岩土工程施工技术

地基加固工程施工技术

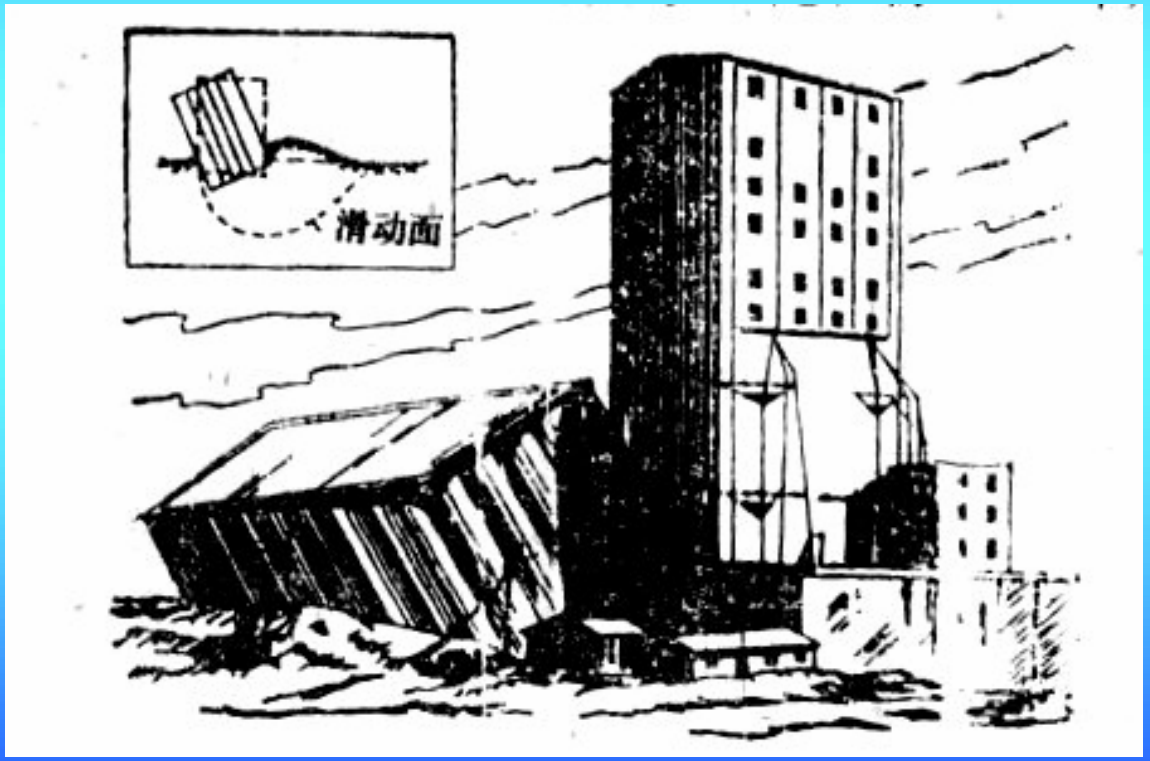
桩基础工程施工技术

地下连续墙施工技术

岩土锚固工程施工技术

盾构施工技术

地基与基础的任何变形必然引起上、下部结构的相对位移，形成建筑结构物的沉降、倾斜、甚至垮塌。



加拿大布朗斯特康谷仓倾斜情况图

对地基与基础的设计与施工并不都是成功的，造成结构物垮塌、倾斜、开裂的事件频频出现。

从事现代基础工程工作，必须做到精心设计，精心组织施工，尤其在复杂的地质条件下或深水下修筑基础更是如此。决不允许草率处理和偷工减料。

地基加固工程施工技术

地基加固施工方法

- 排水固结施工技术
- 挤密桩施工技术
- 灌浆工程
- 高压旋喷法
- 深层搅拌

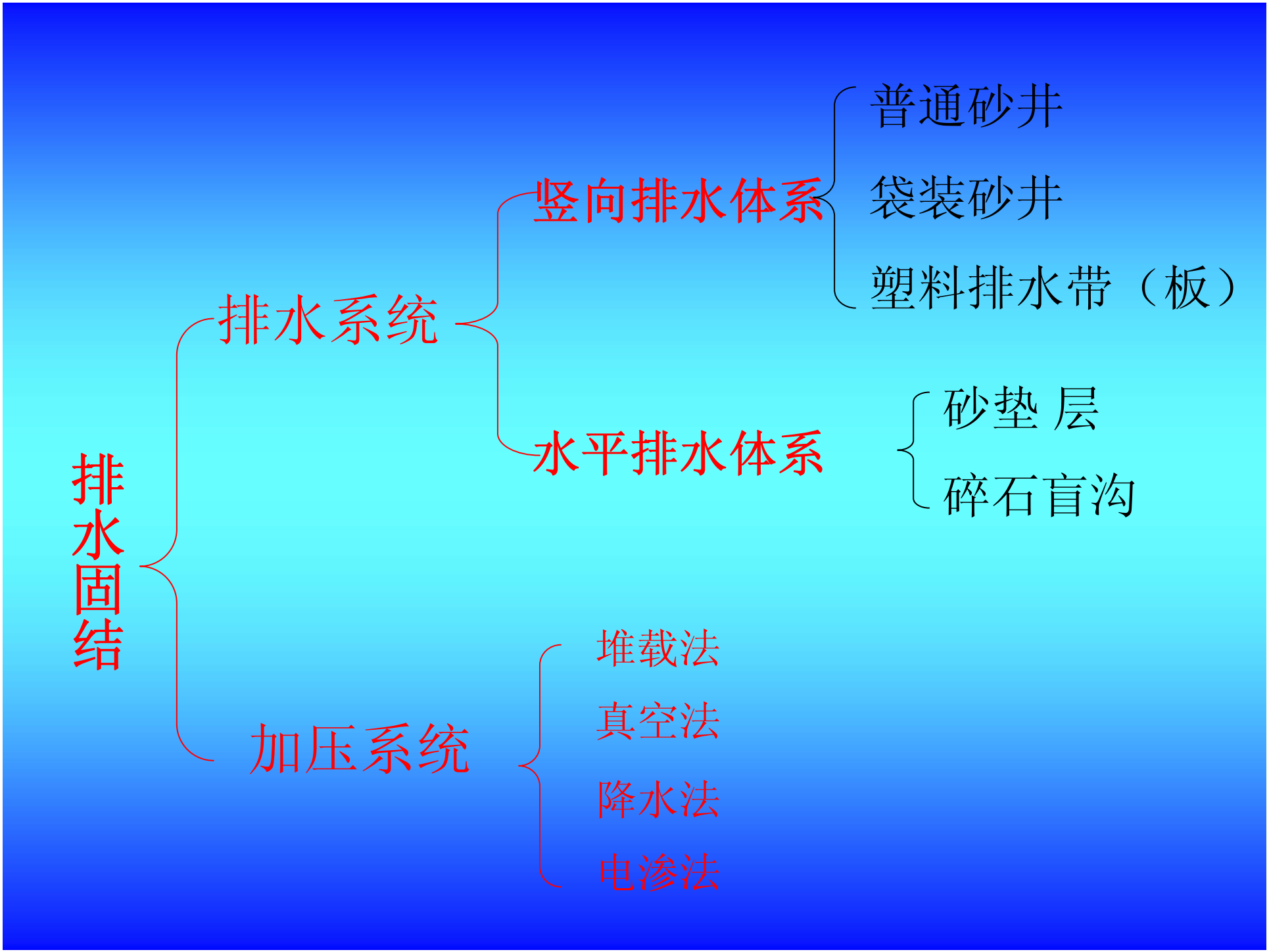
一、排水固结法施工

排水固结:是一种适于大面积加固饱水软基的方法。（高速公路、铁路、港口大量采用）。固结后的地基即便再次处于饱水状态，其承载力也基本不变。

排水固结法加固原理

排水固结法是通过加压和排水的共同作用，使得饱和软土的孔隙水排除、孔隙度减小，有效应力增加——消除大部分后期沉降，提高地基密实度和强度的一种方法。

该法由排水系统和加压系统组成。


排水固结
排水系统
竖向排水体系
普通砂井
袋装砂井
塑料排水带（板）
水平排水体系
砂垫 层
碎石盲沟
加压系统
堆载法
真空法
降水法
电渗法

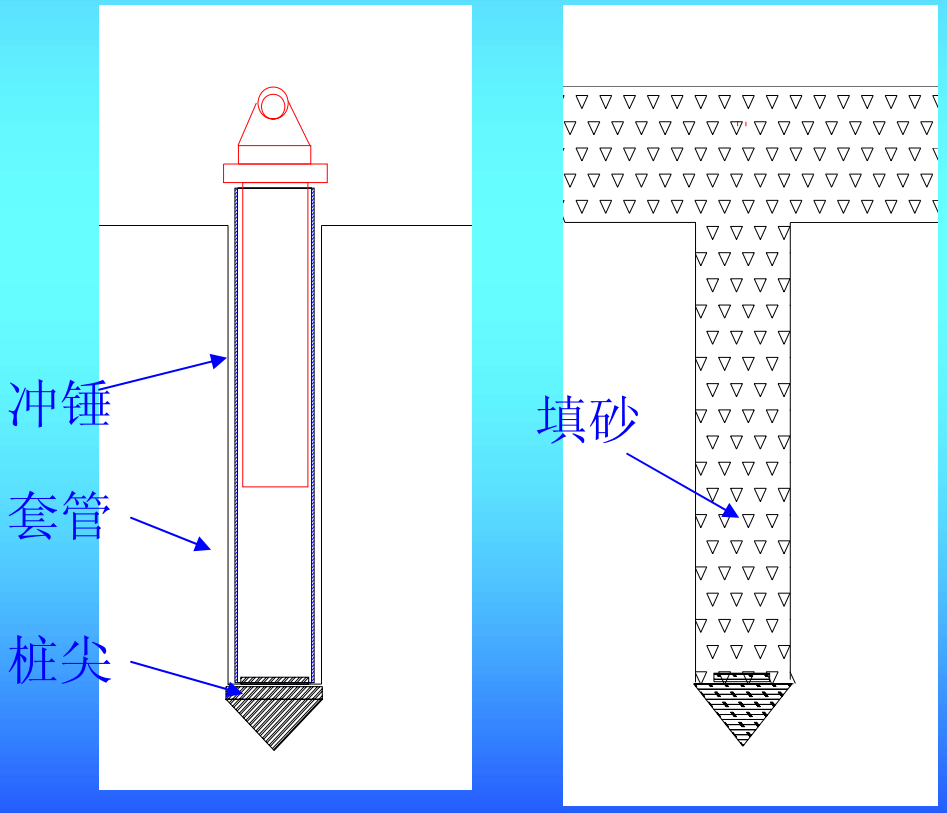
（一）排水系统

竖向排水系统，是指垂直或斜直建造在饱水土体中的过水通道,常用的有3种:

（1）普通砂井：

以抽管法方式施工：

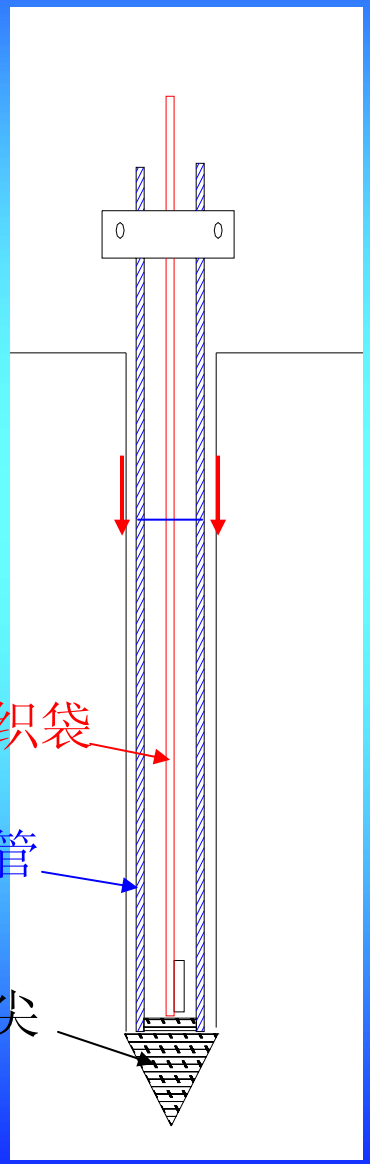
边抽管边填砂，形成一透水性好的砂柱（即砂井）。

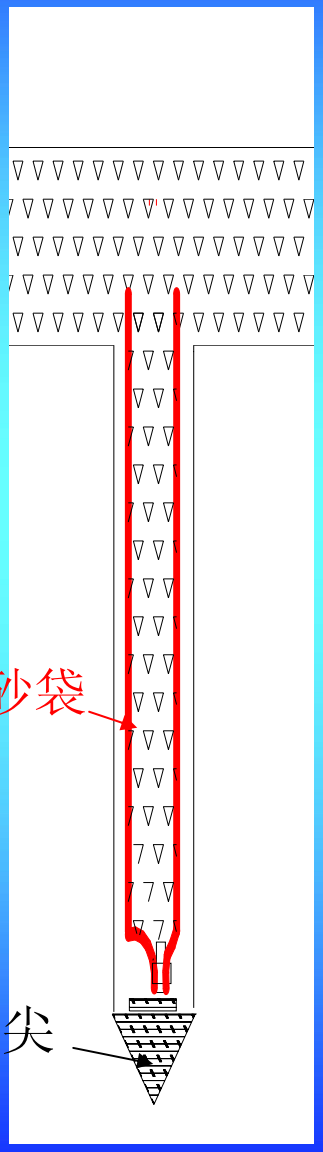


（2）袋装砂井：

仍是以抽管法施工，插管时将装砂袋带入至设计深度；在抽管以后或者边抽管边向砂袋中填充砂，形成袋装砂柱。（即袋装砂井）

在桩尖制作时预留两根铁丝，便于后期在铁丝上拴砂袋。



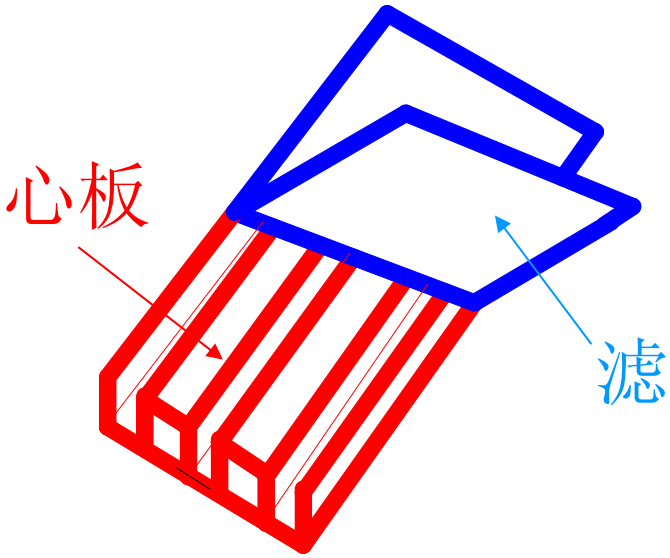


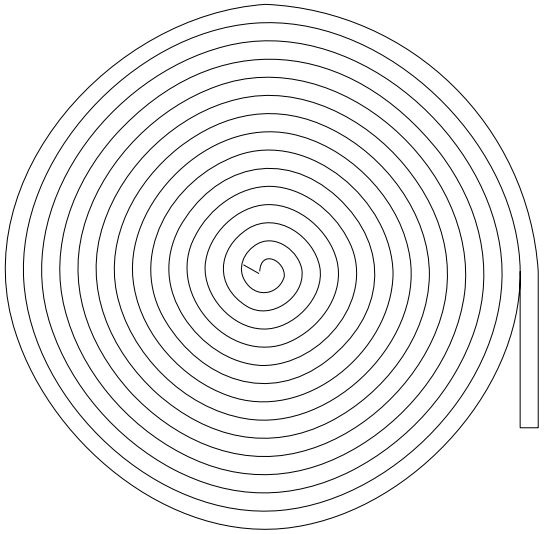
（3）塑料排水带（板）：是近几年新研制的，取代砂井的一种装置。

排水板结构：由滤膜和心板组成。

滤膜：为两片聚乙烯（绦纶纤维）微孔片，粘贴于心板表面（滤膜的渗透系数>5×10^{-4}cm/s）

心板：用聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯。制成Π型或梯型过水通道。



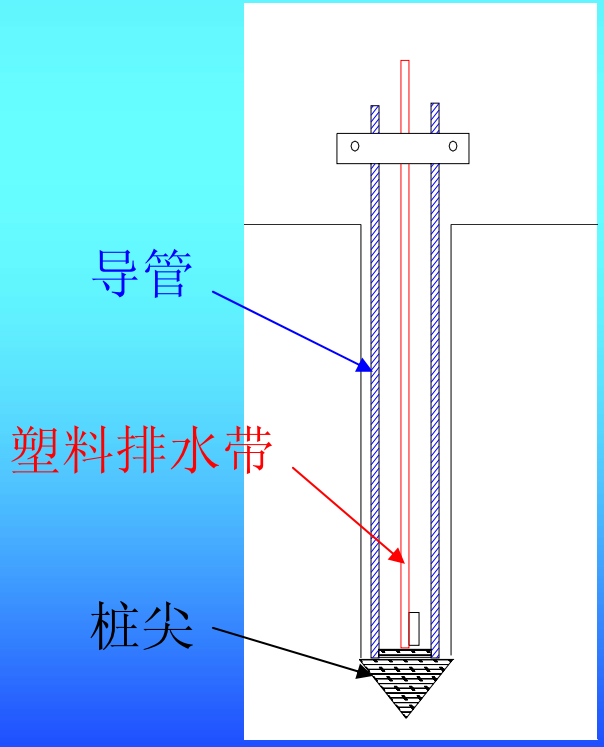


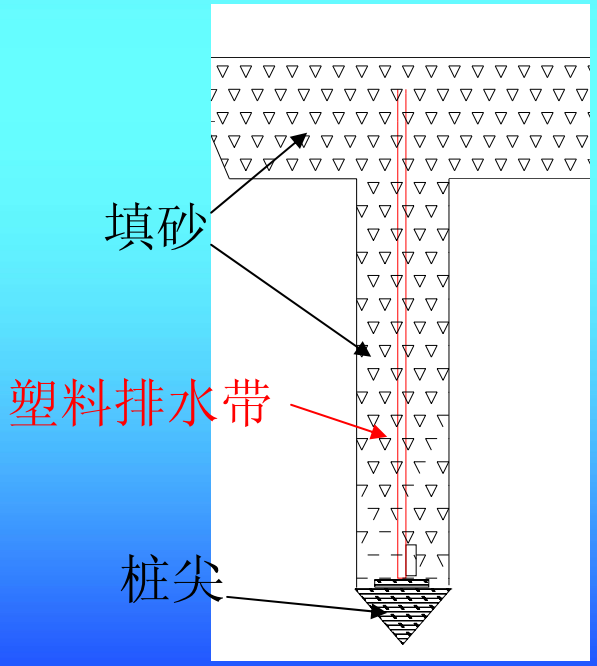
塑料排水板：耐侧压力：350kPa

抗拉强度：　1~2kn/10cm；　纵向通水量：0.9~2.4升/min

宽度：　100±2mm　　厚度：　3.5　4.0　4.5mm

施工方法：用专用插带机，仍属抽管法插带，排水带穿入套管，与桩尖连接，插至预定深度后拔出套管，剪断排水带（地面预留20~30cm）。





三种纵向排水方式比较：

塑料排水板具有以下特点：

① 排水效率多；

② 隔土性好；

③ 抗挤压强度大（不会被挤断）；

④ 施工简便，速度快，快于砂井；

⑤ 工程质量容易控制；

⑥ 成本较低（速度快，运输省）。

适用深度<35m（抗侧压力限制）。

2．水平排水系统：

采用砂垫层或碎石盲沟排水。

砂垫层用砂：中砂→粗砂

作用：

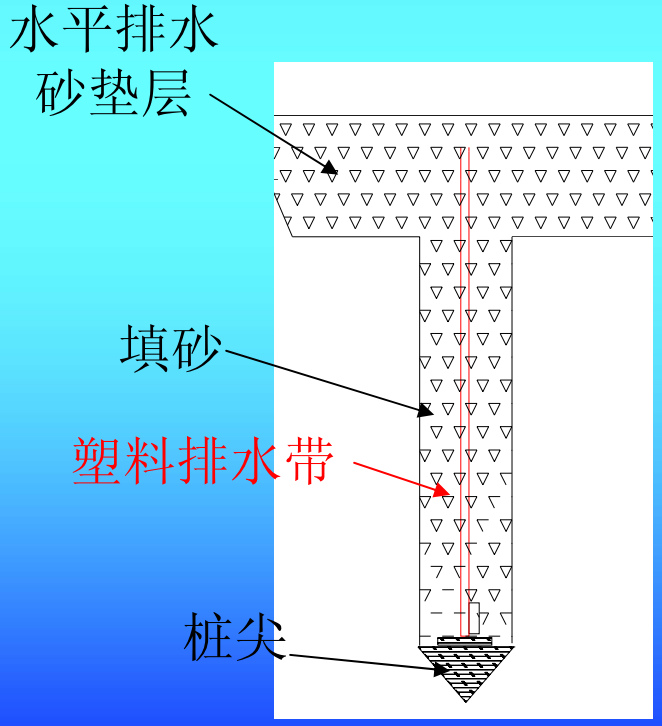
（1）连通竖向排水体，迅速排水。

砂垫层厚度：30~50cm。

过厚：地基强度不足，

过薄：影响排水。

（2）可作为软出地基础持力层。



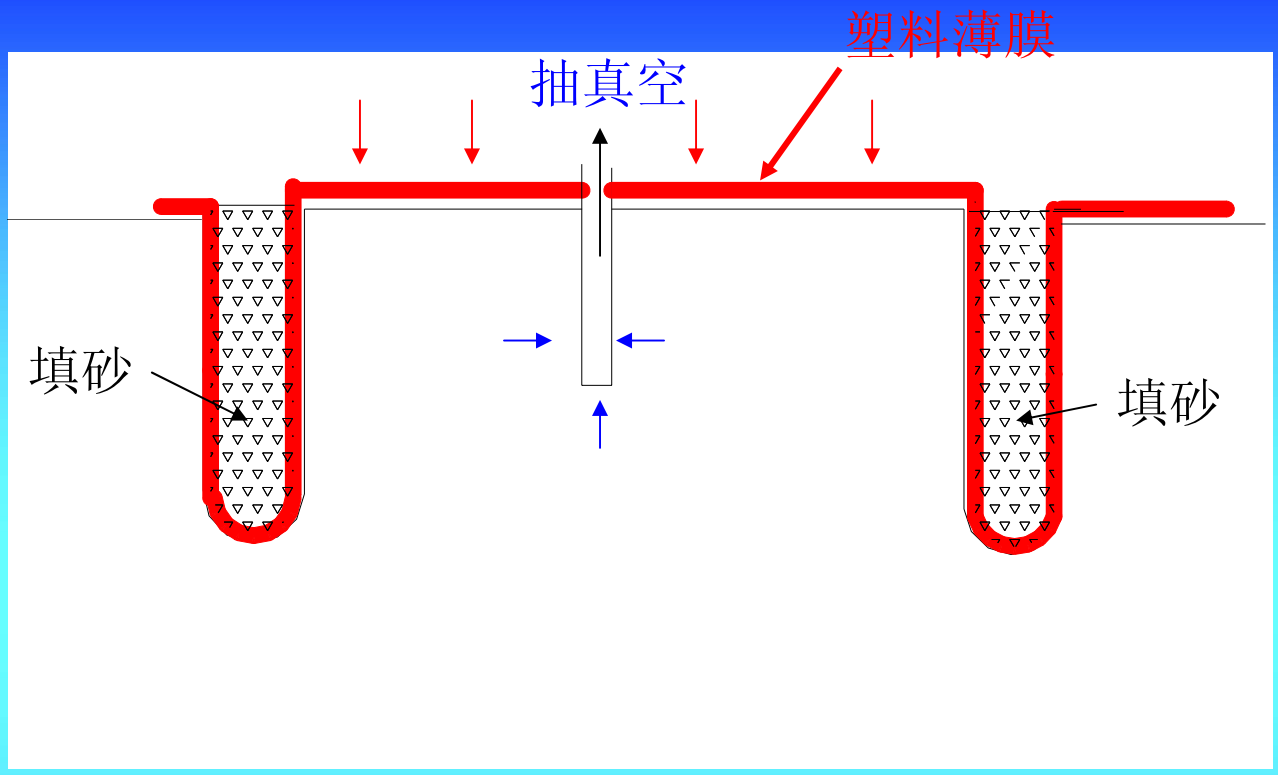
（二）加压系统：

一般加压（加荷）方法有：

- 真空预压法
- 降水预压法
- 电渗预压法
- 直接堆载法

1．真空预压法

以大气压作为预压荷重，先在地面铺设一层砂、砾石，再在上面覆盖一层不透气的材料（塑料布）。然后用真空泵抽气使透水材料中保持较高真空度，在大气压强作用下孔隙水不断被压出，从而达到预压效果。



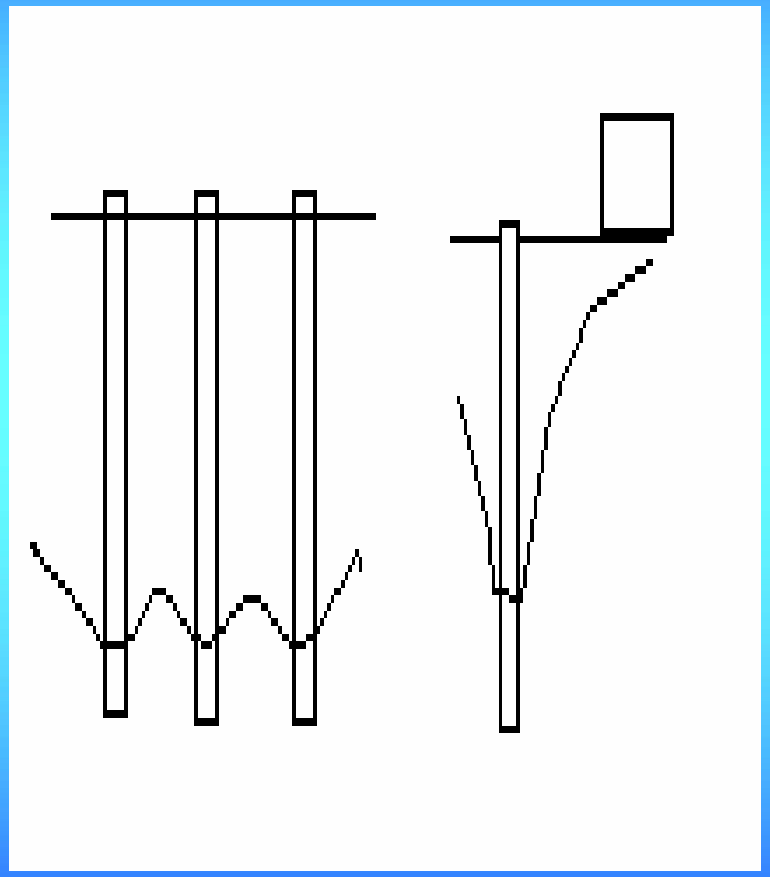
特点：方法设备简单、成本低，可达—0.8atm的真空度（相当于8T/m²的直接堆载）。此法的关键是防止漏气（挖沟埋实塑料布边缘。适用于均质粘性土，薄层砂性土和新填土地基加固 。对加固范围有足够水源补给的透水层，且又未采取隔水措施时，不适用。

2. 降水预压法

借助井点抽水，降低水位以增加土的自重量压力，达到加固地基目的。

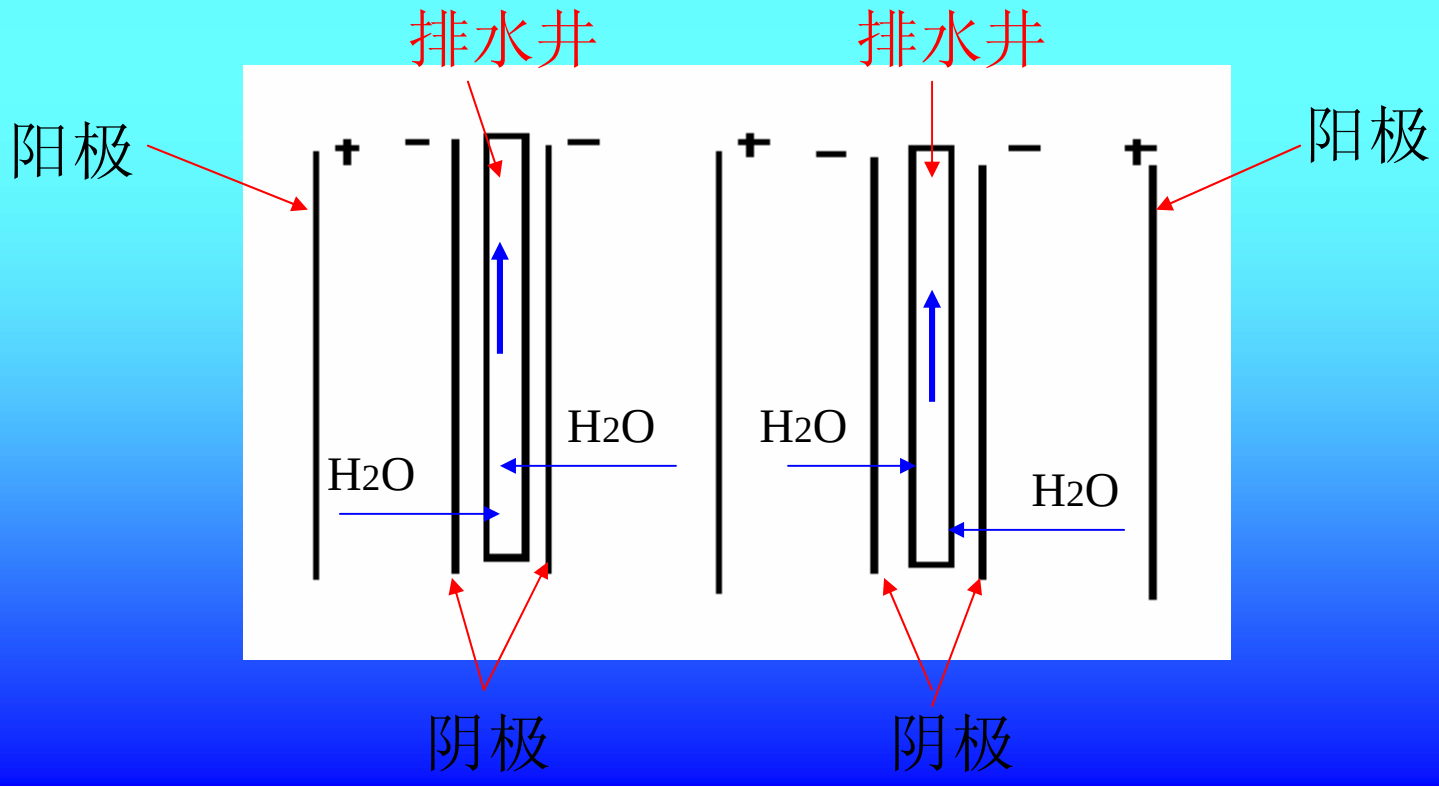
该法优点是：不破坏土体，因而不需控制加载速率，可一次降水至预定深度，加快了固结时间。

缺点是：引起临近建筑物的附加差异沉降



3. 电渗法：

在待加固土体中插入金属电极，并通以直流电，使土中水由阳极流向阴极，将阴极积集的水排出，土体中孔隙水减少，有效应力增大，达到沉降固结目的。



电渗法与降水预压法有类似的作用，都是通过降低地下水位，减少孔隙水，依靠土体的自重压密固结，不同的是：降水预压：是土体中的水是水位差作用下自由流向井内，电渗法：则是依靠水分子的极性。在电场驱动下向负极聚集。很明显，电渗法由于成本高，效率低只应用于小范围的透水性差的土体的排水固结。

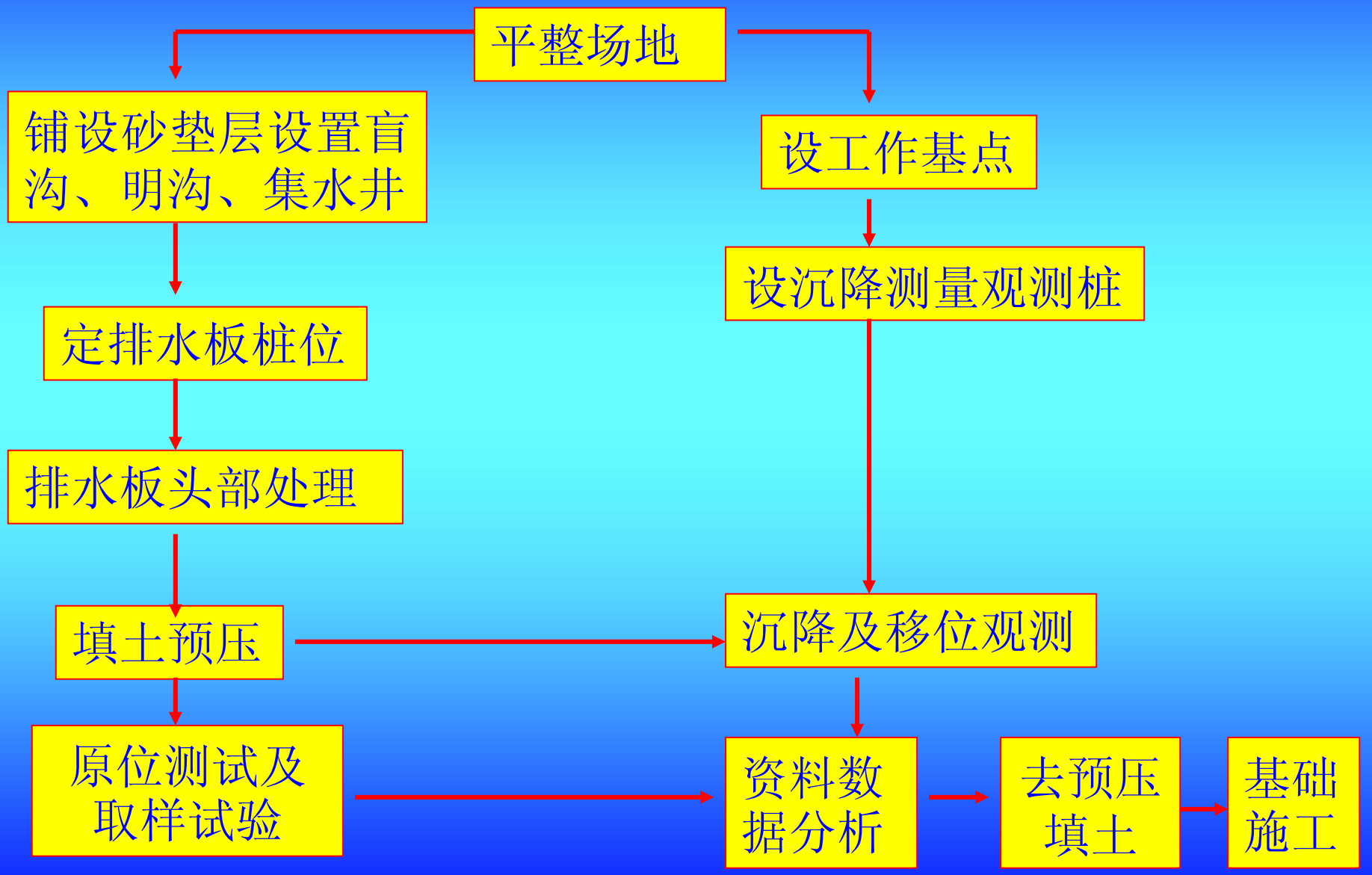
4. 直接堆载法

在地面直接堆放外荷载进行加压。使土体中的水，挤入竖向排水系统排出。

优点：加载重量可达到或超过建筑物的重量。可保地基土紧密固结，预防或降低建筑物的后期沉降。效果好。

缺点：堆载会破坏土体的结构，须分级堆载，延续时间较长。堆载物一般是用砂、土、砖等不污染环境的材料，堆载结束后需要清除外运，成本较高。

（三）排水固结施工工艺流程



二、 高压旋喷法

高压旋喷注浆是在静压注浆加固地基的基础上发展起来的一项土体加固新技术。静压注浆对颗粒细粘的砂类土和含泥量高的粘性土等软弱地基，由于浆液不能均匀渗透（呈脉状、枝状）加固效果较差，不能适应现代基础的要求，随着高压射流切割技术的发展，60年代后期产生了高压旋喷注浆法。

