unit)

Abstract: This paper introduces the Comprehensive Nuclear — Test — Ban Treaty (CTBT) provides geophysical verification technology and its effect, CTBT Organization verification technology progress of negotiation, CTBT verification of geophysical detection technology research progress and development trend. Put forward to master the key technology and the formation of key ability as the goal, Deep geophysical detection techniques in CTBT verification application research, Continuously improve our own verification system level and verification technology ability the development train of thought.

Key words : CTBT verification; Geophysical; International Monitoring System (IMS); On—site inspection (OSI); Detection technology

1 引言

禁核试核查既是联合国《全面禁止核试验条约》(CTBT)的客观要求,也是有核武器国家核威慑力量的组成部分^[1-4]。地球物理探测技术是CTBT规定的重点核查技术方法之一,是条约组织(CTBTO)国际核查系统和缔约国国家核查体系的重要内容。研究与发展我国自主的禁核试核查地球物理探测技术,对掌握关键技术、建立核查体系、形成核查能力、推动学科发展、树立大国形象、保护国家利益具有重要意义和作用。

2 全面禁止核试验条约规定的地球物理探测核查技术及其作用

2.1 条约规定的地球物理探测核查技术

CTBT中地球物理探测核查技术主要在国际监测系统(IMS)和现场视察(OSI)两部分

使用。条约议定书第一部分“国际监测系统和国际数据中心的职能”规定了地震、水声、次声为国际监测系统地球物理探测方法,利用分布于全球的IMS 台站分别探测定位地下、水下和大气层核爆炸。其中地震包括50个基本台站和120个辅助台站;水声包括6个水听器台站和5个T相台站;次声由60个台站组成。条约议定书第二部分“现场视察”规定了余震被动测震、共振测震、主动地震测震以缩小范围和查找空腔等地下异常并确定其位置;磁场、重力场测绘以从地面和空中探测视察区磁场、重力场异常并确定可疑区;透地雷达测量和电导率测量以探测从浅地表(几十米)到深地层(至少百米到千米)的电性异常,以查找浅层电磁异常和深层空腔。

禁核试核查是在CTBT 核查机制框架内的国际核查行为,前提条件是条约生效。它从法理上、方法上、技术上、目的上与军控核查、核试验核查、核取证核查等有所差异,不能划等号。其对地球物理探测技术的应用区别更大,如表1所示。

2.2 地球物理探测技术在禁核试核查中作用

IMS 系统中的地球物理探测技术,作用是在核爆炸事件发生后第一时间通过国际地震监测台网(主要针对地下核爆炸事件)、水声监测台网(主要针对水下核爆炸事件)、次声监测台网(主要针对大气层核爆炸事件)探测记录到事件波形,即时进行自动和人机交互分析,初步判定爆炸事件发生的具体时间、坐标位置、震级等级、爆炸性质、当量威力等数据结论,结合其他技术方法,如卫星图像、国际放射性监测系统、情报等监测与分析结果,综合评估是否为违约核爆炸可疑事件,作为某一个或几个缔约国向条约组织提出对发生核爆炸可疑事件的缔约国开展现场视察请求的技术依据。

OSI 中的地球物理探测技术,作用是在国际核查进入现场视察阶段通过条约允许使用的各种地球物理探测技术从空中到地面探测爆炸导致的地球物理异常,以缩小可疑区域、寻找并确定爆心地面投影点和地下爆心区。与放射性和其他现场视察技术方法综合分析,澄清被视察缔约国是否已违反条约进行了“核武器试验爆炸或任何其他核爆炸”。禁核试核查监测的重点核爆方式是地下核爆炸(竖井或平洞),难点是小威力或者解耦平洞核爆炸。

