

土建施工 结构计算

主编◎杨帆 主审◎王伟

非外借



中国建材工业出版社

中国建筑工业出版社

主编：杨帆
副主编：王伟
2019年1月出版
ISBN 978-7-112-24671-0

土建施工结构计算

主编 杨帆
主审 王伟

本书共分四章，主要介绍房屋结构的主要类型、构造和主要构件的受力特点及计算方法。第一章介绍房屋结构的主要类型和构造；第二章介绍房屋结构的主要构件的受力特点及计算方法；第三章介绍房屋结构的主要构件的受力特点及计算方法；第四章介绍房屋结构的主要构件的受力特点及计算方法。

中国建筑工业出版社

地址：北京朝阳区东三环中路39号
邮编：100011
电话：(010) 59410000
网址：www.ces.com.cn
E-mail: ces@ces.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

土建施工结构计算 / 杨帆主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-5160-2467-6

I. ①土… II. ①杨… III. ①土木工程-工程计算
IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 273581 号

内 容 简 介

本书内容包括基坑支护工程、模板工程、脚手架工程和起重设备四大部分, 目的使读者能够迅速掌握施工过程中结构计算的问题。本书可作为高职高专土建专业学生的教材之用, 也可作为土建结构施工技术人员参考用书。

土建施工结构计算

主 编 杨 帆

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 450 千字

版 次: 2019 年 1 月第 1 版

印 次: 2019 年 1 月第 1 次

定 价: 56.00 元

本社网址: www.jcbs.com, 微信公众号: zgjcgycbs

请选用正版图书, 采购、销售盗版图书属违法行为

版权专有, 盗版必究。本社法律顾问: 北京天驰君泰律师事务所, 张杰律师

举报信箱: zhangjie@tiantailaw.com 举报电话: (010) 68343948

本书如有印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换, 联系电话: (010) 88386906

前 言

本书根据国家现行的施工安全技术规范和相应的职业资格考辅导教材编写而成，旨在培养实用型人才，提高土建施工中结构计算人员的能力，达到和满足施工单位的要求。

本书在内容上分为基坑支护工程、模板工程、脚手架工程和起重设备四个部分。每部分后面附有习题和相应的施工方案，供土建施工人员参考。

本书在内容上偏重于土建施工结构的计算，主要涉及基坑的选型、设计和构造措施以及相应的计算；不同构件的模板计算；扣件式钢管脚手架、碗扣式钢管脚手架、门式钢管脚手架的设计、构造以及相应的计算；塔式起重机基础的设计计算。这些内容涉及钢筋混凝土、钢结构的相关知识和力学的部分内容。书中收录了一些施工中真实的失败案例，并给予总结和分析，希望引起业内重视，以避免此类事件的再次发生。

在本书编写的过程中，感谢黑龙江省建工集团为本书提供的图片资料和例题；感谢黑龙江建筑职业技术学院学生赵观芷、李冬梅进行了部分课件的制作；感谢孟繁盛总工提供的部分施工方案。特别感谢担任本书主审的哈尔滨工业大学土木工程学院王伟老师。

由于编者水平有限，书中错误及疏漏在所难免，恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

2018年10月

目 录

1	基坑支护工程	1
1.1	绪论	1
1.1.1	概述	2
1.1.2	影响基坑支护结构选型和设计施工的主要因素	3
1.1.3	基坑支护工程在建筑工程中的重要性	4
1.2	结构设计理论	5
1.2.1	基坑支护结构的安全等级	5
1.2.2	基坑支护结构的极限状态及设计表达式	5
1.2.3	基坑支护结构勘察时的要求和环境调查	9
1.2.4	基坑支护结构的选型	9
1.3	结构设计荷载与结构分析	15
1.3.1	结构的水平荷载	15
1.3.2	结构的分析	18
1.4	排桩	20
1.4.1	排桩结构	20
1.4.2	排桩的设计	22
1.4.3	排桩构造	24
1.4.4	排桩施工与检测	25
1.5	地下连续墙	26
1.5.1	地下连续墙的设计	26
1.5.2	地下连续墙施工与检测	27
1.6	水泥土墙	28
1.6.1	水泥土墙稳定性计算	29
1.6.2	正截面承载力计算	30
1.6.3	水泥土墙构造要求	31
1.6.4	水泥土墙施工与检测	32
1.7	土钉墙	32
1.7.1	土钉承载力计算	34
1.7.2	土钉稳定性验算	35
1.7.3	构造要求	37
1.7.4	施工与检测	38
1.8	内支撑	40
1.8.1	内支撑的布置	40
1.8.2	结构设计原则	42

