

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

建筑基坑支护

(第二版)

熊智彪 主编

JIANZHU JIKENG ZHIHU

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

建筑基坑支护

(第二版)

熊智彪 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑基坑支护/熊智彪主编. —2版.—北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 7

(高校土木工程专业规划教材)

ISBN 978-7-112-15499-9

I. ①建… II. ①熊… III. ①基坑-坑壁支撑-高等学校-教材 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 123963 号

为丰富高校岩土工程本科生教材的内容, 作者结合自身实践和研究工作, 同时吸收国内外理论与实践研究成果, 紧密结合新修订的《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012, 编写了本书。全书分为 9 章, 具体内容包括: 绪论、支护结构与勘察要求、土压力、支挡结构内力及基坑变形分析、支挡式结构、重力式水泥土墙、土钉墙、基坑地下水控制、基坑开挖与监测。

本书适合作为高校土木工程专业的教材, 也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

* * *

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 刘梦然

高校土木工程专业规划教材

建筑基坑支护

(第二版)

熊智彪 主编

*

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

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 410 千字

2013 年 8 月第二版 2013 年 8 月第七次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-15499-9

(24057)

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)

第二版前言

随着城市建设的发展，基坑支护技术得到了更加广泛的应用，在设计理论、施工方法以及监测技术等方面均得到进一步的提升，相应的国家和行业规范、规程及标准也相继颁布和修订实施。在《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 正式实施之际，编者对本书第一版内容进行了修订，修订本着实用有效的原则，内容紧密与该规程相结合，以便于阅读者能更好地用于实践；同时对原书中发现的错误和不妥之处一并进行了订正。

本书修订改为 9 章，将原第 1 章内容充实，改为第二版的前两章；原第 3 章内容归入各类支护结构章节内容；取消了原第 8 章逆作拱墙，逆作法的内容归入第 5 章。

本书由南华大学熊智彪主编。第 1~4 章、第 5 章 5.1~5.7 节以及 5.9~5.10 节、第 6~7 章、第 9 章由熊智彪执笔，第 5 章 5.8 节由陈振富执笔，第 8 章由段仲沅执笔。全书由熊智彪统稿。

感谢广大读者对本书第一版的厚爱，恳切希望对第二版中的错误和不妥之处提出批评指正意见。

2013 年 1 月

第一版前言

建筑基坑支护设计与施工技术是一门从实践中发展起来的技术，也是一门实践性非常强的学科。它涉及土力学中典型的强度、稳定及变形问题，还涉及土与支护结构共同作用问题、基坑中的时空效应问题以及结构计算问题等。几十年来，随着国内外大量高层建筑的建造，基坑深度不断加深，规模和复杂程度不断加大，基坑支护已成为高、大建筑中的一个非常大的课题，其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。实践的需要促进了研究工作的飞速发展，获得了大量的理论研究成果和丰富的实践经验。

编者多年来一直从事《基础工程》、《高层建筑基础》、《基坑工程》的教学工作，在结合自身实践和研究工作，吸收国内外理论与实践研究成果的基础上，编写了本书。书中加强了基坑基础理论的阐述，论述了各类基坑支护方式的设计方法，提出了施工措施，同时还将近年来国内外研究成果作了介绍。

本书由南华大学熊智彪、陈振富、段仲沅编写。第一章至第七章、第十章由熊智彪执笔，第八章由陈振富执笔，第九章由段仲沅执笔。全书由熊智彪统稿。

笔者衷心地感谢南华大学及兄弟院校有关教师以及工程人员对本书的关心和帮助，感谢他们为本书的编写提供了大量宝贵的意见和实例，特别感谢硕士研究生王启云、谷淡平为本书进行的大量绘图以及文字编排工作。恳切希望广大读者对本书中的缺点和错误批评指正。

2007年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.2 基坑支护技术	2
1.3 基坑支护设计计算	3
1.4 基坑工程失稳形态	3
1.5 基坑工程的特点	4
思考与练习.....	5
第 2 章 支护结构设计及勘察要求	6
2.1 概述	6
2.2 极限状态设计原则	6
2.3 设计基本规定.....	10
2.4 基坑工程勘察与环境调查.....	16
2.5 支护结构选型.....	19
思考与练习	21
第 3 章 土压力	23
3.1 基本理论.....	23
3.2 支护结构上的土压力强度标准值计算.....	36
思考与练习	42
第 4 章 支挡结构内力及基坑变形分析	44
4.1 支挡结构内力分析.....	44
4.2 基坑变形分析.....	59

