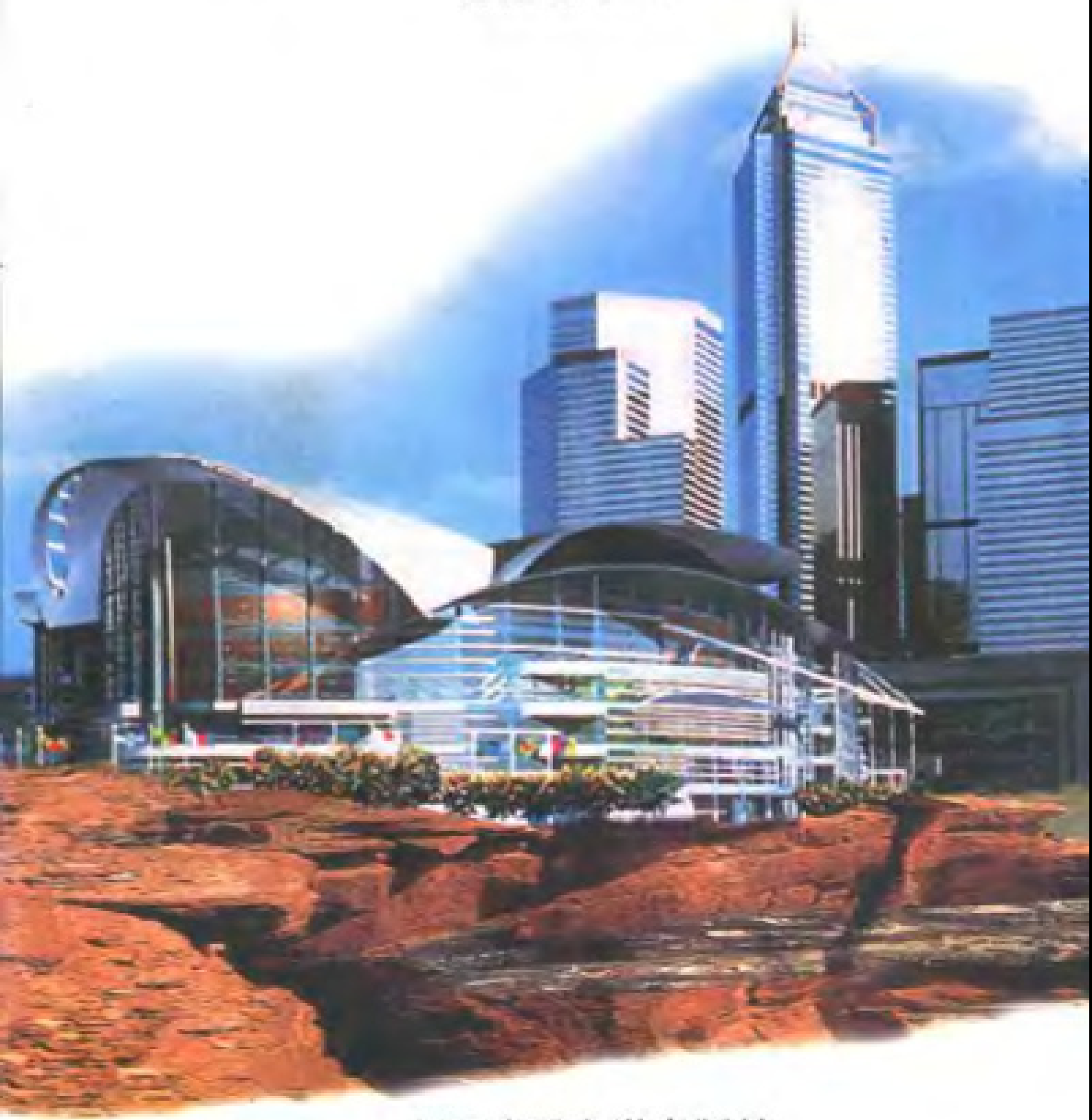
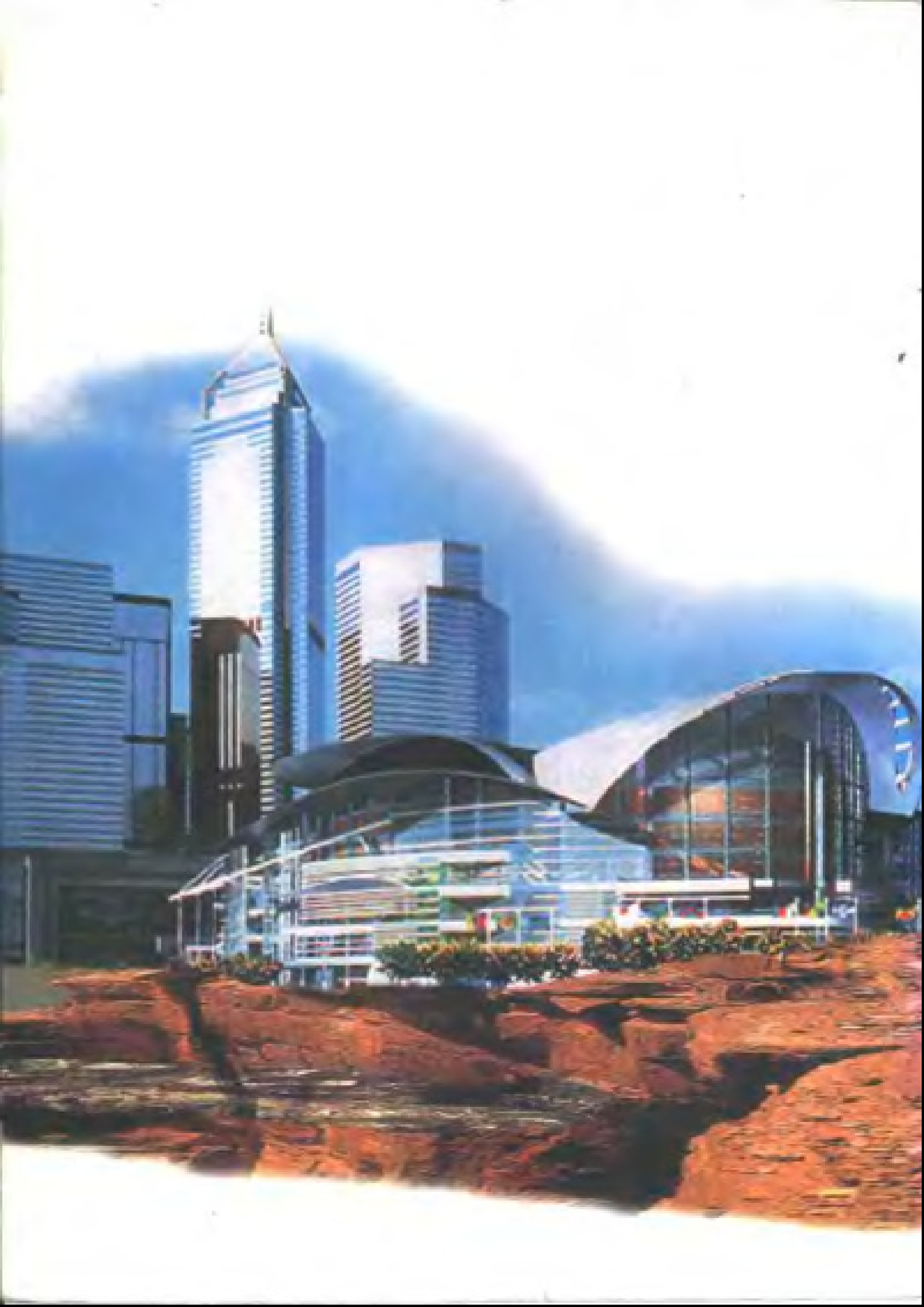
岩土工程设计计算与施工丛书 1

灌注桩工程设计计算与施工

彭振斌 主编



中国地质大学出版社



TU4-51
P-972
1

岩土工程设计计算与施工丛书 1

灌注桩工程设计计算与施工

彭振斌 主编

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

灌注桩工程设计计算与施工/彭振斌主编．—武汉：中国地质大学出版社，1997.7
（岩土工程设计计算与施工丛书　1）
ISBN 7-5625-1171-3

Ⅰ．灌…
Ⅱ．彭…
Ⅲ．设计计算-灌注桩工程-施工技术
Ⅳ．TU473

出版发行　中国地质大学出版社（武汉市喻家山·邮政编码 430074）
责任编辑　吴巧生　　责任校对　徐润英
印　　刷　湖北省地质图印刷厂
经　　销　新华书店

开本 850×1168　1/32 印张 9　字数 240 千字　插页 1
1997 年 7 月第 1 版　1997 年 7 月第 1 次印刷　印数 1—5000 册
定价：13.00 元

