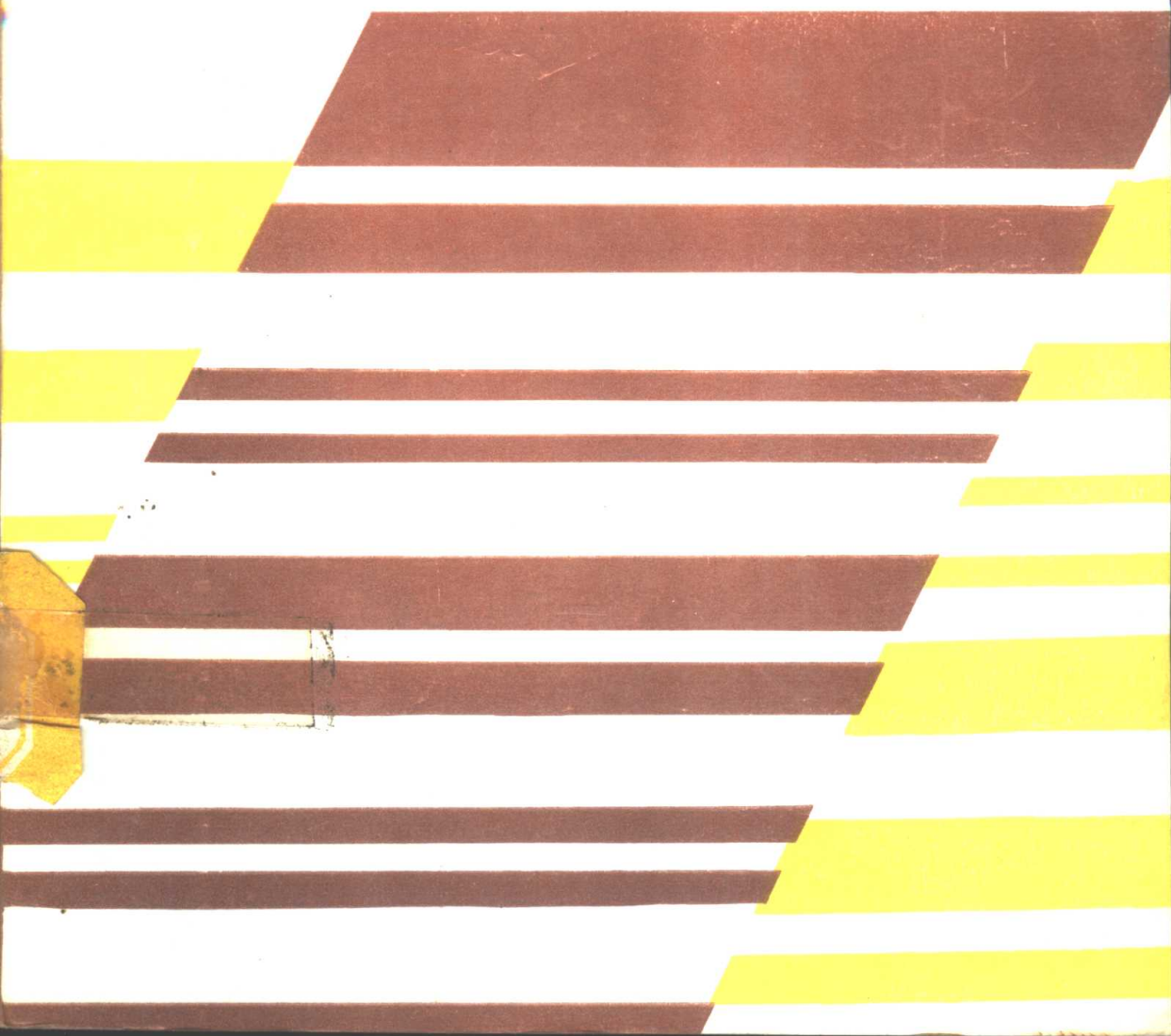


地基处理技术

5

基坑开挖与支护技术

冶金工业部建筑研究总院 主编



地基处理技术

冶金工业部建筑研究总院主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 提 要

本书主要介绍国内外地基处理的新技术与工程实践经验。

全书共分五册:

