

深基坑支护工程实例集

主编 黄 强 惠永宁

中国建筑工业出版社

深基坑支护工程实例集

主编 黄 强 惠永宁

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑支护工程实例集/黄强, 惠永宁主编. -北京:
中国建筑工业出版社, 1997
ISBN 7-112-03369-1

I. 深… I. ①黄…②惠… II. 基坑-地基处理, 支护
IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 14377 号

基坑支护工程技术是近年来我国岩土工程的难点问题之一, 与其他岩土工程如桩基、地基处理等相似, 基坑支护工程是一项实践性很强的技术, 工程实践经验是工程设计的重要依据之一。本书收集了国内三十余项基坑支护工程的设计、施工及测试结果, 配有较为齐全的地质资料及基坑工程与基坑周边环境有关资料, 这些工程实例对工程设计具有重要参考价值。

本书可供基坑工程勘察、设计、施工、科研的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑 国旭文
责任设计 黄 燕
责任校对 张 虹

深基坑支护工程实例集

主编 黄 强 惠永宁

*

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

北京二二〇七厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 459 千字

1997 年 12 月第一版 1997 年 12 月第一次印刷

印数: 1-2500 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-112-03369-1

TU·2608 (8513)

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)

前 言

改革开放以来,我国建造了大量高层建筑,基础埋深也随着建筑物高度的增加而加深,为确保基础工程安全施工,基坑支护设计与施工技术已成为广大设计,施工人员十分关注的技术热点问题。

基坑支护技术是一个综合性的岩土工程难题,既涉及土力学中典型的强度、稳定及变形问题,同时还涉及到土与支护结构的共同作用问题。建筑物基坑支护设计与施工技术是一门从实践中发展的技术,改革开放以前国内甚少高层建筑,一般建筑基坑大部分可放坡开挖或少量钢板桩支护,基坑开挖深度一般在5m以内。因此,基坑侧壁放坡或支护设计一般为上部结构施工单位施工组织设计的一部分内容。80年代以后,随着建筑密度、建筑高度的增加,对基坑支护技术提出了更高的要求,由于缺乏对基坑支护技术的认识而酿成了一些事故,从而引起了政府主管部门及科研、设计单位的重视,尤其是90年代以后,基坑支护工程设计得到了充分重视,同时有关部门也开始组织力量着手编制基坑支护设计与施工的有关法规。

与其他岩土工程相同,基坑支护工程技术也是一门实践性很强的学科,它较桩基础,地基处理等具有更大难度。一般情况下,支护工程是临时性工程,因此,在安全与经济之间寻找平衡尤为重要。作为临时性工程,希望能用最少的造价取得最合理的结果,而与桩基础、地基处理等相比的难度则在于当基坑支护结构施工结束、基坑开始挖土前却无法判定其设计的真正合理性,因而使得经济与安全难以得到如实的评价。为使基坑支护设计合理,目前最有效途径之一是搜集全国各地支护结构设计资料,供设计者参考,也为有关基坑支护法规的编制提供依据。

基坑支护设计理论的发展随着基坑支护工程实践的进展而提高,初期的设计理论主要基于挡土墙设计理论。对于悬臂式支护结构,根据朗肯土压力计算方法确定墙土之间的土压力,也就是支护结构上的作用荷载及反作用力按主动土压力与被动土压力分布考虑,以此按静力方法计算出挡土结构内力。对于支点结构,则按等值梁法计算支点力及结构内力。由于基坑支护结构与一般挡土墙受力机理的不同,按经典方法(极限平衡法或等值梁法)计算结果与支护结构内力实测结果相比,在大部分情况下偏大,本书收集的工程实例实测内力值与计算值相比均说明了这个事实。一则由于经典方法计算支护结构与实测不尽相符的事实;二则由于基坑周边环境(建筑物、地下管线、道路等)基坑内基础边线对支护结构更为严格的要求,需要对支护结构变形进行一定精度的预

目 录

1. “m”法在基坑支护结构设计中的应用	1
2. 镇江国贸大厦深基坑支护结构的设计、施工与监测	16
3. 广州羊城麦芽厂生产塔工程深基坑支护的设计和施工实践	32
4. 云信大厦基坑护壁设计	42
5. 杭州香港服装店地下室逆作法施工	48
6. 南京国际贸易中心深基坑支护及开挖	61
7. 深圳艺丰广场深基坑支护工程实例	68
8. 扬州市人防工程深基坑支护	76
9. 广州国际电子大厦深基坑施工	83
10. 龙腾大厦大直径薄壁挖孔灌注砂桩挡土工程实例	93
11. 广州市东照大厦四层地下室深基坑支护与开挖实例	105
12. 惠州市中企联大厦基坑挡土桩设计	117
13. 深华商业大厦深基坑支护工程实例	124
14. 太平广场花园淤泥软土地基基坑锚拉护壁桩支护的设计、施工与监测	129
15. 广州地铁黄沙试验段深基坑支护实例	137
16. 武汉泰合广场深基坑支护工程	161
17. 长安俱乐部深基坑支护工程	169
18. 保艺大厦深基坑支护工程的设计、施工和试验	175
19. 浙江东方股份有限公司营业楼基坑支护设计	186
20. 中国工商银行总行营业办公楼深基坑支护的设计与施工	191
21. 海口市交行大厦深基坑支护施工简介	203
22. 深基坑支护实例分析	209
23. 刚架护坡桩在北京宣威大厦深基坑支护中的应用	217
24. 结构自支撑体系在信宏大厦基坑支护工程中的应用	224
25. 沙市大世界商厦深基坑施工实例	228
26. 人民广场地下变电站深基坑施工简介	236
27. 上海黄陂路地铁车逆筑法施工	243
28. 长春新世界广场深基坑支护及事故处理	253
29. 聚福花园C座挡土桩设计	261
30. 大连远东大厦深基坑支护实例	269
31. 灌注桩挡土墙在老厂房内基坑护坡中的应用	275
32. 上海仲盛金融中心深基坑支护技术	278
33. 上体馆地铁站深基坑施工技术综述	284
34. 肇庆碧湖大厦深基坑开挖支护设计与施工	292