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

主　编：彭振斌
副主编：张可能　陈昌富
委　员：彭振斌　张可能　陈昌富　隆　威
王殿江　许宏武　胡焕校

编 者 的 话

近几年来，随着国民经济的高速增长，建筑工程、铁路公路工程、水利水电工程、桥涵码头工程等建设项目如雨后春笋般蓬勃兴起，迅速发展。岩土工程作为各种建设工程的前期和基础性工作，经过广大科技工作者和工程人员进行理论上的探讨、设计方面的创新、先进技术的推广和应用、施工经验的总结等，从勘察、设计到施工、监理和监测技术均已达到一个新的水平，工程质量也不断提高。但由于我们国家地域辽阔，地质条件复杂，建设工程多、分布面积广，施工队伍的素质、技术参差不齐，以及岩土工程本身具有多样性的特点，在工程实践中，仍然存在不少技术和质量问题，有的甚至造成了重大事故。因此，如何更好地总结已有的科研成果、总结施工经验、推广先进技术、提高工程质量，仍是摆在岩土工程工作者面前的一项艰巨任务。为此我们组织编写了岩土工程设计计算与施工丛书。

该丛书主要读者对象是从事岩土工程勘察、设计、施工、监理和监测的工程技术人员，也可作为相近专业人员和有关院校师生的参考书。

岩土工程设计计算与施工丛书共分六册，包括《灌注桩工程设计计算与施工》、《托换工程设计计算与施工》、《锚固工程设计计算与施工》、《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》、《注浆工程设计计算与施工》、《地基处理工程设计计算与施工》。其中：《灌注桩工程设计计算与施工》和《托换工程设计计算与施工》由中南工业

大学资源环境与建筑工程学院彭振斌同志编写;《锚固工程设计计算与施工》一书由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所陈昌富同志编写;《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》一书由中南工业大学张可能同志（现为湖南大学土木工程系土木·水利学科博士后科研流动站博士后）编写:《注浆工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”、第四章“注浆设计计算”和第五章“注浆施工工艺”和第六章“质量检查”由彭振斌同志编写，第二章“注浆材料”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所胡焕校同志编写，第三章“注浆设备及器具”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所许宏武同志编写;《地基处理工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”和第四章“桩基处理”由彭振斌同志编写，第二章“换填法处理”、第三章“强夯法处理”和第六章“排水固结处理”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所王殿江同志编写、第五章“深层搅拌法”由许宏武同志编写，第七章“土的加筋技术——加筋土挡墙”由张可能同志编写，第八章“地下连续墙”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所隆威同志编写，该册由王殿江同志负责编审。该套丛书由彭振斌同志任主编。

该套丛书得到了全国各有关专家的大力支持，并提供了许多资料和宝贵的意见，特别是中国地质大学出版社、中南工业大学出版社均给予了很多帮助。在编写过程中也参阅了许多书刊杂志。编者借此向所有为本套丛书做出贡献的同志致以衷心的感谢。

由于各册书各章节是分头编写，为了适应工程上的需要，争取早日与读者见面，难免有不足之处，诚恳希望读者提出宝贵意见，谢谢。

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

1996. 9

主编简介

彭振斌，男，1952年8月生。1981年毕业于中南矿冶学院（现为中南工业大学）探矿工程专业硕士研究生并留校任教，1991年破格晋升为教授，现为中南工业大学资源环境与建筑工程学院副院长，博士生导师。长期以来从事探矿工程、岩土工程方面的教学和科研，已发表论文58篇、教材两部，主持和参与科研34项，获得过9次省部级以上的奖励，1992年被评为湖南省优秀科技工作者，1993年获得国务院政府特殊津贴。

目　　录

第一章　绪　论…… (1)
　第一节　国内外概况…… (1)
　第二节　灌注桩技术的特点…… (2)
　第三节　发展与展望…… (4)
第二章　灌注桩设计…… (7)
　第一节　基本资料及要求…… (7)
　　一、岩土工程勘察资料 …… (7)
　　二、建筑场地与环境条件的有关资料 …… (8)
　　三、建筑物的有关资料 …… (8)
　　四、施工条件的有关资料 …… (8)
　　五、供设计比较用的各种桩型及其实施可能性资料 … (8)
　　六、勘探点间距 …… (8)
　　七、勘探深度 …… (9)
　　八、其它资料 …… (9)
　第二节　设计程序和设计原则…… (9)
　　一、设计程序 …… (9)
　　二、设计原则…… (10)
　　三、特殊条件下的桩基…… (13)
　第三节　灌注桩的分类、特点及适用范围…… (15)
　　一、灌注桩的分类…… (15)
　　二、各类灌注桩的特点及适用范围…… (16)

第四节　灌注桩的构造 …… (17)
一、桩型与成桩工艺的选择 …… (17)
二、灌注桩的构造 …… (19)
三、承台构造 …… (22)
第三章　灌注桩施工设计 …… (24)
第一节　施工设计的编写 …… (24)
一、施工设计的目的与要求 …… (24)
二、施工设计的编写 …… (25)
第二节　灌注桩的成孔方法概述 …… (27)
一、施工前的准备工作 …… (27)
二、一般规定 …… (33)
第三节　灌注桩成孔方法 …… (36)
一、泥浆护壁成孔灌注桩 …… (36)
二、沉管灌注桩 …… (82)
三、夯扩灌注桩 …… (95)
四、冲抓成孔技术 …… (102)
五、干作业成孔灌注桩 …… (113)
第四节　灌注桩成桩工艺 …… (159)
一、清孔 …… (159)
二、钢筋笼的制作与安装 …… (166)
三、混凝土的配制与灌注 …… (173)
第四章　灌注桩有关计算 …… (192)
第一节　桩顶作用效应计算 …… (192)
一、竖向力 …… (192)
二、水平力 …… (193)
第二节　计算受水平荷载的桩基 …… (193)
一、基本假定 …… (193)
二、基本计算参数 …… (194)

三、计算 …… (196)
第三节 承载力计算 …… (198)
一、单桩垂直承载力 …… (198)
二、承台、群桩的承载力 …… (217)
三、单桩水平承载力 …… (218)
四、嵌岩灌注桩承载力 …… (222)
五、群桩承载力 …… (227)
第四节 桩基沉降计算 …… (231)
一、桩基变形的衡量指标 …… (231)
二、有关规定 …… (231)
三、计算 …… (233)
第五节 桩身强度计算 …… (235)
一、轴向受压桩 …… (235)
二、抗拔桩 …… (236)
三、受水平力的桩 …… (236)
第六节 承台计算 …… (237)
一、承台平面尺寸和构造要求 …… (237)
二、承台板厚度的计算 …… (237)
三、承台板的受弯计算和配筋计算 …… (238)
四、受冲切计算 …… (241)
五、受剪计算 …… (248)
六、局部受压计算 …… (251)
第五章 灌注桩质量检验 …… (252)
第一节 概述 …… (252)
第二节 混凝土质量检验和灌注质量检验 …… (252)
第三节 预留混凝土试件检验 …… (253)
一、取样 …… (253)
二、混凝土试件制作 …… (253)

三、试件强度取值 …… (254)
四、试件强度评定方法 …… (254)
第四节 描芯验桩 …… (255)
第五节 超声波验桩 …… (256)
一、基本原理(见图 5-1) …… (256)
二、检测方式 …… (257)
第六节 桩的动力测试 …… (259)
一、桩的动力测试目的 …… (259)
二、测试方法 …… (260)
第七节 桩的静载试验 …… (266)
一、单桩垂直静载试验 …… (266)
二、单桩水平静载试验 …… (270)
第八节 其它 …… (274)
主要参考文献 …… (276)

第一章　绪　论

第一节　国内外概况

灌注桩包括人工挖孔桩和机械钻孔桩两大类。人工挖孔桩先于1893年在美国问世，至今已有100多年。当时美国芝加哥、底特律等大城市由于土地紧张，高层建筑物不断增加，而且某些高强轻质的新材料相继开始生产，正为高层建筑设计施工创造了条件。但这些城市地表以下存在着厚度很大的软土或中等强度的粘土层，建造高层建筑如仍沿用当时通行的摩擦桩，必然会产生很大的沉降。于是工程师不得不考虑把桩设在很深的持力层，并且为满足承载力要求，还必须把其截面设计得较大。但这样的桩不可能用木材制作，若用钢管、型钢或钢筋混凝土预制，依靠当时的打桩设备又难以打至必要的深度，于是借鉴人类自由相传的掘井技术，人工挖孔桩就在这样的情况下试验成功。

钻孔灌注桩是在人工挖孔桩问世后约50年，亦即20世纪40年代初，随着大功率钻孔机具研制成功，也是首先在美国问世的。随着二次世界大战后世界各地经济复苏与发展，高层、超高层建筑物和重型构造物不断兴建，它们绝大多数都选择了钻孔灌注桩。尤其自70

