

上海市普通高校‘九五’重点教材

软土工程施工技术与环境保护

(土木工程专业用)

世界银行贷款资助项目
上海市教育委员会组编

杨林德 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统扼要地阐述了近几年国内外在软土工程施工技术和环境保护领域中所取得的新成果,不仅包括对新方法、新工艺和新设备的介绍,而且还收录了诸多成功的工程应用实例。全书共四篇十二章,其中第一~第四章为第一篇,主要介绍软土工程施工的基本知识;第五~第八章为第二篇,集中介绍软土工程的主要施工方法;第九章和第十章为第三篇,主要介绍软土工程的施工组织设计和概预算;最后二章为第四篇,主要介绍国内外在软土工程施工的安全性监测与环境保护方面的经验与成果。

本书主要用于高等学校土木工程专业,对地下建筑工程方向为必修课教材,其他专业方向可为选修课教材,另外本书对从事岩土工程施工和环境保护工作的广大工程技术人员也具有较高的参考价值。

上海市普通高校“九五”重点教材
软土工程施工技术与环境保护
(土木工程专业用)

杨林德 主编

版式设计:刘晓方 责任校对:刘高彤 责任印制:

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 字数: 千

2000年9月 第1版

2000年9月 第1版 第1次印刷 总第1次印刷

印数:0001~3500册 定价:28.00元

ISBN 7 114

前 言

本书作为上海市普通高校“九五”重点教材,旨在系统扼要阐述十多年国内外在软土工程施工技术与环境保护领域的实践与研究中取得的新成果,不仅包括对新方法、新工艺和新设备的介绍,而且还收录了诸多成功的工程应用实例,以使学生对这一领域的知识有较为全面的了解。

软土工程是一门十分古老但又随着工程实践的发展而不断得到发展的科学。近十多年来,随着我国工程建设事业的蓬勃发展,土力学理论和岩土工程技术在许多方面都面临挑战,使软土工程的施工技术和环境保护手段也由此取得长足的进步,并在许多方面已经达到或正在接近国际先进水平。本教材拟对其中较为成熟、且在今后一、二年内将被广泛应用的施工技术和方法作一介绍,以使教材内容更有时代气息。

软土工程同时也是一门综合性和实践性都很强的科学,教材内容不仅需在理论部分同时涉及土力学和地基基础、建筑力学和房屋结构、工程材料和工程机械等诸多方面的知识,而且也需要在实践部分涉及工程经验。因此,本教材除拟介绍必要的分析理论和计算方法外,还拟用较大的篇幅介绍典型工程的实例,以帮助学生完成从理论到实践的飞跃。

本教材主要用于高等学校土工工程专业,对地下建筑工程方向为必修课教材,其他专业方向可为选修课教材,同时也可作为广大科技工作者从事岩土工程施工技术和环境保护研究工作的参考书。

本书共分为四篇十二章。第一章~第四章为第一篇,主要介绍软土工程施工的基本知识,包括土方工程、爆破与拆除、地下钢筋混凝土结构工程和地下工程的防排水;第五章~第八章为第二篇,集中介绍软土工程的主要施工方法,包括明挖法与逆作法、盾构法与顶管法、沉井与沉管法和新奥法技术在软土工程施工中的应用;第九章和第十章为第三篇,主要介绍软土工程的施工组织设计和概预算;最后二章为第四篇,主要介绍国内外在软土工程施工的安全性监测与环境保护方面的经验与成果。全书内容围绕系统论述软土工程施工技术和环境保护方面的知识组织,使学生在踏上工作岗位前对本学科领域有较全面的了解。具体讲授时可根据实际需要和学时数决定取舍,各章次序有的也可改变。

全书由杨林德主编。第一、三章由赖允谨编写;第二、八章由王聿编写;第四章由夏才初编写;第五章由曾进伦编写;第六章由张庆贺、王聿编写;第七章由李象范编写;第九、十章由陶履彬编写;第十一章由夏才初、杨林德编写;第十二章由杨林德、夏才初编写;全书由王聿统稿并整理。

本教材在编写过程中力求简明、实用、新颖,取材力图反映国内外先进施工技术和方法,并配有大量工程实例。虽然我们力求写好这本教材,但由于软土工程实践性强、综合性大、社会性广,也限于我们的水平,书中缺点在所难免,恳请读者批评指正,以便再版时进一步修改和完善。

