

抗偶然性爆炸效应结构

(设计手册)

译 文

中国人民解放军 80813 部队情报资料室

1979.10

抗偶然性爆炸效应结构

(设计手册)

(译文)

中国人民解放军 80813 部队情报资料室

1979.10

(1304)

抗偶然性爆炸效应结构

(设计手册)

中国人民解放军八〇八一三部队情报资料室译

*

中国人民解放军第一二〇一工厂印刷

*

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 25.75 插页: 6 字数: 672,000

1979年10月第一版

1979年10月第一次印刷



译 者 的 话

遵照英明领袖华主席关于“为了提高我们中华民族的科学文化水平,有必要重申毛主席提出的向外国学习的口号”,“我们是在独立自主、自力更生的基础上,有分析、有批判地向外国学习”的指示精神,为落实抓纲治国、抓纲治军的战略决策,加速我军现代化建设的步伐,我们翻译了美国陆海空三军于 1969 年联合编写的《抗偶然性爆炸效应结构(设计手册)》一书,供有关进行工程设计的同志们参考。

本书比较系统地介绍了有关抗偶然性爆炸效应的结构计算方法和施工技术。具有一定的参考价值。

本书以英制为计量单位。为便于读者使用,我们在书后附有英制和公制换算关系表。本书翻译过程中,曾得到许多有关单位和同志们的大力协助,在此表示衷心地感谢!限于水平,书中难免有错误之处,殷切希望读者批评指正。

1978.11 于北京

目 录

第一章 绪 论

1-1	目的与任务	1
1-2	背 景	1
1-3	手册涉及的范围	1
1-4	手册的编排	2
1-5	安全系数和精确度	2

第二章 爆炸防护体系

2-1	体系的组成	3
2-2	发爆体系	3
2-3	受爆体系	3
2-4	防护结构	4

第三章 结构设计的基本依据

第一部分	结构反应	6
3-1	概 述	6
3-2	压力设计区	6
3-3	爆炸环境分析	6
第二部分	防护类别	9
3-4	概 述	9
3-5	掩蔽部	9
3-6	屏 障	9
第三部分	受爆体系的敏感性	9
3-7	人的容限	9
3-8	设 备	11
3-9	炸 药	13
第四部分	结构的性能	15
3-10	结构特性的类型	15
3-11	钢筋混凝土结构的特性	15

第四章 爆 炸 效 应

第一部分	引 言	19
4-1	爆炸产物的作用	19

4-2 范 围	19
第二部分 冲击波压力	19
4-3 爆炸现象	19
4-4 冲击波荷载的种类	20
4-5 冲击波现象	22
第三部分 无限制爆炸	23
4-6 自由空中爆炸	23
4-7 空中爆炸	24
4-8 地面爆炸	28
第四部分 局部限制爆炸	31
4-9 限制条件的影响	31
4-10 完全泄压爆炸	33
4-11 部分泄压爆炸	129
第五部分 结构上的外部冲击波荷载	130
4-12 概 述	130
4-13 结构上的作用力	131
4-14 地面上的矩形结构	131
第六部分 结构内的压力增强	136
4-15 概 述	136
4-16 计算方法	136
第七部分 复合爆炸	137
4-17 概 述	137
4-18 高压区	138
4-19 中压区和低压区	139
第八部分 爆炸碎片	139
4-20 概 述	139
4-21 碎片初始速度(圆柱形容器装药)	139
4-22 碎片的数量和重量(圆柱形容器装药)	141
4-23 碎片初始速度(非圆柱形容器装药)	142
4-24 碎片的数量和重量(非圆柱形容器装药)	142
4-25 碎片速度随距离的变化	142
附录4A 爆炸效应例题	144

