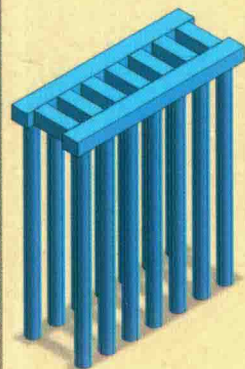


深基坑双排桩支护结构 原理与工程实践

马 郦 徐光黎 李松 朱佳 张德乐 著

SHENJIKENG SHUANGPAIZHUANG ZHIHU JIEGOU
YUANLI YU GONGCHENG SHIJIAN



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

深基坑双排桩支护结构原理与工程实践

Shenjikeng Shuangpaizhuang Zhihu Jiegou Yuanli yu Gongcheng Shijian

马 郅 徐光黎
李 松 朱 佳 张德乐 著

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑双排桩支护结构原理与工程实践/马郢, 徐光黎, 李松, 朱佳, 张德乐著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2018. 4

ISBN 978 - 7 - 5625 - 4254 - 4

I. ①深…

II. ①马…②徐…③李…④朱…⑤张…

III. ①深基坑支护-下部结构-研究

IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 044956 号

深基坑双排桩支护结构原理与工程实践

马 郢 徐光黎 著
李 松 朱 佳 张德乐

责任编辑: 徐润英

责任校对: 徐蕾蕾

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编: 430074

电 话: (027) 67883511 传真: (027) 67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

http://cugp.cug.edu.cn

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

字数: 360 千字 印张: 14.25

版次: 2018 年 4 月第 1 版

印次: 2018 年 4 月第 1 次印刷

印刷: 武汉籍缘印刷厂

印数: 1—500 册

ISBN 978 - 7 - 5625 - 4254 - 4

定价: 68.50 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

自 21 世纪初期以来,随着国民经济的快速发展,城市轨道交通、基础设施、综合管廊、地下空间综合体、住宅及商业综合体等项目的建设如火如荼,开发力度可谓空前。当地上空间不能满足人类需求时,向更深、更广的地下索取空间成为必然,此时将面临岩土工程最具魅力和挑战性的一项工程——基坑工程。基坑工程是一项综合性的工程,它不仅涉及基坑支护结构、止水帷幕与降水的设计,而且需要综合考虑业主要求、周边环境和施工组织设计等相关因素;基坑工程也是一项临时性工程,主要目的是为地下室主体结构施工创造条件,其服务周期一般较短;同时,基坑工程是一项动态变化、不断发展的工程,基坑工程发展至今,其深度由早期的满足一层地下室施工变成现在的可满足多层地下室施工,且规模愈来愈大,基坑工程支护结构形式也随着不断发展。

然而,受建设用地红线的约束,锚固工程的适用范围也受到限制,加上深大软土基坑中单桩的水平抗力不足等影响,迫使我们研发新型、安全、经济的基坑支护形式,以便更好地服务于地下室主体结构施工,保护基坑周边环境的安全。其中,双排桩在提高水平抗力、节省建设用地方面尤其具有独特的优势。相比传统桩撑支护结构,它不仅可提供大面积无支撑的施工作业面,而且可避免拆除内支撑所产生的固体废弃物带来的环境污染,符合当前绿色施工的理念,因此其应用越来越广。

狭义的双排桩支护结构是指由前排桩、后排桩和桩顶连梁共同组成的门式刚架支护体系,必要时可对桩间土进行加固;而广义的双排桩支护结构是指在狭义的双排桩支护结构基础上,还包括坑内留土、设置撑锚、被动区加固等措施。双排桩作为一种新型的基坑支护结构,工程应用时间尚短,其设计计算理论还不成熟,各地双排桩计算机软件程序也不尽相同,这无疑给岩土工程师带来了较大困扰。因此,进行双排桩设计计算的基础理论研究和软件开发工作是当前迫切需要解决的课题,对指导深基坑双排桩支护结构与计算具有重要的现实意义。

本书是在湖北省住房和城乡建设厅科技项目“基坑双排桩支护结构设计计算软件”(项目编号:201333,鄂建办〔2013〕195)以及武汉市城乡建设委员会 2014 年“黄鹤英才(城市建设)”专项计划项目研究成果的基础上编写而成。全书共分为六章,第一章主要介绍了基坑支护结构形式以及目前双排桩支护结

构的应用与研究进展；第二章系统地介绍了双排桩支护结构计算基本理论以及中勘之星双排桩支护结构计算模型，主要包括双排桩支护结构的变形和稳定性计算两个方面；第三章对中勘之星双排桩支护结构计算软件的研发、操作、结果输出进行了详细介绍；第四章详细分析了双排桩支护结构的影响因素，主要涉及桩间土性质、坑内留土、撑锚等因素的作用机理研究；第五章详细阐述了双排桩支护结构设计理论；第六章对武汉地区部分典型的双排桩支护基坑工程实例进行了详细介绍。

中国地质大学出版社对本书的顺利出版给予了大力支持。整个著书过程得到了中南勘察设计院有限公司党委书记夏彩霞、总经理詹学贵、副总经理王奎、副总经理张晓玉、顾问总工李受祉、教授级高级工程师刘佑祥、高级工程师王泽希的热情支持和协助。中国地质大学（武汉）魏志云硕士及中南勘察设计院有限公司的杜金龙工程师在软件研发上付出了大量的劳动，中南勘察设计院有限公司的郭运、龙晓东、易丽丽、罗春雨、张杨、孙盼、倪欣、万巧工程师参与了本书的资料整理、校对、图件清绘工作。在此，对所有付出辛勤劳动并给予帮助的同志致以衷心的感谢！

