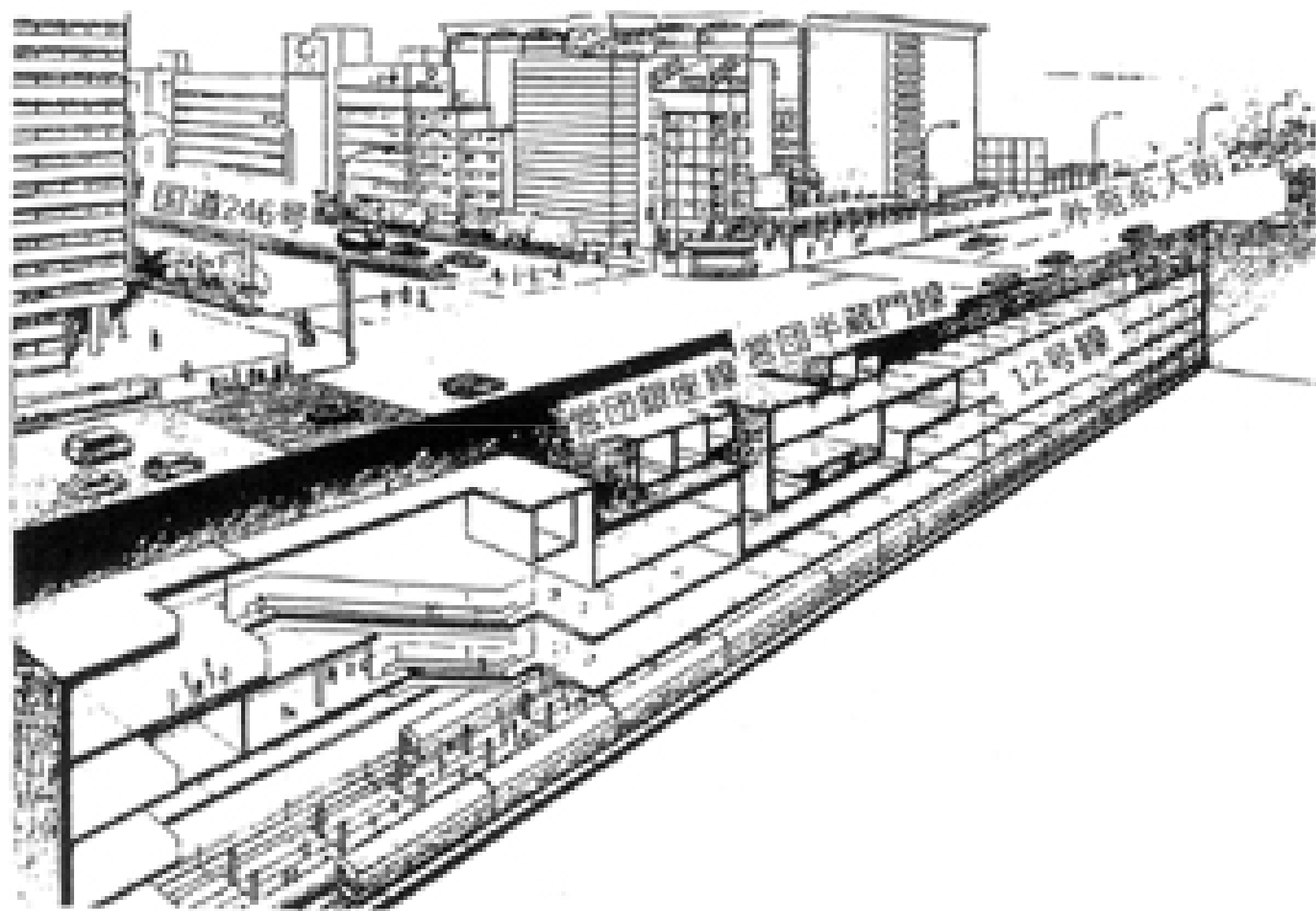


7 附建式地下结构



P144

地下停车场



本讲内容



7.1 概述

7.2 梁板式结构

7.3 口部结构

7.1 概述

定义：指根据一定的防护要求修建的附属于较坚硬的建筑物的地下室，又称为“防空地下室”或“附建式人防工事”。

在工程实践中大量的是与上部地面建筑同时设计、施工的附建式工事。一般采用平战结合方式。



北京防空洞





重庆遭高温烘烤 城里居民躲进十八梯防空洞

7.1.1 附建式地下结构的特点

它既不同于一般地下室结构，也不同于单建式地下结构。

我们从以下几方面来分析其特点。

- i) 它成为地面建筑物的一部分，可以结合基本建设进行构筑；
- ii) 统一安排，将经费、材料纳入基本建设计划，按照国家基本建设程序和要求，进行设计和施工。

结合基本建设修建防空地下室与修建单建式工事相比，
有以下优越性

- i) 节省建设用地和投资，这对大城市尤为重要；
- ii) 便于平战结合，人员和设备容易在战时迅速转入地下；
- iii) 增强上层建筑的抗地震能力；在地震时防空地下室尚
可作为避震室之用；
- iv) 上层建筑对战时核爆炸冲击波、光辐射、早期核辐射
以及炮（炸）弹有一定的防护作用；
- v) 便于施工管理，采用新技术，保证工程质量，同时也
便于维护。

缺点：

- i) 影响上部地面建筑的施工速度，拖延工期；
- ii) 上部建筑遭到破坏时容易造成出入口的堵塞，引起火灾等不利因素。

对上部建筑来说，只有它满足一定的条件时，其下面的地下室可按附建式工事设计：

- i) 上部为多层建筑，底层外墙为砖石砌体或不低于一般砖石砌体强度的其它墙体，并且，任何一面外墙开设的门窗孔面积不大于该墙面面积的一半。
- ii) 上部为单层建筑，外墙使用的材料和开孔比例，应符合上述要求，而且，屋盖为钢筋混凝土结构。

上述条件是针对于上部建筑底层提出的。

设计原则：

- i) 要地上地下综合考虑，使地上与地下部分的建筑材料、平面布置、结构型式、施工方法等尽量取得一致；
- ii) 要尽量不做或少做局部地下室，一般要修全地下室；
- iii) 防空地下室是一种防护工程，对承重结构有决定意义，重点考虑核爆炸因素（例如冲击波）的破坏作用。

