



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

土木工程专业系列教材

高层建筑施工

主编 丁红岩

天津大学出版社
中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
土木工程专业系列教材

高层建筑施工

主 编 丁红岩



天津大学出版社
中央广播电视大学出版社

内容提要

本教材是依据 2001 年 11 月审定的中央广播电视大学开放教育试点“工学科土建类土木工程专业”高层建筑施工教学大纲以及 2002 年 3 月审定的高层建筑施工多媒体教材一体化设计方案编写的。本教材是“土木工程专业系列教材”之一。

本书共分 9 章,即深基坑施工、地下连续墙、土层锚杆、桩基础工程、大体积混凝土、起重运输机械、高层建筑施工用脚手架、高层施工、高层钢结构施工。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑施工/丁红岩主编. —天津:天津大学出版社,
2004.11

ISBN 978-7-5618-2063-6

I. 高… II. 丁… III. 高层建筑-工程施工-电视
大学-教材 IV. TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 118239 号

出版发行 天津大学出版社

中央广播电视大学出版社

出版人 杨风和

地址 天津市卫津路 92 号天津大学内(天津大学出版社)

北京市海淀区西四环中路 45 号(中央广播电视大学出版社)

网址 www.tjup.com

电话 营销部:022-27403647 邮购部:022-27402742(天津大学出版社)

营销中心:010-58840200 读者服务部:010-58840246(中央广播电视大学出版社)

总编室:010-68182524(中央广播电视大学出版社)

印刷 北京云浩印刷有限责任公司

经销 全国各地新华书店

开本 210mm×297mm

印张 14.5

字数 464 千

版次 2004 年 11 月第 1 版

印次 2013 年 2 月第 11 次

印数 61001~76000

定价 21.00 元

土木工程专业课程建设

委员会名单

顾 问:	刘锡良	江见鲸	顾晓鲁		
策 划:	钱辉镜	杨风和	任 岩	陈家修	
主 任:	姜忻良				
副主任:	蒋克中	王铁成	刘兴业		
委 员:	丁 阳	丁红岩	于俊英	王 圻	王金敏
	方根男	刘宗仁	刘津明	包世华	罗福午
	孙天正	孙天杰	匡文起	李 杰	李林曙
	李砚波	李运光	任兴华	毕继红	严士超
	杨春风	陈永灿	陈忠良	吴铭磊	旷天鑑
	郑 刚	郑家扬	邹积明	何勇军	邵立国
	张晋元	张质文	陆培毅	周建宾	赵奎生
	赵 彤	赵铁生	常春伟	洪 钧	高学平
	黄世昌	康谷贻	韩庆华	温庆博	鄢小平
	魏鸿汉	戴自强			
秘 书:	郭 鸿	陈英蕙			

前 言

本教材是依据 2001 年 11 月审定的中央广播电视大学开放教育试点“工学科土建类土木工程专业”高层建筑施工课程教学大纲以及 2002 年 3 月审定的高层建筑施工多媒体教材一体化设计编写的。本教材是“土木工程专业系列教材”之一。

开放教育是一种新型的远程教育模式,其培养对象主要是以业余学习为主的成人。在编写本教材过程中,充分考虑到学生的学习环境、学习需要和学习方式,努力贯彻“以学生为中心”的现代教育思想,精选内容,理论联系实际,加强“导学”、“助学”功能,深入浅出,循序渐进,适应开放教育试点学生自学的需要,促使学生学以致用,培养分析问题和解决问题的能力。

高层建筑施工课程多种媒体教材包括文字教材以及录像教材。两种教学媒体发挥各自优势,取长补短,形成互补的较完善的综合性教材体系。录像教材突出对各种高层建筑施工重点难点的讲解与分析,使学生容易理解和掌握。本教材强调高层建筑施工课程内容的系统性,并通过讲解例题,提高学生分析和解决问题的能力。本书是高层建筑施工课程多种媒体教材的文字教材。

全书共分 9 章,即深基坑施工、地下连续墙、土层锚杆、桩基础工程、大体积混凝土、起重运输机械、高层建筑施工用脚手架、高层施工、高层钢结构施工。

参加编写的有天津大学丁红岩(第 1 章、第 2 章、第 4 章),河北工业大学戎贤(第 5 章、第 7 章、第 8 章),中央广播电视大学郭鸿(第 9 章),天津大学杜杰(第 3 章、第 6 章)。中央广播电视大学郭鸿老师做了本书的教学设计。

本书由天津大学陈章洪教授、林瑞铭教授和天津第一建筑工程公司杜友亮总工程师审定。审定专家对本教材进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的建设性意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,再加上时间较紧,书中定有不妥之处,恳切希望广大读者及专家批评、指正。

