

桩基工程设计施工 及检测实用手册

主编：王珊



黑龙江人民出版社

桩基工程设计施工 及检测实用手册

王 珊 主编

(第二卷)

黑龙江人民出版社

分 目 录

(第二卷)

第八章 悬臂式围护结构	(657)
第一节 概述	(657)
一、板桩式结构	(658)
二、排桩式结构	(659)
第二节 悬臂式围护结构的设计计算理论	(660)
一、悬臂式围护结构计算理论	(660)
二、悬臂式围护结构计算简图	(662)
三、悬臂式围护结构设计计算	(663)
第三节 板桩式悬臂围护结构	(672)
一、钢板桩围护结构的设计	(672)
二、钢板桩围护结构的施工	(676)
三、钢筋混凝土板桩	(681)
四、木板桩	(683)
第四节 排桩式悬臂围护结构	(684)
一、概述	(684)
二、围护桩的施工	(686)
第九章 桥梁桩基础的设计	(694)
第一节 桥梁桩基础的常见形式	(694)
第二节 桥梁桩基础的计算原则	(695)
第三节 顶帽较薄的排架式桥墩桩基础的分析	(696)
第四节 对称竖直桩桩基础的受扭计算	(702)
第五节 按土的阻力所确定单桩的承载力	(705)
一、轴向受压摩擦桩的容许承载力	(705)
二、轴向受压柱桩的容许承载力	(715)
三、轴向受拔桩的容许承载力	(715)
第六节 墩台桩基础的沉降计算	(716)
第七节 特殊地基中桥梁桩基础的设计	(716)
一、黄土地区桩基础的设计	(716)
二、多年冻土地区桩基础的设计	(717)
三、盐渍土地基中桩基础的设计	(718)
第八节 桥梁桩基础计算算例	(719)

一、重力式桥墩对称竖直桩桩基础的计算算例·····	(719)
二、重力式桥墩不对称竖直桩桩基础的计算算例·····	(724)
三、排架式桥墩计算算例·····	(725)
第九节 桥梁桩基础设计中的几个问题·····	(731)
一、排架式墩、台是否适用于铁路双线桥·····	(731)
二、重力式墩、台的桩基础因施工不慎造成需要补增基桩时补增基桩的 合理布置·····	(732)
三、地震荷载作用下桥梁桩基础设计中计算地面线的确定·····	(733)
四、地震时土的力学指标的折减·····	(734)
五、承台座板的水浮力计算·····	(734)
六、桥台桩基础的计算天然地面线的确定·····	(735)
七、加深座板侧面的深度以增大土抗力·····	(735)
八、桥台桩基础中基桩的布置·····	(735)
第十章 海岸与离岸工程桩基础·····	(737)
第一节 概况·····	(737)
一、海岸工程·····	(737)
二、离岸结构·····	(739)
第二节 港口水工建筑物桩基垂直承载力的确定·····	(741)
一、单桩的轴向允许承载力·····	(741)
二、群桩垂直承载力·····	(748)
第三节 离岸工程桩基垂直承载力的确定·····	(749)
一、打入粘性土中桩·····	(749)
二、打入砂性土中的桩·····	(750)
三、抗拔桩·····	(750)
四、群桩效应·····	(751)
第四节 桩的水平承载力·····	(752)
一、港工规范采用的方法·····	(752)
二、海上平台规范采用的方法·····	(754)
第五节 桩基可靠度分析·····	(758)
一、桩基可靠度的概念·····	(758)
工程实例·····	(763)
一、基础简介·····	(763)
二、地层与单桩承载力·····	(763)
三、桩数与桩力计算·····	(765)
第十一章 单桩竖向承载力·····	(767)
第一节 概述·····	(767)