1 “m”法在基坑支护结构设计中的应用

黄 强 （中国建筑科学研究院科技处）

深基坑支护结构设计技术是近十多年来在我国逐步涉及的技术难题，它是一个综合性的岩土工程技术问题。除包含了典型的强度、稳定与变形外，还涉及到土与结构共同作用。我国的基坑支护结构计算，在初期基本上采用了经典土压力理论，对于悬臂式支护结构，采用应用经典土压力为作用结构上的荷载进行结构设计，对于单层或多层支点结构，则应用等值梁法进行“简化设计，这些方法在实践中已被证明是简单可行且偏于保守的方法。随着工程上对基坑支护结构设计提出的更高要求，如需要计算支护结构各点的变形时，等值梁法就难以满足变形计算要求。另外，对于土质较为软弱的情况，经典土压力理论计算悬臂式支护结构在设计上也存在不少问题，如嵌固深度偏大等问题。经过近几年的发展，从现有的各地所编制的基坑支护规范初稿上均有用地基土抗力方法求解基坑支护结构的建议，在“c”法、“k”法及“m”法中大部分认为应用“m”法比较合理，而对于“m”法的具体计算分析并无详尽说明，也无相应手算的公式。为此，本文拟通过对“m”法在基坑支护结构设计中的具体应用，推导出适合于手算的公式及参数，以便设计人员应用“m”法。

一、地基土水平抗力系数

如图 1-1 所示，任意悬臂式支护结构或单（多）层支点支护结构，在开挖面处取脱离体，可表示为在开挖面以下的单桩基础。其桩顶作用有水平力 H_0 、弯矩 M_0 及在开挖面以下作用有荷载 $\bar{q}(z)$ 的弹性杆件。其弹性介质是桩周土，土在上述外荷载作用下变形后将产生一定抗力，地基土（桩周土）变形与抗力的关系是弹性地基梁求解的主要参数之一。根据水平静载试验确定土的水平抗力系数一般具有三种常用方法：

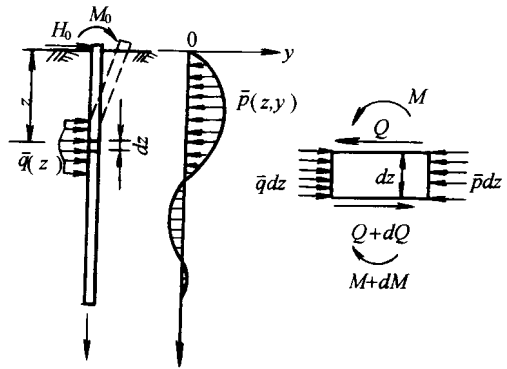


图 1-1 设置于土中的弹性桩

1. 地基土水平抗力系数沿深度矩形分布的“k”法；
2. 地基土水平抗力系数在深度 $4.0/\alpha$ 以上为凸形抛物线分布的“c”法；
3. 地基土水平抗力系数呈三角形分布的“m”法。

由于上述三种方法中，“ m ”法更接近于经典土压力分布的定性结果，且在《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)中对“ m ”的取值也有了一定经验数据，因此，在三种弹性地基梁的土抗力系数假定中，“ m ”法更适用于基坑支护结构设计。

二、“ m ”法求单桩内力及变形

1. 桩身内力和位移

设置于土中的竖向弹性桩，地面处承受水平荷载（水平力 H_0 和弯矩 M_0 ），桩身受有水平分布荷载 $\bar{q}(z)$ 作用（图 1-1）。由于荷载作用，桩将产生挠曲，支承桩的弹性介质（土）将产生连续分布的土反力（图 1-1）。假定桩上任意一点 z 处单位桩长上的反力 \bar{p} 为深度 z 和该点桩挠度 y 的函数，即 $\bar{p} = \bar{p}(z, y)$ 。若忽略由于桩挠曲引起的竖向摩阻力，则各截面仅有水平向地基土反力。

若令水平荷载 $\bar{q}(z) = 0$ ，根据弹性地基梁的一般求解方法，可求得土抗力系数为“ m ”法的地下以下任一深度 z ，桩身位移和内力：

$$\left. \begin{aligned} \text{位移} \quad y_z &= \frac{H_0}{\alpha^3 EI} A_y + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} B_y \\ \text{剪力} \quad H_z &= H_0 A_Q + \alpha M_0 B_Q \\ \text{弯矩} \quad M_z &= \frac{H_0}{\alpha} \cdot A_M + M_0 B_M \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} A_y &= A_{HH} A_1 - B_{MH} B_1 + D_1 \\ B_y &= B_{MH} A_1 - C_{MM} B_1 + C_1 \\ A_Q &= A_{HH} A_4 - B_{MH} B_4 + D_4 \\ B_Q &= B_{MH} A_4 - C_{MM} B_4 + C_4 \\ A_M &= A_{HH} A_3 - B_{MH} B_3 + D_3 \\ B_M &= B_{MH} A_3 - C_{MM} B_3 + C_3 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{HH} &= \frac{(B_3 D_4 - B_4 D_3)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3)} \\ B_{MH} &= \frac{(A_3 D_4 - A_4 D_3)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3)} \\ C_{MM} &= \frac{(A_3 C_4 - A_4 C_3)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3)} \end{aligned} \right\}$$

系数 $A_1 \sim A_4$ 、 $B_1 \sim B_4$ 、 $C_1 \sim C_4$ 、 $D_1 \sim D_4$ 可由计算求得或查有关书籍，如《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)。式 (1-1) 中的水平变形系数 α 按下式计算：

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{md}{EI}} \quad (1-3)$$

式中 d ——桩身直径；

m ——土抗力的比例系数；

EI ——桩的刚度。

2. 桩身最大剪力位置与最大剪力

根据材料力学可知，杆件的最大剪力位置即为外作用荷载为零点位置，即土抗力为零点位置。根据“m”法可知，土抗力为零点的位置即为桩身变形为零点的断面，根据式(1-1)，令 $y_z=0$ 得：

$$y_z = \frac{H_0}{\alpha^3 EI} A_y + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} B_y = 0 \quad (1-4)$$