编 者

2004 年 8 月

课程组长：丁红岩
主 编：丁红岩
主持教师：郭 鸿
责任编辑：张质文

目 录

第1章 深基坑施工	(1)
1.1 基坑排水、降水方法	(1)
1.2 边坡稳定	(4)
1.3 基坑土方开挖	(6)
1.4 基坑支护体系的选型	(9)
1.5 挡土支护结构体系计算	(13)
1.6 支护结构施工	(22)
1.7 支护结构的监测	(25)
第2章 地下连续墙	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 地下连续墙作为支护结构时的内力计算	(31)
2.3 地下连续墙施工	(33)
2.4 逆做法施工技术	(42)
第3章 土层锚杆	(51)
3.1 土层锚杆的发展与应用	(51)
3.2 土层锚杆的构造	(52)
3.3 土层锚杆设计	(53)
3.4 土层锚杆施工	(63)
3.5 土层锚杆的试验和检验	(67)
第4章 桩基础工程	(69)
4.1 预制桩施工	(69)
4.2 灌注桩施工	(75)
第5章 大体积混凝土	(84)
5.1 大体积混凝土的温度及湿度变形——膨胀及收缩	(84)
5.2 混凝土的温度应力	(91)
5.3 大体积混凝土结构裂缝控制的综合措施	(95)
5.4 大体积混凝土施工	(100)
第6章 起重运输机械	(103)
6.1 起重运输体系的选择	(103)
6.2 塔式起重机	(106)
6.3 垂直升运机械	(112)
6.4 泵送混凝土施工机械与泵送混凝土施工	(114)
第7章 高层建筑施工用脚手架	(124)
7.1 扣件式钢管脚手架	(124)
7.2 碗扣式钢管脚手架	(136)
7.3 门形组合式脚手架	(143)
7.4 附着升降脚手架	(147)
第8章 高层施工	(155)
8.1 现浇高层钢筋混凝土结构施工的几个问题	(155)
8.2 钢筋连接技术	(160)
8.3 滑升模板施工	(176)

第 1 章 深基坑施工

学习目标

1. 了解降低地下水位的方法。
2. 掌握边坡稳定的简单计算方法。
3. 掌握基坑开挖和地基处理所采用的措施。
4. 掌握挡土支护结构的形式以及支护体系中荷载的分布形式,并能对锚杆支护挡墙结构进行简单的计算。
5. 了解支护结构体系结构强度和变形的监测方法。

学习重点

1. 掌握基坑开挖和地基处理的方法措施。
2. 掌握挡土支护结构体系的选型方法和适用范围。
3. 了解常规支护结构的监测方法。

1.1 基坑排水、降水方法

在土方开挖过程中,当开挖底面标高低于地下水位的基坑(或沟槽)时,由于土的含水层被切断,地下水会不断渗入坑内。地下水的存在,非但土方开挖困难、费工费时、边坡易于塌方,而且会导致地基被水浸泡,扰动地基土,造成工程竣工后建筑物的不均匀沉降,使建筑物开裂或破坏。因此,基坑槽开挖施工中,应根据工程地质和地下水文情况,采取有效的降低地下水位措施,使基坑开挖和施工达到无水状态,以保证工程质量和工程的顺利进行。

基坑、沟槽开挖时降低地下水位的方法很多,一般有设各种排水沟排水和用各种井点系统降低地下水位两类方法,其中设明(暗)沟、集水井排水为施工中应用最为广泛、简单、经济的方法,各种井点主要应用于大面积深基坑降水。

1.1.1 集水坑排水法

1. 排水方法

集水坑排水的做法是设置集水坑和排水沟,根据工程的不同特点具体有以下几种方法。

(1) 明沟与集水井排水

明沟与集水井排水系在开挖基坑的一侧、两侧或四侧,或在基坑中部设置排水明(边)沟,在四角或每隔 20~30 m 设一集水井,使地下水流汇集于集水井内,再用水泵将地下水排出基坑。排水沟深度应始终保持比挖土面低 0.4~0.5 m;集水井应比排水沟低 0.5~1.0 m

或深于抽水泵进水阀的高度以上,并随基坑的挖深而加深,以便保持水流畅通,使地下水位低于开挖基坑底 0.5 m。一侧排水沟应设在地下水的上游。一般小面积基坑排水沟深 0.3 ~ 0.6 m;底宽应不小于 0.2 ~ 0.3 m,水沟的边坡为 1:1 ~ 1:5,沟底设有 0.2% ~ 0.5% 的纵坡,使水流不致阻塞。该方法施工方便、设备简单、降水费用低、管理维护较易,故应用最多。它适用于土质情况较好、地下水不很旺、一般基础及中等面积基础群和建(构)筑物基坑(槽、沟)的排水。

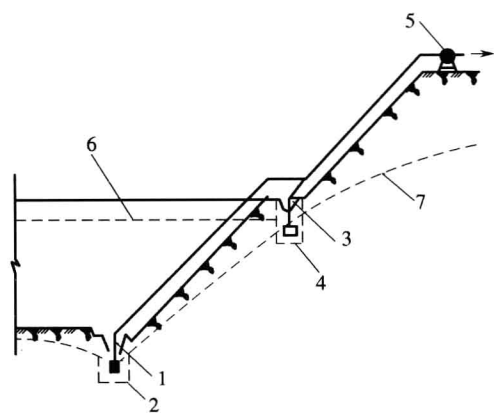


图 1-1 分层明沟排水法

1—底层排水沟；2—白底集水井；3—二层排水沟；4—二层集水井；5—水泵；6—原地下水位线；7—降低后地下水位线

(2) 分层明沟排水

当基坑开挖土层由多种土组成,中部夹有透水性强的砂类土时,为避免上层地下水冲刷基坑下部边坡造成塌方,可在基坑边坡上设置 2~3 层明沟及相应的集水井,分层阻截并排除上部土层中的地下水。在确定排水沟与集水井的设置时,应注意防止上层排水沟的地下水溢流向下层排水沟,冲坏、掏空下部边坡,造成塌方(如图 1-1 所示)。该方法可保持基坑边坡稳定,减少边坡高度和扬程,适于深度较大、地下水位较高且上部有透水性强的土层的建筑物基坑排水。