一、桩基的竖向极限承载力·····	(767)
二、影响单桩竖向承载力的因素·····	(769)
三、单桩竖向承载力的确定方法·····	(770)
第二节 竖向荷载下单桩的性状·····	(771)
一、桩侧阻力的性状·····	(771)
二、桩端阻力的性状·····	(780)
三、桩、土承载体系·····	(783)
第三节 桩端阻力和桩侧阻力·····	(785)
一、深度效应·····	(785)
二、考虑深度效应极限端阻力的计算·····	(789)
三、负摩阻力·····	(791)
第四节 用规范方法确定单桩承载力·····	(796)
一、建筑桩基技术规范·····	(796)
二、铁路桥涵设计规范·····	(798)
第五节 原位测试法确定单桩承载力·····	(804)
一、标准贯入试验·····	(804)
二、静力触探试验·····	(806)
三、旁压试验·····	(812)
第六节 大直径灌注桩·····	(814)
一、概述·····	(814)
二、大直径桩的承载性状·····	(815)
三、大直径桩承载力的确定·····	(816)
第七节 嵌岩灌注桩·····	(820)
一、概述·····	(820)
二、嵌岩灌注桩的承载性状·····	(821)
三、嵌岩灌注桩承载力的确定·····	(826)
第八节 钢管桩·····	(827)
一、钢管桩的应用·····	(827)
二、钢管桩的承载性状·····	(829)
三、钢管桩单桩竖向承载力计算·····	(833)
第九节 最新工程实例及最新研究成果·····	(835)
一、桩基结构模拟方法·····	(835)
二、西安黄土地区钻孔灌注桩承载性状的工程特性·····	(845)
三、用标贯击数估算单桩极限承载力·····	(851)
四、挤扩多支盘桩单桩承载力浅析·····	(856)
第十二章 群桩的竖直承载力·····	(860)

第一节 群桩效应·····	(860)
一、承台、桩群和土的相互作用·····	(860)
二、群桩效应·····	(861)
三、摩擦型群桩·····	(865)
四、粉土中的摩擦型群桩·····	(866)
第二节 群桩极限承载力计算·····	(880)
一、以单桩极限承载力为参数的群桩效率系数法·····	(880)
二、以土强度为参数的极限平衡理论法·····	(881)
三、经验计算法·····	(883)
四、群桩软下卧层的承载力计算·····	(889)
第十三章 承台土反力·····	(894)
第一节 概 述·····	(894)
第二节 承台土反力与桩、土变形的关系·····	(895)
第三节 反力分布特征·····	(896)
第四节 承台土反力及承台分担荷载值的计算·····	(903)
第十四章 桩基时间效应·····	(920)
第一节 饱和粘性土中挤土桩承载力的时间效应·····	(920)
第二节 饱和粘土中挤土型群桩承载力时效·····	(922)
第三节 粘性土中非挤土灌注桩承载力的时间效应·····	(923)
第十五章 沉降计算·····	(925)
第一节 概述·····	(925)
第二节 土参数的确定·····	(926)
第三节 荷载传递法·····	(930)
第四节 弹性理论法·····	(934)
第五节 剪切变形传递法·····	(948)
第六节 其它方法简介·····	(949)
第十六章 群桩沉降计算·····	(957)
第一节 概述·····	(957)
第二节 打入群桩沉降性状的试验研究·····	(958)
第三节 钻孔群桩沉降性状的试验研究·····	(963)
第四节 影响群桩沉降性状的因素·····	(965)
第五节 非粘性土中群桩沉降·····	(967)
一、沉降比法·····	(967)
二、采用原位测试估算群桩沉降·····	(968)
第六节 弹性理论法计算群桩的沉降·····	(971)

一、两根桩的相互作用	(971)
二、群桩沉降的弹性理解	(973)
第十七章 单桩和群桩水平承载力位移	(993)
第一节 概述	(993)
第二节 短桩的计算分析	(999)
一、极限地基反力法	(1001)
二、地基反力系数法	(1001)
第三节 弹性长桩的计算分析	(1003)
一、地基浮力系数法	(1003)
二、沿深度为线性变化	(1008)
三、沿深度为二次曲线增大法	(1009)
四、 $p-y$ 曲线法	(1041)
第四节 群桩水平承载力和位移	(1052)
一、简述	(1052)
二、高承台群桩基础的计算分析高承台桩水平承载力与位移	(1057)
三、低承台桩水平承载力与位移	(1070)
四、影响桩水平承载力的因素	(1080)
第五节 深埋式抗滑桩的受力分布规律	(1083)
一、前言	(1083)
二、试验模型	(1084)
三、试验资料及其分析	(1085)
四、关于深埋桩适用性的讨论	(1090)
五、结论	(1091)
第十八章 桩基础抗震验算	(1093)
第一节 概述	(1093)
第二节 桩基不作抗震验算的范围	(1093)
第三节 低承台桩基抗震验算	(1094)
第四节 液化土中桩基	(1097)
第五节 桩基抗震构造要求	(1098)
第十九章 预制混凝土桩施工	(1100)
第一节 接桩	(1100)
第二节 施工方法	(1101)
一、分类	(1101)
二、锤击法沉桩	(1105)
三、锤击法沉桩施工	(1130)
四、送桩及接桩	(1139)

