

军队“2110工程”三期建设教材

核爆炸

HEBAOZHA ZHENCHA
JISHU JI YINGYONG

侦察技术及应用

李夕海 李义红 编著 ■



国防工业出版社
National Defense Industry Press

军队“2110工程”三期建设教材

核爆炸侦察技术及应用

李夕海 李义红 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍了次声波侦察地震波侦察及电磁脉冲波侦察等核爆炸侦察技术的基本原理,系统阐述了核爆炸侦察信息的获取、事件检测、性质鉴别、源参数计算等关键方法,以及相应的波形信号融合处理技术,并简要介绍了天基核爆炸侦察、放射性及水声侦察等其他核爆炸侦察技术。

本书可作为核爆炸侦察及禁核试核查方向的专业教材,也可作为从事相关领域教学、科研的工作者和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

核爆炸侦察技术及应用/李夕海,李义红编著. —北京:国防工业出版社,2016.5
ISBN 978-7-118-10780-7

I. ①核… II. ①李… ②李… III. ①核爆炸—辐射侦察—研究 IV. ①TL91

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第054749号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 266 千字

2016年5月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 32.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

核爆炸侦察（曾称核爆探测）是通过对核爆炸直接或间接产生的各种效应信号的监测、接收、分析及处理，如冲击波、光辐射、核辐射、次声波、电磁脉冲波和地震波等，获得核爆炸源参数的一种军事活动。核爆炸侦察是随着核武器的出现而产生的一门国防技术，它既是军事情报侦察的重要研究领域之一，同时也是国际核军备控制的一个主要研究领域。在平时可侦察他国核试验及核技术与核力量发展动向，在战时可侦察核爆炸打击效果。所以，核爆炸侦察不仅具有重要的军事意义，而且对维护世界和平、促进国防建设都有十分重要的战略意义。

国外在 20 世纪 50 年代就开始了核爆炸探测工作，20 世纪 60、70 年代随着核武器技术的迅速发展，核爆炸侦察技术也发展很快。我国从 20 世纪 60 年代就开始了核爆炸侦察技术研究与实践。第二炮兵工程大学从 20 世纪 80 年中期就开始了核爆炸侦察的教学与研究，并建立了相关专业及教学科研团队。本书作者从 20 世纪 90 年代中期开始，对核爆炸侦察，特别是核爆炸侦察信息处理展开了较系统深入的研究，同时进行了侦测工程专业的教学与实践。为了适应专业教学和相关科学研究需求，我们在对 20 多年教学讲义和研究成果梳理的基础上，充分吸收国内外研究成果，编著了这本《核爆炸侦察技术及应用》。

本书共分七章。第一章介绍了核爆炸侦察的研究内容、基本要求，核爆炸侦察系统及技术发展概况，较为系统地阐述了国内外核爆炸侦察技术的现状、发展趋势以及禁止核试验条约的发展历程。第二章介绍核爆炸及其物理效应，从核裂变和聚变反应、核武器爆炸过程、核爆炸方式与外观景象、核爆炸侦察方式等方面进行了阐述。第三章在简要介绍次声波基础知识的基础上，从核爆炸次声波的形成、核爆炸次声波的测量与接收、核爆炸次声波信号综合处理等方面对核爆炸次声波侦察技术做了全面论述，并简要介绍了 IMS 次声波台站及数据处理技术。第四章概述了地震波基础以及核爆炸地震波侦察的简要历史，从核爆炸地震波的形成与传播、地震波探测技术和核爆炸地震波信号的综合处理等角度对地震波侦察技术进行了全面阐述，重点论述了核爆炸地震波信号的鉴别技术。第五章在概述核爆炸电磁脉冲侦察的优缺点及理论发展的基础上，从核爆炸电磁脉冲的产生与传播、核爆炸电磁脉冲的接收与综合处理等角度对核爆炸电磁脉冲侦察技术作了较全面的介绍。第六章简要介绍了天基核爆炸侦察、水声侦察和放射性核素侦察等三种核爆侦察技术。第七章重点介绍了基于多源核爆炸侦察数据的爆炸源位置综合计算及爆炸性质融合判别技术，并设计了一个多源核爆炸侦察数据融合处理系统。

本书作者尽自己的能力所及，广泛吸收前人的研究成果，尽量做到全面系统和深入浅出，但书中难免存在错误疏漏之处，望同行专家不吝赐教，以便再版时改正。同时，对所引文献的作者表示衷心感谢，对国防工业出版社的编辑们表示由衷的谢意。

