



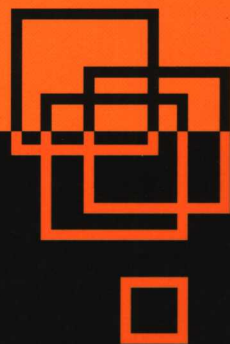
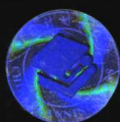
人民防空地下室

结构设计

曹继勇 张尚根 编著



中国计划出版社



人民防空工程设计丛书

人民防空地下室结构设计

曹继勇 张尚根 编著



中国计划出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人民防空工程地下室结构设计/曹继勇, 张尚根编著.
北京: 中国计划出版社, 2006. 8

(人民防空工程设计丛书)

ISBN 7-80177-687-9

I. 人... II. ①曹...②张... III. 人防工程-地下室-结构设计 IV. TU927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058894 号

人民防空工程设计丛书

人民防空地下室结构设计

曹继勇 张尚根 编著

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

787 × 1092 毫米 1/16 11.5 印张 286 千字

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月第一次印刷

印数 1—3000 册

☆

ISBN 7-80177-687-9/TU · 439

定价: 30.00 元

(内部发行)

《人民防空工程设计丛书》编审人员名单

主 编：李刻铭 李建民 吴 涛

编写人员：（按丛书顺序，排名不分先后）

杨延军	吴 涛	曹继勇	马吉民	丁志斌
方志刚	邢建春	周璧华	李建民	谢金容
张尚根	朱培根	任俊宏	石立华	王 平
耿世彬	崔陈华	王双庆	杨启亮	李刻铭
郭春信	刘 广	徐其威	王春明	梁德新
唐友怀	陈 彬	高 成	戴佑斌	顾建新

主 审：吴步旭 太史功勋 常守民

审查人员：（按丛书顺序，排名不分先后）

朱忠吉	王年桥	刘新宇	常守民	余有山
陈松华	吴步旭	袁正如	尧 勇	杨盛旭
刘凤田	杨腊梅	程宝义	缪小平	郭春信
郭海林	王金全	周璧华	石立华	太史功勋
李建民	吴 涛	丁志斌	邢建春	李刻铭
杨延军	曹继勇	马吉民	王 平	方志刚

编写单位：解放军理工大学工程兵工程学院

协编单位：江苏高科应用科学研究所



改革开放以来，城市地下空间的开发与利用越来越受到人们的重视，人们对城市综合防灾抗灾、防空袭能力的要求也越来越高。随着我国国民经济的高速持续发展，城市建设规模和建设水平不断地提高，作为与经济建设协调发展、与城市建设相结合的人民防空工程建设，尤其是人民防空地下室工程的建设将得到空前的发展。

由于种种原因，有关人民防空工程设计和管方面的专业图书资料很少。在中国计划出版社的大力支持下，全国唯一培训人防工程专业人才的解放军理工大学工程兵工程学院，依靠自身优势和专业特点，结合当前人防工程建设发展的实际需要，以及近年来我国人防科研成果及相关文献资料，根据学院及相关单位长期从事人防工程教学、设计及工程实践所积累的经验和成果，从人民防空工程的概论、建筑、结构、通风空调、给水排水、电气、智能系统以及电磁脉冲防护等八个方面，全面系统地论述了人防工程的基本概念、设计原理、设计方法和设计要求，这是我国第一套有关人民防空工程设计方面的专业丛书。

相信这套丛书的出版对我国人防工程的建设将起到积极地推动作用，对人防工程设计、审查和管理的相关工程技术人员，是一套不可或缺的实用工具书，也是一套高校人防工程专业不可多得的实用设计教程。

中国工程院院士 

二〇〇六年六月二十六日

前言

近年来,随着我国国民经济高速、持续地发展,城市建设的规模 and 水平不断地提高,城市地下空间的利用越来越受到人们的重视。与此同时,人们对城市防灾抗灾、防空袭的认识也不断地增强,我国人民防空事业也进入了自二十世纪六七十年代以来的第二个蓬勃发展的高潮,作为人民防空事业物质基础的人民防空工程(简称人防工程),特别是作为城市人防工程重要组成部分的人民防空地下室的建设总量和规模不断地增大,建设水平也不断地提高。