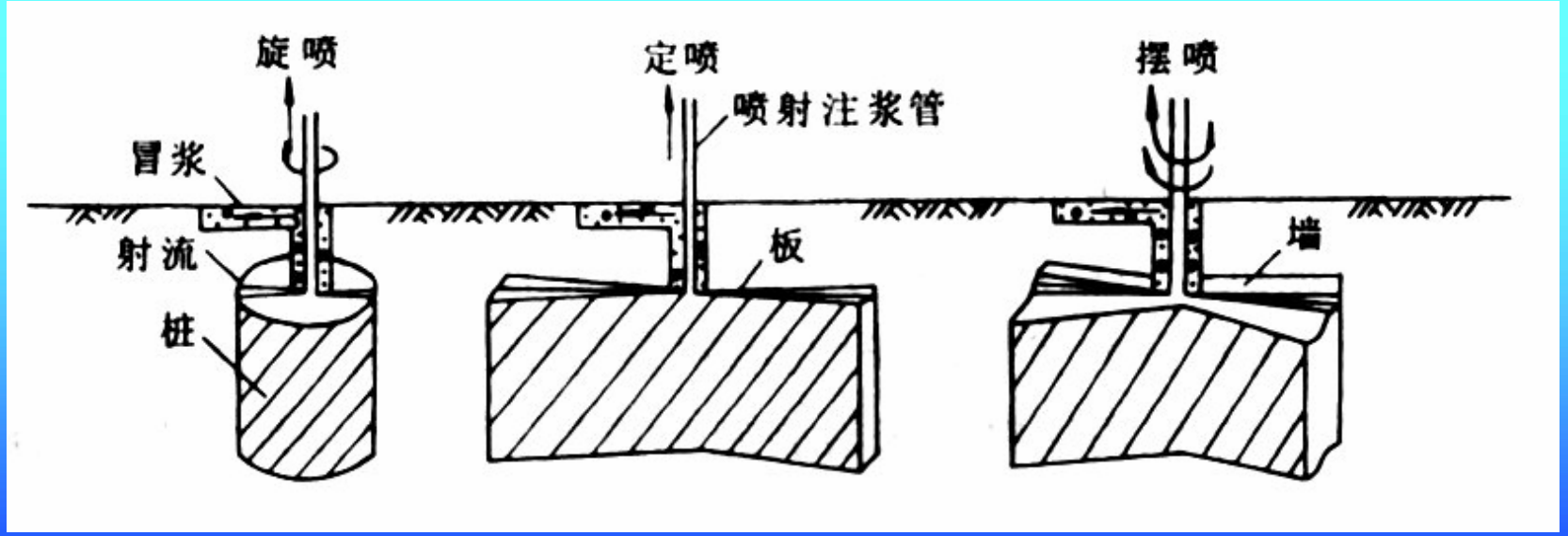
（一）、 旋喷加固地基原理

用钻机钻成一直径为75~150mm的孔至设计深度。在孔内下入旋喷管，以20~30MPa的压力泵入胶凝浆液。在喷嘴处产生高压喷射流，对周围土体切割、分离、搅拌。边喷射，边旋转，边提升，在喷射有效范围内，被切割分离的土与浆液一起凝固。形成一直径大，强度较高的旋喷桩柱。

桩柱的形状与喷射流移动方向有关：一面喷射一面旋转和提升，称旋喷（形成圆柱形桩体）。

一面喷射一面提升，喷射方向固定不变，称定喷（形成壁状桩体，作为防渗墙）。

一面喷射一面摆和提升，称摆喷（形成扇形桩截面体（厚壁状））。



高压旋喷的三种方式

（二）、高压喷射流对土体的切割作用

喷射流切割土体的机理，其理论尚未充分探明，但可以透过喷射的现象，分析出切割土体的主要作用。

1．喷射流动压:

喷射流冲击土体时，由于能量高度集中地冲击一个很小的区域，这个区域及周围土受到很大的压应力作用，当这些力超过土颗粒结构的破坏临界值，土体便受到破坏。其破坏力（F）可由射流运动方程得到：

$$F = \rho \cdot A \cdot V^2$$

F—喷射流破坏力（N）；

ρ —喷射流介质密度（N/m^3）；

A—喷射流截面积（m^2）喷咀出口；

V—喷射流速度（m/s）。

当介质和喷咀一定时，破坏力与速度的平方成正比。因此，增大泵压提高流速是增大破坏力的增加桩径的合理方法。

2．喷射流的脉动负荷（泵活塞脉动）

当喷射流不停地脉冲式冲击土体时，土粒表面受到脉动负荷的影响，逐渐积累起残余变形，使土粒失掉平衡、促使了土的破坏。

3．水锤冲击力（喷咀旋转）

喷射流旋转继续地锤击土体，产生冲击力，促进破坏的进一步发展。

4. 空穴现象

喷射流冲击土体时，由于流体内部压强低，在流体边缘产生较大压差。形成类似空穴的空洞，在空穴中，由于喷射流的激烈紊流，会把较软弱的土体掏空，造成空穴扩大，使更多的土颗粒遭受剥离、土体遭受破坏。

5. 水楔效应

当喷射流充满土层时，由于反作用力（水压力）产生水楔，在垂直于喷射流轴线的方向上，楔入土体的裂隙或薄弱部分中，使土发生剥落或加宽裂隙。

6．气流搅动（露出新鲜破碎面减少重复破碎）

在水或浆液与气抽轴喷射作用下，气流将破坏下来的颗粒迅速吹散，使喷射流破坏土体条件得到改善，阻力减小，能耗降低，破坏能力增强。

7．挤压力

喷射流在终了区域，能量衰减很大，不能直接冲击土体使土粒剥落，但能对有效射程的边界上产生挤压力，对四周土体有压密作用，并使部分浆液进入土粒之间的空隙里，使固结体与四周土体紧密连接，不脱落。

（三）、旋喷成桩机理

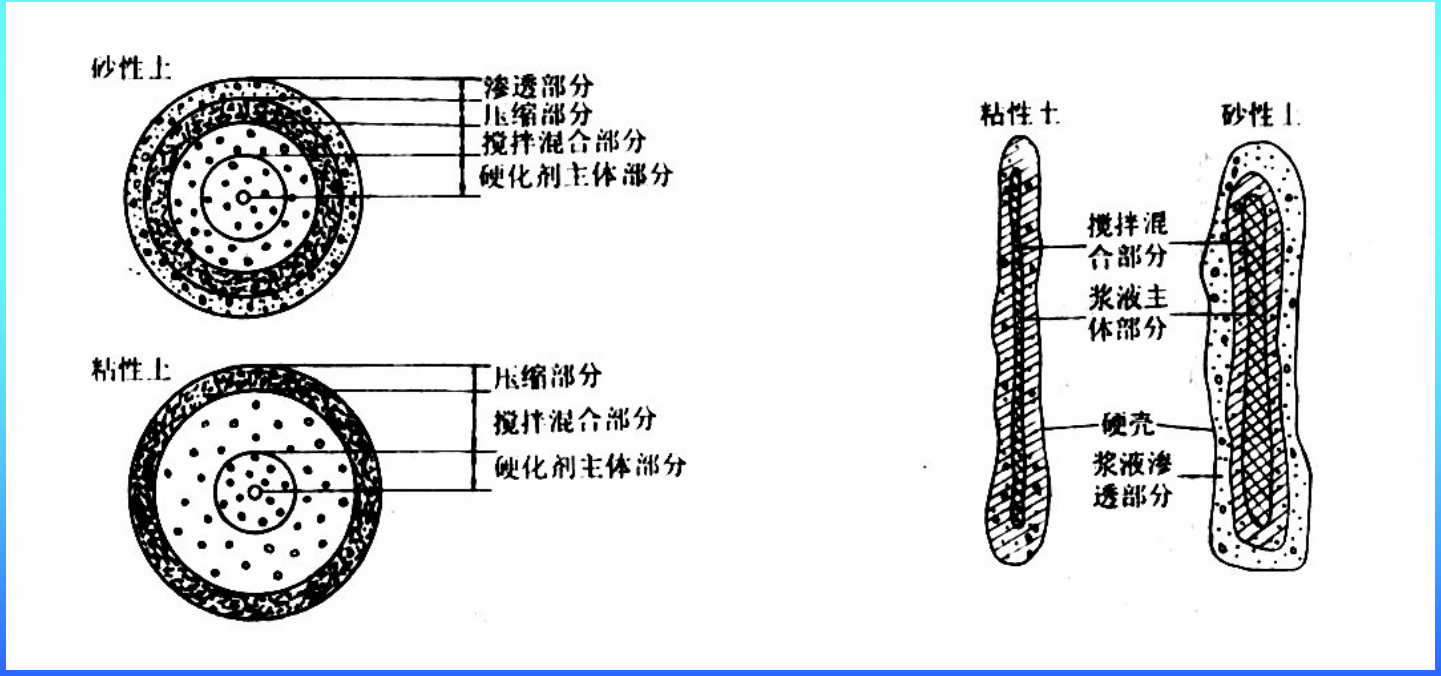
由于高压喷射流是高能量、高流速、集中和连续作用于土体上，压力应力和冲蚀等多因素同时密集在压应力区域发生效应。因此，喷射流具有冲击切割破坏土体并使浆液与土搅拌混合的功能。

在旋喷加固地基中，其加固范围是喷射切割距离加上渗透距离或压缩部分的长度为半径的圆柱体。

在粘土与砂土地层一部分细小粒被浆液置换并随浆液带到地面（俗称冒浆）。其余土粒与浆液搅拌混合，在旋喷动压、离心力（旋转搅拌产生）和重力的共同作用下，在桩体横断面上的土粒呈现有规律的排列。

对粘土、砂土层：小颗粒中部居多，形成了从里到外，浆液，土体搅拌混合，压缩和渗透等组成部分固结质量不均匀，中心强度低，边缘强度高。

（离心力和水力挤压密实）



旋喷最终固结状况示意图　　定喷固结体横断面结构示意图

对大砾石和腐植土的旋喷固结机理与粘土和砂土不完全相同。

大砾石层：因砾石的体大量重，喷射流不能将碎石切削成颗粒或移动重新排列，只能通过空隙并充满空隙。由于喷咀旋转，浆液向四周挤压近于渗透理论，固结体无压缩层部分。

腐植土层：固结体的形状和性质与纤维物质的粗细长短和含量有关，纤维细短时其固地机理与粘性土基本相同。纤维粗长而数量多时：由于纤维质富于弹性，喷射流切割困难，但浆液能渗透形成固结体。纤维质密集部位浆液少，固结体的均匀性较差。

（四）、 旋喷注浆机具

主要包括：钻机、高压注浆泵、空压机、旋喷、注浆管、输浆管、流量计、制浆机等这些机具中，除注浆管和高压注浆泵外，其余都是施工单位常用机械，一般都 能具有施工设备能力。

旋喷管:由导流器（水龙头）、钻杆、喷头三部分组成。

导流器：将高压胶管的浆液通过活动连接输入钻杆中。

高压旋喷注浆设备

旋喷施工钻机



高压旋喷注浆设备

旋喷钻机



旋喷钻机



旋喷钻机



轻便高压旋喷钻机（10米）



高压旋喷注浆泵：



国产注浆泵压力为20-30MPa，日产可达240MPa.

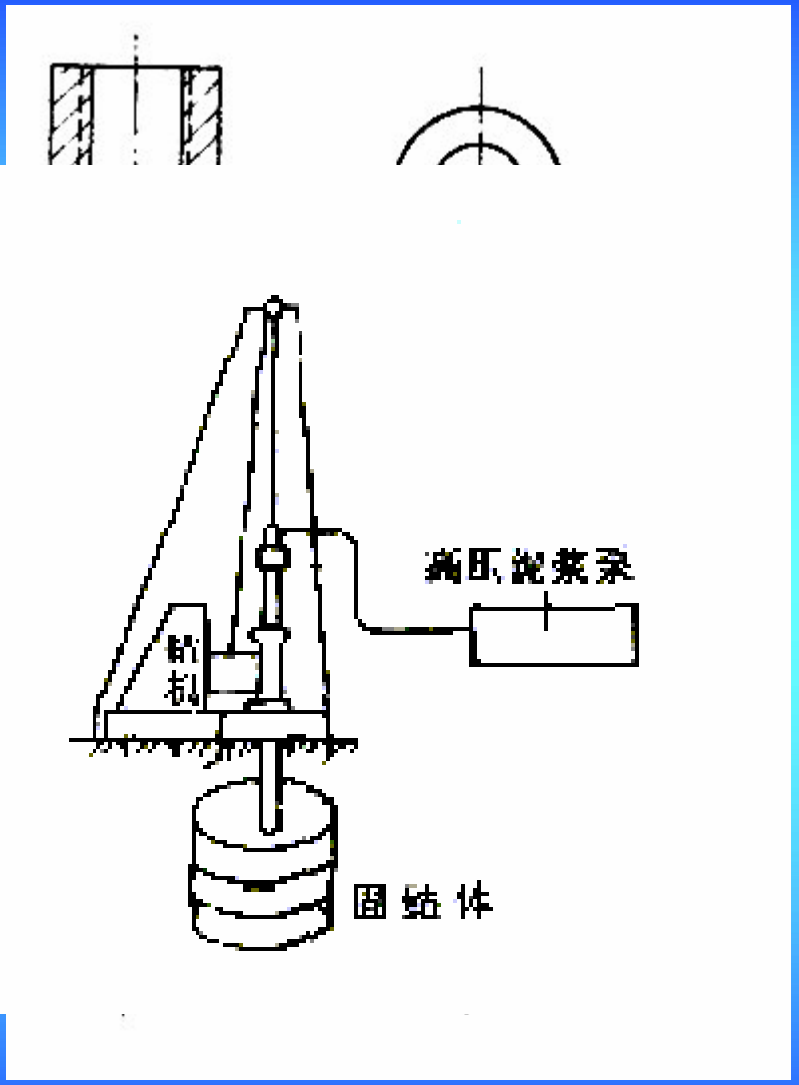
旋喷管:由导流器（水龙头）、钻杆、喷头三部分组成。



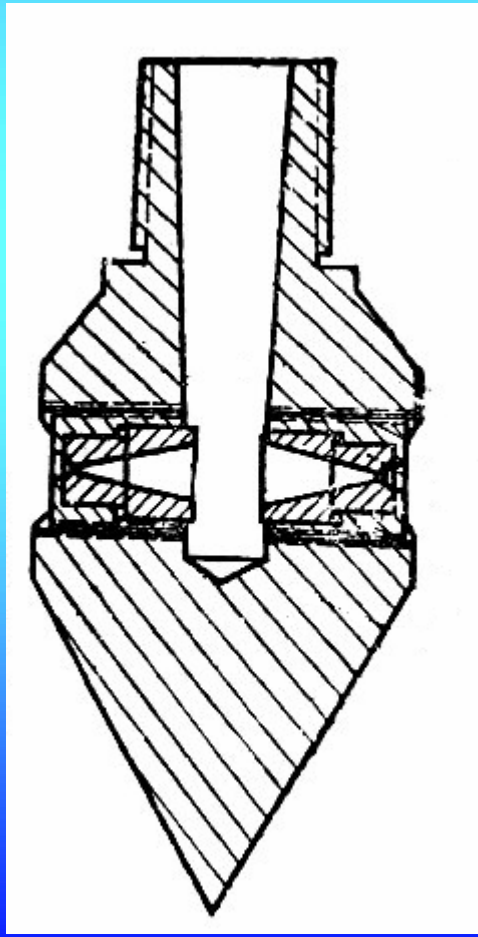
1、单旋喷管

钻杆：普通Φ50、Φ42钻杆，导流器、钻杆、关键是高压密封。

单旋喷管喷头：喷头顶有两种形状，一种平头型，一种圆锥形。平头喷头上装有合金切削具，遇透镜体或卵、漂石可作为钻具用。圆锥形喷头矛式钻头在粘性及砂性地层较理想，遇孔内有垮塌物时，容易挤入孔底进行旋喷。

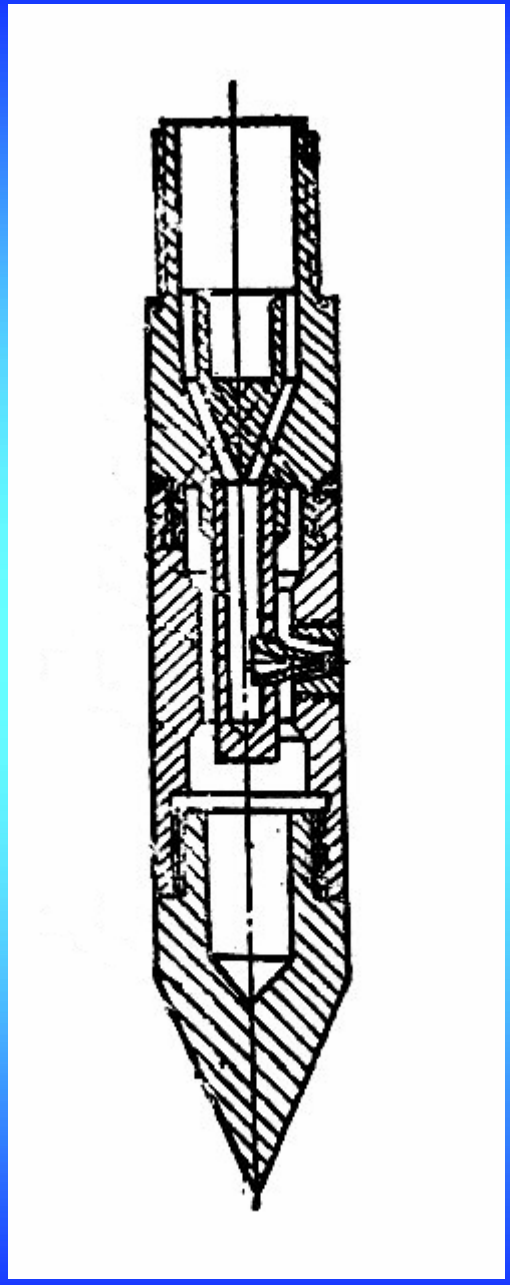


喷头上装有1~2个喷咀，喷咀直径为1.6~3.5mm之间，是YG8或YG11合金制成，单旋喷管只有一个管道仅输送一种流体，结构简单，成桩直径减小，对砂土、粘土、淤泥，桩径为0.4~1m。

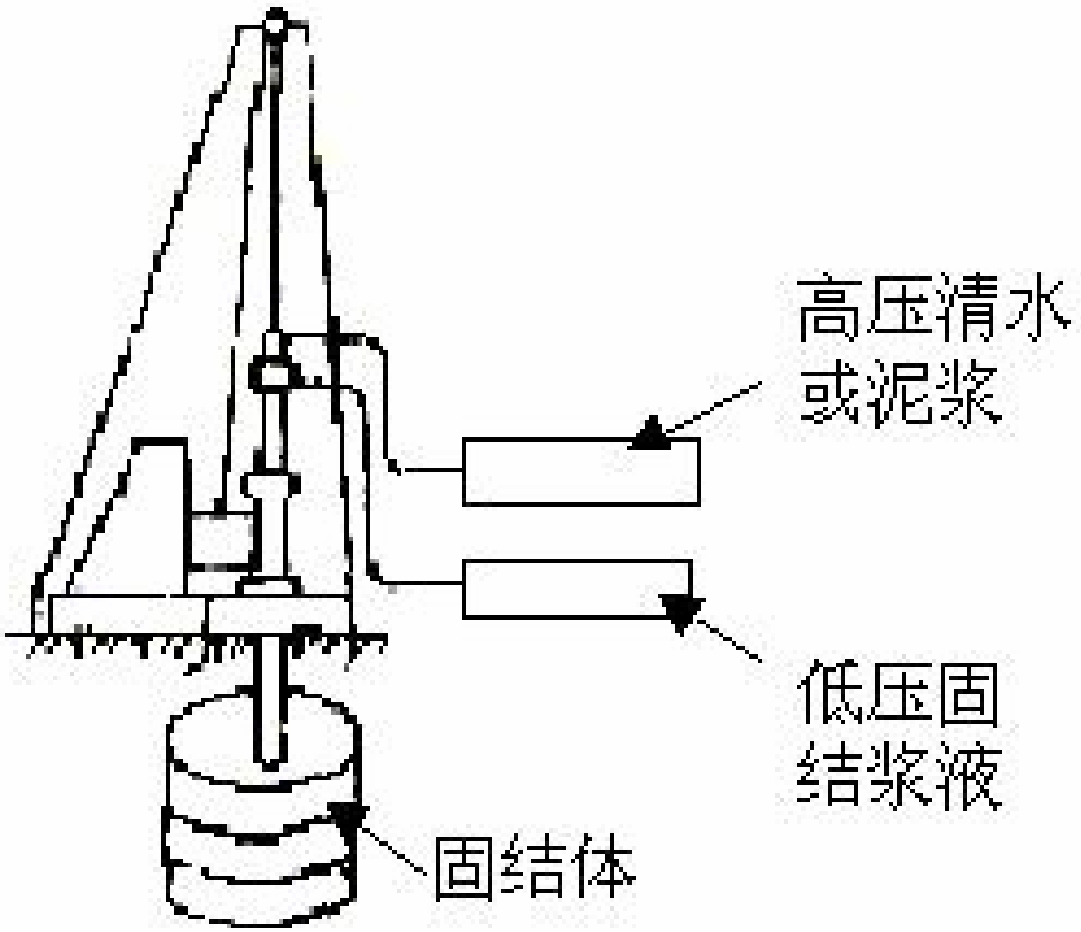


2、二重喷管

它是在单旋喷管基础上发展起来的。浆液和压缩空气分别输入二重旋喷管内两个互不串通的管道，并喷头从侧面的液、气同轴喷射的双层喷咀中喷出，中间喷咀喷射浆液，外环状喷咀喷射压缩空气，在喷射浆液流周围形成空气帷幕，减小了浆液流阻力，增加了喷射距离，扩大了成桩直径。桩径可达0.8~1.6m。



二重喷管

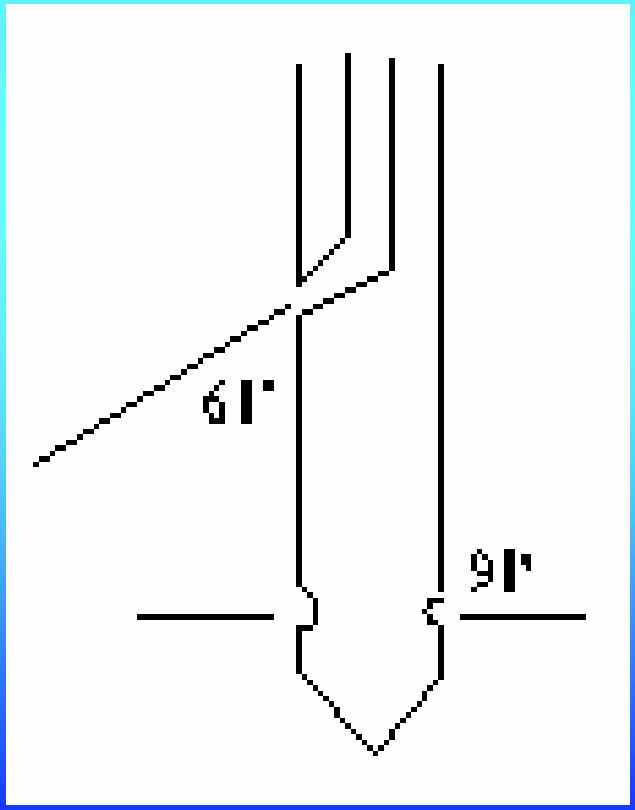


旋喷头

3、二重旋喷管改进型：

以高压清水或泥浆切割分离土体，以低压喷浆，高压喷咀位于中压喷咀之上。组成60°喷射角，更有利于切割、分离、搅拌、以清水或泥浆代替压缩空气、降低了空压机成本，

再从切割分离破坏土体的情况分析：斜置喷嘴的局部弯曲阻力系数为0.55、水平设置的喷咀局部弯曲阻力系数为1.12。显然，斜置喷咀的压力局部损失比水平喷咀小得多。

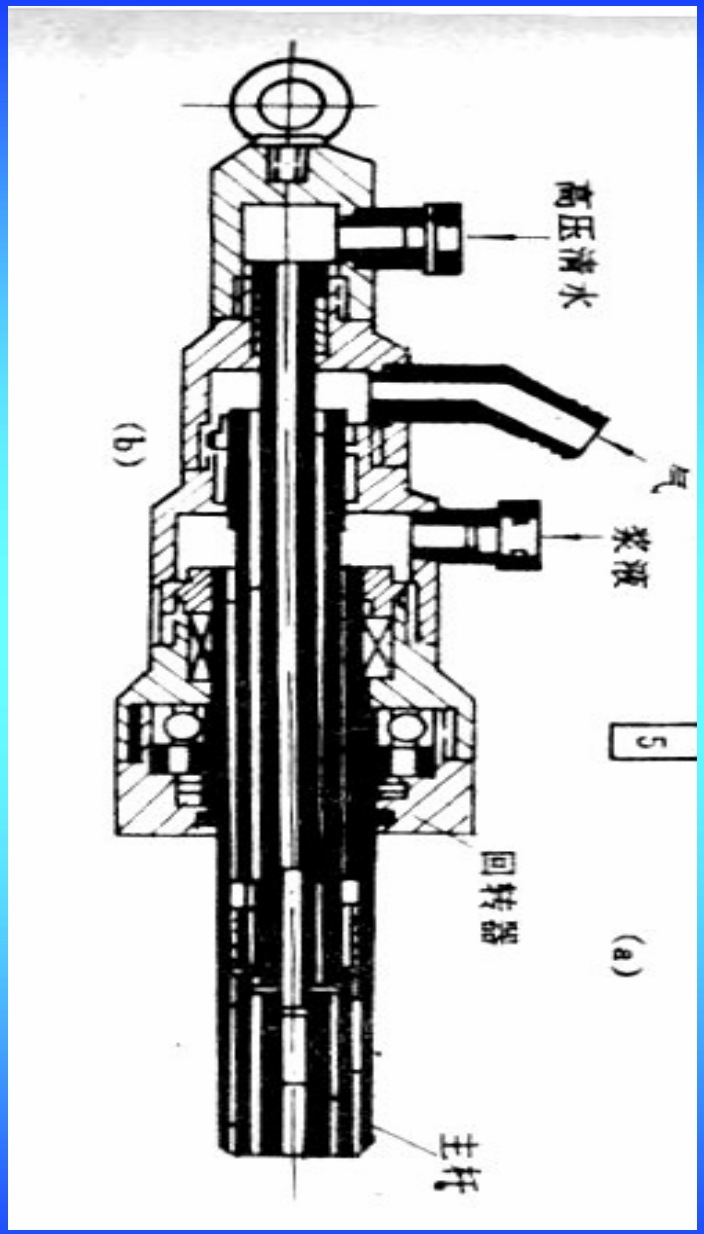


4、三重旋喷管

三重旋喷管是在二重旋喷基础上发展起来的，它仍然用压缩空气流保护高压喷射水流，使破坏土体的高压水流不致过早的衰减，而是更有力地切割土体，由于孔内液气流量增加，可将细小的土粒排出孔外，增大了浆液的置换量，提高了桩体承载力，桩径可达1.5~2.5m。

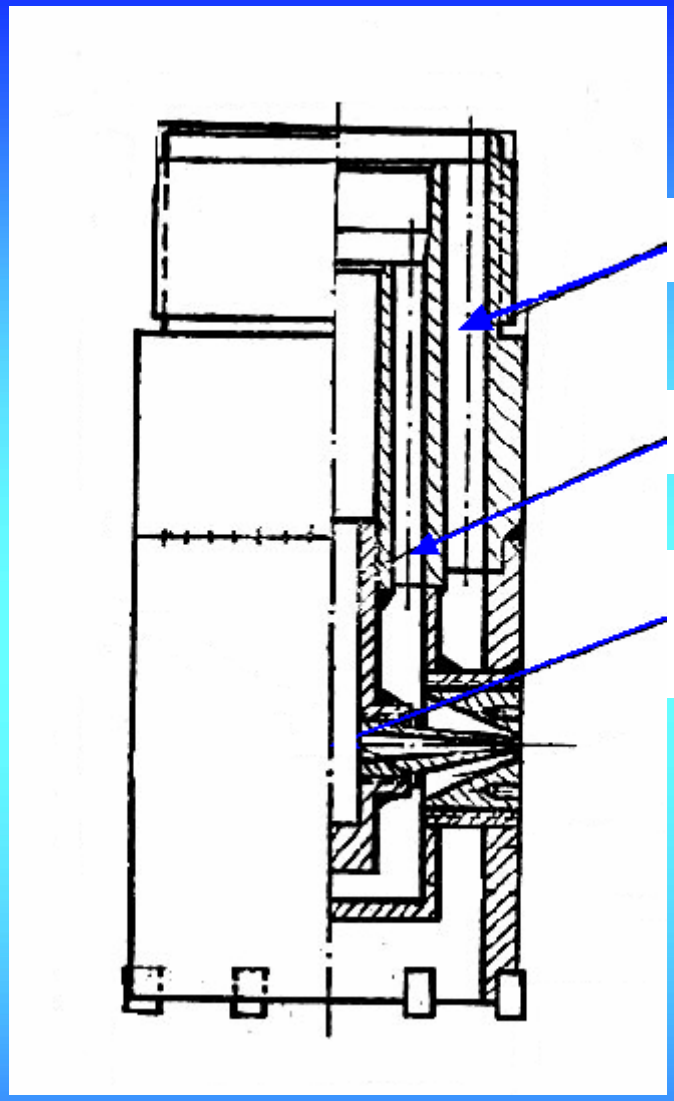
三重旋喷管

导流器



三重旋喷头

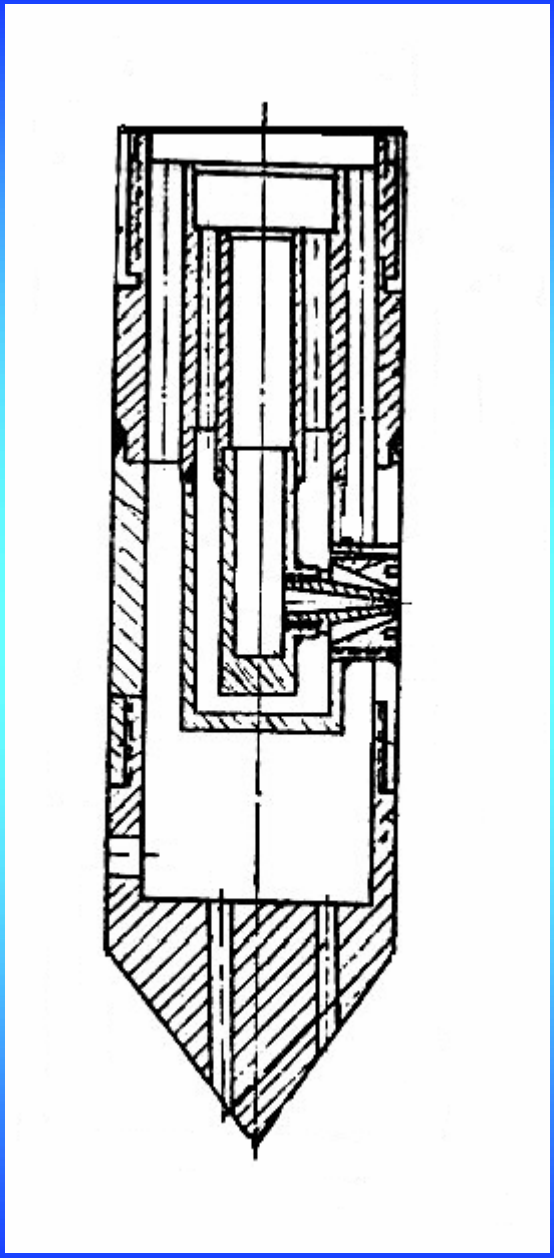
三重旋喷采用三通道导流器和三层钻杆，气、水喷咀同轴水平向或120°角安装，浆液低压喷咀位于气、水喷咀下方。



平底喷头

三重旋喷头

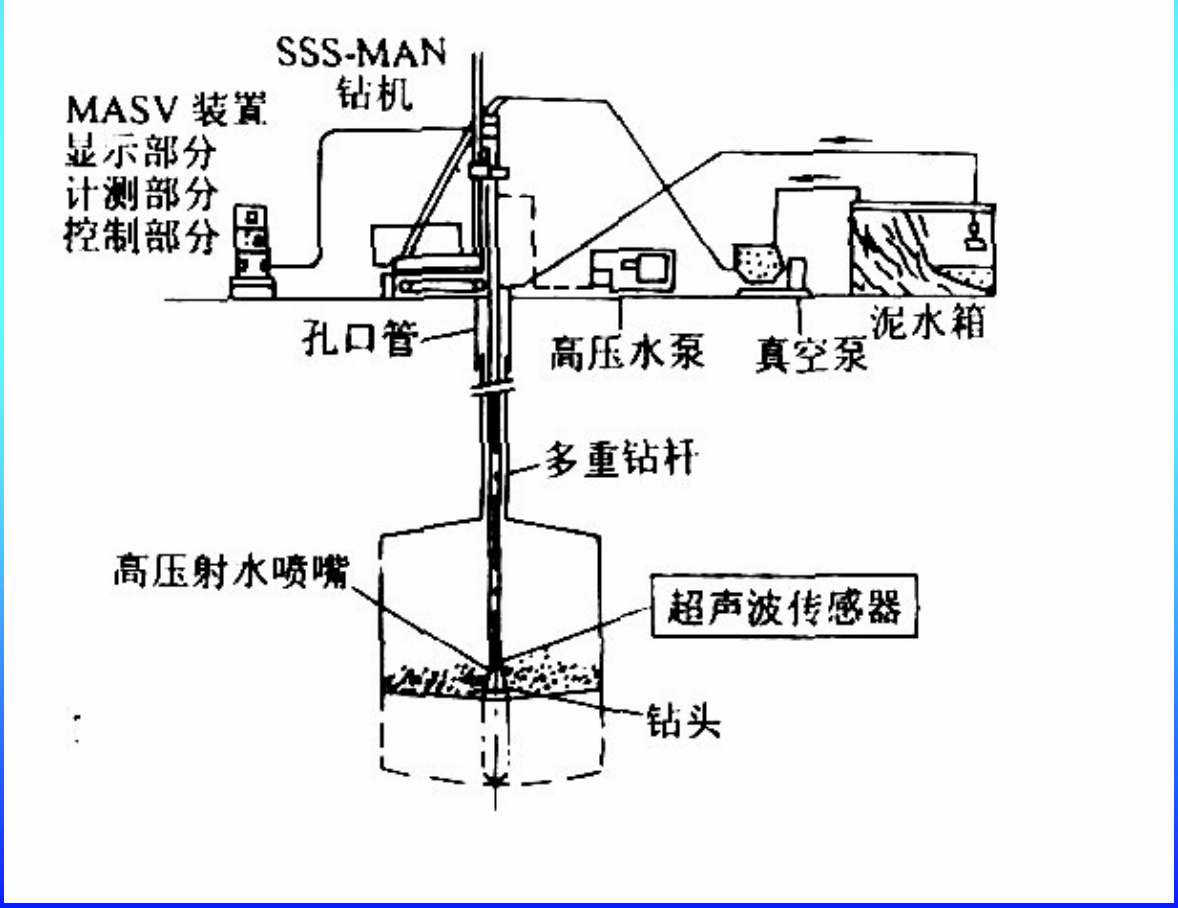
锥形喷头



多重旋喷

首先钻一个导孔，然后置入多重管，用逐渐向下运动的旋转超高压水力射流(压力约40MPa)，切削破坏四周的土体，经高压水冲击下来的土和石成为泥浆后，立即用真空泵从多重管中抽出。如此反复地冲和抽，便在地层中形成一个较大的空穴。装在喷嘴附近的超声波传感器及时测出空穴的直径和形状，最后根据工程要求选用浆液、砂浆、砾石等材料进行填充。最终在地层中形成一个大直径的柱状固结体。在砂性土中最大直径可达4m。这种方法日本称之为SSS-MAN工法。

多重管的功能，不但可输送高压水，而且还同时将冲下来的土、石抽出地面。因此管子的外径较大，达到φ300mm。它由导流器、钻杆和喷头组成。在喷嘴的上方设置了一个超声波传感器，电缆线装在多重管内。此管系日本的研究成果，目前我国还在研制中。



