

技术讲座

深基坑工程技术讲座(10)

沈保汉

(北京市建筑工程研究院)

第十讲 挡土支护结构侧压力(上)

10.1 概 述

作用在挡土支护结构上的侧压力包括土压力、水压力、冰荷载(寒冷地区)、地震力及地面荷载所产生的侧压力等。

土压力是作用于挡土支护结构的主要荷载,特别是在大型深基坑工程中若能较准确地估算土压力,对于确保深基坑工程的顺利进行具有十分重要的意义。

从广义来说,土压力是土作用在挡土支护结构上的或作用在被土体所包围的结构物表面上的压力及其合力。这些压力(及合力)是由土的自重、土所承受的恒载和活载所产生的,其大小由土的物理与力学性质、土和结构之间的物理作用、绝对位移、相对位移以及变形值与特性所决定。水压力、冰荷载、地震力及地面荷载等均是通过对土这一载体作用于挡土支护结构上,因此,均属于广义土压力,也可称为特殊情况下的土压力。

10.2 影响土压力的因素

作用在挡土支护结构上的土压力受以下因素制约:

(1) 不同土类中的侧向土压力差异很大。采用同样的计算方法设计的挡土支护结构,对某些土类可能安全度很大,而对另一些土类则可能面临倒塌的危险。因此在没有完全弄清挡土支护结构土压力的性能之前,对不同土类(见本技术讲座第 3、4、5 讲)应区别对待。

(2) 土压力强度的计算及其计算指标的取值与基坑开挖方式和土类有关。当剪应力超过土的抗剪强度时,背侧土体就会失去稳定,发生滑动。由于基坑用机械开挖,一般进度均较快,开挖卸荷后,土压力很快形成,为与其相

适应采用直剪快剪或三轴不排水剪是合理的。但剪切前是否要固结,则根据土的渗透性而定。渗透性弱的土,由于加荷快、来不及固结即可能剪损,此时宜采用不固结即进行剪切;反之,渗透性强的土,宜固结后剪切。深圳地区建筑深基坑支护技术规范(SJ G05 - 96)规定,抗剪强度的试验,对粘土宜采用直剪快剪或三轴不固结、不排水强度试验(UU);对饱和软粘土,在进行快剪或不固结、不排水强度试验时,应在自重压力下预固结后,再进行剪切;对花岗岩残积层的砾质粘性土、砂质粘性土、粉质粘土、粉土和砂土宜采用直剪固结快剪或三轴固结不排水强度试验(CU)。以上表明土压力参数试验要与基坑土体实际的固结状态相适应。

(3) 土压力是土与挡土支护结构之间相互作用的结果,它与结构的变位有着密切的关系,从而导致设计土压力值的不确定性。如经典的库伦土压力和朗金土压力理论仅考虑主动与被动状态;在挡土支护结构变形很小时,要采用静止土压力(其值无统一求法);对于作用于多支点挡土支护结构的土压力则按弹塑性理论进行计算。

(4) 土压力强度的大小与挡土支护结构刚度有关。当基坑深度及地层土质等条件均相同的情况下,作用在重力式挡土支护结构和柔性挡土支护结构上的土压力显然不同,这是由于两者刚度相差太大所致。

(5) 对于多支点挡土支护结构,其土压力大小及分布又因支点(锚杆或支撑)的位置及反力大小而变化。

(6) 土压力参数的选取因深基坑挡土支护

结构及施工工艺而不同。对于悬臂式挡土支护结构,取卸荷参数即可;而多层锚杆挡土支护结构则因其对土体的作用是一个不同深度上的多次卸载—加载—卸载的过程,故对土体来说,既要考虑卸载的又要考虑加载的土压力参数。

(7) 挡土支护结构土压力有显著的空间效应。不少的深基坑开挖实测资料表明,基坑周边向坑内发生的水平位移呈现出中间大、两边小的规律;而且深基坑边坡失稳坍塌,多数实例也是从长边的居中位置开始发生的。上述现象说明深基坑开挖是一个空间问题。