即
$$H_0 A_y + \alpha M_0 B_y = 0 \quad (1-5)$$

令
$$C_y = -\frac{A_y}{B_y} = \frac{\alpha M_0}{H_0} \quad (1-6)$$

根据不同计算深度 αz 及不同计算桩长 αh_d 制成 C_y 表 1-1。

由式(1-6)可得：

$$\alpha M_0 = C_y H_0 \quad (1-7)$$

将式(1-7)所确定 αM_0 代入式(1-1)得到最大剪力 H_{\max} 为：

$$H_{\max} = H_0 (A_Q + C_y B_Q) = H_0 C_{yH} \quad (1-8)$$

令：
$$C_{yH} = A_Q + C_y B_Q \quad (1-9)$$

将式(1-9)制成表 1-2，则最大剪力位置可由式(1-6)右边 $\alpha M_0/H_0$ 的结果从表 1-1 查得 C_y 相对应的 αz ，则最大剪力位置为：

$$z_{H_{\max}} = \frac{\alpha z}{\alpha} \quad (1-10)$$

最大剪力作用位置系数表

表 1-1

$\alpha h_d \backslash \alpha z$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
.10	-1.570	-1.577	-1.585	-1.596	-1.606	-1.614	-1.613	-1.597	-1.561	-1.501	-1.417
.20	-1.641	-1.647	-1.656	-1.666	-1.676	-1.681	-1.675	-1.654	-1.610	-1.542	-1.451
.30	-1.717	-1.724	-1.733	-1.743	-1.752	-1.753	-1.743	-1.714	-1.662	-1.586	-1.487
.40	-1.802	-1.809	-1.819	-1.828	-1.835	-1.832	-1.816	-1.779	-1.719	-1.634	-1.528
.50	-1.896	-1.905	-1.914	-1.923	-1.927	-1.920	-1.896	-1.851	-1.781	-1.687	-1.575
.60	-2.004	-2.013	-2.023	-2.030	-2.031	-2.018	-1.986	-1.931	-1.850	-1.748	-1.630
.70	-2.129	-2.139	-2.149	-2.154	-2.151	-2.130	-2.088	-2.021	-1.930	-1.820	-1.699
.80	-2.278	-2.288	-2.298	-2.301	-2.290	-2.261	-2.206	-2.126	-2.024	-1.908	-1.790
.90	-2.459	-2.470	-2.478	-2.477	-2.458	-2.416	-2.346	-2.252	-2.140	-2.023	-1.920
1.00	-2.687	-2.699	-2.705	-2.697	-2.666	-2.606	-2.518	-2.409	-2.291	-2.184	-2.126
1.10	-2.987	-3.000	-3.001	-2.981	-2.932	-2.849	-2.739	-2.615	-2.500	-2.434	-2.519
1.20	-3.404	-3.417	-3.409	-3.369	-3.290	-3.175	-3.037	-2.905	-2.823	-2.892	-3.615
1.30	-4.035	-4.043	-4.015	-3.938	-3.809	-3.644	-3.477	-3.363	-3.413	-4.072	
1.40	-5.112	-5.104	-5.027	-4.867	-4.641	-4.398	-4.215	-4.228	-4.908	-15.305	1.388
1.50	-7.413	-7.337	-7.091	-6.693	-6.234	-5.856	-5.772	-6.612	-18.083	2.691	-.053
1.60	-16.015	-15.279	-13.821	-12.098	-10.669	-10.067	-11.640	-57.178	3.948	.316	-.506
1.70	37.424	46.827	85.444	-376.4	-109.52	-316.14	21.848	4.273	.743	-.349	-.729
1.80	7.104	7.581	8.412	9.397	9.511	7.201	3.599	1.089	-.139	-.665	-.862
1.90	3.399	3.571	3.799	3.938	3.648	2.626	1.210	.081	-.558	-.850	-.951
2.00	1.940	2.029	2.113	2.089	1.780	1.092	.246	-.422	-.805	973	-1.014
2.10	1.151	1.201	1.224	1.138	.836	.303	-.287	-.728	-.969	-1.060	.000
2.20	.649	.676	.662	.542	.249	-.192	-.632	-.936	-1.086	-1.125	.000
2.30	.297	.305	.265	.121	-.165	-.541	-.878	-1.088	-1.175	.000	.000
2.40	.031	.024	-.039	-.204	-.483	-.806	-1.065	-1.205	-1.244	.000	.000
2.50	-.181	-.204	-.289	-.471	-.741	-1.018	-1.213	-1.298	.000	.000	.000
2.60	-.359	-.398	-.505	-.703	-.962	-1.195	-1.334	.000	.000	.000	.000
2.70	-.514	-.571	-.701	-.913	-1.157	-1.346	-1.434	.000	.000	.000	.000

续表

$\frac{ah_d}{az}$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
2.80	- .655	- .733	- .887	-1.110	-1.332	-1.477	-1.520	.000	.000	.000	.000
2.90	- .790	- .891	-1.071	-1.299	-1.494	-1.592	.000	.000	.000	.000	.000
3.00	- .923	-1.053	-1.257	-1.484	-1.644	-1.695	.000	.000	.000	.000	.000
3.10	-1.062	-1.224	-1.452	-1.668	-1.784	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.20	-1.212	-1.413	-1.660	-1.852	-1.916	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.30	-1.383	-1.627	-1.885	-2.037	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.40	-1.587	-1.878	-2.133	-2.224	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.50	-1.841	-2.183	-2.407	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.60	-2.176	-2.562	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.70	-2.647	-3.051	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.80	-3.366	-3.706	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.90	-4.606	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4.00	-7.267	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

