

第6502号

建筑技术情报資料

内部資料

防护結構的設計原理和方法

(美国空軍設計手冊)

建筑工程部建筑科学研究院技术情报所

1965年12月

說 明

本手冊系根据美国的 “Air Force Design Manual, Principles & Practices for Design of Hardened Structures” 1962年的原版 (AD295408, TDR-62-138) 譯出的。仅供讀者参考。

本手冊原文中可能有印刷錯誤，在譯校过程中所发现的錯誤已加注說明，但还可能有些錯誤未被发现。請讀者在參閱本手冊时注意。

由于譯者和校者的水平有限，而且本手冊各章的翻譯和校对又是由几个单位分別进行的，差錯和譯名不統一之处一定不少，希讀者指正。

在翻譯、校对和印刷本手冊过程中，得到了許多单位的大力协助，在此表示感謝。

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 目的	(1)
1.2 资料来源	(1)
1.3 总的假设条件	(2)
1.4 情况介绍	(2)
1.5 符号说明	(2)
1.6 准确度和精密性	(3)
1.7 统计方面的问题	(3)
第二章 一般要考虑的问题	(4)
2.1 引言	(4)
2.2 设计前要考虑的问题	(5)
2.2.1 工程的用途	(5)
2.2.2 工程的重要性	(5)
2.2.3 袭击的可能性(或然率)与大小	(6)
2.2.4 所需的防护等级	(6)
2.2.5 经济问题	(7)
2.3 结构形式的选择	(7)
第三章 空气冲击波现象	(11)
3.1 引言	(11)
3.2 空气冲击波	(12)
3.2.1 引言	(12)
3.2.2 超压	(12)

3.2.3 动力压力·····	(22)
3.2.4 地面和地形的影响·····	(41)
3.3 坑道和管道中的空气冲击波·····	(42)
3.3.1 冲击波在直坑道中的形成·····	(43)
3.3.2 坑道弯曲和连接的影响·····	(48)
3.3.3 峰值超压在直坑道中的衰减·····	(50)
3.3.4 作用在坑道和管道的门和防爆 活门上的冲击波荷载·····	(52)
3.4 参考文献·····	(55)
第四章 自由場的土壤运动·····	(59)
4.1 引言·····	(59)
4.2 空气引起的土壤运动·····	(60)
4.2.1 引言·····	(60)
4.2.2 应力的衰减·····	(62)
4.2.3 土壤特性·····	(72)
4.2.4 位移·····	(85)
4.2.5 速度·····	(94)
4.2.6 加速度·····	(95)
4.2.7 超前的土壤运动·····	(99)
4.2.8 空气引起的位移计算示例·····	(103)
4.3 直接传入的土中冲击波·····	(113)
4.3.1 引言·····	(113)
4.3.2 计算方法的理论基础·····	(114)
4.3.3 等效能量·····	(117)
4.3.4 岩石中的实验结果·····	(117)
4.3.5 对其它材料的适用性·····	(121)

4.3.6 切向运动·····	(127)
4.3.7 地层体系的效应·····	(128)
4.4 参考文献·····	(129)
第五章 结构荷载的确定·····	(135)
5.1 引言·····	(135)
5.2 地上结构·····	(136)
5.2.1 引言·····	(136)
5.2.2 完全封闭的矩形结构·····	(137)
5.2.3 敞开式地上矩形结构·····	(142)
5.2.4 地上拱·····	(146)
5.2.5 地上穹顶·····	(153)
5.3 地下结构·····	(156)
5.3.1 引言·····	(156)
5.3.2 土壤——结构的相互作用·····	(160)
5.3.3 施工方法的影响·····	(175)
5.3.4 全埋的矩形结构·····	(179)
5.3.5 全埋拱·····	(182)
5.3.6 全埋穹顶·····	(185)
5.3.7 地下豎井结构·····	(185)
5.4 部分埋设结构·····	(196)
5.4.1 引言·····	(196)
5.4.2 矩形结构·····	(197)
5.4.3 部分埋设拱·····	(201)
5.4.4 部分埋设穹顶结构·····	(204)
5.5 参考文献·····	(205)
第六章 材料的动力性能·····	(210)

