

# 一级建造师

## 市政公用工程管理与实务

**教材精讲班**

授课教师：马进





## 第三节 盾构法施工



- 01 1K413031 盾构机选型要点
- 02 1K413032 盾构施工条件与现场布置
- 03 1K413023 盾构施工阶段划分及始发与接收施工技术
- 04 1K413034 盾构掘进技术
- 05 1K413035 盾构法施工地层变形控制措施
- 06 1K420133 盾构法隧道施工质量检查与验收
- 07 1K420171 盾构法施工安全措施



# 一、盾构机选型要点

## 一、盾构类型与适用条件 ( P138 )

### (一) 盾构类型

盾构类型可按照不同的分类方法进行分类。

(1)按**支护地层的形式分类**，主要分为：

自然支护式、

机械支护式、

压缩空气支护、

泥浆支护式、

土压平衡支护式

5种类型 ( 见图1K413031-1 )。

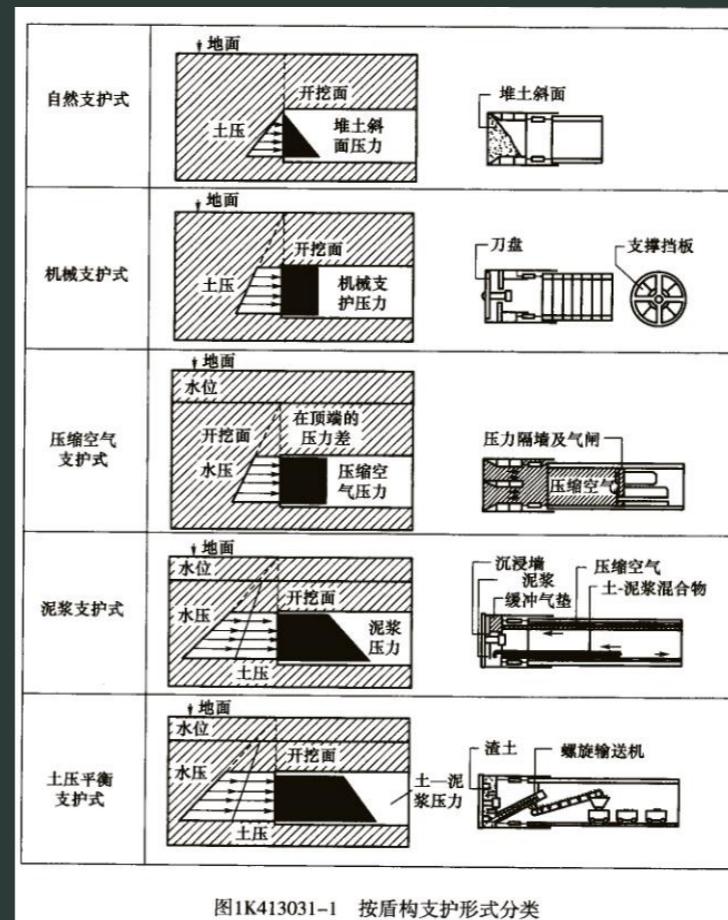


图1K413031-1 按盾构支护形式分类

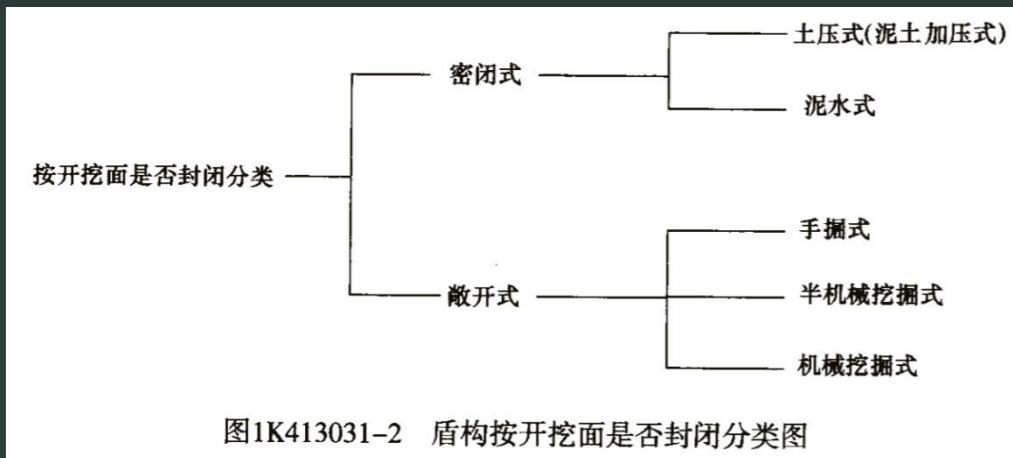


# 一、盾构机选型要点

(2)按开挖面是否封闭划分：

可分为**密闭式**和**敞开式**两类。

按平衡开挖面土压与水压的原理不同，密闭式盾构又可分为土压式（常用泥土压式）和泥水式两种。敞开式盾构按开挖方式划分，可分为手掘式、半机械挖掘式和机械挖掘式三种（见图1K413031-2）。





## 一、盾构机选型要点

(3)按盾构的断面形状划分：

有圆形和异型盾构两类，其中异型盾构主要有多圆形、马蹄形、类矩形和矩形，目前在国内轨道交通建设中，已有双圆马蹄形、矩形和类矩形盾构应用。





# 一、盾构机选型要点





## 一、盾构机选型要点

盾构的刀盘主要由刀盘体、刀具、磨损检测器、搅拌棒、泡沫及膨润土管路等零部件组成。

刀盘体由钢结构焊接而成，刀具可分为：滚刀、切刀、边缘刮刀、仿形刀、保径刀、先行刀、中心刀等。





## 一、盾构机选型要点

盾构的刀盘配置是盾构选型的重要内容，下面以土压平衡盾构刀盘配置为例说明刀盘选型的一般原则。

刀盘是机械化盾构的掘削部件，刀盘结构应根据地质适应性的要求进行设计，以适合围岩条件，并保证开挖面稳定的前提下，提高掘进速度。刀盘设计时，应充分考虑刀盘的结构形式、支承方式、开口率、开口大小和分布、刀具的布置等因素。



## 一、盾构机选型要点

刀盘具有三大功能：

(1)开挖功能。刀盘旋转时，刀具切削隧道开挖面的土体，对开挖面的岩土层进行开挖，开挖后的渣土通过刀盘的开口进入土仓。

(2)稳定功能。支撑开挖面，具有稳定开挖面的功能。

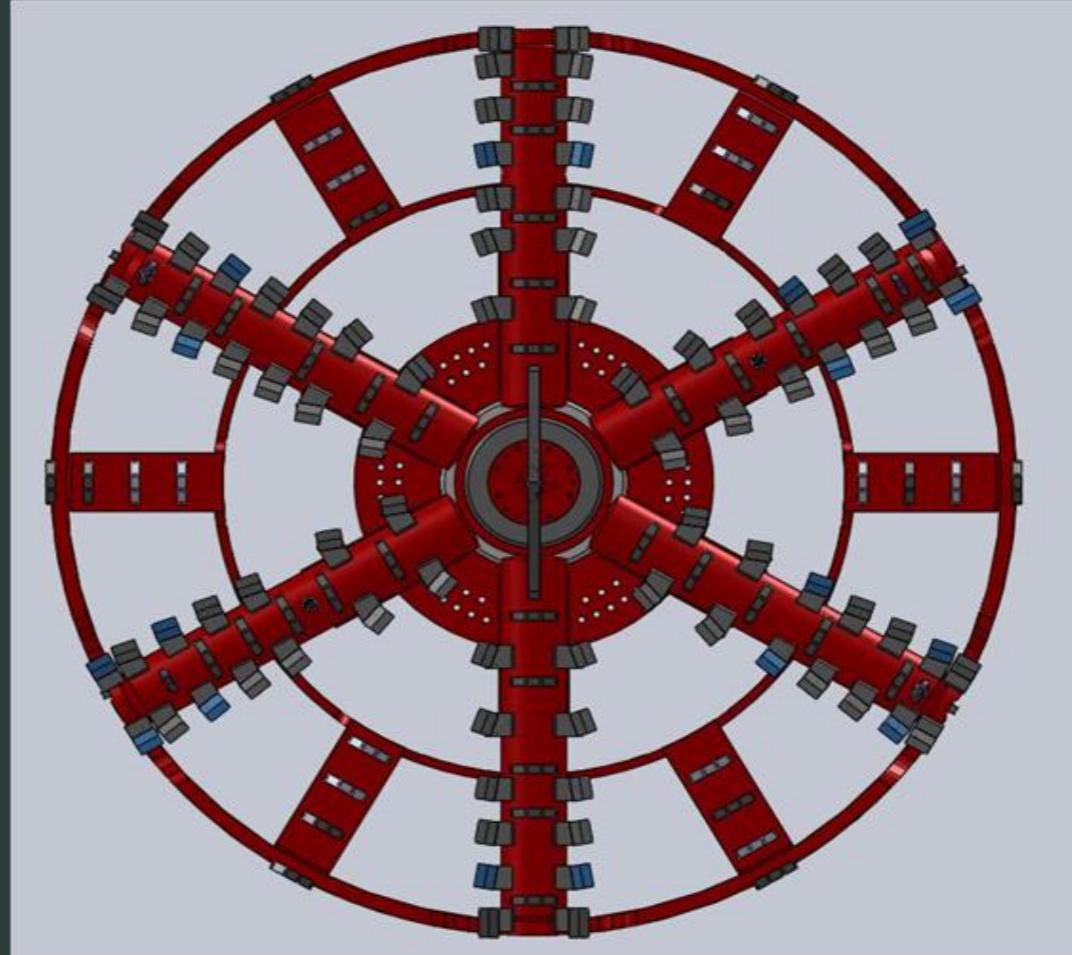
(3)搅拌功能。对于土压平衡盾构，刀盘对土仓内的渣土进行搅拌，使渣土具有一定的塑性、流动性并在一定程度上避免形成“泥饼”的作用。



