



高等学校土木工程专业系列教材——地下工程

DIXIA GONGCHENG SHIGONG YU GUANLI



# 地下工程施工与管理

杨其新 王明年 编



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等学校土木工程专业系列教材——地下工程

# 地下工程施工与管理

杨其新 王明年 编

西南交通大学出版社

·成都·

## 内 容 简 介

本书是按普通高等院校土木工程大类地下工程专业方向编写的教材,全书分为4篇20章。全面地介绍了地下工程施工技术和施工组织管理的系统知识;根据当前地下工程施工技术的新发展,增加了部分新内容;书中围绕地下工程的建设,着重介绍了目前广泛使用的地下工程施工方法和技术,此外,还介绍了近年来越来越被重视的工程科学管理技术。

本书是普通高等院校土木工程大类地下工程专业方向本科生、研究生的教科书,也可供地下工程技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工与管理 / 杨其新, 王明年编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2005.10  
(高等学校土木工程专业系列教材——地下工程)  
ISBN 7-81104-113-8

I. 地... II. ①杨...②王... III. 地下工程—工程施工—施工管理—高等学校—教材 IV. TU94

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第065275号

---

高等学校土木工程专业系列教材——地下工程

地下工程施工与管理

杨其新 王明年 编

\*

责任编辑 张 波

责任校对 李 梅

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行科电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: [cbsxx@swjtu.edu.cn](mailto:cbsxx@swjtu.edu.cn)

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 23.125

字数: 541千字 印数: 1—3 000册

2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

ISBN 7-81104-113-8/TU·030

定价: 29.80元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有, 盗版必究, 举报电话: 028-87600562

# 前 言

随着我国经济建设的迅速发展，各类地下工程的建设越来越多，规模也越来越大。近年来地下工程施工技术有了很大的发展。本教材的编写，是为了扩充和更新地下工程施工教材的内容，力求反映近年来地下工程施工中涌现出的各种新科技成果和新技术。目的是满足土木工程类地下工程专业方向教学需要，为学生提供一本较系统、完整和实用的教科书。

本书编写过程中，参照我国当前有关地下工程施工技术标准、规范和规程，全面吸取有益的施工和管理经验，力求全面和系统地介绍地下工程施工的基础理论、施工技术、施工工艺和方法。并考虑各章节安排合理，力求叙述简练，条理清晰，有利于教学；在选择内容时，兼顾了设计、施工和管理三者的关系，做到专业工程方向的系统性。

本书作为地下工程专业方向本科生的教材，可供地下工程和岩土工程等专业工程技术人员参考。本书由杨其新编写绪论，第1篇，第2篇的第10、11、12章，第3篇的第13章，第4篇的第17、18、20章；王明年编写第2篇的第5、6、7、8、9章，第3篇的第14、15、16章，第4篇的第19章。虽然编者尽了很大努力，但由于学识水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2005年7月

# 目 录

绪 论 .....	1
-----------	---

## 第 1 篇 明挖法施工

第 1 章 基坑开挖 .....	5
1.1 敞口放坡明挖法 .....	5
1.2 基坑支护开挖法概述 .....	10
1.3 基坑支挡开挖 .....	12
1.4 土锚支护明挖法 .....	19
1.5 冻结明挖法 .....	20
第 2 章 地下连续墙法 .....	23
2.1 概述 .....	23
2.2 地下连续墙设计和计算的主要内容 .....	25
2.3 常用工法概要 .....	27
2.4 地下连续墙的施工 .....	30
2.5 地下连续墙接头施工 .....	38
第 3 章 盖挖施工法 .....	42
3.1 盖挖顺作法 .....	42
3.2 盖挖逆作法 .....	43
第 4 章 沉管隧道施工 .....	46
4.1 概述 .....	46
4.2 沉管隧道调查规划 .....	49
4.3 沉管隧道设计简介 .....	53
4.4 沉管隧道施工过程 .....	65
4.5 附属设备 .....	71