第一册 强力夯实法与振动水冲法

第二册 喷射注浆法与深层搅拌法

第三册 桩和桩基

第四册 排水固结法与挤密法

第五册 基坑开挖与支护技术

本册为第五册,分别叙述了基坑开挖与支护设计、人工降低地下水位的设计与施工技术 等。

本书可供从事建筑、水利、港口、铁道、公路工程地基处理的研究、设计、施工人员及大专院校有关师生参考。

地 基 处 理 技 术

第 五 册

基坑开挖与支护技术

冶金工业部建筑研究总院 主编

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

河北香河县第二印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 16.75 字数 444 千字

1993 年 2 月第一版 1993 年 2 月第一次印刷

印数00,001~2,500册

ISBN 7-5024-1024-4
TU·73 定价14.00元

前 言

我国地域辽阔，工程地质条件各异，在工程建设中经常会遇到不良的土质条件，从而需要进行地基处理。近十年来，我国在不良地基处理技术方面有很大进展，新的方法不断引进或开发，传统方法不断得到改进和充实，并在许多工程项目中取得良好的技术经济效益。这些方法包括：强力夯实法、振动水冲法、喷射注浆法、深层搅拌法、振实砂桩法以及预应力混凝土桩、钢管桩、大直径灌注桩等。

目前这些方面的资料较多，但比较零散，因而使用很不方便。我们组织编写这套《地基处理技术》丛书旨在就上述多种地基处理方法给从事地基处理的设计、施工、科研、教学人员提供一套系统的技术用书。

全书以实用为主，理论为辅，着重介绍我国工程实践经验，同时兼收了国外地基处理的新成果，以期满足我国当前地基处理技术迅速发展的需要。

全书分为五册，由王吉望、周国钧、周志道、王盛衡同志负责组织编写。

本册为第五册，主要介绍边坡计算、深基坑开挖挡土结构、支护和土方开挖的设计与施工技术；本书还介绍了人工降低地下水位的计算和施工技术。

本册由冶金工业部建筑研究总院王吉望主编。参加编写的有：第一篇第一、二章，冶金工业部建筑研究总院王吉望；第一篇第三章，冶金工业部第十八冶金建设公司卿正国；第二篇，冶金工业部第二十冶金建设公司陈幼雄。在本书的编写过程中，许多单位和个人给我们提供了宝贵的参考资料，在此致以深切谢意。

限于作者水平，书中不妥之处，敬请读者指正。

编 者

1991年11月

目 录

第一篇 基坑开挖与支护	1
第一章 概论	1
第一节 基坑开挖前的勘察与调查	1
第二节 基坑开挖方法的分类和存在问题	3
第二章 土的剪切特性	14
第一节 土的剪切强度	14
第二节 土的剪切试验	18
第三节 影响土剪切特性的因素	32
第三章 基坑开挖的设计与施工	38
第一节 浅基坑的边坡计算	38
第二节 深基坑的支护	45
第三节 基坑开挖	59
第四节 基底处理和封底	73
第五节 侧压力计算	85
第六节 地基反力系数	115
第七节 地下墙与板桩插入坑底深度计算	125
第八节 地下墙与板桩的内力计算	143
第九节 板桩设计与施工	190
第十节 地下连续墙设计与施工	206
第十一节 梁板式、桩板式支护和喷射混凝土支护的设计 与施工	319
第十二节 锚杆设计与施工	333
第二篇 人工降低地下水位	352
第四章 概述	352
第一节 工程中出现的流砂现象及其防治	352
第二节 地下水的人工处理	356
第五章 井点降水法	361

第一节	轻型井点降水法	361
第二节	喷射井点降水法	381
第三节	喷射-射流井点联合抽水法	401
第四节	电渗井点降水法	407
第五节	管井井点降水法	420
第六节	深井井点降水法	422
第七节	降水与回灌结合的施工法	427
第六章	井点降水系统的设计	433
第一节	对地下水的调查	433
第二节	井点降水系统的设计	454
第七章	井点降水系统的施工与管理	483
第一节	井点降水系统的施工	483
第二节	井点降水系统的管理	497
第八章	降水引起地基土的变形	507
第一节	实例	507
第二节	降水引起地基土变形的机理分析	515
第三节	井点作用下土坡的稳定性	520
第四节	降水预压	524
参考文献		528

第一篇 基坑开挖与支护

第一章 概 论

地下工程在基本建设工程中具有重要的地位，其施工要求具有安全性、可靠性和经济性。基坑开挖是地下工程中不可忽视的重要组成部分。基坑开挖可以采用不同的方法，而采用的方法在技术上、经济上的合理性对整个地下工程的工程造价和进度均具有重要的影响。

