

深基坑支护结构的 实用计算方法及其应用

 杨光华 著

地 质 出 版 社

深基坑支护结构的实用 计算方法及其应用

杨光华 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是作者多年从事深基坑工程研究与实践的总结。本书的内容主要是介绍了一套以增量法为核心的新颖实用的深基坑工程计算方法,可以有效地解决目前深基坑支护设计中一些关键和难点问题,为基坑工程设计提供一本较好的参考书。全书共6章:1.绪论;2.土压力计算理论;3.支护结构设计计算理论;4.土钉支护结构设计计算理论;5.侧向移动土体对桩的影响分析;6.工程应用实例。

本书可供建筑、水利、市政及交通、地下工程和地质工程等专业的人员学习参考,也可作本专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

深基坑支护结构的实用计算方法及其应用/杨光华著.-北京:地质出版社,2004.4
ISBN 7-116-04046-3

I.深… II.杨… III.深基础-下部结构-计算方法 IV.TU473.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第014295号

责任编辑:屠涌泉

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324569(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm^{1/16}

印 张:13.25 彩版:2页

字 数:300千字

印 数:1—600册

版 次:2004年4月北京第一版·第一次印刷

定 价:32.00元

ISBN 7-116-04046-3/T·113

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

序

放眼我国的大城市，最醒目的是高楼大厦栉次鳞比。树大根深，楼高基深，高层建筑不可避免地涉及到深基坑问题。20 世纪 80 年代基坑深度一般在 10 m 左右，现在 20 ~ 30 m 深的基坑已屡见不鲜。另一方面，人们对于城市的理念也逐渐变化；如果说 20 世纪是高楼大厦的世纪，21 世纪将是地下工程的世纪。随着我国城市化进程的加快，城市地下空间作为一种资源受到越来越多的重视和开发。这样，深基坑工程技术还必将进一步发展。

近 20 年在基坑工程方面丰富实践，使我们对于基坑支护结构上的水土压力的认识有了很大的进展；支护结构的型式有了不少创造和改进；施工技术也有了很大进步。这一切也推动了我国岩土工程理论的发展。但是，也应当看到，基坑工程仍然是土木工程建设中事故的多发点，事故率高达基坑数的 20% ~ 30%。造成巨大的经济和社会的损失。造成基坑事故的原因很多，可源于岩土性质的不易捉摸；可由于无序竞争造成以高风险为代价；但是根本的原因，还是人们对于基坑工程中土的性状和土与结构间的相互作用的机理的认识不够充分。

经典土力学是在饱和重塑土的试验基础上建立起来的，经典的挡土墙和土压力问题，是先修建墙体，然后逐层填土加载。一方面，不涉及原状土的结构性和非饱和土的基质吸力问题；另一方面，它的设计计算是递增加载的静定问题。经典的土压力理论也主要是针对这种问题建立的。而基坑的问题则不同，首先，基坑开挖是在具有不同程度结构性的原状土中进行的，地基中水的赋存形态与运动规律十分复杂，因而，基坑支护结构上的水土压力准确计算是一难题。其次，在基坑开挖过程中，土中的应力路径远比挡土墙后的情况复杂。有时是先浇注桩或者墙，随后逐层开挖；有时是边开挖边护坡、锚固或支撑。支护结构某个断面的最大内力可能发生在开挖的某一个深度与时刻。而整个基坑的最危险情况可能不是最后基坑开挖到设计深度时的状态。这是一个结构与土的相互作用的动态的过程。其设计的思路采用结构力学中可移动荷载下的影响线概念，用最大内力的包络线更加合理。而不是简单地采用最后状态设计。

杨光华所著的这本“深基坑支护结构实用计算方法及其应用”的突出的特点是考虑了这种结构与土相互作用的动态过程，在基坑工程设计理念方面有革命性的进步。这本书是作者多年研究和实践的总结，也是理论联系实际的结果。书中叙述和介绍的观点、方法、理论和实例，具有很强的实用性。