五、沉桩阻力及停打标准	(1141)
六、锤击法沉桩常见问题及处理	(1147)
七、质量检验	(1155)
八、静压法沉桩	(1158)
九、振动法	(1166)
十、辅助沉桩法	(1175)
第三节 机械设备	(1181)
一、桩锤	(1181)
二、桩架	(1202)
三、静力压桩机	(1210)
第四节 环境影响及对策	(1216)
一、施工噪音及防护	(1216)
二、振动影响及防护	(1219)
三、挤土影响及防护	(1228)
第五节 事故预防与处理	(1233)
工程实例	(1236)
一、北江大桥的桩基施工	(1236)
二、钻孔灌注桩断桩及缺陷修补处理	(1240)
三、某工程桩基质量事故剖析	(1243)
四、水平断裂桩的成因、特征与检测	(1247)
五、两起悬桩事故判别和处理	(1251)
六、某办公楼沉管灌注桩工程事故分析与处理	(1255)
七、微型钢管桩在处理有缺陷人工挖孔桩中的应用	(1258)
八、混凝土预制方桩在不同性状下的应力波特征及其应用效果	(1262)
九、沉桩挤土效应的数值模拟	(1267)
十、饱和土中打桩引起桩周围土体的位移	(1273)
十一、软粘土地基静力压桩的挤土效应及其防治措施	(1280)
十二、PHC 高强预应力管桩在城市密集地区的应用	(1285)
十三、静压预制空心桩在天津软土地基中的应用研究	(1288)
第二十章 钢桩的施工	(1293)
第一节 概述	(1293)
一、特点	(1293)
二、构造	(1293)
三、接头及附件	(1296)
四、材料要求	(1298)
第二节 施工机械	(1300)

一、打桩机及桩锤、桩帽	(1300)
二、焊接设备及材料	(1305)
三、送桩管	(1307)
四、钢管桩的地下内切割机	(1308)
第三节 沉桩施工	(1309)
一、沉桩施工流程要点	(1309)
二、测量及样桩控制	(1309)
三、施工流水顺序安排原则	(1311)
四、沉桩施工及施工记录	(1312)
五、电焊接钢桩	(1316)
第四节 质量控制	(1319)
一、平面位移	(1319)
二、垂直度	(1320)
三、打入深度控制、沉桩阻力及停打标准	(1320)
四、焊接质量控制及检测	(1323)
第五节 事故预防与处理	(1325)
一、桩的偏位	(1325)
二、桩的扭转	(1326)
三、桩的损坏和折断	(1326)

第八章 悬臂式围护结构

第一节 概述

未加任何内支撑或锚杆，仅靠插入其基坑底下一定深度，以取得嵌固和稳定的围护结构称为悬臂式围护结构。由于基坑底以上部分呈悬臂状态（图 8-1），围护结构的弯矩随开挖深度成三次方增加，故与有内支撑的围护结构相比，这种结构的桩顶位移及杆件弯矩值均较大，选用时应慎重考虑。一般应考虑下列情况：

- (1) 通常只在单层地下室及支护高度小于 5m 时采用。
- (2) 基坑底以下的地质情况良好，有较大的 c ， φ 值。有足够作为杆件插入当作嵌固端的能力。
- (3) 在基坑底部及桩端处不是软弱土层，因为这二处是杆件平衡的关键部位，在这二处产生的反力较大，如为软土层，对整个结构的稳定非常不利（图 8-2）。

