

## 第 23 章 土方工程施工

### 23.1 概述

在建筑工程中，土方工程一般包括场地平整、基坑开挖、土方装运、土方回填压实等工作。随着基坑开挖工程规模越来越大，机械化施工已成为土方工程中提高工效、缩短工期的必要手段。土方工程可以根据机械不同的工作性能和特点，结合土方工程的具体需要，选择不同种类的土方施工机械。

基坑土方开挖的目的是为了进行地下结构的施工。为了实现土方开挖，就必须采取相应的支护施工技术，以保证基坑及周边环境的安全。基坑支护设计应综合考虑基坑土方开挖的施工方法，而基坑土方开挖的方案则应结合基坑支护设计确定。

本章主要论述常用土方施工机械及其施工方法、基坑土方开挖的基本原则、不同条件下基坑土方开挖的方法、基坑土方回填的方法、基坑开挖施工道路和施工平台设置等内容。本章论述的基坑土方开挖方法主要是以软土地基为对象，所述内容具有普遍性，但考虑到地域的差异性，各地区基坑土方开挖的方法尚应结合当地的具体情况加以确定。

### 23.2 常用土方施工机械及其施工方法

常用土方施工机械主要可分为前期场地平整压实机械、土方挖掘机械、土方装运机械、土方回填压实机械等四类。这些机械有国外进口的，也有国产的。

场地平整压实机械主要有推土机、压路机等；土方挖掘机械主要有反铲挖掘机、抓铲挖掘机等；土方装运机械主要有自卸式运输车等；土方回填压实机械主要有推土机、压路机和夯实机等。

#### 23.2.1 反铲挖掘机

##### 1. 反铲挖掘机选型

反铲挖掘机是应用最为广泛的土方挖掘机械，具有操作灵活、回转速度快等特点。近年来反铲挖掘机市场飞速发展，挖掘机的生产向大型化、微型化、多功能化、专用化的方向发展。基坑土方开挖可根据实际需要，选择普通挖掘深度的挖掘机，也可以选择较大挖掘深度的接长臂、加长臂或伸缩臂挖掘机等。反铲挖掘机的主要参数有整机质量、外形尺寸、标准斗容量、行走速度、回转速度、最大挖掘半径、最大挖掘深度、最大挖掘高度、最大卸载高度、最小回转半径、尾部回转半径等。典型反铲挖掘机如图 23-1。



图 23-1 反铲挖掘机

反铲挖掘机的选型应根据基坑土质条件、平面形状、开挖深度、挖土方法、施工进度等

情况，结合挖掘机作业方法等进行选型；在实际应用中，应根据生产厂家挖掘机产品的规格型号和技术参数，并结合施工单位的施工经验进行选型。

## 2. 反铲挖掘机作业方法

反铲挖掘机每一挖掘作业循环包括挖掘、回转、卸土和返回等四个过程。反铲挖掘机停在土方作业面上，挖掘时将铲斗向前伸出，动臂带着铲斗落在挖掘处，铲斗向着挖掘机方向转动，挖出一条弧形挖掘带，此时铲斗装满土方，然后铲斗连同动臂一起升起，上部转台带动铲斗及动臂回转到卸土处，铲斗向前伸出，斗口朝下进行卸土，卸土后将动臂及铲斗回转并下放至挖掘处，准备下一循环的挖掘作业。

## 3. 反铲挖掘机单机挖土方法

反铲挖掘机单机挖土方法可分为坑内单机挖土、坑边定点单机挖土、坑边栈桥平台定点单机挖土、坑内栈桥平台或栈桥道路定点单机挖土等形式。挖土是一个动态的过程，定点挖土是相对的，挖掘机定点开挖范围内的土方挖土结束后，即可根据实际情况移至另一定点进行土方开挖。单机挖土是对一条作业线路而言，同一基坑可能有多条作业线路在进行单机挖土。

坑内单机挖土应根据挖掘机的工作半径、开挖深度，选择从基坑的一端挖至另一端，如图 23-2。挖土过程中应注意挖掘机及土方运输车辆所在土层的稳定，防止基坑边坡失稳。

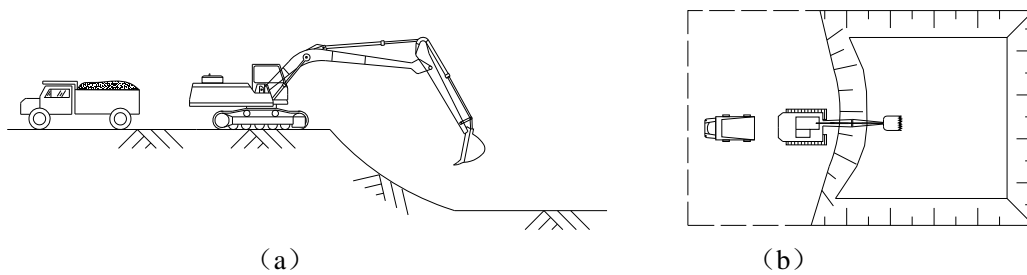


图 23-2 反铲挖掘机坑内单机挖土方法

(a) 剖面

(b) 平面

坑边定点单机挖土应根据坑边土方运输车辆道路情况，结合挖掘机的工作半径、开挖深度，选择坑边挖掘机定点位置进行挖土，此时动臂及铲斗回转  $90^\circ$  即可进行卸土。坑边挖掘方法的循环时间较短，挖土效率高，挖掘机始终沿基坑边作业和移动。该种挖土方式在支护设计时应考虑挖土机械及运输车辆在坑边的荷载，如图 23-3。

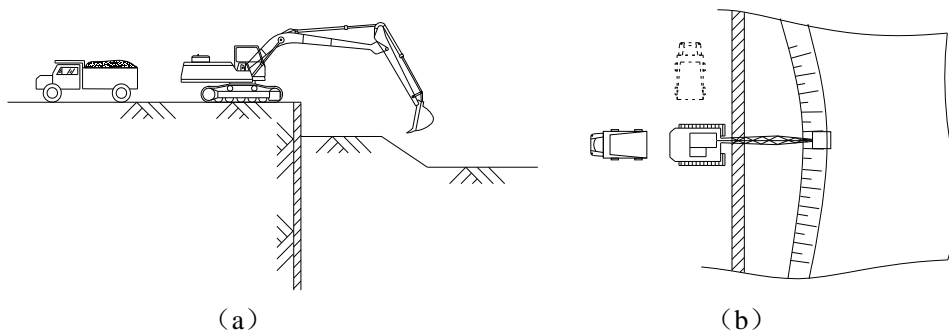


图 23-3 反铲挖掘机坑边定点单机挖土方法

(a) 剖面

(b) 平面

坑边栈桥平台定点单机挖土与坑边定点单机挖土基本相似。该方式适用于坑边施工道路

宽度较小无法满足土方运输车辆行走，或挖掘机需要加大挖土作业范围的情况。栈桥平台的大小应能满足挖掘机停放，也可根据挖掘机和土方运输车辆同时停放的要求设计栈桥平台。机械停放应能够满足栈桥平台设计荷载的要求。坑边栈桥平台定点单机挖土如图 23-4。

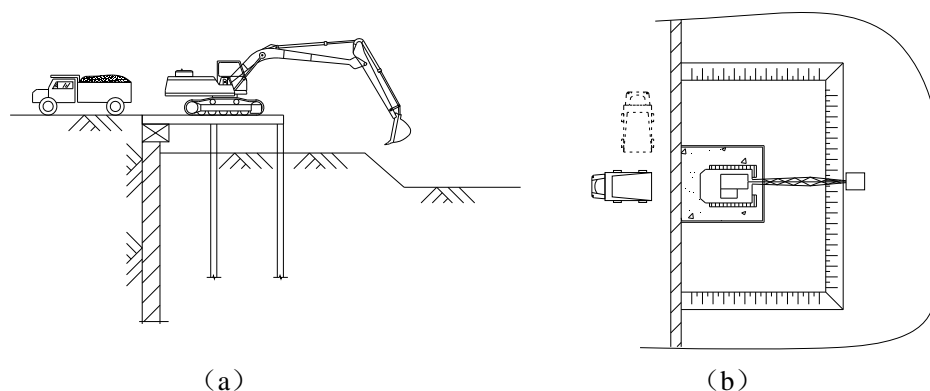


图 23-4 反铲挖掘机坑边栈桥平台定点单机挖土方法  
(a) 剖面 (b) 平面

坑内栈桥平台或栈桥道路定点单机挖土应根据坑内栈桥道路情况，结合挖掘机的工作半径、开挖深度，选择坑内栈桥道路或栈桥平台挖掘机定点位置进行挖土。该方式既适用于场地狭小需在坑内设置栈桥道路的基坑，也适用于基坑面积较大需在坑内设置栈桥道路或栈桥平台的基坑。若栈桥道路有足够的宽度，挖掘机可直接停在栈桥道路上作业；若栈桥道路宽度较小无法满足土方运输车辆行走，可在栈桥道路边设置栈桥平台。机械停放和行走应能够满足栈桥平台和栈桥道路设计荷载的要求。坑内栈桥道路和栈桥平台定点单机挖土如图 23-5。

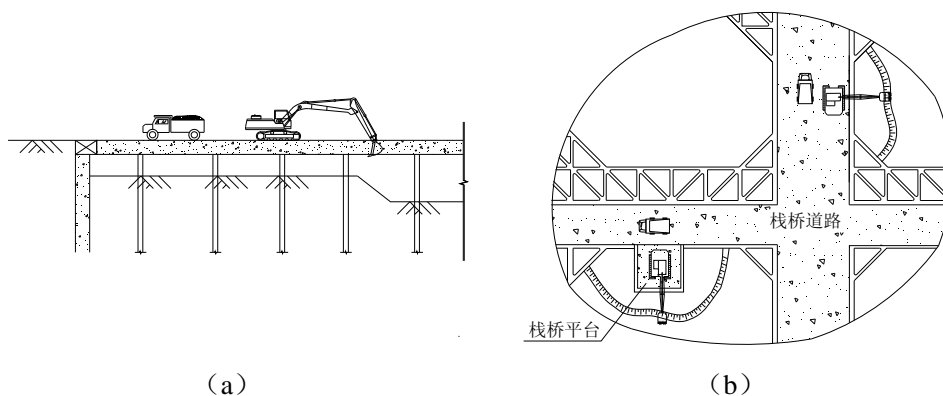


图 23-5 反铲挖掘机坑内栈桥道路定点单机挖土方法  
(a) 剖面 (b) 平面

#### 4. 反铲挖掘机多机挖土方法

反铲挖掘机多机挖土方法可分为基坑内不分层多机挖土、基坑内分层多机挖土、基坑定点挖土与坑中挖掘机配合挖土等形式。多机挖土是对一条作业线路而言，同一基坑可能有多条作业线路在进行多机挖土。

基坑内不分层多机挖土方法较为简单，其中一台挖掘机负责挖掘土方，其它的挖掘机对挖掘出来的土方进行水平驳运，输送至土方运输车辆停放位置。不分层开挖的基坑应根据挖掘机作业半径、坑内土层、基坑大小、运输车辆停放位置等确定多机挖土的方法，如图 23-6。

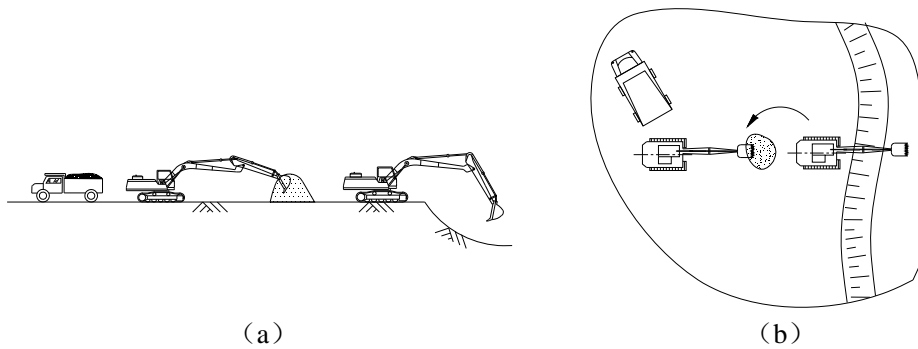


图 23-6 反铲挖掘机基坑内不分层多机挖土方法  
(a) 剖面 (b) 平面

基坑内分层多机挖土，一般采用接力挖土的方式。该方式可实现多层土方流水作业，即可由一台挖掘机负责下层土方的挖掘并卸至放坡平台，通过停放在上层的挖掘机将放坡平台的卸土以及上层挖掘的土方直接卸料至土方运输车辆，如图 23-7。也可由一台挖掘机负责下层土方的挖掘并卸至放坡平台，通过停放在上层的挖掘机将放坡平台的卸土以及上层挖掘的土方卸料至坡顶，再由另一台停放在上层的挖掘机将坡顶土方卸至土方运输车辆，形成三机接力挖土，如图 23-8。分层接力开挖过程中形成的临时多级边坡应验算稳定性，确保施工过程安全。

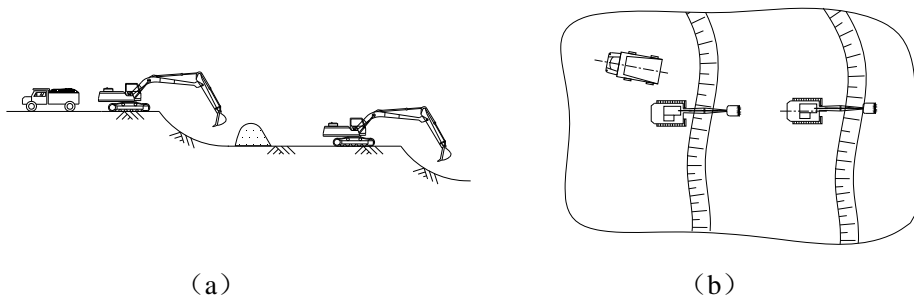


图 23-7 反铲挖掘机坑内分层多机挖土方法一  
(a) 剖面 (b) 平面

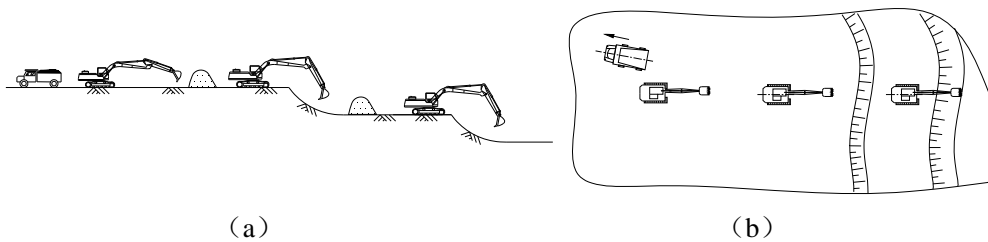


图 23-8 反铲挖掘机坑内分层多机挖土方法二  
(a) 剖面 (b) 平面

基坑定点挖土与坑中挖掘机配合挖土适用于开挖较深、面积较大的基坑。这种方法是基坑土方工程中应用最为广泛的方法之一，为大型基坑工程所普遍采用。基坑定点挖土可参考坑边定点单机挖土、坑边栈桥平台定点单机挖土、坑内栈桥平台或栈桥道路定点单机挖土等方法进行。基坑内挖掘机挖土可参考单机挖土、不分层多机挖土、分层多机挖土等方法进行。该方法一般采用中小型挖掘机进行土方开挖，同时由其它的挖掘机在坑内进行水平驳运，并由停放在基坑边或基坑内的定点挖掘机将土方卸料至运输车辆外运，如图 23-9。

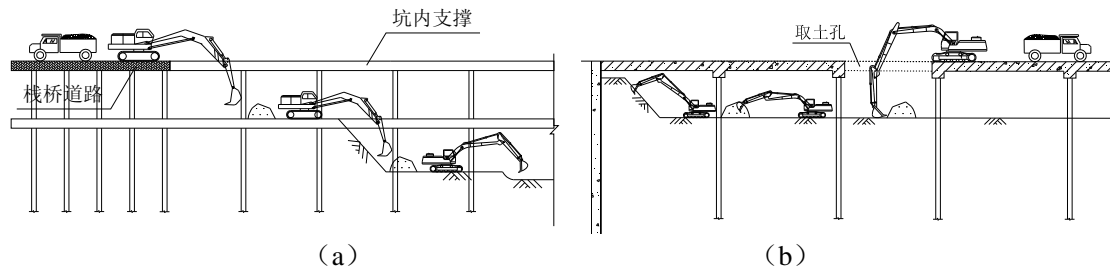


图 23-9 基坑定点挖与基坑内挖掘机配合挖土方法  
(a) 顺作法 (b) 逆作法

### 23.2.2 抓铲挖掘机

#### 1. 抓铲挖掘机的选型

抓铲挖掘机是基坑土方工程中常用的挖掘机械，主要用于基坑定点挖土。对于开挖深度较大的基坑，抓铲挖掘机定点挖土比反铲挖掘机定点挖土适用性更强。抓铲挖掘机分为钢丝绳抓铲挖掘机和液压抓铲挖掘机，液压抓铲挖掘机的抓取力要比钢丝绳抓铲挖掘机抓力大，但挖掘深度较钢丝绳抓铲挖掘机小，为增大挖掘深度可根据需要设置加长臂。抓铲挖掘机的主要参数有整机质量、外形尺寸、抓斗容量、回转速度、最大及最小回转半径、最大挖掘深度、最大卸载高度、提升速度、尾部回转半径等。抓铲挖掘机如图 23-10。



图 23-10 抓铲挖掘机  
(a) 钢丝绳抓铲挖掘机 (b) 液压抓铲挖掘机

抓铲挖掘机的选型应根据基坑土质条件、支护形式、开挖深度、挖土方法等情况，结合挖掘机作业方法进行选型；施工单位应根据生产厂家挖掘机产品的规格型号和技术参数，结合施工需要进行选型。

#### 2. 抓铲挖掘机作业方法

抓铲挖掘机每一挖掘作业循环包括挖掘、回转、卸土和返回等四个过程。钢丝绳抓铲挖掘机停在土方开挖面以上，挖掘时将抓斗伸向挖掘区域上方，钢丝绳索带着活瓣抓斗落在挖掘处，利用抓斗重力切土收紧抓斗装满土方，钢丝绳提升抓斗至卸土高度，然后上部转台带动抓斗及动臂回转到卸土处，活瓣抓斗松开卸土，卸土后将动臂及抓斗回转并下放至挖掘处，准备下一循环的挖掘作业。液压抓铲挖掘机的土方挖掘方式与钢丝绳抓铲挖掘机类同，其回转方式与反铲挖掘机相似。

#### 3. 抓铲挖掘机单机挖土方法

抓铲挖掘机坑内单机挖土一般适用于面积较小、开挖深度较浅的基坑工程。开挖时应综合考虑各种因素，从基坑的一端挖至另一端。单机挖土是对一个作业点而言，同一基坑可能有多个作业点在进行单机挖土。