确定基坑开挖方法时，需要根据结构物地下部分的设计要求，如埋深和平面尺寸，密切结合当地的工程地质和水文地质条件，结合周围场地的条件以及根据施工的机械装置和技术水平加以确定。

第一节 基坑开挖前的勘察与调查

一、已往资料的收集

已往资料的收集包括以下几项：

(1) 有无地下埋设物。要了解上下水道、煤气管道等在施工场地的埋设位置，也要调查有否已经废掉的地下埋设物。

(2) 施工场地周围构筑物的基础状况。需要了解基础的埋深、形式和基础荷载。

二、现场调查

现场调查包括以下内容：

(1) 对已往资料的补充。要对埋设物的种类、位置和危险性作出详细的调查。

(2) 周围建筑物的现状。了解周围现有建筑物、构筑物的

情况，以及在使用中的要求。

(3) 施工场地周围的交通状况和环境。包括砂、石等建筑材料的运输条件和噪音对周围环境的影响。

三、工程地质勘察

工程地质勘察包括以下部分：

(1) 钻孔调查。查明施工场地的土层分布、地下水分布，勘察的深度通常为基础开挖深度的1.5倍以上。

(2) 原状土的土工试验。对钻深过程中取出的各土层原状土进行试验，根据土工试验所获取的抗剪强度、渗透系数等土的计算指标进行基坑四周土压力、挡土结构内力、边坡稳定性、地基变形、基坑涌土等计算分析。

(3) 抽水试验。调查地下水位和涌水情况。

应该指出，土的性质是十分复杂的，目前进行的一般土工勘察试验所得到的土质特性参数往往误差较大，而计算分析结论的误差也较大。所以进行计算分析时，除了对计算原理、假定条件了解清楚外，还必须对计算指标的选用采取十分谨慎的态度。

除上所述，在确定施工方法时，通常还需要考虑下列因素：

- (1) 施工的经济性和安全可靠性；
- (2) 施工场地大小；
- (3) 开挖面积大小、形状和深度；
- (4) 开挖的时间和施工期；
- (5) 场地周围建筑物的重要性；
- (6) 其他与施工有关的事项。

根据以上调查结果，选择与地基条件相适应的基坑开挖方法。但是在开挖过程中，预想不到的事故往往发生，因此在施工过程中应随时观察。这就意味着要加强在施工过程中有计划的观测，根据所获得的资料，校核原设计的正确性，并在必要时，修改原设计或者采取补充措施，防止意外情况的发生。这也就是所谓“信息化施工”。实践已经证明，“信息化施工”是保证深基坑安全施工，并取得良好技术、经济手段的重要措施。

第二节 基坑开挖方法的分类和存在问题

基坑开挖的形式大体可分为三类：（1）放坡开挖；（2）挡土支护开挖；（3）分部开挖。

一、放坡开挖

放坡开挖是基坑开挖常用的一种形式，适用于硬质、可塑性粘土和良好砂性土，采用放坡开挖时，基坑开挖的面积要大于实际基础的面积。因此施工现场要有足够的放坡地方，同时还需要选择合理的边坡，以保证开挖过程中边坡的稳定性。为了防止大面积边坡表面强度的降低，有时还需要对边坡表面采取保护措施。

开挖边坡表面的稳定性包括坡面的自立性和边坡整体的稳定性。开挖的安全边坡要根据土的性质由理论计算确定，另外还要受到实际施工条件变化的影响，例如气候和相邻道路等的影响。

均质的砂质地基开挖，其坡角主要取决于砂的内摩擦角，即坡角应小于内摩擦角。砂质地基开挖中，降低地下水位到开挖基坑底面以下是十分重要的，如果忽视了这一点，则可能出现涌、流砂、甚至导致整体工程的失败。

粘性土地基开挖中，其斜坡的稳定性主要取决于滑动计算，其安全系数通常要求为1.5。这是考虑到施工中种种不利的实际条件。在粘性土地基中，处理好地下水，仍然是保证边坡稳定的重要因素。