3 禁核试核查地球物理探测技术研究进展

3.1 禁核试条约组织(CTBTO)核查技术谈判进展

CTBT 是1996年9月10日由联合国大会第125次全体会议(第50/245号决议)通过并于同年9月24日向所有会员国开放供签署的。截至2011年8月15日,已有182个国家签约,154个国家批约。条约规定:1996年6月18日正式参加裁军谈判会议1996年届会工作的裁军谈判会议成员国,并列入国际原子能机构1996年4月出版的《全世界核动力反应堆》和1995年12月出版的《全世界核研究反应堆》的44个国家,44国中,目前印度、巴基斯坦、朝鲜3国没有签约,美国、埃及、伊朗、以色列、印度尼西亚、中国6国没有批约。CTBT 从签署至今已有15年之久尚未生效,这在联合国的历史上是罕见的。但是,条约组织筹备委员会及所属临时技术秘书处(PTS)为条约生效所做的积极工作始终没有停顿,并且有效地推动了禁核试核查包括地球物理探测技术在内的各项技术向前发展。

表 1 禁核试核查与其他核查在地球物理探测技术应用方面的主要区别

名称	法理依据	核查方法	使用技术	核查目的	备注
禁核试核查	全面禁止核试验条约, 条约操作手册; 缔约国国内相关法律	条约规定的地球物理方法; 国家技术手段中的地球物理方法 (如国家地震台网)	地震、次声、水声、余震、共振测震、主动地震、磁场、重力场、透地雷达、电导率测量等	澄清被视察国是否进行了违约核爆炸	CTBTO 领导的在条约核查机制框架内的国际核查行为
军控核查	禁核试条约 (已有)	同上	同上	同上	CTBTO 领导的在条约核查机制框架内的国际核查行为; 或者双边条约机制框架内的双边核查行为; 可以进入被核查缔约国领土内
	核禁产条约 (在谈)			澄清被视察国是否违反禁产条约生产武器核材料	
	核裁军条约 (没有, 美俄有双边条约)	美俄双边条约中没有规定地球物理方法	美俄双边条约中没有规定使用地球物理技术	澄清被视察国是否违反核裁军条约	
核试验核查	无国际条约	IMS 地球物理方法; 国家技术手段中的地球物理方法 (如国家地震台网、区域地震台网)	地震、次声、水声	探测评估某国是否进行了核爆炸 (如对印、巴、朝的核试验核查)	禁核试条约机制框架外的一国或多国或国际组织进行的核查行为; 不能进入被核查国
核取证核查	无国际条约 (有核不扩散条约限制与参照)	一般无需地球物理方法	一般无地球物理技术要求	对核恐怖、核扩散等核突发事件进行探测定性、分析评估和材料溯源	一国或多国自主进行的、或相关国际组织牵头进行的核查行为

从 1997 年 4 月核查工作组 (B 组) 第 1 次会议到 2011 年 8 月底, 共召开了 37 次工作组会, 经历了 4 个阶段, 进行与条约核查系统建设有关的各项技术问题的讨论谈判。特别是国际监测系统和国际数据中心操作手册、现场视察操作手册的起草与谈判, 成了历年会议主要议题。其中国际监测系统和国际数据中心操作手册谈判已基本达成一致, 接近完成。现场视察操作手册谈判相对滞后, 核查工作组就现场视察中所用具体技术、使用设备、指标要求、信息屏蔽、视察程序等关键问题展开了多轮谈判, 与会各国出于本国利益和立场, 目前仍有较大分歧。同时, 条约组织筹委会还组织了 20 多次各种技术的外场演练, 40 多次技术培训和桌面演习, 举办了 3 次科学技术大会 (2006、2009、2011 年度), 有效地推动了禁核试核查技术不断提高和发展。而 2011 年 6 月 8 日至 10 日在奥地利维也纳召开的 2011 年 CTBT 科学与技术大会 (S&T2011) 上, 与会的全部 282 篇报告中, 地球物理探测技术相关文章占了 57%, 其中地震 (110 篇)、次声 (40 篇)、水声 (10 篇)。可见地球物理探测技术在禁核试核查领域的重要性。2011 年 5 月 30 日至 6 月 1 日, 临时技术秘书处处在维也纳举行了现场视察主动地震专家研讨会, 专题讨论和评估主动地震在现场视察框架下的应用, 展现了主动地震探测技术的最新发展和在禁核试核查现场视察中应用的各方关注。

