8　沉井与沉箱结构

本讲内容

8.1 概述

8.2 沉井结构

8.3 沉箱结构

8.1 概述

定义：这种利用结构自重作用而下沉入土的井筒状结构物就称“沉井”。

所谓沉井，实质上就是将一个在地面筑成的“半成品”沉入土中，然后在地下完成整个结构物的施工。

P167-169

先在地表制作成一个井筒状的结构物（沉井），然后在井壁的围护下通过从井内不断挖土，使沉井在自重作用下逐渐下沉，达到预定设计标高后，再进行封底，构筑内部结构

与基坑法修建地下结构物的区别

沉井在施工过程中，井壁成了阻挡水、土压力，防止土体坍塌的围护结构，从而省去大量的支撑和板柱工程，减少了土方开挖量。

沉井（沉箱）的结构特点

i) 躯体结构刚性大，断面大，承载力高，抗渗能力强，耐久性好，内部空间可有效利用；

ii) 施工场地占地面积小，可靠性良好；

iii) 适用土质范围广；

iv) 施工深度大；

v) 施工时周围土体变形较小，对邻近建筑物的影响小；

vi) 具有良好的抗震性能。

P167-168

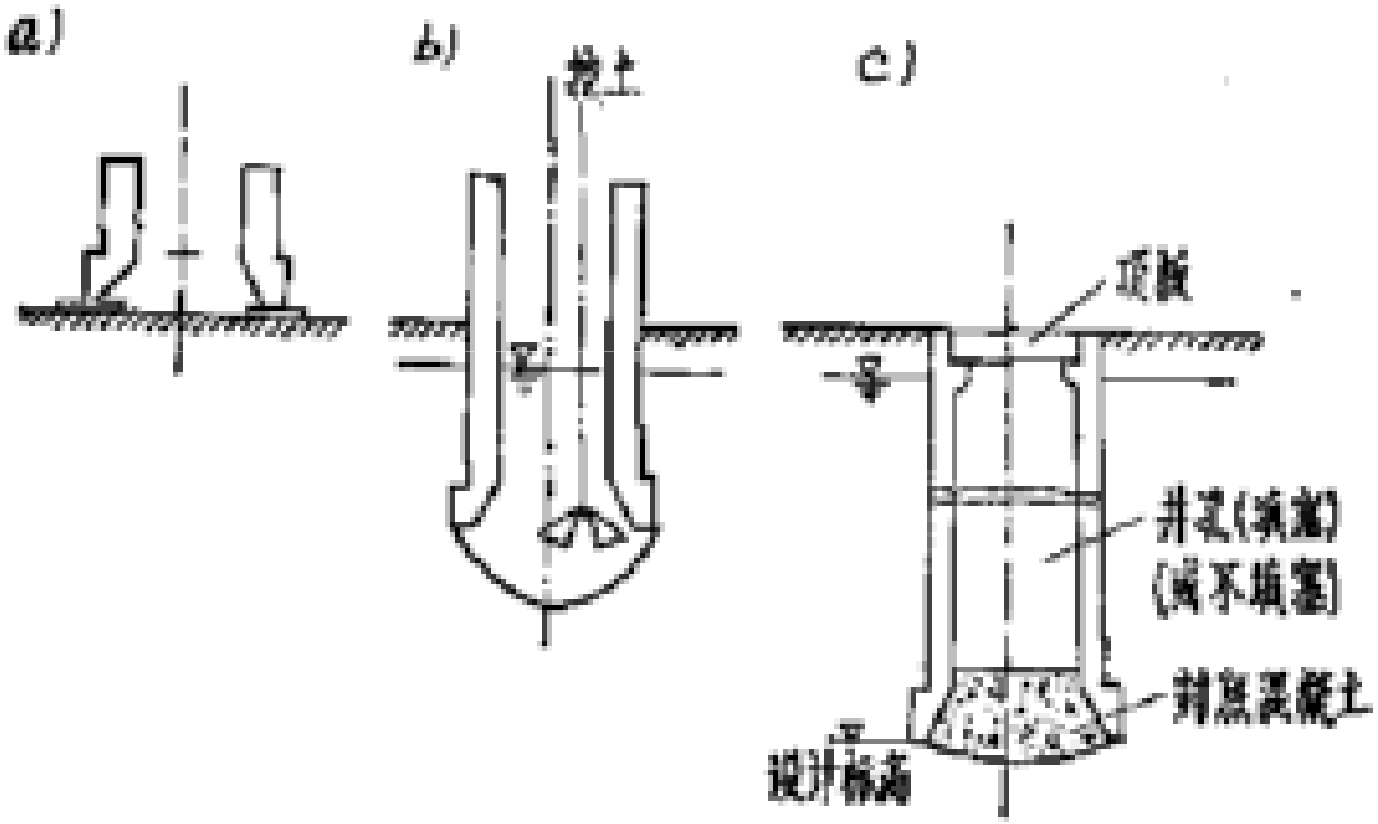
用途：

近年来，沉井式结构已逐渐发展成为土层内地下构筑物常用的结构形式之一。沉井式结构用途很多，例如，自来水厂、电厂和化工厂的水泵房，地下沉淀池和水池；地下热电站、地下油库、地下掩蔽体、车间、仓库等等。此外，也应用作地下铁道、水底隧道等各种设备井。如通风井、盾构拼装井、车站、区间段连续沉井等。

P168

8.2 沉井结构

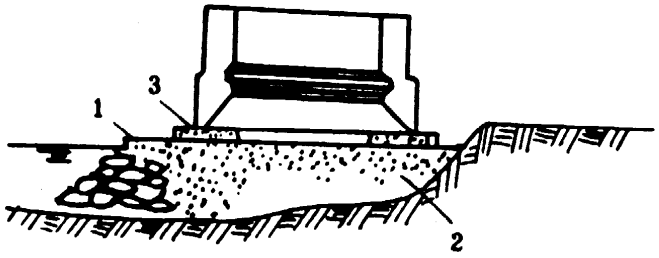
P168



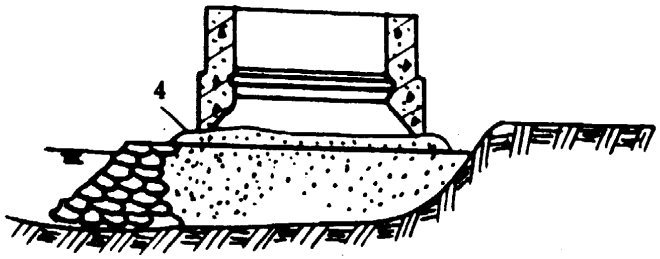
P168 图8-1

P168

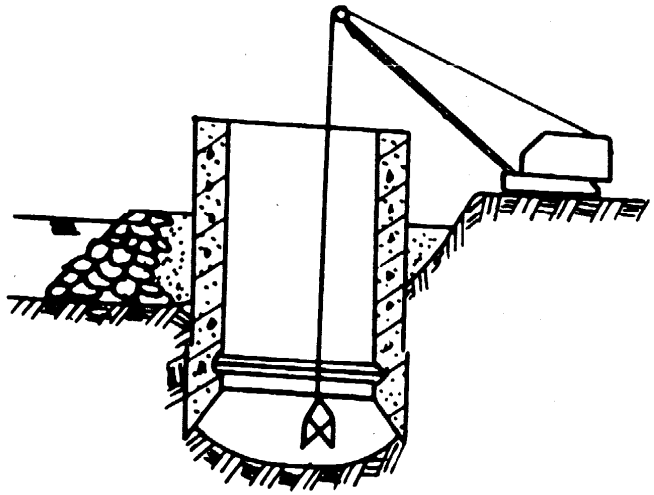
施工步骤



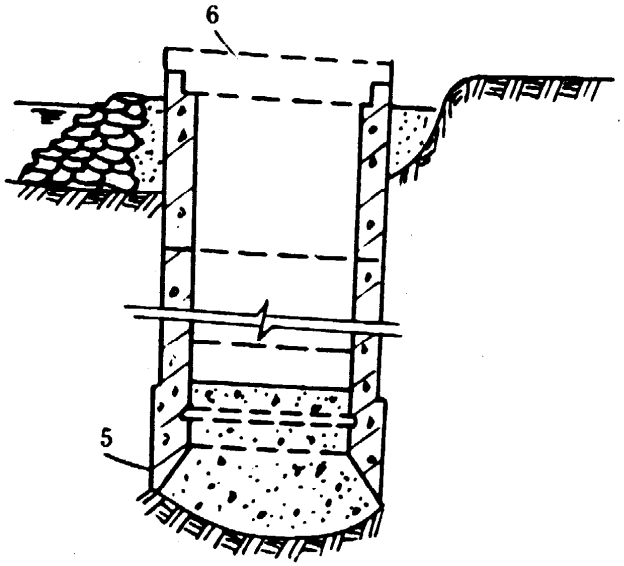
(a)



