

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

基坑工程

马海龙 梁发云 编著

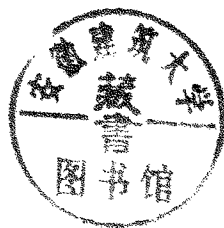
清华大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

基坑工程

马海龙 梁发云 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍基坑支护工程的理论及计算方法,全书包括绪论、基坑勘察及设计原则、土压力、支挡结构内力、支挡式基坑的稳定性及变形、板式支挡结构(含混凝土灌注桩、型钢水泥土搅拌墙、双排桩、地下连续墙等支护形式)、内支撑系统及锚杆技术、重力式水泥土墙、土钉墙、基坑被动区加固、基坑支护有限元分析、基坑地下水控制、基坑监测等13章内容。

本书可作为土木工程专业本科生和研究生相应课程的教材,也可作为从事岩土工程勘察、土木工程设计、土木工程施工和监理监测等技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基坑工程/马海龙,梁发云编著. —北京:清华大学出版社,2018

(普通高等教育“十三五”规划教材 土木工程类系列教材)

ISBN 978-7-302-50121-3

I. ①基… II. ①马… ②梁… III. ①基坑工程—高等学校—教材 IV. ①TU46

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第106243号

责任编辑:秦娜

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.75

字 数:403千字

版 次:2018年6月第1版

印 次:2018年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00元

产品编号:077176-01

随着经济的发展,大型建筑越来越多,基坑工程越来越受到重视。基坑工程学是土木工程专业中的一门综合性课程,编者依据国家现行建筑基坑工程技术规程,对既有基础知识进行阐述,力求有较强的系统性;同时注重案例的讲解和新技术的推介,兼顾知识的实用性,循序渐进,重点突出。书中既有高校基坑课程教学经验的总结,也有工程实践具体的运用,加强了理论与实践的结合。这本教学用书对基坑工程的设计理论及设计方法有较为清晰的认识与把握,因此更是勘测、设计、施工等从业人员的参考书,它可以解决施工中出现的许多实际问题,对从业的同行一定有所裨益。

依据对基坑工程应用、研究及教学的认识,编者对全书的内容做了精心的选择与安排。本书具有以下特点:

一、全书章节按照支护方法的重要性及常用性安排前后顺序;

二、主要依据现行的行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)的条款编写,但考虑到软土深大基坑的复杂性,亦参考了上海市工程建设规范《基坑工程技术规范》(DG/T J08—61—2010)的相关内容,把基坑被动区加固列为一章,提高对软土的适用性;

三、对于有支护方法的章节,公式后面都有精心设计的例题,增加学生对计算公式内容的理解;

四、对主要支护方法,有具体工程案例点评,有成功的案例,也有失败的经验,适当配有工程插图,增加对基坑风险的认识,图文并茂;

五、编写中参考了基坑工程国内外最新研究成果,也把编者对基坑工程的研究及设计认识融入全书中;

六、每章后的习题是针对本章学习内容设计的,每个计算题都是解决基坑设计中的某个问题,针对性强;

七、考虑到土木工程专业优秀本科生及研究生的需求性,将“基坑支护有限元分析”列为一章。

本书由浙江理工大学土木系马海龙、同济大学地下系梁发云编著。第1~7章及第9章、第10章、第13章由马海龙编写,第8章由梁发云编写,第11章、第12章由梁发云编写。全书由马海龙统稿。硕士研究生雷珊珊、包彦冉为本书的绘图、计算题的计算做了大量工作,在此表示感谢。

本书是在高等学校土木工程专业规范指导下编写的,并获得浙江理工大学本科教材建设资金资助。

本书虽经多遍审阅校核,可能还存在不妥、疏漏甚至谬误之处,如蒙读者发现,恳请指正批评。联系邮箱 ma-hailong@163.com。

编著者

2017年12月

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 基坑定义及基坑的安全评估	1
1.2 基坑事故案例	2
1.2.1 杭州地铁湘湖站北 2 号基坑坍塌事故	2
1.2.2 新加坡 Nicoll 大道地铁基坑事故	3
1.2.3 基坑事故潜在因素	5
1.3 基坑工程的特点	5
1.4 基坑工程主要支护方法	7
1.5 基坑工程发展展望	10
习题	12
第 2 章 基坑勘察及设计原则	13
2.1 基坑工程勘察	13
2.1.1 岩土工程勘察	13
2.1.2 地下水的勘察	14
2.1.3 地下障碍物	14
2.1.4 周边环境条件	14
2.1.5 勘察报告应提供计算所需的参数和建议	15
2.1.6 勘察报告应包含的内容	15
2.2 土的主要物理力学参数	15
2.2.1 土的抗剪强度指标	16
2.2.2 土的渗透系数	16
2.2.3 水土压力的分算与合算	16
2.2.4 规范建议选用的土体物理力学指标	17
2.3 基坑极限状态设计	18
2.3.1 基坑的极限状态	18
2.3.2 基坑极限状态设计方法	18
2.4 设计基本规定	22
2.4.1 基坑设计使用年限	22
2.4.2 支护结构安全等级	22