#### 4. 抓铲挖掘机单机定点挖土方法

抓铲挖掘机单机定点挖土可分为坑边定点单机挖土、坑边栈桥平台定点单机挖土、坑内栈桥平台或栈桥道路定点单机挖土等方式。单机定点挖土是对一个作业点而言，同一基坑可能有多个作业点在进行单机定点挖土。抓铲挖掘机单机定点挖土一般适用于开挖深度较大或取土位置受到一定限制的基坑工程。抓铲挖掘机单机定点挖土方式的选择与反铲挖掘机定点单机挖土方式的选择基本相同，可参照反铲挖掘机相关内容。抓铲挖掘机定点单机挖土如图 23-11。

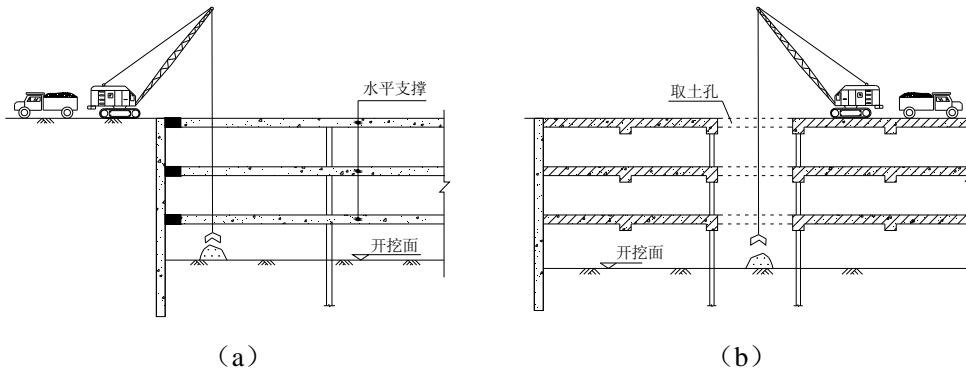


图 23-11 抓铲挖掘机坑边定点挖土方法  
(a) 顺作法 (b) 逆作法

#### 5. 抓铲挖掘机定点挖土与坑中反铲挖掘机配合挖土方法

抓铲挖掘机定点挖土与坑中反铲挖掘机配合挖土一般适用于深度和面积较大的基坑工程。这种方法是基坑土方工程中应用最为广泛的方法之一，为超大超深基坑工程所普遍采用。抓铲挖掘机定点挖土与坑中反铲挖掘机配合挖土是对一条作业线路而言，同一基坑可能有多条作业线路在进行挖土。

在基坑土方工程施工中，抓铲挖掘机可根据基坑平面形状、支护设计形式、开挖深度等选择合适的定点开挖位置，如基坑边、坑边栈桥平台、坑内栈桥平台或栈桥道路等。应根据抓铲挖掘机定点位置，确定坑内反铲挖掘机合理的挖土分区。坑内各分区的土方开挖可参照反铲挖掘机的单机或多机挖土方法，通过单机或多机配合将坑内土方挖运或驳运至抓铲挖掘机定点作业范围，然后由抓铲挖掘机将土方卸料至运输车辆外运，如图 23-12。

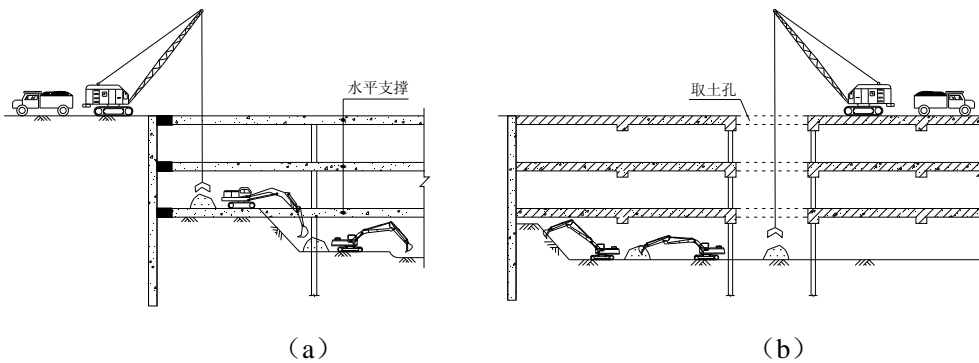


图 23-12 抓铲挖掘机坑边定点挖土方法  
(a) 顺作法 (b) 逆作法

### 23.2.3 自卸式运输车

#### 1. 自卸式运输车的选型

自卸式运输车可分为轻型自卸式运输车、中型自卸式运输车和重型自卸式运输车。由于基坑工程具有土方量大、运距远等特点,基坑土方工程运输车辆一般采用重型自卸式运输车。许多城市为了保护环境,减少污染,要求土方运输车辆安装密封盖等防护措施。自卸式运输车的主要技术参数包括自重量、载重量、外形尺寸、行走速度、爬坡能力、最小转弯半径、最小离地间隙、车厢满载举升和降落时间、车厢最大举升角度等。自卸式运输车如图 23-13。



图 23-13 自卸式运输车  
(a) 敞开式 (b) 密封式

自卸式运输车的选型应根据施工道路条件、土方量、运输距离、挖土方法等情况,结合自卸式运输车的自身性能参数和适用范围进行选型。各生产厂家产品的技术性能和规格型号略有不同,实际应用中可结合施工条件进行选型。

#### 2. 自卸式运输车作业方法

自卸式运输车的作业方法较为简单,自卸式运输车一般行驶至挖掘机的侧方或后方停靠,装满土方后进行土方外运,外运至卸土点后,液压系统顶升土方箱体进行卸土,卸土后箱体复位,完成一次土方运输过程。

#### 3. 自卸式运输车与挖掘机械配合施工方法

自卸式运输车的作业需与挖掘机械作业配合施工,运输车可根据挖掘机停放位置,选择合适的方式停在挖掘机旁,如基坑边、基坑内、基坑边栈桥平台、基坑内栈桥平台、基坑内栈桥道路等位置,由挖掘机直接将土方卸至自卸式运输车外运。自卸式运输车在挖掘机后方装土时,挖掘机取土后需要回转的角度大,循环消耗的时间多,效率较侧向装土低。

自卸式运输车停放和行驶区域的承载力应满足车辆的作业要求;自卸式运输车应与挖掘机保持安全距离,避免挖掘机作业时与之碰撞。

### 23.2.4 推土机

#### 1. 推土机的选型

推土机一般可分为履带式推土机和轮胎式推土机,基坑工程中一般采用履带式推土机。履带式推土机是一种在履带机械前端设置推土刀的自行式铲土运输机械,具有作业面小、机动灵活、行驶速度快、转移土方和短距离运输土方效率高等特点。按功率大小可分为轻型、中型及大型推土机。推土机主要的参数有整机重量、外形尺寸、行走速度、挂铲宽度、挂铲高度、刮板抬升角度、铲刀提升高度、最大推挖深度等。推土机如图 23-14。





图 23-14 推土机

推土机在基坑工程应用较广，一般用于基坑场地平整、浅基坑开挖、土方回填、土方短距离驳运等施工作业。推土机的选型应根据工程场地情况、土质情况、运输距离，结合推土机自身性能参数和适用范围进行选型。

#### 2. 推土机作业方法

推土作业的方法较为简单，主要是依靠前端的推土装置，通过动力完成铲土、推土，实现场地平整、基坑回填等作业。

#### 3. 推土机与其它机械配合施工

推土机可单独施工，也可与其它土方机械配合进行施工。根据其不同的使用功能，推土机可与挖掘机、压实机械等配合施工。推土机进行场地平整施工时，应先由挖掘机将高差较大的区域进行挖掘处理，然后由推土机实施场地平整和压实。推土机进行基坑回填施工时，运输车辆首先将土方卸至需回土的基坑边，推土机按照分层厚度要求进行回填，然后由压实机械进行压实作业。

### 23.2.5 压路机

#### 1. 压路机的选型

压路机分为静作用压路机和振动压路机，静作用压路机分为钢筒式压路机和轮胎式压路机。静作用压路机是依靠机械自重实施土体压实，提高土体密实度的施工机械。在基坑工程中，一般采用钢筒式静作用压路机。钢筒式静作用压路机主要的参数有整机重量、外形尺寸、钢筒尺寸、行走速度、爬坡能力、最小转弯半径等。钢筒式静作用压路机如图 23-15。



图 23-15 钢筒式静作用压路机

压路机的选型应根据被压场地情况、质量控制要求、铺层厚度，结合压路机本身性能参数和适用范围进行选型。

#### 2. 压路机的作业方法



压路机的作业方法较为简单，主要是依靠压路机的自身重量，通过分层来回碾压土体实施土体压实的作业。

### 3. 压路机与其它机械的配合施工

压路机一般可与挖掘机、推土机等配合施工。压路机在压实土体前，一般由挖掘机或推土机完成场地平整或土方回填作业，然后由压路机实施土体压实作业。

## 23.2.6 夯实机

### 1. 夯实机的选型

夯实机分为冲击、振动、振动冲击等形式。夯实机的工作原理是利用夯本身的质量、夯的冲击运动或振动，对被压实土体实施动压力，以提高土体密实度、强度和承载力。夯实机具有轻便灵活的特点，特别适用于基坑回填的分层压实作业。夯实机的主要参数包括整机质量、夯板面积、夯机能量、夯机次数、夯头跳高、前进速度等。夯实机如图 23-16。



图 23-16 夯实机械

(a) 冲击式夯实机

(b) 振动式夯实机

(c) 振动冲击式夯实机

夯实机应根据被压场地条件、压实位置、质量控制要求，结合夯实机本身性能参数和适用范围进行选型。

### 2. 夯实机的作业方法

夯实机作业方法较为简单，主要是依靠夯实机振动或冲击产生的压力，实施土体压实的作业。夯实机在作业时，一般可由人工进行基坑回填土，然后夯实机根据分层厚度要求进行分层夯实作业。

### 3. 夯实机与其它机械的配合施工

夯实机一般可与挖掘机、推土机、压路机等配合施工。夯实机在基坑回填压实作业时，一般由挖掘机、推土机进行分层回填，然后由夯实机进行土方分层压实施工；对于压路机无法行走的区域，可采用夯实机配合完成边角区域土体的压实施工。

## 23.3 基坑土方开挖的基本原则

按照基坑支护设计的不同，基坑土方开挖可分为无内支撑基坑开挖和有内支撑基坑开挖。无内支撑基坑是指在基坑开挖深度范围内不设置内部支撑的基坑，包括采用放坡开挖的基坑，采用水泥土重力式围护墙、土钉支护、土层锚杆支护、钢板桩拉锚支护、板式悬臂支护的基坑。有内支撑基坑是指在基坑开挖深度范围内设置一道及以上内部临时支撑或以水平结构代替内部临时支撑的基坑。

按照基坑挖土方法的不同，基坑土方开挖可分为明挖法和暗挖法。无内支撑基坑开挖一般采用明挖法；有内支撑基坑开挖一般有明挖法、暗挖法、明挖法与暗挖法相结合等三种方法。基坑内部有临时支撑或水平结构梁代替临时支撑的土方开挖一般采用明挖法；基坑内部

水平结构梁板代替临时支撑的土方开挖一般采用暗挖法，盖挖法施工工艺中的土方开挖属于暗挖法的一种形式；明挖法与暗挖法相结合是指在基坑内部部分区域采用明挖和部分区域采用暗挖的一种挖土方式。

### 23.3.1 基坑土方开挖总体要求

基坑开挖前应根据工程地质与水文地质资料、结构和支护设计文件、环境保护要求、施工场地条件、基坑平面形状、基坑开挖深度等，遵循“分层、分段、分块、对称、平衡、限时”和“先撑后挖、限时支撑、严禁超挖”的原则编制土方开挖施工方案。土方开挖施工方案应履行审批手续，并按照有关规定进行专家评审论证。

基坑工程中坑内栈桥道路和栈桥平台应根据施工要求以及荷载情况进行专项设计，施工过程中应严格按照设计要求对施工栈桥的荷载进行控制。挖土机械的停放和行走路线布置、挖土顺序、土方驳运、材料堆放等应避免引起对工程桩、支护结构、降水设施、监测设施和周围环境的不利影响，施工时应按照设计要求控制基坑周边区域的堆载。

基坑开挖过程中，支护结构应达到设计要求的强度，挖土施工工况应满足设计要求。采用钢筋混凝土支撑或以水平结构代替内支撑时，混凝土达到设计要求的强度后，才能进行下层土方的开挖。采用钢支撑时，钢支撑施工完毕并施加预应力后，才能进行下层土方的开挖。基坑开挖应采用分层开挖或台阶式开挖的方式，软土地区分层厚度一般不大于 4m，分层坡度不应大于 1: 1.5。基坑挖土机械及土方运输车辆直接进入坑内进行施工作业时，应采取措​​施保证坡道稳定。坡道宽度应保证车辆正常行驶，软土地区坡道坡度不应大于 1: 8。

机械挖土应挖至坑底以上 20cm~30cm，余下土方应采用人工修底方式挖除，减少坑底土方的扰动。机械挖土过程中应有防止工程桩侧向受力的措施，坑底以上工程桩应根据分层挖土过程分段凿除。基坑开挖至设计标高应及时进行垫层施工。电梯井、集水井等局部深坑的开挖，应根据深坑现场实际情况合理确定开挖顺序和方法。

基坑开挖应通过对支护结构和周边环境进行动态监测，实行信息化施工。

### 23.3.2 无内支撑基坑土方开挖

场地条件允许时，可采用放坡开挖方式。为确保基坑施工安全，一级放坡开挖的基坑，应按要求验算边坡稳定性，开挖深度一般不超过 4.0m；多级放坡开挖的基坑，应同时验算各级边坡的稳定性和多级边坡的整体稳定性，开挖深度一般不超过 7.0m。采用一级或多级放坡开挖时，放坡坡度一般不大于 1: 1.5；采用多级放坡时，放坡平台宽度应严格控制不得小于 1.5m，在正常情况下放坡平台宽度一般不应小于 3.0m。

放坡坡脚位于地下水位以下时，应采取降水或止水的措施。放坡坡顶、放坡平台和放坡坡脚位置应采取集水明排措施，保证排水系统畅通。基坑土质较差或施工周期较长时，放坡面及放坡平台表面应采取护坡措施。护坡可采用钢丝网水泥砂浆、钢丝网细石混凝土、钢丝网喷射混凝土等方式。

采用土钉支护或土层锚杆支护的基坑，应提供成孔施工的工作面宽度，其开挖应与土钉或土层锚杆施工相协调，开挖和支护施工应交替作业。对于面积较大的基坑，可采取岛式开挖的方式，先挖除距基坑边 8m~10m 的土方，中部岛状土体应满足边坡稳定性要求。基坑边土方开挖应分层分段进行，每层开挖深度在满足土钉或土层锚杆施工工作面要求的前提下，应尽量减少，每层分段长度一般不大于 30m。每层每段开挖后应限时进行土钉或土层锚杆施工。

采用水泥土重力式围护墙或板式悬臂支护的基坑，基坑总体开挖方案可根据基坑大小、环境条件，采用分层、分块的开挖方式。对于面积较大的基坑，基坑中部土方应先行开挖，然后再挖基坑周边的土方。

采用钢板桩拉锚支护的基坑，应先开挖基坑边 2m~3m 的土方进行拉锚施工，大面积开挖应在拉锚支护施工完毕且预应力施加符合设计要求后方可进行，大面积基坑开挖应遵循

分层、分块开挖方法。

### 23.3.3 有内支撑的基坑土方开挖

有内支撑的基坑开挖方法和顺序应尽量减少基坑无支撑暴露时间。应先开挖周边环境要求较低的一侧土方，再开挖环境要求较高一侧的土方，应根据基坑平面特点采用分块、对称开挖的方法，限时完成支撑或垫层。基坑开挖面积较大的工程，可根据周边环境、支撑形式等因素，采用岛式开挖、盆式开挖、分层分块开挖的方式。

岛式开挖的基坑，中部岛状土体高度不大于 4.0m 时，可采用一级边坡；中部岛状土体高度大于 4.0m 时，可采用二级边坡，但岛状土体高度一般不大于 9.0m。一级边坡应验算边坡稳定性，二级边坡应同时验算各级边坡的稳定性和整体边坡的稳定性。

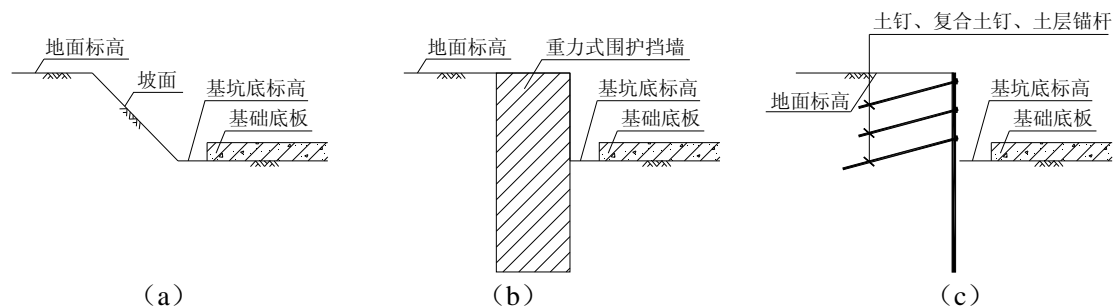
盆式开挖的基坑，盆边宽度不应小于 8.0m；盆边与盆底高差不大于 4.0m 时，可采用一级边坡；盆边与盆底高差大于 4.0m 时，可采用二级边坡，但盆边与盆底高差一般不大于 7.0m。一级边坡应验算边坡稳定性，二级边坡应同时验算各级边坡的稳定性和整体边坡的稳定性。

对于长度和宽度较大的基坑可采用分层分块土方开挖方法。分层的原则是每施工一道支撑后再开挖下一层土方，第一层土方的开挖深度一般为地面至第一道支撑底，中间各层土方开挖深度一般为相邻两道支撑的竖向间距，最后一层土方开挖深度应为最下一道支撑底至坑底。分块的原则是根据基坑平面形状、基坑支撑布置等情况，按照基坑变形和周边环境控制要求，将基坑划分为若干个边部分块和中部分块，并确定各分块的开挖顺序，通常情况下应先开挖中部分块再开挖边部分块。

狭长形基坑，如地铁车站等明挖基坑工程，应根据狭长形基坑的特点，选择合适的斜面分层分段挖土方法。采用斜面分层分段挖土方法时，一般以支撑竖向间距作为分层厚度，斜面可采用分段多级边坡的方法，多级边坡间应设置安全加宽平台，加宽平台之间的土方边坡一般不应超过二级；各级土方边坡坡度一般不应大于 1: 1.5，斜面总坡度不应大于 1: 3。

## 23.4 基坑不同边界形式下的土方分层开挖方法

基坑是由若干条直线或曲线通过组合而形成的封闭平面形状，由于基坑平面形状的多样性和开挖深度的差异性，每一个基坑工程均有其特性。本节所述基坑边界是指基坑边剖面及其附近区域，基坑边界形式是指为保证坑壁稳定所采取的具体围护或支护方式。同一个基坑可能只有一种边界形式，也可能是多种边界形式的组合。常用的边界形式如图 23-17a、23-17b、23-17c、23-17d、23-17e、23-17f。