(b)



(c)



(d)

8.2.1 沉井的类型

(1) 按下沉环境可分为陆地沉井（包括在浅水中先筑岛制作的沉井）和浮运沉井；

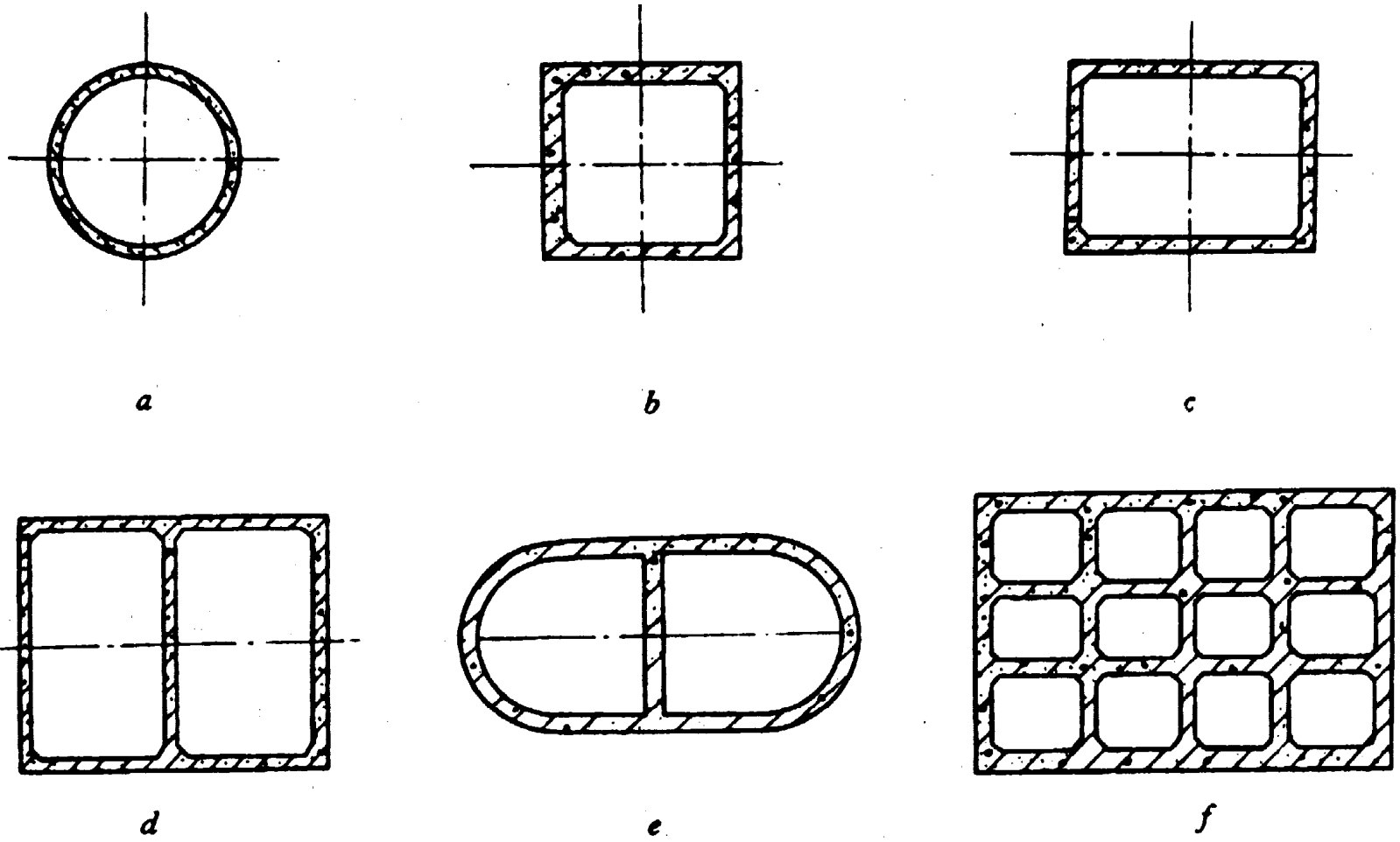
(2) 按沉井构造形式可分为独立沉井和连续沉井；

(3) 按沉井平面形式可分为圆形、椭圆形、正方形、矩形和多边形等；也可分为单孔和多孔沉井（见图8-1）；

(4) 按沉井制作材料可分为混凝土、钢筋混凝土、钢、砖、石以及组合式沉井等。

P169-170

沉井平面结构示意



A 隧道连续沉井

这里着重介绍隧道连续沉井及人防沉井。

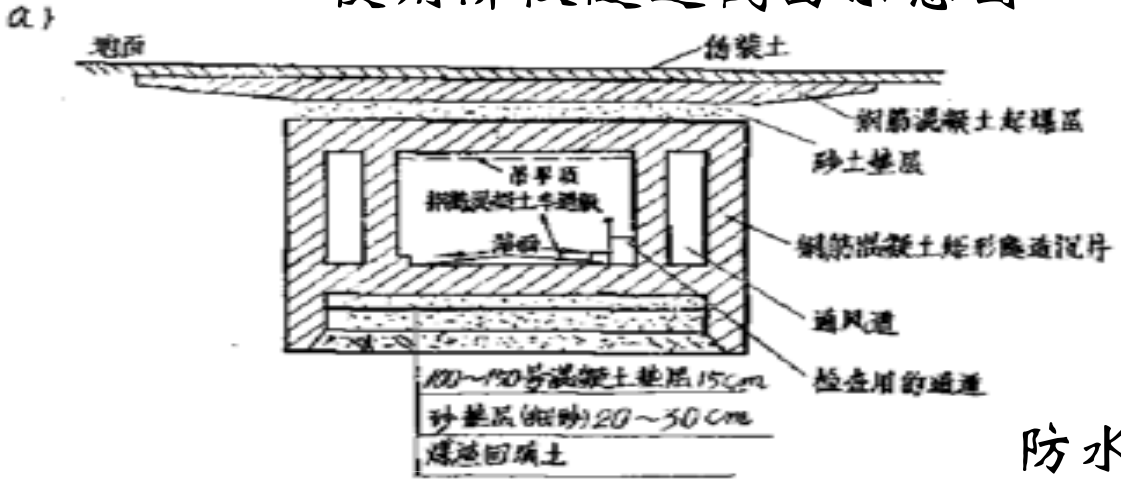
沉井长度主要考虑各段沉井的不均匀沉降、变温影响和混凝土凝固收缩应力等因素加以确定。

沉井横断面的宽度应由隧道的几何设计来确定，一般应能容纳所需车道、风道、检修走道等。

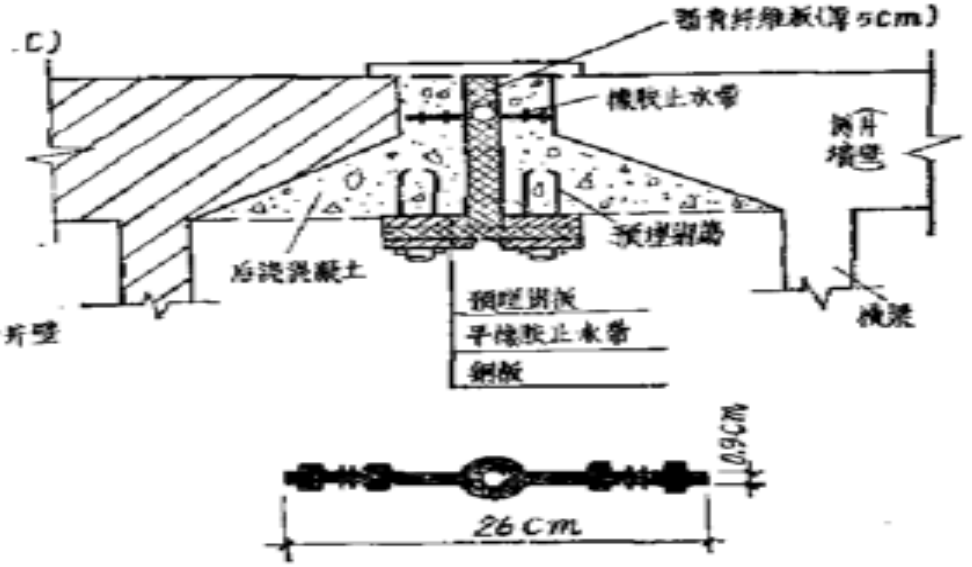
沉井高度主要由车道的净空要求确定。同时还要考虑路面铺装、车道板、吊顶结构以及相邻沉井间沉降差等所需高度。