编 者
2015 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 核爆炸侦察研究内容	3
1.3 核爆炸侦察的基本要求	4
1.4 核爆炸侦察系统及技术发展概况	4
1.4.1 美国核爆炸监测系统发展现状	5
1.4.2 其他国家核爆炸监测系统的发展现状	5
1.4.3 核爆炸侦察技术发展趋势	7
1.5 禁止核试验条约的发展历程	7
参考文献	10
第二章 核爆炸及其物理效应	11
2.1 核裂变和聚变反应	11
2.1.1 裂变反应和原子弹爆炸	11
2.1.2 聚变反应和氢弹爆炸	12
2.2 核武器的种类及等级划分	13
2.2.1 核武器的种类	13
2.2.2 核武器的威力及等级划分	13
2.3 核武器爆炸的过程	14
2.3.1 核武器爆炸物理过程	14
2.3.2 核爆炸发展过程	17
2.4 核爆炸方式与外观景象	17
2.4.1 核爆炸方式	17
2.4.2 核爆炸的外观景象	18
2.5 核爆炸的杀伤破坏作用	20
2.5.1 核爆炸的杀伤破坏因素	20
2.5.2 核爆炸的杀伤破坏特点	23
2.6 核爆炸效率和能量分配	23
2.7 核爆炸侦察方式	24
2.7.1 核爆炸侦察方式的分类	24
2.7.2 地基近程核爆炸侦察	24
2.7.3 地基中远程核爆炸侦察	25
2.7.4 天基核爆炸侦察	26

2.7.5 其他核爆炸侦察技术	27
参考文献	27
第三章 核爆炸次声波侦察技术	28
3.1 次声波基础	28
3.1.1 声学基本概念	30
3.1.2 次声源	32
3.1.3 次声波的应用	34
3.2 核爆炸声波和次声波的形成	35
3.3 次声波的传播	35
3.3.1 次声波的传播介质	36
3.3.2 次声波的传播	39
3.4 核爆炸次声波的测量与接收	40
3.4.1 次声波接收器	41
3.4.2 次声波接收阵	43
3.5 核爆炸次声波降噪系统及性能评估	45
3.5.1 丹尼尔斯降噪滤波器	45
3.5.2 玫瑰型管道滤波器	46
3.5.3 多微孔软管滤波器	47
3.5.4 光纤次声波传声器	47
3.5.5 多孔介质过滤器	48
3.5.6 风障	49
3.5.7 降噪方法的对比分析	49
3.5.8 典型降噪方法的降噪性能评估	50
3.6 核爆炸次声波信号的综合处理	54
3.6.1 核爆炸次声波的检测	55
3.6.2 爆心方位角的计算	59
3.6.3 核爆炸次声波的识别	60
3.7 IMS 次声台站及数据处理技术	63
参考文献	64
第四章 核爆炸地震波侦察技术	67
4.1 地震波基础	67
4.1.1 地震学中常用的基本概念	67
4.1.2 地震波	68
4.1.3 爆炸激发地震波	71
4.1.4 地震波的运动学与动力学特征	76
4.2 核爆炸地震波侦察的任务及简要历史	80
4.2.1 地震波侦察的任务	80
4.2.2 核爆炸地震波侦察的简要历史	81
4.3 核爆炸地震波的形成与传播	83

4.3.1	核爆炸地震波的形成	83
4.3.2	近核爆炸地震波的传播	83
4.4	地震波探测技术	88
4.4.1	地震仪、台阵与台网	88
4.4.2	数据获取及预处理	93
4.5	核爆炸地震波信号的综合处理	94
4.5.1	地震事件的检测	94
4.5.2	地下核爆炸的当量计算	97
4.5.3	地下核爆炸的爆炸零时计算	101
4.5.4	地下核爆炸源位置计算	101
4.5.5	IDC 中地震信号处理技术	104
4.6	核爆炸地震波信号的鉴别技术	104
4.6.1	核爆炸与天然地震识别的特征提取方法	105
4.6.2	核爆炸与化学爆炸的鉴别现状	113
4.7	基于多分类器组合的地震信号判别	115
4.7.1	分类器组合方法的优点	115
4.7.2	分类器输出结果融合规则	116
4.7.3	基于样本重采样的分类器组合	116
4.7.4	基于差异性度量的分类器组合	117
	参考文献	123
第五章	核爆炸电磁脉冲侦察技术	127
5.1	引言	127
5.1.1	核爆炸电磁脉冲侦察的优势	127
5.1.2	核爆炸电磁脉冲侦察的主要缺点	127
5.1.3	核爆炸电磁脉冲探测理论的发展	128
5.2	核爆炸电磁脉冲的产生	129
5.2.1	核爆炸 γ 辐射源	129
5.2.2	γ 源与物质的相互作用	130
5.2.3	康普顿电流模型	131
5.2.4	核爆炸电磁脉冲的产生机理	132
5.2.5	核爆炸电磁脉冲波形的特点	135
5.3	核爆炸电磁脉冲的传播	137
5.3.1	远区核爆炸电磁脉冲的特点	138
5.3.2	核爆炸电磁脉冲的地波传播	139
5.3.3	核爆炸电磁脉冲的波跳理论	140
5.4	核爆炸电磁脉冲的接收	143
5.4.1	鞭状天线对电场信号的接收	143
5.4.2	环天线对变化磁场的感应	144
5.5	核爆炸电磁脉冲信号的综合处理	145