由于人防工程设计的特殊性和专业性,要设计出“防护可靠、经济合理、平战两用”的人防工程就要求设计人员掌握必要的人防工程设计专业知识。由于历史的原因和涉密方面的限制,目前供从事人防工程设计和管理人员使用的专业图书资料很少,这也给防空地下室设计和设计审查管理人员带来了很大的困难和诸多不便。

根据建设部“2005 年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)”和国家人民防空办公室“人民防空科学技术研究第十个五年计划”的要求,按照2003 年新修订的“人民防空工程战术技术要求”,人防工程设计规范进行了全面修订,《人民防空工程设计规范》GB 50225—2005 和《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 自2006 年3 月1 日正式颁布实施,它们代表了我国在人防工程建设方面的最新研究成果。

本套丛书以上述两本设计规范为主要依据,结合当前人防工程建设发展的实际需要,汲取了国内外先进的科研成果和有关文献资料,将解放军理工大学工程兵工程学院长期从事人防工程教学、科研、设计及工程实践的经验与体会加以整理归纳,从概论、建筑、结构、通风空调、给水排水、电气、智能系统以及电磁脉冲防护等八个方面,即《人民防空工程概论》、《人民防空地下室建筑设计》、《人民防空地下室结构设计》、《人民防空工程通风空调设计》、《人民防空工程给水排水设计》、《人民防空工程电气设计》、《人民防空工程智能化系统设计》和《人民防空工程核电磁脉冲防护设计》(该册已由国防工业出版社出

版),全面、系统地论述了人防工程的基本概念、设计原理、设计方法和设计要求。这套丛书的编写几乎是与上述两本规范的修订同步进行的,许多作者同时也是这两本规范的主编人员。丛书结构清晰,深入浅出,结合人防工程实例,重点阐述了设计原理与方法,所举工程实例都是常见的实际人防工程项目,具有一定的普遍性和针对性,是一套实用性很强的设计指导教程,也是我国出版的第一套有关人民防空工程设计方面的专业丛书。

本套丛书主要面向全国人防工程设计、审查、管理及其他相关工程技术人员,可作为人防工程设计、施工、监理及管理的培训教材,亦可作为人防工程相关专业的本科教材使用,对从事人防工程教学和科研人员具有一定的参考价值。

这套丛书的出版得到了工程兵工程学院许多教员尤其是一批老教授的指导和帮助,学院原院长李金勇少将、人防工程系原系主任金丰年教授给予了许多关心和鼓励,特别是中国工程院钱七虎院士为丛书欣然作序,在此表示由衷的谢意!

本书是《人民防空工程设计丛书》的人民防空地下室结构设计部分,主要按照现行的《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005,结合工程实例阐述了防空地下室结构设计的原理与方法。着重从基本概念、基础理论角度论述了人防工程结构,系统地介绍了人民防空地下室的结构设计方面的内容。全书由绪论、空气冲击波、岩土中的压缩波、结构动力分析、结构构件的动力性能及构造要求、防空地下室结构荷载、孔口结构构件荷载与设计、防空地室内力计算与截面设计等8章内容组成。

本书由曹继勇、张尚根编著,王年桥教授审阅。除第8章第3节由张尚根编写外,其他章节均由曹继勇编写。另外,陆上行、李忠伟、恽庆、骆帅伶、张勇、吴青松、程延红等同志为本书的校对、插图编排等做了大量工作,在此深表谢意。

由于编者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年4月于南京

目 录

1	绪论	(1)
1.1	常规武器及其破坏效应	(1)
1.1.1	常规武器的分类	(1)
1.1.2	炮航弹的破坏效应	(2)
1.2	核武器及其爆炸效应	(3)
1.2.1	核武器的种类及爆炸景象	(3)
1.2.2	核武器爆炸效应	(5)
1.3	防空地下室的防护原则	(8)
1.3.1	抗力分级	(8)
1.3.2	工程防护的原则	(9)
1.3.3	工程防护的措施	(9)
1.4	防空地下室结构设计的特点	(10)
1.4.1	防空地下室结构设计的极限状态	(10)
1.4.2	防空地下室设计的特点	(11)
1.5	防空地下室结构设计的一般规定与步骤	(13)
1.5.1	防空地下室结构设计的一般规定	(13)
1.5.2	防空地下室结构设计步骤	(13)
2	空气冲击波	(15)
2.1	概述	(15)
2.1.1	空气冲击波的概念	(15)
2.1.2	冲击波阵面前后参数间的关系 (动力相容条件)	(17)
2.1.3	爆炸相似律	(17)
2.2	核爆炸地面空气冲击波	(19)
2.2.1	核爆炸空气冲击波的产生	(19)
2.2.2	核爆炸地面冲击波参数	(20)
2.2.3	地面建筑对空气冲击波作用的影响	(23)
2.3	核爆炸空气冲击波孔口设计参数确定	(25)
2.3.1	出入口的形式与类别	(25)
2.3.2	核爆炸时出入口内冲击波荷载参数变化概述	(27)
2.3.3	出入口内核爆炸冲击波荷载的确定	(29)
2.4	常规武器爆炸空气冲击波	(30)
2.4.1	常规武器爆炸空气冲击波	(30)