编 者

2000年8月

目 录

第一篇 软土工程施工的基本知识

第一章 土方工程.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 大开挖土方工程的边坡稳定.....	1
一、地质勘察和环境调查.....	2
二、大开挖基坑施工的边坡稳定性.....	3
三、基坑边坡失稳的防止措施.....	5
第三节 土方降水措施.....	6
一、流砂与管涌.....	6
二、明排法.....	7
三、人工降低地下水位.....	10
第二章 爆破与拆除.....	21
第一节 压实爆破(爆扩桩技术).....	21
一、桩柱爆扩成孔.....	21
二、桩头爆扩.....	22
第二节 基础、地坪和支撑的拆除爆破.....	23
一、基础拆除爆破.....	24
二、地坪爆破.....	25
三、基坑支撑拆除爆破.....	26
第三节 水压爆破.....	27
一、适用范围.....	28
二、药包布置.....	28
三、混凝土管的切割爆破.....	30
四、水压爆破的设计程序与要求.....	30
第四节 静态爆破.....	31
一、适用范围.....	31
二、施工程序.....	31
三、爆破设计.....	31
四、药量计算.....	32
五、拌制、灌注、养生.....	32
六、注意事项.....	33
第三章 地下结构的钢筋混凝土工程.....	34
第一节 概述.....	34

第二节	模板工程	34
一、	模板的要求与种类	35
二、	模板的构造及装拆	35
三、	模板的荷载及设计要点	36
四、	模板的质量	37
第三节	钢筋工程	37
一、	钢筋冷处理(冷加工)	38
二、	钢筋的连接	38
三、	钢筋的制备与安装	42
第四节	混凝土工程	45
一、	混凝土混合料的搅拌	45
二、	混凝土混合料的运输	45
三、	混凝土混合料的灌注与捣实	46
四、	混凝土水下施工	50
五、	混凝土养护、质量检查与缺陷补救	52
第四章	地下工程的防排水和抗渗堵漏	54
第一节	地下工程防水等级及截排水措施	54
第二节	地下结构的防水技术	55
一、	防水混凝土	55
二、	抹面防水和涂层防水技术	57
三、	卷材防水技术	59
四、	三缝的防水处理	61
五、	注浆防水	64
第三节	地下工程抗渗堵漏	66
一、	概述	66
二、	抗渗堵漏施工	68

第二篇 软土地下工程的主要施工方法

第五章	明挖法与逆作法	71
第一节	概述	71
第二节	基坑工程施工	72
一、	基坑支护结构选型	72
二、	基坑支护结构施工	77
第三节	地下工程逆作法施工	89
一、	概述	89
二、	逆作法施工顺序与工艺流程	91
三、	逆作法施工技术	92
第六章	盾构法与顶管法	96
第一节	盾构法施工	96
一、	发展与改革	96

二、盾构的分类及盾构机选型	103
三、盾构机组成和工作原理	107
四、施工工艺过程	111
五、盾构开挖方法	114
六、隧道衬砌的拼装	116
七、衬砌壁后压浆	116
八、盾构法施工的运输、供电、通风和排水	117
第二节 顶管法施工	118
一、顶管法施工特点	118
二、工作井及后背墙	119
三、常用顶管的施工方法	123
四、主要技术措施	128
第七章 沉井与沉管法施工	134
第一节 沉井法施工	134
一、沉井的类型和构造	134
二、沉井施工工艺	137
三、沉井下沉中的问题处理及环境保护	141
第二节 沉管隧道施工技术	146
一、国内外沉管隧道现状	146
二、基槽浚挖技术及设备	148
三、管段防水技术	152
四、管段拖运及安全保障	156
五、沉放技术及设备	158
六、基础处理技术	161
七、沉管法施工的技术革新	164
第八章 新奥法在软土工程中的应用	167
第一节 新奥法简介	167
一、概述	167
二、新奥法的适用条件及要求	167
三、新奥法的优越性	168
第二节 管棚法	168
一、概述	168
二、工程实例	169
第三节 土钉墙技术	172
一、概述	172
二、土钉墙的构造	172
三、施工方法	173