5.5.1 爆炸源位置计算 145

5.5.2 爆炸当量及爆高计算 147

5.5.3 关于弹种的确定 150

5.6 核爆炸电磁脉冲信号的鉴别 150

5.6.1 形态与频谱特征 151

5.6.2 小波包能量谱特征 153

5.6.3 小波包分量盒维数特征 153

5.6.4 Hilbert 谱区域能量比特征 154

参考文献..... 155

第六章 其他核爆炸侦察技术 157

6.1 天基核爆炸侦察技术 157

6.1.1 星载核爆炸探测及其发展 157

6.1.2 卫星遥感技术在核试验侦察中的应用 159

6.2 水声侦察技术 159

6.2.1 水声的物理特性及其传播环境 160

6.2.2 核爆炸水声的产生及传播 161

6.2.3 水声侦察中的关键技术 161

6.3 放射性核素侦察技术 162

6.3.1 放射性核素的产生及输运 162

6.3.2 放射性核素的监测 163

参考文献..... 163

第七章 多源核爆炸侦察数据的融合处理 164

7.1 核爆炸源位置的综合计算 164

7.1.1 源位置综合确定方法 164

7.1.2 精度分析 165

7.2 基于分类器融合的核爆炸性质鉴别技术 166

7.2.1 普通投票法融合 168

7.2.2 加权投票法融合 169

7.2.3 贝叶斯推理 170

7.3 多源核爆炸侦察数据融合处理系统设计 171

7.3.1 总体设计思路 171

7.3.2 关键技术 172

7.3.3 系统综合集成 173

参考文献..... 179

第一章 绪 论

1.1 引 言

核武器是指利用重原子核的链式裂变或（和）轻原子核的自持聚变反应，瞬时释放出巨大能量而产生爆炸，进而对目标实施大规模杀伤破坏作用的武器。核武器的出现是 20 世纪人类科学技术发展和大国战略需求相结合的产物^[1]。

从科技层面上来说，人类对原子技术的不懈追求为科学认识微观世界与和平利用核能开辟了广阔的前景。1895 年，德国物理学家 W. C. 伦琴在暗室做阴极射线管放电实验时发现，被黑纸包住的放电管可以使一段距离外涂有一种荧光材料的纸屏发出微弱的荧光，将其取名为 X 射线。1898 年，法国波兰裔玛丽·居里夫人提取出了天然放射性元素镭和钋。天然放射性的发现，不仅加深了人们对原子结构复杂性的认识，而且使人们认识到原子核内部蕴藏着巨大能量，启发人们探讨可能利用原子能的新途径。1902 年，英国科学家卢瑟福提出了原子蜕变学说，建立了原子结构模型，进而，他于 1919 年利用镭中放出的 α 射线轰击其他元素，第一次实现了原子核的人工转变，为深入研究核反应奠定了基础。1905 年，德国科学家爱因斯坦创立了划时代的“狭义相对论”，公布了质量与能量相关联的质能关系 $E = mc^2$ ，揭示了原子核内部所蕴藏巨大能量的奥秘，从而为人类利用核能展现了无限广阔的前景。1932 年，英国科学家查德维克发现了一种穿透力非常强、不带电的中性粒子——中子。利用中子几乎可以轰开一切元素的原子核，从而使科学家获得了打开原子核的好钥匙。1934 年 1 月，约里奥·居里夫妇公布了人工放射性的发现，这为打开原子核开辟了新的道路，同年，意大利物理学家 E·费米决定用中子轰击铀，开始探索人工放射现象的可能性。1938 年，德国物理学家哈恩和同事利用中子轰击铀元素，分离铀原子获得成功，铀原子核裂变时会释放出巨大能量并同时释放出 2~3 个中子，这预示着发生原子核裂变链式反应成为可能。1939 年，丹麦物理学家波尔和惠勒从理论上阐述了核裂变反应过程，并指出适合核裂变反应最合适的核元素是铀-235。

从战略层面来看，当科技的进步为这种前所未有的核武器研制奠定基础的时候，战略需要就成为核武器问世的加速剂。第二次世界大战之前，德国在核技术研究上处于领先地位。在第二次世界大战期间，美德两国正进行着一场更为激烈但却是秘密的角逐。1939 年 4 月 24 日，正当法西斯德国酝酿闪电袭击波兰，从而挑起第二次世界大战的前夕，德国汉堡大学的哈特克博士写信给德国陆军军部，建议研制核炸弹，他在信中写道“我冒昧地请你们注意在核物理方面的最新发展。我们认为这些发展将使人们可能制造出一种威力比现在的炸弹大许多倍的炸弹……显然，如果上述可能性可以实现（这肯定是在可能范围之内的），那么首先利用这种炸弹的国家就具有一种超过其他国家的无

比优越性”，然而他的建议并没有受到重视。直到1942年，海森堡才在德国莱比锡研制成功一座铀反应堆，但由于战争空袭的干扰及电力和物资的缺乏，核炸弹研制工作进展缓慢，后来遂采用重水反应堆提取钚-239，至1945年初才建成一座不大的次临界装置。