## 一、盾构机选型要点

土压平衡盾构的刀盘有两种形式——面板式和辐条式。

(1) 面板式刀盘 (图 1K413031-3a) 开口率相对较小, 面板直接支撑面, 有挡土功能, 有利于切削面稳定, 但在开挖黏土层时, 易发生黏土粘附面板表面影响开挖效率的情况, 防止措施是注入改良材料等。







# 一、盾构机选型要点





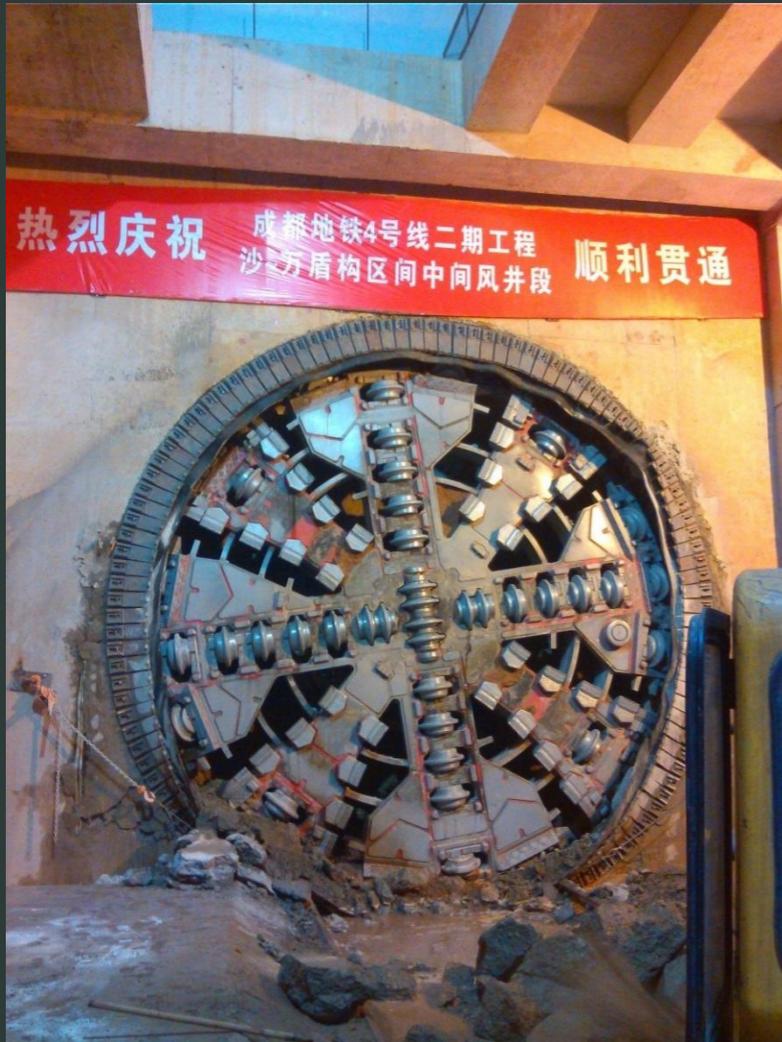
# 一、盾构机选型要点



Baidu 百度



# 一、盾构机选型要点





# 一、盾构机选型要点



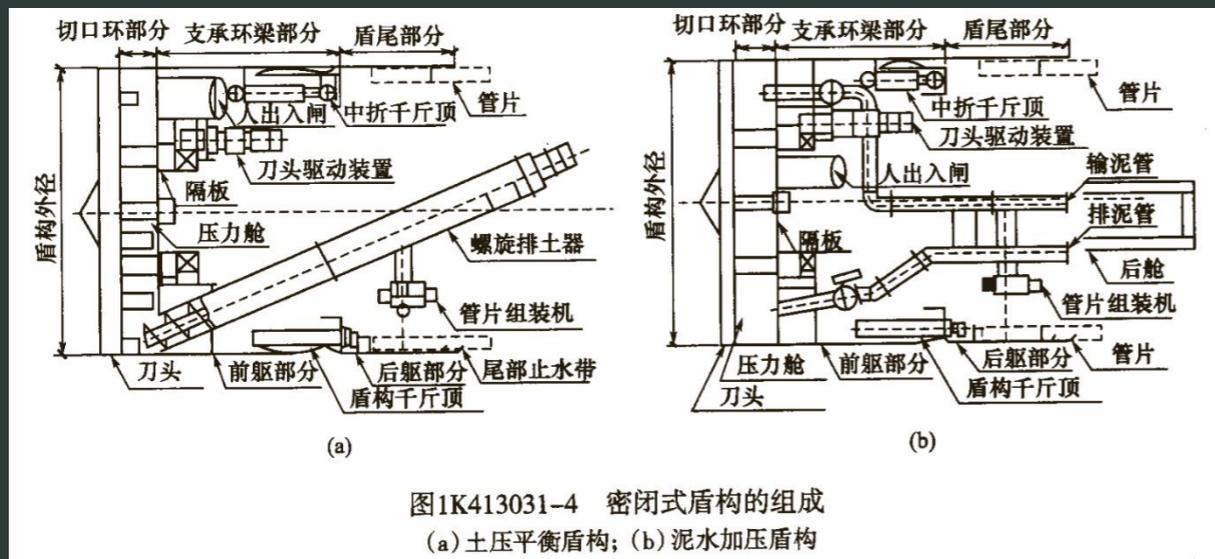


# 一、盾构机选型要点

## (三) 各种盾构对地质条件的适用性

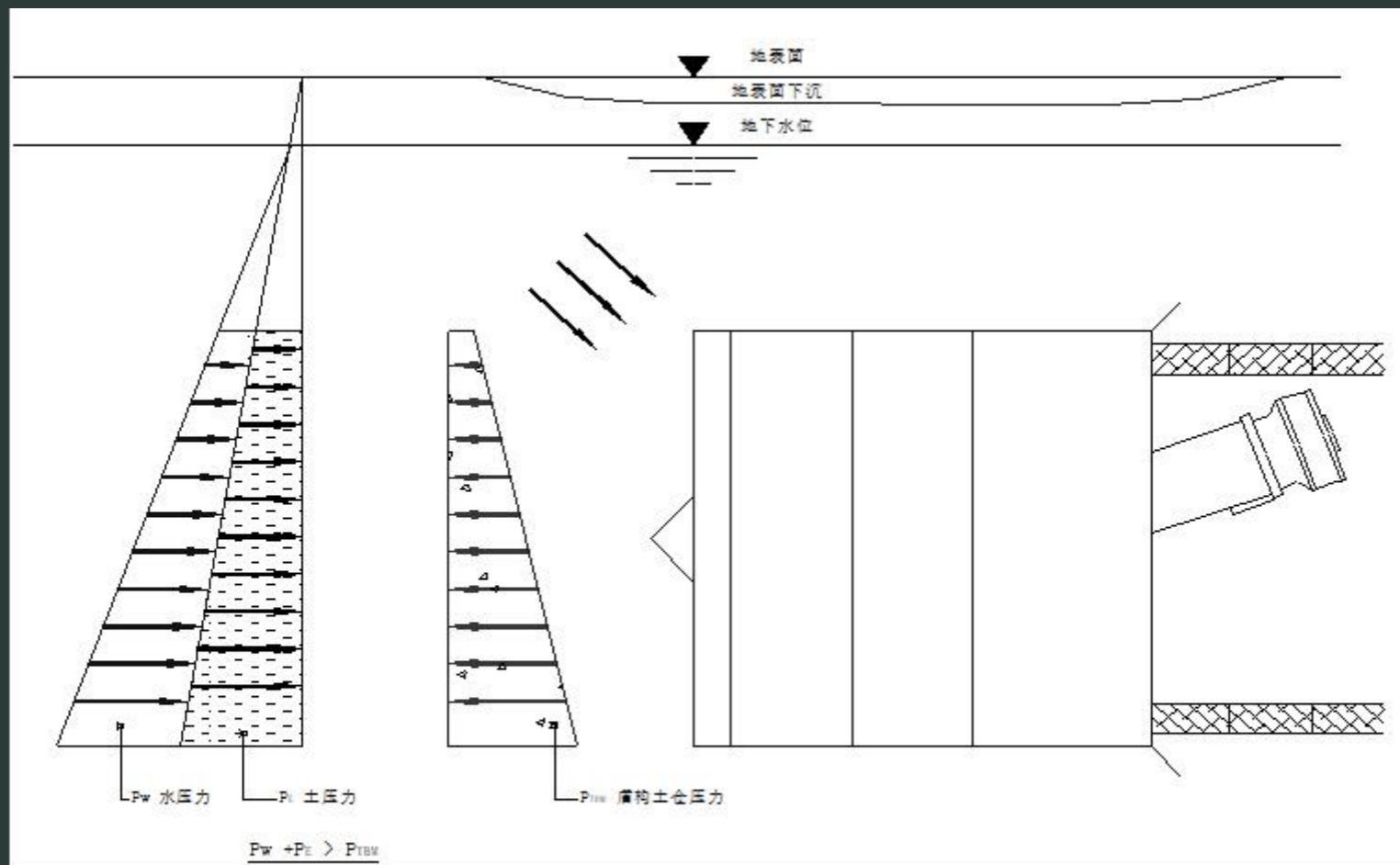
根据当前盾构的技术水平，各种盾构对地质条件的适用性如表1K413031所示。

当前，土压平衡盾构与泥水加压盾构已经成为盾构法隧道施工使用最多的盾构，两种盾构的结构形式见图1K413031-4a和图1K413031-4b。





# 一、盾构机选型要点

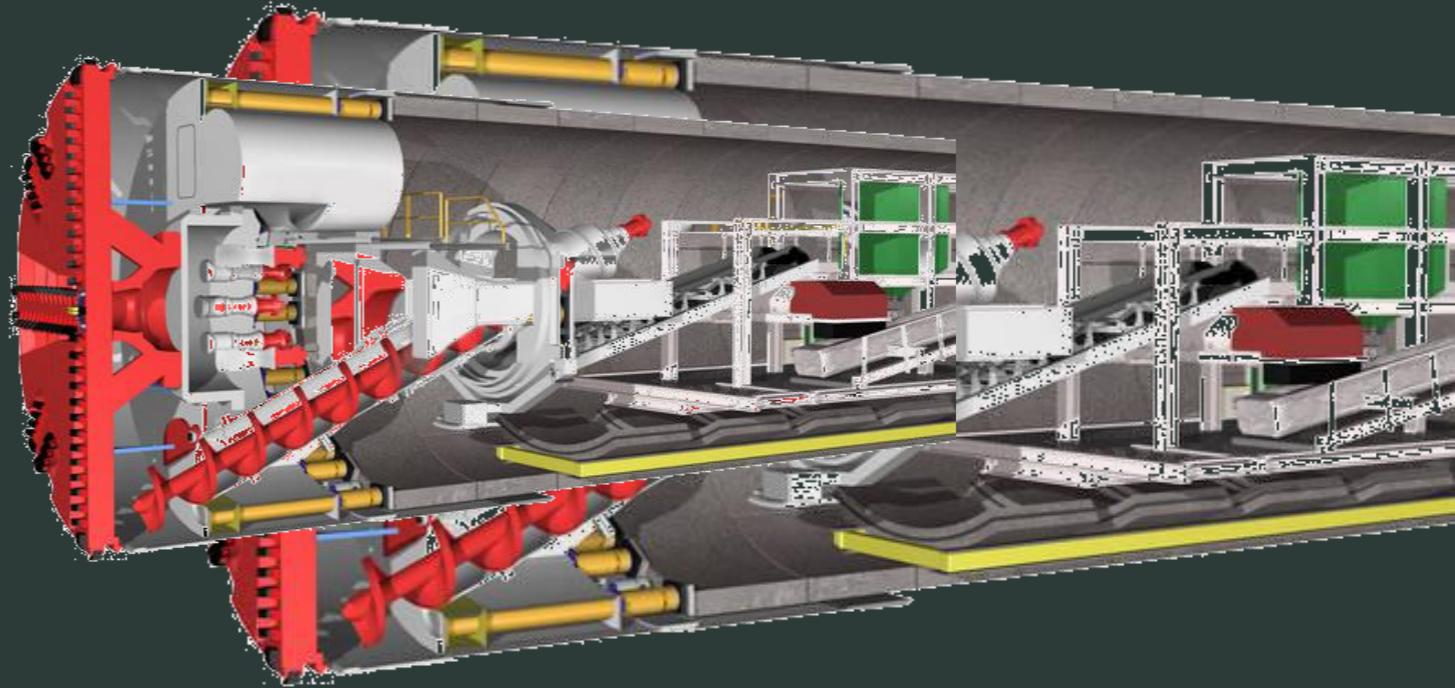


土仓压力小于水压力及土压力之和，地面下陷



## 一、盾构机选型要点

(1)土压平衡盾构 ( Earth Pressure Balance Shield ) , 简称EPB盾构。