P169

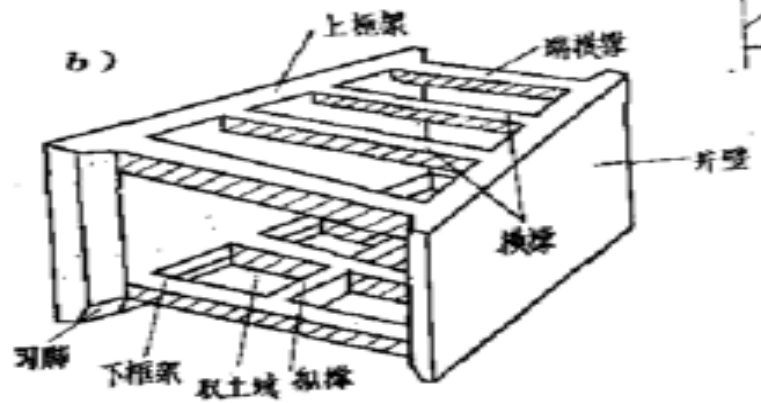
使用阶段隧道截面示意图



防水接头构造图



施工阶段连续沉井示意图

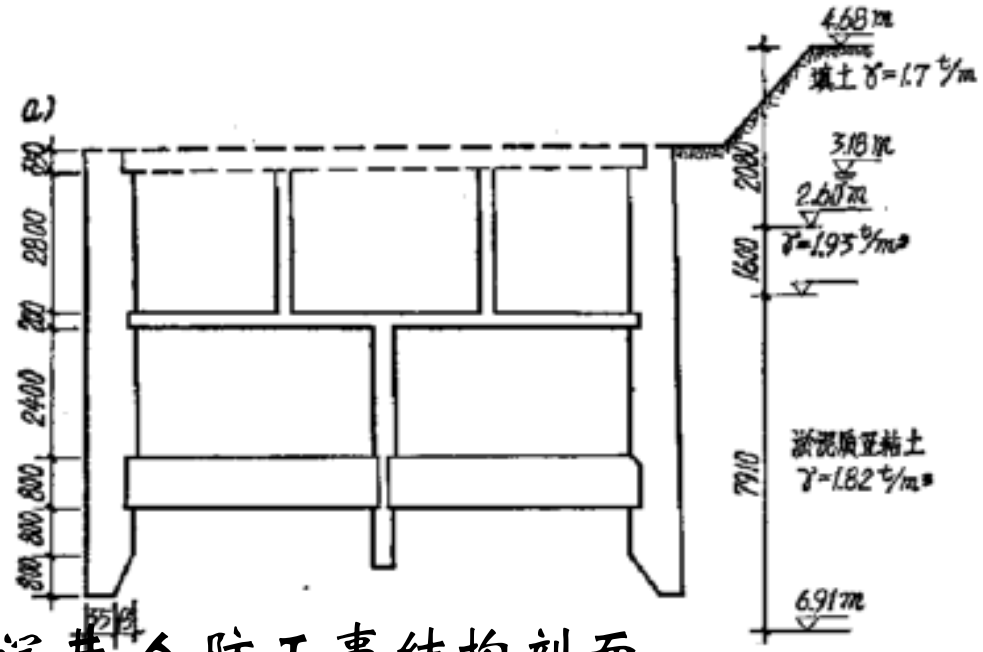


P170 图8-2

B 平战结合用的人防工事沉井

在城市内常需大量建造各种类型及各种等级的人防工事。

在埋深较大，不能采用大开挖施工时，可采用沉井施工。



P169-171

图8-3 矩形沉井人防工事结构剖面

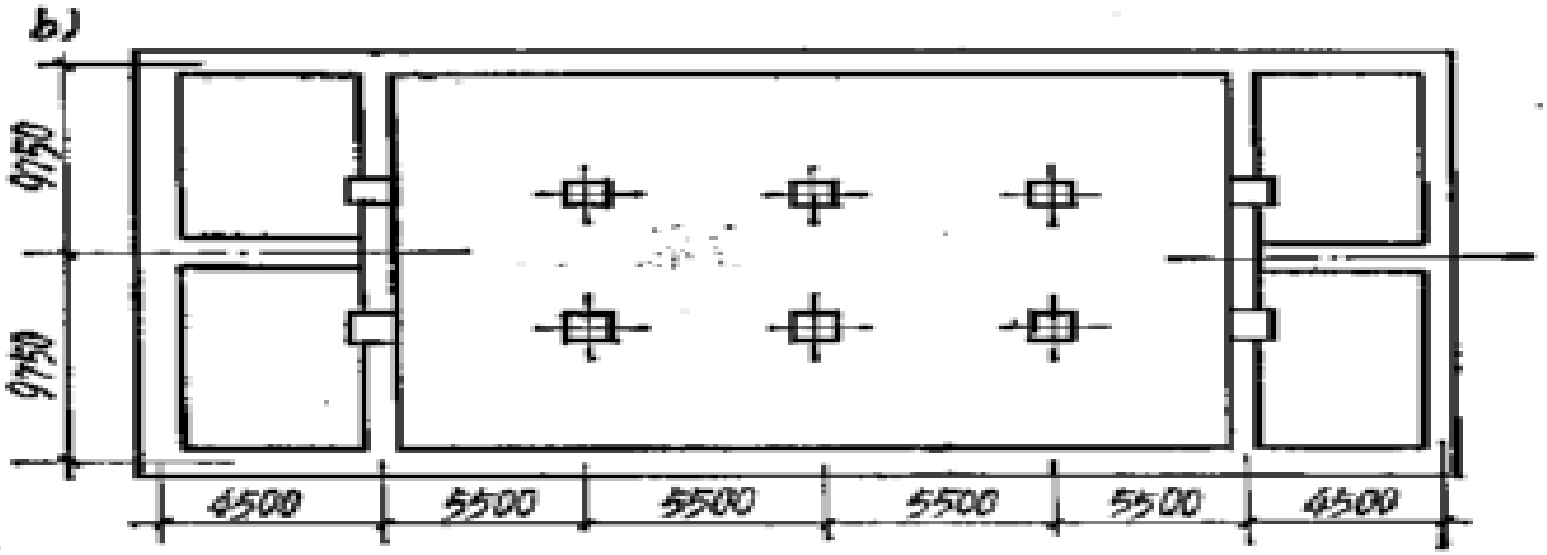


图8-3 矩形沉井 顶层结构平面图

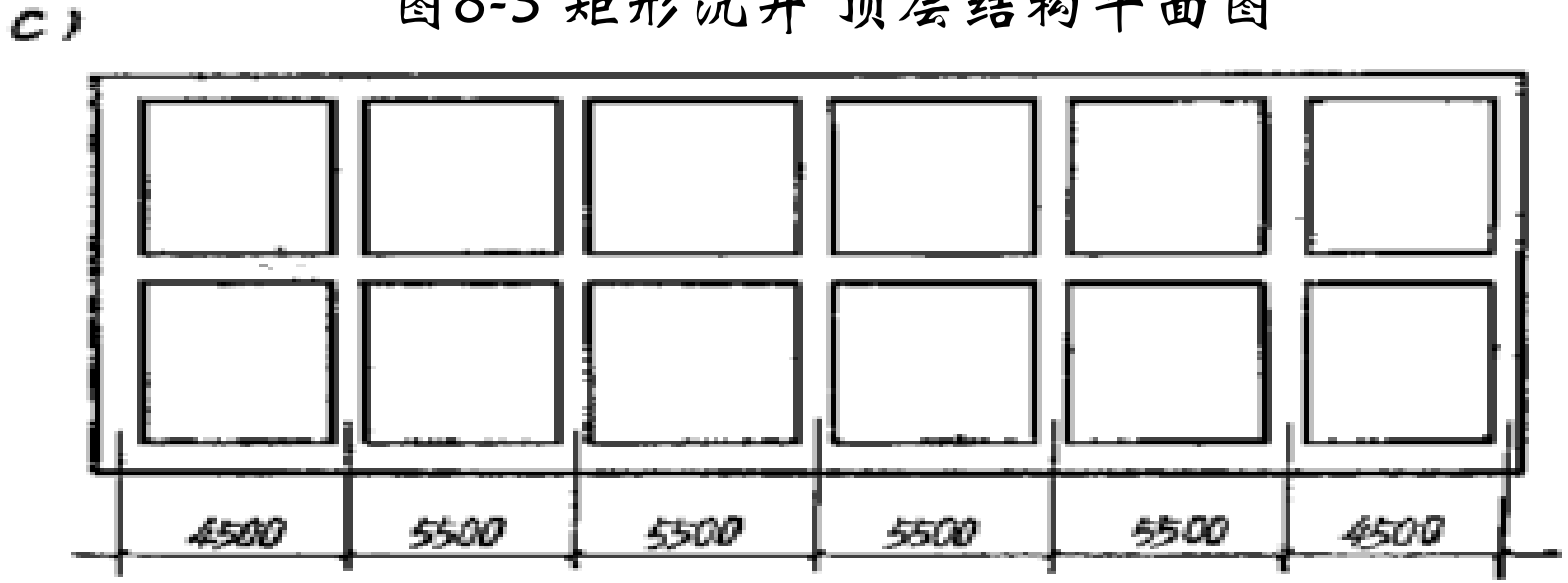


图 5—6

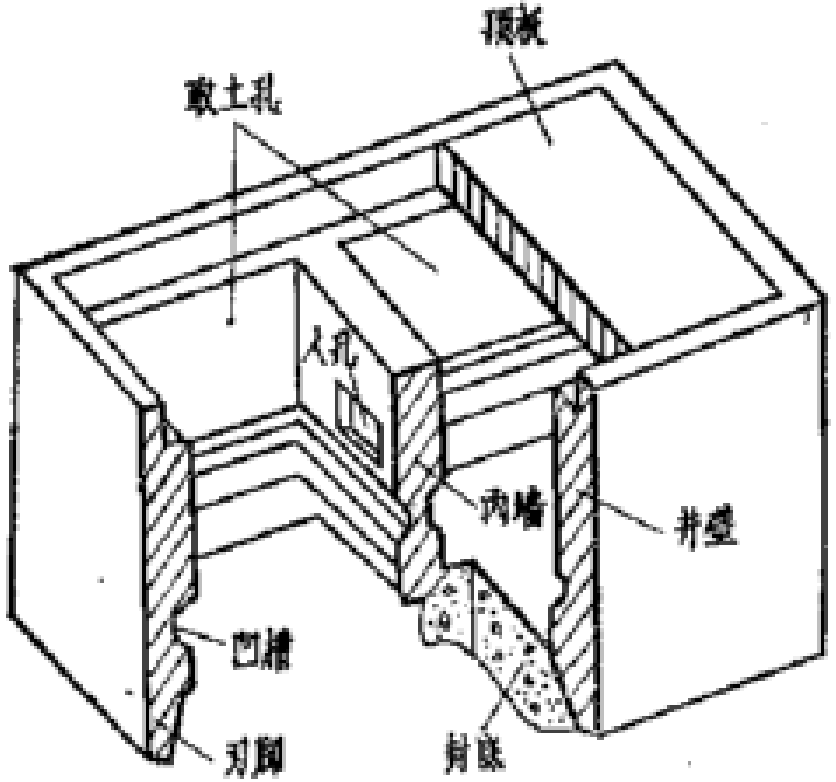