平战结合是基本原则

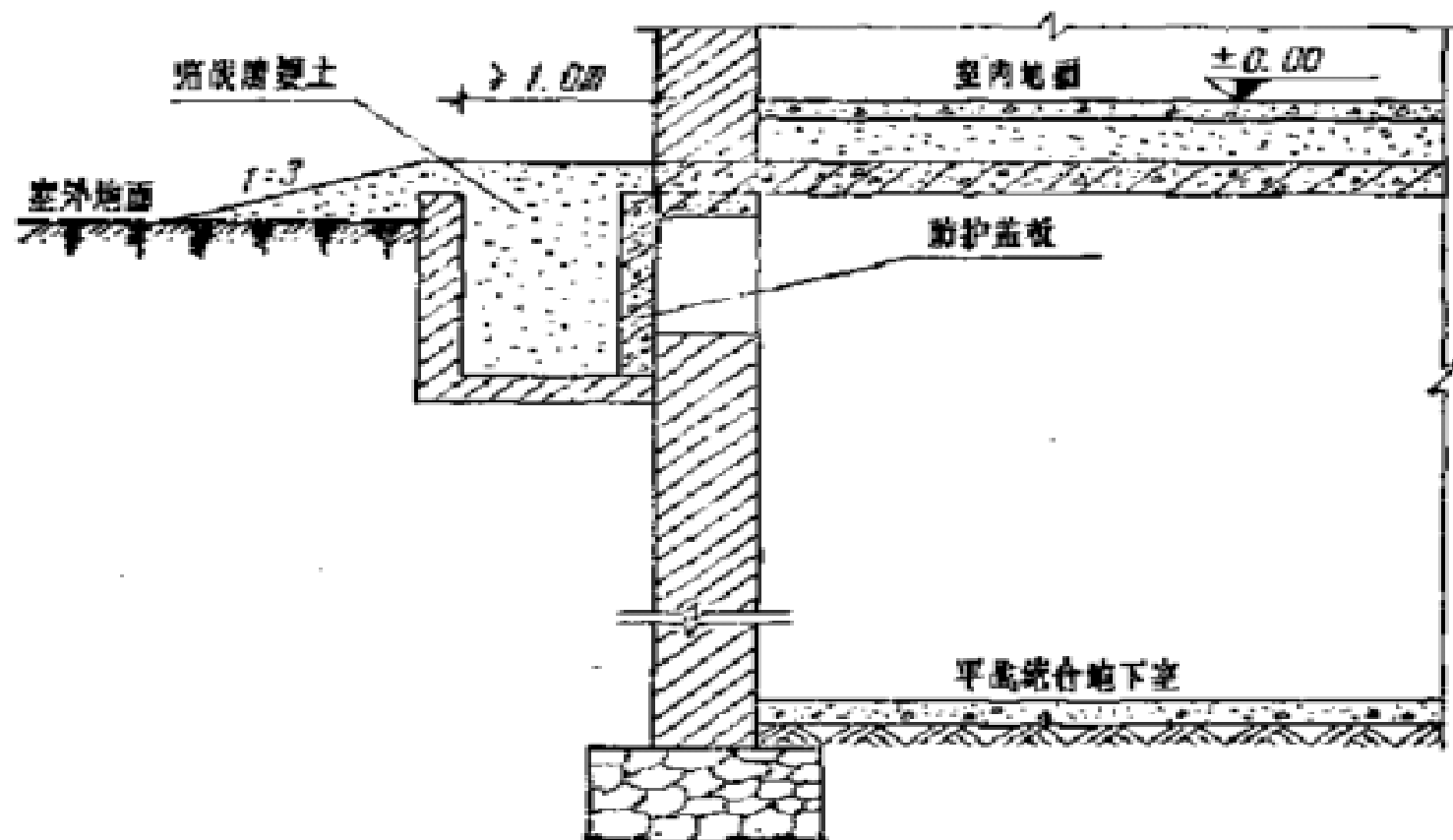
荷载和变形条件：

- i) 附建式地下结构不仅承受上部地面建筑传来的某些静荷载，
还承受核爆炸冲击波的动荷载；
- ii) 结构允许出现一定的塑性变形；
- iii) 附建式地下结构不必单独进行结构变形的验算。