3.2 禁核试核查地球物理探测技术研究进展

禁核试核查地球物理探测技术在过去的 15 年中,随着国际监测系统的建立与运行、操作手册谈判的深入讨论,各主要大国对该项研究工作日益重视并加大投入,通过对 1998 年 5 月印度和巴基斯坦核试验、2006 年 10 月和 2009 年 5 月朝鲜核试验的地震监测分析,以及地球物理探测领域本身的科技进步,使得国际核查领域中地球物理探测技术得到迅猛发展。在国际监测系统部分,以地震监测技术研究进展最为突出,在现场视察部分,以地震(余震、主动地震、共振测震)、电磁方法研究进展最为明显。主要体现在理论方法、仪器设备、技术能力等方面。

(1) 理论方法研究进展

禁核试核查地球物理探测技术理论和方法研究主要进展有:复杂地球系统与地下核爆炸相互作用机理研究,从核爆炸地球物理现象学角度在理论上给出了震源机制、地球物理异常变化的理论分析,为禁核试核查地球物理方法的使用提供了基本理论依据。新型数据处理分析方法对低当量地下爆炸检测能力的提高发挥了明显作用,特别是对已知核试验场地,应用波形互相关检测分析技术,可使核试验地震自动检测震级阈值降低一个震级,对于小威力核爆炸相当于爆炸当量检测阈值降低一个量级。以地震事件源的频谱模型和介质衰减参数模型为基础的震级—距离—幅值校正分析技术在提高区域性事件识别能力上效果良好。地震信号数值模拟与反演方法在禁核试核查真实介质模型地震信号分析中应用日益广泛。

(2) 仪器设备研究进展

随着科学技术的发展,地球物理探测仪器设备也在不断更新换代,对禁核试核查技术的发展起着重要推动作用。国际监测系统的地震台站基本都升级为三分向台站和台阵。虽然《现场视察操作手册》谈判尚未结束,操作手册也未定稿,但条约筹委会第 14 次和第 15 次会议已批准了现场视察磁场测绘、重力场测绘、透地雷达和电导率测量设备的初步技术指标和要求以作为测试和培训之用。PTS 据此发布了上述设备及数据处理软件的购买指标,供各签约国审议。截至目前,PTS 已购置了多道数字地震仪、航空磁力仪、地面便携式磁力仪、微重力仪、透地雷达、多功能电法工作站、快速电磁追踪仪等地球物理探测设备。满足了前期人员培训、现场视察演练需求。与此同时,一些新型传感器技术的研发带来了探测方法和探测能力的改进和提高。

(3) 技术能力研究进展

20 世纪 90 年代中期 CTBT 谈判时,根据当时国际地震台网监测能力状况,设定的监测目标是 1000 吨以上地下核爆炸。条约给出的地震定位精度是 1000km^2 (定位椭圆长轴为 50km 、短轴为 20km)。根据国际上最近对 IMS 能力的评估,地震监测子系统对北半球绝大部分地区硬岩介质中的人工爆炸,能监测到 100t ,对某些特定老牌核试验场地更是可达到 10t 级。 1000km^2 地下核爆炸的地震定位精度达到 100km^2 以内。整个地震核查监测能力提高了 1 个量级。国际水声监测子系统能高置信度地探测到北半球所有海洋中 1 吨当量的水下爆炸和南半球海洋中几 kg 的水下爆炸。国际次声监测子系统可以探测到全球 500t 当量的大气层核爆炸。水声和次声探测能力与早期条约要求指标,能力都提高了 1 个量级。现场视察地球物理方法在核查工作组会议上受到关注较多的是:电导率测量(高密度电阻率法、瞬变电磁法)、磁场测绘、透地雷达探测和重力场测绘。并且制定了相应的初步要求和指标。表 2 列出了几种 OSI 地球物理方法设备的关键指标要求。