第五章 钢筋混凝土结构的性能

第一部分 极限强度	173
5-1 概 述	173
5-2 极限静抗弯力矩	174
5-3 极限静抗剪能力	176
5-4 最大静粘结力及锚固	178

5-5	动力强度	179
5-6	容许应力	180
第二部分	静力参数	181
5-7	弹性模量	181
5-8	惯性矩	182
第三部分	抗力-挠度关系	183
5-9	概 述	183
5-10	极限抗力	184
5-11	超极限抗力	193
5-12	局部破坏挠度和极限挠度	193
5-13	弹-塑性抗力	197
5-14	弹-塑性刚度和挠度	198
第四部分	用于设计的抗力-挠度关系	205
5-15	概 述	205
5-16	有限挠度	205
5-17	大挠度	206
第五部分	极限剪力和剪应力	207
5-18	概 述	207
5-19	单向构件	207
5-20	双向构件	208
附录5A	钢筋混凝土结构性能例题	211

第六章 结构按延性反应的分析与设计

第一部分	计算参数和一般程序	224
6-1	概 述	224
6-2	计算参数间的相互关系	224
第二部分	动力分析原理	228
6-3	基本原理	228
6-4	动力等效体系	229
6-5	动力分析和计算	229
6-6	有效质量	230
第三部分	抗弯设计	234
6-7	概 述	234
6-8	只对压力起反应的构件和对压力-时间关系起反应的构件	234
6-9	对冲量起反应的构件	237
第四部分	抗剪设计	249
6-10	概 述	249
6-11	只对压力起反应的构件和对压力-时间关系起反应的构件	249
6-12	对冲量起反应的构件	249

第五部分 组合结构	270
6-13 概 述	270
6-14 组合构件的分析	270
附录6A 结构按延性反应设计例题	273

第七章 结构按脆性反应的分析与设计

第一部分 引 言	291
7-1 碎片种类	291
7-2 设计条件	291
第二部分 混凝土的剥落	291
7-3 直接剥落	291
7-4 崩 裂	292
7-5 使剥落作用减至最小的方法	293
第三部分 混凝土破坏碎片	296
7-6 概 述	296
7-7 碎片速度	297
7-8 破坏碎片的冲击能力	299
附录7A 结构按脆性反应设计例题	302

第八章 结构抗爆炸碎片撞击的性能

第一部分 引 言	308
8-1 碎片特征	308
8-2 速度和撞击的界限	308
第二部分 碎片撞击混凝土	308
8-3 概 述	308
8-4 穿甲碎片的侵彻	309
8-5 非穿甲碎片的侵彻	310
8-6 碎片撞击引起的剥落	312
第三部分 组合结构	313
8-7 概 述	313
8-8 组合屏障的侵彻	313
附录8A 爆炸碎片例题	314

第九章 构造详图和施工程序

第一部分 配系筋的钢筋混凝土结构	319
9-1 概 述	319
9-2 混凝土	319
9-3 抗弯钢筋	319
9-4 系 筋	321

9-5	拐角节点构置	325
第二部分	配系筋结构的构造与施工	325
9-6	配系筋构件	325
9-7	组合结构	329
9-8	单间和多间结构	330
9-9	施工程序	331
第三部分	无系筋钢筋混凝土结构	333
9-10	概 述	333
9-11	与一般建筑的区别	333
9-12	无系筋构件构造	333

第十章 抗爆结构设计中要考虑的其它因素

第一部分	引 言	334
10-1	范 围	334
第二部分	场地规划	334
10-2	建筑标线	334
10-3	典型情况的研究	336
第三部分	经济效果	339
10-4	概 述	339
10-5	系筋混凝土构件的成本比较	339
第四部分	掩蔽部的防护密闭系统	349
10-6	概 述	349
10-7	防爆门	350
10-8	防爆活门和防爆盾板	358
第五部分	结构运动的防护	363
10-9	结构运动	363
10-10	隔振体系	364
10-11	防护材料、防护服和约束装具	365
第六部分	覆土钢拱弹药库	367
10-12	概 述	367
10-13	覆土钢拱弹药库简介	370
10-14	已完成的研究工作	370
10-15	设 计	370
10-16	施 工	371
10-17	标准设计	371
附录 A	符号表	371
附录 B	参考文献	380
	词汇解释	388
	索 引	395