2.4.2	常规武器爆炸出入口内冲击波荷载的确定	(31)
3	岩土中的压缩波	(33)
3.1	概述	(33)
3.1.1	岩土中压缩波的传播	(33)
3.1.2	岩石层自由表面的震塌剥落现象	(34)
3.1.3	岩土中不同介质间界面的反射	(35)
3.2	土中压缩波	(36)
3.2.1	爆炸试验现象与土介质应力应变关系的力学模型	(37)
3.2.2	土(岩)体中的压缩波参数	(39)
3.3	饱和土中的压缩波	(42)
3.3.1	饱和土的物理力学特性	(42)
3.3.2	饱和土核爆炸压缩波参数	(43)
3.4	常规武器爆炸土中压缩波的确定	(44)
3.4.1	概述	(44)
3.4.2	感生地冲击荷载计算	(45)
3.4.3	直接地冲击荷载计算	(46)
4	结构动力分析	(48)
4.1	概述	(48)
4.1.1	空气冲击波荷载下的结构动力反应	(48)
4.1.2	防空地下室承受的动力荷载及其简化	(49)
4.1.3	振动的自由度及其简化	(50)
4.1.4	动力分析的基本原理	(52)
4.1.5	无阻尼弹性体系的自振频率与振型	(53)
4.2	单自由度集中质量体系的动力分析	(54)
4.2.1	结构的抗力	(54)
4.2.2	动力系数	(55)
4.3	等效静载法	(60)
4.3.1	等效静载	(60)
4.3.2	结构自振频率的计算	(61)
5	结构构件的动力性能及构造要求	(64)
5.1	结构材料的动力性能	(64)
5.1.1	钢材的动力性能	(64)
5.1.2	混凝土的动力性能	(65)
5.1.3	其他建筑材料	(66)
5.1.4	材料动力强度的确定	(67)
5.2	钢筋混凝土受弯构件	(68)

5.2.1	构件的抗力曲线	(68)
5.2.2	纵向受拉钢筋配筋范围	(69)
5.2.3	受压区钢筋和箍筋	(70)
5.2.4	构件的延性	(70)
5.2.5	构件的抗弯刚度	(71)
5.2.6	构件的抗剪性能	(71)
5.3	钢筋混凝土受压构件	(72)
5.3.1	轴心受压短柱	(72)
5.3.2	钢管混凝土柱	(73)
5.3.3	钢筋混凝土偏心受压构件	(73)
5.4	防空地下室结构构造要求	(73)
5.4.1	防空地下室结构构件强度要求	(73)
5.4.2	防空地下室结构构件厚度要求	(74)
5.4.3	防空地下室结构变形缝的设置要求	(74)
5.4.4	配筋构造要求	(75)
6	防空地下室结构荷载	(78)
6.1	概述	(78)
6.1.1	土中压缩波荷载	(78)
6.1.2	土中压缩波与结构的相互作用	(78)
6.2	防空地下室结构的核爆炸等效静载	(79)
6.2.1	防空地下室结构的核爆炸动荷载	(79)
6.2.2	防空地下室结构上的等效静载	(82)
6.2.3	防空地下室常用结构等效静载	(83)
6.3	防空地下室结构的常规武器爆炸等效静载	(88)
6.3.1	常规武器爆炸顶板动荷载	(89)
6.3.2	常规武器爆炸外墙动荷载	(89)
6.3.3	常规武器爆炸荷载的等效静载	(90)
6.3.4	常规武器爆炸结构等效静载查表确定	(90)
6.4	防空地下室荷载组合	(94)
6.4.1	防空地下室结构的静荷载	(94)
6.4.2	防空地下室结构的荷载组合	(95)
7	孔口结构构件荷载与设计	(99)
7.1	防护门构造及选取	(99)
7.1.1	防护门(防护密闭门)的组成与构造	(99)
7.1.2	定型防护门(防护密闭门)的选用	(100)
7.2	门框墙设计	(101)
7.2.1	常规武器作用下直接作用门框墙上的等效静载	(102)

