

核爆炸物理概论

乔登江 编著

原子能出版社

核爆炸物理概论

乔 登 江 编著

原子能出版社

核爆炸物理概论

乔登江 编著

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16·印张 28 ·字数 692千字

1988年5月北京第一版·1988年5月北京第一次印刷

印数 1—1000

统一书号: 15175·689 定价: 7.15元

ISBN 7-5022-0076-2/O·12

内 容 简 介

本书第一章为核爆炸现象学，介绍核爆炸景象和初始参数；其余十八章分为五部分，即爆炸力学、光辐射、核辐射、核电磁脉冲、高空核爆炸物理概要和核爆炸引起的大气电离。本书着重讨论、介绍这些杀伤破坏因素的理论基础、产生和发展过程、特点及其变化规律，并推荐了必要的计算公式，为核试验、核武器使用和防护提供基础知识，可供核武器研究、试验、核防护工程和抗核加固等有关工程技术人员使用，也可供有关专业的大学生、研究生和教师参考。

序

自一九四五年七月十六日美国爆炸了第一颗原子弹以来，世界上已进行了将近四百次大气层核试验。通过这些核试验，不但取得了相当多试验数据，而且在核武器的各种杀伤破坏因素及其效应方面得到了相当充分的研究。近些年来，已有不少反映这些研究成果的系统著作问世，但把核爆炸物理学作为一门学科进行比较全面的论述还没见到。这本书弥补了这个不足，收集了大量的资料，叙述了核爆炸物理学理论的基本知识，在已有的实践知识的水平上，阐明了这一学科的主要部分，反映了近年来在这一领域内所积累的丰富的理论和实践材料，叙述得也比较系统和明晰。

核爆炸的物理现象学虽已经过三十多年的研究，但是由于专业交流的限制，更主要的是由于核爆炸现象本身的复杂性，还有不少问题难以总结出理论规律，而停留在经验公式上。正因为是经验公式，所以各家所归纳的结果就不尽相同。这本书所推荐的一些经验公式与美、苏有关著作中所提供的略有差异，但是这些不同不是实质性的。本书侧重系统阐述有关核爆炸物理学方面的基本规律，所以提供的经验公式并不多。例如，作为杀伤破坏因素之一的放射性沾染等有关内容讨论得比较少；另外，没有更多的提供核试验的具体试验结果。

由于这本书有上述特点，将它和有关手册或着眼于核武器效应的书配合使用是有益的。这是一本有价值的核爆炸物理学方面的参考书，着重系统地和连贯地从深度上阐述，有助于引导初始工作者入门；对已有经验的工作者需要进一步在原基础上深入也有参考价值。

程开甲

前 言

核武器是一种大规模的杀伤武器。随着核武器的改进和投掷兵器精度的提高，它的杀伤破坏威力更加增强。因此，研究核爆炸的杀伤破坏规律是一项极为重要的任务。

几十年来，核武器不断改进，核试验不断进行，因而逐渐形成了核武器物理和核爆炸物理等学科。核武器物理虽然是一门具有丰富内容的学科，但由于保密的限制，见诸公开报道的内容极少，核爆炸物理的非保密部分在公开文献中有大量的报道，也有不少系统的专著。这些专著多数侧重介绍核爆炸现象学、杀伤破坏效应及一般参数的计算。

本书编写的目的在于深入讨论核爆炸现象，探讨杀伤破坏因素的规律，为研究核爆炸效应及防护提供理论依据。

本书的资料来源主要是公开文献的报道和有关单位的工作，包括验证理论的少量实测结果和近年来的新进展。为了叙述的系统性，也引用了一些专著的基础理论的有关内容。

根据核爆炸杀伤破坏因素的特点，本书大体分成五个部分：爆炸力学（计五章）、光辐射（计四章）、核辐射（计三章）、核电磁脉冲（计四章），后两章简要讨论了高空核爆炸现象和核爆炸引起的大气电离。在核辐射部分，虽然讨论了剩余核辐射，但没有讨论有关放射性烟云和沉降的内容。各部分的前一章和各章中有章节是继后讨论所涉及的基本理论，如果读者并不关心它可以不看，不致影响对主要内容的了解。

