

软土地区深基坑支护工程实例

宁波市城乡建设委员会 编

中国建筑工业出版社

提高本书的质量作出了可贵的贡献。在本书出版之际，谨向他们表示衷心的感谢。

马元

(京) 新登字 035 号

本书是我国软土地区各类高层建筑和大面积综合商场深基础施工中基坑支护的工程实例汇编和总结。书中选录了各种挖土深度支护结构实例 31 个,并推荐了相应的设计计算及施工方法,其中包括:自立式支护 8 例;排桩内支撑支护 13 例;排桩拉锚或锚杆支护 5 例;组合型支护 5 例。此外,在系统地阐述了深基坑支护计算方法的基础上,还给出了 5 个计算实例。每一例都给出了工程背景、工程地质、工程设计、施工、监测结果及其结论和建议,可供从事深基础设计和施工的工程技术人员和大专院校师生参考。

软土地区深基坑支护工程实例

宁波市城乡建设委员会 编

*

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: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8 $\frac{1}{4}$ 字数: 232 千字

1997 年 3 月第一版 1997 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3800 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-112-03055-2

TU·2343 (8186)

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)

编辑委员会

- 主 任 马行元
- 副 主 任 俞邦瑞 杨永法
- 委 员 王文彬 王连堂 孔清华
阮生聪 宋振祺 沈昌鲁
- 特邀顾问 吴世明
- 执行编辑 俞邦瑞 谢 镛
- 主编单位 宁波市城乡建设委员会
宁波市城市建设发展总公司
宁波市城展基础有限公司
- 编写单位 宁波市建筑安装总公司
宁波市第二建筑工程公司
宁波市建筑设计研究院
浙江大学岩土工程研究所
浙江省第二建筑工程公司
浙江省水电建筑第二工程处
浙江省有色勘察研究院宁波分院
宁波大学建筑设计研究院
鄞县建筑设计院
宁波市地基基础研究所

前 言

本书是宁波市 80 年代以来各类高层建筑和大量综合商场深基础施工中基坑支护的工程实例汇编和简要总结。书中选录了各种挖土深度支护结构实例 31 个，推荐了相应的设计计算方法，目的是积累资料，交流经验，为今后继续进行深基础设计和施工提供参考。

随着城市建设的加快，高层建筑数量越来越多。在深基础施工中，常遇到软土深基坑支护问题，其开挖难度大，工期长，费用高，成为城市建设中一个亟待攻克的课题。在开发建设初期，各设计施工单位主要靠学习成功工程经验，边实践，边总结，摸索前进。经过近十年时间的努力，先后完成了一批适合宁波软土特点和施工经验的深基坑支护工程，如叠袋式或土工布挡墙支护、水泥搅拌桩支护、悬臂式排桩支护、排桩加内支撑支护、排桩水平拱圈支护和排桩拉锚或锚杆支护等。其中既有成功的经验，也遇到过一些问题和教训。本书尽可能收集有代表性的工程实例，客观地反映经验和教训，加以整理总结，以求从中吸取教益，不断提高软土地区深基础的设计施工技术水平。

改革开放以来宁波市城市建设的实践证明，要推动建设的迅速发展，除了党的方针政策指导，加强政府和行业管理外，离不开科技进步。要攻克软土地区高层建筑深基础施工的难题，必须依靠建设行业有关专业工程技术人员孜孜不倦的努力，不畏艰苦，奋勇拼搏，把深基础设计施工技术不断推向前进。

在本书的编辑出版过程中，得到了有关设计、施工和科研单位以及高等院校的热情支持，各单位的领导和本书编委会成员积极组织撰写稿件，参加讨论，提出改进编辑工作的建议，为促进