表 2

几种用于测试和培训目的的 OSI 地球物理探测设备关键技术指标

技术方法	设备功能	主要指标
地面 磁场 测绘	探测识别视察区地面浅埋的铁磁物体（如吊装钢套管或钢丝绳、下井电缆、接地网等）、井筒等	(1) 量程 30000~100000nT，精度 0.1nT，采样率 10Hz (2) 在快速步行或车载模式下连续采集数据，充电电池满足 8 小时以上连续工作要求
重力 场测 绘	探测识别地下爆炸空腔或烟囱空洞引起的有限重力异常	(1) 灵敏度高于 1 μ Gal，零点漂移小于 1mGal./mo (2) 充电电池满足 8 小时以上连续工作要求 (3) 如果必要，灵敏度可提高至 0.1 μ Gal
透地 雷达 探测	探测浅层掩埋的人工物体、断层或大裂隙引起的雷达反射系数变化	(1) 频率范围 20~500MHz 或更高，能输出最大功率 (2) 重复频率 100kHz 或更高，采样率 200 次/s (3) 系统增益 150dB 或更高，具有用于低频天线和深层探测的高功率发射机
电导 率测 量	探测识别地下爆炸空腔、烟囱、碎石区等电导率异常，使用仪器主要有高密度电阻法和瞬变电磁法仪器设备	(1) 最小频率范围 DC~10Hz，最小 16 位采样，6 个接收通道或更多 (2) 适于电阻率、时间域/频率域、瞬变电磁法和可控源音频和亚音频大地电磁法等多种电磁方法 (3) 探测深度几十米至 1 千米或更深 (4) 在电导率范围 (± 0.01 、 ± 0.1 、 ± 1 siemens/metre) 内满刻度时的精度 0.1%

3.3 我国禁核试核查地球物理探测技术发展水平

在禁核试核查领域，地球物理探测核查技术与其他核查技术一样，基本上都掌握在几个核大国和几个科技发达国家之手。我国从 CTBT 谈判之初至今参与了条约和手册全部谈判和技术工作过程，并且从 1994 年开始就利用我国最后几次核试验的机会，开展了包括地球物理技术在内的全面核查技术研究和现场实测研究。特别是经过从“九五”到“十一五”长达 15 年的专项投入和专题研究，初步建立了我国独立自主的禁核试核查技术体系，各项核查方法和技术与国际上保持了同步发展，总体处于国际先进行列。在低当量核试验地震信号检测、定位和识别研究，震源机制、特性和正反演模拟研究，OSI 地球物理探测应用技术研究，以及放射性检测技术等方面，我国甚至处于国际领先水平。

4 禁核试核查地球物理探测技术研究发展趋势

4.1 国际禁核试核查地球物理探测技术研究发展趋势

《全面禁止核试验条约》生效是所有签约国的共同理想，这一天或迟或早总会来临。不论现阶段条约生效与否，作为条约核查重要组成部分的地球物理探测技术研究一直都在不断深入开展。从国内外研究发展看，主要呈现以下趋势。

(1) 复杂地球系统和核爆震源机制研究在国际上受到重视，数值计算与模拟、先进数据处理方法、三维可视化技术在地球物理核查中的发展应用为其研究提供了有效方法。如美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室建立了三维全球网络区域地震走时模型 (RSTT)，通过 60 万条通过欧亚大陆与北美大陆的 Pn 震相断层成像及 7 万条通过北美大陆的 Pn 震相断层成像，大

幅提高了走时精度,盲测结果表明 P_n 走时标准偏差已经降低到 1.25 秒。我国开展的低威力核爆的地震检测、定位、识别技术及震源特性研究,在弱信号提取和分析、特定场地历史事件震源机制的正反演、国际国内不同台站信号响应特征之间的差异关系分析处理等,代表了地球核査监测技术研究发展的一个重要方面。

(2) 现场视察地球物理探测技术紧密围绕 OSI 操作手册成稿谈判为需求开展研究,呈现以下趋势:理论分析模拟化,为推动 OSI 地球物理探测技术发展,临时技术秘书处计划从数值模拟和实测模拟两个方面对所有的 OSI 地球物理方法开展模拟研究;研究内容全面化,条约规定的各种地球物理核査方法轮流成为谈判重点,从而要求对所有地球物理核査技术进行研究,以满足 OSI 操作手册谈判深入的需要;技术综合集成化,在开展各种地球物理方法有效性综合评估的基础上,根据现场视察不同应用场景,重点研究关键技术的优化组合、综合集成,形成实际核査能力。