7.2.2	核武器作用下直接作用门框墙上的等效静载	(102)
7.2.3	由门扇传给门框墙的垂直力的等效静荷载	(103)
7.2.4	门框墙截面设计	(104)
7.2.5	门框墙的构造规定	(105)
7.3	出入口通道其他构件设计	(107)
7.3.1	临空墙	(107)
7.3.2	防护密闭门外通道	(110)
7.3.3	扩散室墙体设计	(112)
7.3.4	多跑楼梯设计	(112)
7.3.5	防倒塌棚架设计	(113)
7.3.6	口部封堵构件设计	(114)
8	防空地下室内力计算与截面设计	(115)
8.1	防空地下室结构选型及计算原则	(115)
8.1.1	防空地下室结构形式	(115)
8.1.2	人防工程结构内力计算与截面设计原则	(118)
8.2	梁板式结构	(119)
8.2.1	钢筋混凝土板	(119)
8.2.2	框架梁的计算	(124)
8.2.3	墙体的设计与计算	(125)
8.2.4	基础设计	(127)
8.3	无梁板结构	(128)
8.3.1	结构形式与受力特点	(128)
8.3.2	板的内力计算概述	(129)
8.3.3	板的构造与配筋	(131)
8.3.4	柱与柱帽的结构设计	(132)
附录 A	防空地下室设计文件编制要求 (结构)	(136)
附录 B	防空地下室设计文件审查要点 (防护、结构)	(138)
附录 C	结构材料动力强度表	(142)
附录 D	结构内力计算表	(145)
附录 E	门框墙配筋表	(164)
参考文献		(169)

1 绪 论

防空地下室是人防工程的主要建设形式，它具有国家规定的各项战时防空功能。人防工程是防护建筑与结构和为保证完成工程所担负的战时职能的其他系统（通风空调、给排水、发供电、防毒及防辐射等系统）的总称。

人防工程结构是指抵抗预定杀伤武器破坏作用的工程结构，这是本书所讨论的范畴。防空地下室结构上所能抵抗的武器包括核武器和常规武器（装有普通炸药的炮弹、航弹和导弹）。

1.1 常规武器及其破坏效应

1.1.1 常规武器的分类

对人防结构产生杀伤破坏作用的常规武器主要有：火炮，如榴弹炮、迫击炮、等发射的各种炮弹；飞机投掷的各种航（炸）弹；常规弹头的导弹。

在常规武器中，命中结构的弹丸中的装药是各种炸药。弹丸命中目标时，在其巨大的动能作用下，冲击、侵彻、贯穿目标，继而炸药爆炸以破坏工程结构和杀伤人员。一些特种炮、航弹在弹丸内装有燃烧剂（燃烧弹），还可造成地面目标大火。由于炸药爆炸过程是一种在极短时间内释放出大量能量的化学反应，故又称炮弹及炸药的爆炸为“化学爆炸（化爆）”，以区别于“核爆炸”。核爆和化爆在爆炸破坏效应方面有相似之处但又有很多明显的差异，以后将要述及。

常规武器对结构的破坏是由弹丸产生的，根据弹丸对结构的破坏效应，弹丸（炮弹、航弹及导弹战斗部）可分为如下几种主要类型。

爆破弹型。主要依靠炸药爆炸产生的爆炸波及弹片来破坏杀伤目标，如炮弹中的榴弹，航弹中的普通爆破弹及各种子母弹等。普通爆破弹主要以炸药爆炸的破坏效应摧毁目标。它的主要特征是弹壳薄、形体短粗、炸药装填量大、一般装填瞬发引信。

