



高层建筑

专项施工计算与实例

薛 洪 薛惠敏 胡定逸 编著



中国建筑工业出版社

高层建筑专项施工计算与实例

薛 洪 薛惠敏 胡定逸 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑专项施工计算与实例/薛洪, 薛惠敏, 胡定逸编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-10966-1

I. 高… II. ①薛…②薛…③胡… III. 高层建筑-工程施工-工程计算
IV. TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 073288 号

本书是按照国家相关标准规定的高层建筑施工专项计算内容编著的, 书中介绍了高层建筑施工中最主要的方案设计计算问题, 填补了当前施工工程专项计算问题的空白。本书主要内容包括高层建筑基坑支护设计、塔式起重机基础设计和塔式起重机附着设计、施工升降机基础和附着设计、高层建筑钢管扣件脚手架的设计、钢管扣件高大模板支架施工设计、大体积混凝土施工、花岗石饰面设计与施工、高层建筑施工现场电气设计等八个专项的设计计算, 并附有大量的计算实例。

本书的专项计算内容详实、新颖, 工程例题分析方法科学, 可供建筑施工、结构设计、监理工程师阅读使用, 也可供大专院校土建专业师生参考。

* * *

责任编辑: 张伯熙 曾 威

责任设计: 赵明霞

责任校对: 刘 钰 关 健

高层建筑专项施工计算与实例

薛 洪 薛惠敏 胡定逸 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 611 千字

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-10966-1

(18211)

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

本书是按国家相关标准规定的高层建筑施工专项计算内容编写的。是高层建筑施工方案计算的关键问题,填补了工程计算问题的空白。本书主要内容包括高层建筑施工所设计的基坑支护设计、塔式起重机基础设计和塔式起重机附着设计、施工升降机基础和附着设计、高层建筑钢管扣件脚手架的设计、钢管扣件高大模板支架施工设计、大体积混凝土施工、花岗石饰面设计与施工、高层建筑施工现场电气设计等八个专项设计计算问题。各章内容新颖,除阐述正确的计算方法外,还对各项计算方法有所创新。

第1章基坑支护设计:其一,对土钉墙整体稳定验算,对规程《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)的式(6.2.1)
$$\sum_{j=1}^m T_{nj} [\cos(\alpha_j + \theta_j) + \frac{1}{2} \sin(\alpha_j + \theta_j) \tan\varphi_{ik}]$$
 中的 $(\alpha_j + \theta_j)$ 改为 ϵ_j , ϵ_j 为土钉在圆弧滑裂面处切线的夹角,当土钉穿过土条 j 中点时, $\epsilon_j = (\alpha_j + \theta_j)$,即 $\epsilon_j = (\alpha_j + \theta_j)$ 不是通式,不能直接应用,该改写在工程实例中作出了证明;其二,对排桩支护设计中导出七种情况的差分式,设计者只要依据不同情况套用就很容易列出该问题的差分方程,解差分方程后,既可得到排桩各点的位移,又可解得支护结构的内力,便于设计和施工。

第2章塔式起重机基础设计和塔式起重机附着设计:对风荷载计算,本书对三本规范《塔式起重机设计规范》(GB/T 13752—1992)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《高耸结构设计规范》(GB 50135—2006)等进行了沟通,从而对风荷载计算的规范规定得到正确的理解和应用。另外,指出根据规范(GB 13752—92)规定的基础稳定计算求得塔式起重机基础面积与《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)规定的基础底板配筋计算公式不相容,即基础的偏心距只能是 $e \leq \frac{l}{6}$,而不能是 $e > \frac{l}{6}$;对附着计算应用有限元法求得各附着的内力,从而正确设计附着的埋件。

第3章施工升降机基础与附着设计:本章是新增内容,过去施工企业均沿用机械设计单位提供的基础形式直接使用,没有经过按实际情况进行基础和附着设计,由此而发生事故。本章按机械设计提供的资料,按规范《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)的规定进行正确的设计,并对附着按计算得出正确的埋件设计。

第4章高层建筑钢管扣件脚手架的设计:本章对悬挑承载架提出多种形式,即悬挑梁、钢管扣件三角形悬挑架、钢丝绳斜拉悬挑架、斜撑式悬挑承重架。对后两种形式正确地使用弹性支撑来分析内力;对卸料平台,采用钢丝绳双斜拉卸料平台按两个弹性支承的计算简图,从而正确地分析了该平台梁内力,消除平台梁承载能力不足的隐患。