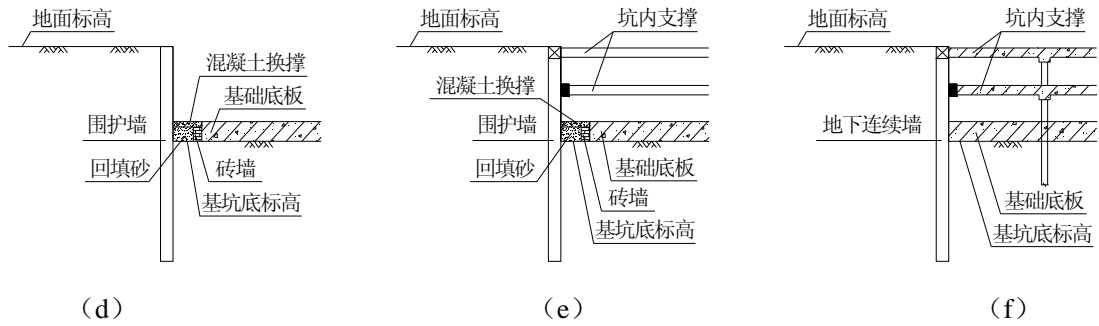


图 23-17 基坑不同边界形式

- (a) 放坡 (b) 水泥土重力式围护墙 (c) 土层锚杆或土钉墙 (d) 板式悬臂围护墙  
 (e) 临时内支撑结合板式围护墙 (f) 梁板结构代替临时支撑结合板式围护墙

经过长时间工程实践,目前有多种适用于不同地质条件和基坑深度的经济合理的基坑边界形式。不同的边界形式,其土方开挖的方法不尽相同。本节主要根据基坑边界形式,描述基坑边界土方分层原则和挖土方法。基坑边界分层挖土施工工况是与支护设计所设定的工况相对应的,可以根据实际来判断施工工况是否与设计工况相一致。

### 23.4.1 基坑放坡土方开挖方法

#### 1. 全深度范围一级放坡基坑土方开挖

当场地允许并能保证土坡稳定时,可采用放坡开挖。由于地域的不同,放坡开挖的要求差异较大,如上海地区规定一级放坡基坑开挖深度不应大于 4.0m。放坡开挖边坡坡度应根据地质水文资料、边坡留置时间、坡顶堆载等情况经过验算确定,各地区应根据相关规定确定放坡开挖允许的深度和坡度。当土质条件良好,地下水位较低时,基坑开挖坡面可不进行护坡处理;当基坑边坡裸露时间较长、地下水位较高,为防止边坡受雨水冲刷和地下水侵入,可采取必要的护坡措施。护坡可采用钢丝网水泥砂浆、钢丝网细石混凝土、钢丝网喷射混凝土、土体加固等方式。

地质条件较好、开挖深度较浅,可采取竖向一次性开挖的方法,其典型开挖方法如图 23-18a。地质条件较差,或开挖深度较大,或挖掘机性能受到限制,可采取分层开挖的方法,其典型开挖方法如图 23-18b。全深度范围一级放坡基坑土方开挖方法可应用于明挖法施工工程。

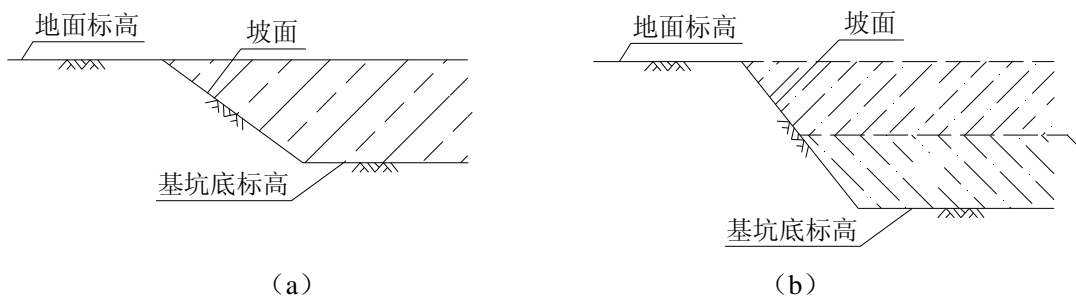


图 23-18 一级放坡基坑边界土方开挖方法

- (a) 一级放坡竖向一次性开挖 (b) 一级放坡竖向分层开挖

#### 2. 全深度范围多级放坡基坑土方开挖

当场地允许并能保证土坡稳定时,较深的基坑可采用多级放坡开挖。由于地域的不同,多级放坡开挖的要求差异较大,如上海地区规定多级放坡基坑开挖深度不应大于 7.0m。各级边坡的稳定性和多级边坡的整体稳定性应根据地质水文资料、边坡留置时间、坡顶荷载等

情况经过验算确定。采用多级放坡的基坑一般应采取护坡措施,护坡可采用钢丝网水泥砂浆、钢丝网细石混凝土、钢丝网喷射混凝土、土体加固等方式。

地质条件较好、每级边坡深度较浅,可以按每级边坡高度为分层厚度进行分层开挖,其典型开挖方法如图 23-19a。地质条件较差,或各级边坡深度较大,或挖掘机性能受到限制,各级边坡也可采取分层开挖的方法,其典型开挖方法如图 23-19b。全深度范围多级放坡基坑土方开挖方法可应用于明挖法施工工程。

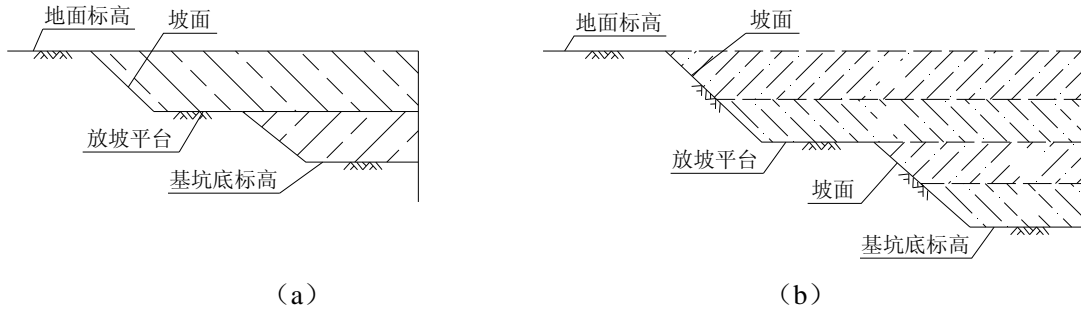


图 23-19 多级放坡基坑边界土方开挖方法

(a) 各级边坡竖向一次性开挖 (b) 各级边坡竖向分层开挖

### 23.4.2 有围护的基坑土方开挖方法

#### 1. 全深度范围有围护无内支撑的基坑土方开挖

有围护无内支撑的基坑一般包括采用土钉支护、复合土钉支护、土层锚杆支护、板式悬臂围护墙、水泥土重力式围护墙、钢板桩拉锚支护的基坑。全深度范围有围护无内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法施工工程。

采用土钉支护、复合土钉支护、土层锚杆支护的基坑边界的开挖,应采取分层开挖的方法,并与支护施工交替进行。每层土方开挖深度一般为土钉或锚杆的竖向间距,按照开挖一层土方施工一排土钉或锚杆的原则进行施工。若土层锚杆竖向间距较大,则上下道锚杆之间的土方应进行分层开挖。土方开挖应与支护施工密切配合,必须在土钉或锚杆支护完成并养护达到设计要求后方可开挖下一层土方。土钉支护、复合土钉支护、土层锚杆支护基坑分层开挖方法如图 23-20。

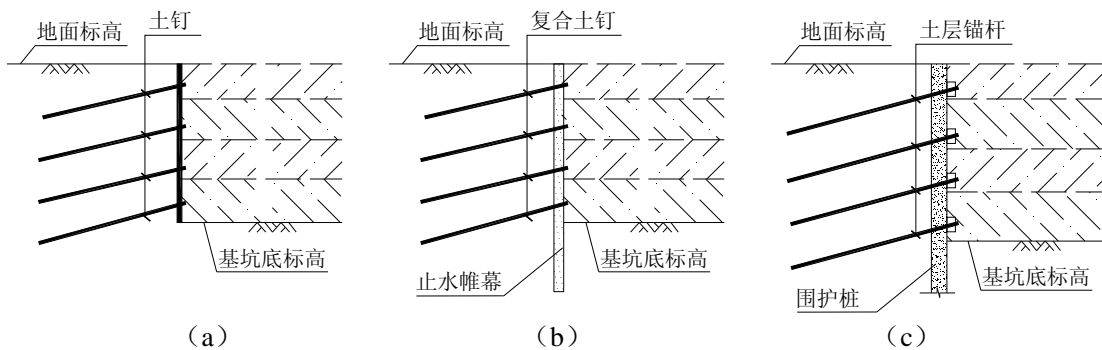


图 23-20 土钉支护、复合土钉支护、土层锚杆支护基坑边界分层土方开挖方法

(a) 土钉支护分层开挖 (b) 复合土钉支护分层开挖  
(c) 土层锚杆支护分层开挖

板式悬臂围护墙和水泥土重力式围护墙的基坑边界的开挖,应根据地质情况、开挖深度、周边环境、坑边堆载控制要求、挖掘机性能等确定分层开挖方法。若基坑开挖深度较浅,且

周边环境条件较好,可采取竖向一次性开挖的方法,以板式悬臂围护墙为例,其典型开挖方法如图 23-21a。上海地区采用竖向一次性开挖的基坑,其开挖深度一般不超过 4.0m。若基坑开挖深度较深,或周边环境保护要求较高,基坑边界的开挖可采取竖向分层开挖的方法,以水泥土重力式围护墙为例,其典型开挖方法如图 23-21b。

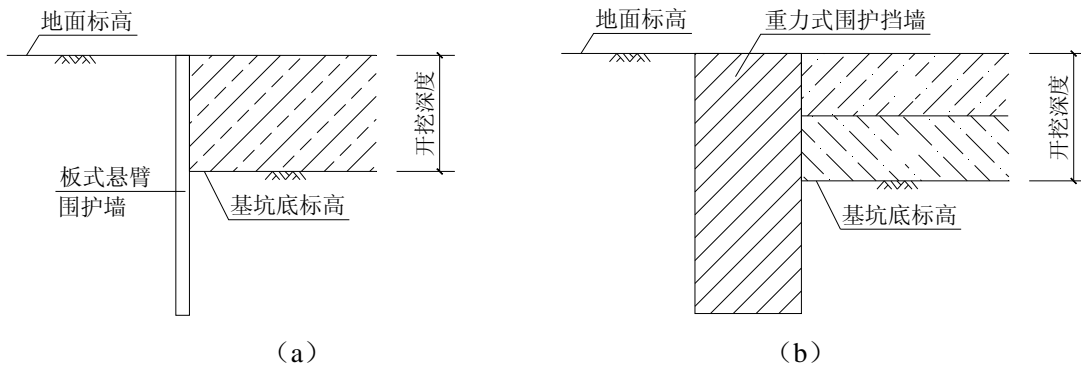


图 23-21 水泥土重力式围护墙和板式悬臂围护墙基坑边界土方开挖方法  
(a) 板式悬臂支护竖向一次性开挖 (b) 水泥土重力式围护墙竖向分层开挖

钢板桩拉锚支护基坑边界的开挖,应采取分层开挖的方式。第一层土方应首先开挖至拉锚围檩底部 200mm~300mm,拉锚支护形成并按设计要求施加预应力后,下层土方方可进行开挖,其典型开挖方法如图 23-22。

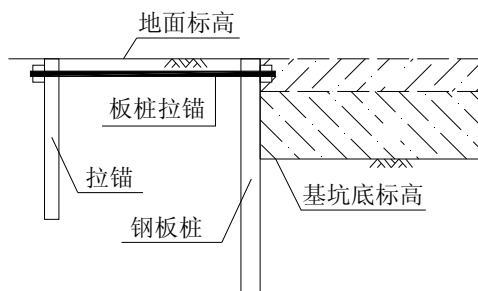


图 23-22 钢板桩拉锚支护基坑边界分层土方开挖方法

对于有些有围护无内支撑的基坑工程,由于受现场条件限制,或支护工程的特殊需要,可在竖向采用组合的支护方式。竖向组合的支护方式可在土钉支护、复合土钉支护、土层锚杆支护、板式悬臂围护墙、水泥土重力式围护墙、钢板桩拉锚支护等形式中选择,其土方分层开挖的方法可参照各支护形式加以确定。

## 2. 全深度范围有围护有内支撑的基坑土方开挖

内支撑体系可分为有围檩支撑体系和无围檩支撑体系。有围檩支撑体系可采用钢管支撑、型钢支撑、钢筋混凝土支撑;无围檩支撑体系可采用钢管支撑、型钢支撑;圆形围檩属于一种特殊的内支撑体系。利用水平结构代替临时内支撑的基坑也属于全深度范围有内支撑基坑的一种形式,包括利用水平结构梁或水平结构梁板代替临时支撑的形式。全深度范围有内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法或暗挖法施工工程。

对于采用顺作法施工的有内支撑的基坑,其边界应采用分层开挖的方式,分层的原则是每施工一道支撑后再开挖下一层土方。第一层土方的开挖深度一般为地面至第一道支撑底,中间各层土方开挖深度一般为相邻两道支撑的竖向间距,最后一层土方开挖深度应为最下一道支撑底至坑底。顺作法施工的有内支撑基坑边界的分层开挖方法如图 23-23a。

对于采用逆作法施工的基坑，其边界亦采用分层开挖的方式。分层的原则与顺作法相似，其分层开挖方法如图 23-23b。代替临时支撑的水平结构因为是永久结构，所以应根据结构施工要求，采用相应的模板施工方案，一般可采用胶合板木模、组合钢模、泥底模等形式。采用胶合板木模支模形式对结构施工质量有保证，采用泥底模形式对结构质量难以控制，泥底模一般在特殊情况下采用。采用胶合板木模形式，常用的支撑形式是短排架支模方式，所以土方分层厚度尚应考虑短排架支模的空间要求，分层挖土深度应距结构底标高一定距离。

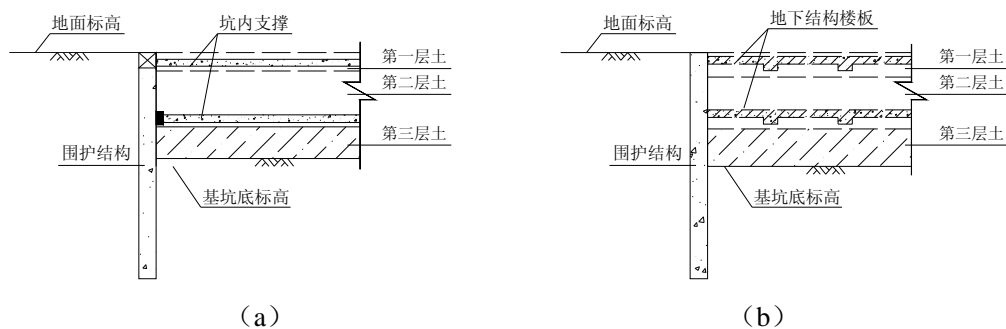


图 23-23 有内支撑基坑边界土方开挖方法  
(a) 顺作法分层开挖 (b) 逆作法分层开挖

对于有些有内支撑的基坑工程，由于受现场条件限制，或支护工程的特殊需要，可在竖向上采用顺作法与逆作法组合的方式，也可采用有围护无内支撑与有围护有内支撑的支护方式在竖向上进行组合的方式，其土方分层开挖的方法可参照各围护和支护形式下的土方开挖方法进行。

### 23.4.3 放坡与围护相结合的基坑土方开挖方法

#### 1. 上段一级放坡下段有围护无内支撑的基坑土方开挖

为了节约建设成本和缩短建设工期，对于地质条件和周边环境条件较好、开挖深度相对较浅，且具有放坡场地的基坑，可采用上段一级放坡、下段有围护无内支撑的边界形式。上段一级放坡、下段有围护无内支撑的基坑是一级放坡与有围护无内支撑支护形式在竖向上的组合。下段有围护无内支撑支护一般包括土钉支护、土层锚杆支护、水泥土重力式围护墙、板式悬臂围护墙等形式。上段一级放坡、下段有围护无内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法施工工程。

这种形式的基坑边界开挖应采取分层方式。以上段一级放坡不分层开挖，下段土钉支护分层开挖为例，其典型开挖方法如图 23-24a；以上段一级放坡不分层开挖，下段水泥土重力式围护墙不分层开挖为例，其典型开挖方法如图 23-24b。对于上段或下段采用分层开挖的基坑，其开挖方法可参照本章 23.4.1 和 23.4.2 的相关内容。

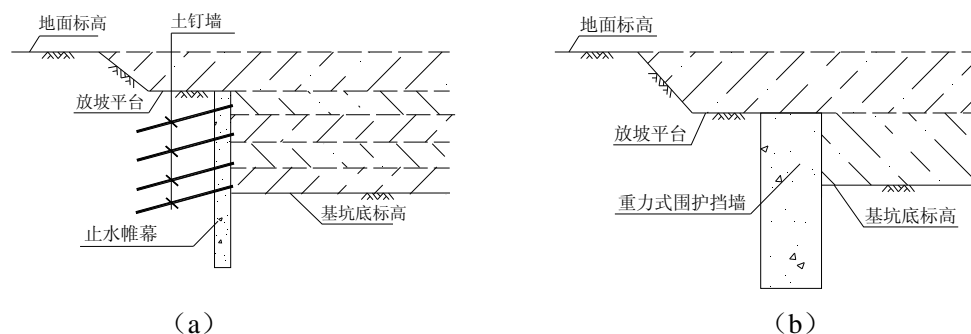


图 23-24 上段一级放坡下段有围护无内支撑基坑边界分层土方开挖方法  
(a) 下段土钉支护分层开挖 (b) 下段水泥土重力式围护墙不分层开挖



## 2. 上段一级放坡下段有围护有内支撑的基坑土方开挖

上段一级放坡、下段有围护有内支撑或以水平结构代替内支撑的基坑是一级放坡与有围护有内支撑支护形式在竖向上的组合,这种形式的基坑边界的开挖应采取分层方式。上段一级放坡、下段有内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法或暗挖法施工工程。

以上段一级放坡不分层开挖,下段有内支撑的顺作法基坑分层开挖为例,其典型开挖方法如图 23-25a;以上段一级放坡不分层开挖,下段以水平结构代替内支撑的逆作法基坑分层开挖为例,其典型开挖方法如图 23-25b。对于上段采用分层开挖的基坑,可参照本章 23.4.1 的相关内容。对于下段其他边界类型分层开挖的基坑,可参照本章 23.4.2 的相关内容。