半穿甲弹型。一方面依靠弹丸的冲击动能侵入目标，又同时依靠一定量装药的爆炸作用来破坏目标，如炮弹和航弹中的半穿甲弹、混凝土破坏弹、厚壁爆破弹等。

穿甲弹型。主要依靠弹丸巨大的冲击动能侵入、贯穿目标，如各种穿甲弹。

航弹的等级是以它的名义重量来标志的。俄军的航弹级别以“kg（公斤）”表示，例如500kg爆破弹，其实际全重为478kg。美军是以“lb（磅）”表示，例如2000lb低阻式爆破弹实际重量为1015kg。典型的美军常规武器参数见表1-1。

表 1-1 常规武器典型战斗部技术参数

常规武器 典型战斗部	弹质量 P (kg)	弹径 d (m)	弹体长 L (m)	装药量 C_0 (kg)	当量系数 a	L_t/d	弹壳厚 (cm)
MK83	447	0.356	1.86	202	1.35	1.94	2.0
MK82	241	0.273	1.56	87	1.35	2.50	1.4

1.1.2 炮航弹的破坏效应

(1) 冲击局部作用

无装药的穿甲弹命中结构、或有装药的弹丸命中结构尚未爆炸前，结构仅受冲击作用。具有动能的弹体撞击结构有两种可能。一种可能是弹体动能较小或结构硬度很大，弹体冲击结构仅留下一定的凹坑后被弹开，或者因弹体与结构成一定的角度而产生跳弹，即弹丸未能侵入结构。另一种可能是弹丸冲击结构侵入内部，甚至产生震塌贯穿。

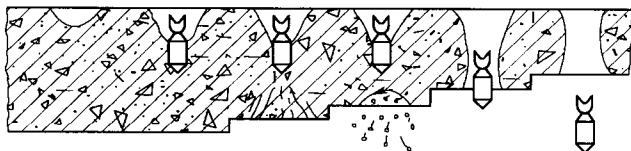


图 1-1 冲击局部破坏现象

从观察单纯冲击引起的破坏情况不难发现，它们的破坏现象都发生在弹着点周围或结构反面临空面弹着投影点周围。这与一般工程结构的破坏现象如承重结构的变形以致倒塌等不同。由于它的破坏仅发生在结构的局部范围，故称其为局部破坏，这里是由冲击引起的，因此又称冲击局部破坏。局部作用和结构的材料性质直接有关（如炮弹冲击钢筋混凝土产生震塌现象，而冲击木材就可能不出现震塌现象等），而和结构形式（板、刚架、拱型结构等）及支座条件关系不大。

(2) 爆炸局部作用

炮航弹一般都装有炸药，在冲击作用中或结束时装药爆炸，进一步破坏结构。

对于爆破弹，一般不考虑它侵入钢筋混凝土材料内部爆炸。对于半穿甲弹、混凝土破坏弹，考虑它侵入混凝土内部爆炸。图 1-2 是炸药爆炸时脆性材料组成的结构的破坏现象。

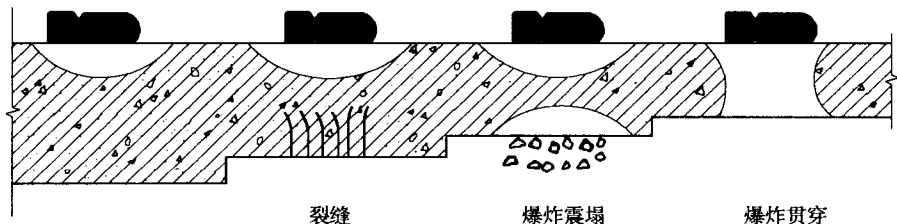


图 1-2 爆炸局部破坏现象

从图中可以看出，爆炸和冲击的局部破坏现象是十分相似的。都是由于在命中点（冲击点处及爆心处）附近的材料质点获得了极高的速度，使介质内产生很大的应力而使结构破坏，且破坏都是发生在弹着点及其反表面附近区域内，因而称局部破坏现象。炮航弹命中结构，装药爆炸可以分为三种情况：直接接触结构爆炸；侵入到结构材料内爆炸；距结构一

定距离爆炸。前两种情况对结构的破坏一般是以局部作用为主，而距结构一定距离爆炸时，结构可能产生局部破坏，也可能不产生局部破坏，爆炸距离较大时，结构只承受爆炸的整体作用。

