

JIANZHU JIKENG WEIHU JIEGOU SHEJI YU SHIGONG

建筑基坑围护结构设计 与施工

金 鸣 马秀君 桂劲松 编著

中国建筑工业出版社

建筑基坑围护结构设计与施工

金 鸣 马秀君 桂劲松 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑基坑围护结构设计与施工/金鸣, 马秀君, 桂劲松编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 2
ISBN 978-7-112-20206-5

I. ①建… II. ①金…②马…③桂… III. ①基坑-围护结构-结构设计②基坑-围护结构-工程施工 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 001409 号

本书主要讲述了建筑基坑围护结构设计与施工的各项内容。主要包括: 建筑基坑围护结构理论; 建筑基坑围护结构设计; 建筑基坑围护结构施工与验收; 建筑基坑监测方法的基础知识; 建筑基坑监测; 建筑基坑安全评估; 基坑工程监测实例与模型试验。

本书内容详略得当, 专业性、技术性、可读性强, 适合广大从事建筑基坑工作的施工人员、研究人员、工程技术人员以及相关师生阅读使用。

责任编辑: 张伯熙

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 李美娜

建筑基坑围护结构设计与施工

金 鸣 马秀君 桂劲松 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 4% 字数: 110 千字

2017 年 2 月第一版 2017 年 2 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-20206-5

(29637)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

城镇建设化不断地发展，建筑物所占地域不断扩大，建筑密度急剧增加。为了避免占用大量的土地资源，建筑物不断朝着空中和地下发展。因而，出现了高层、超高层和多层地下室的建筑物。由于地质条件和拟建建筑物所处场地环境条件影响，在多层建筑结构建设时，会出现大量深度较大的深基坑。基坑围护结构的设计与施工就成为建筑物建设时的主要内容。为了使建筑工程技术人员在基坑围护结构设计与施工活动中得到更多的便利，本书作者通过多年相关工作经验，编写了此书，供相关建筑工程技术人员参考。

本书介绍了从挡土墙的侧向土压力理论——建筑基坑围护的理论起源，到现代建筑基坑围护结构形式而产生的现代基坑围护理论。由建筑基坑围护结构所受侧向土压力分布形式，到建筑基坑围护结构设计、施工、质量检测、基坑监测和基坑安全评估等内容。全书结合我国现行的规范编写，比较全面地介绍了有关建筑基坑围护的设计方法和规定。在本书中还介绍了作者在 20 世纪 80、90 年代所完成的基坑围护监测实例与科研成果，以供有关人员参考。

由于编写时间仓促和作者水平所限，书中如有错误或不当之处恳请读者批评指正。

目 录

第一章 建筑基坑围护结构理论	1
第一节 土的性质	1
第二节 侧向土压力	3
第三节 挡土墙理论	7
第四节 建筑基坑围护结构理论	15
第二章 建筑基坑围护结构设计	20
第一节 基本规定	20
第二节 建筑基坑围护结构设计内容	20
第三节 基坑围护结构设计规定	21
第四节 基坑工程勘察与环境调查	23
第五节 土压力与水压力	24
第六节 设计计算	25
第七节 围护结构内支撑	27
第八节 土层锚杆	27
第九节 基坑工程逆作法	29
第十节 岩体基坑工程	32
第十一节 地下水控制	32
第三章 建筑基坑围护结构施工与验收	35
第一节 建筑基坑围护结构施工	35
第二节 建筑基坑围护结构施工质量验收	57
第四章 建筑基坑监测方法的基础知识	69
第一节 基本规定	69

第二节	测量基准	69
第三节	监测方法	71
第四节	沉降变形监测	72
第五节	水平变形监测	73
第六节	压力监测	75
第七节	地下水位监测	77
第八节	内力监测	77
第九节	倾斜监测	78
第十节	裂缝监测	78
第五章	建筑基坑监测	80
第一节	基本规定	80
第二节	监测方案	81
第三节	监测项目内容	82
第四节	监测点布置	85
第五节	监测频率	89
第六节	监测报警	91
第七节	数据处理与信息反馈	94
第八节	监测报告	96
第六章	建筑基坑安全评估	98
第一节	基本规定	98
第二节	施工安全专项方案	101
第三节	检查与监测	107
第四节	基坑安全使用与维护	113
第七章	基坑工程监测实例与模型试验	117
第一节	基坑工程监测实例	117
第二节	模型试验	133