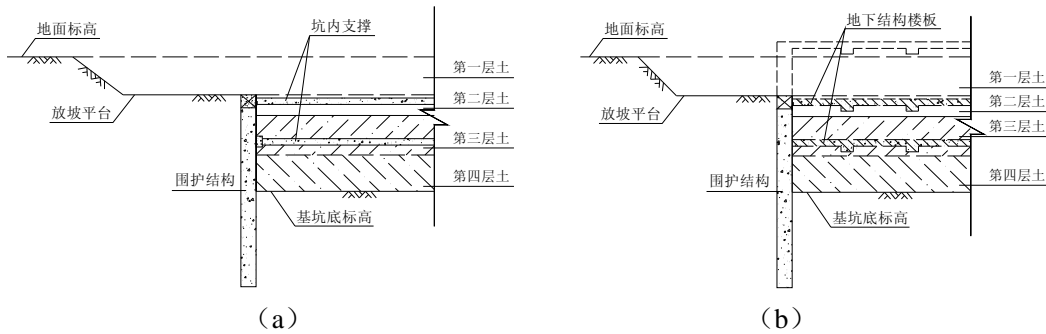


图 23-25 上段一级放坡下段有内支撑的基坑边界分层土方开挖方法  
(a) 下段顺作法分层开挖 (b) 下段逆作法分层开挖

## 3. 上段多级放坡下段有围护无支撑的基坑土方开挖

上段多级放坡、下段有围护无支撑的基坑开挖应采用分层开挖的方法。上段多级放坡的基坑开挖方法可参照本章 23.4.1 中的相关内容;下段有围护无内支撑的基坑开挖方法可参照本章 23.4.2 中的相关内容。上段多级放坡、下段有围护无内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法施工工程。

以上段二级放坡分层开挖,下段土钉支护分层开挖为例,其典型开挖方法如图 23-26a;以上段二级放坡分层开挖,下段水泥土重力式围护墙不分层开挖为例,其典型开挖方法如图 23-26b。

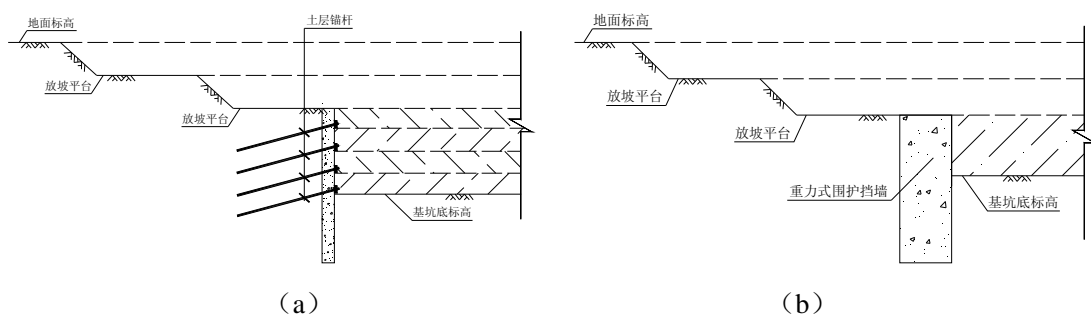


图 23-26 上段多级放坡下段有围护无内支撑的基坑边界土方开挖方法  
(a) 下段土钉支护分层开挖 (b) 下段重力式围护墙不分层开挖

## 4. 上段多级放坡下段有围护有内支撑的基坑土方开挖

上段多级放坡、下段有围护有内支撑或以水平结构代替内支撑的基坑是多级放坡与有围护有内支撑支护形式在竖向上的组合,这种形式的基坑边界的开挖应采取分层方式。上段多级放坡的开挖方法可参照本章 23.4.1 中的相关内容;下段有围护有内支撑的开挖方法可参照本章 23.4.2 中的相关内容。上段多级放坡、下段有内支撑的基坑土方开挖方法可应用于明挖法或暗挖法施工工程。

以上段二级放坡分层开挖，下段有内支撑的顺作法基坑分层开挖为例，其典型开挖方法如图 23-27a；以上段二级放坡分层开挖，下段以水平结构代替内支撑的逆作法基坑分层开挖为例，其典型开挖方法如图 23-27b。

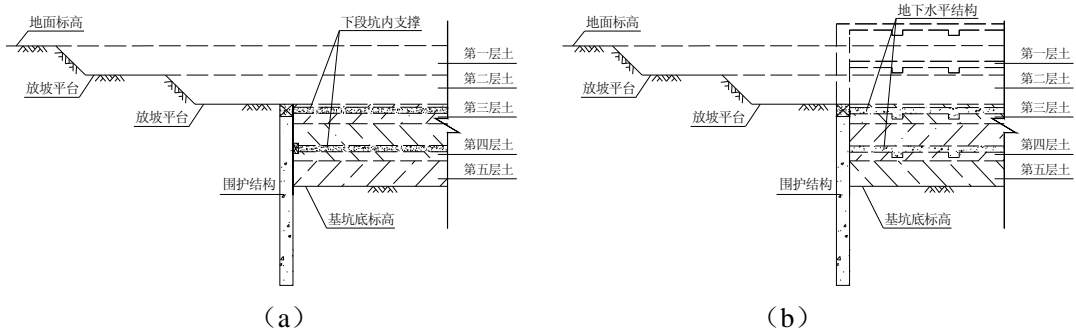


图 23-27 上段多级放坡下段有内支撑的基坑边界分层土方开挖方法  
(a) 下段顺作法分层开挖 (b) 下段逆作法分层开挖

### 23.5 基坑界面不同长度条件下的土方分层分段开挖方法

基坑的平面形状存在多样性，但无论是哪一种形状的基坑，其界面一般为具有一定长度和高度的直面或曲面。按照对称、平衡、限时的挖土原则，针对边界形式、开挖深度、周边环境等情况，根据基坑界面直面或曲面的长短应制定不同的分层分段挖土方法。本节所述的基坑界面不同长度条件下的土方分层分段开挖方法，可通过基坑平面范围内土方分层分块开挖在基坑纵向边界面上的表现特征体现。通过基坑平面分层分块开挖控制基坑变形，减少对周边环境影响的开挖方法，在施工中已被广泛应用。

#### 23.5.1 基坑界面不分段土方开挖方法

对于面积较小的基坑，可采用不分块的开挖方法；对于面积较大的有内支撑的基坑，若第一层土方开挖深度较浅，且周边环境较好，可根据具体情况采用不分块的开挖方法；对于第一道支撑采用钢筋混凝土支撑的狭长形地铁车站基坑，第一层土方的开挖也可采用不分块的开挖方法。基坑不分块的开挖方法在边界面的表现特征即为不分段开挖方法，基坑界面不分段开挖方法，包括分层和不分层两种形式。

##### 1. 全深度范围内基坑界面不分层不分段土方开挖

全深度范围内基坑界面不分层不分段开挖方法，适用于采用一级放坡开挖的基坑、水泥土重力式围护墙的基坑、板式悬臂围护墙的基坑。基坑界面不分层不分段开挖方法可应用于明挖法施工工程。以水泥土重力式围护墙基坑不分层不分段开挖为例，其典型开挖方法如图 23-28。

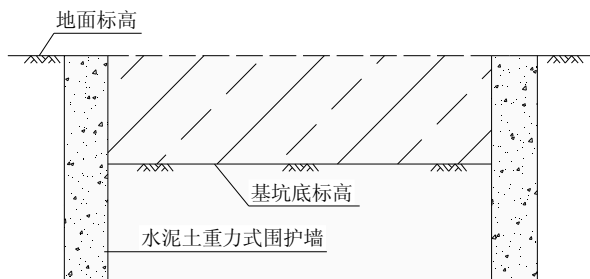


图 23-28 水泥土重力式围护墙基坑界面不分层不分段的土方开挖方法

##### 2. 全深度范围内基坑界面分层不分段土方开挖

全深度范围内基坑界面分层不分段的开挖方法，适用于放坡基坑的土方开挖、有围护

基坑的土方开挖、放坡与围护相结合基坑的土方开挖。基坑边界面分层不分段开挖方法可应用于明挖法或暗挖法施工工程。以板式支护有内支撑的顺作法基坑分层不分段开挖为例，其典型开挖方法如图 23-29a；以水平结构代替内支撑的逆作法基坑分层不分段开挖为例，其典型开挖方法如图 23-29b。

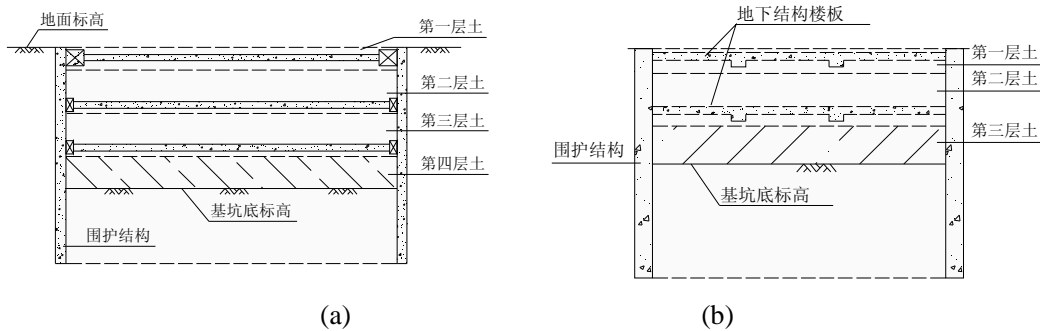


图 23-29 板式支护有内支撑的基坑边界面分层不分段土方开挖方法  
(a) 顺作法分层不分段开挖 (b) 逆作法分层不分段开挖

### 23.5.2 基坑边界面分段土方开挖方法

对于基坑边界面纵向长度较大的基坑，为了较好的控制基坑变形，可采取边界面分段的开挖方法。基坑边界面分段开挖方法，包括分层和不分层两种形式。基坑开挖中，通过采取分段开挖方式确定合理的开挖顺序，可对周边环境保护起到明显的效果。

#### 1. 全深度范围内基坑边界面不分层分段土方开挖

全深度范围内基坑边界面不分层分段开挖方法，一般适用于面积较大，开挖对周边环境可能产生不利影响的基坑。基坑边界面不分层分段开挖方法可适用于一级放坡开挖的基坑、水泥土重力式围护墙的基坑、板式悬臂围护墙的基坑。为了减小基坑边界面的变形，基坑边界面上可分若干段先后进行开挖。以水泥土重力式围护墙基坑分三段开挖为例，可先开挖两侧土方，再开挖中部土方，基坑典型开挖方法如图 23-30 所示。基坑边界面不分层分段开挖方法可应用于明挖法施工工程。

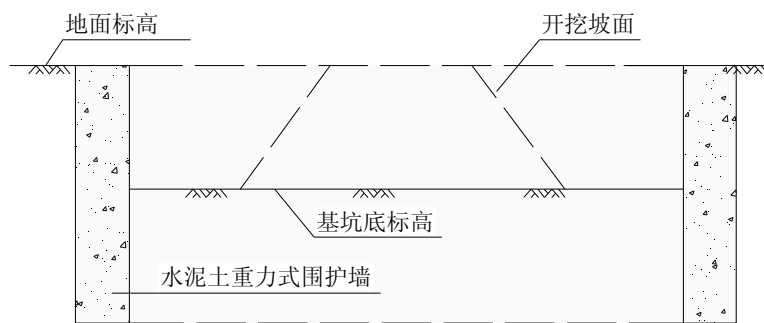


图 23-30 水泥土重力式围护墙基坑边界面不分层分段土方开挖方法

#### 2. 全深度范围内基坑边界面分层分段土方开挖

全深度范围内基坑边界面分层分段开挖方法，一般适用于面积较大，开挖较深，周边环境复杂，或开挖对周边环境可能造成影响的基坑。边界面分层分段开挖一般应综合考虑工程特点、施工工艺、环境要求等因素，结合土方工程实际确定具体的挖土施工方案。基坑边界面分层分段开挖方法适用于放坡基坑的土方开挖、有围护基坑的土方开挖、放坡与围护相结合基坑的土方开挖。土钉支护或土层锚杆支护基坑、有内支撑的狭长形基坑、有内支撑的分块开挖基坑最为典型。基坑边界面分层分段开挖方法可应用于明挖法或暗挖法施工工程。

(1) 土钉支护或土层锚杆支护基坑边界面分层分段土方开挖

对于土钉支护或土层锚杆支护形式的基坑，基坑边界面分段长度一般控制在 20m~30m，以复合土钉支护基坑边界面分层分段开挖为例，基坑典型开挖方法如图 23-31。

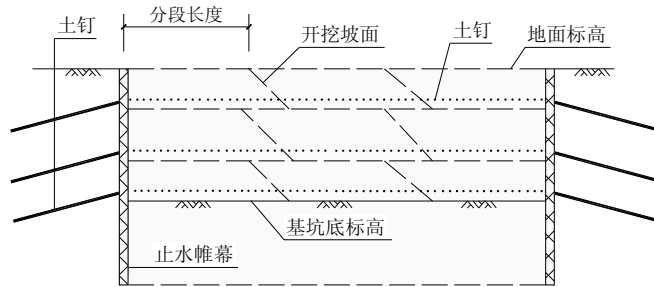


图 23-31 土钉支护基坑边界面分层分段土方开挖方法

(2) 有内支撑的狭长形基坑边界面分层分段土方开挖

地铁站等狭长形基坑一般采用板式支护结合内支撑的形式，地铁站一般处于城市中心区域，且开挖深度较大，基坑变形控制和周边环境保护要求很高。

对于各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑，可采用斜面分层分段开挖的方法。每小段长度一般按照 1~2 个同层水平支撑间距确定，约为 3m~8m，每层厚度一般按支撑竖向间距确定，约为 3~4m，每小段开挖和支撑形成时间均有较为严格的限制，一般为 12h~36h。斜面分层分段纵向总坡度通过大量工程实践证明，其坡度不宜大于 1:3；各级土方边坡坡度一般不应大于 1:1.5，各级边坡平台宽度一般不应小于 3.0m；边坡间应根据实际情况设置安全加宽平台，加宽平台之间的土方边坡一般不应超过二级，加宽平台宽度一般不应小于 9.0m。为保证斜面分层分段形成的多级边坡稳定，除按照上述边坡构造要求设置外，尚应对各级小边坡、各阶段形成的多级边坡以及纵向总边坡的稳定性进行验算。采用斜面分层分段开挖至坑底时，应按照设计或基础底板施工缝设置要求，及时进行垫层和基础底板的施工，基础底板分段浇筑的长度一般控制在 25m 左右，在基础底板形成以后，方可继续进行相邻纵向边坡的开挖。各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑边界面斜面分层分段开挖方法如图 23-32。

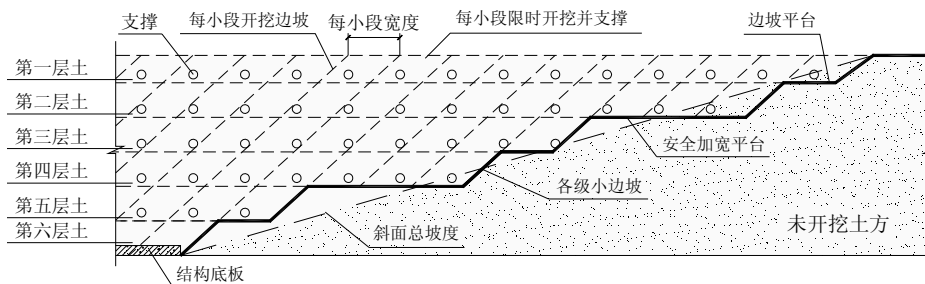


图 23-32 各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑边界面斜面分层分段土方开挖方法

当周边环境复杂，为控制基坑变形，狭长形基坑的第一道支撑采用钢筋混凝土支撑，其余支撑采用钢支撑的形式，在软土地区被广泛应用，实践证明采用这种方式对基坑整体稳定是行之有效的。对于第一道钢筋混凝土支撑底部以上的土方，可采取不分段连续开挖的方法，待钢筋混凝土支撑强度达到设计要求后再开挖下层土方。对于第一道钢筋混凝土支撑底部以下土方，应采取斜面分层分段开挖的方法，其施工参数可参照各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑的分层分段开挖方法。其分层分段土方开挖方法如图 23-33。

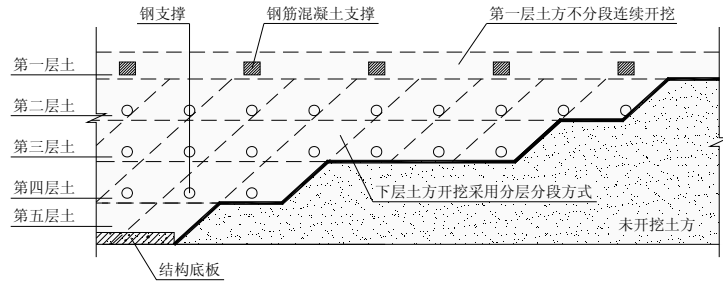


图 23-33 第一道支撑以下采用钢支撑的狭长形基坑边界面斜面分层分段土方开挖方法

当周边环境复杂，或地铁车站相邻区域有同时施工的基坑等情况，为更有效的控制基坑变形，也可采用钢支撑与钢筋混凝土支撑交替设置的形式，如第一道和第五道支撑采用钢筋混凝土支撑，其余支撑采用钢支撑的形式，如图 23-34。基坑全深度范围的土方开挖可分为三个阶段，第一阶段先开挖第一道钢筋混凝土支撑底部以上的土方，可采取不分段连续开挖的方法，待钢筋混凝土支撑强度达到设计要求后再开挖下层土方；第二阶段开挖第一道支撑底部至第五道支撑底部之间的土方，采用斜面分层分段开挖的方法，待第五道钢筋混凝土支撑强度达到设计要求后再开挖下层土方，如图 23-35a；第三阶段开挖第五道钢筋混凝土支撑底部以下的土方，采用斜面分层分段开挖的方法，如图 23-35b。

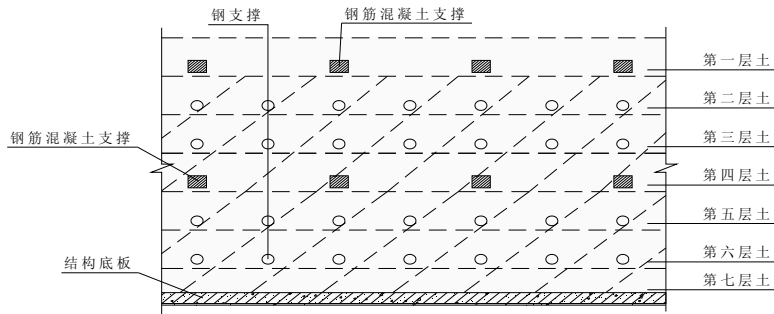
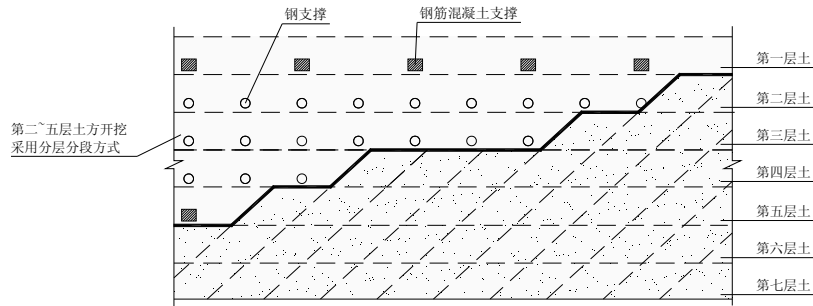
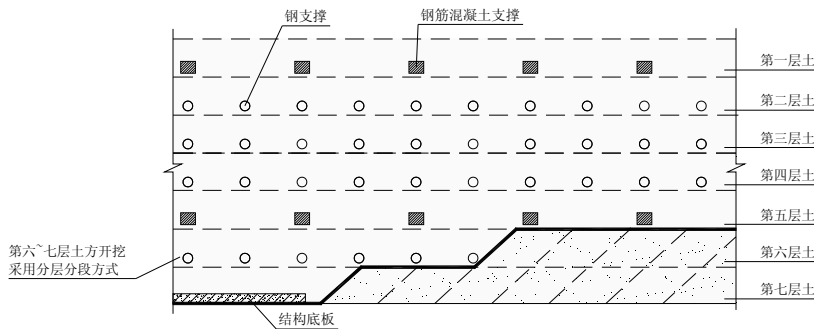