1.8.3	水平支撑系统设计	45
1.8.4	竖向支撑结构的设计	46
1.8.5	立柱桩设计	47
1.8.6	内支撑结构施工与检测	47
1.9	锚杆	48
1.9.1	锚杆设计的基本原则	49
1.9.2	锚杆的设计计算	49
1.9.3	锚杆的构造要求	51
1.9.4	锚杆的施工与检测	51
1.10	地下水控制	53
1.10.1	概述	53
1.10.2	集水明排、截水与回灌	54
1.10.3	降水	57
1.11	基坑开挖与检测	67
1.11.1	基坑开挖	67
1.11.2	基坑检测	68
1.12	常见基坑支护结构实用设计	71
1.13	工程基坑支护设计方案设计	78
1.13.1	基坑支护设计方案	78
1.13.2	施工部署	84
1.13.3	施工准备	85
1.13.4	基坑支护施工方案	85
2	模板工程	89
2.1	模板的分类	90
2.1.1	材料分类	90
2.1.2	按照施工部位分类	92
2.1.3	按照施工工艺分类	97
2.1.4	按周转次数分类	101
2.2	模板支撑体系的种类	101
2.2.1	支撑架设置位置和作用分类	102
2.2.2	支撑架采用的脚手架分类	102
2.2.3	《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162—2008 对模板支架的规定	105
2.2.4	《混凝土结构工程施工规范》GB 50666—2011 对模板支架的规定	113
2.3	现浇混凝土结构模板设计	114
2.3.1	模板结构设计的原则与计算依据	114
2.3.2	模板材料及其性能	116
2.3.3	荷载计算	120
2.3.4	结构计算规定	125
2.3.5	爬模的计算	139

2.4	模板计算实例	140
2.4.1	柱模板的验算	140
2.4.2	墙模板的验算	146
2.4.3	梁模板的计算	151
2.4.4	板模板的验算	159
2.5	模板的检查验收及安装与拆除	163
2.6	模板的管理与维护	170
2.7	模板应急预案	172
2.8	模板事故案例	178
3	脚手架工程	183
3.1	脚手架的分类	183
3.2	脚手架基本构造	185
3.2.1	落地扣件式钢管脚手架	185
3.2.2	碗扣式钢管脚手架	193
3.2.3	门式钢管脚手架	196
3.2.4	悬挑式脚手架	201
3.2.5	附着式升降脚手架	203
3.2.6	外挂脚手架	204
3.2.7	承插型盘扣式钢管脚手架	205
3.3	脚手架稳定性验算	205
3.3.1	扣件式钢管脚手架设计与计算	205
3.3.2	扣件式钢管脚手架计算	213
3.3.3	碗扣式钢管脚手架设计	216
3.3.4	门式钢管脚手架设计	223
3.3.5	悬挑式钢管脚手架设计与计算	229
3.3.6	悬挑式钢管脚手架实例	231
3.4	某工程脚手架施工方案	232
4	起重设备	253
4.1	起重机械设备的分类	253
4.1.1	轻小型起重设备	253
4.1.2	桥式类型起重机	254
4.1.3	旋转类型起重机	257
4.1.4	桅杆式起重机	259
4.1.5	升降机	260
4.2	起重机械设备在土建施工中的应用	262
4.2.1	起重机械设备的选择	262
4.2.2	起重机械设备臂杆长度的计算选择	263
4.2.3	起重设备起升高度的计算选择	264
4.2.4	起重机械设备的强度及稳定性验算	265