(8) 挡土支护结构土压力有显著的时间效应。按经典的极限平衡原理(库伦—朗金土压力理论)进行的深基坑挡土支护设计属于静态设计,而开挖后的土体是处于动态平衡状态。一是开挖后的土体处于一种松弛过程,随时间增长,土体强度逐渐下降;二是开挖后长时期

内基坑环境也会有所变化,例如由于多种原因造成土体含水量增加,也促使土体强度下降。以上的时间效应在设计时应予以考虑。

(9) 确定土压力计算参数时要考虑施工效应。降水是深基坑开挖中经常采用的措施,由于排水,土体发生固结,使 $C、\phi$ 值有所提高。当基础桩采用挤土式桩时,由于挤土效应也可使 $C、\phi$ 值有所提高。当然要避免挤土桩的负面效应,见本技术讲座第 9 讲。

(10) 挡土支护结构上的土压力是随着开挖过程逐步形成的。特别是多支点挡土支护结构上的土压力又随着支撑或锚杆的设置及每步开挖施工参数的差异而产生受力状态的改变,因此其土压力的分布与一般挡土墙存在着差异。

(11) 挡土支护结构上的土压力因上、下端支点及结构变位情况而差异甚大,见图 10.1。

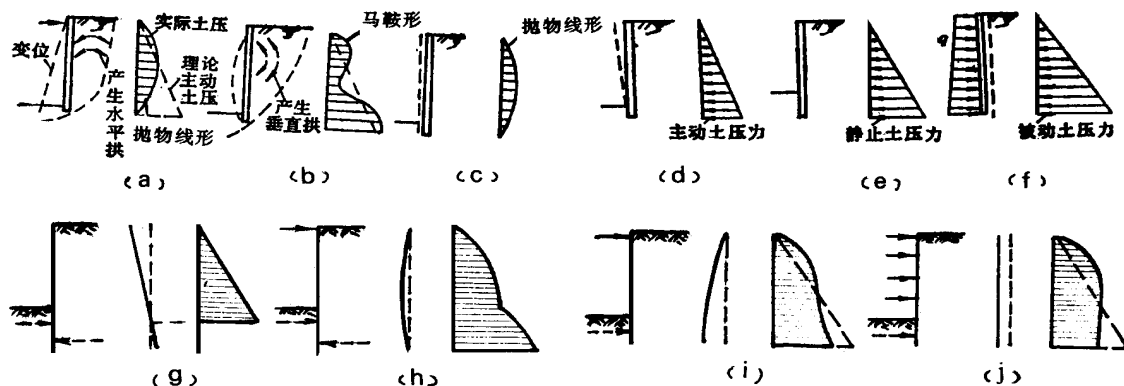


图 10.1 不同支点及不同变位时挡土支护结构土压力举例

(a) 上端固定,下端向外移动;(b) 上下两端固定;(c) 平行外移;(d) 结构绕下端向外倾移;(e) 结构完全不移动;(f) 结构向内倾移;(g) 悬臂式挡土支护结构(下端固定);(h) 单道顶撑挡土支护结构(下端固定,即插入深度较深);(i) 单道顶撑挡土支护结构(插入深度较浅);(j) 多支点挡土支护结构一例

(12) 土压力计算参数($C、\phi$ 等)带有一定的随机性。土层物理力学参数选择正确与否是挡土支护设计是否符合实际的重要环节。但是现实情况,不少的建设单位在深基坑工程招标时往往是仅提供主体建筑物的初步勘察报告,未能提供适应于深基坑工程的专门勘察报告,而投标单位为了急于中标,就在初勘资

料的基础上,选择计算参数,未经深思熟虑,草率地进行土压力计算,这就带来较大的随机性和危险性。正确的做法应是,根据深基坑的等级,进行补充的岩土工程勘察,在深基坑挡土支护设计人员的配合下,按设计要求,确定勘察范围、基坑周边勘探点间距以及勘探点间距,并选择合适的试验方法,这样的勘察资料

