

深基坑支护设计与施工

余志成 施文华 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书总结了深基坑支护设计与施工的宝贵实践经验。全书共分 11 章内容,书中列表汇集了全国 24 个城市 93 个不同支护作法的工程实例,其中 17 项工程系改革、创新项目;并介绍了深基坑支护的类型;桩墙式挡土结构设计计算;土层锚杆设计计算、试验、施工;降低地下水位与土方开挖,地下连续墙施工;双排混凝土灌注桩支护;土钉支护设计计算与施工;高层建筑深基坑支护工程实例;深基坑支护工程事故实例;灌注桩支护经验与措施等。

本书特点是技术新颖、实用性强,反映了 90 年代深基坑支护技术的最新成果和水平。

本书可供建筑工程技术人员使用,也可供有关大专院校师生参考。

* * *

责任编辑 余水祯

深基坑支护设计与施工

余志成 施文华 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18½ 字数:450 千字

1997 年 3 月第一版 1997 年 3 月第一次印刷

印数:1—5000 册 定价:24.00 元

ISBN7-112-03089-7

TU·2376(8223)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序 言

深基坑支护设计与施工既是我国各大城市基本建设工程中的重要关键问题，又是岩土力学学科中比较复杂和困难的问题。其所以重要，是由于现代大城市高层建筑的地下部分和城市地下交通均需要充分利用地下空间。基坑开挖深度已从十几米发展到二、三十米。我国已经有不少建设工程由于深基坑支护失误，导致重大经济损失并延误建设工期。因此，如何保证深基坑支护工程既安全可靠又经济合理，已成为当前城市建设中的一项重要课题。

其所以复杂困难，是由于在天然地层中有一些特殊的力学性质在目前尚不能用室内或野外的常规试验方法准确测定。例如：

1. 一般土力学计算砂层的土压力和抗剪强度时，均认为砂土无凝聚力，只有内摩擦角。但在地质年代久远的砂层或潮湿而不饱和的砂层中，可能存在有结构强度或似凝聚力，是不易测定和估算的；

2. 淤泥质饱和软粘土的长期强度指标有可能小于常规试验方法所测定的指标，因土质和工期长短而不同；

3. 在非饱和粘土地层中，用常规试验方法所测定的凝聚力包含真凝聚力和吸附强度两种不同性质的组成部分。其后一部分强度并不稳定，将随着土层含水量的变化而改变；

4. 基坑周围的地下水以多种不同的方式影响基坑的稳定性。在水文地质条件复杂时需考虑发生渗流压力或潜蚀破坏的可能性。

因此，目前还没有一种深基坑支护计算理论能在一次计算中概括上述全部土的复杂性质。每一种计算理论都是在某些简化假定的前提下建立的，具有一定的局限性。而且，无论计算技术如何先进，实际计算结果不可能超越其参数测定的精确程度。

为了防止在设计和施工中发生失误，深基坑支护设计工作者在运用任何一种计算理论分析问题时，有必要同时考虑这种理论所未曾计入的其他影响因素，并进行综合分析判断。这里所建议的综合分析判断，应包括从不同角度用不同理论所进行的分析，并以大量有关的工程实录资料 and 实践经验为参考所作出的判断。

笔者粗略阅读过余志成和施文华两位专家撰写的《深基坑支护设计与施工》初稿，深感这是当今十分难得可贵的深基坑设计参考资料。余、施两位专家多年主持北京市建筑工程总公司的深基坑支护设计工作，并且参加设计和主持过北京地区以外的一些深基坑支护工程。他们在这本著作中无保留地将多年来的工作经验、工程实录和现场试验资料详实地向国内同行们作出系统的介绍，足以代表本专业在我国华北地区的技术水平，其内容的深度和广度是目前同类著作中所少见的。

尤其难能可贵的是这本著作中还介绍了一部分工程失误项目的经验教训和总结。前事不忘后事之师。这本著作不仅对初学者提供了从事这一专业入门的途径，而且对广大的同

行专家们所提供的丰富经验和科学试验资料,不仅可帮助在工作中分析问题和作出判断,还必将促进学术上的相互交流讨论和研究提高。

卢肇钧 1996. 7. 2

前 言

近十多年来,我国高层建筑发展很快,地下空间的充分利用,促进了深基础的发展,随之而产生了深基坑支护设计与施工问题,而基坑的深度至为关键,目前已经深达 20 多米,近 30 米。深基坑支护的设计与施工已是当前高层建筑基础工程的热点与难点。已经发现有不少深基坑支护工程的失误,导致经济上的重大损失、建设工期的重大延误。因此保证深基坑支护工程的安全可靠和经济合理是当前迫切的课题。