## 第 2 篇 地下工程暗挖法

第 5 章 隧道施工方法 .....	76
5.1 隧道分部开挖方案 .....	76
5.2 隧道分部开挖方法比选 .....	80

<b>第 6 章 隧道超前地质预报技术</b> .....	81
6.1 TSP 法地质超前预报技术 .....	81
6.2 地质雷达法超前预报技术 .....	84
6.3 超前钻孔法地质超前预报技术 .....	85
6.4 地质素描法超前预报技术 .....	86
6.5 其他方法地质超前预报技术 .....	86
6.6 超前地质预测预报法优缺点 .....	88
<b>第 7 章 隧道钻爆法施工技术</b> .....	89
7.1 隧道爆破的基本概念 .....	89
7.2 隧道爆破器材及起爆方法 .....	90
7.3 隧道掏槽爆破技术 .....	98
7.4 隧道光面爆破技术 .....	110
7.5 隧道爆破设计 .....	117
<b>第 8 章 隧道支护技术</b> .....	136
8.1 锚杆施工 .....	136
8.2 喷射混凝土施工 .....	141
8.3 钢拱架制作与安设施工 .....	151
8.4 二次衬砌施工 .....	152
8.5 隧道预加固工法 .....	155
<b>第 9 章 隧道邻近建筑物施工技术</b> .....	165
9.1 隧道邻近建筑物施工影响分析 .....	165
9.2 邻近建筑物隧道施工对策 .....	169
<b>第 10 章 盾构法施工</b> .....	171
10.1 概述 .....	171
10.2 盾构机的种类 .....	172
10.3 盾构机机型的选择 .....	177
10.4 盾构隧道衬砌的基本类型 .....	180
10.5 盾构法施工过程 .....	182
10.6 特殊盾构应用简介 .....	189
<b>第 11 章 掘进机 (TBM) 施工技术</b> .....	201
11.1 掘进机 (TBM) 法概述 .....	201
11.2 隧道掘进机的基本构成和性能 .....	204
11.3 采用隧道掘进机法的基本条件 .....	208
11.4 隧道掘进机法的附属设施 .....	212

11.5	隧道掘进机法的支护技术	216
11.6	采用隧道掘进机法的辅助工法	217
<b>第 12 章</b>	<b>顶管法施工</b>	<b>221</b>
12.1	概 述	221
12.2	顶管施工的基本原理	222
12.3	顶管施工的分类及特点	226
12.4	常用顶管施工技术	227

### 第 3 篇 隧道及地下工程施工辅助作业

<b>第 13 章</b>	<b>地下工程防排水施工</b>	<b>234</b>
13.1	概述	234
13.2	地下水位及地下工程防水原则	236
13.3	地下工程防水材料	237
13.4	地下工程排水	239
13.5	地下工程刚性防水	240
13.6	地下工程柔性防水	247
13.7	特殊地下工程防水	253
13.8	注浆防水与堵漏	263
<b>第 14 章</b>	<b>隧道及地下工程施工中的风水电作业</b>	<b>281</b>
14.1	压缩空气供应	281
14.2	隧道施工供水	284
14.3	隧道施工供电及照明	287
<b>第 15 章</b>	<b>隧道及地下工程施工通风与防尘</b>	<b>293</b>
15.1	隧道施工通风	293
15.2	隧道施工防尘	301
<b>第 16 章</b>	<b>出渣运输</b>	<b>303</b>
16.1	装渣	303
16.2	运输	305
16.3	卸渣	310

### 第 4 篇 地下工程施工组织和管理

<b>第 17 章</b>	<b>地下工程施工组织</b>	<b>311</b>
17.1	施工准备	311
17.2	施工组织设计	313

17.3	施工方案	315
17.4	施工进度计划	317
17.5	施工现场平面图设计	322
<b>第 18 章</b>	<b>地下工程施工管理</b>	<b>325</b>
18.1	质量管理	325
18.2	合同管理和风险管理	332
18.3	施工管理	334
<b>第 19 章</b>	<b>隧道监控量测技术</b>	<b>341</b>
19.1	隧道监控量测的目的	341
19.2	隧道现场监控量测内容与方法	342
19.3	监控量测数据处理与应用	348
<b>第 20 章</b>	<b>地下工程衬砌结构质量检测</b>	<b>354</b>
20.1	探地雷达检测地下工程衬砌质量的原理	354
20.2	无损电测喷射混凝土层厚度的方法	360
20.3	衬砌混凝土强度的检测	361
	参考文献	362



# 绪 论

## 一、地下工程施工技术简述

地下工程施工技术是以在地层中构筑建筑物为目的，研究解决地下工程修建中的技术方案和措施，地下工程在各种地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、质量、经济和安全措施。所包含的内容主要有地下工程的基本作业、辅助作业、环境控制和施工管理等（图 1）。