2.5	基坑工程设计	23
2.5.1	前期资料准备	23
2.5.2	基坑工程设计内容与要求	24
2.6	支护结构选型	25
2.6.1	支挡式结构	25
2.6.2	重力式水泥土墙	26
2.6.3	土钉墙	26
2.6.4	支护结构选择	27
	习题	28
第3章 土压力		29
3.1	土压力理论	29
3.1.1	土压力类型	29
3.1.2	土压力大小及性质与位移的关系	30
3.1.3	静止土压力	31
3.1.4	朗肯土压力	32
3.1.5	库仑土压力	38
3.2	作用在支护结构上的水平荷载	40
3.2.1	规范中土压力计算方法	40
3.2.2	作用在支护结构上的土压力	40
	习题	47
第4章 支挡结构内力		49
4.1	文克勒地基模型	49
4.2	文克勒地基上无限长梁的解答	50
4.3	文克勒地基上竖直梁的计算	51
4.3.1	水平抗力系数的比例系数 m	51
4.3.2	桩的挠曲微分方程	53
4.4	支挡结构的弹性支点法	54
4.4.1	挠曲微分方程	54
4.4.2	水平荷载计算宽度	55
4.4.3	作用在挡土构件上的分布土反力	56
4.4.4	锚杆或内支撑对挡土结构的作用力	58
4.5	平面连续介质有限元法	61
	附录 A 杆系有限元法	61
	习题	63
第5章 支挡式基坑的稳定性及变形		64
5.1	基坑稳定性	64

5.1.1	整体稳定性验算	65
5.1.2	嵌固稳定性验算	69
5.1.3	抗隆起稳定性验算	73
5.1.4	挡土构件最小嵌固深度要求	77
5.1.5	渗透稳定性验算	78
5.2	基坑变形	81
5.2.1	挡土结构水平变形	81
5.2.2	坑底隆起	83
5.2.3	挡土结构外地表沉降	84
	习题	86
第6章	板式支挡结构	88
6.1	混凝土灌注桩支挡式结构	88
6.1.1	截水帷幕	88
6.1.2	混凝土灌注桩竖向挡土结构	89
6.2	型钢水泥土搅拌墙支挡式结构	94
6.2.1	型钢水泥土搅拌墙简介	94
6.2.2	型钢水泥土搅拌墙的注意事项及选型	95
6.2.3	型钢水泥土搅拌墙的计算与设计	96
6.3	双排桩支护结构	99
6.3.1	双排桩支护特点	99
6.3.2	双排桩平面布置及注意事项	100
6.3.3	双排桩设计	101
6.4	地下连续墙	105
6.4.1	地下连续墙及特点	105
6.4.2	地下连续墙要求	106
6.4.3	内力与变形计算及承载力计算	107
6.5	工程案例及讨论	110
6.5.1	钻孔灌注桩+钢筋混凝土内支撑	110
6.5.2	双排桩支护	113
	习题	115
第7章	内支撑系统及锚杆技术	117
7.1	内支撑系统	117
7.1.1	水平支撑系统设计要点	118
7.1.2	水平支撑系统计算	122
7.1.3	竖向支承系统计算	130
7.2	锚杆技术	134
7.2.1	锚杆的适用条件	135