与德国形成鲜明对照的是美国的积极行动。第二次世界大战前夕，在从欧洲移居美国的匈牙利物理学家西拉德等几位科学家的推动下，1939年，爱因斯坦致信美国总统罗斯福，建议研制原子弹，并得到支持，成立了“铀顾问委员会”，专门负责“裂变弹”的研究工作。1941年12月7日，日军偷袭珍珠港，太平洋战争爆发，美国加快了原子弹研制计划。1942年8月13日，“曼哈顿工程”的启动，标志着美国研制原子弹的工作由纯理论的实验室工作转入实际研制生产的新阶段。1942年12月2日，费米主持的第一座原子反应堆建成，制造了0.5g钚，从实验上证明了链式反应理论的正确性。1943年2月和6月，美国分别在汉福莱特和田纳西州的橡树岭建立了生产钚-239和钚-235的工程。至1945年6月，生产出20kg钚（足够装填一颗原子弹）和60kg钚（足够装填两颗原子弹）。1945年7月，美国制造出最早的3颗原子弹，其中一颗装钚-239，用于试爆。1945年7月16日5时29分45秒，该原子弹成功爆炸，当量为1.9万t。其余的两颗原子弹，即代号“小男孩”（little boy）铀弹和代号“胖子”（fat man）的钚弹分别于1945年8月6日和9日，用B29重型轰炸机轰炸了日本的广岛和长崎两座城市，造成巨大伤亡。

自美国1945年第一颗原子弹成功试爆以来，苏联、英国、法国、中国等国也相继研制出了各种核武器，进行了核试验。在1963年美国、英国、苏联三国签订《部分禁止核试验条约》（Partial Test Ban Treaty, PTBT）之前，美国和苏联两国共进行了403次核试验，积累了大量核试验数据和资料。在1996年全面禁止核试验条约（Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, CTBT）签订以后，印度和巴基斯坦不顾国际社会的强烈反对分别于1998年进行了地下核试验，朝鲜分别于2006年、2009年、2013年和2016年进行了4次地下核爆炸试验。截止到目前，世界各国核试验情况统计具体见表1-1。

表 1-1 全球核试验统计^[2-4]

时 间 段	国 名	试 验				
		大气层	高 空	水 下	地 下	合 计
1945. 07. 16—1963. 08. 04	美国	183	10	5	78	276
	苏联	121	3	1	2	127
	英国	21			2	23
	法国	4			4	8
1963. 08. 05—1996. 09. 10	美国				535	535
	苏联（俄）				369/126	369/126
	英国				21	21
	法国	41			146	187
	中国	22			22	44
	印度				1	1

(续)

时 间 段	国 名	试 验				
		大 气 层	高 空	水 下	地 下	合 计
1996. 09. 11—至今	印度				5	5
	巴基斯坦				6	6
	朝鲜				4	4
注：/后面的数字为苏联（俄）和平核爆炸的次数						

1.2 核爆炸侦察研究内容

核爆炸侦察是随着核武器的出现而产生的一门国防科学技术，同样也是核技术发展的重要支持和组成部分，在各国的核战略和军事技术发展中占有重要的地位。核爆炸侦察是指在核爆炸以后，通过对核爆炸产生的冲击波、光辐射、核辐射、地震波等各类直接或者间接核爆炸效应信号的监测、接收、分析及处理，确定发生核爆炸的准确时间、空间位置、当量和爆炸方式等源特征的一门技术。核爆炸侦察系统则是由多种核爆炸探测装备及相应的数据处理系统构成，能够提供核爆炸源特征信息、毁伤效应信息及放射性沾染信息的判断和预测，它是国土防御系统的重要分支。

在不同的国家及国际组织中，对核爆炸（或者核爆炸试验）进行监测并获取源信息的技术名称也有些不同，具体含义也有些许差异，如在禁核试核查领域，主要监测对象为平时全球所有可能发生的核试验，因此，一般称为核试验监测；在美国，一般称为核爆炸监测；在国内，若从核武器打击效果角度，一般称为核爆炸侦察（曾称核爆炸探测），若从核试验水平监测角度，一般称为核爆炸监测。无论从什么角度来说，核爆炸侦察技术是一个高度综合的国防技术领域，主要对核爆炸各种效应进行研究，主要涉及到地球物理学、声学、光学、核物理学等学科，并且对于不同的核爆炸效应信号，核爆炸侦察系统的处理过程都是类似的，主要包括：（1）对各种核爆炸效应信号进行测量、接收及滤波分析，对信号传播特性及源特性进行研究；（2）核爆炸效应信号数据的整理、储存、归类及分析；（3）核爆炸侦察自动处理系统的研制和评估；（4）核爆炸效应信号模型及传播模型的建立、核爆炸效应信号的模拟与探测系统的校准等^[5]。

美国发展核爆炸监测技术的根本原因，除了本国核武器技术发展需要外，主要是为了收集潜在竞争对手的基本信息；另一个重要原因是为支持各种限制核武器的国际性条约。具体说来，美军认为，核爆炸监测系统可执行核武器袭击探测、核打击效果评估、核试验监测、核爆炸毁伤效应评估和预测、核爆炸辐射监测、贫铀弹等放射性武器监测、核事故辐射监测、核辐射恐怖事件辐射监测等任务，以确保国家安全及战略利益免受任何使用核武器的敌人的破坏，同时可使部队了解战场核生化态势并尽早采取防护措施。

对于我国目前而言，在中远程开展核爆炸侦察的主要原因可以归纳为两点：一是核反击效果侦察以及敌方核武器袭击探测的需要；二是国际上禁核试核查及他国核试验监测的需要。

1.3 核爆炸侦察的基本要求

鉴于核爆炸侦察技术所涉学科的高度融合性、侦察对象的复杂性，对核爆炸开展侦察的要求主要有以下几点^[5]：

(1) 及时性。所谓及时性就是要求快，及时性的度量可用自核爆炸零时到侦察系统给出核爆炸源参数之间的时间差来衡量。例如，核爆炸产生的电磁脉冲信号传播速度快，持续时间短，这就要求探测系统接收及处理信号的响应速度要快，能实时处理，迅速给出侦察结果。