目 录

前言

绪论 宁波市深基坑支护工程现状与分析	1
第 1 章 自立式支护工程实例	17
1.1 宁波市外经贸大厦基坑叠袋式挡墙支护	17
1.2 中西大楼基坑叠袋式挡墙支护	22
1.3 富豪大酒店基坑水泥搅拌桩挡墙支护	27
1.4 浙海大厦基坑水泥搅拌桩挡墙支护	39
1.5 国际大厦基坑悬臂式单排钻孔灌注桩支护	49
1.6 城隍庙东侧商城基坑悬臂式双排干取土灌注桩支护	55
1.7 明都大酒家基坑悬臂式双排沉管灌注桩支护	63
1.8 亚细亚商城基坑悬臂式双排钻孔灌注桩加水泥 搅拌桩支护	68
第 2 章 排桩内支撑支护工程实例	74
2.1 中山城基坑单排钻孔灌注桩单层内支撑支护	74
2.2 交通银行大厦基坑单排钻孔灌注桩单层内支撑支护	81
2.3 宁波市工人文化宫基坑单排预制桩单层内支撑支护	86
2.4 城隍庙西侧商城基坑双排钻孔灌注桩与双排沉管 灌注桩单层内支撑支护	92
2.5 南苑鞋城基坑双排沉管灌注桩单层内支撑支护	97
2.6 华联商厦二期基坑单排钻孔灌注桩双层内支撑支护	103
2.7 广济街 1 号楼基坑单排钻孔灌注桩双层钢支撑支护	113
2.8 新街 10 号楼基坑单排钻孔灌注桩双层钢支撑支护	120
2.9 新园宾馆基坑钢板桩双层钢支撑支护	129
2.10 银都广场基坑单排钻孔灌注桩双层井格式支撑支护	137
2.11 电业大楼基坑单排钻孔灌注桩水平拱圈加对撑支护	147
2.12 石油大厦基坑单排钻孔灌注桩水平拱圈支护	155

2.13	宁波大酒家地下锅炉房单排钻孔灌注桩水平拱圈支护	163
第3章	排桩拉锚或锚杆支护工程实例	167
3.1	华联商厦一期基坑预制排桩拉锚支护	167
3.2	电信大楼基坑预制排桩拉锚支护	173
3.3	长发商厦基坑钻孔灌注桩拉锚支护	179
3.4	金龙饭店基坑钢板桩拉锚支护	187
3.5	金港大厦基坑钻孔灌注桩双层锚杆支护	191
第4章	组合型支护工程实例	202
4.1	天宁大厦基坑组合型支护（内支撑、拉锚、水泥 搅拌桩和叠袋或放坡）	202
4.2	冷静小区4号地块A区深基坑组合型支护（放坡、水泥 搅拌桩和钻孔灌注桩加拱圈）	209
4.3	灵桥市场基坑组合型支护（水泥搅拌桩、沉管灌注桩 加内撑）	217
4.4	金宝广场基坑组合型支护（土工布重力式挡墙和预制 空心方桩加中心岛支撑）	222
4.5	望湖市场二期基坑组合型支护（放坡、叠袋式挡墙 和木排桩）	228
第5章	深基坑支护工程计算实例	234
5.1	基本要求	234
5.2	土压力计算	236
5.3	水泥搅拌桩挡墙设计计算实例	237
5.4	悬臂排桩计算实例	240
5.5	排桩加单层内支撑支护计算实例	249
5.6	排桩加双层锚杆支护计算实例	255
5.7	排桩水平拱圈支护计算实例	264

绪论 宁波市深基坑支护工程现状与分析

80年代以来,随着改革开放的不断深入,城市建设迅速发展,在旧城改造和新区建设中兴建了一批高层建筑和多层带地下室的综合商场,遇到了不少软土地区深基础设计和施工问题。其中深基坑支护工程难度大,施工周期长,工程费用高,成为高层建筑建设中的突出问题。据统计,到目前为止宁波市共有50余个深基坑支护工程开工和竣工,既有成功的经验,也遇到过一些问题。

宁波市城乡建设委员会针对本市软土的工程特点和深基础设计施工中存在的问题,曾于1994年采取措施,开展新建工程深基础质量检查,成立专家组对挖土深度超过4m的基坑支护方案进行会审。此后情况大有改善,在专家组的指导下,各设计施工单位结合工程实际,因地制宜地摸索采用各种类型的基坑支护方法,取得了不少适合软土特点的基坑支护设计和施工经验,其中一部分有代表性的工程实例已编入本书中。

一、宁波市工程地质特点

宁波市地处东南沿海的海积平原,地貌平坦单一,属典型软土地区。市区内与深基坑开挖支护有关的土层分布概况,从地表向下为:

1. 由建筑垃圾、工业垃圾和粘性土组成的杂填土,其组成随地段不同而异,厚度1~3m,土质疏松;
2. 粘性土,俗称硬壳层,呈可塑-软塑状态,厚度0.8~1.5m,一般可作为低层房屋的天然地基;
3. 淤泥质粘土,厚度达6~20m,高压缩性,流塑状态,力学性质差,内摩擦角一般在 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 上下,内聚力 $10\sim 13\text{kPa}$ 左右,

建筑物的深基坑一般位于该土层上；

4. 粉土粉砂层,厚度 2~5m,粉土为流塑状态,中-高压缩性,粉砂呈稍密-中密,深基坑的支护桩一般要伸入到该土层中。

宁波市区地下水埋藏较浅,水位一般在地表下 1~1.5m,与深基坑开挖有关的杂填土层受大气降水补给,渗透性高;以下各土层渗透系数均较小,约在 $10^{-7} \sim 2 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 左右。地下水水质对混凝土无侵蚀性。

二、深基坑支护现状综述

宁波市区深基坑开挖支护始于 80 年代中期的国际大厦和华联商厦一期工程,十几年来已施工逾 50 个项目。基坑开挖深度一般为 5~8m,最深达 12m。宁波市各设计施工单位在学习外地经验基础上,结合各自工程的特点,因地制宜地采取多种形式的支护,逐步摸索出了一套适合宁波市软土特点和施工经验的深基坑支护方法,归纳起来有以下几种类型。

(一) 自立式支护 按支护结构不同又可分为:

1. 叠袋式挡墙支护;
2. 水泥搅拌桩挡墙支护;
3. 悬臂式排桩支护,排桩有钻孔灌注桩、干取土灌注桩、沉管灌注桩和预制桩等。

(二) 排桩内撑式支护 根据基坑深度和支撑型式不同分为:

1. 角撑和对撑组成的单层内支撑支护;
2. 角撑和对撑组成的双层内支撑支护;
3. 排桩水平拱圈支护。

(三) 排桩拉锚或锚杆支护 根据拉锚方式不同分为:

1. 排桩外侧拉锚支护;
2. 排桩锚杆支护。

(四) 组合型支护 一个基坑内由多种型式组成的支护体系。现将上述各种支护应用情况介绍如下:

1. 叠袋式挡墙支护

用编织袋或草袋装碎石(或土),堆叠成重力式挡墙作为支护,也有用土和土工布分层叠成挡墙作为支护,它们适用于挖土较浅、坑壁土质较好的基坑。宁波市有些工程,如兴宁桥北堍的外经贸大厦基坑挖深 3~4.5m 和中山西路的中西大楼基坑挖深 4.6m,都曾成功地采用这类支护。

这类支护的优点是:工程费用低、施工简易、进度快;缺点是在软土上堆筑的重力式挡墙,其沉降和水平位移较大,可能引起墙后土体坍塌,甚至使地下室工程桩发生偏移;如遇雨季工程质量更难保证,一般需在挡墙下或挡墙后打入几排木桩抵御由土压力引起的挡墙位移。如建筑场地较宽裕还可在墙后适当放坡。

2. 自立式水泥搅拌桩支护

近年来水泥搅拌桩在宁波市逐渐被用于基坑支护,已有不少成功的工程实例,例如位于百丈东路的富豪大酒店基坑深达 6.28m(局部超过 7m),成功地采用了宽 4.2m(8 排 $\phi 700$)搅拌桩,桩长 14m;位于江厦桥东堍的浙海大厦,挖土深 5.7m 和 6.3m,也成功地采用了宽 4.7m(9 排 $\phi 700$)搅拌桩,桩长 11m。搅拌桩相互搭接 200mm,呈格栅状排列,水泥掺和量(425 号)一般为湿土重 15%。

这种支护结构的优点是挡墙厚度大,整体性和稳定性好,隔水性能良好,施工进度快,工程造价低于钻孔灌注桩加支撑的支护结构;由于它是自立式支护,基坑内无支撑,便于机械挖土。这种支撑的缺点是:挡墙体积大,不宜在施工场地狭小地段采用;另外,如软土中含大量有机质,可能影响水泥土的强度,应经论证后再采用。