第三篇 软土工程的施工组织设计与概预算

第九章 施工组织设计编制	176
--------------------	-----

第一节 施工组织设计概述.....	176
一、建设项目的划分	176
二、施工组织的类型	176
三、施工组织设计的内容	177
四、现代化施工组织的原则	178
五、单位工程施工组织设计的编制程序和依据	179
六、施工组织总设计编制程序和依据	180
第二节 施工进度计划设计.....	182
一、流水作业法	182
二、施工进度计划的编制方法	185
三、评价指标	188
第三节 施工进度计划示例.....	188
一、工程概况	188
二、周围环境	190
三、施工难点	190
四、施工方法及技术措施	190
五、施工进度安排	192
六、主要材料计划	192
七、劳动力组织使用计划	192
第四节 施工平面图设计.....	194
一、设计的内容和依据	194
二、设计步骤	195
三、建筑工地临时设施	197
第五节 施工平面图示例.....	204
第十章 软土地下工程设计概预算.....	206
第一节 设计概算.....	206
一、设计概算的含义和作用	206
二、设计概算的内容	207
三、设计概算的编制	208
第二节 施工图预算.....	212
一、施工图预算及其作用	212
二、施工图预算的内容和编制依据	213
三、单价法编制施工图预算及实例	214
第三节 单位工程施工图预算示例.....	216
一、编制说明	216
二、预算汇总表	217
三、单项预算书	217
四、主要工程数量表	217
五、主要人工及材料数量表	218

第四篇 软土工程施工监测与环境保护

第十一章 软土工程施工监测与信息反馈.....	220
第一节 地下工程施工监测方案设计.....	221
一、监测目的和方案设计原则	221
二、监测内容	223
三、监测手段	225
四、监测部位和测点布置	226
五、监测频率	228
第二节 监测仪器和方法.....	228
一、位移和沉降监测	228
二、深层水平位移监测	228
三、土体分层沉降监测	229
四、结构收敛量监测	229
五、水土压力监测	229
六、结构内力监测	230
七、相邻房屋的变形监测	231
八、相邻地下管线的沉降监测	232
第三节 监测报表及分析反馈.....	233
一、监测报表	233
二、稳定判别准则	233
三、监测报告	235
第四节 地下工程施工监测实例.....	236
一、顶管施工监测实例	236
二、大众基坑工程监测方案	238
第十二章 工程环境保护技术.....	240
第一节 概述.....	240
第二节 工程本体保护法.....	241
一、隔断法	241
二、注浆加固地基	242
三、基础托换法	243
四、建筑物本体加固	244
五、减少打桩对环境影响的措施	245
第三节 地下管线本体保护.....	246
一、刚性管道的检验计算	246
二、管道接头的检验计算	247
三、地下管线本体保护方法	248
参考文献.....	250

第一篇 软土工程施工的基本知识

第一章 土方工程

第一节 概 述

土木工程施工中首先要解决的就是“三通一平”问题，其中的“一平”即施工场地的平整，事实上这就是土方工程的工序环节之一。城市地下工程施工中，常见的土方工程施工有如下几种形式：场地平整、基坑与沟槽的挖方与填方、地坪与路基填筑等。

土方施工过程包括降水、土方开挖和土方回填等。

软土工程的土方工程施工工程量大，直接改变场地的地貌，直接或间接影响场地周围的环境，而且受施工地质情况、气候与水文等条件影响较大，所以必须在施工前对所在地区的土层性质、施工环境作好充分调查，选择合理的施工方案，作好地下水的降水与排水措施，以减小对环境的影响。

在土方施工过程中，还应注意对主要建筑物、地下构筑物和文物设施进行保护，如发现文物、古迹等，应妥善保护，并应立即报请当地有关部门处理后，方可继续施工。如发现测量用的永久性标桩或地质、地震部门设置的长期观测孔等，应加以保护。如因施工必须毁坏时，应事先取得原设置单位的书面同意。如在场地附近有地下管线等设施，应事先取得管线管理部门的书面同意，并采取保护措施。

土方工程施工必须了解土层的性质，与施工密切的、反映土层性质的物理力学指标主要为：土的容重 γ 、土的相对密度 G 、土的天然含水量 w 、土的孔隙比 e 或孔隙率 n 、土的饱和度 S_r 以及土的干容重 γ_d 、土的渗透系数 k 、土的相对密实度 D_r 。这些指标是选择土方边坡坡度、确定降水措施和压实措施的依据，一般都能从地质勘察报告中获得，如果没有或不全面，则必须做专项土工试验。