第一章 绪 论

1-1 目的与任务

- a. 本手册介绍爆炸材料的制造、维护、改装、检验和贮存工程中常用防护结构的设计方法。
- b. 本手册的主要任务是确立能够制止爆炸传播(从一个建筑物或建筑物的一部分向另一建筑物传播)、防止大规模爆炸并保护人员和重要设备的设计程序和构筑方法。
- c. 其次要任务是:
 - 1. 确定设计防护结构所需的冲击波荷载参数;
 - 2. 提出钢筋混凝土和其它材料的构件抗动力反应的计算方法;
 - 3. 制定能抗冲击波荷载作用的构造详图;
 - 4. 确定抗爆设施位置的界线,以便在场地规划和结构配置(考虑结构密闭并防止由于结构运动和受冲击作用而使其内部遭受破坏)方面获得最大的经济效果。

1-2 背 景

- a. 过去六十多年来,抗爆设施一直是按事故爆炸的结果确定的标准和方法进行设计。这些标准和方法都缺少确定防护设施的防护等级的具体而可靠的定量依据。近来,已着手广泛研究,制定发展计划,寻求建立比较完善和科学的设计方法。本手册内将概括最新的研究成果。
- b. 制造和贮存爆炸材料(包括许多国外的化学品、燃料及推进剂)的现代方法,均比过去同量材料占用的空间小了。炸药的这样集中,增加了偶然性(事故)爆炸传播的可能性(第一个偶然性爆炸诱发另一个爆炸材料的爆炸)。显然,有必要提出比较精确的设计方法。本手册介绍防护结构的合理设计方法。
- c. 防护结构设计方法考虑了爆炸的近区效应,包括作用于防护结构或屏障上冲击波荷载的高压力和非均匀性。现在已经能够计算结构的动力反应,并已制定了一些能满足所需强度和延性的构造详图。目前,上述方法主要是针对结构内装有爆炸系统的防护屏障的抗冲击波荷载的分析。但是,这些方法具有一定的普遍性,它也能用于其它爆炸环境的设计。
- d. 本手册所介绍的设计方法,是根据大量全尺寸及各种小比例结构的反应试验和为制定安全设计标准进行的爆炸效应试验成果确定的。

1-3 手册涉及的范围

- a. 本手册只限于所采用的几种设计情况,并力求概括更多的情况。为便于使用基本原理去解决问题,本手册还提供了防护结构设计方法方面的常用数据。
- b. 尽管在本手册许多章节中,都提到其适用范围可达几十万磅烈性炸药的爆炸,但其常用设计情况主要是 25000 磅以下的炸药量。

c. 由于按安全设计标准计划所进行的试验, 主要是钢筋混凝土构件对冲击波超压的反应, 则本手册重点介绍钢筋混凝土防护结构的设计方法和技术问题, 但这并不意味着混凝土是防护建筑中唯一可用的材料。目前, 正在进行或正考虑进行关于确定结构钢和其它材料的抗爆能力的试验。这些试验结果将用来制定使用这些材料的设计方法, 并在不久的将来把这些方法补充于本手册中。

d. 也可使用其它抗核爆炸效应的防护结构设计手册。这些手册所提出的方法, 亦适用于距巨量炸药有相当距离的防护结构设计, 因此在本手册只作定性讨论。本手册主要论述靠近烈性炸药爆炸危险区的结构或构件的设计。

1-4 手册的编排

a. 本手册的章节分为下列三大类:

1. 第一、二、三章定性论述爆炸效应和结构反应;
2. 第四章到第八章介绍爆炸参数和结构性能的数值计算方法;
3. 第九章和第十章讨论构造详图、构筑方法和防护建筑的其它特点, 如场地设计、密闭系统、经济效果和结构运动的影响。第四章到第八章后均有附录, 在附录中介绍爆炸效应和结构反应问题的计算例题。

b. 本手册尽量采用常用符号。但是, 防护设计包括许多不同的学科和技术领域, 因而不可能把所用符号都标准化。每一符号在首次引用处都下了定义, 并按其定义和单位编成符号表列于附录 A 中。各专用附表和附图中均指明了所用符号的含义及其单位。