第 5 章 支挡式结构	62
5.1 概述	62
5.2 结构计算方法与要求	63
5.3 稳定性验算及嵌固深度设计	65
5.4 排桩设计与施工	71
5.5 地下连续墙设计与施工	76
5.6 锚杆设计与施工	85
5.7 内支撑结构设计及施工	102
5.8 支护结构与主体结构的结合及逆作法	118
5.9 双排桩设计	123
5.10 咬合桩简介	128
5.11 支挡式结构设计实例	128
思考与练习	133
第 6 章 重力式水泥土墙	135
6.1 概述	135
6.2 水泥土桩	136
6.3 重力式水泥土墙设计计算	143
6.4 SMW 工法	152
6.5 重力式水泥土墙支护设计工程实例	157
思考与练习	159
第 7 章 土钉墙	160
7.1 概述	160
7.2 土钉墙的工作机理与性能	162
7.3 土钉墙的设计与计算	164
7.4 土钉墙施工与检测	172
7.5 土钉墙支护设计工程实例	175
思考与练习	178

第 8 章 基坑地下水控制	179
8.1 概述	179
8.2 基坑截水	181
8.3 水井理论与水井涌水量计算	184
8.4 降水方法及其选用	196
8.5 井点降水对周围环境的影响及其防范措施	220
思考与练习.....	225
第 9 章 基坑开挖与监测	227
9.1 基坑开挖	227
9.2 基坑监测	229
思考与练习.....	259
参考文献	261

第 1 章 绪 论

1.1 基 本 概 念

为了进行高层建筑地下室、地铁车站和地下停车场、商场、仓库、变电站以及市政排水与污水处理系统等地下工程的施工，需要从地表面向下开挖土体，挖出相应的地下空间。这个为进行建（构）筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间就是基坑（excavations），基坑临空面称为基坑侧壁（side of excavations）。基坑土体的开挖造成周围土体的应力应变状态和地下水状态发生改变，必然对周边建（构）筑物、地下管线、道路等造成一定的影响。与基坑开挖相互影响的周边建（构）筑物、地下管线、道路、岩土体及地下水，统称为基坑周边环境（surroundings around excavations）。《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011（以后章节简称 GB 50007）条文说明中列出了基坑周边典型的环境条件，见图 1.1。

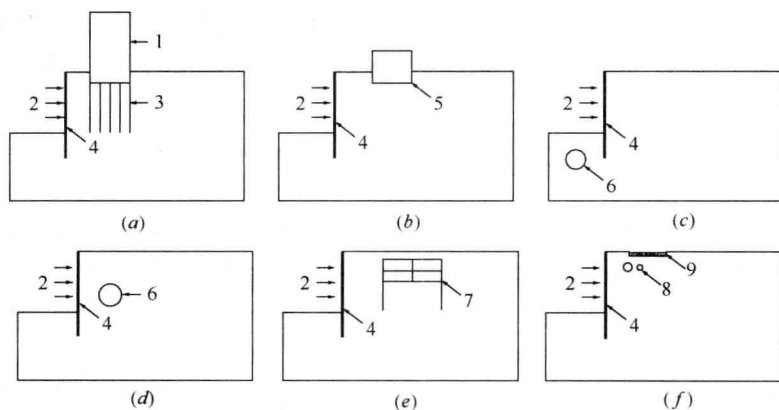


图 1.1 基坑周边典型的环境条件

(a) 基坑周边存在桩基础建筑物；(b) 基坑周边存在浅基础建筑物；(c) 坑底以下存在隧道；

(d) 基坑旁边存在隧道；(e) 基坑周边存在地铁车站；(f) 基坑紧邻地下管线

1—建筑物；2—基坑；3—桩基；4—围护墙；5—浅基础建筑物；

6—隧道；7—地铁车站；8—地下管线；9—市政道路

为保护地下主体结构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，就是基坑支护（retaining and protecting for excavation）。