第5章钢管扣件高大模板支架施工设计:本章内容新颖,主要有以下几方面内容:

- (1) 平板模板计算可以查表;
- (2) 模板荷载传递计算,从而可以核算支撑层的承载能力是否满足要求;

(3) 大截面梁、柱模板设计方法；

(4) 模板高支架设计方法至今尚无章可循。利用钢结构纵向框架设置的剪刀撑和水平支撑，使立柱按无侧移失稳模式失稳，从而使立柱的计算简图变为柱顶作用偏心荷载的多跨连续梁，使模板高支架得到了解。经多次实践和荷载检验，高支架受荷后稳定、可靠承载；

(5) 转换梁、板模板支架设计方法。利用钢筋混凝土叠合梁设计方法，将大荷载的转换层梁分两层或三层浇筑。其一，将第一次浇筑梁承担自重并作为传递荷载的梁，使第二次浇筑叠合梁的荷载，通过第一次浇筑梁传递给模板支撑，从而减少模板支架的受荷；其二，是将第一次浇筑梁在混凝土强度达到设计值后，拆去模板支撑，然后承载第二次浇筑叠合梁的荷载，从而减少模板支架和荷载支撑层。

第6章大体积混凝土的施工设计：首先，本章提出大体积混凝土在蓄热法养护下，高水化热温升的同时是对混凝土的蓄热养护，当降温时混凝土强度已很高，因此，混凝土弹性模量应按

$$E_{(t)} = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}^{(t)}}}$$
计算式中 $f_{cu,k}^{(t)}$ 龄期为 t 天时立方抗压强度标准值；其次，提

出自约束和外约束条件下按应力和变形两个条件进行温差控制；再次，对大体积超长基础的无缝设计提出两项措施：(1) 控制综合温差；(2) 改善外约束条件，使外约束减小到能使超长基础基本能自由伸缩的境地。这种方法在无锡凯宾斯基大酒店的 3.1~6.6m 厚、长 77m 的超厚超长基础无缝的施工中得到实践证明。

第7章花岗石饰面设计与施工：本章对湿法花岗石饰面的受力作出了分析，对施工设计作详细介绍；对花岗石幕墙，根据《金属与石材幕墙工程技术规范》(JGJ 133—2001) 规定的结构设计作了详细地阐述，尤其对梁底饰面的构造、防雷设计作出明确的论述。

第8章高层建筑施工现场临时用电设计：高层建筑施工现场电气设计要考虑“三个特点”。首先，要考虑到桩基工程用电负荷大的特点；其次，考虑到装饰工程机械大面积施工时用电的使用系数高的特点；第三，要考虑到电源引至负荷中心后再分配，需要引至楼层的特点。本章给出了详细的范例。

本书每个章节均给出了算例，可供施工计算参考。

在编写过程中，作者参阅了国内专家学者出版的大量文献，丰富和充实了本书的内容，谨向被参阅文献的作者表示衷心的感谢。限于作者水平，书中可能还存在不少错误，敬请读者批评指正。

本书由高级工程师薛洪主编，第2章、第4章、第7章由薛洪编写；第1章、第3章、第5章、第6章由高级结构工程师薛惠敏编写，薛洪承担了例题计算；第8章由无锡市建苑工程监理有限责任公司副总经理胡定逸编写；全书由薛洪统稿。李敏工程师、张慧、孙含涛、陈晓蓉（广达印务）、吴晓丹承担了本书电子版的制作，谨致谢意。

尊敬的读者：

感谢您选购我社图书！建工版图书按图书销售分类在卖场上架，共设22个一级分类及43个二级分类，根据图书销售分类选购建筑类图书会节省您的大量时间。现将建工版图书销售分类及与我社联系方式介绍给您，欢迎随时与我们联系。