附建式地下结构在战时设计荷载作用下，可只验算结构的强度

优先考虑修建防空地下室的情况：

- i) 低洼地带需进行大量填土的建筑；
- ii) 需要做深基础的建筑；
- iii) 新建的高层建筑；
- iv) 人口密集、空地缺少平原地区建筑。



平战结合，临战前进行覆土

7.1.2 附建式地下结构的形式

A 梁板结构

所用的建筑材料及施工方法等，基本上是与上部地面建筑相同的，主要承重结构有顶盖、墙（柱）及基础等，防空地下室的顶盖采用钢筋混凝土梁板结构，是实际工程中较为多见的。

钢筋混凝土梁板结构，可用现浇法施工，这样整体性好，但需要模板，施工进度慢

已在防空地下室顶板结构中推广采用预制—现浇迭合板、
内浇外挂（见书上解释）剪力墙结构等

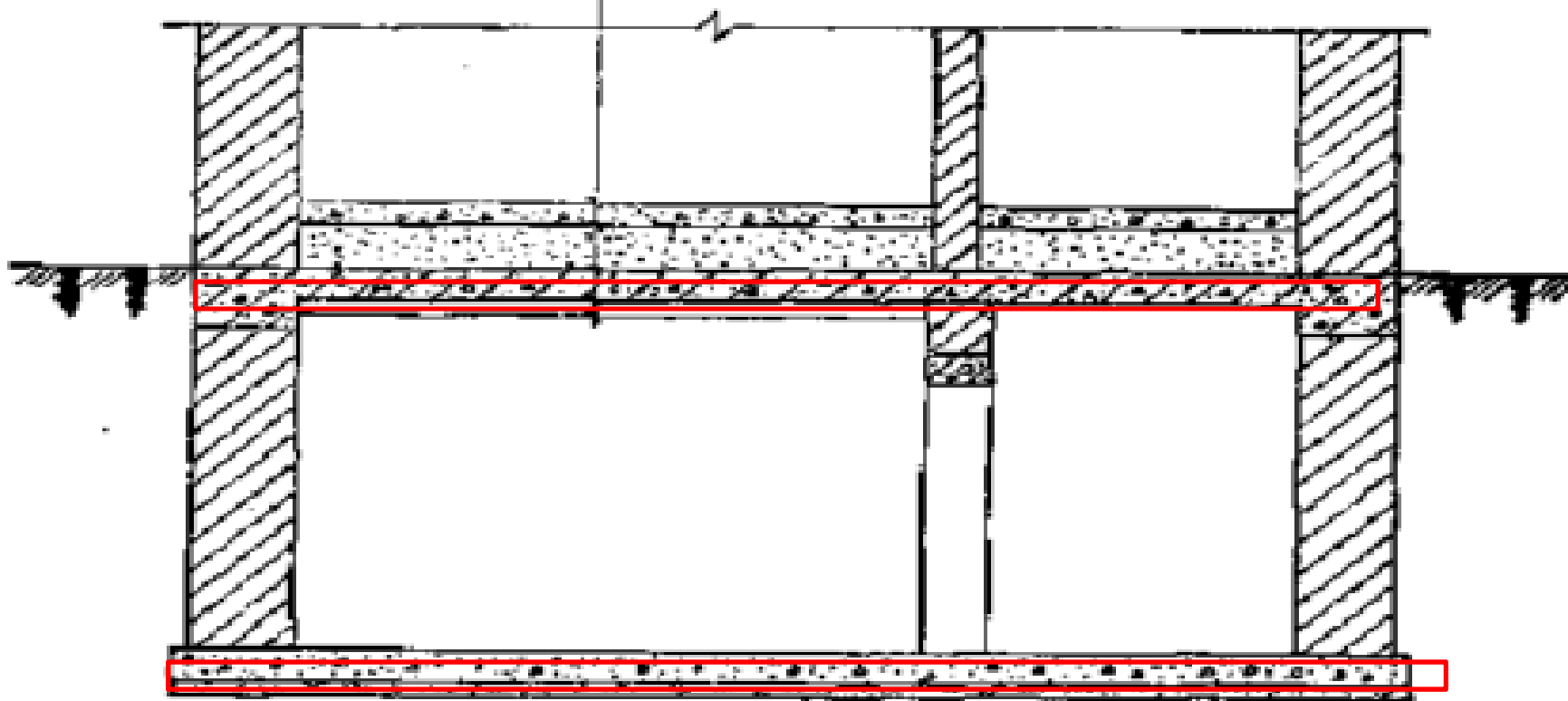


面层

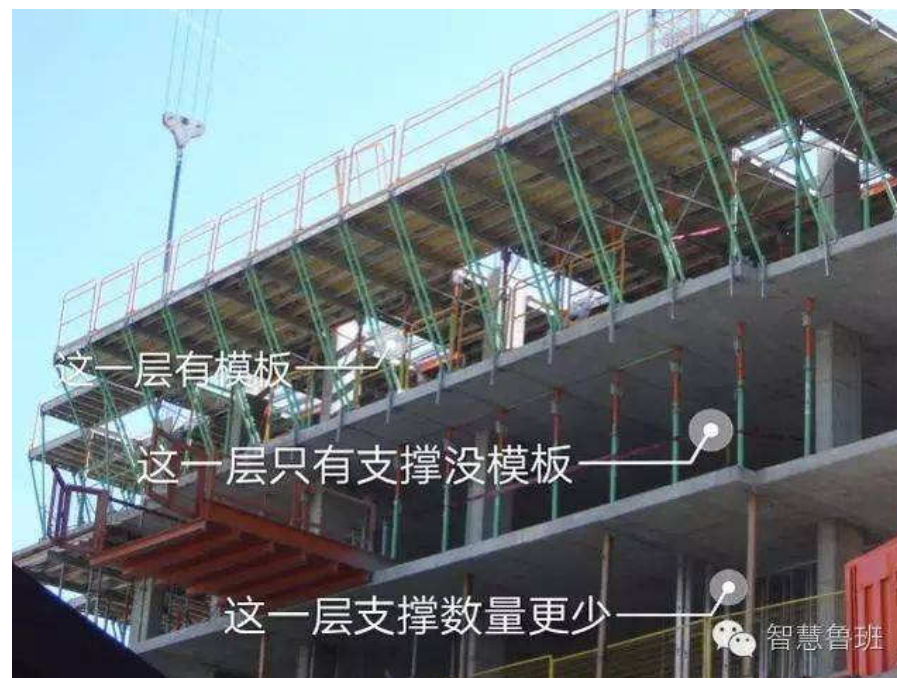
填充层

钢筋混凝土梁板

梁板结构



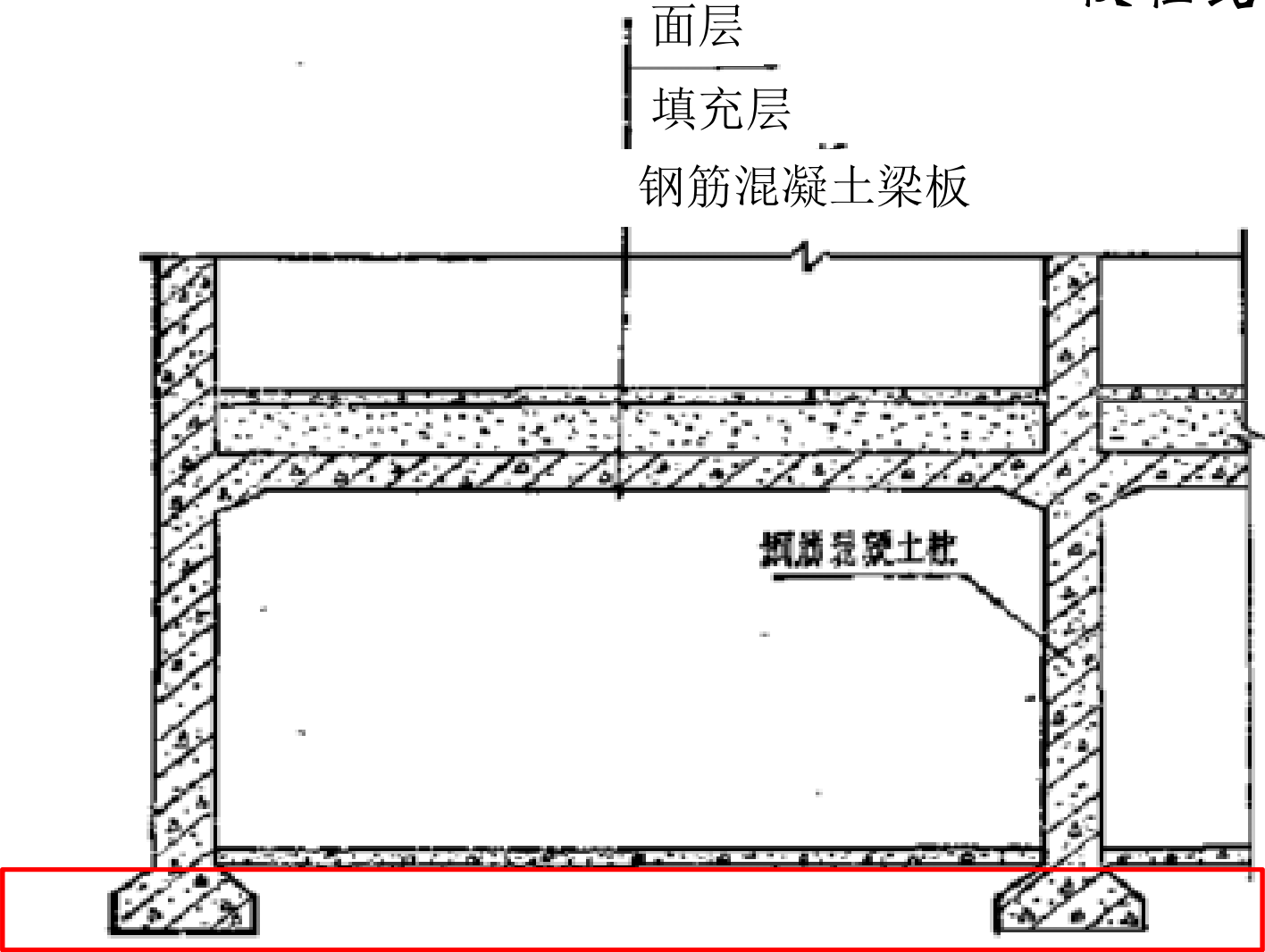
B 板柱结构



不用内承重墙和梁的平板顶盖，防空地下室的顶板采用无梁楼盖的形式，即板柱结构。

柱距一般不宜过大，例如，平时作冷藏库用的防空地下室。

板柱结构



C 箱形结构 P149

采用箱形结构的防空地下室，属于以下几种情况；

- i) 工程的防护等级较高，结构需要考虑某种常规武器直接命中引起的效应；
- ii) 土质条件差，在地面上部是高层建筑物（框架结构或剪力墙结构），需要设置箱形基础；
- iii) 地下水位高，地下室处于饱和状态的土层中，结构有较高的防水要求；
- iv) 根据平时使用的要求，需要密封的房间；
- v) 采用诸如沉井法、地下连续墙法等施工方式等。