图 23-34 钢支撑与钢筋混凝土支撑交替设置的狭长形基坑边界面分层分段土方开挖方法



(a)



(b)

图 23-35 钢支撑与钢筋混凝土支撑交替设置的狭长形基坑边界面分层分段土方开挖方法  
(a) 第二阶段土方开挖方法 (b) 第三阶段土方开挖方法

狭长形基坑在平面上可采取从一端向另一端开挖的方式,也可采取从中间向两端开挖的方式。从中间向两端开挖方式一般适用于长度较长的基坑,或为加快施工进度而增加挖土工作面的基坑。分层分段开挖方法可根据支撑形式合理确定,以第一道为钢筋混凝土支撑,其余各道为钢支撑的狭长形基坑为例,基坑边界面斜面分层分段开挖方法如图 23-36。

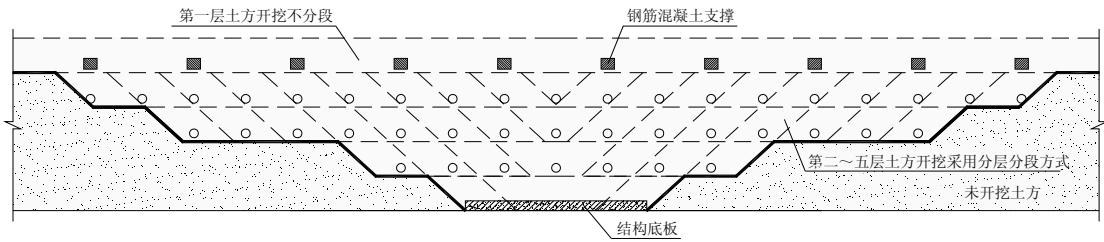


图 23-36 从中间向两端开挖的狭长形基坑边界面斜面分层分段土方开挖方法

### (3) 有内支撑的分块开挖基坑边界面分层分段土方开挖方法

对于长度和宽度均较大的有内支撑的基坑,如果基坑中部区域有对撑系统,为了控制基坑变形或便于均衡流水施工,应采取平面分块依次开挖的方法,可先开挖中部区域有对撑系统的土方,在中部对撑系统形成后,再开挖其余部分的土方,这种开挖方法在边界面的表现即为分层分段开挖的形式。以全深度范围有二道钢筋混凝土支撑的基坑为例,分层分段开挖顺序按图示编号进行,边界面分层分段开挖方法如图 23-37。

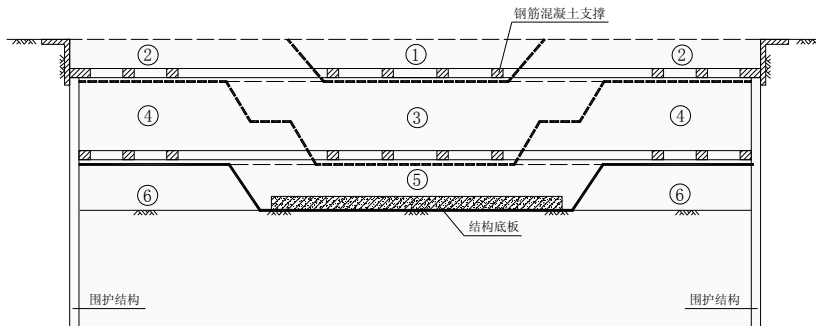


图 23-37 基坑边界面分层分段土方开挖方法

## 23.6 基坑边界内的土方分层分块开挖方法

基坑不同边界形式下的土方分层开挖方法,反映的是挖土过程在基坑边界剖面上的具体表现;基坑边界面不同长度条件下的土方分层分段开挖方法,反映的是挖土过程在基坑边界纵向面的具体表现;基坑边界内的土方分层分块开挖方法,反映的是挖土过程在整个基坑平面上的具体表现。通过这三种开挖方式的叙述,可以全面了解基坑开挖的基本规律。

基坑变形与基坑开挖深度、开挖时间长短关系密切。相同的基坑和相同的支护设计采用的开挖方法和开挖顺序不同,相同的开挖方法和开挖顺序而开挖时间长短不同,都将对基坑变形产生不同程度的影响,有时候基坑变形的差异会很大。大量工程实践证明,合理确定每个开挖空间的大小、开挖空间相对的位置关系、开挖空间的先后顺序,严格控制每个开挖步骤的时间,减少无支撑暴露时间,是控制基坑变形和保护周边环境的有效手段。

对基坑边界内的土方在平面上进行合理分块，确定各分块开挖的先后顺序，充分利用未开挖部分土体的抵抗能力，有效控制土体位移，以达到减缓基坑变形、保护周边环境的目的。一般可根据现场条件、基坑平面形状、支撑平面布置、支护形式、施工进度等情况，按照对称、平衡、限时的原则，确定土方开挖方法和顺序。基坑对称开挖一般是指根据基坑挖土分块情况，采用对称、间隔开挖的一种方式；基坑限时开挖一般是指根据基坑挖土分块情况，对无支撑暴露时间采取控制的一种方式；基坑平衡开挖是指根据开挖面积和开挖深度等情况，以保持各分块均衡开挖的一种方式。

坑内设置分隔墙的基坑土方开挖也属于分块开挖的范畴。分隔墙将整个基坑分成了若干个基坑，可根据实际情况确定每个基坑先后开挖的顺序以及各基坑开挖的限制条件，采用分隔墙的分块开挖方法有利于基坑变形的控制和对周边环境的保护。

本节主要叙述基坑边界内的土方分层分块开挖方法，其中分层开挖的方法可参照本章 23.4 和 23.5 的相关内容，而分块开挖的方法是本节叙述的重点。

### 23.6.1 基坑岛式土方开挖方法

#### 1. 岛式土方开挖的概念及适用范围

##### (1) 岛式土方开挖的概念

先开挖基坑周边的土方，挖土过程中在基坑中部形成类似岛状的土体，然后再开挖基坑中部的土方，这种挖土方式通常称为岛式土方开挖。岛式土方开挖可在较短时间内完成基坑周边土方开挖及支撑系统施工，这种开挖方式对基坑变形控制较为有利。而基坑中部大面积无支撑空间的土方开挖较为方便，可在支撑系统养护阶段进行开挖。

##### (2) 岛式土方开挖的适用范围

岛式土方开挖适用于支撑系统沿基坑周边布置且中部留有较大空间的基坑。边桁架与角撑相结合的支撑体系、圆环形桁架支撑体系、圆形围檩体系的基坑采用岛式土方开挖较为典型。土钉支护、土层锚杆支护的基坑也可采用岛式土方开挖方式。岛式土方开挖适用于明挖法施工工程。

本章第 23.4 和 23.5 论述的是全深度范围基坑分层分段开挖方法，而岛式土方开挖不一定是全深度范围采取的挖土方式。岛式土方开挖可适用于全深度范围基坑土方开挖，也可适用于分层开挖基坑的某一层或几层土方开挖，具体运用可根据实际确定。

#### 2. 岛式土方开挖的主要方式和方法

##### (1) 岛式土方开挖的主要方式

岛式土方开挖可根据实际情况选择不同的方式。同一个基坑可采用如下的一种方式进行土方开挖，也可采用如下几种方式的组合进行土方开挖，这种组合可以是平面上的组合，也可以是立面上的组合。岛式土方开挖主要有如下三种方式：

**方式 1：**在开挖基坑周边土方阶段，土方装车挖掘机在基坑边或基坑边栈桥平台上作业，取土后由坑边土方运输车将土方外运。在开挖基坑中部岛状土方阶段，先由基坑内的挖掘机将土方挖出或驳运至基坑边，再由基坑边或基坑边栈桥平台上的土方装车挖掘机进行取土，由坑边土方运输车将土方外运。采用这种方式进行岛式土方开挖，施工灵活，互不干扰，不受基坑开挖深度限制。

**方式 2：**在开挖基坑周边土方阶段，土方装车挖掘机在岛状土体顶面作业，取土后由岛状土体顶面上的土方运输车通过内外相连的栈桥道路将土方外运。在开挖基坑中部岛状土方阶段，先由基坑内的挖掘机将土方挖出或驳运至基坑中部，由基坑中部岛状土体顶面的土方装车挖掘机进行取土，再由基坑中部的土方运输车通过内外相连的栈桥道路将土方外运。采用这种方式进行岛式土方开挖，施工灵活，互不干扰，但受基坑开挖深度限制。

**方式 3：**在开挖基坑周边土方阶段，土方装车挖掘机在岛状土体顶面作业，取土后由岛状土体顶面上的土方运输车通过内外相连的土坡将土方外运。在开挖基坑中部岛状土方阶



段,先由基坑内的挖掘机将土方挖出或驳运至基坑中部,由基坑中部岛状土体顶面的土方装车挖掘机进行取土,再由基坑中部的土方运输车通过内外相连的土坡将土方外运。采用这种方式进行岛式土方开挖,施工繁琐,相互干扰,基坑开挖深度有限。

### (2) 岛式土方开挖的主要方法

采用岛式土方开挖时,基坑中部岛状土体的大小应根据支撑系统所在区域等因素确定,岛状土体的大小不应影响整个支撑系统的形成。基坑中部岛状土体形成的边坡应满足相应的构造要求,以保证挖土过程中岛状土体的稳定。岛状土体的高度一般不大于 9m,当高度大于 4m 时,可采取二级放坡的形式。当采用二级放坡时,为满足挖掘机停放以及土体临时堆放等要求,放坡平台宽度一般不小于 4m。每级边坡坡度一般不大于 1: 1.5,采用二级放坡时总边坡坡度一般不大于 1: 2。为满足稳定性要求,应根据实际工况和荷载条件,对各级边坡和总边坡进行验算。当岛状土体较高或验算不满足稳定性要求时,可对岛状土体的边坡进行土体加固。

基坑采用一级放坡的岛式土方开挖方式,可通过基坑边、基坑边栈桥平台或岛状土体顶面的土方装车挖掘机直接取土装车外运,也可通过基坑内的一台或多台挖掘机将土方挖出并驳运至土方装车挖掘机作业范围,由土方装车挖掘机取土装车外运。基坑采用二级放坡的岛式土方开挖方式,可通过基坑内的一台或多台挖掘机将土方挖出并驳运至基坑边、基坑边栈桥平台或岛状土体顶面的土方装车挖掘机作业范围,由土方装车挖掘机取土装车外运。

土方装车挖掘机、土方运输车辆在岛状土体顶部进行挖运作业,须在基坑中部与基坑边部之间设置栈桥道路或土坡用于土方运输。采用栈桥道路或土坡作为内外联系通道,土方外运效率较高。栈桥道路或土坡的坡度一般不大于 1: 8,坡道面还应采取防滑措施,保证车辆行走安全。采用土坡作为内外联系通道时,一般可采用先开挖土坡区域的土方进行支撑系统施工,然后进行回填筑路再次形成土坡,作为后续土方外运行走通道。用于挖运作业的土坡,自身的稳定性有较高的要求,一般可采取护坡、土体加固、疏干固结土体等措施,土坡路面的承载力还应满足土方运输车辆、挖掘机作业要求。

## 3. 某工程基坑岛式土方开挖实例一

### (1) 工程概况

该工程基坑开挖总面积约 3 万  $m^2$ ,开挖总方量约 42 万  $m^3$ ;主楼基坑开挖面积约 7854 $m^2$ ,开挖土方量约 16 万  $m^3$ 。主楼基坑大面积开挖深度为 17.85m,电梯井坑中坑开挖深度为 25.89m;裙房开挖深度为 17.85m。主楼基坑采用 100m 内径的圆环形地下连续墙围护,墙厚 1m,墙身竖向设置四道圆形围檩,圆形围檩底标高分别为-2.45m、-7.95m、-12.450m、-15.850m。基坑周边临近主干道,环境保护要求高。主楼基坑栈桥平台平面布置如图 23-38。

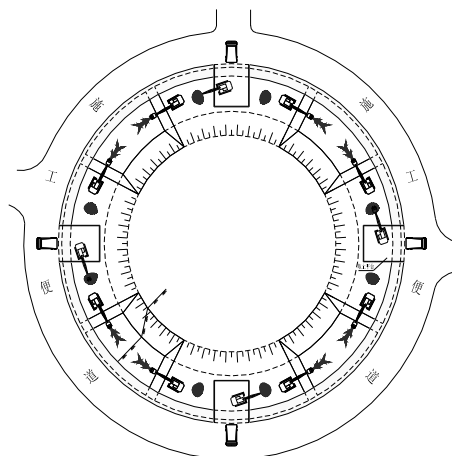


图 23-38 主楼基坑栈桥平台平面布置图

## (2) 主楼基坑岛式土方开挖施工方案

根据地墙墙身设置的四道圆形围檩，基础底板以上的土方分五层开挖。坑中坑深度达 8.04m，采用钻孔灌注桩与钢管桩组合形成围护墙，并在围护墙顶面设置一道钢支撑，坑中坑土方分二层开挖。主楼土方分层开挖按图示编号顺序进行，开挖顺序如图 23-39。

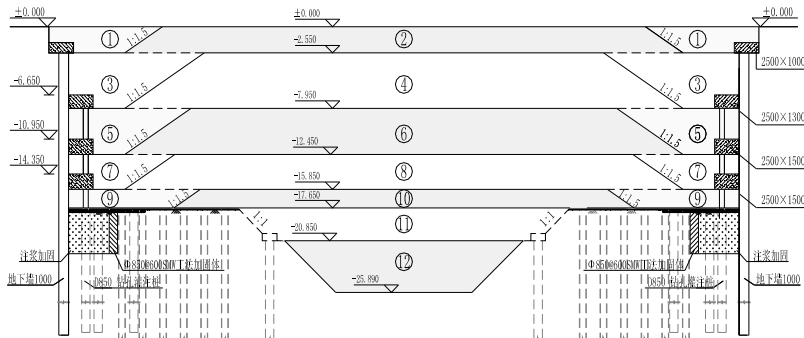


图 23-39 主楼基坑土方开挖顺序图

该工程第一层至第五层土方分别采用岛式土方开挖方式，岛式土方开挖每层分二个阶段，第一阶段开挖基坑周边土方，施工圆形围檩；第二阶段开挖基坑中部岛状土体。岛式土方开挖过程在栈桥平台上设置土方装车挖掘机，土方装车挖掘机采用加长臂或伸缩臂取土；在基坑内设置若干台挖掘机进行挖土和土方驳运作业，将土方卸至土方装车挖掘机作业范围。以该工程第三层岛式土方开挖为例，第一阶段周边土方开挖如图 23-40，第二阶段中部岛状土体开挖如图 23-41。

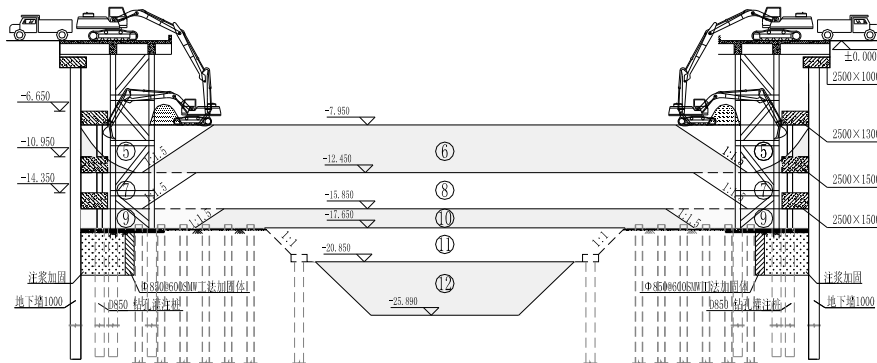


图 23-40 第三层第一阶段周边土方开挖方法

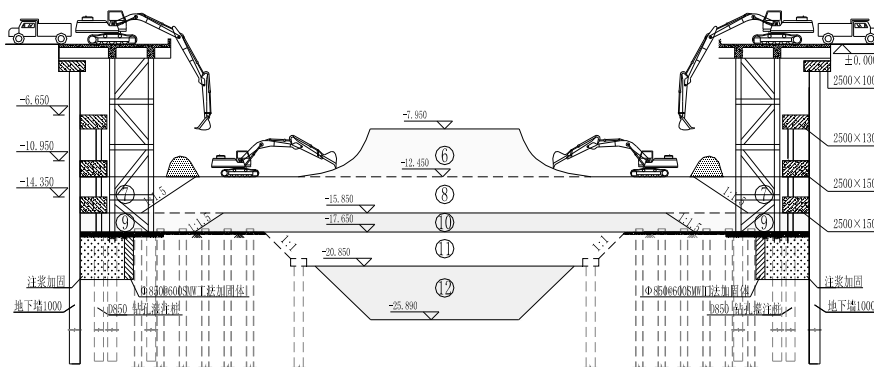


图 23-41 第三层第二阶段中部岛状土体开挖方法

由于该工程采用了坑边栈桥平台，使栈桥平台下部的土方开挖与栈桥平台上的土方装车挖掘机作业互不干扰，方便了施工，加快了进度。利用栈桥平台进行岛式土方挖土将不受基坑深度影响，岛式土方开挖可在全深度范围运用。

#### 4. 某工程基坑岛式土方开挖实例二

##### (1) 工程概况

该工程基坑开挖总面积约2万m<sup>2</sup>,开挖总方量约31万m<sup>3</sup>;主楼基坑开挖面积约5476m<sup>2</sup>,开挖土方量约为10.8万m<sup>3</sup>。主楼基坑底标高为-19.65m,裙房基坑底标高为-15.1m。主楼基坑采用Φ1200 钻孔灌注桩排桩围护,竖向设置4道钢筋混凝土支撑,支撑中心标高分别为-4.0m、-8.7m、-13.5m、-17.5m。基坑周边临近居民区,环境保护要求高。主楼基坑平面位置如图23-42。

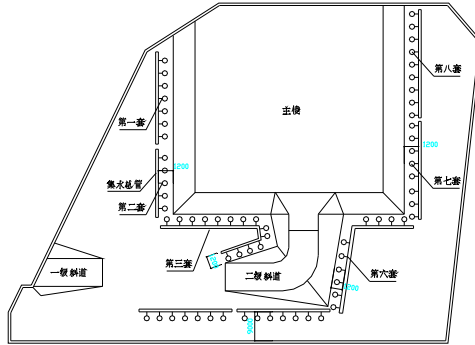


图 23-42 主楼基坑平面位置

##### (2) 主楼基坑土方开挖施工方案

###### a. 主楼基坑非岛式土方开挖施工方案

第一次土方开挖为主楼和裙房第一层土,开挖土方量约64000m<sup>3</sup>,采用5台挖掘机在5个作业面上同时进行开挖,第一次挖土挖至第一道支撑底标高-4.0m处,开挖由南向北进行,土方运输车分别由工地上的两个大门进出。第一次土方开挖结束且支撑施工完毕后,堆土筑路形成车辆入坑一级斜道。挖土工况一见图23-43。