(3) 深层明沟排水

当地下基坑相连,土层渗水量和排水面积大时,为减少大量设置排水沟的复杂性,可在基坑外距坑边 6~30 m 或基坑内深基础部位开挖一条纵长深的明排水沟作为主沟,使附近基坑地下水均能通过深沟自行流入下水道或流入另设的集水井,再用泵排到施工场地以外的沟道中排走。在建(构)筑物四周或内部设支沟与主沟连通,将水流引至主沟排走。排水主沟的沟底应比最深基坑底低 0.5~1.0 m。主沟比支沟低 0.5~0.7 m,通过基础部位用碎石及砂子作盲沟,以后在基坑回填前分段用黏土回填夯实截断,以免地下水在沟内继续流动破坏地基土。深层明沟亦可设在厂房内或四周的永久性排水沟位置,集水井宜设在深基础部位或附近。这种排水方法是将多块小面积基坑排水变为集中排水,降低地下水位面积和深度,不仅能节省降水设施和费用,而且施工方便,降水效果好。它适用于深度大的大面积地下室、箱基、设备基础群等施工时排水。

(4) 暗沟排水

在场地狭窄、地下水很大的情况下,设置明沟比较困难,可结合工程设计,在基础底板四周设暗沟(又称盲沟)。暗沟的排水沟坡向集水坑(井)。在挖土时先挖排水沟,随挖随加深,至基础底板标高后做成暗沟,使基础周围地下水流向永久性下水道或集中到设计的永久性排水坑,用水泵将地下水排走,使水位降低到基底以下,形成连通基坑内外的暗沟排水系统,以控制地下水位(如图 1-2 所示)。本方法可避免地下水冲刷边坡造成塌方,减少边坡挖方量,适于基坑深度较大、场地狭窄、地下水较旺的构筑物施工基坑排水。

(5) 利用工程设施排水

选择基坑附近深基础工程先施工,作为施工排水的集水井或排水设施,使基础内及附近地下水汇流到该较低处集中,再用水泵排走;或先完成建筑物周围或内部为防水、排水而设计的渗排水工程或下水道工程的施工,这一排水系统作为整个工程排水设施,方法是在基坑一侧或两侧设排水明沟

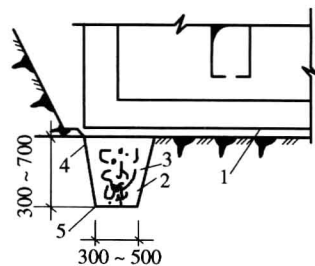


图 1-2 暗沟排水构造

1—垫层；2—砂框(中、粗砂)；3—外为 5~20 mm 粒径卵石,中间为 20~80 mm 粒径卵石；4—油毡；5—沟底用混凝土筑成不小于 5‰ 的坡度坡向集水井

或暗沟,将水流引入渗排水系统或下水道排走。由于该方法是利用永久性工程设施降排水,省去大量挖沟工作量也减少了排水设施,因此最为经济。这种方法适用于工程附近有较深的大型地下设施(如设备基础群、地下室、油库等)工程的排水。

2. 排水机具的选用

基坑排水广泛采用动力水泵,一般有机动泵、电动泵、真空及虹吸泵等。选用水泵类型时,一般取水泵的排水量为基坑涌水量的1.5~2倍。当基坑涌水量 $Q < 20 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,可用隔膜式水泵或潜水电泵;当 $Q = 20 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,可用隔膜式或离心式水泵,也可用潜水电泵;当 $Q > 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,多用离心式水泵。隔膜式水泵排水量小,但可排除泥浆水,选择时应按水泵的技术性能选用。当基坑涌水量很小,亦可采用人力提水桶、手摇泵或水龙车等将水排出。

1.1.2 暗排水法

在地下水位以下含水丰富的土层中开挖大面积基坑时,采用一般的明沟排水方法,常会遇到大量地下涌水,难以排干;当遇粉、细砂层时,还会出现严重的翻浆、冒泥、流砂等现象,这不仅使基坑无法挖深,而且还会造成大量水土流失,使边坡失稳或附近地面出现塌陷,严重时还会影响邻近建筑物的安全。当遇有此种情况出现时,一般应采用人工降低地下水位的方法施工。人工降低地下水位,常用的为各种井点排水方法(如图1-3)。它是在基坑开挖前,沿开挖基坑的四周或一侧、二侧埋设一定数量深于坑底的井点滤水管或管井,以总管连接或直接与抽水设备连接从中抽水,使地下水位降落到基坑底0.5~1.0 m以下,以便在无干燥的条件下开挖土方和进行基础施工。这样,不仅可避免大量涌水、冒泥、翻浆,而且在粉细砂、粉土地层中开挖基坑时,采用井点法降低地下水位,可防止流砂现象的发生;同时由于土中水分排除后,动水压力减小或消除,大大提高了边坡的稳定性,边坡可放陡,可减少土方开挖量;此外由于渗流向下,水体产生的重力增加了土颗粒间的压力,使坑底土层更为密实,改善了土壤的性质;而且,井点降水可大大改善施工操作条件,提高工效、加快工程进度。但井点降水设备一次性投资较高,运转费用较大,故施工中应合理地布置和适当地安排工期,以减少作业时间,降低排水费用。

井点的种类有单层轻型井点、多层轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点、深井井点、无砂混凝土管井点以及小沉井井点等。选用时可根据土的种类,透水层位置、厚度,土层的渗透系数,水的补给源,井点布置形式,要求降水深度,邻近建筑、管线情况,工程特点,场地和设备条件以及施工技术水平等情况,作出技术经济和节能比较后确定,选用一种或两种井