第一章 建筑基坑围护结构理论

建筑基坑围护结构理论最早起源于库伦—郎肯的挡土墙理论。为了更好地了解基坑围护结构理论基础，在本章中首先介绍土的性质，进而描述挡土墙理论基础。只有了解挡土墙理论之后，再结合现代建筑基坑围护结构形式和特点，才能找出现代建筑基坑围护结构与古典挡土墙理论的差别。最后得到与现代建筑基坑围护结构相适应的建筑基坑围护结构理论。

第一节 土的性质

1. 土的分类

由于土体的颗粒大小不同、种类不同、级配不同、间隙大小不同、含水量不同、密实度不同等因素，决定了该土体的物理力学特性指标。一般土的分类划分：

(1) A类：无黏性含有少量细颗粒土或含细颗粒沙土和砾石的土。这类土的重要特征是渗透性大，如保证充分排水，土中不会存在孔隙水压力。

(2) B类：无黏性含有一些粉土和砾石的土。这类土渗透性变化很大，因而不能假定土中的孔隙水压力总保持为零。

(3) C类：含有相当数量粉土和粉质黏土与砾石的土。这

类土的渗透性小，不能很快排水。故遇到降雨时，其含水量会大大增高。

(4) D类：以粉土和黏土为主的土。这类土的渗透性很小，在土体变干或变湿时，体积变化较大。当土体低于最佳含水量且密实时，存在膨胀压力。

2. 土的抗剪强度

土压力计算和土稳定性计算中最重要的土的性质是抗剪强度。抗剪强度 τ 可表示为：

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1-1)$$

式中： τ ——抗剪强度；

c ——黏聚力；

σ ——总应力；

ϕ ——内摩擦角。

对于低渗透性的黏土，不排水抗剪强度 τ_u 为：

$$\tau_u = c_u + \sigma \tan \phi_u \quad (1-2)$$

式中： τ_u ——不排水抗剪强度；

c_u ——不排水黏聚力；

σ ——总应力；

ϕ_u ——不排水内摩擦角。

用有效应力参数表示的抗剪强度 τ ：

$$\tau = c_0 + \sigma_0 \tan \phi_0 = c_0 (\sigma - u) \tan \phi_0 \quad (1-3)$$

式中： τ ——抗剪强度；

c_0 ——有效黏聚力；

σ_0 ——有效总应力；

ϕ_0 ——有效内摩擦角；

σ ——总应力；

u ——孔隙水压力。

第二节 侧向土压力

1. 土压力概念

土压力是土体作用于结构物表面上的总应力。其包括：土的自重、土体承受的恒荷载和活荷载。土压力的大小由土的物理力学性能指标、土与结构物之间的物理作用、土与结构物之间绝对或相对位移的变形值所决定。

从宏观上看，可将土体视为半无限空间体。土体的土压力可分为三种类型：

(1) 在土体本身严格满足不发生位移变形时，土体存在静止压力。这种压力在某些实际问题中仍然被采用。

(2) 沿垂直方向的土体平面土压力。这种压力可能在作用力的影响下发生压缩变形，但在外部作用较长期不发生改变时，可达到一定的相对稳定值。如：基础下地基土内的应力、应变。

(3) 土体沿四面周围的水平压力，又称为土体的侧向土压力。这种压力在外力作用发生改变时，可使土体产生伸胀和压缩，一般称为主动土压力、被动土压力。如：挡土结构物与土体之间的压力。

解决土压力问题的方法有以下几种：

1) 以线性弹性理论为假设理论，计算土体内各点的应力和应变关系，它仅仅对土的性状给予粗略的描述。

2) 在整个土体内或沿着某一特定的曲面塑性破坏为假定条件，从而采用塑性理论求解土体内的应力。

3) 以土体的平衡条件和边界条件来验算与研究。

4) 采用极值法，求出土体任意破坏面的力，获得土压力

极值的破坏面。

2. 侧向土压力

(1) 静止状态

所谓静止状态是指土体本身不受其他外力作用，土体本身未发生破坏变形时的状态。在这种状态的半无限空间土体，由于土体自身的自重，沿着深度方向（ z 方向）存在垂直方向应力（ σ_z ），应力的的大小随深度增加而增大。并且在某个深度位置不仅存在垂直应力（ σ_z ），还存在水平方向（ x 方向）的应力（ σ_x ）。若该土体未发生位移变形时，称之为静止土压力（见图 1-1）。