（五）、 旋喷注浆材料

1、旋喷浆液的性能要求

旋喷注浆是靠高压液流的冲击力破坏土体并与土体混合，构成新的固结体。对浆液的要求虽不象压力灌浆那样严格，但根据旋喷工艺要求，浆液应具备以下性能：

（1）有良好的可喷性

国内外基本上均采用以水泥为主剂，掺入少量外加剂的方法，水灰比愈大，可喷性愈好。稳定性愈差（析水率大）：一般用1~1.5的水灰比能较好的保证喷射效果。可喷性可用流动度或粘度评定。

（2）有足够的稳定性

稳定性好指浆液在初凝前析水率小，水泥降沉速度慢，分散性好。为提高稳定性，保证固结体质量，水泥粒度要细[4900目（超细水泥）筛余量<15%]表面积大，析水率小。加入少量外加剂（膨润土，减水剂等）。

（3）气泡少

结石中气泡含量高，结石强度低，抗渗性低，须使用非引气型外加剂、则切割深度小于可能达到的最大深度，喷射时间愈短，切割深度愈大，日本提出的曲线图：如NNO（亚甲基二萘磺酸钠）。

（4）结石率高

固结体能牢固地与岩土粘接，耐久性好，抗酸、碱性、不受温度、温度的影响。

2、旋喷浆液的类型

旋喷浆液可分化学浆液与水泥浆液两大类，化学浆液成本高，国内未使用，主要是在水泥浆液中加入添加剂使浆液具有不同的性能，根据性能特点可分为6种（主要是由于添加剂不同而成为不同类型）：

（1）普通型；水泥+水，不加添加剂，W/C=1~1.1

（2）速凝—早强型：水泥+水+速凝早强剂（氯化钙、水玻璃）

（3）高强型：水泥+水+增强剂（NNO、$NaNO_2$）；（抗压>20Mpa）

（4）填充型：水泥+水+填充剂（粉煤灰、膨润土）；（降成本）

（5）抗渗型：水泥+水+水玻璃+（膨润土）；（堵水防渗）

（6）抗冻型：水泥+水+沸石粉或NaCl；（提高固地体抗冻性）

（六）、 旋喷施工

旋喷施工程序：单管、二重管、三重管的施工步骤大体一致

1．钻杆就位：

2．钻孔：钻孔方法很多，目的都是插入注浆管，单管用旋转振动钻机较多，二重、三重管（孔径大）用地质钻机居多。

3．插管：将旋喷管插入孔内预定深度，为防喷咀堵塞可边射水边插管）。射水压力<1MPa，以防塌孔。

4．旋喷作业：搅拌浆液，开始旋喷，边旋转边提升，检查、记录，浆液流量、风量、压力、旋转转速和提升速度，保持在设计范围内。

5．清洗机具移孔：旋喷提升至设计高度后、旋喷结束，应立即清洗设备内外防止残存水泥浆凝结堵塞，最后移至新孔。

旋喷施工程序：

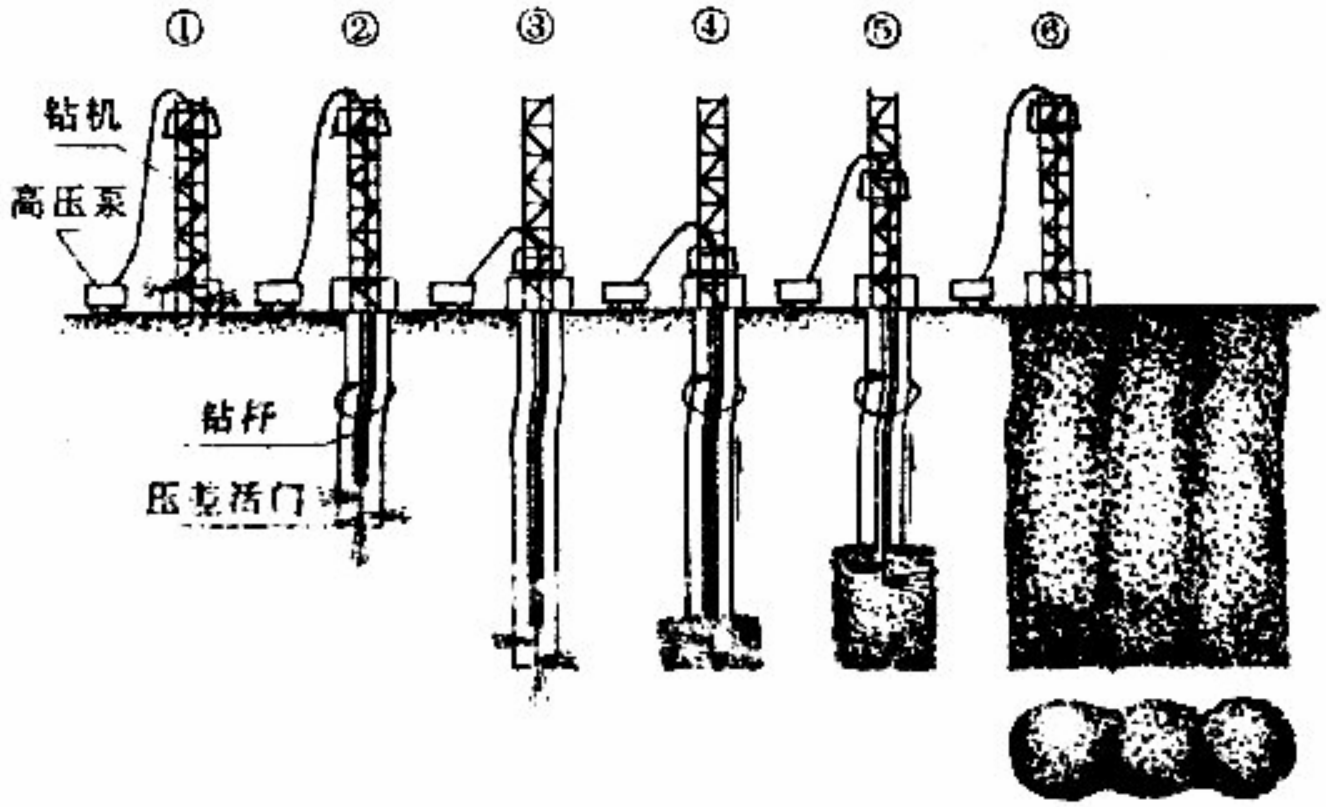


图 4-7　旋喷法的施工程序

①钻机就位；②、③钻杆旋转射水下沉；④、⑤开始旋喷制桩；⑥成桩

旋喷工艺参数

各种旋喷的最佳技术参数，目前还缺乏细致的理论研究，参数的制定主要靠试验和实践经验的总结。

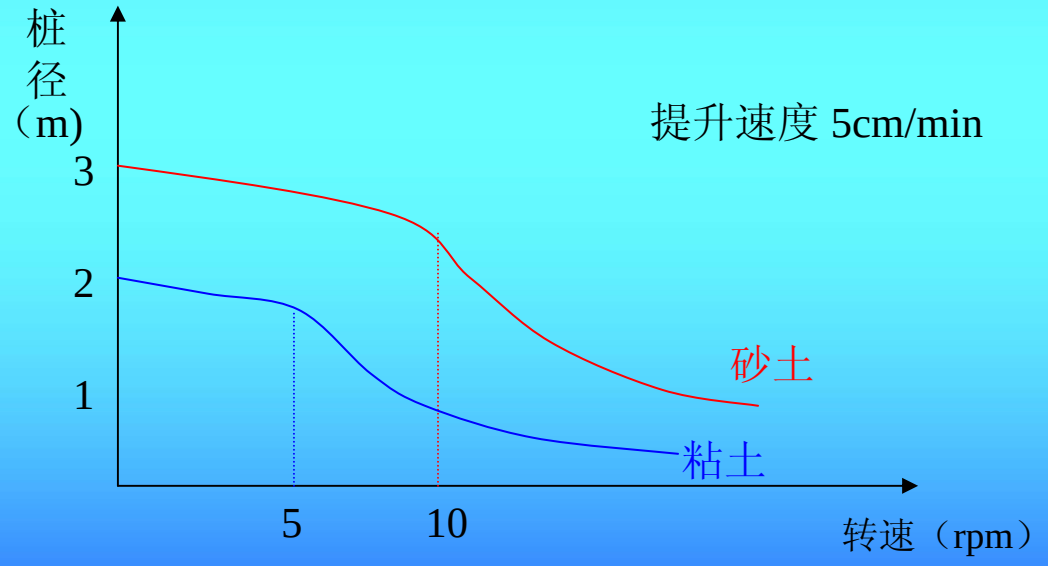
1．喷射压力

喷射流的切割力与液流速度的平方成正比：$F=\rho AV^2$。流速越快，破坏力越大。因此都采用大泵压来增加流速和流量。限于我国的载能介质泵的泵压都在20~30MPa，为进一步增大流速，所以才出现了二重、三重的空气帷幕，根据实验统计，喷射压力愈大，成桩直径大，流速愈高。

2. 旋转速度

土体破坏的程度与高速射流束的相对移动速度有关。土体受射流定向冲击后，很快被穿透。穿过的深度随持续喷射时间的增加而增大。当冲击力的能量等于切割土体消耗的能量时，切割停止、穿透深度不再增加，这时的深度为最大深度，相应的达到最大深度时的最短喷射时间为最佳喷射时间。

由于喷咀的旋转和提升，土体受射流冲击时间小于最佳喷射时间，则切割深度小于可能达到的最大深度，喷射时间愈短，切割深度愈小，日本提出的曲线图：

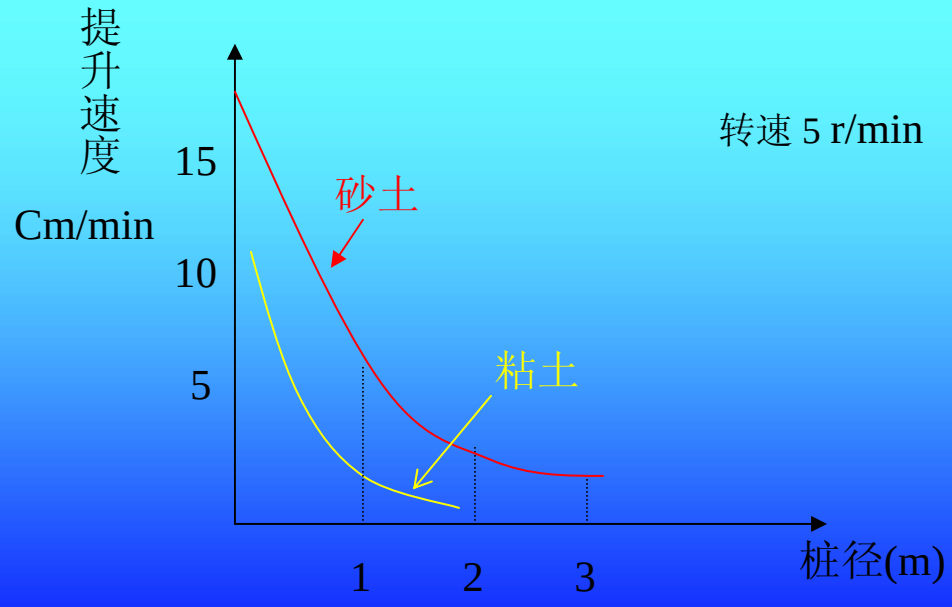


3．提升速度

旋喷提升方式有两种、第一种为连续提升（灌浆管不间断的等速向上运动）。第二种为阶段提升（灌浆管每提5cm后，停止数秒至十几秒再提升，不等速向上运动）。两种提升方式对桩径影响不大，但阶段提升土颗粒粒径较大，桩体强度比连续提升差。

提升速度对桩径的影响如图：

提升越快、桩径越小，当少于2cm/分时。桩径趋于一常数，提升快、相对位移快，喷射时间短，不能达到最大切割深度过快会形成螺旋沟槽。过慢喷流冲击力能量等于切割土体消耗能量，桩径不再增大。施工速度慢。



从理论上讲：旋喷移动速度愈小（旋转速度与提升速度），旋喷的质量愈好（桩径大，桩体强度高）。但在实际中，必须综合考虑旋喷质量与施工进度、经济成本等因素。目前一般采用下列参数：

单管旋喷：	旋转速度	20rpm	提升速度	20~25cm/min
二重管旋喷	旋转速度	15rpm	提升速度	8~10cm/min
二重改进型、三重管旋喷	旋转速度	10rpm（冒水不冒浆）	提升速度	8~10cm/min

单管移动速度最快，是因为单管靠固结浆液切割土体、提升慢会形成返浆量过大。

（七）、旋喷施工的几项工艺措施

1．旋喷深层长桩形固结体

地层情况随深度增加，在土质种类、密实程度、地下水状态方面，一般都有明显差异，若用单一固定参数施工深层长桩形固结体，必然形成桩径上粗下细的固结体，影响桩体的承载力或抗渗作用。因此，应根据地质情况，改变旋喷参数，对深层硬土，应增加压力和流速，降低旋转和提升速度。才能获得较均匀密实的长固结体。

2. 重复喷射

在不同的介质中，有效喷射长度差别很大，第一次喷射时，喷射流冲击切割对象是原状结构土，第二次重复喷射时，冲击破坏对象是浆土混合物和已遭破坏的土，喷射阻力减小，因此，重复喷射有增大固结体直径的效果，增大的数值松散土不如较密实土明显。因为松散土第一次喷射时已接近最大破坏范围（重复喷射时必然出现冒浆，水泥用量增大，成本将增加）。

重复喷射有增径效果，但影响施工速度，一般用于工程要求大直径桩体或发现喷浆量不足（影响固结体质量）时，采用重复喷射。

3. 冒浆处理

在旋喷过程有部分水、土、浆液随着旋喷管壁冒出地面，通过对冒浆的现象，可以及时了解地层状况、旋喷的大致效果和参数的合理性。冒浆量小于20%为正常现象，超过20%或不冒浆，应查明原因并采取相应措施。

(1)地层空隙较大不冒浆：可在浆液中加适量速凝剂，减小渗漏距离，也可增大注浆量填满空隙后再正常旋喷。

(2) 喷射范围与注浆量不适应，冒浆量过大。

减少冒浆量的措施有：提高喷射压力（扩径）。
加快旋转提升速度（缩小孔径、加快成桩）。
不允许缩桩时缩小喷咀直径（减小浆量）。

冒出地面的浆液可经过，过滤沉淀和调浓后再使用，回收浆液中混有砂粒、土粒，只能用于改进型二重和三重旋喷，（单独喷浆且喷咀直径大（Φ5~6mm不易堵塞）。

4．控制固结体形状

固结体形状可通过调节喷射压力和注浆量，改变喷咀旋转提升速度加以控制，根据工程需要，可喷射成以下几种形状：

① 圆柱状：边旋转边提升；

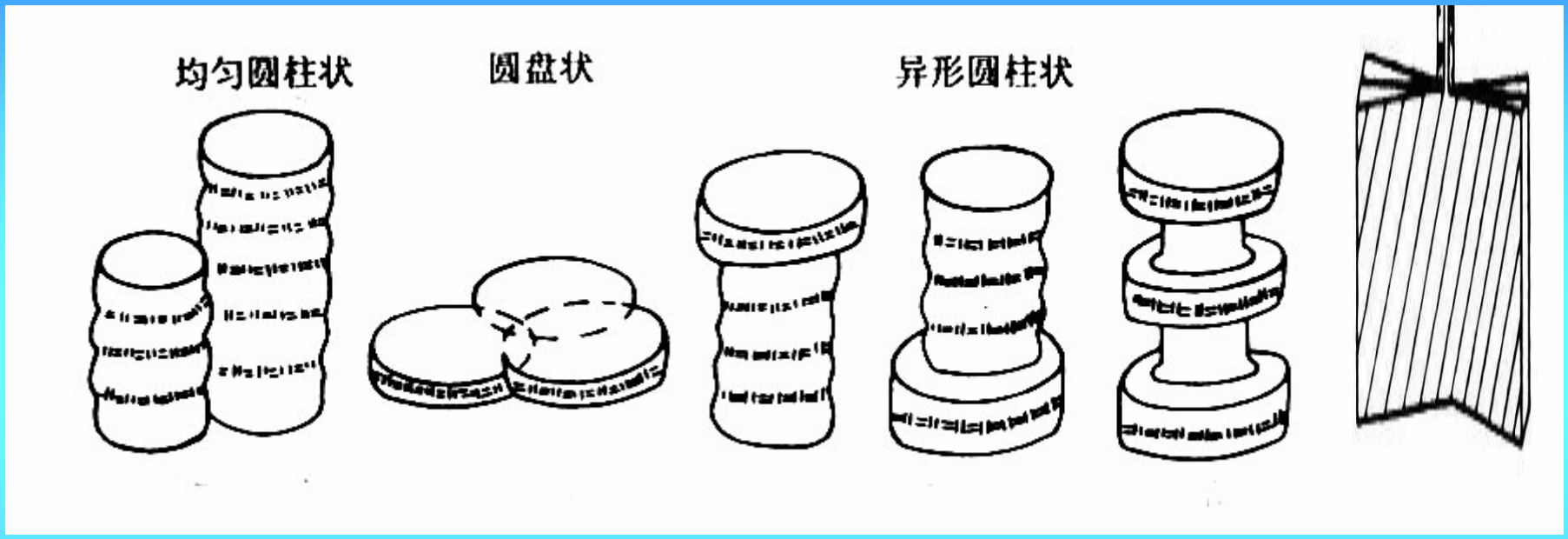
② 圆盘状：只旋转不提升或小范围慢速提升；

③ 糖葫芦状：减慢旋转速度，长距离阶段提升（扩径段，高压、慢转、慢升）；

④ 大底状：在孔底部加大压力，降低旋转提升速度重复喷射。

⑤ 大帽状：喷射到桩顶时，加大压力重复喷射。

⑥ 墙壁状：只提升不旋转（摆喷基本不用）定喷。



固结体的六种基本形状

旋喷扩径桩



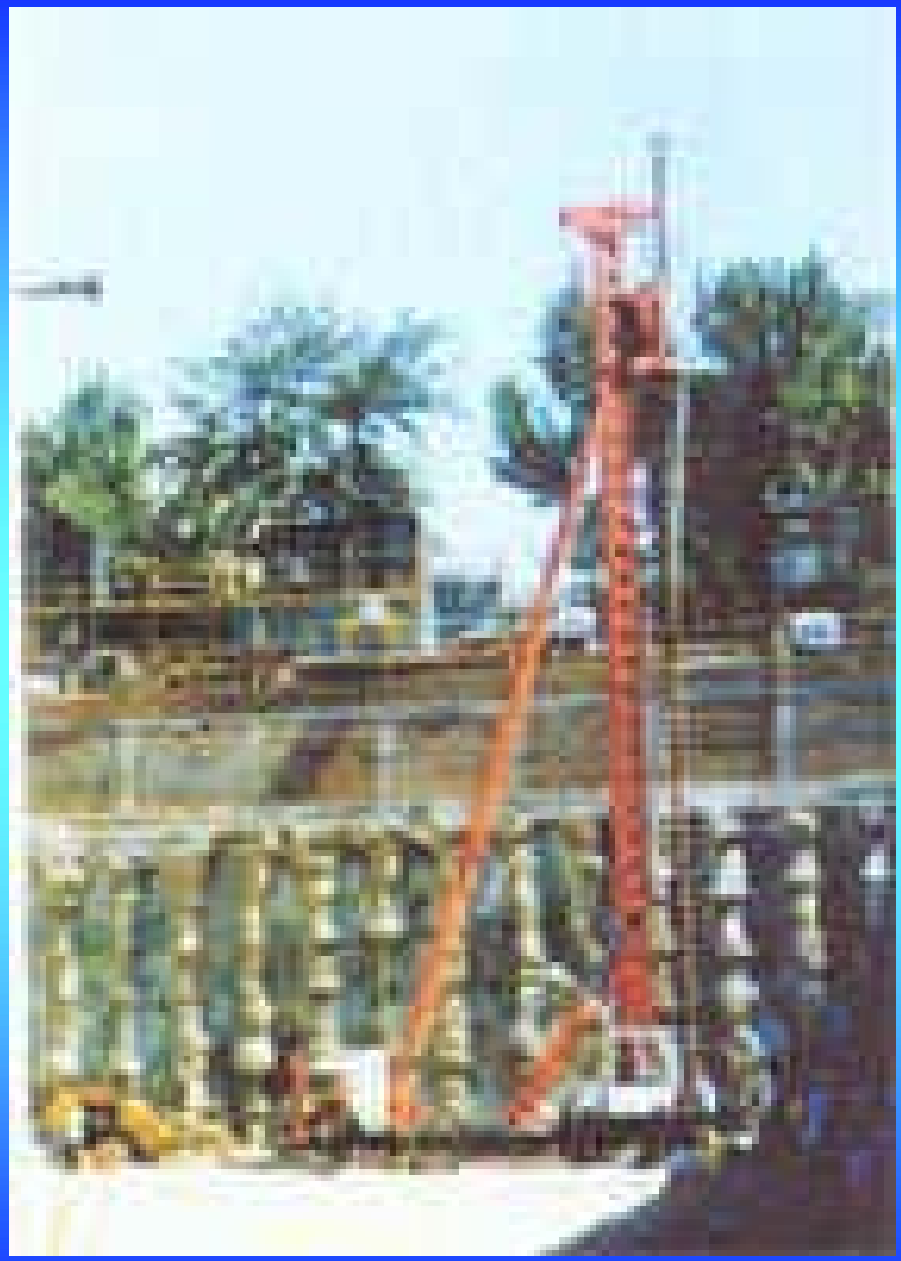
5. 消除固结体顶部凹穴

由于水泥浆液的析水作用，造成固结体顶部出现凹穴、凹穴的深度与土质，浆液析水性，固结体直径和长度有关，一般深度为0.3~1.0m，凹穴现象对地基加固和防渗堵水极为不利可采取相应措施消除：

（1）对新建工程地基：可开挖出固结体顶部、灌注混凝土或再填满为止。

（2）对既有构筑物地基：采用两次注浆。旋喷完后，固结体顶部与构筑物基础的底部之间有空隙，在原孔位作二次注浆，浆液应不收缩或微膨胀，可在浆液中加钻粉3%（水泥重量）。

旋喷桩开挖现场



三、 深层搅拌

深层搅拌加固软层地基，分为浆体喷射深层搅拌和粉体喷射深层搅拌。

（一）、浆体深层搅拌加固原理

加固材料为水泥浆，将水泥浆输送到深部地层，用特制搅拌机械就地进行强制搅拌，使水泥与地层软土混合，结成具有整体性和足够强度的桩体。桩体与桩间土形成复合型地基，共同承受建筑物荷载。

1、水泥浆与粉土的作用机理

（1．离子交换与团粒化反应（土表面K^+，Na^+与水泥浆中Ca^{2+}吸附交换，使土颗粒成较大土团粒）

（2．凝硬反应：水泥浆的水化凝硬反应）

（3．碳酸化反应：水泥水化产生的$Ca(OH)_2$吸收水中CO_2生成$CaCO_3$沉淀，使土颗粒胶结）

2、水泥浆的配比

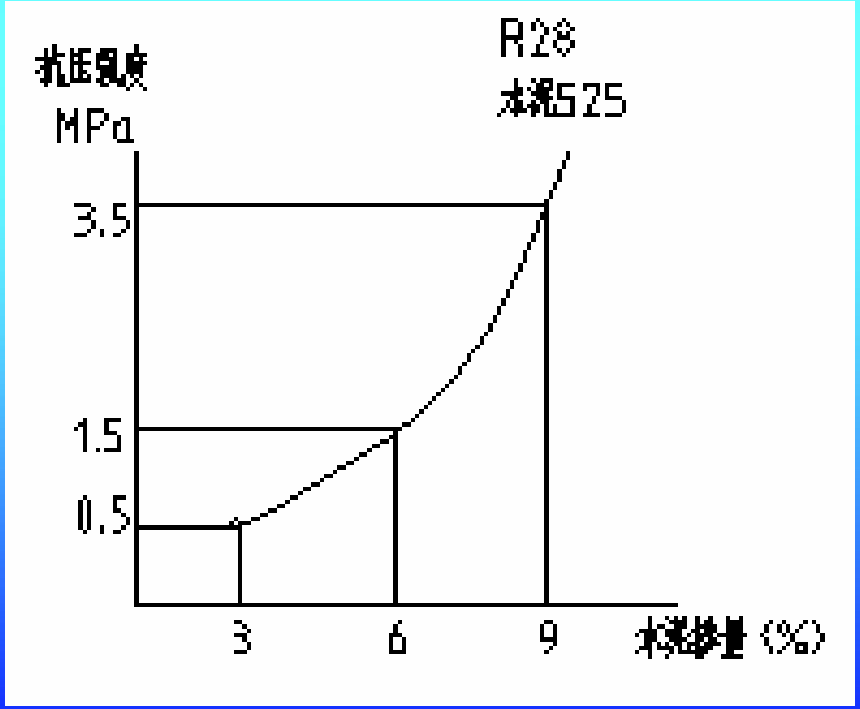
深层搅拌主要用于软土和砂土，配浆时，既要考虑流动度满足泵送要求（>160mm），又要考虑软土含水量大，若水灰比过大会影响固结强度。因此，需要加入减水剂，膨胀剂等外掺剂。

石膏与水化物生成钙矾石体积膨胀1.32倍。

配比：水灰比0.5，干水泥+水+减水剂NNO或MC+膨胀剂（石膏）=100+50+0.2+2~3

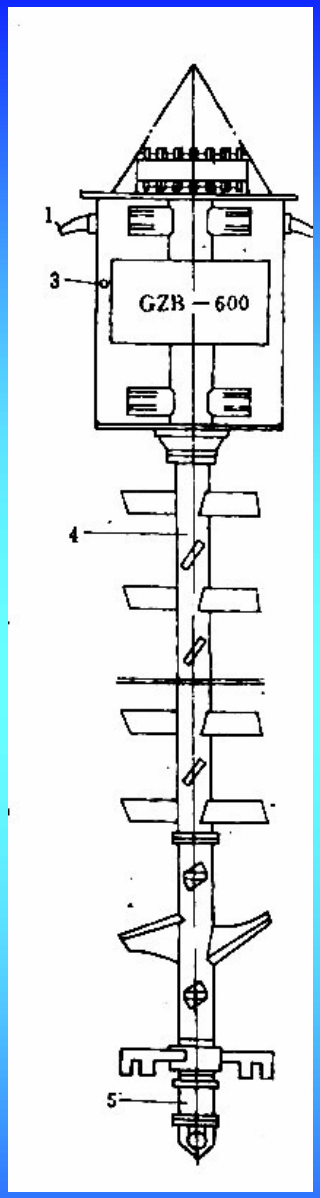
水泥掺量：掺量大，强度高，成本高，掺量小，强度低，根据工程要求的固结强度，查对试验曲线求得。

$$\text{水泥掺量（\%）} = \frac{\text{水泥用量}}{\text{被加固软土重量}} \times 100\%$$

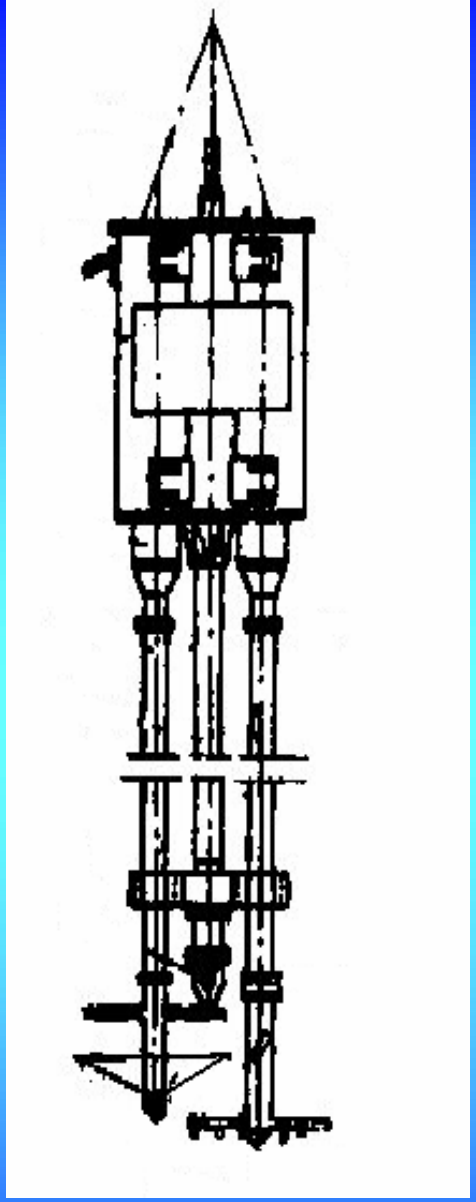


图为525#普通硅酸盐水泥

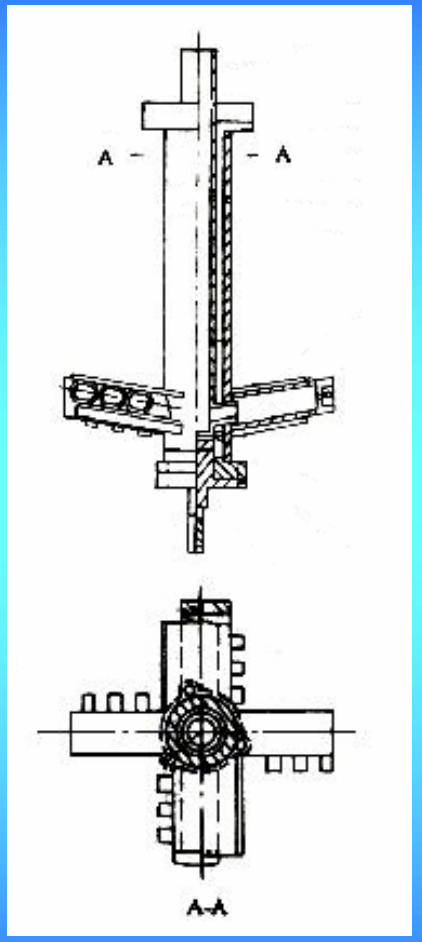
深层搅拌



单搅拌翅（11m）



双搅拌翅（11m）



3、深层搅拌工程序

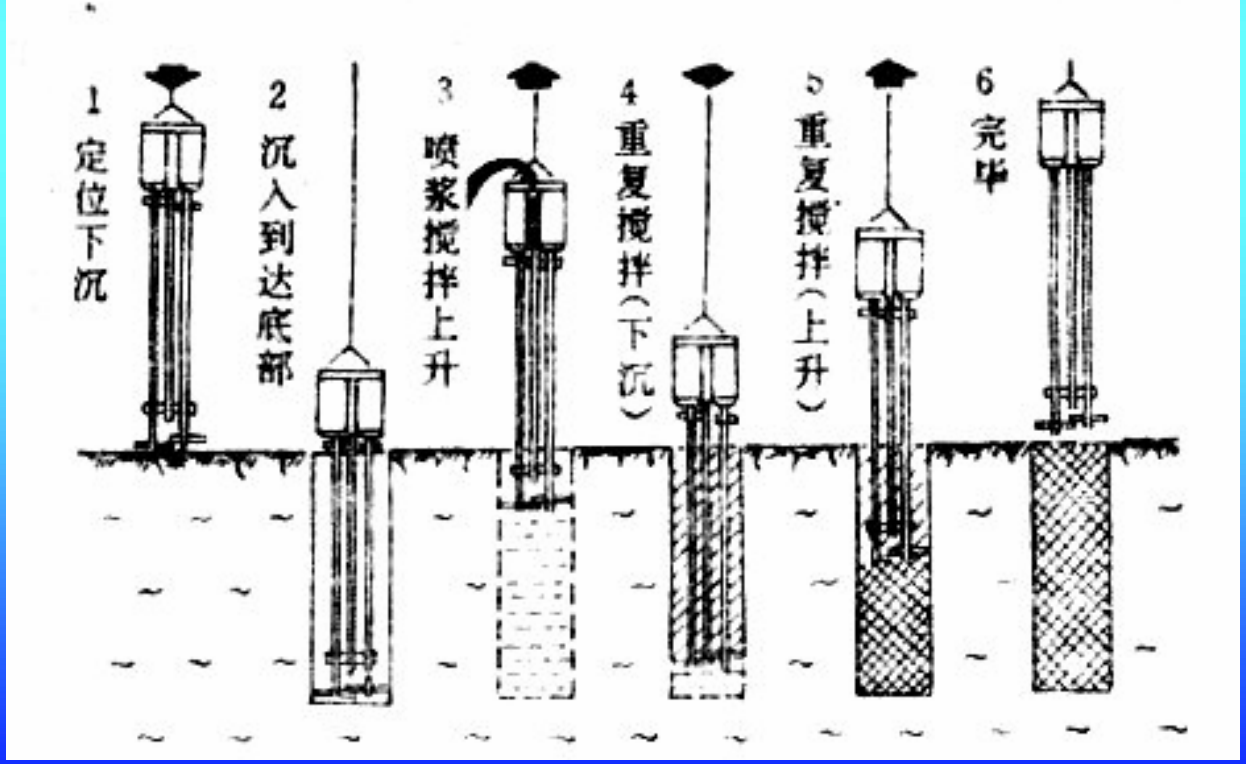
1）．就位：将深层搅拌机、用钻机或吊车吊至孔位对中。

2）．切土成孔：开动搅拌机，待转速正常后，边旋转切土边下沉直至设计深度。

3）．喷浆搅拌：开动灰浆泵压浆，边压浆边回转搅拌边慢速提上。

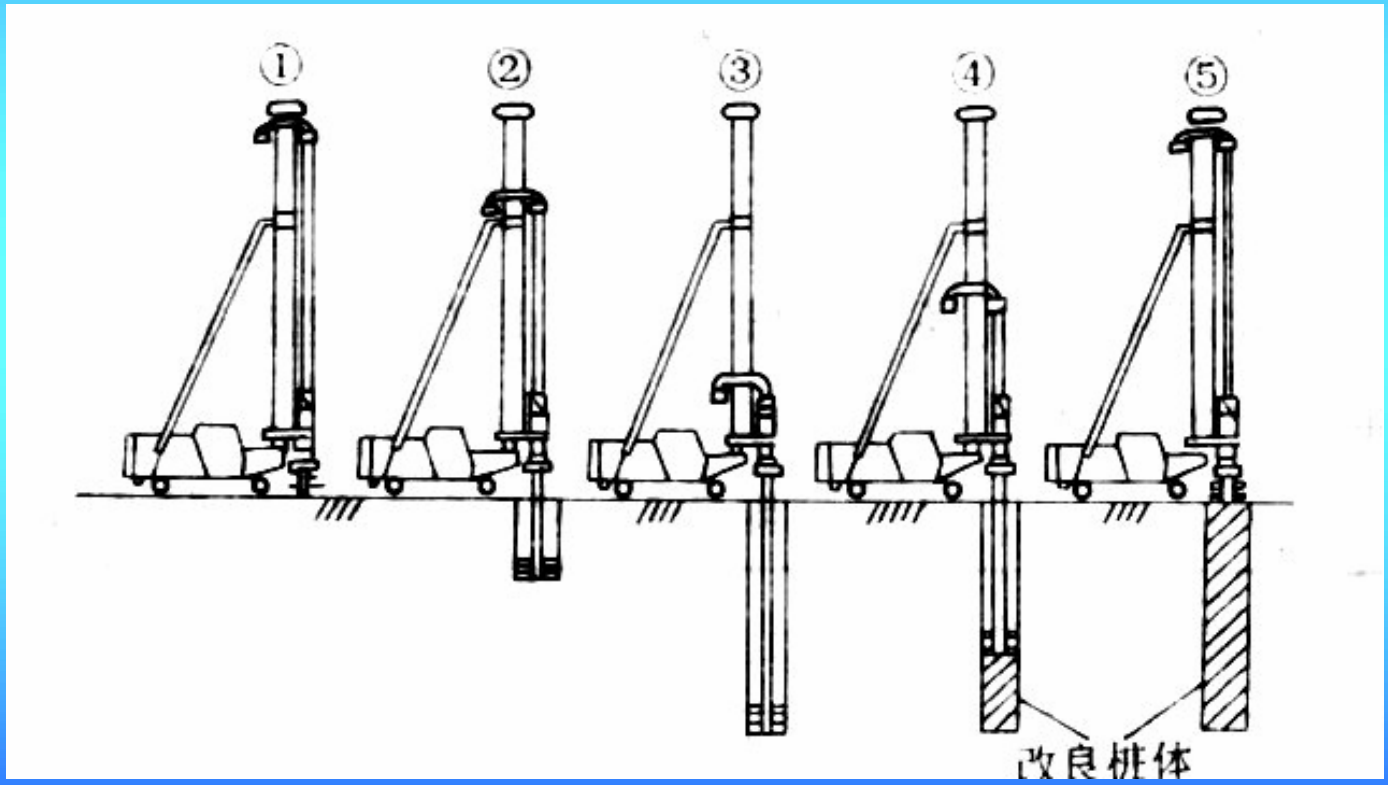
4）．重复搅拌：当压浆搅拌提升至孔口时，停止压浆，将搅拌机再次搅拌下沉至设计深度，然后搅拌提升至地面，以保搅拌混合均匀。