土压平衡盾构是在机械式盾构的前部设置隔板, 使土仓和排土用的螺旋输送机内充满切削下来的泥土, 依靠推进千斤顶的推力给土仓内的开挖土渣加压, 使土压作用于开挖面以使其稳定。土压平衡盾构的支护材料是土壤本身。土压平衡盾构由盾壳、刀盘、刀盘驱动、螺旋输送机、皮带输送机、管片安装机、人仓、液压系统等组成。





# 一、盾构机选型要点





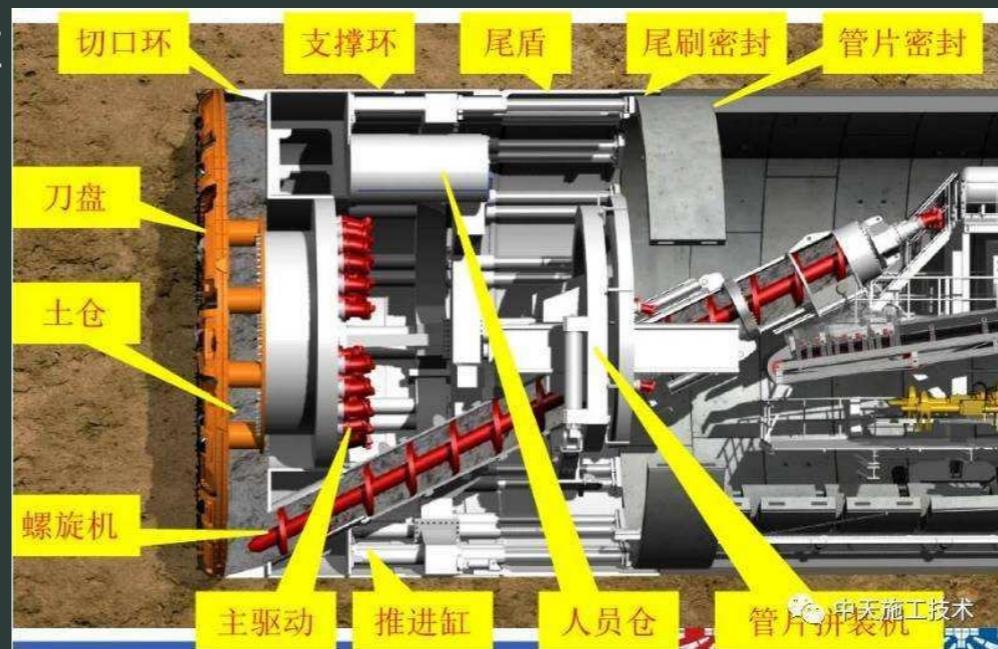
# 一、盾构机选型要点





## 一、盾构机选型要点

(2)土压平衡盾构的工作原理如下：刀盘旋转切削开挖面的泥土，破碎的泥土通过刀盘开口进入土仓，泥土落到土仓底部后，通过螺旋输送机运到皮带输送机上，然后输送到停在轨道上的渣车上。盾构在推进油缸的推力作用下向前推进。盾壳对挖掘出的还未衬砌的隧道起着临时支护作用，承受周围地层的土压、承受地下水的水压，并将地下水阻隔在盾壳外面。掘进、排土、预制管片拼装等作业在盾壳的掩护下进行。





## 一、盾构机选型要点

### (3)地质适应范围：

土压平衡盾构主要应用在黏稠土壤中，该类型土壤富含黏土、粉质黏土或游土，具有低渗透性。这种土质在螺旋输送机内压缩形成防水土塞，使土仓和螺旋输送机内部产生土压力，来平衡掌子面的土压力和水压力。

土压平衡盾构用开挖出的土料作为支撑开挖面稳定的介质，对作为支撑介质的土料，要求其具有良好的塑性变形、软稠度、内摩擦角小及渗透率小。除软黏土外，一般土壤不完全具有这种特性，需进行改良。

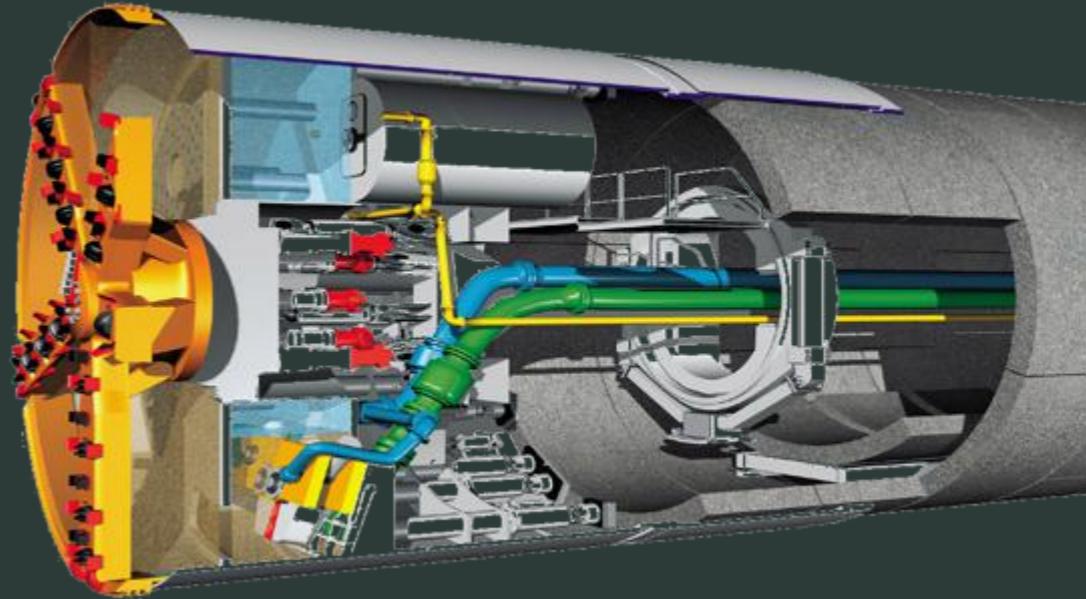
改良的方法通常为，加水、膨润土、黏土、CMC、聚合物或泡沫等，根据土质情况选用。