以下将对土方施工过程中的土方开挖、土方降水和土方回填三个方面内容进行介绍。需要指出的是，本章所介绍土方开挖仅指开挖深度较浅的放坡开挖，即通常所谓的大开挖基坑工程。除此之外的土方工程施工可以参看本书的其它章节。

第二节 大开挖土方工程的边坡稳定

大开挖土方工程是指不采用支撑形式而采用直立或放坡施工方法进行开挖的基坑工程，有时又称放坡基坑开挖。对于基坑挖深较浅、施工场地开阔、周围建筑物和地下管线及其它市政设施距离基坑较远的情况，一般都采用大开挖，因为这是最为经济合理的施工方法。

大开挖土方工程可以为地下结构的施工创造最大限度的工作面,方便施工布置,因此,在场地允许的情况下,应优先选择大开挖法进行基坑施工。

基坑大开挖边坡施工过程中,由于开挖等施工活动导致土体原始应力场的平衡状态遭到破坏,当土体抗剪强度下降或附加应力超过极限值时,便会出现土体的快速或渐进位移,即发生边坡失稳。基坑进行大开挖的边坡设计必须保证基坑边坡具有足够的稳定性安全系数,边坡稳定性安全系数一般定义为沿假定滑裂面的抗滑力与滑动力的比值,当该比值小于 1 时,边坡即发生破坏。

边坡设计需要确定两个基本参数:边坡开挖深度和坡度。在边坡分析中,边坡开挖深度称作坡高 H ,边坡的坡度则用坡角 或高宽比 m 表示(如图 1-1)。这两个参数的确定取决于许多因素,包括土体的抗剪强度高低、地下水位的变化、地面超载的大小、基坑底的支承强度和刚度以及施工顺序及施工工期的安排等等。

由于大开挖基坑的边坡稳定主要是通过边坡土质的抗剪强度来实现的,所以边坡开挖的深度及坡度都受到土体抗剪强度的限制;边坡的变形控制也与土体抗剪强度密切相关,并受环境条件的限制;此外,坡顶的堆载大小、基坑底的支承强度和刚度也对边坡的稳定和变形产生影响,如堆载越大或坑底支承强度和刚度越小,则边坡的稳定性安全系数越低,变形越大。因此,基坑大开挖需要综合考虑地质、环境、结构和施工各方面的影响因素,以达到基坑施工安全、可靠、经济、合理的目的。

图 1-1 边坡各部位名称

大开挖基坑工程的设计和施工内容包括:(1)地质勘察和环境调查;(2)基坑边坡设计及其稳定性分析;(3)基坑降水和边坡加固的方法;(4)基坑边坡的施工。

基坑边坡分析必须取最不利工况进行考虑,关于这一点不仅需要岩土工程方面的理论知识,工程实践经验也很重要。

一、地质勘察和环境调查

软土地区进行基坑大开挖的地质勘察应该达到如下目的:查明基坑边坡所处的工程地质条件与水文地质条件,提出边坡开挖的最优坡形和坡角及边坡稳定性计算参数。

基坑边坡稳定性计算的岩土工程测试宜包括下列内容:

1. 含水量及密度试验,测试含水量 w 及容重 ;
2. 直接剪切试验,测试固结快剪强度峰值指标 c_v ;
3. 三轴固结不排水试验,测试三轴不排水强度峰值指标 c_{cu} 、 c_u ;
4. 室内或原位试验,测试渗透系数 k ;
5. 测试水平与垂直变位计算所需的参数。

水文地质勘察宜包括如下内容:

1. 查明开挖范围及邻近场地地下水特征,各含水层(包括上层滞水、潜水、承压水)及隔水层的层位、埋深和分布条件;
2. 测量各含水层的水位及其变幅;
3. 查明各地层的渗透系数及水压、流速、流向、补给来源和排泄方向;
4. 查明施工过程中水位变化对基坑边坡及周围环境的影响,提出应采取的措施;

- 5 提出地下水的控制方法及计算参数的建议;
- 6 提出施工中应进行的具体现场监测项目和布置的建议;
- 7 提出基坑开挖过程中应注意的问题及其防治措施的建议。