a）人防工事沉井结构剖面图；b）顶层结构剖面图；c）底层结构剖面图

P171

图8-3 矩形沉井 底层结构平面图

8.2.2 沉井的构造

沉井一般由下列各部分组成（图8－4）：井壁（侧壁）；刃脚；内隔墙，封底和顶盖板，底梁和框架。



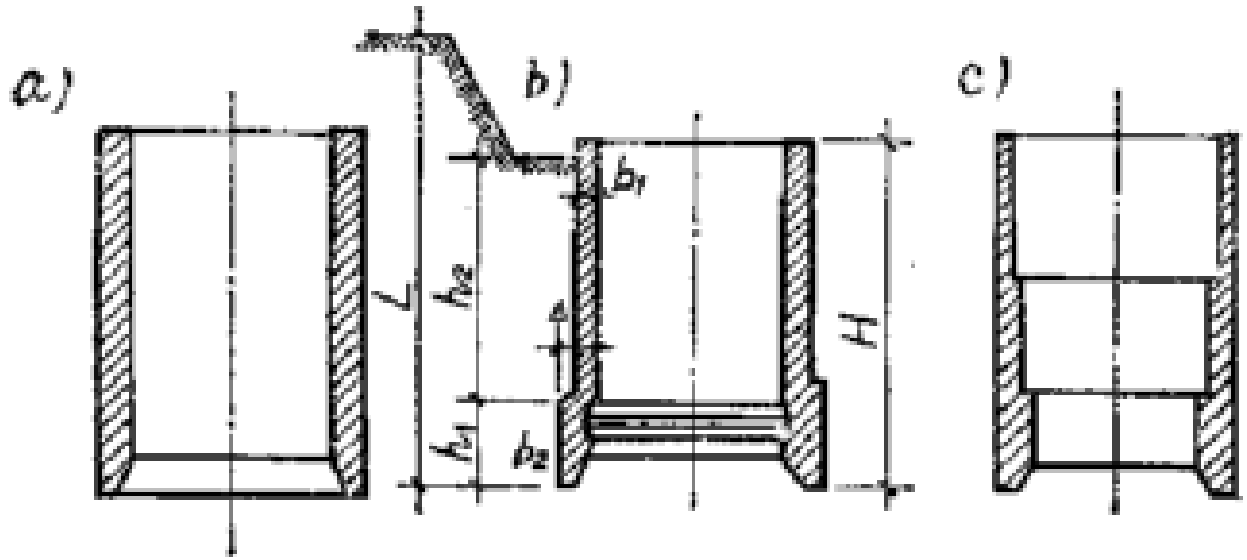
P170-172　沉井的构造

A 井壁

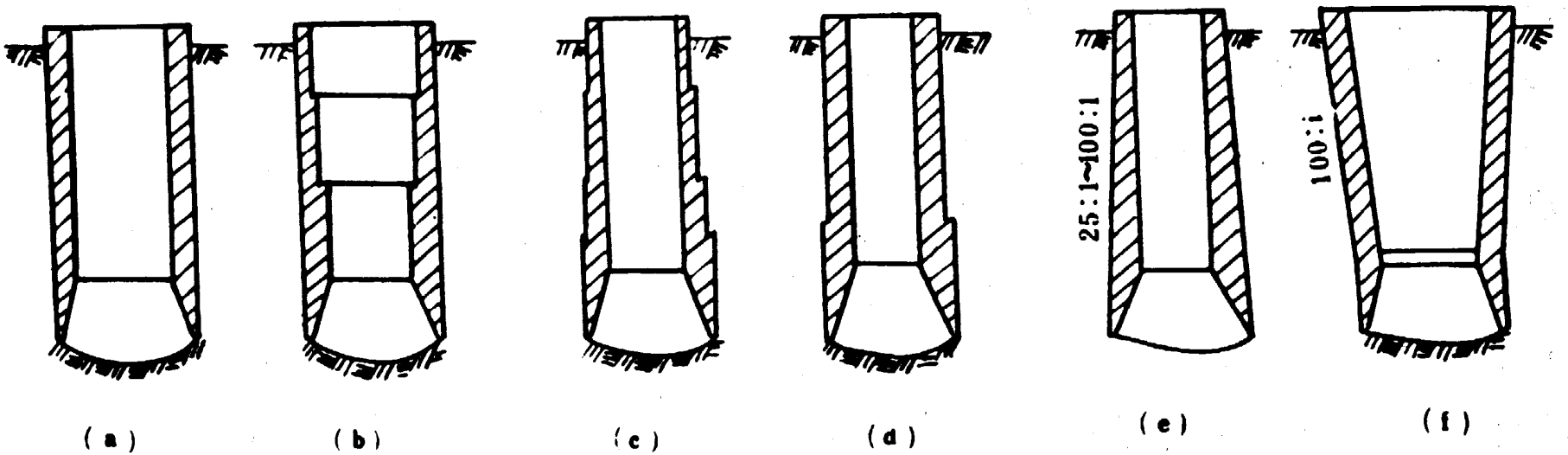
井壁是沉井的主要部分，应有足够的厚度与强度，为了承受在下沉过程中各种最不利荷载组合（水土压力）所产生的内力，在钢筋混凝土井壁中一般应配置两层竖向钢筋及水平钢筋，以承受弯曲应力。同时要有足够的重量，使沉井能在自重作用下顺利下沉到设计标高。因此，井壁厚度主要决定于沉井大小、下沉速度以及土壤的力学性质。