# 一、盾构机选型要点

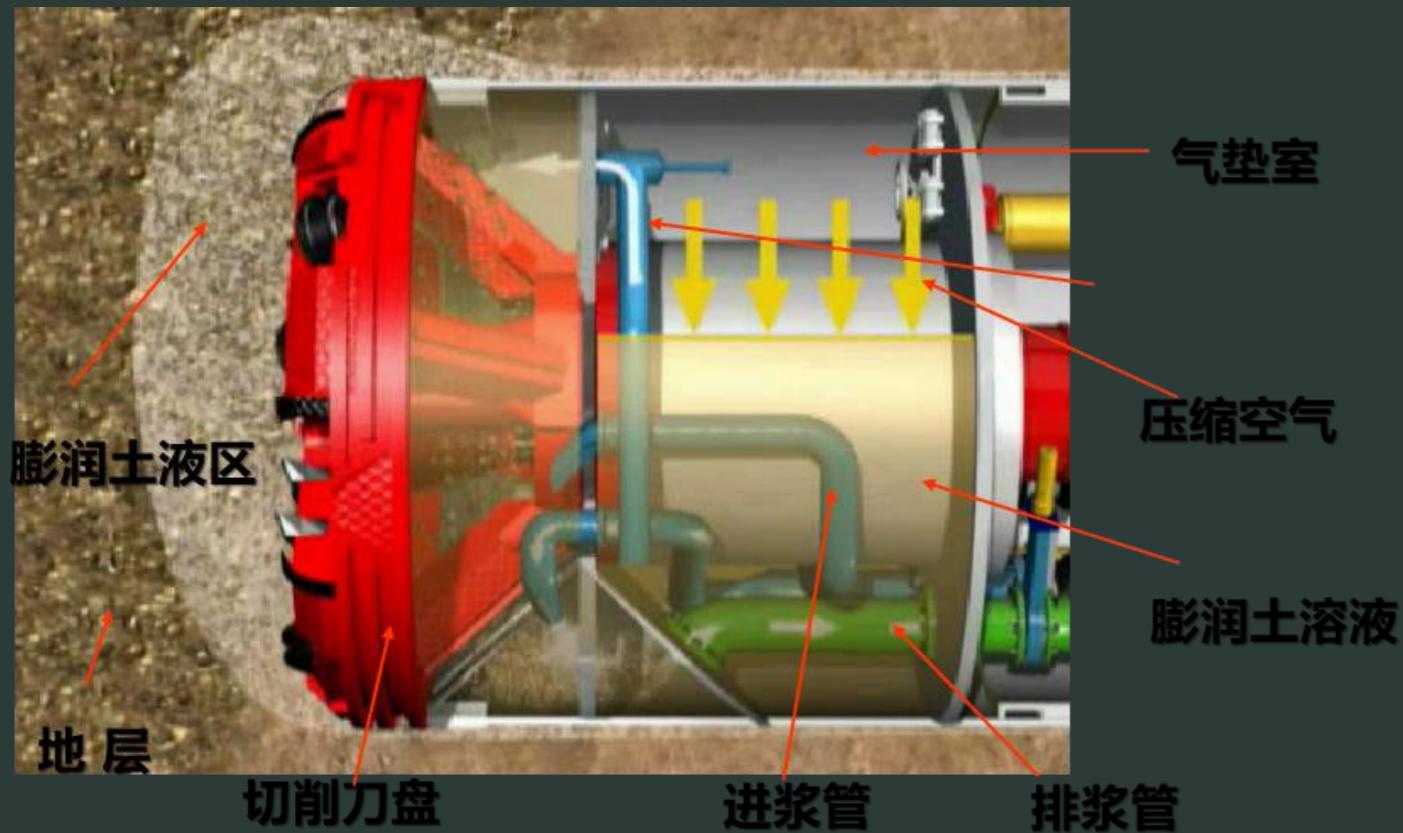
## 2. 泥水加压盾构

(1) 泥水加压盾构也称泥水加压平衡盾构 ( Slurry Pressure Balance Shield ) , 简称 SPB盾构。泥水盾构是在机械式盾构的**前部设置隔板** , 装备**刀盘及输送泥浆的送排泥管和推进盾构的推进油缸** , 在地面上还配有**泥水处理设备**。





# 一、盾构机选型要点





## 一、盾构机选型要点

(2)泥水盾构的构成，除了具有：刀盘驱动系统、推进系统、管片拼装系统、盾尾密封系统、液压系统、电气系统、同步注浆系统、外加剂注入等土压平衡盾构具有的系统外，还具有以下系统：

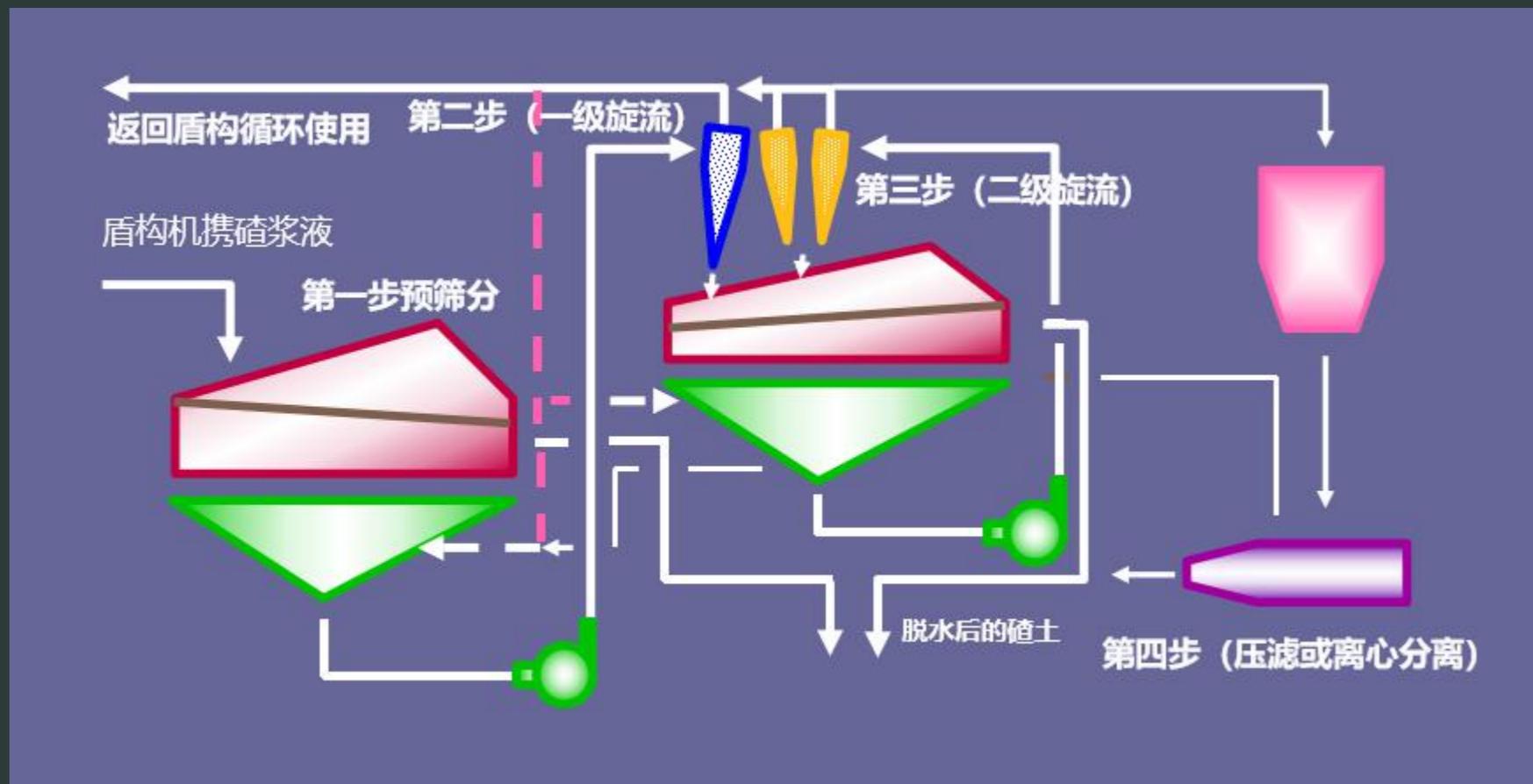
1)可调整泥浆物理性质，并将其送至开挖面，保持开挖面稳定的**泥水循环系统**；