7.2.2	锚杆设计与计算	135
7.2.3	锚杆杆体材料构造要求	138
7.2.4	其他计算规定	139
	习题	142
第8章	重力式水泥土墙	145
8.1	概述	145
8.1.1	简介	145
8.1.2	重力式水泥土墙破坏形式	146
8.2	分类、选型与使用范围	146
8.2.1	适用范围	146
8.2.2	设计原则与形式	147
8.3	重力式水泥土墙支护结构设计	147
8.3.1	总体布置原则	147
8.3.2	设计原理	148
8.3.3	计算分析	150
8.4	施工要点	155
8.5	工程案例	157
8.5.1	工程概况	157
8.5.2	方案设计	158
	习题	162
第9章	土钉墙	164
9.1	概述	164
9.1.1	土钉墙简介	164
9.1.2	土钉墙特点	165
9.1.3	土钉墙的适用条件	166
9.2	土钉支护分类与选型	166
9.2.1	土钉类型	166
9.2.2	土钉与土层锚杆的比较	167
9.2.3	土钉墙坡度	167
9.2.4	复合土钉支护	167
9.3	土钉墙的受力特征和破坏类型	170
9.3.1	土钉受力特征	170
9.3.2	土钉墙的破坏类型	171
9.4	土钉墙的设计计算	173
9.4.1	土钉墙设计参数选用及构造设计	174
9.4.2	稳定性验算	177
9.4.3	土钉承载力计算	180

9.5 工程案例	184
习题	185
第 10 章 基坑被动区加固	187
10.1 概述	187
10.2 被动区加固范围	187
10.2.1 被动区加固平面布置形式	187
10.2.2 坑内加固宽度与厚度	188
10.3 坑内土加固竖向布置形式	191
10.4 加固土的力学参数	192
10.5 被动区加固设计注意事项	193
10.6 某基坑坑内加固设计	193
习题	194
第 11 章 基坑支护有限元分析	195
11.1 概述	195
11.2 土体模型简介	196
11.2.1 摩尔-库仑模型	197
11.2.2 硬化土模型	197
11.2.3 小应变硬化土模型	199
11.2.4 模型参数的确定方法	200
11.2.5 土体本构模型的选用	203
11.3 建模计算	204
11.3.1 土体本构模型的选择	204
11.3.2 算例验证	205
11.4 工程实例	206
11.4.1 工程概况	206
11.4.2 计算模型与参数取值	208
11.4.3 不同开挖方案下的数值分析	208
11.4.4 数值计算结果对比分析	211
第 12 章 基坑地下水控制	213
12.1 概述	213
12.2 地下水控制方法及适用条件	213
12.2.1 地下水控制类型及适用性	214
12.2.2 各种地下水控制措施的适用条件	215
12.2.3 不同含水层中的地下水控制方法	216
12.3 基坑涌水量计算	217
12.4 降水方法	220

12.4.1	明沟、集水井排水	220
12.4.2	真空井点降水	221
12.4.3	喷射井点	223
12.4.4	电渗井点	225
12.4.5	管井井点	226
12.5	降水施工	229
12.5.1	真空井点和喷射井点的施工	230
12.5.2	管井施工	230
12.6	降水引起的地层变形计算	230
12.7	降水对周围环境的影响及防范措施	232
	习题	233
第 13 章 基坑监测		234
13.1	概述	234
13.1.1	监测的必要性	234
13.1.2	监测实施程序与要求	234
13.1.3	监测目的及监测方案要求	235
13.1.4	监测方案设计原则	236
13.2	监测内容	237
13.2.1	监测对象	237
13.2.2	测点布置原则	238
13.2.3	测点布置方法	239
13.3	监测频率与报警值	245
13.3.1	监测频率	245
13.3.2	监测报警值	246
13.4	基坑监测案例	249
13.4.1	支护体系	249
13.4.2	监测项目	249
13.4.3	监测点平面布置图	249
	习题	252
参考文献		253

1.1 概述

1.1.1 引言

随着经济的发展,在用地越发紧张的城市中心,结合城市建设和改造开发大型地下空间,诸如地下铁道及地下车站、地下停车库、地下商场、地下变电站、地下仓库、地下民防工事等,以及量大面广的高层建筑的地下结构遍布每一个城市的角角落落,这些无一例外地都要涉及基坑开挖问题。

近年来我国的地下空间平面开发规模越来越大,仅上海市地下空间开发面积达 10 万~30 万 m^2 的地下综合体项目就多达几十个。非大型地下综合体基坑开挖面积一般也可达 2 万~10 万 m^2 ,常熟新茂星河湾基坑开挖面积为 2.5 万 m^2 ,上海仲盛广场基坑开挖面积为 5 万 m^2 ,天津市 117 大厦基坑开挖面积为 9.6 万 m^2 。

基坑的开挖深度也越来越大,基坑深度为 16.0~25.0m 以上的工程,近年来大量出现。苏州东方之门最大开挖深度为 22.0m,天津津塔开挖深度为 23.5m,上海世博园 500kV 地下变电站开挖深度为 34.0m,新加坡地铁环线 M3 型断面基坑开挖深度为 33.0m。