直墙形。其优点是周围土层能较好地约束井壁，易于控制垂直下沉。接长井壁亦简单，模板能多次使用。

阶梯型、内侧阶梯型。



沉井井壁形式



a）、（b）竖直的；（c）、（d）台阶形的；

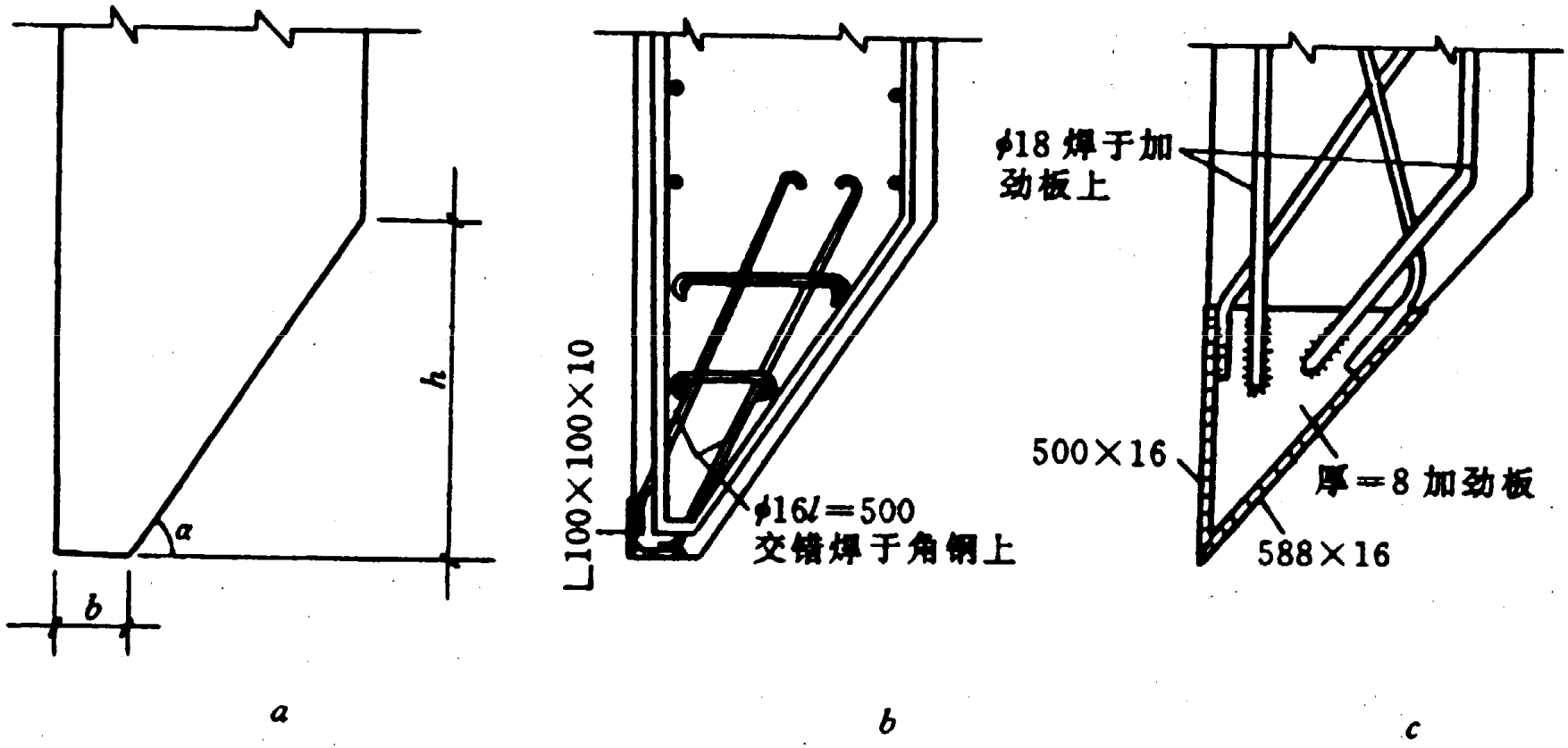
（e）锥形的；（f）倒锥形的

沉井外壁的形式

B 刃脚

井壁最下端一般都做成刀刃状的“刃脚”。刃脚的主要功用是减少下沉阻力。刃脚还应具有一定的强度，以免下沉过程中损坏。

刃脚底的水平面称为踏面（见图8-6）。踏面宽度一般为10～30cm，视所通过土质的软硬及井壁厚度而定。



a—混凝土刃脚；b—设角钢的刃脚；c—尖刃脚

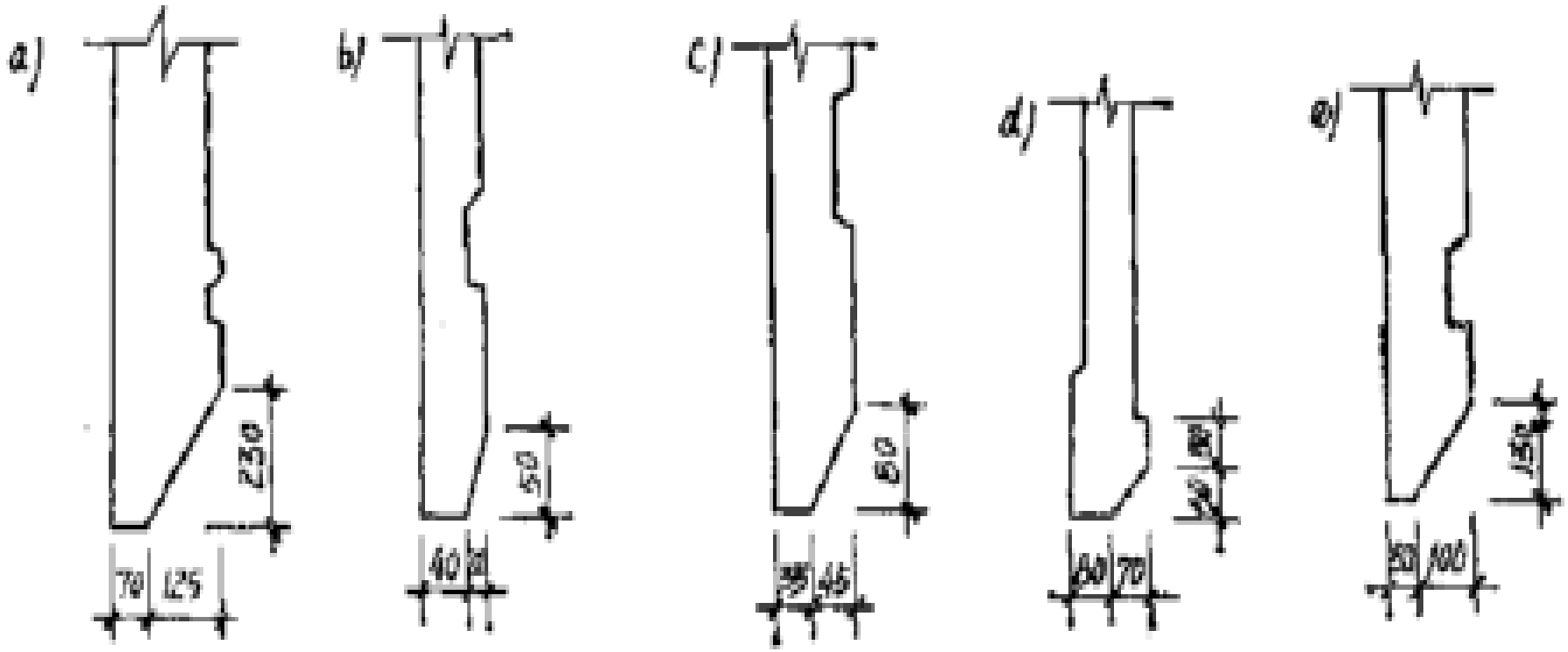


图 5-4 沉井刃脚形式

图8-6 沉井刃脚的踏面形式

P173

C 内隔墙

内隔墙的主要作用是增加沉井在下沉过程中的刚度并减小井壁跨径。同时又把整个沉井分隔成多个施工井孔（取土井），使挖土和下沉可以较均衡地进行，也便于沉井偏斜时的纠偏。

内隔墙的间距一般不大于5~6m，厚度一般为0.5~1.0m。

一般要求隔墙底高出刃脚底面0.5~1.0m。

P173

D 封底及顶盖

当沉井下沉到设计标高，经过技术检验并对坑底清理后，即可封底，以防止地下水渗入井内。封底可分湿封底（即水下浇筑混凝土）和干封底两种。

如在特殊情况下，预计有可能需改用气压沉箱时，亦可预设凹槽，以便必要时在该处浇筑钢筋混凝土盖板，此时将沉井改成了沉箱。

E 底梁和框架

在比较大型的沉井中，如由于使用要求，不能设置内隔墙，则可在沉井底部增设底梁，并构成框架以增加沉井在施工下沉阶段和使用阶段的整体刚度。

松软地层中下沉沉井，底梁的设置还可防止沉井“突沉”和“超沉”，便于纠偏和分格封底，以争取采用干封底。但纵横底梁不宜过多，以免增加结构造价，施工费时，甚至增大阻力，影响下沉。

8.2.3 沉井的结构计算

沉井结构在施工阶段必须具有足够的强度和刚度，以保证沉井能稳定、可靠地下沉到拟定的设计标高。待沉到设计标高，全部结构浇筑完毕并正式交付使用后，结构的传力体系、荷载和受力状态均与沉井在施工下沉阶段很不相同。因此，应保证沉井结构在这两阶段中均有足够的安全度。