2)综合管理排泥状态、泥水压力及泥水处理设备运转状况的综合管理系统；

3)**泥水分离处理系统**；



# 一、盾构机选型要点

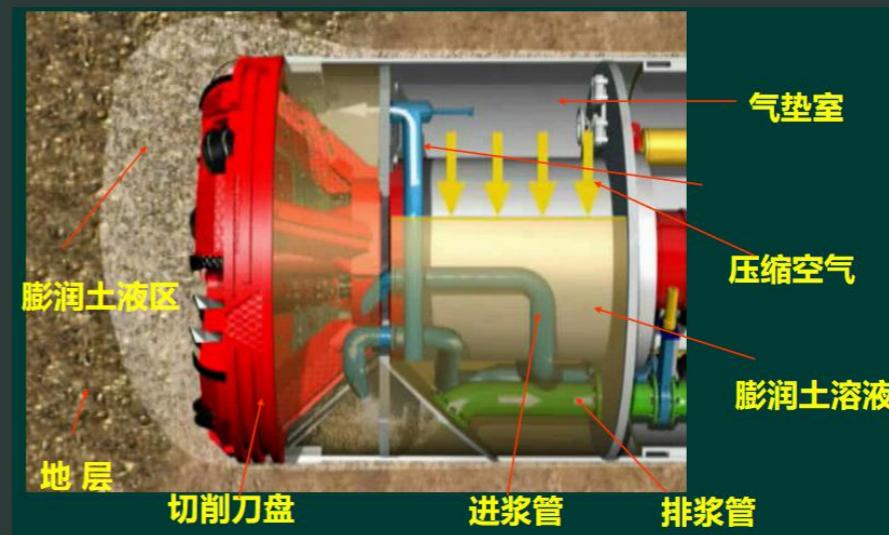




## 一、盾构机选型要点

(3)泥水平衡盾构的开挖面支护原理：

泥水盾构利用循环悬浮液的体积对泥浆压力进行调节和控制，采用膨润土悬浮液（俗称泥浆）作为支护材料。开挖面的稳定是将泥浆送入泥水室内，在开挖面上用泥浆形成不透水的泥膜，通过该泥膜的张力保持水压力，以平衡作用于开挖面的土压力和水压力。开挖的土砂以泥浆形式输送到地面，通过泥水处理设备进行分离，分离后的泥水进行质量调整，再输送到开挖面。





## 一、盾构机选型要点

(4)地质适应范围：

**泥水盾构**最初是在冲积黏土和洪积砂土交错出现的特殊地层中使用，由于泥水对开挖面的作用明显，因此在软弱的淤泥质土层、松动的砂土层、砂砾层、卵石砂砾层、砂砾和坚硬土的互层等地层中均适用。目前，泥水加压盾构工法对地层的适用范围不断扩大，即使处于恶化的施工环境和存在地下水等的不良条件下，由于有相应的处理方法，因而**几乎能适应所有的地层**。



# 一、盾构机选型要点



卵石层

粗砂砾层

中细砂砾层

粉细砂层

粗砂

粉细砂

泥砂

粘土

(s/u)数  
透水系

-10  
-1  
-10<sup>-1</sup>  
-10<sup>-2</sup>  
-10<sup>-3</sup>  
-10<sup>-4</sup>  
-10<sup>-5</sup>  
-10<sup>-6</sup>  
-10<sup>-7</sup>  
-10<sup>-8</sup>  
-10<sup>-9</sup>  
-10<sup>-10</sup>  
-10<sup>-11</sup>

泥水盾构

土压平衡盾构





# 一、盾构机选型要点

## 二、盾构选型依据与原则

盾构选型与配置应适用、可靠、先进、经济，配置应包括刀盘、推进千斤顶、管片拼装机、螺旋输送机、铰接装置、泥水循环系统或渣土改良系统、注浆系统等。





# 一、盾构机选型要点

## (一) 选型依据

盾构选型依据应包括下列内容：

- (1) 工程地质和水文地质勘察报告。
- (2) 隧道线路及结构设计文件。
- (3) 断面大小
- (4) 施工安全、工程环境风险因素、场地条件、环保要求。
- (5) 施工环境及其保护要求。
- (6) 工期条件。
- (7) 辅助施工方法。
- (8) 类似工程施工经验。



# 一、盾构机选型要点

## (二) 选型的基本原则

### 1. 适用性原则

盾构的断面形状与外形尺寸适用于隧道断面形状与外形尺寸，种类与性能要适用工程地质与水文地质条件、隧道埋深、地下障碍物、地下构筑物与地面建筑物安全需要、地表隆沉要求等使用条件。若所选盾构不能充分满足上述使用条件，应增加相应的辅助工法，如压气工法、注浆工法等。

由于盾构具有较长使用寿命，可用于多项施工工程，因此应根据使用寿命期内预计的常用使用条件或最不利使用条件选型，以便具有较广泛的适用性。





# 一、盾构机选型要点

## (二) 选型的基本原则

### 2. 技术先进性原则

技术先进性有两方面含义：一是不同种类盾构技术先进性不同；二是同一种类盾构由于设备配置的差异与功能的差异而技术先进性不同。

选择技术先进的盾构，一方面为了更好地适应建设单位当前及今后的工程施工要求，提高施工单位的市场竞争力；另一方面在合理使用寿命期内保持技术先进性，从而更加安全、高效施工。技术先进性要以可靠性为前提，要选择经过工程实践验证、可靠性高的先进技术。





# 一、盾构机选型要点

## (二) 选型的基本原则

### 3. 经济合理性原则

经济合理性是指，所选择的盾构及其辅助工法用于工程项目施工，在满足施工安全、质量标准、环境保护要求和工期要求的前提下，其综合施工成本合理。





# 一、盾构机选型要点

## (三) 盾构选型的配置要求

(1) 盾构的壳体结构应能保证在其所承受的正常施工荷载作用下，各结构件均应处于安全可靠状态。

### (2) 刀盘应符合下列规定：

1) 刀盘结构的强度和刚度应满足使用功能要求。

2) 刀盘结构形式应适应地质条件，刀盘体应采取耐磨措施，刀盘开口率应能满足盾构掘进和出渣要求。

3) 刀具的选型和配置应根据地质条件、开挖直径、切削速度、单次连续掘进里程、最小曲线半径及地下障碍物情况等确定。

4) 刀盘添加剂喷口的数量及位置应根据地质条件、刀盘结构、刀盘开挖直径等确定。



## 一、盾构机选型要点

(3)刀盘主驱动应符合下列规定：

1)刀盘主驱动形式应根据地质和环境要求确定，最大设计扭矩应满足地质条件和脱困要求。

2)刀盘转速应根据地质条件和施工要求确定，转速应可调。

3)刀盘驱动主轴承密封应根据覆土厚度、地下水位、添加剂注入压力、掘进里程等确定。





## 一、盾构机选型要点

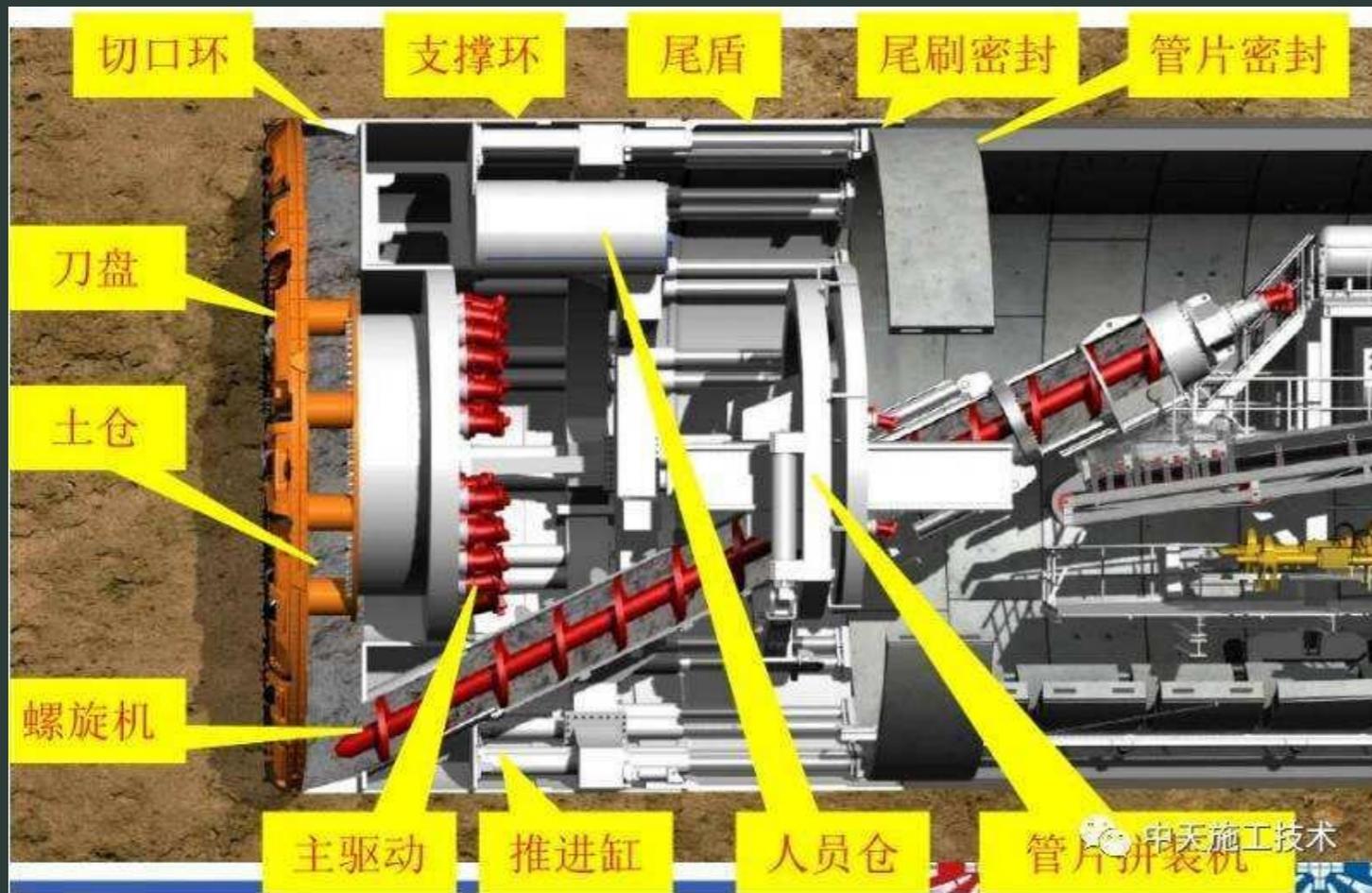
(4)推进液压缸应采取分区压力控制，每个分区液压缸应具备行程监测功能。总推力应根据推进阻力的总和及所需的安全系数确定。