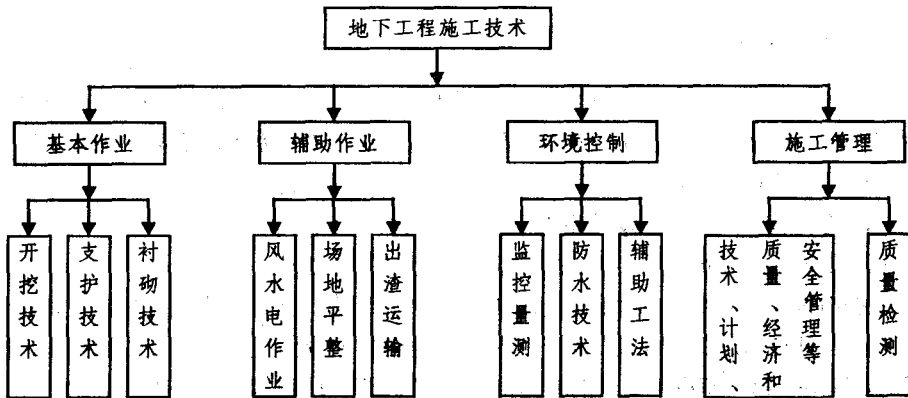


图 1 地下工程施工技术

地下工程基本作业主要包括开挖、支护和衬砌三大技术。在开挖技术中十分重要是开挖方法的选择，选择的主要考虑因素一般有工程地质和水文地质条件、地形和地貌、埋置深度、结构形状和规模、使用功能和环境条件、施工队伍的技术水平和施工机具、交通条件和工期要求、经济和技术等，通过综合研究来确定。目前我国地下工程使用的开挖方法可分为两大类（表 1）。

表 1 地下工程开挖方法

地下工程 开挖方法	明挖法	基坑敞口开挖
		基坑支挡开挖
		地下连续墙
		盖挖法
		沉管法
	暗挖法	矿山法（钻爆法）
		掘进机（TBM）法
		盾构法
		顶进法

支护技术是为了地下工程开挖的安全，一般分为临时支护和永久支护两类；形式上有木支撑、钢支撑、格栅支撑、锚杆、喷混凝土和它们的组合等。

衬砌技术有现浇混凝土和预制混凝土两类。

地下工程辅助作业是配合基本作业必需的环节，包括风水电的设计、安装和供给，施工场地的规划和布置，出渣运输的计划和设备的配置等。

环境监控主要研究解决地下工程施工过程中的安全和对周围环境的影响，如开挖洞室的位移过大引起围岩塌方、支护结构位移过大引起结构失稳或者侵限、地面沉陷过大对环境的影响、地下水的控制等；采用的手段主要是对施工的过程进行量测监控，发现异常情况，及时采取加固措施（辅助施工手段）和更改施工方法。

施工管理是通过有效的管理来保证工程的质量和工期，应用科学合理和符合地下工程施工特点的方法，规划组织施工设计，对各施工中的各环节进行科学的技术、计划、质量、经济和安全管理，达到高质量、高效益的目的。

## 二、地下工程施工技术的发展

地下工程施工技术的发展是和国家经济发展相关联的。近年来随着我国社会经济快速发展，城市化进程加快，地面交通增长十分迅猛，而修建水平满足不了发展的需要，造成了城市用地紧张，各种交通设施超负荷运转，交通事故、交通阻塞和交通公害等成为一大社会问题，阻碍了国家和地区经济的发展。因此，开发城市地下空间，规划和修建高水平的交通隧道（铁路隧道、公路隧道、地下铁道、越江隧道等），是目前急需研究的课题之一。