～80年代以来，钻孔灌注桩在世界范围出现了蓬勃发展的局面，其用量逐年上升，居高不下。

一个世纪以来世界各地的灌注桩应用情况说明，它不仅解决了某些工程面临的难题，更重要的是突破了一个沿袭了数千年的传统，这就是人类自从利用天然木材制桩，以至19世纪20年代曾企图利用铸铁制桩(因其性质脆而失败)、乃至本世纪初开始成功地利用热轧型钢制桩，稍后又利用钢筋混凝土制桩，都是采取先预制而后借助某种机具打入土中的传统。灌注桩取源于混凝土在上部结构司空见惯的现浇工艺，为古老的桩基技术开创了一条崭新的工艺路线。

我国应用灌注桩始于本世纪60年代初，当时先在南京、上海、天津等地作为桥梁和港口建筑基础，自70年代中期后又陆续在广州、深圳、北京、厦门等大城市应用于高层和重型建(构)筑物，至80年代末90年代初，随着改革开放步伐加快，灌注桩迅速发展，仅数年间已普及于全国除西藏外的各省、市、自治区数以千计的大中城市及开发区，主要应用于包括软土、黄土、膨胀土等特殊土在内的各类地基。据估计，近年我国应用灌注桩数量之多已堪称世界各国之最，可谓起步虽晚而发展迅猛。

自从大直径人工挖孔桩和钻孔桩相继在美国问世以后，小直径灌注桩于本世纪50年代初在意大利脱颖而出。从此，灌注桩一方面向大直径发展，另一方面向小直径发展。

第二节　灌注桩技术的特点

灌注桩与其它桩相比较有如下技术特点：

(1)灌注桩属于非挤土或少量挤土桩，施工时基本无噪音，无振动，无地面隆起或侧移，也无浓烟排放，因而对环境影响小，对周围建筑物、路面或地下设施等危害小。

(2)可根据土层分布情况任意变化桩长，容易适应持力层面高低

不平的变化。

(3)大直径灌注桩直径大，入土深。迄今人工挖孔桩最大直径已达 8m，钻孔桩已达 9m，人工挖孔桩入土深度已达 60m，钻孔桩已达 150m。

(4)可采取扩大底部的型式，更好地发挥桩端土的作用，这是其它任何桩型所不能做到的。

(5)单桩承载力高，视地质条件、桩身尺寸和混凝土强度等级不同，一般可达数千至数万千牛，因此，常可设计一柱一桩，不需桩顶承台，简化了基础结构。

(6)桩身刚度大，除能承受较大的竖向荷载外，还能承受较大的横向荷载，增强建筑物的抗震能力，并能有效地充当坡地抗滑桩、堤岸支护桩以及地铁或建筑物基坑开挖的支护桩，还可在基坑开挖后继续作为地下室的承重墙等永久性结构使用。

(7)灌注桩通常布桩间距大，群桩效应小，设计中无需为此而进行繁琐的计算。对桩的沉降及其对邻桩和周围地面的影响，其估算也较常规中等直径桩更为简便。

(8)不需要搬运吊装，不必承受打击，因而可采用较低的配筋率，并可视建筑物的重要性和荷载条件仅在桩身上段配筋或沿深度做变截面配筋。

(9)施工工艺种类多而且日新月异。这主要是由于各国工程技术人员为了保证这类桩的成桩质量、施工安全和提高工效，长期来针对不同的地质条件和环境条件，研制了各种适用机具和施工方法，从而形成了种种各具一定特色的工艺。

(10)可穿过各种软、硬夹层，也可将桩端置于坚实土层或嵌入基岩。

(11)可根据建筑物的荷载分布与土层情况采用不同桩径，对于承受横向荷载的桩，可设计成有利于提高承载力的异形桩，还可设计成变断面桩，即在受弯矩较大的上部采用较大的断面。

(12)桩身配筋可根据荷载大小与性质及荷载沿深度的传递特征以及土层的变化配置，无需像预制桩那样配置起吊、运输、打击应力筋，其配筋率远低于预制桩，其造价约为预制桩的40%～70%。

(13)施工设备比较简单、轻便，可用简单设备施工出单桩承载力极大的桩。

(14)不论采用挖孔法还是采用钻孔法施工，对桩所穿越土层的性质均可用桩孔排出的土进行鉴别验证，当挖孔时，工程技术人员便可以下孔直接检查桩端土的性质，或做必要的原位测试。

(15)灌注桩施工的现场作业太多，影响桩的质量的人为因素较多，质量不够稳定。有时会发生缩径、断桩、桩身局部夹泥、桩身混凝土离析、桩顶段混凝土疏松、混凝土强度较难保证等质量事故；桩侧阻力和桩端阻力的发挥常随工艺而有变化，且又在较大程度上受施工操作影响；另一方面，由于其承载力高，进行的常规的静载试验常难以测定其极限荷载，因此对在各种工艺条件下形成的桩受力、变形和破坏机理至今犹未完全弄清，系统的试验研究还不够多，设计计算理论与方法有待进一步完善；此外，当用泥浆护壁施工时，排污问题令人困扰，这都是灌注桩迫切需要解决的问题。

第三节　发展与展望

(1)人工挖孔桩不仅适用于地下水位低且土质较好的地区，也已广泛应用于地下水位高且土质软弱的地区，而且在一些环境制约十分严格的条件下也适用，如施工净空不大的地方可以避免大型机械进退场的麻烦。

(2)近年国外有许多实例证明，当桩较长，而场地可能因大量堆载或因抽汲地下水而发生地面沉降，或因地震液化等原因致使桩侧阻力不可靠，或可能产生负摩阻力时，扩大端部直径仍然是发挥桩端持力层的作用和提高单桩承载力的有效方法。

(3)随着人们对扩底作用认识的深化和施工机具的改进，扩底桩的形式又有了新发展。我国近年推荐采用锅底形扩底桩，锅底矢高取(0.1～0.15) D(D 为桩直径)，扩底起始侧面的斜率取$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{2}$。日本的经验是根据其土质特点常将扩底坡角控制在 12°，当用泥浆护壁时只要泥浆密度适当，并保证一定的静水压力，一般可不用支护而不坍孔。日本 TFP 工法扩底桩，其特点是扩底直径与桩身直径之比小于 2，而扩大头则有数米之高；换言之，它从桩底标高以上数米就开始扩大。这种型式能更好地发挥桩端土的作用，它注意到桩端面积越大时单位端阻力发挥越小，故不单纯追求扩底面积，而是以合理的扩底面积发挥最大的端阻；同时又着眼于使桩端进入持力层后，这层好土能提供较多的侧阻。

上述 TFP 工法已实现扩底挖孔电脑控制，并在扩底挖土完成后用超声波探头下放至孔内不同深度进行检测和摄取扩底实况照片。

扩底挖土电脑控制的原理是用精度为±0.1%的编码器控制钻头钻进的竖向位移 l_y，并通过变换器将 l_y 输入计算机。如 x 为扩大头的坡角，则与 l_y 对应的孔径增量 $l_x=l_y\tan x$。计算机收到编码器信号后，向液压泵发出"开始"信号使钻刀张开。如钻刀臂长 L 与垂线之间的夹角为 θ，则孔径增量为 $L\sin\theta$。计算机比较 $L\sin\theta$ 与 $l_y\tan x$ 的大小，至 $L\sin\theta=l_y\tan x$ 时发出"停止"信号，钻刀不再扩张。如此重复"开始"和"停止"信号，直至扩大头尺寸符合设计要求。与此同时，钻头钻进的竖向位移 l_y 与钻刀张开的水平距离 l_x 另有 x-y 记录仪制图和打印，可得桩径随深度增大的轨迹。

(4)近年来，我国将人工挖孔桩设计成空心桩，这是国外还没有的。它与实心桩相比，可节省混凝土 50%以上，并可减少废土外运量。空心桩而且可以自上而下分段施工，工艺安全，结构合理。但各种空心桩一般仅适用于地下水位低于桩底标高的情况。

(5)大直径灌注桩常采用一柱一桩，因此任何一根桩发生过量的

不均匀沉降，都有可能危及整个上部结构的安全。为了消除桩底沉渣的隐患，英、德、荷兰、希腊等国家采取了桩底实施压力灌浆的措施。英国采用U形管灌浆。当桩径≥1m时，U形管通常用4副；桩径较小时用3副或2副。混凝土灌注后约24小时，先用高压水试管，以查明管路有无堵塞。10至15天后进行灌浆。试验研究表明，经过压力灌浆，桩端承载力一般并不提高，但桩端土的刚度（在应力不大于最大灌浆压力范围内）有明显提高。换言之，桩底沉降可相应减小。

（6）VB型桩。为了既能消除桩底隐患，又能提高桩端阻力，比利时近年研制了一种长螺旋钻孔灌注桩，称为VB型桩。它的工艺特点是：a. 钻杆为空心，空心的直径为钻杆外径的80%，当钻进至设计桩底标高后，钢筋笼可由钻杆空心吊入，而不是在钻杆提出地面和灌完混凝土后再插入；b. 钢筋笼就位后，在灌注混凝土前先通过钢筋笼灌入少量干硬性混凝土，并用落锤夯击而在桩底形成扩大头，然后边灌混凝土边提钻杆直至成桩。