(5)管片拼装机的自由度应满足拼装要求，各动作应准确可靠，操作应安全方便。

(6)螺旋输送机的结构和尺寸应根据工程地质和水文地质条件、盾构直径和掘进速度等确定。后闸门应具有紧急关闭功能。



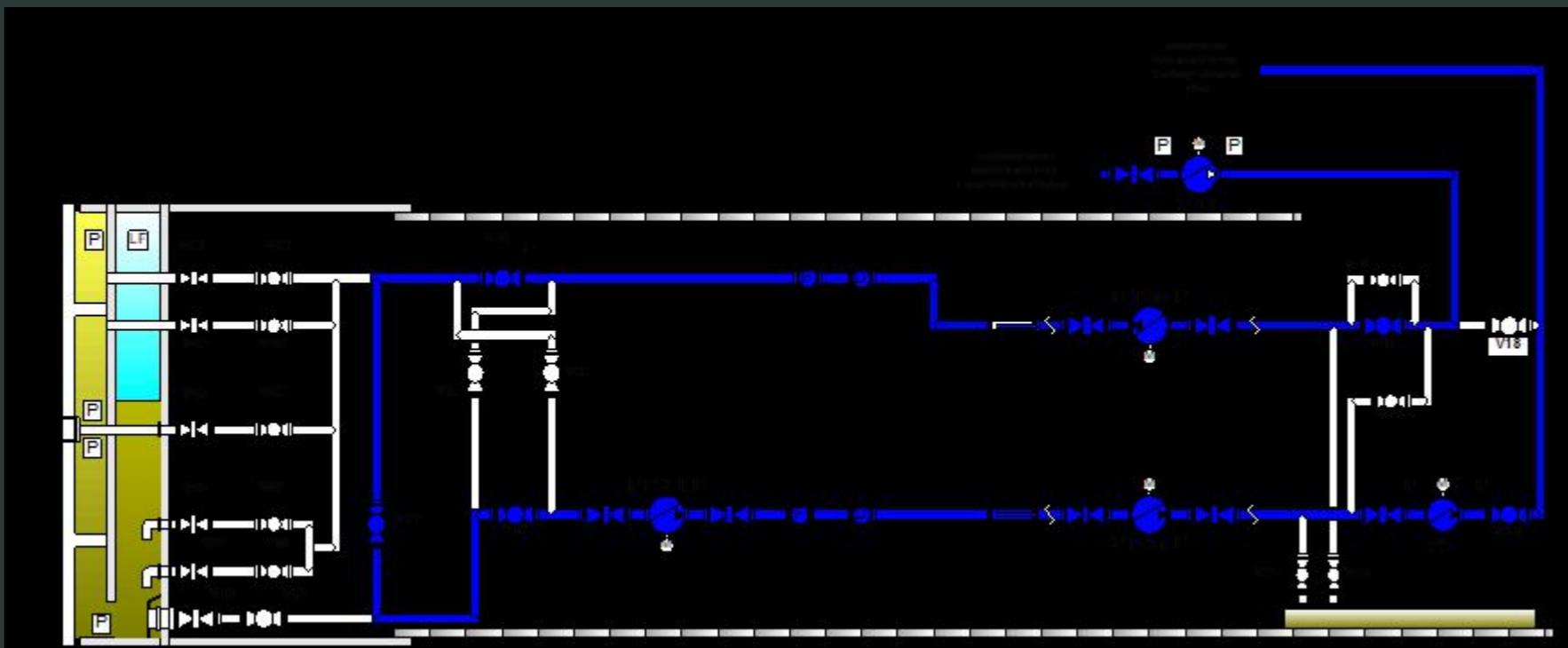
# 一、盾构机选型要点





## 一、盾构机选型要点

(7)泥水循环系统应根据地质和施工条件等确定，并应具备掘进模式和旁通模式，流量应连续可调，可配置渣石处理装置。





# 一、盾构机选型要点





## 一、盾构机选型要点

(8) 铰接装置应满足隧道轴线曲率半径的要求，最大推力应大于前后壳体姿态变化引起的阻力，每组铰接液压缸应具备行程监测功能。

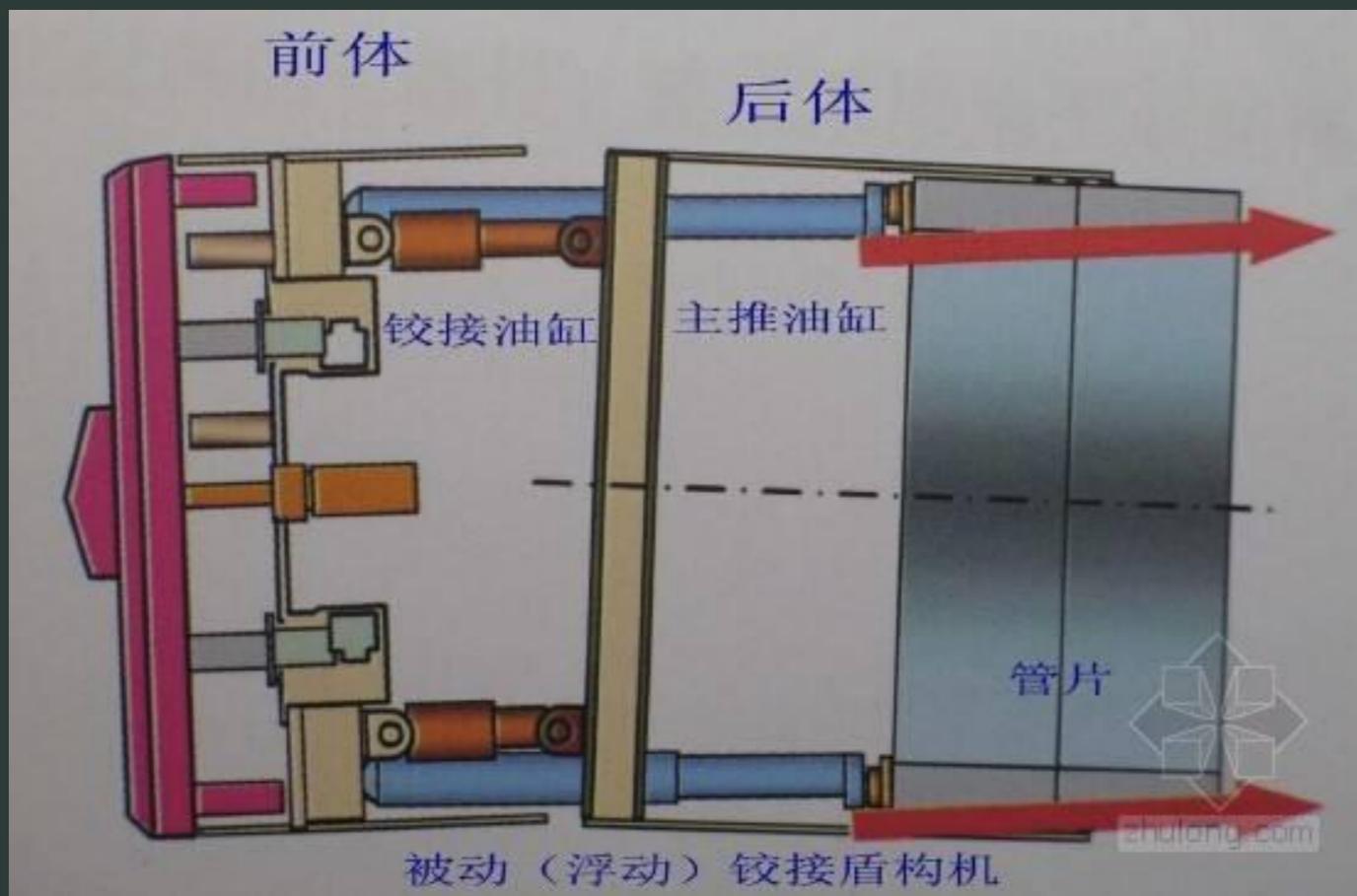
(9) 渣土改良系统和注浆系统应与地质条件及掘进速度相适应。注浆系统应具备浆液注入速度和注入压力调节功能。同时应注意注浆口布置位置及注浆器内外置的形式。

(10) 人舱和保压系统应满足作业人员开仓作业要求，人舱宜采用并联双舱式。

(11) 盾构主机和后配套设备结构应满足导向系统的安装和通视要求，盾构掘进管理系统应与导向系统实现数据交互。



# 一、盾构机选型要点





# 一、盾构机选型要点





- 01 1K413031 盾构机选型要点
- 02 1K413032 盾构施工条件与现场布置
- 03 1K413023 盾构施工阶段划分及始发与接收施工技术
- 04 1K413034 盾构掘进技术
- 05 1K413035 盾构法施工地层变形控制措施
- 06 1K420133 盾构法隧道施工质量检查与验收
- 07 1K420171 盾构法施工安全措施



## 二、盾构施工条件与现场布置

### 一、盾构法施工条件 ( P144 )

#### (一)盾构法施工适用条件与施工准备

(1)适用地层范围：除硬岩外的相对均质的地质条件，  
应该注意的是，广州等地区已经有采用复合盾构施工软  
硬不均地层的成功经验。

(2)隧道埋深：隧道应有足够的埋深，覆土深度不宜  
小于 $1D$ (洞径)。采用压气施工法和泥水加压盾构时，  
隧道覆土太浅，有冒顶的可能性；覆土最大也有限制，  
取决于盾构对地下水的抵御能力和衬砌的防水性能。