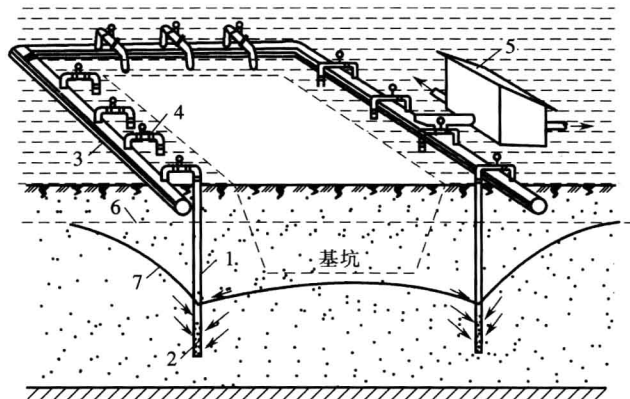


图 1-3 轻型井点法降低地下水位全貌图

1—井点管;2—滤管;3—总管;4—弯联管;5—水泵房;6—原有地下水位线;7—降低后地下水位线

注:图中黑点表示空气;实箭头表示水流

点,或井点与明排综合使用。表 1-1 为各种井点适用的土层渗透系数和降水深度情况,可供选用参考。

表 1-1 各种井点的适用范围

项次	井点类别	土层渗透系数(m/d)	降低水位深度(m)
1	单层轻型井点	0.5~50	3~6
2	多层轻型井点	0.5~50	6~12
3	喷射井点	0.1~2	8~20
4	电渗井点	<0.1	根据选用的井点确定
5	管井井点	20~200	3~5
6	深井井点	5~25	>15

注:无砂混凝土管井点、小沉井井点适用于土层渗透系数 10~250 m/d,降水深度 5~10 m。

1.2 边坡稳定

开挖基坑时,如条件允许可放坡开挖。与用支护结构支挡后垂直开挖比较,在许多情况下放坡开挖比较经济。放坡开挖要正确确定土方边坡,对深度在 5 m 以内的基坑,土方边坡的数据可从有关规范和文献上查出,对深基坑的土方边坡,有时则需通过边坡稳定验算来确定,否则处理不当就会产生事故。我国在深基坑边坡开挖方面发生过一些滑坡事故,有的虽然未滑坡,但产生了过大的变形,影响施工正常进行。对于有支护结构的深基坑,在进行整体稳定验算时,亦要用到边坡稳定验算的知识。

边坡稳定的影响因素。

土方边坡的大小,与土质、基坑开挖深度、基坑开挖方法、基坑开挖后留置时间的长短、附近有无堆土及排水情况等有关。基坑开挖后,如果边坡土体中的剪应力大于土的抗剪强度,则边坡就会滑动失稳。因此,凡是影响土体中剪应力和土体抗剪强度的因素,皆影响土方边坡的稳定。例如,因风化等气候影响使土质变得疏松,黏土中的夹层因为浸水而产生润滑作用,以及细砂、粉砂土因受振动而液化等因素皆会使土体的抗剪强度降低。又如,土方边坡附近存在荷载尤其是存在动载,因下雨使土体中的含水量增加导致使土体自重增大,由于水在土体中渗流而产生动水压力,水浸入土体的裂缝之中产生静水压力等都会使土体内的剪应力增大造成局部剪切破坏。这些局部发展成一条连贯的剪切破坏面,土体的稳定平衡状态遭到破坏,最终发生失稳滑坡。以上这些因素都直接影响土方边坡的稳定。

从理论上说,研究土体边坡稳定有两类方法:一是利用弹性、塑性或弹塑性理论确定土体的应力状态;二是假定土体沿着一定的滑动面滑动而进行极限平衡分析。

第一类方法对于边界条件比较复杂的土坡较难以得出精确解,国内外许多人在这方面进行过不少研究工作,取得一些进展。近年来由于计算机普遍应用,还可采用有限单元法,根据比较符合实际情况的弹塑性应力—应变关系,分析土坡的变形和稳定,一般称为极限分析法。

第二类方法是根据土体沿着假想滑动面上的极限平衡条件进行分析,一般称为极限平衡法。在极限平衡法中,条分法由于能适应复杂的几何形状、各种土质和孔隙水压力,因而成为最常用的方法。条分法有十几种,其不同之处在于使问题静定化所用的假设不同,以及求安全系数方程所用的方法不同。下面介绍最简单的条分法——瑞典圆弧滑动法(对于其他的方法,请参见相应的参考资料)。

边坡稳定的计算方法。

瑞典圆弧滑动法(简称瑞典法或费伦纽斯法)是条分法中最古老而又最简单的方法。除了假定滑裂面是个圆柱面(剖面图上是圆弧)外,还假定不考虑土条两侧的作用力,安全系数定义为每一土条在滑裂面上所能提供的抗滑力矩之和与外荷载及滑动土体在滑裂面上所

产生的滑动力矩和之比。由于不考虑条间力的作用,严格地说,对每一土条力的平衡条件是不满足的,对土条本身的力矩平衡也不满足,仅能满足整个滑动土体的整体力矩平衡条件。由此产生的误差,一般使求出的安全系数偏低 10% ~ 20%。这种误差随着滑裂面圆心角和孔隙压力的增大而增大。

瑞典圆弧滑动法的推导,一般教科书上均有叙述,它通常采用总应力法。但同样可用有效应力计算并按下式定义的安全系数来推导公式:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (1-1)$$

式中: F_s 为土坡稳定安全系数; τ_f 为整个滑裂面的抗剪强度; τ 为实际产生的剪应力。

为了考虑条间力的作用,并可认为假定每一土条两侧作用力的合力方向均和该土条底面平行,因而在进行土条底部法线方向力的平衡时,可以不予考虑。但是这个假定会使牛顿“作用力等于反作用力”的原理在两个土条之间得不到满足。

图 1-4 表示一均质土坡及其中任一土条 i 上的作用力。土条高为 h_i , 宽为 b_i , W_i 为其本身的自重; P_i 及 P_{i+1} 为作用于土条两侧的条间力合力,其方向和土条底部平行; N_i 及 T_i 分别为作用于土条底部的总法向反力和切向阻力;土条底部的坡角为 α_i , 长为 l_i , R 则为滑裂面圆弧的半径。根据摩尔—库伦准则,滑裂面 AB 上的平均抗剪强度