十多年前，我知道杨光华是在土的本构关系的理论方面有较深入的研究。后来他在长期的工程实践中，理论结合实际，取得了丰硕的成果。他在清华大学攻读博士学位期间，

在我的指导下进行论文的研究工作。论文工作期间，表现了他理论功底扎实，实践经验丰富的突出的优势。相信他必将在今后的岩土工程理论与实践方面取得更大的成绩。

我相信这本书的出版将会丰富基坑设计计算方法，加深我们在基坑理论方面的认识，为从事基坑设计施工的技术人员提供一本十分宝贵的参考书。

李广信
2004年1月于清华大学

前 言

随着城市建设的发展,高层建筑地下室的建设和城市地铁工程的建设,深基坑工程将越来越多,目前深基工程中支护型式应用最广的主要是结构支护和土钉支护。深基坑支护的设计计算涉及结构工程和岩土工程等多门学科,同时,由于支护结构通常是边施工边支护分步形成的,因而其计算体系是不断变化的,合理的计算方法应是采用增量仿真的计算方法,因此,基坑支护设计关键是要有一套科学合理的计算方法。作者从20世纪80年代末开始从事基坑工程的设计,参与了广州地铁、高层建筑等的许多重大深基坑工程的实践和基坑审查。在实践中,系统地发展了一套深基坑支护结构的实用计算方法,该方法基本可以较系统地解决支护结构设计中的主要关键技术问题,能够较圆满地解决支护结构入土深度、支撑拆除、施加预应力等以往难以较好解决的问题。从而为设计提供了一套较完整的计算方法,使得设计更为科学、合理,是目前国内外较为系统和完整而又实用的计算方法之一。广州地铁已将增量法作为其基坑支护的设计计算方法。

基坑支护的事故往往损失重大,总结事故的经验对于避免事故的发生是很有意义的。作者把了解到的典型的基坑工程事故进行剖析,提出基坑支护设计中应重点注意的若干问题,这对于提高基坑支护设计和施工水平也是有所帮助的。对支护选型也是基坑支护是否合理的关键,选型往往涉及多方面的因素,如周边环境、地质、基坑深度、造价等等。作者把在基坑审查中积累的一些实例进行分析,相信对于选型会有所益处。土钉支护由于其经济性已越来越广泛地被应用,但其设计理论则远远落后于工程实践,对土钉力、土钉支护的位移等的计算目前都缺乏较符合实际的实用计算方法。如土钉力的计算,一些规程采用三角形土压力,计算的土钉力分布与实测值误差较大,对土钉的设计影响也较大。作者首次把增量法用于土钉力的计算,并对土钉支护的位移计算提出了简明的实用计算方法,相信对于促进土钉支护的合理设计和设计理论的发展完善,均会具有一定的参考意义,这也是很多设计人员较感兴趣的内容。

总之,本书的内容基本上是针对基坑支护设计计算中实际遇到的一些难点问题,提出一些简明有效的计算方法,可为基坑工程设计提供较好的参考。对于为支护结构的增量算法所编制的相应的计算程序,已在许多工程中得到应用和验证。书中也提供了作者开发的程序的使用说明。

本书是作者多年从事深基坑工程实践的总结,在此作者感谢已故的广东省水利水电科学研究所陆培炎原总工程师,为作者提供了许多实践的机会,并给予了指导和帮助,书

中的工程实例是由作者和广东省水利水电科学研究院的同事们，即李思平高工、杜秀忠高工、熊丽珍原副总工、曹洪博士、史永胜工程师、蔡晓英工程师、方大勇工程师及其他一些同志参与共同完成的，同时也感谢同济大学地下系的领导和合作的同事，部分研究工作是作者在同济大学做访问教授时完成的，也得到了上海市重点学科建设项目的资助！也感谢我的博士生导师、清华大学李广信教授为本书热情作序！本书的整理出版得到曾进群硕士的大力协助，在此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢！