最大剪力系数表

表 1-2

$\frac{ah_d}{az}$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
.20	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
.30	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005
.40	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011	1.012
.50	1.022	1.022	1.023	1.023	1.023	1.023	1.022	1.022	1.022	1.022	1.023
.60	1.039	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.039	1.039	1.039	1.039	1.043
.70	1.065	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.064	1.063	1.063	1.066	1.074
.80	1.102	1.103	1.104	1.104	1.103	1.102	1.100	1.098	1.099	1.106	1.124
.90	1.155	1.156	1.157	1.157	1.156	1.153	1.150	1.148	1.152	1.167	1.208
1.00	1.231	1.233	1.234	1.233	1.229	1.224	1.219	1.218	1.229	1.264	1.357
1.10	1.342	1.344	1.344	1.341	1.334	1.326	1.319	1.322	1.349	1.431	1.670
1.20	1.509	1.512	1.510	1.502	1.489	1.474	1.466	1.482	1.551	1.763	2.597
1.30	1.778	1.780	1.773	1.754	1.728	1.703	1.700	1.751	1.943	2.664	24.250
1.40	2.259	2.257	2.233	2.187	2.131	2.092	2.112	2.286	2.984	11.495	-1.852
1.50	3.323	3.295	3.205	3.069	2.933	2.872	3.016	3.813	12.383	-2.737	- .627
1.60	7.382	7.063	6.444	5.741	5.223	5.184	6.505	36.793	-3.415	- .898	- .270
1.70	-18.038	-22.663	-41.795	1882.3	56.879	175.352	-13.602	-3.353	-1.154	- .409	- .116
1.80	-3.659	-3.925	-4.412	-5.062	-5.388	-4.477	-2.691	-1.305	- .556	- .197	- .042
1.90	-1.926	-2.035	-2.200	-2.362	-2.352	-1.962	-1.289	- .679	- .291	- .090	- .009
2.00	-1.260	-1.325	-1.409	-1.466	-1.404	-1.140	- .743	- .384	- .151	- .034	.000
2.10	- .911	- .956	-1.005	-1.020	- .940	- .732	- .456	- .220	- .072	- .007	.000
2.20	- .699	- .732	- .760	- .751	- .664	- .489	- .284	- .120	- .028	.000	.000
2.30	- .558	- .582	- .595	- .571	- .481	- .330	- .173	- .060	- .006	.000	.000
2.40	- .458	- .475	- .477	- .441	- .349	- .219	- .099	- .024	.000	.000	.000
2.50	- .383	- .394	- .387	- .341	- .251	- .140	- .051	- .005	.000	.000	.000
2.60	- .326	- .331	- .315	- .262	- .176	- .084	- .021	.000	.000	.000	.000
2.70	- .281	- .280	- .255	- .198	- .117	- .044	- .005	.000	.000	.000	.000
2.80	- .243	- .236	- .205	- .145	- .073	- .019	.000	.000	.000	.000	.000
2.90	- .212	- .199	- .161	- .101	- .040	- .004	.000	.000	.000	.000	.000
3.00	- .185	- .166	- .123	- .065	- .017	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.10	- .160	- .135	- .089	- .037	- .004	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.20	- .138	- .107	- .060	- .017	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.30	- .117	- .081	- .036	- .004	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

续表

$\frac{ah_d}{az}$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
3.40	-.097	-.058	-.017	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.50	-.077	-.036	-.004	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.60	-.058	-.018	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.70	-.040	-.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.80	-.023	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.90	-.008	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4.00	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

根据 az 查表 1-2 可得 C_{yH} , 最大剪力可由式 (1-8) 求得。

3. 桩身最大弯矩位置与最大弯矩

最大弯矩位置应位于剪力为零处, 令式 (1-1) 中 $H_z=0$ 得:

$$H_0 A_Q + \alpha M_0 B_Q = 0 \quad (1-11)$$

$$\text{令} \quad C_H = -\frac{A_Q}{B_Q} = \frac{\alpha M_0}{H_0} \quad (1-12)$$

根据不同计算深度 az 及不同计算桩长 ah_d 制成 C_H , 如表 1-3。

最大弯矩作用位置系数表

表 1-3

$\frac{ah_d}{az}$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
.10	131.184	130.921	130.165	128.523	125.476	120.449	112.951	102.773	90.160	75.860	60.967
.20	34.184	34.104	33.883	33.413	32.552	31.151	29.087	26.320	22.934	19.143	15.240
.30	15.544	15.500	15.383	15.141	14.708	14.012	13.003	11.670	10.063	8.291	6.493
.40	8.782	8.751	8.673	8.515	8.237	7.800	7.177	6.368	5.409	4.370	3.333
.50	5.538	5.513	5.453	5.335	5.133	4.821	4.384	3.828	3.183	2.496	1.824
.60	3.710	3.688	3.638	3.542	3.383	3.141	2.811	2.400	1.931	1.444	.977
.70	2.565	2.544	2.500	2.418	2.285	2.089	1.826	1.505	1.150	.788	.450
.80	1.792	1.772	1.731	1.658	1.543	1.377	1.160	.902	.623	.347	.096
.90	1.238	1.219	1.180	1.114	1.011	.867	.683	.471	.248	.033	-.154
1.00	.824	.805	.768	.705	.612	.484	.327	.149	-.032	-.199	-.340
1.10	.503	.483	.447	.387	.301	.187	.049	-.100	-.247	-.378	-.482
1.20	.246	.225	.189	.132	.051	-.052	-.173	-.299	-.418	-.519	-.593
1.30	.034	.012	-.024	-.079	-.155	-.249	-.355	-.461	-.557	-.633	-.683
1.40	-.145	-.167	-.204	-.258	-.330	-.416	-.508	-.597	-.672	-.727	-.757
1.50	-.298	-.322	-.360	-.413	-.481	-.559	-.639	-.712	-.770	-.805	-.818
1.60	-.434	-.459	-.497	-.549	-.613	-.684	-.753	-.812	-.853	-.872	-.870
1.70	-.555	-.581	-.620	-.672	-.732	-.796	-.854	-.899	-.925	-.930	-.914
1.80	-.665	-.694	-.734	-.784	-.841	-.897	-.944	-.975	-.987	-.979	-.952
1.90	-.768	-.798	-.839	-.888	-.940	-.988	-1.025	-1.044	-1.043	-1.023	-.985
2.00	-.865	-.897	-.938	-.986	-1.033	-1.073	-1.098	-1.105	-1.092	-1.061	1.567
2.10	-.957	-.992	-1.034	-1.079	-1.121	-1.152	-1.166	-1.161	-1.136	-1.095	.000
2.20	-1.048	-1.084	-1.127	-1.169	-1.204	-1.225	-1.228	-1.211	-1.176	.951	.000
2.30	-1.138	-1.176	-1.218	-1.257	-1.284	-1.295	-1.286	-1.257	-1.212	.000	.000
2.40	-1.229	-1.269	-1.310	-1.343	-1.362	-1.361	-1.339	-1.299	1.264	.000	.000
2.50	-1.323	-1.364	-1.402	-1.428	-1.436	-1.423	-1.389	-1.338	.000	.000	.000
2.60	-1.420	-1.461	-1.496	-1.513	-1.509	-1.483	-1.436	.000	.000	.000	.000
2.70	-1.523	-1.564	-1.592	-1.599	-1.581	-1.539	-1.479	.000	.000	.000	.000
2.80	-1.635	-1.673	-1.692	-1.685	-1.650	-1.593	.126	.000	.000	.000	.000
2.90	-1.757	-1.790	-1.796	-1.772	-1.719	-1.645	.000	.000	.000	.000	.000