1 基坑支护工程

1.1 绪 论

6月27日6时左右,上海闵行区“莲花河畔小区”一栋在建13层住宅楼整体倒塌(图1-1)。这是1949年以来建筑业最令人恐怖的倒楼事件。

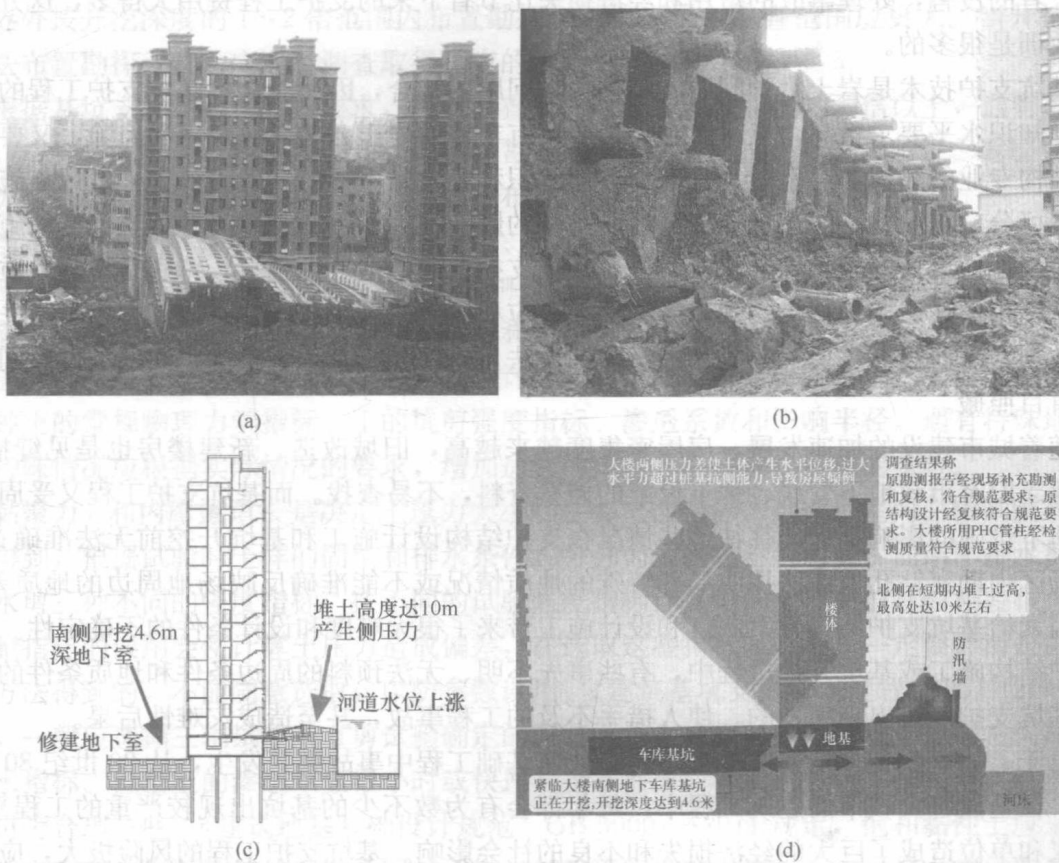


图 1-1 上海“莲花河畔景苑”在建楼房整体倒塌示意图

(a) 整体倒塌图; (b) 楼房基础; (c) 楼房倒塌分析示意图; (d) 调查结果

骇人听闻的上海倒楼事件令土木人蒙羞,开发商、承包商、监理工程师和有监管职责的政府官员都负有责任。

基坑支护结构设计施工问题,是土木工程建设中经常遇到较重要的问题,又是岩土力学学科中较复杂和困难的问题,其复杂性在于基坑边缘条件(水、电、煤气、通信、光缴等管道敷设)及水文、地质情况的复杂,其困难性在于天然地层中有些力学性质尚不能用室内或野外常规试验方法确定。国内外有关杂志和期刊发表了许多基坑支护结构设计理论文章,

每篇文章中阐述的理论，均附带某些假定，有一定的局限性，计算出的结果差异较大，给支护结构设计的工程师们带来很多疑惑和不便。

1.1.1 概述

基坑支护结构大多为临时性结构，其作用仅是在基坑开挖和地下结构施工期间保证基坑周边既有建筑物、道路、地下管线等环境的安全和本工程地下室施工的进行，其有效使用期为一年。个别情况下，支护结构也可同时兼做地下室结构的组成部分，成为永久性结构。作为临时性结构，容易忽视它的重要性，认为一旦地下室建起来后支护结构就没有用了，往往把它看作施工临时措施而不愿投入太多的资金，为了省钱在短期内冒风险，并且抱有侥幸心理。基坑支护工程一旦出现工程事故，处理起来十分困难，造成的危害面也较大，常会产生对第三者的侵害，处理事故的费用和经济损失比节省下来的支护工程费用大得多，这方面的惨痛教训是很多的。