改革开放以前，基坑开挖规模较小，开挖深度较浅，通常均可采用放坡开挖，或用少量钢板桩进行临时性支护。随着城市建设的发展，地下空间的开发和利用成为一种必然趋势，单个基坑的开挖面积越来越大，开挖深度也越来越深，而且，这些深、大基坑通常都位于周边建筑物密集分布区域，施工场地紧张，周边环境复杂，在基坑平面外没有足够的

放坡空间，采用以往临时性简单施工措施已经难于保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全，为此，不得不采用支护结构来保证施工的顺利进行。

支护结构 (retaining and protection structure) 指的是支挡或加固基坑侧壁的承受荷载的结构。是在建筑物地下工程建造时为确保土方开挖，控制周边环境影响在允许范围内的一种施工措施。通常有两种情况，一种情况是在大多数基坑工程中，基坑支护结构是属于地下工程施工过程中作为一种临时性结构设置的，地下工程施工完成后，即失去作用。另一种情况是基坑支护结构在地下工程施工期间起支护作用，在建筑物建成后的正常使用期间，作为建筑物的永久性构件继续使用。

至今，工程实践中已发展多种支护结构，如：支挡式结构 (retaining structure)、双排桩 (double-row-piles wall)、土钉墙 (soil nailing wall) 和复合土钉墙 (composite soil nailing wall)、重力式水泥土墙 (gravity cement-soil wall) 以及上述方式各类组合支护结构。其中，支挡式结构又有直接采用顶端自由的挡土构件 [如支护桩、地下连续墙 (diaphragm wall)] 作为悬臂式支挡结构，以及采用挡土构件和锚杆、内支撑组合形成的锚拉式和支撑式支挡结构。另外，支护结构与主体结构相结合的逆作法由于具有挡土安全性高、变形小、工期短、经济效益显著等优点而得到大量应用，而具有挡土和截水功能的钻孔咬合桩 (也称为 AB 桩) 支护方式也在许多地方得到应用。

为了避免产生流土 (砂)、管涌、突涌等渗流破坏，保证基坑开挖和地下结构的正常施工，保护地下水资源环境，对地下水水位较高、水量较大或存在承压水的基坑，有必要采取截水、降水、排水、回灌等地下水控制 (groundwater controlling) 措施。

1.2 基坑支护技术

早期的基坑支护只是作为施工单位进行地下工程的施工而采取的一项临时性辅助措施，随着基坑开挖规模和深度的增加，基坑工程越来越复杂，支护技术已经涵盖基坑工程的勘察、设计、施工、检测与监测、周边环境保护、地下水的控制和土方开挖等一系列技术内容。

基坑支护技术是一门从实践中发展起来的技术，也是一门实践性非常强的学科。理论上，土力学中的强度、稳定、变形以及地下水渗流理论仍然对基坑的稳定性、支护结构的内力和变形计算具有重要的指导意义，但却不能完全满足基坑工程的要求。因为基坑支护技术还涉及土与结构共同作用问题、基坑时空效应问题以及结构计算问题，且施工的每一个阶段，随着施工工艺、开挖位置和次序、支撑和开挖时间等的变化，结构体系和外部荷载都在变化，都对支护结构的内力产生直接的影响，每一个施工工况的数据都可能影响支护结构的稳定和安全。虽然岩土工程领域的学者和科研人员在土的工程性质、土压力计算、支挡结构内力计算、基坑变形特性分析、基坑稳定性分析、地下水渗流分析、有限元计算领域等各个方面进行了大量的研究，但由于基坑工程中具有岩土体和地下水体结构、岩土参数、应力与孔隙水压力、外加荷载及其分布、土体本构模型、计算理论与方法等诸多不确定性因素，理论研究仍不能准确得出比较符合实际情况的结果，基坑工程的理论研究仍滞后于实践。正因如此，基坑监测的重要性就不言而喻了，基于监测数据的基坑工程风险管理和安全评估也正成为新的研究热点。