我国是拥有地下工程数量最多的国家，具有悠久的历史，在古代人们挖掘窑洞来居住，是最早的地下工程。具有一定工程规模的地下工程，根据考古研究发现，应是长沙的楚墓、洛阳的汉墓、明朝的定陵等；第一座用于交通的铁路隧道是在 1887—1889 年修建在我国台湾，在从基隆到台南的窄轨（1 067 mm）铁路线上，长 261 m 的师球岭隧道，1907 年我国杰出的工程师詹天佑先生，主持修建了第一座由中国人自己设计和施工的现代隧道——八达岭铁路隧道，长 1 091 m，目前该隧道还在运营。1949 年前，由于我国经济和技术落后，修建的地下工程数量很少，中华人民共和国成立后，地下工程建设有了较大的发展，尤其是改革开放以来，伴随我国经济的腾飞，地下工程施工技术有了飞跃，地下工程的建设得到大规模的发展。据有关统计数据，至 2002 年底，我国共修建铁路隧道 5 711 座，总延长达 2 833 km，公路隧道 1 700 余座，总延长达 704 km；北京、上海、天津、广州、南京、深圳相继建成了超过 100 km 的地下铁道，目前还有超过 25 个城市拟建设地下铁道；近年来采用沉管法修建的穿越珠江、甬江、长江的隧道，极大地提高了我国修建水下隧道的技术水平。目前我国已具有修建各种地质条件下的地下工程的能力，在许多方面已步入世界先进水平。

我国人口多，幅员辽阔，是一个多山的发展中国家，城市化交通处于发展阶段，城市地下空间开发刚刚起步，可以预见，地下工程的建设必将有更大的发展。

地下工程施工技术水平的进步主要体现在：

修建长大交通隧道方面，近年来修建的交通隧道越来越长，跨度越来越大，如乌鞘岭铁路隧道长 21 km，秦岭终南山公路隧道长 18.1 km，修建超过 20 m 的大跨隧道技术已十分成熟。我国已掌握了修建长大隧道的成套技术。

在不良地质条件下修建隧道方面，已经积累丰富的工程经验和科技成果，取得了主动权。如在青藏铁路的修建中，解决了在海拔 4 000 m，- 40 °C 的高寒地区修建隧道的问题；在渝怀铁路的修建中，克服了大涌水的因素，修建了圆梁山隧道；1996 年建成的南昆铁路家竹箐隧道，克服了高瓦斯、高地应力、大涌水三位一体的困难，填补了我国在高瓦斯、高地应力隧道施工技术的空白。这些充分说明我国能够在各种不良地质条件下修建隧道。

地下工程开挖技术方面，在城市明挖地下工程修建中，形成了适应各种条件下的基坑敞口开挖、支挡开挖、地下连续墙、盖挖法的施工技术体系；暗挖钻孔技术由人力持钻钻进到支腿架钻，进而采用风动和液压的钻孔台车。近年来，非爆破机械开挖技术在我国得到长足的发展，隧道掘进机 (TBM) 和盾构机得到广泛的应用，如北京、上海、南京、广州和深圳地铁就使用盾构修建部分区间隧道，水利建设更是大量使用盾构修建输水隧道，秦岭双线铁路隧道采用隧道掘进机修建其中一条隧道。

支护和衬砌技术方面，从木支撑、钢支撑发展到锚杆和喷混凝土、格栅支护等技术的广泛应用；修建衬砌由砖石垒砌，到混凝土就地模注、混凝土泵挤送、锚喷柔性衬砌、喷射钢纤维混凝土衬砌等。

另外，以监控量测信息反馈指导施工，在我国地下工程施工中得到广泛的应用。

地下工程施工技术的发展，体现了地下建筑不占地面空间、抗震、隐蔽等优越性，扩大了地下建筑的应用范围，充分利用地下空间的途径已为各界人士所重视，许多地下工厂、地下仓库、地下核能设施、地下休闲设施、地下体育馆、地下废物处理、地下街、地下停车场、地下养殖场……相继出现在城市的规划和建设中。可以说，地下工程已经渗透到了国民经济建设的各个领域，成为人们活动的又一新空间。

我国地下工程施工技术的进步为大规模建设地下工程奠定了基础，取得了很大的成就。但是和国外先进技术和管理水平相比，我们还有许多需要学习的地方，许多问题有待研究解决，如怎样获取准确的地质勘察信息、施工中的超前地质预报、隧道施工的机械化配套技术、非爆破掘进机械的国产化、高强度衬砌技术、预制拼装衬砌研究应用、现代化施工管理技术等，都是需要我们认真解决的问题。

# 第 1 篇 明挖法施工

明挖法是从地表面向下开挖，在预定位置修筑结构物方法的总称。它是一种用垂直开挖方式修建隧道的方法（对应于水平方向掘进隧道而言）。在城市地下工程中，特别是在浅埋的地下铁道工程中，获得了广泛的应用；此外，在水底隧道两端河岸段、洞门入口附近等常采用此法修建。

