

建筑技术讲座

北京秋光技术开发有限公司

岩土技术开发部

深基坑工程技术讲座(12)

沈保汉

(北京市建筑工程研究院)

第十二讲 挡土支护结构侧压力(下)

12.1 多支点柔性挡土支护结构的土压力

对于多支点(锚杆或支撑)挡土支护结构,因为产生土压力的方式不同,采用的设计土压力则不相同。对于此类结构,在锚杆或支撑设置以前,挡土结构已经产生了位移,而要用锚杆或支撑把已变形的墙体顶回去,则需要很大的锚固力或支撑力,这样将引起挡土结构上土压力的增加。因此,土压力的大小应由设计采用的每道锚杆的锚固力或每道支撑力以及挡土结构实际变形决定。由此可见,多支点挡土支护结构的土压力的计算是十分复杂和困难的,目前均采用经验方法。

12.1.1 太沙基(Terzaghi)和皮克(Peck)土压力图式

Terzaghi 和 Peck 在柏林地铁工程明挖实测结果如图 12.1 所示。该基坑深 11.5m,坑壁为细砂土, $\gamma = 18\text{kN/m}^3$, $\phi = 37^\circ$, $c = 0$, 超载 $q = 11\text{kN/m}^2$, 四道支撑。图 12.1a 为基坑实测土压力包络图,图 12.1b 为设计时,假定土压力分布为梯形。

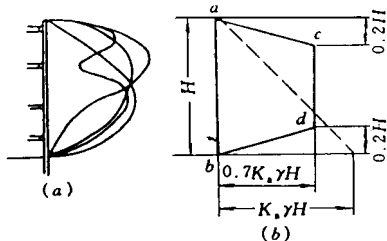


图 12.1 柏林地铁开挖实测及设计土压力图形

美国西雅图的哥伦比亚大厦深基坑工程,基坑深 37m;其上半部为裂隙硬粘土,下半部为砂砾石、冰碛粘土及粉土与粘土互层;挡土桩为 21360H 型钢桩,间距 4m,桩间用钢筋混凝土挡板;支护结构为 20~30 层锚杆,锚杆直径 310mm,锚固段长度 6~9m。该工程 E-10 号挡土桩土压力实测值如图 12.2 所示。

Terzaghi 和 Peck(1967)建议的土压力分布图式如图 12.3 所示。该计算方法系以下列条件为依据:

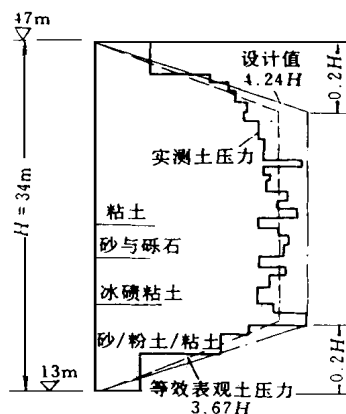


图 12.2 哥伦比亚大厦 E-10 号挡土桩土压力实测值

- (1) 适用于开挖深度 6m 的基坑;
- (2) 采用一种称为“表观”压力的人为荷载分布图来确定支撑荷载;
- (3) 水位在基坑底面以下,粘土取不排水抗剪强度,不考虑孔隙水压力;
- (4) 建立了一个表示在粘土中开挖竣工时的稳定性表达式,即:

$$K_N = \frac{H}{C} \quad (12-1)$$

当 K_N 大于 3~4 时,坑顶位移将很明显,当 $K_N \geq 6$ 时,基底可能发生破坏。

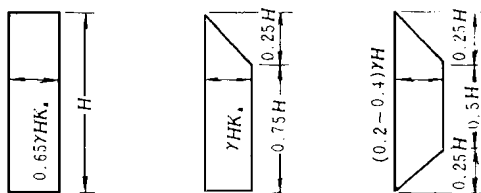
日本建筑基础结构设计规范(1974)对 Terzaghi 和 Peck 建议的土压力分布图式作了修正,其值如图 12.3 中方括号内所示。

12.1.2 崔勃泰里奥夫(Tschebotarioff)土压力图式

Tschebotarioff(1973)提出的土压力图如图 12.4 所示。该图对开挖深度大于 16m 的基坑较适用。

12.1.3 日本铃木音彦土压力图式

日本铃木音彦在《工程土力学计算实例》中介绍的土压力分布图式如图 12.5 所示



(a) 砂土 (b) 软 - 中等粘土 (c) 硬 - 裂隙粘土

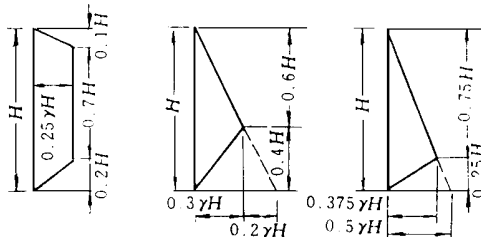
$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad K_a = 1 - \frac{4C_u}{H} \quad (H > 4)$$

$$C_u = \frac{1}{2} q_u$$

$$(H > 4)$$

$$[0.2 \sim H] \quad \left[K_a = 1 - \frac{4C_u}{H} \right] \quad [0.2 \sim 0.3 \sim H]$$