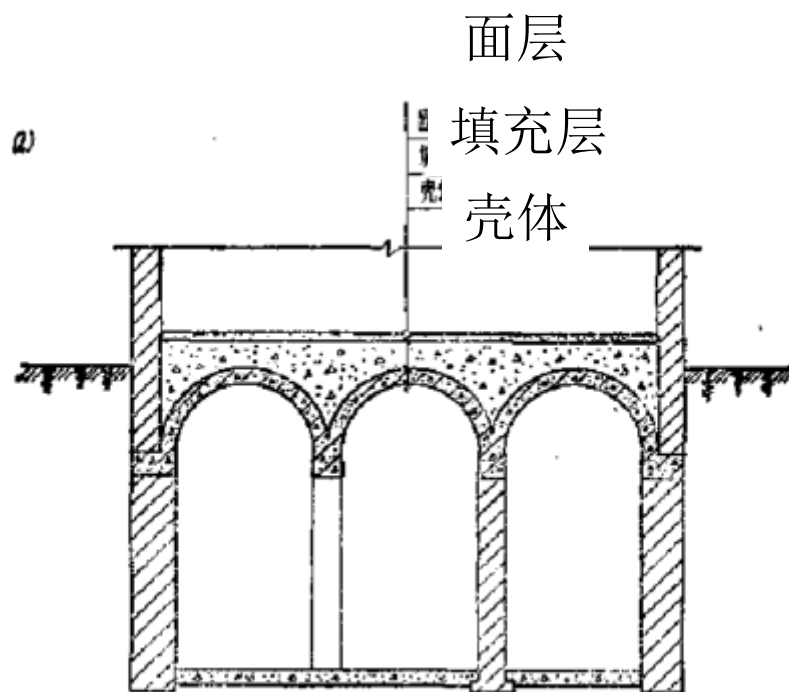


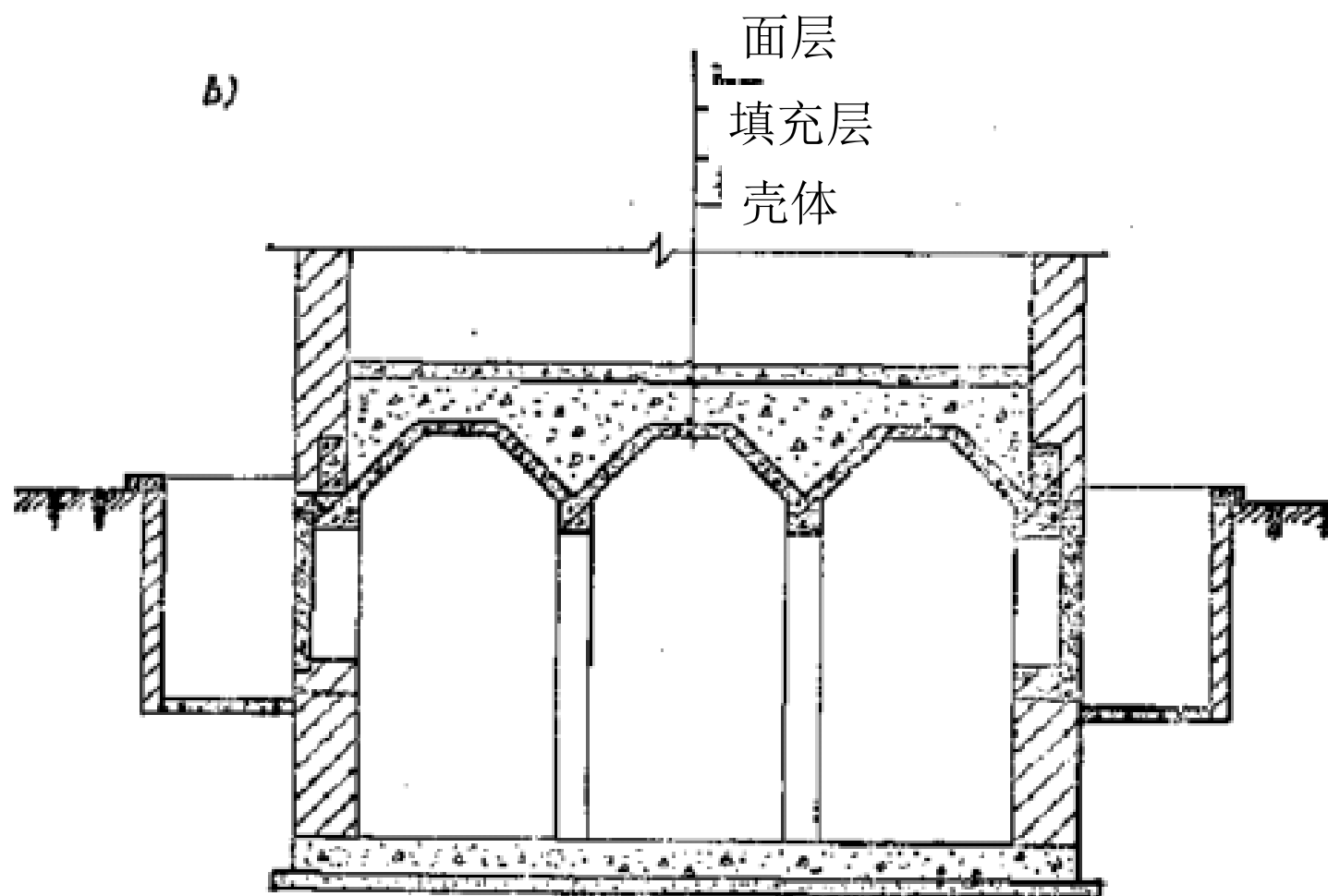
日本京都箱形结构房屋建筑设计

D 其它结构

钢筋混凝土壳体（双曲扁壳或筒壳）、单跨或多跨拱和折板结构。

幕式结构。





7.1.3 附建式地下结构的构造

不仅要根据强度和稳定性的要求确定其断面尺寸与配筋方案，对结构进行防光辐射和早期核辐射的验算，对其延性比加以限制不使结构的变形过大，同时要保证整体工事具有足够的密闭性和整体性。

其构造要求如下：

- i) 建筑材料的最低强度等级应不低于相应设计规范所规定的数值。。
- ii) 结构的最小厚度应不低于表7-1的数值。
- iii) 保护层最小厚度：应比地面结构增加一些，因为地下结构的外侧与土体接触，内侧可按表7-2的规定取值。