(3) 整体破坏作用与局部破坏作用

结构在遭受炮航弹的冲击与爆炸作用时，除了上述的侵彻、震塌、贯穿等现象外，还要对结构整体产生压力作用，一般称冲击和爆炸动荷载。在冲击、爆炸动荷载作用下，整个结构都将产生变形和内力。如梁、板将产生弯曲、剪切变形；柱的压缩及基础的沉陷等。整体破坏作用特点是使结构整体产生变形和内力，结构破坏是由于出现过大的变形、裂缝，甚至造成整个结构的倒塌。破坏点（线）一般发生在产生最大内力的地方。结构的破坏形态与结构的型式和支座条件有密切关系。见图 1-3。

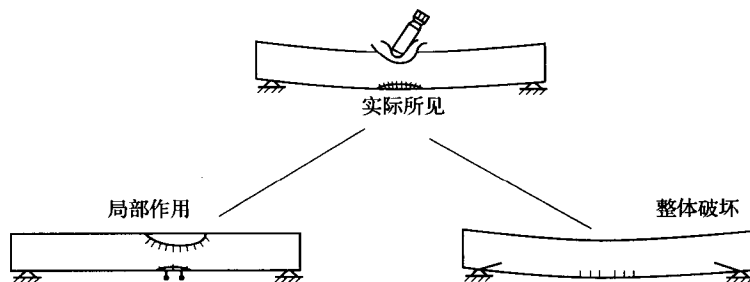


图 1-3 简支梁被炮航弹命中时局部破坏作用和整体破坏作用

局部破坏作用，如前所述其破坏现象只发生在弹着点附近。与支座约束及结构型式无关，而与材料的特性有重要关系。

从力学的观点，局部作用是应力波传播引起的波动效应，而整体作用是动荷载引起的振动效应。

在设计结构时，原则上需同时考虑这两种破坏作用，以最危险的情况来设计结构。一般来说，跨度小、构件厚的结构，局部作用起决定影响；反之，跨度大、厚度薄的结构，整体作用常起控制作用。

防空地下室结构不考虑局部破坏作用，只考虑炮弹距结构一定距离时爆炸对结构的整体破坏作用。炮弹对结构的整体破坏作用，与核武器的整体破坏作用相似，将在以后章节中介绍。

1.2 核武器及其爆炸效应

1.2.1 核武器的种类及爆炸景象

(1) 核武器的种类

爆炸性核武器分原子弹和氢弹两大类，中子弹在爆炸原理上属于氢弹类型。

原子弹的装料主要是铀 235 和钚 239。它们的原子核在中子的“轰击”下发生“裂变”成为质量较小的核，同时放出巨大的能量并伴随放出中子。后者又进一步引起裂变，由此一

直继续下去,称为“链式反应”。原子弹的核反应是重核裂变反应的过程。链式反应的结果使全部核装料在极短的时间内释放出巨大的能量,形成冲击波、光辐射等一系列杀伤破坏因素。

氢弹的核装料为重氢化锂,在装于弹体内的小型原子弹爆炸所产生的高温高压环境下,生成氘和氚等轻原子核并立即聚合成氦,同时放出巨大的能量,这个过程称为“聚变”反应。氢弹的核反应是轻核聚变反应的过程。当氘和氚聚变成氦时,会释放出大量的高能中子(快中子),它们能使铀 238 核发生裂变,提高氢弹的爆炸威力。通常氢弹的爆炸威力比原子弹大得多。图 1-4 和图 1-5 是原子弹和氢弹的构造原理图。