P174

沉井结构设计的主要环节可大致归纳如下：

A 沉井建筑平面布置的确定；

B 沉井主要尺寸的确定和下沉系数的验算。

i) 参考已建类似的沉井结构，初定沉井的几个主要尺寸，如沉井平面尺寸、沉井高度、井孔尺寸及井壁厚度等，并估算下沉系数，以控制沉速；

ii) 估算沉井的抗浮系数，以控制底板的厚度等。

C 施工阶段强度计算

i) 井壁板的内力计算；

ii) 刃脚的挠曲计算；

iii) 底横梁、顶横梁的内力计算；

iv) 其它。

D 使用阶段的强度计算（包括承受动载）

i) 按封闭框架（水平方向的或垂直方向的）或圆池结构来计算井壁并配筋。

ii) 顶板及底板的内力计算及配筋。

A 沉井下沉系数的确定

确定沉井主体尺寸后，即可算出沉井自重，并验算沉井在施工中是否能在自重作用下，克服井壁四周土体摩擦力和刃脚下土的正面阻力顺利下沉。设计时可按“下沉系数”估算。

$$K_1 = \frac{G}{R_j + R_r} \geq 1.10 - - - 1.25$$

P175

$$R_f = f_0 \times F_0$$

$$f_0 = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \cdots + f_n h_n}{h_1 + h_2 + \cdots + h_n}$$

表8-1 井壁摩擦力及刃脚踏面阻力

土壤种类	土对井壁的单位面积摩擦力 f(t/m²)		刃脚下土壤单位面积阻力(t/m²)	
	土壤密度小，含水量多	土壤密度大，含水量少	土壤软弱，含水量多	土壤坚实，含水量少
砂性土	1.2	2.5		
粘性土	1.25~2.5	5.0	10~20	35~50
泥浆套	0.3~0.5			

注：泥浆套是一种能促使沉井下沉的材料，如触变泥浆。

实际上沉井的沉降系数 K_1 在整个下沉过程中，不会是常数，有时可能大于1.0，有时接近于1.0有时会等于1.0。如开始下沉时 K_1 必大于1.0，在沉到设计标高时 K_1 应近于1.0，一般保持在1.0--1.25左右。

$$R_j = f_0 U(h0-2.5)$$

P175底部为何-2.5？？

B 沉井抗浮稳定验算

沉井沉到设计标高后，即着手进行封底工作，铺设垫层并浇筑钢筋混凝土底板，由于内部结构和顶盖等还未施工，此时整个沉井向下荷载为最小。待到内部结构，设备安装及顶盖施工完毕，所需时间可能很长，而底板下的水压力能逐渐增长到静力水头，会对沉井发生最大的浮力作用。因此，验算沉井的抗浮稳定性，一般可用抗浮系数 K_2 表示：

$$K_2 = \frac{G + R_j}{Q} \geq 1.05 - -1.1$$

P178

抗浮系数 K_2 的大小可由底板的厚度来调整。所以一般不希望该值过大，以免造成浪费。

在江河之中或沿岸施工的沉井，或是埋置于渗透性很大的砂土内的沉井，其水浮力即等于静力水头。然而在粘性土中，其浮力究竟多大，尚缺乏较好的验证。同样关于井壁侧面摩擦力在抗浮时能否发挥作用，如何合理取值，各方面亦无统一的结论。有的认为抗浮计算时该摩擦力不能计入，只能作为附加的安全度来考虑。

已建的各种沉井一般都没有上浮现象。这说明：

①沉井上浮时土的极限摩擦力很大，而一般设计估用的数值往往偏小，因此在验算上浮稳定时以计入井壁摩擦力较为合理；

②在粘性土中，因它的渗透系数很小，地下水补给非常缓慢，沉井的浮升也必然极为缓慢，在发生明显浮升之前，内部结构、设备、顶盖等重量已经作用上去，故不再存在浮升问题。

C 刃脚计算

P179

井壁刃脚部分在下沉过程中经常切入土内，形成一悬臂作用，因此必须验算刃脚部分向外和向内挠曲的悬臂状态受力情况，并据此进行刃脚内侧和外侧竖向钢筋和水平钢筋的配筋计算。

第一种情况，刃脚向外挠曲的计算

用一次下沉的沉井，在刚开始下沉时，刃脚下土体的正面阻力和内侧土体沿着刃脚斜面作用的阻力有将刃脚向外推出的作用。这时沉入深度较浅，井壁侧面的土压力几乎还未发生。

P180

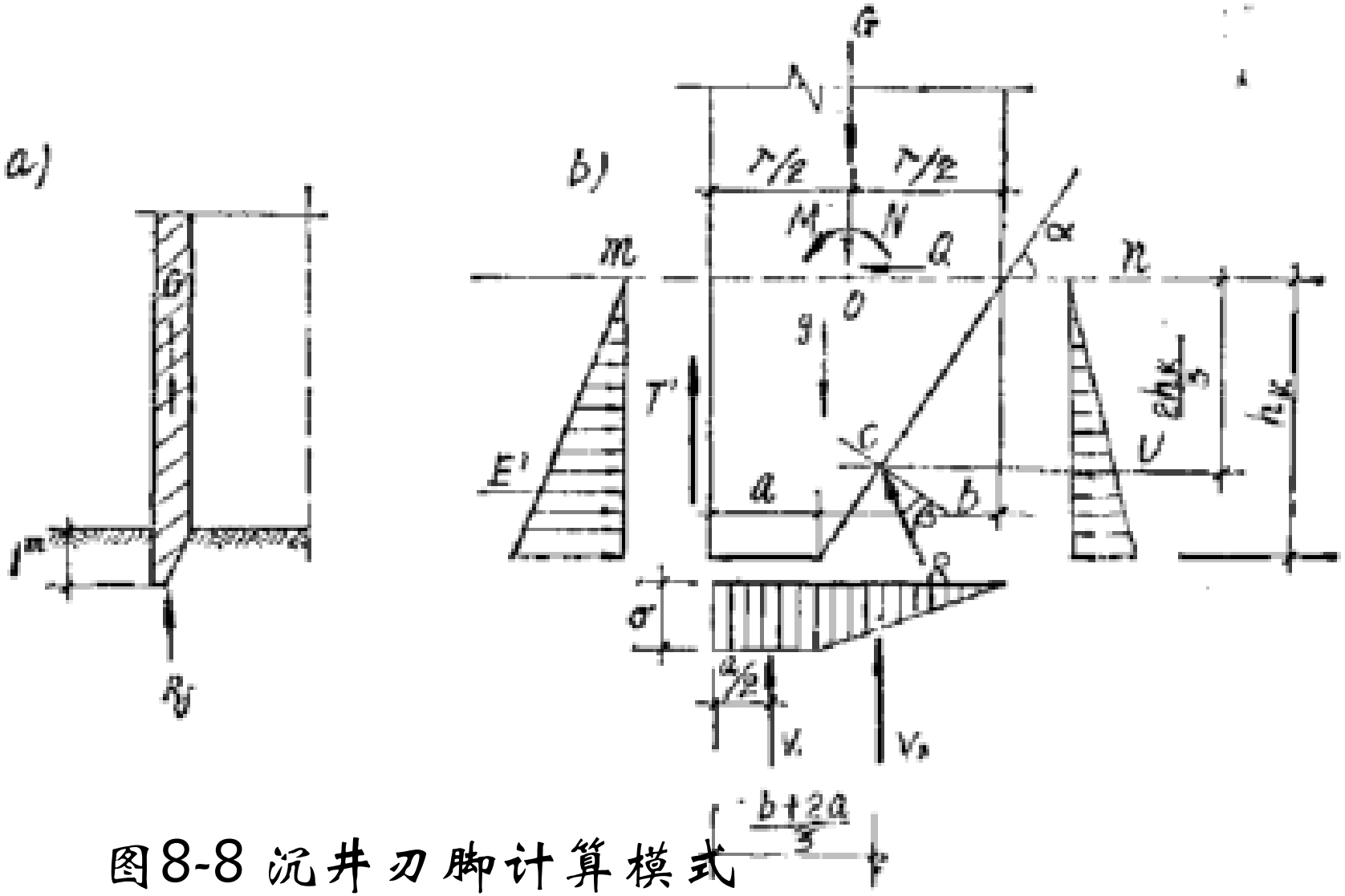


图8-8 沉井刃脚计算模式

计算步骤如下：

①计算井壁自重——沿井壁周长单位宽度上的沉井自重（按全井高度计算），不排水挖土时应扣除浸入水中部分的浮力；

②计算刃脚自重 g ——按下式计算：

$$g = \gamma_{混凝土} h_k \frac{\lambda + a}{2}$$

③计算刃脚上的水、土压力 E ——主动土压力可按朗肯理论计算：

$$E = \gamma_{土} h_k \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2})$$

简单看一下例题8-3

第二种情况，刃脚向内挠曲，配置外侧竖直钢筋。 P182

当沉井沉到设计标高，为利于下沉，刃脚下的土常被掏空或部分挖空，井壁传递的自重全部由壁外土体摩擦力承担，而此时井壁外侧作用最大的水、土压力，使刃脚产生最大的向内挠曲