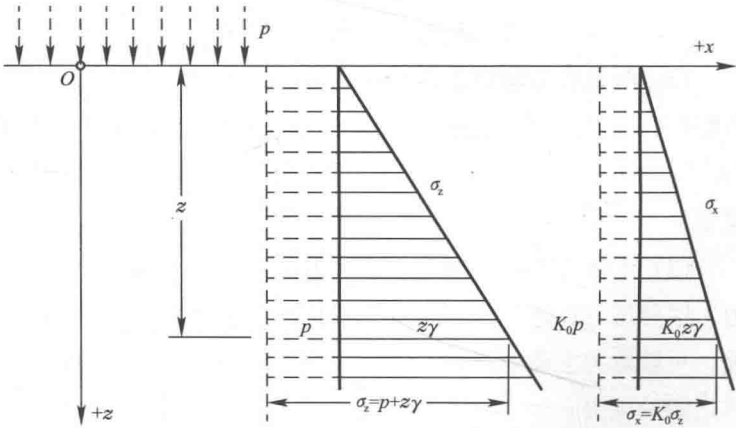


图 1-1 静止状态的垂直应力和水平应力

应力公式：

$$\sigma_z = p + z\gamma \tag{1-4}$$

$$\sigma_x = K_0\sigma_z = K_0p + K_0z\gamma \tag{1-5}$$

$$K_0 = \sigma_x/\sigma_z = 1 - \sin\phi \tag{1-6}$$

式中： p ——地表的均布荷载；

z ——土体沿着垂直方向；

σ_z ——垂直方向应力；

σ_x ——水平方向应力；

γ ——土体容重；

K_0 ——静止土压力系数；

ϕ ——内摩擦角（以有效应力表示）。

如果存在静止的地下水时，应考虑地下水的作用，则：

$$\sigma_{zd} = \sigma_z + u \quad (1-7)$$

$$\sigma_x = K_0 \sigma_{zd} = K_0 \sigma_z + (1 - K_0) u \quad (1-8)$$

式中： σ_{zd} ——垂直方向有效应力；

K_0 ——静止土压力系数，见表 1-1；

σ_z ——垂直方向应力；

u ——地下水应力。

静止土压力系数 K_0

表 1-1

土的类型	ω_l	I_p	K_0
饱和的松砂	—	—	0.46
饱和的密砂	—	—	0.36
松散的干砂 ($e=0.8$)	—	—	0.64
密实的干砂 ($e=0.6$)	—	—	0.49
松散的残积黏土	—	31	0.66
压密的残积黏土	—	9	0.42
原状的淤泥质黏土	74	45	0.57
原状的高岭土	61	23	0.64~0.70
原状的海相黏土	37	16	0.48
灵敏黏土	34	10	0.52

注： ω_l ——液限；

I_p ——液性指数。

(2) 塑性平衡状态

当土体沿水平方向发生变形位移而出现伸胀, 垂直压力保持不变。由于土体内的剪切阻力逐渐增大, 水平应力则减小, 这种减少的持续发展达到破坏状态, 已达到塑性平衡状态, 这时土体水平应力被称为主动土压力 σ_a , 此时 $\sigma_x \leq \sigma_z$ 的数值。

应力公式:

$$\sigma_a = k_a \sigma_z = k_a z \gamma - 2c(k_a)^{1/2} \quad (1-9)$$

$$k_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) = (1 - \sin\phi)/(1 + \sin\phi) \quad (1-10)$$

当 $c = 0$ (黏聚力系数) 时:

$$\sigma_a = k_a \sigma_z = k_a z \gamma \quad (1-11)$$

式中: σ_a ——主动土压力;

z ——土体沿着垂直方向;

c ——黏聚力系数;

γ ——土体容重;

k_a ——主动土压力系数;

ϕ ——内摩擦角 (以有效应力表示)。

当土体沿水平方向发生变形, 位移出现压缩时, 垂直压力保持不变。由于土体内的剪切阻力逐渐增大, 水平应力则增大, 已达到塑性平衡状态, 这时土体水平应力被称为被动土压力 σ_p , 此时 $\sigma_x > \sigma_z$ 的数值。

应力公式:

$$\sigma_p = k_p \sigma_z = k_p z \gamma + 2c(k_p)^{1/2} \quad (1-12)$$

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2) = (1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi) \quad (1-13)$$

式中: σ_p ——被动土压力;

z ——土体沿着垂直方向;