上述工艺由于钻杆外径与其空心直径之比设计得当，使单位时间内的切土量等于排土量，故可使桩孔周围的土不致松动、坍落，其强度不致于折减。这种桩的承载力比常规钻孔桩高约50%，在砂土中由于夯击压密效应，桩端阻力可提高两倍以上。但钻杆空心尺寸愈大，钻进所需功率愈大，如钻杆外径为700mm，长24m，功率需要140kN·m。

（7）钻孔压浆成桩法。它的特点是用长螺旋钻杆钻至预定深度后，从钻杆芯管底端喷嘴以高压喷出水泥浆，边喷浆边提钻杆，直至浆液达到无坍孔危险的位置，然后起钻，置放钢筋笼，投放骨料直至孔口，然后通过绑扎于钢筋笼的塑料管自孔底向上多次以高压补浆而成桩。因此桩体是无砂混凝土，质量致密，但水泥用量较大。该法适用于杂填土、淤泥、流砂、卵石等各种地基，不受地下水位影响，不需泥浆护壁，适用桩径为1m以内，深度至50m。试验表明其单桩承载力比常规钻孔桩高约一倍。

第二章　灌注桩设计

第一节　基本资料及要求

一、岩土工程勘察资料

(1)按照现行《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)要求整理的工程地质报告和图件。

(2)桩基按两类极限状态进行设计所需用的岩土物理力学性能指标值。

(3)对建筑场地的不良地质现象，如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等，有明确的判断、结论和防治方案。

(4)已确定和预测的地下水位及地下水化学分析结论。

(5)现场或其它可供参考的试桩资料及附近类似桩基工程经验资料。

(6)抗震设防区按设防烈度提供的液化地层资料。

(7)有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性资料。

二、建筑场地与环境条件的有关资料

(1)建筑场地的平面图，包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布。

(2)相邻建筑物安全等级、基础型式及埋置深度。

(3)水、电及有关建筑材料的供应条件。

(4)周围建筑物及边坡的防振、防噪音的要求。

(5)泥浆排泄、弃土条件。

三、建筑物的有关资料

(1)建筑物的总平面布置图。

(2)建筑物的结构类型、荷重及建筑物的使用或生产设备对基础竖向及水平位移的要求。

(3)建筑物的安全等级。

(4)建筑物的抗震设防烈度和建筑(抗震)类别。

四、施工条件的有关资料

(1)施工机械设备条件、制桩条件、动力条件以及对地质条件的适应性。

(2)施工机械设备的进出场及现场运行情况。

五、供设计比较用的各种桩型及其实施可能性资料

六、勘探点间距

(1)对于端承桩和嵌岩桩：主要根据桩端持力层顶面坡度决定，宜为 12～24m。当相邻两个勘探点揭露出的层面坡度大于 10%时，应根据具体工程条件适当加密勘探点。

(2)对于摩擦桩：宜为 10～20m 布置勘探点，但遇到土层的性质

或状态在水平方向分量变化较大，或存在可能影响桩的土层时，应适当加密勘探点。

(3)复杂地质条件下的柱下单桩基础应按桩列线布置勘探点，并宜每桩设一勘探点。

七、勘探深度

(1)布置 1/3～1/2 的勘探孔为控制性孔，且安全等级为一级建筑桩基，场地至少应布置 3 个控制性孔；安全等级为二级的建筑桩基应不少于 2 个控制性孔。控制性孔深度应穿透桩端平面以下压缩层厚度，一般性勘探孔应深入桩端平面以下 3～5m。

(2)嵌岩桩钻孔应深入持力岩层不小于 3～5 倍桩径；当持力岩层较薄时，应有部分钻孔钻穿持力岩层。岩溶地区，应查明溶洞、溶沟、溶槽、石笋等的分布情况。

八、其它资料

在勘探深度范围内的每一地层，均应进行室内试验或原位测试，提供设计所需参数。

第二节　设计程序和设计原则

一、设计程序

(1)评价建筑物场地土的工程技术性质。

(2)确定作用于基础上的载荷值，并规定荷载的最不利组合。

(3)根据地基土条件、建筑物结构特性、施工条件以及工期等，选择桩的类型和预定尺寸。

(4)选择承台的型式及尺寸，规定承台的上下标高。

(5)将桩基轴线位置标在地质剖面图上。

(6)根据材料强度和地基强度，确定单桩容许承载力。

(7)根据基础的垂直载荷确定桩数。

(8)按承载能力进行基础计算，包括弯矩和水平力的验算。

(9)计算桩基础的沉降。

(10)按求得桩数及布置条件，确定承台最终的平面尺寸。

(11)确定桩基础结构和最终尺寸。

(12)进行承台的最后计算和确定构造方案。

二、设计原则

(一)桩基采用以概率理论为基础的极限状态设计法，以可靠指标度量桩基的可靠度，采用以分项系数表达的极限状态设计表达式进行计算

1. 桩基极限状态分类

(1)承载能力极限状态：对于桩基达到最大承载能力或整体失稳或发生不适于继续承载的变形。

(2)正常使用极限变形：对应于桩基达到建筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。

2. 影响桩基承载力的因素

(1)桩身所穿越土层的强度、变形性质和应力历史。

(2)桩端持力层的强度和变形性质：桩端持力层对垂直方向承载力的影响程度，随桩的长径比（l/d）的增大而减少，随桩土模量比（E_p/E_s）的增大而提高，随持力层与桩侧土层的模量比（E_{sp}/E_s）的增大而增大。

(3)桩身和桩底的几何特征：桩身的比表面积愈大（侧表面积与体积之比），桩侧摩阻力所提供的承载力就愈高。因此，为提高桩的竖向承载力，可将桩身截面做成异形断面桩。为提高桩端总阻力，常将桩端做成扩大头。桩身的横向刚度愈大，对于减小横向荷载下桩的位移和桩身内力的效果愈明显，因而水平荷载方向桩身可做成异形桩。

(4)桩体材料强度:当桩端持力层的承载力很高时,桩体材料的强度可以制约桩的竖向承载力,因而合适的混凝土标号和配筋对于充分发挥桩端持力层的承载性能,以及提高竖向承载力十分重要。对于受水平荷载的桩,其承载力在很大程度上受桩体材料强度制约,因此选择合适的混凝土标号和在受弯的桩段配置适量的钢筋,对提高其水平承载力十分重要。

(5)群桩的几何参数:桩的排列、桩距、桩的长径比、桩长与承台宽度之比等参数对承台、桩、土的相互作用和群桩承载力影响较大,设计时应综合分析,优化确定。

(6)成桩方法:成桩方法和工艺对桩侧摩阻力和桩端阻力都有一定影响。如采用泥浆护壁,孔壁泥皮会降低摩阻力,过厚的孔底沉渣导致桩端阻力明显降低。

(二)考虑桩基损坏造成建筑物的破坏后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响)的严重性,在桩基设计时应根据表 2-1 选用适当的安全等级

表 2-1　建筑桩基安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物,对桩基变形有特殊要求的工业建筑物
二级	严　重	一般的工业与民用建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

(三)所有桩基均应进行承载能力极限状态的计算

(1)根据桩基的使用功能和受力特征计算桩基的竖向(抗压或抗拔)承载力和水平承载力;对于某些条件下的群桩基础宜考虑由群桩、土、承台相互作用产生的承载力群桩效应。

(2)计算桩身及承台承载力:对于桩身露出地面或桩侧为可液化土、极限承载力小于 50kPa(或不排水抗剪强度小于 10kPa)上层中

的细长桩尚应进行桩身压屈验算。

(3)当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应验算软弱下卧层的承载力。

(4)对位于坡地、岸边的桩基应验算整体稳定性。

(5)按现行《建筑抗震设计规范》规定应进行抗震验算的桩基，应验算抗震承载力。

(四)下列建筑桩基应验算变形

(1)桩端持力层为软弱土的一、二级建筑桩基以及桩端持力层为粘性土、粉土或存在软弱下卧层的一级建筑桩基，应验算沉降，并考虑上部结构与基础的共同作用。

(2)受水平荷载较大或对水平变位要求严格的一级建筑桩基应验算水平变位。

(五)下列建筑桩基应进行桩身和承台抗裂和裂缝宽度验算

根据使用条件要求混凝土不得出现裂缝的桩基应进行抗裂验算；对使用上需限制裂缝宽度的桩基应进行裂缝宽度验算。

(六)其它

(1)桩基承载力极限状态的计算应采用作用效应的基本组合和地震作用效应组合。

(2)当进行桩基的抗震承载能力计算时，荷载设计值和地震作用设计值应符合现行《建筑抗震设计规范》的规定。

(3)按正常使用极限状态验算桩基沉降时应采用荷载的长期效应组合；验算桩基的水平变位、抗裂、裂缝宽度时，根据使用要求和裂缝控制等级应分别采用作用效应的短期效应组合或短期效应组合考虑长期荷载的影响。