本书所提供的公式、图表和数据，同国外现行书刊的结果比较来看，大致情况如下：力学和光辐射部分差异不大，核辐射部分差异较大，尤其是核爆炸中子这部分差异最大，这可能是由于核武器设计细节的不同所引起的。从效应的角度看，这些差异带来的影响可能并不严重。核电磁脉冲部分因为国外现行著作中讨论不多，无法进行比较。

本书是在许多同志工作基础上编写成的，写成后承蒙程开甲教授和几位专家审阅过，还有不少同志为此书付出了辛勤的劳动，作者在此谨对他们表示衷心地感谢。

因为编者的水平有限，缺点和错误在所难免，衷心希望读者批评指正，以便进一步修改。

作 者

1982年

目 录

序	I
前言	II
第一章 核爆炸现象学	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 核爆炸方式与外观景象	2
§ 1.3 核爆炸的杀伤破坏因素和发展过程	7
§ 1.4 核爆炸的杀伤破坏特点	7
§ 1.5 核装置的爆炸过程	8
§ 1.6 核爆炸初始参数	10
参考文献	10
第二章 爆炸力学基础	11
§ 2.1 流体力学方程组, 声波	11
§ 2.2 激波关系	14
§ 2.3 一维非定常流动	17
§ 2.4 强爆炸自模拟解	21
§ 2.5 爆炸相似律	25
参考文献	28
第三章 冲击波在大气中传播	29
§ 3.1 引言	29
§ 3.2 理想气体和真实空气的点爆炸数值解	29
§ 3.3 真实空气球爆炸的辐射流体力学计算	40
§ 3.4 非均匀大气点爆炸数值解	46
参考文献	51
第四章 空中、地面爆炸的冲击波传播	52
§ 4.1 定常激波反射理论要点	52
§ 4.2 空中爆炸冲击波的传播	59
§ 4.3 地面爆炸、爆炸成坑	64
§ 4.4 地下土石介质中的压缩波	68
参考文献	71
第五章 影响冲击波传播的因素	75
§ 5.1 爆炸区域的环境条件	75
§ 5.2 激波在不同热性质和含尘埃气体中的传播	77
§ 5.3 热空气层对核爆炸冲击波传播的影响	81
§ 5.4 激波绕射的近似理论, 地形对冲击波传播的影响	85
参考文献	92
第六章 弱冲击波的传播	93
§ 6.1 弱冲击波的特点	93
§ 6.2 声波近似	97

§ 6.3 弱冲击波在非均匀大气中的传播	100
§ 6.4 大气环境及其对声线场的影响	103
§ 6.5 弱冲击波沿地面的传播	106
§ 6.6 弱波的聚焦	107
参考文献	111
第七章 热辐射迁移理论基础	112
§ 7.1 引言	112
§ 7.2 热辐射基本概念	112
§ 7.3 辐射与物质的相互作用	114
§ 7.4 黑体辐射	116
§ 7.5 辐射迁移方程	118
§ 7.6 迁移方程的解	121
§ 7.7 扩散近似和发射近似	125
§ 7.8 有效温度	128
§ 7.9 辐射热传导近似, 热波	129
§ 7.10 辐射流体力学方程组	134
§ 7.11 热辐射激波	135
附录 辐射迁移平均自由程	142
参考文献	149
第八章 火球	150
§ 8.1 引言	150
§ 8.2 火球发展过程	150
§ 8.3 火球现象	154
§ 8.4 X射线火球	156
§ 8.5 辐射扩张阶段, 冲击波扩张阶段	160
§ 8.6 火球的辐射流体力学	164
§ 8.7 辐射流体力学有关火球的计算结果	166
§ 8.8 相似律与高度效应	171
参考文献	172
第九章 大气光学基础	173
§ 9.1 大气消光系数和透射比	173
§ 9.2 粒子散射理论简述	174
§ 9.3 光在大气中的散射	176
§ 9.4 大气中光辐射迁移方程及其近似解	179
§ 9.5 大气能见度	183
§ 9.6 斜程散射透射比, 吸收透射比	185
参考文献	187
第十章 光冲量	188
§ 10.1 概述	188
§ 10.2 光冲量的半经验规律	189
§ 10.3 光冲量的一次散射理论计算	192
§ 10.4 光冲量的随机模拟——蒙特卡罗方法(M-C方法)的计算	196