★建工版图书销售分类表（详见下表）。

★欢迎登陆中国建筑工业出版社网站www.cabp.com.cn，本网站为您提供建工版图书信息查询，网上留言、购书服务，并邀请您加入网上读者俱乐部。

★中国建筑工业出版社总编室 电 话：010—58934845
传 真：010—68321361

★中国建筑工业出版社发行部 电 话：010—58933865
传 真：010—68325420
E-mail: hbw@cabp.com.cn

目 录

第 1 章 基坑支护设计	1
1.1 基坑支护设计依据	1
1.2 基坑支护的设计原则	1
1.3 基坑支护设计内容	3
1.4 基坑支护设计参数	4
1.5 支护结构选型	6
1.6 水平荷载标准值	6
1.7 水平抗力标准值.....	15
1.8 土压力调整.....	16
1.9 土钉墙.....	18
1.10 土层锚杆	32
1.11 排桩（连续墙）支护	38
1.12 止水帷幕	82
第 2 章 塔式起重机基础设计和塔式起重机附着设计	89
2.1 塔式起重机基础设计.....	89
2.2 塔式起重机基础的布置和处理方法	121
2.3 自升式塔式起重机的附着锚固设计	124
第 3 章 施工升降机基础与附着设计	157
3.1 施工升降机的基础设计	157
3.2 施工升降机基础预埋件设计	162
3.3 施工升降机导架的附墙连接	163
3.4 附墙架与建筑物的连接	166
第 4 章 高层建筑钢管扣件脚手架的设计	168
4.1 钢管扣件脚手架的组成	168
4.2 扣件式钢管脚手架的材料	168
4.3 扣件式钢管脚手架的设计荷载	170
4.4 扣件式钢管脚手架的杆件计算	175
4.5 钢丝绳的选用	184
4.6 分段卸荷式脚手架	189

4.7	卸料平台——弹性支座连续梁的计算	224
第5章	钢管扣件高大模板支架施工设计	249
5.1	墙板模板	249
5.2	大截面柱模板	253
5.3	楼板模板钢管扣件支架计算	256
5.4	“三拆一” 楼板支模方案的荷载传递计算	259
5.5	超高模板支架的计算	263
5.6	大梁模板	270
5.7	转换层梁、厚板的模板设计	275
第6章	大体积混凝土的施工设计	286
6.1	防裂措施	286
6.2	混凝土温度计算	288
6.3	混凝土的物理力学性质	293
6.4	温度控制原则	295
6.5	保温法控制温差	296
6.6	自约束温差控制	297
6.7	大体积混凝土基础在外约束条件下的温差控制	298
6.8	大体积混凝土的温度应力控制	299
6.9	厚、长混凝土的无缝设计	304
第7章	花岗石饰面设计与施工	306
7.1	材料	306
7.2	花岗石饰面板做法	313
7.3	湿作业法花岗石饰面板的设计与施工	314
7.4	干挂法花岗石饰面板的设计	324
7.5	干挂花岗石石材饰面的构造	348
7.6	干挂花岗石石材饰面的施工与验收	354
第8章	高层建筑施工现场临时用电设计	360
8.1	概述	360
8.2	高层建筑施工现场临时用电设计的主要内容	360
8.3	高层建筑临时用电负荷计算及配电系统的设计	361

第1章 基坑支护设计

高层建筑基础埋深需要建地下室，大型地下市政工程的施工以及地下空间的开发等，必然会有基坑产生。基坑除可采用大开挖方案施工之外，均需对基坑壁进行支护。基坑支护，尤其对基坑深度等于大于5m的基坑支护，国家明文规定，其支护方案除要经设计计算外，还要经5名以上专家进行论证。因此，对基坑支护的正确、科学的设计计算是基坑支护工程首要解决的问题。

1.1 基坑支护设计依据

基坑支护设计必须遵守国家颁发的规范、规程和标准，主要有：

1. 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)
2. 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)
3. 《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS22: 2005)
4. 《基坑土钉支护技术规程》(CECS96: 97)
5. 《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)
6. 《建筑基坑工程技术规范》(YB9258—97)
7. 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)
8. 《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72—2004)
9. 《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)
10. 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)
11. 《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》(JGJ 6—99)
12. 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)

基坑工程随机性大，事故发生的概率高，因此，设计人员必须仔细研究地质勘察报告，慎审地质条件和设计参数，科学正确地依据规范、规程进行精心设计，确保基坑支护工程的安全。

1.2 基坑支护的设计原则

1.2.1 基坑支护结构设计原则

基坑支护结构设计原则包括以下三方面：

1. 安全可靠：基坑支护结构必须满足承载力、稳定性和变形要求，并确保周围环境的安全。
2. 经济合理：基坑支护结构在安全可靠的前提下，支护方案应综合确定，具有明显

的经济效果。

3. 方便施工：在安全可靠、经济合理的原则下，能方便施工，确保施工工期。

1.2.2 基坑支护结构的设计方法

《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99) (以下简称《基坑规范》) 规定，基坑支护结构应采用以分项系数表示的极限状态设计表达式进行设计。