本书是一本关于双排桩支护结构设计计算理论和基坑工程实践的专业参考书，书末附有中勘之星系列软件之一的双排桩支护结构计算软件部分主要源程序代码，希望它能对从事基坑工程设计的人员提供一些有益的参考和借鉴，同时也希望该书的成果可为湖北省地方标准《基坑工程技术规程》（DB 42/T 159—2012）中双排桩设计计算相关条文的修编作技术上的储备，对进一步提升湖北省基坑工程设计与施工技术水平有所帮助。

由于笔者水平有限，加上时间仓促，书中难免会存在不足甚至谬误之处，恳请广大读者批评指正，不胜感激！

著者

2017年12月于武汉

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 基坑工程概述	(1)
第二节 基坑支护结构及适用条件	(4)
一、放坡	(4)
二、坡体加固	(5)
三、排桩	(6)
四、地下连续墙	(8)
五、围筒	(8)
第三节 基坑工程的主要特点	(8)
第四节 双排桩支护结构应用及研究进展	(9)
一、国内外双排桩研究进展	(10)
二、湖北省基坑工程双排桩支护发展历程	(14)
第二章 深基坑双排桩支护结构计算理论	(16)
第一节 概 述	(16)
第二节 双排桩支护结构计算基本理论	(17)
一、弹性抗力法	(17)
二、土压力	(21)
三、桩顶超载	(22)
四、土的水平反力系数及其比例系数	(23)
五、竖向弹簧支座刚度系数	(23)
六、被动区抗力安全系数	(24)
七、有限单元法	(24)
第三节 中勘之星双排桩支护结构计算模型	(30)
一、双排桩计算模型与参数	(30)
二、初始状态	(31)
三、坑内留土	(32)
四、被动区加固	(33)
五、双排桩内力	(35)
六、撑锚式双排桩	(36)
第四节 中勘之星双排桩支护结构稳定性计算	(37)
一、抗倾覆稳定性	(37)
二、抗滑移稳定性	(40)

第三章 中勘之星双排桩设计计算软件开发 (43)

第一节 中勘之星双排桩设计计算软件开发 (43)

一、程序语言 (43)

二、软件研发 (47)

第二节 中勘之星双排桩设计计算软件操作 (52)

一、功能说明 (52)

二、实例操作 (59)

第四章 深基坑双排桩支护结构特性研究 (72)

第一节 中勘之星双排桩支护结构影响因素分析 (72)

一、排距 (72)

二、嵌固深度 (73)

三、土体性质 (74)

四、被动区加固 (76)

五、坑内留土 (78)

第二节 双排桩与单排桩组合形成的多级支护数值分析 (81)

一、多级支护主要形式与破坏机理 (81)

二、多级支护深基坑工程实例 (81)

三、多级支护结构深基坑数值分析 (83)

第三节 双排桩结合坑内留土支护结构数值分析 (88)

一、留土高度影响分析 (89)

二、留土宽度影响分析 (90)

三、留土加固与未加固影响分析 (90)

四、留土弹性模量影响分析 (91)

五、留土土压力分布规律研究 (92)

第四节 双排桩支护结构受力性状分析 (93)

一、双排桩桩身和桩顶连梁内力计算与验证 (93)

二、桩间土受力状态 (96)

三、桩身轴力分布曲线 (96)

四、桩身弯矩剪力分布曲线 (98)

第五章 深基坑双排桩支护结构设计 (99)

第一节 双排桩布置形式 (99)

一、平面布置 (100)

二、剖面布置 (100)

第二节 双排桩的种类及结构设计 (101)

一、双排桩种类 (101)

二、双排桩支护结构设计 (102)

第三节 双排桩支护新形式 (106)

一、双排桩结合坑内留土支护结构 (106)

二、双排桩结合被动区加固支护结构 (107)

三、双排桩与单排桩组合形成的多级支护结构·····	(107)
四、内支撑式或锚固式双排桩支护结构·····	(108)
五、倒撑式双排桩支护结构·····	(109)
六、多排桩支护结构·····	(110)
七、双排桩与桩撑相结合的混合支护结构·····	(111)
第四节 双排桩桩间土加固形式与应用·····	(111)
一、竖向加固形式·····	(111)
二、平面加固形式·····	(112)
三、桩间土加固工艺·····	(113)
第六章 深基坑双排桩支护结构工程实践·····	(114)
第一节 双排桩悬臂支护典型案例·····	(114)
一、盛世华庭深基坑工程·····	(114)
二、金地名郡深基坑工程·····	(119)
三、金地·雄楚1号五期深基坑工程·····	(125)
四、长江设计大楼、长江水文测报中心及长江综合服务楼深基坑工程·····	(130)
第二节 悬臂双排桩与桩撑相结合支护典型案例·····	(137)
一、武昌府二期深基坑工程·····	(137)
二、浦发银行深基坑工程·····	(142)
三、融科·天城三期深基坑工程·····	(148)
四、月湖琴声深基坑工程·····	(153)
第三节 其他形式双排桩支护典型案例·····	(160)
一、凯德广场古田项目深基坑工程(双排桩结合坑内留土支护结构)·····	(160)
二、天门市第一人民医院门、急诊大楼项目深基坑工程(倒撑式双排桩支护结构)·····	(168)
第四节 多排桩支护典型案例·····	(175)
一、百瑞景东区深基坑工程(三排桩)·····	(175)
二、百瑞景东区深基坑工程(多排钢管桩)·····	(180)
主要参考文献·····	(185)
附录 中勘之星双排桩计算软件部分源程序代码·····	(189)
附录1 用户界面源程序·····	(189)
附录2 双排桩稳定性计算程序·····	(213)
附录3 支护桩配筋源程序·····	(218)