§ 10.5 地爆光冲量	199
§ 10.6 光辐射能量的光谱分布	200
参考文献	201
第十一章 裂变、聚变物理基础	202
§ 11.1 引言	202
§ 11.2 核反应	203
§ 11.3 裂变过程	205
§ 11.4 裂变释放的中子和 γ 辐射	212
§ 11.5 聚变过程	217
§ 11.6 核爆炸中子和 γ 辐射的泄漏	220
参考文献	221
第十二章 核爆炸中子	222
§ 12.1 中子与物质的相互作用	222
§ 12.2 中子迁移方程、扩散近似、中子慢化	225
§ 12.3 核爆炸中子的空间分布	232
§ 12.4 中子的能谱、角分布	237
§ 12.5 缓发中子对中子积分通量的贡献	241
§ 12.6 反照率、核爆炸中子场的影响因素	245
§ 12.7 中子剂量	249
§ 12.8 中子对介质的活化、氮俘获 γ 辐射、感生放射性	252
参考文献	257
第十三章 核爆炸 γ 辐射	258
§ 13.1 核爆炸 γ 辐射源	258
§ 13.2 γ 辐射与物质的相互作用	258
§ 13.3 γ 辐射的迁移	264
§ 13.4 点源 γ 辐射在无限均匀大气中的传播	266
§ 13.5 核爆炸 γ 辐射的传播	269
§ 13.6 早期 γ 辐射剂量率	274
§ 13.7 早期 γ 辐射剂量及其积累过程	278
§ 13.8 早期 γ 辐射的能谱和角分布	281
§ 13.9 剩余核辐射	286
参考文献	290
第十四章 核爆炸电磁学基础	291
§ 14.1 引言	291
§ 14.2 电磁场方程组	292
§ 14.3 电磁场方程组的基本性质	295
§ 14.4 电磁波的辐射、标势、矢势	299
§ 14.5 电偶极子和磁偶极子辐射、赫兹势	304
§ 14.6 电偶极子在导电介质中的辐射	307
§ 14.7 运动带电粒子的辐射	309
§ 14.8 空气的电离、复合动力学	313
参考文献	317

第十五章 核电磁脉冲	318
§ 15.1 核电磁脉冲产生的机理——康普顿电流模型	318
§ 15.2 NEMP的特点	320
§ 15.3 康普顿电流、空气电导率	322
§ 15.4 源区NEMP的近似分析	327
§ 15.5 电偶极子模型, 空中爆炸 NEMP 的一维计算	332
§ 15.6 NEMP 的二维数值计算	336
§ 15.7 空中爆炸 NEMP 的高度效应	342
§ 15.8 高空核爆炸的 EMP	344
参考文献	352
第十六章 NEMP的传播	353
§ 16.1 引言	353
§ 16.2 远区 NEMP 的特点	354
§ 16.3 大地表面和电离层的反射特性	357
§ 16.4 地波的传播	362
§ 16.5 波跳理论及其计算 结果简介	364
§ 16.6 波导模理论简介及其对远区 NEMP 的解释	368
参考文献	371
第十七章 系统电磁脉冲 (SGEMP) 和内电磁脉冲 (IEMP)	372
§ 17.1 引言	372
§ 17.2 X射线脉冲的特点 和光电子发射	373
§ 17.3 SGEMP的一般讨论	379
§ 17.4 典型物体的 SGEMP 举例	383
§ 17.5 内电磁脉冲 (IEMP)	385
参考文献	392
第十八章 高空核爆炸物理概要	393
§ 18.1 引言	393
§ 18.2 X射线在稀薄大气中的能量沉积和辐照量	397
§ 18.3 燃烧火球及其再辐射 地面光冲量	402
§ 18.4 冲击波的形成和传播	408
§ 18.5 碎片云运动	413
§ 18.6 早期核辐射的空间分布	416
参考文献	418
第十九章 核爆炸引起的大气电离	419
§ 19.1 引言	419
§ 19.2 剩余 γ 辐射引起的附加电离	420
§ 19.3 高空核爆炸瞬发点源造成的附加电离	423
§ 19.4 高空核爆炸体源造成的附加电离	425
§ 19.5 附加电离区对电波传播的影响	428
参考文献	431
附录	432
1. 常用单位换算	432
2. 核爆炸环境基本参数	436
3. 核爆炸产生各种辐射和 α 、 β 粒子的基本参数	437