基坑支护结构极限状态可分为两类：

(1) 承载能力极限状态：对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、过大变形导致支护结构或基坑周边环境破坏。

承载能力极限状态设计表达式为：

$$\gamma_0 \gamma_Q S_k \leq \frac{R_k}{\gamma_s} \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——基坑侧壁安全等级重要性系数；

γ_Q ——综合荷载分项系数 $\gamma_Q=1.25$ ；

S_k ——承载力极限状态计算时，荷载效应的标准组合值；

R_k ——抗力标准值；

γ_s ——抗力分项系数。

(2) 正常使用极限状态：对应于支护结构的变形已妨碍地下结构施工或影响基坑周边环境的正常使用功能。

正常使用极限状态设计表达式为：

$$S_k \leq C \quad (1-2)$$

式中 S_k ——正常使用极限状态荷载效应的标准组合值；

C ——正常使用要求所规定的变形值。

基坑侧壁安全等级重要性系数 γ_0 见表 1-1。

基坑侧壁安全等级重要性系数

表 1-1

安全等级	破坏后果	γ_0
一级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响很严重	1.10
二级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响一般	1.00
三级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响不严重	0.90

注：有特殊要求的建筑基坑侧壁安全等级可根据具体情况另行确定。

现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002) 规定的基坑等级为：

一级基坑：①重要工程或支护结构作主体结构的一部分；

②开挖深度大于 10m；

③与邻近建筑物、重要设施的距离在开挖深度以内的基坑；

④基坑范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需要严加保护的基坑。

只要符合上列情况之一，即为一级基坑。

二级基坑：除一级和三级外的基坑，属二级基坑。

三级基坑：基坑开挖深度小于7m，且周围环境无特别要求的基坑。

现行国家标准（GB 50202—2002）用强制性条文列出基坑变形的监控值，见表1-2。

基坑变形的监控值（cm）

表 1-2

基坑类别	围护结构墙顶位移		围护结构墙体最大位移监控值	地面最大沉降监控值
	监控值	相对值		
一级基坑	3	3‰	5	3
二级基坑	6	6.7‰	8	6
三级基坑	8	11‰	10	10

《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）（以下简称《基础规范》）对基坑支护设计的规定：

（1）计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时，荷载效应应按承载力极限状态下荷载效应的基本组合，但其分项系数均为1.0。其表达式为：

$$S = 1 \times S_{Gk} + 1 \times S_{Q1k} + 1 \times \psi_{2} S_{Q2k} + \dots + 1 \times \psi_{n} S_{Qnk} \quad (1-3)$$

式（1-3）在数值上即为荷载效应的标准组合。

（2）在计算结构承载能力极限状态时，对以永久荷载效应控制的基本组合，可采用简化规则，荷载效应基本组合的设计值 S 按式（1-4）确定：

$$S = 1.35 S_k \leq R \quad (1-4)$$

式中 S_k ——荷载效应的标准组合值；

1.35——综合荷载分项系数；

R ——结构抗力设计值，按相关设计规范的规定确定。

1.2.3 基坑开挖与支护稳定性验算

采用安全系数法，取值见表1-3。

1.2.4 基坑内外土体变形控制

因支护结构变形、岩土开挖及地下水条件引起的基坑内外土体变形应以下条件控制：

（1）不得影响地下结构尺寸、形状和正常施工；

（2）不得影响既有桩基的正常使用；

（3）对周边已有建（构）筑物引起的沉降不得超过 GB 50007—2002 规定的地基变形允许值；

（4）不得影响周边管线的正常使用。

基坑支护稳定性验算安全系数 K 表 1-3

计算内容	K
桩式、墙式悬臂支护结构抗整体倾覆稳定性	≥ 1.3
桩式、墙式锚撑支护结构抗整体倾覆稳定性	≥ 1.3
基坑底抗隆起稳定性	≥ 1.6
基坑底抗渗流稳定性	≥ 1.1
整体抗滑移稳定性	≥ 1.2

1.3 基坑支护设计内容

基坑支护设计，根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求，基坑支护应

按下列规定进行计算和验算。

1.3.1 基坑支护结构均应进行承载力极限状态的计算, 计算内容应包括:

- (1) 根据基坑支护形式及其受力特点进行土体稳定性计算;
- (2) 基坑支护结构的受压、受弯、受剪承载力计算;
- (3) 当有锚杆或支撑时, 应对其进行承载力计算和稳定性验算。

1.3.2 对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁, 尚应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