第一章 绪 论

第一节 基坑工程概述

随着全球经济一体化和中国城市化进程的加速，国民经济得到快速发展，城市建设向空中和地下两个方向发展，以保证有限的城市建筑用地得到充分的利用。日益紧张的城市用地促使各种地面建筑结构，如商业用房、车库等向地下转移，加速了地下空间的开发，使得基坑工程朝着更大、更深的方向发展。大多数基坑工程集中在市区，施工场地狭小，施工条件复杂，如何减小基坑开挖对周围建（构）筑物、道路和市政工程的影响，成为岩土工程界关心的重要问题，也对基坑支护体系的设计理论和施工技术提出了更高的要求。武汉作为国家“两型社会”综合改革的试点城市和中部崛起的战略支点城市，城市建设面临极大的机遇。与此同时，作为城市建设的基础工程——基坑工程亦呈现出数量增多、个体面积大、开挖深度大、环境复杂、施工周期短、对环境保护要求高、变形控制严格等特征，基坑工程的技术创新和实践面临空前的机遇和挑战。继 1997 年中华人民共和国冶金部颁布的《建筑基坑工程技术规范》（YB 9258—97）、1999 年中华人民共和国建设部颁布的《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—99），各地方相继出台了各自的基坑支护技术规程，如图 1-1 所示。

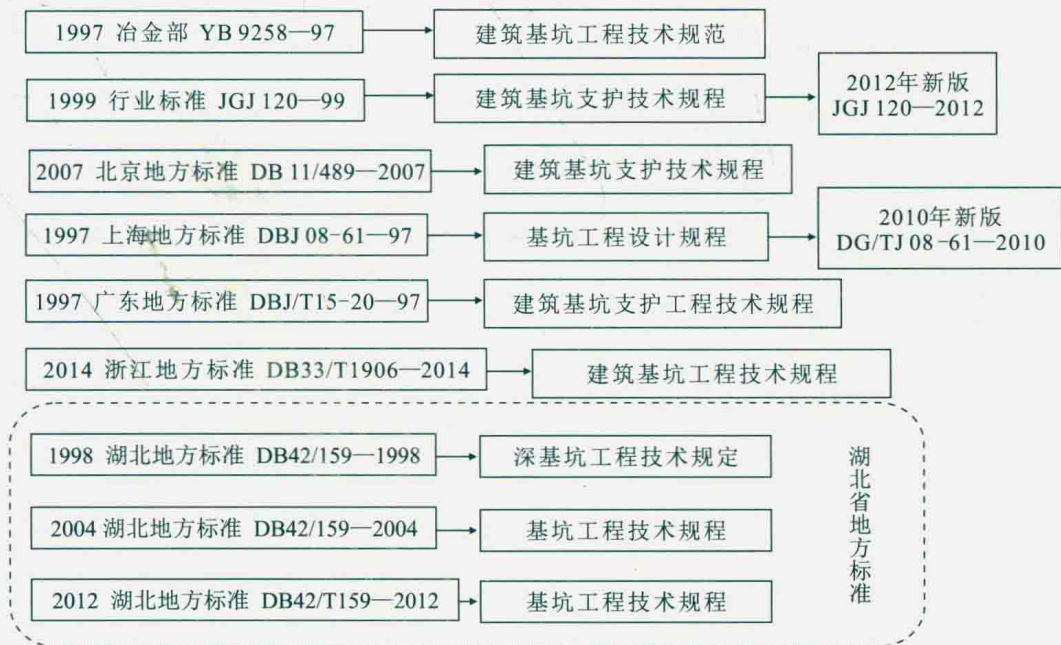


图 1-1 国内主要基坑工程规范

基坑工程是指采取明挖方式由地表向下开挖的一个地下空间及其配套的支护体系。主要内容包括岩土工程勘察、支护设计、支护施工、地下水及地表水的控制、基坑监测与保护、土方开挖与回填等。基坑支护就是为了保证基坑开挖、施工的正常进行及基坑周边环境不受损害而对基坑侧壁及周边环境采取的支挡、加固与保护措施。基坑支护是一项综合性岩土工程，涉及面广，不但包括土力学的强度、变形、稳定性问题，同时还涉及土与支护结构的相互作用问题，要求具有结构力学、土力学、地基基础、地基处理、原位测试、水文地质学等多个学科知识。基坑支护体系由具有挡土、止水功能的围护结构和维持围护结构平衡的撑锚体系两部分组成。常见的基坑支护形式如图 1-2 所示。

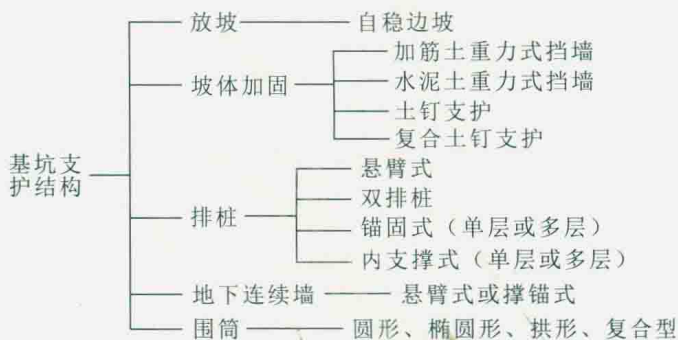


图 1-2 基坑支护形式

20 世纪 30 年代，Tragic & Peck 等就已经开始研究基坑工程，他们提出采用总应力法预估挖方稳定程度和支撑荷载大小。在以后的时间里，世界各国的许多学者都投入研究，并不断地在这一领域取得丰硕的成果。50 年代，Bjerrum & Eide 研究了基坑坑底隆起的分析方法，对工程实践具有很好的指导作用。60 年代，在奥斯陆和墨西哥城的软黏土基坑工程中使用了仪器进行监测，基坑监测技术逐步得到应用和发展，对基坑安全控制的预测起到了促进作用。从 70 年代起，建筑行业出现了基坑工程的相关规范和法规。