3. 悬臂式排桩支护

宁波市悬臂式排桩支护一般采用钻孔灌注桩或沉管灌注桩,个别采用预制桩,根据不同的基坑深度选用相应的桩型和桩径。市内最大的悬臂式排桩支护是灵桥东堍的国际大厦基坑,基坑挖深 6.3m,周长约 300m,采用 $\phi 1000@1100$ 、长 21m 的钻孔灌注桩悬臂式支护;中山东路明都大酒家基坑挖深 4.8~6.1m,采用双排

φ426@650 悬臂式沉管灌注桩，桩长 9~11m；另有城隍庙附近的亚细亚商场，基坑挖深 6.0~6.5m，周长约 500m，采用钻孔灌注桩与水泥搅拌桩组成的悬臂式支护，支护的内外侧各为一排 φ650 钻孔灌注桩，内排桩距 1000mm，外排桩距 4000mm，在两排桩之间为 5 排 φ700 水泥搅拌桩，水泥搅拌桩互相搭接 200mm。以上三个悬臂式排桩支护都比较成功。

悬臂式排桩支护的优点是基坑内无支撑，便于机械化挖土和地下室工程施工；缺点是支护变形较难控制，工程造价较高。

4. 排桩内支撑支护

排桩内支撑支护是宁波市应用较广泛的一种支护型式。支护桩有钻孔灌注桩、沉管灌注桩、预制桩和钢板桩等多种桩型，其中钻孔灌注桩最大桩径达 φ1000，用于基坑较深的支护；沉管桩一般采用 φ426，其工程造价低，但抗弯性能差，且易扰动坑壁附近软土，降低土的抗剪强度；预制桩一般采用矩形截面，也容易挤压扰动土体；钢板桩价格高，抗弯性能差，封闭误差大，极少采用。

内支撑系统根据基坑平面形状由对撑、角撑和支护桩盖梁组合而成。支撑材料有钢管和钢筋混凝土两种，也有两种支撑混合使用的。钢支撑的优点是拆卸方便，钢材能够回收，缺点是稳定性较差，易变形；钢筋混凝土支撑与排桩的盖梁整体浇筑，整体性和刚度较好，但拆除较费时。

据调查，宁波市深基坑采用排桩加单层内支撑支护最大深度达 7m。例如中山东路的中山城，基坑挖深 7m（至地下室承台底），平面呈正方形，边长约 60m，采用单排 φ800@900 钻孔灌注桩加单层钢筋混凝土角撑支护，施工实践证明，情况基本良好。又如中山东路的交通银行大厦，挖深 6.7m，基坑平面呈 38m×52m 矩形，采用单排 φ700@850 钻孔灌注桩加单层钢筋混凝土角撑和钢管对撑支护，效果也好。采用沉管灌注桩加单层内支撑的支护深度最大有达 6m 的，例如位于开明街与药行街交口处的南苑鞋城，基坑深 6.2m，采用双排 φ426@660 沉管灌注桩加单层钢筋混

凝土角撑和钢管对撑。采用预制桩加单层内支撑支护的工程实例有药行街的市工人文化宫，基坑挖深 4.8m，局部 6.2m，采用单排 400mm×500mm 预制桩，相邻桩前后错开 250mm，凹凸形排列，内支撑采用单层钢管角撑和对撑；百丈路金宝广场基坑挖深 6.3m，采用 500mm×600mm 预制空心方桩，圆孔 $\phi 380$ ，桩长 16m，用中心岛内支撑支护。

对于挖深接近或超过 8m 的基坑，宁波市大都采用钻孔灌注桩加双层内支撑支护，较有代表性的工程有江夏街的华联商厦二期，基坑挖深 9.5~11.8m，采用单排 $\phi 800$ 钻孔灌注桩排桩加双层钢筋混凝土桁架式对撑和角撑支护；药行街的银都广场基坑挖深 9.1 和 9.7m，采用单排 $\phi 800$ 钻孔灌注桩加双层网格格式钢筋混凝土纵横对撑，网格尺寸 8m 和 9m；新街 10 号楼基坑挖深 8.5m，局部 9.2m，平面为 41m×41m 正方形，采用单排 $\phi 700@800$ 钻孔灌注桩加双层 $\phi 609$ 钢管支撑；解放南路新园宾馆基坑深 7.1~9.3m，采用 IV 拉森钢板桩，长 15m，双层钢管对撑和角撑。