γ ——土体容重;

c ——黏聚力系数;

k_p ——被动土压力系数；

ϕ ——内摩擦角（以有效应力表示）。

第三节 挡土墙理论

1. 挡土墙

在山区或丘陵地区，为了创造一定区域面积的平面建设用地，或者保持山体边坡的稳定，人工修建用于阻挡土体和维持地面高差的墙，而这段墙体称为挡土墙（简称挡墙）。挡土墙还在公路建设、桥墩支撑开挖、较深的独立基础围护中经常采用。挡土墙的结构形式繁多，常用的有：重力式挡土墙、扶壁式挡土墙、悬臂式挡土墙等（见图 1-2）。

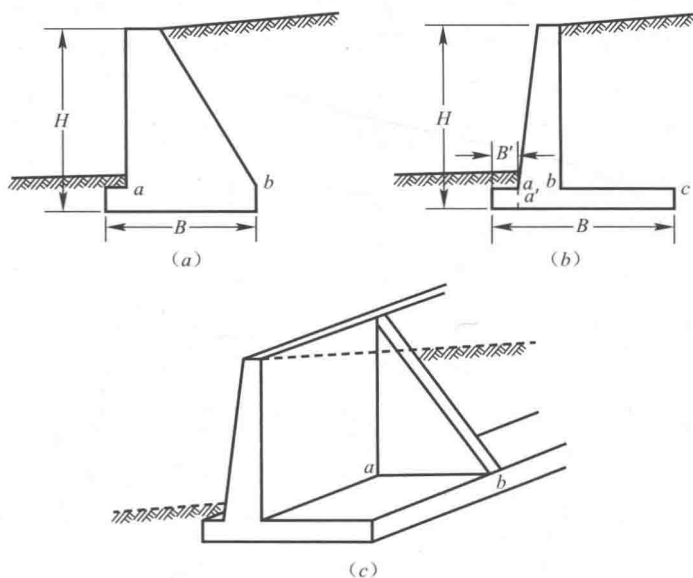


图 1-2 挡土墙

(a) 重力式挡土墙；(b) 悬臂式挡土墙；(c) 扶壁式挡土墙

为了保证挡土效果,需对挡土墙的刚度和稳定性进行设计计算,因而产生了挡土墙理论。挡土墙理论主要研究挡土墙所受侧向土体和其他荷载,以及在侧向荷载作用下挡土墙的变形。墙体所受的荷载包括:墙体后土体的自重造成的对墙体侧向压力荷载、墙体后土体稳定性原因造成的土体滑坡对墙体侧向压力荷载、自然原因(如:降雨降雪、地震、土体其他施工等)造成作用于墙体的侧向压力发生变化的荷载。除了外部荷载变化以外,由于挡土墙在荷载作用下自身墙体变形也能造成荷载发生变化。

2. 挡土墙的侧向压力与变形

(1) 挡土墙上的侧向荷载

1) 重力式挡土墙

重力式挡土墙一般采用素混凝土或钢筋混凝土建造。墙体尺寸通常设计成: $B:H=1:2\sim 2:3$,要求挡土墙内无拉应力。墙后的总土压力按库伦理论计算,三角形分布。作用于挡土墙的侧向土压力作用点于 $2/3$ 墙高处。以墙体自重作用力矩应大于与墙后土压力作用产生的力矩,使其达到挡土作用。

2) 扶壁式挡土墙

扶壁式挡土墙一般采用钢筋混凝土建造。墙体尺寸通常设计成: $B:H=1:2\sim 2:3$ 。墙后的总土压力按郎肯理论计算,三角形分布。作用于挡土墙的侧向土压力作用点于 $2/3$ 墙高处。以墙体自重和墙趾以上的土体重量所产生的力矩,应大于与墙后土压力作用产生的力矩,使其达到挡土作用。

3) 悬臂式挡土墙

悬臂式挡土墙一般采用钢筋混凝土建造。墙体尺寸通常设计成: $B:H=1:2\sim 2:3$ 。墙身内存在拉应力,墙身可能发生以墙底脚为中心的旋转变形。墙后的总土压力按郎肯理论计

算，三角形分布。作用于挡墙的侧向土压力作用点于 $2/3$ 墙高处。以墙体自重和墙趾以上的土体重量所产生的力矩，应大于与墙后土压力作用产生的力矩，使其达到挡土作用。