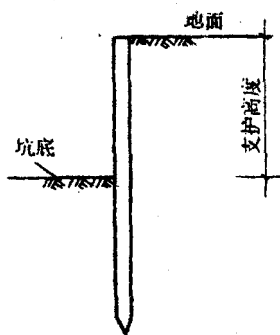


图 8-1 悬臂式围护结构示意图

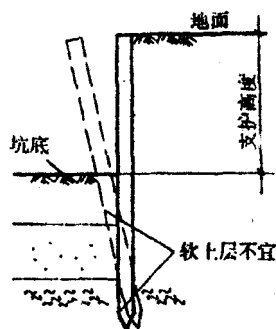


图 8-2 悬臂式围护结构对坑底
以下地质情况的要求

当基坑底下被动区土质情况不良时，可考虑采用人工加固的办法，以提高被动区的被动土压力。

悬臂式围护结构可分为板桩式结构、排桩式结构和地下连续墙结构，这里只介绍板桩式结构和排桩式结构。

一、板桩式结构

板桩式结构是用各种截面型式的构件单元相互之间用锁口搭接而成的连续挡土结构。板桩式结构按材料分类，大致有以下几种类型：

1. 钢板桩

钢板桩常见的断面型式有 U 型、Z 型等多种形式。需要衔接的时候，钢板桩通过边缘的锁口连接，相互咬合而形成连续的钢板墙，起到挡土、挡水的作用（图 8-3）。

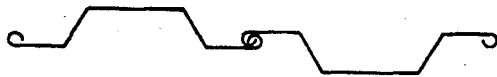


图 8-3 钢板桩截面型式示意图

与其他桩型相比，钢板桩的抗弯刚度较小，采用 U 型或 Z 型之后，可以增加抗弯能力，但悬臂的钢板桩仍会有较大的变形，使用中应预先对其可能发生的位移量进行估算。

2. 钢筋混凝土或劲性混凝土板桩

预制的钢筋混凝土板桩常用矩形、圆形、工型或 T 型（图 8-4），也可以采用管柱形把直径做得更大，按施工能力分成若干节逐节连接。

劲性混凝土与钢筋混凝土板桩从制作、打入和使用过程来看是极其相似的，唯一不同的是劲性混凝土板桩所采用的是型钢拼接而成的骨架代替普通的钢筋笼骨架，因此劲性混凝土板桩具有更大的抗弯能力和抵抗悬臂端产生过大变形的能力。

3. 木板桩

选用质地良好，且能抗锤击的木料加工，根据一定的施工要求制成能够符合支护板桩挡土或部分挡水需要的结构型式（图 8-5）。

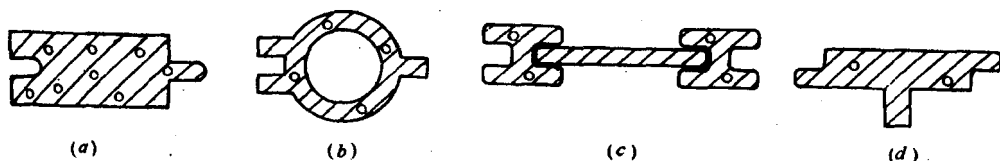


图 8-4 钢筋混凝土板桩截面型式

(a) 矩形截面； (b) 圆形或管柱形截面； (c) 工字形截面； (d) T 字形截面

木板桩支护一般只适用于土质较好，对边坡稳定有较大安全保障的情况，常见的木板桩只使用单层板桩挡土，对于有一定防渗要求的，也可设置双层木板桩，中间夹填粘

土类防渗材料组成具有复合作用（挡土及挡水）的板桩墙。



图 8-5 木板桩截面型式示意图

4. 组合型板桩

这种板桩的主要特点是利用抗弯刚度较大的型钢如工字钢或槽钢作为受弯的悬臂杆件，而挡土作用则由木板来承担，因而能够各自发挥材料最大的优点，同时又能协同工作，达到节省材料、施工方便的目的（图 8-6）。

在基坑的周边方向上，悬臂式板桩的密度即桩与桩之间的间距，需要通过计算来确定，它与桩体材料、土质情况、地下水位以及桩体本身的尺寸，允许强度和最大变位量等有关。悬臂式板桩由于其适用范围是土质条件较好，边坡容易稳定的浅层地下室开挖，所以通常在对挡水要求不高的情况下，板与桩的功能相对比较独立。板用于挡土，桩用于保证强度和稳定，这就有可能使板做得相对较薄，而把主要的注意力集中于悬臂桩的设计和施工。

二、排桩式结构

这是目前在基坑支护工程设计中采用最为广泛的一种形式。即利用各种类型的钢筋混凝土桩紧密排列的型式。为施工方便，桩与桩之间保持一定间距，在软土地基中常取

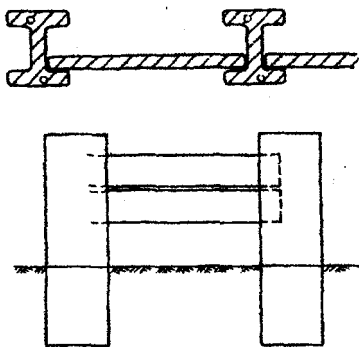


图 8-6 组合型板桩
(工字钢加木板)