续表

ah_d az	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
3.00	-1.894	-1.917	-1.906	-1.860	-1.786	-.398	.000	.000	.000	.000	.000
3.10	-2.049	-2.056	-2.021	-1.949	-1.851	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.20	-2.227	-2.210	-2.143	-2.039	-.288	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.30	-2.438	-2.383	-2.272	-2.130	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.40	-2.691	-2.578	-2.410	-3.053	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.50	-3.003	-2.800	-2.557	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.60	-3.398	-3.056	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.70	-3.915	-3.354	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.80	-4.621	-1.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.90	-5.646	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4.00	-.368	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

由式 (1-12) 得:

$$H_0 = \frac{aM_0}{C_H} \quad (1-13)$$

将式 (1-13) 代入表 (1-1) 的 M_z 表达式得:

$$M_{\max} = M_0 (A_M/C_H + B_M) = M_0 C_{HM} \quad (1-14)$$

$$C_{HM} = A_M/C_H + B_M \quad (1-15)$$

将式 (1-15) 制成表 1-4, 则最大弯矩位置 $z_{M_{\max}}$ 可由式 (1-12) 右边的 aM_0/H_0 的结果从表 1-3 查得 C_H 相对应的 az , 最大弯矩作用位置为:

最大弯矩系数表

表 1-4

ah_d az	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
.10	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
.20	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.005	1.005	1.006	1.007	1.009
.30	1.012	1.013	1.013	1.013	1.013	1.014	1.015	1.017	1.019	1.024	1.030
.40	1.029	1.029	1.030	1.030	1.031	1.033	1.036	1.040	1.048	1.059	1.077
.50	1.057	1.057	1.058	1.059	1.062	1.066	1.073	1.083	1.100	1.128	1.175
.60	1.101	1.102	1.103	1.106	1.111	1.120	1.134	1.158	1.196	1.262	1.387
.70	1.169	1.170	1.174	1.180	1.190	1.209	1.239	1.291	1.381	1.555	1.969
.80	1.274	1.277	1.284	1.296	1.319	1.359	1.427	1.549	1.796	2.427	6.110
.90	1.441	1.448	1.463	1.492	1.543	1.635	1.807	2.173	3.230	17.490	-2.551
1.00	1.728	1.746	1.784	1.855	1.988	2.252	2.862	5.080	18.250	-2.044	-.770
1.10	2.299	2.355	2.468	2.697	3.190	4.544	14.455	-5.638	-1.684	-.746	-.356
1.20	3.875	4.144	4.757	6.393	14.932	-12.692	-3.161	-1.405	-.714	-.372	-.184
1.30	23.377	62.611	-30.703	-8.649	-3.951	-2.091	-1.177	-.675	-.381	-.204	-.099
1.40	-4.602	-3.857	-2.995	-2.172	-1.493	-.986	-.627	-.383	-.221	-.116	-.052
1.50	-1.888	-1.682	-1.413	-1.113	-.824	-.574	-.378	-.233	-.132	-.066	-.026
1.60	-1.107	-.998	-.854	-.686	-.518	-.365	-.240	-.145	-.079	-.036	-.012
1.70	-.741	-.668	-.571	-.460	-.346	-.242	-.156	-.091	-.046	-.018	-.004
1.80	-.531	-.476	-.404	-.322	-.239	-.164	-.102	-.056	-.026	-.008	-.001
1.90	-.396	-.351	-.295	-.231	-.168	-.111	-.066	-.034	-.014	-.003	.000
2.00	-.304	-.266	-.219	-.168	-.118	-.075	-.042	-.019	-.006	-.001	.000
2.10	-.237	-.204	-.164	-.122	-.083	-.050	-.026	-.010	-.002	.000	.000
2.20	-.187	-.158	-.124	-.089	-.058	-.033	-.015	-.005	-.001	.000	.000
2.30	-.148	-.122	-.093	-.064	-.039	-.020	-.008	-.002	.000	.000	.000

续表

$\frac{ah_d}{\alpha z}$	4.000	3.800	3.600	3.400	3.200	3.000	2.800	2.600	2.400	2.200	2.000
2.40	-.118	-.094	-.069	-.045	-.026	-.012	-.004	-.001	.000	.000	.000
2.50	-.094	-.073	-.051	-.031	-.016	-.007	-.002	.000	.000	.000	.000
2.60	-.074	-.055	-.037	-.021	-.010	-.003	.000	.000	.000	.000	.000
2.70	-.058	-.041	-.026	-.014	-.005	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
2.80	-.045	-.031	-.018	-.008	-.003	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2.90	-.035	-.022	-.012	-.005	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.00	-.026	-.015	-.007	-.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.10	-.019	-.010	-.004	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.20	-.013	-.006	-.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.30	-.009	-.004	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.40	-.006	-.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.50	-.003	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.60	-.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.70	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.80	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3.90	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4.00	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

$$z_{M_{\max}} = \frac{\alpha z}{\alpha} \quad (1-16)$$

根据 αz 查表 1-4 可得 C_{HM} ，最大弯矩值可由式 (1-14) 求得

4. 开挖面处的水平位移与转角

如图 1-1 所示，在开挖面处荷载 H_0 及 M_0 作用下，开挖面处的桩顶将产生相应的水平位移 Δ 及转角 θ ，其值为：

$$\Delta = \delta_{HH}H_0 + \delta_{HM}M_0 \quad (1-17)$$

$$\theta = \delta_{MH}H_0 + \delta_{MM}M_0 \quad (1-18)$$

式中柔度系数 δ_{HH} 、 δ_{HM} 、 δ_{MH} 及 δ_{MM} 由下式计算：

$$\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_{HH} \quad (1-19)$$

$$\delta_{HM} = \delta_{MH} = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_{MH} \quad (1-20)$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} C_{MM} \quad (1-21)$$