基坑支护技术是岩土力学问题和结构力学问题的结合，因而对从事基坑支护工程的人员的业务知识水平要求很高，工程技术人员既要有丰富的岩土力学专业知识和经验，又要有一定的结构专业的知识和经验，只具备一方面知识和经验是不行的。同时，支护设计与施工方法密不可分，支护方案的选择受地域地质条件的影响很大，因此需要具有相当丰富的施工经验和对当地地质情况的深入了解。另外，基坑支护工程的地域性很强，特别是不同地质条件对支护结构形式、支护结构的规律影响很大，应积极调研和吸取当地类似工程成功与失败的经验教训，既要吸取类似工程成功的经验和做法，也要防止在地质条件和其他条件不同的情况下盲目照搬。

随着城市建设的加速发展，房屋密集度越来越高，旧城改造、新建楼房也是见缝插针，常常缺乏旧有市政地下管线、地下设施的档案资料，不易查找。而基坑支护工程又受周边建筑和地下设施的影响很大，往往这些情况在支护结构设计施工和基坑开挖前无法准确查明，有时场区内勘察钻孔也无法探明局部特殊的地质情况或不能准确反映场地周边的地质差异。这些因素给基坑支护结构方案制订和设计施工带来了很大难度和设计条件的不确定性。在基坑支护结构施工或基坑开挖过程中，有些事先不明、无法预料的周边条件和地质条件的变化会使基坑支护工程出现突发的、使人措手不及的工程事故，甚至造成灾难性后果。

由于上述这些特点，基坑支护工程在地基基础工程中事故频繁发生，从20世纪80年代至今，在全国各大城市的建筑工程中，每年都会有为数不少的基坑出现较严重的工程事故，给国家和单位造成了巨大的经济损失和不良的社会影响。基坑支护工程的风险极大，应引起有关部门、单位和管理技术人员的高度重视。

随着国内基坑支护工程的普遍发展和日益增多，这方面的设计、施工、监理和质检的经验不断积累和逐渐成熟，同时也伴随着本领域发展过程中诸多的工程事故的发生和失败的教训，这些经验和教训促进了行业和地区对基坑支护工程项目的管理日趋完善，国家和地区相继出台了一些关于基坑支护工程的规范、规程和工程管理的有关规定等法律、法规文件。

建筑基坑是指为进行建筑物（包括构筑物）基础与地下室的施工所开挖的地面以下的空间。基坑底为基础或建（构）筑物底部结构施工提供操作面的基坑的底面。基坑侧壁是指构成建筑基坑围体的侧面。基坑周边环境为基坑开挖影响范围内包括既有建（构）筑物、道路、地下管线、岩土体及地下水体等的统称。

基坑支护为保护地下主体施工和基坑周边环境的安全,对基坑采用的临时性支挡、加固、保护与地下水控制的措施。地下水控制为在地下水位比较高的地区,为保证支护结构施工、基坑挖土、地下室施工及基坑周边环境安全而需要采取措施,如排水、降水、截水或回灌。

1.1.2 影响基坑支护结构选型和设计施工的主要因素

1. 工程地质和水文地质条件

地质勘查单位在现场勘查、室内试验和编制勘查报告工作中,除满足主体结构的勘查要求外,还应针对基坑支护工程的特殊要求进行勘查工作。

勘查范围应根据开挖深度及场地的岩土工程条件确定,除环境限制无法实施外,应在开挖边界外按开挖深度的1~2倍范围内布置勘探点,软土层的勘查范围应更大。当开挖边界外无法布置勘探点时,应通过调查取得相应的地质资料。

根据基坑支护结构设计的要求,一般勘查孔深度应为基坑深度的两倍以上,遇有软土地层时,应穿越软土层;当地层分布均匀时,勘探点间距一般在15~30m之间。地层变化起伏较大时,则应增密勘探点,以查明土层分布规律。