由于基坑不是孤立的开挖,受到周围环境条件的限制,这些深大基坑通常都位于建筑密集的城市中心,基坑工程周围布满地下管线、建筑物、交通干道、地铁隧道等各种地下构筑物,施工场地狭小、地质条件复杂、施工作业难度大、周边设施环境保护要求高。所有这些都导致基坑工程的设计和施工难度越来越大,重大恶性基坑事故不断发生,工程建设的安全生产形势越来越严峻。基坑周边典型环境条件如图 1-1 所示。

1.1.2 基坑定义及基坑的安全评估

为进行建(构)筑物地下部分的施工,由地面向下开挖出的空间就是基坑。基坑是一个系统工程,包括勘察、设计、施工、监测等内容。勘察设计方面,主要包含岩土工程勘察、基坑支护结构的设计、地下水控制等。施工方面,涉及各种支护结构的施工工艺、施工方法等。工程监测方面,不仅有对支护结构本身的监测,还有对周围环境的监测。

基坑工程既是一门系统工程,同时又是一门风险工程。在设计、施工中既要保证整个支护结构在施工过程中的安全,又要控制结构的变形和周围土体的变形,保证周围环境条件不因基坑的施工而受到明显影响。

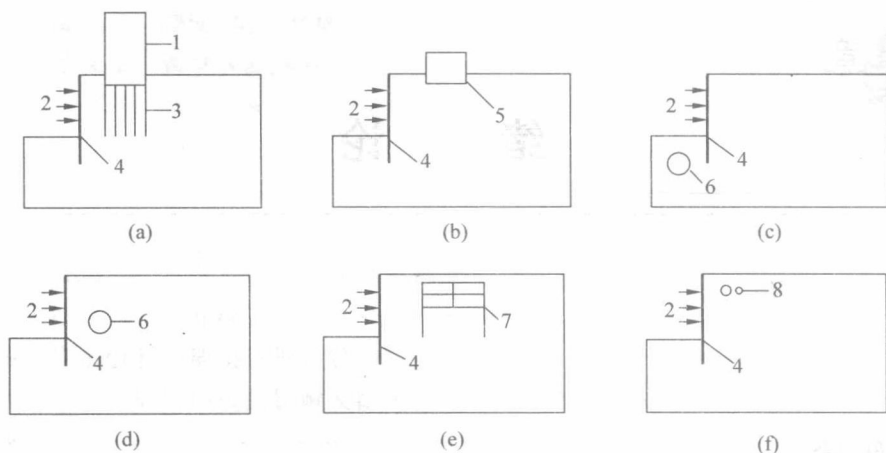


图 1-1 基坑周边典型的环境条件

(a) 基坑周边存在桩基础建筑物；(b) 基坑周边存在浅基础建筑物；(c) 坑底以下存在隧道；

(d) 基坑旁边存在隧道；(e) 基坑周边存在地铁车站；(f) 基坑紧邻地下管线

1—建筑物；2—基坑；3—桩基；4—围护墙；5—浅基础建筑物；6—隧道；7—地铁车站；8—地下管线

正是因为基坑工程的特殊性，所以应该分阶段对基坑工程做好安全评估。这些安全评估阶段包含基坑工程的安全勘察、安全设计、安全施工、安全监测与控制、安全分析与决策，以及信息化在基坑工程安全中的应用。上述安全性评估任一项出错，都有可能给基坑安全、周围环境安全带来不良后果。

1.2 基坑事故案例

1.2.1 杭州地铁湘湖站北 2 号基坑坍塌事故

湘湖站为杭州地铁一号线的起始站，车站为南北向，总长 934.5m，标准宽 20.5m，为 12.0m 宽岛式站台车站。车站全长分为 8 个基坑，发生事故的为南北走向的 2 号基坑，该基坑长 107.8m，宽 21.05m，基坑深度 15.7~16.3m。基坑采用地下连续墙+四道钢管内支撑支护，地下连续墙厚度 0.8m，嵌入基坑底面以下深度 17.3m，由于⑥1 层淤泥质粉质黏土较厚，墙底还是悬浮于⑥1 层淤泥质粉质黏土之中。2008 年 11 月 15 日 15:15 左右，北 2 基坑西侧风情大道长约 75.0m 路面发生塌陷，造成 17 人死亡、4 人失踪。基坑事故现场如图 1-2 所示。