我国对基坑工程的广泛研究始于 20 世纪 80 年代初，由于经济的发展带动了建筑行业的繁荣，我国各地高层建筑、超高层建筑大量出现，以北京、上海、天津、广州、深圳等地的高层建筑密度最大，由此产生大量的深基坑工程，且规模和深度不断加大。90 年代以后，随着旧城改造的推进，对基坑工程提出更高、更严格的要求，不仅要确保支护结构的强度和边坡的稳定，还要满足变形的要求，以确保基坑周边既有建筑物、地下管线及道路的安全。近年来，城市人口密集，交通堵塞，为了减轻城市道路的压力，地铁成为新的发展趋势。地铁的建设给基坑工程带来许多新的技术难题，由此也产生了许多基坑支护的新技术和新方法，促进了基坑工程领域的发展。由于基坑工程的复杂性和不确定性，设计和施工常常面临严峻的考验，稍有不慎就会酿成工程事故。

随着高层建筑的不断增加、市政建设的加快发展和地下空间的开发利用，产生了大量的基坑支护设计与施工问题，使之成为当前基础工程的热点与难点。基坑设计与施工是土力学、基础工程中的一个古老的课题，同时又是一个综合性的岩土工程难题。对这些问题的认识及其对策的研究，是随着土力学理论、测试技术、计算技术以及施工机械、施工技术的发展而逐步完善的。

我国基坑开挖与支护主要存在以下问题：

(1) 基坑支护结构设计计算与实际情况不符。目前，基坑支护结构设计计算仍基于极限平衡理论。极限平衡理论是基坑支护结构的一种静态设计，而实际上开挖后的土体是处于动态平衡状态，是一个松弛过程，随着时间的增长，土体强度逐渐下降并产生一定变形。这说

明在设计中应给予充分考虑，但在目前设计中却常被忽略。

(2) 基坑开挖存在的空间效应考虑不周。基坑开挖中大量的实测资料表明，基坑由外向里发生的水平向位移是中间大、两边小，基坑边坡失稳常常在长边的中间位置发生，这说明基坑开挖是一个空间问题。而传统的基坑支护结构的设计是按平面应变问题处理的，在进行方形或长方形基坑支护设计时，计算变形值与实际差别比较大。所以，基坑支护结构的设计应考虑基坑开挖的空间效应。

(3) 设计中土体的物理力学参数取值不当。基坑土压力的计算直接影响支护结构的安全性，要精确计算土压力目前还十分困难，现今仍采用库仑或朗肯土压力公式。在支护结构设计中，如果对地基土体的物理力学参数选取不准，将对设计结果产生很大影响。

(4) 忽视基坑工程对工程勘察的特殊要求。基坑工程的岩土工程勘察工作十分重要，但许多勘察单位常常忽略对基坑工程地质和水文地质的勘察，为取得各种计算参数的试验方法和取值缺乏或不符合现场实际情况，对于费时费力的现场试验和原位测试工作较少进行，勘察深度和勘察点布置不符合基坑工程要求，给设计、施工带来困难和隐患。

基坑支护体系的选用要遵循安全、经济、施工方便及因地制宜的总原则。基坑支护结构设计是根据基坑环境条件及其保护要求、岩土工程条件、基坑开挖深度及其平面形状和面积大小、场地施工条件以及选用施工工艺和设备情况，通过方案比选，制定出安全可靠、技术可行、施工方便、经济合理的支护结构方案。在进行基坑支护结构设计之前，需要对基坑工程的重要性等级进行划分，如表 1-1 所示。

表 1-1 基坑工程重要性等级划分

开挖深度 H (m)	环境条件与工程地质、水文地质条件								
	$a < H$			$H \leq a \leq 2H$			$a > 2H$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$H > 15$	一级			一级			一级		
$10 < H \leq 15$	一级			一级		二级	一级	二级	
$6 < H \leq 10$	一级		二级	一级	二级		一级	二级	三级
$H \leq 6$	一级	二级		一级	二级	三级	二级	三级	

- 注：① H ——基坑计算开挖深度 (m)；
- ② a ——主干道、生命线工程及邻近建（构）筑物基础边缘距坑口内壁的距离 (m)。
- ③ 工程地质、水文地质条件分类：
- I. 复杂——有深厚淤泥、淤泥质土或承载力特征值低于 80kPa 的饱和黏性土层，或承压水埋藏浅，对基坑工程有重大影响；
 - II. 较复杂——土质较差，或浅部有易于流渐的粉土、粉砂层，地下水对基坑工程有一定影响；
 - III. 土质好，且地下水对基坑工程影响轻微。
- 坑壁为互层土时可经过分析按不利情况考虑。
- ④ 邻近建（构）筑物指采用天然地基浅基础的永久性建筑物。管线指重要干线、生命线工程或一旦破坏危及公共安全的管线。如邻近建（构）筑物为价值不高的、待拆除的或临时性的，管线为非重要干线，一旦破坏没有危险易于修复的，则重要性等级可按 $a > 2H$ 确定。如邻近建筑物采用桩基，虽然 $a < H$ ，也可根据具体情况按 $H \leq a \leq 2H$ 或 $a > 2H$ 确定重要性等级。
- ⑤ 同一基坑周边条件不同时，可分别划分出不同的重要性等级，但采用内支撑时应考虑各边的相互影响。
- ⑥ 坑内外有工程桩需要保护时，重要性等级不应低于二级。
- ⑦ 距离基坑边开挖深度 1 倍（对软土为 1.5 倍）范围内存在历史文物或优秀建筑时，重要性等级应为一级。
- ⑧ 周边场地开阔，具备放坡或分阶放坡条件，不需采用桩、墙支护的基坑工程，可确定为二级或三级。