5）．搅拌结束，移至新孔。



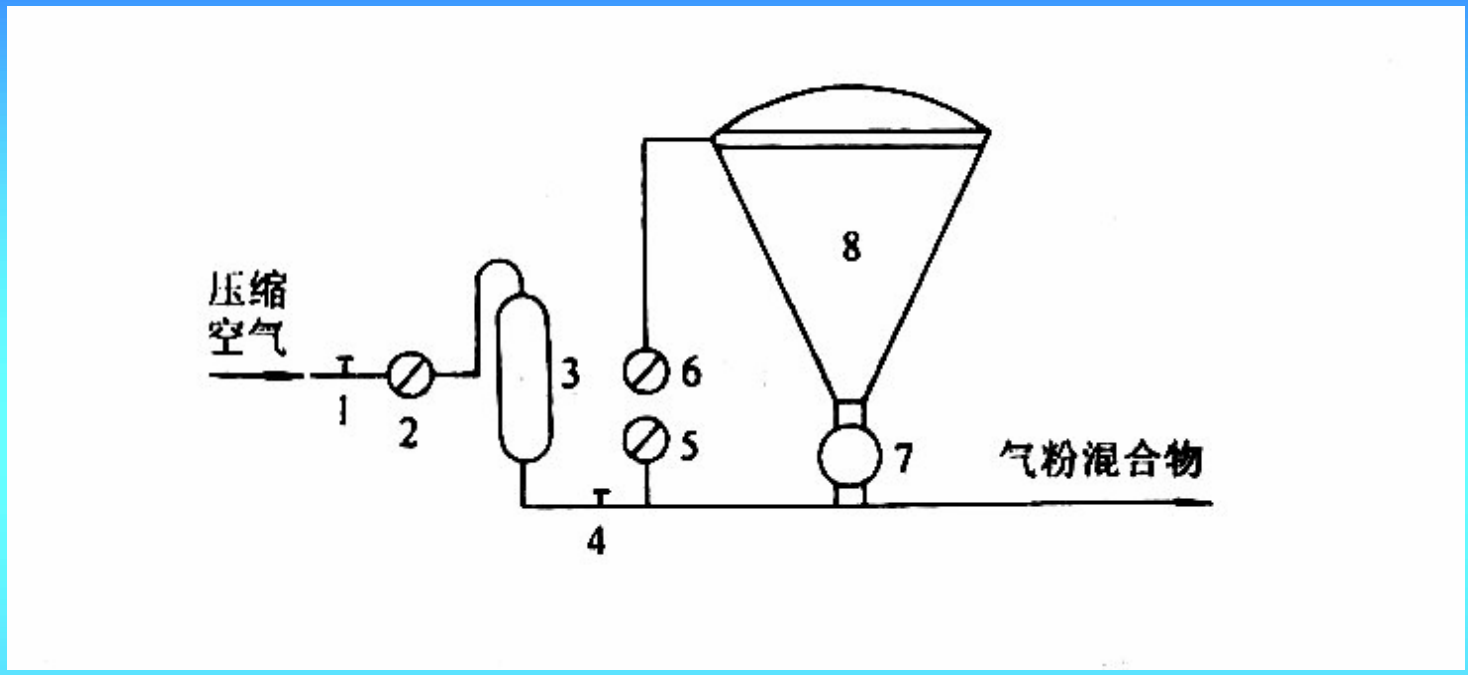
（二）、粉体喷射搅拌

粉体喷射搅拌法使用的固化剂除石灰、水泥之外，还有石膏及矿渣等。在目前实际工程中使用的主要是石灰和水泥，与软土搅拌后通过固结反应等形成稳定的石灰土、水泥土。



①定位，②预搅下沉，③预搅下沉结束，④提升喷粉搅拌，⑤提升结束，搅拌桩形成，⑥重复搅拌，⑦钻头提升至地面后，钻机移位

粉体发送器



粉体发送器的工作原理

1-节流阀；2-流量计；3-气水分离器；4-安全阀；5-管道压力表；6-灰罐压力表；7-发送器转鼓；8-灰罐

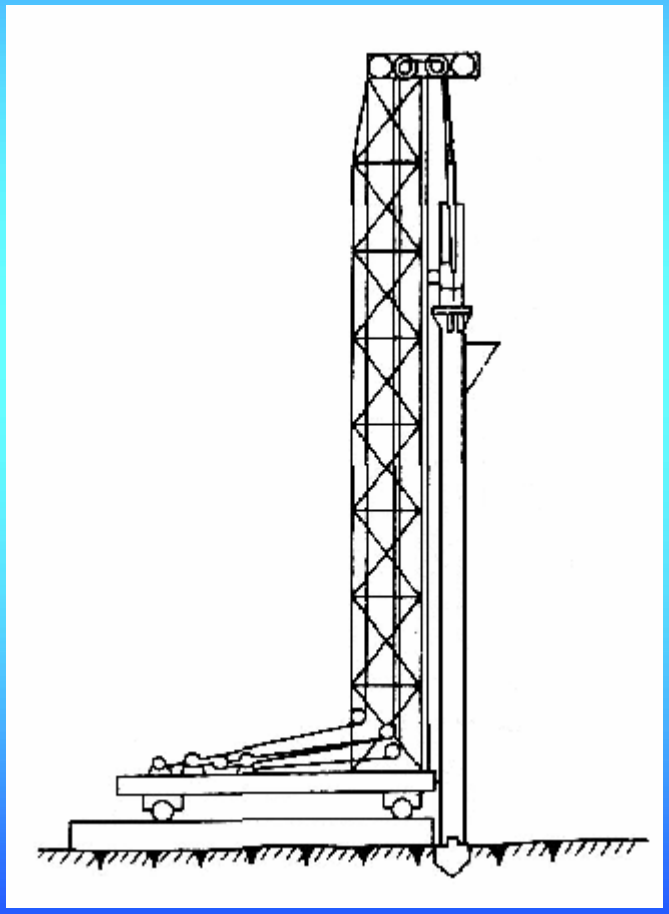
四、水泥粉煤灰碎石桩

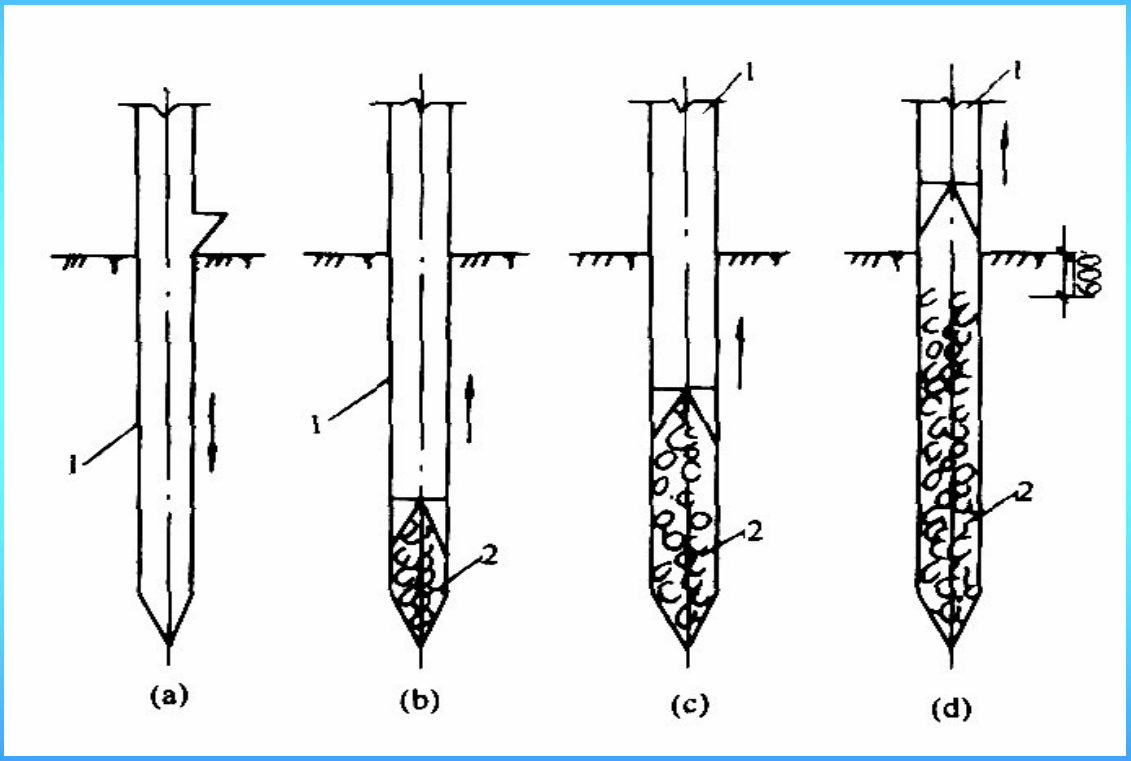
(Cement Fly-ash Gravel Pile) (CFG桩)

在碎石桩的基础上掺入适量石屑、粉煤灰和少量水泥，加水拌合后制成的一种具有一定强度的桩体。其骨料仍为碎石，用掺入石屑来改善颗粒级配，掺入粉煤灰来改善混合料的和易性，并利用其活性减少水泥用量；掺入少量水泥使其具有一定粘结强度。

(CFG桩)不同于碎石桩。碎石桩是由松散的碎石组成，在荷载作用下将产生鼓胀变形，当桩周土为强度较低的软粘土时，桩体易产生鼓胀破坏，并且碎石桩仅在上部约3倍桩径长度的范围内传递荷载，超过此长度，增加桩长，承载力提高不显著，故碎石桩加固粘性土地基，承载力提高幅度不大(约20％～60％)。CFG桩是一种低强度混凝土桩，可充分利用桩间土的承载力共同作用，并可传递荷载到深层地基中去，具有较好的技术性能和经济效果。

CFG桩施工过程





(a)打入桩管;(b)、(c)灌粉煤灰碎石振动拔管;(d)成桩

图1－13 水泥粉煤灰碎石桩工艺流程图

1－桩管，2－粉煤灰碎石桩



- 复合地基粉喷桩施工

桩基础工程施工技术

- 桩基础
  - 预制桩
    - 击入桩
    - 静压桩
  - 钻孔灌注桩
    - 钻孔桩
    - 抽管桩
    - 挖掘桩
  - 大直径中空桩

钻孔灌注桩施工技术

定义：钻孔灌注桩—在钻孔内下入钢筋笼并灌注混凝土而筑成的钢筋砼桩。

一、钻孔灌注桩的主要特点：

1单桩承载力大，施工不受地层条件限制，桩深可达数百米，桩径可达6m以上；

2单桩承载力大，目前已设计到冰川漂石粘土层，单桩承力4000吨，岩层单桩承力达7000吨，

3基础深度大，地下建筑和重型建筑的建造必须采用承载力大的深基础，我国的桩基础深度已超过300m;

4场地占用小（与开挖、竖井相比）；

5工程成本低。

二、 钻孔灌注桩的成孔技术

（一）、施工前的准备

1．施工场地准备：根据施工地点水文、工勘资料及机具、动力材料、运输等情况进行场地设计布置。

场地为旱地时：应平整场地、换除软土、夯打密实（以防钻机座产生不均匀沉降）造成弯曲桩。

场地为浅水时：采用建岛法，岛顶面高出水0.5~1m。

场地为深水时：根据水深、流速及水底地层情况，采用固定式平台或漂浮式钻场。

2．复测基线和基点：标定钻孔桩位和高程。

3．埋置护筒：

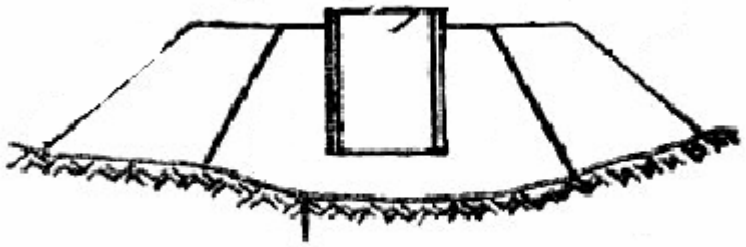
护筒的作用：固定桩位并作钻孔导向，保护孔口，隔离地表水，并保持孔内水位高出地面（护壁）0.2~0.5m。