当有地下水时,应查明各含水层的性质、水位分布及各含水层的补给排泄条件和水力联系。应由试验得到各含水层的渗透系数和影响半径,分析施工过程中水位变化对支护结构和基坑周边环境的影响,并提出应采取的措施和建议。

应提供基坑支护和地下水控制进行各种计算和验算内容所需要的岩土工程测试参数,包括各种土的常规物理力学指标、土的抗剪强度指标、渗透系数和影响半径。遇有特殊地质条件或特殊情况应根据实际情况的要求,增加适宜的试验方法并提供所需的参数。

黏聚力 c 和内摩擦角 φ 是决定土压力大小的主要土性指标,可通过室内三轴试验或直剪试验得到,根据试验时土样的固结和排水条件,可分为不固结不排水剪、固结不排水剪和固结排水剪三种不同的强度指标,按不同的试验强度指标计算出的土压力值有时相差很大,因此试验指标的误用会使计算土压力造成偏差,在选取这些指标时,事先一定要弄清是由哪种试验方法得到的,不能随意选取,以防参数误用。《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012规定,一般应选择三轴试验或直剪试验确定的固结不排水指标,实际工程中也经常采用固结不排水指标。但当土的渗透系数很小时或快速开挖条件下,有些观点认为采用不固结不排水指标更为合理一些。《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011规定,饱和黏性土应采用土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水试验确定抗剪强度指标。目前,国内在这一问题上观点并不统一,不同观点各持己见,在学术上也存在一定的争议。

2. 基坑周边的环境条件

基坑开挖、降水和支护结构位移引起的地面沉降和水平位移会对周边建筑物、道路和地下管线造成影响,周边建筑物地下室和基础、地下管线也会给支护结构施工带来影响,如锚杆或土钉成孔时遇到周边建筑物地下室、基础或地下管线时,将无法继续成孔。因此,在支护方案制订和设计时,必须对周边环境进行详细调查,采用合理的方案和施工措施避免支护结构与周边环境的相互影响。周边环境调查应包括以下内容:

(1) 支护结构影响范围内建筑物的距离、结构类型、层数、基础形式和埋深、建筑物荷载和结构使用状况。

(2) 基坑周边各类地下设施,包括电力电信管线、燃气管线、供水管线、污水雨水管线和热力管线等的位置尺寸和使用性状。

(3) 场地周边范围内地表水汇流、排泄情况,旧有地下水管渗漏情况等。

(4) 基坑周边道路的距离及车辆载重情况。

3. 主体结构设计和施工的要求

为了使支护结构满足地下室正常施工的要求,支护结构设计要考虑建筑物地下室的情况和相关要求,做到事先发现问题并协商解决,防止在支护结构施工完后发现与主体结构之间的矛盾,造成事后处理的被动局面。支护结构设计前应考虑的主要因素有:

(1) 基坑边缘尺寸应保证建筑物地下室外墙、底板和承台边缘的尺寸及外墙模板安装空间的要求。

(2) 基坑边缘与地下室外墙距离应考虑外墙的防水做法。

(3) 支撑、锚杆和腰梁的标高应考虑与地下室各层楼层的关系,锚杆和腰梁是否拆除,拆除时间与地下室楼层施工的关系,是否利用楼板结构作为支撑等问题。

(4) 靠近基坑边的基础或桩基的施工是否影响支护结构的设计受力条件。

(5) 地下室内外管线接口位置的标高是否与支护结构有矛盾。

(6) 地下室车道出入口的支护措施。

4. 场地施工条件

基坑和地下室施工条件也是影响支护结构设计施工的一个因素,主要有以下几个方面的问题:

(1) 材料制作加工场地、材料堆放场地、临建、施工车辆道路和出入口的位置对基坑尺寸的要求。

(2) 材料堆放荷载、施工车辆荷载、塔吊荷载等对支护结构受力的影响。

(3) 现场的施工噪声和振动对支护结构施工机具的要求。

1.1.3 基坑支护工程在建筑工程中的重要性

1. 高层建筑的发展

现代高层建筑随着社会生产的发展和人们生活的需要而发展起来的,是商业化、工业化和城市化的结果。而科学技术的进步、轻质高强材料的出现以及机械化、电气化、计算机在建筑中的广泛应用等,又为高层建筑的发展提供了物质和技术条件。