杨光华
2003 年 12 月于广州

目 录

序

前 言

第一章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 常见深基坑工程事故原因分析	(2)
1.2.1 入土深度问题	(2)
1.2.2 地基强度问题	(3)
1.2.3 结构内力的问题	(3)
1.2.4 软土开挖使工程桩产生侧移	(4)
1.2.5 降水对周围环境的影响	(4)
1.3 基坑支护的型式及合理选型	(5)
1.3.1 不同基坑支护型式的特点及支护选型的原则	(5)
1.3.2 支护结构选型的若干工程实例分析	(9)
1.3.3 基坑支护选型小结	(13)
1.4 基坑支护的设计要求	(13)
1.5 基坑支护设计计算的内容	(14)
1.5.1 结构支护	(14)
1.5.2 土钉支护	(14)
1.5.3 重力式挡土结构	(14)
1.6 若干计算理论的进展和本书的特色	(14)
1.6.1 结构支护的计算方法问题	(14)
1.6.2 土压力的问题	(15)
1.6.3 支护结构的实用计算方法问题	(15)
1.6.4 土钉墙理论中存在的问题	(15)
1.6.5 软土中的基坑工程问题	(16)
1.6.6 典型工程实例问题	(16)
第二章 土压力计算理论	(17)
2.1 概述	(17)
2.2 土压力的概念	(17)
2.2.1 静止土压力	(17)
2.2.2 主动土压力	(17)
2.2.3 被动土压力	(17)
2.2.4 静止土压力计算	(20)
2.2.5 主动土压力计算	(21)
2.2.6 被动土压力计算	(23)

2.2.7 朗肯极限破裂面	(24)
2.3 Terzaghi-Peck 表观土压力	(25)
2.4 经典土压力的改进	(26)
2.4.1 新的主动和被动土压力计算方法	(27)
2.4.2 新的主动土压力公式	(27)
2.4.3 新的被动土压力公式	(30)
2.4.4 算例分析	(32)
2.4.5 新的土压力的应用	(32)
2.5 空间土压力问题	(34)
2.6 土压力与位移的关系	(35)
2.7 土压力与时间的关系	(36)
2.8 水土合算与水土分算问题	(36)
2.9 土压力几个问题的讨论	(38)
2.9.1 土压力计算理论的选用	(38)
2.9.2 位移对土压力的影响问题	(38)
2.9.3 理论土压力与经验土压力的问题	(38)
2.9.4 关于水土压力的问题	(38)
第三章 支护结构设计计算理论	(39)
3.1 概述	(39)
3.1.1 经典方法	(39)
3.1.2 弹性地基梁法	(40)
3.1.3 有限元法	(40)
3.2 支护结构计算的规范方法	(41)
3.2.1 悬臂支护结构计算	(41)
3.2.2 单支点支护结构计算	(42)
3.2.3 多支点支护结构计算	(42)
3.3 弹性地基梁计算的结构力学简化方法	(45)
3.4 土层参数的确定	(47)
3.4.1 广东地区常见土层的强度和变形参数经验值	(48)
3.4.2 参数反算的方法	(48)
3.4.3 残积土及强风化岩参数的反算	(49)
3.4.4 中粗砂参数的反算	(50)
3.4.5 软土参数的反算	(51)
3.4.6 变形模量计算的公式	(52)
3.4.7 岩石强度参数的确定	(52)
3.4.8 应用实例	(52)
3.4.9 本节小结	(54)
3.5 深基坑开挖中多撑或多锚式支护结构的增量算法	(54)
3.5.1 概述	(54)
3.5.2 增量算法	(55)
3.5.3 增量法理论证明	(56)