排桩内支撑支护的优点是支护系统较安全可靠；内支撑的布置应尽量简洁，方便基坑挖土和地下室施工；其次，慎重选择经济合理的支护桩桩型和桩长，对支护的工程造价和安全有很大影响。

5. 排桩水平拱圈支撑体系

排桩水平拱圈是采用设置在排桩顶部的水平环形梁，既作为排桩顶端连梁，又承受排桩传递来的土压力，代替内支撑，从而使基坑内有较大的施工空间，相应降低工程造价。环形拱圈有设在基坑内，也有设在基坑外。到目前为止宁波市区已有多个基坑支护工程成功地采用环形拱圈支护，主要有：

位于开明街口的电业大楼，基坑挖深 9.2m，平面为 44m×72m 矩形，采用 $\phi 800@900$ 钻孔灌注桩围护，设双层支撑，顶层支撑由两个半径为 22m 的半圆环梁和两根直梁联系组成，形成一个椭圆形，直梁之间设钢筋混凝土对撑，下层支撑为 $\phi 609$ 钢管角撑和钢筋混凝土对撑组成的内支撑系统。

其次是位于大梁街的天之海大厦，基坑挖深 6.6m，形状成 L 形，由 $22.5\text{m} \times 28\text{m}$ 和 $37.3\text{m} \times 41.5\text{m}$ 两块组成，沿坑壁用 $\phi 900 @ 1600$ 钻孔灌注桩支护，在前一块基坑顶部采用一个钢筋混凝土角撑和对撑组成的单层内支撑系统，后一块顶部采用半径为 20m 的整体圆环梁作为支撑，与支护桩盖梁相连接。

再次是镇明路、迎风街口的石油大厦，基坑挖深 7~7.5m，平面近似为边长 $31.3\text{m} \times 33.6\text{m}$ 的方形，沿坑壁采用 $\phi 700 @ 800$ 钻孔灌注桩支护，顶部设置一半径为 21m 的整体圆环梁作支撑，与支护桩盖梁锚拉。

6. 排桩外侧拉锚支护

排桩外侧拉锚的支护方法较内支撑方案工程费用低，也有利于基坑挖土和地下室施工，不少工程结合具体情况曾部分地采用这种支护。例如江夏街华联商厦一期，基坑深 6m，曾在东侧采用 $300\text{mm} \times 500\text{mm}$ 预制桩排桩外侧加拉锚，其余三面坑壁因不具备外拉锚场地，采用 $300\text{mm} \times 500\text{mm}$ 和 $450\text{mm} \times 450\text{mm}$ 悬臂式排桩支护；又如中山东路市工业品商场（长发商厦）主楼基坑深 8.3m，其西北两面采用 $\phi 800$ 钻孔灌注桩加外拉锚，排桩后卸土 2.4m；南面无拉锚场地采用 $\phi 800$ 和 $\phi 1000$ 悬臂式排桩；再如火车南站广场金龙饭店基坑深 5.5~6.7m，采用 12m 长拉森钢板桩加外拉锚，各道拉锚间隔 3~3.6m；解放桥南堍市电信枢纽大楼基坑深 6.1m，全部用 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 预制桩排桩加外拉锚。

工程实例表明，在软土中锚板的锚定效果较差，采用排桩外侧加拉锚的支护方法，在基坑挖土后常发生排桩大量变位，甚至影响基坑内工程桩的安全。

7. 排桩锚杆支护

用排桩加锚杆支护软土深基坑已在宁波市金港大厦施工中采用并取得成功。该大厦位于甬江大桥西堍，高 26 层，基坑平面尺寸 $70\text{m} \times 80\text{m}$ ，挖深 7.8m，采用长 $16.5\text{m} \phi 650 @ 800$ 钻孔灌注桩排桩加二排 $\phi 130 @ 1600$ 锚杆支护，锚杆分别位于自然地面下 2m 和 5m，上下错开，长 25m，倾角 30° ，每根锚杆由 3 束 $7\phi 5$ 钢绞