放坡开挖的斜面高度考虑到施工安全和便于作业，通常限于3~6米，如果高于这个斜面高度，则必须采用分段开挖，分段之间应设置平台，平台的宽度为2~3米。

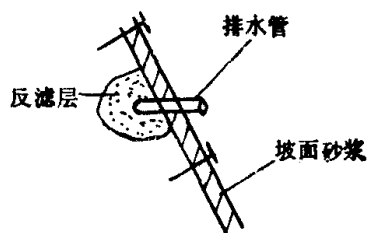


图 1.1.1 护坡排水孔构造

处理坡面的材料通常采用砂浆，处理后应防止处理材料的剥

落。降雨时，土中的含水量有所变化，因而时常发生涌水，并从斜坡的一部分地方冒出，因此采用砂浆作保护层时，应设置排水孔，排水孔的末端应设置滤水层，以防混浊水的流出，若有混浊水流出时，这就是斜面崩坏或发生其他破坏的前兆，应引起特别注意。(图1.1.1)。

二、挡土支护开挖

挡土支护开挖是在建筑物密集的道路或在工厂区广泛采用的一种方法。先在施工基坑的周围打入板桩或设置地下连续墙等挡土壁，然后开挖。必要时挡土壁之间可采用支撑(图1.1.2)或采用土锚杆以减小挡土壁的内力和位移(图1.1.3)这种方法可以用于施工场地受到限制的地方。

放坡开挖受土质条件的影响很大，而挡土支护开挖即使在很软弱的土层中也可以使用。

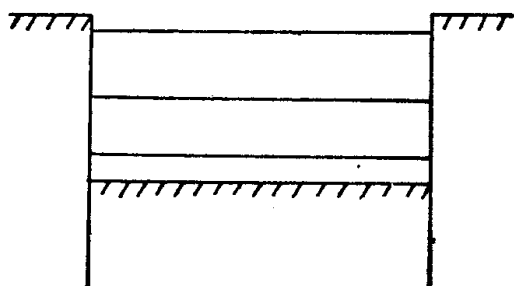


图 1.1.2 具有横向支撑的挡土结构

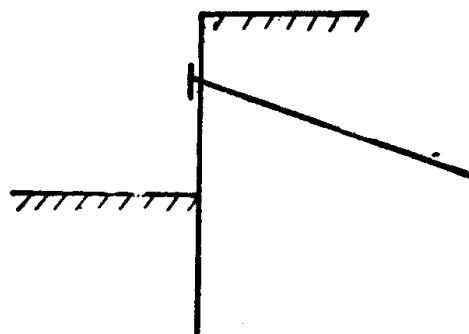


图 1.1.3 具有土锚杆的挡土结构

为了保证挡土和支撑或锚固系统的可靠性，即防止基坑坍塌和产生大的变形，挡土的板桩或连续墙应该打入到基坑开挖深度以下一定的深度，其上部应采用具有足够强度或承载力的圈梁、横撑或土锚杆。

一般来说，挡土支护开挖方法多用于深基坑的开挖，其挡土壁的长度较大。因此挡土壁及其支撑或锚固的设计是保证安全施工的关键。

1. 挡土壁

挡土壁的种类很多，其施工方法也不一样，应根据开挖深度，地下水和土质条件，周围环境、工程的重要性、工程造价、施工条件等多种因素加以考虑。

(1) 钢板桩。钢板桩的规格种类在国内尚不多，但在国外是很多的。钢板桩的选择通常是根 据土质和基坑的不同深度加以选择的。在日本，钢板桩限于开挖深度在20米以内的基坑。

钢板桩的施工可能会引起相邻地基的变形和产生噪声、振动，对周围环境影响很大。因此在建筑物密集的地区，其使用有时受到限制。此外，当土层很坚硬时，板桩则难以打下。

板桩施工中，应确保桩的垂直度和相邻板桩的紧密咬合（图 1.1.4）。钢板桩本身虽然不透水，但在地下水位高的地质条件下施工时，钢板桩之间互相咬合处的止水问题是必须考虑的，有时应采用一些隔水、防漏措施，以保持整个挡土壁的不透水性。

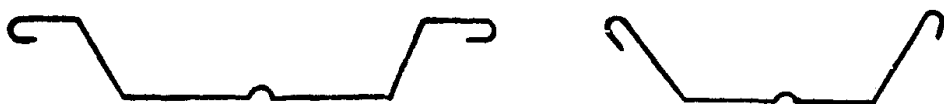


图 1.1.4 钢板桩

此外，由于第一道支撑或锚杆均是在开挖到一定深度之后才能设置的，所以为了减少上部板桩在开挖初期的变形，应在板桩头部设置一道圈梁。

(2) H型钢与木板组合挡土壁。在有些土质较好的条件下，可用H型钢或I型钢轨，每隔一段距离打一根，随着开挖的进行，在钢板桩或钢轨之间可用木横壁板插入，形成由钢板桩或钢轨和横木板组合而成的挡土壁（图1.1.5）。横木板常采用松木，板的厚度为7.5~10厘米。