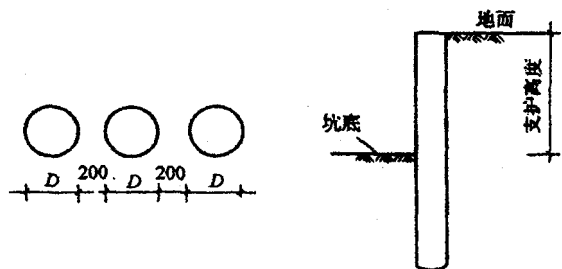


图 8-7 钢筋混凝土排桩

约 20cm 的净距（图 8-7）。当有地下水或桩背（即主动土压力区）有含水量较大的软土时，应在桩背设计止水帷幕，以防止地下水或淤泥渗漏入基坑内。

常用的桩型有：

- (1) 沉管灌注桩：桩径一般为 40~50cm。
- (2) 冲（钻）孔灌注桩：桩径一般为 60~100cm。
- (3) 人工挖孔桩：桩径不小于 80cm。

有时根据设计需要，可以采用双排桩的型式（见图 8-8）。为了增大双排桩的空间效应，常用横梁将前后排桩连接成门架式围护结构。

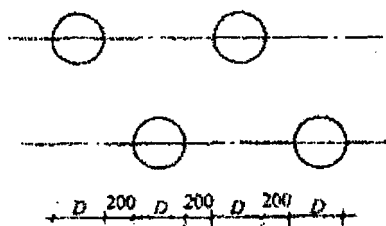


图 8-8 双排桩支护方式

第二节 悬臂式围护结构的设计计算理论

一、悬臂式围护结构计算理论

目前悬臂式围护结构的计算理论，因考虑因素和假定条件的不同，也就有多种方法，大致上可分为四类，见表 8-1。在表 8-1 的四类计算方法中，第一类最为简单而近似，而第四类则比较精确，但计算复杂并有待于进一步发展。

表 8-1 悬臂式围护结构计算理论分类

类别	计算理论及方法	方法的基本条件	方法名称举例
一	较古典的板桩计算理论	土压力已知 不考虑墙体变形	静力平衡法
二	弹性地基梁法	土压力已知 考虑墙体变形	杆系的有限单元法 m 法
三	共同变形理论（弹性）	土体为弹性介质 土压力随墙体变位而变化 考虑墙体变形	弹性有限元法（包括土体介质）
四	非线性变形理论	考虑土体为非线性介质 考虑墙体变形	非线性有限单元法

以下分别阐述各类方法的计算原理:

1. 静力平衡法

古典板桩计算理论认为,悬臂式围护结构在主动土压力作用下,将趋于绕围护结构上的某一点发生转动,从而使土压力的分布发生变化。在图 8-9 的支点 b 处,围护结构背面承受的土压力由主动土压力转到被动土压力,而前面承受的土压力则由被动土压力转到主动土压力。在计算 b 点以下的主动及被动土压力时,可方便地把该点以上的土体当作超载来考虑。假定围护结构底端不承受弯矩和剪力,即可由静力平衡条件,通过求解插入深度的四次方程得到围护结构旋转点的位置、插入深度及内力。

上述方法求解四次方程时,往往需通过试算,计算量较大。因此还可根据 Blum 理论采用简化方法,将旋转点以下的被动土压力近似地在其重心 C 处用一个集中力 P_R 代替(图 8-10)。图 8-10a 中的 t_0 可用 x 来表示,它必须满足绕 C 点的静力平衡条件,由此即可求出围护结构的最小插入深度和内力。简化后采用 $\Sigma M = 0$ 计算得到的插入深度是偏小的,因此 Blum 建议按图 8-10b 计算出 x 后,把 x 增加 20% 作为插入深度。

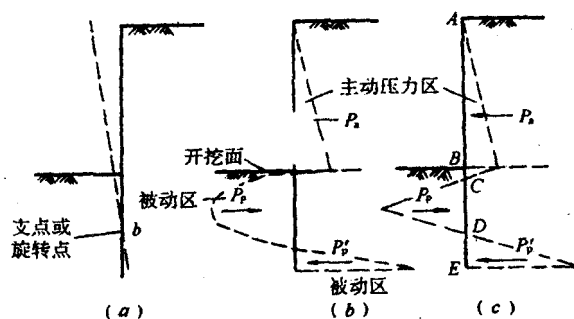


图 8-9 悬臂式围护结构的

土压力分布(所示为砂性土并无水)