(4)建于粘性土、粉土上的一级建筑桩基及软土地区的一、二级建筑桩基，在其施工过程及建成后使用期间，必须进行系统的沉降观测直至沉降稳定。

三、特殊条件下的桩基

(一)软土地区桩基的设计原则

(1)软土中的桩基宜选择中、低压缩性的粘性土、粉土、中密和密实的砂类土以及碎石类土作为桩端持力层；对于一级建筑桩基，不宜采用桩端置于软弱土层上的摩擦桩。

(2)桩周软土因自重固结、场地填土、地面大面积堆载、降低地下水等原因而产生的沉降大于桩的沉降时，应视具体工程情况考虑桩侧负摩阻力对基桩承载力的影响。

(3)采用挤土桩时应考虑沉桩(管)挤土效应对邻近桩、建(构)筑物、道路和地下管线等产生的不利影响。

(4)先沉桩后开挖基坑时，必须考虑基坑挖土顺序、坑边土体侧移对桩的影响。

(5)在高灵敏度厚淤泥中不宜采用大片密集沉管灌注桩。

(二)湿陷性黄土地区桩基的设计原则

(1)桩基应穿透湿陷性黄土层，桩端应支承在压缩性较低的粘性土层或中密、密实的粉土、砂土、碎石类土层中。

(2)在自重湿陷性黄土地基中，宜采用干作业法的钻、挖孔灌注桩。

(3)对一级建筑桩基应按现场浸水载荷试验并结合地区经验确定。

(4)对于二、三级建筑桩基，可按饱和状态下的土性指标，采用经验公式估算。

(5)自重湿陷性黄土地基中的单桩极限承载力，应根据工程具体情况考虑负摩阻力的影响。

(三)季节性冻土和膨胀土地基中的桩基的设计原则

(1)桩端进入冻深线或膨胀土的大气影响急剧地层以下的深度，应通过抗拔稳定性验算确定，且不得小于4倍桩径及1倍扩大端直

径，最小深度应大于 1.5m。

(2)为减少和消除冻胀或膨胀对建筑物桩基的作用，宜采用钻、挖孔(扩底)灌注桩。

(3)确定桩基竖向极限承载力时，除不计入冻胀、膨胀深度范围内桩侧阻力外，还应考虑地基土的冻胀、膨胀作用，验算桩基的抗拔稳定性和桩身受拉承载力。

(4)为消除桩基受冻胀或膨胀作用的危害，可在冻胀或膨胀深度范围内，沿桩周及承台做隔冻、隔胀处理。

(四)岩溶地区桩基的设计原则

(1)岩溶地区的桩基，宜采用钻、挖孔桩。当单桩荷载较大，岩层埋深较浅时，宜采用嵌岩桩。

(2)石笋密布地区的嵌岩桩，应全断面嵌入基岩。

(3)当岩面较为平整且上覆土层较厚时，嵌岩深度宜采用 0.2 d (d 为桩径)或不小于 0.2m。

(五)坡地岸边上的桩基的设计原则

(1)建筑场地内的边坡必须是完全稳定的边坡，如有崩塌、滑坡等不良地质现象存在时，应按照现行《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)有关条款进行整治。

(2)桩身的纵向主筋应整个桩身配置。

(3)当有水平荷载时，应验算坡地在最不利荷载组合下桩基的整体稳定和桩基水平承载力。

(4)利用倾斜地层做桩端持力层时，应保证坡面的稳定性。

(六)抗震设防区桩基的设计原则

(1)桩进入液化层以下稳定土层中的长度(不包括桩尖部分)应按计算确定；对于粘性土、粉土不宜小于 2d，砂土不宜小于 1.5d，碎石类土不宜小于 1d，且对碎石土、砾、粗—中砂、密实粉土，坚硬粘性土尚不应小于 500mm，对其它非岩类石土尚不应小于 1.5m。

(2)对建于可能因地震引起上部土层滑动地段的桩基应考虑滑

移体对桩产生的附加水平力。

(3)承台周围回填土应采用素土或灰土、级配砂石分层夯实,或原坑浇注混凝土承台。当承台周围为可液化土或极限承载力小于80kPa(或不排水抗剪强度小于15kPa)的软土时,宜将承台外一定范围的土进行加固。为提高桩基对地震作用的水平抗力,可考虑采用加强刚性地坪,加大承台埋置深度,在承台底面铺碎石垫层或设置防滑趾,在承台之间设置连系梁等措施。

(七)对可能出现负摩阻力的桩基的设计原则

(1)对于填土建筑场地,先填土并保证填土的密实度,待填土地面沉降基本稳定后成桩。

(2)对于地面大面积堆载的建筑物,采用预压等处理措施,减少堆载引起的地面沉降。

(3)对位于中性点以上的桩身进行处理,以减少负摩阻力。

(4)对于自重湿陷性黄土地基,采用强夯、挤密土桩等先行处理,消除上部或全部土层的自重湿陷性。

(5)采用其它有效而合理的措施。

第三节　灌注桩的分类、特点及适用范围

一、灌注桩的分类

(一)按功能分类

(1)承受轴向压力的桩:建筑物桩基、构筑物桩基。

(2)承受轴向拔力的桩:水下建筑抗浮力桩基、输电塔和微波发射塔桩基等。

(3)承受水平荷载的桩:基坑的挡土桩。

(二)按桩土相互作用特点分类

1.竖向荷载桩

(1)摩擦桩:桩的承载力以侧摩阻力为主。

(2)端承桩:桩的承载力以端阻力为主。

2.水平受荷桩

(1)主动桩:桩顶受横向荷载,桩身轴线偏离初始位置,桩身所受土压力因桩主动变位而产生。

(2)被动桩:沿桩身一定范围内承受侧向土压力,桩身轴线被土压力作用而偏离初始位置。

(三)按成孔方法分类

1.泥浆护壁成孔灌注桩

(1)正循环回转钻孔灌注桩;

(2)反循环回转钻孔灌注桩;

(3)潜孔钻机成孔灌注桩。

2.沉管灌注桩

(1)锤击沉管灌注桩;

(2)振动、振动冲击沉管灌注桩。

3.夯扩灌注桩

4.冲抓成孔灌注桩

5.干作业成孔灌注桩

(1)钢绳冲击成孔灌注桩;

(2)螺旋钻进成孔灌注桩;

(3)钻斗钻进成孔灌注桩;

(4)潜孔锤钻进成孔灌注桩;

(5)扩底灌注桩;

(6)人工挖孔灌注桩。

二、各类灌注桩的特点及适用范围

(一)泥浆护壁钻孔灌注桩

(1)桩侧土受扰动小;