1.3.3 地下水控制计算和验算:

- (1) 抗渗透稳定性验算;
- (2) 基坑底突涌稳定性验算;
- (3) 根据支护结构设计要求进行地下水位控制计算。

基坑支护设计内容应包括对支护结构计算和验算、质量检测及施工监控的要求。

1.4 基坑支护设计参数

1.4.1 地下室侧墙计算、基坑边坡稳定性计算或锚杆设计所需的抗剪强度试验指标, 各主要土层应采取不少于6件(组)的不扰动土试样。按 n 组三轴试验的结果, 计算抗剪强度指标 c_k 、 φ_k 标准值:

$$\varphi_k = \psi_\varphi \varphi_m \quad (1-5)$$

$$c_k = \psi_c c_m \quad (1-6)$$

式中 φ_m 、 c_m ——内摩擦角、黏聚力试验平均值;

ψ_φ ——内摩擦角的统计修正系数, 按式(1-7)计算,

$$\psi_\varphi = 1 - \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta_\varphi \quad (1-7)$$

ψ_c ——黏聚力的统计修正系数, 按式(1-8)计算,

$$\psi_c = 1 - \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta_c \quad (1-8)$$

δ_φ 、 δ_c ——内摩擦、黏聚力的变异系数, 为各自的标准差与平均值之比;

n ——试件组数。

1.4.2 土的抗剪强度参数 c 、 φ 值, 《基坑规程》按三轴固结不排水试验算得 $c_{cu,k}$,

对于黏性土, 宜采用水土合算法, 黏性土渗透性弱, 渗透系数小, 宜采用三轴压缩试验总应力法(CU)试验。《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72—2004)(以下简称《高层勘察规程》)试算了三组软土地场, 同时完成了的直剪固快试验、三轴不固结不排水(UU)试验、三轴固结不排水(CU)试验, 其试算结果见表1-4。

从表1-4可见:

- (1) 固结不排水剪与直剪固快试验的强度参数算得的土压力相当接近;

(2) 被动土压力与主动土压力之比。三轴不固结不排水 (UU) 仅为 3.985, 而三轴固结不排水 (CU) 为 11.74, 直剪固快为 9.679;

(3) UU 计算得的主动土压力在深度浅时偏小, 在深度大时, 又偏大。

因此, CU 试验所得参数 c_{cu} 、 φ_{cu} 计算土压力是安全的、合适的。所以《基坑规程》和《高层勘察规程》对黏性土按总应力法土压力水土合算时, 均采用固结不排水 (CU) 得的参数 c_{cu} 、 φ_{cu} 。

三种参数计算得出的主、被动土压力 (kPa)

表 1-4

计算项目	试验方法	固结不排水	不固结不排水	直剪固快	①/③	①/②
		(CU 试验) ①	(UU 试验) ②	(CD 试验) ③		
主动土压力合力		816.225	1314.228	854.415	0.955	0.621
主动土压力绕坑底力矩		3795.53	5443.3	3831.685	0.991	0.676
被动土压力合力		9584.25	5238	8182.74	1.171	1.83
被动土压力绕桩底力矩		59958.48	32277.6	48394.26	1.239	1.858
被动土压力与主动土压力之比		11.74	3.985	9.679	—	—

1.4.3 对于砂类土, 渗透性强, 渗透系数大, 可以很快排水固结, 故这类土应采用水土分算法。土重度采用有效重度 γ' , 强度参数应采用有效强度参数 c' 、 φ' , 其试验方法应是有效应力法。《高层勘察规程》规定按三轴固结不排水测孔隙水压力 ($\bar{C}U$) 试验, 求得有效强度参数 c' 、 φ' 。实际工作中, 采用天然休止角试验和现场标准贯入度试验来估算砂土的有效内摩擦角 φ' :

$$\varphi' = \sqrt{20N} + 15^\circ \quad (1-9)$$

式中 N ——标准贯入度实测击数。

1.4.4 静止土压力计算, 应用有效强度参数 c' 、 φ' , 用三轴固结不排水测孔隙水压力 ($\bar{C}U$) 试验求算。1991年3月, 西南交大彭胤宗教授指出: 产生主动土压力和被动土压力均需一定的位移。在支护结构位移有严格控制时, 即位移控制值小于产生主被动土压力所需位移时, 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 第 9.1.11 条规定, 应采用静止土压力计算。