如果不考虑桩底土抗力对水平力的作用，系数 A_{HH} 、 B_{MH} 及 C_{MM} 可由表 1-5 根据不同的 ah_d 求得。

A_{HH} 、 B_{MH} 、 C_{MM} 系数表

表 1-5

ah_d	A_{HH}	B_{MH}	C_{MM}	ah_d	A_{HH}	B_{MH}	C_{MM}
.10	1800.000	24000.000	360000.000	.70	36.745	70.023	150.278
.20	450.000	3000.004	22500.090	.80	28.140	46.943	88.279
.30	200.001	888.898	4444.588	.90	22.244	33.008	55.307
.40	112.502	375.017	1406.444	1.00	18.030	24.106	36.486
.50	72.004	192.026	576.243	1.10	14.916	18.160	25.123
.60	50.007	111.149	278.069	1.20	12.552	14.041	17.944

续表

ah_d	A_{HH}	B_{MH}	C_{MM}	ah_d	A_{HH}	B_{MH}	C_{MM}
1.30	10.717	11.103	13.235	3.30	2.563	1.668	1.770
1.40	9.266	8.954	10.050	3.40	2.529	1.652	1.762
1.50	8.101	7.349	7.838	3.50	2.502	1.641	1.757
1.60	7.154	6.129	6.268	3.60	2.481	1.633	1.754
1.70	6.375	5.189	5.133	3.70	2.466	1.627	1.752
1.80	5.730	4.456	4.299	3.80	2.454	1.624	1.751
1.90	5.190	3.878	3.679	3.90	2.446	1.622	1.751
2.00	4.737	3.418	3.213	4.00	2.441	1.621	1.751
2.10	4.355	3.051	2.860	4.10	2.437	1.621	1.751
2.20	4.032	2.756	2.591	4.20	2.434	1.621	1.751
2.30	3.758	2.518	2.385	4.30	2.433	1.621	1.751
2.40	3.526	2.327	2.227	4.40	2.432	1.621	1.750
2.50	3.329	2.172	2.106	4.50	2.432	1.621	1.750
2.60	3.163	2.048	2.013	4.60	2.432	1.622	1.750
2.70	3.023	1.949	1.942	4.70	2.432	1.622	1.750
2.80	2.905	1.869	1.889	4.80	2.432	1.622	1.749
2.90	2.808	1.807	1.848	4.90	2.432	1.622	1.749
3.00	2.727	1.758	1.818	5.00	2.431	1.621	1.749
3.10	2.660	1.719	1.797	5.10	2.431	1.621	1.748
3.20	2.606	1.690	1.781				

三、悬臂式支护结构计算

如图 1-2 所示的悬臂式支护结构，在基坑外侧作用有任意荷载（忽略基坑底面以下荷载），此荷载一般为按主动土压力计算的荷载。作用于基坑表面的荷载合力按下列公式确定：

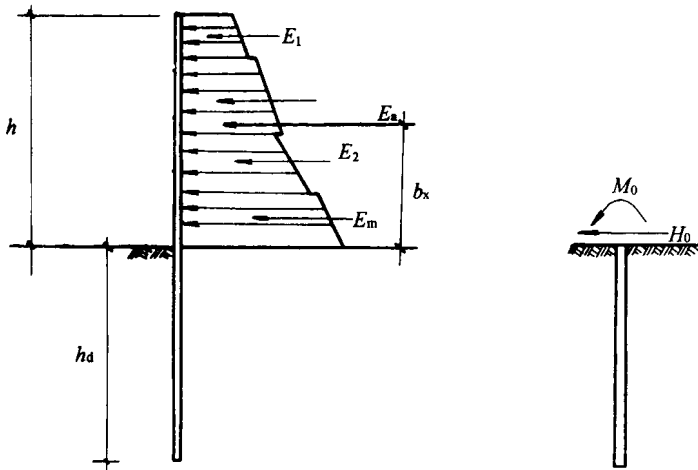


图 1-2

$$H_0 = E_a \quad (1-22)$$

$$M_0 = E_a \cdot b_x \quad (1-23)$$

式中 E_a ——主动土压力合力；

b_x ——主动土压力合力点位置至基坑面的距离。

将式 (1-17) 及 (1-18) 代入式 (1-6) ~ 式 (1-16) 可分别求出最大剪力、弯矩作用位置及最大剪力、弯矩。

四、多层支点支护结构计算

如图 1-3 所示为多层支点支护结构，作用于基坑开挖面以上支护结构上有分层主动土压力总力 E_k 及支点力 T_j ，在基坑开挖面处的等效水平力 H_0 及弯矩 M_0 为：

$$H_0 = \sum_{k=1}^m E_k - \sum_{j=1}^n T_j \quad (1-24)$$

$$M_0 = \sum_{k=1}^m E_k \cdot h_k - \sum_{j=1}^n T_j h_j \quad (1-25)$$

在 H_0 及 M_0 作用下，基坑面处桩的水平位移 Δ 和转角 θ 分别为：

$$\Delta = \delta_{HH} \cdot H_0 + \delta_{HM} \cdot M_0 \quad (1-26)$$

$$\theta = \delta_{MH} H_0 + \delta_{MM} M_0 \quad (1-27)$$

基坑面以上支点位置 i 的变形 Δ_i 为：

$$\Delta_i = \Delta + h_i \theta + \sum_{j=1}^m \delta_{ik} E_k - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} T_j \quad (1-28)$$

i 点处支点刚度系数为 k_i ，则 i 点的变形 Δ_i 也可表示为：

$$\Delta_i = T_i / k_i \quad (1-29)$$

令式 (1-28) 与 (1-29) 相等可得：

$$\Delta + h_i \theta + \sum_{j=1}^m \delta_{ik} E_k - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} T_j - T_i / k_i = 0 \quad (1-30)$$

将式 (1-24)、(1-25) 代入式 (1-26)、(1-27) 得：

$$\Delta = \delta_{HH} \left(\sum_{k=1}^m E_k - \sum_{j=1}^n T_j \right) + \delta_{HM} \left(\sum_{k=1}^m E_k h_k - \sum_{j=1}^n T_j h_j \right) \quad (1-31)$$

$$h_i \theta = h_i \delta_{MH} \left(\sum_{k=1}^m E_k - \sum_{j=1}^n T_j \right) + h_i \delta_{MM} \left(\sum_{k=1}^m E_k h_k - \sum_{j=1}^n T_j h_j \right) \quad (1-32)$$

令
$$H_a = \sum_{k=1}^m E_k \quad (1-33)$$

$$M_a = \sum_{k=1}^m E_k \cdot h_k \quad (1-34)$$

则：

$$\Delta + h_i \theta = (\delta_{HH} + h_i \delta_{MH}) H_a + (\delta_{HM} + h_i \delta_{MM}) M_a - \sum_{j=1}^n [\delta_{HH} + (h_i + h_j) \delta_{MH} + h_i h_j \delta_{MM}] T_j \quad (1-35)$$