一般在地形平坦，埋深小于 30 m 时，采用明挖法具有很好的实用价值；明挖法适应性强，适用于任何岩（土）体，可以修建各种形状结构物；明挖法可以为地下结构的施工创造最大限度的工作面，各项工序可以全面铺开，进行平行流水作业，因而施工速度快；明挖法施工技术比较简单，便于操作，工程质量有保证。在地面交通和环境条件允许的地方，应优先选择明挖法施工。

近年来基坑开挖和支护技术伴随着地下空间的利用有了很大的发展。早期基坑开挖较浅，基坑支护多以放坡开挖或悬臂式支护为主；随着基坑开挖的逐渐加深，这时基坑的支护再以放坡开挖或悬臂式支护已经不再经济并难以满足要求，所以多以地下连续墙支护为主，后来又出现了土钉和土钉墙加预应力锚索综合技术。随着深基坑开挖工程的逐渐增多，深基坑支护技术有了很大发展，逆作法就是一项近几年发展起来的新兴的基坑支护技术。

随着埋深的增加，明挖法的工程费用、工期都将增大。同时明挖法对周围环境的影响大，对地面交通、商业活动、居民生活以及地下管线的拆迁量比暗挖法大；当地下水位较高时，降水和地层加固费用非常高。因此在采用明挖法时，应充分考虑各种施工方法的特征，选择最能发挥其特长的施工方法。

明挖法施工重点要解决的问题有：基坑的稳定性问题及施工工序、维护结构的选择以及降水问题。明挖法设计中应注意的若干问题如下：

## 1 隧道设置深度

采用明挖法修筑隧道，主要的问题是隧道设置深度。一般说，隧道应设置在尽可能良好的地层中，并进行充分地调查，从技术、经济、运营、地层等方面，慎重研究设置深度，一般情况应  $< 20$  m，以确保隧道建成后的功能和安全性。

通常，根据地质状态，隧道建成后的地层有可能发生位移时，要充分研究其影响，并在设计上采用相应的措施。特别是在有图 A

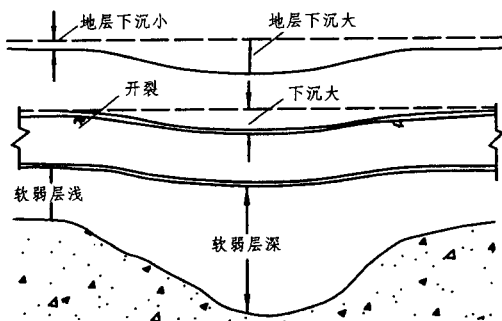


图 A 地层下沉和隧道变异

所示的软弱地层厚度变化大的情况，可能沿纵向产生地层的不均匀下沉，而造成结构纵向的异常变形。此外，在饱和的松散土砂中时，地震会诱发砂层液化，从而使结构物受到较大的应力等。这些问题在隧道规划时必须给以足够的关注。

## 2 隧道的结构形式

明挖法隧道采用的结构形式是多种多样的，大体可归结为直墙拱、单跨、双跨或多跨矩形闭合框架等。但一般都是箱形的、纵向连接的结构。中间构件多采用柱结构或墙结构。箱形结构的侧墙多采用连续墙作为主体结构的一部分。箱形结构的断面形状，视隧道的使用目的，有各种各样的形式，如图 B 所示。

隧道纵向结构都是连续的，一般在良好的地层中，可以不考虑隧道纵向的影响，但在荷载状态及地层状态有显著变化的情况和隧道断面有显著变化的情况，要充分研究这种情况对隧道稳定性的影响。

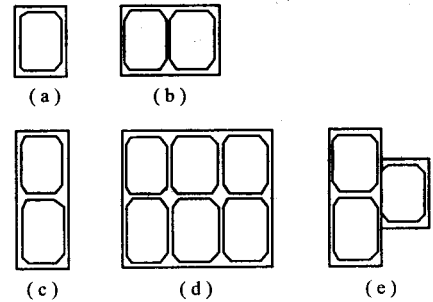


图 B 明挖隧道的断面形状

## 3 隧道结构的防水及抗震

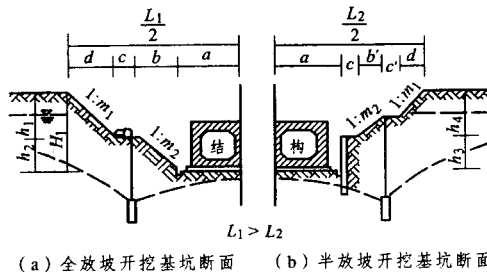
明挖隧道一般都是修筑在地下水位以下的。因此，隧道结构要具有良好的防水功能，为此，结构应尽量单纯化，以提高防水施工的可靠性。