表7-2 钢筋混凝土保护层最小厚度

结 构 类 型	部 位	
	内层(mm)	外层(mm)
现 浇	20	30
预 制	15	20

注：1.表中所载的外层，系指与土壤接触的一侧。
2.在有侵蚀性介质中的结构，其混凝土保护层应适当增加。

iv) 变形缝的设置

附建式地下结构沉降缝的设置，地下室沉降缝的设置原则上应服从地面建筑的要求。

关于变形缝的设置应考虑下列几点情况：

- a) 在地震区设有局部地下室的建筑物，应设置沉降缝。
- b) 当地面建筑设置防震缝时，其防空地下室可不设置防震缝。

基坑开挖，引起阳台裂缝

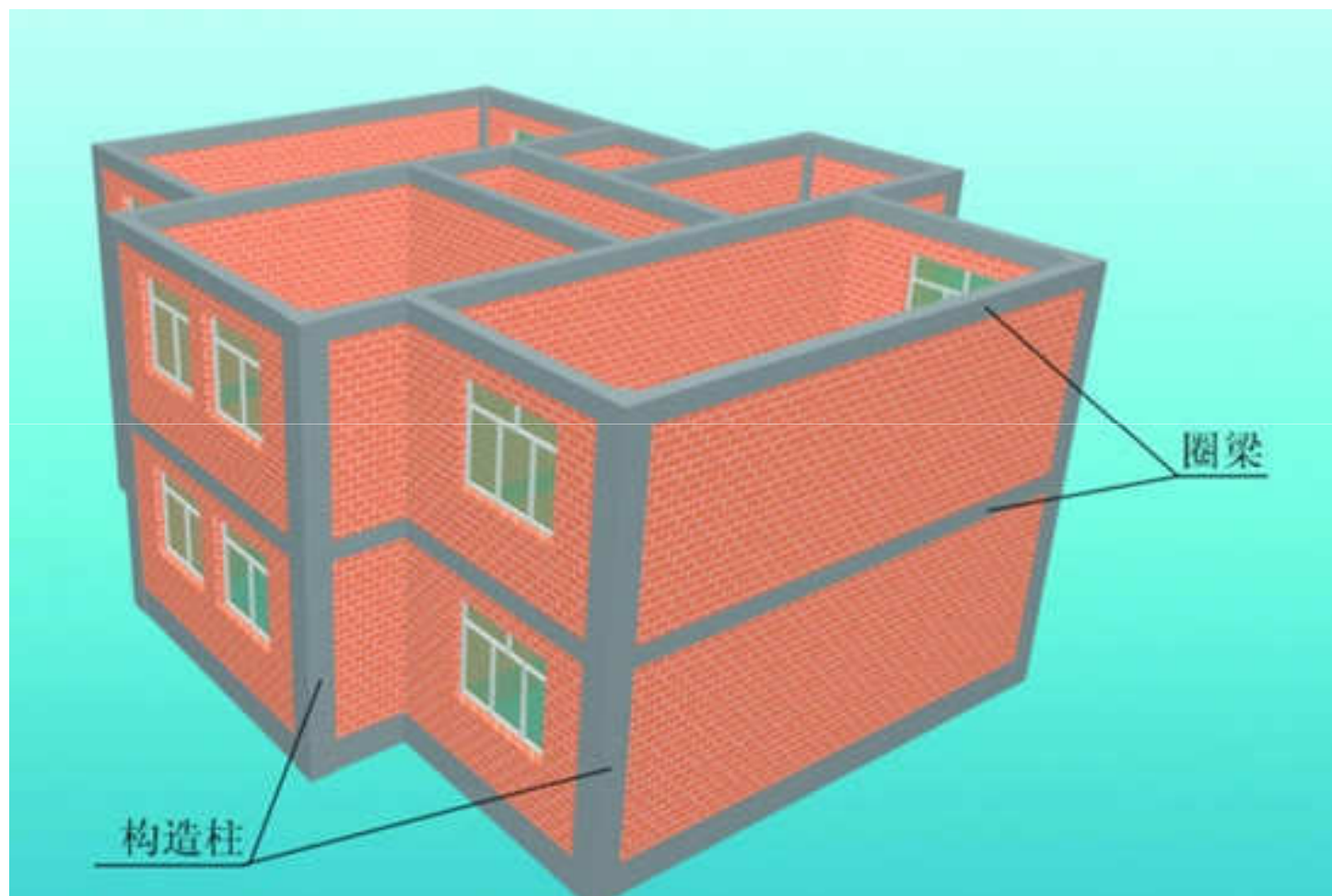


- c) 在地下室的室外出入口与主体结构的连接处，应设置沉降缝，以防止产生不均匀沉降时断裂；
- d) 在防空地下室的一个防护单元内，不允许设置沉降缝、伸缩缝等，以满足防护要求（特别有密闭性要求的）。

v) 圈梁的设置 P152

为了保证结构的整体性，对于混合结构来说，可按以下两种情况设置圈梁。

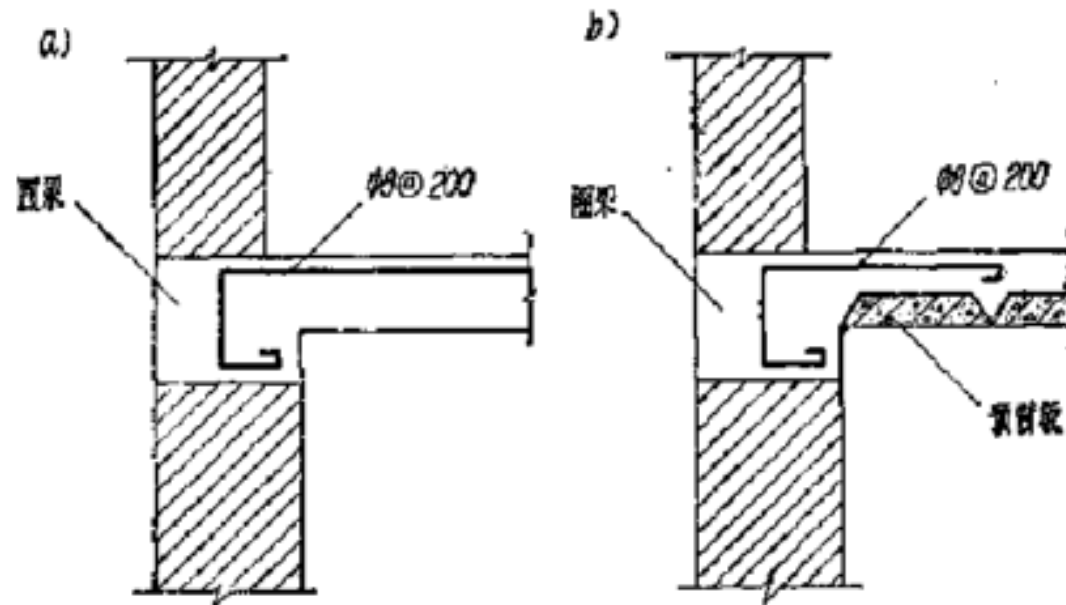
- a) 当防空地下室的顶盖采用迭合板、装配整体式平板或拱形结构时，应沿着内墙与外墙的顶部设置圈梁一道；
- b) 当防空地下室顶盖采用现浇钢筋混凝土结构时，除沿外墙顶部的同一水平面上按上述要求设置圈梁外，还可在内隔墙上间隔设置圈梁。



vi) 构件相接处的锚固，可按下面的情况处理

a) 钢筋混凝土顶板与内、外墙的相接处应设置锚固钢筋；

b) 砖墙转角处及内外墙的交接处，除应同时咬搓砌筑外，除应沿墙高设置受拉结筋



vii) 其它构造要求

对于双向配筋的钢筋混凝土顶板、底板或墙板，均应设置呈

梅花形排列的联系筋或拉结筋；

钢筋混凝土受弯构件的受拉钢筋配筋率，一般控制在

0.15~1.5%的范围内。

7.2 梁板式结构

主要用作人员掩蔽工程的防空地下室，其顶盖常采用整体式钢筋混凝土梁板结构或无梁结构，最好充分利用承重墙。



7.2.1 顶板

A 荷载

在顶板的战时荷载组合中，应包括以下几项：

- i) 核爆炸冲击波超压所产生的动载；
- ii) 顶板以上的静荷载，包括设备夹层、房屋底层地坪和覆土层重以及战时不迁动的固定设备等。
- iii) 顶板自重。