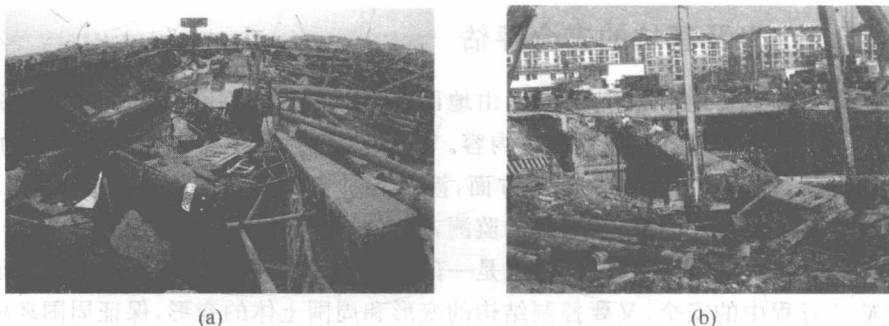


图 1-2 杭州地铁湘湖站基坑事故图

1. 事故调查组分析造成事故的直接原因

(1) 土方超挖。设计文件规定,基坑开挖至支撑设计标高以下 0.5m 时,必须停止开挖,及时设置支撑,不得超挖。但实际开挖时,在拟设置最下一道支撑时,有的地段已挖至基坑底面,支撑架设和垫层浇筑不及时。

(2) 支撑体系存在薄弱环节。设计单位没有提供支撑钢管与地下连续墙的连接节点详图及钢管连接点大样图,没有提出相应的技术要求,也没有对钢支撑与地连墙预埋件提出焊接要求,实际上是没有进行焊接。局部范围地连墙产生过大侧向位移,造成有的支撑轴力过大及严重偏心,导致支撑体系失稳。

(3) 监测工作处于失效状态。11月15日前,地面最大沉降已达 316mm,测斜管测得 18m 处最大位移 43.7mm,11月13日时最大侧向位移已达 65mm,均早已超过报警值,但均未报警。

2. 造成事故的间接原因

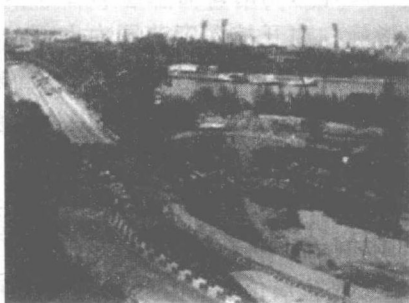
(1) 原方案设计时,设计单位曾提出在基坑被动区进行条状水泥土搅拌桩加固,后施工单位建议用降水固结,取代条状加固措施,设计单位在施工图设计时提出:①基坑内地下水降低到结构内部构件最低点以下 1.0m 处,并大于基坑底面以下 3.0m;②基坑开挖前进行降水试验,并应提前 4 周进行降水;③地面沉降超过报警值时,应停止降水,并及时上报。但实际施工时并未完全遵照执行。

(2) 原勘察单位和后来补充勘察单位所提供的土层物理力学性质指标差异并不大,如④2、⑥两层软土,后者的含水量及孔隙比均比前者低,但未根据当地软土特点,综合判断及合理选用基坑围护设计参数,力学参数选用偏高,降低了基坑体系的安全储备。

(3) 监理对不符合设计要求及规范的严重行为制止不力。

1.2.2 新加坡 Nicoll 大道地铁基坑事故

2004年4月20日下午3:30左右,新加坡地铁环线 C824 标段的一段明挖区段隧道,在挖至第 10 道(也是最后一道)支撑的时候,长约 100.0m 区段的围护体系完全崩溃,造成 4 人死亡,紧邻基坑的 Nicoll 快速道路也相应塌陷中断,相关的城市生命线(如煤气管线,66kV 高压电缆)等严重受损。事故现场如图 1-3 所示。



(a)

(b)

图 1-3 新加坡 Nicoll 大道地铁基坑事故现场图

C824 标段围护结构采用 800~1000mm 厚地下连续墙,开挖深度 34.5m。墙体设计深度为 38.1~43.2m,采用标准的明挖顺作。自上而下设 10 道 H 型钢支撑,基坑被动区设计两层旋喷桩满堂加固,上层 2.0m 厚(实际施工 1.5m),位于第 9、10 道支撑之间,下层 2.6m 厚,设在底板以下。有一根 66kV 的高压电缆斜穿过该区段,在 66kV 电缆穿过的两侧地连墙由 800mm 增加到 1000mm。支护剖面图如图 1-4 所示。