对于基坑重要性等级为一、二级的基坑支护结构，需要进行支护结构变形和基坑位移的计算，计算时要考虑土体与结构的相互作用，如有限单元法、“*m*”法，并结合工程地质类比法，参照类似工程的实测资料判断计算结果的可靠性；对基坑重要性等级为三级的基坑可不进行变形计算，但应进行水平位移的监测。基坑支护结构变形按表 1-2 进行控制。

表 1-2 基坑支护结构水平变形控制标准

基坑工程重要性等级	变形控制标准 δ	说 明	
一级	$\leq 30\text{mm}$	特殊重要保护对象, $a < H$	H 为基坑开挖深度, a 为保护对象距离基坑边沿的距离
	$\leq 40\text{mm}$	特殊重要保护对象, $H \leq a \leq 2H$ 重要保护对象, $a < H$	
	$\leq 50\text{mm}$	一般保护对象及其他一级基坑	
二级	$\leq 80\text{mm}$	除上述情况外	

注：①特殊重要保护对象指一旦破坏危及社会公共安全，影响广泛，后果特别严重的生命线工程。重要保护对象包括优秀历史建筑，有精密仪器与设备的建筑物，采用天然地基、短桩基础、复合地基的重要建筑物，轨道交通设施、隧道、高架桥、自来水总管、煤气管、重要的高压电杆及电缆等建（构）筑物及设施。一般保护对象包括自来水管、污水管、电缆等市政管线，采用长桩或地下室埋深大于基坑开挖深度的一般建筑物等。