3.5.4 工程实例的计算	(57)
3.5.5 本节小结	(59)
3.6 支护结构的入土深度计算	(59)
3.6.1 概述	(59)
3.6.2 应力转移法确定土体抗力	(60)
3.6.3 算例及工程实测	(61)
3.6.4 本节小结	(62)
3.7 预应力施加及支撑拆除的计算方法	(63)
3.7.1 概述	(63)
3.7.2 预应力施加及支撑拆除的计算	(63)
3.7.3 工程实例	(64)
3.7.4 本节小结	(67)
3.8 深层搅拌桩等嵌入式重力挡土结构稳定与变形的计算	(68)
3.8.1 概述	(68)
3.8.2 计算方法	(68)
3.8.3 算例	(70)
3.8.4 本节小结	(70)
3.9 Terzaghi-Peck 经验土压力的理论分析	(71)
3.9.1 概述	(71)
3.9.2 增量法分析的结果	(71)
3.9.3 本节小结	(74)
3.10 连系梁(圈梁)作用的简化计算方法	(75)
3.10.1 概述	(75)
3.10.2 连系梁作用的简化计算	(75)
3.11 降水对周围建筑物的影响分析	(76)
3.12 增量法计算程序简介	(77)
3.12.1 概述	(77)
3.12.2 输入参数说明	(78)
3.12.3 计算过程及输出	(81)
3.12.4 计算过程演示	(81)
3.13 本章总结	(88)
第四章 土钉支护设计计算理论	(89)
4.1 概述	(89)
4.1.1 土钉支护的概念	(89)
4.1.2 土钉支护的类型及应用范围	(89)
4.1.3 土钉的受力特点	(91)
4.1.4 土钉支护设计的几个问题	(92)
4.2 土钉支护设计计算	(94)
4.2.1 土钉支护整体稳定性分析	(94)
4.2.2 土钉力的计算及其抗拔承载力验算	(95)
4.3 土钉力的简化增量计算方法	(97)
4.3.1 土钉力的增量计算法	(97)

4.3.2 简单算例	(100)
4.4 土钉力的简化计算方法	(101)
4.4.1 简单算例	(101)
4.4.2 工程实例	(102)
4.4.3 本节小结	(103)
4.5 设计中控制墙体变形措施	(103)
4.6 土钉墙水平位移计算	(104)
4.7 本章总结	(108)
第五章 侧向移动土体对桩的影响分析	(109)
5.1 概述	(109)
5.2 侧向移动土体中的桩、土共同作用分析	(109)
5.2.1 Poulos 的方法	(109)
5.2.2 被动桩分析的迭代方法	(110)
5.2.3 作用于被动桩上的初始侧压力	(111)
5.2.4 土体的侧向位移	(111)
5.2.5 斜桩的承载力分析	(113)
5.2.6 工程实例	(114)
5.3 某承台桩侧移分析	(116)
5.3.1 桩侧移的原因分析	(117)
5.3.2 桩的侧移及弯矩的计算	(118)
5.4 侧向移动土体中桩、土共同作用的简化法及其工程实例	(122)
5.4.1 应用实例 1	(124)
5.4.2 工程实例 2	(125)
5.5 本章总结	(128)
第六章 工程实例	(129)
6.1 广东亚洲国际大酒店基坑开挖锚杆支护结构计算分析	(129)
6.1.1 工程概况	(129)
6.1.2 锚杆支护结构的计算方法	(129)
6.1.3 锚杆设置及支护结构的受力计算	(131)
6.1.4 设计实施的情况	(131)
6.1.5 计算与实测结果的比较	(132)
6.1.6 施工过程中一些问题的分析	(133)
6.1.7 小结	(135)
6.2 广州珠江隧道黄沙段地下连续墙的计算	(135)
6.2.1 工程概况	(135)
6.2.2 计算参数	(136)
6.2.3 计算过程及计算结果	(137)
6.2.4 小结	(140)
6.3 广州地铁体育中心站支护结构测试分析计算	(140)
6.3.1 广州地铁体育中心站支护结构分析之一	(140)
6.3.2 广州地铁体育中心站支护结构分析之二	(147)

6.3.3 广州地铁体育中心站支护结构分析之三	(148)
6.3.4 小结	(150)
6.4 广州地铁杨箕站港机厂宿舍加强段支护结构的计算分析	(152)
6.4.1 工程概况	(152)
6.4.2 需要计算分析的问题	(152)
6.4.3 工程地质条件	(152)
6.4.4 降水对建筑物的影响分析	(154)
6.4.5 基坑支护结构的计算	(157)
6.4.6 结论	(161)
6.4.7 小结	(162)
6.5 广州市天兴大厦与地铁区间隧道相互影响的分析及处理方案	(162)
6.5.1 工程概况	(162)
6.5.2 相互间的影响分析	(162)
6.5.3 处理方案	(163)
6.5.4 结论	(165)
6.6 广州市东风路 067 号大厦基坑开挖支护方案计算分析	(165)
6.6.1 工程概况	(165)
6.6.2 基坑开挖支护方案	(165)
6.6.3 边坡稳定分析	(166)
6.6.4 支护结构的受力计算	(167)
6.6.5 锚杆的设计	(167)
6.6.6 桩底下岩体局部强度的验算	(169)
6.7 一德路 319 ~ 335 地段危改工程基坑计算分析	(170)
6.7.1 工程概况	(170)
6.7.2 场区工程地质情况	(171)
6.7.3 围护方案中存在的问题	(172)
6.7.4 支护结构受力和变形计算	(172)
6.7.5 小结	(174)
6.8 广州海关综合楼基坑开挖支护设计	(174)
6.8.1 工程概况	(174)
6.8.2 支护方案选择及计算分析	(174)
6.8.3 锚杆设计	(177)
6.8.4 效益分析	(178)
6.8.5 小结	(178)
6.9 广州市天兴大厦基坑开挖支护方案计算分析	(179)
6.9.1 工程概况	(179)
6.9.2 支护结构的计算方法	(179)
6.9.3 支护结构的受力计算	(179)
6.9.4 挡土桩及锚杆的布置	(180)
6.10 永利广场基坑桩锚优化设计	(182)
6.10.1 工程概况	(182)
6.10.2 采用桩锚的优化设计及计算结果	(182)

6.10.3 小结	(182)
6.11 东山广场深基坑开挖“逆施法”边坡稳定及降水对周围 建筑物的影响分析	(183)
6.11.1 工程概况	(183)
6.11.2 工程地质情况	(183)
6.11.3 “逆施法”边坡稳定分析	(184)
6.11.4 挖孔桩施工的可行性分析	(187)
6.11.5 挖孔桩降水对周围建筑物的影响	(187)
6.11.6 小结	(188)
6.12 土、墙、隧道共同作用简化分析	(188)
6.12.1 工程概况	(188)
6.12.2 等效弹簧分解方法	(188)
6.12.3 等效弹簧刚度系数的确定	(190)
6.12.4 各部分结构内力的计算	(191)
6.12.5 小结	(192)
6.13 复杂场地基坑喷锚支护设计	(193)
6.13.1 工程概况	(193)
6.13.2 场区工程地质情况	(194)
6.13.3 支护结构设计和计算	(194)
6.13.4 基坑水平位移和周边建筑物、地面沉降观测	(196)
6.13.5 小结	(196)
参考文献与资料	(198)
照 片	

第一章 绪 论

1.1 概 述

我国大量的深基坑工程始于 20 世纪 80 年代, 由于城市高层建筑的迅速发展, 地下停车场、高层建筑埋深、人防等各种需要, 高层建筑需建设一定的地下室, 广州高层建筑的地下室较深的已建到 4~5 层, 基坑深度约 20 m。这就涉及到地下室基坑的开挖支护问题。近几年, 由于城市地铁工程的迅速发展, 地铁车站、局部区间明挖等也涉及大量的基坑工程, 在双线交叉的地铁车站, 基坑深达 20~30 m。水利、电力也存在着地下厂房、地下泵房等的基坑开挖问题。

无论是高层建筑或地铁的深基坑工程, 由于都是在城市中进行开挖, 基坑周围通常存在交通要道、已建建筑或管线等各种构筑物, 这就涉及到基坑开挖的一个很重要内容, 要保护其周边构筑物的安全使用。而一般的基坑支护大多又是临时结构, 投资太大也易造成浪费, 但支护结构不安全又势必会造成工程事故。因此, 如何安全、合理地选择合适的支护结构并根据基坑工程的特点进行科学的设计是深基坑支护工程要解决的主要内容。

由于基坑支护涉及到岩土工程、结构工程及施工工艺, 因而它是一门综合性的学科, 更由于岩土工程的复杂性, 且又是一门经验性很强的工程学科, 因而不同的人, 对同一工程可能会因个人经验不同而选择不同的支护形式。即使采用同一种支护形式, 设计的结果也可能是不同的, 由此可能造成有些设计是浪费的, 过于保守的, 而有些设计则又是不安全的, 易造成事故的。广东曾出现过许多具有深刻教训的工程实例。例如: 广州的 065 号工程、京光广场、珠海的祖国广场, 每个工程事故, 其经济损失都在千万元以上。而一些合理的优化设计, 节省投资少则几十万、几百万, 多则上千万元, 如深圳地铁罗湖车站, 通过方案优化, 节省造价一千多万元, 节省工期 3 个多月^[55]; 广东亚洲国际大酒店优化后节省 400 多万元; 广州地铁一号线体育中心站优化后节省近百万元, 缩短工期一个多月, 使之原来由于拆迁等原因而成为延误全线工期的时间能及时赶回。实际工程中由于设计方案的不同而产生的效果差异巨大。因此, 基坑支护工程的设计要做到科学、合理, 是很重要的, 而关键则必须要有一套合乎实际的设计理论和方法为基础。

目前, 很多设计计算方法不是过于复杂, 就是过于简化, 对一些重要或关键问题都未能很好解决, 缺乏一种较系统而又能较好地解决如施工过程对支护结构内力的影响、入土深度问题、预应力计算等一系列问题的实用计算方法。本书系统介绍的一套实用计算方法以及经过 10 多年的成功实践和完善的成果, 是弥补这一方面的内容, 可以为同行提供一套简便、实用而又符合实际的深基坑支护结构实用计算方法, 使深基坑工程设计可以尽量达到科学、合理的目的。

1.2 常见深基坑工程事故原因分析

总结多年以来一些基坑工程事故的特点可以发现，引起基坑工程事故重要的原因是对一些关键性问题缺乏合理的计算方法，以致设计的随意性较大，或考虑不够全面，或对基坑工程的计算不够全面。本节通过对典型工程实例的分析，指出其主要原因，对进一步完善设计计算方法，避免同类事故的发生将很有意义。

1.2.1 入土深度问题

入土深度指支护结构在基坑底以下的插入深度。入土深度过深，会产生浪费，但入土深度过浅，则会产生危险。因入土深度不当而产生的事故主要有以下几种情况：

(1) 当为悬臂结构时有可能产生倾覆或位移过大：图 1.1 为广州京光广场工地的悬臂挡土桩支护，基坑深度为 15 m，采用人工挖孔桩挡土，一空一实，实桩内径 $\phi 1.4$ m，长度约 19.5 m，均匀配筋 $22 \Phi 28$ ，空心桩内径 $\phi 1.0$ m，外径 $\phi 1.3$ m，实桩间距 2.5 m。当开挖到 -13.0 m 左右时，桩顶最大水平位移已达 50 cm，基坑最后造成挡土桩倒塌和人员的伤亡。显然，对于 15 m 深的基坑，在这种地质条件下，采用悬臂结构，无论入土深度或挡土结构的弯矩都较难满足。之所以对 15 m 深的基坑采用悬臂结构，显然是缺乏合理的计算分析，按现有的认识水平和技术，显然不至于对如此深的基坑采用悬臂支护。倒塌后情况如照片 1 所示。照片 2 所示则是另一基坑因明显入土深度过浅而造成的挡土桩倾覆的现象。

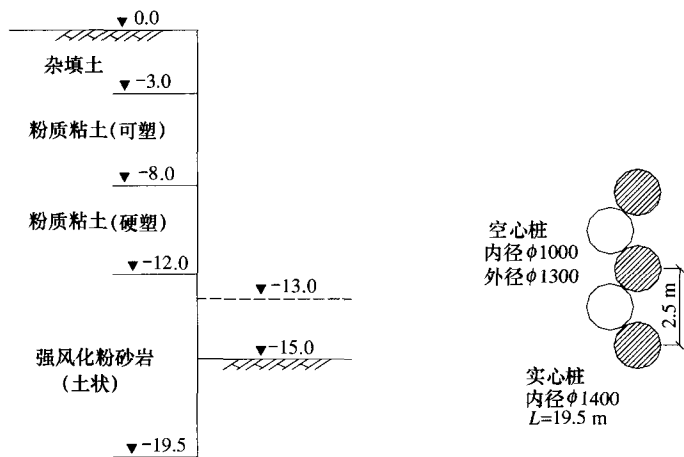


图 1.1 京光广场工程悬臂桩设计

(2) 当有支撑时会产生踢脚或隆起的问题：图 1.2 为某一软土基坑，淤泥厚度约 14 m，采用钢板桩加内支撑支护体系，钢板桩未穿透淤泥层。开挖后造成严重踢脚，由于钢板桩刚度小，基坑底处水平位移约 70 cm，且造成已施工好的预应力管桩产生严重的水平位移，最大达 1.52 m。因此，入土深度不足或支护刚度不够，致使基坑底土体稳定不足而产生踢脚及地基强度失稳。

(3) 脚根不稳易产生危险：某 2 个相近约 10 m 的工地，四层地下室，基坑开挖深度

约 17 m，地质情况为地面以下 10 m 左右为土层，再往下为中微风化岩层，为节省投资，土层范围内采用密排人工挖孔桩加锚杆方案，岩层深度内采用垂直开挖，岩面采用短锚喷砼砂浆面保护。不同之处是，一个方案较早，只采用桩顶一层锚杆，如图 1.3 所示，开挖后，由于桩底不稳而造成塌方，损失严重。倒塌后如照片 3 所示。另一同样类似工地—067 号工程，采用加强挡土桩底的短锚等固脚措施，如图 1.4 所示，避免了桩脚不稳的情况，安然无恙。

1.2.2 地基强度问题

(1) 图 1.2 所示情况是一个典型的地基强度问题，基坑开挖后，底部在支护两侧形成土压力差，地基强度不足而会产生塌陷。

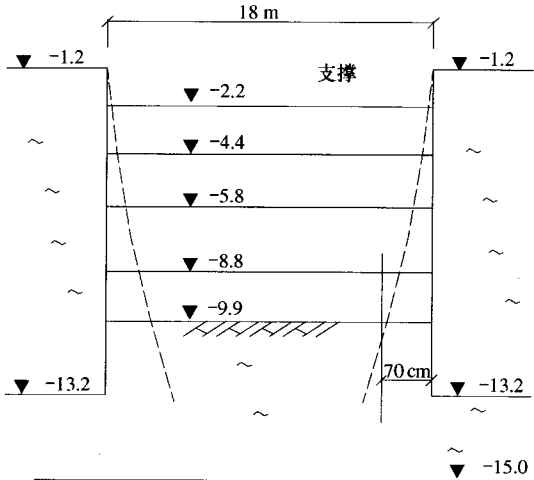


图 1.2 澳门某工程钢板桩踢脚

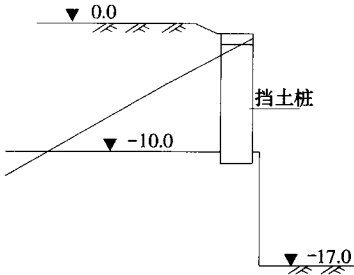


图 1.3 065 号工程基坑挡土桩支护

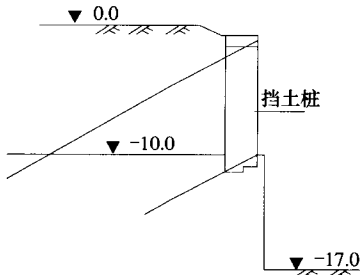


图 1.4 067 号工程基坑挡土桩支护

(2) 另一个典型的地基强度问题则是如图 1.5 所示的工程。该基坑深度约 15.3 m，面积为 90 m × 72 m，采用逆作连续墙方案，即从上至下边开挖边分层浇筑连续墙，利用基坑侧壁作外模，浇完墙后施加水平钢支撑，然后垂直往下开挖下一层，每层高度约 2 ~ 3 m。当基坑开挖至 -14.4 m 左右时，由于该处有一淤泥质土层，开挖后在土体自重作用下地基强度不足而造成滑塌，致使整个基坑发生倒塌而造成重大工程事故，倒塌后如照片 4 所示。

(3) 土钉支护的问题：很多土钉支护事故原因是由于地基强度问题而产生的。如图 1.6 所示为常见土钉支护遇到软弱土层时产生塌滑的情况，照片 5 为某工地土钉支护塌滑的情况。

1.2.3 结构内力的问题

一般有支撑的挡土结构的弯矩多以坑内弯矩为主，如图 1.7 所示。某工程一层支撑的地下连续墙，配筋时坑外配筋多于坑内侧配筋，坑外侧为 Φ 28 @ 200，而内侧为 Φ 22 @ 200，显然不合理，最后坑内侧产生裂缝需要补撑，如照片 6 所示。

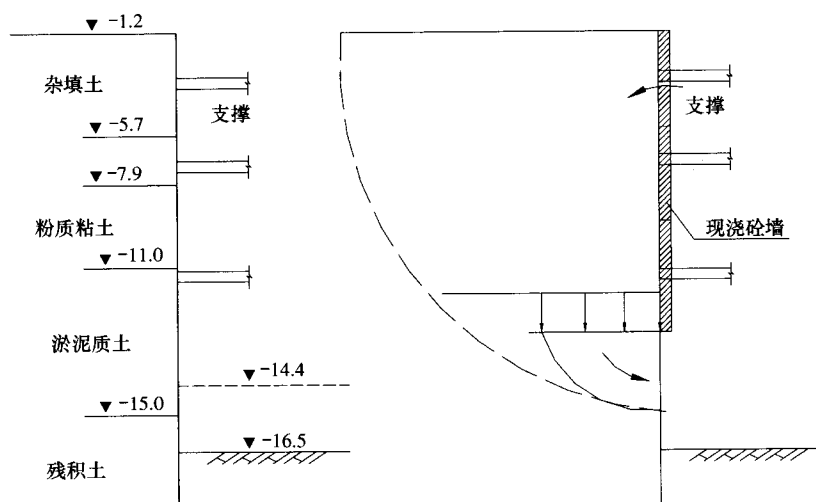


图 1.5 某广场基坑支护图

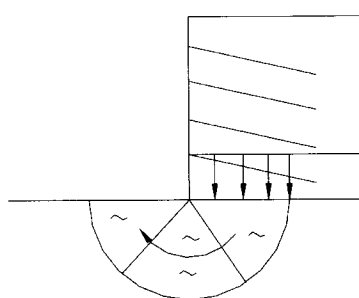


图 1.6 土钉支护脚底地基强度问题

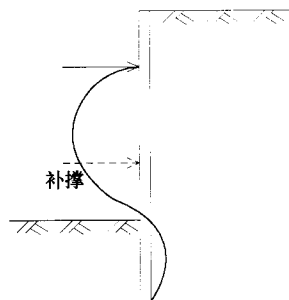


图 1.7 有支撑的结构一般坑内弯矩大

1.2.4 软土开挖使工程桩产生侧移

很多软土地基上的基坑开挖，一般是先做好工程桩，后进行基坑开挖，开挖时有可能形成一定的临空面高差 Δh ，软土会产生侧移，如图 1.8 所示。照片 7 为某工地开挖后造成管桩倾斜的严重情况。因此，在软土地基中进行基坑开挖时，一定要注意控制临空面高差 Δh 。

1.2.5 降水对周围环境的影响

在沿海地区，一般地下水位较高，当基坑开挖时，会产生地下水位的降低，如图 1.9 所示。地下水位的降低使土的有效重度增加，从而使地面产生沉降，在降水漏斗范围内的建筑物会产生一定的沉降变形。尤其是降水漏斗范围内的土质较差，建筑物为天然地基时，更易使建筑物产生沉降，甚至产生不良影响，这也是基坑易产生对周边环境的重要因素。照片 8 为某一工程基坑水位下降使阳台下沉开裂的情况，图中主楼为桩基础，阳台为天然地基，地下水位下降时，使地面产生沉降，阳台因是天然地基，随地面沉降而产生沉降，主楼的桩基础沉降较小，从而在阳台与主楼间产生沉降差，从而使阳台产生裂缝。