第一章 核爆炸现象学

§ 1.1 引言

自美国1945年研制成功第一批原子弹以来,苏、英、法、中相继成功地制造了核弹并进行了多次试验。具体进程情况见表1.1-1。

1945年7月16日,美国在阿拉莫果多进行了第一次原子弹试验,称为三一(Trinity)试验,当量约为1.9万吨TNT,在塔上爆炸。到1981年底为止,美国前后进行了约665次核试验。苏联自1949年8月29日进行第一次核试验以来,前后也进行了约262次试验,详见表1.1-2。1963年美、英、苏签订了部分禁止核试验条约以后,停止了大气层核试验,转入封闭式地下核试验。在该条约签定之前仅美、苏总共进行了403次试验,约占总数的92.8%。其中除了少数为封闭式地下爆炸外,其它都是在空中、地面(水面)、浅地下(水下)和高空中进行的。通过试验积累了大量有关核爆炸物理学的资料、美国在这方面的综合总结见文献[1]。

我国于1964年10月16日成功地进行了首次核试验,在两年另八个月时间后,于1967年6月17日成功地进行了第一次氢弹试验,其发展速度比美、苏、英、法等国都快得多(参见表1.1-1)。

表1.1-1 美、苏、英、法、中核试验进程表

国 名	第一次原子弹试验	第一次氢弹试验	第一次地下核试验
美国	1945.7.16	1952.10.31	1951.11.29
苏联	1949.8.29	1953.8.12	1961.10.11
英国	1952.10.3	1957.5.15	1962.3.1
法国	1960.2.13	1968.8.24	1961.11.7
中国	1964.10.16	1967.6.17	1969.9.23

印度于1974年5月也进行过一次核试验。

表1.1-2 美、苏、英、法、中、印核试验总计表*

时 间	国 名	试 验 方 式				
		大 气 层	高 空	水 下	地 下	合 计
1945—1963.8.4	美国	183	10	5	78	276
	苏联	121	3	1	2	127
	英国	21			2	23
	法国	4			4	8
1963.8.5—1979.12.31	美国				359	359
	苏联				94	94
	英国				6	6
	法国	41			23	64
	中国	21			4	25
	印度				1	1

* 引自“Health phys.”79年3月刊

表1-1-2 续

1980—1981		大气层	地下	合计
	美国 苏联 英国 法国 中国		14+16 20+21 3+1 8+11	30 41 4 19 1
		1		

从大量的核试验内容来看, 试验的目的是: 改进核武器的性能、可靠性和安全性; 研究核爆炸效应, 提高核武器的使用和防护能力; 改进核爆炸探测和侦察手段, 以提高核诊断和识别核爆炸的能力; 有关的科学试验和核爆炸的和平利用。其中前两项是核试验的中心内容。为达到这些目的, 分析和掌握核爆炸所产生的物理现象和规律就具有十分重要的意义。通过大量的试验和利用电子计算机进行的大量的理论计算工作, 人们已经认识和掌握了与核爆炸有关的主要物理现象和规律。