深基坑支护设计的理论还很不完善,模型试验、工程测试还有待进一步发展。迄今为止还没有国家规范。在这种情况下,作者将过去十多年深基坑支护的工程实践经验,与科研单位合作做过的工程实测,撰写成书,以便抛砖引玉。其目的是希望深基坑支护理论趋于完善并发展,支护工程能避免失误,安全可靠、经济合理地取得成就。

本书特点是以工程实践和工程测试为主要内容,一些论点、讨论、建议都从实践中来。设计计算例题皆以实际工程为例,有的运用不同计算方法在同一工程例题中计算,分析其可行性。

本书另一特点是收集了全国 24 个城市深基坑支护工程不同做法的 93 个实例,其中 17 项工程系改革、创新项目,这些改革创新工程实例,发展了深基坑支护的设计和施工,值得推广。

本书可供专业技术人员参考,也可作为基础工程教学中的补充材料。

本书各章内容特色:

第一章介绍了 17 个创新实例做法,统计分析了 93 个不同支护类别,进一步分析基坑支护方法,并提出了一些见解。

第二章支护类型概述,分透水支护结构、止水支护结构及支撑拉结构造。它的知识性较强。

第三章挡土桩墙的设计计算特点,首先介绍了我国天津建筑科学研究所、中国建筑科学研究院地基基础研究所及上海同济大学等对土压力分布的模型试验,工程实测的图形,其次悬臂桩计算介绍了卜鲁姆(Blum)的方法,对单支撑桩采用等值梁法原理计算。第三,对多支撑桩墙,采用等值梁法、二分之一分担法及逐层开挖承载力不变算法。三种方法在同一工程计算中比较,并提出应按实际施工逐层开挖方法计算较合理。在多层计算中还讨论了基坑下零弯点(土压力为零)的问题,但尚缺少实测资料。第四,对北京悬臂桩进行了两个工程的实测分析。实测的主动土压力仅为设计的 $1/3$,被动土压力为朗肯被动土压力的 $1/3 \sim 1/2$,钢筋应力仅 30MPa。

第四章土层锚杆的特点,首先是通过工程实测分析锚杆在张拉、锁定后挖土情况下锚体的应变,锚体受力的峰值、尾值等变化。其次,通过实测,认为锚杆的预应力目的是减少结构变位,并不能增强土与锚体的抗剪强度,因此张拉的预应力不宜超过设计应力值。第三,通过北京地区五个不同工程,得出北京地区各种土层的实测抗剪强度。第四,提出国

内的几项锚杆创新发展施工项目。同时列举沈阳、广州、北京的工程实例。

第五章降水土方施工由张森高级工程师撰写，既有设计理论又有工程实践实例。

第六章地下连续墙施工系建筑工程手册基础施工篇内的一部分。目前我国上海对地下墙槽段间连接节点已有很大改进，基本解决了刚度和漏水问题。本书补充了节点改进内容。

第七章双排混凝土灌注桩支护，系由中国建筑科学研究院地基基础研究所与北京建工集团总公司共同开发，通过模型试验、工程实测，提出计算原理、计算假定和方法，通过工程实践及测试，证明计算正确。在实例中取得经济效益，较有特色。

第八章土钉支护。该项技术是国外最新发展起来的，法国 1986 年做过大型试验，国内 1990 年初也做过类似的试验，所得结果基本相同，本章对基本原理、计算方法、整体稳定验算等皆有阐述。近年来国内深基坑土钉支护应用较多，经汇集北京、广州、深圳应用的 23 例，其中广州 056 工程坑深 18m，是在灌注桩锚杆支护失误后改用土钉喷射混凝土，并取得成功，由李保国工程师提供资料。另一例由北京市建筑工程技术咨询公司设计的北京国际金融大厦工程基坑支护，为计算实例。

第九章深基坑支护实例共 6 例，由北京市机械施工公司高级工程师李虹、李宝生、张一弛、王建丽等撰写，其中 4 例为灌注桩锚杆支护，另 1 例为坑深 14m，以双排悬臂桩支护，皆取得良好的经济效果。