②当支护结构当作永久结构使用时，支护结构的变形控制值还应满足建筑物的使用和抗裂要求。

③三级基坑变形不作限制，但支护结构不能因变形过大而不能发挥正常使用功能。

第二节 基坑支护结构及适用条件

针对不同的基坑支护形式，其适用的地质条件、环境条件、基坑深度等均有所不同，具体工程应具体对待，因地制宜才能既保证工程的安全，又能产生较好的社会效益。

一、放坡

自稳边坡可根据土质按一定坡率放坡（单一坡或分级坡），土工膜覆盖坡面，挂网喷砼保护坡面，袋装砂、土包反压坡脚、坡面，如图 1-3 所示。

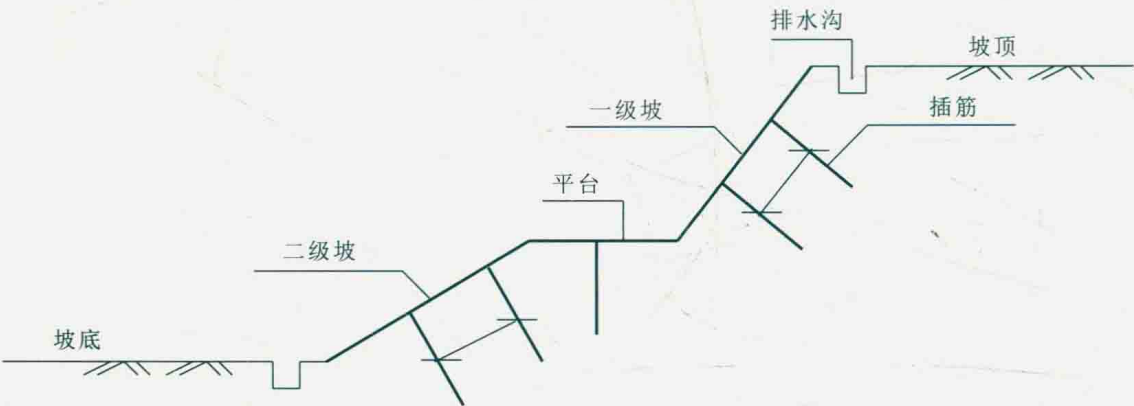


图 1-3 放坡示意图

适用条件：放坡适用于周边开阔，相邻建（构）筑物距离较远，无地下管线或地下管线不重要、可以迁移改道的基坑；坑底土质软弱时，为防止坑底隆起破坏，可通过分级放坡卸载。

二、坡体加固

（一）加筋土重力式挡墙

加筋土重力式挡墙是指用土钉、螺旋锚、锚管灌（注）浆等形成的加筋土挡墙，如图 1-4 所示。

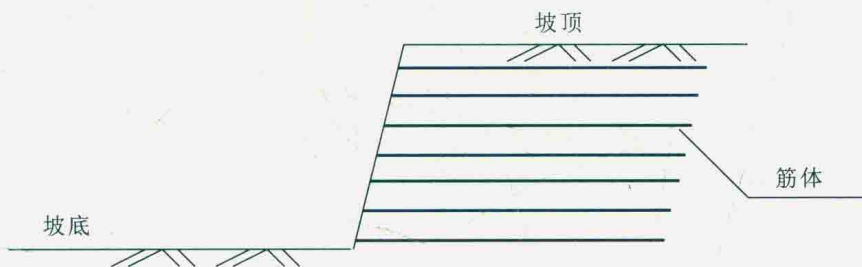


图 1-4 加筋土重力式挡墙示意图

适用条件：加筋土重力式挡墙适用于除淤泥、淤泥质土外的多种土质，支护深度不宜超过 6m；坑底没有软土，可用于二级或二级以下基坑。

（二）水泥土重力式挡墙

水泥土重力式挡墙是指用旋喷桩、深层搅拌桩（实体式、格栅式）水泥土加固形成的水泥土挡墙（图 1-5），必要时可在墙身插入钢管、型钢等竖向构件，增强墙身的整体强度。

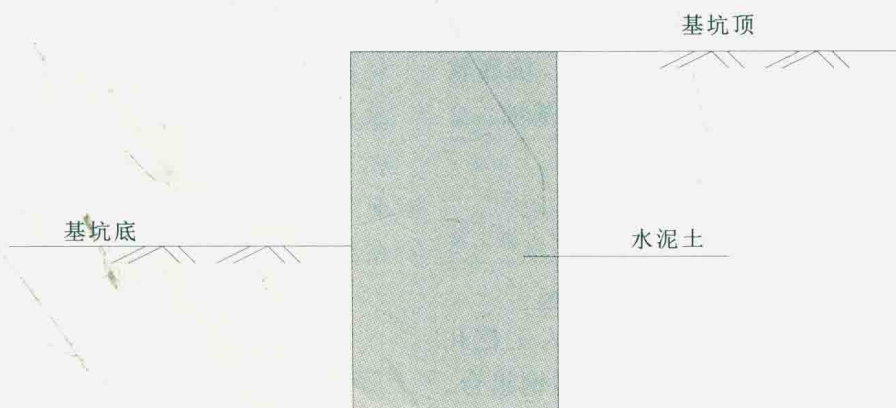


图 1-5 水泥土重力式挡墙示意图

适用条件：水泥土重力式挡墙适用于包括软弱土层在内的多种土质，支护深度不宜超过 6m（加扶壁可加大支护深度），可兼作隔渗帷幕，墙底无软土，基坑周边需有一定的施工场地。

(三) 土钉支护

土钉支护是指在钢筋网喷射混凝土面层增设土钉，如图 1-6 所示。

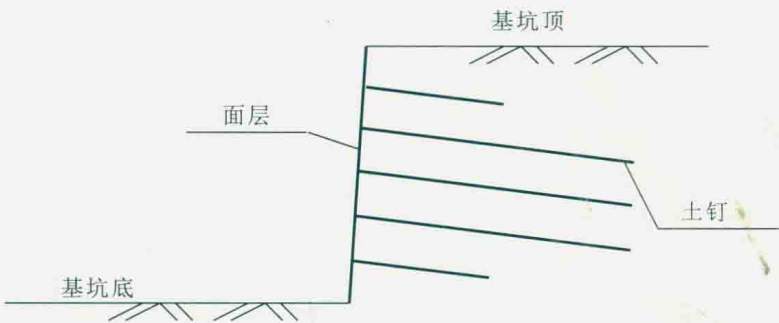


图 1-6 土钉支护示意图

适用条件：土钉支护适用于填土、黏性土及岩质边坡，支护深度不宜超过 6m（岩质边坡除外），坡底有软弱土层影响整体稳定时慎用，可用于二级或二级以下基坑（岩质边坡除外），不适用于深厚淤泥、淤泥质土层、流塑状软黏土和地下水位以下的粉土、粉砂层。

(四) 复合土钉支护

复合土钉支护是指除在钢筋网喷射混凝土面层增设土钉外，另加水泥土桩、微型钢管桩或其他支护桩，解决坑底抗隆起稳定问题和深部整体滑动稳定问题。复合土钉支护如图 1-7 所示。

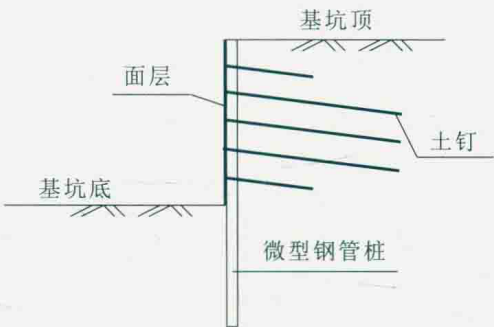


图 1-7 复合土钉支护示意图

适用条件：坑底以下有一定厚度的软弱土层，单纯土钉支护不能满足要求时可考虑采用复合土钉支护，支护深度不宜超过 6m，坑底软土厚度超过 4m 时慎用，不宜用于一级基坑。