6.1	引言	(210)
6.2	金属	(210)
6.2.1	一般概述	(210)
6.2.2	建筑钢	(213)
6.2.3	高强度低合金钢	(214)
6.2.4	钢筋	(214)
6.2.5	材料和接点的脆性	(216)
6.3	混凝土	(219)
6.4	木材	(221)
6.5	参考文献	(222)
第七章	破坏和设计标准	(226)
7.1	引言	(226)
7.2	破坏与安全使用	(226)
7.3	安全系数	(227)
7.4	设计标准	(228)
7.5	延伸比	(229)
7.6	总的建议	(232)
7.7	参考文献	(232)
第八章	结构构件的特性	(234)
8.1	引言	(234)
8.2	钢筋混凝土梁和单向板	(234)
8.2.1	引言	(234)
8.2.2	梁截面的抗弯强度	(235)
8.2.3	斜向拉力	(237)
8.2.4	纯剪	(241)
8.2.5	劲度	(243)

8.2.6	自振周期	(244)
8.3	双向板	(247)
8.3.1	抗弯强度	(247)
8.3.2	抗剪强度	(249)
8.3.3	支承梁	(249)
9.3.4	劲度	(250)
8.3.5	自振周期	(251)
8.4	钢筋混凝土柱	(251)
8.4.1	轴向受载的钢筋混凝土柱	(252)
8.4.2	弯曲和轴向组合荷载	(252)
8.4.3	振动周期	(254)
8.5	钢梁	(254)
8.5.1	引言	(254)
8.5.2	抗弯强度	(254)
8.5.3	抗剪强度	(255)
8.5.4	局部压屈	(256)
8.5.5	劲度	(258)
8.5.6	自振周期	(258)
8.6	钢柱	(258)
8.6.1	轴向受载的柱	(258)
8.6.2	局部压屈	(260)
8.7	圆弧拱	(260)
8.7.1	引言	(260)
8.7.2	自振周期	(262)
8.7.3	抗力	(265)
8.7.4	压屈	(267)

8.7.5 延性系数	(269)
8.8 穹顶	(269)
8.8.1 引言	(269)
8.8.2 延性	(272)
8.8.3 自振周期	(272)
8.8.4 压缩型	(273)
8.8.5 弯曲型	(275)
8.8.6 压屈	(279)
8.9 豎井和坑道	(280)
8.10 底脚	(280)
8.10.1 抗挠曲能力	(280)
8.10.2 剪切	(280)
8.11 参考文献	(282)
第九章 结构构件的大小及设计	(288)
9.1 引言	(288)
9.2 钢筋混凝土梁与单向板	(289)
9.3 钢筋混凝土的双向板和支承梁	(291)
9.4 钢梁	(292)
9.5 拱	(292)
9.6 穹顶	(294)
9.7 垂直坑道和豎井	(296)
9.8 基础	(297)
9.9 柱	(297)
第十章 土中冲击波和防震装置	(318)
10.1 引言	(318)
10.2 冲击波反应谱	(319)

10.2.1弹性体系的反应谱·····	(320)
10.2.2非弹性体系的反应谱·····	(324)
10.3简单结构的防土中冲击波的设计·····	(330)
10.4多层结构的防土中冲击波的设计·····	(330)
10.4.1水平运动的设计·····	(332)
10.4.2垂直运动的设计·····	(334)
10.5震动对设备的影响·····	(335)
10.5.1防震安装中的基本依据·····	(335)
10.5.2设备和结构的相对畸变的预防·····	(336)
10.5.3设备的弹性体系的性质·····	(337)
10.5.4安装在建筑框架构件上的 轻设备的反应·····	(339)
10.5.5震动对重设备的影响·····	(339)
10.6复杂线性体系的理论方法·····	(340)
10.7参考文献·····	(341)
第十一章 建筑设计问题 ·····	(344)
11.1一般概述·····	(344)
11.2入口通道·····	(345)
11.3门·····	(346)
11.3.1防护门·····	(346)
11.3.2门的类型·····	(346)
11.3.3功能要求·····	(348)
11.3.4门的一些重要特性·····	(350)
11.4通风和防爆活门·····	(354)
11.5基础和密封问题·····	(356)
11.6结构细部·····	(358)

11.6.1混凝土结构.....	(358)
11.6.2钢结构.....	(359)
11.7内部设备系统.....	(360)
11.7.1内部设备负荷.....	(360)
11.7.2给水.....	(361)
11.7.3贮水库.....	(362)
11.7.4照明和电力.....	(362)
11.7.5排水管沟.....	(362)
11.7.6防火.....	(362)
11.7.7设备安装、内部设备管线的接头...	(363)
11.7.8对心理影响的处理.....	(363)
11.7.9杂项设施.....	(364)
11.8成本费用.....	(364)
11.8.1工程总概算.....	(364)
11.8.2额定费用的分项.....	(365)
11.8.3影响费用的主要因素.....	(376)
11.9参考文献.....	(379)
第十二章 核辐射.....	(383)
12.1引言.....	(383)
12.2设计的重要性.....	(383)
12.3防护.....	(384)
12.4辐射特性.....	(384)
12.4.1辐射种类.....	(384)
12.4.2计量单位.....	(386)
12.5损伤性.....	(387)
12.6预测所在地点的辐射标准.....	(388)