c. 附录 A 和附录 B 排在本手册的最后。

1-5 安全系数和精确度

a. 本手册所提出的设计方法在推导过程中作了一些简化, 因此, 使用这些方法设计出的结构承载能力通常是偏于保守的。当然, 用这些方法设计的结构, 能足以承受超过假定荷载的冲击波荷载。

b. 某些未知因素可能使防护结构抗爆能力的估算过高。这些未知因素(冲击波反射、结构反应、施工方法、施工用料的质量及施工质量等)对每一工程设计均有所不同。为弥补上述因素造成的缺点, 建议在设计中将“有效装药量”或实际装药量按其 TNT 当量增加 20%。在具体设计中, 只有在条件非常简单, 而且能充分证明设计条件是正确的前提下才能更改“有效装药量”的这一增加量。此增加量的更改须经有关军事建筑部门的审批。

第二章 爆炸防护体系

2-1 体系的组成

炸药贮存与操作设施的构筑，应能对偶然性爆炸事故有预定的防护等级。因此，可按以下三个主要部分考虑：

1. 发爆体系(可能爆炸的炸药数量、类型及其位置)产生的破坏能量；
2. 受爆体系(人员、设备和“被诱发”炸药(即被发爆炸药爆炸所诱发而爆炸的贮存炸药))要求有一定的防护等级；
3. 防护结构或结构构件(或距离)必须能防止破坏作用，或将破坏作用削弱到受爆体系所能容许的程度。

图 2-1(程序方框图)简要地概括了防护体系及其与各组成部分的相互关系。

2-2 发爆体系

a. 发爆体系包括发爆炸药的类型、数量及其对防护设施各构件的相对位置。发爆炸药爆炸主要产生冲击波超压(以后称冲击波压力或压力)和包装炸药的爆炸碎片；此外还产生地震波、火光、热和尘埃等爆炸效应。就本手册所考虑的炸药量(相当于 25000 磅)而言，冲击波压力通常是影响防护结构设计的主要参数。但是，在某些情况下，包装炸药爆炸产生的爆炸碎片在防护体系中也可能居重要地位。上述其它效应(地震波除外)，对某些形式的设施是需要特殊考虑的，而对整个工程设计而言，一般可采用标准的设计方法。除相当大的炸药量(大大超过本手册考虑的上限)外，地震效应一般是不大的，因而可忽略不计。

b. 发爆炸药的化学和物理性质决定着冲击波压力的大小，但压力分布图形主要是随发爆炸药至防护设施各部分的距离大小而变化。爆炸碎片的质量-速度特性曲线也取决于发爆炸药的性能。

c. 炸药的性能包括炸药的分子结构(单分子、双分子等)、形状、尺寸和炸药的物理状态(固体、液体、气体)。炸药的性能决定了爆炸释放出能量的大小，从而形成强爆炸或弱爆炸。强爆炸一般是充分的，产生的压力最大。反之，若整个炸药未完全发挥其初期反应，爆炸则不充分，大量炸药由爆燃而消耗，致使冲击波压力减小。

d. 重型高速爆炸碎片可能穿透防护构件，这取决于防护构件的厚度和其它特性；而轻型爆炸碎片则很难穿透构件。但是，无论是轻型的还是重型的爆炸碎片都能侵入防护区，杀伤人员，破坏设备或使“被诱发”炸药爆炸。如果要防爆炸碎片，结构就需要有足够的厚度来防止完全穿透；而且防护设施的配置应能防止碎片飞向防护区。