图 12.3 Terzaghi 和 Peck(1967) 建议的土压力分布图式([]内为日本建筑基础结构设计规范的数值)

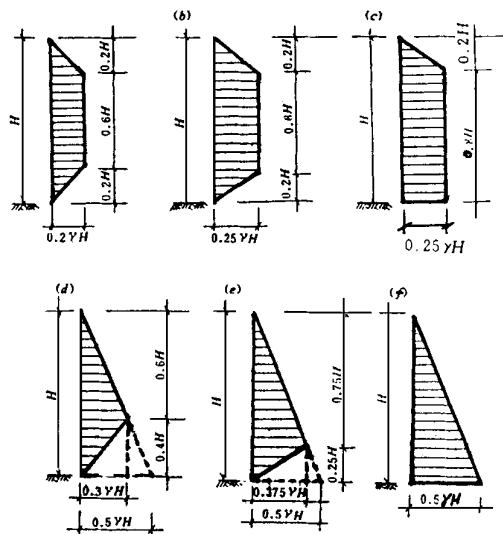


(a) 砂土 (b) 硬粘土中的临时支撑 (c) 中等粘土中的永久性支撑

图 12.4 Tschebotarioff 提出的土压力图式

12.1.4 小结

从图 12.3 ~ 图 12.5 可知: (1) 这些土压力的分布图式并非表示某一工况的土压力分布, 而是实测资料中最大土压力的包络线图。按这些图式, 只能用于挡土支护结构体系的内力计算, 而不能用于挡土支护结



(a) 密实砂土; (b) 中密砂土; (c) 松散砂土; (d) 坚硬粘土; (e) 中密粘土; (f) 软粘土

图 12.5 铃木音彦土压力图式

构体系的稳定性验算, 也不能用来分析计算挡土支护结构的变形。

(2) 按这些土压力分布图式, 对多支点挡土支护结构的支撑或锚杆设计是过于安全的。

根据工程现场测试所得到的土压力分布图可知, 试图用一个对各类挡土支护结构都适用的统一的土压力分布图式看来是不现实的, 对不同刚度和变位条件的挡土支护结构应采用各自相应的土压力分布图式。

12.2 上海基坑工程设计的土压力分布模式

12.2.1 土压力

上海基坑工程设计规程 (DBJ 08 - 61 - 97) 规定土压力分布模式可按表 12.1, 根据挡土支护结构的类型、入土深度和侧向变位条件选用。

土压力分布模式

表 12.1

土压力分布图式	型	
	型	型
适用条件	挡土结构	有支撑板式挡土结构
侧向变位条件	水泥土或悬臂板式挡土结构	顶底端位移小, 近开挖面附近位移大

由表 12.1 可知: (1) 型土压力分布图式可按朗金土压力理论计算。挡土结构的变位为绕结构底端或

绕结构底端以下某一点转动, 即结构顶端位移大, 结构底端位移小。(2) 型土压力分布图式为主动土压力

在基坑开挖面以上随深度的增加呈线性增大分布。在开挖面以下为常量分布。挡土结构前被动区未达到极限被动土压力,按动用被动土压力计算。后者常用侧向弹性地基反力法计算,此种模式适用于有支撑的入土深度大的板式挡土结构。结构的侧向位移呈顶、底两端小,中部(基坑开挖面附近)大的特征。

12.2.2 动用土压力

(1) 提高的主动土压力系数可根据场地工程条件按表 12.2 采用。

提高的主动土压力系数 C_a 表 12.2

对差异沉降有严格限制的建筑物(或地下设施)位于距基坑外侧	提高的主动土压力系数
0.5H (0.5~1.0)H	K_0 $(K_a + K_0)/2$

注: H—基坑深度; K_a —主动土压力系数; K_0 —静止土压力系数

(2) 降低的被动土压力宜按以下方法确定:

1) 降低的被动土压力强度,根据挡土支护结构的容许最大侧向位移值,按极限的被动土压力强度乘以折减系数 C_p :

$$C_p = \frac{K_0 + (K_p - K_0) X_p}{K_p} \quad (12-1)$$

式中 $X_p = [2(S_a/S_p) - (S_a/S_p)^2]^{0.5}$ (12-2)