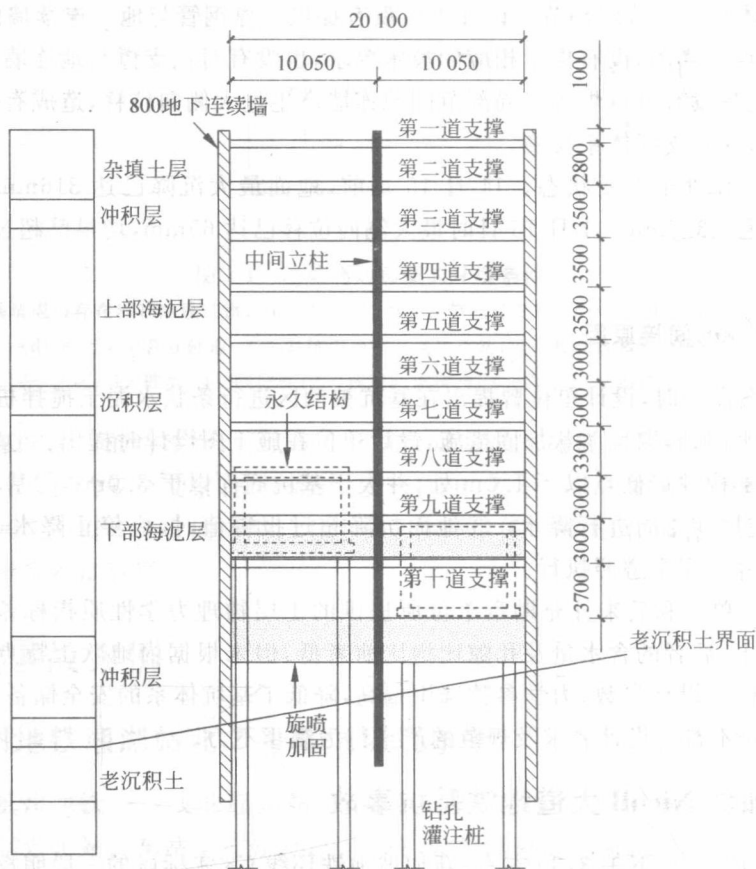


图 1-4 Nicoll 大道地铁基坑支护剖面图(单位: mm)

造成本次事故的原因分析如下:

首先是设计者采用错误的土体抗剪强度指标。设计采用的是有效应力强度指标,直接导致抗剪强度指标大于土体的真实工作抗剪强度指标。在开挖深度范围内大部分为海泥,该土层具有含水量高、强度低和透水性差等特点。对该土层采用有效应力强度指标会导致高估土体强度,从而使计算的围护体系的变形和内力均较实际情况低,导致围护体系的设计偏于不安全。

其次是对竖向支护体最大容许水平变形的多次修正。2004 年 2 月 23 日,当开挖到第 6 道支撑,I-65 测斜孔读数达到 159.0mm,超过设计限制值 145.0mm,LTA(业主方,新加坡陆路交通局)因此要求停止开挖并进行反分析,NLCJV(总承包方,包括设计)按照原模型进行反分析。反分析中,却对输入的参数进行折减以达到需要的拟合效果。本次反分析的结果表明,地下连续墙的最大变形将达到 253.0mm,并认为在这范围内是容许的,该值因此被

建议为新的设计限值。预测到的最大弯矩为 $2339.0\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$, 多处超出地下连续墙的极限承载力。反分析报告还预测到在第4、5、8道和第9道支撑轴力会增加, 第5道支撑轴力将增加高达52%。尽管计算表明墙体已经超出了极限承载力, 支撑轴力在大幅度增加, 可是反分析并未对围护体系设计进行重新评估, 而是选择了加强观测作为应对措施, 于是施工又重新开始。

就在第一次反分析报告准备正式提交时, 2004年4月1日, 当开挖进行到第9道支撑时, I-104测到的最大读数为302.9mm, 再次超出了第一次反分析建议的限值253.0mm, 该断面的第二轮反分析又开始了。鉴于施工进度紧迫, 现场并没有因此停工。和前面四次反分析一样(其他断面也出现了险情, 进行了四次反分析), 在第一次反分析基础上进一步折减参数以达到拟合的效果。本次反分析的结果表明, 实际弯矩已经超出地下连续墙承载力, 支撑轴力较上次的反分析结果又有大幅度增加。

就施工监测而言, 一些测点的布设与安装不符合要求, 导致测得的读数不能真实地反映实际情况, 对一些敏感和高风险的区段没有引起相应的重视, 对异常的监测数据没有给出合理解释等, 说明施工监测存在诸多薄弱环节, 没有发挥其应有的功效。