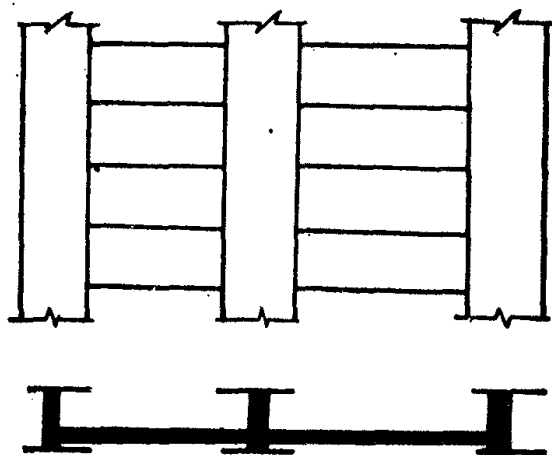


图 1.1.5 组合挡土结构

当地下水位高而又要求不透水时，这种方式应和井点降水联合使用。此外，如果板的后面有空隙，土体局部崩塌时将对四周有所影响，所以，施工挡板时应加强质量监督。这种方法因在基坑底部标高以下板桩的被动土压力小，所以不在易于产生基坑涌土的软弱地基采用。

(3) 柱列式挡土壁。上述两种方法在施工后均需将板桩拔出，若拔出过程中或拔出后处理不当就会对相邻构造物有影响。特别是建筑物密集的地区应考虑这种影响。柱列式挡土壁是由现浇灌注桩间断排列作为挡土结构的。这种桩刚度大，施工后不用拔起，而且避免了噪音，振动等影响，因此使用范围不断扩大。

柱列式挡土壁的主要缺点是：1) 有时要对桩间土进行处理。若在土质坚硬和地下水位较深的情况下，桩间土可以不予处理，反之，桩间土需要妥善的加以处理。图1.1.6所示为几种桩间土

的处理方法，这种处理的目的在于形成连续的不透水面。在目前的施工中，由于这种处理方法在施工技术上尚不为大家所熟悉，因此应预先进行试验和做好施工质量控制，以达到预期的隔水目的；2) 这种方法有时工期较长，同时由于挡土壁本身只是一种临时构筑物，不是永久结构物的一部分，因此造价也比较高。

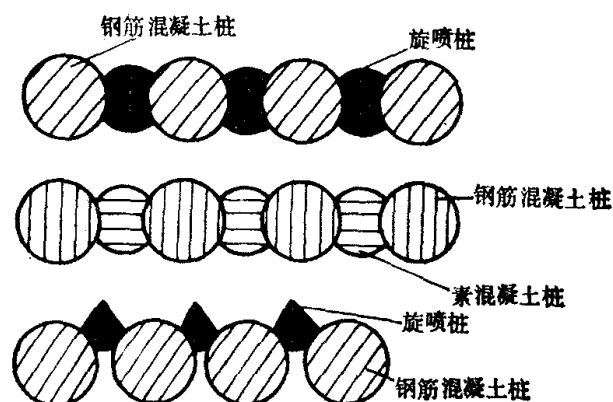


图 1.1.6 桩柱式挡土结构

(4) 地下连续墙。地下连续墙的刚度大，不透水，施工中可以保持相当的精度，所以可以作为永久建筑物的一个组成部分。

地下连续墙的主要优点如下：

1) 适用的土质条件较为广泛。特别适用于软土层及砂性土中，施工中无振动、无噪音，不放坡；

2) 适用于建筑物和构筑物密集的地区，对邻近的结构和地下工程设施没有影响。国外有离建筑物只有几厘米处顺利进行地下连续墙施工的实例。

地下连续墙的造价虽然较高，但是却减少因基坑开挖而将引起相邻建筑物、结构物变形，而采用许多补救措施所花费的大量资金。

鉴于上述优点，因此地下连续墙不仅作为基坑开挖的临时挡土结构，而且还在地下铁道，防渗透等方面获得应用。

地下连续墙的缺点在于需要用大量泥浆护壁和进行循环，并需要有完备的管理系统。同时还要注意地下连续墙施工中各单元槽段之间的连系。

2. 连系梁

连系梁的作用是承受板桩，地下连续墙的土压力，然后传递给支撑。在深基坑开挖中，通常采用钢连系梁或钢筋混凝土连系梁。钢连系梁的材料性能可靠，可以多次使用，但是一次投资大，并需解决互相连接等问题。