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \varphi' \quad (1-2)$$

式中: σ 为法向总应力; u 为孔隙应力; c' 、 φ' 为有效抗剪强度指标。

如果整个滑裂面 AB 上的平均安全系数为 F_s , 按照式(1-1)的定义,土条底部的切向阻力

$$T_i = \tau l_i = \frac{\tau_f}{F_s} l_i = \frac{c' l_i}{F_s} + (N_i - u_i l_i) \frac{\tan \varphi'_i}{F_s} \quad (1-3)$$

取土条底部法线方向力的平衡,可得

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \quad (1-4)$$

同时,各土条对圆心的力矩和应当为零,即

$$\sum W_i x_i - \sum T_i R_i = 0 \quad (1-5)$$

而 $x_i = R \sin \alpha_i$, 将式(1-3)、式(1-4)代入式(1-5),得

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi'_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (1-6)$$

式(1-6)与通常根据两个力矩和之比导出的公式完全相同。

当土坡内部有地下水渗流作用时,滑动土体中存在渗透压力,必须考虑它对土坡稳定性的影响。如图 1-5 所示,在滑动土体中任取一土条 i , 如果将土和水一起作为隔离体来分析,土条重量 W_i , 就等于 $b_i(\gamma h_{1i} + \gamma_m h_{2i})$ 。其中, γ 为土的湿密度, γ_m 为饱和密度。在土条两侧及底部都作用有渗透水压力。在稳定渗流情况下,土体通常均已固结,由附加荷重引起的孔隙应力均已消散,土条底部的孔隙应力 u 也就是渗透水压力,可用流网确定。如果经过土条底部中点 M 的等势线与地下水面交于 N , 则

$$u_i = \gamma_w h_{wi} \quad (1-7)$$

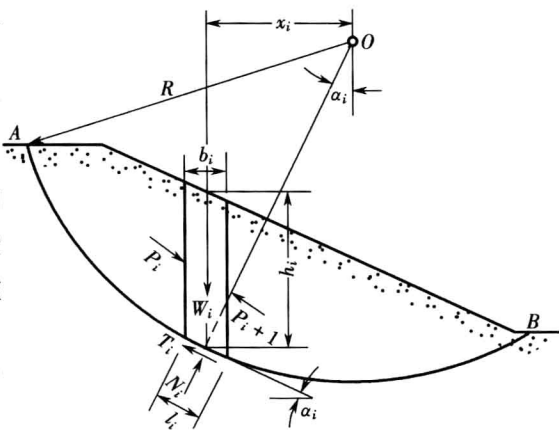


图 1-4 瑞典圆弧滑动法

式中: γ_w 为水的容重; h_{wi} 为 MN 的垂直距离。

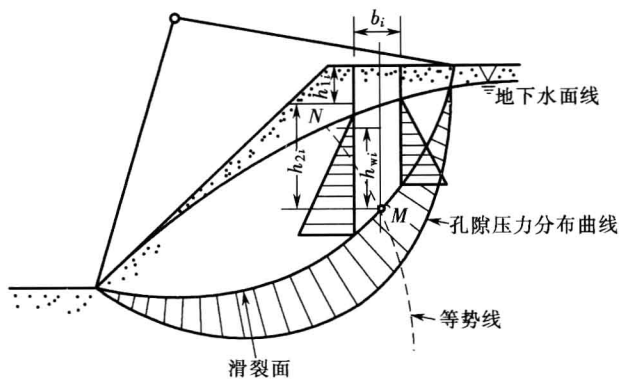


图 1-5 渗流对土坡稳定的影响

若地下水面与滑裂面接近平行,或土条取得很薄,则土条两侧的渗透水压力接近相等,可相互抵消。

将上述结果代入式(1-6),又因 $l_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$, 得

$$F_s = \frac{\sum c'_i + \sum b_i \left(\gamma h_{1i} + \gamma_m h_{2i} - \gamma_w \frac{h_{wi}}{\cos^2 \alpha_i} \right) \cos \alpha_i \tan \varphi'_i}{\sum b_i (\gamma h_{1i} + \gamma_m h_{2i}) \sin \alpha_i} \quad (1-8)$$

现在将式(1-8)和目前工程单位普遍使用的替代容重法进行比较,后者的安全系数表达式为

$$F_s = \frac{\sum c'_i + \sum b_i (\gamma h_{1i} + \gamma' h_{2i}) \cos \alpha_i \tan \varphi_i}{\sum b_i (\gamma h_{1i} + \gamma_m h_{2i}) \sin \alpha_i} \quad (1-9)$$

式中: γ' 为土的浮容重; c'_i 、 φ_i 采用固结排水剪切指标。

可以看出,必须使分子中的 $\gamma' h_{2i} = \gamma_m h_{2i} - \gamma_w \frac{h_{wi}}{\cos^2 \alpha_i}$, 亦即 $h_{2i} = \frac{h_{wi}}{\cos^2 \alpha_i}$ 才能求出与式(1-8)相同的 F_s , 而这一点一般是不容易做到的。因此,替代容重法虽然是一个使用非常方便的简化方法,但有其一定的限制条件,如果在任何情况下均按此处理,有时会造成相当大的误差,而且往往还是偏于不安全的。

必须指出,在稳定分析中,安全系数的定义通常有两种:一种是通过加大外力以达到极限平衡,这样的安全系数有超载系数的性质;另一种是降低材料的强度以达到极限平衡,求出的安全系数则是材料强度的储备系数。无论采用附加外力还是采用降低强度使土坡达到极限平衡,其结果是一样的。