20世纪70年代开始,我国高层建筑有了很大的发展。我国高层建筑的迅速发展,建筑高度的不断增加,建筑类型和功能越来越复杂,结构体系更加多样化。2003年已建成的高层建筑14000幢(上海占1/3),基础深度随着建筑高度的增高而增大,目前最深的基坑已达30余米。基坑支护工程数量大幅度增加,施工技术难度增大。

2. 基坑支护工程尚属新兴学科领域

20世纪90年代起,基坑支护工程有了全面的发展,并且取得了宝贵的经验。岩土工程学科是一门实用性和经验性极强的学科,当前我国基坑支护工程失效率较高(20%~30%)。基坑支护工程投资费用占总造价的30%。

3. 基坑支护工程是综合技术的系统工程

基坑支护工程是与众多因素相关的综合技术,如场地勘察、基坑设计、施工、监测、现

场管理,以及相邻场地施工的相互影响等。基坑设计和施工涉及地质条件、岩土性质、场地环境、工作要求、气候变化、地下水动态、施工程序和方法等许多复杂问题,是理论上尚待发展的综合技术学科。

4. 尚未形成设计与施工的专业队伍

在基坑支护工程的早期,基坑支护在地基基础工程中的事故频繁发生,每年都会有一定数量的基坑出现较严重的事故,这些事故给国家和单位造成了巨大的经济损失和不良的社会影响。基坑支护技术需要结合岩土力学和结构力学,对从事基坑支护工程的人员的专业知识水平要求很高;同时,支护设计与施工方法密不可分,支护方案的选择受地域地质条件影响很大,因此需要具有相当丰富的施工经验和对当地地质情况的深入了解。我国基坑支护工程起步较晚,有些设计理论还不成熟,只能依靠一些实践工程取得的经验指导相应的设计,因此要逐步建设形成专业的基坑支护的设计和施工队伍。

5. 开拓基坑支护工程技术任重而道远

(1) 由于地基土的非均性质,土的力学性能参数取值可能存在与实际值的较大误差,造成受力分析不准确而误导设计。

(2) 作用外力的不确定性使得结构设计对支护体系的参数取值具有不真实性,造成设计受力与现实情况产生误差。

(3) 变形的不确定性更难以准确确定支护体系在施工中的变形量,增加了不安全因素。

(4) 周围环境的突变对基坑的冲击在施工中难以预料和控制。

综上所述,设计良好、全面和完善的基坑支护是整个工程中的中流砥柱,需要相关的专业技术人员作出不懈的努力!

1.2 结构设计理论

1.2.1 基坑支护结构的安全等级

基坑支护设计时,应综合考虑基坑周边环境 and 地质条件的复杂程度、基坑深度等因素。对同一基坑,可采用不同的安全等级(表 1-1)。

表 1-1 基坑支护结构的安全等级

安全等级	破坏后果	重要性系数
一级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重	1.10
二级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重	1.00
三级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重	0.90

1.2.2 基坑支护结构的极限状态及设计表达式

1. 支护结构设计时应采用两种极限状态

1) 承载能力极限状态

承载能力极限状态是指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。

(1) 支护结构构件或连接因超过材料强度而破坏,或因过度变形而不适于继续承受荷

载，或出现压屈、局部失稳。

- (2) 支护结构和土体整体滑动。
- (3) 坑底因隆起而丧失稳定。
- (4) 对支挡式结构，挡土构件因坑底土体丧失嵌固能力而推移或倾覆。
- (5) 对锚拉式支挡结构或土钉墙，锚杆或土钉因土体丧失锚固能力而拔动。
- (6) 对重力式水泥土墙，墙体倾覆或滑移。
- (7) 对重力式水泥土墙、支挡式结构，其持力土层因丧失承载能力而破坏。
- (8) 地下水渗流引起的土体渗透破坏。