目前,采用理论导向、经验判断、实测量三者相结合的方法进行基坑支护方案选择和设计决策,越来越受到工程实践的认可和重视。

1.3 基坑支护设计计算

基坑支护设计计算包括水压力和土压力计算、基坑稳定性计算、支挡结构内力计算及基坑变形估算、地下水的控制计算等内容。

水、土压力和基坑稳定性分析采用土力学中的经典理论结合工程经验进行计算。

支挡结构的内力分析,是基坑工程设计中的重要内容,初期计算理论是基于挡土墙设计理论的静力平衡法和等值梁法、塑性铰法等古典方法。由于基坑支护结构与一般挡土墙受力机理不同,按上述方法计算结果与内力实测结果相比在大部分情况下偏大,且无法计算支护结构的变形,于是就有了之后的山肩帮男法、弹性法、弹塑性法的解析方法。古典方法和解析方法在理论上均存在各自的局限性,并且难以满足复杂基坑工程的设计要求,现在已经很少应用。目前工程中常用的是平面竖向弹性地基梁法和平面连续介质有限元法等平面分析方法;对有明显空间效应和平面形状不规则的基坑,采用平面方法就无法反映所有支撑结构的受力和变形状况。于是,利用三维分析的空间弹性地基板法和三维连续介质有限元法在一些深、大基坑中得到了实际应用并取得成功。

基坑变形主要包括围护墙体的变形、坑底隆起变形及坑外地表沉降。支挡结构内力计算的解析方法和数值分析方法均可在理论上求解围护墙体的变形,然而实测结果和理论计算结果往往存在差异,因此,目前条件下基坑变形主要采用理论计算与实测经验相结合的方法进行估算。

目前,各类商业软件如同济大学启明星基坑软件、北京理正软件设计研究院的深基坑支护结构计算软件以及 PKPM 基础施工软件均可以完成基坑支护设计计算。一些研究者利用大型有限元计算软件(如:ABAQUS、ANSYS 等)对基坑的三维形状进行研究,在个别特深基坑中也得到了很好的应用。

1.4 基坑工程失稳形态

一般情况下,基坑支护工程是临时性工程,因此安全与经济的平衡是尤其重要的,不能为了安全而忽略经济,更不能为了经济而忽略安全。基坑工程一般位于城市中,地质条件和周边环境条件复杂,有各种建(构)筑物、道路、管线等,一旦失事就会造成生命和财产的重大损失。目前,我国基坑工程成功率低的问题异常突出,各大城市均有已建成基坑出现工程事故的例子,地质条件较好的地区(如北京)、地质条件差的地区(如上海、海口、惠州等)、浅基坑和深基坑都有,其结果造成巨大的经济损失,影响人民的正常生活。

基坑开挖时,随着土体应力的解除和地下水体发生渗流,将可能引起土体与支护结构的失稳。土体与支护结构的失稳主要表现为两种形态,其一是因基坑土体强度不足、地下水渗流作用造成的失稳,包括基坑整体失稳、基坑底土隆起失稳、突涌、管涌以及流土(砂)失稳等等;其二是因支护结构(包括支护桩、墙、锚杆、支撑等)的承载力、刚度

或稳定性不足引起的失稳，如支锚结构松弛失效或被拔出、桩墙底部向基坑内产生较大位移、桩墙弯曲或断裂等，见图 1.2。当支护结构与土体发生上述失稳现象时，必将引起支护结构侧移和地表沉降，引起临近建（构）筑物、道路、地下设施与管线的变形，严重的将产生灾难性的后果。