就具有针对性,设计人员也能做到心中有数。

(13) 地下水是影响土压力值的一个重大因素。本技术讲座第9讲中提到上层滞水治理不妥(例如,上下水设施破损而漏水,基坑顶及坡体未作防水处理致使雨水及地表水等渗入背侧土体,坑周排水系统堵塞或暴雨后坑周水位急剧上升等),致使背侧土体的含水量增高,土的力学指标向不利方向变化(C 、 ϕ 值降低),主动土压力随之增大,导致深基坑倒塌,类似事故在全国各地区已屡见不鲜。

(14) 挡土支护结构上的土压力还和土体与墙(桩)背的摩擦角有关,而后者又与背侧土体性质、墙(桩)背粗糙程度、排水条件、背侧土体表面轮廓及有无地面荷载等有关。

(15) 土压力的大小和分布是超静定问题。一是因为位移和变形的作用,二是由于各单个颗粒产生的压力以及颗粒间作用力的绝对值仍然不清楚。

(16) 土压力的大小还和土体应力水平有关。在正常压密状态的同一种土体,不同开挖深度的土体应力水平是不同的,它的 C 、 ϕ 不是同一值。

综上所述,土压力的计算具有以下特点:复杂性(影响因素太多),不确定性,多样性(计算和试验方法多样),随机性,变异性(施工效应、结构型式效应、时间效应、空间效应及地下水影响等)以及超静定性等。

目前工程中应用的土压力计算理论,由于理论的假设与实际情况有一定的出入,加以在理论中也不可能对影响土压力大小和其分布规律的各种因素及其相互作用加以全面考虑和概括,所以只能看作是近似的方法,与实测数据也有一定的距离,有时甚至差得很大。可以说,深基坑挡土支护与开挖问题对经典土力学理论提出了新的挑战,需建立以释放变形为核心的土压力理论。深基坑开挖与支护的应力、变形分析将把不可忽视的卸载问题、应力路径问题及其引发的土体应力、强度、变形性质和变化及其影响因素提上岩土工程师的议事日程、提出需要深入研究的课题。总之,

土压力理论还有待于进一步研究,在实践中不断予以完善。

10.3 静止土压力

(1) 作用于挡土支护结构的静止土压力强度,如同半空间直线变形体在土自重作用下,无侧向变形的水平侧压力强度 e_0 :

$$e_0 = K_0 z \quad (10-1)$$

式中 K_0 ——静止土压力系数;

——土的重度(kN/m^3);

z ——计算土压力点的深度(m)。

K_0 值有多种取法,下面分别介绍。

(2) 对于正常固结土有以下一些经验公式。

杰基(Jaky, 1944年)公式如下:

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (10-2)$$

式中的 ϕ 是以有效应力得出的有效内摩擦角,其值由试验确定,但都大于用总应力法得出的内摩擦角 ϕ 值。

拉姆勃(Lambe, 1979年)对杰基公式进行修正,提出如下公式:

$$K_0 = 0.95 - \sin \phi \quad (10-3)$$

日本的山口(1972年)提出类似的公式:

$$K_0 = (1 - 0.404 \tan \phi) / (1 + \sin \phi) \quad (10-4)$$

日本的大崎顺彦提出,在无条件的情况下,可按式计算:

$$K_0 = \sqrt{20N} + 15 \quad (10-5)$$

坦哈姆提出,对颗粒级配良好的土粒,可按式计算:

$$K_0 = \sqrt{12N} + 20 \quad (10-6)$$

对于粘性土中的静止土压力系数 K_0 与塑性指数 I_p 的经验方程有:

Massarsch 公式:

$$K_0 = 0.44 + 0.42 \frac{I_p}{100} \quad (10-7)$$

Alpan 公式

$$K_0 = 0.19 + 0.23 I_p \quad (10-8)$$

安徽省水利科学研究所陆庆英(1983年)针对上述经验公式(10-2)、(10-3)、(10-4)、(10-7)和(10-8),用苏、浙、皖、豫等省试

(下接 54 页)