1.4.5 对于抗隆起验算, 当基坑底有软弱土层时, 应验算坑底土隆起稳定性, 还有整体稳定性验算。此时按总应力法, 三轴不固结不排水 (UU) 试验, 对饱和软黏土应在有效自重压力下固结后再剪。

1.4.6 当坑底以下存在承压含水层, 应验算承压水头冲破不透水层产生管涌的可能性, 此时应由勘察报告中提供含水层压力 P_w (kPa)。

1.4.7 需作抗渗流稳定验算时, 勘察报告中应提供地下水位标高、土的天然孔隙比 e 、土颗粒相对密度 d_s 。

1.4.8 整体稳定性验算, 应采用不固结不排水 (UU) 强度参数 c_{uu} 、 φ_{uu} 。

1.4.9 土钉墙和土锚杆均要锚固体置于稳定土体内。当土的液性指数 $I_L > 1$ 、 $w > w_L$ 、 $e \geq 1.5$ 或 $w > w_L$, 但 $1 \leq e \leq 1.5$ 的土层, 土钉墙和土锚杆, 尤其是土锚杆均要避开该类土层或加以措施后采用。

1.4.10 勘察报告中应提供地下水位, 渗透系数 k , 基床系数 k_v 、 k_M , 土体极限摩阻力标准值 q_{sk} , 土的常规物理试验指标, 土的抗剪强度指标 (c_{cu} 、 φ_{cu} 、 c_{uu} 、 φ_{uu} 、 c' 、 φ' 、 c_{CD} 、 φ_{CD}) 等。

1.5 支护结构选型

1.5.1 基坑支护结构体系应由挡土结构和降水止水结构组成。支护结构的选型, 可根据周边环境、基坑深度、工程地质与水文地质条件、施工作业设备和施工季节、地区工程经验等因素综合分析后确定, 常用的基坑支护结构类型按表 1-5 选用。

《基坑规程》规定的支护结构选型表

表 1-5

结构型式	适用条件
排桩或地下连续墙	(1) 适于基坑侧壁安全等级一、二、三级 (2) 悬臂式结构在软土地中不宜大于 5m (3) 当地下水位高于基坑底面时, 宜采用降水、排桩加载水帷幕或地下连续墙 (4) 基坑深度大于 5m 时, 可设内支撑、预应力锚杆
水泥土墙	(1) 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 (2) 水泥土桩施工范围内地基土承载力不宜大于 150kPa (3) 基坑深度不宜大于 6m
土钉墙	(1) 基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地 (2) 基坑深度不宜大于 12m (3) 当地下水位高于基坑底面时, 应采取降水或截水措施
逆作拱墙	(1) 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 (2) 淤泥和淤泥质土地不宜采用 (3) 拱墙轴线的矢跨比不宜大于 1/8 (4) 基坑深度不宜大于 12m (5) 地下水位高于基坑底面时, 应采取降水或截水措施
放坡	(1) 基坑侧壁安全等级宜为三级 (2) 施工场地应满足放坡条件 (3) 可独立或与上述其他结构结合使用 (4) 当地下水位高于坡脚时, 应采取降水措施

1.5.2 为确保支护结构的稳定性, 当坑底有软弱土层时, 可以加固坑内被动土区土体, 这也是支护结构的一部分。为了防止地下水向坑内渗透, 应在坑外设止水帷幕, 止水帷幕应穿过透水层, 进入不透水层或弱透水层 ($k \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$) 1~2m, 阻断地下水通过透水层向基坑内渗流。

常用的止水帷幕为深层搅拌、高压喷射注浆 (高压旋喷)、压密注浆等, 可根据地质条件和施工能力选定适当和有效的方法。

当坑外采取截水措施后, 基坑中的水可以采用基坑内降水方法排除, 便于挖土和浇筑基础混凝土。

1.6 水平荷载标准值

水平荷载是指作用在基坑支护结构上的侧压力, 由土压力、水压力、地面荷载引起的侧压力等。对于永久性支护结构还有地震引起的侧压力。

《基坑规程》和《基础规范》给出的土压力分布为：基坑开挖面以上呈三角形分布，基坑开挖面以下呈矩形分布，如图 1-1 所示。

1.6.1 水土分算法：

水土分算是考虑土粒的重力和孔隙水对土粒的浮力，分别计算土压力和水压力。

(1) 计算点位于地下水位以上时：

$$e_{ajk} = h_{wa} \gamma_i K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (1-10)$$