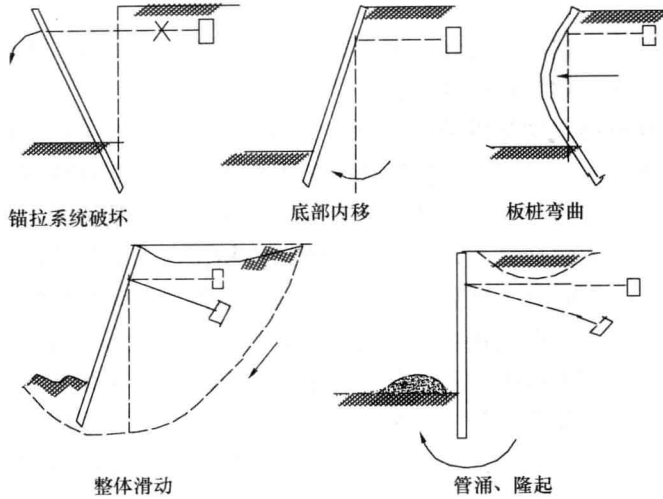


图 1.2 支护结构失稳示意图

1.5 基坑工程的特点

首先，基坑支护通常是作为临时性结构，与永久性结构相比安全储备较小，风险相对较大；其次，基坑工程与周边环境是一种相互影响和相互制约的关系，周边环境越复杂，对支护的要求就越高，同样，基坑规模越大，挖深越深，对周边环境的影响就越大；而且，基坑工程的每一个工况对支护结构具有不同的要求，支护设计应根据施工工况的要求进行；再有，支护设计计算理论因受到很多不确定因素的影响，至今还很不完善，理论计算结果和实测结果在大多数情况下是不吻合的。

当前，实际工程中存在一种过分依靠商业软件的现象，个别设计人员甚至就是“Garbage in, garbage out”，不注意参数的取用和设置是否合理，不考虑软件计算结果是否合理，盲目套用，这是一种非常不负责任的设计态度。在基坑支护工程的设计和施工过程中，要充分认识到基坑工程的上述特点，重视前期调查和勘察、设计、施工的实际情况，在正确概念的框架内和理论的指导下，充分利用已有工程成功的经验和动态监测取得的实测数据。为此，基坑支护工程的设计和施工应做到以下几点：

(1) 在勘察与调查的基础上，结合工程与水文地质条件、周边环境要求以及当地经验制订出经济合理的支护方案，提出支护结构的水平位移和周边环境变形控制标准；

(2) 根据工程勘察报告以及周边环境条件、施工要求，结合经验综合选取岩土计算参数和坑边荷载取值；

(3) 在分析支护结构受力和变形时，应充分考虑施工的每一阶段支护结构体系和外荷载的变化，同时要考虑施工工艺的变化，挖土次序和位置的变化，支撑和留土时间的变

化等；

(4) 在进行地下水控制设计时，对地下水类型、埋深、排泄和补给条件以及地层的渗透能力应有充分的认识，在必要时采取各类控制措施；

(5) 基坑应设计监测项目、期限和频率并提出各项目的报警值，在基坑实施过程中，设计方应密切和施工方联系，全面把握施工进展状况，根据监测成果实施动态优化设计，并及时处理施工中遇到的意外情况；

(6) 监测单位应根据设计要求制订完备的监测方案，监测人员对监测数据应及时分析，及时提交分析成果。一旦出现异常，应及时向设计、施工等方面反映，以便分析异常原因，及时提出解决方法；

(7) 基坑工程施工前，应对周边环境状况进行复核和调查取证。施工必须严格按照设计文件要求实施，需要变更施工工艺和施工顺序的，应经设计人员重新计算分析许可后方可进行变更。

思考与练习

- 1.1 建筑基坑是指什么？为什么说基坑支护是岩土工程的一个综合性难题？
- 1.2 基坑支护的目的是什么？支护结构有哪些类型？
- 1.3 基坑支护设计计算包括哪些内容和方法？
- 1.4 基坑支护结构失稳主要包括哪些内容？
- 1.5 基坑工程有哪些主要特点？

第2章 支护结构设计 with 勘察要求

2.1 概 述

早期, 基坑的开挖深度和范围均不大, 周边环境保护问题并不突出, 基坑工程的设计主要围绕支护结构的强度, 并保证基坑的稳定性, 即基坑的设计由强度控制。近年来, 基坑周边环境条件日益复杂, 常常有因基坑施工而引起建筑物或地下管线损坏, 但支护结构却并未破坏的现象, 为此, 基坑支护结构除应满足强度要求外, 还应满足基坑周边环境的变形控制要求; 有研究认为, 在软土地区变形控制往往还占据主导地位, 即设计已由传统的强度控制转变为变形控制。