2) 承载能力极限状态设计表达式

承载能力极限状态设计表达式见式 (1-1)。

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (1-1)$$

式中 γ_0 —— 支护结构重要性系数；

S_d —— 作用基本组合的效应（轴力、弯矩等）设计值；

R_d —— 结构构件的抗力设计值。

(1) 支护结构重要性系数与作用基本组合的效应设计值的乘积 ($\gamma_0 S_d$) 可采用式 (1-2) ~ 式 (1-4) 表示：

$$M = \gamma_0 \gamma_F M_k \quad (1-2)$$

$$V = \gamma_0 \gamma_F V_k \quad (1-3)$$

$$N = \gamma_0 \gamma_F N_k \quad (1-4)$$

式中 M —— 弯矩设计值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；

γ_F —— 作用基本组合的综合分项系数，该值不应小于 1.25；

M_k —— 作用标准组合的弯矩值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；

V —— 剪力设计值 (kN)；

V_k —— 作用标准组合的剪力值 (kN)；

N —— 轴向拉力设计值或轴向压力设计值 (kN)；

N_k —— 作用标准组合的轴向拉力或轴向压力值 (kN)。

(2) 对临时性支护结构，作用基本组合的效应设计值应按式 (1-5) 确定：

$$S_d = \gamma_F S_k \quad (1-5)$$

式中 S_k —— 作用标准组合的效应。

(3) 整体滑移、坑底隆起失稳、挡土构件嵌固段推移、锚杆与土钉拔动、支护结构倾覆与滑移、土体渗透破坏等稳定性计算和验算，均应符合式 (1-6) 要求：

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \quad (1-6)$$

式中 R_k —— 抗滑力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆和土钉的极限抗拔承载力等土的抗力标准值；

S_k —— 滑动力、滑动力矩、倾覆力矩、锚杆和土钉的拉力等作用标准值的效应；

K —— 安全系数。

3) 正常使用极限状态

正常使用极限状态是指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。

(1) 造成基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的支护结构位移。

(2) 因地下水下降、地下水渗流或施工因素而造成基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的土体变形。

(3) 影响主体地下结构正常施工的支护结构位移。

(4) 影响主体地下结构正常施工的地下水渗流。

4) 正常使用极限状态表达式

正常使用极限状态表达式见式(1-7)。

$$S_d \leq C \quad (1-7)$$

式中 S_d ——作用标准组合的效应(位移、沉降等)设计值;

C ——支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降的限值。

2. 基坑支护设计时的沉降控制值

1) 基坑支护设计时沉降控制值的要求

基坑支护设计应按下列要求设定支护结构的水平位移控制值和基坑周边环境的沉降控制值:

(1) 当基坑开挖影响范围内有建筑物时,支护结构水平位移控制值、建筑物的沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定,并应符合表1-2中对地基变形允许值的规定;当基坑开挖影响范围内有地下管线、地下构筑物、道路时,支护结构水平位移控制值、地面沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定,并应符合现行相关标准对其允许变形的规定。

(2) 当支护结构构件同时用作主体地下结构构件时,支护结构水平位移控制值不应大于主体结构设计对其变形的限值。

(3) 当无(1)、(2)情况时,支护结构水平位移控制值应根据地区经验按工程的具体条件确定。

表 1-2 建筑物的地基变形允许值

变形特征		地基土类别	
		中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜		0.002	0.003
工业与民用建筑 相邻柱基的沉降差	框架结构	0.002 <i>l</i>	0.003 <i>l</i>
	砌体墙填充的边排柱	0.0007 <i>l</i>	0.001 <i>l</i>
	当基础不均匀沉降时 不产生附加应力的结构	0.005 <i>l</i>	0.005 <i>l</i>
单层排架结构(柱距为6m)柱基的沉降量(mm)		(120)	200
桥式吊车轨面的倾斜 (按不调整轨道考虑)	纵向	0.004	
	横向	0.003	
多层和高层建筑 的整体倾斜	$H_g \leq 24$	0.004	
	$24 < H_g \leq 60$	0.003	
	$60 < H_g \leq 100$	0.0025	
	$H_g \geq 100$	0.002	

变形特征		地基土类别	
		中、低压缩性土	高压缩性土
体型简单的高层建筑基础的平均沉降量 (mm)		200	
高耸结构基础的倾斜	$H_g \leq 20$	0.008	
	$20 < H_g \leq 50$	0.006	
	$50 < H_g \leq 100$	0.005	
	$100 < H_g \leq 150$	0.004	
	$150 < H_g \leq 200$	0.003	
	$200 < H_g \leq 250$	0.002	
高耸结构基础的沉降量	$H_g \leq 100$	400	
	$100 < H_g \leq 200$	300	
	$200 < H_g \leq 250$	200	