丝组成，采用二次压浆工艺。经现场试验，锚杆的抗拔力为 280kN，取安全系数 1.8，其抗拔力设计值取 150kN；此时锚头位移量为 3~5mm。

工程实践表明，用锚杆支护基坑对基坑和地下室文明施工十分有利；但是软土锚杆的长度大，可能超出建筑红线，因此需经红线以外的有关部门协调同意。

8. 组合型支护

当基坑内有几种挖土深度，相差较大时，为了节约支护费用可针对不同的挖土深度，因地制宜地采取不同的支护方法，形成组合型支护。例如中山西路的天宁大厦基坑挖深为主楼 6.75~7.3m，裙房 4.55m，主楼部分采用单排 $\phi 600$ 钻孔灌注桩加角撑，裙房部分采用单排 $\phi 426$ 沉管灌注桩加拉锚，局部采用水泥搅拌桩或碎石叠袋式挡墙。又如位于兴宁桥北堍的冷静小区 4 号地块 A 区，基坑挖深 6.3、5.0 和 3.2m，分别采取：挖深 3.2m 部分自然放坡加 50mm 厚钢丝水泥网护坡；挖深 5.0m 部分水泥搅拌桩自立式挡墙（厚 3.7m），坑底再打 2 排水泥搅拌桩；挖深 6.3m 部分单排 $\phi 650@750$ 钻孔灌注桩拱形布置加圆拱形环梁支撑。

综上所述，宁波市各种类型深基坑支护的应用都是根据土质特点、施工场地条件、工程的重要性和施工进度要求等综合考虑，经过计算选定。工程实践表明，当基坑开挖深度在 3~4m，如施工场地条件容许，对支护变形要求不高时，比较简易经济的支护方法是叠袋式挡墙；开挖深度在 4~6m 时，可有几种选择，如施工场地条件容许，采用水泥搅拌桩重力式挡墙，实践证明是经济可行的；也有采用悬臂式排桩支护，但悬臂越高，支护的变形就越难控制。

对于挖深为 5~7m 的基坑，较多采用排桩加角撑、对撑等内支撑方案，其支撑系统完善，支护安全可靠。如基坑平面形状呈方形或矩形，也有采用单层水平圆拱形环梁代替内支撑系统。当基坑深度超过 8m，一般采用排桩加双层内支撑系统。

三、深基坑支护的设计计算

宁波市当前深度超过 4m 的基坑支护设计都由有资格的设计单位或施工单位承担。设计方案一般至少做二个，由宁波市城乡建委组织的专家组会审确定。

每个支护工程设计前，都要收集资料，包括建筑场地和邻周建筑物、道路的规划红线和管线布置图；建筑工程的地下室基础施工图，底板、地梁和承台以及电梯井、地下水池等的底面标高；建筑场地的工程地质勘察报告等。

支护结构的计算按有关规范并参考兄弟城市的资料进行。到目前止，经过 50 余个工程的设计实践和施工检验，已摸索出了一套安全可行的计算方法，现正在边应用边完善和提高。下面将宁波市目前较广泛采用的设计计算方法作一简单介绍。

（一）土压力计算

首先是土的力学指标 c, φ 的取值。该指标由工程地质勘察报告提供。宁波市各勘察单位提供的 c, φ 值一般都为固结快剪资料，但有时互有差异，有的报告建议采用固结快剪峰值，有的则加以折减；有时两个相邻工程项目分别由两个勘察单位承担勘察任务，他们提供土的力学指标也会出现差异。因此设计人员在选用 c, φ 值一般都较慎重，要综合考虑各种因素，对工程地质勘察报告提供的值作相应的调整。