另外,当土坡中存在比较大的孔隙应力,使用式(1-6)可能会产生很大误差。这是由于在推求法向反力 N_i 时,将包含在竖向总应力中一个应该各向同样大小的孔隙应力分量,也分解到法线方向上去了,这样就使得土条底部的法向有效应力偏低。由此造成的误差,有时可高达 60%。

1.3 基坑土方开挖

对于高层建筑基坑工程的土方开挖,在设法解决了地下水和边坡稳定问题之后,还要解决土方如何开挖的问题,即选用什么方法、什么机械、如何组织施工等一系列问题。

在基坑土方开挖之前,要进行详细的施工准备工作,在开挖施工过程中要考虑开挖方法

与人工开挖及机械开挖的配合问题,开挖后还要考虑对一些特殊地基的处理问题。

1.3.1 施工准备工作

基坑开挖的施工准备工作一般包括以下几方面内容。

①查勘现场,摸清工程实地情况,包括地形、地貌、水文、地质、河流、运输道路、邻近建筑、地下埋设物、管线、电缆线路、地面上障碍物和堆积物,水电供应等等,以便研究制定施工方案和绘制施工总平面图。

施工准备的
内容。

②按设计或施工要求标高整平场地,清除或搬迁施工区域内地面上及地下的所有障碍物。

③做好防洪排洪工作,在场地周围设置必要的截水沟、排水沟,疏通原有排水泄洪系统,保证场地不积水。

④设置测量控制网,包括基线和水平基准点,要求设在不受基础施工影响之处。人工(或机械)挖土的基坑,在施工时要根据龙门板桩上的轴线,放出基坑(槽)的灰线(边线)和水准标志。龙门板桩一般离开边缘 1.5~2.0 m 以利保存。不加支撑的基坑,放线时应按要求放出边坡宽度。灰线、标高、轴线应进行复核检查无误后,方可进行挖土施工。

⑤基坑施工用的临时设施,如供水、供电、道路、排水、暂设房屋等均应在开工前设置就绪。

1.3.2 机械和人工开挖

在开挖施工过程中,人工开挖和机械开挖的配合问题一般要遵循以下几条原则和方法。

①对大型基坑土方,宜用机械开挖。基坑深在 5 m 内,宜用反铲挖土机在停机面一次开挖;深 5 m 以上宜分层开挖或开沟道用正铲挖土机下入基坑分层开挖,或设置钢栈桥,下层土方用抓斗挖土机在栈桥上开挖,基坑内配以小型推土机堆集土。对面积很大、很深的设备基础基坑或高层建筑地下室深基坑,可采用多层同时开挖方法(图 1-6),土方用翻斗汽车运出。

开挖;遵循的
原则和方法。

②为防止超挖和保持边坡坡度正确,机械开挖至接近设计坑底标高或边坡边界,应预留一定厚度土层,用人工开挖和修坡。

③人工挖土,一般采取分层分段均衡往下开挖,较深的坑(槽),每挖 1 m 左右应检查边线和边坡,随时纠正偏差。

④对有工艺要求,深入基岩面以下的基坑,应用边线控制爆破方法松爆后再挖,但应控制不得震坏基岩面及边坡。

⑤如开挖的基坑(槽)深于邻近建筑基础,开挖应保持一定的距离和坡度(图 1-7)以免在施工时影响邻近建筑基础的稳定。一般应满足 $\Delta H:l \leq 0.5 \sim 1.0$ 。如不能满足要求,应采取在坡脚设挡墙或支撑进行加固处理。

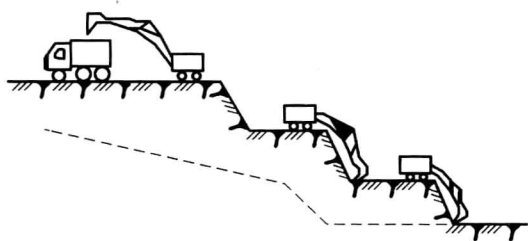


图 1-6 深基坑开挖

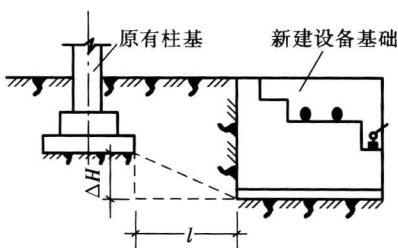


图 1-7 相邻基础距离要求

⑥挖土时应注意检查基坑底是否有古墓、洞穴、暗沟或裂隙、断层(对岩石地基),如发现迹象,应及时汇报,并进行探查处理。

⑦弃土应及时运出,如需要临时堆土或留作回填土,堆土坡角至坑边距离应按挖坑深度、边坡坡度和土的类别确定,干燥密实土不小于 3 m,松软土不小于 5 m。

⑧基坑挖好后,应对坑底进行抄平、修整。如挖坑时有小部分超挖,可用素土、灰土或砾石回填夯实至与地基土基本相同的密实度。

⑨为防止坑底扰动,基坑挖好后应尽量减少暴露时间,及时进行下一道工序的施工,如不能立即进行下一工序时,应预留 15~30 cm 厚覆盖土层,待基础施工时再挖去。

1.3.3 地基局部处理

特殊地基的局部处理方法。

对于基坑开挖过程中或开挖后遇到特殊地基问题要进行地基局部处理,以下介绍了几种特殊地基的局部处理方法。

1. 坑(填土、淤泥、墓穴)的处理

①当松土坑在基槽中,且较小时,将坑中软弱虚土挖除,使坑底见天然土为止,然后采用与坑底的天然土压塑性相近的土料回填。当天然土为砂土时,用砂或级配砂回填;天然土为较密实的黏性土,则用 3:7 灰土分层夯实回填;天然土为中密可塑的黏性土或新近沉积黏性土,可用 1:9 或 2:8 灰土分层夯实回填。