B 计算简图

在计算顶板的内力之前，应将实际构造的板和梁简化为结构计算的图示，即计算简图。

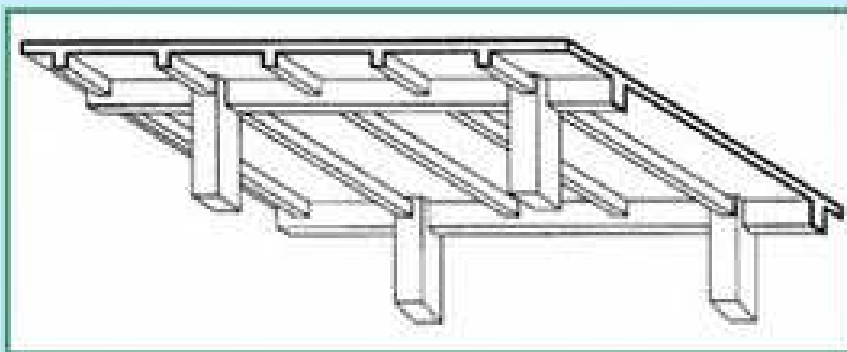
在选择计算简图时，应力求计算简便，而又与实际结构受力情况尽可能符合。

作用在顶板上的荷载，一般取为垂直均布荷载。

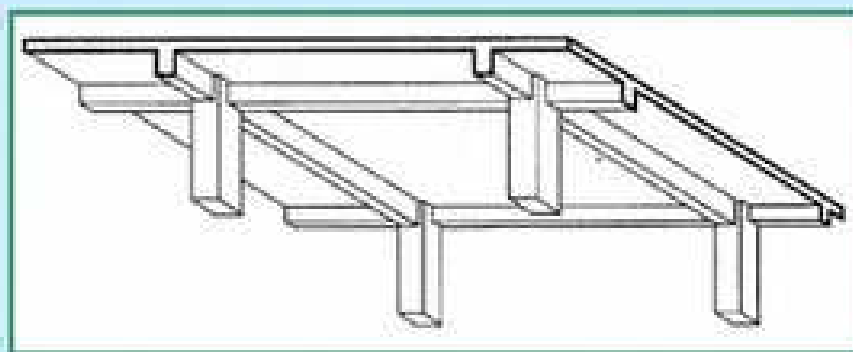
整体式梁板结构，可分为单向板梁板结构和双向板梁板结构。

对于小开间的房间，顶板直接支承在承重墙上，一般属于双向板的情况。

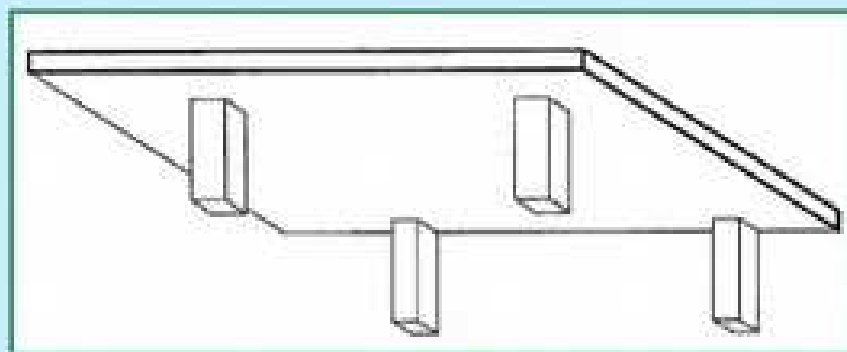
属于多列双向板情况的顶板，可简化为单跨双向板或单向连续板进行近似计算。



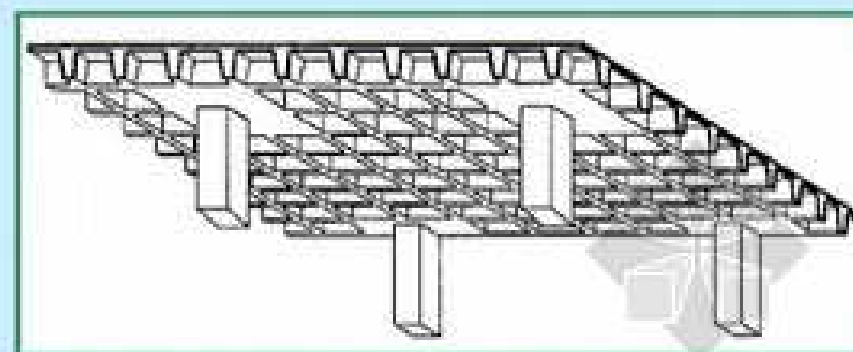
(a) 单向板肋梁楼盖



(b) 双向板肋梁楼盖



(c) 无梁楼盖



(d) 密肋楼盖

第**一**种简化 可近似地认为，每块板都固定在中间支座上，而边支座是简支的。

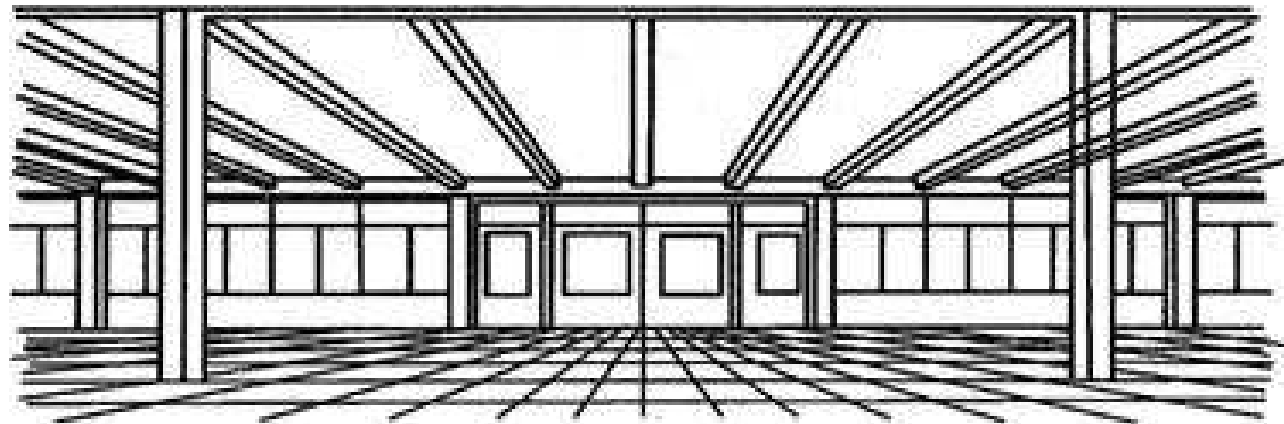
这就可以把顶板分为每一块单独的**单跨双向板**计算。

第**二**种简化 首先根据比值 L_1/L_2 将作用在每块双向板上的荷载近似地分配到 L_1 、 L_2 两个方向上。而后再按互相垂直的两个单向**连续板**计算。