明挖隧道与地面结构不同，隧道与周围地层的相互作用是非常复杂的，因此，要特别注意地震时隧道的动态。因此，在设计时，要研究地震对隧道动态的影响，同时还要研究隧道受震灾后的社会的、经济的影响。

# 第1章 基坑开挖

## 1.1 敞口放坡明挖法

敞口放坡明挖法也称作敞口基坑法，包括全放坡开挖和半放坡开挖（图 1.1）2 种。全放



(a) 全放坡开挖基坑断面 (b) 半放坡开挖基坑断面

图 1.1 放坡开挖基坑断面

坡开挖是指基坑采取放坡开挖不进行坑墙支护，根据地质条件采用相应的边坡坡度，分段开挖至所需位置进行结构施工，完成后进行回填，将地面恢复到原来状态。半放坡开挖是在基坑底部设置一定高度的悬臂式钢桩加强土壁稳定。其槽底宽度是根据地下结构宽度的需要，并考虑施工操作空间确定。为了保持边坡稳定，常常需要沿基坑两侧设井点降水。

### 1.1.1 适用条件

在没有建筑物的空旷地段，以及便于采用高效率的挖土机及翻斗卡车的情况下，常采用全放坡或半放坡开挖，不加支撑的基坑形式。

采用此种开挖方式工程造价较低，与一般的打桩施工开挖方法相比，因不架设路面覆盖板，可使工费减少，工期缩短。但占地宽，拆迁量、土方挖填量较大，工程区域的交通被中断，在道路狭窄和交通繁忙的地区是不可行的。在市中心地区采用本方式施工的不多。地质情况的好坏、渗水量的多少以及开挖深度等条件，是这种方式能否采用的重要因素。敞口基坑法施工中，基坑边坡防护和开挖对于附近建筑物、地下埋设物的影响在施工管理中应充分注意。

### 1.1.2 设计与施工

边坡设计需要确定两个基本参数：边坡开挖深度和坡度。由于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以及坡度都受到土体抗剪强度的限制。

#### 1. 边坡失稳的破坏形式

- (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黏性土层；
- (2) 沿近乎平面的滑移，这种破坏常常发生在无黏性土层。

#### 2. 影响基坑边坡稳定的因素

基坑边坡坡度是直接影响基坑稳定的重要因素。当基坑边坡土体中的剪应力大于土体的抗剪强度时，边坡就会失稳坍塌。其次施工不当也会造成边坡失稳，表现为：

- (1) 没有按照设计坡度进行边坡开挖；
- (2) 基坑坡顶堆载过大；
- (3) 基坑降排水措施不利，地下水未降至基底以下，而地面雨水、基坑周围地下给排水管线漏水渗流至基坑边坡的土层中，使土体湿化，土体自重加大，增加土体中的剪应力；
- (4) 基坑开挖后暴露时间过长，经风化而使土体变松散；
- (5) 基坑开挖过程中，未及时刷坡，甚至挖反坡，使土体失去稳定性。

#### 3. 基坑边坡稳定性的确定方法

确定基坑边坡稳定性有3种方法，即计算法、图解法和查表法。

(1) 计算法。通过计算公式确定边坡开挖深度和坡度。如图 1.2 所示，假定边坡破裂面为通过坡脚的一个平面，滑动面上部土体为 ABC，则其重力线密度为

$$G = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\sin \theta \sin \varphi} \quad (1.1)$$

当土体处于极限平衡状态时，边坡最大高度为

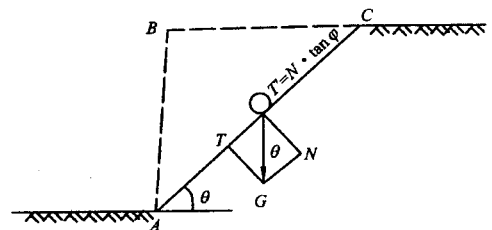


图 1.2 计算法图

$$h = \frac{2C \sin \theta \cos \varphi}{\gamma \sin^2 \left( \frac{\theta - \varphi}{2} \right)} \quad (1.2)$$

式中  $C$  —— 土体黏结力 ( $\text{kN/m}^2$ );  
 $\theta$  —— 边坡坡度角 ( $^\circ$ );  
 $\varphi$  —— 土的内摩擦角 ( $^\circ$ );  
 $\gamma$  —— 土体重度 ( $\text{kN/m}^3$ ).