②松土范围较大且超过基槽边沿时,因各种条件限制,坑(槽)壁挖不到天然土层时,可将该范围内的基槽适当加宽。用砂土或砂石回填时,基槽每边均应按 $l_1:h_1=1:1$ 坡度放宽;用 1:9 或 2:8 灰土回填时,基槽每边均应按 $l_1:h_1=0.5:1$ 坡度放宽;用 3:7 灰土回填时,如坑的长度为 2 m,基槽可不放宽,但灰土与槽壁接触处应夯实。

③当松土坑较大且长度超过 5 m 时,将坑中软弱土挖去,如坑底土质与一般槽底土质相同,可将基础落深,做 1:2 踏步与两端相接,每步不高于 50 cm,长度不小于 100 cm;如深度较大,则用灰土分层回填夯实至坑(槽)底一平。

④当松土坑较深,且大于槽宽或 1.5 m 时,槽底处理完后,还应适当考虑是否需要增加上部结构的强度,常用的加强方法是:在灰土基础上 1~2 皮砖处(或混凝土基础内)、防潮层下 1~2 皮砖处及首层顶板处各配置 3~4 根 $\varnothing 8 \sim 12$ 钢筋,跨过该松土坑两端各 1 m。

⑤对地下水位较高的松土坑,将坑(槽)中软弱的松土挖去后,再用砂土或混凝土回填。

2. 井或土井的处理

①水井在基础附近,将水位降低到可能限度,用中、粗砂及块石、卵石或碎砖等夯填到地下水位以上 50 cm。如有砖砌井圈时,应将砖井圈拆除至坑(槽)底以下 1 m 或更多些,然后用素土或灰土分层夯实回填至基底(或地坪底)。

②枯井在距基础边沿 5 m 以内,先用素土分层夯实,回填到地坪下 1.5 m 处,将井壁四周砖圈拆除或松软部分挖去,然后用素土或灰土分层夯实回填。

③枯井在基础下,条形基础 3 倍基础宽度或柱基 2 倍基础宽度范围内,先用素土分层夯实,回填到基础底下 2 m 处,将井壁四周较软部分挖去,有砖井圈时,将砖按规定拆除,然后用素土或灰土分层夯实回填。

④井在房屋转角处,但基础压在井上部分不多时,除按以上办法回填处理外,还应对基础加强处理,如在上部设钢筋混凝土板跨越。当影响不大时,可采用从基础中挑梁的办法。

⑤井在房屋转角处,且基础压在井上部分较多用挑梁的办法较困难或不经济时,则可将基础沿墙长方向向外延长出去,使延长部分落在天然土上,并使落在天然土上的基础总面积不小于井圈范围内原有基础的面积,同时在墙内适当配筋或用钢筋混凝土梁加强。

⑥井已淤填但不密实,可用大块石将下面软土挤紧,再用上述办法回填处理;若井内不能夯填密实,则可在井砖圈上加钢筋混凝土盖封口,上部再回填处理。

3. 局部软硬(高差)地基的处理

①若基础下局部遇基岩、旧墙基、老灰土、大块石或构筑物,应尽可能挖除,或将坚硬物

凿去 30~50 cm 深,再回填土砂混合物夯实,以防建筑物由于局部落于较硬物上造成不均匀沉降而导致开裂。

②若基础部分落于基岩或硬土层上,部分落于软弱土层上,则可采取在软土层上做混凝土或砌块石支承墙(或支墩),或现场灌注桩直至基岩。基础底板配适当钢筋,或将基础以下基岩凿去 30~50 cm 深,填以中、粗砂或土砂混合物作垫层,使能调整岩土交界部位地基的相对变形,避免应力集中出现裂缝;或采取加强基础和上部结构的刚度,克服地基的不均匀变形。

③若基础落于高差较大的倾斜岩层上,部分基础落于基岩上,部分基础悬空,则应在较低部分基岩上做混凝土或砌块石支承墙(墩),中间用素土分层夯实回填,或将较高部分岩层凿去,使基础底板落在同一标高上,或在较低部分基岩上用低标号混凝土或毛石混凝土填充。

4. 橡皮土、古河、古湖泊的处理

(1) 橡皮土的处理

地基局部含水量很大趋于饱和,夯拍后使地基土变成有颤动感觉,通常将这种地基土称为“橡皮土”。对于这种地基在处理方法上应避免直接夯拍,可采用晾槽或掺石灰粉的办法降低土的含水量。如已出现橡皮土,可铺填一层碎砖或碎石将土挤紧,或将颤动部分的土挖除,填以砂土或级配砂石夯实。

(2) 天然古河、古湖泊的处理

根据其成因,有年代较久远经过长期大气降水及自然沉实,土质较为均匀、密实,含水量 20% 左右,含杂质较少的古河、古湖泊;有年代近的土质结构较松散,含水量较大,含较多碎块,有有机物的古河、古湖泊。对年代久远的古河、古湖泊,土的承载力不低于相接天然土的,可不处理。对年代较近的古河、古湖泊,则应将松散含水量大的土挖除,视情况用素土或灰土分层夯实,或采用加固地基的措施。

(3) 人工古河、古湖泊的处理

人工古河、古湖泊处理分老填土和新填土。老填土为长期填积而成,内含有砖瓦、碎块、草木灰等杂物,土质较均匀、密实,稳定。新填土形成时间短,沉降未稳定,土中含有较多的砖瓦碎块、草木灰、炉渣等,结构松散不均匀,含水量一般大于 20%。老填土如承载力不低于同一地区天然土,可不予处理。新填土要将填土挖除,用素土或灰土分层夯实回填,或采用加固地基的措施。