1.2.3 基坑事故潜在因素

在工程建设中所发生的重大事故, 以地下工程居多, 地下工程事故中又主要是与基坑工程相关的事故。基坑工程由于其固有的特性加上人们认识上存在的偏差, 其事故发生率居高不下。

从以上两例基坑事故看, 基坑事故往往是由多方面的原因造成的。根据国际隧道工程保险集团对施工现场发生安全事故原因的调查结果表明: 地下工程发生事故的原因是多方面的, 其中设计失误占41%, 施工缺陷占21%, 不可抗力占18%, 勘察责任占12%, 缺乏信息沟通占8%。可以说, 没有任何一种土建设计的失误率超过地下工程设计, 所以读者一定要注意, 地下工程设计者承担着更大的风险。

1.3 基坑工程的特点

1. 风险性大

基坑支护体系是临时性结构, 除了少数“两墙合一”的支护结构是按较高的安全储备设计之外, 大部分的支护结构在设计计算时, 有些荷载, 如地震荷载不加考虑, 除特殊要求外, 水平荷载也只按主动土压力考虑, 相对于永久性结构而言, 在强度、变形、防渗、耐久性等方面的要求会低一些, 安全储备较小。基坑工程具有较大的风险性, 对设计、施工和监测的要求更高。

2. 区域性强

场地的工程地质条件和水文地质条件对基坑工程性状具有极大的影响。我国幅员辽阔, 地质条件变化大, 软土、砂性土、黄土、岩石等地基中的基坑工程所采用的围护结构体系差异很大, 即使是同一种土层, 由于含水量不同、地下水的水位不同、是否有承压水等, 对基

坑工程的性状同样影响很大。围护结构体系的设计、基坑的施工均要根据具体的地质条件因地制宜,不同地区的经验只供参考借鉴。

3. 环境条件影响大

基坑工程围护结构体系受到周围建筑物和地下管线等的影响,根据周边环境的重要性选择基坑工程设计方案,是依据基坑本身的稳定性控制或是变形控制。若周围环境复杂,周边建(构)筑物重要性高,基坑设计需要按照变形控制。若基坑处于空旷地区,支护结构的变形不会对周边环境产生不良影响,基坑设计可按稳定性控制进行。

4. 综合性强

基坑工程的设计和施工不仅需要岩土工程方面的知识,也需要结构工程方面的知识。同时,基坑工程中设计和施工是密不可分的,设计计算的工况必须和施工实际的工况一致才能确保设计的可靠性。设计人员必须了解施工,施工人员应该了解设计,施工人员尤其要领会设计的各种工况。设计计算理论的不完善和施工中的不确定因素会增加基坑工程失效的风险,所以,需要设计、施工人员具有丰富的现场实践经验。

5. 计算理论不完善

这里包含两层含义,一是土压力的计算,二是支护结构的计算。

作用在基坑围护结构上的土压力不仅与位移大小、方向有关,还与作用时间有关。目前,应用于工程的土压力理论还不完善,实际设计计算中往往采用经验取值,或者按照朗肯土压力理论或库仑土压力理论计算,然后再根据经验进行修正。在考虑地下水对土压力的影响时,是采用水土压力合算还是分算更符合实际情况,在学术界和工程界认识还不一致,各地制定的技术规程或规范中的规定也不尽相同。

早期的基坑支护结构设计主要依据古典的土力学原理,采用静力平衡的解析法。古典方法主要有卜鲁姆(H. Blum)的极限平衡法、求解入土深度的盾恩法、考虑板桩或支撑合理受力的等弯矩法及等反力法等。这些古典方法解决了一些基坑的基本问题,但计算仅限于力的平衡,较少考虑实际施工工况,采用这些计算方法所得到的计算结果用于基坑支护结构分析时,内力与实际情况的误差较大,难以反映复杂地下工程的施工工况,一般只适用于小型的简单基坑。之后提出了一种近似计算方法——等值梁法,它与实际吻合度较好,计算方法简单,在工程中逐渐广泛运用,并在单支点等值梁算法的基础上,通过适当假定,形成了多支点板桩墙的计算模式,使之成为当时基坑设计常用的方法。在基坑支护结构日趋复杂的情况下,需要进行不同工况的分析,于是就提出了考虑施工工况的设计方法,但至此为止,基坑设计仍是以静力平衡的解析法为主,无法进行变形分析。