土体  $C$ ,  $\varphi$ ,  $\gamma$  值和基坑开挖深度  $h$  为已知, 则基坑边坡的坡度角即可求出. 并由公式 (1.1), (1.2) 可知:

- ① 当  $\theta = \varphi$ ,  $C=0$  时, 则边坡极限高度不受限制, 且边坡处于平衡状态.
- ② 当  $\theta > \varphi$  时, 则边坡为陡坡, 其  $C$  值越大, 则边坡极限高度  $h$  越高; 若  $C=0$ , 则  $h=0$ , 即非黏性土时, 边坡任何高度都是不稳定的.
- ③ 坡度角  $\theta$  越大, 坡高  $h$  越小; 反之, 坡度角  $\theta$  越小, 则坡高  $h$  越大.

(2) 图解法. 对于基坑边坡坡度不变, 坡顶为一平面, 且土质均匀时, 其稳定边坡角或极限坡高, 可根据图 1.3 来求得, 该图是通过计算资料综合整理而得到的.

图中横坐标为稳定边坡角  $\theta$ , 纵坐标表示稳定系数  $N_s = \gamma H_c / C$ . 假定土内聚力不随深度变化, 对于一个给定的土的内摩擦角  $\varphi$  值, 则边坡的临界高度及稳定安全高度, 可由下式计算

$$\left. \begin{aligned} H_c &= N_s \frac{C}{\gamma} \\ H &= N_s \frac{C}{K\gamma} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

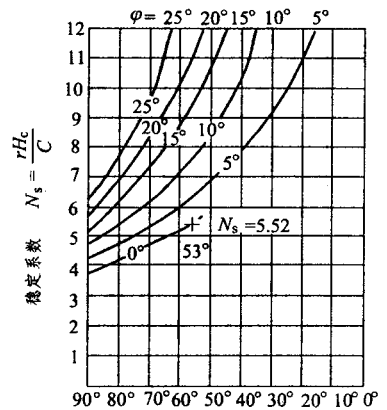


图 1.3 基坑边坡图解曲线

式中  $H_c$  —— 边坡的临界高度 (即稳定高度) (m);  
 $N_s$  —— 稳定系数, 由图 1.3 查出;  
 $C$  —— 土体黏结力 ( $\text{kN/m}^2$ );  
 $\gamma$  —— 土体重度 ( $\text{kN/m}^3$ );  
 $H$  —— 边坡的稳定安全高度 (m);  
 $K$  —— 稳定安全系数, 一般取 1.1~1.5.

上述两式, 当已知  $\theta$  或  $H$  及土体的  $C$ ,  $\varphi$ ,  $\gamma$  时, 可求出稳定安全的坡高  $H$  (或  $\theta$ , 或  $K$  值)。

(3) 查表法. 在城市地下工程建设的明挖施工中, 一般在地质条件良好、土质较均匀, 而地下水位低或通过降水将地下水位维持在基底面以下时, 常采用查表法确定基坑边坡的坡度. 根据地基基础设计规范并结合城市地下工程施工经验给出表 1.1、表 1.2, 施工时可作为参考。

表 1.1 岩石基坑边坡坡度

岩石类别	风化程度	坡度值 (高宽比)	
		8 m 以内	8~10 m
硬质岩石	微风化	1 : 0.1~0.2	1 : 0.2~0.35
	中等风化	1 : 0.2~0.35	1 : 0.35~0.5
	强风化	1 : 0.35~0.5	1 : 0.5~0.75
软质岩石	微风化	1 : 0.35~0.5	1 : 0.5~0.75
	中等风化	1 : 0.5~0.75	1 : 0.75~1.00
	强风化	1 : 0.75~1.00	1 : 1.00~1.25