2-3 受爆体系

问题的第二部分是受爆体系，具体地说，就是对人员、设备或炸药的防护问题。防护结构的防护等级依据对人员杀伤、设备破坏的容许程度和被防护炸药的容许敏感性来确定。对

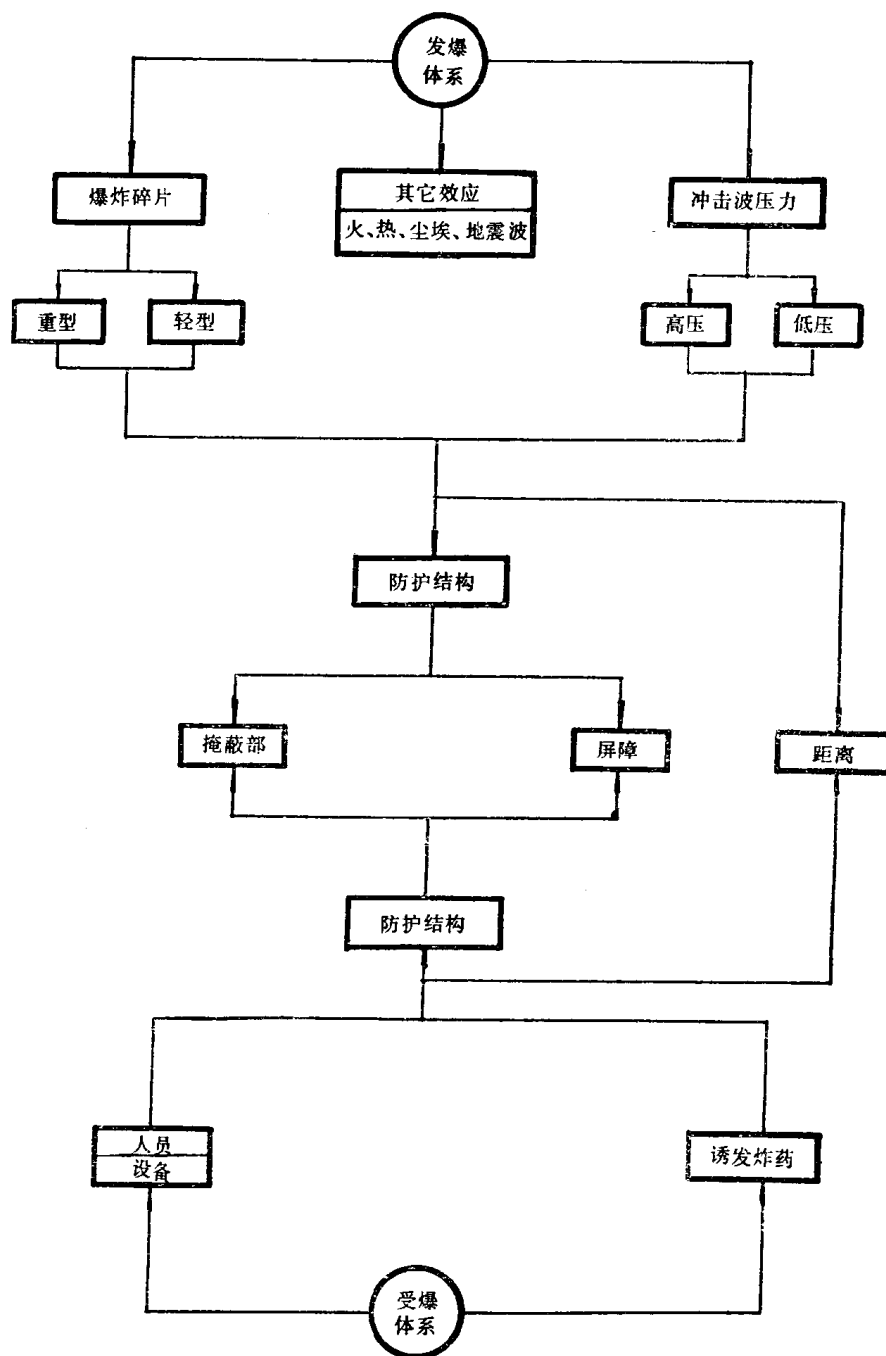


图 2-1 爆炸防护体系

于给定当量和位置的发爆炸药，为了作出与受爆体系的防护等级相适应的设计，就要合理选择防护结构的形式及其防护能力。人员和设备一般需要完全防护；而炸药所要求的防护等级可能是完全防护，也可能容许防护结构部分地或全部地倒塌。