(3) CTBTO 与其他国际科学团体合作与交流越来越宽。如 IMS 台网与国际数字地震台网联盟(FDSN)的数据共享合作,使得 FDSN 可以在一定范围内使用 IMS 的国际数据中心数据,同时 FDSN 为 IMS 用户提供免费的实时地震数据服务。美国通过资助方式与多个国家建立双边合作开展区域地震监测研究,如在蒙古、哈萨克斯坦、韩国、日本等国家合作新建改建了一批地震台站;在我国与多个省级地震局和科研机构开展合作研究项目,有些合作研究项目的监测目标直接针对我罗布泊试验场。美国“移动式地球探测密集地震台阵”为这类国际合作提供了技术支持。密集地震台阵可使用数百个三分向宽频带移动地震台站,进行区域密集布点监测,体现了先进的台站建设、监测技术及其发展动向。美国与我国某些科研机构进行的合作所用的就是这种密集布阵方法。

(4) IMS 与民用和军用的结合越来越多。IMS 地震台网在全球地震海啸监测预报中已崭露头角,在 2011 年 3 月 11 日日本大地震及其余震连续监测分析评估中发挥了重要作用;俄罗斯科学院(RAS)大气物理研究所利用 I44RU 次声台站与堪察加半岛地理测量分局次声台站监测 2009~2010 年堪察加半岛和千岛群岛火山喷发产生的次声信号,取得大量数据和分析成果。奥地利气象和地球动力研究所应用 CTBT 查证软件、大气输运模型对 2010 年 4 月至 5 月冰岛火山喷发期间的火山灰漂移情况进行模拟和运移预测,与火山灰实际漂移监测情况吻合良好。美国利用 IMS 的次声、近区地震等监测台网,用作火箭、导弹、飞船发射和战机起飞等次声监测研究,利用 IMS 的 11 个水声台站进行海洋中舰艇等各种海洋军事目标和设施活动监视研究,具有明显的军事目的。

(5) 先进传感器研制成为提高地球物理探测核査技术和能力研究的重要途径。研制先进的振动、声测量传感器,研究先进传感器、先进数据采集和通信模块一体化、小型化集成技术,是禁核试核査大国之间竞争的重要方面。如美国斯克里普斯海洋研究中研制的“光学地震传感器”,利用激光干涉测量原理,监测惯性参照物的相对运动,采用 30 位线性高分辨率数据采集,直接测量只与激光波长相关的绝对位移量,带宽为 DC 至 15Hz,响应范围足够记录各种地震事件。该中心研制的“光纤次声传感器”,该传感器不存在谐振效应,可全密封埋入地下,与传统次声传感器相比,可提高降噪能力 10dB。而我国在传感器研究方面相对落后。

4.2 我国禁核试核査地球物理探测技术研究发展重点

我国禁核试核査中的地球物理探测技术研究,已进入“2010~2030”新的发展时期,从

今年开始已全面启动“十二五”规划的项目研究,总体要求以 CTBT、操作手册和国内有关法律政策为基本依据,以维护我国安全利益和大国形象地位为根本目的,以掌握关键技术形成重点能力为研究方向,不断深化地球物理探测技术在禁核试核查中的应用研究,提高我国自主的核查体系和核查技术的能力水平。

主要研究发展重点:

(1) 深入开展地下核爆炸地球物理现象学和震源机制研究。如核爆后空腔、断层、水文、地震、余震、磁力场、重力场、温度场随时间变化规律研究,特别是小威力或解耦爆炸的现象学研究,全世界在进行核试验场地质、地形、地貌、水文、构造,历史地震规律与地震传播特性等震源机制研究,为禁核试核查提供理论基础支持。

(2) 强化地震、水声、次声传感器技术和波形采集分析技术研究。研制高性能指标的先进传感器并且力争在“十一五”末有所突破,深化小威力爆炸的波形采集、降噪分析、三维定位、当量转换等技术研究,重点是小威力平洞地下核爆炸地震核查探测分析技术。

(3) 发展重点现场视察地球物理探测技术。建立从地表到地下立体探测爆区地球物理异常,准确寻找爆心空腔的几种优化组合探测方法和技术。

(4) 加强禁核试核查中的地球物理方法和技术的有效性分析研究,并密切跟踪国际监测系统的技术发展,适时对各种关键技术进行动态评估。

(5) 坚持有所为有所不为的原则,深化禁核试核查关键地球物理探测技术研究,与其他核查技术方法相辅相成,形成我国自主的重点核查技术能力,建设具备实战要求的核查技术体系。