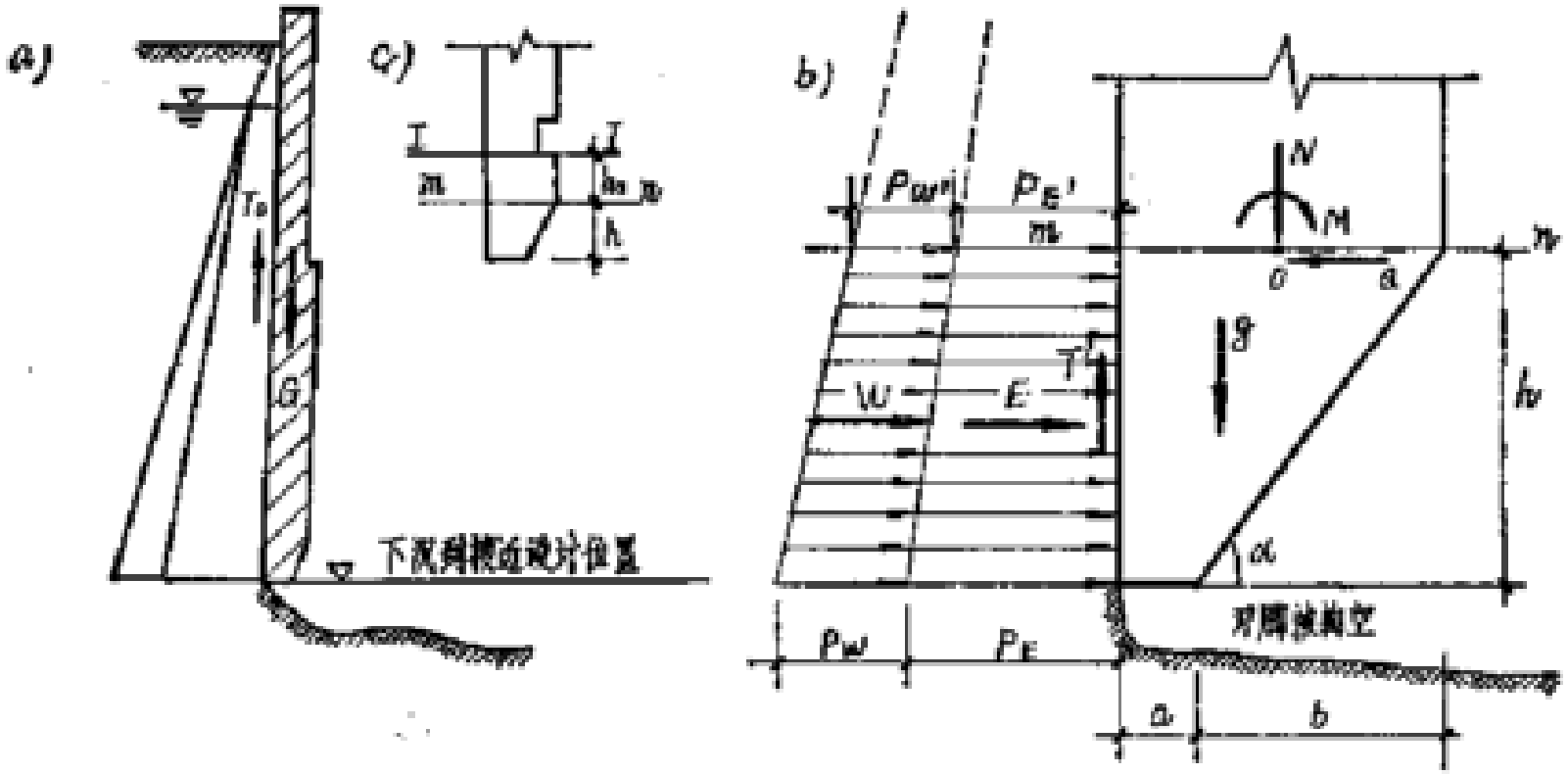


图8-10 刃脚外侧竖向钢筋的计算模式

D 施工阶段井壁计算

施工阶段井壁计算，须按沉井在施工过程中的传力体系合理确定其计算图式，随后配置水平和竖直方向的两种钢筋。由于沉井形状各异，施工的具体技术措施亦不尽相同，因此应按其具体情况作出分析与判断。