2-4 防护结构

a. 防护结构可分为掩蔽部和屏障。掩蔽部是完全密闭的结构，它用来保护人员免受杀伤，防止贵重设备的破坏和敏感炸药的爆炸；而屏障是用来隔离两个或更多的有潜在爆炸危

险的炸药。

b. 由于掩蔽部是完全密闭的结构，入口就必须用防爆门加以密闭。根据其出入量的大小，也可能还要设防护密闭段(两道防爆门，进出时其中总有一门是关闭的)。设备操作所需的其它孔洞，如通风道、设备孔等，可用防爆活门或防爆盾板加以密闭。这些防护密闭设备的设计标准取决于：作用于其上的冲击波压力的大小，防护密闭设备的尺寸和位置；允许有部分孔洞时，它取决于结构内的压力增加值和压力上升的速率；还取决于人员和设备对内部压力增高的敏感性。为保证室内机械和电气设备的固定装置、管路和导线管不致因结构运动而移动，也需要有专门的预防措施。

c. 屏障可以是护障(作护坡或未作护坡的土堤、简单的悬臂墙等)或小间室型结构。此结构中有一面或多面侧墙或其结构顶部为易碎性(脆性)构造,或为对大气敞开的舱室型结构。覆土圆顶弹药库、地下井及其它带有孔洞或易碎表面的一类结构也可列为屏障。由于这些结构通常用于贮存和加工制造炸药或爆炸材料，而炸药又靠近结构构件放置，因此，这些结构将承受高强度冲击波荷载的作用。

第三章 结构设计的基本依据

第一部分 结构反应

3-1 概 述

设计中采用的防护结构或构件对爆炸能量的动力反应主要取决于:

1. 发爆炸药的性能(类型、重量、形状等)和位置;
2. 受爆体系的敏感性;
3. 结构本身的物理特性及其构造。

但其结构的反应仅取决于发爆体系和结构的性能。

3-2 压力设计区

a. 概 述

为阐述防护结构对冲击波压力的反应,可对作用于结构上的冲击波压力进行工程分析。此反应根据压力的大小可分为:(1)高压设计区;(2)中压设计区;(3)低压设计区。如下所述,设计区是指防护结构对爆点的相对位置而言。

b. 高压设计区

在高压设计区内,作用于防护结构上的初始压力一般是很高的,并由于结构的反射,压力得到进一步的加强,而且荷载作用的持续时间较之结构单个构件的反应时间(到达最大挠度的时间)短。因此,承受高压冲击波作用的结构是按冲量[压力-时间曲线以下的面积(见第四章)]设计的,而不是按冲击波作用持续时间长的峰值压力设计的。

c. 中压设计区

在中压设计区内,结构所承受的冲击波压力强度比高压设计区的要小。但由于压力的持续时间(比高压设计区的持续时间长)是在结构反应时间的数量级内,因此,按中压设计区设计的结构构件应考虑冲击波压力和冲量的合成作用。