将式 (35) 代入式 (31) 整理得：

$$\sum_{j=1}^n [\delta_{HH} + (h_i + h_j) \delta_{MH} + h_i h_j \delta_{MM} + \delta_{ij}] T_j + \frac{T_i}{k_i} = (\delta_{HH} + h_i \delta_{MH}) H_a + (\delta_{HM} + h_i \delta_{MM}) M_a$$

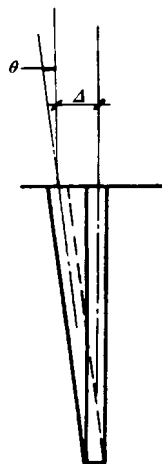


图 1-3 多层支点支护结构

$$+ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} E_k \quad (1-36)$$

$$\text{令} \quad a_{ij} = \begin{cases} \delta_{HH} + (h_i + h_j) \delta_{MH} + h_i h_j \delta_{MM} + \delta_{ij} & i \neq j \\ \delta_{HH} + (h_i + h_j) \delta_{MH} + h_i h_j \delta_{MM} + \delta_{ij} + \frac{1}{k_i} & i = j \end{cases} \quad (1-37)$$

$$b_{ip} = (\delta_{HH} + h_i \delta_{MH}) H_a + (\delta_{HM} + h_i \delta_{MM}) M_a + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} E_k \quad (1-38)$$

则式 (1-35) 可写成矩阵形式为:

$$[A] \{T\} = \{B\} \quad (1-39)$$

对于如图 1-4 (a) 所示的三角形荷载:

$$H_a = \frac{1}{2} h e_t \quad (1-40)$$

$$M_a = \frac{h}{3} H_a \quad (1-41)$$

将式 (1-40)、(1-41) 代入式 (1-38) 整理得:

$$\begin{aligned} b_{it} &= \left[\delta_{HH} + \left(h_i + \frac{h}{3} \right) \delta_{MH} + h_i \frac{h}{3} \delta_{MM} \right] \frac{h}{2} e_t + \frac{D_i h^4 e_t}{1000 \times EI} \\ &= \left\{ \left[\frac{A_{HH}}{\alpha^3} + \frac{3h_i + h}{3\alpha^2} B_{MH} + \frac{h_i h}{3\alpha} C_{MM} \right] \frac{h}{2} + \frac{D_i h^4}{1000} \right\} e_t / EI \end{aligned} \quad (1-42)$$

对于如图 1-4 (b) 所示的矩形分布荷载

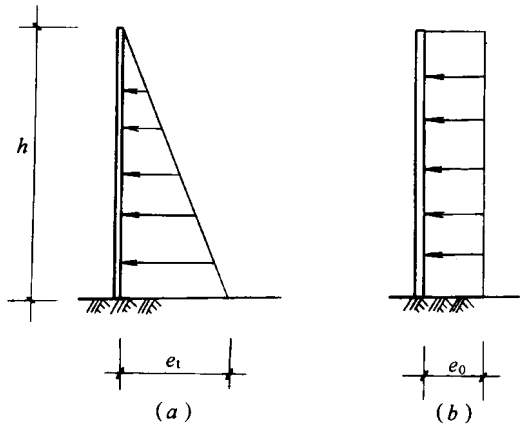


图 1-4 三角形及矩形荷载

$$H_a = h e_0 \quad (1-43)$$


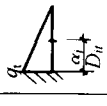
$$M_a = \frac{h}{2} H_a \quad (1-44)$$

将式 (1-43)、(1-44) 代入式 (1-38) 整理得:

$$\begin{aligned} b_{i0} &= \left[\delta_{HH} + \left(h_i + \frac{h}{2} \right) \delta_{MH} + h_i \frac{h}{2} \delta_{MM} \right] \cdot h \cdot e_0 + \frac{D_{ic} h^4}{1000 EI} e_0 \\ &= \left\{ \left[\frac{A_{HH}}{\alpha^3} + \frac{2h_i + h}{2\alpha^2} B_{MH} + \frac{h_i h}{2\alpha} C_{MM} \right] \cdot h + \frac{D_{ic} h^4}{1000} \right\} \cdot e_0 / EI \end{aligned} \quad (1-45)$$