C 内力计算

i) 单向连续板

连续板的计算有弹性理论和塑性理论两种方法。当防水要求较高时，整浇钢筋混凝土顶板应按弹性法计算；当防水要求不高时，可按塑性法计算。



弹性法

按弹性法计算连续板，对于等跨情况可直接按《建筑结构静力计算手册》计算，对于不等跨情况可用弯矩分配法或其它方法。

塑性法

按塑性法计算连续板，分等跨与不等跨两种情况介绍如下：

当属于等跨情况（两跨相差小于20%），已有简化公式为：

$$M = \beta ql^2$$

弯矩：剪力： α 、 β 值分别按表7-3、7-4采用。

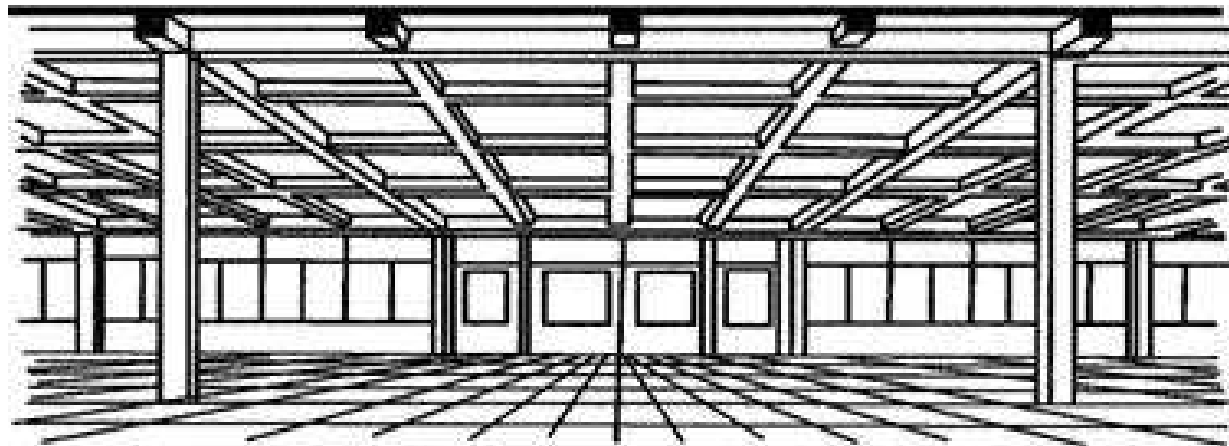
$$Q = \alpha ql$$

P155

当属于不等跨情况时，先按弹性法求出内力图，再将各支座负弯矩减少30%，并相应地增加跨中正弯矩，使每跨调整后两端支座弯矩的平均值与跨中弯矩绝对值之和，不小于相应的简支梁跨中弯矩。

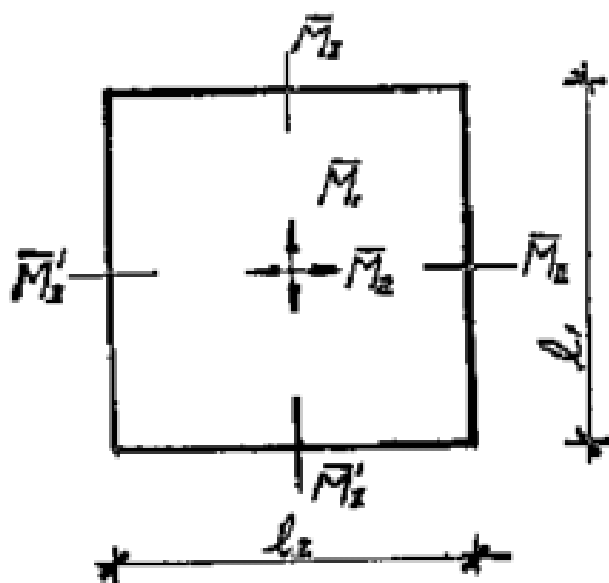
ii) 多列双向板

多列双向板的计算也分弹性法和塑性法两种。按弹性法计算时可简化为单跨双向板或将荷载分配后再按两个互相垂直的单向连续板计算，



按塑性板计算时如图7-7，任何一块双向板的弯矩可表示为：

$$2\bar{M}_1 + 2\bar{M}_2 + \bar{M}_I + \bar{M}'_{II} + \bar{M}_{III} + 2\bar{M}'_{IV} = \frac{ql_1^2}{12}(3l_2 - l_1)$$



当板中有自由支座时，
则该支座的弯矩应为零。

D 截面设计

防空地下室顶板的截面，由战时动载作用的荷载组合控制，可只验算强度，但要考虑材料动力强度的提高和动荷安全系数。

当按弹塑性工作阶段计算时，为防止钢筋混凝土结构的突然脆性破坏，保证结构的延性，应满足下列条件：

i) 对于超静定钢筋混凝土梁、板和平面框架结构，同时发生最大弯矩和最大剪力的截面，应验算斜截面抗剪强度。

ii) 对受拉钢筋配筋率的要求。

iii) 验算抗剪强度时，混凝土轴心抗压动力强度应乘以折减系数。

为节省材料，可将双向板在两个方向上分成三个板带。

7.2.2 侧墙 P157

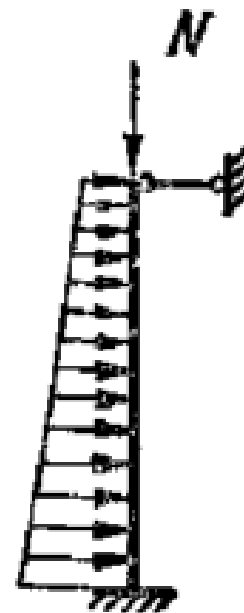
A 荷载的战时荷载组合

- i) 压缩波形成的水平方向动载，可通过计算将动载转变为等效静载。
- ii) 顶板传来的动荷载与静荷载，可根据顶板受力情况所求出的反力来确定。
- iii) 上部地面建筑自重分两种情况确定。
- iv) 侧墙自重根据初步假设的墙体确定。
- v) 土体侧压力及水压力按土力学公式计算。