三、排桩

(一) 悬臂式排桩

悬臂式排桩支护由钻孔灌注桩、人工挖孔桩、预制桩、板桩（钢板桩组合、异型钢组合、预制钢筋混凝土板桩组合）、型钢水泥土搅拌墙加上冠梁组成，如图 1-8 所示。

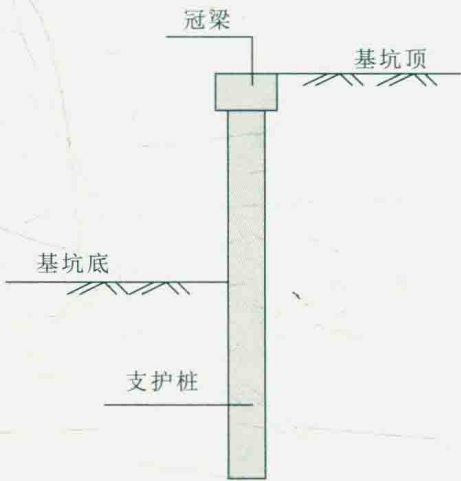


图 1-8 悬臂式排桩示意图

适用条件：悬臂式排桩悬臂高度不宜超过 6m。坑底以下软土层厚度很大时不宜采用，但对被动区软土层进行加固处理经计算满足要求后可以采用。嵌入岩层、老黏性土、密实卵砾

石、碎石层中刚度较大的悬臂桩的悬臂高度可以超过 6m。

(二) 双排桩

双排桩是指由两排钢筋混凝土桩、顶部由钢筋混凝土连梁连结，必要时对桩间土进行加固处理的一种基坑支护形式（图 1-9）。

适用条件：双排桩可在一定程度上弥补单排悬臂桩变形大、支护深度有限的缺点，适宜的开挖深度应视变形控制要求经计算确定，当设置锚杆和内支撑有困难时可考虑双排桩，坑底以下有厚层软土，不具备嵌固条件时应与被动区加固相配合。

(三) 锚固式排桩

锚固式（单层或多层）排桩是指钻孔灌注桩、人工挖孔桩、预制桩、板桩等桩型加预应力或非预应力灌浆锚杆、扩大头锚杆、玻璃纤维锚杆、螺旋锚或灌浆螺旋锚、锚定板（或桩），并设置冠梁和围檩（根据锚固层数需要）。单支点锚固式排桩如图 1-10 所示。

适用条件：锚固式排桩适用于不同深度的基坑，支护体系不占用基坑范围内空间，但锚杆需伸入邻地，有障碍时不能设置，也不宜锚入毗邻建筑物地基内；锚杆的锚固段不应设在灵敏度高的淤泥层内，在软土中也要慎用；在含承压水的粉土、粉细砂层中应采用跟管钻进施工锚杆或一次性锚杆。

(四) 内支撑式排桩

内支撑式（单层或多层）排桩由钻孔灌注桩、人工挖孔桩、预制桩、板桩等桩型加型钢或钢筋混凝土支撑组成，包括各种水平支撑（对顶撑、角撑、桁架式支撑）、竖向斜撑、能承受支撑点集中力的冠梁或围檩以及能限制水平撑变位的立柱，如图 1-11 所示。

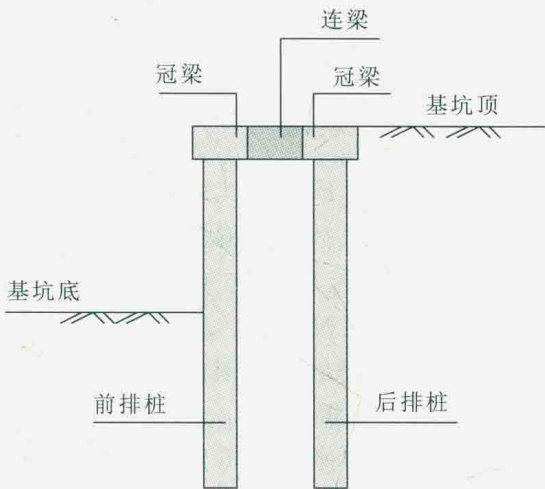


图 1-9 双排桩示意图

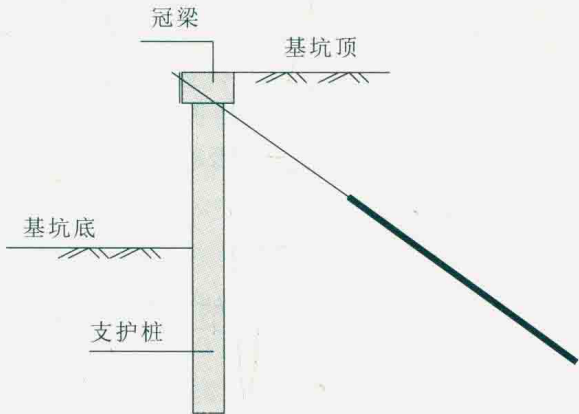


图 1-10 单支点锚固式排桩示意图

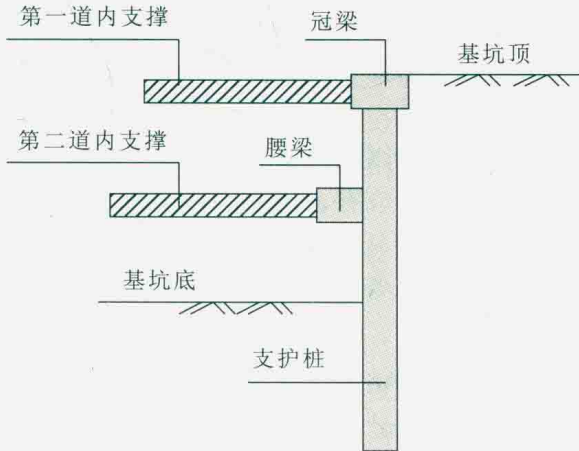


图 1-11 多层内支撑式排桩示意图

适用条件：可用于不同深度的基坑和不同土质条件，变形控制要求严格时适宜选用；支护体系需占用基坑范围内空间，其布置应考虑后续施工的方便。

四、地下连续墙

地下连续墙可分成悬臂式和撑锚式两类，其支护构件包括钢筋混凝土地下连续墙、型钢水泥土（TRD、CSM、搅拌桩）墙、钻孔灌注咬合桩。地下连续墙支护形式与排桩类似，仅围护结构形式有所不同，此处不再赘述。