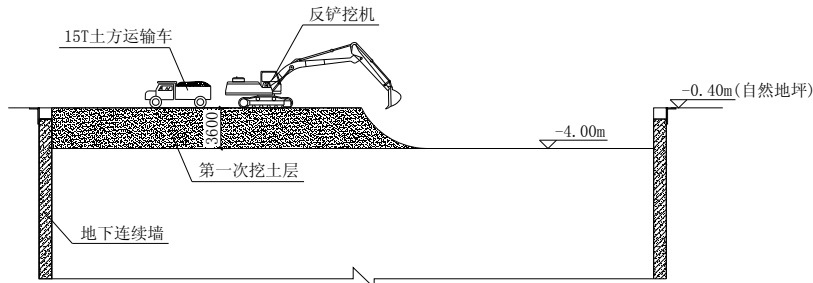


图 23-43 挖土工况一

第二次土方开挖方量约29000m<sup>3</sup>,开挖区域是主楼。采用3台挖掘机在3个作业面从东向西同时进行开挖,第二次挖土挖至第二支撑底标高-8.7m。另外开挖进入主楼第一支撑以下的斜道,斜道坡度为1:10。主楼基坑南、西、北三面及斜道两侧均按45°放坡要求挖土,土坡采用轻型井点进行疏干固结土体护坡。第二次土方开挖结束后,同时修坡筑路形成车辆入坑二级斜道。挖土工况二见图23-44。

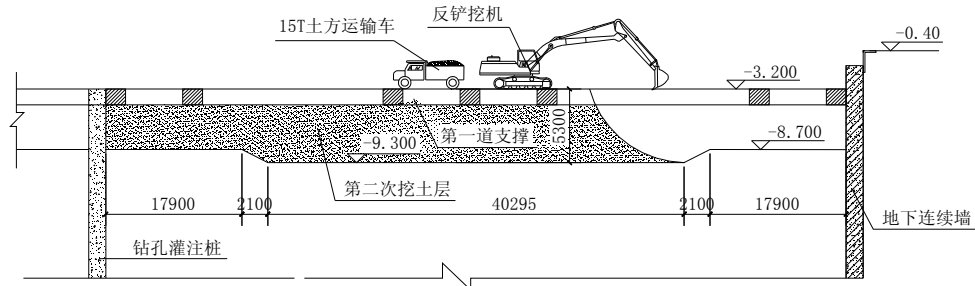


图 23-44 挖土工况二

b. 主楼基坑岛式土方开挖施工方案

第三次土方开挖方量约 23000m<sup>3</sup>，挖至第三道支撑底标高-13.5m。车辆通过一级、二级斜道进出。此次开挖主楼基坑四周，中部留设岛状土体，土体边坡采用一级放坡形式。为了保证中部岛状土体的稳定，事先在坡脚进行了压密注浆处理。2 台土方装车挖掘机在岛状土体顶面作业，土方运输车通过连接内外的栈桥道路将土方外运。基坑四周挖土完成后，将中部岛状土体挖至-11.3m 标高。完成栈桥道路的施工，栈桥道路的下端延伸至岛状土体中部，另一端与第二道支撑连接，栈桥道路两端标高为-11.3m、-7.9m。挖土工况三见图 23-45。

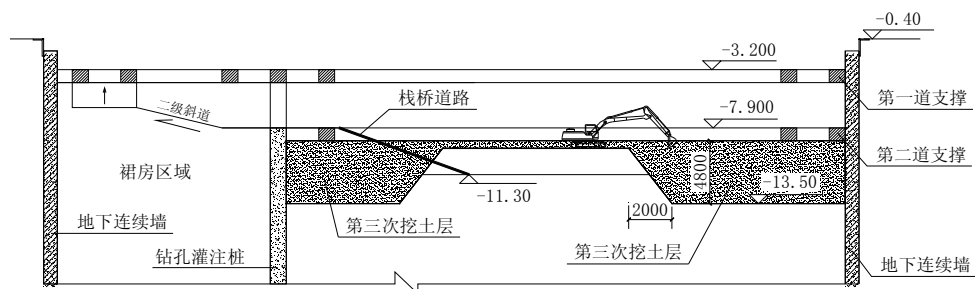


图 23-45 挖土工况三

第四次挖土方量约 18000m<sup>3</sup>，基坑四周挖至-17.5m 标高，由于岛状土体高度达 6.2m，土体边坡采用二级放坡形式。2 台挖掘机在岛状土体放坡平台上进行挖土和驳运作业，2 台土方装车挖掘机在岛状土体顶面取土，土方运输车辆通过一级、二级斜道和栈桥道路进出。挖土工况四见图 23-46。

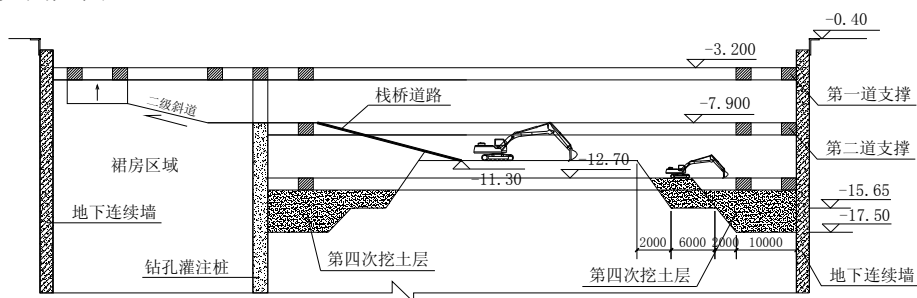


图 23-46 挖土工况四

第五次挖土方量约 21000m<sup>3</sup>，此次开挖基坑四周及中部岛状土体，2 台挖掘机在放坡平台上进行挖土和驳运作业，2 台装车挖掘机在岛状土体顶面取土，此时基坑四周挖至-19.65m 坑底标高，此时岛状土体高 8.35m，土坡采用二级放坡形式。挖土过程中岛状土体逐步缩小，最后由土方装车挖掘机在栈桥道路顶端进行收尾挖土作业，将基坑全部土方挖至-19.65m 坑底标高。土方运输车辆通过一级、二级斜道和栈桥道路进出。挖土工况五见图 23-47。

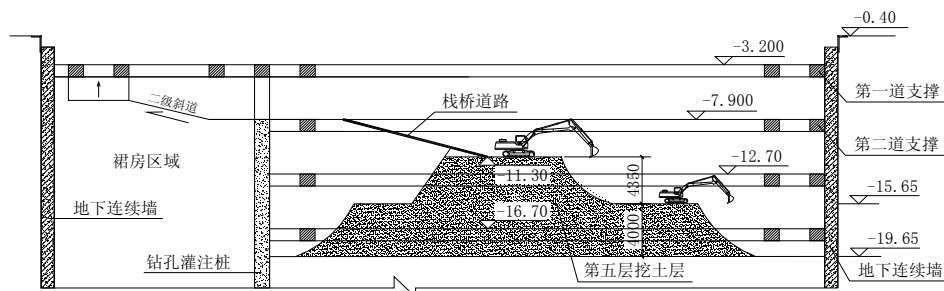


图 23-47 挖土工况五

由于该工程土方装车挖掘机在岛状土体顶面作业，而栈桥道路设置在岛状土体顶端，又由于岛状土体采用二级放坡形式，高度受到限制，所以这种岛式土方开挖方式只能适用于岛状土体顶面以下一定高度范围。根据这种限制条件，该工程采用了一级和二级斜道进入栈桥道路，最大限度地降低了岛状土体标高，使高度控制在岛式土方开挖较适用的9m范围以内，解决了深度较大基坑采用该种岛式土方开挖方式的技术问题。

### 23.6.2 基坑盆式土方开挖方法

#### 1. 盆式土方开挖的概念及适用范围

##### (1) 盆式土方开挖的概念

先开挖基坑中部的土方，挖土过程中在基坑中部形成类似盆状的土体，然后再开挖基坑周边的土方，这种挖土方式通常称为盆式土方开挖。盆式土方开挖由于保留基坑周边的土方，减小了基坑围护暴露的时间，对控制围护墙的变形和减小周边环境的影响较为有利。而基坑中部的土方可在支撑系统养护阶段进行开挖。

##### (2) 盆式土方开挖的适用范围

盆式土方开挖适用于基坑中部无支撑或支撑较为密集的大面积基坑。盆式土方开挖适用于明挖法或暗挖法施工工程。

本章第 23.4 和 23.5 论述的是全深度范围基坑分层分段开挖方法，而盆式土方开挖不一定是全深度范围采取的挖土方式。盆式土方开挖可适用于全深度范围基坑土方开挖，也可适用于分层开挖基坑的某一层或几层土方开挖，具体运用可根据实际确定。

#### 2. 盆式土方开挖的主要方法

采用盆式土方开挖时，基坑中部盆状土体的大小应根据基坑变形和环境保护等因素确定。基坑中部盆状土体形成的边坡应满足相应的构造要求，以保证挖土过程中盆边土体的稳定。盆边土体的高度一般不大于 9m，盆边宽度一般不小于 10m。当盆边高度大于 4m 时，可采取二级放坡的形式；当采用二级放坡时，为满足挖掘机停放以及土体临时堆放等要求，放坡平台宽度一般不小于 4m。每级边坡坡度一般不大于 1: 1.5，采用二级放坡时总边坡坡度一般不大于 1: 2。为满足稳定性要求，应根据实际工况和荷载条件，对各级边坡和总边坡进行验算。

在基坑中部进行土方开挖形成盆状土体后，盆边土体应按照对称的原则进行开挖。对于顺作法施工盆中采用对撑的基坑，盆边土体开挖应结合支撑系统的平面布置，先行开挖与对撑相对应的盆边分块土体，以使支撑系统尽早形成。对于逆作法施工采用盆式土方开挖时，盆边土体应根据分区大小，采用分小块先后开挖的方法。对于利用盆中结构作为竖向斜撑支点的基坑，应在竖向斜撑形成后开挖盆边土体。

#### 3. 某工程基坑盆式土方开挖实例一

##### (1) 工程概况

该工程基坑面积为 6400m<sup>2</sup>，开挖总方量约 11 万 m<sup>3</sup>，基坑开挖深度为 16.4m。基坑采用钻孔灌注桩排桩围护，竖向设置 3 道钢筋混凝土支撑。支撑底标高分别为-2.45m、-8.00m、

-13.25m。基坑平面布置如图 23-48。基坑西侧为在建高层建筑，东北两侧为交通主道路，环境保护要求高。

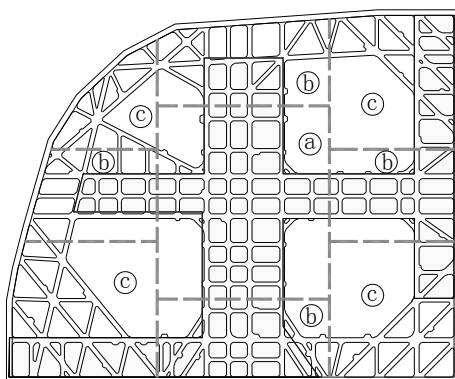


图 23-48 基坑支撑平面及土方分块开挖平面布置

## (2) 顺作法基坑土方开挖施工方案

### a. 基坑非盆式土方开挖施工方案

第一层土方采用不分块连续开挖的方法，由 2 台挖掘机从中部向南退挖，由另 2 台挖掘机从中部向北退挖，开挖至第一道支撑底标高-2.45m，施工第一道钢筋混凝土支撑及施工栈桥道路。

### b. 基坑盆式土方开挖施工方案

第二、三、四层土方采用分块对称开挖的方法。根据基坑支撑布置和基坑平面特点，将基坑平面分为 9 块，分块编号如图 23-48，平面分块开挖按图示编号顺序进行。第二、三、四层土方竖向分层分块开挖按图 23-49 所示编号顺序进行。

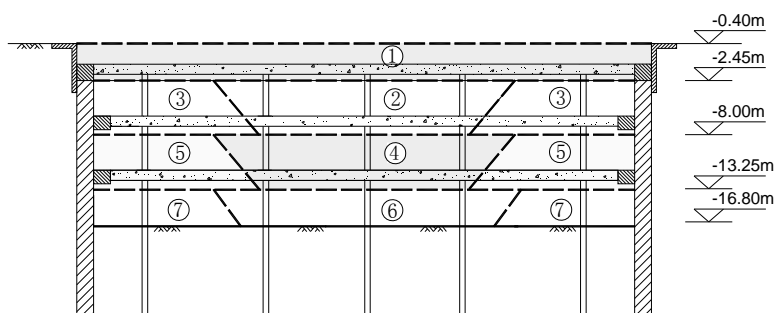


图 23-49 第二、三、四层土方分层分块土方开挖方法

该工程由于采用十字对撑结合角撑及边桁架的形式，所以采用盆式土方开挖较为合理。先开挖基坑中部土方，可有效控制基坑变形，利用基坑中部先开挖的土方区域，进行钢筋混凝土支撑的施工。基坑周边土方采用对称开挖的方式，通过开挖对撑区域的土方，可使对撑系统尽早形成，减小基坑变形。超大超深基坑顺作法施工采用盆式土方开挖方式较为普遍。

## 4. 某工程基坑盆式土方开挖实例二

### (1) 工程概况

该工程裙房地下三层，基坑开挖面积约 2.2 万  $m^2$ ，开挖土方量约 25.3 万  $m^3$ ，开挖深度为 17.85m。基坑采用二墙合一的地下连续墙围护，墙厚 1m 和 1.2m。基坑采用逆作法施工。基坑周边临近主干道，环境保护要求高。裙房基坑及土方分块平面如图 23-50。

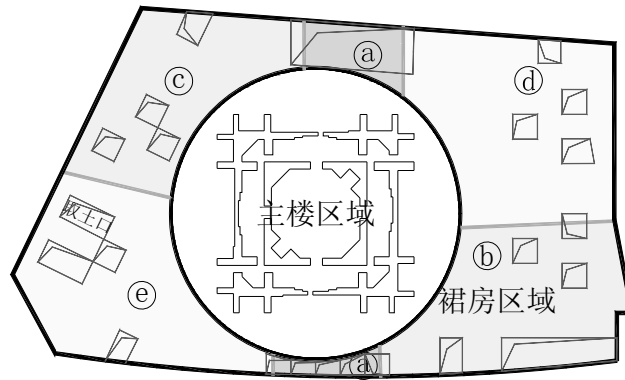


图 23-50 裙房基坑及土方分块平面布置

### (2) 逆作法基坑盆式土方开挖施工方案

裙房基坑土方分五个阶段进行，土方开挖采用盆式土方开挖方法。为满足裙房基坑土方暗挖需要，裙房逆作施工期间共设 23 个取土口，在取土口位置和土方运输车辆行驶线路位置对地下室顶板结构进行加固。将裙房基坑平面分为 6 块，分块编号如图 23-50。裙房基坑土方分层开挖按图示编号顺序进行，如图 23-51。

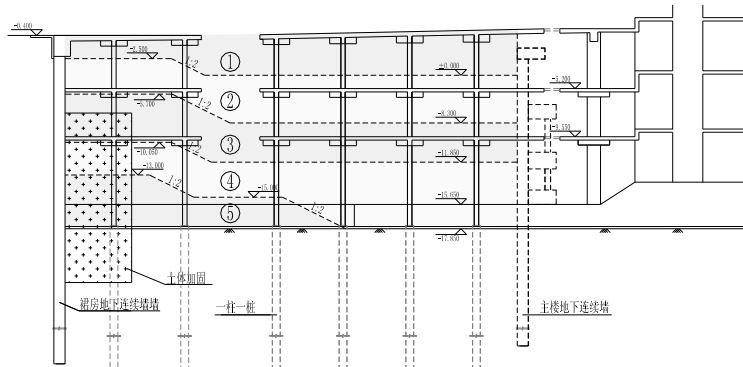


图 23-51 裙房基坑土方分层开挖顺序图

第一次土方开挖采用明挖盆式土方开挖方法，在裙房地下连续墙边留设 10m 宽盆边土体，盆中土方由塔楼圆形地下连续墙向四周退挖，在挖土过程中爆破拆除主楼临时地下连续墙和圆形围檩，盆式土方开挖后进行地下室顶板结构施工。地下室顶板达到设计要求的强度后，拆除模板。第一阶段盆式土方开挖按平面编号顺序进行，各分块施工完毕后进行下阶段土方开挖。

第二、三次土方开挖均采用暗挖盆式土方开挖方法，盆边留设 10m 宽土体，盆边边坡采用一级放坡。在地下室顶板结构取土口位置，设置土方装车挖掘机进行取土作业，土方装车挖掘机采用长臂挖掘机、抓斗挖掘机；在基坑内设置若干台挖掘机进行土方开挖和驳运作业，将土方卸至取土口范围。以第三阶段暗挖盆式土方开挖为例，其开挖方法如图 23-52。



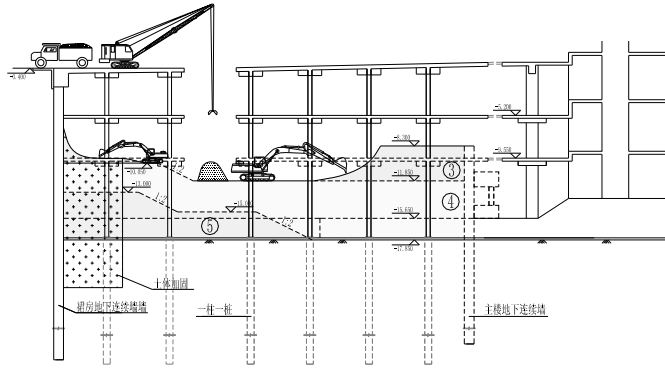


图 23-52 第三次盆式土方开挖方法

第四次土方开挖采用暗挖盆式土方开挖方法，盆边开挖至-13.00m，盆中开挖至坑底-17.85m，盆边边坡采用二级放坡。第四次土方开挖后，爆破拆除主楼临时地下连续墙和圆形围檩，进行盆中区域基础垫层和基础底板施工。基础底板施工完毕后，进行钢筋混凝土竖向斜撑的施工。在盆中各分块基础底板施工完毕，且相应区域的钢筋混凝土竖向斜撑达到设计要求的强度后，进行第五次土方开挖。第四次土方开挖方法如图 23-53，竖向斜撑设置如图 23-54。