护筒种类：木护筒、钢护筒、钢筋混凝土护筒。根据钻进成孔方法确定种类。

埋置护筒：

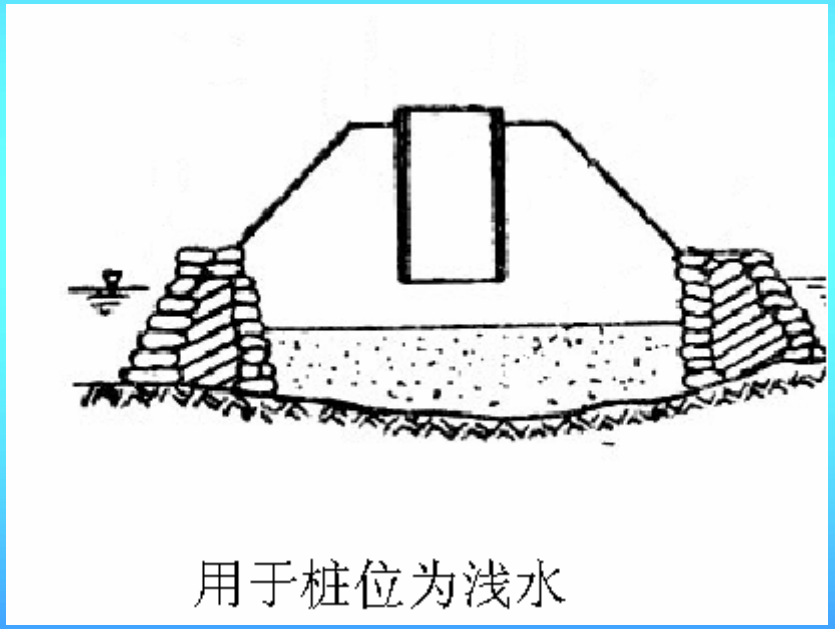


用于桩位为平地

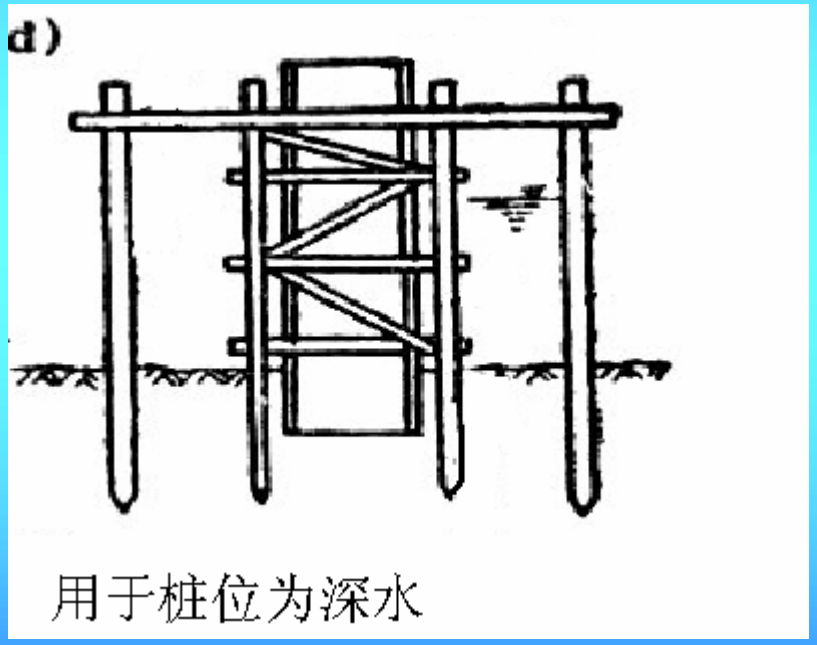


用于桩位为填方

埋置护筒：



用于桩位为浅水



用于桩位为深水

4．设备安装：包括移孔位设备（轨道变向移孔）管道式移孔、步履式移孔、吊装式移孔和打桩自拉式移孔。

5．试成孔：施工前便试成孔数不少于两个。以便复核地质资料。施工方案技术可行性，若不能满足设计时，制定补救措施或修改方案。

（三）、钻孔灌注桩一般成孔方法

1. 正循环回转钻进成孔

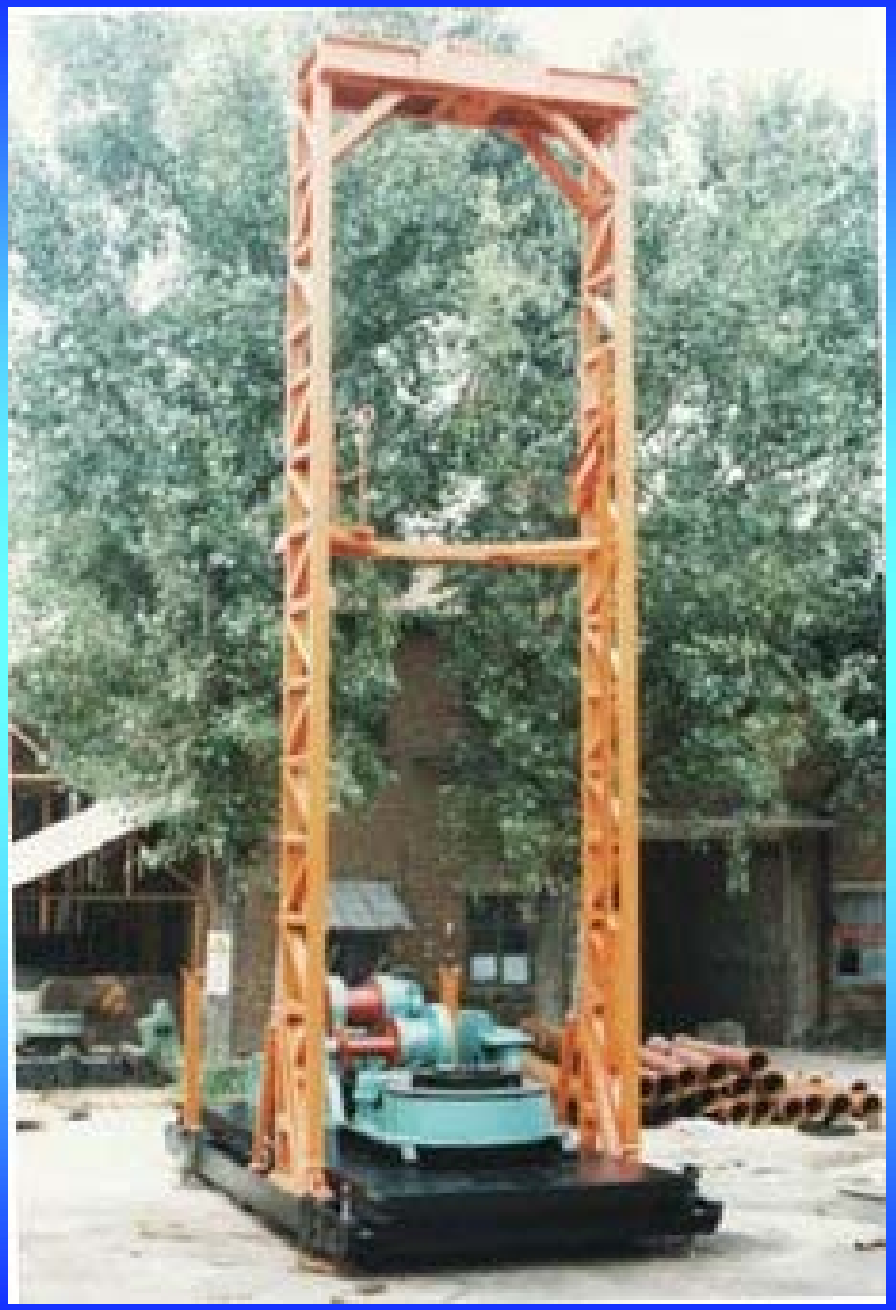
冲洗液由钻杆与孔壁间隙返回地面。间隙大，上返流速低，孔底岩渣不易排除。

适用地层：填土、粘土、淤泥、砂土基岩和粒径<10mm含量<15%的卵砾层孔径<800mm钻进。

SJ-300\400型钻机



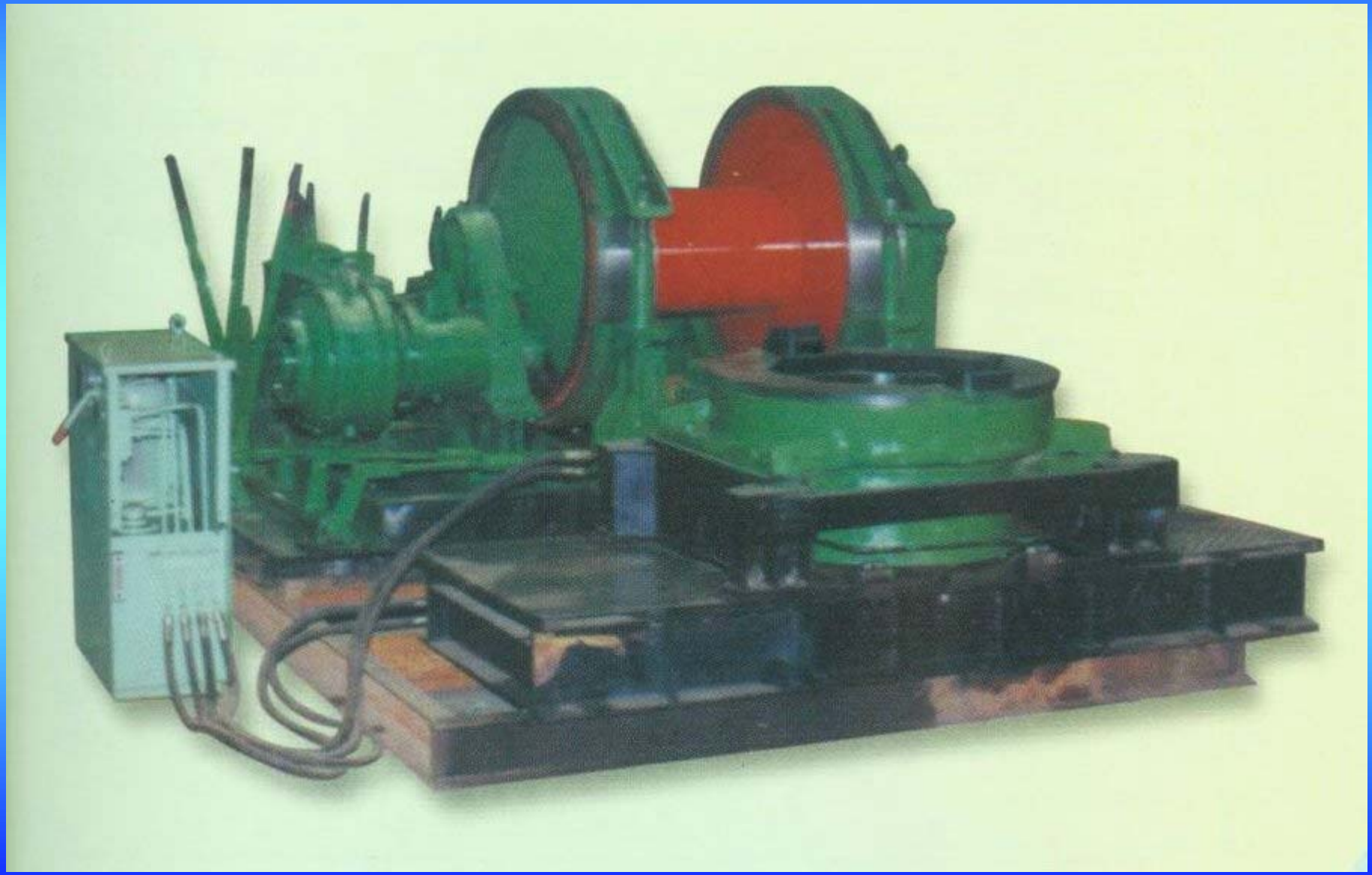
泰山-20回转钻机



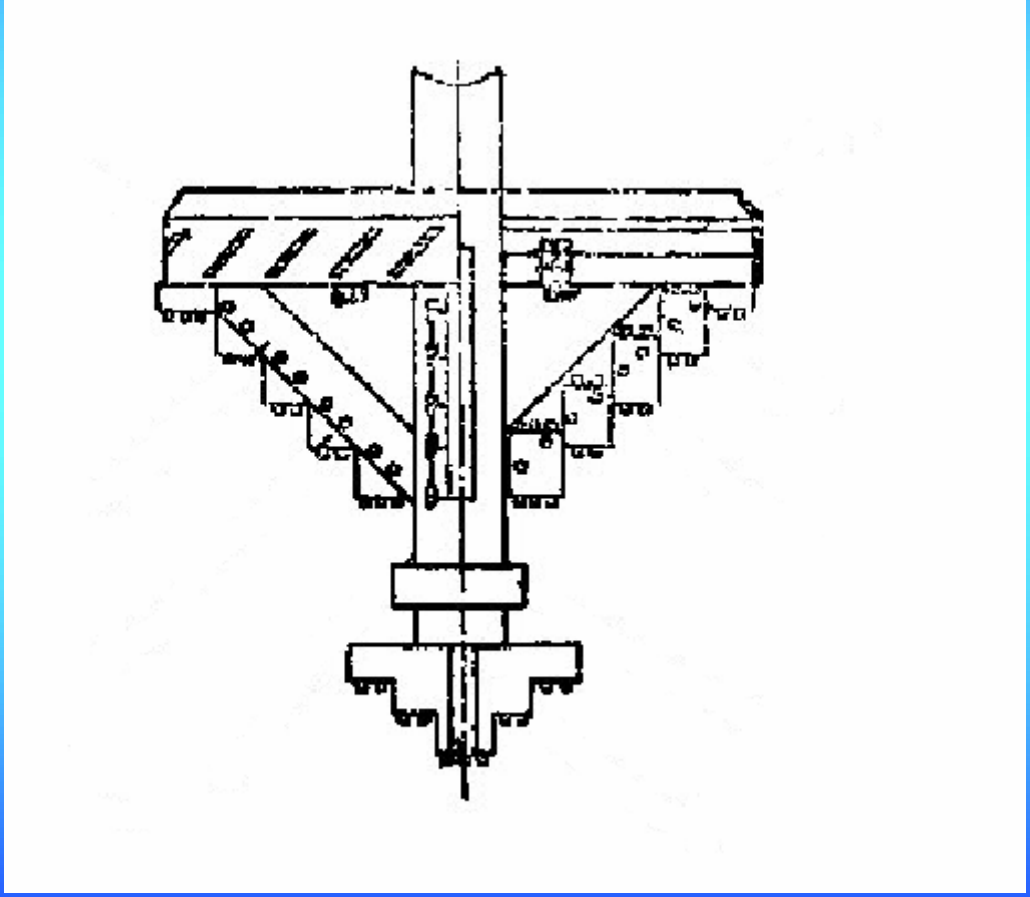
泰山-15 回转钻机



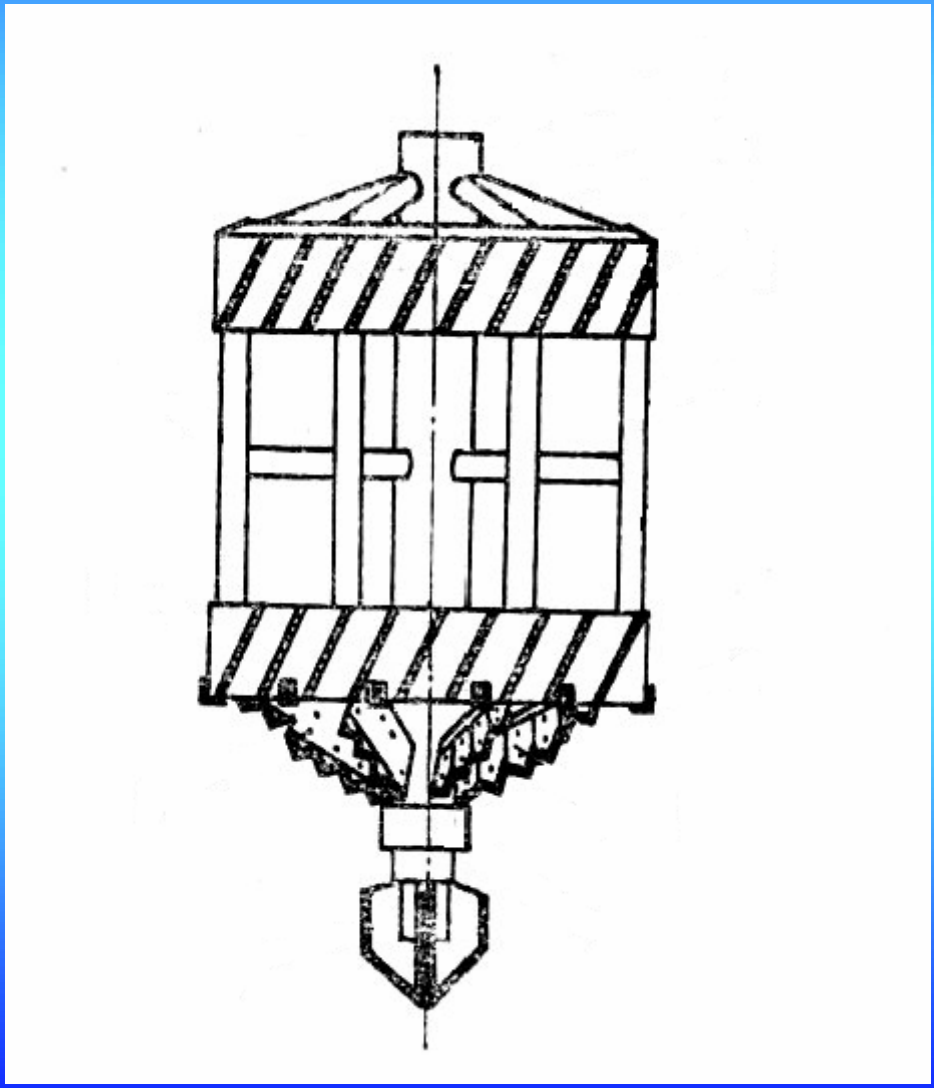
转盘式钻机

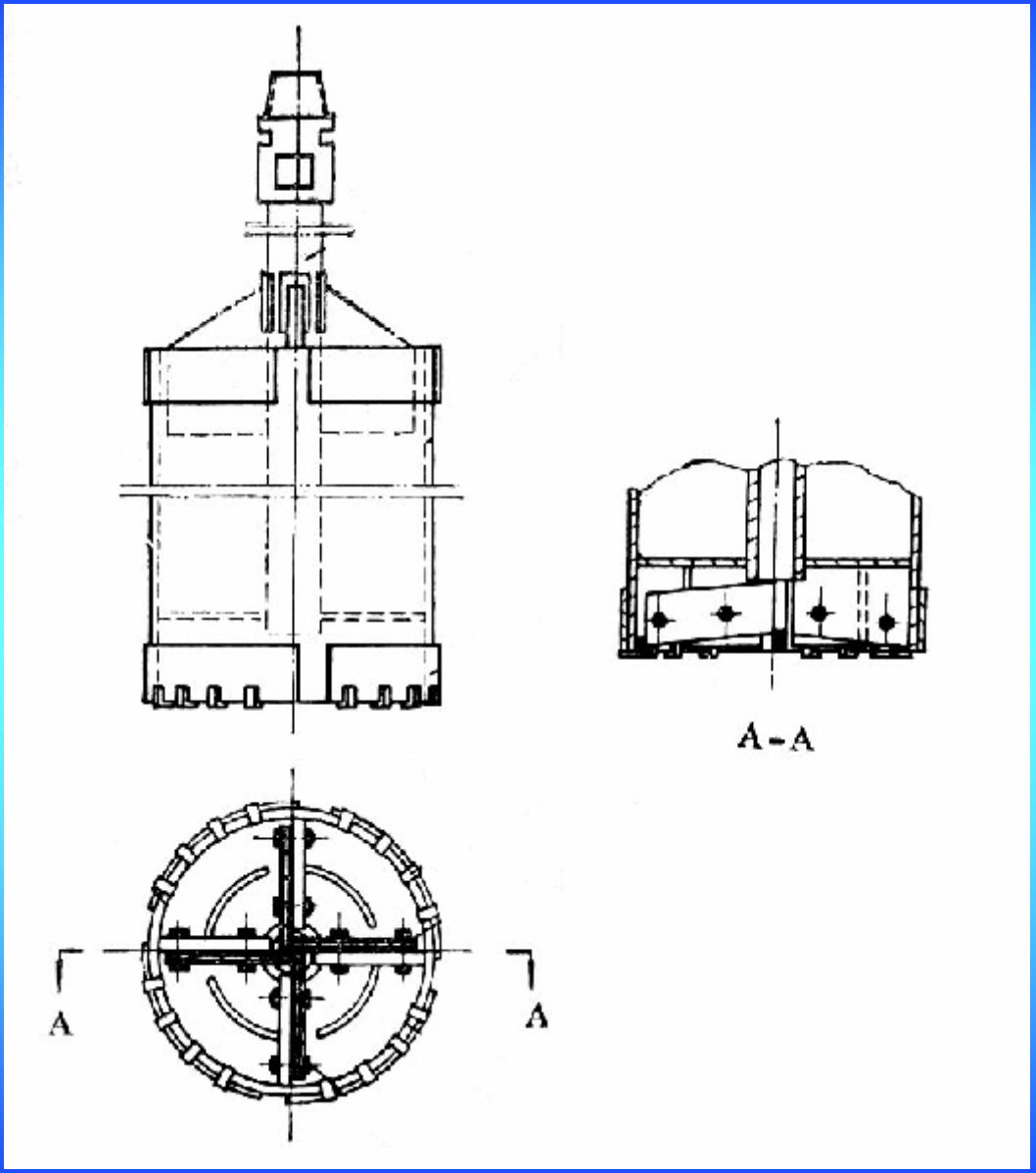


回转钻进用钻头



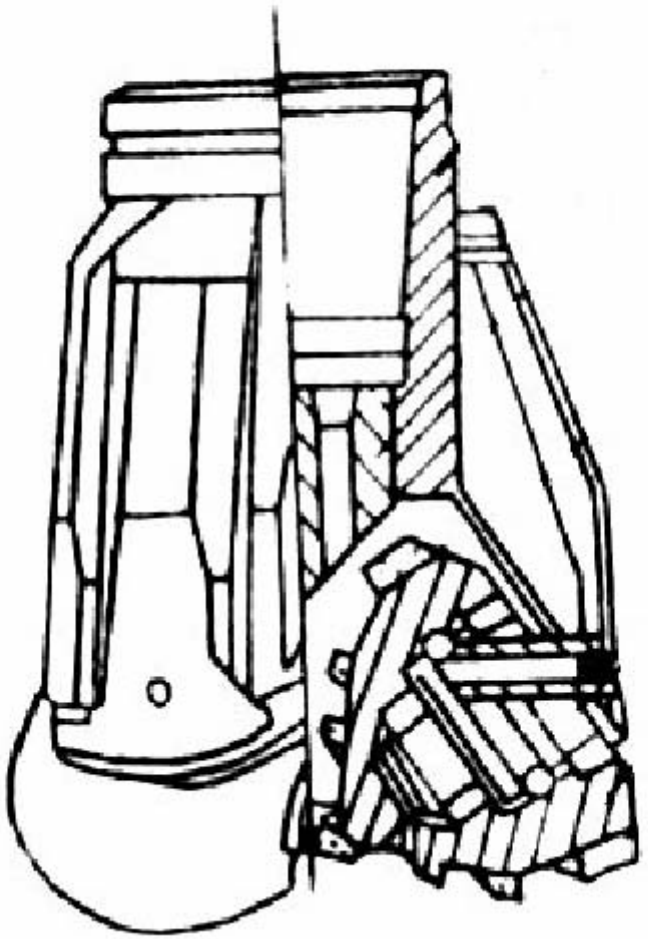
回转钻进用钻头



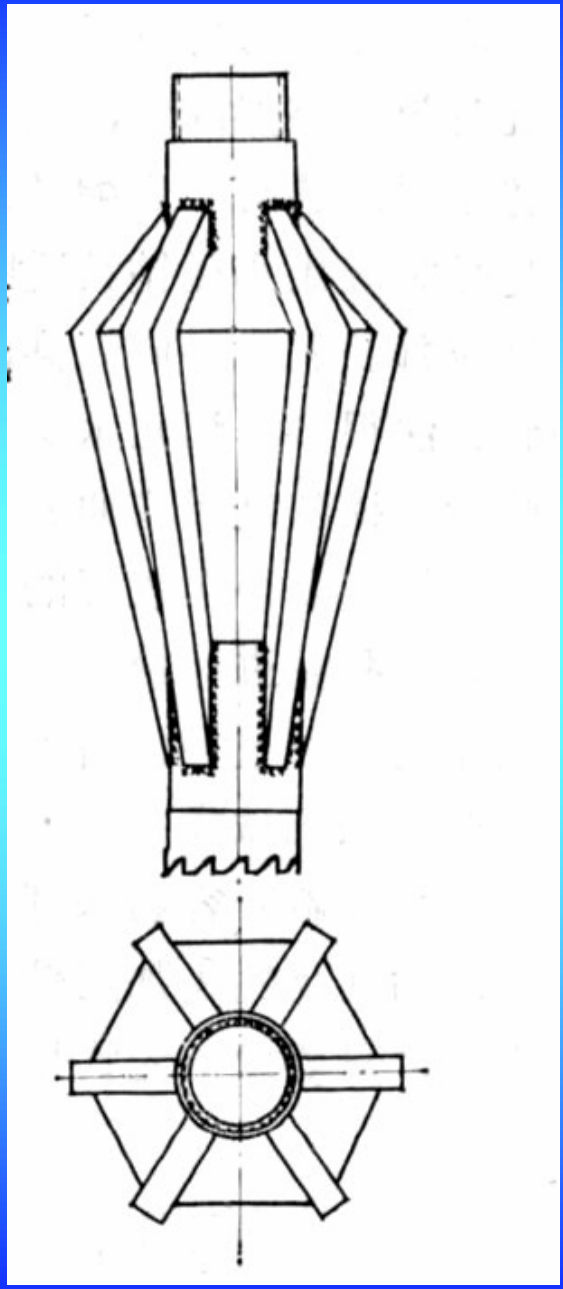

A-A
A
A

回转钻进用钻头

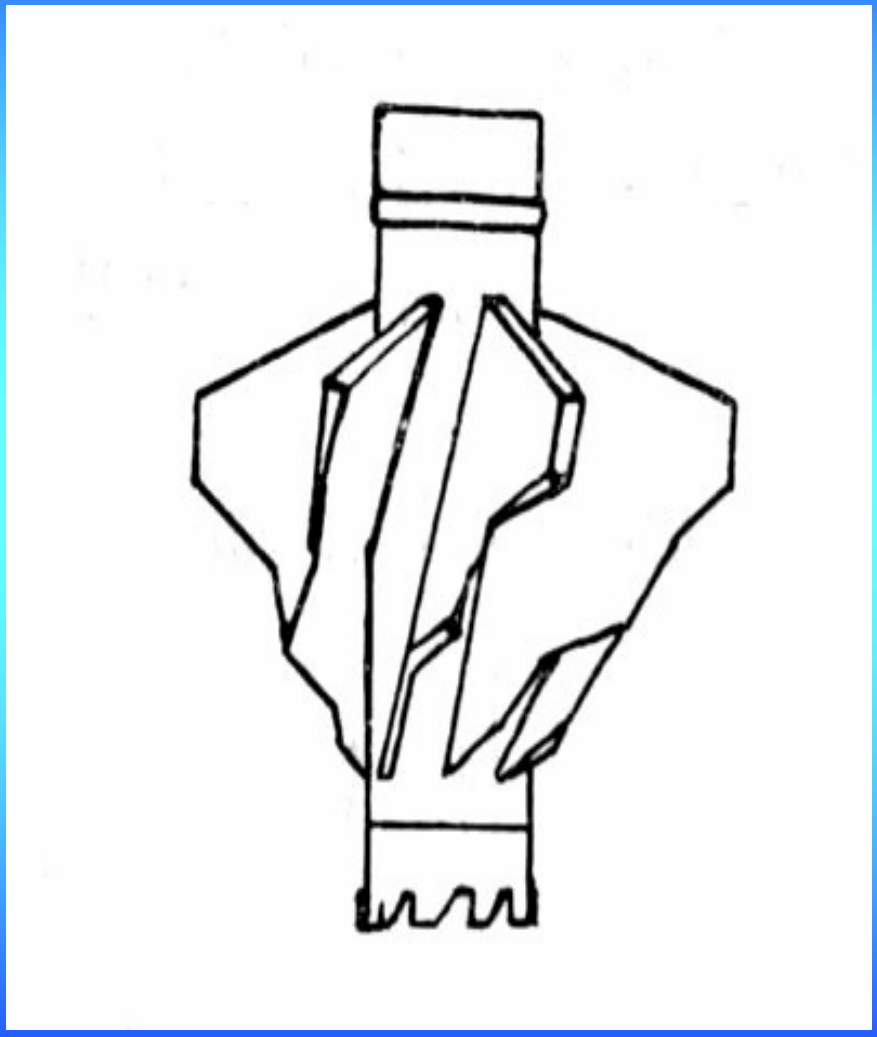
牙轮钻头

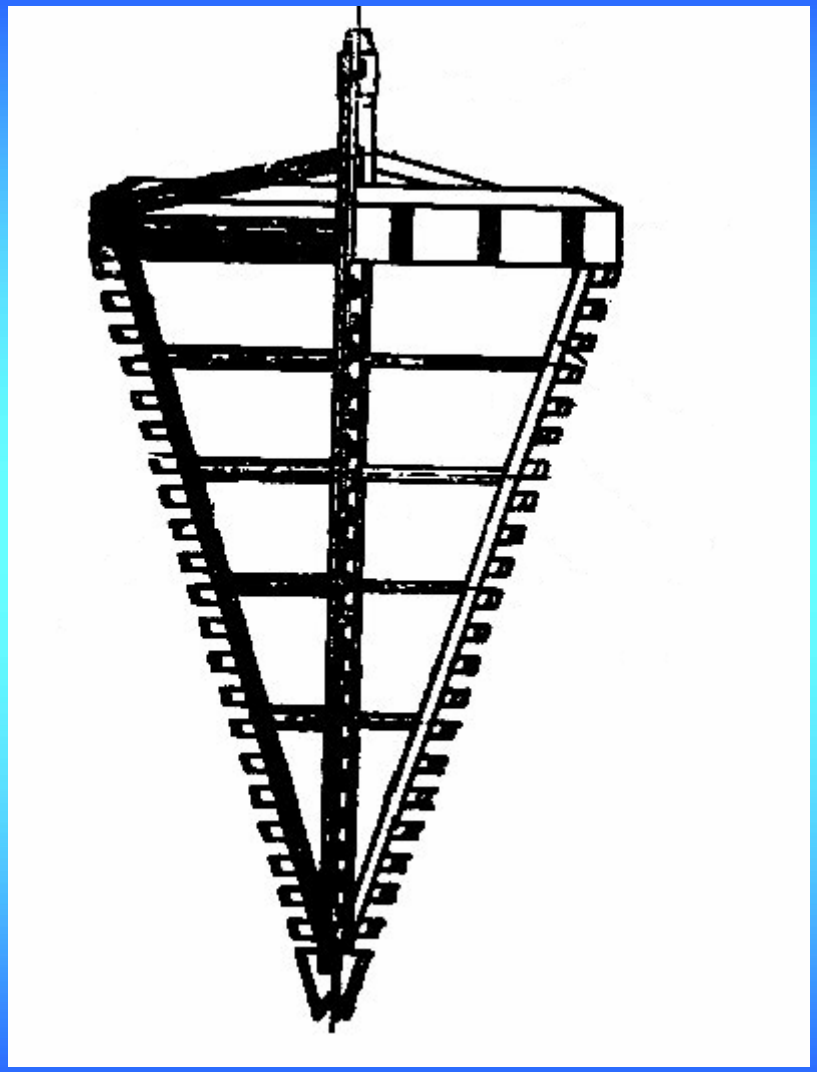


扩孔钻进用钻头



扩孔钻进用钻头





2. 反循环回转钻进成孔：

冲洗介质由钻杆与孔壁间隙流入，经钻头从钻杆中心流回地面的循环方式称为反循环。

反循环钻进能有效地清除孔底岩渣，钻速较正循环快。适用地层：与正循环相同，卵石或碎石最大尺寸<钻杆内径的，孔径>600mm，孔深<80m，

GZ-50 型自行式反循环钻机

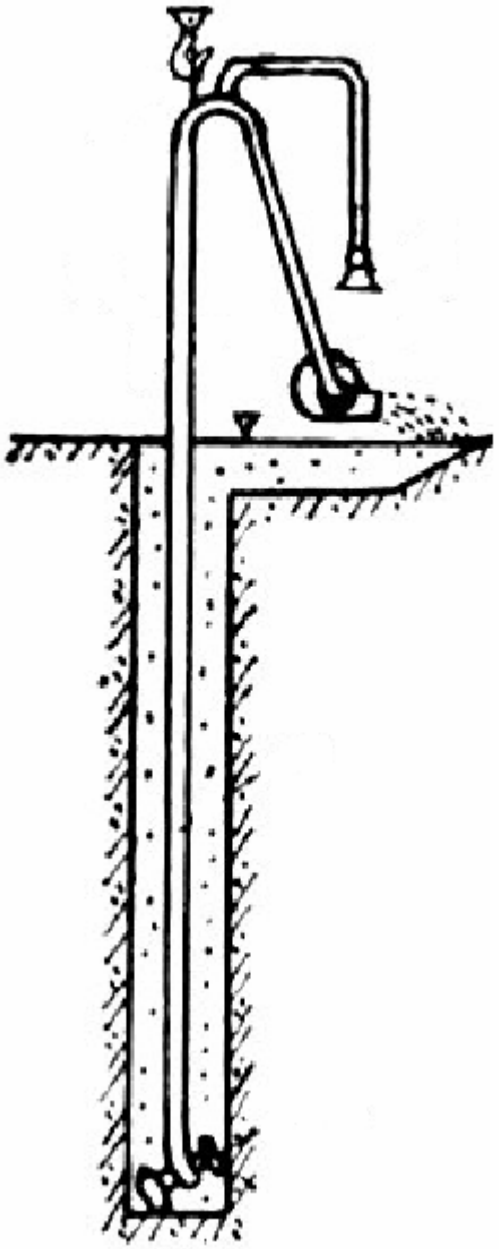


水陆两用钻机



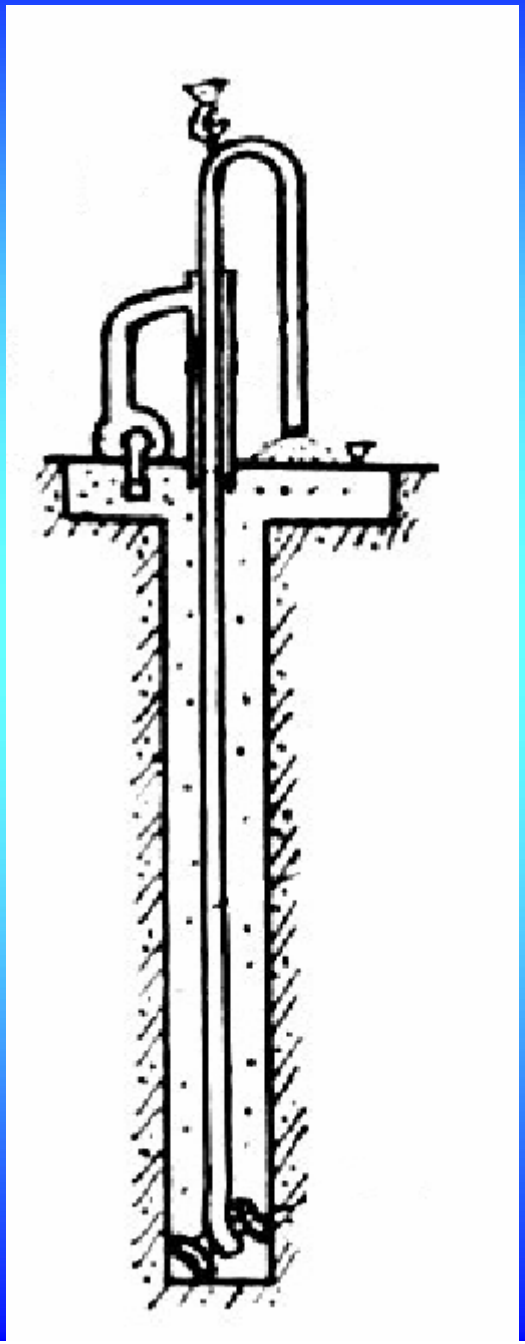
一、泵吸反循环钻进

（一）工作原理：泵的吸水软管与水龙头（鹅颈管）、钻杆柱、钻头连接。当泵工作时，在其吸水端（钻头）处形成负压，井口的液体在大气压作用下，从钻杆与孔壁间间隙经孔底钻头（携带岩屑从钻杆中空上升，通过水龙头、软管从泵中排至沉淀池，经沉淀后的液体以自流方式，自井口流至井底，形成循环。



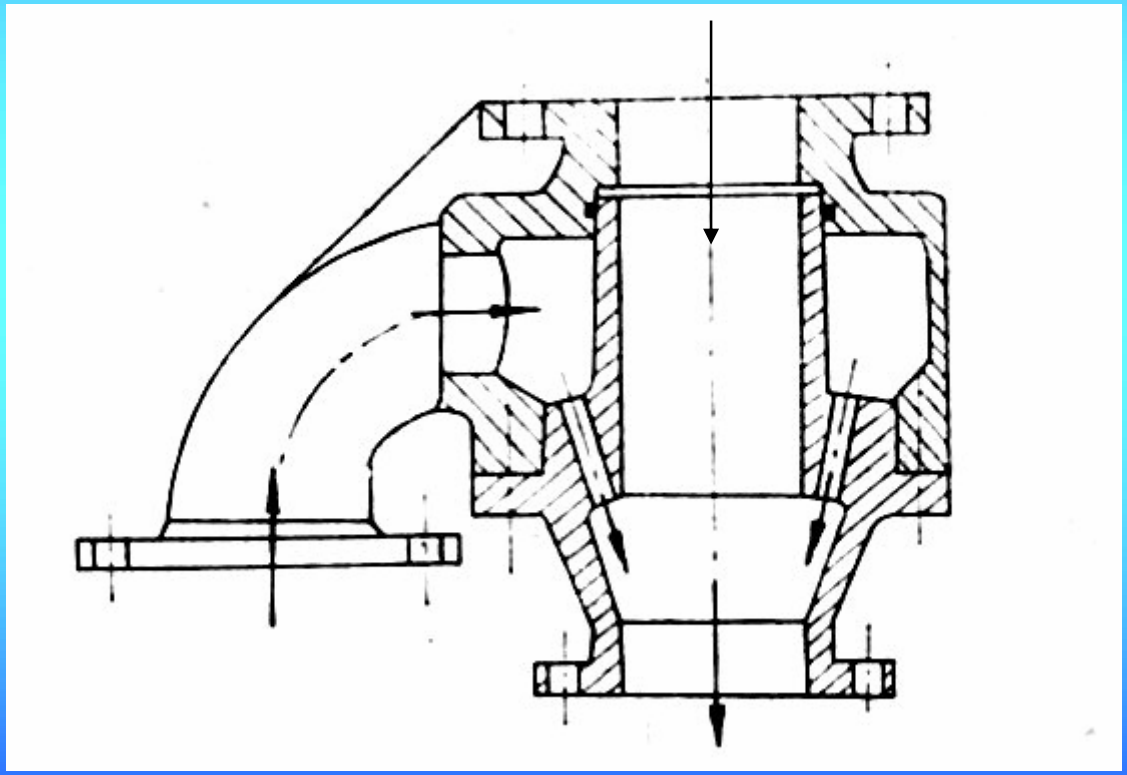
二、喷射反循环钻进

利用安装在循环管路上的射流泵（喷射元件）所产生的负压与循环流体形成压差，驱动循环流体流动。从而使井底的流体自钻杆中空返回地面，经沉淀后以自流方式从孔壁间隙流向井底形成循环 。



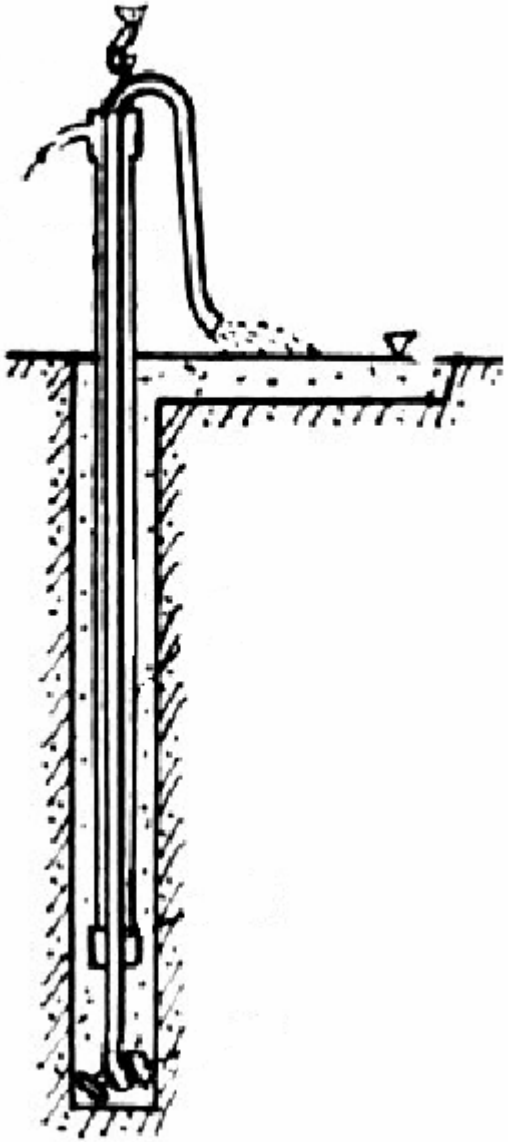
喷射泵：

由4~6个直径为10~15mm的喷嘴以环状布置构成。



三、气举反循环钻进（压气反循环）

将压缩空气通过供气管（风管）送至井下气液混合器，并使空气与钻杆内的液体混合，形成比重小于钻杆外流体的气液混合物，由于混合物液柱的压力低于钻杆外液柱压力产生压力差，根据连通器原理，钻杆外液体将向钻杆内流动，携带着岩屑的液体在混合室处被充气后，气、液、岩屑混合物一起上升被排出钻孔，流入沉淀池中，沉淀后的液体以自流方式流入钻孔环状间隙，形成反循环。



回转钻进中，多数采用全面钻进，部分采用扩孔钻进，极少用取心钻进。



3. 钢绳冲击钻进及冲击反循环钻进成孔

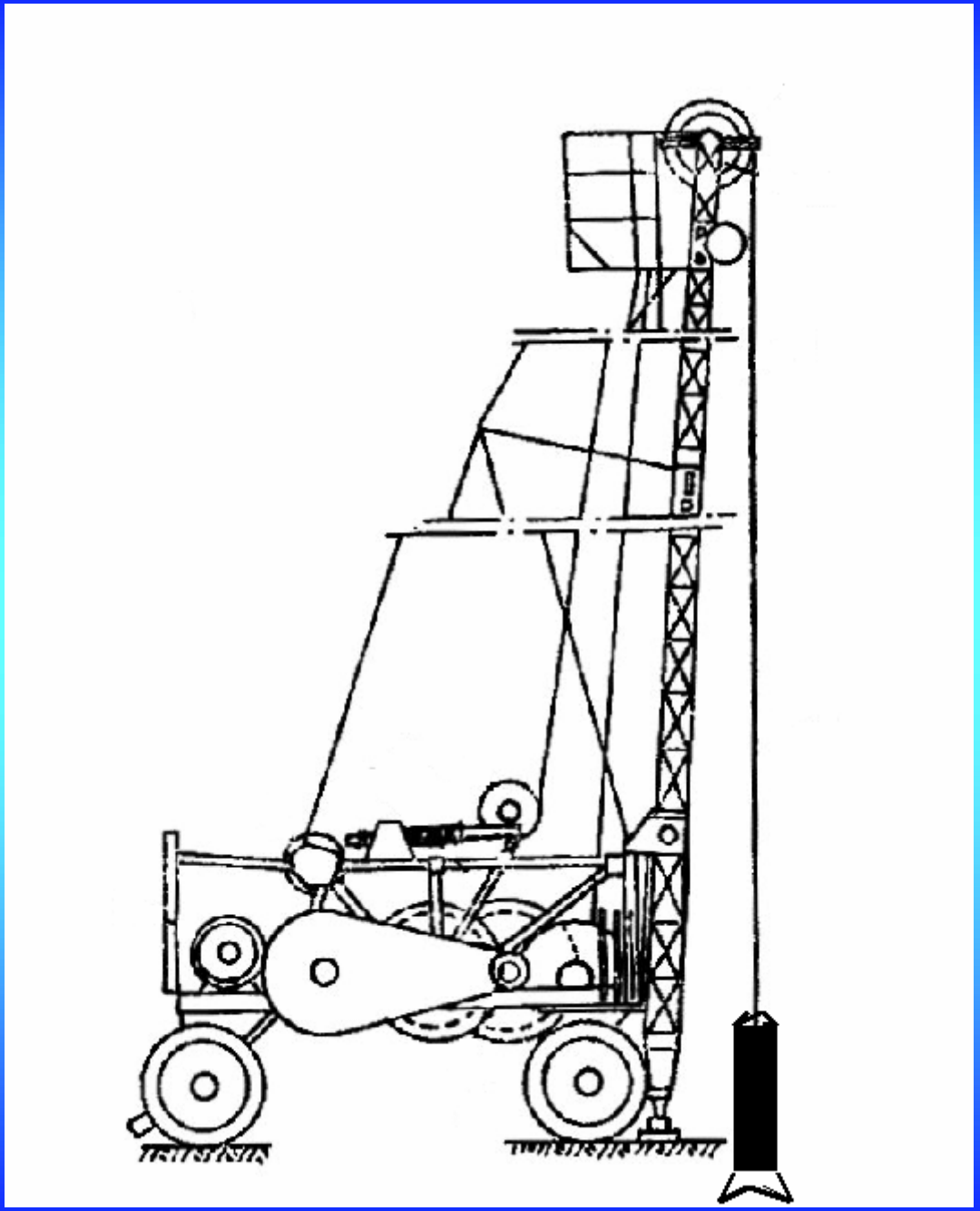
用钢绳将钻头提至一定高度，依靠钻头重量自由下落冲击破碎井底岩石的钻井方法，称钢绳冲击钻进。

冲击钻进分无循环钻进和反循环钻进。以反循环钻进效率较高。

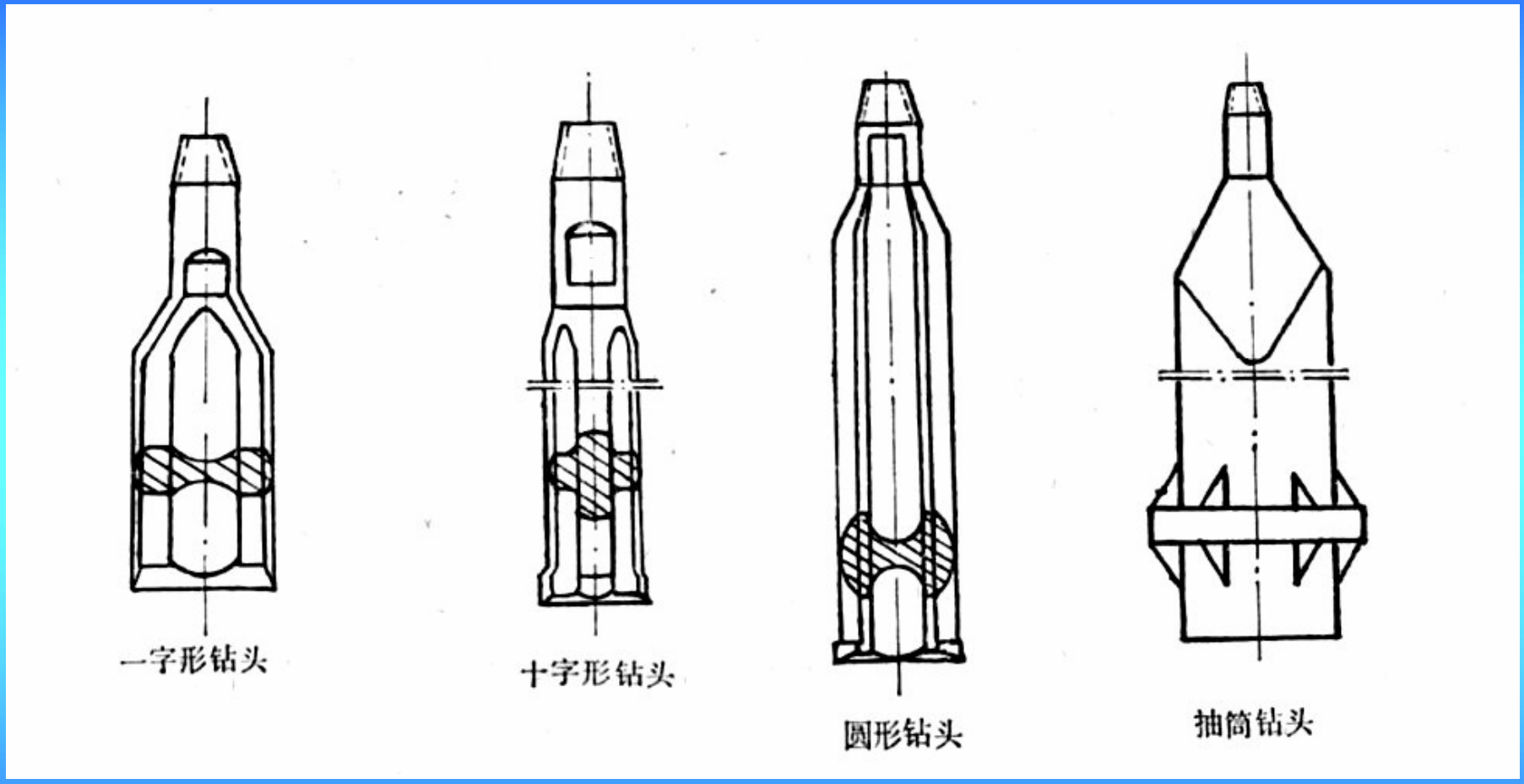
适应地层：卵砾石、漂石、风化基岩、粘土、杂填土地层，孔径600~1500，孔深100以内。

主要设备：冲击钻机（CZ-20、22、30）及钻具（冲反，多管路、砂石泵）。

钢绳冲击钻机



1、钢绳冲击钻头



冲击反循环钻机

主要技术参数

口径：　　0.8～2 m

孔深：　　80 m

冲击频率：46 次/min

主副卷扬提升能力：50 kN

电机功率：75 kW



CJF-20 型冲击反循环钻机

冲击反循环钻进



冲击反循环钻机

主要技术参数

口径：　　1.5 m

孔深：　　50 m

冲击频率：40 次/min

主副卷扬提升能力：30 kN

电机功率：45 kW

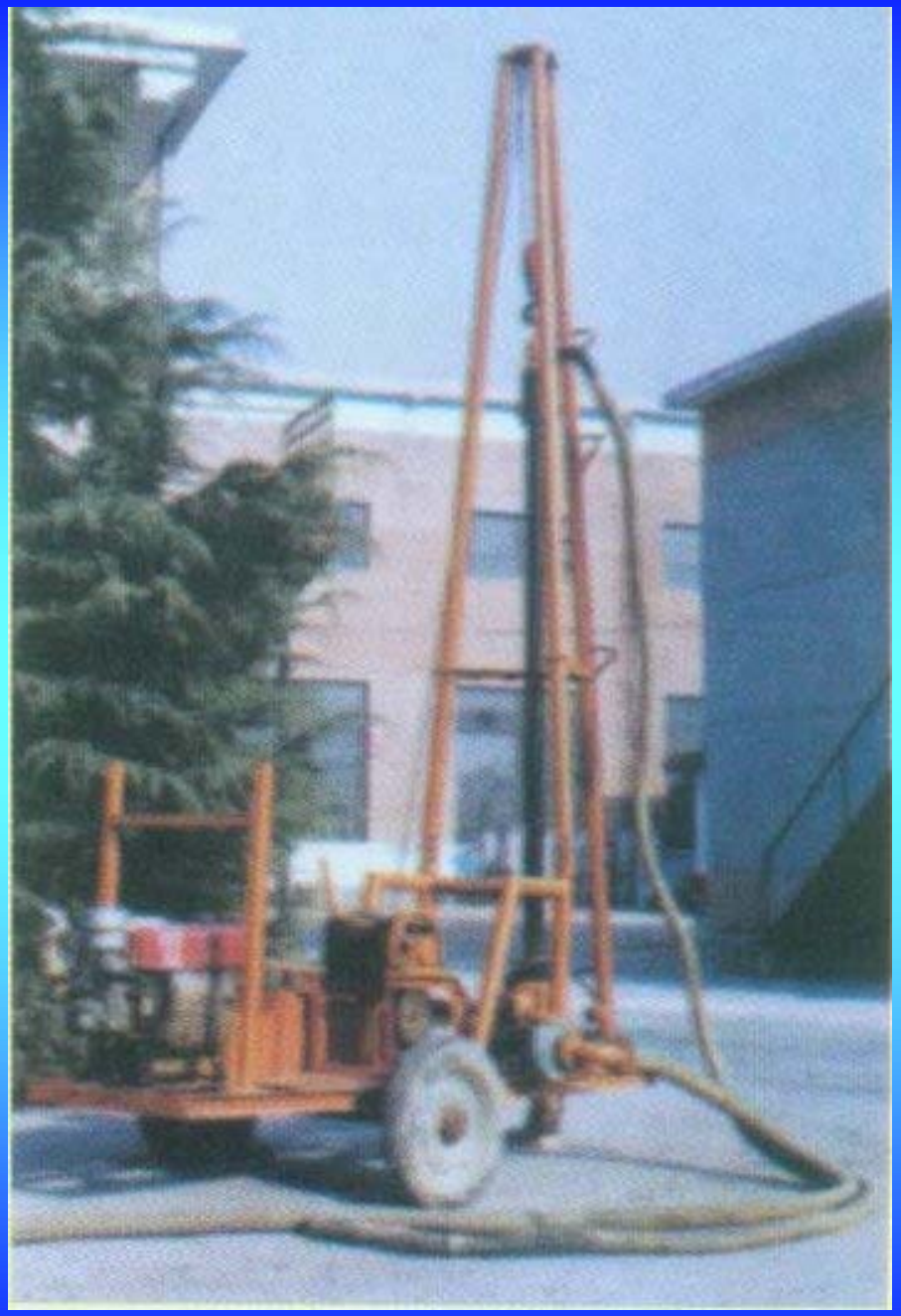


CJF-12 型冲击反循环钻机

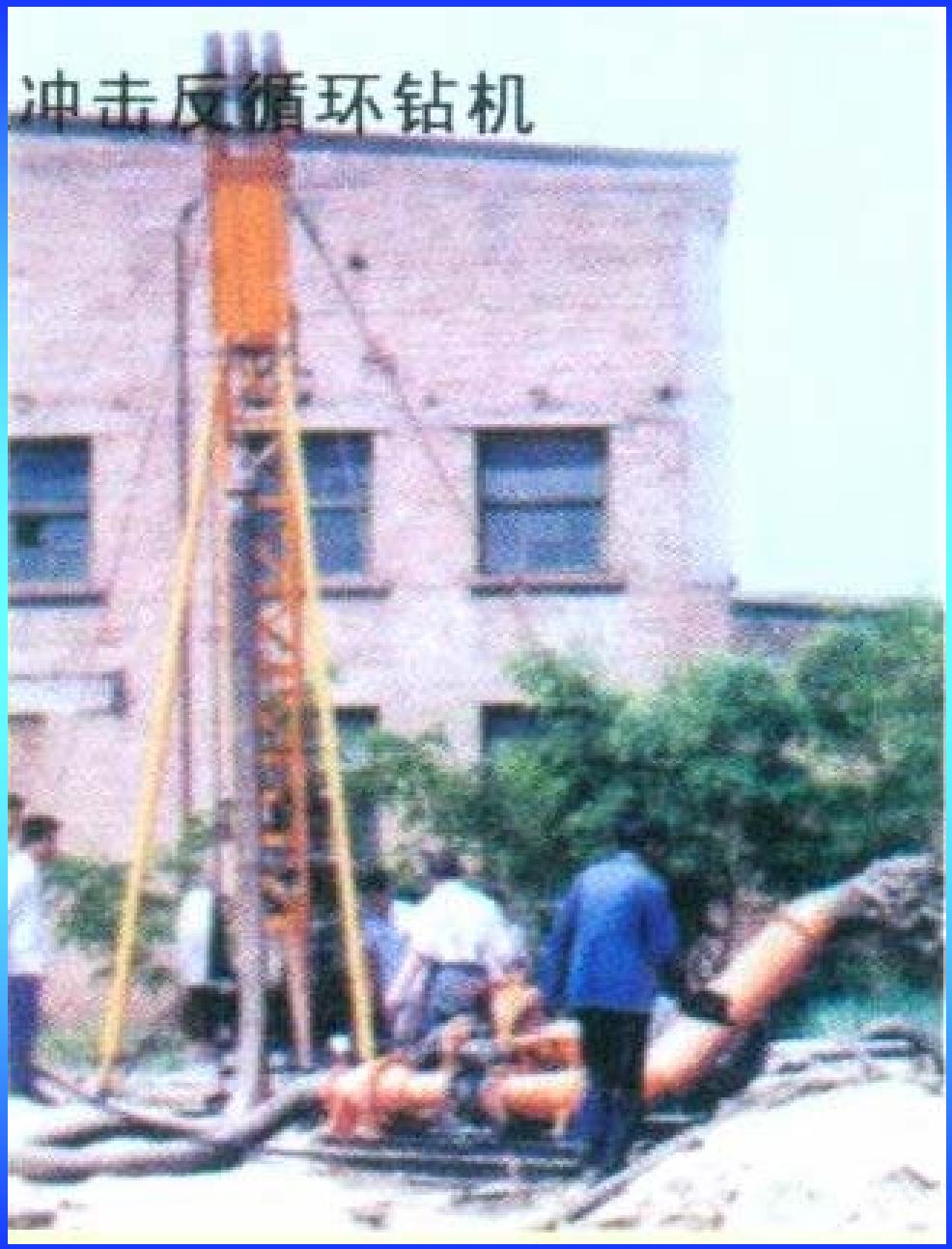
YZ-60型正反循环钻机

钻进井深：60m

最大井径：500mm



300型冲击反循环钻机



250型冲击反循环钻机



CZF-30型冲击
反循环钻机

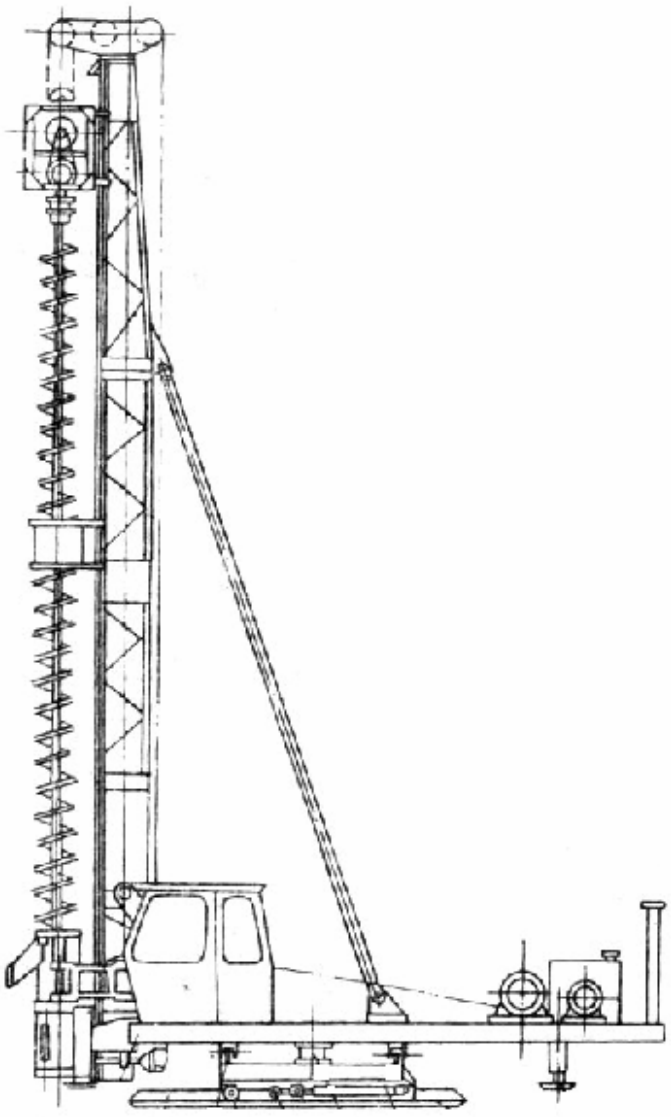


冲击反循环钻进



4. 螺旋钻进成孔

依靠螺旋叶片切土钻进并将孔底土输送至地面的钻进方法。

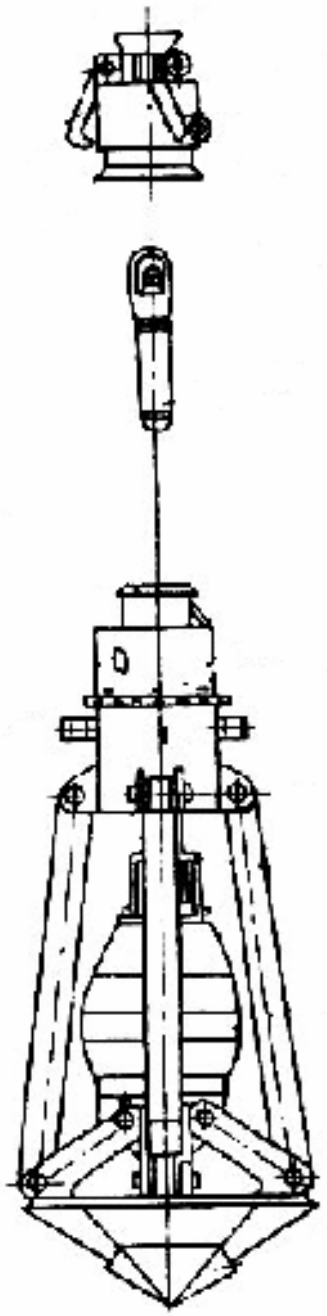


螺旋钻进成孔适应情况：地下水位以上的填土、粘土、砂砾石（粒径小于螺旋叶片半径和螺距）地层干作业成孔，桩孔直径Φ300~Φ600mm，成孔效率高，场地无泥浆污染、条件适合、宜优先采用。

