

# 第一章 绪论

## 1.1 引言

随着经济的发展，城市化步伐的加快，为满足日益增长的市民出行、轨道交通换乘、商业、停车等功能的需要，在用地愈发紧张的密集城市中心，结合城市建设和改造开发大型地下空间已成为一种必然，诸如高层建筑多层地下室、地下铁道及地下车站、地下道路、地下停车库、地下街道、地下商场、地下医院、地下变电站、地下仓库、地下民防工事以及多种地下民用和工业设施等。地下空间开发规模越来越大，如上海市地下空间开发面积达10~30万平方米的地下综合体项目近年来多达几十个，基坑开挖面积一般可达2~6万平方米，如上海仲盛广场基坑开挖面积为5万平方米；天津市117大厦基坑面积为9.6万平方米，上海虹桥综合交通枢纽工程开挖面积达35万平方米等；基坑的深度也越来越深，一般基坑深度为16~25米以上，如天津津塔挖深23.5米，苏州东方之门最大挖深22米，而上海世博500kV地下变电站挖深34米，上海地铁四号线董家渡修复基坑则深达41米。这些深大基坑通常都位于密集城市中心，基坑工程周围密布着各种地下管线、各类建筑物、交通干道、地铁隧道等各种地下构筑物，施工场地紧张、工期紧、地质条件复杂、施工条件复杂、周边设施环境保护要求高。所有这些导致基坑工程的设计和施工的难度越来越大，重大恶性基坑事故不断发生，工程建设的安全生产形势越来越严峻。

在这种背景条件下，亟需一本内容全面的、综合的、权威的、使用方便的、能充分反映当前国内外的设计施工技术水平和经验的工具书，给基坑工程设计施工相关人员提供一个内容丰富、实用好用的基坑工程设计、施工和管理强有力的工具。

《基坑工程手册（第二版）》在《基坑工程手册（第一版）》的基础上，跟踪基坑工程国内外最新的进展，全部由来自设计施工第一线的经验丰富的设计施工专家重新撰写，系统地总结了国内外基坑工程的实践经验，全面地阐述了基坑工程地基本计算理论、设计方法、施工工艺、施工管理技术以及相关的信息，内容覆盖各种地质条件和全国各区域的设计施工方法，充分反映了国内外基坑工程设计和施工的水平和发展趋势，以满足基坑工程设计和施工的需要。

## 1.2 基坑工程的作用

基坑工程的最基本的作用是为了给地下工程敞开开挖创造条件。

从地表面开挖基坑的最简单办法是放坡大开挖，既经济又方便，在空旷地区优先采用，既可以是简单的不作任何处理的边坡，也可以是采用土钉、锚喷、地基加固等处理的边坡。但经常会由于场地的局限性，在基坑平面以外没有足够的空间安全放坡，人们不得不设计附加结构体系的开挖支护系统，以保证施工的顺利进行，这就形成了基坑工程中开挖和支护

系统两大工艺体系，前者为土力学中一个经典课题，后者是60年代以来各国岩土工程师和土力学家们面临的一个重要基础工程课题。

大多数基坑工程是由地面向下开挖的一个地下空间。基坑四周一般为垂直的挡土结构，挡土结构一般是在开挖面基底下有一定插入深度的桩、板、墙结构，常用材料为混凝土、钢筋混凝土、钢材等，可以是钢板桩，柱列式灌注桩、水泥土搅拌桩、地下连续墙等。根据基坑深度的不同，板墙可以是悬臂的，但更多的是单撑和多撑式的(单锚式或多锚式)结构，支撑的目的是为挡土结构提供支承点，以控制墙体的变形以及墙体的弯矩在该墙体断面的合理允许范围，以达到经济合理的工程要求。支撑的类型可以是基坑内部受压体系或基坑外部受拉体系，前者为直撑和/或斜撑组合的受压杆件体系，也有做成在中间留出较大空间的周边桁架式体系，后者为锚固端在基坑周围地层中的受拉锚杆体系，可提供易于地下结构施工的全部基坑面积大空间。

高层、超高层建筑物和城市地下空间的开发利用的发展促进了基坑工程的设计和施工的进步。基坑在早期一直是作为一种地下工程施工措施而存在，它是施工单位为了便于地下工程敞开开挖施工而采用的临时性的施工措施，正如果要浇捣钢筋混凝土构件必须要立模板一样。但随着基坑的开挖越来越深，面积越来越大，基坑围护结构的设计和施工越来越复杂，所需要的理论和技术越来越高，远远超越了作为施工辅助措施的范畴，施工单位没有足够的技术力量来解决复杂的基坑稳定、变形和环境保护问题，研究和设计单位的介入解决了基坑工程的理论计算和设计问题，由此逐步形成了一门独立的学科分支，基坑工程。

为了给地下工程的敞开开挖创造条件，基坑围护结构体系必须满足如下几个方面的要求：

- 1、 合适的施工空间。围护结构能起到挡土的作用，为地下工程的施工提供足够的作业场地；

- 2、 干燥的施工空间。采取降水、排水、截水等各种措施，保证地下工程施工的作业面在地下水位面以上，方便地下工程的施工作业。当然，也有少量的基坑工程为了基坑稳定的需要，土方开挖采用水下开挖，通过水下浇注混凝土底板封底，然后排水，创造干燥的工程作业条件；

- 3、 安全的施工空间。在地下工程施工期间，应确保基坑的本身安全和周边环境的安全。

基坑工程为地下工程的敞开施工提供作业场地的特点，决定了基坑围护结构的临时性，地下工程施工结束就意味着围护结构的使命结束。为了节省费用，人们尝试将基坑围护结构的部分或者全部作为主体结构的一部分，将围护结构做成地下室的外墙的一部分或全部，采用分离式、叠合式、融合式等方式与地下室外墙结合在一起或完全作为地下室的外墙。围护结构作为主体结构的一部分或全部，就改变了围护结构的临时性的特点，必须满足主体结构作为永久性结构的要求，要按永久性结构的要求处理，在强度、变形、防渗、耐久性等方面

的要求均要提高。

### 1.3 基坑工程的特点

#### 1、安全储备小、风险大

一般情况下，基坑工程作为临时性措施，基坑围护体系在设计计算时有些荷载，如地震荷载不加考虑，相对于永久性结构而言，在强度、变形、防渗、耐久性等方面的要求较低一些，安全储备要求可小一些，加上建设方对基坑工程认识上的偏差，为降低工程费用，对设计提出一些不合理的要求，实际的安全储备可能会更小一些。因此，基坑工程具有较大的风险性，必须要有合理的应对措施。

#### 2、制约因素多

基坑工程与自然条件的关系较为密切，设计施工中必须全面考虑气象、工程地质及水文地质条件及其在施工中的变化，充分了解工程所处的工程地质及水文地质、周围环境与基坑开挖的关系及相互影响。基坑工程作为一种岩土工程，受到工程地质和水文地质条件的影响很大，区域性强。我国幅员辽阔，地质条件变化很大，有软土、砂性土、砾石土、黄土、膨胀土、红土、风化土、岩石等，不同地层中的基坑工程所采用的围护结构体系差异很大，即使是在同一个城市，不同的区域也有差异，因此，围护结构体系的设计、基坑的施工均要根据具体的地质条件因地制宜，不同地区的经验可以参考借鉴，但不可照搬照抄。

另外，基坑工程围护结构体系除受地质条件制约以外，还要受到相邻的建筑物、地下构筑物 and 地下管线等的影响，周边环境的容许变形量、重要性等也会成为基坑工程设计和施工的制约因素，甚至成为基坑工程成败的关键，因此，基坑工程的设计和施工应根据基本的原理和规律灵活应用，不能简单引用。基坑支护开挖所提供的空间是为主体结构的地下室施工所用，因此任何基坑设计，在满足基坑安全及周围环境保护的前提下，要合理地满足施工的易操作性和工期要求。

#### 3、计算理论不完善

基坑工程作为地下工程，所处的地质条件复杂，影响因素众多，人们对岩土力学性质的了解还不深入，很多设计计算理论，如岩土压力、岩土的本构关系等，还不完善，还是一门发展中的学科。

作用在基坑围护结构上的土压力不仅与位移等大小、方向有关，还与时间有关。目前，土压力理论还很不完善，实际设计计算中往往采用经验取值，或者按照朗肯土压力理论或库仑土压力理论计算，然后再根据经验进行修正。在考虑地下水对土压力的影响时，是采用水土压力合算还是分算更符合实际情况，在学术界和工程界认识还不一致，各地制定的技术规程或规范中的规定也不尽相同。至于时间对土压力的影响，即考虑土体的蠕变性，目前在实际应用中较少顾及。

实践发现，基坑工程具有明显的时空效应，基坑的深度和平面形状对基坑围护体系的稳定性和变形有较大的影响，土体所具有的流变性对作用于围护结构上的土压力、土坡的稳定性和围护结构变形等有很大的影响。这种规律尽管已被初步的认识和利用，形成了一种新的设计和施工方法（参见本手册第十九章），但离完善还是有较大的差距。

岩土的本构模型目前已多得数以百计，但真正能获得实际应用的模型寥寥无几，即使是获得了实际应用，但和实际情况还是有较大的差距。

基坑工程的设计计算理论的不完善，直接导致了工程中的许多不确定性，因此要和监测、监控相配合，更要有相应的应急措施。

#### 4、综合性知识经验要求高

基坑工程的设计和施工不仅需要岩土工程方面的知识，也需要结构工程方面的知识。同时，基坑工程中设计和施工是密不可分的，设计计算的工况必须和施工实际的工况一致才能确保设计的可靠性。所有设计人员必须了解施工，施工人员必须了解设计。设计计算理论的不完善和施工中的不确定因素会增加基坑工程失效的风险，所以，需要设计施工人员具有丰富的现场实践经验。

从事基坑工程的设计施工人员需要具备及综合运用以下各方面知识：

##### （1）岩土工程知识和经验

按工程需要提出勘察任务并能对地质勘探报告提供的描述和各类参数进行研究、分析以合理选用参数进行支护结构的土压力计算，对基坑开挖带来的环境影响进行较为精确的预估，以及对地质条件变化带来的问题做出正确的判断和处理。

##### （2）建筑结构和力学知识

能够了解主体结构的设计要求、掌握其与基坑围护结构的相互关系、处理好临时围护结构与永久性主体结构的相互关系，以及围护结构和支撑作永久性结构的技术问题。熟练应用钢筋混凝土结构和钢结构的设计理论和方法，设计各类支撑体系。

##### （3）施工经验

熟悉各种地基加固、防水、降水等特种工艺的施工方法、施工流程及相关设备的选择，能够对各种支护方案进行质量、工期、造价的对比。

##### （4）工程所在地的施工条件和经验

为根据各地区地质、环境、施工条件的特点因地制宜选择合理的设计施工方案，在支护结构设计计算时，要充分吸取当地施工技术以及工程成功和失败的经验。

#### 5、环境效应要考虑

基坑开挖必将引起基坑周围地基中地下水位的变化和应力场的改变，导致周围地基中土体的变形，对临近基坑的建筑物、地下构筑物 and 地下管线等产生影响，影响严重的将危及相邻建筑物、地下构筑物和地下管线的安全和正常使用，必须引起足够的重视。另外，基坑工程施工产生的噪音、粉尘、废弃的泥浆、渣土等也会对周围环境产生影响，大量的土方运输

也会对交通产生影响，因此，必须考虑基坑工程的环境效应。

## 1.4 基本技术要求

### 1.4.1 设计的基本技术要求

#### 1、安全可靠

基坑工程的作用是为地下工程的敞开开挖施工创造条件，首先必须确保基坑工程本体的安全，为地下结构的施工提供安全的施工空间；其次，基坑施工必然会产生变形，可能会影响周边的建筑物、地下构筑物 and 管线的正常使用，甚至会危机周边环境的安全，所以基坑工程施工必须要确保周围环境的安全。

#### 2、经济合理

基坑围护结构体系作为一种临时性结构，在地下结构施工完成后即完成使命，因此在确保基坑本体安全和周边环境安全的前提条件下，尽可能降低工程费用，要从工期、材料、设备、人工以及环境保护等多方面综合研究经济合理性。

#### 3、技术可行

基坑围护结构设计不仅要符合基本的力学原理，而且要能够经济、便利的实施，如设计方案是否与施工机械相匹配（如地下连续墙的分幅宽度是否与成槽设备的宽度相匹配）？如施工机械是否具有足够施工能力（如地下连续墙成槽机械的成槽深度、搅拌桩施工机械的有效施工深度）？费用是否经济？支撑是否可以租赁？等等。

#### 4、施工便利

基坑的作用既然是为地下结构的提供施工空间，就必须在安全可靠、经济合理的原则下，最大限度地满足便利施工的要求，尽可能采用合理的围护结构方案减少对施工的影响，保证施工工期（如在由塔楼和裙房组成的建筑物群的基坑工程设计中，采用边桁架方式在塔楼处营造较大的施工空间，便于控制总工期的塔楼快速出地面，减少总工期）。

### 1.4.2 施工的基本技术要求

#### 1、环境保护

基坑开挖卸载带来地层的沉降和水平位移会给周围建筑物、构筑物、道路、管线及地下设施带来影响。因此，在基坑围护结构、支撑及开挖施工设计时，必须对周围环境进行周密调查，采取措施将基坑施工对周围环境的影响限制在允许范围内。

#### 2、风险管理

在地下结构施工的过程中，均存在着各种风险，必须在施工前进行风险界定、风险辨识、风险分析、风险评价，对各种等级的风险分别采取风险消除、风险降低、风险转移和风险自留的处置方式解决。在施工中进行动态风险评估，动态跟踪，动态处理。

#### 3、安全控制

在施工过程中，可以采用安全监控手段、安全管理体系、应急处置措施来确保基坑工程的安全，为地下结构的施工创造一个安全的施工环境，减少工程事故。

#### 4、工期保证

采用合理的施工组织设计，提高施工效率，协调与主体结构的施工关系，满足主体结构施工工期要求。

## 1.5 基坑工程设计

### 1.5.1 设计依据

基坑工程设计依据包括工程所处地质条件、周围环境、施工条件、设计规范、主体建筑地下结构的设计图纸、各种相关的规划文件、批复文件等，设计前期应全面掌握。

#### 1、工程地质及水文地质资料

调查基坑所处地层的工程地质及水文地质条件以作为确定支护方法、开挖方法、降水方法及地基加固方法等设计的基本依据。基坑工程的工程地质和水文地质勘察与主体工程设计阶段勘察有一定的区别，应根据基坑工程设计的需要对勘察提出针对性的要求。

勘探范围应根据基坑开挖范围和深度以及场地工程地质条件确定。勘察点应布置在开挖边界外相当于 1~2 倍开挖深度范围内，对于软黏土地层应适当加大；勘探深度应满足围护结构稳定性评价和支护设计要求，一般不少于 2 倍基坑开挖深度，一般在软土地层中要求达到开挖深度的 2~3 倍，在深大基坑工程中按预测基坑周围下卧地层土体位移的需要确定勘探孔深度。当基坑底接近中等风化或微风化岩石时，可按岩石类别及支护结构特点适当减小深度。

调查基坑所处地层的地质构成、土层分类、土的参数、地层描述、地质剖面图以及必要数量的勘探点地质柱状图。地质剖面图要根据足够的勘探点地质柱状图绘出，以保证可靠性，不能以点位距工程位置过远或间距过大的钻孔和不充分的地质资料绘制出带有部分遗漏或虚假性的地质剖面图，以免导致施工措施的失误，而引起大幅度甚至灾害性的地层移动。特别对靠近建筑及设施的基坑边缘尤应仔细勘察。

针对软土基坑工程中的特殊要求增加特殊的土工试验，如为预测软土层深基坑施工中的坑底回弹再压缩量、基坑抗隆起的土体稳定性以及基坑围护墙体内侧土体的弹性抗力，就需要测试坑底处或设计深度处的土体压缩模量、回弹模量、回弹再压缩曲线、基床系数以及不排水抗剪强度等。对特殊的不良地层要查明其膨胀性、湿陷性、触变性、冻胀性、液化等不良特性参数。对场地内的岩溶地下洞穴要采用物探等方法查清。

必须查清基坑处的水文地质条件，包括地下各层含水层(包括上层滞水)的地下水位的高度及升降变化规律；地下各层土层中水的补给和动态变化及其与附近大小水体的连通情况，土层中水的竖向和水平向渗透系数；潜水、承压水的水压及地下贮水层的水流速度、流向；

特别要注意可能导致基坑失稳的流砂和水土流失问题。

## 2、地下障碍物和环境调查

基坑开挖前必须对基坑围护墙外周边以内地层中的地下障碍物进行勘探调查以及周边环境进行调查，以便采取必要的措施。

地下障碍物调查的内容包括：是否存在旧的建筑物的基础和桩基；是否存在废弃的地下室、人防工程、废井、废管道；是否存在工业和建筑垃圾；是否存在有木桩和块石驳岸的暗浜、暗流及其埋深、范围、走向等。

环境调查的内容包括：基坑周围邻近建筑物的状况；周围管线状况；地下构筑物及设施（人防、共同沟、地铁隧道、公路隧道、地铁车站、地下车库、地下商场、地下通道、地下油池等）的建筑结构平面及剖面资料、基础形式与基坑相对位置；周围道路状况；邻近地区对地面沉降很敏感的建筑设施资料和要求。

## 3、工程的施工条件

基坑现场的施工条件也是重要的基坑工程设计依据，主要有以下几个方面：

(1) 根据施工现场所处地段的交通、行政、商业及特殊情况，了解是否允许在整个施工期间进行全封闭施工或阶段性封闭施工，如工地处于交通要道处等，政府部门给予场地的封闭时间是有限的、阶段性的，则基坑开挖施工必须采用逆筑法、部分逆筑或分区施工，以满足交通要求。

(2) 了解所处地段是否对基坑围护结构及开挖支撑施工的噪音和振动有限制。以决定是否可采用锤击式打入桩及爆破方式进行围护桩施工和支撑拆除。

(3) 了解所处地段基坑开挖施工是否有场地可供钢筋制作、施工设备停放、施工车辆进出及布置车道和土方材料堆场。如场地不能满足常规的基坑施工要求，则必须采用分区开挖逆筑法施工。

(4) 了解当地的常规施工方法和施工单位的施工设备、施工技术，在安全可靠经济合理的前提下，因地制宜确定设计方案，使设计能与当地的施工方法、设备技术相适应。

## 4、有关的设计规范

基坑支护设计必须依据国家及地区现行有关的设计、施工技术规范、规程。如各种国家、行业和地区的基坑工程设计规范，地下连续墙、钻孔灌注桩、搅拌桩等围护结构设计施工技术规程、规范，钢筋混凝土结构、钢结构等设计规范等等。因此设计前必须调研和汇总有关规范和规程并注意各类规范的统一和协调。

## 5、本地经验

调研和吸取当地相似基坑工程的成功与失败的原因、经验和教训。在基坑工程设计中应以此为重要设计依据。特别在进行异地设计、施工时，更须注意。

### 1.5.2 计算理论

实践表明,基坑工程这个历来被认为是实践性很强的岩土工程问题,发展至今天,已迫切需要理论来指导、充实和完善。基坑的稳定性、支护结构的内力和变形以及周围地层的位移对周围建筑物和地下管线等的影响及保护的计算分析,目前尚不能准确地得出比较符合实际情况的结果,但是,有关地基的稳定及变形的理论,对解决这类实际工程问题仍然有非常重要的指导意义,故目前在工程实践中采用理论导向、量测定量和经验判断三者相结合的方法,对基坑施工及周围环境保护问题作出较合理的技术决策和现场的应变决定;在理论上,经典的土力学已不能满足基坑工程的要求,考虑应力路径的作用,土的各向异性,土的流变性、土的扰动、土与支护结构的共同作用等的计算理论以及有限单元法和系统工程等科学的研究日益引起基坑工程专家们的重视,本手册从土的工程性质、土压力、基坑稳定性、挡土结构内力分析、基坑变形估算、地下水渗流分析等方面较详细地介绍了这些理论的国内外最新进展及其应用,用以指导基坑工程的设计和施工。

### 1.5.3 设计内容

基坑工程的设计在设计依据的收集和整理的基础上,根据设计计算理论,提出围护结构、支撑/锚杆结构、地基加固、基坑开挖方式、开挖支撑施工、施工监控以及施工场地总平面布置等各项设计。

在设计中建议考虑如下几个方面的问题:

(1) 按主体工程地下室所处场地的工程地质及水文地质和周围环境条件,考虑的基坑工程设计中的对策是否全面、合理;

(2) 对主体工程地下室的建造层数,开挖深度,基坑面积及形状,施工方法、造价、工期与主体工程和上部工程造价、工期等主要经济指标进行综合分析,以评价基坑工程技术方案的经济合理性;

(3) 研究基坑工程的围护结构是否可以兼作主体工程的部分永久结构,对其技术经济效果进行评估;

(4) 研究基坑工程的开挖方式的可靠性和合理性;

(5) 对大型主体工程及其基坑工程施工的分期和前后期工程施工进度安排及相邻影响进行技术经济分析,以通过分析对比提出适应于分期施工的总体方案。

(5) 考虑基坑工程与主体工程之间友好协调,使临时性的基坑工程与主体工程的结合更加合理,更加经济;可以考虑部分工程桩兼作立柱桩,地下主体工程施工时、支撑如何换撑,基坑支护结构与主体工程结构的结合方式,围护结构如何适应地下主体结构施工的浇筑方式(逆筑或顺筑)、以及如何处理支模、防水等工序的配合要求等等。

### 1.5.4 设计管理

早期基坑工程设计基本处于无序化管理,各种基坑工程事故层出不穷;现在,国家和地方政府加强了对重要设计依据岩土工程勘察以及基坑工程设计的管理,很多城市已出台了基坑工程设计审查的管理办法,对基坑工程设计的安全性、经济性、环保性进行严格审查和管

理,设计单位必须具有国家颁发的设计资质,各项具体技术标准依据和检验方法必须符合国家及各地区建筑行业管理部门的有关建筑法规、法令和技术规范、规程。基坑工程因为设计原因导致的事故已大大减少。严格的设计管理是确保基坑工程安全和环境安全的重要保障。

### 1.5.5 设计和施工的配合

基坑工程的设计广义上讲应包括勘察、支护结构设计、施工、监测和周围环境的保护等几个方面的内容,比其它基础工程更突出的特殊性是其设计和施工完全是相互依赖,密不可分的,施工的每一个阶段,结构体系和外面荷载都在变化,而且施工工艺的变化,挖土次序和位置的变化,支撑和留土时间的变化等,都非常复杂,且都对最后的结果有直接影响,绝非最后设计计算简图所能单独决定的。目前的设计理论尚不完善,对设计参数的选取还需改进,还不能事先完全考虑诸多复杂因素,在基坑工程施工中处理不当时可能会出现一些意外的情况,但只要设计、施工人员重视,并密切配合加强监测分析,及时发现和解决问题,及时总结经验,基坑工程的难题会得到有效处理,因此,基坑工程的设计中必须考虑施工中每一个工况的数据,而基坑工程的施工中须完全遵照设计文件的要求去做,只有这样,工程才会圆满完成,也只有这样,设计理论和施工技术才会获得快速发展。

## 1.6 基坑工程施工

基坑工程根据其施工、开挖方法可分为无支护开挖与有支护开挖方法。

无支护放坡基坑开挖是在施工场地处于空旷环境的一种普遍常用的基坑开挖方法,一般包括以下内容:降水工程、土方开挖、地基加固及土坡护面。

有支护的基坑工程一般包括以下内容:围护结构、支撑/锚杆体系、土方开挖(工艺及设施)、降水工程、地基加固、监测、环境保护、安全风险管埋。

在基坑工程施工中,尤其需要注意基坑周围环境保护和施工安全风险管埋方面的问题。

### 1.6.1 环境保护

城市基坑工程通常处于建筑物、重要地下构筑物和生命线工程的密集地区,为了保护这些已建建筑物和构筑物的正常使用和安全运营,需要严格控制基坑工程施工产生的位移以及位移传递在周边环境安全或正常使用的范围之内,变形控制和环境保护往往成为基坑工程成败的关键,变形在控制设计限值方面往往起着主导作用。现在基坑工程的设计已逐步从强度控制设计向变形控制设计过渡,当然,还有很多难度等待去解决。

基坑工程的变形和对环境的影响主要由围护结构的刚度、支撑或锚杆的刚度、基坑内土体的刚度来控制的。为了满足变形要求可以增加支护结构的刚度,如增加围护结构和支撑/锚杆的尺寸、改变材质、加密支撑/锚杆等,但有时更经济有效的办法是在基坑底部进行地基处理,用搅拌桩、旋喷桩、注浆等地基加固措施改善土体刚度和强度等性质。在上海淤泥

质夹薄层砂的粘土中降水措施也是一种经济合理的地基加固方法,当然也是一种有效的控制变形方法。

近年来大量的基坑工程施工实践发现,采用合理的施工组织设计,控制基坑内土体开挖的空间位置、开挖次序、开挖土体的分块大小以及控制支撑或锚杆安装的时间可以有效地控制基坑变形的大小,刘建航、刘国彬等人提出了时空效应的概念,考虑土体流变和结构安装时间因素和土体开挖工序的地层空间因素的耦合作用,研究了其机理,并且采用理论导向、量测定量、经验判断,精心施工的原则,总结出了一套考虑时空效应的设计和施工方法(参见本手册第十九章),得到一系列施工参数,用以指导现场施工,取得了较好的控制变形的效果。

基坑周围的环境保护可以从位移源头控制、位移的传递途径和保护对象三方面着手。位移源头的控制包括:支护结构刚度加强、优化支撑位置、基坑内加固、时空效应法、被动区压力控制注浆、信息化施工控制等方法;位移的传递途径的控制包括:隔断桩(墙)、循踪补偿注浆、主动区压力控制注浆等方法;保护对象的控制包括:地下管线的跟踪注浆、建筑物纠偏、建筑物地基加固、结构补强、基础托换、水平注浆等方法。

### 1.6.2 安全风险管理的

在工程建设中所发生的重大事故,以地下工程居多,地下工程事故中又主要是基坑工程相关的事故。基坑工程由于其固有的特性加上人们认识上存在的偏差,使得其事故发生率居高不下。

从技术的角度来看,一个基坑工程事故的诱发因素有很多,如工程地质勘察有误或失真、设计失误或漏项、执行的规范或设计存在问题、工程施工方案有误、施工设备故障、人员决策或操作失误、施工质量不能满足标准要求、施工工期延误、认识水平或科技水平不足、自然灾害等。可以分为施工前留下的隐患和施工中产生的隐患,也可以称为施工前和施工中的风险;

从工程事故统计的角度来看,经过深入地研究和探索,并受到航空领域的事故研究成果的启发,发现基坑工程领域的事故也具有和航空领域事故同样的规律,即符合海恩法则。按照国际航空领域事故遵循的“海恩法则”,即一起重大的飞行安全事故背后至少有 29 起事故征兆和 300 起事故苗头等。在这一点上,事故有了一个共同的特点,一个事故可能是众多事故苗头中一个或多个事故苗头发展起来的,绝大多数事故是由小小的安全隐患引发的。任何一个微小的漏洞或者安全隐患都有可能引发严重的事故。

根据对基坑工程安全风险特性的深入研究,逐步形成如下安全风险管理思路:对施工前各个阶段进行详细的风险评估,对评估出的风险进行处置(消除、降低、转移、自留),规避施工前各个阶段产生的风险;在施工中,对施工前自留的风险和施工中新产生的风险进行动态风险评估和跟踪,采用一系列的安全管理措施,将事故隐患消灭在萌芽状态,将事故发生的概率降到最低。

根据基坑工程安全风险管理体系思路,建立起主动控制和被动控制相结合的环环相扣的多重防御体系。将施工前的风险管理和施工中的动态风险评估和安全管控结合起来,形成一整套基坑工程安全管理体系,在这个系统中,环环相扣,互相依存,缺一不可,缺一个环节,增一份风险。

长期的工程实践证明,绝大多数事故是由小小的安全隐患引发的。任何一个微小的漏洞或者安全隐患都有可能引发严重的事故。需要多管齐下,不留短板。

## 1.7 手册的使用

### 1.7.1 手册的编写原则

《基坑工程手册》(第一版)是在我国的基坑工程刚刚起步,还没有形成完整基坑工程设计施工体系的条件下编写的,多数现在使用的基坑规范尚未出台,设计理论和施工方法还在摸索过程中,实践经验积累较少,且以软土地区的基坑工程总结为主,从现在的眼光看并不完美。但是,《基坑工程手册》(第一版)是在我国第一次全面总结当时的国内外基坑工程设计和施工经验,充分地反映了当时的基坑工程设计施工水平和发展趋势,在当时是一本最全面的最系统的基坑工程设计施工方面工具书,成为基坑工程设计和施工人员的重要参考书,产生了很大的影响,成为基坑工程设计施工方面的经典著作,社会反响很好。

十几年以来,基坑工程设计、施工、管理等方面获得了长足的发展,基坑工程数量多、规模大、难度高、深度大、环境复杂,基坑工程设计施工人员和研究人员积累了丰富的经验,设计理论、施工方法和管理体系逐步完善,产生了许多新理论、新工艺、新工法,《基坑工程手册》(第一版)已跟不上基坑工程发展的步伐,跟不上规范的进步,跟不上工程技术人员对全面总结十几年来基坑工程方面积累的经验的渴求、对全面了解基坑工程国内外最新发展水平的需要,因此,全面改版《基坑工程手册》(第一版)的需求越来越迫切。

《基坑工程手册》(第二版)在《基坑工程手册》(第一版)的基础上,邀请众多在基坑工程设计、施工、研究、管理第一线的专家编写,绝大多数内容重新改写,力求做到:

实用性。真正实用,成为设计施工技术人员的好帮手、好工具,能快速上手;增加大量的基坑工程案例,更加突出手册的实用性,使第二版手册面向一线的科研与工程技术人员,利于解决设计和施工中的实际问题;

完整性。涵盖基坑工程的基本计算理论、设计方法、施工工艺、监测方法及其它相关信息;

全面性。基本上能满足从事基坑工程设计施工相关人员全面需要,继承原手册的框架体系,吸收原手册的精华和优点,对基坑工程领域在理论、设计、施工、监测、检测、工程应用实例等方面的内容作全方位的展示;

新颖性。反映最新的技术进步,反映最新的发展,吸收国内外最新研究成果,总结经验

教训，反映发展趋势，大幅度增加近十几年来基坑工程领域涌现的成熟应用成果；

便利性。使用方便，能快速找到所需要的信息；

覆盖广。从地域上覆盖全国，含港台地区；从地质条件上，基本上可以覆盖到可能遇到的各种地质条件，如软土、砂性土、一般土、特殊土、岩石等。

### 1.7.2 手册的主要内容及关系

《基坑工程手册》（第二版）（以下简称《手册》）共34章，由绪论、总体方案设计、设计计算理论、设计施工方法、辅助工法、相关技术和区域工程进展等七部分构成。

第一章绪论作为《手册》的主线，将全书有机地串连起来，说明全书的主旨、框架、主要内容和要点；第二章总体方案设计从基坑工程方案设计的角度阐述了基坑工程设计和施工所涉及到的主要内容，基本上体现了基坑工程的全貌；第三章至第八章为《手册》的理论部分，系统地阐述了土的工程性质、土压力、基坑的稳定性、挡土结构的内力、基坑的变形、地下水渗流的分析方法和计算原理，是基坑工程设计施工的理论基础；第九章至第十九章主要介绍各种围护结构的设计施工方法；第二十章至第二十四章介绍基坑工程辅助工法；第二十五章至第三十二章介绍了基坑工程的相关技术；最后两章介绍了香港和台湾地区的基坑工程进展情况。

《手册》的章节划分较细，便于对每个专题进行详细而系统地论述，但实际设计和施工中，各章是密切联系、相互依赖的，《手册》以第一章绪论为主线，以第二章总体方案设计为基础，贯穿全书。

### 1.7.3 手册的使用方法

基坑工程是一门综合性很强的学科，设计施工较复杂，涉及到的内容很多，很多内容是相互关联、相互交叉的，《手册》为了清晰、详细、系统地阐述每一个专题，人为地将相互关联的内容切割开来。在实际使用《手册》的过程中，应以第二章总体方案设计为基础，将各个相关的内容有机地串连在一起。

根据前面基坑工程特点的介绍，基坑工程的设计和施工与工程地质条件、环境条件、工程条件、地区经验等密切相关，设计计算理论还不完善，各种工程场地的地质条件、环境条件和各种制约条件千差万别，在每个深基坑工程设计施工的具体技术方案制订中，必须因地制宜，切不可生搬硬套。《手册》中工程实例、提供的技术参数也是在特定的地质条件、环境条件和各种各样的制约因素的限制下产生的，必须在完全清楚应用条件后才具有参考价值，切不可盲目模仿。