注：1. 本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值。

2. 有括号者仅适用于中压缩性土。

3. l 为相邻柱基的中心距离 (mm)； H_g 为自室外地面起算的建筑物高度 (m)。

4. 倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值。

5. 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

2) 基坑支护设计应满足主体地下结构的施工要求

(1) 基坑侧壁与主体地下结构的净空间和地下水控制应满足主体地下结构及其防水的施工要求。

(2) 采用锚杆时，锚杆的锚头及腰梁不应妨碍地下结构外墙的施工。

(3) 采用内支撑时，内支撑及腰梁的设置应便于地下结构及其防水的施工。

3) 土压力及水压力的分、合算方法应符合的规定

土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土、水压力的分、合算方法及相应的土的抗剪强度指标类别应符合下列规定：

(1) 对地下水位以上的黏性土、黏质粉土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ，对地下水位以上的砂质粉土、砂土、碎石土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' 。

(2) 对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法；此时，正常固结和超固结土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ；欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 φ_{uu} ；

(3) 地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法。此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标判断强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} 代替；砂土和碎石土，有效应力强度指标 φ' 可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应

分别计算各含水层的水压力。

(4) 有可靠的地方验算时,土的抗剪强度指标尚可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标,按经验方法确定。

1.2.3 基坑支护结构勘察时的要求和环境调查

基坑支护结构除满足强度要求之外,还应满足基坑周边环境的变形控制要求。按强度和变形共同控制的原则,对支护结构进行精心的设计和计算,同时,布置支护结构和周边环境的监测点。

1. 基坑工程的岩土勘察应符合的规定

基坑工程的岩土勘察应符合下列规定:

(1) 勘探点范围应根据基坑开挖深度及场地的岩土工程条件确定;基坑外宜布置勘探点,其范围不宜小于基坑深度的1倍;当需要采用锚杆时,基坑外勘探点的范围不宜小于基坑深度的2倍;当基坑外无法布置勘探点时,应通过调查取得相关勘察资料并结合场地内的勘察资料进行综合分析。

(2) 勘探点应沿基坑边布置,其间距宜取15~25m。当场地存在软弱土层、暗沟或岩溶等复杂地质条件时,应加密勘探点并查明其分布和工程特性。

(3) 基坑周边勘探孔的深度不宜小于基坑深度的2倍;基坑面以下存在软弱土层或承压水含水层时,勘探孔深度应穿过软弱土层或承压水含水层。

(4) 应按《岩土工程勘察规范(2009年版)》GB 50021—2001的规定进行原位测试和室内试验并提出各层土的物理性质指标和力学指标;对主要土层和厚度大于3m的素填土,应进行抗剪强度试验并提出相应的抗剪强度指标。

(5) 当有地下水时,应查明各含水层的埋深、厚度和分布,判断地下水类型、补给和排泄条件;有承压水时,应分层测量其水头高度。

(6) 应对基坑开挖与支护结构使用期内地下水位的变化幅度进行分析。

(7) 当基坑需要降水时,宜采用抽水试验测定各含水层的渗透系数与影响半径;勘察报告中应提出各含水层的渗透系数。

(8) 当建筑地基勘察资料不能满足基坑支护设计与施工要求时,应进行补充勘察。

2. 基坑周边环境条件

基坑支护设计前,应查明下列基坑周边环境条件:

(1) 既有建筑物的结构类型、层数、位置、基础形式和尺寸、埋深、使用年限、用途等。

(2) 各种既有地下管线、地下构筑物的类型、位置、尺寸、埋深等;对既有供水、污水、雨水等地下输水管线,尚应包括其使用状况及渗漏状况。

(3) 道路的类型、位置、宽度、道路行驶情况、最大车辆荷载等。

(4) 基坑开挖与支护结构使用期内施工材料、施工设备等临时荷载的要求。

(5) 雨期时的场地周围地表水汇流和排泄条件。

1.2.4 基坑支护结构的选型

基坑支护时应根据基坑深度、土的性状及地下水条件、基坑周边环境对基坑变形的承受