柔性变形计算系数 D_{ij} 、 D_{ih} 、 D_{ic} 表

表 1-6

α_i	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	D_{ih}	D_{ic}										
0.05	0.04	0.10	0.17	0.23	0.29	0.35	0.42	0.48	0.54	0.60	0.67	0.73	0.79	0.85	0.92	0.98	1.04	1.10	1.17	1.23	0.20	0.60										
0.10	0.10	0.33	0.58	0.83	1.08	1.33	1.58	1.83	2.08	2.33	2.58	2.83	3.08	3.33	3.58	3.83	4.08	4.33	4.58	4.83	0.75	2.34										
0.15	0.17	0.58	1.13	1.69	2.25	2.81	3.38	3.94	4.50	5.06	5.63	6.19	6.75	7.31	7.88	8.44	9.00	9.56	10.13	10.69	1.81	5.08										
0.20	0.23	0.83	1.69	2.67	3.67	4.67	5.67	6.67	7.67	8.67	9.67	10.67	11.67	12.67	13.67	14.67	15.67	16.67	17.67	18.67	2.73	8.73										
0.25	0.29	1.08	2.25	3.67	5.21	6.77	8.33	9.90	11.46	13.02	14.58	16.15	17.71	19.27	20.83	22.40	23.96	25.52	27.08	28.65	4.06	13.18										
0.30	0.35	1.33	2.81	4.67	6.77	9.00	11.25	13.50	15.75	18.00	20.25	22.50	24.75	27.00	29.25	31.50	33.75	36.00	38.25	40.50	5.57	18.34										
0.35	0.42	1.58	3.38	5.67	8.33	11.25	14.29	17.35	20.42	23.48	26.54	29.60	32.67	35.73	38.79	41.85	44.92	47.98	51.04	54.10	7.22	24.10										
0.40	0.48	1.83	3.94	6.67	9.90	13.50	17.35	21.33	25.33	29.33	33.33	37.33	41.33	45.33	49.33	53.33	57.33	61.33	65.33	69.33	8.98	30.40										
0.45	0.54	2.08	4.50	7.67	11.46	15.75	20.42	25.33	30.37	35.44	40.50	45.56	50.62	55.69	60.75	65.81	70.88	75.94	81.00	86.06	10.84	37.15										
0.50	0.60	2.33	5.06	8.67	13.02	18.00	23.48	29.33	35.44	41.67	47.92	54.17	60.42	66.67	72.92	79.17	85.42	91.67	97.92	104.17	12.76	44.27										
0.55	0.67	2.58	5.63	9.67	14.58	20.25	26.54	33.33	40.50	47.92	55.46	63.02	70.58	78.15	85.71	93.27	100.83	108.40	115.96	123.52	14.74	51.71										
0.60	0.73	2.83	6.19	10.67	16.15	22.50	29.60	37.33	45.56	54.17	63.02	72.00	81.00	90.00	99.00	108.00	117.00	126.00	135.00	144.00	16.75	59.40										
0.65	0.79	3.08	6.75	11.67	17.71	24.75	32.67	41.33	50.62	60.42	70.58	81.00	91.54	102.10	112.67	123.23	133.79	144.35	154.92	165.48	18.79	67.29										
0.70	0.85	3.33	7.31	12.67	19.27	27.00	35.73	45.33	55.69	66.67	78.15	90.00	102.10	114.33	126.58	138.83	151.08	163.33	175.58	187.83	20.85	75.34										
0.75	0.92	3.58	7.88	13.67	20.83	29.25	38.79	49.33	60.75	72.92	85.71	99.00	112.67	126.58	140.63	154.69	168.75	182.81	196.88	210.94	22.92	83.50										
0.80	0.98	3.83	8.44	14.67	22.40	31.50	41.85	53.33	65.81	79.17	93.27	108.00	123.23	138.83	154.69	170.67	186.67	202.67	218.67	234.67	25.00	91.75										
0.85	1.04	4.08	9.00	15.67	23.96	33.75	44.92	57.33	70.88	85.42	100.83	117.00	133.79	151.08	168.75	186.67	204.71	222.77	240.83	258.90	27.08	100.02										
0.90	1.10	4.33	9.56	16.67	25.52	36.00	47.98	61.33	75.94	91.67	108.40	126.00	144.35	163.33	182.81	202.81	222.77	243.00	263.25	283.50	29.17	108.34										
0.95	1.17	4.58	10.13	17.67	27.08	38.25	51.04	65.33	81.00	97.92	115.96	135.00	154.92	175.58	196.88	218.67	240.83	263.25	285.79	308.35	31.25	116.67										
1.00	1.23	4.83	10.69	18.67	28.65	40.50	54.10	69.33	86.06	104.17	123.52	144.00	165.48	187.83	210.94	234.67	258.90	283.50	308.35	333.33	33.33	125.00										
	$\Delta_{ij} = D_{ij} h^3 P_j / (10000EI)$										$\alpha_i = x_i/h$										$\alpha_j = x_j/h$										$\Delta = D_{ih} h^4 \cdot q_i / (10000EI)$	
																							$\Delta = D_{ic} h^4 q_c / (10000EI)$									

注: h 为悬臂结构长度。

式 (1-42) 及 (1-45) 中的 D_{it} 及 D_{ic} 由表 1-6 查得。

式 (1-37) 表示的系数 a_{ij} 可以写成:

$$a_{ij} = \left[\frac{A_{MH}}{\alpha^3} + (h_i + h_j) \frac{B_{MH}}{\alpha^2} + h_i h_j \frac{C_{MM}}{\alpha} + \frac{D_{ij} h^3}{1000} \right] / EI + a'_{ij} \quad (1-46)$$

$$a'_{ij} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1/k_i & i = j \end{cases} \quad (1-47)$$

式 (1-46) 中的 D_{ij} 可查表 1-6 求得。

五、算 例

某工程开挖深度 20m, 嵌固深度 5m, 地面超载及地质条件如图 1-5 所示, 试求各开挖阶段的桩身内力及支点(锚杆)力。

设计桩身直径 $d=800\text{mm}$, 桩的中心距 $s_a=1000\text{mm}$ 。

【解】 1. 计算各参数

主动土压力系数: $K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \frac{20^\circ}{2}) = 0.49$

桩截面惯性矩: $I = \frac{\pi d^4}{64} = 0.02 \text{ (m}^4\text{)}$

桩截面刚度: $EI = 25 \times 10^6 \times 0.02 = 500000 \text{ (kN} \cdot \text{m}^2\text{)}$

2. 悬臂式开挖计算

悬臂式开挖状态如图 1-6 所示, 土压力强度为:

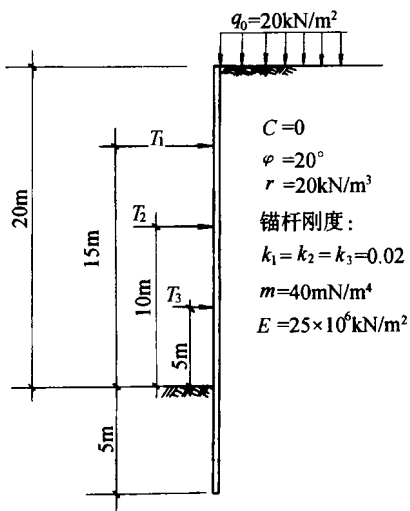


图 1-5

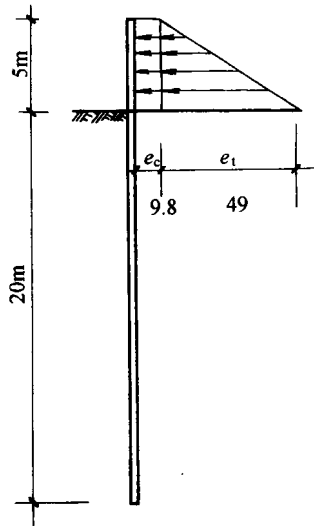


图 1-6

$$e_0 = q_0 K_a = 20 \times 0.49 = 9.8$$

$$\begin{aligned} e_t &= \gamma (h - h_1) K_a \\ &= 20 \times (20 - 15) \times 0.49 \\ &= 49 \end{aligned}$$

根据式 (1-4) 计算得水平变形系数 α 为: