

第三章 桩基础施工技术

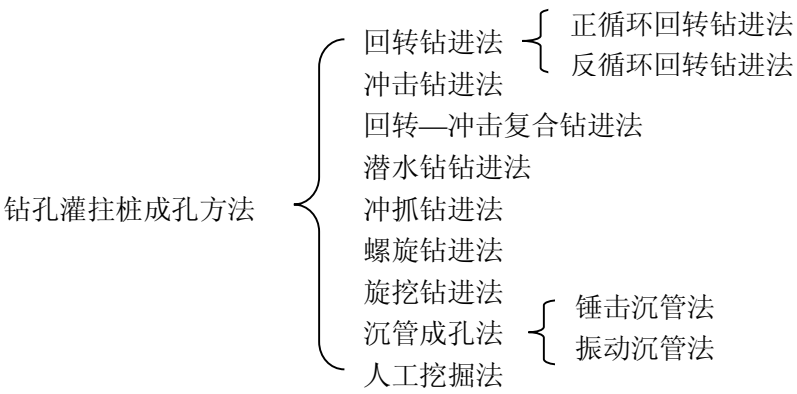
第一节 概 述

基础工程施工技术在高层建筑、重型厂房、路桥、港口码头，海上采油平台以及核电站等现代建设工程中占有极为重要的地位。随着人类对物质文化生活要求日益增长，活动空间不断扩大，生活、交通、工农业生产现代化，促使大城市和居民稠密区的现代建筑立体化、大型化、重型化。除发展地面的高层建筑，而且还向地下拓展活动空间，使现代基础工程施工的任务日趋繁重，其技术也日益复杂。建设单位和施工单位不断探索高质量、低造价的基础工程设计方法和施工工艺，促进了基础工程施工技术的迅速发展。新的技术、新的工艺、新的机具、新的材料层出不穷，以适应现代化建设的

第二节 钻孔灌注桩施工技术

二、钻孔灌注桩成孔工艺

钻孔灌注桩成孔应根据地质条件、桩径大小、桩体埋深和设备能力等选用适当机具和成孔方法。桩孔的钻进方法很多，归纳如下：



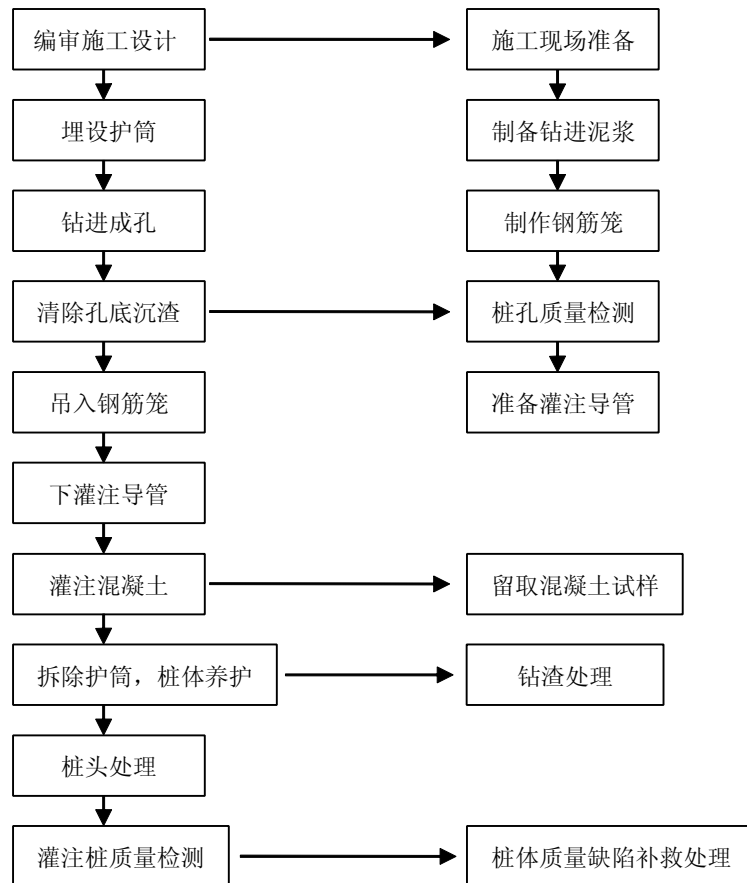


图 3—2 钻孔灌注桩施工工艺流程

（一）回转钻进法

目前回转钻进成孔可分为正循环回转钻进和反循环回转钻进两种钻进成孔工艺方法。

正循环回转钻进是指循环介质从钻杆内进入孔底，经钻头并携带钻渣再从钻杆与孔壁之间的环状间隙中返回孔口的一种钻进方法。这种成孔方法适用于各类粘土层、砂土层和基岩。也可在砂砾、卵石含量小于 15% 的土层中使用。但对于大直径的桩孔，采用正循环回转钻进时，其钻杆与孔壁之间的环状断面积大，泥浆上返流速低，排除钻渣能力差，岩土重复破碎现象严重，钻速低。因此正循环回转钻进成孔，桩孔直径一般不宜大于 1000mm。

反循环回转钻进是指循环介质从钻杆与孔壁之间的环状间隙中进入孔底，经钻头并携带钻渣再从钻杆内返回孔口的一种钻进方法。大口径桩孔钻进时，由于钻杆与孔壁之间的环隙断面大，泵排量有限，采用正循环其上返流速低，孔底钻屑排除不净，造成钻屑的重复破碎。严重影响了钻进效率并加快了钻头磨损，同时也增大细小钻屑从泥浆中分离处理与泥浆维护难度。虽然通过增大泥浆粘度和比重有利于上返钻屑，但这会使孔壁泥皮厚度增加，影响桩的质量。采用反循环钻进时，泥浆上返速度一般可达 $2 \sim 3.5 \text{ m/s}$ (约 10 倍于最低临界上返流速)，因此能够及时有效地将孔底钻屑清除并带出孔口。即使是在卵砾石层钻进，只要卵砾石粒度小于钻杆内径，就可以不经破碎直接排出孔口。这种钻进方法已在大口径钻孔施工中得到广泛的应用。

（二）无循环回转钻进法

无循环回转钻进是指钻进过程中孔内无冲洗介质（干钻）或孔内液体不循环。这方面最具代表性的钻进方法是螺旋钻进和钻斗钻进。无循环回转钻进主要适用于各类粘土层和砂土层，不适于大粒径卵石层钻进。由于该钻进方法能及时排除钻屑，无重复破碎，也无液柱压力影响。钻进效率高、不用冲洗液，无泥浆污染，省去了循环设备，降低了施工成本。

1. 螺旋钻进

螺旋钻进是利用螺旋钻具储存或输送钻屑的干式机械回转钻进方法。根据螺旋钻具的长度又分为长螺旋钻和短螺旋钻。

短螺旋钻：据地层的粘性情况，其螺旋叶片可以是单线或双线。在钻进一个回次中，钻出的钻屑积聚在螺旋叶片带上。钻完一个回次后将钻头提出孔口，然后盖住孔口，反转甩掉岩屑。因此短螺旋钻进是间断进行的，钻进效率显然不如长螺旋钻进高。但由于回转阻力矩小，设备负荷小，功率消耗亦小得多。因此短螺旋钻可以用来钻进直径偏大、孔深较大的桩孔，一般可钻孔径 0.25~3m 的桩孔，孔深亦达 40~50m。

长螺旋钻：在钻进过程中，钻屑靠螺旋面连续不断地垂直输送到地表上来。但在输送钻屑过程中，钻屑与螺旋片面，钻屑与孔壁之间的摩擦力随着孔径与孔深的增加而急剧增加，从而产生很大的阻力矩。另外，要使钻屑连续不断地输送到地表，按照螺旋输送的原理，其转速必须高于临界转速，这样在钻进大直径孔，特别是孔较深时，功率消耗很大，需配备功率较大的动力机才行。因此一般长螺旋钻较适于钻进直径在 1m 以下、孔深不大于 15m 的孔为宜。长螺旋钻进需有专用的螺旋钻机才行。这种钻机一般都是动力头式的，见图 3-14。

（1）螺旋钻具

螺旋钻具由螺旋钻头和螺旋钻杆组成。常用螺旋钻头有三种形式：平底螺旋型、锥底翼片形和锥底螺旋形。如图 3-15 所示。螺旋钻杆由芯管、螺旋叶片和连接部分构成。螺旋叶片以开口环形锰钢片用热压模法加工成形。如图 3-16 所示。

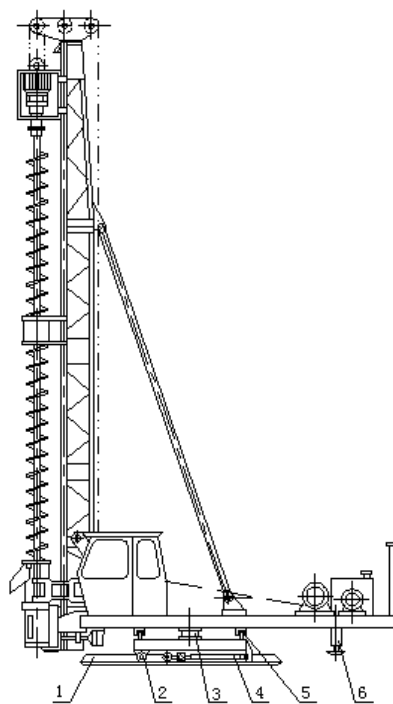


图 3-14 步履式全螺旋钻机

1—下盘，2—行走滚轮，3—旋转中心轴，
4—行走油缸，5—旋转滚轮，6—支腿

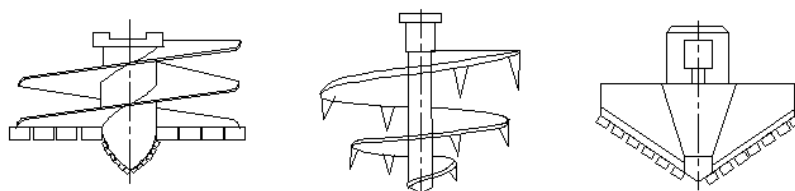


图 3-15 螺旋钻头

（2）螺旋钻进工艺

螺旋钻进就其实质来说仍属硬质合金钻头的全面钻进。影响钻进效率的因素与硬质合

金钻进是基本相同的，即轴向压力和转速。

轴向压力的确定是比较复杂的，其最优值应根据岩土性质、孔深、孔径、钻头型式、钻机功率等因素综合而定。若轴向压力过大，可能会破坏原有切削和输出的平衡，使钻屑不能及时有效地排除，逐渐使阻力增大，从而导致功率不足，无法驱动钻具运转；若轴向压力过小，则切削量小，钻进效率相对就低；还会因此而使钻具在回转时易产生振动，带来不利于钻进的影响。

转速在螺旋钻进中直接影响破碎岩石的效率和排除钻屑的效果。转速越高，越有利于向上输送钻屑，但所需的功率也越大。对于短螺旋钻来说，它主要用于钻大直径桩孔，扭矩大，因受钻机功率限制，钻进时转速不可能太高，钻屑先积聚在螺旋叶片上，然后随钻具提出孔口，并反向旋转钻具来消除。

2. 钻斗钻进

钻斗钻进是一种在土层钻大直径孔的有效方法。在日本称之为土钻。

(1) 结构与原理

钻斗是指连接在钻杆下端的一个底部带耙齿的筒状钻具，如图 3—17 所示。

钻进过程中，借助于钻具自重和钻斗的回转，耙齿压入并切削土层，切削下的土块被收入斗内。待斗内土块装到相当数量后被钻具提到孔外，打开钻斗，卸去土块。由此可见，其排土不需通过泥浆循环，属无循环钻进。孔内的泥浆只是起平衡孔内与地层压力的作用，以保证孔壁稳定而不发生坍塌。

因钻进与排土是分两道工序进行，因而升降钻具的辅助工作占很大比例。为了缩短升降辅助时间，钻机常配用伸缩式钻杆。

钻斗钻进适用于软土和淤泥层。与螺旋钻相比，它既可以钻进干土层，又可以钻地下水位以下的湿土层。可以采用泥浆作为稳定液，防止钻孔坍塌，并且不需泥浆循环系统，从而简化了施工设备。减少了污染，降低了施工成本。

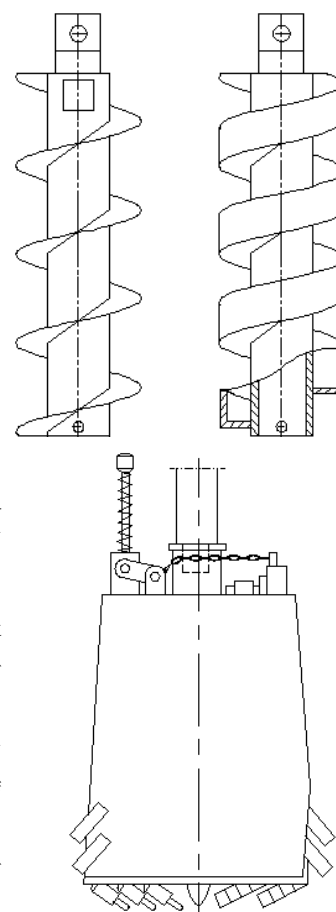


图 3—17 底开门式钻斗

(三) 冲击钻进

钢绳冲击钻进是借助于一定重量的钻具，在冲击钻机的带动下，钻头以自由落体加速度冲击孔底岩土，从而使孔底岩土破碎而获得进尺。钢丝绳冲击钻进虽是一种古老的钻进方法，但因其具有能有效地钻进基岩和卵砾石地层，钻具磨损小，钻进效率高、成本低、设备较简单，易搬运和维护检修的特点，广泛应用于钻孔灌注桩成孔。

钢绳冲击钻进分冲击无循环钻进和冲击反循环钻进两种方法。冲击无循环钻进在水井钻进成孔部分已有介绍，在此略过。

冲击反循环钻进是在冲击无循环钻进基础上发展起来的。它在冲击无循环钻进的钻具上增加了一套冲洗液循环管路，并由砂石泵实现反循环携带排除孔底钻屑，从而克服了冲击无循环钻进需提出钻头，下入抽砂筒捞渣的不足，减少了钻屑重复破碎，增长了纯钻进时间，大大提高了钻进效率。

冲击钻进适宜钻进卵砾石、碎石地层、基岩地层，亦能钻进砂土、一般性粘土地层和淤泥地层。

（四）冲抓锥钻进

冲抓锥成孔是用具有冲击功能并由锥瓣直接抓取土石冲抓锥来凿岩成孔。其冲击作用在于使锥瓣易于切入地层中，而不以击碎土石为主要目的。此种成孔方法适用于杂填土、粘性土、砂土、砂卵砾石层、漂砾等。若冲抓锥在冲击锥的配合下，其适用范围可扩大到各种复杂的土层，例如腐植土、淤泥、坚密粘土、砂土、砂砾石、松散砂砾以及各种软岩层。

冲抓锥成孔直径为 $\phi 600 \sim \phi 1500\text{mm}$ ，孔深一般在 20m 以内。当孔深超过 20m，则因用在提升和下落冲击锥的时间太多，而使钻进成孔的效率过低，不如采用冲击钻进成孔。

1. 冲抓锥成孔的主要机具设备

冲抓锥成孔按冲抓锥操纵锥瓣开合的方法不同，分双绳冲抓锥和单绳冲抓锥。双绳冲抓锥在工作时是由两根钢丝绳操纵，一根钢丝绳提吊锥头，另一根钢丝绳控制锥瓣的开合，完成抓土和卸土工作，不须自动挂钩装置，这种冲抓锥机具系统用一台双筒卷扬机或两台单筒卷扬机操纵，制作简易，设备简单。在操纵钻进过程中，要注意防止两根钢丝绳互相缠绕、扭花。双绳冲抓锥工作时，可实现多次冲击达到满意的切入深度后再提锥。

采用自动挂钩装置的单绳冲抓锥机具系统主要由钻架、卷扬机、冲抓锥、钢丝绳、转向装置、出渣装置以及泥浆搅拌机等组成。

图 3-18 是浙江省天台机械厂的 8JZ 型单绳冲抓锥示意图。其工作原理是：冲抓锥头工作时，依靠自重（配重体就是为了增加冲击力而设计的）向孔底进行冲击，靠张开的叶片插入孔底地层。冲击后，操纵卷扬机，使钢丝绳先通过滑轮组将四个抓片闭合，挖取泥砂，然后整个锥头由孔下提上来，提上孔口碰到固定于塔架上的自动挂钩器，实现自动挂钩。挂住钩后，放松钢丝绳即张开抓片，卸土于接在孔口的小车上。小车拉走后，便可再将锥头从挂钩器上脱下，再进行冲击，开始下一个循环。这样作业，便可达到向地下造孔的目的。抓片的开闭是由自动开闭机构完成的，锥头的挂卸是由自动挂钩器完成的。冲抓锥头的冲击力可用调整配重体块数和改变冲击冲高度的方法来控制。

2. 冲抓锥成孔工艺

冲抓锥成孔时，可根据不同的地层，向孔内注入符合要求的泥浆，或倒入粘土，或投入泥球，然后将锥瓣闭合的冲抓锥吊入孔内，冲挤粘土使之与松散孔壁粘结；此后才能提起冲抓锥张开锥瓣进行冲抓钻进。根据不同的地层，选择不同的冲程和护壁措施：

（1）冲抓松散砂土地层时，采用低冲程 0.5~1.0m，并使用比重大、粘度高的泥浆或投入粘土护壁。

（2）对不密实的粘土层进行冲抓时，

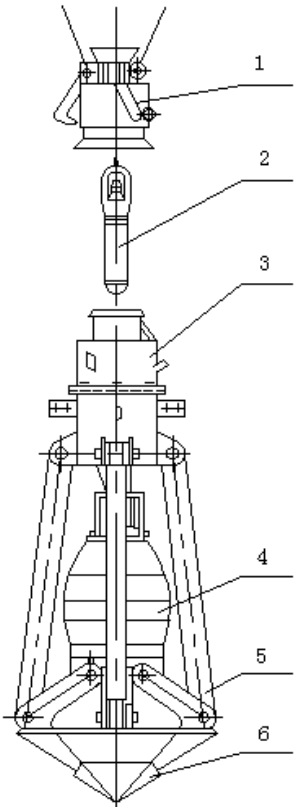


图 3-18 8JZ 型冲抓机
1—自动挂钩器，2—绳接头，
3—自动开闭机构，4—配重
体，5—连杆，6—抓头

冲程不宜过大,以防止冲抓锥切入土中过深,导致提锥时阻力过大,一般采用冲程为 1~2m。对坚硬、致密的粘土层冲抓时,可适当加大冲程至 2~3m,以保证锥瓣有一定的切入深度。若使用双绳冲抓锥,可用外套绳提锥连续冲击几次,将土冲松后再收内套绳合拢锥瓣抓取土石。孔内用常规泥浆护壁即可。

(3) 冲抓砂卵石层时,选用抗冲击且耐磨的锥瓣。在较松散的砂卵石层中冲抓时,采用中等冲程即 1~2m 为宜,若砂卵石较密实,可将冲程加大到 2~3m,且落锥要猛,要快。视砂卵石层的稳定程度,或采用大比重、高稠度的泥浆护壁,或投入粘土团护壁。

(4) 冲抓漂石时宜采用低冲程 0.5~1.0m,并以外套绳提住冲抓锥连续进行低冲程冲抓,收内套绳时要慢,以利于抓取漂石。

(五) 桩孔扩底工艺

桩孔扩底常采用以下三种方法:

1. 人工挖扩

适用于桩径大于 1000mm 的地下水位以上的稳定地层的桩孔。施工时应采取绝对安全的防护技术安全措施。

2. 爆扩法:

适宜于可以爆扩成型的地下水位以上的或很少地下水的粘性土、中密和密实的砂质土,碎石及风化岩地层。

爆扩施工一般采用硝铵炸药和电雷管引爆。爆扩药包应做成近球形,一般用两个雷管引爆,药包和雷管应放置在桩孔底面中心,然后在上填砂,在引爆线路装好后,再浇灌一定量的混凝土。爆扩前从浇灌混凝土开始至引爆的时间不宜超过 30 分钟,引爆后应连续浇灌混凝土。施工前,应现场做爆扩试验,在每种土层中试验的孔数不少于 2 个,以通过试验来检验桩孔扩大头尺寸是否符合设计要求。

3. 钻扩法

钻扩法适宜用于坚硬、可塑、硬塑、软塑状态的粘性土及密实、中密、稍密的砂土地层,不宜用于流塑状态的粘性土、松散砂土和碎石土地层。

钻扩钻头可根据机械原理进行设计,较多采用机械压扩式钻头。施工时,待钻孔钻进到设计标高后,下入钻扩钻具逐渐撑开扩刀,切土扩底。钻扩过程中应及时将切削下的钻屑清除,以免积存孔底,影响钻扩进行,甚至造成事故。

常用扩底钻头类型见图 3-19、图 3-20 所示。

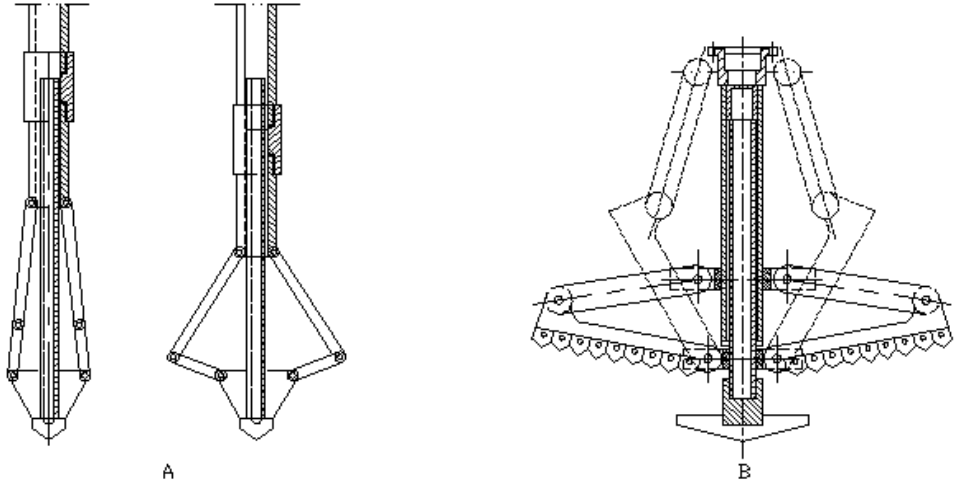


图 3-19 机械压扩式扩底钻头

A—四连杆机械压扩式钻头

B—KDJ-1500 机械压扩式钻头

三、桩孔清孔

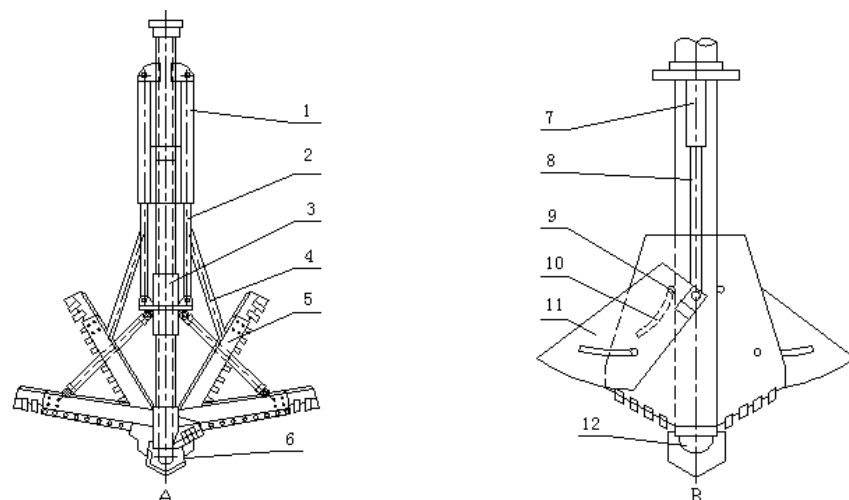


图 3-20 油压式扩底钻头

A—油压三翼扩底钻头

B—反循环油压三翼扩底钻头

1—开闭油缸，2—千斤顶顶杆，3—滑块，4—撑杆，5—扩刀，6—端部钻头，
7—油压千斤顶，8—活塞杆，9—导向销，10—导向槽，11—扩刀，12—排渣口

（一）清孔方法

清孔应在钻进终孔后立即进行，以免沉渣增多，增加清孔工作量和清孔难度。

桩孔清孔的方法很多，应根据设计要求、成孔方法、设备机具和地层情况等进行选择。一般来说，振动沉管成孔无需清孔；螺旋钻进、冲击钻进和冲抓钻进成孔则采用抓土或捞渣的方法清孔；而采用泥浆护壁的回转钻进等则采用泥浆循环排渣的方式进行清孔。下面介绍几种常用的清孔方法。

1. 抽浆法

采用抽吸的方法将孔内含有钻屑的浆液彻底抽出，并以符合要求的泥浆替换。适用于各种钻孔方法形成的桩孔。

（1）正循环清孔

在正循环回转钻进终孔后，停止进尺，将钻具提至离孔底 10~20cm 的高度，开泵使泥浆形成正循环，将孔内稠泥浆替换出来，以达到清除孔底沉渣的目的。这种方法只适用于细颗粒的土层和砂层，难以排除较大颗粒的沉渣，而且不适用于较大口径的钻孔。

（2）泵吸反循环清孔

在泵吸反循环回转钻进终孔后，停止进尺，并将钻头提至离孔底 10~20cm 的高度，继续使用泵吸反循环排渣，将孔底沉渣清除出孔外。这种方法适用于土层、砂层、基岩层和粒径小于钻杆内径 2/3 的卵砾石层钻孔。由于泵吸反循环返浆管内泥浆上返流速快，具有吸渣干净、效率高等优点。适用于较大口径的钻孔。

（3）气举反循环清孔

气举反循环清孔是在钻孔终孔后下入排渣管，或在钢筋笼吊放完毕，下完灌注导管后，然后在管内下入风管（同心式安装），利用风管将压缩空气送入孔内一定深度，压缩空气与

孔内泥浆混合,形成密度较小的气水混合物,在压力差的作用下,沿风管与导管间间隙上返,孔底泥浆携带钻渣沿间隙上升返至地面。这种方法适用于密实、不易坍塌的地层。

气举反循环清孔,当孔底沉渣较厚或较密实时,可适当下降风管,冲松沉渣后,再将风管提入排渣管内形成反循环排渣。随着孔底沉渣减少,排渣管应适时跟进,始终保持吸渣口与沉渣面的距离为 30~40cm。

用反循环方法成孔时,泥浆相对密度一般控制在 1.1 以下,孔壁不易形成泥皮。一般 5~15 分钟就可清除孔底沉淀钻渣。在整个清孔过程应注意保持孔内水位,直至灌注混凝土,以防塌孔。

2. 换浆法

采用泥浆泵,通过钻杆以中速向孔底压入相对密度为 1.15 左右、含砂率小于 4%的泥浆,把孔内悬浮钻渣多的泥浆替换出来。

换浆法对于正循环钻进成孔,不需另加机具,且孔内维持泥浆护壁,不易塌孔。但换浆法也有较多的缺陷:

- (1) 孔内较大的颗粒钻渣难以清除;
- (2) 相对密度小的泥浆由下向上顶替相对密度较大的浆液时,有可能在孔内形成对流运动,需要花很长时间才能达到清孔要求;
- (3) 当泥浆含砂率较高时,绝不能用清水清孔,以免砂粒沉淀而达不到清孔目的。

3. 掏渣法

对于较浅的桩孔,钻进达设计标高后,一般可采用专用捞渣筒捞出孔底沉渣。

冲击钻进、冲抓钻进,全套管钻进则采用钻具捞砂筒或冲抓斗来捞出孔底沉渣。一般应捞至泥浆中无 2~3mm 大的颗粒为止,并使泥浆相对密度降至 1.05~1.20。

掏渣法主要是针对冲击或冲抓法所成的桩孔进行捞渣清孔。

4. 灰浆置换法

砂浆置换法是用抽渣筒尽量清除大颗粒沉渣,然后以活底箱在孔底灌注 0.5~1m 厚的特殊灰浆(即用炉灰或粉煤灰与水泥加水拌和而成,其相对密度较小,能浮在混凝土之上)。再下入比孔径稍小的搅拌器,慢速搅拌孔底灰浆和沉渣,使其与孔底残留沉渣混合。提出搅拌器,插入钢筋笼,灌注水下混凝土。连续灌注的混凝土把混有钻渣并浮在混凝土之上的灰浆一直推顶到孔口,达到清孔的目的。操作程序如图 3-21 所示。

四、灌注桩成桩工艺

成桩工艺主要包括钢筋笼制作和安放与桩身混凝土灌注。钻孔灌注桩在成孔后,需按设计下入钢筋笼,然后再灌注混凝土。

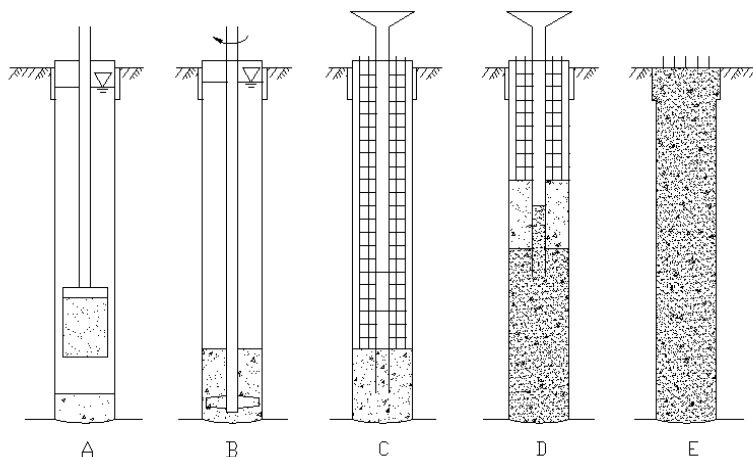


图 3—21 灰浆置换钻渣清孔示意图

(一) A—用活底箱灌入置换灰浆, B—下入搅拌器搅拌混合钻渣, C—安放钢筋笼及导管,

钢筋笼的制作和安放

钢筋制作

在混凝土灌注桩中配置钢筋,一方面可以提高混凝土桩承受压力荷载的能力,同时还可以提高桩的延性,增加其抗拉和抗剪的强度。在实际施工中,桩基设计单位对桩内钢筋笼的结构、制作和入孔部位都有明确的要求。根据要求和施工安排,预先制作好钢筋笼。钢筋笼主要由主筋、箍筋、加强筋和保护块组成(图 3—22)。

1. 钢筋笼的制作方法

钢筋笼的制作即钢筋笼的成型。成型的方法不同,所需的设备工具也不同。钢筋笼制作的主要设备有电焊机、钢筋切割机、弯曲机等。制作的主要器具有钢筋切断工具、钢筋调直器、人工调直扳子、扎丝钩、绑扎支架等。

(1) 常用钢筋笼成型方法有三种:

① 木卡板成型法

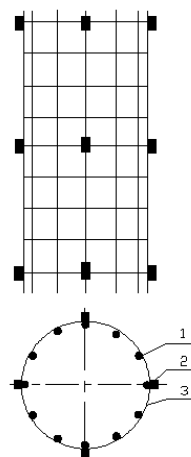
用 2~3cm 厚的木板制作成两块半圆卡板。按钢筋笼主筋位置,在卡板边缘凿出支托主筋的凹槽,槽深等于主筋直径的一半。制作时,每隔 3m 左右放一块卡板,把主筋纳入凹槽,用绳绑好,再将箍筋缠绕其上或套入加强筋,并用扎丝将其与主筋绑扎牢靠,然后松开卡板与主筋的绑绳即可。

② 箍筋成型法

在钢筋圈上标出主筋位置,同时在主筋上标出箍筋位置,然后在水平的工作台上放好主筋长度范围内的箍筋圈,将两根主筋穿入箍筋圈团内,按照上述标记对准位置,依次扶正箍筋一一焊好,再将其余主筋穿进箍筋团内焊成钢筋笼。

③ 钢管支架成型法

根据钢筋笼长度,在钢筋笼两端适当位置各架设一门字型钢管支架,按设计要求间隔放两根主筋于支架平杆上,再将加强筋按设计要求间隔和位置绑焊在两根主筋上,并注意与主筋垂直;按加强筋上的标记绑焊其余主筋,最后缠绕箍筋,绑焊牢固。



2. 保护层的设置

为使钢筋笼居于桩孔中间，不至于出露在混凝土表面，需在钢筋笼的四周设置厚度基本一致的支撑扶正垫块，确保钢筋笼外有一定厚度的混凝土保护层。扶正垫块的厚度与要求的保护层厚度基本相同。保护层厚度一般不小于 30mm，水下灌注混凝土，保护层厚度不小于 50mm。

图 3-22 钢筋笼结构示意图

1—主筋，2—保护块，3—箍筋

保护层的设置方法有混凝土预制垫块、钢管保护层、焊接钢筋三种。

(1) 混凝土预制垫块

垫块尺寸可为 $15 \times 20\text{cm}$ ，其厚度依保护层厚度而定。靠孔壁一面制成弧面，靠钢筋笼一面制成平面，并有十字槽。槽的宽度和深度，以能容纳主筋和箍筋为宜。在纵槽两旁对称埋设两根绑扎用的铅丝或在十字槽底部埋设直径 $6 \sim 8\text{mm}$ 钢筋一根，以便与主筋绑扎或焊接。这种垫块同孔壁的接触面积较大，制作简单，设置方便。

(2) 钢管保护层

用导向钢管控制保护层厚度，是先将导向钢管垂吊于孔壁四周，然后吊放入钢筋笼入孔。钢管一般不得少于 4 根，钢管长度应与钢筋笼相同。钢管可在混凝土灌注过程中分节拔出或在灌注完毕后一次拔出。

对于长桩，可采用上部设钢管，下部设混凝土垫块的形式，使钢筋笼全长的保护层厚度都能得到保证。这种方法较为可靠，但施工不便。

(3) 焊接钢筋

钢筋“耳朵”是用直径 $10 \sim 22\text{mm}$ 的断头钢筋弯制成“耳朵”形状，长度一般为 $15 \sim 20\text{cm}$ 高为 $6 \sim 10\text{cm}$ ，焊接在钢筋笼的主筋上。

焊接钢筋“耳朵”一般均较牢固，制作也较为简便。但它与孔壁的接触面积小，易陷入孔壁之中，故宜适当布置得密一些。

3. 钢筋笼的吊放

钢筋笼入孔起吊的方法主要有利用钻机钻架起吊，或用灌注塔架起吊，亦有用吊车起吊的。不管用何种方法，起吊前都应根据该桩孔钢筋笼的总长配好每节钢筋笼的长度，并编好入孔顺序。

为保证钢筋笼不变形，宜用两点起吊法。第一吊点设在笼的下部；第二吊点设在笼的中上部之间。起吊时，两吊点同时起吊。待笼离开地面后，第一吊点停止起吊，继续提升第二吊点，随着第二吊点的不断上升，慢慢放松第一吊点，直到笼同地面垂直，停止起吊。然后解除第一吊点，当钢筋笼吊至孔口时，应扶正并缓缓下入孔内，严禁摆动碰撞孔壁。当第一段笼的最后一道加强筋下入孔口时，可用木杆或钢钎穿过加强筋的下方，将笼临时悬挂于孔口，等第二段钢筋笼与之对正，主筋相互焊接牢固后，继续下放钢筋笼。如此反复，直至达到设计深度。

(二) 混凝土灌注方法

混凝土是由水泥、骨料、水及少量外掺剂拌合而成。灌注桩对所用的水泥标号、砂石的级配、用水量及外掺剂等都有相应的要求。混凝土的配制在有关书中均有详细阐述，对于大中型工程多使用商品混凝土，此处从略。

1. 直接灌注法

对于无水和疏干的桩孔，在急速排水之后，立即将搅拌好的混凝土大量地迅速投入桩孔下部，由于落差大，混凝土自行捣实，上部则需进行人工捣实，或采用套管导入混凝土法，以避免落差过大造成混凝土的崩析。

2. 水下导管灌注法(或叫直升导管灌注法)

采用此法,不需抽排桩孔内的水,而直接用导管灌注混凝土。导管灌注法的施工过程如图 3-23 所示。

(1) 水下灌注混凝土的工艺过程

在桩孔内下入钢筋笼并进行二次清孔之后,将底口敞开的导管下入充满水的桩孔内,在导管的上端(水位以上)用铁丝悬挂一个用混凝土制成的隔水塞,在塞上面的漏斗内装足够量的混凝土,然后剪断铁丝,使隔水塞和混凝土拌合物顺管而下,将管内的水向下挤出管口,混凝土下到桩孔底部后,埋住导管下端一定深度,以防桩孔内的水进入导管内。随着后续混凝土拌合物的不断灌入,桩孔内的混凝土不断升高,相应提升并逐渐拆卸导管,直到灌入的混凝土达到设计标高,形成连续的混凝土桩身。

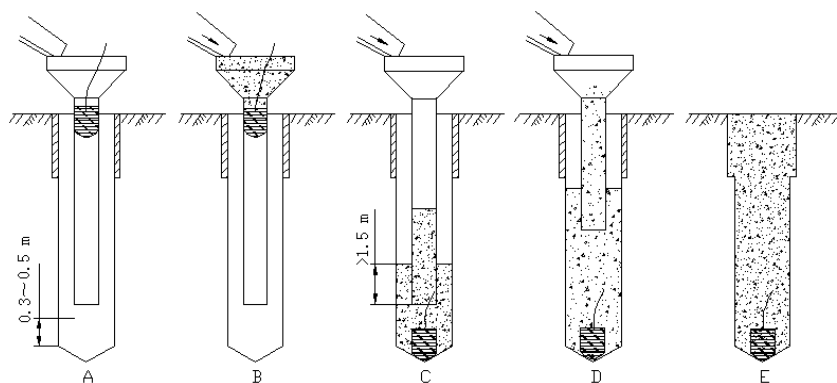


图 3-23 水下灌注混凝土工艺过程

A—下导管悬挂隔水栓塞, B—灌注漏斗中装入混凝土, C—剪断隔水栓塞的悬挂铁丝,

D—连续灌注混凝土, 提升拆除部分导管继续灌注, E—拔孔口管灌注结束

(2) 灌注机具

① 水下混凝土灌注机: 如图 3-24 所示。

② 灌浆导管: 灌浆导管是采用内径 0.2~0.4m 的钢管, 每节长度为 1~2m, 最下面一节导管可长些(一般为 3~4m)。为方便调节灌浆漏斗的高度, 还应设置长度为 0.5~0.7m 带有和漏斗连接装置的短接。导管视具体情况可用丝扣连接或采用法兰盘连接。如图 3-25 所示。不论采用那种方式连接, 都应保证连接可靠、装卸方便、密封性能好。

③ 灌浆漏斗

灌浆漏斗是用钢板焊接而成的, 可圆形, 亦可方形, 其容量加上集料斗的容量应大于等于初灌量。

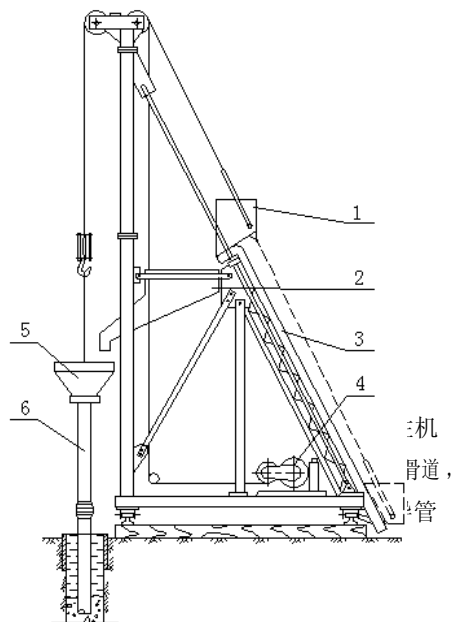
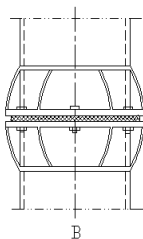
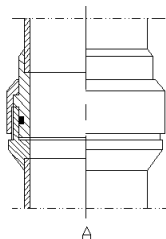


图 3-25 灌注导管连接示意图

A—导管螺纹连接

B—导管锥形法兰盘连接

④ 灌注强度的选定

灌注强度是指每小时内向每平方米的桩孔横截面积灌入混凝土的数量。当选用过小的灌注强度时，则单桩灌注时间过长，发生灌注事故的可能性就增多；如果选用过大的灌注强度；虽可缩短灌注时间，但势必增加搅拌设备的台数，相应的人力和辅助设施。因此应综合考虑灌注混凝土的数量和适当的灌注时间。灌注强度可按下列经验公式确定，

$$I = \frac{V}{A \cdot K_t}$$

式中： I ——灌注强度；
 V ——桩孔中应灌注(实际需要的)混凝土体积 (m³)；
 A ——桩孔平均横截面积(m²)；
 K_t ——适当的灌注时间(见表 3—7)。

适当的灌注时间 (K_t) 表 3—7

桩孔深度 (m)	<20	20~30	30~60	60~70	70~80	80~90	90~100
K_t (h)	1~1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~6.0	6.0~7.0

第三节 灌注桩其他施工方法

一、振动沉管桩施工法

振动沉管灌注桩是将振动器装在桩管的上端，桩管下端底口安装一个桩尖，在振动器振动力的作用下将桩管沉入地层至设计深度形成桩孔。然后向桩管内吊放入钢筋笼并灌注混凝土形成灌注桩。沉入地层的桩管，在灌注结束后利用振动器反振拔出。

振动沉管灌注桩最大的优点是：在松软地层成孔、成桩速度较高， 设备比较简单， 辅助设备少，孔壁土体被挤密，钻孔圆整度好，超径系数小，节省材料，成桩质量较高，不需要采用泥浆，干作业成孔，没有环境污染，适合于干旱缺水地区施工。

振动沉管灌注桩的成孔效率随孔深的增加而降低，缺点是：地层适应性较差，遇硬土，或其它硬层，柱尖阻力大，沉管速度低，甚至无法沉入，故只适用于软弱地层及稍密至中密的砂砾地层中且孔深和孔径都较小的灌注桩施工。通常桩径为 270~480mm，桩长≤25m。

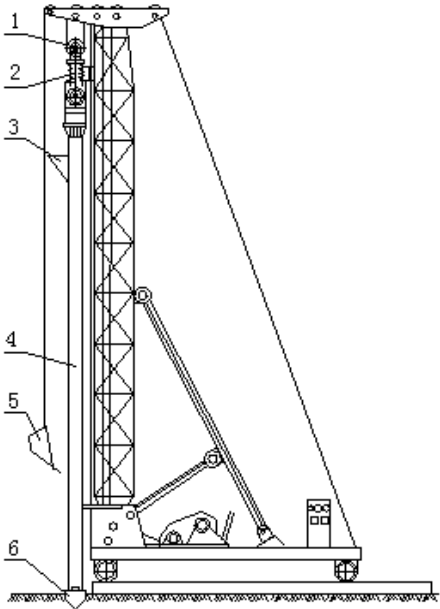
(一) 振动沉管桩施工机具

1. 振动沉管机

振动沉管施工使用的主要设备是振动沉管机。国内生产的振动沉管机类型很多。如DZ—30Y, DZ—40Y、DZ—50Y、DZ—60Y 和 BZK26—A 型等。

各种振动沉管机结构上大同小异，几乎都由振动器、桩架，沉桩管，卷扬机、底盘，行走机构等主要部件组成。

DZ—30Y 型振动沉管机装配功率为 30KW 的电



动双轴偏心轮式振动器。振动器的组成如图 3—28 所示。它包括振动箱和减振装置两部分。振动箱内的两平行轴上装置相同质量的偏心块,由电动机通过三角皮带和两根轴上的一对同步齿轮驱动。箱体后部装有导向板,工作时可沿桩架前面的导轨滑动。振动箱下部以法兰盘与沉桩管连接(DZ—40Y 型振动成孔机则采用液压夹桩器,以夹持沉桩管)。减振装置包括:减振架、弹簧,横梁和提吊滑轮等组成。减振架固定在振动箱上部,两侧装有 4 组减振弹簧和连接杆。杆上部与横梁连结。由于弹簧的减振作用,减轻了桩架所受的振动。连接杆下部装有加压滑轮。当地层松软,不需启动振动器而依靠静压力加压沉桩,或遇硬土层沉桩管沉入速度缓慢时,可利用卷扬机引出的纲绳绕上下加压滑轮组,对沉桩管加压。由此,具有静力加压沉桩的功能,是这种沉管机的一大特点。

桩架使用 5~7 节法兰盘连接 $\Phi 50 \times 6\text{mm}$ 的钢管为主构件,外焊爬梯,后面连接两根斜撑杆,改变斜撑长度,从而调整桩架位置。桩架顶部为滑轮组,下部以销轴铰支在桩架支承座上。桩架前面两侧设标准导轨,可导引振动器轴向运动。

2. 振动器

振动器是利用偏心重块旋转时产生的离心力而产生非定向振动和定向振动。图 3—28(A) 为双轴双偏心轮式振动器工作原理图。在两根平行轴上装置两个质量相等的偏心轮,由电动机通过齿轮带动这两根轴以同一速度反向旋转。两偏心轮的起始相位角相同,这样偏心轮产生的离心力在水平方向的分力始终是大小相等、方向相反、互相抵消,而垂直方向的分力大小相等、方向相同,并形成沿垂直方向作周期性变化的合力,由此使振动器产生垂直方向的振动。激振力可按式计算:

$$P = P_1 + P_2 = 2me\omega^2 \sin \alpha$$

式中: α ——偏心轮的相位角; e ——偏心距;

m ——偏心轮质量; ω ——角速度。

当 $\alpha = 90^\circ$ 和 270° 时, P 达到最大值 P_{\max} , $P_{\max} = 2me\omega^2$ 。

振动器与桩管之间一般采用弹性连接,其结构如图 3—28(B) 所示。

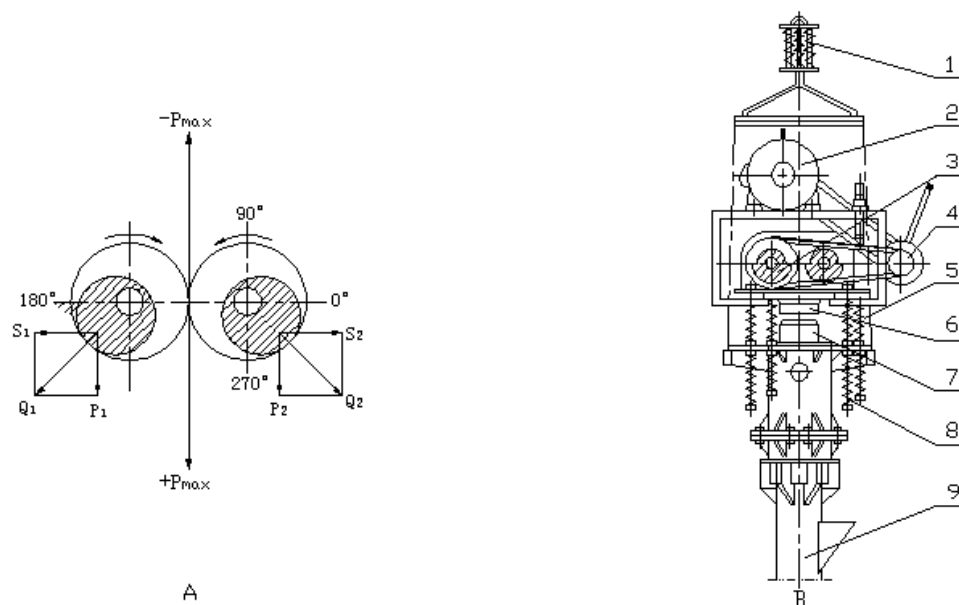


图 3—28 双轴双轮振动器工作原理及构造示意图

A—双轴双轮振动锤工作原理

B—振动器构造示意图

1—缓冲架, 2—电动机, 3—偏心轮, 4—离合器, 5—减震弹簧,

6—上锤砧, 7—下锤砧, 8—工作弹簧, 9—桩管

3. 桩管

4. 桩尖

Figure 1 consists of two schematic diagrams, (A) and (B), illustrating the structure of the probe. Diagram (A) is a front view showing a vertical probe with a dashed centerline. It has a rectangular upper section (1), a thin horizontal section (2), and a wider, flared lower section (3). Two small rectangular features are visible on the horizontal section. Diagram (B) is a cross-sectional view of the probe, showing a trapezoidal shape with a central rectangular cavity. It is labeled with 4 for the outer wall and 5 for the inner cavity. Arrows indicate the direction of light or signal passing through the probe.

A—活瓣桩尖 B—混凝土预制桩尖

1—钢管，2—铰链，3—活瓣，4—钢筋，5—混凝土

施工

技术要点

1. 为保证桩孔的垂直精度，开始沉管时应控制速度。随时注意观察桩管是否偏斜，发生偏斜应及时纠正。
2. 使用活瓣桩尖，开始沉管前要将活瓣收拢并包扎好，在沉管过程中，不可在桩管处于悬空情况下振动，否则，桩尖活瓣易张开并插入地层，致使桩尖损坏。使用混凝土桩尖时，应将桩尖与桩管自然对正。
3. 在地层条件许可时，应首先考虑静压沉管，以减小动力消耗，降低工地噪音。当静压沉管能力不足时，再启动振动器，进行边振动边加压沉管。振动沉管的能力不仅与振动器

的激振力有关,而且还应考虑其振动频率和振幅。振动器的强迫振动频率与砂土的自振频率越接近,砂土的弹性阻力衰退的越快,也就越有利于沉管的下沉。当强迫振动频率与自振频率一致时,沉桩管与周围的砂土发生共振,这时可最有效地削弱砂土颗粒之间的连结力,获得较高的沉管速度。一般粘性土类的自振频率为 600~750 次/min;砂性土的自振频率为 900~1200 次/min。施工时,可根据地层情况,调节振动器的频率,使之接近共振频率,以求最高沉管速度。

4. 在地下水位较高的地区施工,桩管内容易进水,除注意提高桩管与桩头连接处的密封性外,还可采用二次振动沉管,即复打法施工。

5. 桩管到达设计深度,灌注混凝土时,应启动振动器,将混凝土振实。开始拔管要控制速度,桩管被拔起 0.2m 时,应停振 5~10s,并观察管内混凝土的变化情况,确认桩尖活瓣打开或混凝土桩尖脱离后,再以 0.8~1.2m/min 的速度上拔。桩管每拔起 1m,即应留振动 10~15s,以保证混凝土的密实度。需要进行多次灌注时,每次灌注拔管后,应保持管内至少有 1.5m 高度的混凝土。

6. 根据地层等条件的不同,振动沉管灌注成桩可采用以下三种不同的方法施工:

(1) 单打法:桩管内灌入混凝土后,先振动 5~10s 再开始拔管,并且边拔边振。每拔 1m,应停拔并振动 10~15s。如此反复,直至全部桩管拔出。

(2) 复打法:第一次振动沉管达到预定标高后,灌入混凝土,拔出沉桩管,包扎好活瓣或再次安装混凝土桩尖。利用装满料的空中投料斗和拉架上的滑轮机构,向管内输入混凝土料约 1.5m 高。然后,将桩管下入孔内,迅速进行第二次沉管,将未凝固的混凝土向四周挤压。复打的作用在于增大桩径,提高混凝土的密实度和桩的承载能力。其工艺流程是:第一次振动沉管、灌入混凝土、拔管、安装桩头、灌入少量混凝土密封桩头、第二次振动沉管、卸下振动器、吊入钢筋笼、灌注混凝土、拔管成桩。

(3) 反插法:桩管灌入混凝土后,先振动再开始拔管,每次拔管高度 0.5~1m,再振动下沉 0.3~0.5m。在拉管过程中,应分段添加混凝土。如此反复,直至全部桩管拔出。反插法能增大桩的截面积,提高桩的密实度,使桩的承载能力增加。

二、全套管施工法

全套管施工法又称贝诺特工法。此法首先用于法国,后来传至世界各地。全套管施工法所使用的机械(见图 3—30)。它是利用一种摇管装置(见图 3—31(A))边摇动边压进钢套管。钢套管的作用是保护孔壁,长度有 6m, 4m, 3m, 2m、1m 几种规格供选用。钢套管连接采用锁口插销。摇管装置由夹紧器、摇动装置组成。掘土用的冲抓斗的工作原理与冲抓锥相似,抓瓣的张开是靠弹簧压力,抓瓣的收拢是靠钢丝绳的拉力。

施工时,先将套管垂直竖起并对准孔位,用摇管装置将钢套管夹紧后边摇动边压入至一定深度。然后再放入冲抓斗在钢套管内抓取岩土形成桩孔。边摇管边抓挖直至桩孔设计深度后,提出冲抓斗,清除孔底浮土,放入钢筋笼,浇筑混凝土,边灌注混凝土边起拔钢套管成桩。由于钢套管应用于开孔到完桩的施工全过程,故称全套管工法。

全套管施工法的孔壁受钢套管保护,不存在孔壁坍塌和缩径现象。除岩层外,几乎适用于所有的松、软、散地层成孔。该法属于无循环成孔,干孔灌注混凝土,具有施工速度快,无环境污染,桩体直径一致,成桩质量高的特点。但也存在设备庞大,不利于远距离运输;在地下水位较高的厚砂层施工,抓土和沉管效率低。

(一) 全套管施工机具

1. 钻机

国内目前使用的冲抓全套管钻机，主要是从日本引进的 MT 型和 TH 型钻机。MT 型钻机是日本三菱公司生产的系列产品，有 MT-120、MT-130、MT-150 和 MT-200 等数种，近年来，勘探技术研究所也成功研制了 CG1900 型冲抓全套管钻机，它们的结构相似，仅钻孔能力不同。

TH 型钻机的总体结构如图 3-30 所示，它包括套管作业装置，卷扬机、套管导向器、钻架和滑架、动力机和传动装置、液压系统、底盘和支腿以及行走装置等。

2. 摇管装置

摇管作业装置位于钻机底盘的前部，为钻机的主要工作部件，其组成如图 3-31 (A) 所示。包括摇管液压缸、摇管架、夹持液压缸、抱环、夹持架和压拔液压缸等，完成套管的卡夹、摇动、加压和顶拔等工作。操纵液压系统，使夹持液压缸收缩，双抱环即抱紧套管，摇管液压缸的双作用缸筒沿活塞杆往复移动，通过摇管架、夹持架带动套管在平面上正、反向转动，同时两个垂直装置的压拔液压缸工作，将通过夹持架对套管施加压力或顶拔力，使套管在双向摇动摩擦阻力降低的情况下顺利地压入地层或从钻孔内起出。

应该指出，压拔液压缸的活塞杆并不直接固定在夹持架上，它通过一个双向铰接装置与夹持环连接。这样，套管和夹持架在承受压拔液压缸施加的轴向作用力同时，还可在平面上双向摆动。当套管轴向移位达压拔油缸的行程，则需松开夹持抱环，将整个装置倒回起始位置。

3. 抓斗

抓斗为钻进碎岩工具。工作时利用其快速降落所产生的冲击能量切入地层，同时抓取钻渣。

冲抓全套管钻机使用的抓斗有多种类型，其工作原理基本相同。图 3-31 (B) 为 GS 型抓斗工作原理图。

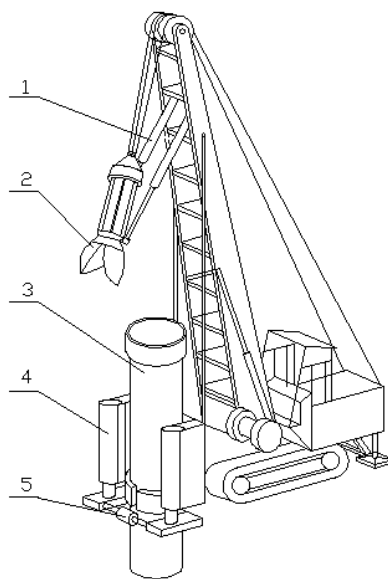


图 3-30 TH 型全套管钻机结构示意图

1—倾渣土液压缸，2—抓斗，3—套管，4—压拔液压缸，5—夹持液压缸

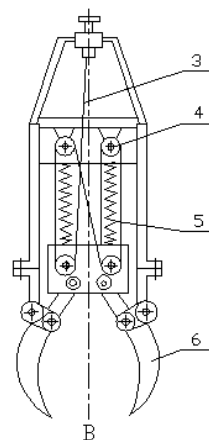
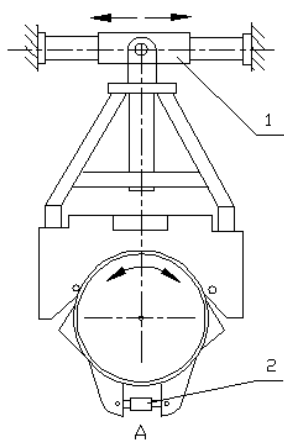


图 3-31 摇管装置及 GS 型抓斗原理示意图

A—摇管装置

B—GS 型抓斗工作原理

1—摇管液压缸，2—夹持液压缸，3—钢索，4—滑轮组，5—弹簧，6—抓瓣

当松放钢绳降落抓斗时,抓斗(包括活塞)的重量和弹簧的张力,使活塞下移,推动抓瓣张开,当抓斗在其冲击能量作用下,切入地层后,利用卷扬机:收卷钢绳,由于抓斗重量超过弹簧弹力,弹簧压缩,活塞上移、带动两抓瓣绕销轴相向转动而合拢,从而抓起渣土。当抓斗被提出孔口,升到滑架上部的罩帽时,抓斗重量自动转换为罩帽提吊,此时松放钢丝绳,则弹簧伸长,活塞下行,使抓瓣张开而卸下砂土。TH 型钻机用抓斗,其结构和工作原理与 GS 型抓斗相近,不同的是它使用拉簧的拉力使活塞复位。

(二) 施工工艺

在一般松散、松软的砂土及砂砾层施工程序如下:

1. 将第一节套管吊入钻机的套管导向器内,对正钻孔孔位。
2. 摇动并加压,将第一节套管压入地层一定深度。
3. 将抓斗下入套管内,冲抓管内砂土。每抓取一次,将抓斗提升到滑架顶部,令倾卸架将抓斗向前方倾斜推出,并使抓瓣张开,使抓斗内砂土沿溜槽流进停于钻孔前方的卸砂土用汽车内。

钻机操作者视地层情况,可令套管超前切入地层(如松软,松散地层),也可令抓斗超前抓土(如较密实地层)。随套管进入孔内,操作付卷扬机令滑架也随之下降。以上两工序循环进行,直至第一节套管大部份进入地层,其上端已降到孔口。

4. 加接套管。通常将滑架提升到钻架上部,操纵液压系统,使钻架略向后倾斜,使用工地吊车把待加接套管提吊到孔口,与孔内套管相锁接。

其后继续重复(2),(3),(4)工序,直至将套管下到要求的持力层为止。遇大漂石或硬岩,则换用冲击钻头碎岩,再用抓斗抓取岩渣。用冲击钻头冲击大漂石或硬岩时,要充分利用套管为钻头导向的有利条件,增大冲击行程(5~10m),以提高其碎岩效率。达要求深度后,用修孔钻头修整孔底,最后吊放入钢筋笼,灌注混凝土拔管成桩。

三、法兰基桩

法兰基(FRANK1)桩是比利时法兰基集团专利经营的一种桩基,其下端有扩大底,属内击沉管式混凝土就地灌注桩。这种桩与外击沉管式就地灌注桩比较,它具有桩径大、贯穿力强、单桩承载力高、施工噪音小等特点。桩径有 $\phi 500\text{mm}$ 、 $\phi 600\text{mm}$ 、 $\phi 700\text{mm}$ 等几种规格。它可以贯穿粘性土层的硬塑坚硬层,可以贯穿厚度3~4m的中密砂土层和中密碎石土层。桩底可以打到 $N_{63.5}=30\sim 40$ 击的残积亚粘土层,有的可以打到强风化岩层顶面。因此桩底可以支承在较好的持力层上。桩身下端的扩大底不仅增加了端承面积,而且在打扩大底时,经过重锤夯实桩底地基提高了原有地基土的密实度,再加上桩身凹凸不平,增大了桩周摩擦力,从而提高了地基土的承载能力。法兰基桩的单桩承载力, $\phi 600\text{mm}$ 桩可达到1500~2000kN。

(一) 法兰基桩施工机具

法兰基桩机常用的有17型、13型、30型。17型机,其塔架高15m,配长12.5m的主桩管(管径为 $\phi 600\text{mm}$,管壁厚25mm),另配长6~9m的接长管,适合打10~20m的桩。其动力设备有:主机为93马力的柴油机,直接带动三滚筒卷扬机,配有重3.5t的内冲锤(锤为圆柱形:直径40cm,长3.5m)。其行走机构为液压步履式。

13型和30型机,其塔架高分别为25、30m,配长20~25m主桩管,另配6~9m的接长

管, 适合打 10~25m 的桩。其动力设备主机为 162 马力柴油机, 直接带动三~四滚筒卷扬机, 配有重 4.5t 的内冲锤(锤仍为圆柱形, 长 4.5m)。其行走机构是: 13 型机为走管式, 30 型机为步履式。

上述三种型号桩机的塔架, 均有两根斜撑杆, 可调整塔架的倾角, 校正塔架的垂直度。

(二) 法兰基桩施工程序

法兰基桩施工程序与干冲碎石桩施工相似, 都是以冲击管底碎石栓塞沉管。不同的是碎石桩桩身为散体碎石, 法兰基桩则为钢筋混凝土桩身。法兰基桩施工程序见图 3-32。

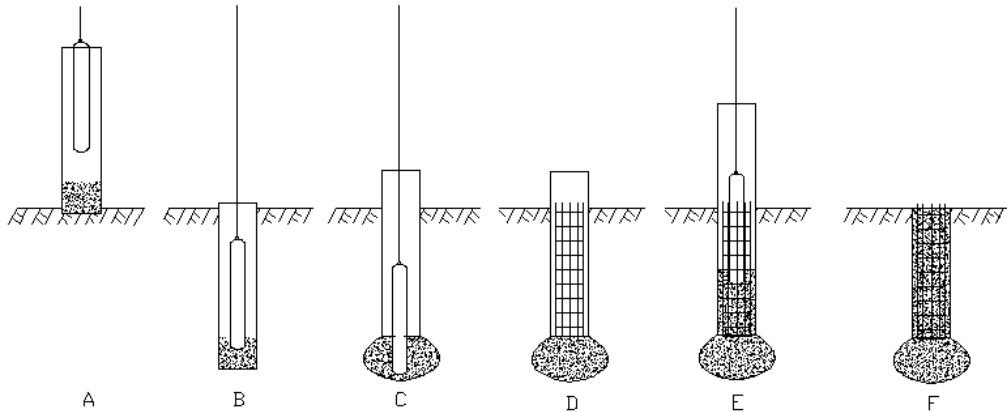


图 3-32 法兰基桩施工程序

A—竖桩管, 投入管底碎石, B—击管底碎石栓塞, 沉管至设计深度, C—击出碎石栓塞, 制球形桩头, D—提出冲锤, 下入钢筋笼, E—拔管、灌砼、捣击, 制桩身, F—成桩

1. 打桩定位 (以 $\phi 600\text{mm}$ 桩管为例)

桩管下端不埋设桩尖, 在离桩管下端 50cm 处的管壁外焊有一圈凸缘块, 突出桩管 25~30mm。沉管前定位时, 先在桩位上放置一个钢制圆环(外径 $\phi 610\text{mm}$, 内径 $\phi 600\text{mm}$, 高 50mm), 钢环中心对准桩位, 将桩管下口套入钢环内, 桩管垂直立于桩位上。在沉管过程中, 钢环在凸缘块下面作为扩大孔径的开路, 以减少拔管阻力。

2. 沉管

沉管是靠钢绳带动内冲锤在桩管内起落冲击进行的。桩锤冲击前, 先在桩管底部投入 1~1.5m 高度的 1~3cm 粒径碎石, 这段碎石称为碎石栓塞。碎石在压实挤压管壁时产生很大的摩擦力, 随着碎石栓塞的下沉而将桩管一起带下去, 达到沉管目的。冲锤落距视土层软硬而异, 在 2~5m 范围内。在沉管过程中, 碎石栓塞中的碎石会有消耗, 因而要不断测量碎石栓塞的高度, 一般不能小于 50cm, 以保持碎石栓塞与桩管内壁有足够的摩擦力。但碎石栓塞也不宜过长, 因为桩管沉到位后, 过长的碎石栓塞很难被击出管外, 而且桩底会残留过厚的碎石垫层, 不易夯实, 若处理不当, 反会增加桩的沉降量。

当第一节桩管沉到地层中去时, 可续接管子。第一节桩管和第二节桩管的装接方法是承插(内平)在第一节主桩管上口挂上两根拔管粗钢丝绳, 随着桩管的下沉, 拔管钢丝绳也跟随而下, 钢丝绳的另一端则留在地面上, 继续沉管达到设计持力层深度和达到贯入度要求时, 停止沉管。

3. 将碎石栓塞击出管外

在桩管顶部系以钢丝绳及滑轮组。将桩管向上提升少许(并定位于此), 然后锤击碎石栓塞,

把栓塞击出管外，并适时注入较干混凝土，以免击出碎石栓塞时导致桩管进水。

4. 扩大底制作

当桩管碎石栓塞去尽后，继续灌入较干混凝土(水灰比 0.25)，并用适当落距冲击管内底部混凝土，将干硬混凝土挤出管外，形成法兰基扩大底。这一过程是用高落距重锤夯实干混凝土。而干硬混凝土不是一次注入，而是分多次注入，并分层夯实，并将干硬混凝土挤出管外，形成大于桩管直径的扩大底。一般锤的落距为 1.0~1.2m，冲击次数达 50~60 击，冲击能量在 2000t·m 以上。这是法兰基桩施工的关键工序。

5. 试拔桩管

打完扩大底后，用拔管钢丝绳通过滑轮组提升桩管进行试拔。如果顺利，则可进行下一工序，否则还要注入干混凝土，进行锤击，将桩管顶起少许，顶松桩管之后，进行下一道工序。

6. 吊放钢筋笼

以 $\phi 600\text{mm}$ 桩径为例，桩管内径 $\phi 540\text{mm}$ ，钢筋笼外径宜用 $\phi 460\sim\phi 480\text{mm}$ 。主筋一般用 $8\phi 16\sim 8\phi 18$ 。钢筋笼多数通长配置，吊入孔内。

7. 灌注桩身混凝土

混凝土石料选用 1~3cm 的碎石(或卵石)、中砂，混凝土一般为 C25 或 C30，水泥宜选用 P.O 42.5 以上的普通硅酸盐水泥，混凝土坍落度为 8~10cm。灌注后用强力振动器钳住桩管顶端管壁，配合钢丝绳滑轮组边振边拔，将桩管缓缓拔起，边拔管边填混凝土边捣击，确保桩身混凝土密实。灌注高度高出桩顶标高不小于 1m，拔管速度不大于 1.5m/min。

由于法兰基桩桩身灌注的是较干混凝土，而且成桩过程是边拔管边捣击，因此，法兰基桩能有效防止桩孔缩径而形成瓶颈桩，适于严重缩径地层施工灌注桩。