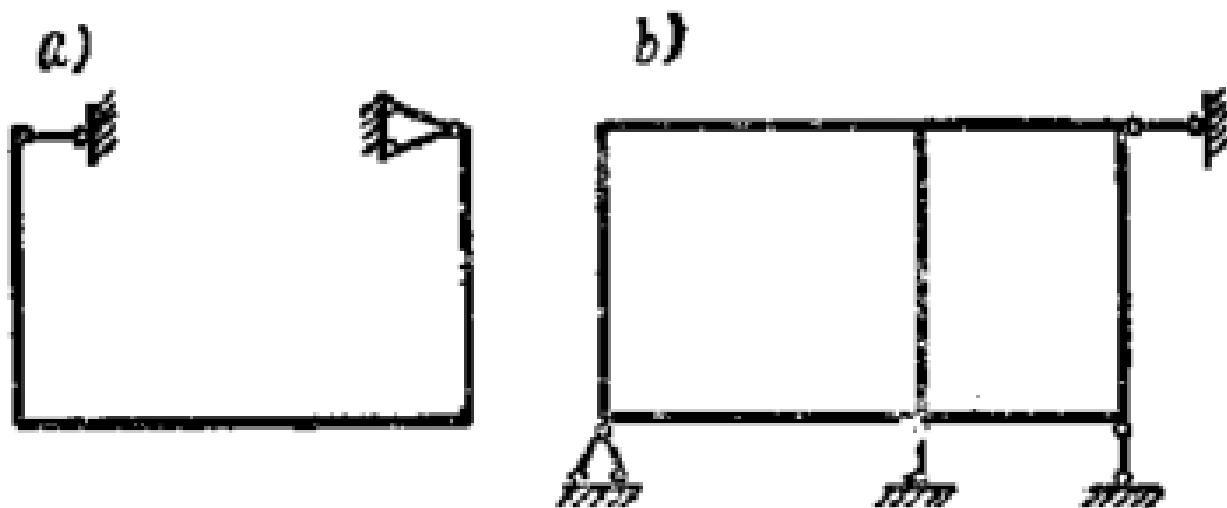
式7-6 多次出现

B 计算简图

当砖墙厚度与基础宽度之比小于等于0.7时，按上端简支、下端固定计算，当基础为整体式底板时，按上端和下端均为简支计算。



此外，有将墙顶与顶板连接处视为铰接，而侧墙与底板当整体考虑的，也有将顶板、侧墙和底板作为整体框架的（图7-9）



在防室地下室侧墙的强度与稳定性计算时，应将“战时动载作用”阶段和“平时正常使用”阶段所得出的结构截面及配筋进行比较，取其较大值，因为侧墙不一定像顶板那样由战时动载作用控制截面设计。

7.2.3 基础 (底板)

分为条形基础和整体基础两种：

在确定了底板压力时，应根据战时与平时两个组合情况的比较，取其中较大的作为设计的依据。

底板的计算简图可和顶板一样，对于有防水要求的底板，应按弹性工作阶段计算，不考虑塑性变形引起的内力重分布。

7.2.4 承重内墙（柱）

大量防空地下室的承重内墙（柱）所承受的荷载包括以下几项：

- i) 上部地面建筑的部分自重（目前建议取其一半），但对于承受动载较大的地下室则不应计入。
- ii) 顶板传来的动荷载，一般化为等效静载。
- iii) 顶板传来的静荷载。
- iv) 地下室内墙（柱）的自重。

在地下室承重内墙上开设的门洞较大时，门洞附近的应力分布比较复杂，应按“孔附近的应力集中”理论计算。但在实际工程中，常采用近似方法，其计算如下：

i) 将墙板视为一个整体简支梁，承受均布荷载 q （图7-10），先求出门洞中心处的弯矩 M 与剪力 Q ，再将弯矩化为作用在门洞上下横梁上的轴向力 $N=M/HL$ ，剪力按上下横梁的刚度进行分配。

$$Q_{\pm} = \frac{J_{\pm}}{J_{\pm} + J_F} Q$$

$$Q_F = \frac{J_F}{J_{\pm} + J_F} Q$$

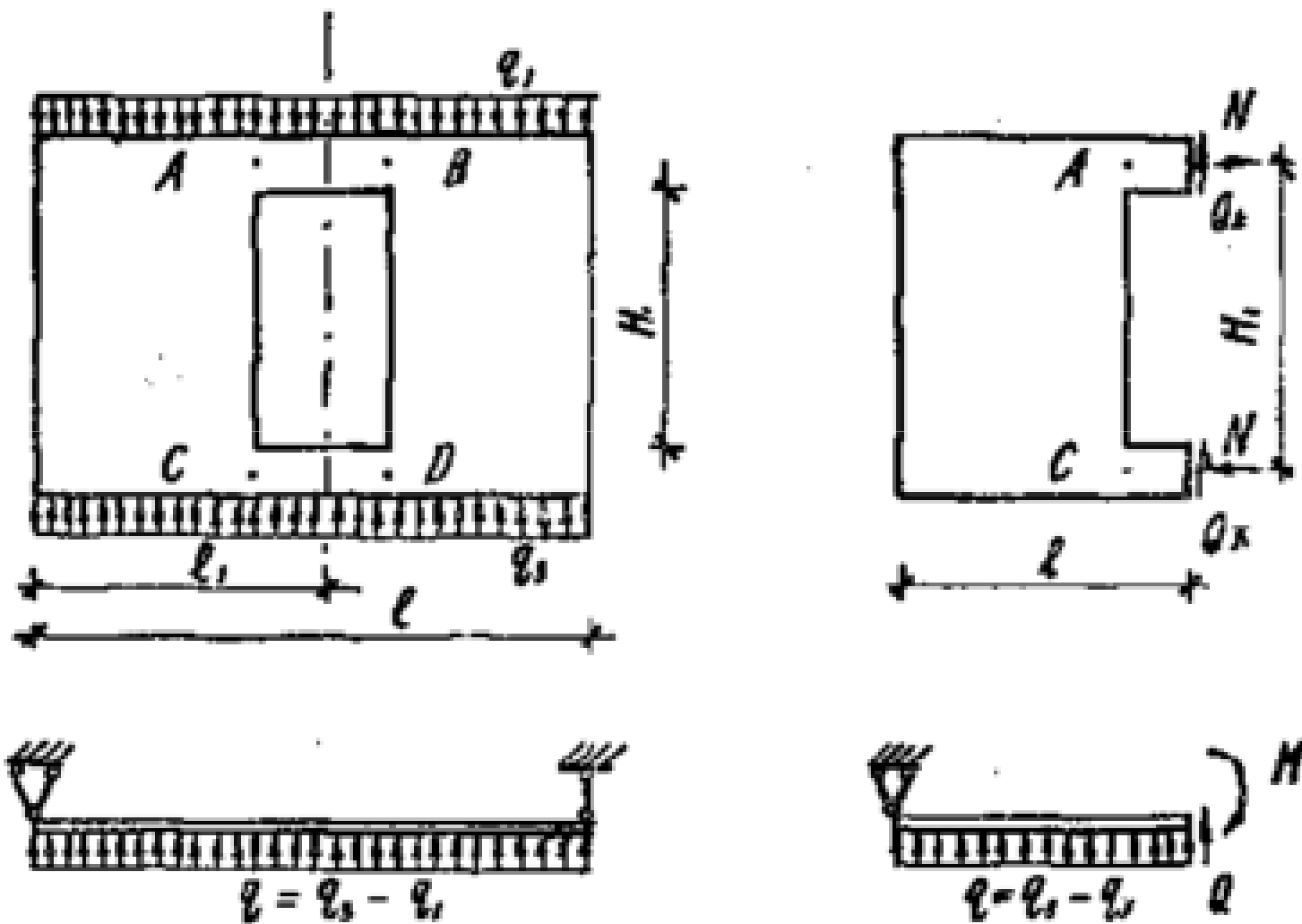


图7-10 承重内墙门洞计算简图

- ii) 将上下横梁分别视为承受局部荷载的两端固定梁，求出上下横梁的固端弯矩；
- iii) 将以上两组内力进行叠加即可。

最后根据内力配受力筋，斜截面根据剪力配箍筋。

7.3 口部结构

室内出入口
室外出入口
通风采光洞

h e

e n d

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称

邮件标题同文件名

Any questions please 发送至

xingzhengwu@163.com