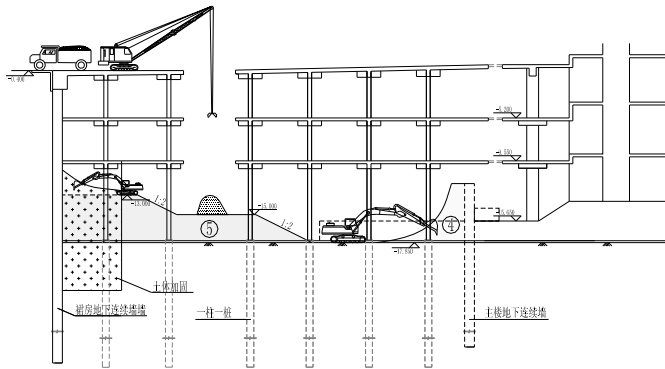


图 23-53 第四次土方开挖方法

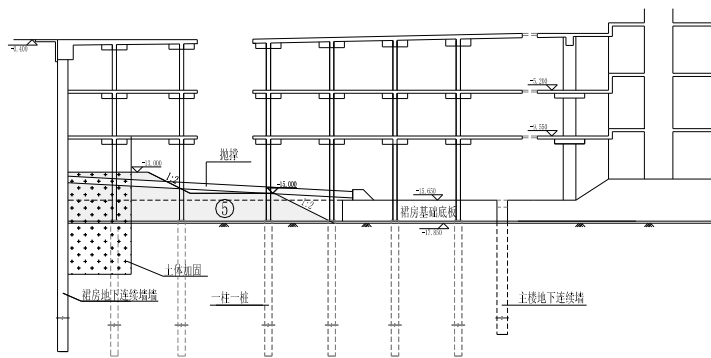


图 23-54 竖向斜撑设置

第五次开挖盆边土方，盆边土方采用分块开挖的方法，并限时浇筑垫层，然后进行盆边基础底板的施工。在盆边各分块基础底板施工完毕且达到设计强度后，拆除竖向斜撑。第五次土方开挖方法如图 23-55。

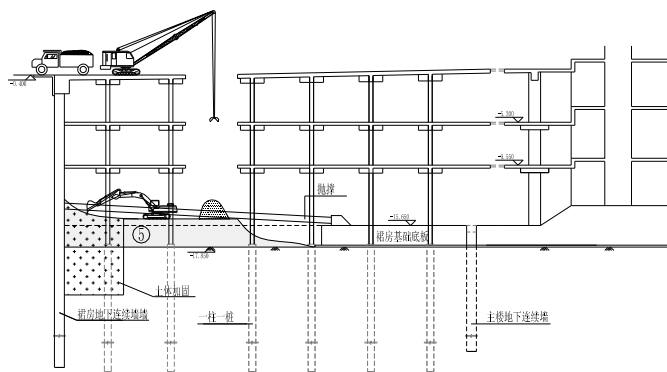


图 23-55 第五次土方开挖方法

该工程由于裙房采用逆作法施工，为中部主楼上部结构施工创造了场地条件。虽然裙房逆作法施工周期较长，但由于采用了盆式开挖方法，较好的控制了基坑变形，减小了周边环境的影响。超大超深基坑逆作法施工采用盆式土方开挖方法已得到普遍应用。

### 5. 某工程基坑盆式土方开挖实例三

#### (1) 工程概况

该工程为超大型深基坑工程，地下 3 层，地上 5 层。基坑开挖面积约为 5 万  $m^2$ ，地下建筑总面积约 13 万  $m^2$ ，土方开挖总量约 69 万  $m^3$ ，开挖深度为 13.5m。基坑采用二墙合一的地下连续墙围护。基坑平面如图 23-56。

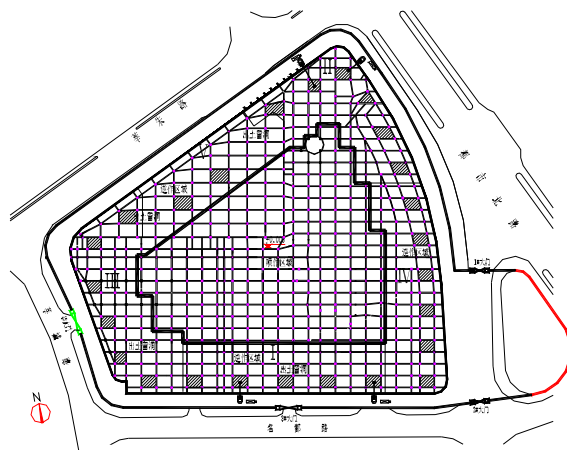


图 23-56 基坑平面图

#### (2) 基坑支护总体方案

该基坑工程采用中心区域顺作法，周边区域一明两暗逆作法的支护方案。中心区域结构全部采用顺作法施工，周边区域结构地下一层顺作施工，地下二层和三层逆作施工。采用这种支护方式，既不需要基坑中心区域再围护，也不需要设置中心区域的竖向斜撑系统。该支护方案可加快工程施工进度、降低工程成本、确保基坑工程安全。

#### (3) 基坑土方开挖施工方案

##### a 基坑非盆式土方开挖施工方案

第一次土方采用放坡明挖法，挖土范围包括坑外卸载区，土方量约 14 万  $m^3$ ，开挖至 -3.80m 标高，开挖深度 2.50m。边坡按 1: 1 设置，边坡采用钢丝网细石混凝土护坡。第一次土方开挖如图 23-57。第一次土方开挖完成后，打设基坑内外轻型井点，进行地下连续墙、中心区域钻孔灌注桩、周边区域一柱一桩和土体加固施工，完成基坑盆式土方开挖前的准备工作。

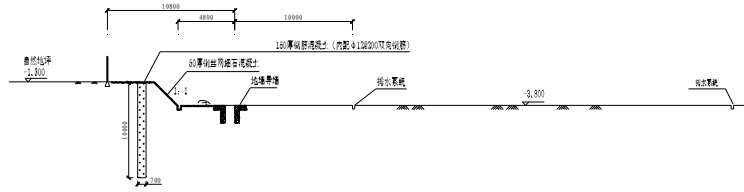


图 23-57 第一次土方开挖

b 基坑盆式土方开挖施工方案

第二次土方采用明挖盆式土方开挖方法，土方量约 25.5 万  $m^3$ ，盆顶标高为-6.65m，盆底标高为-9.35m，盆边边坡采用一级放坡，坡度为 1: 2，边坡采用钢丝网细石混凝土护坡。第二次土方开挖如图 23-58。基坑中部再次打设轻型井点降水，搭设模板支撑系统进行基坑周边区域地下二层顶板结构和地下一层顶板结构施工。待地下二层顶板达到强度后，拆除模板支撑系统，进行第三次土方开挖。

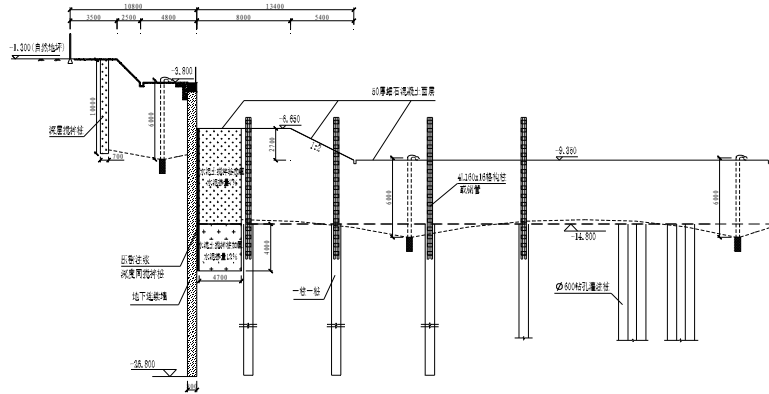


图 23-58 第二次土方开挖

第三次土方采用明挖盆式土方开挖方法，土方量约 14.4 万  $m^3$ ，基坑中心区域挖至 -14.80m 标高，基坑内形成三级边坡，盆顶标高为-6.65m，放坡平台标高分别为-9.35m、-12.05m，并在-12.05m 标高的放坡平台上再次打设轻型井点，各级边坡坡度分别为 1: 2，边坡采用钢丝网细石混凝土护坡。第三次土方开挖如图 23-59。第三次土方开挖结束后，施工基坑中心区域基础垫层和基础底板，再施工中心区域地下三层顶板。同时进行坑外卸载区域的土方回填施工。然后进行中心区域地下二层顶板施工，地下二层顶板连成整体。

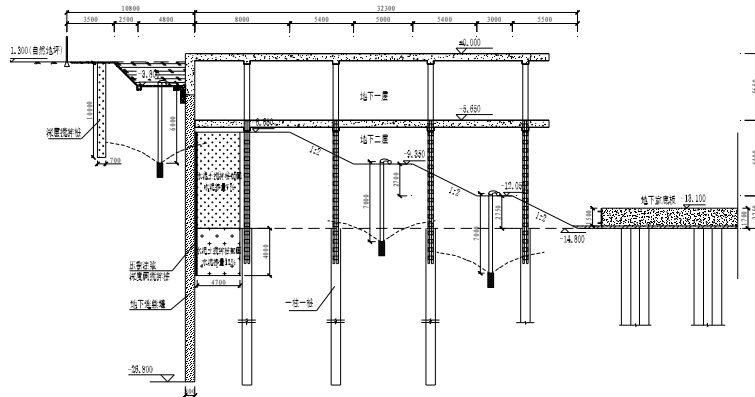


图 23-59 第三次土方开挖

第四次土方采用暗挖法开挖基坑周边区域土方，土方量约 4.3 万 m<sup>3</sup>，开挖至-10.35m 标高。第四次土方开挖如图 23-60。第四次土方开挖时，进行中心区域地下一层顶板施工，地下一层顶板连成整体。第四次土方开挖结束后，进行周边区域地下三层顶板施工，地下三层顶板连成整体。在周边区域地下三层顶板养护期间，进行中心区域地上结构施工。

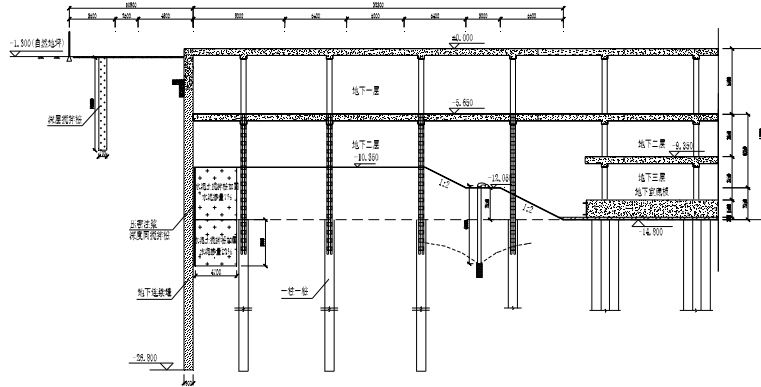


图 23-60 第四次土方开挖

第五次土方采用暗挖法开挖基坑周边土方，土方量约 10.8 万 m<sup>3</sup>，开挖至-14.80m 标高。第五次土方开挖后进行基坑周边区域的基础垫层和基础底板施工，整个基坑的基础底板连成整体。继续进行中心区域和周边区域地上结构施工，直至完成所有上部结构工程。

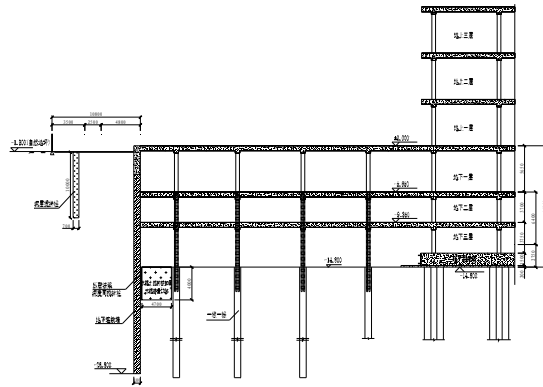


图 23-61 第五次土方开挖

该工程采用中间顺作周边逆作的盆式土方开挖施工方案，以地下结构梁板体系作为水平支撑，以地下结构柱作为竖向支撑，在基坑周边的地下二层顶板结构达到设计强度前，基坑主要依靠地下连续墙自立挡土；基坑周边地下一层顶板结构达到强度后，基坑主要依靠地下结构自身和基坑内三级土坡共同作用，有效的控制了围护墙的变形。由于中部区域采用顺作法施工，挖土便捷，大大加快了土方开挖的进度；利用水平结构和竖向结构代替临时支撑系统，大大降低了建设成本。工程实践证明，该支护方案结合盆式土方开挖方法是经济合理的。

### 23.6.3 岛式与盆式相结合土方开挖方法

岛式与盆式相结合的土方开挖方法是基坑竖向各分层土方采用岛式或盆式进行交替开挖的一种组合方法。岛式与盆式相结合的土方开挖方法有先岛后盆、先盆后岛和岛盆交替三种形式，在工程中采用何种组合方式，应根据实际情况确定。岛式与盆式相结合的土方开挖

中，各层土方开挖的方法可参照本章 23.6.1 或 23.6.2 的相关内容。岛式与盆式相结合土方开挖可应用于明挖法施工工程，在特殊情况下也可应用于暗挖法施工工程。

以上段复合土钉墙、下段板式支护的基坑为例，采用先岛后盆的土方开挖方法，竖向分层土方典型开挖方法如图 23-62。

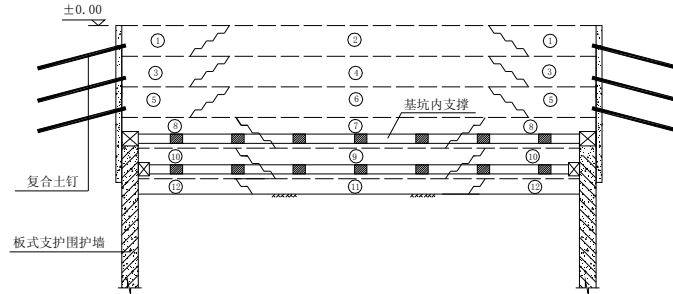


图 23-62 先岛后盆开挖

### 23.6.4 分层分块土方开挖方法

#### 1. 分层分块土方开挖的概念及适用范围

##### (1) 分层分块土方开挖的概念

对于分层或不分层开挖的基坑，若基坑不同区域开挖的先后顺序会对基坑变形和周边环境产生不同程度的影响时，需划分区域，并确定各区域开挖顺序，以达到控制变形，减小周边环境影响的目的。区域如何划分，开挖顺序如何确定，是土方开挖需要研究的问题。在基坑竖向上进行合理的土方分层，在平面上进行合理的土方分块，并合理确定各分块开挖的先后顺序，这种挖土方式通常称为分层分块土方开挖。岛式土方开挖和盆式土方开挖属于分层分块土方开挖中较为特殊的方式。

##### (2) 分层分块土方开挖的适用范围

分层分块土方开挖可用于大面积无内支撑的基坑，也可用于大面积有内支撑的基坑。分层分块土方开挖方法是基坑土方工程中应用最为广泛的方法之一，为复杂环境条件下的超大超深基坑工程所普遍采用。分层分块土方开挖适用于明挖法或暗挖法施工工程。

分层分块土方开挖可适用于全深度范围基坑土方开挖，也可适用于分层开挖基坑的某一层或几层土方开挖，各层土方的分块和开挖顺序可根据实际情况确定。

#### 2. 分层分块土方开挖的主要方法

##### (1) 土方开挖分块的主要方法

对于长度和宽度较大的基坑，一般可将基坑划分为若干个边部分块和中部分块。通常情况下应先开挖中部分块再开挖边部分块，采用这种土方开挖方式应遵循盆式土方开挖的方法。若支撑系统沿基坑周边布置且中部留有较大空间，可先开挖边部分块再开挖中部分块，开挖过程应遵循岛式土方开挖方法的相关要求。

对于以单向组合对撑系统为主的基坑，通常情况下应先开挖单向组合对撑系统区域的条块土体，及时施工单向组合对撑系统，减少无支撑暴露时间，条块土体在纵向应采用间隔开挖的方式。对于设置角撑系统的基坑，通常情况下可先开挖角撑系统区域的角部土体，及时施工角撑系统，控制基坑角部变形。

##### (2) 土方分块开挖的方法

应在控制基坑变形和保护周边环境的要求下确定基坑土方分块的大小和数量，制定分块施工先后顺序，并确定土方开挖的施工方案。土方分块开挖后，与相邻的土方分块形成高差，高差一般不超过 7.0m。当高差不超过 4.0m 时，可采用一级边坡；当高差大于 4.0m 时，可采用二级边坡。采用一级或二级边坡时，边坡坡度一般不大于 1: 1.5；采用二级边坡时，放

坡平台宽度一般不小于 3.0m。各级边坡和总边坡应经稳定性验算。土方分块开挖的方法可参照本章 23.2、23.3、23.6.1、23.6.2 的相关内容。

### 3. 某工程基坑分层分块土方开挖实例一

#### (1) 工程概况

该工程基坑面积约 2.1 万  $m^2$ ，开挖总方量约 37.2 万  $m^3$ ，开挖深度约为 17.40m。基坑采用 1m 厚的地下连续墙，竖向设置 3 道钢筋混凝土支撑。基坑南侧和西侧临近主干道，环境保护要求较高。

#### (2) 基坑分层分块土方开挖施工方案

该基坑面积较大，支撑采用对撑结合角撑及边桁架形式，土方开挖采用分层分块开挖的方法。由于采用 3 道支撑，土方竖向分四层进行开挖。根据支撑平面特点，第一层土方分 5 块进行开挖，第二层和第三层土方分 12 块进行开挖，第四层土方分 7 块进行开挖。第一层土方由于挖土速度较快，对周边环境的影响较小，所以采用较大的分块方案，每一分块均可使支撑系统在较短时间内形成，第一层土方分块开挖的先后顺序编号如图 23-63。第二层和第三层土方由于挖土速度相对较慢，为减少基坑变形，所以采用较小的分块方案，每一分块开挖都可使该区域的支撑在短时间内完成，从而使局部支撑系统及时形成并发挥作用，直至整个支撑系统形成，第二层和第三层土方分块开挖先后顺序编号如图 23-64。第四层土方根据基础底板后浇带位置以及主楼基础位置进行分块开挖，第四层土方分块开挖先后顺序编号如图 23-65。