(2)孔壁泥皮和孔底沉渣是成桩质量的主要制约因素，所以成桩质量受施工质量的影响很大；

(3)适用于任何地层。

(二)干法作业灌注桩

(1)无需任何护壁措施，不产生挤土效应，桩侧土受机械扰动小；

(2)钻孔使孔壁径向应力释放而产生微量变形，导致桩侧摩阻力有所降低；

(3)钻孔质量和浇筑质量比泥浆护壁等方法易于控制，因而成桩质量一般较稳定、可靠；

(4)孔底虚土是成桩质量的主要制约因素；

(5)一般只适用于地下水位以上的粘性土、粉土层。

(三)套管护壁等其它灌注桩

(1)施工安全准确；

(2)能够紧贴已有建筑物施工；

(3)钻孔桩施工中此法能够获得最大容许承载力；

(4)设备较庞大，施工占地面积大；

(5)除硬岩及含水厚细砂层外，第四纪地层均可使用。

第四节　灌注桩的构造

一、桩型与成桩工艺的选择

(一)考虑建筑物性质与荷载

1. 建筑物重要性，对不均匀沉降的敏感程度

对于重要的建筑物和对不均匀沉降敏感的建筑物要选择成桩质量稳定性好的钻孔桩。

2. 建筑物荷载大小

对于荷载大的建筑物，首先要考虑单桩承载力足够大的桩型，使

得在有限范围内合理布置桩距、桩数。如有坚硬持力层地区优先选用大直径桩，深厚软弱土层地区优先选用长摩擦桩等。

3. 荷载性质

对于地震设防区或受其它动荷载桩基，要考虑选用既能满足竖向承载力又利于提高横向承载力的桩型。

（二）考虑工程地质、水文地质条件

1. 持力层的埋置深度与性质

持力层埋深较浅时，应优先采用端承桩（包括扩底桩）；当埋深较深时，则应根据单桩承载力要求，选择恰当的长径比。

2. 土层中的空穴和障碍物

土层中是否有古墓、土洞、孤石，基岩中是否有喀斯特溶洞、破碎带等，对于选择桩型和成桩方法是重要的参考因素。

3. 土层是否具有湿陷性、膨胀性

若为湿陷性黄土，为消除湿陷性，可采用小桩距；若为膨胀土，可采用短扩底桩。

4. 地下水位、地下水补给条件

该条件是选择桩的施工方法的主要因素，土体在水的作用下，成孔过程是否可能产生管涌、砂涌等现象。

5. 土层是否具有可液化、震沉性质

考虑桩承受因液化、震沉产生的摩擦和嵌入稳定土层中的深度。

（三）施工环境

（1）与相邻建筑物、道路、地下管线、堤坝等距离；

（2）施工现场的泥浆处理条件；

（3）现场设备进出场和运转条件：成桩设备进出场和成孔成桩过程所需空间尺寸，与建筑物的净距等各有不同，选择成桩方法时必须予以考虑。

（四）材料供应与施工技术条件

（1）钻孔桩所需砂、石料多，设计时需考虑；

(2)各种类型桩要求相应的施工设备和技术，选择施工方法时，不要盲目追求先进，忽视现实可能性。

(五)经济指标、施工工期

(1)不同类型灌注桩的材料、人力、设备、能源等消耗各有不同，应综合核算各项经济指标，包括单方混凝土所提供的承载力、单方混凝土造价、三材消耗等；

(2)某些条件下，施工工期是经济效益和社会效益的主导因素，因而选择桩型和成桩方法时要优先考虑工期。

二、灌注桩的构造

(一)配筋

1. 符合下列条件的灌注桩，其桩身可按构造要求配筋

(1)桩顶轴向压力应符合下式规定：

$$\gamma_0 N \leqslant f_c \cdot A \tag{2-1}$$

式中：γ_0——建筑桩基重要性系数，按表 2-1 确定安全等级，对于一、二、三级分别取 $\gamma_0=1.1, 1.0, 0.9$；对于柱下单桩按提高一级考虑；对于柱下单桩的一级建筑桩基取 $\gamma_0=1.2$；N——桩顶轴向压力设计值；f_c——混凝土轴心抗压强度；A——桩身截面面积。

(2)桩顶水平力应符合下列公式规定：

$$\gamma_0 H_1 \leqslant \alpha_h d^2 \left(1+\frac{0.5N_G}{\gamma_m \cdot f_t \cdot A}\right)\sqrt[5]{1.5d^2+0.5d} \tag{2-2}$$

式中：H_1——桩顶水平力设计值；α_h——综合系数，按表 2-2 采用；d——桩身设计直径；N_G——按基本组合计算的桩顶永久荷载产生的轴向力设计值；f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值；γ_m——桩身截面模量的塑性系数，圆截面 $\gamma_m=2$，矩形截面 $\gamma_m=1.75$；A——桩身截面面积。

注意：当验算桩基受地震作用时，式(2-1)、(2-2)中 $\gamma_0=1$。

(3)符合上述规定的灌注桩，桩身构造配筋的要求如下：

①一级建筑桩基，应配置桩顶与承台的连接钢筋笼，其主筋采用6～10根 ϕ12～14，配筋率不小于0.2%，锚入承台30倍主筋直径，伸入桩身长度不小于10倍桩身直径，且不小于承台下软弱土层层底深度。

②二级建筑桩基，根据桩径大小配置4～8根 ϕ10～12的桩顶与承台连接钢筋，锚入承台至少30倍主筋直径且伸入桩身长度不小于5 d，对于沉管灌注桩，配筋长度不应小于承台软弱土层层底深度。

③三级建筑桩基可不配构造钢筋。

表2-2 综合系数 α_h

类别	上部土层名称性状 [承台下2(d+1)(m)深度范围内]	桩身混凝土强度等级		
		C_{15}	C_{20}	C_{25}
Ⅰ	淤泥、淤泥质土、饱和湿陷性黄土	32～37	39～44	46～52
Ⅱ	流塑、软塑状粘性土、高压缩性粉土、松散粉细砂、松散填土	37～44	44～52	52～62
Ⅲ	可塑性粘性土，中压缩性粉土，稍密砂土，稍密、中密填土	44～53	52～64	62～76
Ⅳ	硬塑、坚硬性粘性土，低压缩性粉土，中密中、粗砂，密实老填土	53～65	64～79	76～94
Ⅴ	中密、密实砾砂，碎石类土	65～81	79～98	94～116

注：当桩基受长期或经常出现的水平荷载时，按表中土层分类顺序降低一类取值，如Ⅲ类按Ⅱ类取。

④不符合①和②规定的灌注桩，应按下列规定配筋：

a. 配筋率：当桩身直径为300～2000mm时，截面配筋率可取0.65%～0.20%（小桩径取高值，大桩径取低值）；对受水平荷载

特别大的桩、抗拔桩和嵌岩端承桩根据计算确定配筋率；

b. 配筋长度：端承桩宜沿桩身通长配筋；受水平荷载的摩擦桩（包括受地震作用的桩基），配筋长度宜采用 $4.0/\alpha\left(\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_0}{E_1}}\right)$；对于单桩竖向承载力较高的摩擦端承桩宜采用深度分段变截面配通长或局部长度筋；对承受负摩阻力和位于坡地岸边的基桩应通长配筋；专用抗拔桩应通长配筋；因地震作用、冻胀或膨胀力作用而受拔力的桩，按计算配置通长或局部长度的抗拉筋。

c. 对于受水平荷载的桩，主筋不宜小于 8ϕ10，对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应少于 6ϕ10，纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不应小于 60mm，并尽量减少钢筋接头。

d. 箍筋采用 ϕ6～8@200～300mm，宜采用螺旋式箍筋；受水平荷载较大的桩基和抗震桩基，桩顶 3～5d 范围内箍筋应适当加密；当钢筋笼长度超过 4m 时，应每隔 2m 左右设一道 ϕ12～18 焊接加劲箍筋。

（二）桩身混凝土及混凝土厚度

（1）混凝土强度等级不得低于 C_{15}，水下灌注混凝土时不得低于 C_{20}。

（2）主筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm，水下灌注混凝土不得小于 50mm。

（三）扩底灌注桩扩底端尺寸

（1）当持力层承载力低于桩身混凝土受压承载力时，可采用扩底；扩底端直径（D）与桩身直径（d）比 D/d，应根据承载力要求及扩底端部侧面和桩端持力层土性确定，最大不超过 3.0。

（2）扩底端侧面的斜率应根据实际成孔及支护条件确定，a/h_c 一般取 1/3～1/2，砂土取 1/3，粉土、粘性土取约 1/2（a 为扩底宽度，h_c 为扩底长度）。

（3）扩底端底面一般呈锅底形，矢高 h_b 取（0.10～0.15）D。

三、承台构造

(一)有关规定

桩基承台的构造尺寸，除满足抗冲切、抗剪切、抗弯和上部结构需要外，尚应符合下列规定：

(1)承台最小宽度不应小于500mm，承台边缘至桩中心的距离不宜小于桩的直径或边长，且边缘挑出部分不应小于150mm。对于条形承台梁边缘挑出部分不应小于75mm。

(2)条形承台和柱下独立桩基承台的厚度不应小于300mm。

(3)筏形、箱形承台板的厚度应满足整体刚度、施工条件及防水要求。对于桩布置于墙下或基础梁下的，承台板厚度不宜小于250mm，且板厚与计算区段最小跨度之比不宜小于1/20。

(4)柱下单桩基础，宜按连接柱、连系梁的构造要求将连系梁高度范围内桩的圆形截面改变成方形截面。

(二)承台混凝土

承台混凝土强度等级不宜小于C_{15}，采用Ⅰ级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于C_{20}。承台底面钢筋的混凝土保护层厚度不宜小于70 mm。当设素混凝土垫层时，保护层厚度可适当减少；垫层厚度宜为100mm，强度等级宜为$C_{7.5}$。

(三)承台的钢筋配置

承台的钢筋配置除满足计算要求外，还应符合下列规定：

(1)承台梁的纵向主筋直径不宜小于ϕ12，架主筋直径不宜小于ϕ10，箍筋直径不宜小于ϕ6。

(2)柱下独立桩基承台的受力钢筋应通长配置，最里面三根钢筋相交围成的三角形应位于截面范围以内。

(3)筏形承台板的分布构造钢筋，可采用ϕ10～12，间距150～200 mm。当仅考虑局部弯曲作用按倒楼盖法计算内力时，考虑到整体弯矩的影响，纵横两方向的支座钢筋尚应有1/2～1/3且配筋率不

小于 0.15%，贯通全跨配置；跨中钢筋应按计算配筋率全部连通。

(4)箱形承台顶、底板的配筋，应综合考虑承受整体弯曲钢筋的配置部位，以充分发挥各截面钢筋的作用。当仅按局部弯曲作用计算内力时，考虑到整体弯曲的影响，钢筋配置量除符合局部弯曲计算要求外，纵横两方向支座钢筋尚应有 1/2～1/3 且配筋率分别不小于 0.15%、0.10%贯通全跨配置，跨中钢筋应按实际配筋率全部连通。