(2) 准确性。所谓准确性简言之就是要求准，也即要求计算结果与实际偏差的误差尽可能小，如果误差太大就会影响侦察效果，进而影响后续的作战决策。

(3) 可靠性。可靠性通常用平均故障间隔时间来衡量。由于核袭击的突然性和核爆炸侦察的瞬时性，侦察系统必须随时处于值班工作状态以等待核爆炸信号的出现，这对侦察系统的可靠性提出了较高要求。

(4) 抗干扰及识别能力。抗干扰能力通常用虚警率及漏警率来表示，也常用正确识别率来表示。由于自然界中存在大量与核爆炸信号相似的干扰信号，如雷电、矿山爆破、飓风等，此外，还有很多背景噪声，这对于长期处于值班状态的侦察系统而言，不仅提出了较高的抗背景噪声能力，而且，提出了较高的对干扰事件的鉴别能力。

(5) 环境适应性。对处于长期值班状态的核爆炸侦察系统而言，其核心的探测部件均放置在野外，为保证其长期工作效能，对侦察系统的自然环境适应性提出了较高要求。除自然环境的适应性外，还应考虑核环境的适应性。

1.4 核爆炸侦察系统及技术发展概况

核爆炸侦察技术是和核武器同时问世的。1945年7月16日，美国在新墨西哥州阿拉莫多戈进行人类历史上首次核爆炸试验时，美籍意大利物理学家E·费米为了尽快判断试验的成功与否，曾通过测定纸片被冲击波吹出的距离来近似地推测核爆炸的威力^[6]。美国、苏联、英国、法国等有核国不断研究发展核武器技术的同时，也在不断加强核爆炸监测技术的研究。20世纪50年代初期，美军便在阿拉斯加的考里奇设立了第一个核爆炸监测站。1958年，联合国在日内瓦举行了第一次核爆炸监测技术的专家会议。经过几十年的发展，至1996年全面禁止核试验条约（Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, CTBT）在第50届联合国大会通过之后，为了保证条约核查的需求，在全球建立了次声、水声、地震波以及放射性核素等监测站，组成了国际核爆炸监测系统。其中，根据CTBT规定，在中国境内建立北京、广州、兰州等3个放射性核素站，并在北京建立放射性核素实验室，在北京和昆明建立两个次声站，在海拉尔、兰州、西安、北京、广州、昆明建立6个地震台站。

除CTBT外，世界上的主要国家也都在积极发展核爆炸监测技术，并构建各自的核爆炸监测系统，以便对国外的核武器发展进行监测分析。

1.4.1 美国核爆炸监测系统发展现状^[6-8]

美国的核爆炸监测系统是由各种天基、地基资源组成。早在 1960 年,美国就在 100 多个重要地区设置了核爆炸自动报知装置,每一个地区有 3~7 个自动观测站,可利用核爆炸产生的光辐射测定爆炸地点,并自动报知战略空军总部。1961 年,美国启用了“Vela”(维拉)卫星用于核爆炸监测试验,1970 年,发射了最后一对高级维拉卫星,专门用于探测空间及大气层核爆炸,卫星上的核爆炸探测设备,装有 X 射线(接收初期火球的 X 辐射), γ 射线(接收瞬发 γ 辐射)及中子(接收瞬发中子)探测器。1971 年后,核爆炸监测任务由防御支撑计划(Defense Support Project, DSP)的卫星实施,主要装有中子计数器和 X 射线探测器;1983 年夏季,美国发射第一颗携带有核爆炸探测器的全球定位卫星(Global Positioning System, GPS)。全球定位卫星是军用导航卫星,它系圆形轨道,运行高度 2 万 km,地球上任何位置上空可同时“看”到 4 颗卫星。核爆炸探测设备则采用“搭班车”的办法布置在导航卫星上,卫星上有光学探测器、X 射线探测器,可在全球范围内探测、定位并实时记录所发生的任何核爆炸。为了完善卫星核爆炸监测系统,洛斯·阿拉莫斯国家实验室(Los Alamos National Laboratory, LANL)开发并于 1993 年和 1997 年分别发射了 ALEXIS 和 FORTE 低轨道小型试验卫星。此外,新的 GPS 卫星上采用了新型 X 射线和带电粒子探测器(Combined X-Ray Detector, CXD)及新一代大气层核爆炸电磁脉冲探测系统。美军还在积极研发新一代星载核爆炸探测传感器,军方与其他机构已经对将安装在 GPS 卫星和空基红外系统(Space Based Infrared System, SBIS)上的核爆炸监测系统进行了研究。

在地基探测领域,美国的原子能侦测系统(Atomic Energy Detection System, AEDS)则是由分布在全世界 35 个国家境内的地下、水下、声呐和机载传感器组成,使美国可监测到世界上 90% 以上的核试验。AEDS 是一套超级整合原子能电子侦查系统,它以“地震研究”“联合考察”等名义在世界范围内实现安装,一方面,可以进行科学研究任务,与所在国实行资源共享;另一方面,则可对所在国及相近范围内的区域进行核爆炸监测。