宁波市普遍接受的主动土压力和被动土压力计算公式是考虑内聚力的朗金——库伦简化计算式。个别工程也采用等值内摩擦角进行计算。

根据宁波地区软土特点，土的渗透系数很小，除表层杂填土中可能存在自由水外，软土中一般无流动水，因此土压力按水土合算计算。

（二）叠袋式挡墙和水泥搅拌桩挡墙计算

这两种支护挡墙均按一般重力式挡墙计算，验算其抗滑和抗倾覆稳定性；当墙下软土层较厚时，还要验算软土地基的承载力

和地基的稳定性；必要时还验算墙身应力。挡墙各项计算的安全系数均按规范规定选取。

（三）支护排桩计算

目前宁波市计算深基坑支护桩大多采用《上海地区深基础施工指南》推荐的方法，也有一些工程采用考虑土的弹性抗力作用的 m 法，该法已被列入《建筑桩基技术规范》JGJ94—94。据我们初步比较，用此法计算结果较为经济，但用 m 法计算软土深基坑的悬臂支护桩，还存在一些问题。现综合介绍如下。

1. 悬臂支护桩的计算

1) 按在主动和被动土压力作用下的悬臂梁计算（不考虑土的弹性抗力）

首先计算桩长。假定排桩后受主动土压力作用，排桩前受被动土压力作用，两者迭加求得土压力为零的点；然后以土压力对桩底力矩平衡为条件，计算桩长。这个计算方法不同于《上海地区深基础施工指南》所推荐的方法，后者假定悬臂桩在土压力作用下发生转动，因此排桩后面下部产生被动土压力，需以水平力平衡和各水平力对桩底力矩平衡为条件，建立联立方程式，求解桩长，计算比较复杂，特别当坑底以下土层分布不一致时，计算更加困难。

其次求悬臂梁上剪力为零的点，计算该点的弯矩，即为排桩的最大弯矩，然后假定该点为悬臂梁固端，计算悬臂梁端的变形值；考虑到悬臂梁固端的土体也有变形，因此计算得的变形值尚需扩大 2~3 倍。

2) 按 m 法计算

首先假定桩长、桩截面和配筋，选取软土水平抗力系数的比例系数 m 值，然后按《建筑桩基技术规范》JGJ94—94 附录 B 提供的方法，计算排桩的最大弯矩和其位置以及桩顶水平位移。

用 m 法计算软土深基坑悬臂支护桩尚存在一些问题。首先是用该法计算时，桩长是假定的，随意性很大；其次，用 m 法计算的结果与工程实测值相差很大。按规范规定， m 取值应在限定的

桩的位移值范围内，而实际工程中悬臂桩的位移常大大超过了规范规定的范围，因此有些专家提出，在软土深基坑悬臂支护桩计算中土的弹性抗力假定是否适用问题。

2. 单层支撑（或拉锚）支护桩计算

1) 按等值梁法计算

将支护桩作为简支梁，其上支点为支撑或拉锚点，下支点在梁上土压力等于零点，计算支撑点的反力。然后找出支护桩上剪力等于零点，计算该点的弯矩，即为支护桩的最大弯矩。最后，再以简支梁的下支点反力与该点以下土压力对支护桩底力矩平衡为条件，计算支护桩应有的长度。

2) 按 m 法计算

首先假定支护桩为悬臂桩，用 m 法计算该悬臂桩的桩顶位移，再反算使该位移值回复到零（或某一定值）所需作用在桩顶的水平力，该水平力即为桩顶位移为零（或某一定值）时的桩顶支撑反力。然后计算支护桩在土压力和支撑力作用下剪力等于零的位置，计算该点的弯矩，即为支护桩的最大弯矩。

经计算比较，用 m 法计算单层支撑支护桩，与用等值梁法计算的结果大体上比较接近。而 m 法计算的结果更为经济。

3. 多层支撑支护计算

采用《上海地区深基础施工指南》推荐的方法，从上向下逐层计算支撑反力。首先按单层支撑计算当挖土到第二层支撑标高时第一层支撑的反力。然后假定该层支撑反力在继续挖土过程中保持原值不变，计算挖土到第三层支撑标高时第二层支撑的反力，并假定该值在继续向下挖土过程中保持不变。如此逐层向下计算，直到算出最下一层支撑反力。然后按等值梁法计算支护桩的弯矩。在计算桩长时，则不是按支护桩底端的力矩平衡条件，而是按水平力平衡条件来确定支护桩嵌入土压力为零点以下的深度。

四、深基坑支护的施工与监测

宁波的软土属淤泥质土，呈流塑状态，强度低，易变形；在