(四)桩与承台的连接

(1)桩顶嵌入承台的长度对于大直径桩，不宜小于 100mm；对于中等直径桩不宜小于 50mm。

(2)混凝土桩的桩顶主筋应伸入承台内，其锚固长度不宜小于 30 倍主筋直径，对于抗拔桩基不应小于 40 倍主筋直径。预应力混凝土桩可采用钢筋与桩头钢板焊接的连接方法。钢桩可采用在桩头加焊钢型板或钢筋的连接方法。

(五)承台之间的连接

(1)柱下单桩宜在桩顶两个互相垂直方向上设置连系梁。当桩柱截面面积之比较大(一般大于 2)且桩底剪力和弯矩较小时可不设连系梁。

(2)两桩桩基的承台，宜在其横向设置连系梁，当横向的柱底剪力和弯矩较小时可不设连系梁。

(3)有抗震要求的柱下独立桩基承台，纵横方向宜设置连系梁。

(4)连系梁顶面宜与承台顶位于同一标高。连系梁宽度不宜小于 200mm，其高度可取承台至桩中心距的 1/10～1/15。

(5)连系梁配筋应根据计算确定，不宜小于 4ϕ12。

(六) 其它

承台埋深不应小于 600mm。在季节性冻土及膨胀土地区，其承台埋深及处理措施，应按现行《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)和《膨胀土地区建筑技术规范》等有关规定执行。

第三章　灌注桩施工设计

第一节　施工设计的编写

一、施工设计的目的与要求

(1)施工设计是施工过程中各项工作的指南，不论工程项目大小，均应认真编写审查，严格做到没有施工设计不准施工，设计内容未经审批主持人同意，不得随意变更。

(2)施工设计由工程施工技术负责人员组织有关人员编写，并由上一级业务主管部门的总工程师主持审批。

(3)施工设计的编制要切合实际，提高预见性和可靠性。首先要全面了解工程的技术要求，详细进行现场调查，搜集和了解工程的地质资料，然后组织编写。

(4)凡重要建筑设施或工程、水文地质条件复杂的地区，以及在缺乏施工工艺技术资料的情况下，施工前应进行"试成孔"，检验设计是否适宜，若不能满足工程设计要求，应修改补充施工设计。

(5)根据桩孔类型和工程、水文地质条件，合理选定施工工艺方案，是确保优质高效的前提。若超越范围施工，可能带来困难，甚至招至严重损失。

总之灌注桩是一项工序较多，技术要求较高、工作量较大、并需在一个短时间内连续完成的地下(或水下)隐蔽工程。施工单位在签订合同，接收灌注桩施工任务后，应组织有关人员对设计文件、图纸、资料进行研究，并进行现场踏勘，查明资料是否齐全、清楚，图纸本身及相互间有无错误和矛盾等，并根据设计文件的要求，综合考虑工程地质、水文地质、机具设备、材料供应及劳动力等因素，认真做好施工设计，以保质、保量、按期完成施工工程。

二、施工设计的编写

(一)编写前应具备的主要技术资料

(1)建筑场地工程地质、水文地质勘察报告和附图。研究工程地质资料，除了确定可钻性等级和自然造浆能力等常规目的外，还应搞清楚是否有会发生缩径、坍孔、流砂的地层；是否有会造成孔斜的不均匀地层、倾斜地层；研究水文地质资料确定地下水位高低和地层渗透性质等，以制定正确的施工措施来确保质量。

(2)灌注桩设计图、桩位平面布置图、桩身结构设计图、钢筋笼制作设计图。对这些图件一是吃透设计意图，制定相应的技术保证措施，例如根据桩长、桩径、混凝土强度等级、钢筋笼规格等技术要求，制定施工设备、材料、工艺和配方；二是为了及时发现实施设计要求的困难，对设计方案做些什么改进，在施工开始之前通过磋商解决。

(3)施工场地和邻近区域内的地下管线、管道和其它工程设施或障碍物等资料。

(4)工程合同书与超过有关规范的工程质量要求的文件。

(5)施工场地的供水、供电、地盘、道路等情况的资料。

(6)国内外同行当前的技术水平以及新机具、新工艺、新方法和有关经济技术资料。

(二)施工设计的主要内容

1. 工程概况和设计要求

这部分应编写工程类型、地理位置、交通运输条件、桩的规格和数量(包含成孔工作量、灌注混凝土工作量、钢筋笼制作工作量等)、工程地质水文地质情况、持力层状况、工程质量要求、设计荷载、工期要求、设计单位、总承包单位、施工单位等。

2. 确定施工工艺方案和设备选型配套

(1)在确定成孔工艺方法和灌注方案的基础上,绘制工艺流程图。

(2)计算成孔与灌注速度,确定工程进度、顺序和总工期,绘制工程进度表。

(3)根据施工要求确定设备配套表,包括动力机、成孔设备、灌注设备、吊装设备、运输设备以及主要机具等。绘制现场设施平面布置图,合理摆放各类设备、循环系统、搅拌站及各种材料堆放场地。

3. 施工力量部署

在工艺方法和设备类型确定后,提出工地人员组成与岗位分工,并列表说明各岗人数、职责范围。

4. 编制主要消耗材料和备用机件数量、规格表,并按工期进度提出材料分期分批进场要求

5. 工艺技术设计

(1)成孔工艺:包括设备安装、钻头选型、护筒埋设、冲洗液类型、循环方式和净化处理方法、清孔要求、成孔质量检查和成孔的主要技术措施。

(2)钢筋笼制作:编制制作图和技术要求。

(3)混凝土配制:按要求的混凝土强度等级选择砂、石料、水泥及外掺剂,并提出配方试验资料。

(4)混凝土灌注:现场搅拌要点,灌注导管和灌注机具配套方案及灌注时间计算,提高灌注质量的技术要求,混凝土现场取样、养护、送检要求。

6. 桩的检查

包括检查桩的数量、桩的检验方法等。

7. 技术安全和质量保证措施

8. 施工组织管理措施

第二节　灌注桩的成孔方法概述

一、施工前的准备工作

(一)旱场地准备

(1)三通一平：通水、通电、通路、平整场地，一般由甲方或总承包方完成。施工单位要同甲方认定三通一平的范围、内容和时间要求，经常检查、督促、交涉，使之尽早完成以保证施工计划顺利开始。

(2)设备人员进场同时，施工单位测量人员根据甲方提供的规划红线，基准桩或建筑物轴线等测量基准和正式的施工图纸实地放桩位，采用泥浆护壁成孔时还须组织护筒埋设和测量。标定时桩孔的中心位置偏差不得大于 5 mm，并以长约 300mm，直径不小于 42mm 的铁质尖桩锤入土层作为标记，尖桩出露地面高度一般为 50～80mm。

(3)在建筑物旧址或杂填土地区施工时，应预先进行钎探，将桩位处的浅埋旧基础、石块废铁等障碍物挖除，否则会打乱施工计划，延误工期；对于松、软场地应进行夯打密实或换除软土等处理。

(4)场地为陡坡时，应挖成平坡，有困难时可用木排架或枕木等搭设坚固稳定的工作平台。

(5)场地布置要力求合理，特别要注意运输通畅，有利于平衡交叉作业，废水、废浆、废渣的排放符合环保法规。

(二)水域场地准备

(1)场地为浅水时，宜采用筑岛方法，岛面应高出水面 0.5～1m。当水不深，流速不大，不影响附近居民利益，根据技术经济比较，采取截流或临时改河方案有利时，也可改水中钻孔为旱地钻孔方案。

(2)场地为深水时，可搭水上工作平台。工作平台可用木桩、钢筋混凝土桩作基础，顶面纵横梁、支撑架可用木料、型钢或其它材料搭设。平台能支承钻孔机械、护筒加压、钻孔操作以及灌注水下混凝土时可能产生的力；要有足够的刚度，保持稳定，并考虑洪水季节能使钻机顺利进入和撤出场地。

(3)场地为深水而且水流平稳，钻机可设在船上钻孔，但必须锚固稳定，以免造成偏位、斜孔或其它事故；如果流速较大但河床可以整理平顺时，可采用钢板或钢丝网水泥薄壁浮运沉井，就位后灌水下沉至河床，然后在其顶面搭设工作平台，在底部开孔，安设护筒；在某些情况下，可在钢板围堰内搭设钻孔平台。

(三)护筒及其埋设

泥浆护壁成孔灌注桩一般需在孔口埋设护筒。

1. 护筒的作用

(1)控制桩位、导正钻具。

(2)防止孔口和孔壁坍塌。一般孔口表土都比较松软，采用泥浆护壁时，孔口又会受到泥浆的浸泡、冲刷，加上设备自重作用和设备运转中的震动，孔口容易坍塌，需要用护筒加以防治；通过护筒还可提高孔内的水头高度，增加对孔壁的静水压力以防止孔壁坍塌。