S_a ——挡土支护结构容许位移值;
 S_p ——被动极限时的位移值,取(0.02~0.04)H;
 K_p ——被动土压力系数。

2) 用侧向弹性地基反力法,按(12-3)式或(12-4)式计算过渡的被动土压力强度。

$$p_H = k_H H \quad (12-3)$$

式中 p_H ——计算点的过渡被动土压力强度(kPa);

H ——计算点处挡土结构向土体方向的水平位移(m);

k_H ——计算点土的侧向基床系数(kN/m³)

$$p_H = m z H \quad (12-4)$$

式中 m ——计算点土的侧向基床比例系数(kN/m⁴);

z ——计算点在基坑底面以下的深度(m)。

k_H 和 m 值宜由现场试验确定,或由原位测试按经验关系确定,无条件进行试验时,可按表 12.3 和表 12.4 选用。

12.3 地表面均布荷载(亦称均布超载)

12.3.1 墙背竖直光滑、地表面水平与墙齐高并

侧向基床系数 k_H 表 12.3

地基土分类	k_H (kN/m ³)
流塑粘性土	3000~15000
软塑粘性土和松散粉性土	15000~30000
可塑粘性土和稍密~中密粉性土	30000~150000
硬塑粘性土和密实粉性土	150000以上
松散砂土	3000~15000
稍密砂土	15000~30000
中密砂土	30000~100000
密实砂土	100000以上
水泥土搅拌桩 加固置换率 > 25 %	水泥掺量 < 8 % 水泥掺量 > 12 %
	10000~15000 20000~25000

侧向基床比例系数 m 表 12.4

地基土分类	m (kN/m ⁴)
流塑粘性土	1000~2000
软塑粘性土和松散粉性土及砂土	2000~4000
可塑粘性土、稍密~中密粉性土及砂土	4000~6000
硬塑粘性土、密实粉性土及砂土	6000~10000
水泥土搅拌桩 加固置换率 > 25 %	水泥掺量 < 8 % 水泥掺量 > 12 %
	2000~4000 4000~6000

作用有连续均布荷载 q ,其土压力强度分布图形是一个矩形,见图 12.6 中面积 $aBbc$ 。

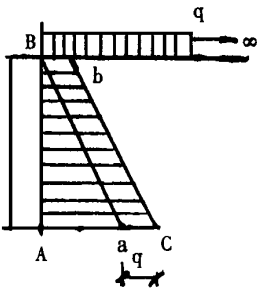


图 12.6 连续均布荷载作用下
主动土压力计算

12.3.2 墙背竖直光滑、地表面水平与墙齐高并作用有局部均布荷载 q ,有两种荷载分布情况,第一种情况是距墙顶 l 处开始作用连续均布荷载 q ,如图 12.7a 及图 12.7b 所示;第二种情况是距墙顶 l 处作用于 l_1 宽的均布荷载,如图 12.7c 及图 12.7d 所示。计算作用在墙背(即挡土结构)上的土压力通常有两种方法。局部均布荷载引起的土压力强度分布面积分别为 $acde$ (图 12.7a), $acde$ (图 12.7b), $cefd$ (图 12.7c) 或 $cdfc$ (图 12.7d)。

12.3.3 不规则地表面

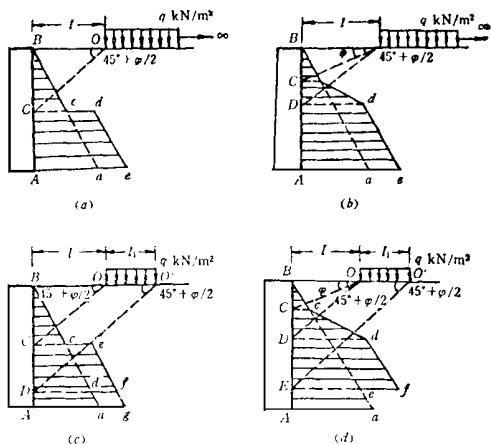


图 12.7 局部均布荷载作用下主动土压力计算

实际上,挡土结构后面土体表面往往不是由单一的水平面或倾斜面所组成,而可能如图 12.8 所示的几种情况。这时就不能按前述简单的土体表面情况直接套用公式来计算土压力,而要分别按土体表面为水平或倾斜的情况近似计算,而后再进行组合,如图 12.8 所示,此处不多赘述。

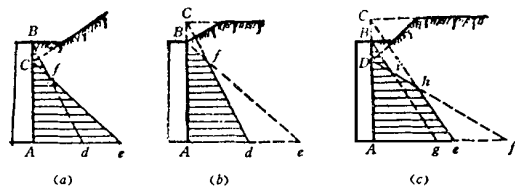


图 12.8 土体表面不规则时主动土压力的近似计算