弹性支点法(或称弹性基床系数法)较好地解决了力和变形的计算问题,成为目前设计的主要方法之一,也是我国现行基坑工程规范推荐的主要计算方法。

6. 时空效应强

实践发现,基坑工程具有明显的时空效应。时空效应指基坑支护结构的变形和周边地层的变形随时间推移而发展,也因开挖的空间尺度、开挖后的坑底暴露面积而不同,对指导

基坑设计与施工具有很强的实际意义。土体所具有的流变性对作用于围护结构上的土压力、土坡的稳定性和围护结构变形等有很大的影响。这种规律尽管已被初步的认识和利用,形成了一种新的设计和施工方法,但离完善还是有较大的距离。

1.4 基坑工程主要支护方法

基坑支护总体方案的选择直接关系到工程造价、施工进度及周围环境的安全。总体方案主要有顺作法和逆作法两类基本形式,它们具有各自的特点。在同一个基坑工程中,顺作法和逆作法也可以在不同的基坑区域组合使用,从而在特定条件下满足工程的技术经济性要求。基坑工程的总体支护方案分类如图 1-5 所示。

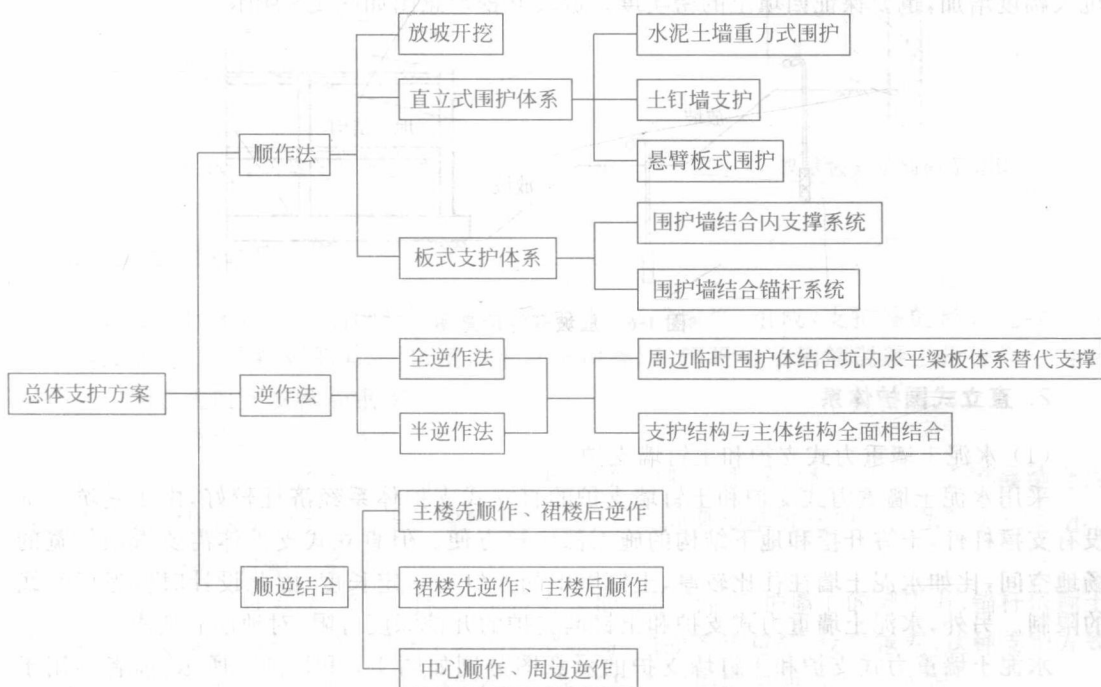


图 1-5 基坑工程总体支护方案分类

逆作法只在某些特殊情况下使用,比如严格控制周围环境变形时采用,本书主要讲解顺做法施工。

所谓顺作法,是指先施工周边围护结构,然后由上而下分层开挖,并依次设置水平支撑(或锚杆系统),开挖至坑底后,再由下而上施工主体地下结构基础底板、竖向墙柱构件及水平楼板构件,并按一定的顺序拆除水平内支撑系统(如果有水平内支撑),进而完成地下结构施工的过程。当不设支护结构而直接采用放坡开挖时,则是先直接放坡开挖至坑底,然后自下而上依次施工地下结构。

顺作法是基坑工程的传统开挖施工方法,施工工艺成熟,支护结构体系与主体结构相对独立,相比逆作法,其设计、施工均比较便捷。由于是传统工艺,对施工单位的管理和技术水平的要求相对较低,施工单位的选择面较广。