适用条件：地下连续墙可用于多层地下室基坑，宜配合逆作法施工使用，并利用地下室梁板柱作为内支撑。

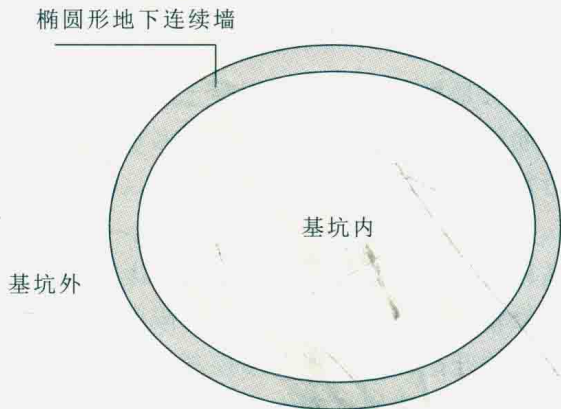


图 1-12 椭圆形围筒示意图

五、围筒

围筒形式上可以为圆形、椭圆形、拱形、复合形，其支护构件包括各类桩排、地下连续墙、环形撑梁，如图 1-12 所示。

适用条件：基坑形状接近圆形或椭圆形，或局部有弧形拱段，因充分利用结构受力特点，其径向位移小，筒壁弯矩小。

第三节 基坑工程的主要特点

基坑工程具有如下特点：

(1) 安全储备小，风险性高。基坑工程作为一项临时性的工程，其目的主要是为地下室主体结构施工创造条件，大多数使用年限较短。与永久性结构相比，基坑支护结构在强度、变形、稳定性、防渗以及耐久性等方面的要求自然低许多，安全储备较小。并且基坑工程多数情况下不能引起建设方和施工方足够的重视，建设方为节省投资、控制成本，可能一再要求设计方优化设计，而进一步降低安全储备；而施工方的施工质量也会对基坑支护结构的安全储备造成影响。因此，基坑工程是一项安全储备小、风险性高的工程，应引起相关各方足够的重视，必要时应有合理的应对措施。

(2) 地域区别显著，制约因素多。基坑工程作为一种岩土工程，与自然条件的关系密切，设计施工中必须全面考虑气象、工程地质及水文地质条件的影响。我国幅员辽阔，工程地质条件变化很大，有软土、红黏土、黄土、膨胀土、砂性土、岩石等，不同地层中的基坑工程所采用的支护结构形式差异很大，即使是在同一城市，不同的区域也存在差异。因此，基坑支护体系的设计与施工均要根据具体的地质条件因地制宜，不同地区的经验可以参考借鉴，但不可照搬照抄。

基坑工程支护结构体系除受地质条件的制约，还受到相邻的建筑物、地下构筑物 and 地下管线等的影响，周边环境的允许变形量、重要性等也会成为基坑设计和施工的制约因素，甚

至成为基坑工程成败的关键。因此,基坑工程所受到的制约因素多,基坑设计与施工应根据基本的原理和规律灵活运用。

(3) 计算理论不够完善。基坑工程所处的地质条件复杂,影响因素众多,人们对岩土力学性质的了解还不够深入,很多设计计算基本理论如岩土压力、岩土的本构关系等还不完善,是一门发展中的学科。

作用在基坑围护结构上的土压力不仅与位移的方向、大小有关,而且还与实践有关。目前,土压力计算理论还很不完善,实际设计计算中往往按经验取值,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,是采用水土合算还是水土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者规范中的规定也不尽相同。至于时间对土压力的影响,即考虑土体的蠕变性,目前在实际工程中较少顾及。

实践发现,基坑工程具有明显的时空效应,基坑的深度和平面形状对基坑围护结构的稳定性和变形均有较大的影响,土体所具有的流变性对作用于围护结构上的土压力和变形等有很大影响,尽管这种规律已被初步认识和利用,形成了一种新的设计和施工方法,但离完善还有很大差距。而岩土的本构模型目前已多得数以百计,但真正能获得认可并实际应用的本构模型却寥寥无几,没有一种本构模型对各种地质条件的岩土是通用的,具体工程应具体对待。

基坑工程的设计计算理论的不完善直接导致了工程中的许多不确定性,因此,要和监测、监控相互配合,更要有相应的应急预案。

(4) 综合性知识要求高,经验性强。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,基坑工程的设计和施工密不可分,设计计算的工况必须和实际的施工工况一致才能确保设计的可靠性。所以设计人员必须了解施工,施工人员必须了解设计。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。具体来说,主要包括岩土工程知识和经验、建筑结构和力学知识、施工经验和工程所在地的施工条件和经验四方面。

(5) 需考虑周边环境效应。基坑开挖必将引起基坑周边地基中地下水位和应力场的改变,导致周围地基中土体的变形,对临近基坑的建筑物、地下构筑物 and 地下管线等产生影响,影响严重的将危及相邻建(构)筑物、地下构筑物和地下管线的安全和正常使用,应引起足够的重视。同时,基坑工程施工产生的噪声、粉尘、废弃的泥浆、渣土等会对周围环境产生影响,大量的土方外运会对交通产生影响。因此,应考虑基坑工程的环境效应。

第四节 双排桩支护结构应用及研究进展

双排桩支护体系是20世纪90年代出现的新型结构,因其抗侧移刚度大,可增加无支撑排桩的支护深度,在造价降低的同时也为后续土方开挖和主体建筑施工带来方便,并且较拉锚式支护体系,双排桩所需场地范围也大为缩小。除在深基坑支护中广泛使用外,双排桩结构也应用于公路边坡防护及临时围堰等工程,大排距双排桩(前后排桩距离大于10倍桩径)还可用于深水岸坡、防波堤、码头等工程,作为永久性构筑物。