D.1 计算图式

i) 沉井支承在两点“定位垫木”上时

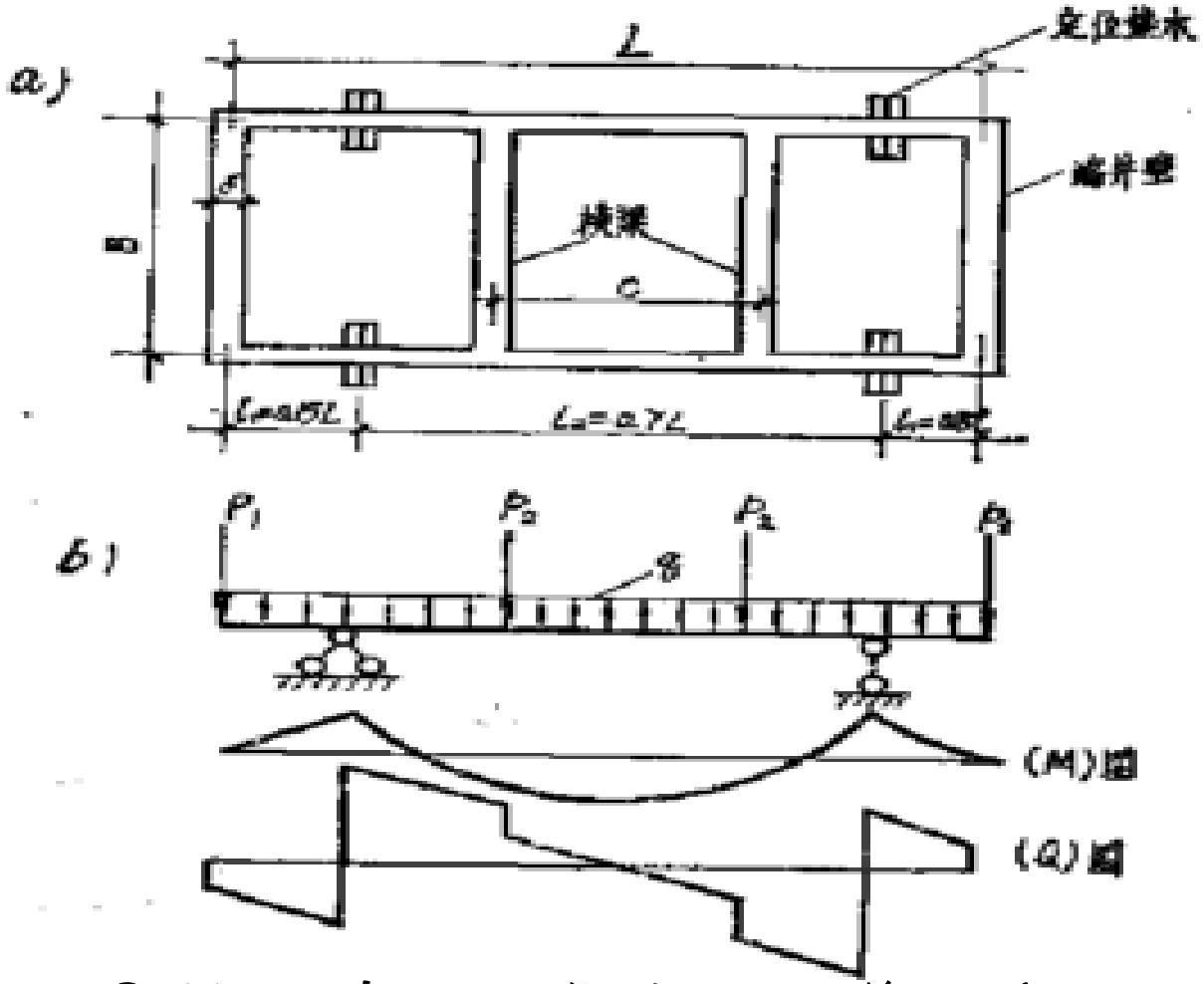


图8-11 沉井抽承垫木的计算模式

ii）沉井支承在三支点上时

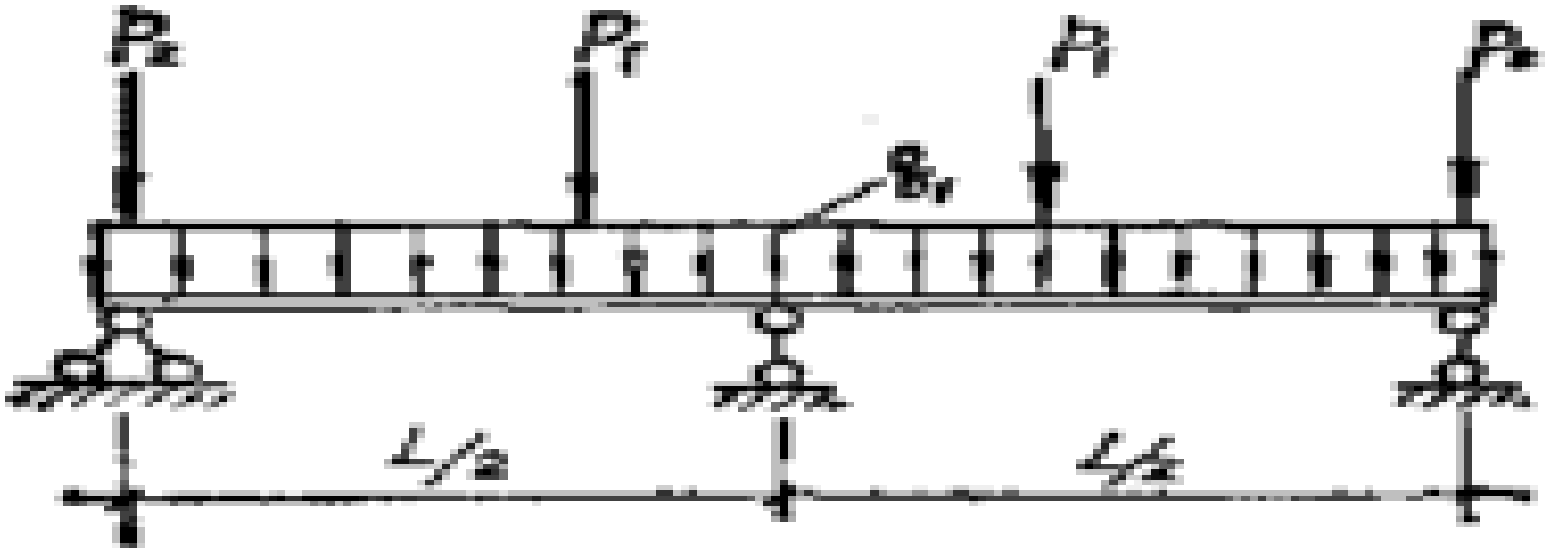


图8-12 三支点两跨连续梁

D.2 井壁垂直受拉计算——井壁竖直钢筋验算

沉井偏斜之后，必须及时纠偏，此时产生了纵向弯曲并使井壁受到垂直方向拉力。由于影响因素复杂，难以进行明确的分析与计算，因此在设计时一般假定沉井下沉将达设计标高时，上部井壁被土夹住，而刃脚下的土已全部掏空，形成“吊空”现象，并按此“吊空”现象来验算井壁的抗裂性或受拉强度。

D.3 在水土压力作用下的井壁计算——井壁水平钢筋计算

作用在井壁上的水土压力 $q = E + W$ ，沿沉井的深度是变化的，因此井壁计算也应沿井的高度方向分段计算。当沉井沉至设计标高，刃脚下的土已掏空，此时井壁承受最大的水土压力。水土压力的计算和上述计算刃脚时的相同，通常有水、土分算和水土合算两种。一般砂性土采用水、土分算，粘性土采用水土合算，并采用三角形直线分布。

E 沉井底横梁竖向挠曲计算

当沉井的平面尺寸较大时，常采用底横梁以减少底板的钢筋用量。此外在连续沉井中亦须用横梁来联系两侧井壁，增加沉井的整体刚度。

沉井开始下沉时，井重通过刃脚全部压在砂垫层上，如局部区段砂子回填不实，则会增大底横梁下的地基反力，使底横梁向上挠曲。

F 水下封底混凝土厚度计算

P192

应根据抗浮和强度两个条件确定。

8.3 沉箱结构

自己看书 P193

气压沉箱

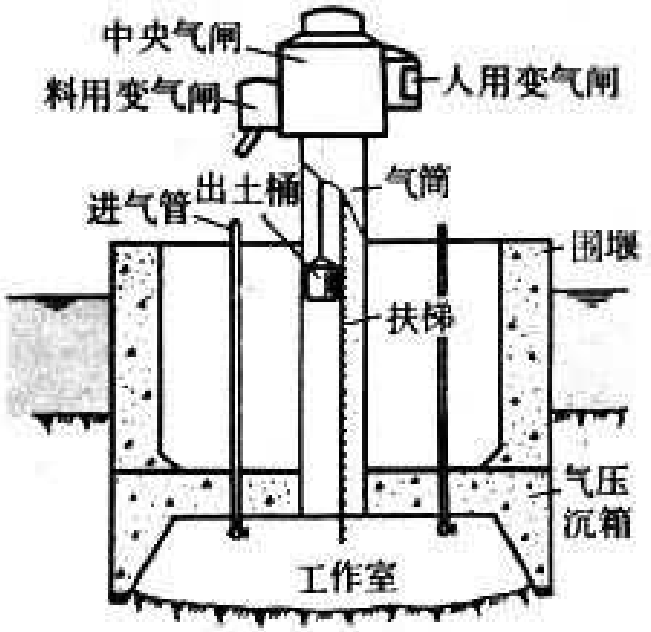


图 1 气压沉箱

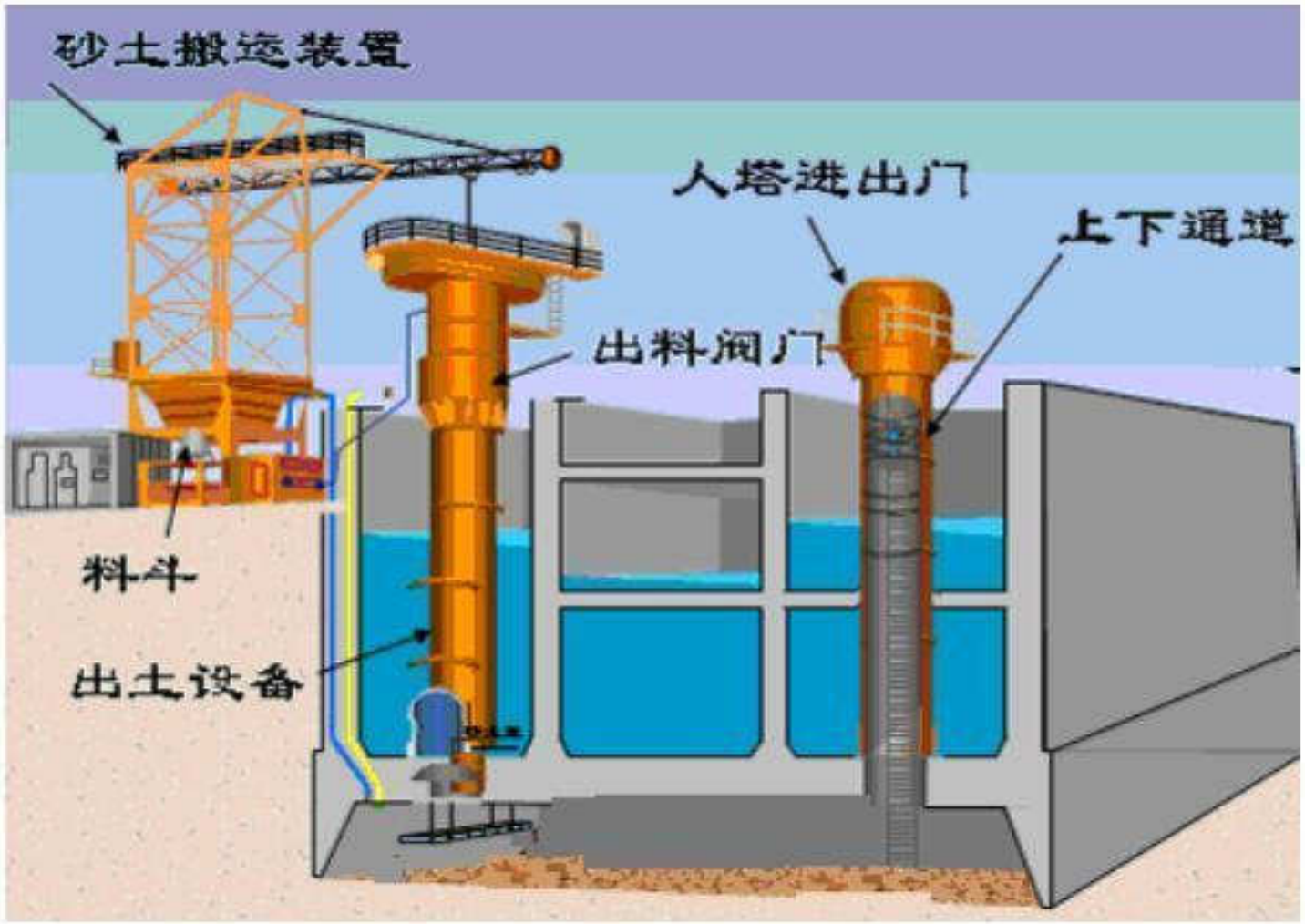


图 25-5 气压沉箱构造图

The end

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