## 二、盾构施工条件与现场布置

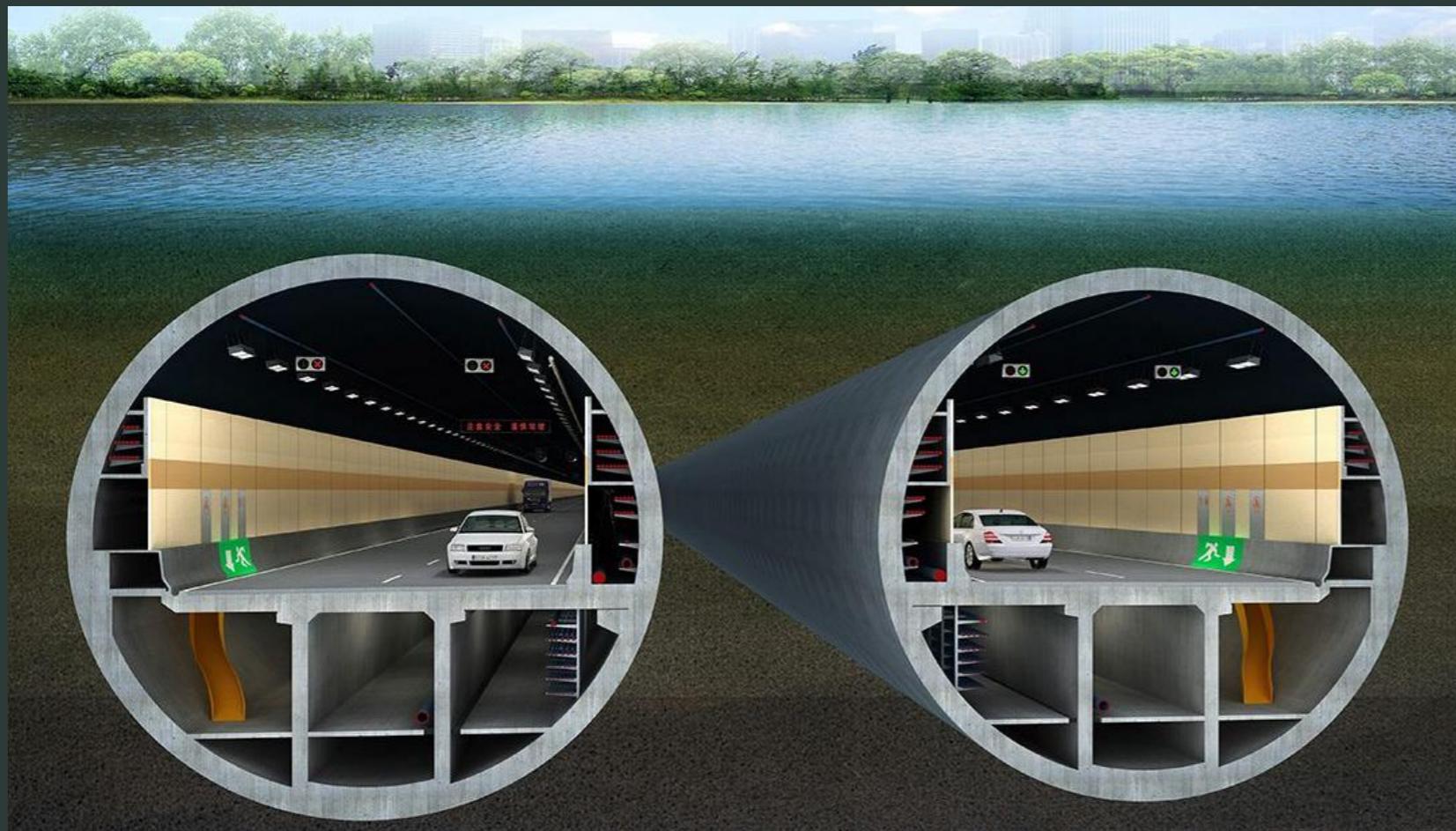
(3)地下水防治：采用密闭式盾构时，除了始发和接收区以及开仓换刀时需要之外，一般不需要辅助施工法。

(4)截面形状：标准形状为圆形。也可采用异形截面。





## 二、盾构施工条件与现场布置





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 一、盾构法施工条件

#### (一)盾构法施工适用条件与施工准备

(5)截面大小：除地铁盾构常用的 $\Phi 6 \sim \Phi 7\text{m}$ 左右的直径外，在上海地铁和北京地铁有分别应用直径 $\Phi 11.58\text{m}$ 和 $\Phi 10.22\text{m}$ 泥水盾构同时建造地铁上、下行线的实例，在北京地区也有应用直径 $\Phi 10.22\text{m}$ 土压平衡盾构同时建造地铁上、下行线的实例。目前，国内在软土地区施工直径至 $\Phi 15.43\text{m}$ 的大型泥水盾构技术已经非常成熟。



## 二、盾构施工条件与现场布置

(6)急转弯施工：有曲线半径/盾构外径之比为3~ 5的  
施工实例。

(7)对环境的影响：接近既有建（构）筑物施工时，  
有时需要辅助措施；除工作井部分外，对道路交通影响  
较小；振动、噪声一般限制在工作井洞口附近，可用隔  
音墙防护。



## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 施工准备

#### 1. 前期调查

(1) 施工前，应对施工地段的工程地质和水文地质情况进行调查，必要时应补充地质勘察。

(2) 对工程影响范围内的地面建（构）筑物应进行现场踏勘和调查，对需加固或基础托换的建（构）筑物应进行详细调查，必要时应进行鉴定，并应提前作好施工方案。



## 二、盾构施工条件与现场布置

(3)对工程影响范围内的地下障碍物、地下构筑物及地下管线等应进行调查，必要时应进行探查。

(4)根据工程所在地的环境保护要求，应进行工程环境调查。

(5)盾构设备用电引入条件调查。



## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 施工准备

#### 2. 技术准备

隧道施工前，应具备下列资料：

- (1) 工程地质和水文地质勘察报告。
- (2) 隧道沿线环境、建（构）筑物、地下管线和障碍物等的调查情况。
- (3) 施工所需的设计图纸资料和工程技术要求文件。
- (4) 工程施工有关合同文件。
- (5) 施工组织设计。
- (6) 拟使用盾构的相关资料。





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 3.工作井位置和施工方法选择

采用盾构法施工时，一般需在盾构掘进的始端和终端设置工作井，按工作井的用途，分为盾构始发工作井和接收工作井，而在竣工后多被用作地铁车站、排水、通风等永久性结构。

#### 工作井位置选择要考虑：

- ①不影响地面社会交通，
- ②对附近居民的噪声和振动影响较少，
- ③且能满足施工生产组织的需要。

工作井应根据地质条件和环境条件，应选择安全经济和对周边影响小的施工方法，通常采用明挖法施工。





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 4.工作井断面尺寸确定

始发工作井平面尺寸应根据盾构安装的施工要求来确定。井壁上设有盾构始发洞口，井内设有盾构基座和反力架。

始发工作井的长度应大于盾构主机长度3m，宽度应大于盾构直径3m以上；

接收工作井的平面内净尺寸应满足盾构接收、解体和调头的要求；

始发、接收工作井的井底板应低于始发和到达洞门底标高，并应满足相关装置安装和拆卸所需的最小作业空间要求。始发工作井尺寸应满足电瓶车出土吊装及管片吊装和人员下井楼梯安装的要求。





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 5.掘进前准备

盾构设备组装调试完成，开始掘进施工前，应完成下列工作：

- (1) **复核**各工作井井位里程及坐标、洞门钢环制作精度和安装后的高程和坐标。
- (2) 盾构基座、负环管片和反力架等设施及定向测量数据的**检查验收**。
- (3) 管片及辅助**材料储备**。
- (4) 盾构掘进施工的**各类报表**。
- (5) **洞口土体加固**和洞门密封止水装置**检查验收**。





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 二、盾构施工现场布置

#### (一) 施工现场布置基本要求

(1) 施工现场布置应根据合同工期和施工进度的要求，在规定的施工区域内正确处理施工期间所需各项设施之间的空间关系。

(2) 在施工用地范围内，对施工现场的道路交通、材料仓库、材料堆场、临时房屋、大型施工设备、集土（泥）坑、拌浆系统、临时水电管线、消防器材垂直运输设备等做出合理的规划布置。



## 二、盾构施工条件与现场布置



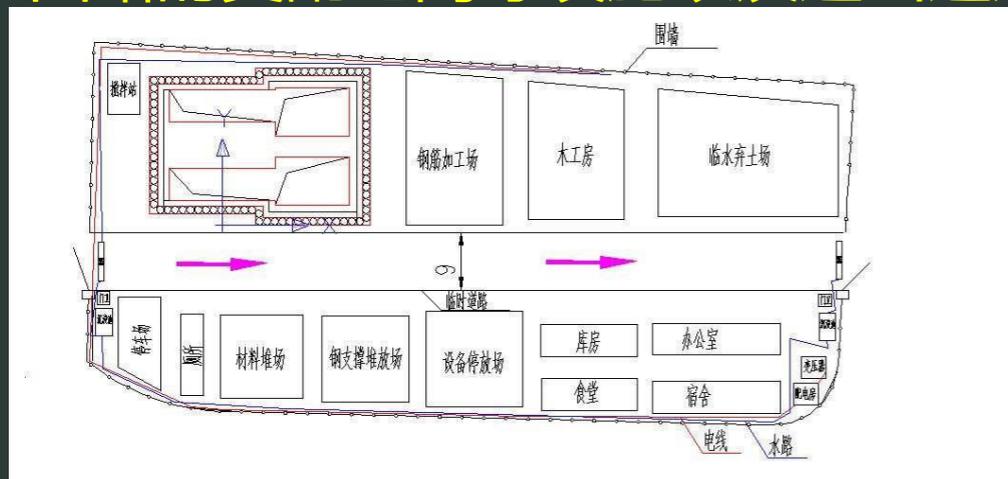


## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 施工现场平面布置与施工设施设置

#### 1. 施工现场平面布置

主要包括盾构工作井、工作井防雨棚及防淹墙、垂直运输设备、管片堆场、管片防水处理场、拌浆站、料具间及机修间、同步注浆和土体改良泥浆搅拌站、两回路的变配电间等设施以及进出通道等。