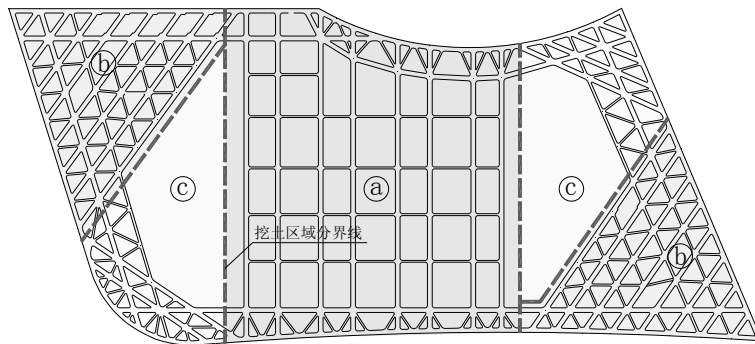


图 23-63 第一层土方分块开挖顺序

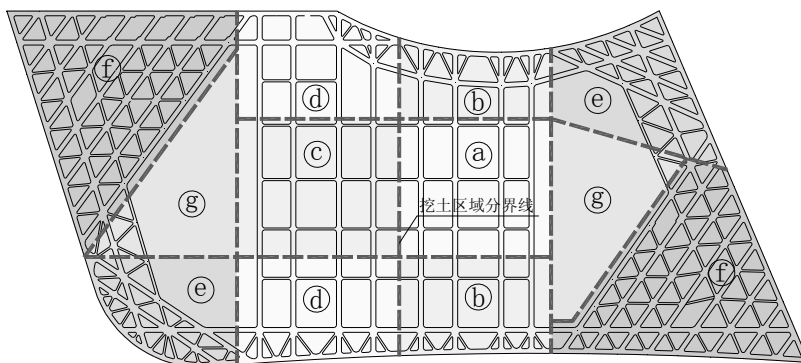


图 23-64 第二、三层土方分块开挖顺序

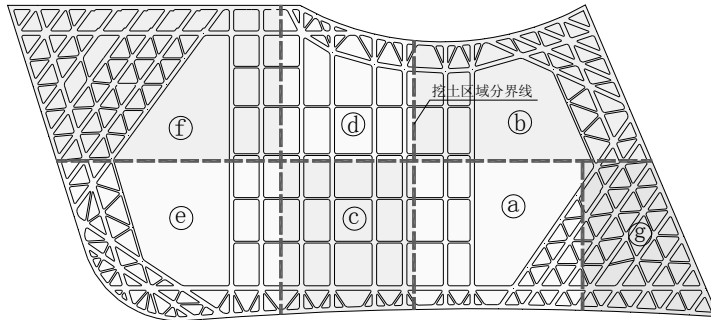


图 23-65 第四层土方分块开挖顺序

该基坑北侧为弧形地下连续墙围护，地下连续墙变形过大可能会导致基坑渗漏，而南侧为交通主干道，车辆频繁行走会对基坑变形产生不利影响，所以土方开挖分块原则以尽早形成南北向对撑为控制原则。同时根据角撑特点，角撑区域土方分块开挖采用由角部向基坑内退挖的方法，限时形成角撑，减少无支撑暴露时间。这种分块挖土方法在对撑系统结合角撑系统的基坑中应用较为普遍。

#### 4. 某工程基坑分层分块土方开挖实例二

##### (1) 工程概况

该工程基坑面积约 2.2 万  $m^2$ ，开挖总方量 50 万  $m^3$ ，开挖深度约为 22.50m~27.70m。基坑采用 1m 厚的地下连续墙围护，竖向设置 5 道钢筋混凝土支撑。该工程地处城市中心区域，环境条件复杂，北侧为历史保护建筑，西侧为在建地铁车站，南侧为高架道路，东侧为交通干道，基坑周边管线众多，基坑变形控制要求很高。

##### (2) 基坑分层分块土方开挖施工方案

根据周边环境保护要求和支撑平面布置特点，该基坑土方开挖采用分层分块的开挖方法。由于竖向设置了 5 道钢筋混凝土支撑，土方竖向分六层进行开挖。第一层土方采用由中间向东西两侧退挖的方法。第二~五层土方根据周边环境的重要性，按照尽早形成南北向对撑的原则，土方分为 22 块进行开挖，土方分块开挖先后顺序编号如图 23-66。第六层土方根据基础底板后浇带位置，土方分为 5 块进行开挖，土方分块开挖先后顺序编号如图 23-67。

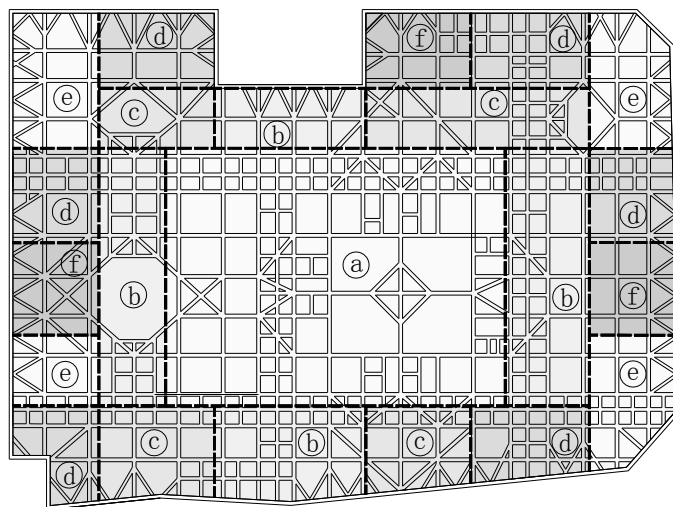


图 23-66 第二~五层土方分块开挖顺序

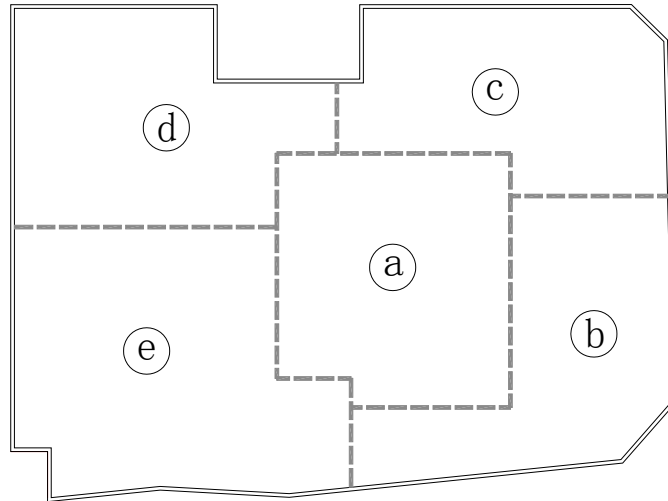


图 23-67 第六层土方分块开挖顺序

由于该基坑工程环境保护要求高，支撑布置较为密集，基坑土方分块开挖的先后顺序主要根据周边保护对象的重要性确定。这种土方开挖方法通过保留基坑周边的土方，减小了基坑围护暴露的时间，对保护周边环境非常有利。

#### 5. 某工程基坑分层分块土方开挖实例三

##### (1) 工程概况

该工程地下五层，基坑面积约 2.4 万  $m^2$ ，开挖总方量约 53.5 万  $m^3$ ，开挖深度约为 22.47m~22.97m。基坑采用二墙合一的地下连续墙，厚度为 1m 和 1.2m。基坑周边环境极为复杂，东侧是正在运营的轨道交通车站，东南侧为地铁车站，西面为高架道路，周边道路地下管线众多，环境保护要求很高。

##### (2) 基坑分层分块土方开挖施工方案

为保护东南侧地铁车站，根据先开挖环境要求相对较低区域土方的原则，将整个基坑分成一大一小两个基坑分阶段进行施工，其中小基坑面积约 1430 $m^2$ ，大小基坑之间设置 1m 厚地下连续墙作为分隔墙。大基坑采用逆作法施工，小基坑在大基坑基础底板完成后进行土方开挖，小基坑采用顺作法施工。大基坑的土方采取分层分块开挖方法，由于该工程地下五层，土方竖向分六层进行开挖。以第一~五层土方开挖为例，大基坑土方在平面上分为 11 个分块进行开挖，土方分块开挖先后顺序编号如图 23-68。

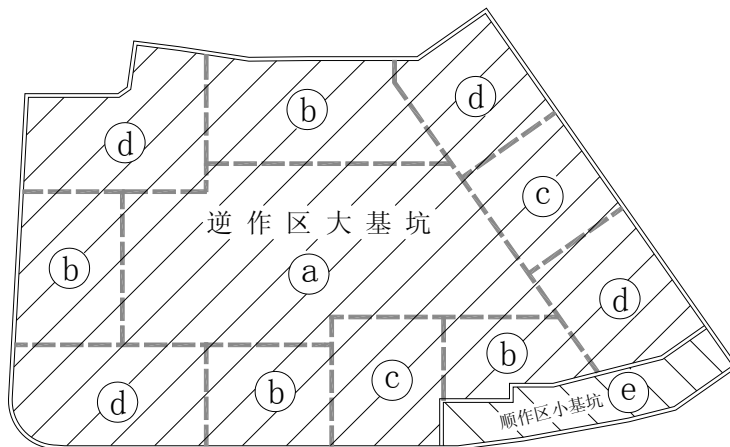


图 23-68 各层土方分块开挖顺序



由于该工程采用分隔墙将整个基坑分为两个基坑，大基坑土方开挖时，顺作区小基坑可作为缓冲区域，以达到控制东南侧地铁车站变形的目的。大基坑采用逆作法施工，土方开挖过程中通过合理分块并确定先后顺序，保留基坑周边的土方，较好的控制了围护墙的变形，减小对周边环境的影响。超大超深的逆作法基坑工程，采用分层分块土方开挖方法同样较为普遍。

### 23.7 坑中坑土方开挖方法

基坑底标高会由于基础底板底部落深而产生坑中坑，坑中坑一般由电梯井、管道井、集水井等形成。由于电梯井落深较大，本章主要叙述电梯井坑中坑土方开挖方法。

对于坑中坑，可以根据其深度及平面位置，采用不同的边界形式，土方可采用放坡开挖、有围护无内支撑土方开挖、有围护有内支撑土方开挖的方法进行。放坡开挖的坑中坑一般采用水泥砂浆、混凝土、土体加固等护坡形式；有围护无内支撑的坑中坑一般采用板式、水泥土重力式围护墙、土钉、土层锚杆等支护方式；有内支撑的坑中坑一般采用钢支撑、混凝土支撑等支护方式。

#### 23.7.1 坑中坑放坡土方开挖方法

开挖较浅或地质条件较好的坑中坑一般可采取放坡开挖的方法。坑中坑土方可随大面积土方一起开挖，也可在大面积垫层完成后进行土方开挖。

#### 23.7.2 有围护无内支撑的坑中坑土方开挖方法

开挖较深或地质条件较差的坑中坑一般可采取有围护无内支撑的开挖方法。坑中坑土方应根据边界条件采用分层或不分层的开挖方法。为了减小坑中坑土体变形，一般可采取先浇筑大面积垫层，再进行坑中坑土方开挖的方法。

#### 23.7.3 有围护有内支撑的坑中坑土方开挖方法

##### 1. 有围护有内支撑的坑中坑土方开挖方法

开挖坑中坑可能引起基坑工程桩和土体较大位移，或可能对整个基坑安全产生不利影响时，应采取有围护有内支撑的开挖方法。一般可采取先浇筑大面积垫层，再进行坑中坑土方开挖的方法。如有必要也可采取先浇筑大面积基础底板，再进行坑中坑土方开挖的方法。有内支撑的坑中坑土方可采取分层开挖的方法。

##### 2. 某工程有围护有内支撑的坑中坑土方分层开挖实例

###### (1) 工程概况

该工程主楼基坑面积约 7850m<sup>2</sup>，坑中坑位于主楼基坑中部，面积约 2116m<sup>2</sup>，深度达 8.04m，土方量约 1 万 m<sup>3</sup>。坑中坑采用钻孔灌注桩和钢管桩组合的围护墙，竖向设置一道钢支撑系统。基坑和坑中坑平面如图 23-69。

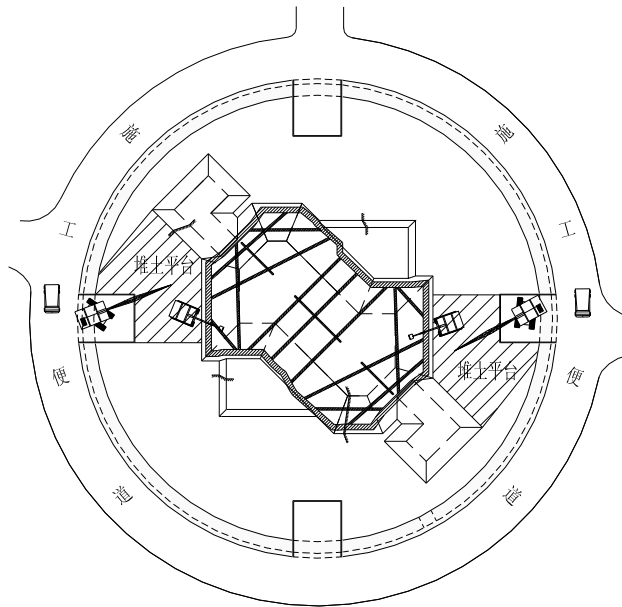


图 23-69 主楼基坑中的坑中坑平面位置

### (2) 坑中坑土方分层开挖施工方案

由于坑中坑土方量达  $1 \text{万 m}^3$ ，且开挖深度达  $8.04\text{m}$ ，为减少坑中坑对工程桩和主楼围护的不利影响，先行完成主楼坑中坑基础底板浇筑，再进行大面积基础底板的浇筑。由于坑中坑内设置一道钢支撑，土方竖向分 2 层开挖。根据坑中坑的特点，土方分四次进行开挖。第一次开挖围护顶圈梁区域土方，采用开槽挖土方法，坡面进行配筋喷射混凝土护坡。在顶圈梁施工和养护阶段，进行第二次土方开挖。第二次开挖钢支撑以上的土方，并及时进行坑中坑钢支撑系统的安装。第三次开挖钢支撑至坑底的土方，在完成配筋喷射混凝土护坡及垫层施工后，进行坑中坑基础底板混凝土第一次浇筑，混凝土浇至钢支撑底部。在第一次浇筑的基础底板养护阶段进行坑中坑两端浅坑部位的土方开挖，进行护坡和垫层施工，然后进行基础底板混凝土第二次浇筑，完成坑中坑基础底板浇筑。坑中坑土方开挖顺序按图示编号进行，土方开挖如图 23-70。

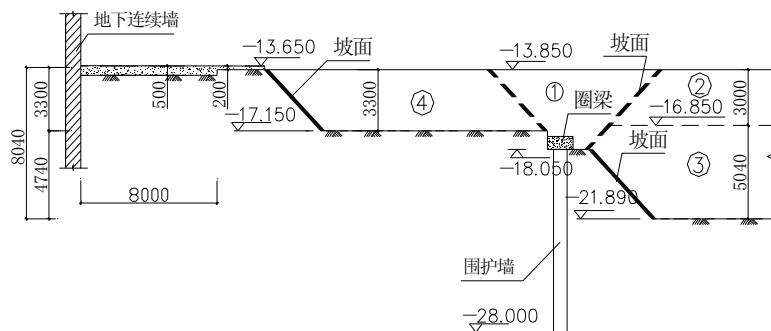


图 23-70 坑中坑土方开挖顺序

## 23.8 基坑土方回填的方法

基坑土方回填一般采用人工回填或机械回填等方式。回填土方应符合设计要求，回填土方中不得含有杂物，回填土方的含水率应符合相关要求。回填土方区域的基底不得有垃圾、树根、杂物等；回填土方区域的基底应排除积水。

### 23.8.1 人工回填的方法

人工回填一般适用于回填工作量较小,或机械回填无法实施的区域。人工回填一般根据要求采用分层回填的方法,分层厚度应满足规范要求。人工回填时,应按厚度要求回填一层夯实一层,并按相关要求检测回填土的密实度。

### 23.8.2 机械回填的方法

机械回填一般适用于回填工作量较大且场地条件允许的基坑回填。机械回填采用分层回填的方法,回填压实一层后再进行上一层土方的回填压实。分层厚度应根据机械性能进行选择,并应满足相关规范要求。回填过程中的密实度检测应符合相关要求。若存在机械回填不能实施的区域,应以人工回填进行配合。

基坑回填一般采用挖掘机、推土机、压路机、夯实机、土方运输车等联合作业。运输车辆首先将土方卸至需回土的基坑边,挖掘机或推土机按分层厚度要求进行回填,然后由压路机或夯实机进行压实作业。

## 23.9 基坑开挖施工道路和施工平台的设置

基坑开挖过程中,施工道路和施工平台的设置是土方工程顺利进行的保证。施工道路一般包括坑外道路、坑内土坡道路、坑内栈桥道路等;施工平台一般包括坑边栈桥平台、坑内栈桥平台等。施工道路应具有足够的承载能力,通常情况施工道路应采用钢筋混凝土路面结构。对于临时性使用且使用频率不高的施工道路,可采用铺设路基箱作为路面结构。对于连接基坑内外的栈桥道路和坑内土坡道路,应具有足够的稳定性,坑内土坡道路和斜向设置的栈桥道路坡度一般不大于 1:8,并应具有相应的防滑措施。施工平台应具有足够的承载能力和稳定性,并满足相应的作业要求。

### 23.9.1 施工道路的设置

#### 1. 坑外道路的设置

坑外道路的设置一般沿基坑四周布置,其宽度应满足机械行走和作业要求。在条件允许的情况下,坑外道路应尽量采用环形布置。对于设置坑内栈桥道路、坑边栈桥平台的基坑,坑外道路的设置还应与栈桥道路、栈桥平台相连接。

#### 2. 坑内土坡道路的设置

坑内土坡道路的宽度应能满足机械行走的要求。由于坑内土坡道路行走频繁,土坡易受扰动,通常情况下土坡应进行必要的加固,如图 23-71。土坡面层加强可采用浇筑钢筋混凝土和铺设路基箱等方法;土坡侧面加强可采用护坡、降水疏干固结土体等方法;土坡土体加固可采用高压旋喷、压密注浆等加固方法。



(a)



(b)

图 23-71 坑内土坡道路工程实景

(a) 采用钢筋混凝土面层的坑内土坡 (b) 采用轻型井点降水护坡的坑内土坡

#### 3. 坑内栈桥道路的设置

城市中心区域的基坑一般距离红线较近，场内的交通组织较为困难，需结合支撑形式、场内道路、施工工期等设置施工栈桥道路。坑内栈桥道路的宽度应能满足机械行走和作业的要求。一般情况下第一道钢筋混凝土支撑及支撑下立柱经过加强后可兼作施工栈桥道路使用，如图 23-72a。逆作法基坑施工一般以取土作业层作为栈桥道路使用，施工机械应严格按照栈桥道路荷载规定进行挖土作业。坑内栈桥道路也可利用支撑系统作为立柱和主梁，在梁上铺设路基箱，通过组合形成栈桥道路。坑内栈桥道路可作为土方装车挖掘机的作业平台，如图 23-72b。



图 23-72 坑内栈桥道路工程实景

(a) 结合第一道支撑设置坑内栈桥道路 (b) 坑内栈桥道路兼作挖掘机作业平台

### 23.9.2 挖土栈桥平台的设置

#### 1. 钢筋混凝土结构挖土栈桥平台的设置

钢筋混凝土挖土栈桥平台的平面尺寸应能满足施工机械作业要求。钢筋混凝土挖土栈桥平台一般与钢筋混凝土支撑相结合，可设置在基坑边，也可设置在钢筋混凝土栈桥道路边，如图 23-73。



图 23-73 施工栈桥平台工程实景

(a) 设置在基坑边的栈桥平台 (b) 设置在坑内栈桥道路边的栈桥平台

#### 2. 钢结构挖土栈桥平台的设置

钢结构挖土栈桥平台一般由立柱、型钢梁、箱型板等组成，其平面尺寸应能满足施工机械作业要求。钢结构挖土栈桥平台一般设置在基坑边或坑内栈桥道路边。钢结构挖土栈桥平台具有可回收的优点。

#### 3. 钢结构与钢筋混凝土结构组合式挖土栈桥平台的设置

钢结构与钢筋混凝土结构组合式挖土栈桥平台一般可采用钢立柱、钢筋混凝土梁和钢结构面板组合而成，也可采用钢立柱、型钢梁和钢筋混凝土板组合而成，组合式挖土栈桥平台在实际应用中可根据具体情况进行选择。