对基坑周围的建(构)筑物等的详细调查,可以为基坑边坡设计确定地面超载、边坡变形限制和安全系数的取值提供依据。例如采用桩基础的房屋比采用片筏基础的房屋对邻近基坑产生的地面超载大得多,材料和接头刚度较好的地下管线允许基坑边坡产生较大的位移而能正常使用,重要建筑物或构筑物要求较高的安全储备,即边坡的安全系数取值较一般情况高。

一般地,软土地区进行基坑大开挖的环境调查应包括如下内容:

- 1 查明基坑周围影响范围内的建(构)筑物的结构类型、层数、基础类型与埋深及结构现状;
- 2 基坑周围地下设施(包括上、下水管线、电缆、煤气、管道、热力管道、地下箱涵等)的位置、材料和接头形式;
- 3 查明场地周围和邻近地区地表和地下水的分布、水位标高、距基坑距离及补给和排泄关系、对开挖的影响程度;
- 4 基坑周围的道路、车流量及载重情况。

二、大开挖基坑施工的边坡稳定性

(一) 边坡失稳的破坏形式和原因

大量计算和实际观测表明,基坑边坡破坏形式与土层的岩土性质、地面超载以及边坡形状等因素密切相关,其主要的破坏形式有:

- 1 沿近似圆弧的滑动面转动,这种破坏常常发生在较为均质的粘性土层;
- 2 沿近乎平面的滑移,这种破坏常常发生在无粘性土层。

土坡的失稳常常是在外界不利因素的影响下触发和加剧的,一般有如下几种原因可能导致边坡原来受力状态失去平衡:

- 1 受荷:或由于地震或临近基坑打桩、车辆行驶、爆破等原因,使得侧向水平压力增加,破坏了原来的平衡状态;
- 2 土体抗剪强度降低:由于水的作用而发生风化、淋溶、矿物成分的变化,或当边坡暴露时,雨水和地面水渗入边坡,导致含水量增加及孔隙水压力上升和土体软化,或发生蠕变,从而最终造成土体的抗剪强度逐渐降低;对于饱和砂性土,打桩、车辆行驶、爆破、地震等引起的振动常常导致砂土的液化,从而降低土体的抗剪强度;
- 3 静水压力的作用:降雨或人为因素导致地下水位升高,增加了边坡的侧向静水压力。

(二) 边坡稳定性安全系数的取值

基坑边坡稳定性安全系数的取值与所采用的方法密切相关,对于同一基坑边坡,不同的计算方法所得的稳定性安全系数一般是不一样的,因此不同的计算方法所对应的安全系数取值标准也不一样。现将目前国内规范关于边坡稳定性安全系数的规定综合列于表 1-1,供大家参考选用。

国内外规范关于边坡稳定性安全系数的规定

表 1-1

国家	规范名称和出版时间	试 验 方 法	计 算 方 法	容许最小安全系数
中国	《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)	除 I 级建筑物外,可用直剪仪试验所得指标乘以变异系数。系数小于 0.75 时须分析原因并增加试样	圆弧滑动法	1.2
中国	《港口工程地基规范》(JTJ 250—98), 1998 年	固结快剪,取峰值	瑞典条分法或简化毕肖普法	1.1~1.3
中国	碾压式土石坝设计规范(SDJ 218—84), 1985 年	三轴仪或直剪仪固结快剪试验,取小值平均值	瑞典条分法或简化毕肖普法	III 级 1.05~1.20 IV 级 1.06~1.15
中国	《上海市地基基础设计规范》(DBJ 08—11—89), 1989 年	固结快剪峰值乘以 0.7	瑞典条分法	1.0~1.2(如取峰值则相应为 1.43~1.71)
德国	挡土结构物稳定计算斜坡稳定计算(DIN4084)		瑞典条分法	1.3
日本	渔港构筑物标准设计法	按土分类给定抗剪强度指标值	瑞典条分法	1.3
前苏联	水工建筑物地基设计规范(CHN 17—63—62), 1962 年		圆弧法	1.1~1.3
加拿大	基础工程手册, 1985 年(岩土力学学会)	剪切破坏		1.3~1.5
加拿大	边坡工程手册, 1972~1977(矿物和能源技术中心)	抗剪强度参数峰值		1.5
美国	工程师设计手册, 土坝与堆石坝稳定分析(美国工程兵团总工程师室)1970 年	三轴固结不排水剪或固结快剪	瑞典条分法	完工期 1.3 稳定期 1.6