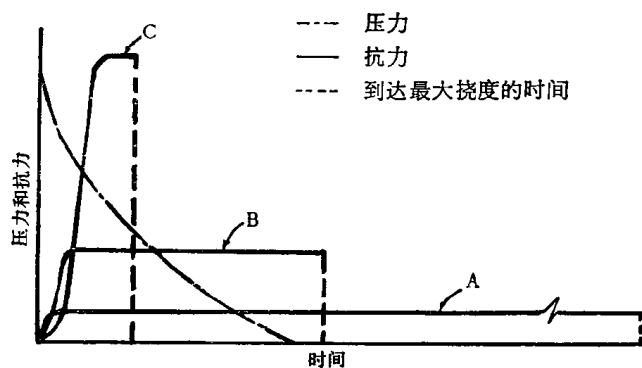
d. 低压设计区

在低压设计区内,作用于防护结构上的冲击波荷载的持续时间比前两种设计区长得多。在这里,结构主要是对峰值压力起反应,类似于按抗核爆炸效应设计的结构。

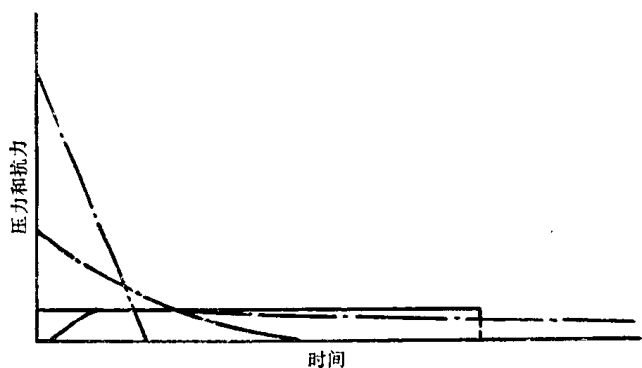
3-3 爆炸环境分析

a. 尽管这三种压力设计区各有不同,但它们相互间又不能截然分开,因此,每个防护结构均应根据其本身爆炸环境的分析来确定其反应。

b. 根据所考虑的防护结构型式及其对爆炸的相对位置,特别是接近两设计区之间的边缘区,结构反应可能出现多重性。为说明这些边缘区,现在来研究承受给定压力-时间荷载的单个构件三种理论上的可能反应(抗力-时间)曲线(图 3-1a)。曲线 A 表示对冲量(高压区)



a) 抗力-时间关系曲线



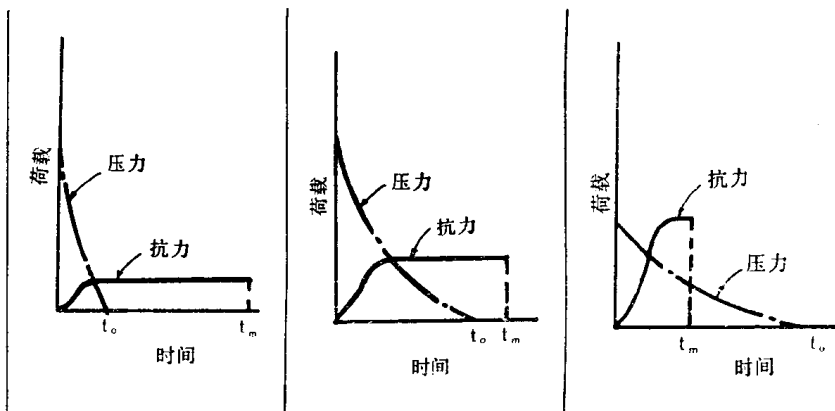
b) 压力-时间关系曲线

图 3-1 结构反应与冲击波荷载的变化关系

起反应的构件的抗力-时间关系曲线。构件到达最大挠度的时间比荷载持续时间时间长得多。中压区用曲线 B 表示，其荷载的持续时间与反应时间是同一数量级。在不同的设计情况下，受荷构件的反应时间可能小于、等于或大于荷载持续时间(图 3-2)。这种变化取决于冲击波参数(压力和持续时间)、构件的物理特性(强度和振动周期)和允许的最大挠度。曲线 C 表示构件在低压设计区的反应，所需的最大抗力与峰值压力是同一数量级，此时荷载的持续时间比到达最大挠度的时间长得多。虽然所要求的最大抗力与峰值压力相比较有些不同，但变化很小，一般情况下，抗长持续时间荷载的构件所需最大抗力只比峰值压力稍大一些(5~10%)。

c. 靠近边缘区结构反应的多重解示于图 3-1b。峰值压力和每条曲线的持续时间大小按下述原则选取，即使各

条曲线下的面积彼此相等；同时，抗力-时间曲线以下面积也等于各条压力-时间曲线下的面积。结果形成这种情况，即构件的反应可以用三种设计区计算方法中的任一方法得到解答



压力设计区	高压区	中压区	低压区
设计荷载	冲量	压力-时间	压力
压力等级	$\gg 200$ 磅/吋 ²	< 200 磅/吋 ²	< 10 磅/吋 ²
压力持续时间	短	中	长
反应时间	长	中	短
t_m/t_o 的关系	$t_m/t_o > 3$	$3 > t_m/t_o > 0.1$	$t_m/t_o < 0.1$