此外,美军也积极建设了战场生化态势感知与联合报警系统(Joint Warning and Reporting Network, JWARN)和核生化报警与报告系统(NBC Warning and Reporting System, NBCWRS),这些系统能迅速向指挥官报告核生化危害信息,并可传输至上级、下属与友邻司令部,通报作战区域内预计与实测的污染。其中,多用途综合化学试剂报警器系统(Multipurpose Integrated Chemical Agent Alarm, MICAD)是 JWARN 的关键组成,它是一个集成的核生化探测、报警与报告系统,它使战场报警与报告过程自动化,包括从野战装备的核生化探测器自动收集核生化污染数据,并发出警报。

1.4.2 其他国家核爆炸监测系统的发展现状^[9]

目前,除美国外,世界上其他许多国家也都建立了严密的核爆炸监测网络系统,行使着战时和平时的核爆炸监测功能。

加拿大组建了对核爆炸及放射性沉降的监测机构,包括判定核爆炸投影点的观测哨、辐射侦察和剂量监督哨,情报收集和整理中心,以及情报中心站。在紧急时期他们

将同军队的核爆炸监测机构组织进行情报交流。在战时，这些核爆炸监测哨的数目可达到 12000 个。

德国则把核爆炸监测系统列为国家预警和警报系统的组成部分，它将国土分为 10 个警报管区，每区有 4~5 个监测辐射、化学和生物情况的监测区。核爆炸监测哨把收集到的情报传给地区监测站，再传至警报中心。每个监测区有 25~30 个监测哨，相互距离 12~15 km。据称，德国共有监测哨 1565 个（其中包括 1000 个具有完全自动化装备的监测哨），另外还有 200 个机动的核爆炸监测哨。这些哨所的人员均配备有必要的监测仪器和个人防护器材。

英国建有辐射侦察和剂量监督系统，该系统共有约 11000 个工作人员，分布在 873 个地面观测警报站，遍布英国整个国土范围。每个观测站设有地下水泥工事，装备有必要的设备，可获取并传递核威力情况、辐射情况及气象情况。监测哨获取情报后报监测司令部（全国共 25 个）和观测警报区域作战中心（全国共 5 个），之后传给 250 个警报监测站。

苏联也积极发展核爆炸监测。苏联的宇宙卫星也担负有类似维拉卫星的任务，1962 年 5 月 28 日发射的宇宙 5 号和 1964 年 5 月 22 日发射的宇宙 17 号详细收集了美国核试验产生的放射性物质，后来核爆炸监测任务由一部分侦察卫星担负。此外，苏联还派技术专家带仪器到国外设站，对美国在太平洋进行的核爆炸进行监测。

法国、意大利、丹麦、葡萄牙、挪威、土耳其、比利时、荷兰等国也建立了一定数量的固定或机动的核爆炸监测哨，这些哨所多建立在人口稠密处、相关的大工业企业和使用裂变材料的能源单位中，各地的气象站往往也担负一定的大气层放射性的监测任务，有的国家还建有放射性落下灰自动预报系统等核爆炸监测设施，并建立了完善的情报传递机制与国家级的情报分析中心，可进行实时的联系。

中国科学家们对核爆炸侦察很重视。赵九章教授曾亲自召集有关专家讨论研究这一课题，在他的关切下，科学家们曾利用地震波方法、声重波方法、地磁扰动方法、气压扰动方法等，针对当时国外核爆炸试验事件进行了探测试验和研究。这是中国核爆炸侦察技术研究的开端。

自 20 世纪 80 年代以来，基于核爆炸侦察技术发展的需要，中国开展了一系列针对国外核爆炸侦察技术的分析工作。中国工程院院士毛用泽教授等对美国核爆炸监测卫星的发展进行了深入的研究^[10]，对 Vela 卫星、FORTE 卫星、Alexis 卫星、GPS 卫星等装置的重要核爆炸探测仪器设备、技术参数、数据处理方法、通信传输模式进行了全面的资料收集、整编及细致的分析总结，进而对我国天基核爆炸探测系统提出了宝贵的建议。张仲山教授等人则对国外核爆炸光辐射探测技术的相关内容，尤其是光辐射与闪电的识别技术进行了研究^[11-12]。在电磁脉冲技术方面，对国外研究工作了解较深、研究较多的是双基线定位技术、雷电脉冲的干扰处理，及电磁脉冲传播模型、核爆炸地磁场模型^[13-15]。除跟踪国外技术外，国内一些研究机构和学校对核爆炸侦察装备和技术进行了较为系统深入的研究，利用一些较新的信号处理技术对核爆炸电磁脉冲、核爆炸光辐射探测、核爆炸地震探测中的关键技术进行了分析与验证^[16-20]，并出版了一些书籍，如《核爆炸探测》^[6]、《电磁脉冲导论》^[21]，以及《核爆地震模式识别》等^[22]。然而，国内的研究工作多数集中于对具体的某项技术或算法的研究，相对而言，对核爆炸水声

探测、核爆炸次声波探测、核素探测等相关技术的介绍较少。

1.4.3 核爆炸侦察技术发展趋势

核爆炸侦察技术的发展是与禁核试核查及核防御的迫切需要分不开的,科学技术的发展进步必将为核爆炸侦察提供更有效的技术手段。从目前来看,核爆炸侦察技术的发展趋势如下:

(1) 积极发展中、远区核爆探测技术,构建完备的核爆炸监测网络。用电磁脉冲、次声、地震、卫星等多种手段,设置多个侦察站构成监测网络,这样就能在较大范围内迅速和准确地实施核爆炸侦察和效果估计。

(2) 积极采用新技术,提高探测效果。积极探索新的技术,不断改进现有设备,逐步提高实时处理的效果,缩短处理周期,提高精度和可靠性。

(3) 研究针对低当量核武器爆炸可靠探测的设备、理论和方法。

(4) 研发新的探测平台,实现核爆炸探测的攻防兼顾、平战结合。

(5) 重视研发用以校准和检验各种核爆炸监测系统的核爆炸模拟仿真技术与装备。

(6) 重视基础理论研究,拓展核爆炸探测的新方法。

1.5 禁止核试验条约的发展历程

1945年7月16日凌晨5时29分45秒,美国在新墨西哥州,人称“死亡之旅”(Journey of Death)的阿拉莫戈多沙漠中进行了人类历史上首次核试验(钚弹,试验代号为Trinity),该次试验在30m高的铁塔上引爆核装置(如图1-1所示),爆炸当量为19kt。该试验使半径为700m范围内的沙子融化成玻璃状物质,在半径为1600m范围内的所有生物荡然无存。同年8月,美国空军上校保罗·蒂贝茨和少校查尔斯·斯威尼根据杜鲁门总统的命令分别向日本的广岛和长崎投掷了一颗原子弹。原子弹爆炸使得广岛和长崎被夷为平地,造成45万多人死亡、7万多幢建筑物大部分受到损坏,并造成两个城市的居民患有多种隐患性疾病。投掷到日本的原子弹加速了第二次世界大战结束的进程,与此同时,核武器产生的巨大威力、多种杀伤破坏因素引起了世界的震惊。随后,世界上几个大国加速研制核武器,展开了一场持续几十年的核军备竞赛。1949年8月29日,苏联在哈萨克斯坦东北部塞米巴拉金斯克(Semipalatinsk)试验场进行了首次地面核试验,当量为22kt。1952年10月3日,英国在澳大利亚蒙特贝罗群岛的Trimouille岛外的海洋表面驳船上进行了代号为“飓风”的首次核试验,当量为25kt。

随着美国第一颗原子弹试验成功到原子弹在日本爆炸产生的破坏后果,使人们对原子弹的认识由好奇心理很快变为震惊,乃至恐惧。随着核试验的不断进行,人们开始反对核武器。1954年,时任印度总理尼赫鲁(Nehru)致信联合国秘书长,呼吁达成停止核试验协议。1954—1956年,苏联也先后4次提出了禁止核试验的建议。在1955年5月,当苏联再次提出终止核武器试验的建议时,由美国、英国、加拿大、法国以及苏联5个国家组成的委员会开始了一系列谈判,试图制定一个国际公约以终止核试验。但在谈判初期,美国认为不应该通过任何谈判控制和废除核武器,因此,谈判进程非常缓

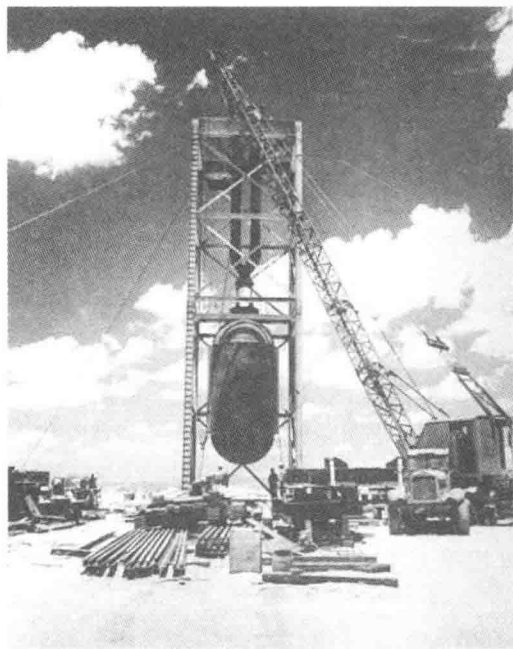


图 1-1 第一颗原子弹准备试爆

慢。1956 年，美国才表示愿意有条件地同苏联进行禁止核试验谈判。1957 年，全面禁止核试验成为联合国大会的一个单独议题。1958 年 10 月，美国、苏联和英国 3 个有核国家在国际社会的压力下就禁止核试验问题开始谈判。但从总体上来看，虽然当时反对核试验的呼声很高，但由于美、苏两国在核竞赛中生产和改进核武器的任务没有完成，因此也就无法在禁核试验问题上达成协议。但是，1958 年 11 月至 1960 年 9 月，美苏两国由于试验计划告一段落而暂停了核试验。在这期间，1960 年 2 月 13 日，法国在位于非洲撒哈拉沙漠的雷根（Reggane）试验场进行了代号为“蓝色跳鼠”当量为 60 ~ 70 kt 的首次核试验。1961 年秋，苏美先后恢复了核试验。但从 1963 年 6 月开始，美国希望制定一个禁止核试验的国际公约，并于当年 7 月 15 日，美国、苏联、英国开始了实质性谈判。1963 年 8 月 5 日，美国、苏联、英国签订了《部分禁止核试验条约》，该条约禁止在大气层、外空和 underwater 进行核试验，从此，三方将核试验转为地下。该条约于当年 10 月 10 日生效，截止到 1990 年 11 月，共有 117 个国家签署了该条约。