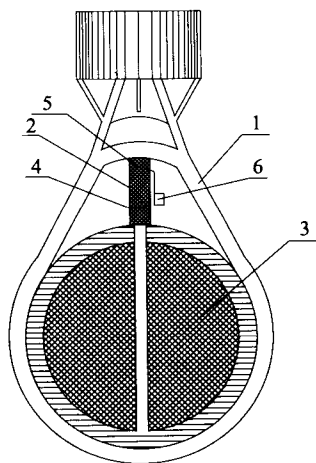


图 1-4 原子弹构造示意图

1—弹壳; 2—圆柱形核装药; 3—球形核装药;
4—方向槽; 5—普通炸药; 6—引信

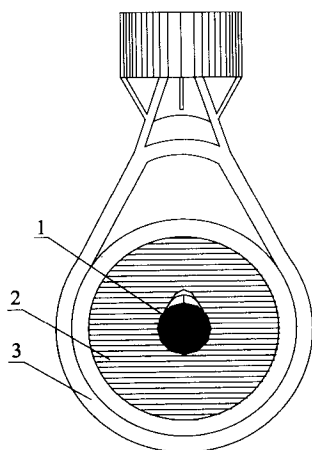


图 1-5 氢弹构造示意图

1—原子弹; 2—核装药; 3—弹壳

核武器的威力是以“梯恩梯(TNT)当量”来衡量的。例如“15 千吨梯恩梯当量”的核武器,是指核武器爆炸可释放出的能量相当于 15 千吨的梯恩梯炸药爆炸时放出的能量。工程上常以千吨(kt)作为核武器当量的质量单位。

(2) 核武器爆炸时的景象

核武器空中爆炸时,在爆炸瞬间发出强烈的闪光,继而出现光亮的火球。随后火球上升膨胀,在几秒至十余秒时间内火球逐渐冷却。在此期间还发出不可见的早期核辐射、光辐射及强大的空气冲击波。上升的火球将地面上的尘埃掀起并呈柱状上升,与火球烟云聚合成蘑菇状(见图 1-6)。烟云内的物质受强大的早期核辐射而产生感生放射现象,这些烟云随风飘散下落,形成放射性尘埃,回落地面后会在爆心下风方向的地区造成放射性污染。核武器在地面附近爆炸时,地面附近岩土受高温高压弹体蒸气的冲击,会形成弹坑,并向地内传播直接地冲击波(见图 1-7)。

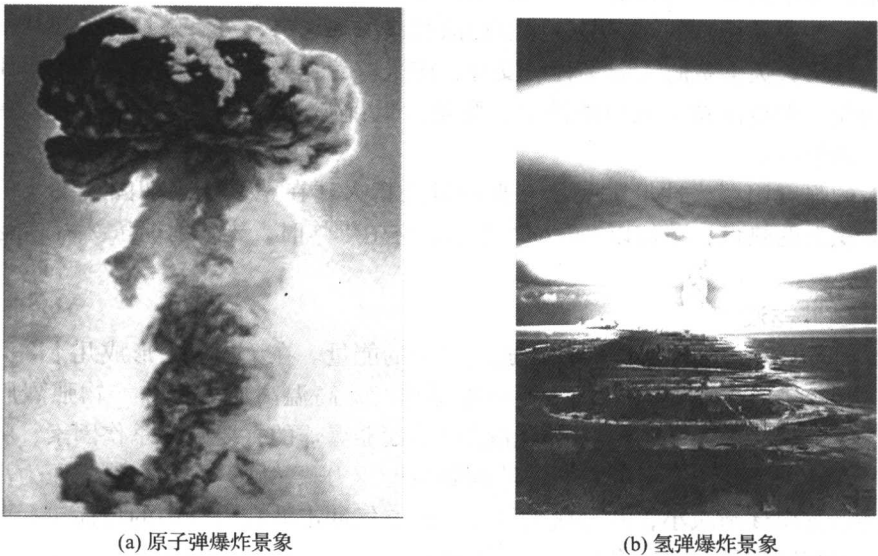


图 1-6 核武器爆炸景象图

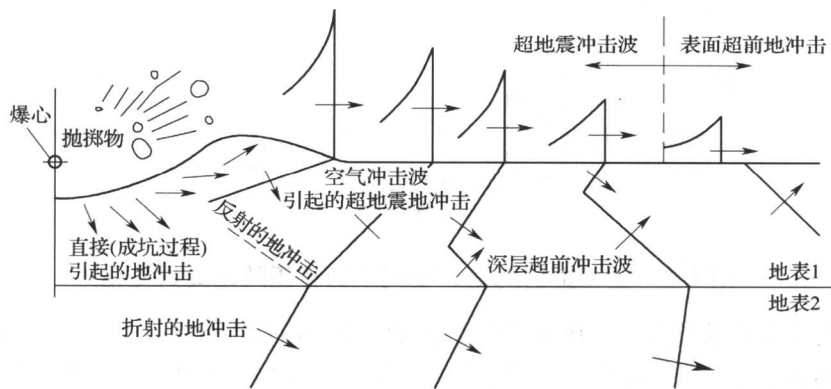


图 1-7 核爆炸产生的空气冲击波及地冲击

1.2.2 核武器爆炸效应

(1) 光辐射（热辐射）

核爆炸时，在反应区内可达几千万度高温，瞬即发生耀眼的闪光，时间极短，主要是低频紫外线及可见光。闪光过后紧接着形成的明亮火球的表面温度达 6000℃ 以上，近似太阳表面的温度。从火球表面辐射到出现光和红外线，时间约 1~3s，光辐射的杀伤破坏作用，主要发生在这一阶段。