钢筋混凝土连系梁，适用于大跨度的基坑开挖。这种梁的断面可以自由选择，不受限制。缺点是不能重复使用，其强度需要等待一个时间才能发挥，并且拆除时非常费工。

无论是钢的或者是钢筋混凝土连系梁，其断面均根据所能承受的弯矩而定，并进行其他方面的强度验算。

连系梁的施工中应注意下列事项：

- (1) 连系梁与横支撑的节点连接和拐角等处可能会局部压屈，这些部位应在结构上予以加强；
- (2) 各个接点的螺栓必须拧紧；
- (3) 当多次使用连系梁时，应检查连系梁有无损坏的地方；
- (4) 施工过程中应对土压力、变形情况和钢筋应力进行观测。

3. 横向支撑与土锚

与连系梁一样，横向支撑梁也可采用钢梁或钢筋混凝土梁。横向支撑梁施工中的注意事项与连系梁相似。在现场应做好土压力及支撑轴向力的观测，以此研究分析施工过程的安全度。

上述横向支撑是作为受压件采用的。有时也可以采用拉杆和地锚等受拉构件来承受土的压力（图1.1.7）。但这种方法在地基较好的情况下效果较好，而在软弱土质中，必须具有相当的锚固力，才能减少挡土结构的变形和位移。

从50年代起，土层锚杆已在基坑挡土中获得应用。近年

来，在地下铁道和建筑物地下结构的基坑开挖中，也得到成功的应用。

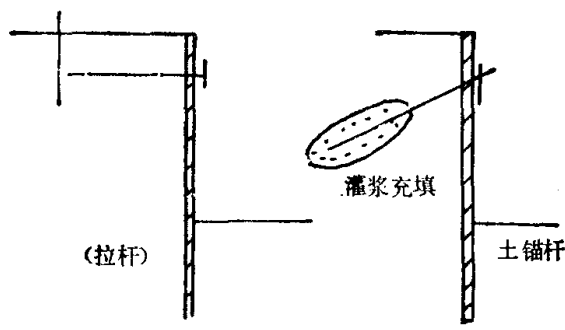


图 1.1.7 拉杆和土锚杆形成的挡土壁

土层锚杆由锚头、拉杆、锚固体组成 (图1.1.8a)。土层锚杆以主动滑动面为分界线，分为锚固段和非锚固段(图1.1.8b)。为了提高锚杆的承载力，可以采取加长锚固体或者扩大锚固段等方法。