5. 流砂的处理

基坑开挖深于地下水位 0.5 m 以下时,在坑内抽水,有时坑底的土会呈流动状态,随地下水涌起,边挖边冒无法挖深,这种现象称为流砂。当坑外水位高于坑内抽水后的水位,坑外水压向境内移动的动水压力大于土颗粒的浸水浮重时,使土粒悬浮失去稳定,随水冲入坑内,从坑底涌起或两侧涌入,变成流动状态。如施工时强挖,抽水愈探,动水压力就愈大,流砂就愈严重。流砂的形成具有以下特征:水力坡度愈大或砂土空隙度愈大,愈易形成流砂;砂土的渗透系数愈小,排水性能愈差,愈易形成流砂;砂土中含有较多的片状矿物,如云母、绿泥石等,易形成流砂。防止流砂的措施是减小或平衡动水力,使坑底土颗粒稳定,不受水压干扰。常用的处理方法有:①安排在枯水期施工,使最高的地下水位不高于坑底 0.5 m;②采取水中挖土,即不抽水或少抽水,使基坑内水压与坑外水压基本平衡,缩小水头差距;③对于较重要或流砂严重的工程,可采用井点人工降低地下水位方法,将基坑和附近的地下水位降低至坑底以下,使坑底土面保持无水状态;④沿基坑周围打板桩,使深入到不透水层,以阻挡坑外水向坑内压入,减小坑内动水压力涌上。

1.4 基坑支护体系的选型

作为保证基坑开挖稳定的支护体系,包括挡墙和支撑两部分。其中挡墙的主要作用是

挡土,而支撑的作用是保证结构体系的稳定。若挡墙结构足够强,能够满足开挖施工稳定的要求,则该支护体系中可以不设支撑构件,否则应当增加支撑构件(或结构)。对于支护体系组成中任何一部分的选型不当或产生破坏,都会导致整个支护体系的失败。因此,对挡墙和支撑都应给予足够的重视。

1.4.1 挡墙的选型

工程中常用的挡墙结构有下列一些形式。

1. 钢板桩挡墙

工程中常用挡墙的形式。

钢板桩一般分为槽钢钢板桩和热轧锁口钢板桩两种。

将槽钢钢板桩组合起来,可形成一种简易的支护挡墙。它是由槽钢并排或正反扣搭接组成。槽钢长6~8 m,型号由计算确定。由于其抗弯能力较弱,多用于深度不超过4 m的基坑,顶部设一道支撑或锚。

热轧锁口钢板桩有U形、Z形、一字形、H形和组合型。常用者为前两种,基坑深度很大时才用组合型。U形钢板桩可用于开挖深度5~10 m的基坑。在软土地基地区钢板桩打设方便,有一定挡水能力,施工迅速,且打设后可立即开挖,当基坑深度不太大且周围环境要求不太严格时,往往是考虑的方案之一。但是,钢板桩毕竟柔性较大,基坑较深时支撑(或拉锚)工程量较大,对坑内施工带来一定困难,而且用后拔除时由于带土,如处理不当会引起土层移动,严重时会给施工的结构或周围的设施带来危害,故应注意采取有效技术措施减少带土。

2. 钢筋混凝土板桩挡墙

这是一种传统的支护结构,截面带企口有一定挡水作用。钢筋混凝土板桩顶部设圈梁。这种桩用后不再拔除,永久保留在地基土中。其做法是先放坡开挖上层土(一般达到高层建筑裙房基础标高,如地下水位高则用轻型井点降水),然后打设钢筋混凝土板桩。由于挡土高度减小,在开挖下层土时,可用单锚板桩代替复杂的多支撑板桩,简化支撑或拉锚。如钢筋混凝土板桩沿基础边线精确地打设,还可兼作基础混凝土浇注时的模板,从而简化了基础工程施工。

3. 钻孔灌注桩挡墙

工程上常用直径600~1 000 mm灌注桩做成排桩挡墙,其顶部浇筑钢筋混凝土圈梁。这种挡土墙我国各地都有应用,是支护结构中应用较多的一种。

灌注桩挡墙的刚度较大,抗弯能力强,变形相对较小,根据土质情况可以作为悬臂桩使用(在土质较好的地区,估计10 m以内可做成悬臂桩)。它的缺点是由于灌注桩永久保留在地基土中,可能为日后的地下工程施工造成障碍。另外,由于目前施工时两桩难以做到相切,桩之间留有100~150 mm的间隙,挡水效果差,故有时将它与深层搅拌水泥土桩组合应用,前者抗弯,后者做成防水帷幕起挡水作用,效果较好。

4. H形钢支柱(或钢筋混凝土桩支柱)、木挡板支护墙

这种支护结构适用于土质较好、地下水位较低的地区,国外应用较多,国内亦有应用。支柱按一定间距打入,支柱间设木挡板或其他挡土设施,用后可拔出重复使用,较为经济,但一次性投资较大。

5. 地下连续墙

目前,地下连续墙已成为深基坑的主要支护结构之一。常用厚度为600~1 000 mm。对于地下水位高的软土地基地区,当基坑深度大且邻近的建(构)筑物、道路和地下管线相距甚近时,往往首先考虑使用这种支护方案。若地下连续墙与“逆筑法”结合应用,可省去挖土后地下连续墙的内部支撑,能减少用作支护结构的地下连续墙的深度,还能使上部结构及早投入施工或使道路等及早恢复使用,这对深度大、地下结构层数多的深基础的施工十分有利。我国已有不少“逆筑法”施工成功的先例,还有的即将施工。地下连续墙如单纯用作支护结