(2) 作用在非变形挡墙上的土压力

挡土墙不发生变形时，土压力等于静止土压力，土的抗剪强度不发挥。公式：

$$\sigma_x = k_0 p + k_0 z \gamma \quad (1-14)$$

$$k_0 = 1 - \sin \phi \quad (1-15)$$

式中： σ_x ——水平方向应力；

p ——地表的均布荷载；

z ——土体沿着垂直方向；

γ ——土体容重；

k_0 ——静止土压力系数，见表 1-2；

ϕ ——内摩擦角（以有效应力表示）。

静止土压力系数

表 1-2

土类	k_0
所有的正常固结土	$1 - \sin \phi$
人工夯实回填黏土	1.0~2.0
机械夯实回填黏土	2.0~6.0
超固结黏土	1.0~4.0
松散的砂土	0.5
压实的砂土	1.0~1.5

(3) 挡土墙变形

由于挡土墙自身结构刚度的原因，重力式挡土墙和扶壁式挡土墙在侧向土压力作用下，仅产生水平方向位移变形。而悬臂式挡土墙则产生以墙脚为中心的旋转变形。

挡土墙发生变形，可使墙后土体作用于墙体上的侧向土压

力大小发生改变。当变形达到一定数值时，原来的静止土压力可转变成主动土压力或被动土压力。在极端情况下，变形大小可使墙后土体达到极限平衡状态。这时墙后土压力可按塑性理论进行计算。

(4) 达到主动和被动土压力的变形量

如果挡土墙的位移达到使填土内产生极限平衡时，可采用主动土压力和被动土压力理论进行计算。所达到变形值如表 1-3 所示：

产生主动和被动土压力的变形量 表 1-3

土类	应力状态	位移类型	位移变形量
砂土	主动	水平位移	0.001H
	主动	绕基底转动	0.001H
	被动	水平位移	0.05H
	被动	绕基底转动	>0.1H
黏土	主动	水平位移	0.004H
	主动	绕基底转动	0.004H
	被动		

注：1. H—挡土墙高；
2. 对于黏性填土要达到被动土压力所需的位移变形非常大，在实际情况下，不可能实现这么大的位移。故表 1-3 中未列数值。

1) 郎肯理论

郎肯理论：考虑强背面垂直光滑情况，假定作用在墙体的土压力与作用于墙板无限土体内的土压力相同。土压力沿着深度方向成线性增加，呈三角形分布（见图 1-3）。土压力方向与填土表面平行。这种情况下砂性土的主动和被动土压力为：

$$\sigma_a = \gamma z \cos\beta \frac{[\cos\beta - (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{1/2}]}{[\cos\beta + (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{1/2}]} \tag{1-16}$$

$$\sigma_p = \gamma z \cos\beta \frac{[\cos\beta + (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{1/2}]}{[\cos\beta - (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{1/2}]} \tag{1-17}$$

式中： σ_a ——主动土压力；

- σ_p ——被动土压力；
 z ——土体沿着垂直方向；
 γ ——土体容重；
 β ——墙后土体与水平夹角；
 ϕ ——内摩擦角（以有效应力表示）。

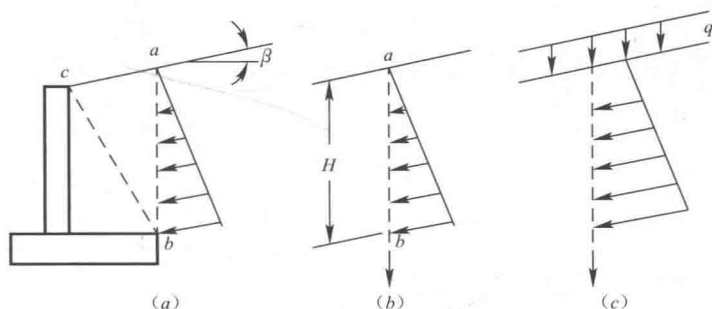


图 1-3 郎肯土压力理论

黏性土情况下的主动和被动土压力为：

$$\sigma_a = \gamma z \tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2 \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (1-18)$$

$$\sigma_p = \gamma z \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2 \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (1-19)$$

式中： σ_a ——主动土压力；

σ_p ——被动土压力；

z ——土体沿着垂直方向；

γ ——土体容重；

ϕ ——内摩擦角（以有效应力表示）。

2) 库伦理论

库伦理论：考虑挡土墙背面粗糙，假定在挡土墙发生变形时，墙后土体出现一个变形破坏面。土体与墙面之间的摩擦角为 δ ，由土体与墙之间的相对位移决定 δ 的方向。如果墙身向外倾斜，则破坏面以上的土体相对墙面移动， δ 为正值，产生