(a) 假设弹性线; (b) 可能具有的和有限元解获得的土压力定量分布; (c) 计算用的土压力图

2. 杆系有限单元法

杆系有限单元法将围护结构离散成若干个有限单元,基坑底面以上的围护结构采用梁单元,基坑底面以下部分的围护结构采用弹性地基梁单元,支撑为弹性支承杆单元,荷载为主动土压力和水压力。然后按照常规杆系有限单元法的方法即可求得各结点的位移和各单元的结点力。

3. 共同变形法

共同变形法即墙体在一定的土压力作用下发生变形,这变形又反过来影响土压力的分布。日本的森重龙马提出了墙体变位对土压力产生增减的计算方法。这种方法认为墙

体在基坑开挖前两侧所受的土压力为静止土压力 P_0 ，第一次开挖结束后，开挖侧的土压力为 P_a ，不开挖侧为 P_β ，墙体因此而发生变形 δ ，于是两侧的土压力为：

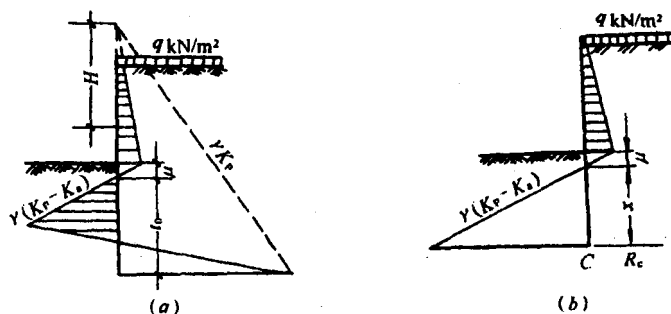


图 8-10 简化计算方法

(a) 简化前的土压力分布；(b) 简化后的土压力分布

被动侧 $P_a = P_0 + K\delta \leq P_p$

主动侧 $P_\beta = P_0 - K\delta \geq P_a$

式中 P_0 ——静止土压力；

K ——地层侧向压缩系数；

P_p 、 P_a ——分别为被动土压力和主动土压力。

其计算步骤类似于弹性地基梁杆系有限单元法。

4. 考虑土体介质的有限单元法

由于基坑开挖工程的复杂性以及有限元分析方法的广泛适用性，许多学者都采用了有限元法来分析基坑开挖问题。采用有限元法可获得整个地基的位移场和应力场随基坑开挖的变化过程，由此可得出围护结构的内力、变形以及基坑周围地表沉降量等，因此越来越多的人采用有限元法分析基坑问题。过去多按二维平面问题求解，目前已开始采用三维有限元来考虑基坑开挖的空间效应。另外，基坑开挖的时间效应也引起了人们的重视。

虽然采用有限元法分析基坑问题可获得大量的数据，但由于基坑工程的复杂性和土体材料本构关系的不确定性，目前采用有限元法分析基坑问题还很难获得满意的结果，其计算精度有待于进一步提高。

二、悬臂式围护结构计算简图

悬臂式围护结构可取某一单元体（如单根桩）或单位长度进行内力分析及配筋或强度计算。悬臂式围护结构上部悬臂挡土，下部嵌入坑底下一一定深度作为固定。宏观上看

像是一端固定的悬臂梁,实际上二者有根本的不同之处。首先是确定不出固定端位置,因为杆件在两侧高低差土体作用下,每个截面均发生水平向位移和转角变形。其次,嵌入坑底以下部分的作用力分布很复杂,难于确定。因而企望以悬臂梁为基本结构体系,考虑杆件和土体的变形一致为条件来进行解题将是非常复杂的。现行的计算方法均采用对构件在整体失稳时的两侧荷载分布作一些假设,然后简化为静定的平衡问题来进行解题。

根据实测结果,悬臂式围护结构在土体作用下的受力简图如图 8-9 (c) 所示。

当基坑支护有地下水作用时,应根据不同的地质情况,考虑地下水的水压力。地下水作用的荷载简图可参见第 2 章的论述。

从图 8-9 (c) 可看出, AC 段为主动土压力, CD 段为被动土压力, DE 段亦为被动土压力,不过它产生在主动土压力区内。这个简图只是一种定性描述,对于静定平衡问题,平行力系只能解两个未知数,要进行定量计算还须作进一步假设,下面分二种情况进行分述:

1. 悬臂式围护桩处于不同的土层或有地下水作用

当悬臂式围护桩全长范围内作用在不同的土层,或者有地下水作用时,问题的解答很难用公式表达,只能采用试算的办法,因而计算简图应尽可能的简化,如图 8-13 (a) 所示。

本简图把 DE 段的被动土压反力简化为一集中力而作用在杆件底端。这样未知数具有两个,即反力 P_R 和埋置深度 d ,可作为静定平衡问题解题。

2. 悬臂桩左右两侧作用的土质均匀,荷载图形有一定的规律性

可采用解析法,推导出一定的数学公式,便于应用。

对于可进行推导的简图,这里给出图 8-11 的三种情形。

图 8-11a 适用于砂性土,假设 $c=0$,在杆下端右侧的被动土压力假设呈三角形分布。

图 8-11b 适用于砂性土,假设 $c=0$,但是杆下端右侧的被动土压力假设为一集中力 P_R 而作用在杆端处。

图 8-11c 与图 8-11b 的区别在于适用于粘性土,即 $c \neq 0$ 。

三、悬臂式围护结构设计计算

悬臂式围护结构的设计计算可按下述步骤进行。

1. 确定计算参数及计算简图

首先应根据地质勘探情况,确定各土层的力学指标参数 c 、 φ 值以及单位重度。根据地下水位和水量情况及各土层渗水的性能,确定堵水或降水、排水方案,以便确定水压力分布。此外,还要确定施工过程和原地已有的地面堆载。也可考虑在地面处自然放坡至一定深度,以便减低支挡高度(图 8-12)。

根据土层情况确定计算简图，即采用图 8-10 或者采用图 8-11 的计算模型。

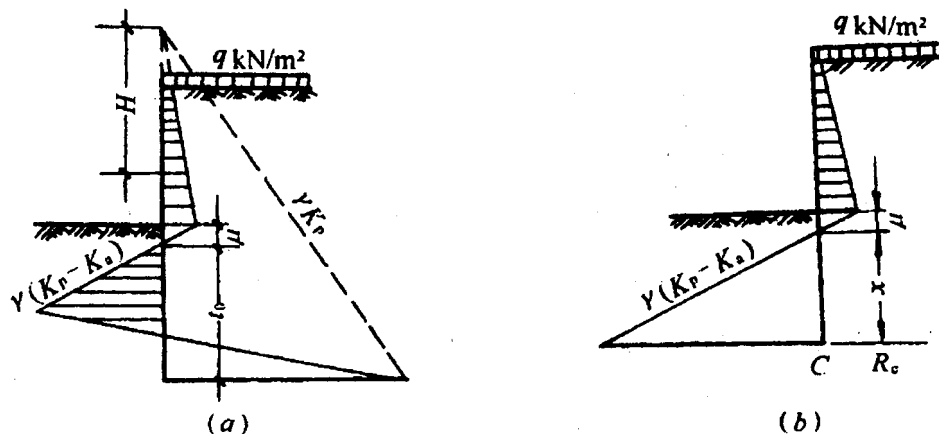


图 8-11 均质土层中桩身受力简图

2. 确定埋入深度

通过稳定分析确定埋入深度是悬臂式围护结构计算最重要的内容。整体稳定分析主要体现为确定杆件埋入坑底的最小深度。只有当埋入坑底部分大于这个长度时杆件才能保持平衡，处于稳定状态，否则杆件将产生旋转。计算这个稳定和不安定的交界点，即埋入临界深度，可用下列方法：

(1) 当杆件全长有不同土层或有地下水作用时，根据上节所述，应采用下面计算简图（图 8-13）。

先假设埋深度 d ，然后分层计算主动土压力和被动土压力。

计算的原则为所有外力均对 E 点取矩，被动土压力产生的力矩须大于主动土压力产生的力矩，即应满足下式：

$$\sum_{i=1}^n E_{ai} b_{ai} \leq \sum_{j=1}^m E_{pj} b_{pj} \quad (8-1)$$

式中 E_{ai} ——主动土压力区第 i 层土压力之和；
 b_{ai} ——主动土压力区第 i 层压力重心至取矩点（ E ）的距离；

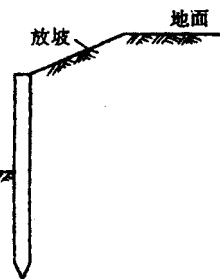


图 8-12 围护结构剖面图（放坡）