部分禁试条约签定以后, 虽然封闭式地下核试验可以部分地代替大气层核试验以达到上述目的, 但是有些内容, 如某些爆炸效应的研究并不能在地下试验中完成, 还需要用别的手段来补充。这个补充手段就是建立大型模拟设备, 进行模拟试验, 例如大药量的化爆模拟, 光辐射、早期核辐射及核电磁脉冲模拟设备等, 以及在电子计算机上进行数值模拟。

以研究核爆炸物理现象及其规律为内容的核爆炸物理学, 在第二次世界大战后30多年内受到了人们广泛的重视, 得到了相当充分的发展, 取得了大量的成果。这些成果为核试验的诊断, 核武器的使用和防护提供了有力的依据。近十多年来, 由于美、苏停止了大气层试验, 从事这方面的工作人员大大减少, 工作发展速度减慢, 但仍然结合模拟试验在继续发展中。对于核试验起步比较晚的我国来说, 核爆炸物理学的研究工作仍应受到充分的重视, 它将为我国核武器的发展, 为武器的使用和防护做出贡献。

这本书中不可能详尽讨论核爆炸物理学的各个方面, 只能就一些基本方面做概略的介绍, 为深入研究打下一个基础。

§ 1.2 核爆炸方式与外观景象

核爆炸和常规炸药爆炸一样, 都是在有限体积内瞬时释放出大量能量的过程, 但前者释放的能量更大, 能量密度更高, 例如一般TNT炸药的能量密度仅为1.6千卡/厘米³, 而原子弹活性区的能量密度高达10⁸千卡/厘米³。为了便于和炸药比较, 核爆炸释放的能量通常应用与之相当的TNT炸药的重量, 即TNT当量 (简称当量) 来表示, 并且约定每公斤TNT炸药爆炸释放的能量为1000千卡或4.19×10¹³尔格。

一、核爆炸的方式, 通常分为地面 (水面)、地下 (水下)、空中和高空等爆炸方式, 其中大气层爆炸是按爆炸高度 (或埋设深度) 和当量立方根的比例关系; 即比高 (或比深) 来区分的。比高为

$$h' = \frac{h}{Q^{1/3}} \quad (\text{米/千吨}^{1/3}) \quad (1.2-1)$$

式中 h 为爆炸高度，以米为单位，当量 Q 以千吨为单位。

核爆炸方式如何按比高来具体区分，美国、苏联的分法也不完全一致，因为区分方法既与核爆炸的外观景象有关，也与对爆炸方式的杀伤破坏特点的人为判断有关，正是因为存在人为因素，所以区分方法很难统一，这里推荐如下的区分方法：

1. 地面爆炸（简称地爆）： $h' \leq (50-60) \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，对于小当量采用 50，大当量采用 60，外观景象的基本特点是火球仍与地面接触。再细致区分有触地爆炸： $h' = 0$ ，有坑爆炸： $0 < h' < 30 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，无坑爆炸： $30 \leq h' \leq (50-60) \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ 。

2. 空中爆炸（简称空爆）： $h' > (50-60) \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，具体还可分为低空爆炸： $(50-60) < h' \leq 120 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，中空爆炸： $120 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3} \leq h' \leq 200 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ 。

3. 高空爆炸：通常仅用爆炸高度来区分，从爆炸现象有明显区别这一点来看，约为 80 公里的爆炸高度是分界线，不妨认为高空爆炸也可分成爆炸高度在 80 公里以下和以上两种方式。

4. 地下爆炸： h 应为爆心距地面的埋设深度， h' 则为比例埋深，也可以分为两类： $0 < h' < 120 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，称为浅埋成坑爆炸； $h' > 120 \text{ 米}/(\text{千吨})^{1/3}$ ，基本上无放射性泄漏出地面，称为封闭爆炸。