图 3-2 确定压力设计区的参数

(第六章)。因此，这三种设计区都得到同样的反应。图 3-2 列出表示构件三种设计区的半定量参数，其中包括到达最大挠度时间与荷载持续时间的相互关系。

d. 前面已经指出过，构件的设计区是指构件相对于爆炸位置的关系而言的。本手册中

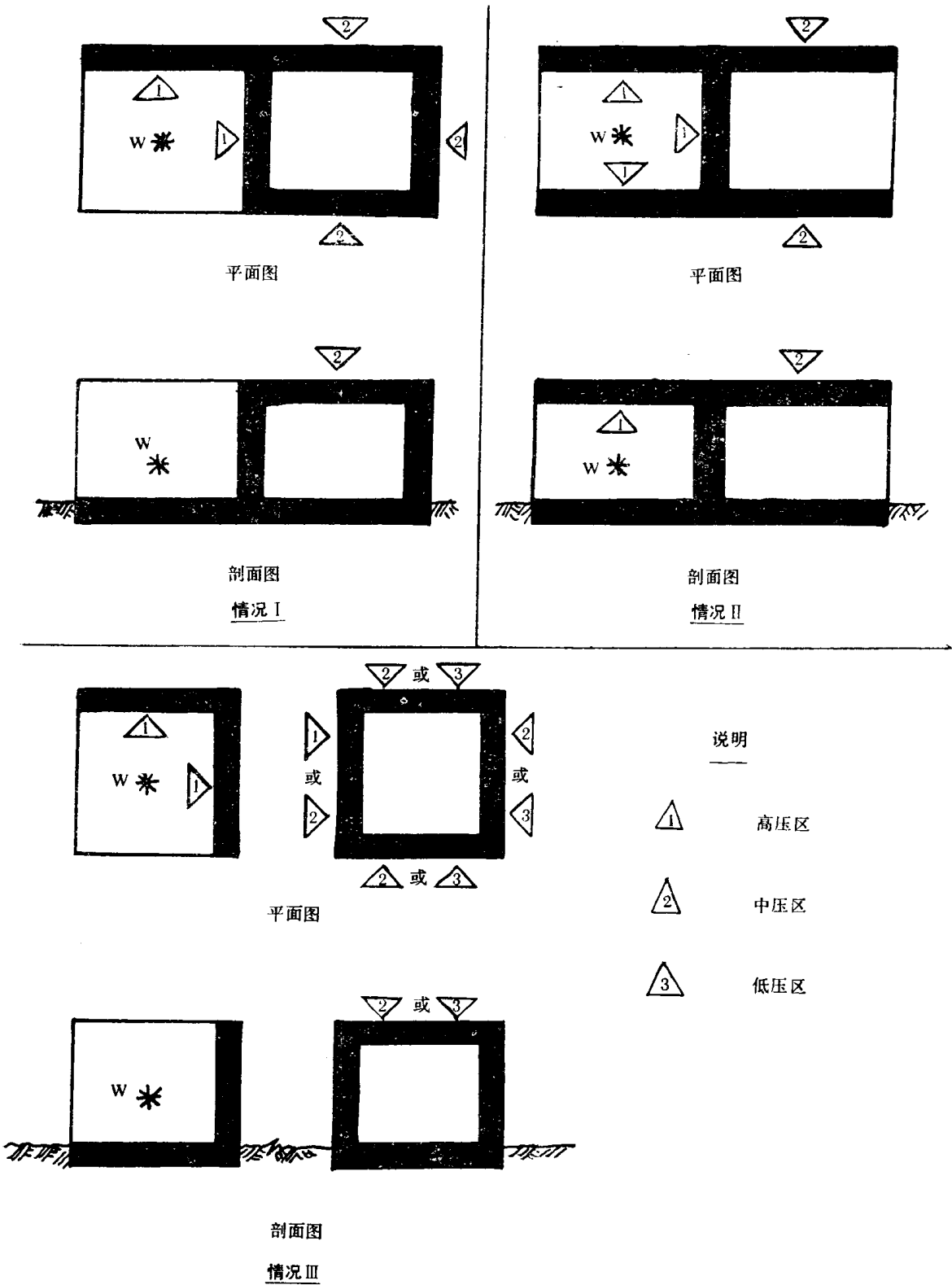


图 3-3 根据结构构件距爆点的位置确定的设计区