直视核爆炸闪光，可使人员眼睛造成暂时失明的闪光盲。光辐射能引起人体受照面直接烧伤。眼睛直视，会造成眼底烧伤失明的永久性伤害。由于光辐射作用时间很短，人体表面的浅色衣服、建筑物表面涂成浅色，常可减轻直接烧蚀。但在城市中由于可燃建筑物密集，

将引起严重的城市大火。光辐射对于人防结构而言,不致构成威胁,只需注意减少易燃部分暴露在外,并对易燃物的暴露部分涂以白涂料或防火涂料,可有效地减少燃烧的危害。光辐射引起的城市大火会威胁人防工程的安全,应采取综合防火措施来解决。地下工程具有良好的防火功能,但应注意出入口的防火、防堵,抵御城市大火引起的热环境所需的内部通风、空调、给氧等。

光辐射的强度用“光冲量”表示。光冲量是指火球在整个发光期间与光线传播方向垂直的单位面积上的热量,单位以 cal/cm^2 表示。空中爆炸时,光辐射能量约占总能量的 35% 左右。

(2) 空气冲击波

核爆炸时,核反应在微秒级时间内放出巨大的能量。在反应区内形成几十~几百亿个大气压的高压和几千万度的高温。核武器空中爆炸时,高温高压的爆炸产物强烈压缩周围空气,从而形成空气冲击波向外传播。冲击波是核武器爆炸的主要破坏杀伤因素,将在第二章中详细讨论。冲击波的主要特征是在波阵面到达处压力骤然跃升到最大值,压力沿空间的分布是朝向爆心方向逐渐减小,并形成负压区。故空气冲击波在大气中的传播包括两种压力状态的传播:压缩区和稀疏区(负压区)(见图 1-8)。

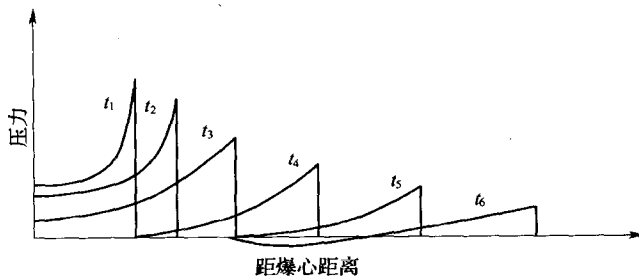


图 1-8 在相继的时刻,空气中的超压随距离的变化

冲击波到达空间某位置时,该处空气质点骤然受到强烈压缩而压力上升。压力超过大气压力的部分称为“超压”。同时还使空气质点获得一个很大的速度,向冲击波的前进方向运动。这种由于空气质点高速运动冲击所能产生的压力称为“动压”。动压的作用只有当空气质点运动受阻时才会表现出来。暴露于地面的人体或建筑物等,受冲击波作用时,冲击波的超压将使人体及建筑物受到挤压作用;动压将使人体和建筑物受到冲击和抛掷作用。由于冲击波的作用时间长达零点几秒至一秒以上,故它可以绕过障碍物,从出入口、通风口等孔洞进入工程内部而使人员或设备受到损伤。由于核爆冲击波作用时间长,与普通炸药爆炸(化爆)产生的冲击波(作用时间只有千分之几秒)的破坏效应会有所不同。

空气冲击波沿地面传播时,一部分能量传入地下而在地层内形成地内冲击波,工程中又称岩土中的压缩波,进而破坏岩土中的人防工程和其他地下工程。

空中核爆炸所释放的能量约有 50%~60% 形成了冲击波。因此空气冲击波是对人员和人防工程主要的破坏杀伤因素。

(3) 早期核辐射

早期核辐射主要是由爆炸最初十几秒钟内放出的 α 射线、 β 射线、 γ 射线和中子流。其