三、基坑边坡失稳的防止措施

(一) 大开挖基坑土方开挖注意事项

由于种种原因, 施工中常常出现施工工况和原设计条件不相符合的情况, 或者设计中难以考虑周全的施工情况, 此时必须对基坑边坡重新验算。如果安全度不足, 应采取相应的补救措施。所以施工过程中应注意:

- 1 不要在已开挖的基坑边坡的影响范围内进行动力打入或静力压入的施工活动, 如必须打桩, 应对边坡削坡和减载, 打桩采用重锤低击、间隔跳打;
- 2 不要在基坑边坡顶堆加过重荷载, 若需在坡顶堆载或行驶车辆时, 必须对边坡稳定进行核算, 控制堆载指标;
- 3 施工组织设计应有利于维持基坑边坡稳定, 如土方出土宜从已开挖部分向未开挖方向后退, 不宜沿已开挖边坡顶部出土, 应遵循由上至下的开挖顺序, 不得先切除坡脚;
- 4 注意地表水的合理排放, 防止地表水流入基坑或渗入边坡;
- 5 采用井点等排水措施, 降低地下水位;
- 6 注意现场观测, 发现边坡失稳先兆(如产生裂纹时)立即停止施工, 并采取有效措施, 提高施工边坡的稳定性, 待符合安全度要求时方可继续施工。

(二) 基坑边坡失稳的防止措施

1. 边坡修坡

改变边坡外形, 将边坡修缓或修成台阶形(图 1-2)。这种方法的目的是减小基坑边坡的下滑重力, 因此必须结合在坡顶卸载(包括卸土)才更有效果。

图 1-2 边坡修坡

a) 坡顶卸土; b) 坡度减小; c) 台阶放坡

2 设置边坡护面

设置基坑边坡混凝土护面的目的是为了控制地表排水经裂缝渗入边坡内部, 从而减少因为水的因素导致土体软化和孔隙水压力上升的可能性。护面可以做成 10cm 厚混凝土面层, 为增加边坡护面的抗裂强度, 内部可配置一定的构造钢筋(如 6 @ 300), 如图 1-3 所示。

3 边坡坡脚抗滑加固

当基坑开挖深度大, 而边坡又因场地限制不能继续放缓时, 可以通过对边坡抗滑范围的土层进行加固(如图 1-4)。采用的方法有: 设置抗滑桩、旋喷法、分层注浆法、深层搅拌法等。

采用这种方法的时候必须注意加固区应穿过滑动面并在滑动面两侧保持一定范围。一般地, 对于混凝土抗滑桩此范围应大于 5 倍桩径。

图 1-3 基坑边坡设置混凝土护面

图 1-4 基坑边坡坡脚抗滑加固

第三节 土方降水措施

土方边坡稳定与地下水有密切关系,在地下水的浸泡下土体抗剪强度下降,同时土体还会受到浮力(即静水压力)和渗透力(即动水压力)的作用,边坡容易失稳导致滑坡。此外,对于细砂和粉砂土层的边坡,地下水常常导致流砂和管涌,在粘土层则可能出现基坑隆起,这些对施工都十分不利。在土方外运方面,挖方含水量过高还会对城市道路造成污染。因此,在土方开挖前和开挖过程中以及地下结构施工期间,作好地下水的处理工作,保持基坑土体干燥十分重要。

地下水处理一般有三种途径:明排法、人工降水法、设置防渗帷幕法。明排法是在基坑开挖至地下水位时,在基坑范围内基础外开挖排水沟,在一定距离设集水井,然后用水泵将水抽走。这是一种边挖边排的降水措施,对于粘土层浅挖边坡较为有效,但无法处理流砂和管涌现象。人工降水法是在基坑开挖前预先在基坑四周埋设一定数量的滤水管或滤水井,用抽水设备抽水,使地下水位降落到坑底以下,同时在基坑开挖时仍不断抽水。这种方法可使所挖的土始终处于干燥状态,能从根本上防止流砂现象的发生,改善了工作条件,同时由于土中水被排走后,动水压力减小或消除,边坡可以放陡,减少挖土量,而且由于水流向下,动水压力作用使土颗粒间的压力增加,坑底土层更为密实。这种方法在城市地下工程施工中广泛应用。设置防渗帷幕法是采用冻结、打设板桩或地下连续墙、打设搅拌桩或者设置其它防水介质等方法来防止地下水渗入基坑,这种方法常被深基坑工程和土层隧道工程所采用,读者可参看本书有关章节,对于此法的基坑内降水,仍要采用人工降水法。