(2) 计算点位于地下水位以下时，土压力与水压力用有效应力表示时：

$$e_{ajk} = [h_{wa} \gamma_i + (Z_j - h_{wa}) \gamma'_j] K'_{ai} + (Z_j - h_{wa}) \gamma_w - 2c'_{ik} \sqrt{K'_{ai}} \quad (1-11)$$

式中 c'_{ik} 、 ϕ'_{ik} ——有效黏聚力、有效内摩擦角；

$$K'_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi'_{ik}}{2} \right); \quad (1-12)$$

γ_w ——水重度， $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ ；

$$\gamma'_j \text{——第 } j \text{ 层土有效重度，} \gamma'_j = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1 + e} \quad (1-13)$$

γ_{sat} ——土的饱和重度；

d_s ——土粒相对密度；

e ——土的孔隙比。

当有效应力强度指标无法获得时，亦可按式 (1-11a) 计算，即总应力法：

$$e_{ajk} = [h_{wa} \gamma_i + (z_j - h_{wa}) \gamma'_j] K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} + \gamma_w (z_j - h_{wa}) \quad (1-11a)$$

式中 c_{ik} 、 ϕ_{ik} ——三轴试验确定的第 i 层土固结不排水剪黏聚力、内摩擦角标准值；

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_{ik}}{2} \right) \quad (1-12a)$$

(3) 《基坑规程》对于碎石和砂土的水平荷载标准值为：

$$e_{ajk} = [\gamma_{mj} z_j - (z_j - h_{wa}) \gamma_w] K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} + (z_j - h_{wa}) \gamma_w \quad (1-11b)$$

式中 γ_{mj} ——深度 z_j 以上土的加权平均天然重度；

z_j ——计算点深度，当 $z_j > h$ 时，取 $z_j = h$ ，这就是图 1-1 中表示的，在开挖面以上取土压力分布为三角形，开挖面以下土压力分布为矩形。

(4) 考虑渗流时的水土分算法：

按静水压力计算时，在墙底部，基坑内外的静水压不能平衡，静水压的一部分转化为渗流力作用于骨架上，余下为孔隙水压力。

$$\text{渗流力: } P_1 = i \gamma_w, i = \frac{h_1}{h_1 + 2h_2}$$

$$\text{孔隙水压力: } P_2 = (z_j - h_{wa})(\gamma_w - i \gamma_w) = (z_j - h_{wa})(1 - i) \gamma_w$$

$$e_{ajk} = [h_{wa} \gamma_i + (z_j - h_{wa})(\gamma'_j + i \gamma_w)] K_{ai} + (z_j - h_{wa})(1 - i) \gamma_w - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (1-11c)$$

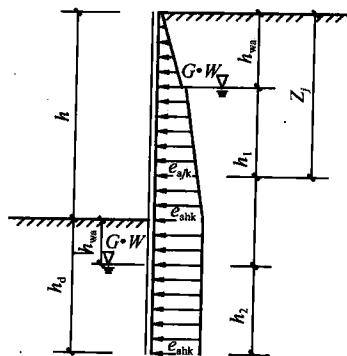


图 1-1 水平荷载标准值计算简图

1.6.2 水土合算法

$$e_{ajk} = z_j \gamma_{mj} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (1-14)$$

或
$$e_{ajk} = [h_{wa} \gamma_i + (z_j - h_{wa}) \gamma_{sat}] K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (1-14a)$$

1.6.3 地面均布荷载作用时，基坑支护结构上附加侧压力，如图 1-2 所示。

当基坑支护结构外侧地面作用均布荷载 q_0 (kN/m^2)，如图 1-2 所示，基坑支护结构上作用的侧压力为：

$$e_{aq_0k} = q_0 K_{ai} \quad (1-15)$$

1.6.4 当基坑支护结构外侧地面作用局部均布荷载 q_1 (kN/m^2)，如图 1-3 所示，基坑支护结构上作用的侧压力为：

$$e_{aq_1k} = \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} q_1 K_{ai} \quad (1-16)$$