## 二、盾构施工条件与现场布置





## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 施工现场平面布置与施工设施设置

#### 2. 施工设施设置

(1) 工作井施工需要采取降水措施时，应设相当规模的降水系统（水泵房）。

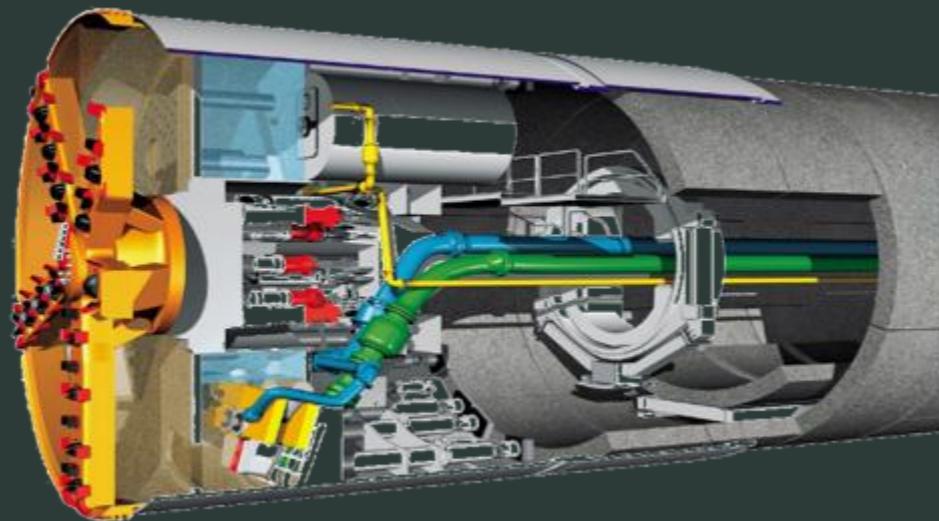
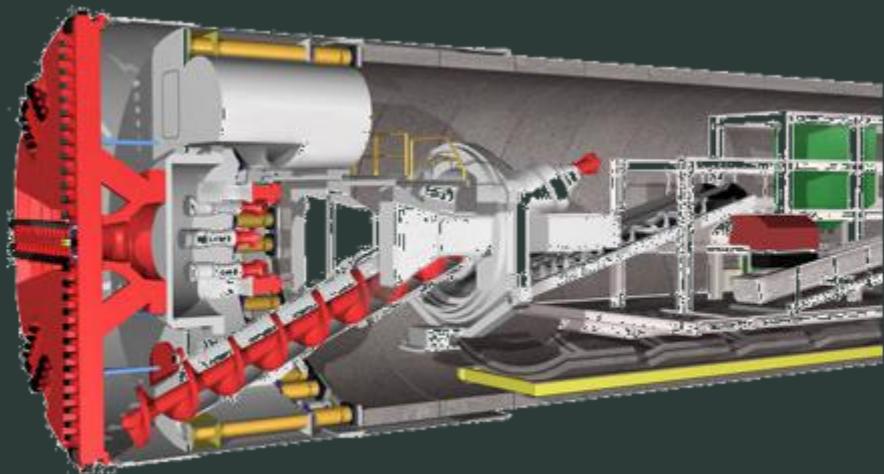
(2) 采用气压法盾构施工时，施工现场应设置空压机房，以供给足够的压缩空气。

(3) 采用泥水平衡盾构施工时，施工现场应设置泥浆处理系统（中央控制室）、泥浆池。

(4) 采用土压平衡盾构施工时，应设置电机车电瓶充电间等设施。

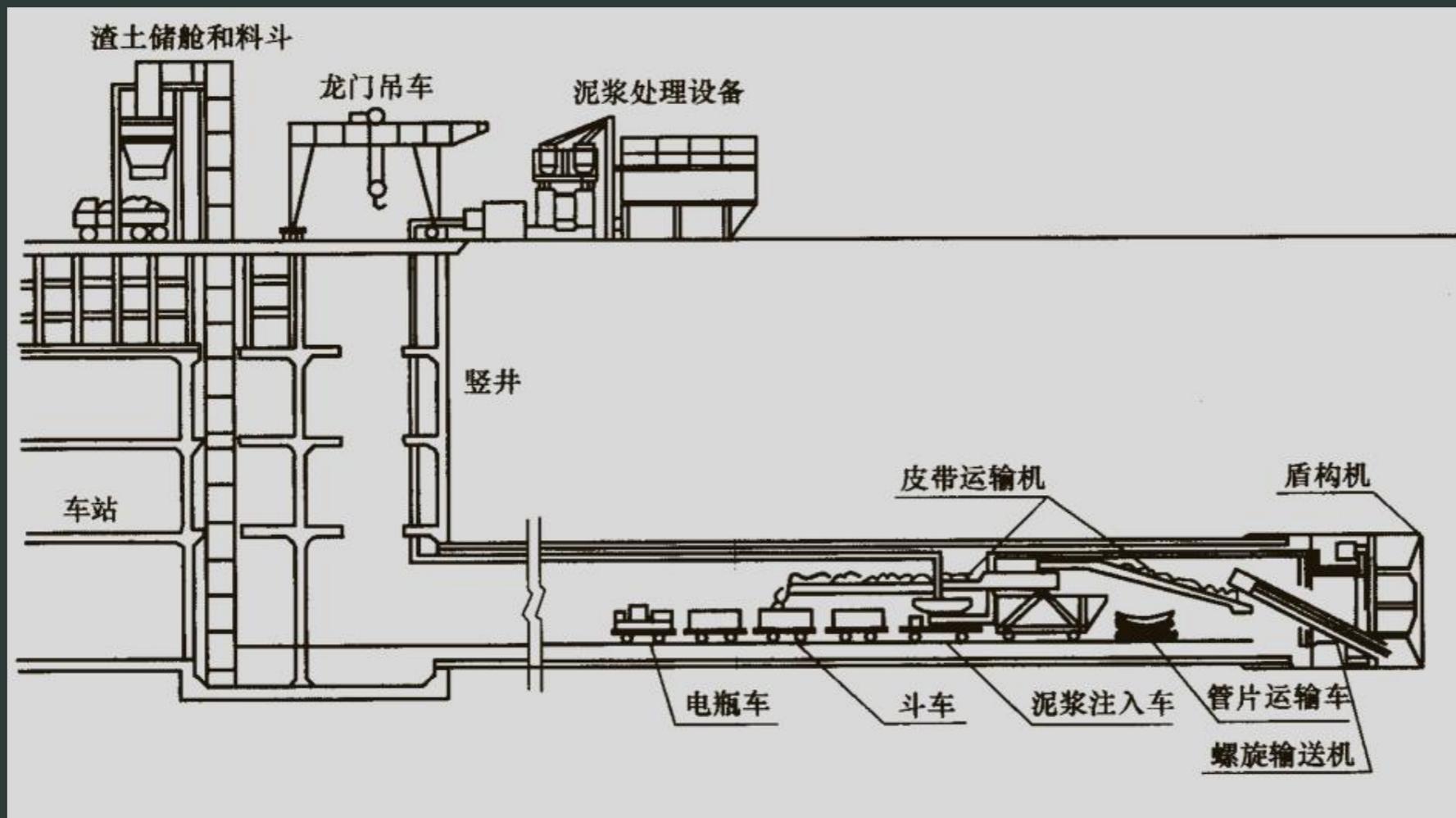


## 二、盾构施工条件与现场布置





## 二、盾构施工条件与现场布置





## 二、盾构施工条件与现场布置

### 三、盾构的组装调试与现场验收

#### (一) 盾构的组装与调试

##### (1) 组装前应完成下列准备工作：

1) 根据盾构部件情况和场地条件，制定组装**方案**。

2) 根据部件尺寸和重量选择**起重设备**，同时应根据场地条件选择**组  
装设备**。

3) 核实**起吊位置的地基承载力**。

(2) 盾构组装应按安全操作规程和组装方案进行。

(3) 现场应配备消防设备，明火、电焊作业时，必须有专人负责。

(4) 组装后，应先进行各系统的空载调试，然后应进行整机空载调试。



## 二、盾构施工条件与现场布置





## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 盾构现场验收

(1) 盾构现场验收应满足盾构设计的主要功能及工程使用要求，验收项目应包括下列内容：

- 1) 盾构壳体。
- 2) 刀盘。
- 3) 管片拼装机。
- 4) 螺旋输送机(土压平衡盾构)。
- 5) 皮带输送机(土压平衡盾构)。
- 6) 泥水输送系统(泥水平衡盾构)。
- 7) 泥水处理系统(泥水平衡盾构)。
- 8) 同步注浆系统。
- 9) 集中润滑系统。
- 10) 液压系统。
- 11) 铰接装置。
- 12) 电气系统。
- 13) 渣土改良系统。
- 14) 盾尾密封系统。



## 二、盾构施工条件与现场布置

### (二) 盾构现场验收

(2) 盾构各系统验收合格并确认正常运转后，方可开始掘进施工。

(3) 盾构现场验收时，应记录运转状况，并应进行评估，满足技术要求后方可验收。



## 二、盾构施工条件与现场布置



读一书  
增一智