具体区分见表 1-2-1。

表 1-2-1 不同爆炸方式的区分

爆炸方式	比高[米/(千吨) ^{1/3}]范围		备 注
地面爆炸	$h' = 0$ $0 < h' < 30$ $30 \leq h' \leq (50-60)$	触地 成坑 无坑	火球呈半球形 当火球半径最大时，与地面接触，但没有弹坑
空中爆炸	$(50-60) < h' \leq 120$ $120 < h' \leq 200$ $h' > 200$	低空 中空 高空	括号中的数字，当量大时用 60，小时用 50 根据环境对爆炸景象影响的特点，又以实际爆高 80 公里为分界线
地下	$-120 < h' < 0$ $h' < -120$	浅埋成坑 封闭式	

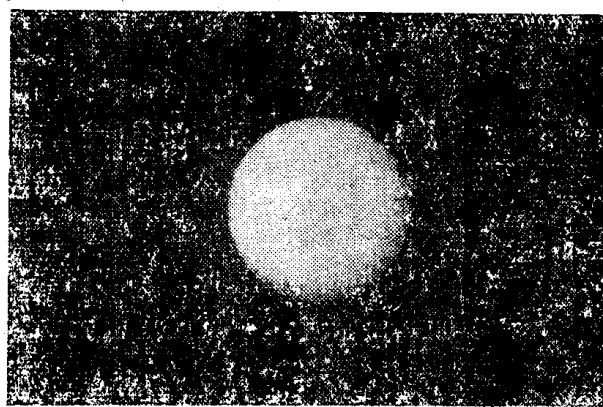
二、核爆炸的外观景象与爆炸方式有关，爆炸方式不同，其景象也略有差异。空爆和地爆外观景象的共同特点是依次出现闪光、火球、蘑菇状烟云和在不同距离上先后听到爆炸响声。

对于空爆，爆炸瞬间首先看到极强烈的闪光，它的持续时间比较短，不超过一秒钟，在距爆心数百公里的范围内都能观察到。

闪光过后，随即出现一个圆而明亮的火球，如照片 1 所示，火球不断增大并缓慢上升。

在冲击波经地面反射后，反射冲击波经过火球使得火球变形，呈上圆下平的馒头状，底部明显向内部凹陷。在火球的发展过程中，其直径不断增长，同时向外发出光辐射，其发光时间和最大直径仅与当量有关。不同当量的有关参数见表1·2-2。

火球熄灭后，冷却成为灰白色或棕褐色（视爆高而定）的烟云，继续以一定的速度膨胀和上升。在烟云上升的同时，由于地面反射冲击波的作用，在地面爆心投影点区域内掀起的尘柱也迅速上升，经过一段时间后追及烟云，形成典型的蘑菇状烟云。对于当量为10万吨以下的爆炸，烟云上升到大气对流层顶附近不再上升，其几何尺寸也相对呈稳定状态；对于百万吨以上大当量爆炸，烟云将穿过对流层顶，在一定高度上也出现暂时的稳定状态。稳定时烟云的高度和几何尺寸与当量有关，数据也列在表1·2-2中。因为烟云的稳定高度和几何尺寸受大气条件的影响比较大，表1·2—2中的数据仅是略数。



照片1 核爆炸火球

表1·2-2a 不同当量核爆炸火球的最大直径和发光时间

当量 (千吨)	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
最大直径 (公里)	0.18	0.32	0.40	0.52	0.71	0.90	1.16	1.6	2.05
发光时间 (秒)	0.45	0.93	1.3	1.7	2.6	3.6	4.9	7.4	10

表1·2-2b 不同当量的核爆炸烟云的稳定顶高、稳定直径、稳定厚度及开始稳定的时间

爆炸当量 (千吨)	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
开始稳定时间 (秒)	600	520	490	460	430	400	370	340	320
稳定顶高 (公里)	6.6	8.5	9.4	10.5	12.0	13.3	14.8	17.0	18.7
稳定直径 (公里)	1.9	3.2	4.1	5.2	7.1	9.0	11.5	15.5	20
稳定厚度 (公里)	1.4	2.6	3.1	3.8	4.8	5.7	6.8	8.4	9.5