另一工程实例系烟台第二建筑公司委托北京建工集团总公司技术咨询公司设计的烟台芝新大厦深基坑支护。该工程地质复杂，风化岩起伏很大，支护灌注桩入强风化岩仅 2m，而基础底板很深，如何作支护较困难。该工程除用土层锚杆外，还用岩层锚钉，难度较大，并由潜宇维工程师撰写工程实例。

第十章深基坑工程失误事故实例，经汇集 11 个实例。其原因大多由于方案不妥，其中有计算错误；防水帷幕失效；结构埋深不足造成管涌；地下管道严重漏水等。读者可以从吸取有益的教训。

第十一章由作者多年实践提出的一些经验措施，在方案选型中增列了上海较好选型 2 例供参考。

由于作者水平有限，经验局限，时间较紧，难免有许多不妥之处，恳切希望读者批评指正！

我们荣幸地请中国科学院卢肇钧院士为本书写序言，并审阅第四章土层锚杆，特此表示衷心的感谢！

对曾与我们合作过的：

中国建筑科学研究院地基基础研究所、铁道科学研究院铁道建筑研究所、北京工业大学土木系北京市勘察院及参与工作的同志，表示感谢！

编写过程曾引用多种参考文献，如书籍、论文、杂志文稿、会议论文等的某些内容及图表，在此谨向原作者表示感谢！

目 录

1 全国各地高层建筑深基坑支护现状	1
1.1 深基坑支护工程的发展和成就	1
1.1.1 难度大的地下连续墙超深作业	1
1.1.2 软土淤泥地质的较深基坑	2
1.1.3 闭合挡土拱圈支护法	3
1.1.4 环梁支护结构体系	3
1.1.5 环梁的发展——双圆环梁支护结构	5
1.1.6 加肋式地下连续墙	6
1.1.7 H型钢桩土层锚杆的应用	6
1.1.8 连拱式基坑支护结构	7
1.1.9 深层搅拌水泥土桩与挡土灌注桩结合的支护结构	8
1.1.10 深层搅拌水泥土墙支护	8
1.1.11 高压喷射水泥浆桩与灌注桩结合支护	8
1.1.12 桩墙合一、地下室逆作法	10
1.1.13 用压力注浆或深层搅拌水泥加固被动土压力区	11
1.1.14 悬臂式双排桩（刚架）支护	12
1.1.15 S.M.W 工法在上海首次应用	12
1.1.16 土钉支护	13
1.1.17 灌注桩、土层锚杆、岩层锚杆、锚钉相结合支护	14
1.2 全国各地深基坑支护工程现状表	14
1.3 全国各地深基坑支护的分析	29
1.3.1 支护类别分析	29
1.3.2 基坑支护方法分析	29
2 深基坑支护结构类型概述	31
2.1 深基坑支护结构分类	31
2.1.1 透水挡土结构	31
2.1.2 止水挡土结构	31
2.1.3 支撑拉结部分	31
2.1.4 深基坑支护结构分类表	31
2.2 透水挡土结构	32
2.2.1 H型钢（工字钢）桩加横插板挡土	32
2.2.2 间隔式（疏排）混凝土灌注桩加钢丝网水泥抹面护壁	32
2.2.3 密排桩（灌注桩、预制桩）	33
2.2.4 双排灌注桩	34
2.2.5 连拱式灌注桩挡土	34
2.2.6 桩墙合一地下室逆作法	35

2.2.7	土钉支护	36
2.2.8	插筋补强支护	37
2.3	止水挡土结构	38
2.3.1	地下连续墙	38
2.3.2	深层搅拌水泥土墙	39
2.3.3	深层搅拌水泥桩墙与挡土桩结合支护	39
2.3.4	密排桩间加高压喷射水泥注浆桩	40
2.3.5	密排桩间加化学注浆桩	41
2.3.6	钢板桩	41
2.3.7	闭合拱圈墙	42
2.4	支撑部分	42
2.4.1	自立式(悬臂无支撑)支护	42
2.4.2	锚拉式支护	43
2.4.3	土层锚杆	44
2.4.4	钢管、型钢水平支撑	45
2.4.5	斜撑	46
2.4.6	环梁支撑法	46
2.4.7	逆作法施工	47
3	桩墙式挡土结构设计计算	48
3.1	土压力理论及计算公式	48
3.1.1	库伦及朗肯理论	48
3.1.2	库伦、朗肯理论计算应用经验	50
3.1.3	静止土压力的计算	52
3.2	土压力分布	52
3.2.1	自立式(悬臂)桩墙	53
3.2.2	单支撑挡土桩墙的土压力分布	56
3.2.3	多层支撑或多层锚杆挡土结构土压力分布	56
3.3	地面荷载	60
3.3.1	地面均布荷载	60
3.3.2	地面集中荷载	60
3.4	自立式(悬臂)桩计算	62
3.4.1	计算原理	62
3.4.2	Blum 的计算方法	63
3.4.3	实际工程计算举例	64
3.4.4	用等值内摩擦角计算北京医院工程	66
3.4.5	工程实例实测	67
3.5	单支撑(锚杆)挡土桩墙的计算	68
3.5.1	顶部支撑(锚拉)计算	68
3.5.2	桩顶锚拉工程实例	69
3.5.3	等值梁算法	71
3.5.4	实际工程按等值梁法计算举例	72
3.5.5	单支撑(锚)挡土桩计算要点	73
3.5.6	被动土压力系数的讨论	73