采用正铲挖掘机、铲运机、推土机等机械挖方时,应使地下水位经常低于开挖底面不少于 0.5m。

以下将对土方工程施工的流砂和管涌现象、明排法和人工降水法加以介绍。

一、流砂与管涌

流砂和管涌是基坑土方工程施工需要防止的两大危害。我们知道,土具有透水性,土质不同,相同水力梯度下水在其中的渗透速度也不一样,砂性土渗透速度较快,粘性土渗透速度较慢,工程上通常用渗透系数 k 来表示水在土中通过的难易程度。渗透系数 k 也是反映地下水动力作用的一个参数,它可以通过室内土的渗透试验或现场抽水试验来测定。各种土的渗透

系数变化范围如表 1-2 所示。

土的渗透系数参考值

表 1-2

名 称	渗透系数 (cm/ s)	名 称	渗透系数 (cm/ s)
粘土	$< 10^{-7}$	粉砂、细砂	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
粉质粘土	$10^{-6} \sim 10^{-7}$	中砂	$10^{-1} \sim 10^{-3}$
粘质粉土	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	粗砂、砾石	$10^2 \sim 10^{-1}$

地下水的渗流对土单位体积内的骨架产生的压力称为动水压力。动水压力方向为地下水渗流方向,大小等于土中水的容重与水力梯度的乘积,即

$$G_d = \gamma_w i \quad (1-1)$$

式中: G_d ——动水压力(kN/ m^3);

γ_w ——水的容重(kN/ m^3);

i ——水力梯度, $i = H/ L$, H 为水头差(m), L 为渗流路径(m)。

当渗流自上向下时,动水压力方向与重力方向一致,这将增加作用于土粒之间的压力(粒间压力),反之,当渗流自下向上时,动水压力方向与重力方向相反,这将减少作用于土粒之间的压力(粒间压力)。当自下而上的动水压力等于或大于土的浮容重 时,土粒之间的压力消失,于是土粒处于悬浮状态,土体随水流动,这种现象叫做流砂现象。

动水压力等于土的浮容重时的水力梯度叫做临界水力梯度 i_{cr} , $i_{cr} = \gamma_w / \gamma_w$ 。

在地下水位以下开挖基坑,如从基坑中直接排水(如明排法),将导致地下水向上流动而产生自下而上的动水压力,可使坑底隆起,当水力梯度大于临界值时,就会出现流砂现象,这种现象在细砂、粉砂和粘质粉土中极易发生。流砂现象发生时,土体完全丧失了承载能力,工人无法立足,施工条件恶化;土方边挖边冒,很难挖到设计深度;流砂严重时会引起边坡塌方,地基土体流动造成地基被掏空,使地表下陷或建筑物地基破坏,导致地下管线破坏和建筑物下沉、倾斜甚至倒塌。

当土层主要由粗细相差较大的两类土粒组成时,如果水力体梯度很大,足以在土孔隙中引起紊流运动,细土粒会被冲动而陆续沿着粗土粒之间的孔隙随水流走,导致土体结构的破坏,土体失去稳定,这种现象叫做管涌。管涌现象发生时,将会破坏地基土的强度,形成空洞,产生地表塌陷,影响基坑周围建筑物和地下构筑物的安全。

流砂和管涌现象是可以防止的。从流砂和管涌现象产生机理上可以看出,只要减少水力梯度,不利的地下水动水压力就可以减少或消除,工程上一般有以下几种措施:

(1)设置防渗帷幕,如采用冻结法,或者打设板桩、搅拌桩或地下连续墙,使渗水长度 L 增加,从而减小水力梯度 i ;

(2)水下挖土,使水头差 减小,从而减小水力梯度 i ;

(3)人工降低地下水位,使基坑内挖方土层的动水压力消除。

二、明 排 法

对于不会出现流砂和管涌的土层浅基坑,如粘土或粗大砾石层,可以采用明排法进行明沟排水。明沟排水需要设置集水井和排水边沟,采用的抽水设备为水泵。明排法由于设备简单,被广泛使用。