孔壁易坍塌和含水地层不适用。

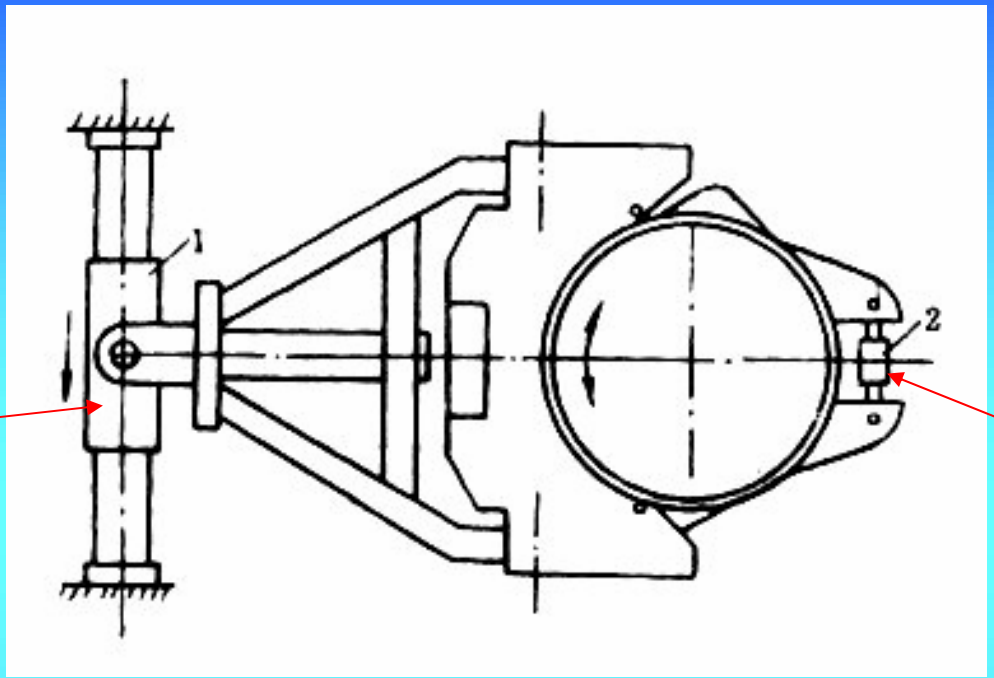
5. 冲抓锥成孔

利用锥形冲抓斗直接抓取井底岩土的钻进方法。



6. 冲抓全套管钻进（贝诺特施工法）成孔。由法国Benote公司最先研究使用。

边摇动边向地层压入护壁套管，在套管内用抓斗冲抓土石成孔，至设计深度清碴后，在套管内下入钢筋笼，边灌注砼，边拔出套管，套管用于钻孔的全孔段和灌注的全过程，故称“全套管”。



摇动千斤顶

夹紧套管
千斤顶

摇管装置示意图

TZG 全套管施工钻机



特点：

1.套管有效地隔离地层，防坍塌，防砼被污染，防孔斜。

2.孔径： <2m，孔深<40m，无大漂砾石的第四纪地层。

3.设备庞大，占场地面积大。

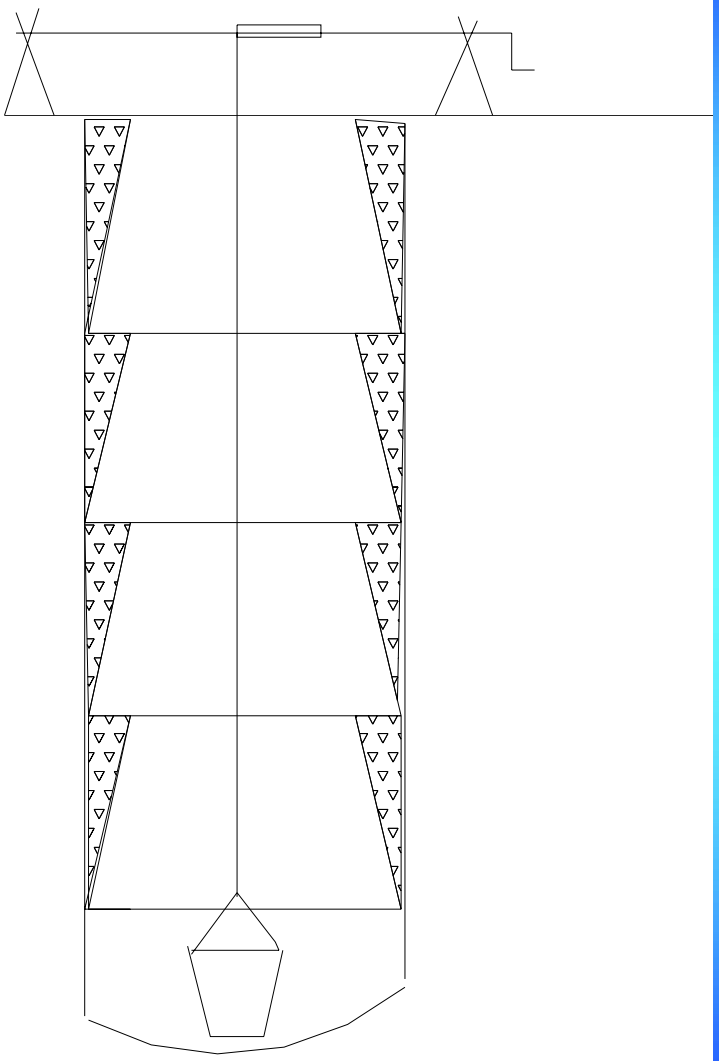
我国是购进日本三菱公司和加藤公司的产品，用于大型基础工程。

7. 人工挖掘成孔

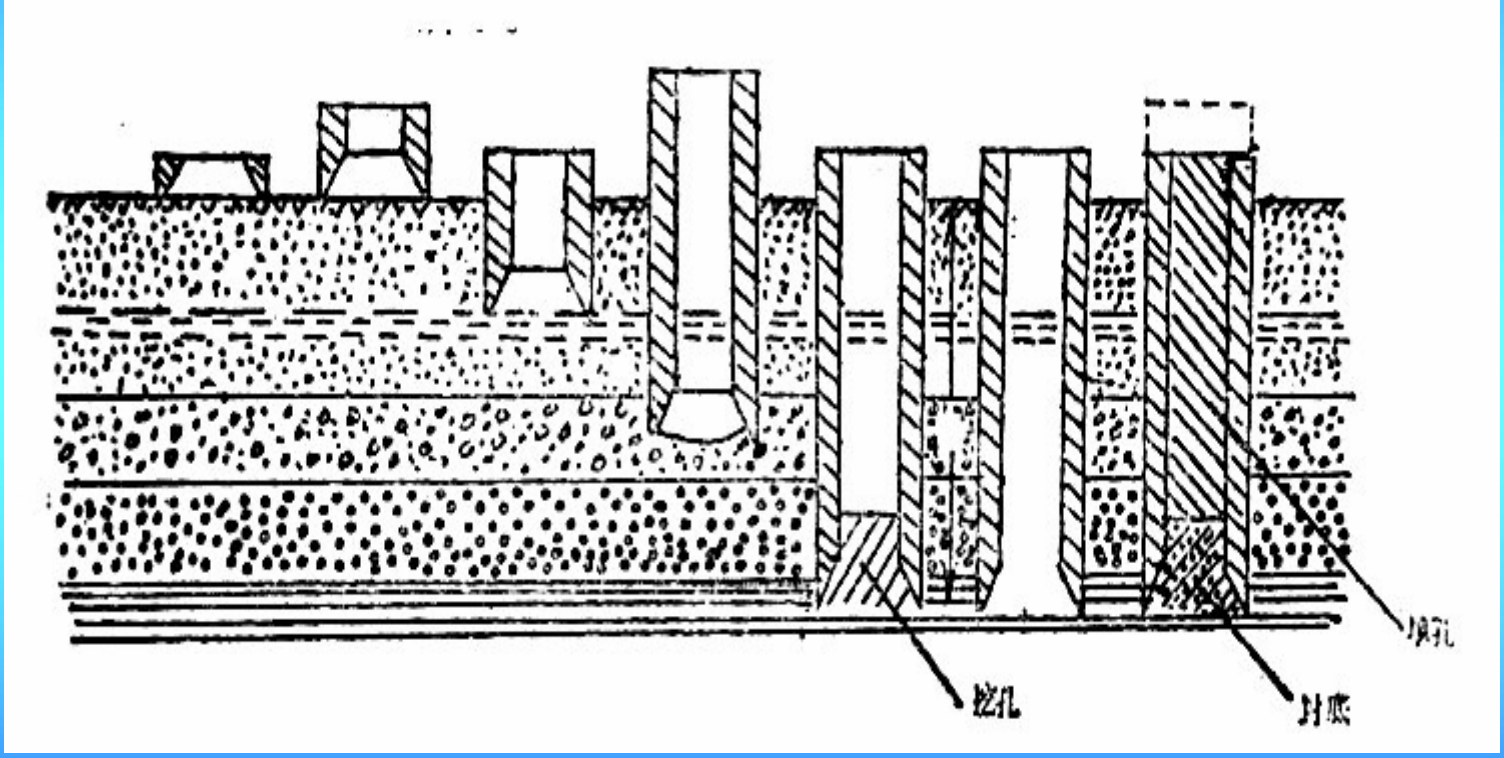
人工在孔底挖掘取土，每挖一段，浇筑一段混泥土护壁圈，直至设计深度的成孔方法（俗称兄弟桩）。

成孔直径＞1.2m。

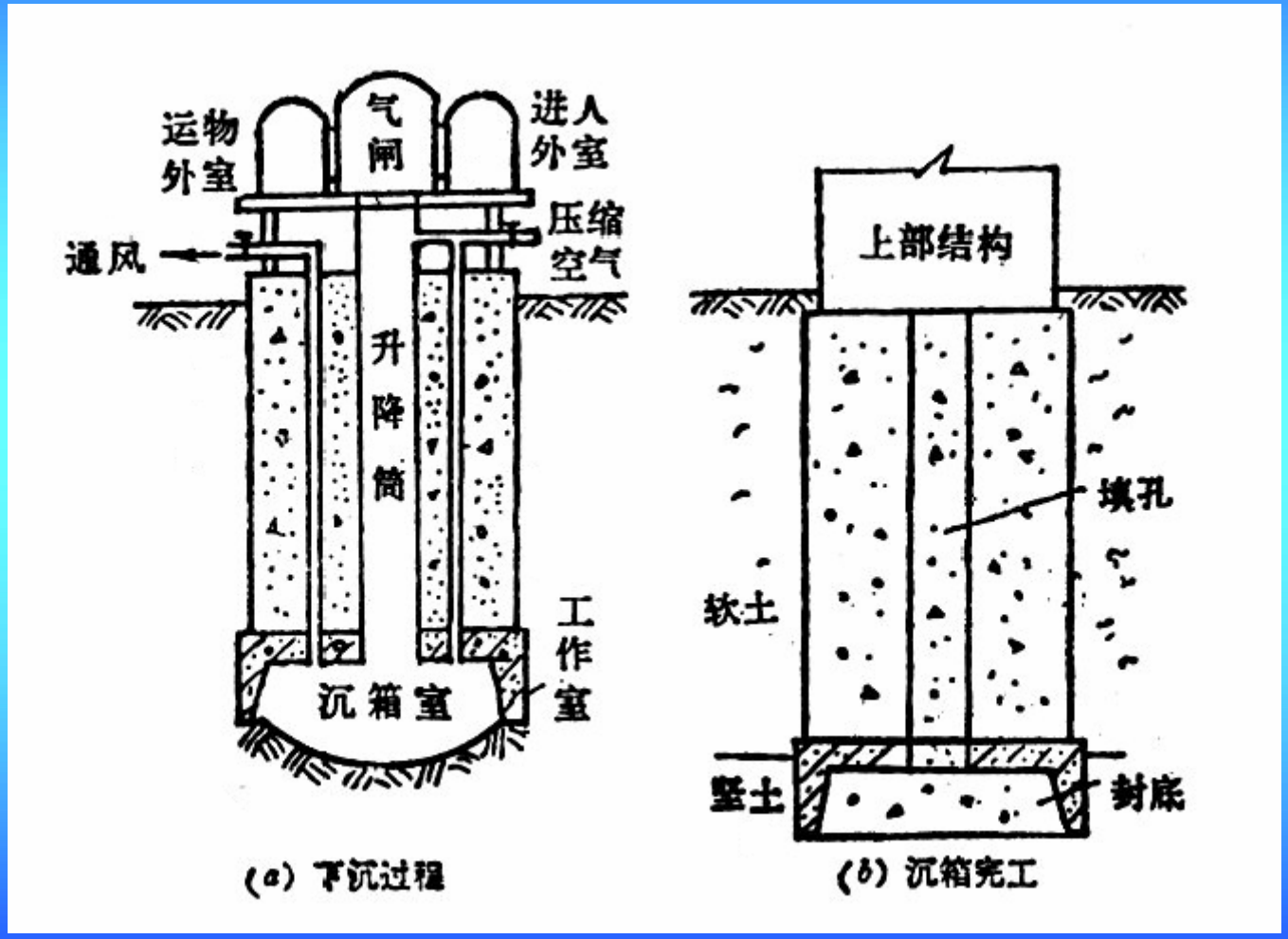
成孔深度＜30m



8. 沉井施工



9. 沉箱施工



10. 桩孔扩底工艺

扩底大头桩能承受更大的轴向荷载，在重要基础中，常采用大头桩，它可以缩小桩径，降低成本，提高桩体承载力。扩底是在桩孔达到设计深度后进行。

桩孔扩底方法有三种：

（1）人工挖扩法：用于孔径>1.2m，孔深<30m，地下水位在设计深度以下，安全防护绝对可靠的情况，一般需打降水井。

（2）爆扩法：先下钢筋笼，距孔底0.5~1m，再将球形炸药包置于孔底中心，然后浇灌一定量的混凝土（增加纵向压力）。引爆后（在混凝土初凝前引爆，拌砼至初凝约30分钟，防断桩）连续浇灌混凝土。

爆扩法的成败关键在于装药量，过少，达不到扩底尺寸，过多，孔壁遭受破坏形成混凝土不连续（断桩）。

装药量计算：

$$C=\frac{8.5R^3}{k\times g\cdot n\cdot m}$$

C—炸药量（kg）；R—爆破范围半径（m）；K—炸药爆力系数（TNTK=1.5K=0.8-1.2）；

g—岩土硬度系数（沉积岩g=0.5~0.6, 岩浆岩0.3~0.4，粘土g=1.2。

n—爆破器材料系数（铁皮n=1，铁管n=0.8~0.9）

m—孔径与爆破器直径差系数（扩底爆破填有混凝土，差值为0，m=1）

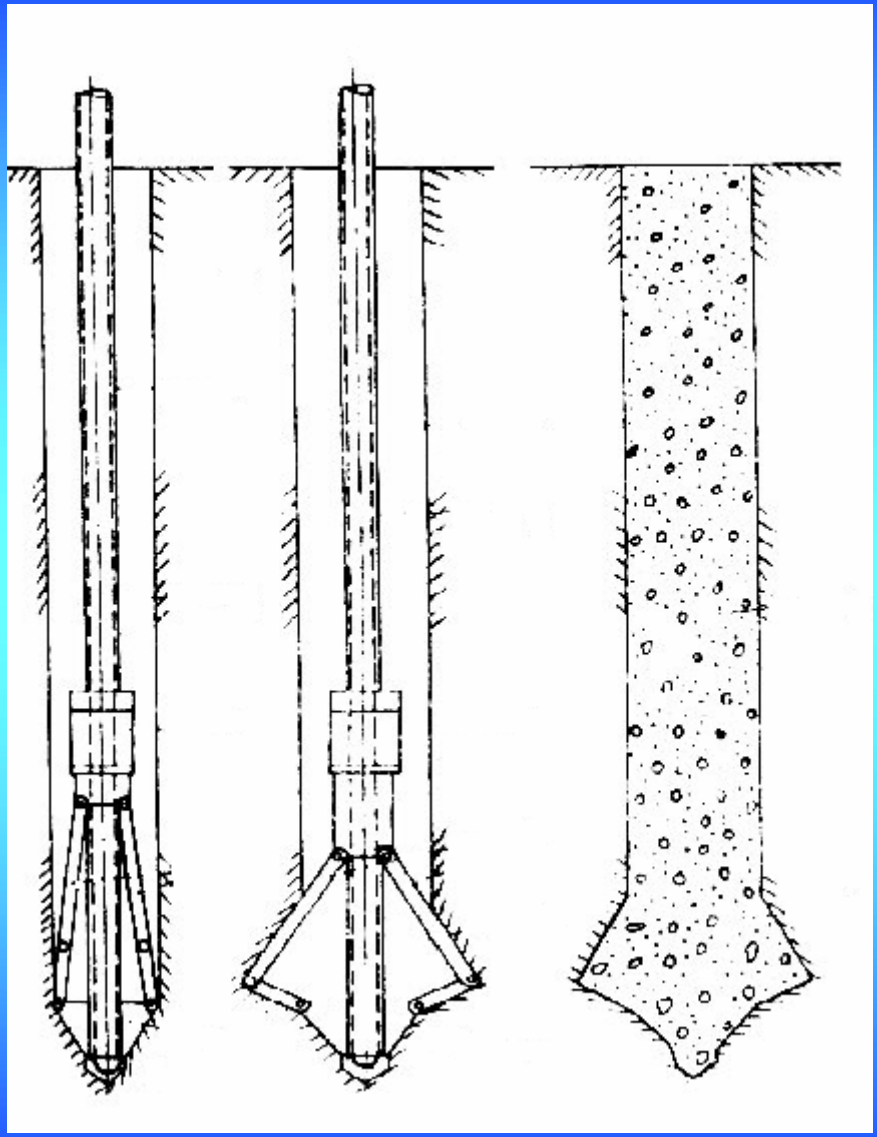
爆破法用于胶结性较好的孔壁稳定地层（不能用于松散地层）。

（3）钻扩法：将能伸缩的扩底钻具下入孔底，加压回转，撑开扩刀将孔底扩大的方法。

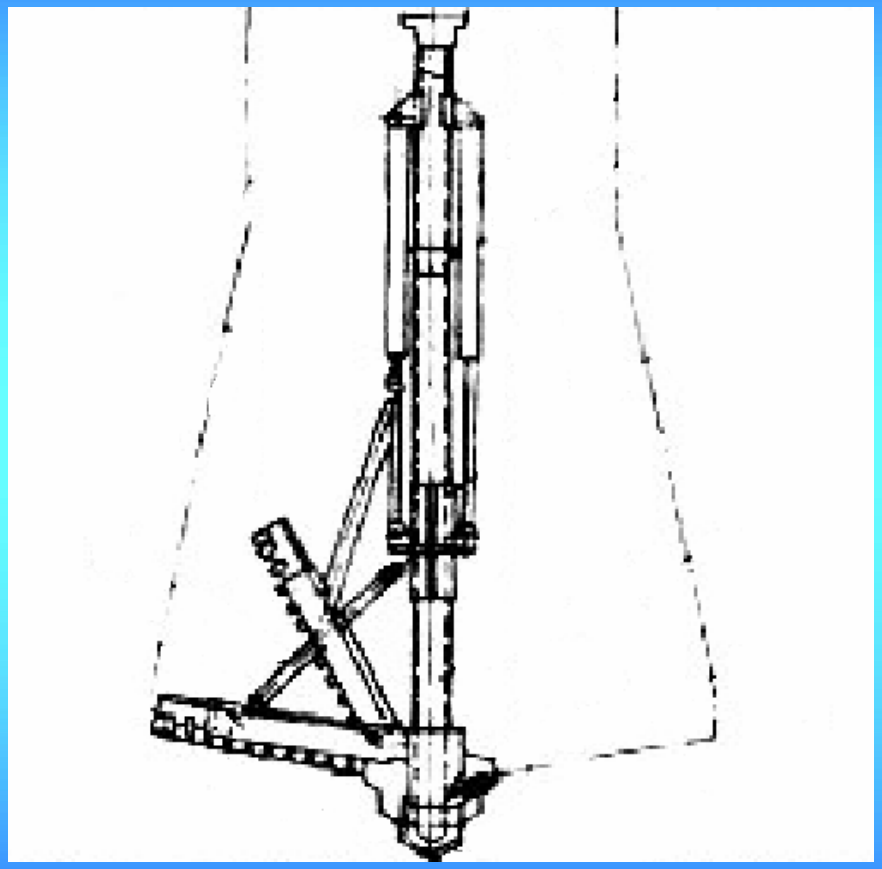
扩底钻具：分上扩式和下扩式两类，扩刀分两翼三、四翼。

适用于较硬实的土层，胶结较好的砂卵砾石层和风化基岩（淤泥层，松散卵砾石层不宜采用，以防扩刀不能缩回）。

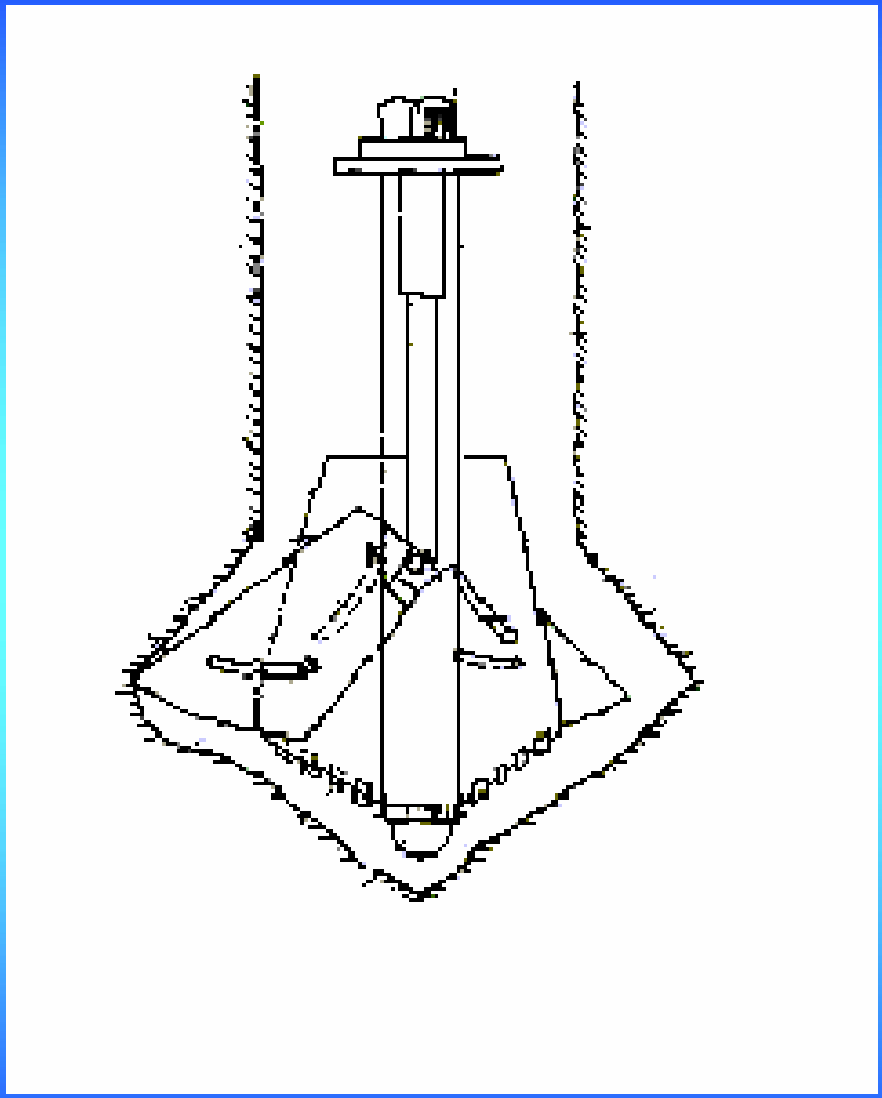
钻扩法：



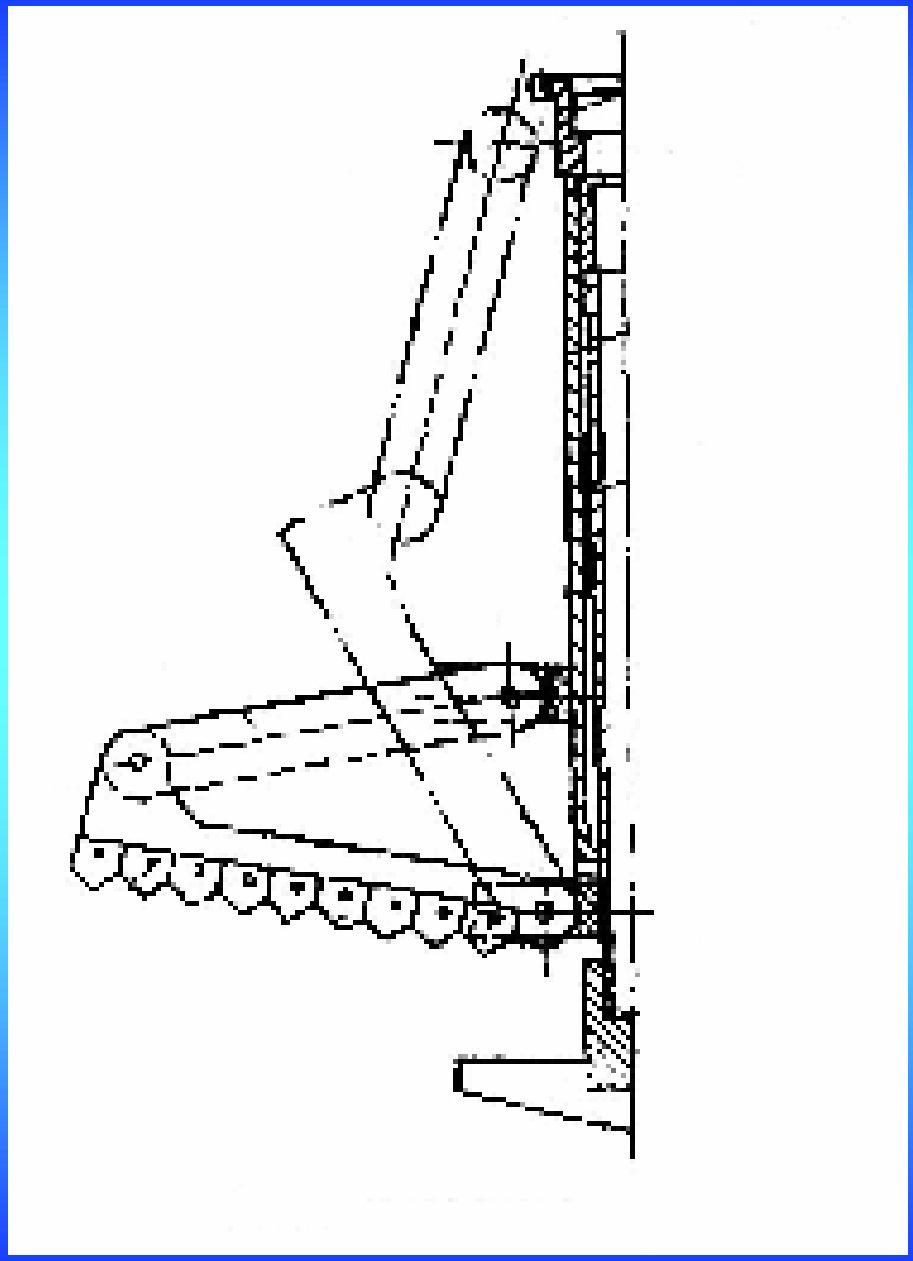
液压上开式扩底钻头



液压下开式扩底钻头



机械加压上开式扩底钻头



四连杆扩底钻头



（四）、清孔

彻底清除孔底沉碴，替换孔内浓泥浆，保证灌注质量和桩的承载力。

清孔的一般规定：

1．孔底沉碴厚度：摩擦桩≤30cm，端承桩：一般工程≤10cm。重要工程≤5cm 。

2．清孔后泥浆性能：含碴量<4%，比重<1.2。

清孔方法：

1．抽筒捞渣清孔（冲击钻进用、清孔质量、沉渣厚度>5cm）

2．正循环换浆清孔（正循环钻进用大钻屑不易排出）沉碴厚度取决于循环泥浆稠度。

3．泵吸反循环清孔（泵吸反循环钻进用，质量好，应防塌孔）

4．空压机清孔（抽浆清孔）（用于孔内液面高，清孔质量好，成本高）

5．干孔夯实清孔（干孔施工，如人工挖孔，螺旋钻成孔，冲抓锥成孔用。向孔底投入碎石或直接将虚土夯实，达到清孔目的和设计要求）

（五）、钢筋笼

钢筋笼制作的一般规定：

1．钢筋的种类、钢号、规格必须符合设计要求，使用时应除锈，调直（用拉直除锈）。

2．严格按设计配筋（主筋>Φ12mm，截面配筋率控制在0.35~0.5%之间。

3. 主筋的混凝土保护层>30mm（一般为60~80mm，制作时加扶正“耳朵”）

（六）、混凝土灌注方法

1. 干孔灌注法：孔径大，孔较浅的干孔，可直接孔口倾倒砼。孔径小，孔较深：下入导管，用漏斗导管灌注，必要时用捣振棒捣实。

2. 水下导管灌注法：

当孔内有水不能排干时（涌水量大、孔壁不稳），应采用水下导管灌注法，在孔中间或钢筋管中插入灌注导管，导管底距孔底0.3~0.5m（过低，被沉渣沉浆淹埋、过高、砼被稀释）。导管口接储砼漏斗，漏斗底口设置水栓塞，灌注时，剪断栓塞连线，漏斗内砼与栓塞一起压入孔，将孔底泥浆枯托升高，随灌注量的增大，孔内泥浆被全部顶出，灌注结束。

(1). 灌注机具：

① 输送砼和提升导管的卷扬机具（钻机、钻塔提升、吊车提升、灌浆机提升）

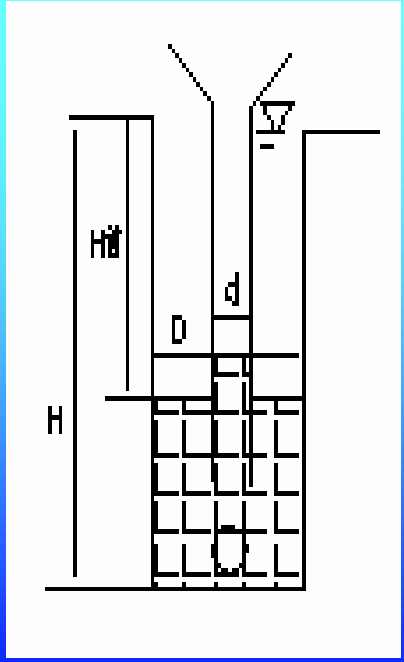
② 灌注导管：内径0.2~0.4，外径与钢筋笼内径差>5cm单节导管长度1~3m，接头拆装迅速，密封性好，内表圆滑（不阻挡砼、塞下行）外表不挂钢筋笼（法兰盘连接）。

③ 漏斗：锥形（棱锥、圆锥），容量≥初灌量。

(2). 灌注参数确定

① 第一次灌注量（初灌量）确定

为防止孔底砼被稀释和水渗入导管内，第一次灌注量必须将导管底埋入砼中1~1.5m（太高，需漏斗大）（根据连通器的压力平衡计算初灌量）。



$$V=\frac{\pi}{4}D^2(H-H_{首})+V_1-(V_2+V_3)$$

V—初满足量（m^3）；

D—钻孔直径（m）；

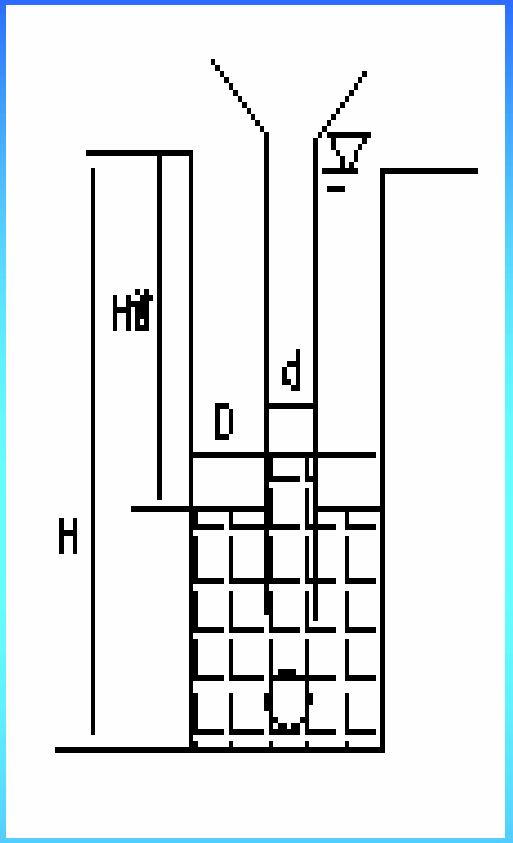
H—孔深（m）；

$H_{首}$—第一次灌注后的孔深（m^3）；

V_1—平衡导管内外压差需砼体积（m^3）；

V_2—被埋导管与钢筋笼体积（m^3）；

V_3—隔水栓塞体积（m^3）。



$$V_1=\frac{\pi}{4}d^2\cdot H_{首}\cdot\frac{r_1}{r_2}$$

静平衡：

$$H_{首}\gamma_1=\frac{V_1}{\frac{\pi}{4}d^2}\cdot\gamma_2$$

d—导管内径（m）；

γ_1—孔内泥浆比重；γ_2—砼比重。V_2、V_3体积小，忽略不计。

$$V=\frac{\pi}{4}D^2(H-H_{首})+\frac{\pi}{4}d^2H_{首}\cdot\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

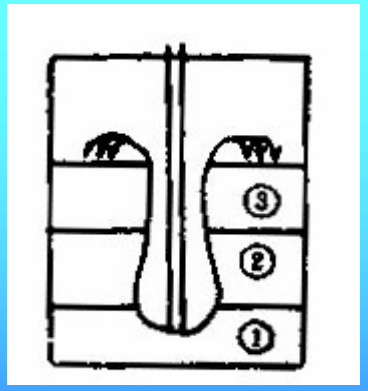
由于砼的流动阻力较大，在对V_1的计算中，应该是在克服流动阻力下的静平衡。流动阻力计算复杂，实际中采用系数计算。

$$V_{实}=K\cdot V$$

K—流动阻力系数K=1.15~1.25。

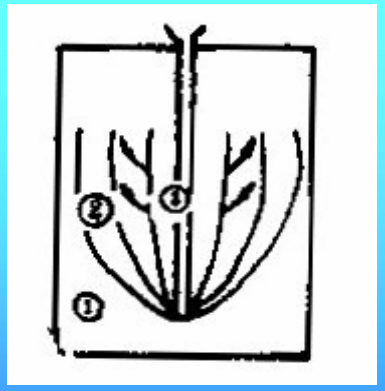
② 灌注强度的确定：

每小时向每平方m^2的桩孔截面积灌入砼的数量，称灌注强度灌注强度大，耗时少，需人力、物力投入大，灌注强度小，耗时长，孔壁易失稳，灌注质量差，中断灌注和断桩可能性大，砼在孔底的流态，有三种形式。



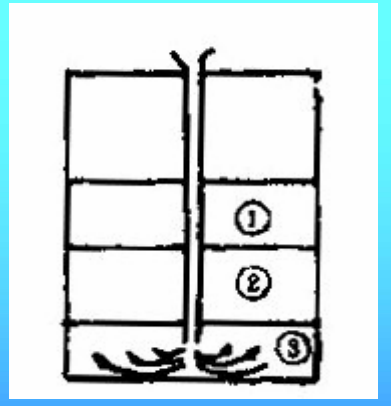
重叠型

（片状结构）



扩散型

（锥形套结体）



筑底型

实际中，按经验确定灌注强度（I）：

$$I=\frac{V_{实}}{A\cdot t}$$

A—桩孔断面积（m^2）；t—灌注时间（小时）。

孔深（m）<20　　20~100

t(h)　　1.5~1　　2~9

从灌注质量分析：灌注强度以单位时间的灌注高度定义较合理，且不应呈现重迭形。 对灌砼强度的研究不够，灌注强度与孔径和导管直径的相关性。

（五）、 对泥浆净化与废浆处理，

1.絮凝沉淀法

2.机械挤压法

外运排放成本低于处理成本。

（六）、 试桩

沉管桩施工

振动沉管桩

1、成桩原理 用振动器将带有桩尖的钢套管沉入地层至设计深度，形成钢套管桩孔，在钢套管内安放钢筋笼并灌注混凝土，砼动凝前拔出钢套管成桩。若桩尖为预制桩尖，则桩尖留于孔底（桩底），若为活瓣桩尖，则桩尖随套管一起拔出。

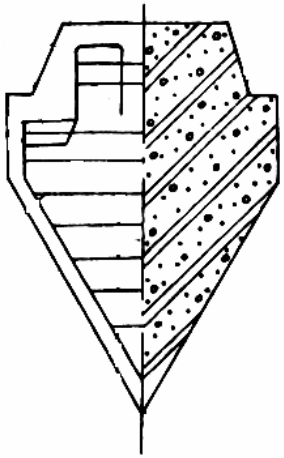
2、沉管桩施工机具

（1）振动沉管机：双轴双轮振动器，安装于钢套管顶端。

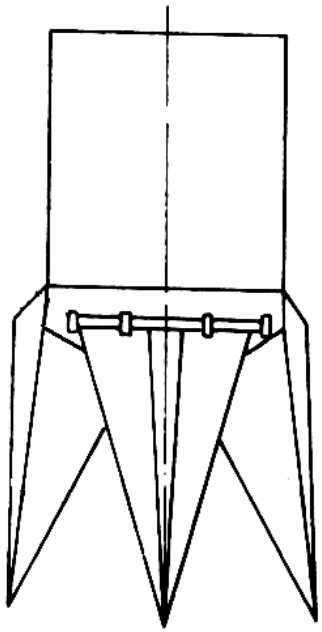
（2）钢套管：套管直径，长度取决于桩径和桩长，套管上端开设有灌砼漏斗口，钢筋笼可事前插入套管内，也可卸开振动器插入。

（3）桩尖：活瓣桩尖：为四瓣开合，铰链连接于套管，人工合、重力开（常有挂钢筋笼现象），预制桩尖，为圆锥形钢筋砼，砼标号≥C_{30}预埋后，与套管插接。

桩尖

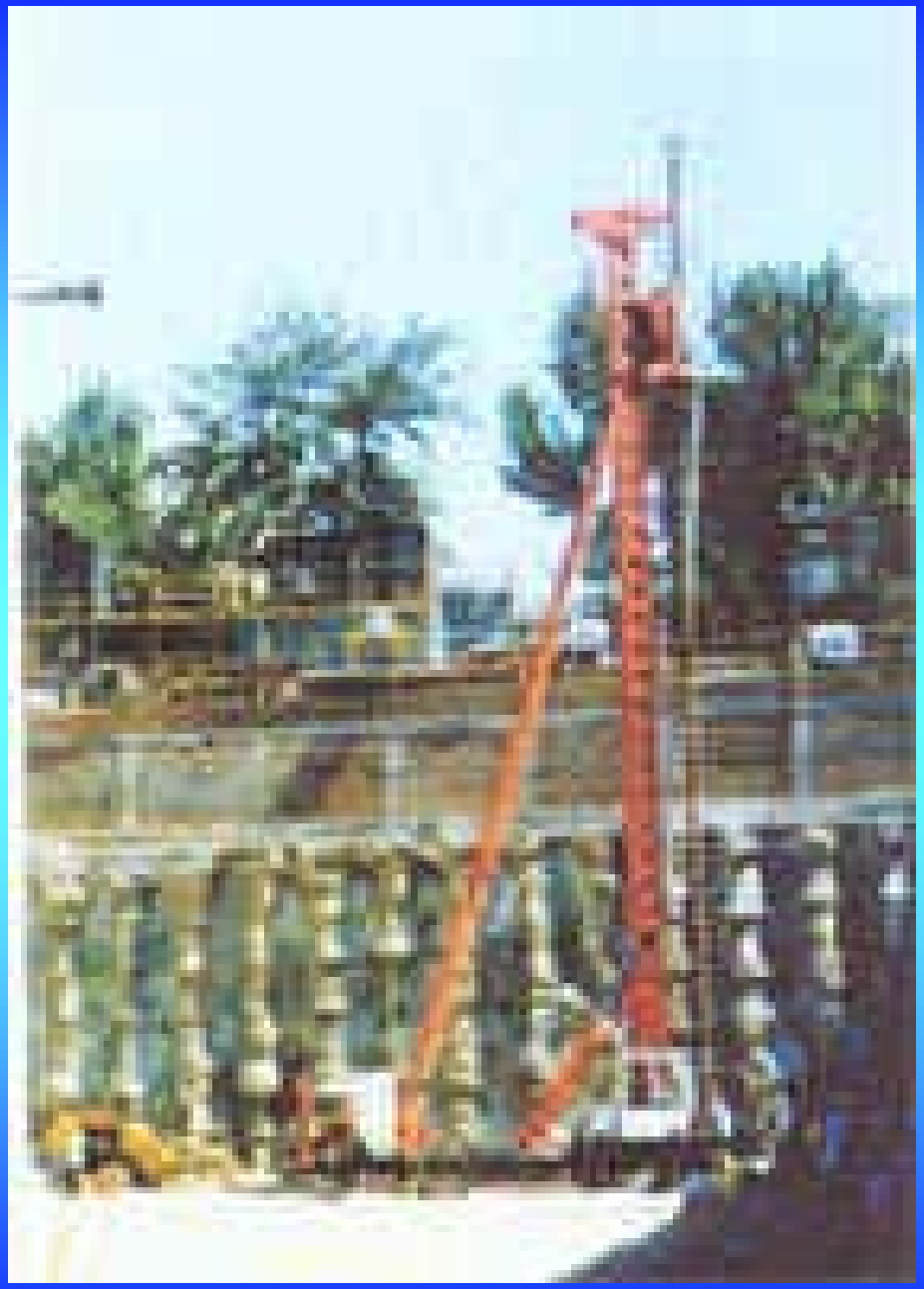


预制桩尖



活瓣桩尖

振动沉管桩施工钻机



3、施工程序：

竖起钢套管→装好桩头→振动下沉至设计深度→安放钢筋笼 →灌砼→拔管成桩。

4、沉管桩特点：

（1）成桩速度快：沉管速度快（一般为1~3小时）

（2）桩体质量好：不受地下水影响（若桩尖漏水，可先在管内填入1.5m的砼）实现干孔灌注，无孔壁坍塌砼夹泥现象。

（3）“复打”可增大桩径30%。

（4）提高地基承载力。沉管孔不出土，桩间地层被挤密，既处理了地基，也建造了基础。

（5）适于粘土、砂土、填土，稍密碎石、碎石地层，成桩直径300~600mm桩长≤25m。

（6）不适于桩孔严重缩径地基：拔管后，桩孔缩径，形成细颈桩或断桩。

大直径中空桩施工方法

大直径中空桩，我国目前还未采用，最先出现于日本，随着现代建筑物的大型化、重型化、超高型化。要求基础有很大的承载能力和抗震性能。

1、中空大直径桩特点：

（1）直径大承载力大，桩径大于3.2m，中空直径大于2m。

（2）中空式，刚度大，抗震抗弯性好。

（3）减轻挤体自重。

（4）节省制桩材料。

2、中空式大直径桩施工方法：

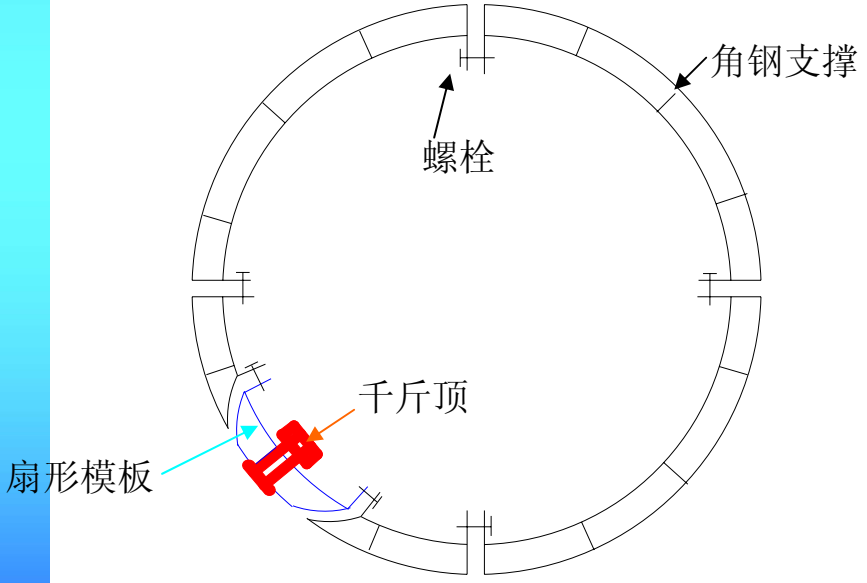
（1）成孔：挖掘或仅循环钻进成孔，沉井、围慕注浆抓挖。

（2）吊入钢筋笼

（3）拼装内管模板并吊放入孔内。

内管由四六片模板和一片扇形块拼成，片与片间用螺栓连接。

扇形块上装有螺栓式千斤顶。



内管底部，开设有三个通孔，装有清碴翼片，当孔底沉碴进入内管后，翼片将通孔封闭，此装置具有清碴和消除浮力功能。

套管旋转，螺旋翼片将沉碴刮进通孔。

（4）灌注砼

（5）待砼硬固后，抽干内管内的水，清除内管沉碴。

（6）封底：消除浮力。可采用先注浆或装减压管。

（7）拆除模板，先卸掉扇形块全部螺栓，利用自带千斤顶，顶下扇形块，再拆除其余四片模板内管的拆除从上到下进行。

静力压桩施工

依靠静压力将预制桩压入地基中至设计深度的施工方法。



（三）静力压桩



静力压桩



静力压桩



地下连续墙施工技术

利用一定的设备机具，在泥浆护壁条件下向地下钻挖一段狭长的深槽，在槽内吊放入钢筋笼后灌注砼，筑成一段钢筋砼墙段，再把一墙段连接起来形成一道连续的地下墙壁。

（一）、准备工作

- 准备工作
  - 场地准备
  - 护壁泥浆（稳定液）准备
  - 挖导槽，造导墙

1、场地准备

（1）作业面积：① 泥浆池及泥浆搅拌设备；② 钢筋笼加工及临时堆放；③ 接头管及灌注导管堆放；④ 挖槽机作业场地；⑤ 吊车及排碴运输通道；⑥ 简易工棚用地。

（2）作业空间：挖槽、钢筋笼的移动与吊放所需的空间高度。

（3）邻槽地基加固：邻槽作业机械的振动和压力，护壁泥浆溢出后的渗透对槽壁稳定性有很大影响。

（二）护壁泥浆（稳定液）准备配浆材料、配浆量及循环系统。

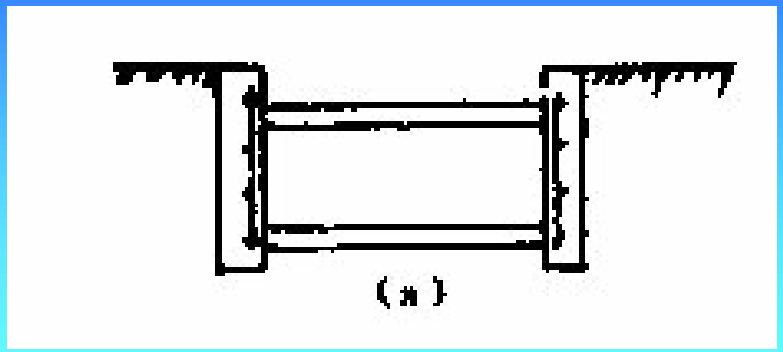
（三）挖导槽，造导墙

导墙是挖制地下连续墙各项指标的基准，指示挖槽位置，为挖槽起导向和储存泥浆作用，导墙的位置、尺寸、垂直精度直接影响连续墙的位置，墙体厚度和墙壁垂直度。

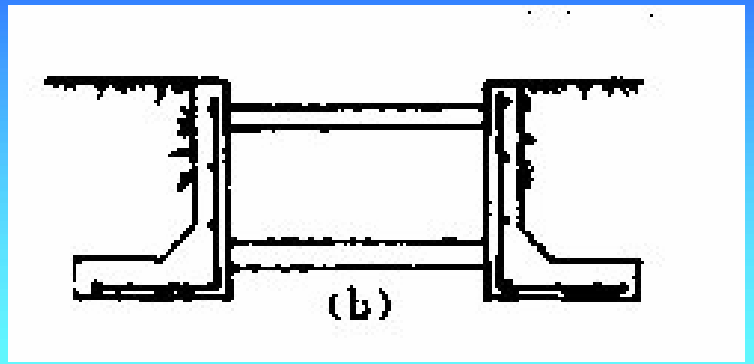
导墙形式：板墙形（||）、 Γ形（⌉⌈）L形（⌋⌊）、[字形（⌉⌈）。

导墙尺寸：槽宽=连续墙厚加3~5cm，导墙厚度≥20cm，导墙高1~1.5m(储存足量稳定液)，导墙结构C_{20}钢筋砼。

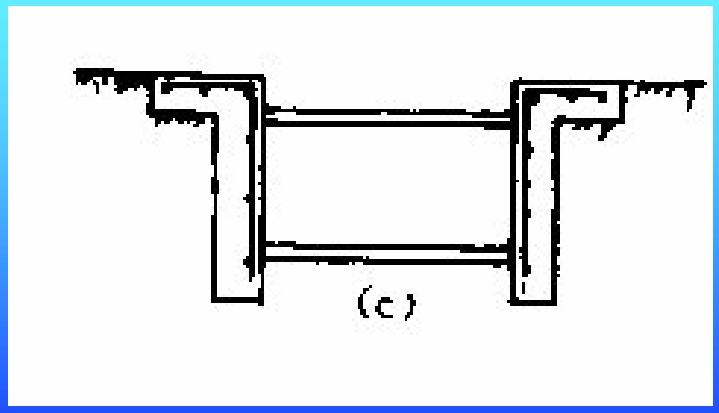
导墙形式：



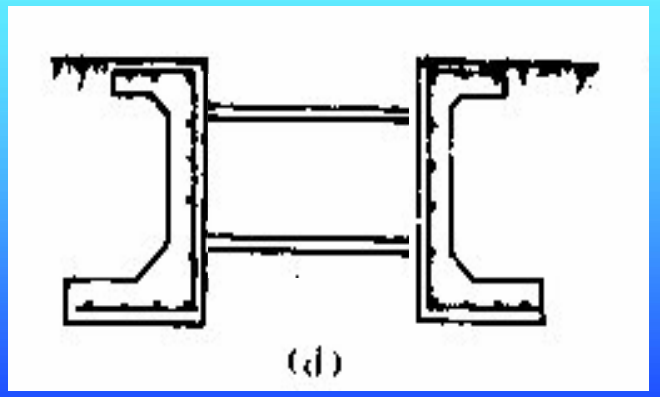
板墙型



L型

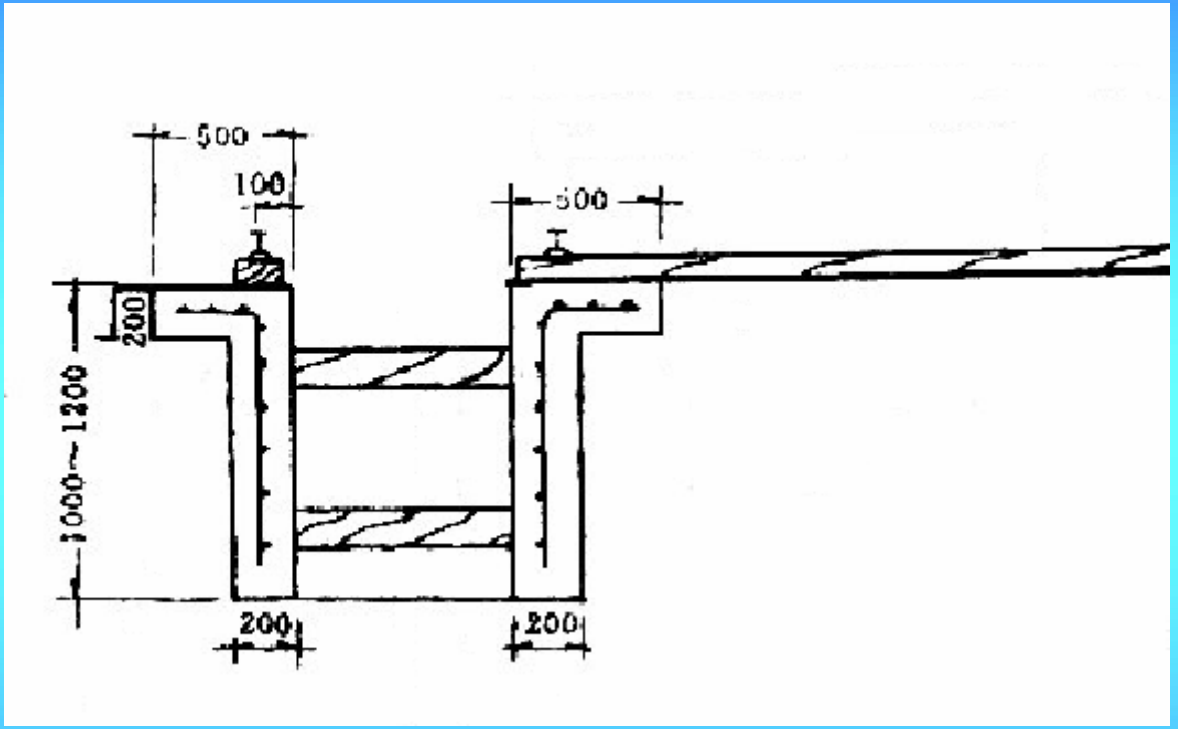


Γ 型



匡字型

导墙现场浇筑



（四）挖槽机就位

安放枕木，架设轨道（与导墙平行），安装挖槽孔。

二、连续墙施工方法

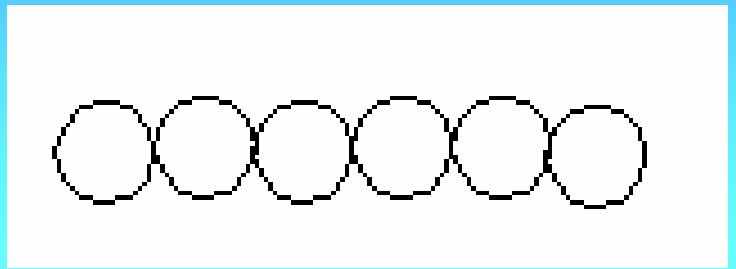
施工方法 { 桩排式
槽段式

桩排式：是把灌注桩或预制桩或柔性桩等，并排连续起来建造地下墙的一种施工法，主要用于挡土或防渗。

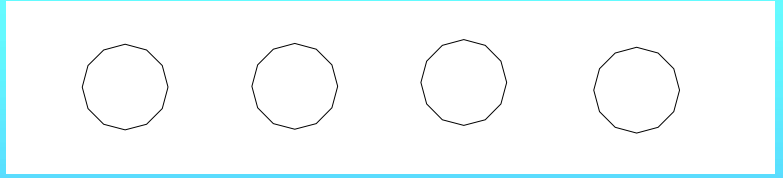
（一）桩排式的排列分类

1．一字形相接排列

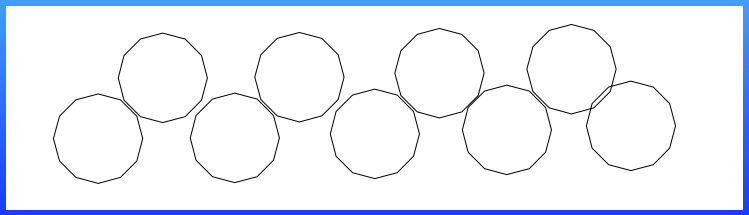
桩间密合困难，施工难度大；（孔斜，缩径）



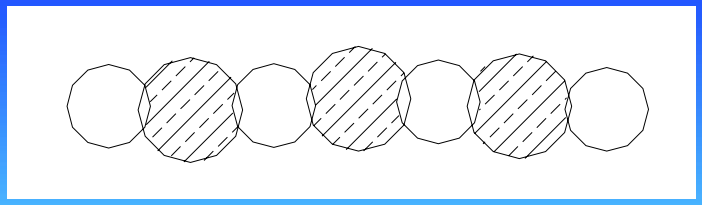
2．间隔排列：挡土墙



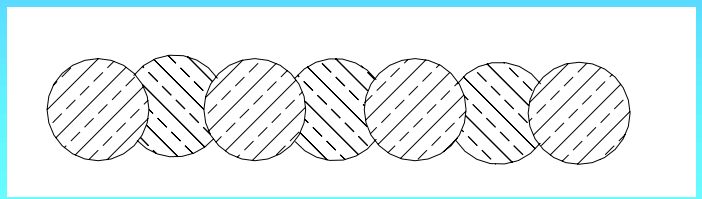
3．交错相接排列：
钢混桩 密合性差



4．混合排列：压力灌浆，挡土防渗墙



5．一字形（搭接排列）；先施工圆形桩后制冲击桩



（二）桩排式施工法

机械钻孔（或挖孔）后，孔内插入钢筋，用导管灌注砼成排桩。

最后在桩间可采用压力灌浆等辅助加固，增强挡土防渗效果。

（三）桩排式连续墙的特点

1．对地层损坏较小，可获得较大的摩擦承载力。

2．根据要求桩长和桩径可调节范围大（成槽机固定槽宽）。

3．单桩施工，可多台设备同时作业。

4．桩间不能用钢筋笼连续，不适宜作主体结构物。

5．施工技术的高低，对质量影响很大（桩孔垂直度、桩体直径均匀性）。

6．施工速度慢，工期长，施工深度<25m（桩底密合难度大）。

槽段式连续墙：

开挖一定宽度，长度和深度的沟槽，在槽内末端设置把墙联接起来的结点，然后下入钢筋笼灌砼，（成单元墙段），再把单元墙段连续起来(成连续墙）。

以单元墙段施工并设置联接墙段的结点成为刚性连续墙的施工方法，最大优点是无桩排式那样的间隙，整体性好，能承受较大荷载，除特殊场合，墙厚大，用桩排式外，几乎都用槽段式墙。

三、槽式连续墙施工方法

（一）单元槽段的划分

槽式连续墙施工是沿墙体的长度方向把连续墙划分成许多某种长度的施工单元，又称单元槽段，一般说来，单元槽段长→接头数量少→截水防渗能力和连续性高→施工效率高。但常受地质条件和施工条件限制，墙壁坍塌可能性增大。

