

第2章 基坑工程总体方案设计

2.1 概述

自二十世纪末以来,我国各大、中城市一直处于房地产投资与市政基础设施建设的热潮之中,高层建筑地下室、地下停车场、地铁车站、地下变电站、大型排水及污水处理系统等地下建(构)筑物的开发使得基坑工程的规模和技术难度不断增加。为了满足各种不同类型工程在安全性、环境保护、工期与经济等方面的具体要求,基坑工程技术在**总体设计**、围护结构型式、**施工水平**、监测方法与检测手段等各方面都取得了一定的发展与进步。其中,基坑工程的总体方案设计作为实现工程技术经济性至关重要的一环,值得工程技术人员乃至投资方密切关注。本章主要介绍基坑工程总体方案的设计**原则**以及各种基坑**围护结构**、**支撑与锚杆体系**、**基坑加固**、**地下水控制**、**基坑开挖与基坑监测**的有关特点、**适用条件**及**如何选用**等内容。

在开展基坑工程的总体方案设计时,应首先对**基坑**工程在安全性、周边环境保护以及技术经济方面的要求进行充分研究,同时,基坑支护结构方案设计也应利于节约资源、符合可持续发展的要求,实现综合的**经济**和社会效益。

2.1.1 安全性要求

深基坑工程涉及到岩土工程、结构力学、工程结构、工程地质和施工技术等专业知识,是一项综合性很强的**学科**。由于影响基坑工程的不确定性因素众多,**基坑**工程又是一项风险性很大的工程,稍有不慎就**可能**酿成巨大的工程事故。因此,确保基坑工程的安全是总体方案设计的首要目标。应结合工程当地的施工经验与技术能力**进行**具体分析,选择成熟、可靠的总体设计方案;**设计时确保满足规范与工程对支护结构的承载能力、稳定性与变形计算(验算)的要求;并对施工工艺、挖土、降水等各环节进行充分的研究和论证,选择工程当地成熟、可靠的施工方案,降低基坑工程的风险。**

2.1.2 环境保护要求

我国大型基坑工程主要集中于沿海、沿江经济发达地区,工程场地周边一般都分布有建(构)筑物、地下管线、市政道路等环境保护对象。当基坑邻近轨道交通设施、保护建筑、共同管沟等敏感而重要的保护对象时,**环境保护要求更为严格。当基坑周边存在环境保护对象时,要在充分了解环境保护对象的保护要求与变形控制要求的基础上,使基坑的变形能满足环境保护对象的变形控制要求,必要时在基坑内、外采取适当的加固与加强措施,减小坑支护结构的变形。**

2.1.3 技术经济性要求

基坑工程多采用临时性的支护结构,在确保基坑工程安全性与变形控制要求的前提下,尽可能**地**降低基坑工程造价,**是设计人员必须关注的重要问题**。不同的基坑工程总体方案对工程工期**会有较大**的影响,对项目开发所产生的**经济性**差异也不容忽视。对于某些项目,**不同设计方案引起工期变化对于项目开发的经济性影响甚至会超过方案的直接工程量差异。**

基坑工程总体方案设计**应采取合理、有效的支护结构型式与技术措施以控制工程造价和实现工期目标**,必要时,对于技术上均可行的多个设计方案,应从工程量、工期、**对主体建筑**的影响等各角度进行定性、定量的分析和**对比**,以确定最适合的方案。**在工程量方面,一般应综合比较支护结构的工程费用、土方开挖、降水与监测等工程费用以及施工技术措施费;在工期方面,应比较工期的长短及由其带来的经济性差异;基坑设计方案对主体建筑的影响方面,主要考虑不同基坑围护结构占地要求而影响主体结构建筑面积,以及对主体结构的防水、承载能力等方面的影响。**

2.1.4 可持续发展要求

基坑工程属于**能耗高、污染较大**的行业：基坑**支护**结构需要大量的水泥、**砂、石子、钢材**等；工程实施过程中会产生渣土、泥浆、噪音等污染；混凝土**支撑**拆除后将形成大量的建筑垃圾；基坑降水会消耗地下水资源并造成地面沉降等不良后果；基坑**支护**结构、加固体留在土体内部，**将来可能**形成难以清除的地下障碍物。因此，在基坑工程的**方案**设计中，**应考虑到基坑工程的可持续发展，尽量采取措施节约社会资源，降低能耗。可采取的技术措施包括围护结构不得出红线、减小支护结构工程量、尽量采用可重复利用的材料（如钢支撑、SMW 工法围护等）、废泥浆的利用、在可能的情况下采用支护结构与主体结构相结合的方案等，以减少工程开发对社会的不利影响和对环境的破坏。**

2.2 设计条件

基坑工程总体方案应根据工程地质与水文地质条件、环境条件、施工条件以及基坑使用要求与基坑规模等设计条件，通过技术与经济**性**比较确定。

2.2.1 工程地质与水文地质条件

基坑支护结构的设计、施工，首先要阅读和分析岩土工程地质勘察报告，了解土层分布情况及其物理、力学性质、水文地质情况等，以便选择合适的支护结构体系和进行设计计算。

工程地质与水文地质条件是进行基坑支护结构**设计、坑内**地基加固设计、降水设计、土方开挖等的依据。基坑工程的岩土勘察一般并不单独进行，而是与主体工程的地基勘察同步进行，因此勘察方案及勘察工作量应根据主体工程和基坑工程的设计与施工要求统一制定。在进行基坑工程的岩土勘察前，委托方应提供基本的工程资料和设计对勘察的技术要求、建设场地及周边的地下管线和设施资料、以及可能采用的**支护**方式、施工工艺要求等。

1. 工程地质勘察要求

基坑工程勘察要求勘探点一般沿基坑周边布置，基坑主要的转角处应当设置控制性勘探孔，同时基坑内部也需要设置勘探孔。勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的 2~3 倍。视土层的均匀**程度**、工程的规模等情况，基坑工程相邻勘探孔的间距一般在 20m~50m。当相邻勘探孔揭露的地层变化较大并影响到基坑设计或施工方案选择时，可以进一步加密勘探孔，但相邻勘探孔间距也不宜小于 10m。

勘探孔深度应根据场地地质条件确定，一般可取基坑开挖深度的 2.0~2.5 倍，当基底以下为密实的砂层、卵石层或基岩时，勘察孔的深度可视具体情况减小，但均应满足不同基础类型、施工工艺及基坑稳定性验算对孔深的要求。

场地浅层土的性质对围护体的成孔施工有较大的影响，因此应予详细查明。可在沿基坑周边布置小螺纹钻孔，孔间距可为 10m~15m。发现暗浜及厚度较大的杂填土等不良地质现象时，可加密孔距，控制其边界的孔距宜为 2m~3m，场地条件许可时宜将探摸范围适当外延，探摸深度应进入正常土层不少于 0.5m。当场地地表下存在障碍物而无法按要求完成浅层勘察时，可在施工清障后进行施工勘察。

工程地质勘察应为设计、施工提供符合实际情况的土性指标，为此试验项目及方法选择，应有明确的目的性和针对性，强调与工程实际的一致性。一般基坑工程设计和施工所需提供的勘探资料和土工参数如**表 2-1** 所示。

2. 水文地质勘察要求

勘察应提供场地内滞水、潜水、裂隙水以及承压水等的有关参数，包括埋藏条件、地下水位、土层的渗流特性及产生管涌、流砂的可能性。

当地下水有可能与邻近地表水体沟通时，应查明其补给条件、水位变化规律。当基坑坑底以下有承压水时，应测量其水头高度和含水层界面。对于开挖过程中需要进行降压降水的基坑

工程，为了解和控制承压水降压降水可能引起的坑外土体沉降，应开展必要的承压水抽水试验工作。当地下水有腐蚀性时，应查明其污染源和地下水流向。

表 2-1 基坑工程设计和施工所提供的勘探资料和土工参数

类别	参数	类别	参数
土层特性	标高	力学性质	压缩系数 a
	层厚		压缩模量 E_s
	土层层号与名称		回弹模量 E_{ur}
	土层描述		先期固结压力 p_c
物理性质	颗粒级配		超固结比 OCR
	不均匀系数 $C_u=d_{60}/d_{10}$		压缩指数 C_c
	天然含水量 w		回弹指数 C_s
	饱和度 S_r		内摩擦角 φ (总应力及有效应力指标)
	天然重度 γ		黏聚力 c (总应力及有效应力指标)
	比重 G		无侧限抗压强度 q_u
	塑限 w_p		灵敏度 S_t
	液限 w_L		静止土压力系数 K_0
	塑性指数 I_p		十字板剪切强度 s_u
	液性指数 I_L		标贯击数 N
水理性质	孔隙比 e		比贯入阻力 p_s
			侧向基床系数 K (或比例系数 m)
水理性质	渗透系数 k_v 、 k_h		

3. 地下障碍物

勘察应提供基坑及围护墙边界附近场地填土、暗浜及地下障碍物等不良地质现场的范围与深度，并反映其对基坑的影响情况。常见的地下障碍物有：

- (1) 回填的工业或建筑垃圾；
- (2) 原有建筑物的地下室、浅基础或桩基础；
- (3) 废弃的人防工程、管道、隧道、风井等。

2.2.2 周边环境条件

环境保护是基坑工程的重要任务之一，在建筑物密集、管线众多的区域尤其突出。由于对周围建（构）筑物及设施情况不了解，就盲目开挖造成损失的实例很多，且有些后果十分严重。因此基坑工程在**支护**设计前应开展环境调查工作，了解影响区内道路、管线、建（构）筑物的详细资料，从而为设计和施工采用针对性的保护措施提供依据。

1. 红线

基坑开挖面与红线之间的距离，一般都需要满足设置围护体的宽度要求，国内已有相当多的地区明文规定，基坑**支护**结构不得超越红线。

在拟建的地下结构外墙与围护体之间，为了进行模板架设以及防水层施工，通常还需要留设不少于 0.8 米的施工空间。因此，基坑周边围护体的选型，应满足地下结构外墙与红线之间的距离要求。

2. 建（构）筑物

当基坑邻近有建筑物、地铁隧道、地铁车站、**地下**车库、地下通道、地下商场、防汛墙、共同沟等建（构）筑物存在时，应查明其与基坑的平面和剖面关系，并获取这些建（构）筑物本身的有关资料如层高、基础埋深、结构形式、荷载状况、使用状况、对变形的敏感程度等。关于建（构）筑物的环境调查范围、内容及其容许的变形量等可参考第 28 章的相关内

容。一般而言，当建（构）筑物的保护要求较高，基坑工程设计和施工中需采取有效的保护措施确保其安全。

3. 市政管线与道路

地下管线的种类很多，如雨水管、污水管、上水管、煤气管、热水管道、电力管线、电话通讯电缆、广播电视电缆等，关于地下管线的环境调查范围、内容及其容许的变形量等亦可参考第 28 章的相关内容。由于地下管线的保护要求多种多样，且有的地下管线年代已久，难以查清，但又很易损坏，因此应与管线管理单位协商综合确定管线的容许变形量及监控实施方案。

城市区域的基坑工程其周边常常邻近道路，一方面基坑开挖可能会对周边的道路产生影响，严重时会导致周边道路的破坏而产生严重的后果，另一方面邻近道路的交通荷载也会对基坑的变形产生影响，因此必须调查基坑周边的道路状况。调查的内容一般包括道路的性质、类型、与基坑的位置关系、路基与路面结构类型、交通流量、交通荷载、交通通行规则等。

2.2.3 主体结构设计与施工条件

主体结构的设计资料是基坑支护结构设计必不可少的依据。基坑工程总体方案设计时应具备下列资料：

1. 建筑总平面图（用以确定基坑与红线、周边环境之间的距离关系）；
2. 各层建筑、结构平面图；
3. 建筑剖面图；
4. 基础结构与桩基设计资料。

基坑现场的施工条件也是支护结构设计的重要依据，主要应考虑以下问题：

1. 工程所在地的施工经验与施工能力。基坑支护结构设计方案应确保有与之相匹配的施工技术保障，设计技术人员应尽可能因地制宜地确定设计方案，使方案与当地的施工技术水平、施工习惯相匹配。

2. 场地周边对施工期间在交通组织、噪音、振动以及工地形象等方面的要求。例如当在交通干道下进行地铁车站基坑开挖，常常需要分区进行“翻交”施工，并且需要采用逆作法、盖挖法等设计方案；在居民楼等建筑物附近进行基坑开挖，除应采用刚度较大的支护结构体系以控制变形外，尚应考虑采用在施工中噪音低、污染较小的支护结构型式。

3. 当地政府对施工的有关管理规定。如对于土方运输时间、爆破等方面的规定。

4. 场地内部对土方、材料运输以及材料堆放等方面的要求。在场地狭小、难以提供足够的场地展开施工作业时，基坑支护设计一般应考虑采用易于结合设置施工栈桥和施工平台的方案或考虑分区开挖实施的方案。

2.2.4 设计规范与标准

基坑工程应遵守相关标准、规范和规程并根据本地区或类似土质条件下的工程经验，因地制宜地进行设计与施工。我国的岩土工程技术标准种类繁多，关系比较复杂，其中与基坑工程有关的规范、规程，即有国家标准如：《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007）、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB50086）等；行业性的标准如：《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120）、《建筑基坑工程技术规范》（YB9258）；专业协会制定的标准如《基坑土钉支护技术规程》（CECS96）、《岩土锚杆（索）技术规程》（CECS22）；各个省市地区制定的地方性标准如：上海市标准《基坑工程设计规程》（DBJ08-61）、天津市标准《岩土工程技术规范》（DB29-20）、广东省标准《建筑基坑支护工程技术规程》（DBJ/T15-20）、浙江省标准《建筑基坑工程技术规程》（DB33/T1008）等。

在使用这些标准的过程中，应注意以下问题：

1. 基坑支护的设计计算，应使用同一本标准的体系，不应几本标准体系混用。由于各个规范、规程的编制时间和背景大相径庭，相似的公式、土工参数、承载力限值、安全系数等可能有着截然不同的含义，切不可牵强附会、生搬硬套。

2. 基坑支护结构设计应严格遵守规范、规程中的有关规定，当地方性标准由于地域特点所作出的规定严于、高于国标时，应首先满足地方性标准的规定。

3. 规范中所作出的规定，一般是在安全适用原则下的“最低”要求，设计人员应根据工程的实际需要，在设计中体现针对性的技术要求。

4. 条文说明是对标准中条文部分的注解，在运用规范遇有疑惑时，往往可以从条文说明中得到解释。

2.3 总体方案选型

基坑支护总体方案的选择直接关系到工程造价、施工进度及周围环境的安全。总体方案主要有顺作法和逆作法两类基本形式，它们具有各自鲜明的特点。在同一个基坑工程中，顺作法和逆作法也可以在不同的基坑区域组合使用，从而在特定条件下满足工程的技术经济性要求。基坑工程的总体支护方案分类如图 2-1 所示。

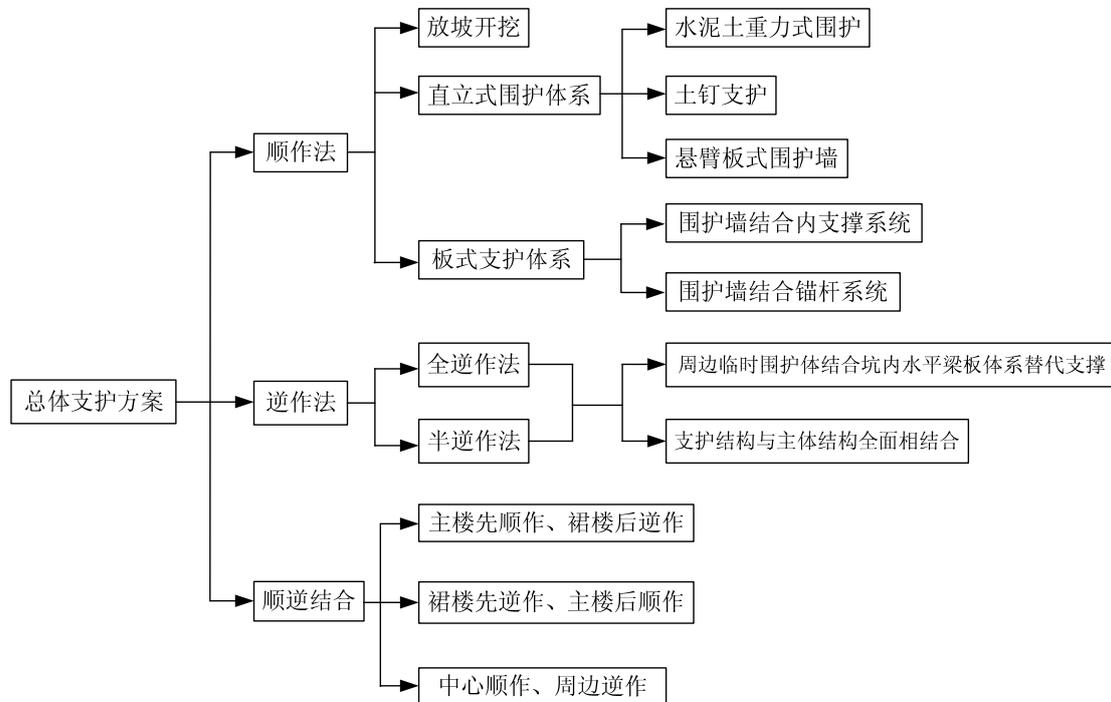


图 2-1 基坑总体支护方案分类

2.3.1 顺作法方案

基坑支护结构通常由围护墙、隔水帷幕、水平内支撑系统（或锚杆系统）以及支撑的竖向支承系统组成。所谓顺作法，是指先施工周边围护结构，然后由上而下分层开挖，并依次设置水平支撑（或锚杆系统），开挖至坑底后，再由下而上施工主体地下结构基础底板、竖向墙柱构件及水平楼板构件，并按一定的顺序拆除水平支撑系统，进而完成地下结构施工的过程。当不设支护结构而直接采用放坡开挖时，则是先直接放坡开挖至坑底，然后自下而上依次施工地下结构。

顺作法是基坑工程的传统开挖施工方法，施工工艺成熟，支护结构体系与主体结构相对独立，相比逆作法，其设计、施工均比较便捷。由于是传统工艺，对施工单位的管理和技术水平的要求相对较低，施工单位的选择面较广。另外顺作法相对于逆作法而言，其基坑支护

结构的设计与主体设计关联性较低，受主体设计进度的制约小，基坑工程有条件尽早开工。

顺作法常用的总体方案包括放坡开挖、直立式围护体系和板式支护体系三大类；其中直立式围护体系又可分为水泥土重力式围护、土钉支护和悬臂板式支护；板式支护又包括围护墙结合内支撑系统和围护墙结合锚杆系统两种形式。

1. 放坡开挖

放坡开挖一般适用于浅基坑。由于基坑敞开式施工，因此工艺简便、造价经济、施工进度快。但这种施工方式要求具有足够的施工场地与放坡范围。放坡开挖示意图如图 2-2 所示。

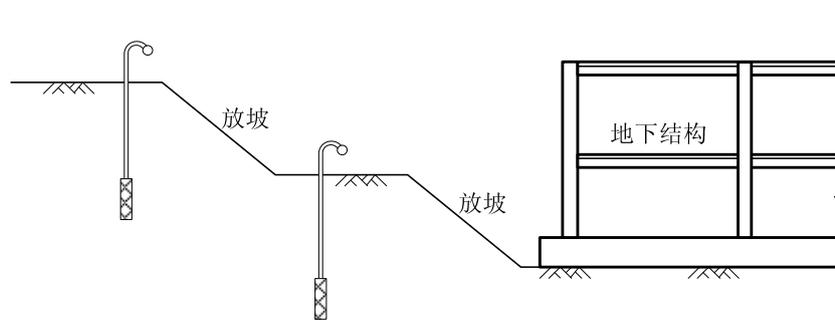


图 2-2 放坡开挖示意图

2. 直立式围护体系

(1) 水泥土重力式围护和土钉支护

采用水泥土重力式围护和土钉支护的直立式围护体系经济性较好，由于基坑内部开敞，土方开挖和地下结构的施工均比较便捷。但自立式围护体需要占用较宽的场地空间，因此设计时应考虑红线的限制。此外设计时应充分研究工程地质条件与水文地质条件的适用性。由于围护体施工质量难以进行直观的监督，易引起施工质量不佳问题，从而导致环境变形乃至工程事故。水泥土重力式围护和土钉支护的示意图分别如图 2-3 和图 2-4 所示。

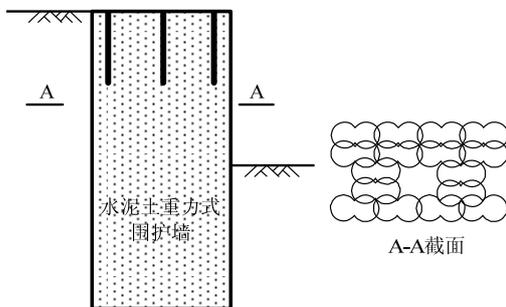


图 2-3 水泥土重力式围护示意图

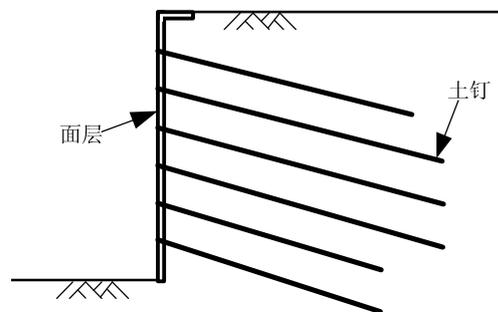


图 2-4 土钉支护示意图

(2) 悬臂板式支护

悬臂板式支护可用于必须敞开式开挖、但对围护体占地宽度有一定限制的基坑工程。其采用具有一定刚度的板式支护体，如钻孔灌注桩或地下连续墙。单排悬臂灌注桩支护一般用于浅基坑，在工程实践中，由于其变形较大，且材料性能难以充分发挥，经济性不好，适用范围很小。双排桩、格形地下连续墙等围护体型式所构成的悬臂板式支护体系适用于中等开挖深度、且对围护变形有一定控制要求的基坑工程。图 2-5 为双排桩围护的剖面示意图，图 2-6 格型地下连续墙支护的平面示意图。

3. 板式支护体系

板式支护体系由围护墙和内支撑（或锚杆）组成，围护墙的种类较多，包括地下连续墙、灌注排桩围护墙、型钢水泥土搅拌墙、钢板桩围护墙及钢筋混凝土板桩围护墙等。内支撑可

采用钢支撑或钢筋混凝土支撑。

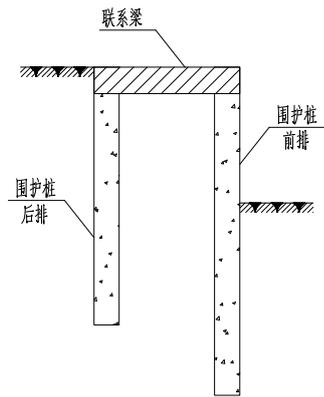


图 2-5 双排桩支护剖面示意图

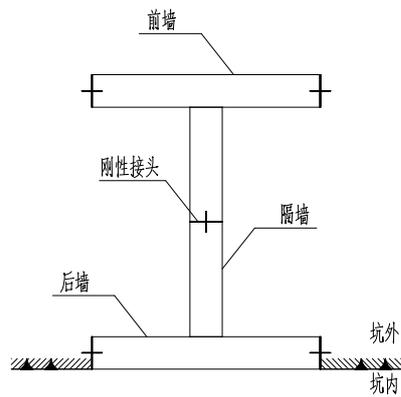


图 2-6 格形地下连续墙支护平面

(1) 围护墙结合内支撑系统

在基坑周边环境条件复杂、变形控制要求高的软土地区，围护墙结合内支撑系统是常用与成熟的支护型式。当基坑面积不大时，其技术经济性较好。但当基坑面积达到一定规模时，由于需设置和拆除大量的临时支撑，因此经济性较差。此外，支撑体系拆除时围护墙会发生二次变形，拆撑爆破以及拆撑后废弃的混凝土碎块都也会对环境产生不利影响。典型的基坑支护剖面如图 2-7 所示。

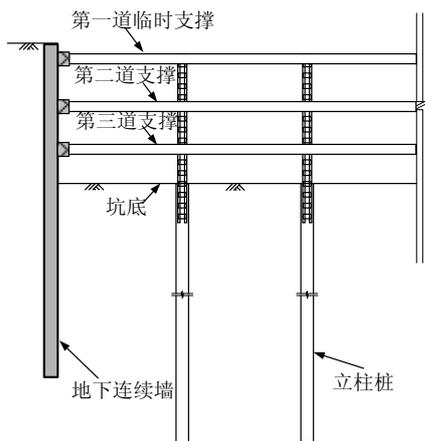


图 2-7 典型的围护墙结合内支撑系统示意图

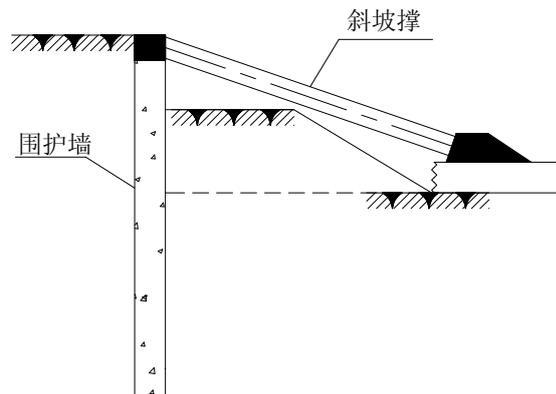


图 2-8 围护墙结合斜坡支撑示意图

对于超大面积的基坑工程，采用如图 2-7 所示的支护方式时存在支撑太长、支撑传力效果不佳、支撑量大等问题，此时可采用中心岛式开挖方案，即先保留围护墙处一定宽度的土体，以抵抗坑外侧的土压力，然后将基坑中部的土体挖除，再施工中部的主体结构，再利用中部已施工好的主体结构反力架设支撑，然后将周围的土体挖除，施工周围部分的主体结构，最后拆除支撑。这种方案出土便捷，经济效果好，但基坑周边的地下结构需要二期施工，工艺复杂。当基坑开挖深度较浅时，可采用如图 2-8 所示的围护墙结合斜坡撑形式，当基坑开挖深度较大时，可采用如图 2-9 所示的中心岛结合周边多道支撑形式。

(2) 围护墙结合锚杆系统

围护墙结合锚杆系统采用锚杆来支承作用在围护墙上的侧压力，它适用于大面积的基坑工程。基坑敞开式开挖，为挖土和地下结构施工提供了极大的便利，可缩短工期，经济效益良好。锚杆需依赖土体本身的强度来提供锚固力，因此土体的强度越高，锚固效果越好，反之越差，因此这种支护方式不适用于软弱地层。当锚杆的施工质量不好时，可能会产生较

大的地表沉降。围护墙结合锚杆系统的典型剖面如图 2-10 所示。

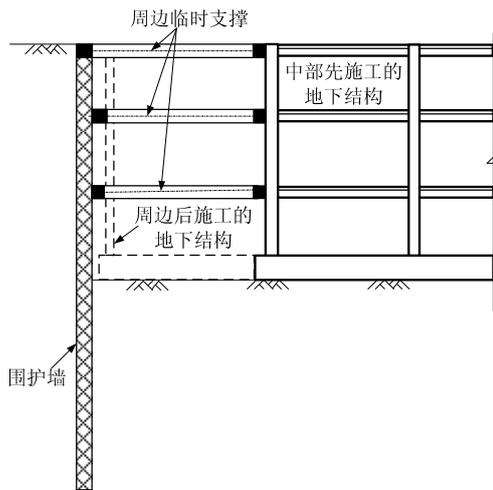


图 2-9 中心岛结合周边多道支撑示意图

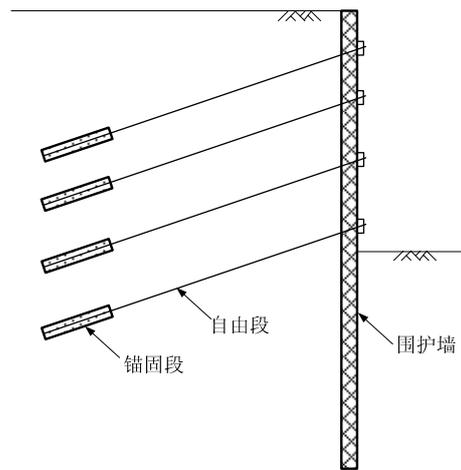


图 2-10 围护墙结合锚杆系统

2.3.2 逆作法方案

相对于顺作法，逆作法则是每开挖一定深度的土体后，即支设模板浇筑永久的结构梁板，用以代替常规顺作法的临时支撑，以平衡作用在围护墙上的土压力。因此当开挖结束时，地下结构即已施工完成。这种地下结构的施工方式是自上而下浇筑，同常规顺作法开挖到坑底后再自下而上浇筑地下结构的施工方法不同，故成为逆作法。当逆作地下结构的同时还进行地上结构的施工，则称为全逆作法，如图 2-11 所示；当仅逆作地下结构而并不同步施工地上结构时，则称为半逆作法，如图 2-12 所示。由于逆作法的梁板重量较常规顺作法的临时支撑要大得多，因此必须考虑立柱和立柱桩的承载能力问题。尤其是采用全逆作法时，地上结构所能同时施工的最大层数应根据立柱和立柱桩的承载力确定。

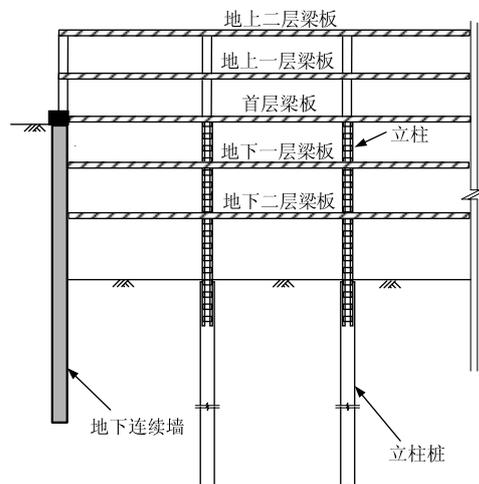


图 2-11 全逆作法示意图

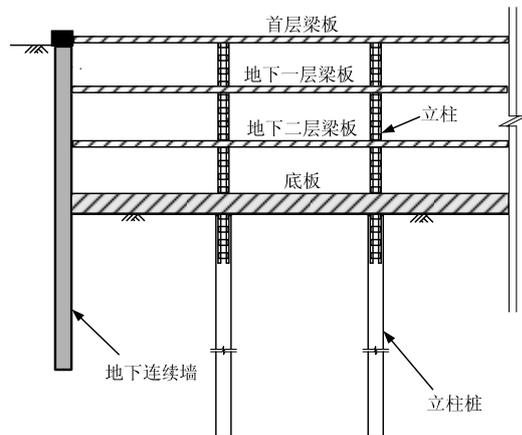


图 2-12 半逆作法示意图

逆作法通常采用支护结构与主体结构相结合，根据支护结构与主体结构相结合的程度，逆作法可以有两种类型，即周边临时围护体结合坑内水平梁板体系替代支撑采用逆作法施工、支护结构与主体结构全面相结合采用逆作法施工。关于这两种逆作法类型的一般施工流程和设计要点可参考第 18 章的相关内容。

逆作法的主要优点如下：

- (1) 楼板刚度高于常规顺作法的临时支撑，基坑开挖的安全度得到提高，且一般而言

基坑的变形较小，因而对基坑周边环境的影响较小。

(2) 当采用全逆作法时，地上和地下结构同时施工，因此可缩短工程的总工期。

(3) 地面楼板先施工完成后，可以为施工提供作业空间，因此可以解决施工场地狭小的问题。

(4) 逆作法采用支护结构与主体结构相结合，因此可以节省常规顺作法中大量临时支撑的设置和拆除，经济性好，且有利于降低能耗、节约资源。

但逆作法也存在如下不足：

(1) 技术复杂，垂直构件续接处理困难，接头施工复杂。

(2) 对施工技术要求高，例如对一柱一桩的定位和垂直度控制要求高，立柱之间及立柱与连续墙之间的差异沉降控制要求高等。

(3) 采用逆作暗挖，作业环境差，结构施工质量易受影响。

(4) 逆作法设计与主体结构设计的关联度大，受主体结构设计进度的制约。

当工程具有以下特征或技术经济要求时，可以考虑选用逆作法方案：

(1) 大面积的深基坑工程，采用逆作法方案，节省临时支撑体系费用。

(2) 基坑周边环境条件复杂，且对变形敏感，采用逆作法有利于控制基坑的变形。

(3) 施工场地紧张，利用逆作的地下首层楼板作为施工平台。

(4) 工期进度要求高，采用上下部结构同时的全逆作法设计方案，施工缩短总工期。

2.3.3 顺逆结合方案

对于某些条件复杂或具有特别技术经济性要求的基坑工程，采用单纯的顺作法或逆作法都难以同时满足经济、技术、工期及环境保护等多方面的要求。在工程实践中，有时为了同时满足多方面的要求，采用了顺作法与逆作法结合的方案，通过充分发挥顺作法与逆作法的优势，取长补短，从而实现工程的建设目标。工程中常用的顺逆结合方案主要有：(1) 主楼先顺作、裙楼后逆作方案；(2) 裙楼先逆作、主楼后顺作方案；(3) 中心顺作、周边逆作方案。

1. 主楼先顺作、裙楼后逆作方案

超高层建筑通常由主楼与裙楼两部分组成，其下一般整体设置多层地下室，因此超高层建筑的基坑多为深大基坑。在基坑面积较大、挖深较深、施工场地狭小的情况下，若地下室深基础采用明挖顺作支撑方案施工，不仅操作非常困难，耽误了塔楼的施工进度，施工周期长，而且对周边环境影响大，经济性也差。另一方面，主楼结构构件的重要性也决定了其不适合采用逆作法。

一般来说主楼为超高层建筑工期控制的主导因素，在施工场地紧张的情况下，可先采用顺作法施工主楼地下室，而裙楼暂时作为施工场地，待主楼进入上部结构施工的某一阶段，再逆作施工裙楼地下室，这种顺逆结合的方案即为主楼先顺作、裙楼后逆作方案。主楼先顺作、裙楼后逆作具有其特有的优点：

(1) 该方案一方面解决了施工场地狭小、操作困难的问题；另一方面塔楼顺作基坑面积较小，可加快施工速度；裙楼逆作施工不占用绝对工期，缩短了总工期，并可减少前期投资额。

(2) 裙楼地下室逆作能够有效地控制基坑的变形，可减小对周边环境的影响；同时又由于省去了常规顺作法中支设和拆除大量的临时支撑，经济性较好。

主楼先顺作、裙楼后逆作方案用于满足如下条件的基坑工程：

(1) 地下室几乎用足建筑红线，使得施工场地狭小，地下工程施工阶段需要占用部分裙楼区域作为施工场地；

(2) 主楼为超高层建筑，是控制工期的主导因素，且业主对主楼工期要求较高；

(3) 裙楼地下室面积较大，开发商希望适当延缓投资又不影响主楼施工的进度；

(4) 裙楼基坑周边环境复杂、环境保护要求高。

上海环球金融中心位于上海浦东陆家嘴金融贸易区东泰路和世纪大道路口，周边环境条件复杂，环境保护要求较高。主楼建筑地上 101 层，高度 492m，裙楼地上三层，主楼和裙楼下均设三层地下室，基坑总面积约为 22500m²，基坑开挖深度主楼区为 17.85~19.85m。考虑到主楼为超高层建筑，业主对主楼工期要求较高，同时希望在不影响主楼施工进度的前提下，延缓部分投资，因此本工程采用了主楼先顺作和裙楼后逆作的总体设计方案。主楼区域先采用直径为 100m 的圆筒形地下连续墙并结合三道钢筋混凝土环形围檩作为支护结构，基坑顺作开挖到底后施工主楼结构。当主楼区主体结构施工至地面层时，再逆作施工裙楼区基坑。裙楼区逆作施工期间逐层向下拆除塔楼的围护结构（圆筒形地下连续墙），并将塔楼的核心筒结构作为裙楼各楼层梁板结构的支撑点，依次开挖并施工裙楼地下室各层楼板结构。主、裙楼的分区如图 2-13 所示。

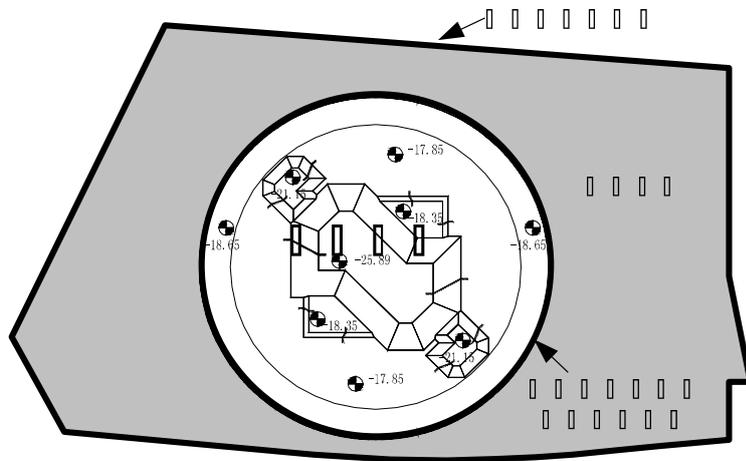


图 2-13 上海金融中心基坑的主楼和裙楼分区情况

2. 裙楼先逆作、主楼后顺作方案

对于由塔楼和裙楼组成的超高层建筑，有时裙楼的工期要求非常高（例如裙楼作为商业建筑时往往希望能尽快投入商业运营）而塔楼工期要求相对较低，此时裙楼可先采用全逆作法地上地下同时施工，以节省工期，并在主楼区域设置大空间出土口（主楼由于其构件的重要性不适合采用逆作法），待裙楼地下结构施工完成后，再顺作施工主楼区地下结构，从而形成裙楼先逆作、主楼后顺作的方案。该方案具有以下特点：

(1) 主楼区域设置的大空间出土口出土效率高，可加快裙楼逆作的施工速度；

(2) 裙楼区域在地下结构首层结构梁板施工完成后，有条件立即向地上施工，可大大缩短裙楼上部结构的工期；

(3) 裙楼区域结构梁板代支撑，支撑刚度大，对基坑的变形控制有利；

(4) 在逆作阶段主楼区域的大空间出土口可以显著地改善裙楼逆作区域地下作业的风光和采光条件；

(5) 由于主楼区域需要在裙楼区域逆作完成后再施工，因此一般情况下将会增加主楼的工期与工程的总工期。

南京德基广场二期工程主体建筑由一幢主楼及群楼组成，主楼地上 52 层，地上建筑有效高度为 244.5m；裙楼地上 9 层，地上建筑有效高度为 55.5m，主楼和裙楼下整体设置 4 层地下室。基坑总面积 16000m²，主楼区普遍开挖深度 21.5m，群楼区普遍开挖深度 19.7m。基坑南侧约 13m 处是运营中的地铁区间隧道，隧道底部埋深约 16m，基坑开挖实施过程中

的环境保护要求高。由于业主希望裙楼区商业用房能够尽快投入运营，且考虑到基坑的环境保护要求高，因此基坑围护设计采用了裙楼先逆作、主楼后顺作的总体设计方案。裙楼基坑周边设置“两墙合一”地下连续墙围护体，坑内利用四层结构梁板代支撑，采用逆作法先行施工，并同时开展裙楼区地上9层结构的施工；主楼区留设大面积洞口，在地下室底板施工完成后再向上顺作主楼结构。图 2-14 为主、裙楼分区布置图。

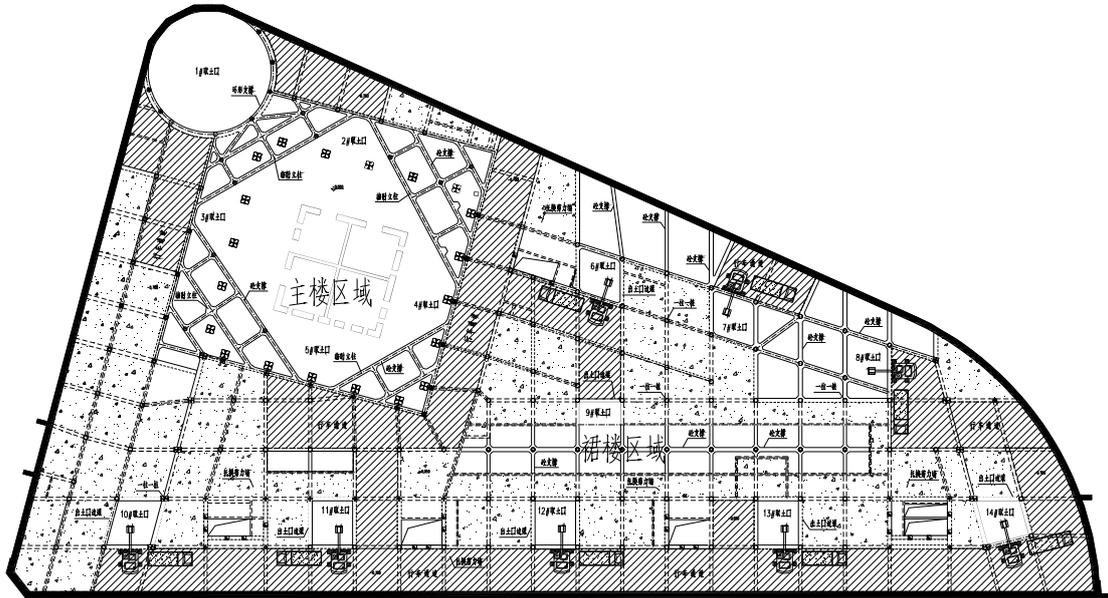


图 2-14 德基广场二期基坑工程主、裙楼分区布置图

3. 中心顺作、周边逆作方案

对于超大面积的基坑工程，当基坑周边环境保护要求不是很高时，可在基坑周边首先施工一圈具有一定水平刚度的环状结构梁板（以下简称环板），然后在基坑周边被动区留土，并采用多级放坡使中心区域开挖至基底，在中心区域结构向上顺作施工并与周边结构环板贯通后，再逐层挖土和逆作施工周边留土放坡区域，形成中心顺作、周边逆作的总体设计方案。该方案具有以下几个显著特点：

(1) 将整个基坑分为中心顺作区和周边逆作区两部分，周边部分采用结构梁板作为水平支撑，而中心部分则无需设置支撑，从而节省了大量临时支撑。同时由于中部采用敞开放式施工，出土速度较快，大大加快了整体施工进度。

(2) 在基坑周边首先施工一圈具有一定水平刚度的结构环板，中心区域施工过程中利用被动区多级放坡留土和结构环板约束围护体的位移，从而达到控制基坑变形、保护周围环境的目的。

(3) 由于仅周边环板采用逆作法施工，可仅对首层边跨结构梁板和一柱一桩进行加固，作为施工行车通道，并利用周边围护体作为施工行车通道的竖向支承构件，减少了常规逆作法中施工行车通道区域结构梁板和支撑立柱和立柱桩的加固费用。

中心顺作、周边逆作方案只有在同时满足下列条件的工程中应用才能体现出其优越性和社会效益：

1. 超大面积的深基坑工程。基坑面积需达到几万平方米，基坑平面为多边形，且至少设置两层地下室。基坑面积必须足够大是由以下因素决定：周边逆作区环板必须具有足够的宽度，以保证有足够的刚度可以约束围护体变形；为保证逆作区坡体的稳定，周边留土按一定坡度多级放坡至基底标高需要一定的宽度；在除去逆作区面积后中心区域尚应有相当面积可以顺作施工。

2. 主体结构为框架结构，无高耸塔楼结构或塔楼结构位于基坑中部。由于中心区域结构最先施工，塔楼如位于中心区域可确保塔楼的施工进度不受影响。

3. 基地周边环境有一定的保护要求，但不是非常严格。周边逆作区结构环板和留土放坡对围护体的变形控制可满足周边环境的保护要求。

仲盛商业中心上部建筑为 5 层钢筋混凝土框架结构，设置三层地下室。基坑面积约为 50000m²，基坑开挖深度约为 13.3m。由于基坑面积极大，若采用顺作法方案，临时支撑工程量巨大，造价高；而采用全逆作法方案，暗挖土方工程量巨大，施工难度高，降低了出土效率。还需设置大量一柱一桩，加大了施工难度；采用传统中心岛方案，挖土条件较好，可大大加快整体施工进度，节省水平支撑和竖向支承构件费用。但周边高土坡随时间将产生持续位移，使围护体产生较大变形，对周边环境的影响难以估量。考虑基坑施工安全性、施工方式、工期及工程造价等因素，本基坑采用了中心顺作、周边地下一层结构环板逆作的总体设计方案。即将基坑分成中部顺作区和周边逆作区两部分，基坑外侧浅层卸土放坡，基坑内侧土方开挖至地下一层结构梁底标高，首先施工周边逆作区地下一层结构梁板，形成环状支撑，然后在基坑周边留土，并采用多级放坡使中心区域开挖至基底。在中心部分结构向上顺作施工并与周边地下一层结构环板贯通后，再以结构梁板作为水平支撑，逆作施工周边留土放坡区域。该方案减小了周边放坡高度，在中心岛施工过程利用周边结构环板刚度和周边留土共同约束围护墙位移，以控制基坑变形，保护周边环境。图 2-15 为该基坑的围护剖面图，图 2-16 为现场实景图。

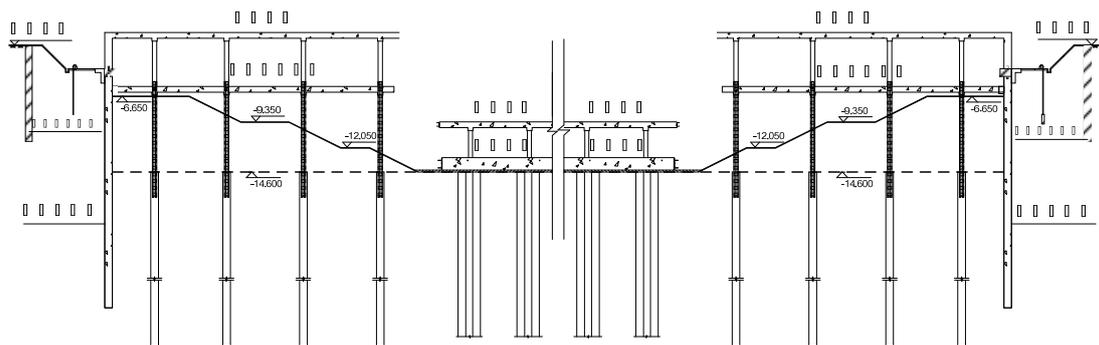


图 2-15 仲盛商贸中心基坑中心顺作、周边逆作剖面示意图



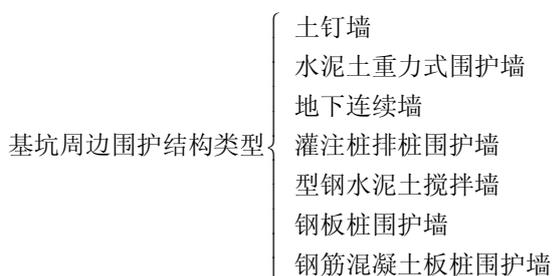
图 2-16 仲盛商贸中心基坑工程现场实景

2.4 基坑周边支护结构选型

基坑周边的围护结构直接承受基坑施工阶段侧向土压力和水压力，并将此压力传递到支撑体系。在需采取隔水措施的基坑工程中，当周边围护结构不具备自防水作用时，需在支护结构外侧另行设置隔水帷幕。周边围护结构和隔水帷幕共同形成基坑周边支护体系。

在基坑工程实践中周边围护结构形成了多种成熟的类型，每种类型在适用条件、工程经济性和工期等方面各有侧重，且周边围护结构形式的选用直接关系到工程的安全性、工期和造价，而对于每个基坑而言，其工程规模、周边环境、工程水文地质条件以及业主要求等也各不相同，因此在基坑周边围护结构设计中需根据每个工程特性和每种围护结构的特点，综合考虑各种因素，合理选用周边围护结构类型。

2.4.1 常用支护结构的类型



2.4.2 土钉墙

土钉墙是用于土体开挖时保持基坑侧壁或边坡稳定的一种挡土结构，主要由密布于原位土体中的细长杆件—土钉、粘附于土体表面的钢筋混凝土面层及土钉之间的被加固土体组成，是具有自稳能力的原位挡土墙。这是土钉墙的基本形式。土钉墙与各种隔水帷幕、微型桩及预应力锚杆（索）等构件结合起来，又可形成复合土钉墙。本节中“土钉墙”一词一般指基本形式。

一、土钉墙基本形式

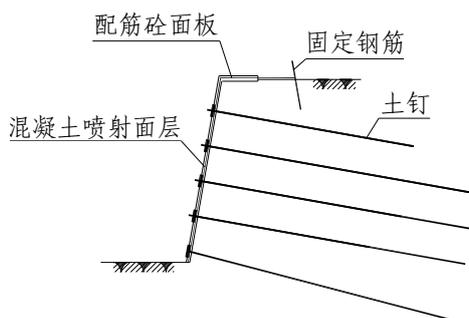


图 2.4-1 土钉墙基本形式剖面图

1) 特点:

- a. 施工设备及工艺简单，对基坑形状适应性强，经济性较好；
- b. 坑内无支撑体系，可实现敞开式开挖；
- c. 柔性大，有良好的抗震性和延性，破坏前有变形发展过程；
- d. 密封性好，完全将土坡表面覆盖，阻止或限制了地下水从边坡表面渗出，防止了水土流失及雨水、地下水对坑壁的侵蚀；
- e. 土钉墙靠群体作用保持坑壁稳定，当某条土钉失效时，周边土钉会分担其荷载；
- f. 施工所需场地小，移动灵活，支护结构基本不单独占用场地内的空间；

- g. 由于孔径小，与桩等施工工艺相比，穿透卵石、漂石及填石层的能力更强；
- h. 边开挖边支护便于信息化施工，能够根据现场监测数据及开挖暴露的地质条件及时调整土钉参数；
- i. 需占用坑外地下空间；
- j. 土钉施工与土方开挖交叉进行，对现场施工组织要求较高。

2) 适用条件：

- a. 开挖深度小于 12m、周边环境保护要求不高的基坑工程；
- b. 地下水位以上或经人工降水后的人工填土、黏性土和弱胶结砂土的基坑支护；
- c. 不适用于以下土层：
 - (a) 含水丰富的粉细砂、中细砂及含水丰富且较为松散的中粗砂、砾砂及卵石层等；
 - (b) 黏聚力很小、过于干燥的砂层及相对密度较小的均匀度较好的砂层；
 - (c) 有深厚新近填土、淤泥质土、淤泥等软弱土层的地质及膨胀土地层；
 - (d) 周边环境敏感，对基坑变形要求较为严格的工程，以及不允许支护结构超越红线或邻近地下建构筑物，在可实施范围内土钉长度无法满足要求的工程。

二、复合土钉墙

复核土钉墙主要有土钉墙+预应力锚杆（索）、土钉墙+隔水帷幕和土钉墙+微型桩三种常用形式。由于复核土钉墙是土钉墙基本形式与其它围护结构的组合，因此土钉墙基本形式的特点和适用条件同样适用于复合土钉墙。

1) 土钉墙+预应力锚杆（索）

与土钉墙基本形式相比，土钉墙+预应力锚索形成的复合土钉墙对基坑稳定性和变形控制更加有利。该围护形式适用于对基坑变形要求相对较高的基坑。

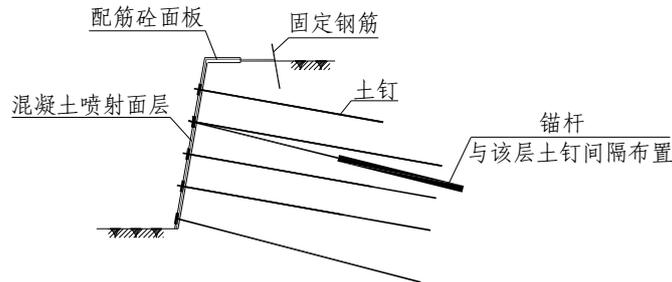


图 2.4-2 土钉墙+预应力锚杆（索）

2) 土钉墙+隔水帷幕

土钉墙+隔水帷幕的围护形式在基坑周边设置封闭的隔水帷幕，可防止坑内降水对抗外环境产生影响。同时隔水帷幕对抗壁土体具有预加固作用，有利于坑壁的稳定和控制基坑变形。该围护形式适用于地下水位丰富，周边环境对降水敏感的工程，以及土质较差，基坑开挖较浅的工程。

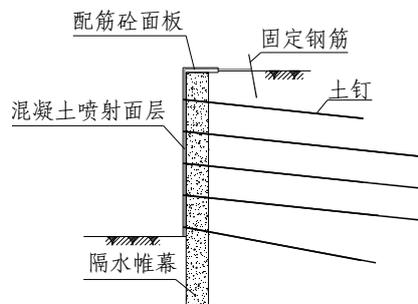


图 2.4-3 土钉墙+隔水帷幕

3) 土钉墙+微型桩

采用微型桩超前支护可减小基坑变形。该围护形式适用于填土、软塑状粘性土等较弱土层，需要竖向构件增强整体性、复合体强度及开挖面临时自立性能的工程；

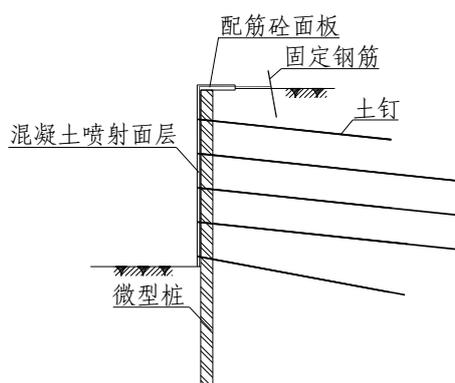


图 2.4-4 土钉墙+微型桩

2.4.3 水泥土重力式挡墙

水泥土重力式围护墙是以水泥系材料为固化剂，通过搅拌机械采用喷浆施工将固化剂和地基石强行搅拌，形成具有一定厚度的连续搭接的水泥土柱状加固体挡墙。

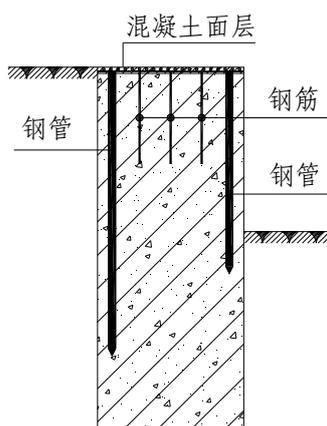


图 2.4-5 土钉墙+微型桩

一、特点：

- 1) 可结合重力式挡墙的水泥土桩形成封闭隔水帷幕，止水性能可靠；
- 2) 使用后遗留的地下障碍物相对比较容易处理；
- 3) 围护结构占用空间较大；
- 4) 围护结构位移控制能力较弱，变形较大。
- 5) 当墙体厚度较大时，采用水泥土搅拌桩或高压喷射注浆对周边环境影响较大。

二、适用条件：

- 1) 适用于软土地层中开挖深度不超过 7.0m、周边环境保护要求不高的基坑工程。
- 2) 周边环境有保护要求时，采用水泥土重力式挡墙围护的基坑不宜超过 5.0m；
- 3) 对基坑周边距离 1~2 倍开挖深度范围内存在对沉降和变形敏感的建构筑物时，应慎重选用。

2.4.4 地下连续墙

地下连续墙可分为现浇地下连续墙和预制地下连续墙两大类，目前在工程中应用的现浇地下连续墙的槽段形式主要有壁板式、T 型和 Π 形等，并可通过将各种形式槽段组合，形

成格形、圆筒形等结构形式。

一、常规现浇地下连续墙

现浇地下连续墙是采用原位连续成槽浇筑形成的钢筋混凝土围护墙。地下连续墙具有挡土和隔水双重作用。

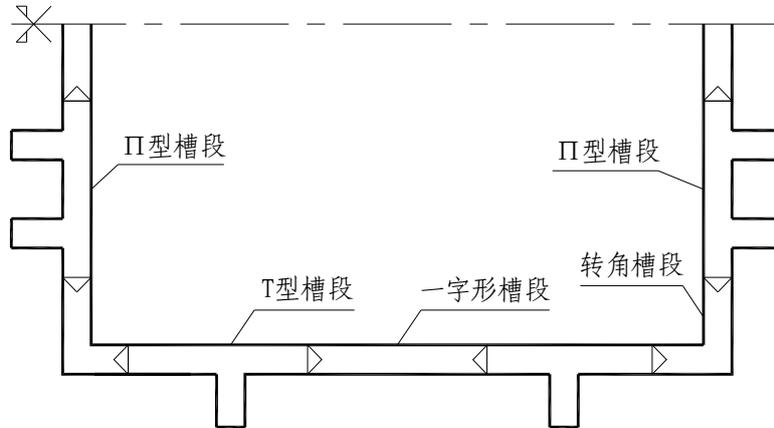


图 2.4-6 常规现浇地下连续墙平面示意图

1) 特点:

- a. 施工具有低噪音、低震动等优点，工程施工对环境的影响小；
- b. 刚度大、整体性好，基坑开挖过程中安全性高，支护结构变形较小；
- c. 墙身具有良好的抗渗能力，坑内降水时对抗外的影响较小；
- d. 可作为地下室结构的外墙，可配合逆作法施工，以缩短工程的工期、降低工程造价。
- e. 受到条件限制墙厚无法增加的情况下，可采用加肋的方式形成 T 型槽段或 Π 型槽段增加墙体的抗弯刚度。
- f. 存在弃土和废泥浆处理、粉砂地层易引起槽壁坍塌及渗漏等问题，需采取相关的措施来保证连续墙施工的质量。
- g. 由于地下连续墙水下浇筑、槽段之间存在接缝的施工工艺特点，地墙墙身以及接缝位置存在防水的薄弱环节，易产生渗漏水现象。用于“两墙合一”需进行专项防水设计。
- h. 由于两墙合一地下连续墙作为永久使用阶段的地下室外墙，需结合主体结构设计，在地下连续墙内为主体结构留设预埋件。“两墙合一”地下连续墙设计必须在主体结构施工图设计基本完成方可开展。

2) 适用条件:

- a. 深度较大的基坑工程，一般开挖深度大于 10m 才有较好的经济性；
- b. 邻近存在保护要求较高的建、构筑物，对基坑本身的变形和防水要求较高的工程；
- c. 基地内空间有限，地下室外墙与红线距离极近，采用其它围护形式无法满足留设施工操作空间要求的工程；
- d. 围护结构亦作为主体结构的一部分，且对防水、抗渗有较严格要求的工程；
- e. 采用逆作法施工，地上和地下同步施工时，一般采用地下连续墙作为围护墙；
- f. 在超深基坑中，例如 30m~50m 的深基坑工程，采用其它围护体无法满足要求时，常采用地下连续墙作为围护体。

二、圆筒形地下连续墙

圆筒形地下连续墙是现浇地下连续墙的一种组合结构形式，是采用壁板式槽段或转角槽段组合成圆筒形结构形式。

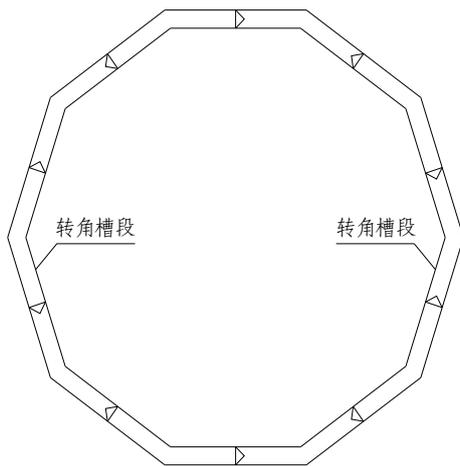


图 2.4-7 圆筒形地下连续墙平面示意图

1) 特点

- a. 充分利用了土的拱效应，降低了作用在支护结构上的土压力；
- b. 圆形结构具有更好的力学性能，与常规形状的基坑不同，它可将作用在其上面的荷载基本上转化为地下连续墙的环向压力，可充分发挥混凝土抗压性能好的特点，有利于控制基坑变形。
- c. 在工程中圆筒形地下连续墙平面形状实际为多边形，并非理想的圆形结构，其受力状态以环向受压为主，受弯为辅。

2) 适用条件

- a. 主体地下结构为圆形或接近圆形的工程。
- b. 受到条件限制或为了方便施工需采用无支撑大空间施工的工程。

三、格形地下连续墙

格形地下连续墙是现浇地下连续墙的一种组合结构形式。格形地下连续墙是靠其自身重量稳定的半重力式结构，是一种涉及建（构）筑物地基开挖的无支撑空间坑壁结构。

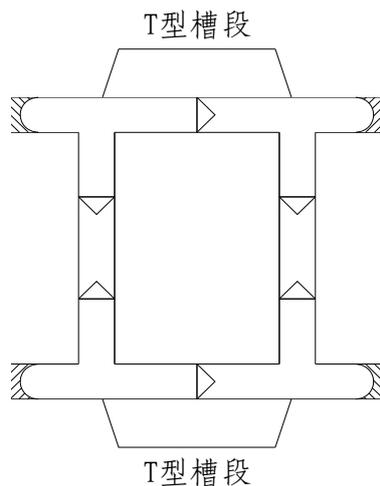


图 2.4-8 格形地下连续墙平面示意图

1) 特点

- a. 是靠其自身重量稳定的半重力式结构，基坑开挖阶段无需设置支撑体系；
- b. 相对于其它无自立式围护结构，基坑变形较小，对周边环境保护较为有利；
- c. 受到自身结构的限制，一般槽段数量较多。

2) 适用条件

- a. 适用于无法设置内支撑体系，且对变形控制要求较严格的深基坑工程；
- b. 多用于船坞及特殊条件下无法设置水平支撑的基坑工程，目前也有应用于大型的工业基坑。

四、预制地下连续墙

预制地下连续墙即采用常规的泥浆护壁成槽，在成槽后，插入预制构件并在构件间采用现浇混凝土将其连成一个完整的墙体。

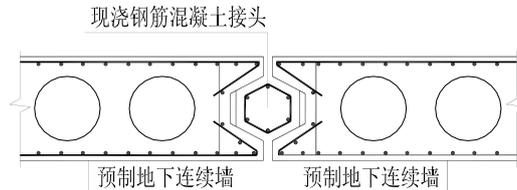


图 2.4-9 预制地下连续墙平面示意图

1) 特点

- a. 工厂化制作可充分保证墙体的施工质量，墙体构件外观平整，可直接作为地下室的建筑内墙，不仅节约了成本，也增大了地下室面积。
- b. 由于工厂化制作，预制地下连续墙与基础底板、剪力墙和结构梁板的连接处预埋件位置准确，不会出现钢筋连接器脱落现象。
- c. 墙段预制时可通过采取相应的构造措施和节点形式达到结构防水的要求，并改善和提高了地下连续墙的整体受力性能。
- d. 为便于运输和吊放，预制地下连续墙大多采用空心截面，减小自重节省材料，经济性好。
- e. 可在正式施工前预制加工，制作与养护不占绝对工期；现场施工速度快；采用预制墙段和现浇接头，免掉了常规拔除锁口管或接头箱的过程，节约了成本和工期。
- f. 由于大大减少了成槽后泥浆护壁的时间，因此增强了槽壁稳定性，有利于保护周边环境。

2) 适用条件

在现阶段的工程实践中，由于受到起重和吊装能力的限制，墙段总长度受到了一定限制，一般仅用于6-7米以内的浅基坑，且大多将预制地下连续墙用作主体结构地下室外墙。

2.4.5 灌注桩排桩围护墙

灌注桩排桩围护墙是采用连续的柱列式排列的灌注桩形成了围护结构。工程中常用的灌注桩排桩的形式有分离式、双排式和咬合式。

一、分离式排桩

分离式排桩是工程中灌注桩排桩围护墙最常用，也是较简单的围护结构形式。灌注桩排桩外侧可结合工程的地下水控制要求设置相应的隔水帷幕。

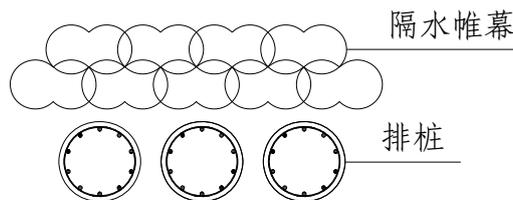


图 2.4-10 分离式排桩平面示意图

1) 特点

- a. 施工工艺简单、工艺成熟、质量易控制、造价经济。
- b. 噪声小、无振动、无挤土效应，施工时对周边环境影响小。
- c. 可根据基坑变形控制要求灵活调整围护桩刚度。
- d. 在基坑开挖阶段仅用作临时围护体，在主体地下室结构平面位置、埋置深度确定后即有条件设计、实施。
- e. 在有隔水要求的工程中需另行设置隔水帷幕。其隔水帷幕可根据工程的土层情况、周边环境特点、基坑开挖深度以及经济性等要求的综合选用。

2) 适用条件

- a. 软土地层中一般适用于开挖深度不大于 20m 的深基坑工程。
- b. 地层适用性广，对于从软粘土到粉砂性土、卵砾石、岩层中的基坑均适用。

二、双排式排桩

为增大排桩的整体抗弯刚度和抗侧移能力时，可将桩设置成为前后双排，将前后排桩桩顶的冠梁用横向连梁连接，就形成了双排门架式挡土结构。

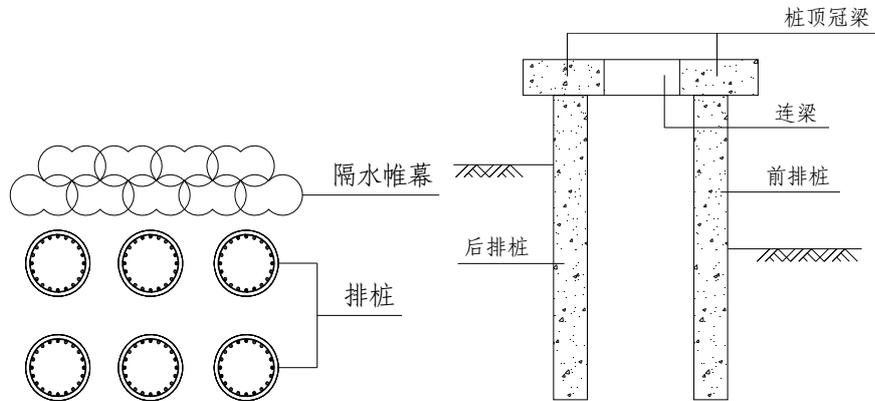


图 2.4-11 双排式排桩平面示意图

图 2.4-12 双排式排桩围护墙剖面示意图

1) 特点

- a. 抗弯刚度大，施工工艺简单、工艺成熟、质量易控制、造价经济。
- b. 可作为自立式悬臂支护结构，无需设置支撑体系。
- c. 围护体占用空间大。
- d. 自身不能隔水，在有隔水要求的工程中需另设隔水帷幕。

2) 适用条件：

适用于场地空间充足，开挖深度较深，变形控制要求较高，且无法内支撑体系的工程。

三、咬合式排桩

有时因场地狭窄等原因，无法同时设置排桩和隔水帷幕时，可采用桩与桩之间咬合的形式，形成可起到止水作用的咬合式排桩围护墙。咬合式排桩围护墙的先行桩采用素混凝土桩或钢筋混凝土桩，后行桩采用钢筋混凝土桩。

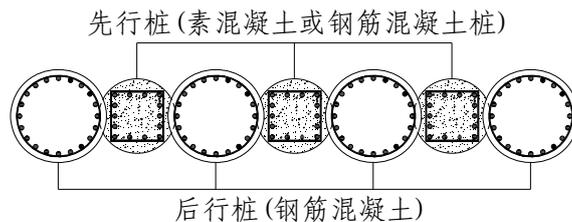


图 2.4-13 咬合式排桩平面示意图

- 1) 特点
 - a. 受力结构和隔水结构合一，占用空间较小。
 - b. 整体刚度较大，防水性能较好。
 - c. 施工速度快,工程造价低。
 - d. 施工中可干孔作业,无须排放泥浆,机械设备噪音低、振动少,对环境污染小。
 - e. 对成桩垂直度要求较高，施工难度较高。
- 2) 适用条件
 - a. 适用于淤泥、流砂、地下水富集的软土地区。
 - b. 适用于邻近建构筑物对降水、地面沉降较敏感等环境保护要求较高的基坑工程。

2.4.5 型钢水泥土搅拌墙

型钢水泥土搅拌墙是一种在连续套接的三轴水泥土搅拌桩内插入型钢形成的复合挡土隔水结构。



图 2.4-14 型钢水泥土搅拌墙平面布置图

一、特点

- 1) 受力结构与隔水帷幕合一，围护体占用空间小。
- 2) 围护体施工对周围环境影响小。
- 3) 采用套接一孔施工，实现了相邻桩体完全无缝衔接，墙体防渗性能好。
- 4) 三轴水泥土搅拌桩施工过程无需回收处理泥浆，且基坑施工完毕后型钢可回收，环保节能。
- 5) 适用土层范围较广，还可以用于较硬质地层。
- 6) 工艺简单、成桩速度快，围护体施工工期短。
- 7) 在地下室施工完毕后型钢可拔除，实现型钢的重复利用，经济性较好。
- 8) 仅在基坑开挖阶段用作临时围护体，在主体地下室结构平面位置、埋置深度确定后即有条件设计、实施。
- 9) 由于型钢拔除后在搅拌桩中留下的孔隙需采取注浆等措施进行回填，特别是邻近变形敏感的建构筑物时，对回填质量要求较高。

二、适用条件

- 1) 从黏性土到砂性土，从软弱的淤泥和淤泥质土到较硬、较密实的砂性土，甚至在含有砂卵石的地层中经过适当的处理都能够进行施工。
- 2) 软土地区一般用于开挖深度不大于 13.0m 的基坑工程。
- 3) 适用于施工场地狭小，或距离用地红线、建筑物等较近时，采用排桩结合隔水帷幕体系无法满足空间要求的基坑工程。
- 4) 型钢水泥土搅拌墙的刚度相对较小，变形较大，在对周边环境保护要求较高的工程中，例如基坑紧邻运营中的地铁隧道、历史保护建筑、重要地下管线时，应慎重选用。
- 5) 当基坑周边环境对地下水位变化较为敏感，搅拌桩桩身范围内大部分为砂（粉）性土等透水性较强的土层时，应慎重选用。

2.4.6 钢板桩围护墙

钢板桩是一种带锁口或钳口的热轧（或冷弯）型钢，钢板桩打入后靠锁口或钳口相互连

接咬合，形成连续的钢板桩围护墙，用来挡土和挡水。

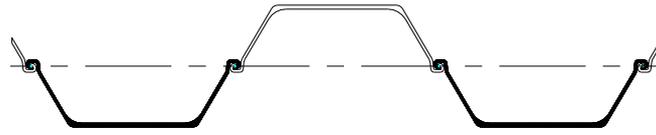


图 2.4-15 钢板桩围护墙平面图

一、特点

- 1) 具有轻型、施工快捷的特点。
- 2) 基坑施工结束后钢板桩可拔除，循环利用，经济性较好。
- 3) 在防水要求不高的工程中，可采用自身防水。在防水要求高的工程中，可另行设置隔水帷幕。
- 4) 钢板桩抗侧刚度相对较小，变形较大。
- 5) 钢板桩打入和拔除对土体扰动较大。钢板桩拔除后需对土体中留下的孔隙进行回填处理。

二、适用条件

- 1) 由于其刚度小，变形较大，一般适用于开挖深度不大于 7m，周边环境保护要求不高的基坑工程。
- 2) 由于钢板桩打入和拔除对周边环境影响较大，邻近对变形敏感建构筑物的基坑工程不宜采用。

2.4.7 钢筋混凝土板桩围护墙

钢筋混凝土板桩围护墙是由钢筋混凝土板桩构件连续沉桩后形成的基坑围护结构。

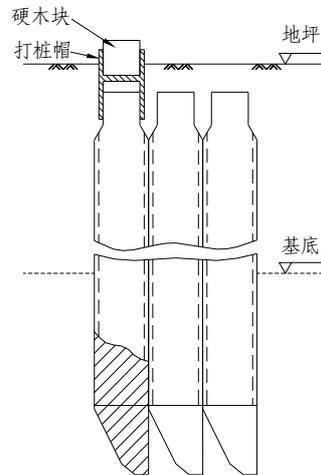


图 2.4-16 钢筋混凝土板桩围护墙立面图

一、特点

- 1) 具有强度高、刚度大、取材方便、施工简易等优点。
- 2) 其外形可以根据需要设计制作，槽榫结构可以解决接缝防水。

二、适用条件

- 1) 开挖深度小于 10m 的中小型基坑工程，作为地下结构的一部分，则更为经济；
- 2) 大面积基坑内的小基坑即“坑中坑”工程，不必坑内拔桩，降低作业难度；
- 3) 较复杂环境下的管道沟槽支护工程，可替代不便拔除的钢板桩；
- 4) 水利工程中的临水基坑工程，内河驳岸、小港码头、港口航道、船坞船闸、河口防汛墙、防浪堤及其他河道海塘治理工程。

2.5 支撑与锚杆系统

2.5.1 内支撑系统

支撑结构选型包括支撑材料和体系的选择以及支撑结构布置等内容。支撑结构选型从结构体系上可分为平面支撑体系和竖向斜撑体系；从材料上可分为钢支撑、钢筋混凝土支撑和钢和混凝土组合支撑的形式。各种形式的支撑体系根据其材料特点具有不同的优缺点和应用范围。由于基坑规模、环境条件、主体结构以及施工方法等的不同，难以对支撑结构选型确定出一套标准的方法，应以确保基坑安全可靠的前提下做到经济合理、施工方便为原则，根据实际工程具体情况综合考虑确定。

一、钢支撑体系

钢支撑体系是在基坑内将钢构件用焊接或螺栓拼接起来的结构体系。由于受现场施工条件的限制，钢支撑的节点构造应尽量简单，节点形式也应尽量统一，因此钢支撑体系通常均采用具有受力直接、节点简单的正交布置形式，从降低施工难度角度不宜采用节点复杂的角撑或者桁架式的支撑布置形式。钢支撑体系目前常用的材料一般有钢管和 H 型钢两种，钢管大多选用 $\Phi 609$ ，壁厚可为 10mm，12mm，14mm；型钢支撑大多选用 H 型钢，常用的有 H700×300、H500×300 等。



图 2.5-1 上海五官科医院十字正交钢管对撑



图 2.5-2 黄金置地车库十字正交型钢对撑

钢支撑架设和拆除速度快、架设完毕后不需等待强度即可直接开挖下层土方，而且支撑材料可重复循环使用的特点，对节省基坑工程造价和加快工期具有显著优势，适用于开挖深度一般、平面形状规则、狭长形的基坑工程中。钢支撑几乎成为地铁车站基坑工程首选的支撑体系。但由于钢支撑节点构造和安装复杂以及目前常用的钢支撑材料截面承载力较为有限等特点，以下几种情况下不适合采用钢支撑体系：

- 1) 基坑形状不规则，不利于钢支撑平面布置；
- 2) 基坑面积巨大，单个方向钢支撑长度过长，拼接节点多易积累形成较大的施工偏差，传力可靠性难以保证；
- 3) 由于基坑面积大且开挖深度深，钢支撑支撑刚度相对较小，不利控制基坑变形和保护周边的环境。

二、钢筋混凝土支撑体系

钢筋混凝土支撑具有刚度大、整体性好的特点，而且可采取灵活的平面布置形式适应基坑工程的各项要求。支撑布置形式目前常用的有正交支撑、圆环支撑或对撑、角撑结合边桁架布置形式。

1) 正交支撑形式

正交对撑布置形式的支撑系统支撑刚度大、传力直接以及受力清楚，具有支撑刚度大

变形小的特点，在所有平面布置形式的支撑体系中最具控制变形的能力，十分适合在敏感环境下面积较小或适中的基坑工程中应用，如邻近保护建（构）筑物、地铁车站或隧道的深基坑工程；或者当基坑工程平面形状较为不规则，采用其他平面布置形式的支撑体系有难度时，也适合采用正交支撑形式。图 16-8 和 16-9 为采用正交支撑形式的两个基坑工程实景。



图 2.5-3 复旦大学附属耳鼻喉科医院

图 2.5-4 宏嘉大厦

该布置形式的支撑系统主要缺点是支撑杆件密集、工程量大，而且出土空间比较小，不利于加快出土速度。

2) 对撑、角撑结合边桁架支撑形式

对撑、角撑结合边桁架支撑体系近年来在深基坑工程中得到了广泛的使用，具有十分成熟的设计和施工经验。对撑、角撑结合边桁架支撑体系具有受力十分明确的特点，且各块支撑受力相对独立，因此该支撑布置形式无需等到支撑系统全部形成才能开挖下皮土方，可实现支撑的分块施工和土方的分块开挖的流水线施工，一定程度上可缩短支撑施工的绝对工期。而且采用对撑、角撑结合边桁架支撑布置形式，其无支撑面积大，出土空间大，而且通过对撑及角撑局部区域设置施工栈桥，将可大大加快土方的出土速度。图 16-10 和 16-11 为采用对撑、角撑结合边桁架支撑形式的两个基坑工程。



图 2.5-5 中国平安金融大厦

图 2.5-6 碧玉蓝天

3) 圆环支撑形式

通过对深基坑支撑结构的受力性能分析可知，挖土时基坑围护墙须承受四周土体压力的作用。从力学观点分析，可以设置水平方向上的受力构件作支撑结构，为充分利用混凝土抗压能力高的特点，把受力支撑形式设计成圆环形结构，支承其土压力是十分合理的。在这个基本原理指导下，土体侧压力通过围护墙传递给围檩与边桁架腹杆，再集中传至圆环。在围护墙的垂直方向上可设置多道圆环内支撑，其圆环的直径大小、垂直方向的间距可由基坑平面尺寸、地下室层高、挖土工况与土压力值来确定。圆环支撑形式适用于超大面积的深基坑工程，以及多种平面形式的基坑，特别适用于方形、多边形。

圆环支撑体系具有如下几点方面典型的优点：

- a. 受力性能合理。在深基坑施工时，采用圆环内支撑形式，从根本上改变了常规的
- b. 支撑结构方式，这种以水平受压为主的圆环内支撑结构体系，能够充分发挥混凝土材料的受压特性，具有足够的刚度和变形小的特点。
- c. 加快土方挖运的速度。采用圆环内支撑结构，在基坑平面形成的无支撑面积达到70%左右，为挖运土的机械化施工提供了良好的多点作业条件，其中环内无支撑区域按周围环境条件与基坑面积的尺寸大小，挖土工艺以留岛式施工为主，在较小面积基坑的最后一层可用盆式挖土。挖土速度可成倍提高，极大地缩短了深基坑的挖土工期，同时有利于基坑变形的时效控制。
- d. 经济效益十分显著。深基坑施工中采用圆环内支撑结构，用料节省显著，与各类支撑结构相比节省大量钢材和水泥，其单位土方的开挖费用较其他支撑相比有较大幅度的下降，施工费用节约可观，社会效益十分显著。
- e. 可适用于狭小场地施工。在施工场地狭小或四周无施工场地的工程中，使用圆环内支撑也是较合适的。因本支撑刚度大，可通过配筋、调整立柱间距等措施，提高其横向承载能力。亦可在上面搭设堆料平台，安装施工机械，便于施工的正常进行。

以上为圆环体系的一些较为突出的优点，当然也存在不利的因素，如根据该支撑形式的受力特点，要求土方开挖流程应确保圆环支撑受力的均匀性，圆环四周坑边应土方均匀、对称的挖除，同时要求土方开挖必须在上道支撑完全形成后进行，因此对施工单位的管理与技术能力要求相对更高，同时不能实现支撑与挖土流水化施工。图 16-9 和 16-10 为采用圆环支撑形式的两个基坑工程实景。



图 2.5-7 华山路颐园工程



图 2.5-8 高宝金融大厦（圆环支撑 60m）

4) 钢与混凝土组合支撑形式

钢支撑具有架设以及拆除施工速度快、可以通过施加和复加预应力控制基坑变形以及可以重复利用经济性较好的特点，因此在大量工程中得到了广泛的应用，但由于复杂的钢支撑节点现场施工难度大、施工质量不易控制，以及现可供选择钢支撑类型较少而且承载能力较为有限等局限性限制了其应用的范围，其主要应用在平面呈狭长形的基坑工程，如地铁车站、共同沟或管道沟槽等市政工程中，也大量应用在平面形状比较规则、短边距离较小的深基坑工程中。钢筋混凝土支撑由于截面承载能力高、以及现场浇筑可以适应各种形状的基坑工程，几乎可以在任何需要支撑的基坑工程中应用，但其工程造价高、需要现场浇筑和养护，而且基坑工程结束之后还需进行拆除，因此其经济性和施工工期不及相同条件下的钢支撑。

根据上述钢支撑和钢筋混凝土支撑的不同特点以及应用范围，在一定条件下的基坑工程可以利用两种材料的特性，采用钢与混凝土组合支撑形式，在确保基坑工程安全前提下，可实现较为合理的经济和工期目标。钢与混凝土组合支撑体系常用的有两种形式，一为同层

支撑平面内钢和混凝土组合支撑，如在长方形的深基坑中，中部可设置短边方向的钢支撑对撑，施工速度快而且工程造价低，基坑两边如设置钢支撑角撑支撑节点复杂而且刚度低，不利于控制基坑变形，可采用施工难度低、刚度更大的钢筋混凝土角撑。图 16-14 陆海空大厦基坑工程为工程实例之一；二为钢支撑平面与混凝土支撑平面的分层组合的形式。为了节约工程造价以及施工的便利，一般情况下深基坑工程第一道支撑系统的局部区域均利用作为施工栈桥，作为基坑工程实施阶段以及地下结构施工阶段的施工机械作业平台、材料堆场，第一道支撑采用钢筋混凝土支撑，对减小围护体水平位移，并保证围护体整体稳定具有重要作用，同时第一道支撑部分区域的支撑杆件经过截面以及配筋的加强即可作为施工栈桥，既方便了施工，又降低了施工技术措施费，第二及以下各道支撑系统为加快施工速度和节约工程造价可采用钢支撑，采用此种组合形式的支撑时，应注意第一道支撑与其下各道支撑平面应上下统一，以便于竖向支承系统的共用以及基坑土方的开挖施工。图 16-15 华山医院基坑支撑系统为采用钢支撑平面与混凝土支撑平面的分层组合形式，第一道采用钢筋混凝土支撑，中部区域经过加固后作为施工栈桥，第二道支撑采用钢管支撑。



图 2.5-9 陆海空大厦钢与混凝土组合支撑实景



图 2.5-10 华山医院钢与混凝土组合支撑实景

5) 竖向斜撑形式

当基坑工程的面积大而开挖深度一般时，如采用常规的按整个基坑平面布置的水平支撑，支撑和立柱的工程量将十分巨大，而且施工工期长，中心岛结合竖向斜撑的围护设计方案可有效的解决此难题，其具体施工流程为：基坑工程首先在基坑中部放坡盆式开挖，形成中心岛盆式工况，依靠基坑周边的盆边留土为围护体提供足够的被动土压力，其后在完成中部基础底板之后，再利用中部已浇筑形成并达到设计强度的基础底板作为支撑基础，设置竖向斜撑，支撑基坑周边的围护体，最后挖除周边盆边留土，浇筑形成周边的基础底板，在地下室整体形成之后，基坑周边密实回填，再拆除竖向斜撑。竖向斜撑一般采用钢管支撑，在端部穿越结构外墙段用 H 型钢替代，以方便穿越结构外墙并设置止水措施。图 16-16 及图 16-17 为采用竖向斜撑的两个工程实例。



图 2.5-11 大宁商业中心竖向斜撑实景

图 2.5-12 世博公共活动中心竖向斜撑实景

2.5.2 锚杆系统

锚杆作为一种支护形式用作基坑围护工程已近五十年，它一端与围护墙连接，另一端锚固在稳定地层中，使作用在围护结构上的水土压力，通过自由段传递到锚固段，再由锚固段将锚杆拉力传递到稳定土层中去。与其他设置内支撑的支护形式相比，采用锚杆支护形式，节省了大量内支撑和竖向支承钢立柱的设置和拆除，因此经济性相对于内支撑支护形式具有较大的优势，而且由于锚杆设置在围护墙的背后，为基坑工程的土方开挖、地下结构施工创造了开阔的空间，有利于提高施工效率和地下工程的质量。但锚杆支护受到地层条件和环境条件的限制，主要指传力地层的地质条件使锚杆力能否有效地传递，以及锚杆有可能超越用地红线对红线以外的已建建（构）筑物形成不利影响或者形成将来地下空间开发的障碍。

锚杆结构一般由锚头、自由段以及锚固段三部分组成，其中锚固段用水泥浆或水泥砂浆将杆体（普通钢筋或者预应力筋）与土体粘结在一起形成锚杆的锚固体。锚杆按其使用年限分为临时性锚杆（使用时间<2年）和永久性锚杆（使用时间>2年）。临时性锚杆和永久性锚杆的设计安全度、防腐处理以及锚头构造都有不同的要求。作为基坑工程使用的锚杆，有效作用时间通常都在一年左右，因此对用于基坑支护的锚杆可按临时性锚杆考虑。

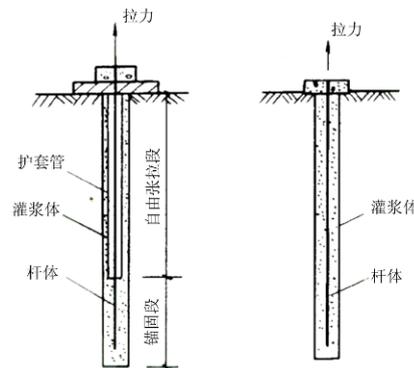
锚杆支护技术在基坑工程领域经过多年的应用和发展，已经形成多种成熟的、可供选择的锚杆形式。锚杆的具体选型需根据工程水文土层地质条件、周边环境情况以及基坑工程的面积及开挖深度等特点确定。

一、预应力锚杆与非预应力锚杆

锚杆一般按照是否施工预应力可分为预应力锚杆和非预应力锚杆。

预应力锚杆由自由段和锚固段组成，一般采用钢绞线作为锚杆杆体。施工流程上应先成孔，其后放置锚杆杆体，之后进行锚杆浆体的施工，浆体施工完毕并达到设计要求的强度之后，对钢绞线进行张拉施工预应力。由于预应力锚杆需进行张拉的程序，锚杆在下层土方开挖之前便可提供支护锚固力，因此该类型锚杆具有控制变形能力强的特点，而且前期的张拉工序能预先检验锚杆的承载力，质量更容易得到保证。预应力锚杆施工工艺相对复杂、工程造价相对较高，但具有承载能力高、控制基坑变形能力强的特点，适用于对周围环境保护要求较高、开挖深度较深的深基坑工程中。

非预应力锚杆与预应力锚杆不同，没有自由段均为锚固段，采用普通的钢筋作为锚杆杆体，锚杆成孔后置入钢筋杆体，进行注浆后即完成锚杆的所有工序。该类型锚杆需在基坑开挖下批土方，锚杆产生变形趋势之后才发挥锚固作用，因此控制基坑变形能力相对于预应力锚杆差，而且缺乏成套行之有效的检验手段和施工质量控制标准。非预应力锚杆控制基坑变形能力和承载能力一般，但施工工艺简单、工序少而且工程造价相对较低，一般适用于周围环境无特殊保护要求、开挖深度一般的深基坑工程中。



(a) 预应力锚杆 (b) 非预应力锚杆

图 2.5-13 预应力锚杆与非预应力锚杆结构构造的比较

二、拉力型锚杆与压力型锚杆

拉力型锚杆与压力型锚杆的共性特点在于工作状态时锚杆杆体均处于受拉状态，不同点在于锚杆受荷后其固定段内的灌浆体分别处于受拉或者受压状态。

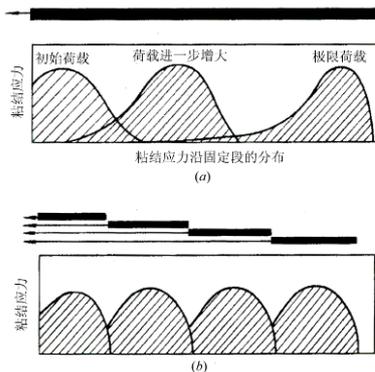
拉力型锚杆工作时，锚杆灌浆体处于受拉状态，由于灌浆体抗拉强度很小，工作状态时浆体容易出现张拉裂缝，地下水极易通过裂缝渗入锚杆内部，从而导致锚杆杆体长期的防腐性差。但拉力型锚杆结构简单、施工方便以及具有较好的经济性，因此该类型锚杆在无特殊要求的深基坑工程中得到较为广泛的应用，当前基坑工程中的锚杆多采用此类型锚杆。

压力型锚杆工作状态灌浆体受压，灌浆体不易开裂，锚杆防腐性较好，可用于永久性锚固工程，而且灌浆体受压性能远优于其受拉性能，因此压力型锚杆受力性能优于拉力型锚杆，另外由于锚杆芯体与灌浆体之间采取隔离措施，为锚杆使用完毕回收锚杆芯体创造了条件。总的来看，压力型锚杆施工工艺相对于拉力型锚杆复杂，而且造价也相对较高，一定程度限制其应用发展，但其防腐性能较好，特别是具有可锚杆芯体可回收、对周边地下空间开发不造成障碍的特点，是今后基坑工程支护形式的发展应用方向之一。

三、单孔单一锚固和单孔复合锚固

单孔单一锚固指在一个钻孔中只有一根独立的锚杆，其预应力仅通过唯一一个锚固体传递至地层，锚固体会出现严重的应力集中现象，而应力集中过大将易产生锚固浆体破坏或周围地层的破坏，从而降低锚杆的承载力。上述的拉力型锚杆及压力型锚杆均属于单孔单一锚固型锚杆，由于单孔单一锚固型施工工艺相对简单、工艺成熟、具有大量的实践经验和理论基础，因此目前工程中大量使用的是单孔单一锚固型锚杆。

随着深基坑工程呈深、大方向的发展，对锚杆承载力等性能要求更高，由于单孔单一锚固型锚杆难以克服应力集中的负面因素，其承载力难以较大幅度的提升，单孔复合锚固型锚杆则是一种较为新型的锚杆，其是在同一钻孔中设置多个单元锚杆，以将原本集中的荷载均匀分散至多个单元锚杆之上，从而大大改善单孔单一锚固型锚杆应力集中的现象，使其具有相同长度下相对于单孔单一锚固型锚杆具有更高的锚固力，大幅度的提高锚杆的承载力以及其他方面的性能。



(a) 单孔单一锚固体系 (b) 单孔复合锚固体系

图 2.5-14 单孔复合锚固体系与单孔单一锚固体系的比较

四、可拆卸回收式锚杆

当基坑邻近建筑物红线而不允许采用永久式锚杆时，或者基坑周边地下空间有开发的规划，不允许设置永久性锚杆时，应采用可拆卸回收式锚杆，待基坑工程施工结束，锚杆结束其服务期后，便可将其中的钢绞线从孔中抽出回收，达到回收锚杆杆体的目的，从而避免对后续地下空间的开发形成障碍。

根据杆体回收的不同机理，目前工程中一般有机械式可回收锚杆、化学式可回收锚杆以

及力学式可回收锚杆等三种可拆卸回收式锚杆。

五、玻璃纤维锚杆

玻璃纤维锚杆的应用与可拆卸回收式锚杆一样，同样是为了不影响周围地下空间的开发，即锚杆杆体的材料采用玻璃纤维，利用玻璃纤维抗拉强度高，抗剪、抗折强度低、脆性的特点，机械可断不会对影响范围的地下空间开发形成障碍物。

由于玻璃纤维抗剪强度较低，在竖向变形较大的区域应慎重，以避免因竖向变形过大造成杆体剪断。因此当基坑周边环境对变形要求较高，采用玻璃纤维锚杆进行支护时应慎重，若必须采用玻璃纤维锚杆，应考虑适当增加其截面。

六、自钻式中空注浆锚杆

自钻式中空注浆锚杆是一种新型锚杆，其将钻孔、锚杆安装、注浆、锚固合而为一，具有施工速度快、锚固力大、防腐性能好、工艺简单等特点。其注浆工艺是在钻孔后立即从锚杆的中孔向内注浆，浆液达到孔底后，即沿着孔壁与锚杆壁间自底向孔口进行充填，因而不仅保证了及时支护地层，同时也保证了钻孔中注浆的饱满，并能充填钻孔周壁的地层缝隙，增大了锚固力。另外，由于孔外锚端的螺母拧紧力作用，可作为预应力锚杆进行设计。

自钻式中空注浆锚杆适合在破碎而极易坍孔的地层中应用，甚至在砂卵石或淤泥质地层中也能采用，从根本上扭转了在松软、破碎等不良地层中无法安放锚杆或锚杆长度不能满足设计要求的状况。

七、全套管跟进锚杆

在高地下水位、粉砂土地基中进行锚杆施工时，如不采用辅助措施直接钻孔，容易产生坍孔、流砂，土颗粒大量流失造成周边地面沉陷，严重时将影响到基坑工程的安全。此时可采用全套管跟进锚杆，即在孔口外接套管斜向上一定高度、套管内灌水保持水压平衡后再进行钻孔施工，从而避免钻孔发生流砂、坍孔现象。



图 2.5-15 全套管跟进锚杆实景

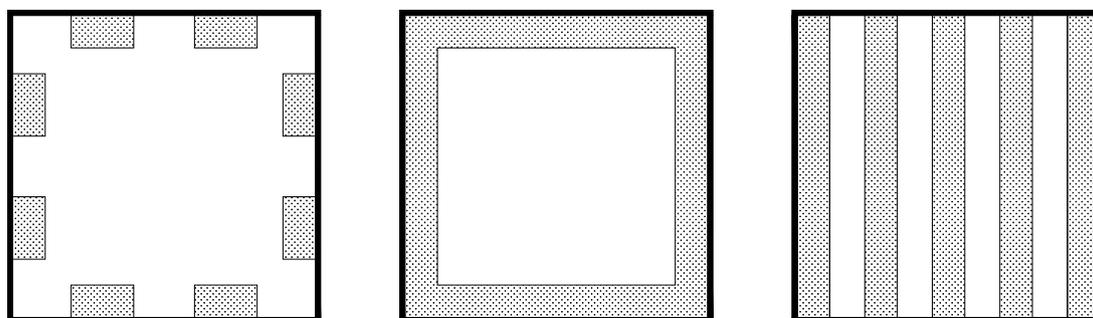
2.6 基坑加固

基坑工程中当场地内存在较为软弱的土层时，为了增强基坑支护体系的稳定性、控制周边围护结构的变形、给现场施工和土方开挖创造条件，可以考虑进行基坑土体加固。基坑土体加固主要指在基坑开挖施工期间发挥作用的临时性地基处理，意在改善土体的物理力学性能、提高被动区土体抗力、减小基坑支护结构的变形或增强基坑的稳定性。基坑土体加固通常采用搅拌桩、高压旋喷桩、注浆、降水等方法。基坑工程中应根据场地地质条件、周边环境的变形控制要求以及土方开挖的方式等情况，进行基坑土体加固的设计。

按照土体加固的用途不同主要划分为以下几类：

1. 基坑周边被动区土体加固

在软土地基中,当周边环境保护要求较高时,基坑工程前宜对被动区土体进行加固处理,以便提高被动区土体抗力,减少基坑开挖过程中围护结构的变形。采用墩式加固时,土体加固一般多布置在基坑周边阳角位置或跨中区域;必要时,也可以考虑采用抽条加固或满堂加固。加固体的深度范围应从第二道支撑底至开挖面以下一定深度(上海地区的经验一般为开挖面以下4m),考虑地表有施工机械运行需要时,也可以采用低水泥掺量加固到地面。



(a) 墩式加固

(b) 裙边满堂加固

(c) 抽条加固

图 2.6-1 坑内加固平面布置示意图

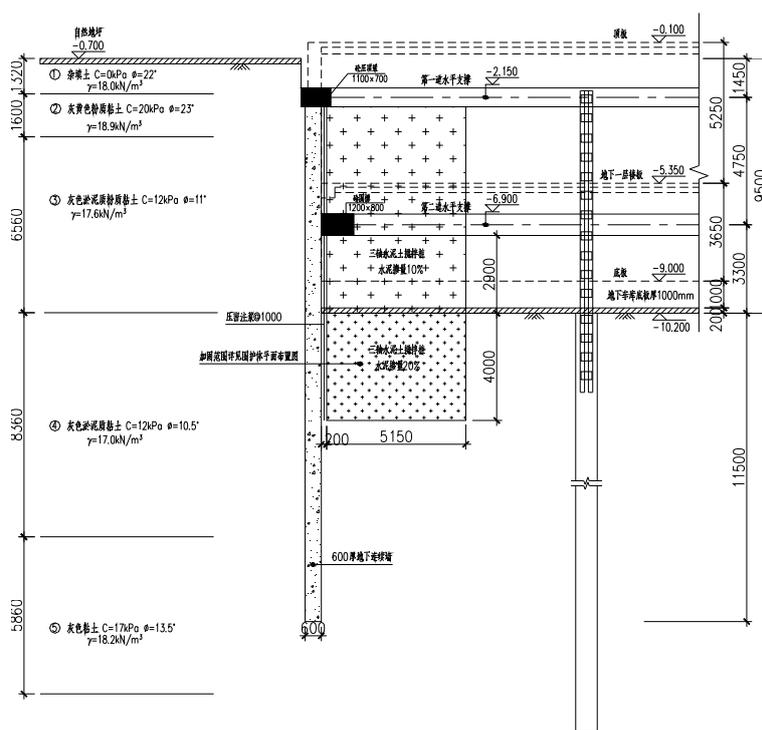


图 2.6-2 上海某工程坑内加固平面和剖面示意图

通常采用双轴水泥土搅拌桩或三轴水泥土搅拌桩进行被动区土体加固。根据加固深度不同可以选择不同的加固工艺,上海地区双轴水泥土搅拌桩的加固深度一般控制在 18m 以内;加固深度超过 18m 时,采用三轴水泥土搅拌桩。采用水泥土搅拌桩重力式挡墙作为周边围护结构时,被动区土体加固应与重力式挡墙相互搭接,一起施工;采用其他围护结构形式时,围护结构与被动区土体加固之间的空隙采用压密注浆或高压旋喷桩进行填充加固。

2. 场地内有浜土或淤泥质土等极软弱土层分布

当场地周边存在极软弱的浜土和淤泥质土等地层时,应结合其分布特点对相应区域的土体进行加固。其一,当软弱土层影响基坑周边围护结构施工时,应预先加固处理,避免影响

支护结构的施工质量；其二，在采用放坡、水泥土搅拌桩重力式挡墙或土钉墙等支护形式的无内支撑的基坑工程中，当软弱土层位于基坑周边区域时，容易出现土体滑动威胁基坑工程安全，应对该区域进行土体加固或换填增强边坡稳定性。如图 2.6-3 所示采用不同支护形式的基坑工程中，基坑周边有部分暗浜分布，为避免浜体影响支护体系的稳定性，采用水泥土搅拌桩对暗浜进行了低掺量的加固，在需要设置水泥土搅拌桩重力式挡墙时，暗浜范围的水泥掺量需要适当提高。

当软弱土层位于基坑周边开挖范围内时，由于其多呈现流塑~软塑状态，且土体渗透性较差，疏干降水效果不理想，因此土方开挖有一定的困难。为了给土方开挖创造条件，加快施工进度，也可以对土体进行加固处理。

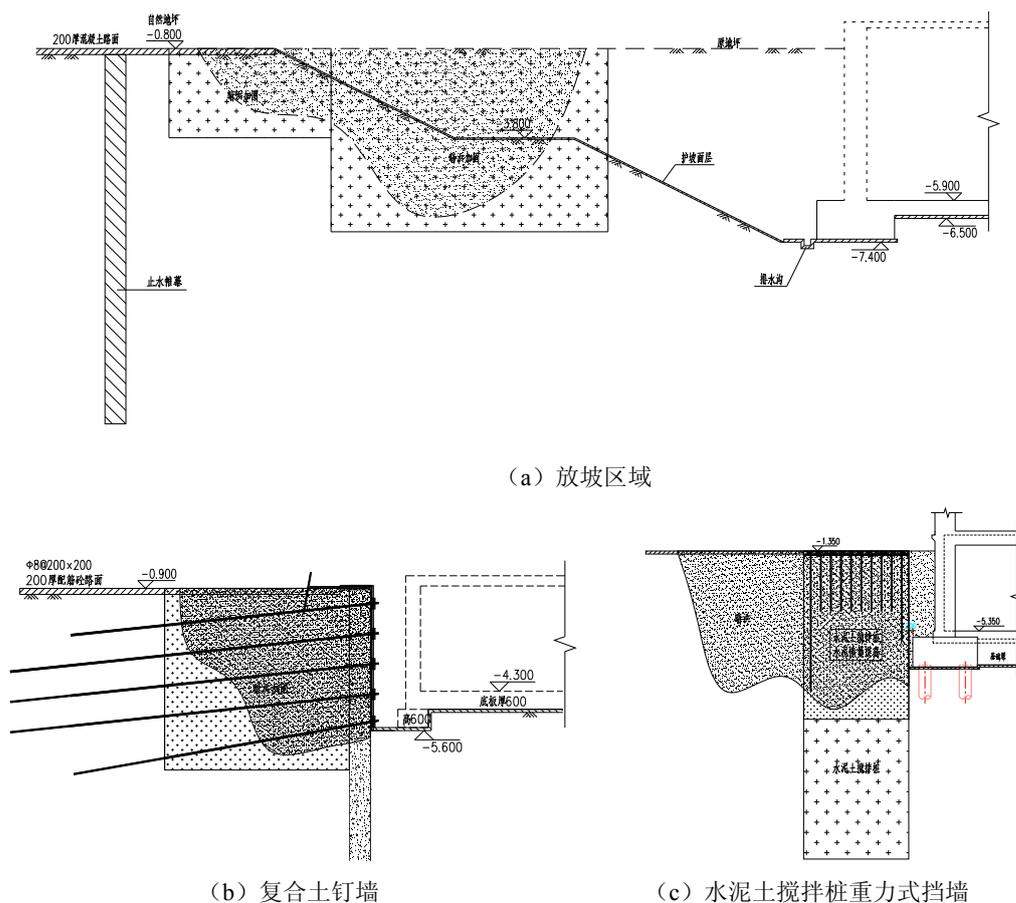


图 2.6-3 暗浜加固示意图

由于暗浜分布通常较浅，因此可以采用双轴水泥土搅拌桩进行加固，加固体深度和平面范围应超出所需加固的暗浜的范围。水泥土搅拌桩可以采用各栅布置，换填加固时水泥掺量可以较低，满足施工工艺要求即可；当对加固体强度有一定要求时，水泥掺量较常规的水泥土搅拌桩施工时宜提高 3~5%。

3. 基底深坑处理

出于建筑功能的需要，电梯井和集水井等通常都比普遍基底开挖深度深。对于位于基坑周边的基底深坑或位于基坑中部、但落深较大的基底深坑应预先进行土体加固处理，落深特别大时还需设置板式支护保证基底深坑的侧壁稳定性。基底深坑加固应综合考虑基坑土体残余应力、落深深度、地下水处理等因素，按重力式挡土墙进行加固体深度和厚度的估算，必要时应进行封底加固处理。

基底深坑加固的施工工艺选择较多，可以采用双轴水泥土搅拌桩、三轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、压密注浆等，其中基底深坑的周边加固多采用水泥土搅拌桩，也可以采用高压

旋喷桩，深坑底部的封底加固可以采用压密注浆或高压旋喷桩。深坑加固主要在基坑开挖到普遍基底后进行深坑开挖时发挥作用，在普遍开挖深度较深的基坑工程中，根据施工工艺特点，采用高压旋喷桩进行加固通常具有较好的经济性，这主要是因为三轴水泥土搅拌桩在普遍基底到自然地坪的这段高度范围内也必须保证一定的水泥掺入比方可施工，而高压旋喷桩则只需对基底以下的部分进行喷射注浆。图 2.6-4 是基底深坑加固的一个典型示例，根据上海地区的经验，当基底深坑超过 1.5m 时需要进行深坑加固，深坑周边加固体的宽度约为深坑开挖深度的 0.8 倍；加固体的插入深度约为深坑开挖深度的 1.2 倍，且不少于封底加固的厚度。封底加固的厚度通常为 3m 左右。

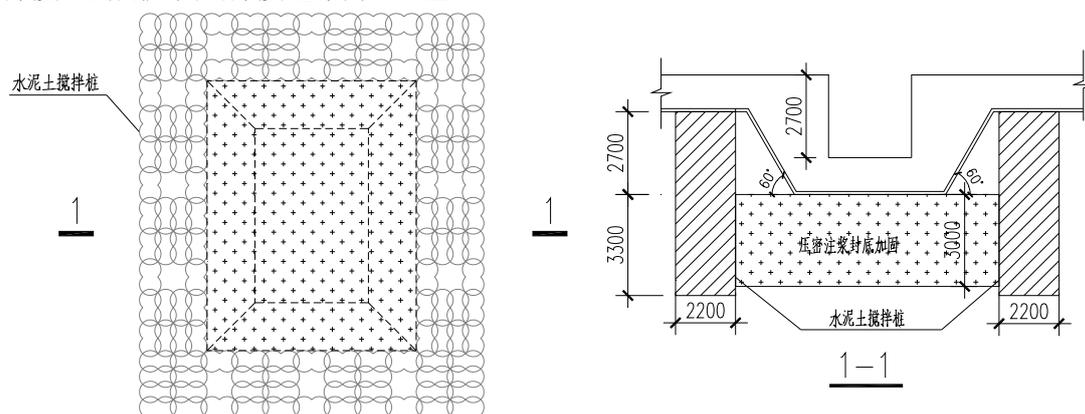


图 2.6-4 基底深坑加固平面和剖面示意图

4. 基坑周边运输通道区域

基坑工程施工势必需要大量土方开挖以及运输的车辆进出，因此在基坑工程开挖前，施工单位应进行周密的现场施工组织设计，并根据场地和市政条件确定土方运输的出入口。由于出入口位置将作为重载车辆频繁行驶的区域，因此宜事先对该区域进行必要的土体加固处理，并采用铺设走道板等方式扩散超载引起的压力，减少开挖过程中对邻近支护结构的受力和变形影响。

各种基坑土体加固的方法应根据现场实际情况、加固体的深度和平面范围、施工可行性以及加固体施工对周边环境的影响程度等因素综合考虑确定。基坑土体加固通常在主体结构工程桩、周边围护结构、坑内立柱桩等结构施工完成之后且基坑开挖前进行施工，并在基坑开挖到相应标高时达到设计强度要求。

2.7 地下水控制

地下水控制与基坑工程的安全以及周边环境的保护都密切相关。在地下水位较高的地区，基坑降水、降压需满足基坑工程安全和方便现场施工的要求；但在环境保护要求较高的区域，基坑降水还需要设置合理的隔水体系并且有通畅的排水系统。因此进行地下水控制也是基坑工程的设计与施工必须要考虑的重要问题。

地下水控制主要有以下三种处理方式：隔水、排水和降水。其中降水是基坑开挖过程中最为常见的地下水处理方式，目的就在于降低地下水位、增加边坡稳定性、给基坑开挖创造便利条件；进行承压水降压是为了防止坑底突涌。降水系统的有效工作需要通畅的排水系统，但除了将坑内抽降的地下水及时排出外，排水系统还包括地表明水、开挖期间的大气降水等的及时排除。为了避免降、排水造成地面沉降，影响周边建筑物、市政管线等的正常使用，需要设置隔水体系，切断基坑内外必要的水力联系和补给，既避免坑外的水位下降，也能够有效减少坑内降水的水量。这三种地下水处理方式，作用不同，在基坑工程中常常需要组合使用，才能保证地下水处理的合理、可行、有效的实施。

确定基坑工程的地下水控制措施前,首先要掌握场地工程地质和水文地质条件以及基坑周边的环境条件,了解地下水位埋深、土层渗透系数、含水层和相对隔水层的分布、土体含水量等参数指标。根据基坑开挖深度以及周边环境保护要求确定地下水处理方案。

1. 潜水

当基坑开挖面低于浅层潜水水位标高时,需要进行潜水降水。降深要求通常为基坑开挖面以下 0.5~1.0m。由于潜水位的变化对于浅层土体固结的影响比较明显,容易带来较大的地表沉降。因此在非常空旷的场地或降水影响范围内没有需要保护的建(构)筑物存在时,可以进行敞开式降水,否则,应设置一定深度的隔水体系。

潜水降水的方法很多,集水明排、轻型井点、喷射井点、砂(砾)渗井、电渗井点、管井(深井)等都是可以采用的,但各种方式的工作特点和适用范围各不相同,具体可参见本书第 22 章的有关介绍。井点的布置应根据土体含水量以及地区经验确定,原则上应在基坑内部均匀布置,并尽量设置在支撑边缘等便于开挖过程中保护的位置。

隔水体系可以与基坑周边围护墙体结合设置,也可以单独设置。板式支护体系围护墙中地下连续墙、型钢水泥土搅拌墙、小企口连接的钢板桩等都具有隔水性能;需要单独设置时,三轴水泥土搅拌桩、双轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、注浆等方式都可以形成连续搭接的隔水帷幕。隔水体系也需要根据基坑支护设计时同支护形式以及环境条件特点进行选择。隔水帷幕底部通常需要进入到相对不透水层或基坑底部一定深度,隔断地下水的水平补给、加长避免帷幕底部绕流补给的路径,满足抗渗流稳定性的需要。

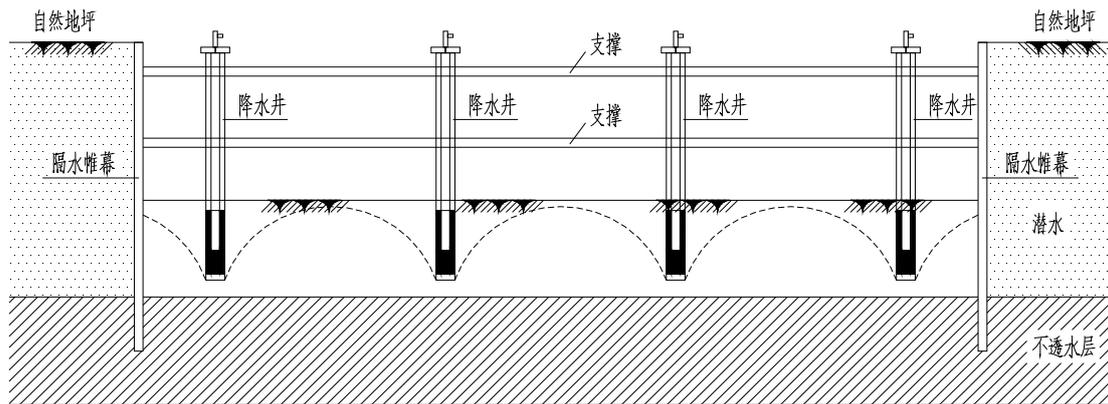


图 2.7-1 基坑坑内降水示意图

2. 承压水

承压水具有一定的压力,水头埋深高出其含水层的层顶埋深,通常情况下,承压水水量丰富、补给充足。当场地内分布有承压含水层时,必须根据基坑开挖深度确定承压含水层的突涌稳定性是否满足要求。对于存在承压水突涌风险的基坑工程必须采取针对性的处理措施,保证基坑开挖过程中的安全。

确定承压水处理措施前,应充分了解承压水的埋藏深度、水头埋深、与基坑开挖深度的关系,以及承压水降水对周边环境的影响。对于位于基坑开挖深度范围内的承压水,必须设置可靠的隔水体系完全隔离,然后在开挖过程中进行坑内的疏干降水。对于承压含水层埋藏深度低于基坑开挖面的情况,应通过降压来满足基坑开挖到基底时抗承压水突涌稳定性的要求。在地层水文地质条件复杂或对无当地承压水降压的相关经验时,应通过场地内的抽水试验来确定承压水的抽水量与水头降深的关系、越层补给的水量大小以及降压对地表沉降的影响等参数指标。抽水试验结果是基坑工程中承压水处理方案确定的重要依据,当深层降压对地表沉降没有明显影响时,可以在开挖过程中进行坑内或坑外降压;当地表沉降对深层降压比较敏感时,为保护周边环境,宜对深层承压含水层进行隔断后再进行坑内的疏干降水。进

行降压或疏干降水的井点布置和井管构造可以通过前期抽水试验或地区经验进行确定,详见第 22 章。

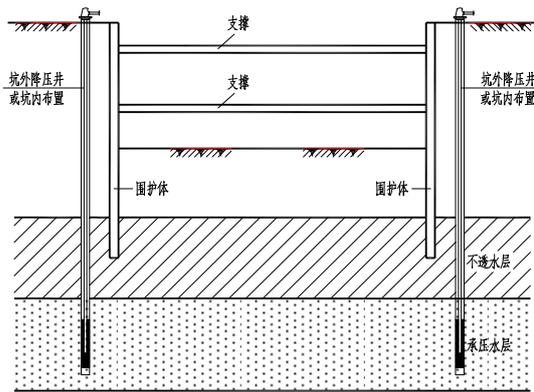


图 2.7-2 承压水降压示意图

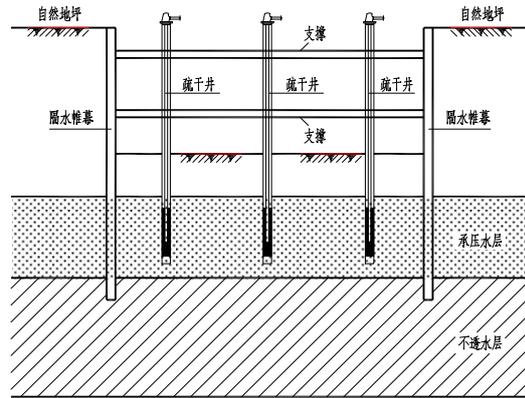


图 2.7-3 承压水隔断示意图

特别指出的是,无论是在何种情况下,基坑工程中抽降承压水都应该按需、动态降压,根据水头埋深以及基坑开挖的深度进行估算,确定在基坑开挖到什么深度时开始降压、降深达到多少时可以满足基底抗突涌稳定性的要求,并通过水位观测井及时反映降压效果,并调控降压出水量,以减小对场地周边环境的影响。

综上,基坑工程中的地下水控制应根据场地水文地质条件、基坑开挖深度以及周边环境情况等综合考虑确定。地下水处理方案与控制措施都应该保障基坑工程本身以及基坑周边的环境的安全。

2.8 基坑开挖

基坑工程是支护结构施工、降水以及基坑开挖的系统工程,在支护结构选型合理、的前提下,基坑开挖对基坑周边环境的影响、甚至基坑工程的安全都至关重要。基坑开挖时周围土体及围护墙向迎坑面发生侧向移动、伴随地面沉降及坑底隆起,从而引起紧邻建(构)筑物及地下管线的侧移、沉降或倾斜。基坑工程开挖必须在全面掌握现场场地条件、基坑支护设计方案以及施工工期要求等方面的条件后,进行合理的施工组织设计。应综合考虑土方开挖、基坑降水以及基坑监测等各分项工程的施工流程和相互影响等因素周密安排施工步骤,保证基坑工程的安全以及减少对周边环境的影响。土方开挖专项方案制订时应首先明确开挖原则,根据基坑工程的特点选择合理的开挖方式,然后进行土方开挖的竖向分层和平面分块。

同样类型的基坑,采用相同的设计方法和支护结构,由于土方开挖的方法、顺序不同,围护墙的位移和对环境影响的程度存在较大的差异。“及时支撑、先撑后挖,分层开挖、严禁超挖”,是近十几年来大量深基坑工程设计与施工的实践经验总结,也是任何基坑的开挖均应遵循的一条原则。在大面积深基坑工程中,基坑开挖过程中“时空效应”十分明显。开挖深度相同的基坑工程,其开挖面积越大,围护墙的位移也越大,对环境影响也越大。大量监测资料反映,当基坑开挖至设计标高后,围护墙的位移将以较大的速率持续发展,直至垫层、底板换撑完成,变形速率才趋小,位移才得以控制。可见缩短基坑暴露时间对于控制围护墙位移至关重要,因此对大面积基坑工程,应采取分区、分块、抽条开挖和分段安装支撑的施工方法。

基坑工程中土方开挖方式应结合基坑规模、开挖深度、平面形状以及支护设计方案综合确定。按照基坑分块开挖的顺序不同,基坑开挖的方式可以主要可以分为分段(块)退挖、岛式开挖和盆式开挖等几种。在无内支撑或设置单道支撑的基坑工程中,常根据出土路线采用分段(块)退挖的方式。在有内支撑的基坑工程中,应根据支撑布置形式选择合理的开挖方式。基坑开挖应优先考虑能够及早形成内支撑的开挖方式。通常情况下,采用圆环形支撑

体系的基坑工程宜采用岛式开挖,采用对撑体系或临时支撑与结构梁板相结合的基坑工程宜采用盆式开挖。基坑开挖方式的不同对周边环境的影响也有所不同,这两者相比,岛式开挖更有利于控制基坑开挖过程中的中部土体的隆起变形,盆式开挖则能够利用周边的被动区留土在一定程度上减少围护墙的侧向变形。

基坑开挖深度较深、周边环境保护对象较为敏感时,应分层进行土方开挖,分层位置应结合支护体系的特点确定,如多级放坡的分级位置、土钉或锚杆的深度、内支撑或结构梁板的标高位置等,必要时还可在以上分层的基础上进一步细分。对于平面面积较大的基坑工程,土方开挖还应分段、分块进行。土方分块时应考虑主体结构分缝、后浇带位置、现场施工组织等因素,土方分块开挖宜间隔、对称进行,开挖到位的区块应及时形成垫层或进行支撑(锚杆)施工,减少基坑周边围护结构的无支撑暴露长度。

在合理选择基坑开挖方案的基础上,土方开挖还需要充分利用场地条件,注意临时土坡的稳定性。基坑开挖应该与支撑设置、地下水控制以及基坑监测同步实施、协调工作,才能保证基坑工程的安全、及时掌握开挖过程中的信息,保证基坑工程的顺利进展。

1. 合理利用施工栈桥

对于开挖深度较深、基坑面积较大的基坑工程,为了加快土方开挖速度,可以利用临时支撑、逆作结构梁板或单独设置临时施工栈桥。施工栈桥应结合土方开挖运输路线进行设置,并考虑挖土机械的停放位置以及运土车辆的行驶要求,使得出土范围尽可能覆盖大面积基坑。考虑到后续地下结构施工的需要,基坑工程中大量采用水平栈桥;但当基坑开挖需要运土车辆直接进入基坑开挖面时,也可以设置倾斜的施工栈桥,土质条件较好的地方可以直接设置土坡栈道。

2. 临时土坡的稳定性

基坑开挖过程中必然会出现临时土坡,由于留存时间较短,往往造成现场施工人员对其坡体稳定性的忽视。由于临时土坡的土体受到较大的扰动,尤其是在土方驳运后土质松散、挖土机械反复碾压,土体表面没有覆盖保护,在坡体高差过大、坡度过陡、暴雨后土体含水量大幅度提高后,容易出现土体滑坡。一旦出现土体滑坡,可能会造成相应区域工程桩、立柱桩出现一定程度的侧向变位,甚至造成支撑体系的变位或脱落,给基坑工程安全带来重大的安全隐患。

因此基坑开挖过程中应严格控制临时土坡的高差和坡度,上海地区的经验是临时土坡宜控制在 3m 以内,且坡度不宜超过 1: 1.5。对于因为基坑分块实施需要保留时间较长的临时放坡,应根据其具体情况设置护坡面层,并做好坡体的降水、排水工作。

3. 对支撑构件、降水井、监测布点的保护

采用机械进行大开挖时,一定要加强现场管理,避免挖土机械碰撞水平支撑、支撑立柱、降水井和监测布点等。同时立柱周围应该均匀对称开挖土方,防止出现高差较大的临时边坡对立柱的侧向推力造成立柱的倾斜。同样位于基坑内部的降水井点和一些监测布点也应设置明显标志加以保护。

4. 土方开挖后及时外运,及时跟进支撑或垫层的施工

土方开挖产生的渣土应及时外运出场至指定地点,严禁在基坑开挖过程中在基坑周边设置大面积的填土堆载。必须进行坑外堆载时,应经过复核并对相应的支护体系进行加强后方可实施。土方开挖后,应及时跟进支撑或垫层的施工,控制无支撑暴露时间,有利于控制围护墙体的变形和基坑内部的隆起变形,减少对周边环境的影响。

2.9 基坑监测

由于地质条件、环境条件、荷载条件、施工条件和外界其它因素的复杂影响,基坑工程

开挖实施过程中的不确定因素很多,而基坑工程的设计计算以及变形影响估算等理论分析工作也还在不断发展和完善,这使得支护体系受力和变形都难以准确计算。因此利用监测信息及时掌握基坑围护结构、周边环境变化程度和发展趋势,有利于及时采取措施应对异常情况,防止事故的发生。信息化施工是保障基坑工程安全的必不可少的一项工作,积累监测资料也是验证设计参数、完善设计理论、推动设计水平进步的必要手段。

基坑工程的风险性随开挖深度的增加和环境条件的日益复杂而增大。由于基坑围护设计体系的半经验半理论性、岩土性质的多样性和不确定性、城市环境条件的复杂性,对监测工作提出了更高的要求。基坑监测对象主要为自身围护结构和基坑周边环境。基坑工程整体安全与基坑开挖深度、周边环境条件和场地工程地质条件等密切相关,所以在确定监测项目时,应与安全等级和环境保护等级相联系。其中,基坑支护体系的监测项目主要根据安全等级确定,周边环境监测项目主要根据环境保护等级确定。当然在综合考虑基坑工程安全度时,也要紧密结合基坑围护形式、围护体变形大小和对周边环境的影响程度,有针对性地选择相应的监测项目、编制监测方案。

表 2.9-1 和 2.9-2 是上海市工程建设规范《基坑工程技术规范》中针对不同基坑工程安全等级和环境保护等级对基坑支护体系监测与基坑周边环境监测的监测项目表。设计人员可以以及结合各地区基坑工程的特点和需要参照选用。基坑工程安全等级是根据基坑开挖深度进行划分的,主要体现基坑工程的难易程度以及开挖过程中的风险级别;环境保护等级根据环境保护对象的重要性程度和环境保护对象与基坑的净距进行划分,主要体现基坑工程所处场地周边环境对基坑开挖的敏感程度以及环境保护对象对土体变形的承受能力。因此应按照基坑工程安全等级选择基坑支护体系中的监测项目,按照环境保护等级确定基坑外土体变形、水位变化以及环境保护对象的监测项目。

表 2.9-1 根据基坑工程安全等级选择基坑支护体系监测项目表

序号	施工阶段	预降水阶段	基坑开挖阶段						
	支护形式和安全等级		放坡开挖	复合土钉支护	水泥土重力式围护墙		板式支护体系		
			监测项目	三级	三级	二级	三级	一级	二级
1	支护体系观察		√	√	√	√	√	√	√
2	围护墙(边坡)顶部 竖向、水平位移		√	√	√	√	√	√	√
3	围护体系裂缝			√	√	√	√	√	√
4	围护墙侧向变形(测斜)			○	√	○	√	√	√
5	围护墙侧向土压力						○	○	
6	围护墙内力						○	○	
7	冠梁及围檩内力						√	○	
8	支撑内力						√	√	○
9	锚杆拉力						√	√	○
10	立柱竖向位移						√	√	○
11	立柱内力						○	○	
12	坑底隆起(回弹)				○		√	○	
13	基坑内地下水水位	√	√	√	√	√	√	√	√

注: 1 √应测项目; ○选测项目(视监测工程具体情况和相关单位要求确定)

2 逆作法基坑施工除应满足一级板式围护体系监测要求外,尚应增加结构梁板体系内力监测和立柱、外墙垂直位移监测。

3 安全等级为一级的基坑为开挖深度超过 12m 或采用主体结构与支护结构相结合的基坑工程；开挖深度小与 7m 的为三级基坑；其余为二级基坑。

表 2.9-2 根据基坑工程环境保护等级选择周边环境监测项目表

序号	施工阶段	土方开挖前			基坑开挖阶段		
	环境保护等级 监测项目	一级	二级	三级	一级	二级	三级
1	基坑外地下水水位	√	√	√	√	√	√
2	孔隙水压力	○			○	○	
3	坑外土体深层侧向变形（测斜）	√	○		√	○	
4	坑外土体分层竖向位移	○			○	○	
5	地表竖向位移	√	√	○	√	√	√
6	基坑外侧地表裂缝（如有）	√	√	√	√	√	√
7	邻近建（构）筑物水平及竖向位移	√	√	√	√	√	√
8	邻近建（构）筑物倾斜	√	○	○	√	○	○
9	邻近建（构）筑物裂缝（如有）	√	√	√	√	√	√
10	邻近地下管线水平及竖向位移	√	√	√	√	√	√

注：1 √应测项目；○选测项目（视监测工程具体情况和相关单位要求确定）；

2 土方开挖前是指基坑围护结构体施工、预降水阶段；

3 环境保护等级是根据环境保护对象的重要性以及距离基坑的远近确定的。

监测项目确定后，应选择合理的监测元件进行合理布点，监测点的布置应结合基坑工程的特点，做到重点部位重点监测、监测点合理配套，形成有效的整个监测网络；监测过程中还要根据基坑工程的工况进展合理调配监测频率，在基坑工程开挖、支撑、换撑等主要工况中应适当加密监测频率，保障基坑工程进展全范围、全过程的有效监测。

基坑工程监测应及时测报初始值，并在监测实施前根据基坑工程的特点确定监测报警值，以便在基坑工程实施期间及时发现风险点并采取有效措施保证基坑工程的安全顺利进行和周边保护对象的正常工作和使用。一般情况下，监测报警值应根据基坑围护设计、周边环境的承受能力以及工程经验具体分析综合确定，当无可靠经验时，也可参考表 2.9-3 和 2.9-4 确定。

表 2.9-3 根据基坑工程安全等级确定报警值

基坑工程安全等级 监测项目	一级		二级		三级	
	变化速率 (mm/天)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/天)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/天)	累计值 (mm)
围护墙侧向最大位移	2~4	0.4%H	3~5	0.5%H	3~5	0.8%H
支撑轴力	设计控制值的 80%					
锚杆拉力						

注：报警值可按基坑各边情况分别确定。

表 2.9-4 根据基坑工程环境保护等级确定报警值

基坑工程环境保护等级	一级		二级		三级	
	变化速率	累计值	变化速率	累计值	变化速率	累计值

监测项目	(mm/天)	(mm)	(mm/天)	(mm)	(mm/天)	(mm)
围护墙侧向最大位移	2~3	0.18%H	3~5	0.3%H	5	0.7%H
地面最大沉降		0.15%H		0.25%H		0.55%H
地下水水位变化	变化速率(mm/天)：300，累计值(mm)：1000					

上表引自上海市工程建设规范《基坑工程技术规范》，分别根据基坑工程安全等级和环境保护等级提出了不同监测项目报警参考值，前者从基坑工程自身的安全角度提出围护结构自身的变形以及受力的报警值，后者则是根据工程经验以及大量实测数据的统计结果提出的变形和水位变化报警值。同一个基坑工程，根据两个不同的角度确定的报警值有差异时，应从严确定。

基坑工程监测方案的编制可参照本书第 29 章的有关内容，并注意以下几点：

1. 监测点的埋设与支护结构施工相互配合

基坑工程的监测工作需要贯穿整个基坑工程的全过程，大量监测测点的布设需要与现场施工单位协调配合，如围护结构的测斜监测、围护结构或支撑杆件内力监测、坑内外水土压力监测等都需要将监测元件安装在钢筋笼下放或构件混凝土浇筑前布设完成，在施工前应现场施工单位做好沟通、交底工作，明确保护措施和方法，才能保证测点布设的成活率。

2. 监测点的保护与土方开挖相互配合

监测点布置时尽量选择容易保护的位置，如坑内土体回弹监测点布置了坑内立柱的附近、监测元件的导线等沿构件边缘固定等；对于较易发生破坏的监测元件或相关配件应设置可靠的保护装置。监测点布设到位后，应进行明显标记，并提醒有关施工单位在后续施工作业过程中加强对监测点的保护。

2.10 工程实例—天津某基坑工程支护方案设计

2.10.1 工程概况

1. 工程概况

天津某工程总用地面积 26666.7m²，场地内拟建两幢分别为 358m（二号塔楼）和 102.9m（一号塔楼）高度的塔楼以及 3 层裙房，整体设置 4 层地下室。基坑面积约为 22900 m²，周长约为 585m。基坑挖深塔楼区域约为 20.6m~23.1m，裙楼区挖深约 20m。工程处于新开发区域，周围尚无建成的建（构）筑物。基地四周的道路和道路下已埋设的市政管线为本工程的保护对象。图 2-10 为本工程的塔楼、裙楼分布和周边环境条件情况。

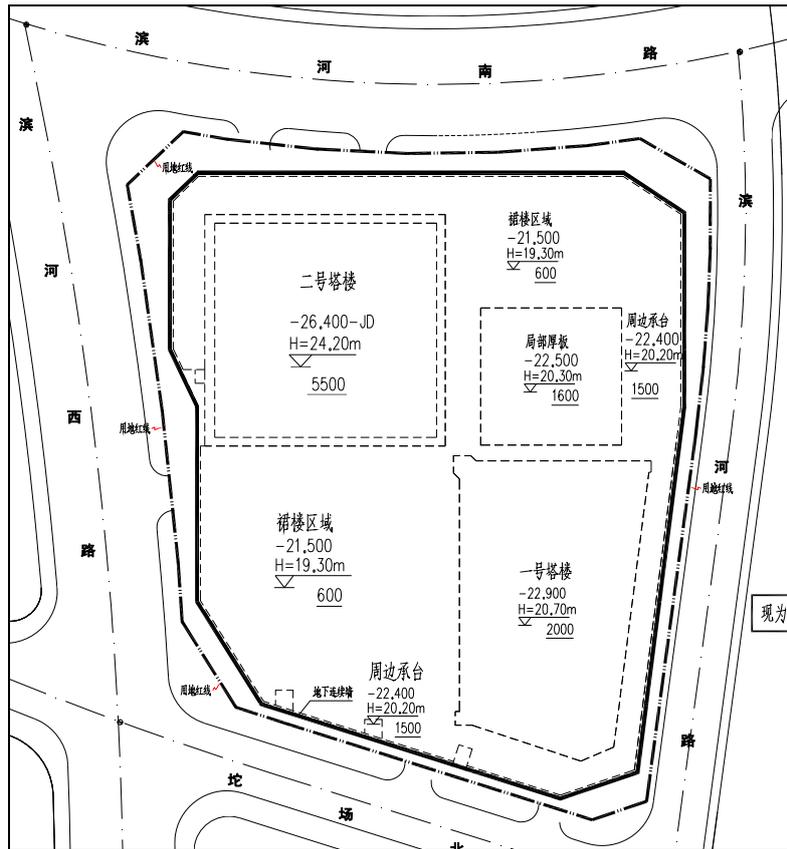


图 2-10 塔楼、裙楼分布和周边环境条件情况

2. 工程地质概况

拟建场地位于天津市塘沽区海河南岸，场地总体地势平坦，仅四周地势略高，地面大沽高程介于 2.04~1.25m。基坑开挖深度范围内的场地土层主要以粉质粘土为主，浅层分布有较厚的流塑淤泥质粘土，深层分布有深厚的粉、细砂微承压含水层，微承压含水层顶板已基本接近基坑底部。场地内土层部分物理力学指标如表 2-10 所示。

表 2-10 土层部分物理力学指标

层序	层名	厚度 (m)	重度 (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	渗透系数	
						K_v (cm/s)	K_H (cm/s)
1 _b	素填土	4	19	11.65	7.92	6.0×10^{-7}	8.9×10^{-6}
2 _a	粉质粘土	4.5	18.9	22.53	12.14	1.4×10^{-6}	2.9×10^{-5}
2 _b	淤泥质粘土	8	17.5	11.10	10.36	3.5×10^{-7}	4.2×10^{-7}
2 _c	粉质粘土	2.5	18.9	16.63	12.70	1.6×10^{-7}	6.4×10^{-6}
3	粉质粘土	1.5	19.7	20.69	12.90	8.4×10^{-6}	3.2×10^{-6}
4	粉质粘土	6.5	19.6	21.66	13.85	1.5×10^{-6}	4.1×10^{-6}
5	粉砂	6.1	20.1	37.63	6.81	2.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}
6	粉、细砂	15.2	19.9	38.14	8.28	3.5×10^{-4}	4.9×10^{-4}

2.10.2 基坑总体设计方案选型分析

类似特点和规模的基坑工程基于不同的经济性和工期等因素的要求，可选择的总体方案一般有“整体顺作”、“全逆作”、“分区顺作”和“顺逆结合”。

本工程的两幢塔楼均为超高层建筑物，塔楼核心筒、框架柱等竖向承重结构施工质量至关重要。全逆作法根据其自身工艺特点，要求塔楼地下部分竖向承重结构留设多道施工缝，

对塔楼竖向承重结构的抗风、抗震等性能有不利影响，因此两幢塔楼均不适宜采用逆作法实施。同时考虑到塔楼区域所占地下室面积相当大，因此“全逆作法”或“顺逆结合”方案均不适合在本工程中应用。

因此从技术可行性角度，本工程可采用以下两套总体方案设计思路：

1. 方案一：整体顺作方案

裙楼和塔楼基坑作为一个整体同步实施，根据本基坑工程的面积和开挖深度、地下室外墙与红线的关系以及周边的环境，本工程应采用板式围护体结合坑内设置多道支撑的支护体系。

2. 方案二：分区顺作方案

考虑到358m高的二号塔楼的工期是本工程的控制工期，为加快整体工程的工期，首先对该塔楼区域进行单独围护，采用顺作法施工，待该基坑工程结束、进入上部结构的施工之后，才采用顺作法实施剩余的裙楼和一号塔楼基坑。同样，分区基坑均采用板式围护体结合坑内设置多道支撑的支护体系。分区顺作设计方案平面图如图2-11所示。

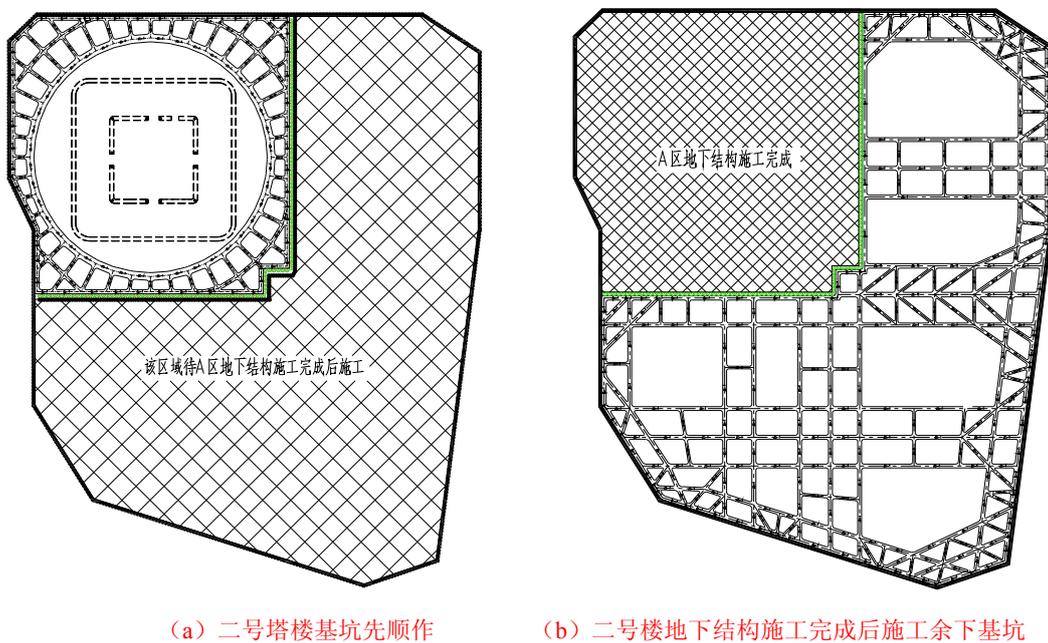


图 2-11 分区顺作设计方案平面图

根据对方案的工程量对比分析，分区顺作方案由于需要设置一道临时隔断围护体，因此工程量相比整体顺作方案有较大幅度的增加；同时从工期角度，将较大幅度地增加一号塔楼的总工期。因此经与业主沟通，本工程选择整体顺作方案。

2.10.3 围护体选型分析

根据软土地区已实施的大量基坑工程的成功实践经验，类似深基坑工程中可供选择的围护体有型钢水泥土搅拌墙（SMW工法）、灌注桩结合隔水帷幕以及地下连续墙。

1. SMW工法

现阶段可供选择的SMW工法桩抗侧刚度较为有限，在软土地区开挖深度超过13m的深基坑工程中，采用工法桩时基坑的变形较难控制。而本基坑工程面积大，开挖深度深达到20m~23.1m，经初步估算，即使采用目前可供选择的工法桩中刚度最大的Φ1000@750三轴水泥土搅拌桩，并满插H850×300×16×24型钢，计算变形大，不能满足规范的要求，而且三轴水泥土搅拌桩一旦开裂，会影响到围护体的止水可靠性。

实践中已经发展并形成了成套的设计理论和专项施工技术,几乎已成为类似面积和深度规模基坑工程首选的围护体形式。但对于本工程而言,由于工期紧迫,且难以及时提供“两墙合一”地下连续墙设计所需的相关主体地下结构资料,因此经权衡,最终确定选择钻孔灌注桩结合三轴水泥土搅拌桩**隔水帷幕**作为围护体。

2.10.4 水平支撑体系选型

深基坑板式支护体系中常用的水平传力体系有水平支撑和锚杆两种形式。本工程基坑开挖深度范围内分布有较厚的高压缩性的软弱淤泥质粘土,该土层中难以提供锚杆足够的锚固力;而且四周紧邻下方埋设有众多市政管线的道路,采用锚杆很难满足受力和对周边环境的保护要求;此外本工程地下室外墙与用地红线的距离较小,也不具备施工锚杆的空间。综合以上三方面的因素,本方案选用水平内支撑作为基坑开挖阶段的水平传力体系。

1. 支撑材料选型分析

深基坑工程中水平支撑主要有钢筋混凝土支撑以及钢支撑两种形式。

钢筋混凝土内支撑具有刚度大、变形小的特点,对减少围护体的水平位移,并保证围护体稳定具有重要作用。同时混凝土支撑施工适应性强,可适用于各种复杂形状和基坑面积超大的基坑工程。采用钢筋混凝土支撑体系,第一道支撑杆件在适当加强后又可作为施工开挖、运土用的施工栈桥和材料的堆放平台,可以解决施工场地狭小的问题,同时又方便施工,加快了出土效率,降低了施工技术措施费。由于施工栈桥与第一道支撑结合设计,大大节省了工程造价。

由于本基坑工程面积大、开挖深度深,采用钢支撑体系主要有四个方面的不利因素:其一,由于基坑面积大且开挖深度深,采用钢支撑杆件较密集,挖土空间较小,在一定程度上会降低挖土效率;其二,基坑面积巨大,单个方向钢支撑长度过长,拼接节点多易积累形成较大的施工偏差,传力可靠性难以保证;其三,基坑长、宽两个方向距离均较大,钢支撑刚度相对较小,不利于控制基坑变形和保护周边的环境,不能满足对邻近市政管线的保护要求。其四,本工程属深大基坑,基坑周边施工场地狭小,需设置施工栈桥作为挖运土平台和材料堆场,如采用钢支撑必须设置大面积的钢平台,会大大增加工程造价。

综上所述,采用钢支撑体系在技术上不合理,因此支撑材料选用钢筋混凝土支撑体系。

2. 支撑平面布置分析

钢筋混凝土支撑体系可采用圆环支撑布置形式(如图 2-13 所示)以及对撑角撑布置形式(如图 2-14 所示),两种支撑体系布置形式各有特点,从技术角度上都能满足本基坑工程的要求。但对比可以发现,本工程采用圆环支撑布置形式,基坑中部的开敞空间更大,利于土方开挖;同时也能够避开绝大部分的塔楼核心筒与框架柱,有利于地下结构的施工。因此方案设计最终确定了采用圆环支撑布置形式。

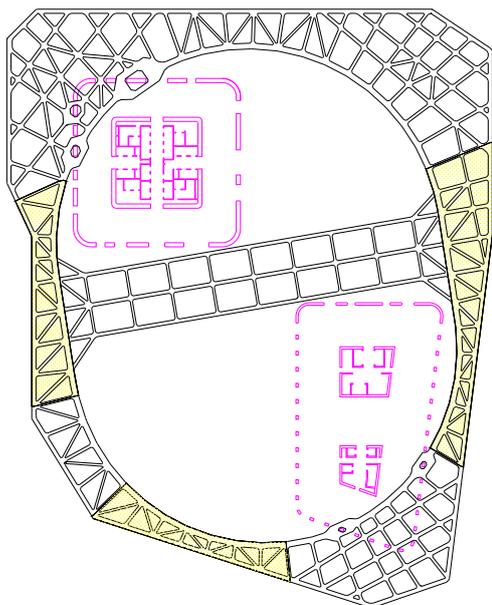


图 2-13 圆环支撑平面布置图

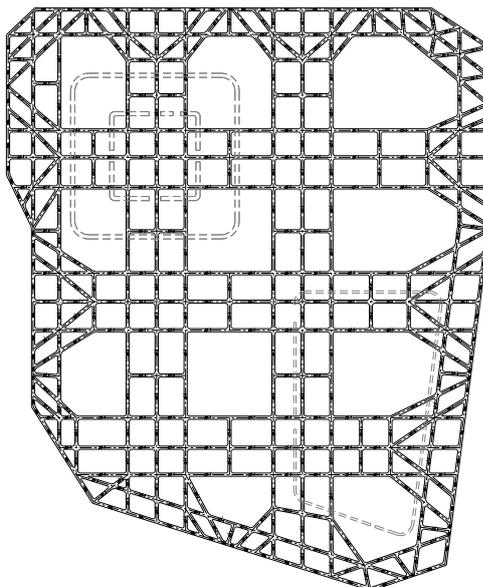


图 2-14 对撑角撑平面布置图

2.10.5 最终选择的支护设计方案

基于以上对总体方案选型、围护体选型、支撑选型等的技术可行性分析，也对可能采用的总体方案（整体顺作和分区顺作）及各种不同围护结构（地下连续墙和钻孔灌注桩结合隔水帷幕）、坑内支撑体系（圆环形钢筋混凝土支撑及对撑角撑布置的钢筋混凝土支撑）等的不同组合从工程经济、工期上进行了充分的对比和分析，从而确定最终采用“整体顺作+钻孔灌注围护桩+隔水帷幕+四道钢筋混凝土圆环形支撑”的基坑支护设计方案。