在 PTBT 签订后，美国、苏联、英国开始进行地下核试验。到 20 世纪 70 年代，美国和苏联的核试验技术已有很大提高，一方面是因为他们已经实施了很多次地下核试验，另一方面，两国的导弹技术当时已进入多弹头分导时代，且命中精度大为提高，因此，每个核弹头不需要很大。在这种情况下，为了限制两国间的核军备竞赛，继续进行核裁军，同时缓和国际社会要求他们停止核试验的压力，1974 年，美国和苏联开始了进一步限制核试验的谈判，经过激烈谈判，1974 年 7 月，美国和苏联达成了限制地下核试验条约，并签署了《（美苏）限制地下核武器试验条约》。在条约签署后，美国以核查不充分为由，拒不批准该条约，但两国都遵守了条约的规定。为使该条约生效，美国和苏联于 1987 年开始了新一轮谈判，以便制定新的核查议定书。1989 年，美国和苏

联就使用现场流体动力学方法和地震台站测定爆炸当量达成了一致协议。该协议导致美苏双方于1990年签署了新的核查议定书，并使该条约于1990年12月11日生效。该条约有效期为5年，到期后可按5年一次往后顺延。

美国和苏联虽然于1974年签署了《(美苏)限制地下核武器试验条约》，但该条约对用于核武器研制试验与和平目的的核试验没有进行区分。为弥补该缺陷，1974年10月，美国和苏联双方开始了用于和平目的的核试验的谈判，经过6个阶段、18个月的谈判，两国于1976年5月28日签署了《(美苏)和平利用地下核爆炸条约》，但该条约同样没有得到美国批准，直到1990年6月1日美苏达成该条约新的核查议定书后，该条约才得以批准，并于1990年与《(美苏)限制地下核武器试验条约》一起正式生效。

自1960年以来，美国和苏联双方虽然在停止核试验问题上达成了一些协议，但自20世纪70年代到80年代末，两国在全面禁止核试验问题上尖锐对立。苏联为谋求核均衡地位频频发起以全面禁止核试验为内容的核裁军攻势，以限制美国核武器技术发展。美国则坚决反对全面禁止核试验，并于1981年和1983年先后提出全面加强和更新核力量的“战略核武器计划”和“战略防御计划”。与此同时，广大无核国家，包括一些西方国家也强烈要求缔结全面禁止核试验条约。20世纪80年代末，美国核武器性能已接近极限，并且基于它已实施的上千次核试验，可以凭借技术优势开展核爆炸模拟技术以代替核试验。与此同时，苏联解体后，俄罗斯在核武器上难有大的发展。因此，美国没有必要去改进其花费巨大的核武库。此外，英国、法国、中国都还想改进核武器，并且还有一系列国家力图在核武器方面追赶上来。在这种形势下，如果美国停止核武器发展，而让其他一些国家继续发展核武器，美国核优势就会逐渐降低。为保持其核优势，美国就全面禁止核试验开展了一系列谈判。从1992年至1994年9月，美国率先提出暂停核试验，而且在1993年10月中国进行一次核试验后，美国为促成全面禁止核试验的达成，没有恢复核试验，并于1994年3月宣布延长暂停期。此后，英国和法国虽然还想开展核试验，但迫于国内外压力只好暂停，中国政府虽然赞成全面禁止核试验，但明确只有在全面禁止核试验条约签订后才会停止。从1993年开始，联合国裁军会议就开始集中讨论《全面禁止核试验》的草案，但由于每个国家有自己的立场，很难取得一致意见。1995年8月11日，美国时任总统克林顿宣布，美国将在全面禁止核试验谈判中提出把核试验的当量降低到零，这一提议消除了日内瓦裁军会议的大部分争议。因此，在国际社会经过40余年的不懈努力下，联合国第50届会议于1996年9月10日以158票赞成、3票反对、5票弃权的情况下通过了《全面禁止核试验条约》，并于当年9月24日开放供所有国家签约。在全面禁止核试验条约框架下，为促进条约生效和监测全球核试验，1997年成立了全面禁止核试验条约组织筹委会，建立了相应执行机构——临时技术秘书处（Provisional Technical Secretariat, PTS），总部位于奥地利首都维也纳。截止到2015年8月，全世界已有183个国家签订了条约，164个国家完成了批约，最近批约国是安哥拉（Angola）。但由于条约生效所必需的附件2中所列的42个成员国中，目前仅有36个成员国完成了批约，因此，《全面禁止核试验条约》目前并没有生效。但为满足条约生效时所需的监测能力，PTS就条约规定的国际监测系统（International Monitoring System, IMS）展开了建设，目前在条约规定的321个监测台站中，已有281个台站完成核证；与此同时，相应的核试验监测技术也得到了系统深入的研究。