1. 边沟和集水井

排水边沟断面在土质较好时做成梯形而不需要支护,在土质较差或基坑较窄时边沟可直立并用木板支撑,边沟的沟底纵坡不小于 0.1% ~ 0.5%。集水井根据地下水量大小,每隔 20 ~ 40m 设置一个并随着挖土的加深而加深,井底深度应低于基坑边沟底 1m 以上。集水井用木板、竹框或混凝土圆管加以保护,井底铺设厚约 30cm 粗砂或碎石层,以保护井底的土不被水泵抽走。图 1-5 为明排法示意图。

图 1-5 明排法

a) 直坡边沟; b) 斜坡边沟

1-水泵;2-排水沟;3-集水井;4-压力水管;5-降落曲线;6-水流曲线;7-板桩

2 离心泵和潜水泵

明排法采用的水泵主要是离心泵和潜水泵。

(1) 离心泵

离心泵是由泵壳、泵轴及叶轮等主要部件组成,其管路系统包括滤网、吸水管及出水管等,如图 1-6 所示。离心泵的抽水主要利用叶轮高速旋转时产生的离心力,将轮心中的水甩出而形成真空,使水在大气作用下自动进入水泵,并将水压出。理论上说,真空中大气压力可将水提高 10.3m,考虑水头损失,一般吸水扬程为 3.5 ~ 8.5m,总扬程(吸水扬程与出水扬程之和)由泵的型号确定,通常为 15 ~ 35m。离心泵使用时,先要向泵体及吸水管内灌水,排除空气,然后再开动水泵。为了防止所灌的水漏掉,在底阀内装有单向阀门。离心泵在使用时要防止漏气与脏物堵塞等。

常用离心泵性能,见表 1-3。流量是指水泵单位时间内的出水量,扬程是指水泵能扬水的高度,也称水头。

常用离心泵性能

表 1-3

型	号	流 量	总 扬 程	吸 水 扬 程	电动机功率
B	BA	(m^3/h)	(m)	(m)	(kW)
1.5B17	1.5BA—6	6 ~ 14	20.3 ~ 14	6.6 ~ 6.0	1.7
2B19	2BA—9	11 ~ 25	21 ~ 16	8.0 ~ 6.0	2.8
2B31	2BA—6	10 ~ 30	34.5 ~ 24	8.7 ~ 5.7	4.5

续上表

型	号	流 量	总 扬 程	吸 水 扬 程	电动机功率
B	BA	(m^3/h)	(m)	(m)	(kW)
3B19	3BA—13	32.4 ~ 52.2	21.5 ~ 15.6	6.5 ~ 5.0	4.5
3B33	3BA—9	30 ~ 55	35.5 ~ 28.8	7.0 ~ 3.0	7.0
4B20	4BA—18	65 ~ 110	22.6 ~ 17.1	5	10.0

注：2B19表示进水口直径为2in(约合50.8mm)，总扬程为19m的单级离心泵。

离心泵的选择主要根据流量与扬程来决定。流量一般选用吸水口径为50~100mm的离心泵就已足够，扬程主要考虑允许吸上真空高度是否够，如果不够，则可另选水泵或将水泵降低至坑壁台阶或坑底上，雨季施工时应增设备用泵。

图 1-6 离心泵构造

1-泵壳；2-泵轴；3-叶轮；4-滤网与底阀；5-吸水管；6-出水管

图 1-7 潜水泵构造

1-水泵叶轮；2-轴；3-电动机；4-进水口；5-出水胶管；6-电线

(2) 潜水泵

潜水泵是由立式水泵电动机组成，其构造如图 1-7 所示。潜水泵的电动机 3 是封闭的，工作时完全浸入水中。水泵装在电动机上端，叶轮可制成离心式或螺旋桨式，潜水泵的关键部件为潜水电机，它有干式、充油式、充水式。电动机要有密封装置。

潜水泵的出水口径，常用的有：40、50、100、125(mm)，其流量相应为 15、25、65、100(m^3/h)，扬程相应为 25、15、7、3.5(m)，其它相应参数见表 1-4。潜水泵在开泵时不用灌水，具有质量轻、移动方便、安装简单等优点，在基坑排水中应用较广。