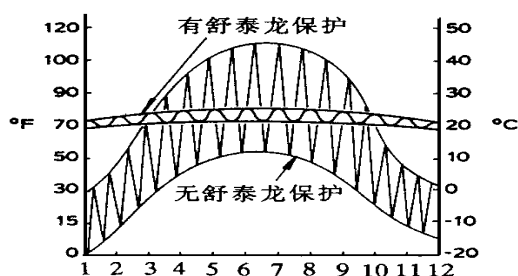


图 6

屋面体系(平屋面或小坡度)的理想材料。图 7 为该体系的典型应用示例。该体系有两个重要部分,即:浅色单层高分子防水卷材及机械固定件的适当选择。

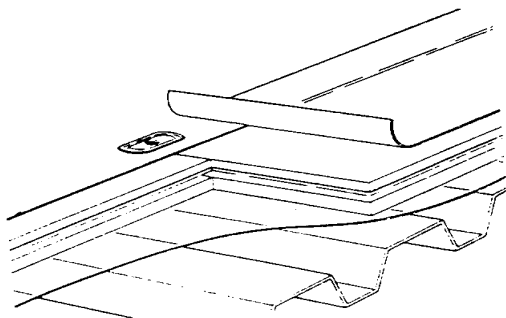


图 7

有一些防水卷材的表面是带毛的,可将卷材和保温材料有效隔离。若卷材中含有增塑剂,在“舒泰龙”上必须铺设浅色隔离层,在“舒泰龙”与金属屋面固定好之后,再用防水卷材供应商规定的机械固定件将卷材同屋面固定好。有关机械固定件的细节及装配过程,陶氏化学及有关卷材供应商均有说明书可供参考。

4.3 屋顶广场及空中花园

利用屋顶做停车场或花园是一项具有社会效益和环境效益的新技术。这种设计在中国已有施工实例,在不久将来将会得到普及。照片 4 为建成的屋顶停车场(见本期封 3 图片)。由于大城市的中心地带,空地稀少、地价昂贵,用屋顶做停车场即可带来显著的经济效益和社会效益。

照片 5 为空中花园的应用实例(见本期封 3 图片)。在欧洲,这种温馨的环境设计经常被采用。从节能的角度来看,这种设计也是有效的。

工程实践表明,这项新技术不仅适用于新建屋面,同时也适用于旧屋面的改造。

(上接 50 页)

样的与 I_p 为参数进行计算,求得的 K_0 值均有相近的结果。

(3) 下列各表给出了几类土的 K_0 参考值

正常固结土静止土压力系数 K_0 表 10.1

土 类	K_0
砂、硬粘土($N > 8$), 中等粘土($4 < N < 8$)	0.5
软粘土($2 < N < 4$)	0.6
极软的粘土($N < 2$)	0.7

超固结土和压实土的静止土压力系数 K_0 表 10.2

土 类	K_0
手工夯实的粘土	1.0 ~ 2.0
分层回填机械夯实的粘土	2.0 ~ 6.0
超固结粘土	1.0 ~ 4.0
压实砂土	1.0 ~ 2.0

(4) 对于有无限的竖向分布荷载(q)作用的情况

此时,无侧向变形的水平侧压力强度 e_0 中

应增加 $K_0 q$ 一项,即

$$e_0 = K_0(q + z) \quad (10-9)$$

式中 q ——作用于地表的无限竖向分布荷载(kN/m^2)。

当有地下水存在时,应考虑水压力的作用,对于水土分算的情况,

$$e_0 = K_0 P_v + u \quad (10-10)$$

式中 P_v ——土的竖向有效应力(kPa),

$$P_v = \begin{cases} q + z & (z < hw) \\ q + hw & (z > hw) \end{cases} \quad (10-11);$$

$$u = \begin{cases} 0 & (z < hw) \\ w(z - hw) & (z > hw) \end{cases} \quad (10-12);$$

hw ——地下水的埋藏深度(m);

——土的浮重度(kN/m^3);

w ——水的重度(kN/m^3)。