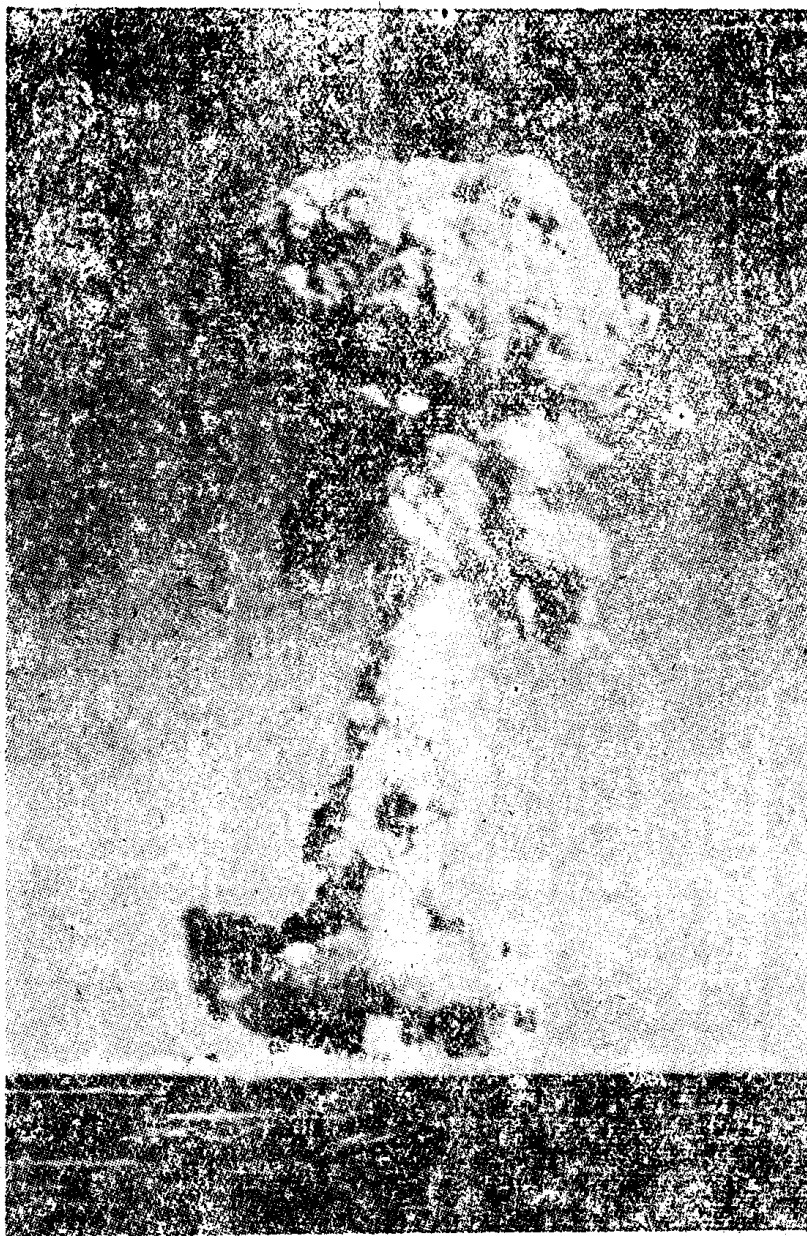
尘柱与烟云相衔接的情况取决于比高。地爆时烟云和尘柱一开始就衔接在一起，比高小于150米/(千吨)^{1/3}的空爆，尘柱一般都可能追及烟云并相衔接，比高大于150米/(千