12.7丙种辐射的屏蔽·····	(393)
12.8中子辐射的屏蔽·····	(395)
12.9参考文献·····	(397)
附录A 设计实例·····	(399)
A.1埋入式矩形结构·····	(399)
A.1.1双向顶盖板的设计·····	(399)
A.1.2支承梁的设计·····	(403)
A.2埋入式拱·····	(405)
A.3全埋穹顶·····	(407)
A.4浅埋穹顶·····	(413)
附录B 结构的动力理论·····	(428)
B.1引言·····	(428)
B.1.1单自由度和多自由度体系的关系·····	(428)
B.1.2运动方程式的重要性·····	(430)
B.2简单体系的分析方法·····	(431)
B.2.1引言·····	(431)
B.2.2分析方法·····	(431)
B.2.3抗动力荷载的简单体系的 近似分析·····	(435)
B.2.4简单体系的滑动、倾覆和回弹·····	(443)
B.3符号·····	(448)
B.4参考文献·····	(449)
附录C 预测自由场土壤运动的理论依据·····	(452)
C.1引言·····	(452)
C.2空中爆炸导致的土壤运动 之二维及三维研究·····	(455)

C .2.1三维研究.....	(455)
C .2.2二维研究.....	(455)
C .3用一维波理论阐述土壤运动.....	(456)
C .3.1均匀弹性介质.....	(457)
C .3.2成层弹性介质.....	(463)
C .3.3非弹性介质.....	(466)
C .4参考文献.....	(467)
附录D 符号表.....	(469)

第一章 緒 論

1.1 目 的

此手册的目的为：

- a. 介绍关于抗核爆炸效应的结构设计技术的现状；
- b. 指导和帮助那些在一定程度上掌握了核爆炸现象，动力荷载理论与极限设计的设计人员；
- c. 提供有关的理论、数据、背景和参考资料，从而使承包空军工程的建筑师——工程师设计公司能遵循标准程序。

此手册，从其原本的意图来讲，并非打算扩大其本身的理论领域。更确切些说，其意图是选择和使用现有的理论和方法，使其结果是以最好的已有知识为基础。因此，手册利用了大量的参考资料。有些资料我们觉得完全适合于所讨论的问题，因而就把这有关部分整个地引用了（这些地方都已注明）。很显然，在这种情况下所编写的手册，必然要在很大程度上反映出原作者的经验与见解。将来还会有更多、更好的经验和理论资料问世，此手册必须定期地进行重新校订。

1.2 資料来源

编写此手册时所依据的主要资料来源有四，即：

- a. 野外试验，技术与武器试验的中间报告；
- b. 实验室试验，各大学和政府的实验室以及私人研究活动中所获得的实验资料；
- c. 理论研究；
- d. 有关科学领域内的研究成果。如地震学、地质学、土

力学及其它一些科学和工程领域内的研究成果。

1.3 总的假设条件

此手册所能包括的范围，仅限于假设的设计情况范围之内。在编写过程中曾尽力包括比较合乎实际的一些情况，同时也要保持足够的普遍意义，从而使读者能借用于其它方面。

一般说来，武器假设为百万吨级地面爆炸，对于地上结构和地下结构都给予了注意，当然，重点放在地下结构，因为它对于空军更为重要。

鉴于现在对防护结构的某些方面理解得还不够深透，所以为了确定设计程序，此手册不得不在某些问题上根据判断进行处理。将来如获得更好的资料，这些假设条件还要修改，因此，读者不应满足于本书介绍的方法。

1.4 情况介绍

此手册共分十二章，另有四个附录。每章都涉及防护设计问题的一个基本方面，各章分别列有参考文献。图表、方程式以及各章有关的参考文献，都是各章独立编排，自成系统，这样，可使将来定期修改时所需的费用和精力减至最低程度。

1.5 符号说明

抗冲击波的设计，涉及许多各不相同的科学、工程领域，所以，如果发现它所用的符号不够统一，这是不足为奇的。有些时候，同一个符号用来表示几种不同的量值。在像本手册这样参考许多原始资料的书中，要想确定统一的符号体系，是很庞杂的事情。