5 结束语

禁核试核查地球物理探测技术是核查体系的重要组成部分,具有不可替代的作用和地位,其地震监测技术对条约体制外的核试验核查(类似于印、巴、朝核试验核查)更是作用突出,有时会起到关键和决定性作用。因此,我们必须密切跟踪国际发展动态和趋势,保持我国良好的研究基础和特点优势,加强该领域基础技术和应用技术研究,始终保持整体技术水平处于世界先进行列,才能有效保护国家利益、树立大国形象。同时研究中应注意,由于地球物理探测结果具有多解性,或者说引起地球物理异常的因素可能有多种成因,决定了地球物理探测技术在禁核试核查实际应用中多数情况下(大当量核爆炸例外)不能独立作出核查可疑事件是否为核爆炸的结论,需要与放射性探测核查技术和其他核查技术的结果综合分析评估,才能给所核查事件的性质作出全面、准确的判定和澄清。

参考文献

- [1] Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear—Test—Ban Treaty Organization. Comprehensive Nuclear—Test—Ban Treaty (CTBT). 1996. 9. 10
- [2] 邝飞虹,等. 赴奥地利参加 2011 年 CTBT 科学技术大会的总结. 西北核技术研究所, 档案资料. 2011. 8
- [3] 刘文学,等. 赴奥地利参加现场视察主动地震专家研讨会报告. 西北核技术研究所, 档案资料. 2011. 7
- [4] 龚兵. 禁核试核查现场视察地球物理探测技术. 西北核技术研究所, 内部资料. 2011. 7

核爆地震识别算法新进展

韩绍卿¹, 刘代志², 李夕海²

(1. 中国人民解放军 96637 部队, 北京 102101;

2. 第二炮兵工程学院 602 室, 西安 710025)

摘 要 核爆炸与天然地震的自动识别是监测全面禁止核试验条约执行情况的主要内容之一。地震波信号的特征提取、特征选择与识别算法是核爆地震识别的三个关键问题。本文介绍了我们在上述三个方面的最新研究进展情况。

关键词 核爆炸 天然地震 特征提取 特征选择 协同模式识别

The Recent Progress in Nuclear Explosion Identification Algorithms

HAN Shaoqing¹, LIU Daizhi², LI Xihai²

(1. The No. 96637 unit of the Chinese People's Liberation Army, Beijing, 102101;

2. The No. 602 staff room of the second artillery engineering college, Xi'an, 710025)

Abstract: The discrimination between nuclear explosions and natural earthquakes is one of the main issues of monitoring the comprehensive test ban treaty. The feature extraction, feature selection and pattern recognition of seismic signals are three key problems of nuclear explosion identification. In the paper, we introduce our recent progress in nuclear explosion identification from the three aspects mentioned above.

Key words : Nuclear explosions; Natural earthquakes; Feature extraction; Feature selection; Synergetic pattern recognition

1 引言

为消除核武器与核战争给世界的和平与安全造成的严重威胁, 1996 年联合国大会通过了全面禁止核试验条约。然而, 遗憾的是, 由于对条约的验证问题尚存在争议, 十几年过去了, 该条约仍迟迟不能生效。在全面禁止核试验条约中规定了四种不同的监测技术——地震波、水声、次声以及放射性核素来监测该条约的执行情况, 而对于地下核试验来说, 地震波监测是最重要的监测手段^[1]。自 1963 年前苏联、美国 and 英国三边部分禁止核试验条约签订以来, 各国核试验主要以地下核试验的方式进行。因此, 基于地震波的监测方法在目前的核试验监测中占据越来越重要的地位。

虽然世界各国的地震学家和研究者对核爆炸监测问题开展了广泛而深入的研究, 但是, 由于各种复杂因素, 比如震源机制和地质构造的复杂性和多样性的影响, 这一问题始终没有得到有效解决。早期核试验监测主要采用人工判读的方法, 而从模式识别的角度看, 核爆炸监