分布在 AB 段，长度为 $b_0 + 2b_1$ 。

1.6.5 当基坑支护结构外侧地面作用荷载三角形分布时，如图 1-4 所示，基坑支护结构上作用的侧压力为：

A 点： $e_{aq_2k} = 0$

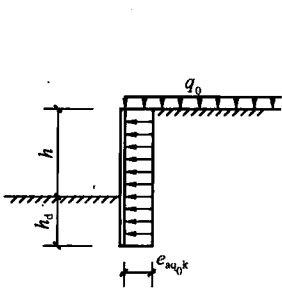


图 1-2 地面均布荷载 q_0 引起的侧压力

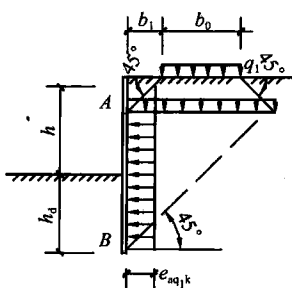


图 1-3 地面作用局部均布荷载引起侧压力

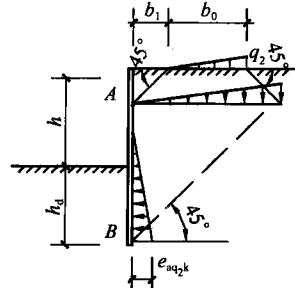


图 1-4 地面作用局部三角形分布荷载引起侧压力

B 点：
$$e_{aq_2k} = \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} q_2 K_{ai} \quad (1-17)$$

分布在 AB 段，长度为 $b_0 + 2b_1$ 。

1.6.6 当基坑支护结构外侧地面作用梯形荷载 ($q_2 > q_1$) 时，如图 1-5 所示。

A 点：
$$e_{aq_{1,2}k} = \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} q_1 K_{ai} \quad (1-18)$$

B 点：
$$e_{aq_{1,2}k} = \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} q_2 K_{ai} \quad (1-19)$$

分布在 AB 段，长度为 $b_0 + 2b_1$ 。

1.6.7 当地表下 d 处作用局部均布荷载 q_1 (图 1-6)，基坑支护结构上作用的侧压力为：

$$e_{aq_1k} = \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} q_1 K_{ai} \quad (1-20)$$

作用在 AB 段，其长度为 $b_0 + 2b_1$ 。

1.6.8 基坑支护结构顶面先挖去表层土，这样可减少支护结构的深度，其将未挖去土变为荷载 q_1 作用于顶面(图 1-7)，由此引起支护结构侧压力为：

A 点：

$$e_{aq_1,k} = 0$$

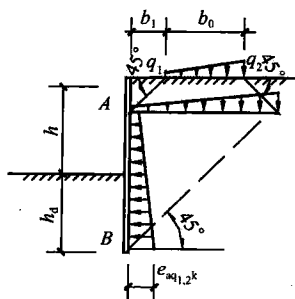


图 1-5 地面作用梯形均布荷载引起侧压力

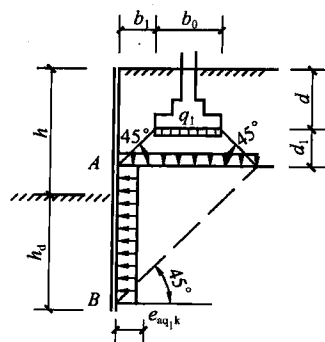


图 1-6 地表下 d 处作用 q_1 引起侧压力

B、C 点：

$$e_{aq_1,k} = q_1 K_{ai} \quad (1-21)$$

作用点为 A、B、C。

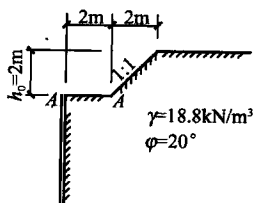
式 (1-15) ~ 式 (1-21) 中， K_{ai} 为主动土压力系数。 $K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right)$ 。

在图 1-3~图 1-7 中，压力扩散角均依《基坑规程》的规定，按 45° 角计算。按理，破裂线与水平夹角为 $\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ ，《基坑规程》按 45° 计算后，可避开土的内摩擦角 φ_i ，且偏于安全。

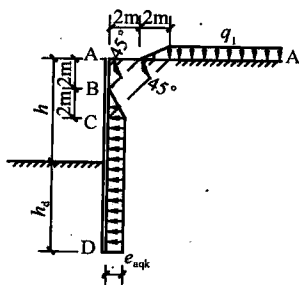
【例 1-1】 基坑支护为减少基坑深度，先挖去表土 2m，如图例 1-1-1 所示，求表土对基坑支护结构的土压力。

【解】

按图例 1-1-2 计算如下：



图例 1-1-1 表层放坡挖土



图例 1-1-2 表层放坡侧压力

挖土深度： $h_0 = 2\text{m}$ ；

挖土放坡：1 : 1；

将 A-A 面上的土作为荷载 q_1 ，然后作用在 A-A 平面上：