3.6	多层支撑（锚杆）挡土桩计算	74
3.6.1	等值梁法计算	75
3.6.2	用等值梁法计算工程实例	75
3.6.3	二分之一分担法计算	81
3.6.4	用二分之一分担法计算实例	82
3.6.5	逐层开挖支撑（锚杆）支承力不变计算法	83
3.6.6	逐层开挖支撑（锚杆）支承力不变的计算实例	84
3.6.7	桩入坑下深度盾恩近似法	87
3.6.8	多层支撑（锚杆）计算方法的分析	87
3.7	支护桩墙稳定验算	89
3.7.1	坑底隆起验算	90
3.7.2	坑底土管涌验算	92
3.8	深层搅拌水泥土桩墙的计算	93
3.8.1	滑动稳定验算	93
3.8.2	倾覆稳定性验算	93
3.8.3	墙身应力验算	94
4	土层锚杆	95
4.1	锚杆的发展与应用	95
4.1.1	锚杆在土木工程中的应用	95
4.1.2	土层锚杆的发展	95
4.2	锚杆的构造及类型	96
4.2.1	锚杆的构造	96
4.2.2	锚杆的类型	97
4.3	锚杆的抗拔作用	98
4.3.1	锚杆抗拔原理	98
4.3.2	影响锚杆抗拔力的因素	98
4.4	锚杆的承载能力	100
4.4.1	土的抗剪强度	100
4.4.2	经验积累的土的抗剪强度	101
4.4.3	经过测试的土层抗剪强度	102
4.4.4	采用计算方法求土的抗剪强度	102
4.5	锚杆设计	103
4.5.1	设计步骤	103
4.5.2	锚杆布置	103
4.5.3	各国的锚杆抗拔安全系数规定	104
4.5.4	土层锚杆抗拔力实测安全系数	104
4.5.5	锚固段长度计算	105
4.5.6	自由段长度计算	106
4.5.7	锚索（钢绞线、粗钢筋）计算	106
4.6	锚杆整体稳定计算	107
4.6.1	整体破坏模式	107
4.6.2	整体稳定性计算	107
4.6.3	整体稳定性计算工程实例	108

4.6.4	整体稳定的核算要求	109
4.7	锚杆的试验	109
4.7.1	锚杆破坏特征（通过抗拔试验）	109
4.7.2	锚杆极限承载力的确定	110
4.7.3	不同倾角（土质）的极限承载力的实例	112
4.7.4	锚固体受力测试及分析	113
4.7.5	预应力损失与锚杆张拉	117
4.8	锚杆施工	119
4.8.1	施工机械	119
4.8.2	施工工艺	121
4.8.3	施工要点	121
4.9	国内锚杆技术的发展	124
4.9.1	机械扩孔锚杆的创新	124
4.9.2	可回收预应力钢绞线的锚杆技术	124
4.9.3	锚杆成孔爆扩法	125
4.10	工程实例	126
4.10.1	沈阳中山大厦深基坑工程	126
4.10.2	广州华侨大厦新楼深基坑锚杆支护	127
4.10.3	北京天桥宾馆挡土桩锚杆工程	130
5	降低地下水位与土方开挖	137
5.1	降低地下水位	137
5.1.1	表面排水法	137
5.1.2	轻型井点法	139
5.1.3	喷射井点法	140
5.1.4	管井井点	141
5.1.5	深井泵井点	143
5.1.6	轻型、喷射和管井井点的设计	143
5.1.7	渗井井点设计与施工	146
5.1.8	电渗井点施工	148
5.2	土方开挖	149
5.2.1	边坡的稳定	149
5.2.2	放坡规定	149
5.2.3	常用挖土机械	150
5.2.4	基坑开挖实例	154
5.2.5	基坑开挖注意事项	154
5.2.6	降水对邻近建筑的影响及防止措施	155
6	地下连续墙施工	156
6.1	地下连续墙的工艺原理及适用范围	156
6.1.1	地下连续墙施工工艺原理	156
6.1.2	地下连续墙的优缺点及适用范围	156
6.2	地下连续墙施工准备	157
6.2.1	地质勘探调查报告	157
6.2.2	施工现场调查	157

6.2.3	制定施工方案	157
6.2.4	现场准备	158
6.3	施工工艺流程	158
6.3.1	配制泥浆护壁法流程	158
6.3.2	自成泥浆护壁法流程	158
6.4	导墙	158
6.4.1	导墙的作用	158
6.4.2	导墙的形式	159
6.4.3	导墙施工	160
6.5	泥浆	161
6.5.1	泥浆的作用	161
6.5.2	泥浆成分及控制指标	161
6.5.3	泥浆的配制、处理及管理	162
6.6	挖槽	164
6.6.1	挖槽机械	165
6.6.2	单元槽段划分	169
6.6.3	槽段开挖	170
6.6.4	深槽挖掘注意事项	171
6.6.5	清槽	172
6.7	槽段接头及结构接头	173
6.7.1	槽段接头位置与形式	173
6.7.2	接头构造	174
6.7.3	结构接头构造	175
6.8	钢筋笼	176
6.8.1	钢筋笼加工	176
6.8.2	钢筋笼吊装	177
6.9	混凝土浇筑	178
6.9.1	配合比选择	178
6.9.2	浇筑方法	178
6.9.3	拔接头管、接头箱	179
6.10	地下连续墙施工质量标准	179
6.11	地下连续墙槽段接头改进	179
6.11.1	上海京城大厦地下连续墙接头改进	180
6.11.2	上海金茂大厦特深地下连续墙槽段接头改进	181
7	双排混凝土灌注桩支护	183
7.1	单排灌注桩与双排灌注桩	183
7.1.1	土质对悬臂桩的影响	183
7.1.2	双排桩的土压力分布	185
7.2	双排桩布置与特点	186
7.3	双排桩的模型试验	187
7.3.1	模型试验概况	187
7.3.2	模型试验的布置	187
7.3.3	双排桩的位移	187

7.3.4	双排桩的内力	189
7.4	双排桩工程实测	190
7.4.1	方庄小区6号楼工程实测	190
7.4.2	安定门外华侨公寓工程实测	190
7.5	双排桩测试结果小结	190
7.6	双排桩的设计计算探讨	191
7.6.1	计算基本假定	191
7.6.2	土压力的计算	191
7.6.3	双排桩内力计算	194
7.7	工程实例	195
7.7.1	北京方庄小区工程	195
7.7.2	北京安定门外华侨公寓工程	195
8	土钉支护	196
8.1	概述	196
8.1.1	土钉的概念	196
8.1.2	土钉的发展	196
8.1.3	土钉支护的特点及应用范围	197
8.1.4	国内实际工程应用概况	197
8.2	土钉支护的基本原理	198
8.2.1	土钉应用原理	198
8.2.2	土钉的作用机理	199
8.2.3	国外试验所得结果	199
8.3	土钉喷射混凝土设计	200
8.3.1	设计内容	200
8.3.2	设计原则与构造要求	200
8.3.3	设计计算及公式	200
8.4	土钉内部稳定分析	200
8.4.1	内部整体稳定性分析	200
8.4.2	土钉抗拔力安全系数	200
8.5	土钉墙的外部稳定安全	204
8.5.1	抗滑动稳定计算	204
8.5.2	抗倾覆稳定性验算	204
8.6	土钉支护施工	205
8.6.1	施工工艺流程	205
8.6.2	喷射混凝土施工	205
8.6.3	土钉施工	206
8.6.4	施工监测	206
8.7	工程实例	206
8.7.1	广州065工程	206
8.7.2	北京国际金融大厦工程	208
8.8	有关土钉支护设计施工条例的比较	212
8.8.1	条例中与过去设计施工的不同点	212
8.8.2	工程实例按《条例》公式计算	124

9	高层建筑深基坑支护工程实例	217
9.1	北京新世界中心深基坑支护工程	217
9.2	北京长安俱乐部深基坑支护工程	220
9.3	北京安外华侨公寓工程双排桩护坡技术	223
9.4	恒基中心工程基坑支护	226
9.5	丰联广场大厦基坑支护工程	244
9.6	烟台芝新大厦深基坑支护设计与施工	250
10	深基坑支护工程事故实例	257
10.1	综述	257
10.2	计算错误造成锚杆拔出桩折断倒塌事故	257
10.3	方案错误造成倒塌	259
10.4	设计方案错误造成倒塌	260
10.5	设计方案有误、实施有问题，造成邻近学校停课、民房拆除	262
10.6	未形成止水帷幕，基坑涌水涌砂，民房下沉开裂，主干道煤气管下陷，立交桥墩 位移	263
10.7	实施方案与设计方案的差异很大，且止水帷幕未形成造成重大事故	264
10.8	止水帷幕失效引起事故	266
10.9	方案不妥造成地下水、泥土流入基坑	266
10.10	支护结构埋入坑下深度不足造成管涌	267
10.11	地基失稳引起涌土涌水	268
10.12	设计施工管理混乱导致发生事故	268
10.13	事故小结	269
11	灌注桩支护经验与措施	270
11.1	深基坑支护空间效应的利用	270
11.1.1	从桩顶位移说明空间影响	270
11.1.2	空间效应影响系数	271
11.1.3	空间效应现象的利用	272
11.2	深基坑支护方案的选型	272
11.2.1	北京京城大厦深基支护方案	272
11.2.2	北京中国建筑科学研究院 801 工程支护方案	272
11.2.3	上海由由大厦基坑支护方案选型	272
11.2.4	上海新上海国际大厦工程基坑支护方案	273
11.3	桩顶连接圈梁的作用	274
11.3.1	桩顶连接圈梁的作用	274
11.3.2	圈梁作桩顶支承作用	274
11.3.3	双排桩与单排桩混合布置	274
11.3.4	用圈梁作为锚杆支承腰梁	274
11.3.5	选择连接圈梁合适标高	275
11.4	钢筋混凝土灌注桩的配筋	275
11.4.1	配筋情况分析	275
11.4.2	采取合理的配筋方法	275
11.5	灌注桩与锚杆	276

11.6 施工措施	277
11.7 信息施工	277
11.8 小结	278
参考文献	280

1 全国各地高层建筑深基坑支护现状

1.1 深基坑支护工程的发展和成就

近年来全国各地高层建筑深基坑支护工程发展很快，因建设需要基础愈做愈深，其支护结构难度，尤以软土地区也愈来愈大，已经成为高层建筑基础工程中的难点和热点。深基坑支护结构涉及岩土力学、结构力学、材料力学和地质水文等学科，广大设计、施工、科研和大专院校的专业人员，勇于实践，勇于创造，在大量的工程实践、监测、试验中不断取得成功的经验，也有少数失误的教训，在总结经验教训的基础上，促使深基坑支护技术不断发展、不断创造和创新。但是科学技术从来是随着生产需要而迅速发展起来的，理论总是落后于实践。对深基坑支护结构技术也是一样。古典理论已不适宜指导深基坑支护的发展。在总结实践基础上，将会逐步完善理论以指导设计计算。现在制定统一的或地方的深基坑支护结构的设计施工规程，是非常必要的。虽无规程而全国各地的深基坑支护工程，还是在蓬勃发展。

现将深基坑支护工程的发展和创造的主要项目实例，列之如下：

1.1.1 难度大的地下连续墙超深作业

上海金茂大厦在浦东新区，88层，建筑高度360m，塔顶高421m，面积23万余 m^2 ，地下3层深15m，基础用钢管桩 $\phi 914 \times 20$ 长65m（送桩15m）底标高-78.5m，桩上做4m厚 $62m \times 62m$ 筏板，要求沉降为50mm，深基坑支护用地下连续墙深36m并为地下室外墙承重的一部分^[1]。

施工难度主要是：1. 36m深地下墙长568.4m要保证垂直度；2. 要保证平整度（作为地下室外墙）；3. 保证防渗好；4. 超长钢筋笼的吊装安放。

1. 上海基础公司用进口绳索式液压抓斗成槽，用垂直度测试仪于操作室内控制，每一抓的垂直度读数为1/500。采用进口导杆式液压抓斗成槽，同时用经纬仪控制导杆的垂直度，从成槽开始作业至成槽结束，随时跟踪测量。

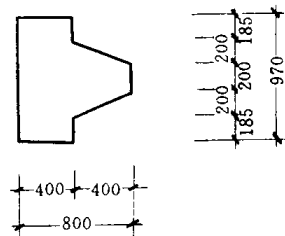
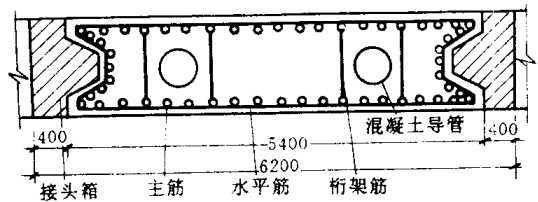


图 1-1 楔形接头箱

[1] 参见书后参考文献的顺序号。

2. 调整泥浆配合比, 将护壁泥浆调为: 水 100%, 陶土粉: 9%~10%, 纯碱 0.5%~0.75%, CMC 0.05%~0.075%。提高泥浆密度, 增加静压力, 同时控制液面。

3. 改革接头防渗, 并制定楔形接头操作规程改进的楔形接头, 原来接头为圆形管接头, 易于渗水, 改革接头如图 1-1。

4. 钢筋笼长约 35m, 笼宽约 4.8~7.2m, 笼厚 0.86m, 重约 25T~35T, 整体吊装用 2 台 150t 履带式起重机, 双机一次抬吊方法, 安装在单元槽段内。

1.1.2 软土淤泥地质的较深基坑

上海广播电视塔建于浦东新区浦东公园内^[2], 塔身从地面起高达 468m, 基坑电梯井最深达 -20m, 采用三级挖土、二级井点以钢板桩支护方法。塔基呈 Y 形, 采用 500×500 预制钢筋混凝土 C50 桩, 桩长 35m, 送桩 12.5m, 共 423 根、承台板厚 1.55m。支护方法见图 1-2 所示。

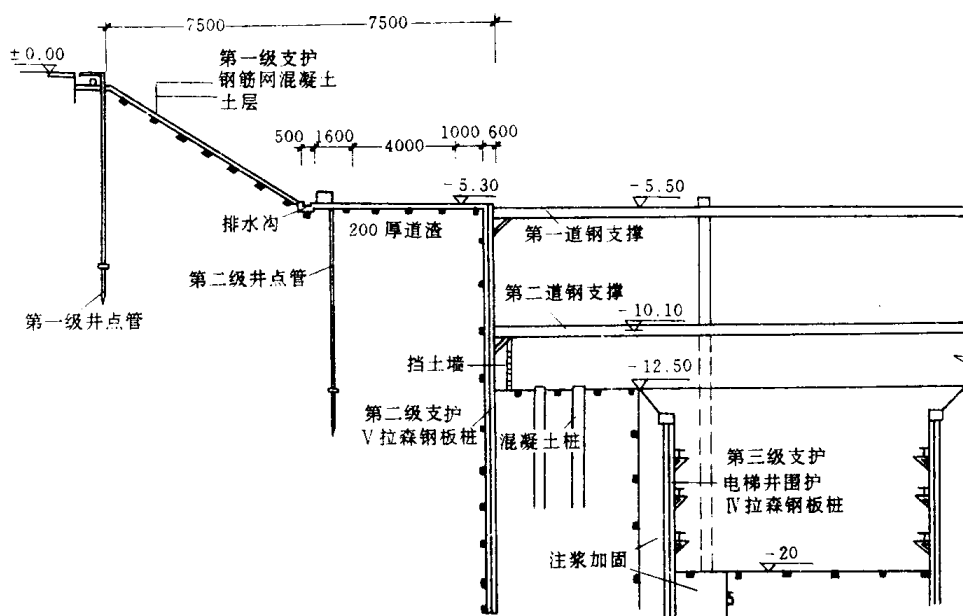


图 1-2 基坑支护剖面

三级支护二级降水措施:

第一级井点降水, 在大开挖前沿基坑四周布置六套轻型井点, 井点管长 7m, 采用水冲法埋管, 降水一周左右开始挖土。

第一级支护使土坡稳定, 大开挖、挖深 5.3m, 放坡 1:1.5, 在斜坡上用 $\phi 16$ 钢筋打入土体以固定坡面安钢丝网并做 50mm 的豆石混凝土护坡, 坡顶及坡脚采用砖砌排水沟。在 -5.3m 坑内打桩及送桩, 为监测沉桩及深基坑施工, 采用信息法施工, 即信息反馈指导施工的方法。

第二级降水, 在桩基工程基本完成时沿坡脚四周设置 9 套第二级轻型井点, 根据勘探资料在 -10.5m 以下为淤泥质粘土厚 10m 多, 渗透系数小可视为不透水层, 故用 6m 井点管, 干钻法埋管。

第三级支护: 在打桩完成 50% 时, 先从 3 个翼缘, 打设钢板桩, 拉森 V 型桩长 18~20m,

用二道支撑。在第二道支撑全部安装完后开挖二次土方，1台0.4m³挖土机进入基坑挖土，基坑边挖土机接力。

第三级支护：电梯井深坑圆周壁全封闭钢板桩支护，采用80根14m长Ⅲ型拉森钢板桩，钢板桩顶打一道钢筋混凝土400mm×600mm圈梁，每挖深2m设一道2[18钢圆围檩共三道直到-20m基底。浇筑底板后，拆除所有围檩，以钢板桩为外模施工筒壁，与-12.5m承台基础同时浇筑。

该工程还进行临测信息施工，曾发现地面裂缝及临时房裂缝。由于用复合式支护，造价降低50%。

1.1.3 闭合挡土拱圈支护法

中国建筑科学研究院地基基础研究所张祖闻、陈新余创造了闭合挡土拱圈支护深基坑^[3]，拱圈可以是椭圆（曲率连续），也可以是几条抛物线（曲率不连续）组成的拱圈，见图1-3。

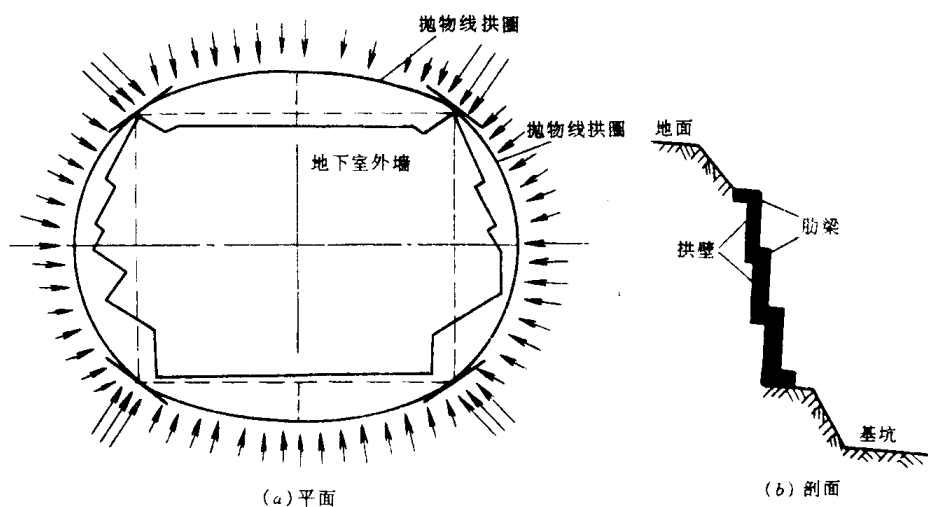


图 1-3 闭合拱圈支护

这种闭合拱圈，土与拱圈共同作用，拱圈墙主要承受轴向压力，能发挥混凝土受压的特性，节约钢材和投资，适合于较浅基坑的支护，但施工要求严格，例如拱轴线沿曲率半径方向误差应为±40mm，见图1-3。

广州东峻广场两层地下室深-9.5m，以挡土拱圈支护，拱为椭圆形，长轴110m，短轴80m，拱壁支护5m高，工程获得成功。

深圳九龙海关高层住宅，坑深6m，土层为淤泥，用四个抛物线组成拱圈，如图1-3(a)，x、y轴皆对称，成功地完成支护任务。但这种方法只挡土压力及降水帷幕传来的水压力，不阻水防渗，对有地下水的工程仍须降水或作防水帷幕。

这个支护法能提前施工工期，节约投资，比挡土桩节省费用约40%~60%。该法已报发明专利。

1.1.4 环梁支护结构体系

天津市首先以环梁支护结构用于国际大厦工程，坑深12m，环梁直径50m。由外接圆