基坑支护结构的功能是为地下结构的施工创造条件, 保证岩土开挖、地下结构施工的安全, 并保证基坑周边环境得到应有的保护而不受损害。为确保这些功能的实现, 基坑支护的设计, 应当在准确的工程勘察与环境调查的基础上, 根据建筑物地下室的形状和大小、场地的地质条件及具体的环境条件, 结合已有的成功经验, 因地制宜的选择合理有效的支护方案及地下水控制方案, 按强度和变形共同控制的原则, 对支护结构进行精心设计计算; 同时布置支护结构和周边环境的监测点, 提出各项监测要求的报警值, 随基坑开挖, 及时掌握支护结构桩、墙及其支撑系统的工作性能和状态, 了解影响区域内的建筑物、地下管线的变形及基坑降水和开挖过程中对其影响的程度, 在施工过程中对基坑安全性进行评价, 必要时对周边环境采取相关措施进行保护。

基坑工程的设计应具备以下资料:

- (1) 岩土工程勘察报告;
- (2) 建筑总平面图、用地红线图;
- (3) 建筑物地下结构设计资料, 以及桩基础或地基处理设计资料;
- (4) 基坑环境调查报告, 包括基坑周边建(构)筑物、地下管线、地下设施及地下交通工程等的相关资料。

本章主要了解极限状态及设计原则要求以及支护结构承载力、稳定和变形设计计算的原则性要求和基本规定。各类具体支护结构(如支挡式结构、土钉墙、重力式水泥土墙等)的设计以及地下水控制设计和基坑监测设计内容详见后续章节。

2.2 极限状态设计原则

按《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153—2008、《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 的规定, 建筑结构的设计应采用以分项系数表达的以概率理论为基础的极限状态设计方法。

2.2.1 极限状态设计方法

1. 工程结构的可靠性

在进行工程结构设计时，应力求在安全性、适用性与经济性之间达到合理的平衡，使其在规定的长期使用年限内满足下列功能要求：

- (1) 正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用；
- (2) 在设计规定的偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性；
- (3) 在正常使用时具有良好的工作性能；
- (4) 在正常维护下具有足够的耐久性能。

这四个功能要求的第(1)、(2)两项是工程结构的安全性，第(3)项是适用性，第(4)项是耐久性。工程结构的安全性、适用性、耐久性总称为工程结构的可靠性。

工程结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率，称为工程结构的可靠度。若在规定的时间内和在规定的条件下，结构不能完成预定功能，则称相应的概率为工程结构的失效概率。失效概率是评价结构可靠度的重要指标，是结构可靠度的核心。当失效概率小到人们可以接受的程度，就认为结构设计是可靠的，这就是概率极限状态设计的基本思路。

2. 极限状态

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求（安全性、适用性、耐久性），此特定状态为该功能的极限状态。极限状态有两种：

- (1) 承载能力极限状态：对应于结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形的状态；
- (2) 正常使用极限状态：对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态。

3. 极限状态设计方法

将结构或岩土置于极限状态进行分析的设计方法，就是极限状态设计方法，与之对应的方法，是容许应力法。极限状态设计方法有两种：

- (1) 单一安全系数法：使结构或地基的抗力标准值与作用标准值的效应之比不低于某一规定安全系数的设计方法；
- (2) 以分项系数表达的以概率理论为基础的极限状态设计方法，极限状态方程用概率法处理。

分项系数是指对设计中的每个随机变量，根据概率可靠度设计方法确定的一个设计系数。其实质是将总安全系数利用分离函数加以分离，并与可靠指标 β 联系起来，使其表达为分项系数的形式。因此，分项系数是按公式和统计参数计算得到的，与传统的经验值不同，具有概率的含义。

2.2.2 岩土工程极限状态设计要求和现状

由于岩土工程具有固有的复杂性以及存在土层剖面与边界的不确定性、现场与实验室岩土指标的不确定性、现场应力与孔隙水压力的不确定性、外加荷载及其分布的不确定性、计算理论和方法的不确定性、应力变形的机理的不确定性等因素，导致岩土工程的可靠度研究积累不足，分析方法相对不够成熟，普遍推行概率极限状态设计还存在困难。在目前情况下，岩土工程的设计实际上存在以下三种方法：