这里尽可能地采用一般常用的符号。每个符号在初次引

用时都有说明，而那些在整个手册中用得较多的符号，在附录 D 中还有综合说明。至于仅在连续几页中所用的特殊符号，例如在推导过程中使用的符号，未包括到附录 D 中去。

1.6 准确度和精密性

在抗核爆炸效应的设计中，采用误差为 2 倍或更大误差的量值，进行推算，是司空见惯的事情。为了对付这样一种情况，人们都倾向于采用大约为 20% 的容许误差。由此可见，极其精确的计算是没有必要的，假如一个设计师竟想利用不精确的原始数据力求得到精确的数值结果，那是枉费心机。

此手册中，当觉得计算的精确度已超过原始数据的精确度时，就采用稍加简化的计算方法。这样做，在设计中不会造成如在分析中可能造成的严重后果，因为在设计中会选择许多不肯定的量值以致使未知的误差造成保守。这样，最后得出的设计结果能满足假设荷载条件的要求，而且对某些超出假设荷载条件的情况，也大概能满足。

1.7 统计方面的问题

在任何抗爆结构设计中，都有统计不确切的问题。由于荷载情况与假设情况不一致，结构物能够保存下来的可能性是变化不定，甚至是不够了解的。因此，很重要的一点就是将荷载条件选择得尽量合乎实际情况。最可能遭受袭击的条件选择，并非属于此手册的范围，但也应当看到，设计也只不过是荷载条件的假设问题，所谓成功的设计，也只是就其能承受住特定的设计荷载而言。设计师所负责做到的全部工作，就是创造一个能成功地承受住一组预计荷载的结构。必须意识到：如果假设的荷载条件不符合实际，那么设计的结构将是易被破坏的。

第二章 一般要考虑的問題

2.1 引 言

抗核武器效应的结构设计必须考虑到这种武器所产生的全部效应，而这些效应在任何给定情况下的大小都是爆炸类型及武器特性的函数。

空中爆炸时，火球不与地面接触，产生空气冲击波、空气冲击波引起的土中冲击波、光热和辐射。地面爆炸时，火球与地面接触，产生与空中爆炸时相同的效应，但这些效应的量值，在爆心投影点附近更为大些。此外，在地面爆炸时，有一部分能量直接从武器传给土壤，做为直接传入的土中冲击波而传播。地面爆炸的另一个特点是，大量的尘土与杂物被蘑菇状烟云带入空中，在很宽广的地区由沾染微粒造成更多的回降辐射。

地下爆炸时，火球冲破地面而喷出，产生的空气冲击波、光热和直接辐射等效应很小。这时产生强大的直接传入的土中冲击波，与此同时，大量土壤颗粒被沾染，它们被带入空中，广泛地散布开来。

所设计的工程可能是非特定地区用的标准型构筑物，也可能是特定地区用的特殊构筑物。标准型构筑物的设计必须根据有关非特定地区的一些假设条件。根据这类工程一般的使用目的，应该对工程地点作出合理的或者平均的假设，并对基本设计作适当的保留。若标准型构筑物按照最不利的可能条件进行设计，则当其用在其它各地区时，会造成过份保

守的、不经济的工程。

对特定地区所做的特殊设计，能更好地符合实际的荷载性质、现场条件、下部的土壤特性、水位情况，等等。

2.2 设计前要考虑的问题

在防护工程设计人员所要考虑的许多问题之中，下面几个问题是最基本的，最重要的。

2.2.1 工程的用途 设计人员在开始工作时必须明确该项工程的用途以及该工程达到本身目的所依靠的手段。必须了解工程里面将安装些什么，以便确定该工程的机械、设备所要求的面积和空间大小，并便于考虑某些特殊的操作条件，如隔震装置，温湿度控制设备，等等。内部设备，如煤气、电力、给水、排水和通讯等设备，最容易在外部接头处被切断。因此，在设计中希望能考虑辅助的内部设备，或者尽可能设计有独立的内部设备。

关于工作人员的空间要求，在一定程度上取决于工程的性质。假如该工程在受到袭击期间仍需坚持工作，那么其中的人员也必须留在其正常的工作区，这种情况也就要求整个工程应具有必要程度的防护性能。但是，假如该工程在袭击期间和袭击后短时间内可以停止工作，那么，较好的方案可能是在该工程内部或外部构筑人员掩蔽部。

2.2.2 工程的重要性 衡量工程重要性的尺度是，它在完成军事任务中所起的作用，或者它在袭击期间和（或）袭击后，对保存某一地区可能发挥的作用。在为了确定袭击的可能性而作目标分析，以及为了确定应有的防护等级而作工程设计时都必须考虑国防部对各工程所确定的重要程度。