确定单元槽段长度应考虑：

① 墙壁稳定性；

② 对相邻建筑物的影响（长槽段，建筑物沉降）；

③ 挖槽机最小挖槽长度（1.5~3.8m）；

④ 钢筋笼重量和尺寸（变形、起吊能力）；

⑤ 砼料供应能力；

⑥ 泥浆储浆容量（液面高差）；

⑦ 连续作业时间（交通要道夜间作业，须在空间完工槽段）。

以墙壁稳定性为主，综合考虑其他因素，一般以5~8m为宜。

（二）单元槽段施工程序

1．挖槽：沿导墙方向，按设计槽宽和槽深钻挖。

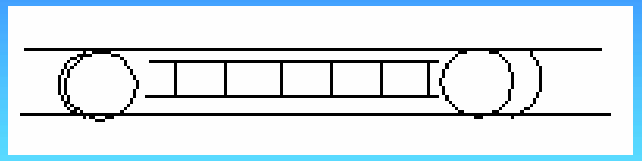
2．安装头管：在槽段两端头插入接头管。

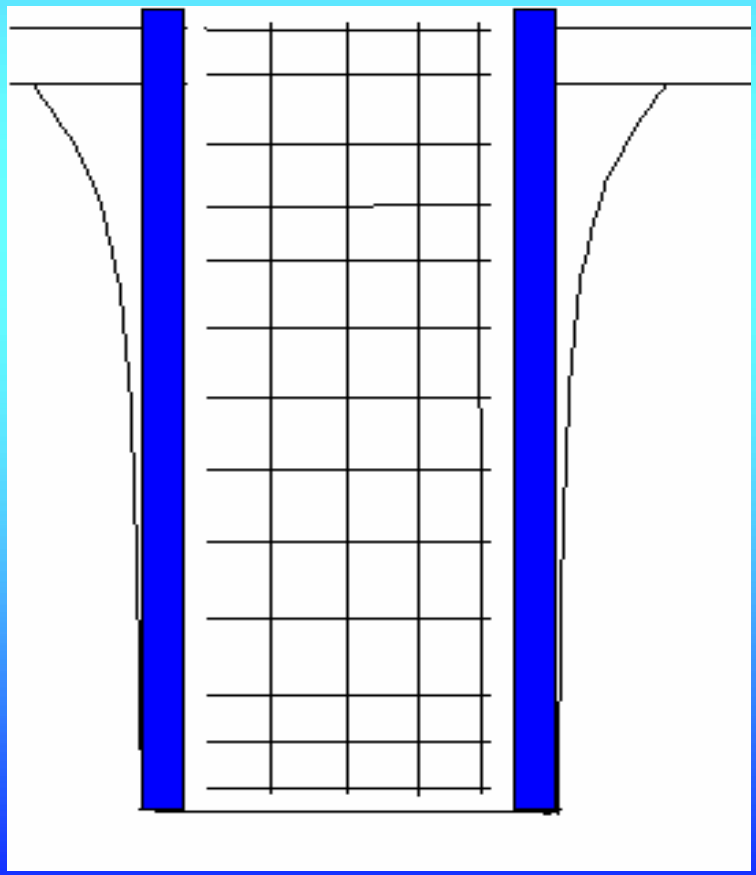
3．吊放钢筋笼入槽内。

4．下入导管灌注砼。

5．砼初凝后，终凝前拔出接头管。

6．第二槽段开挖。

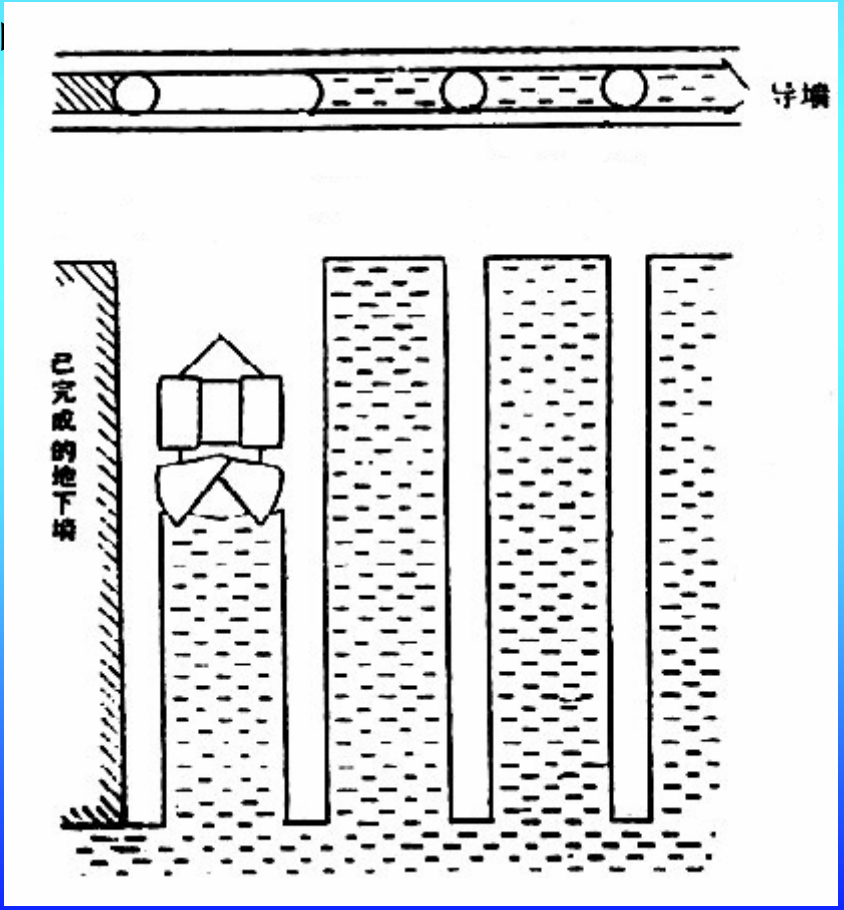




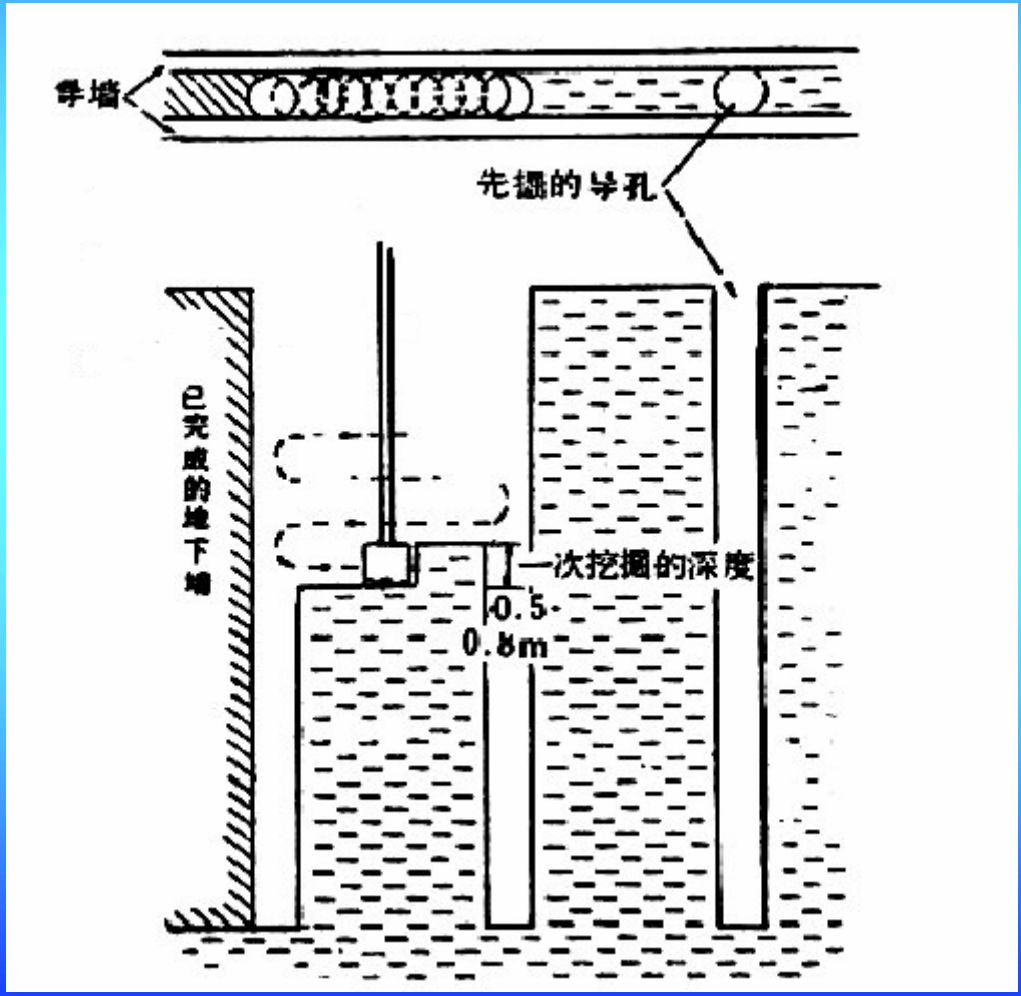
（三）成槽方法

挖槽方法很多，随钻挖设备不同，其出土方式，作业顺序，施工效率也各不相同，但按其成槽方法可归为三种

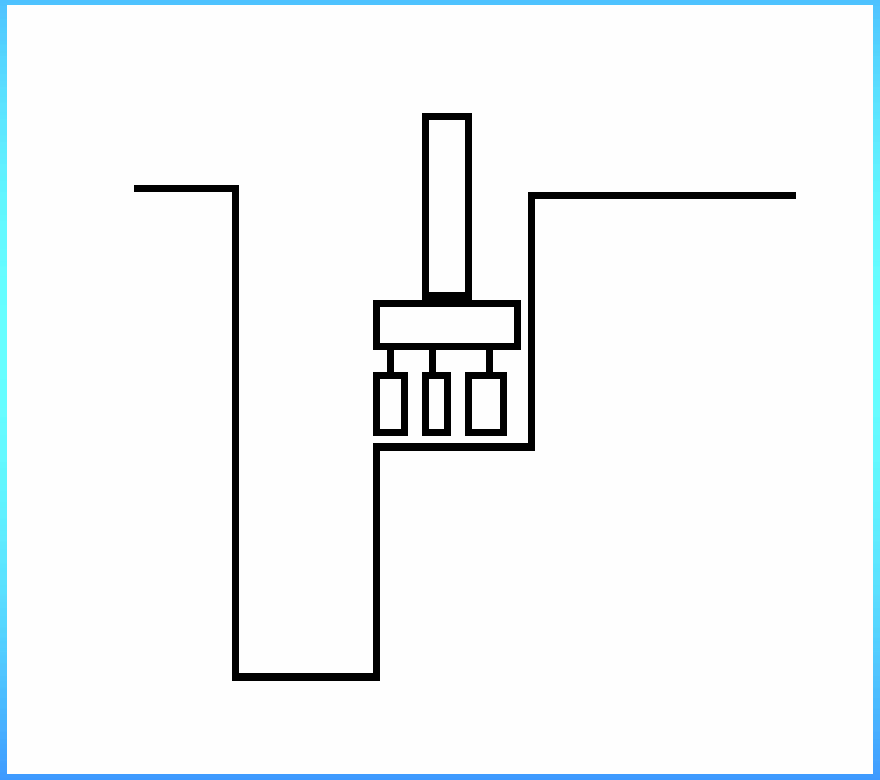
1．先钻导孔。
再挖掘整修成槽。
（两钻一抓法）

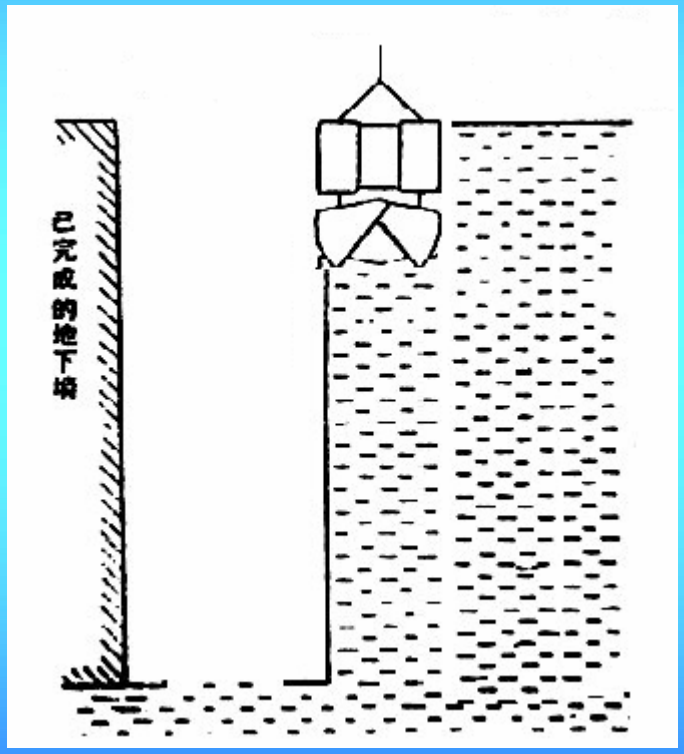


2．先钻导孔，再重复钻圆孔成槽



3. 一次钻挖成槽形。





（四）钻挖机具

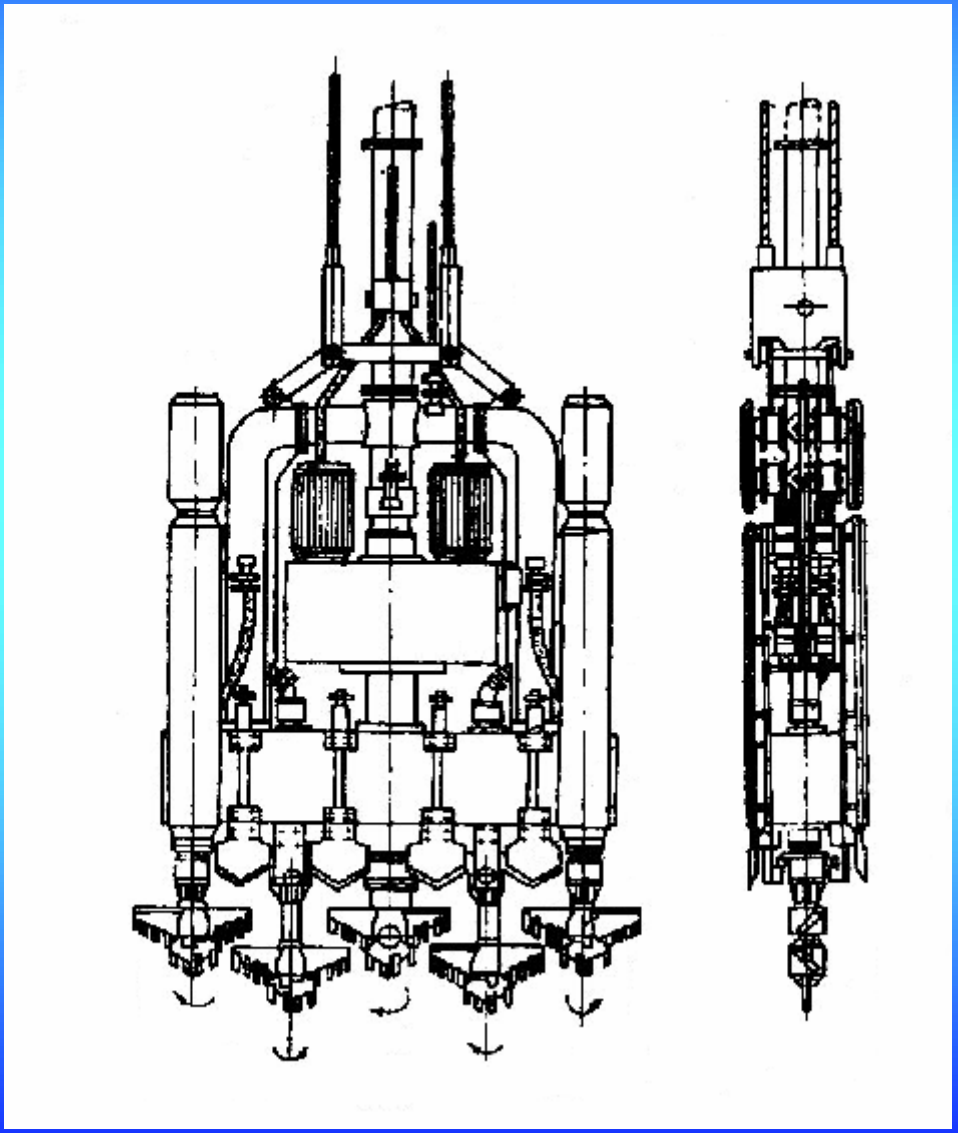
1. 普通回转钻；
2. 冲反（成槽钻头）；
3. 抓斗；
4. 铣槽机；
5. 长臂多头钻。

长臂钻，槽壁规则，地层适应性强，效率高。

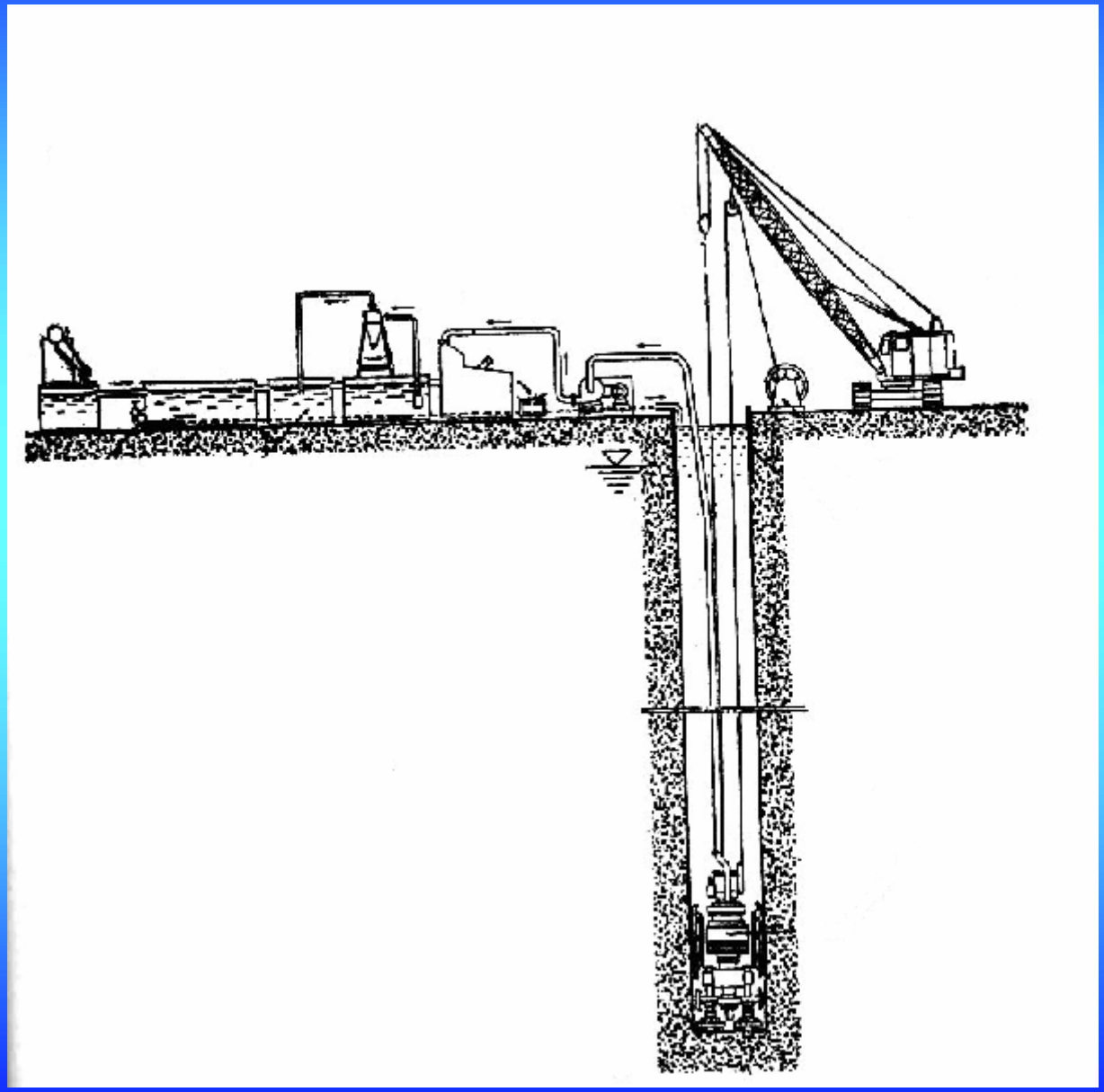
液压抓斗



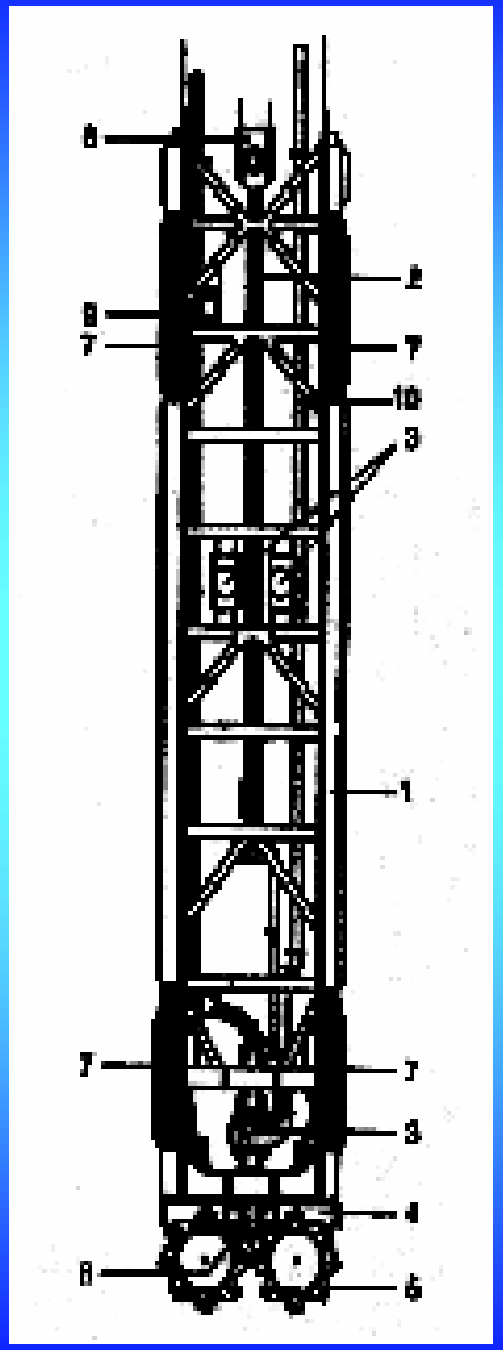
长臂多头钻



长臂多头钻



铣轮式铣槽机

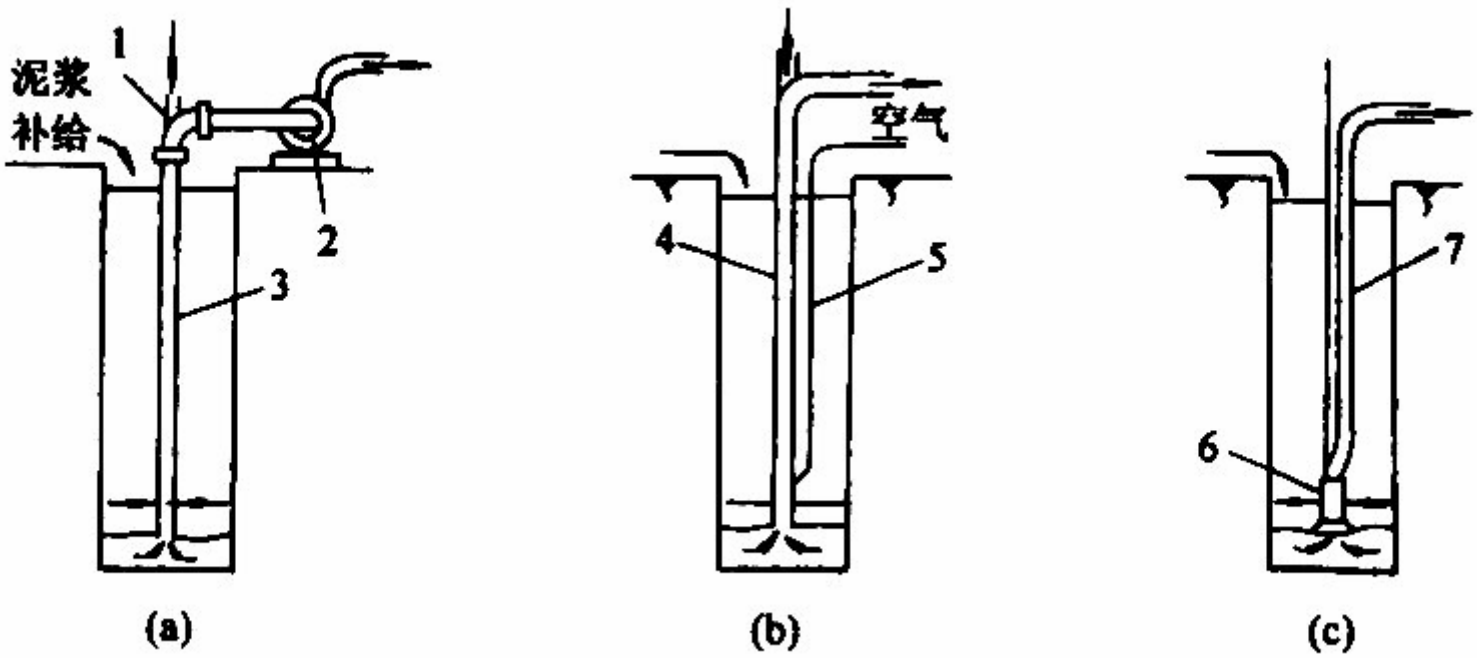


l—机架，2—给进油缸，3—泥浆泵， 4—齿轮箱，5—铣轮，6—抽吸管， 7—导向台肩，8—滑车， 9—液压管，l0—泥浆管

四、清底方法

清除槽底沉碴和槽段接头表面附着物。

1. 泵吸抽碴法；
2. 空气升液器抽碴法；
3. 抓头除碴法；
4. 高压水枪冲刺或专用利刀清除接头附着物。



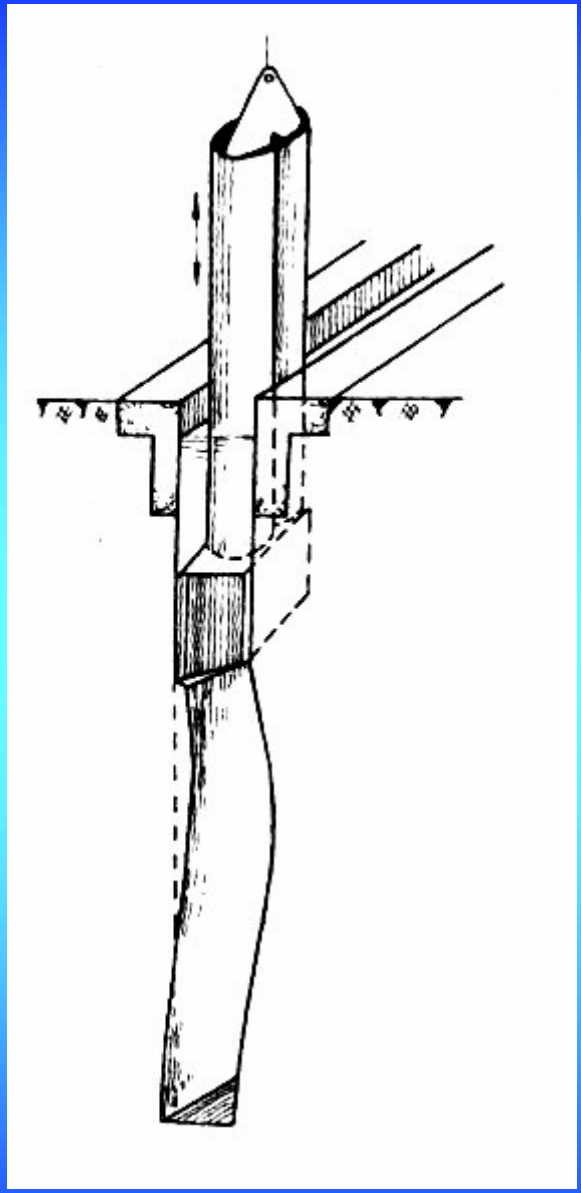
清底方法

(a)砂石泵排泥：(b)压缩空气升液排泥，(c)潜水泥浆泵排泥

1—接合器；2—砂石吸力泵；3—导管；4—导管或排泥管；

5—压缩空气管，6—潜水泥浆泵：7—软管

槽段歪斜修整



五、槽段的连接（接缝工程）

将各槽段紧密连接起来，成为地下连续墙，连接接头是地下连续墙的薄弱点，要求接头处不透水，不降低强度，不阻碍并保证施工能准确进行。

无论哪种连接方式都存在一定的弱点，要求接头越少越好。

1．接头的形式

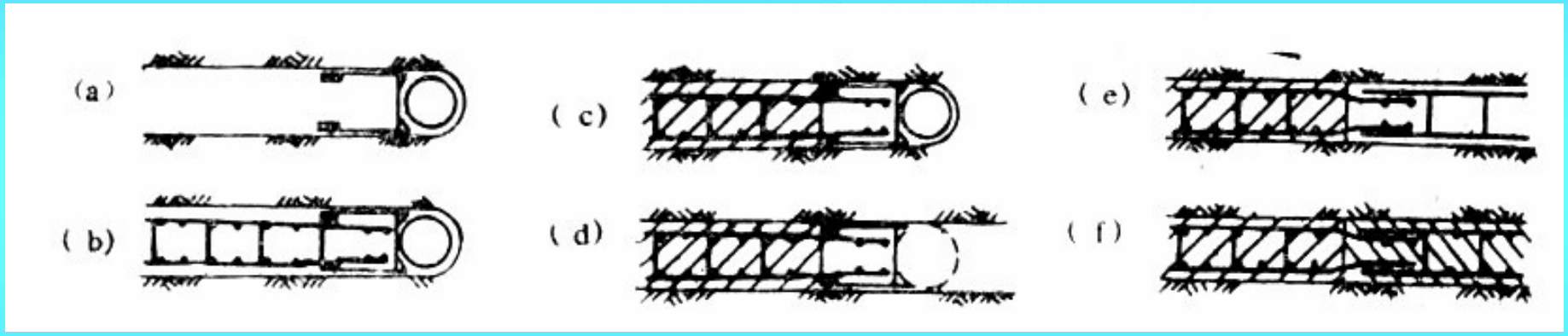
① 平面式接缝：孔槽段端点插入平面钢板

② 接头管式：在槽段端点插入直径或宽度与墙厚相同的无缝管。在砼终凝前拔出接头管，再施工相邻槽段，接头缝为半圆面。

③ 间隔钢板式：在接头管两侧焊钢板，施工同接头管楔面。

④ 接头箱式

钢筋笼 箱体 接头管。

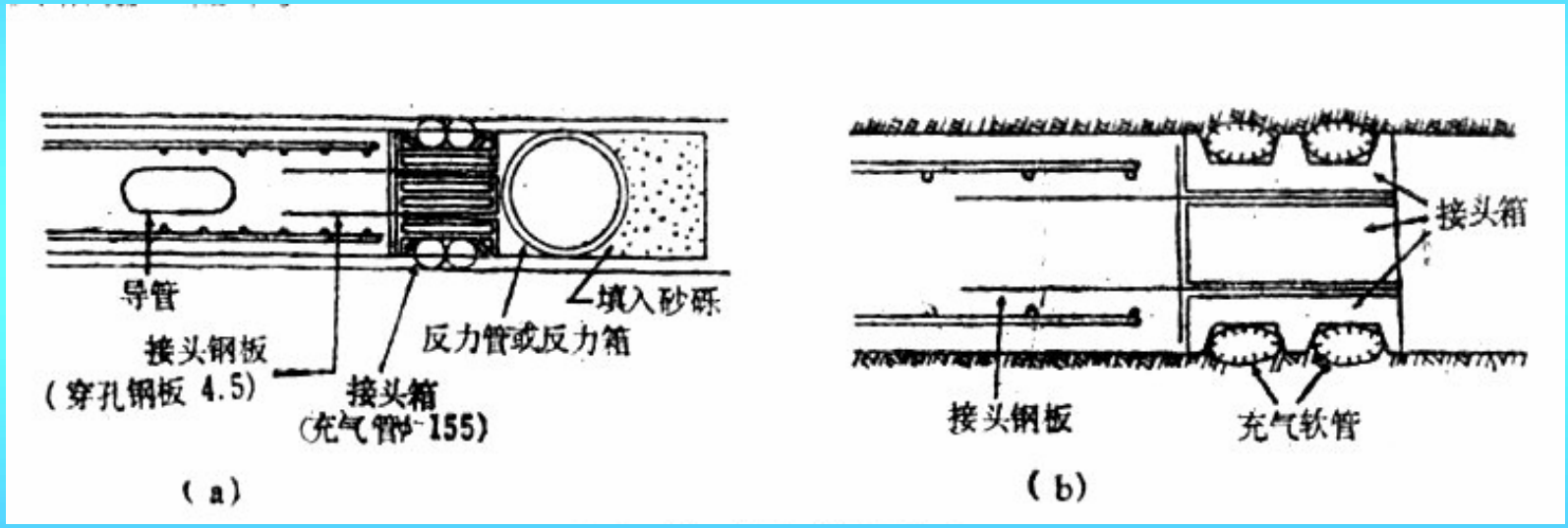


接头箱施工程序

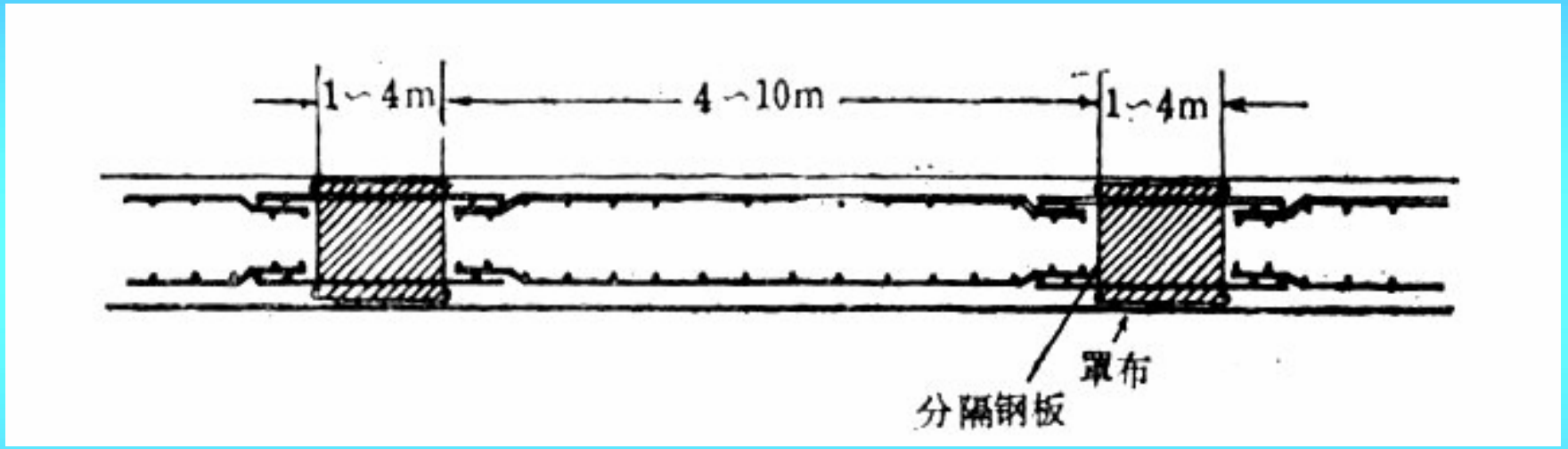
(a)插入接头箱；(b)放置钢筋；(c)灌注砼；(d)拔出接头箱；(e)放置后一段钢筋；(f)灌注后一段的砼

④ 接头箱式

钢筋笼 箱体 充气软管（4根）（防砼绕流）。



⑤ 预制接头式：先施工接头段，后施工槽段。

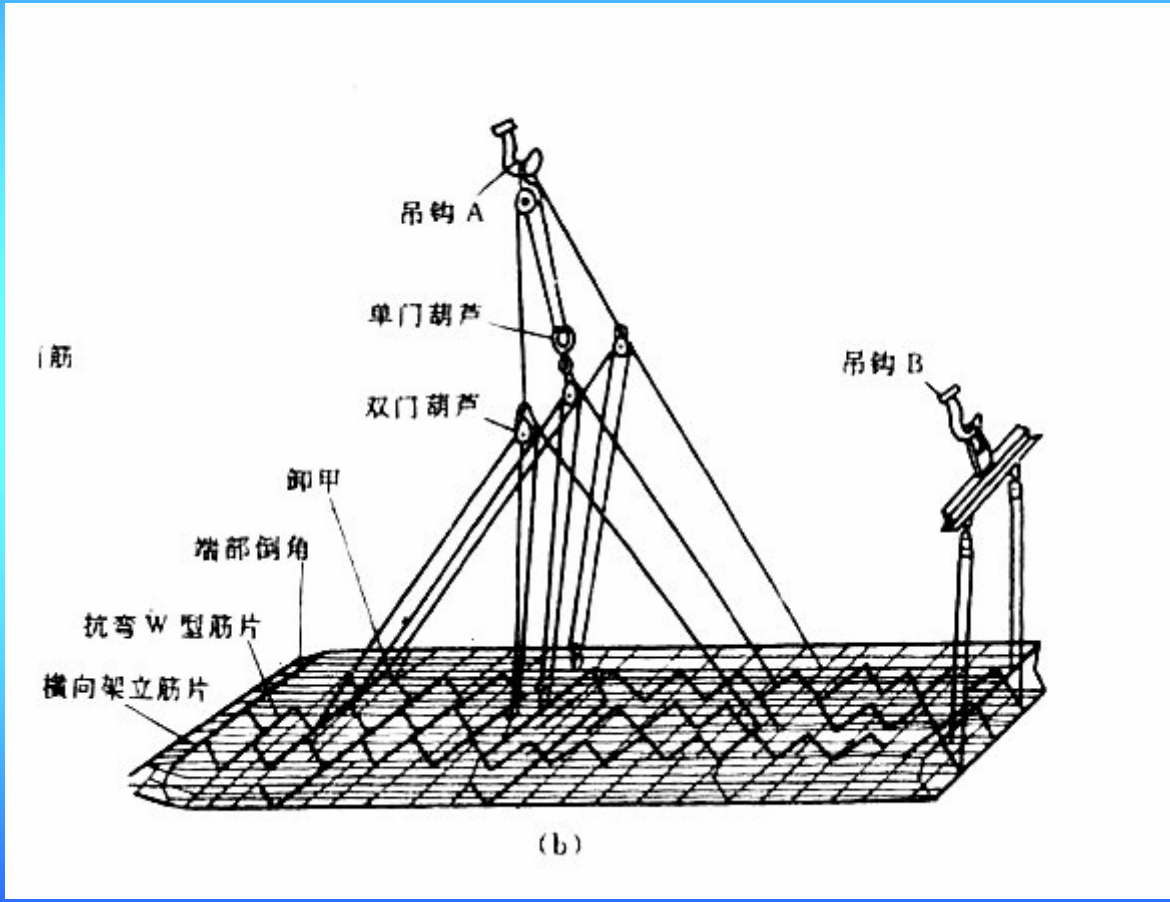


2．接头管的插入和拔出

① 必须插入槽底一定深度（>5cm），确保砼不流入管内。（压入或轻击入）

② 砼初凝后（灌注后2~3小时）每隔30分钟转动并上拔0.5~1m，直至全部拔出，拔管过早，砼墙坍落，过晚，难以拔出，用千斤顶拔。

第三节 钢筋笼的制作和吊放



第四节 混凝土灌注

槽段式地下连续墙混凝土灌注与钻孔灌注桩灌砼方法大同小异，都是采用水下砼灌注法，为保证灌注强度，灌注导管需2~3根同时灌注。

地下连续墙的特点：

1．对地层适应性强：不受地下水位影响（水位高，墙壁稳定）从软泥到较硬岩均能施工（软层挖、硬层钻）。

2．施工时振动小，噪音低：适合城建施工，所有挖槽机都具备这一特点（挖斗为水下作业，地面机构为液压，动力为电动机）。

3．墙体刚度大：连续墙厚度为0.4~1.2m钢筋砼，能承受较大的挡土时的土层压力和轴向荷载，基坑开挖时不产生塌方和相邻地基沉降。

4．防渗性好：墙体为钢筋砼，较其它防渗墙有更可靠的保证（地下开挖对地下水隔离的程度，关系到工程的成败）。

5．对周围地基无扰动：2，3特点的汇总，不会影响现有建筑物，可贴近现有建筑施工，安全性远高于其它施工方法。

6．用途广：作临时挡土防水设施，作为地下建筑物的外墙或承载墙。

地铁工程、地下街道工程较盾构施工（挖出圆形盾形）断面容易安排（筑成两道连续墙后，先盖顶恢复地面使用，再进行地下作业）。连续墙可将地下空间的利用深度加大（最深达130m）（其它施工方法难以达到），有利于缓和地面拥护。

目前主要用于多层地下室工程，地下仓库工程、挡土防渗工程：小浪底、三峡、紫坪铺电站等工程。

存在的问题：

1．地质条件和施工适应性问题：（连续墙以勘探线连续开挖，而地层预测是以点布勘探孔，不能探测到所有复杂情况），要能在开挖中遇到复杂情况或发生问题时采取相应措施，须具备较高的技术水平和丰富的施工经验。

2．槽壁坍塌问题：第一，泥浆护壁（稳定液）难以适应地层条件的变化（砂、砂砾、粘土的夹层或漏失或涌水），致使槽壁坍塌。

3．弃土与废泥浆的处理问题：挖出的土含水量高，泥浆中粘土不易分离，排运困难。

4．经济效益问题：造价高于普通挡土墙造价，但在振动、噪声以及地基沉降和“逆作法”施工的采用与施工安全性方面具有较大的优越性。

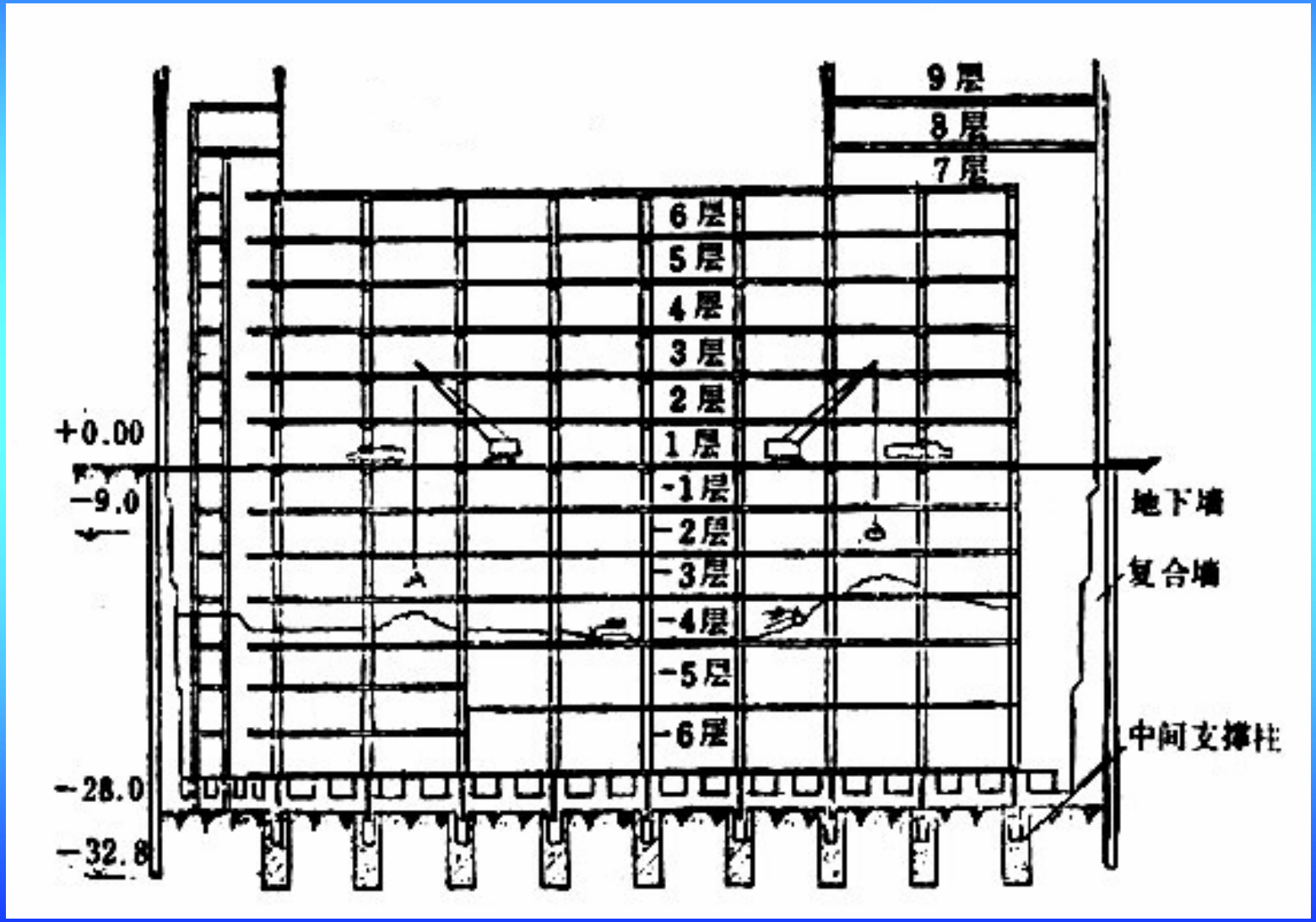
利用地下连续墙进行的“逆作法”施工

对于多层地下室的（多达9层），常规施工：开敞式施工，大开口放坡开挖或用钢板桩临时围护后开挖至设计深度，然后浇筑钢筋砼底板，自下而上逐层施工直至地面顶层。该法，占地面积大，钢板用量大，变形大需大量支撑，易引起固围地面变形，危害附近建筑物，利用地下连续墙采用逆作法施工，在国内外均以取得显著成效。

施工工艺原理：

先沿建筑物基线施工地下连续墙，作为地下室边墙或基坑围护墙，在建筑物内部支承柱位置施工钻孔灌注桩然后开挖第一层地下室并完成层底面梁板工程完工后的梁板结构也成为了地下连续墙刚度的支撑系统。然后继续向下逐层开挖逐层施工。第一层地下室完工后，可封闭地面层梁板（留出作业垂直通道），进行地上地下同时施工直至工程结束。

“逆作法”施工


9层
8层
7层
6层
5层
4层
3层
2层
1层
-1层
-2层
-3层
-4层
-5层
-6层
+0.00
-9.0
-28.0
-32.8
地下墙
复合墙
中间支撑柱

施工特点：

1．缩短施工总工期。

2．基坑变形小，相邻建筑物沉降小。

3．结构设计更合理（不需基坑抗浮的增厚板（双向配筋）（支承柱缩小了底板跨度）

4．降低工程费：减省了墙体支撑材料，上海电信大楼深nm，用于支撑墙体的钢材达1350吨。