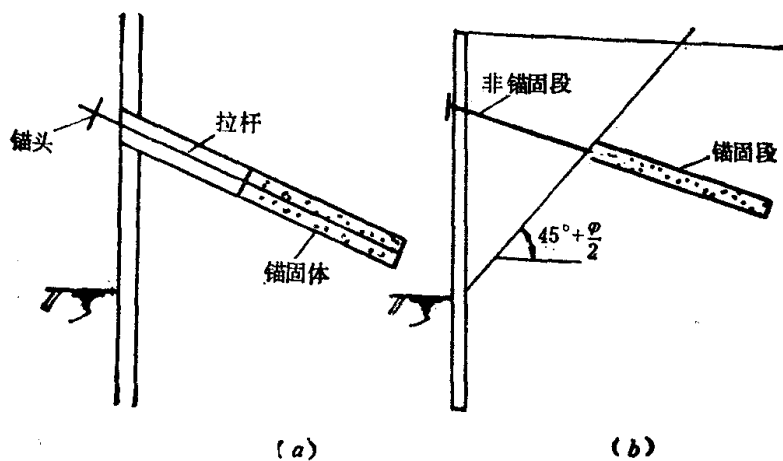


图 1.1.8 锚杆的构造

a--锚杆的组成；b--锚固段和分锚固段

4. 支柱

采用坑内横向支撑体系时，一旦基坑较宽大，往往在基坑内

部要设置若干支柱。支柱的作用在于减小横向支撑的跨度以及承受支撑自重或其他运输荷载（如图1.1.9）。

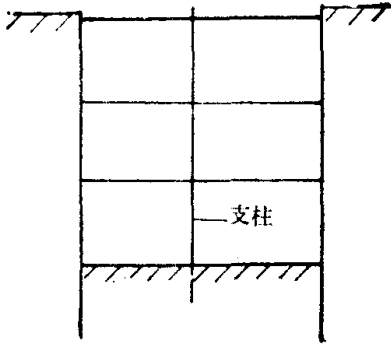


图 1.1.9 横向支撑的支柱

在开挖过程中，支柱可能会上抬或下沉，就会引起对支撑的附加弯矩。这对仅仅根据横向土压力计算的支撑横梁会产生不利影响。所以支柱也应具有足够的承载力，并要打入到基坑底部以下一定深度，在施工过程中要观测支柱变形的情况，以便及时采取相应的措施。

三、分部开挖

分部开挖法就是首先在基坑的周围将板桩打好，开挖时，先在中间部分开挖，而板桩四周一定范围内的土暂不开挖，使之形成对板桩的被动土压力，用以保持板桩的稳定性，当中间的基础或地下构筑物施工完成之后，用斜撑或水平支撑把板桩支撑到已施工完毕的基础或地下构筑物上，然后进行四周土的挖掘和结构施工（图1.1.10）。

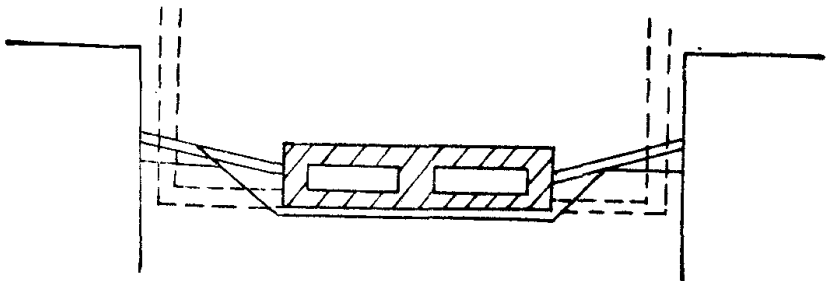


图 1.1.10 基坑分阶段开挖法

分部开挖法的缺点是施工分成两个阶段，而工期延长，先施工的基础需要养生，并且在斜撑架设之前板桩顶部可能已有较大的位移。此外，还需注意的斜撑向上分力。

这种方法对土质较好的粘性土和密实的砂层较为适用。因为只要残留较少的土就可以满足形成被动土压力的要求。但对于软弱土层，如软粘土和淤泥，就需要残留大量的土，这样做显然是不适宜的。

在两次开挖量的分配上，通常是第一次开挖量与第二次开挖量之比为1:2，如果第二次开挖量大于这个限值，则应进一步考虑是否还采用这个方法。

在施工中，既要考虑二次开挖面的稳定性，也要考虑包括斜撑在内的挡土系统的稳定性。二次开挖面设计、施工方法与前述的一般设计方法相同，而挡土系统的稳定性则需要现场对支撑进行认真量测。

在有些情况下，分析开挖的施工顺序和上述的相反，如图1.1.11所示，即先将两侧的结构物开挖，并施工完毕，然后再将中部残留的土挖去，再进行全部地下结构物的施工。

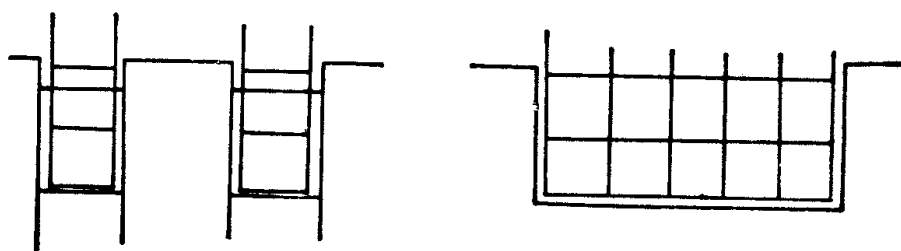


图 1.1.11 分阶段开挖法

这种先两侧后中间的施工方法适用不能大面积开挖的软弱地基。但由于将地下工程分为两期施工，因此工期延长，板桩的数量增加，造价也随之增加。但是为了防止基坑隆起，有时也不得不采取这样的方法。

基坑开挖中，往往要对周围环境引起影响。除了噪音、振动