吨)^{1.8}时，一般并不衔接。万吨级和百万吨级核爆炸的稳定时烟云参见照片2,3。

当冲击波传到不同距离处时有爆炸响声，由于核爆炸冲击波的特点，往往可以连续听到好几响。

地爆的外观景象与空爆的差异是：火球与地面接触，近似成半球形，烟云颜色深暗，尘柱粗大，连接在一起上升。对于有坑地爆，有大量的土石抛出并形成弹坑。

通过外观景象的观察能够粗略地判断爆炸方式和当量。



照片2 原子弹爆炸蘑菇状烟云



照片 3 氢弹爆炸蘑菇状烟云

§ 1.3 核爆炸的杀伤破坏因素和发展过程

一、核爆炸的杀伤破坏因素有冲击波、光辐射（或称热辐射）、早期核辐射、剩余核辐射（放射性沾染）和电磁脉冲。早期核辐射是指 γ 辐射和中子，剩余核辐射是指 γ 辐射和 β 粒子。对于纯裂变的武器来说，爆炸能量的分配是：冲击波和光辐射约占85%，早期核辐射约占5%，剩余核辐射约占10%，电磁脉冲所占份额很小，仅1%到1%。纯聚变武器的爆炸不产生剩余核辐射，早期核辐射所占的比例不变，冲击波和光辐射所占的比例增加到95%。值得指出的是，一般的核武器总是既有裂变部分又有聚变部分，仅二者的比例有差别而已。

上述杀伤破坏因素中，冲击波、光辐射、早期核辐射和电磁脉冲都是在爆后几秒到几十秒时间内起作用，故又称为瞬时杀伤破坏因素。尽管其杀伤破坏范围与当量有关，但最大不会超过一、二十公里。剩余核辐射是以放射性沾染的形式起杀伤作用的。只有在地爆条件下它的作用才比较突出，持续的时间比较长，作用的范围也比较大。

二、核爆炸的发展过程可以用时间来大致区分。为了有个量的概念，现以当量为2万吨的空爆为例来讨论。

1. $t \approx 10^{-7}$ 秒，核反应过程，向外发射瞬发 γ 辐射、中子。
2. $t \approx 10^{-6}$ 秒，弹体燃烧到约 10^6 K，形成X射线火球，继续发射 γ 辐射、中子。
3. $t \approx (1-2) \times 10^{-2}$ 秒，这个时间内看到强烈的闪光，电磁脉冲基本结束，继续发射 γ 辐射，中子，同时发出光辐射，冲击波脱离火球。
4. $t \approx 0.2$ 秒，火球直径达到最大，瞬发中子结束，继续发射 γ 辐射和光辐射，冲击波传播到约0.25公里处。
5. $t \approx 2$ 秒，火球熄灭，光辐射结束， γ 辐射已比较弱，冲击波传播到约1.2公里。
6. $t \approx (10-15)$ 秒，早期核辐射结束，10秒时冲击波传到4公里，强度已很弱，接近声波，破坏作用消失。
7. $t \approx (7-8)$ 分，烟云达到稳定高度。这个时间以后，烟云在高空风作用下向下风方向飘移，如果是地爆，相当一部分放射性微粒沉降于地面造成放射性沾染；另一部分长期停留在空中造成全球放射性沉降。

前两个过程与当量关系不大，后几个过程与当量大小有关。

§ 1.4 核爆炸的杀伤破坏特点

一般说来，核爆炸的杀伤破坏是诸种因素综合作用的结果。对于人员，以复合伤为主。对于物体，则主要是冲击波和光辐射的综合破坏。但是，不同爆炸方式不同当量下，各个因素所造成的杀伤破坏范围不同，因而杀伤破坏特点也不相同。进行粗略的分析，对于了解各个杀伤破坏因素的相对危险是有意义的。为此，把当量分成小于和大于万吨两组讨论。

大当量空爆：

光辐射强，杀伤破坏范围最大。冲击波在爆心投影点附近区域为中等强度，但杀伤破坏范围大。早期核辐射的杀伤范围小于前二者。剩余核辐射的杀伤作用可以忽略。因此，这种