1. 容许应力法

如 GB 50007 中的地基承载力和单桩承载力均使用特征值描述，浅基础底面尺寸的设计以及承台下桩数都是以特征值计算确定的；在确定岩石锚杆、挡墙锚杆的抗拔承载力时，岩石与砂浆之间的粘结强度也采用特征值，因此计算确定的抗拔承载力也是特征值，上述特征值其本质就是容许值。

2. 单一安全系数法

以定值（安全系数或经验系数）法处理的极限状态设计方法，如《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008（以后简称 JGJ 94）中，单桩承载力的经验确定方法，是以桩侧极限摩阻力和桩端极限端阻力来计算桩的极限承载力标准值，再以该极限值除以安全系数 2 得到单桩承载力特征值；《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012（以后章节简称 JGJ 120）中，锚固体和土层之间的粘结强度采用极限强度标准值，但在与锚杆轴向拉力的比较中仍是按不同的支护结构安全等级采用不同的安全系数进行分析；在支护结构的各类稳定性分析中，GB 50007 和 JGJ 120 均是采用安全系数进行描述，只是两本规范中对安全系数的大小有不同的规定。

3. 以分项系数表达的以概率理论为基础的极限状态设计方法

岩土工程的所有结构构件的设计，已经基本和建筑上部结构的设计相协调。如：浅基础的内力计算与结构设计、桩和承台的内力计算与结构设计、挡土墙以及基坑支护桩、墙结构的内力计算与结构设计、锚杆材料强度和锚杆杆材与砂浆的粘结强度采用锚杆拉力设计值进行计算等。

2.2.3 支护结构极限状态设计

1. 支护结构的极限状态

依据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008 的规定并结合基坑工程自身的特殊性，支护结构的承载能力极限状态和正常使用极限状态的具体表现形式如下：

(1) 承载能力极限状态

- 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) 支护结构及土体整体滑动；
- 3) 坑底土体隆起而丧失稳定；
- 4) 对支挡式结构，坑底土体丧失嵌固能力而使支护结构推移或倾覆；
- 5) 对锚拉式支挡结构或土钉墙，土体丧失对锚杆或土钉的锚固能力；
- 6) 重力式水泥土墙整体倾覆或滑移；
- 7) 重力式水泥土墙、支挡式结构因其持力土层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) 正常使用极限状态

- 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) 因地下水位下移、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。

2. 支护结构极限状态设计方法

(1) 承载能力极限状态

由材料强度控制的结构构件的破坏类型采用极限状态设计法,作用效应采用作用基本组合的设计值,抗力采用结构构件的承载力设计值并考虑结构构件的重要性系数。涉及岩土稳定性的承载能力极限状态,采用单一安全系数法。分述如下:

1) 支护结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计,应符合下式要求:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (2-1)$$

式中 R_d ——结构构件的抗力设计值;

γ_0 ——支护结构重要性系数;对应支护结构的安全等级一级、二级、三级, γ_0 分别不应小于 1.1、1.0、0.9;

S_d ——作用基本组合的效应(轴力、弯矩等)设计值;对于临时性支护结构,作用基本组合的效应设计值应按下式确定:

$$S_d = \gamma_F S_k \quad (2-2)$$

γ_F ——作用基本组合的综合分项系数, $\gamma_F \geq 1.25$;

S_k ——作用标准组合的效应。

2) 整体滑动、坑底隆起失稳、挡土构件嵌固段推移、锚杆与土钉拔动、支护结构倾覆和滑移、土体渗透破坏等稳定性计算与验算,均应符合下式要求:

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \quad (2-3)$$

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 ——稳定性安全系数。各类稳定性安全系数的取值详见各章节。

上述承载能力极限状态设计中,支护结构的作用效应包括下列各项:

①土压力;

②静水压力、渗流压力;

③基坑开挖影响范围以内的建(构)筑物荷载、地面超载、施工荷载及邻近场地施工的影响;

④温度变化及冻胀对支护结构产生的内力和变形;

⑤临水支护结构尚应考虑波浪作用和水流退落时的渗流力;

⑥作为永久结构使用时建筑物的相关荷载作用;

⑦基坑周边主干道交通运输产生的荷载作用。

(2) 正常使用极限状态

由支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降等控制的正常使用极限状态设计,应符合下式要求:

$$S_d \leq C \quad (2-4)$$