表 1.2 土质基坑边坡坡度

土的类型	密实度或状态	坡度值 (高宽比)		
		5 m	5~10 m	10~15 m
碎石土	密实	1 : 0.35~0.5	1 : 0.5~0.75	1 : 0.75~1.0
	中密	1 : 0.5~0.75	1 : 0.75~1.0	1 : 1.0~1.25
	稍密	1 : 0.75~1.0	1 : 1.0~1.25	1 : 1.25~1.5
黏性土	坚硬	1 : 0.75~1.0	1 : 1.0~1.25	1 : 1.25~1.5
	硬塑	1 : 1.0~1.25	1 : 1.25~1.5	1 : 1.5~1.75

#### 4. 基坑开挖注意事项

由于种种原因,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。所以在施工过程中应注意:

- (1) 根据土层的物理力学性质确定基坑边坡坡度,并于不同土层处做成折线形或留置台阶;
- (2) 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;
- (3) 不要在基坑边坡堆加过重荷载,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;
- (4) 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,应采用由上至下的开挖顺序,不得先切除坡脚;
- (5) 注意地表水的合理排放,防止地表水流入基坑或渗入边坡;
- (6) 采用井点等排水措施,降低地下水位;
- (7) 注意现场观测,发现边坡失稳先兆(如产生裂纹时)立即停工,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;
- (8) 基坑开挖过程中,随挖随刷边坡,不得挖反坡;
- (9) 暴露时间在 1 年以上的基坑,一般可采取护坡措施。



## 5. 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 1.4）。这种方法的目的是减少基坑边坡的下滑重量。因此必须结合在坡顶卸载（包括卸土）才更有效果。

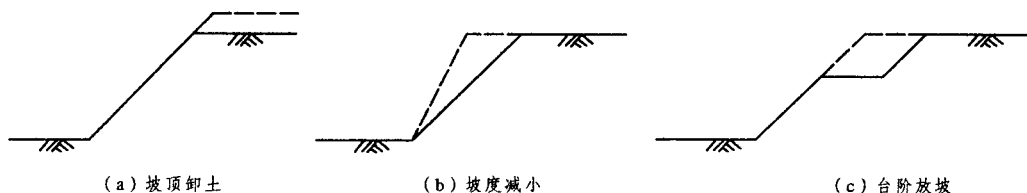


图 1.4 边坡修坡

(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 10 cm 混凝土面层。为增加边坡护坡面的抗裂强度，内部可以配置一定的构造钢筋（如  $\phi 6@300$ ），如图 1.5 所示。

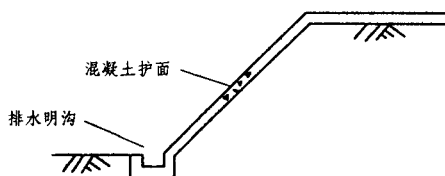


图 1.5 基坑边坡设置混凝土护面

(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（图 1.6）。采用的方法有：设置抗滑桩、悬喷法、分层注浆法、深层搅拌法等。

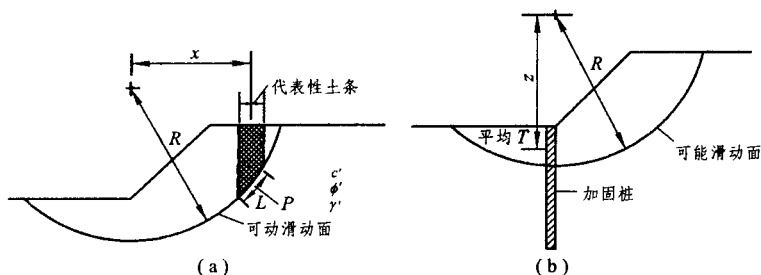


图 1.6 基坑边坡坡脚抗滑加固

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 倍洞径。

## 6. 基坑开挖施工

由于放坡开挖的基坑一般都是针对浅埋地下工程而设的，土方开挖的工程量大，若采用人工，其劳动强度大，工期在工程总工期中所占的比重达 25%~30%，成为影响施工进度的重要因素。所以，应尽可能采用生产效率高的大型挖土和运输机械施工。

对于放坡开挖，目前常用的方法有手工开挖、小型机械开挖和大型机械开挖。

手工开挖效率低，劳动强度大，一般只在土方量小，如修坡或缺乏机械开挖的情况下采用。

小型机械常见的有蟹斗、绳索拉铲等简易挖土机械，小型开挖机械一般在施工空间受限制而无法采用大型机械的情况下采用。