(3)在施工中，护筒顶面还可作为钻孔深度、钢筋笼下放深度、混凝土面位置及导管埋深的测量基准。

2. 一般要求

(1)护筒内径：护筒内径应大于钻头直径，机动推锥和有钻杆导向的正、反循环回转钻宜大于 20～30cm；无钻杆导向的正、反循环潜水电钻和冲抓锥宜大于 30～40cm；深水处的护筒内径宜至少大于 40cm。

(2)护筒顶端高度：采用反循环回转方法(包括反循环潜水电钻)钻孔时，护筒顶端应高出地下水位 2.0m 以上。

(3)采用其它方法钻孔时，护筒顶端宜高出地下水位 1.5～

2.0m。

(4)当护筒处于旱地时，除满足上述要求外，还应高出地面0.3m。

(5)孔内有承压水时，护筒应高于稳定后的承压水位2.0m以上。若承压水位不稳定或稳定后承压水位高出地下水位很多，应先做试桩，鉴定在高承压水地区采用灌注桩基础的可行性。

(6)处于潮水影响地区时，护筒应高出最高水位1.5～2.0m以上，并须采用稳定护筒水头的措施。

(7)控制护筒顶端高度的目的，就是为了提高孔内水位，形成水头(孔内水位与地下水位或潮水位之差)，保持孔壁稳定。

(8)护筒底端埋置深度：旱地或浅水处，对于粘性土不小于1.0～1.5m；对于砂土应将护筒周围0.5～1.0m范围内的砂土挖除，夯填粘性土至护筒底0.5m以下、冰冻地区护筒底端应埋入冻层以下0.5m。深水及河床软土、淤泥层较厚处，护筒应可能深入到不透水粘土层内1～1.5m；河床为软土、淤泥、砂土时，护筒底端埋置深度应经过仔细研究决定，但不得小于3.0m。有冲刷影响的河床，护筒底端埋入局部冲刷线以下不小于1.0～1.5m。控制护筒底端埋置深度主要是防止护筒内水位较高时，护筒脚冒水，并保持护筒稳固。

(9)护筒位置埋设偏差：规范JGJ4—80、GBJ202—83、JTJ041—89都规定了泥浆护壁成孔灌注桩护筒中心与桩中心的偏差不得大于50mm，规范JTJ041—89还规定了护筒倾斜度偏差不得大于1%。

由于施工时，钻头中心对着护筒中心开钻，护筒有固定桩位的作用，控制护筒中心就是为了保证实际桩位偏差不超出桩位容许偏差。

3.护筒的种类

按材料不同，护筒可分为如下四种：

(1)砖砌护筒：砖砌护筒适应于旱地、岸滩、地下水位埋深大于1.5m，基坑易于开挖的场地。砖砌护筒一般用水泥砂浆砌筑，壁厚

不小于 12cm。用砖砌护筒必须等水泥砂浆初凝且有一定强度后才能开钻，每个孔的砖砌护筒必须在开钻前几天完成。

(2)木护筒：木护筒比较轻，一般用 3～4cm 厚的木板制作，外围每隔 50cm 做一道环箍，板缝应密合。木护筒重复使用次数少，耗用木材较多，较少采用。

(3)钢护筒：钢护筒坚固耐用，重复使用次数多，在旱地、河滩或深水中都能使用。钢护筒一般用 4～6mm 厚的钢板制作，直径较大的护筒钢板厚度可增至 8～10mm。顶节护筒上部留有高 400mm、宽 200mm 左右的进出浆口，并焊有吊环。每节护筒高 1.2～2.0m，护筒之间用 10mm 左右的钢板焊成的法兰盘连接。对于直径较大的护筒，可设计成两半圆组合式。两半圆钢护筒在竖向有用角钢制成的法兰。竖向法兰用螺栓连接使护筒成为整圆，水平向法兰用螺栓连接后可逐节接长护筒。护筒的拼缝处要加橡皮防止漏水。

(4)钢筋混凝土护筒：在深水中施工时可采用钢筋混凝土护筒，它有较好的防水性能，能靠自重沉入或打(震)入土中。

钢筋混凝土护筒之间还可采用硫磺胶泥粘接，粘接方法类似于预制桩之间的粘接。

钢筋混凝土护筒壁厚一般为 8～10cm，其长度按需要而定，每节不宜过长，以 2m 左右为宜。护筒需要接长时，接头处用扁钢制成钢圈焊于两端的主筋上，在扁钢外面加焊一卷钢板连接起来，焊缝严密，如图 3-1 所示。

当用振动法下沉护筒时，应在顶节护筒上端管壁中、按振动锤用的桩帽螺栓孔位置，顶埋 ϕ25 mm、长 30cm 的螺栓。螺栓位置要十分准确。

4. 护筒的埋设

护筒埋设工作是泥浆护壁成孔灌注桩施工的开端，护筒位置与垂直度准确与否，护筒周围和护筒底脚是否紧密，是否不透水，对成孔、成桩的质量都有重大影响。

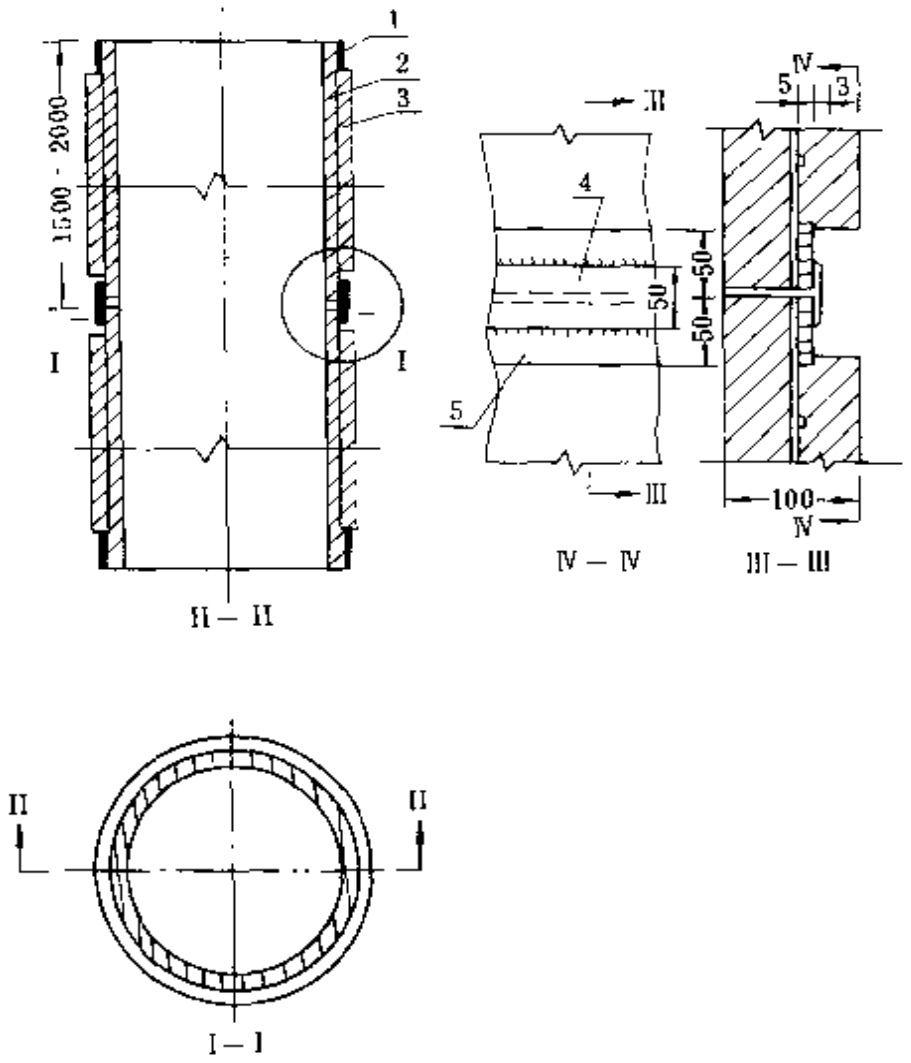


图 3-1　钢筋混凝土护筒

1　预埋钢板；2　箍筋；3　主筋；4　连接钢板；5　预埋钢板

(1)挖孔埋设：当地下水位在地面以下超过 1m 时，可采用挖埋法，如图 3-2 所示。

在砂类土中挖埋护筒时，先在桩位处挖出比护筒外径大 80～100cm 的圆坑，然后在坑底填筑 50cm 左右厚的粘土，分层夯实，以备安设护筒。

在粘性土中挖埋时，坑的直径与上述相同，坑底与护筒底相同，坑底应平整。

然后，通过定位的控制桩放样，把钻孔中心位置标于坑底，再把护筒吊放进坑内，用十字架在护筒顶部或底部找出护筒的圆心位置，然后移动护筒，使护筒中心与钻孔中心位置重合。同时，用水平尺或垂球检查，使护筒垂直。此后，在护筒周围对称地、均匀地回填最佳含水量的粘土，分层夯实，达到最佳密实度。最后，复测护筒顶部中心与桩位之间的偏差和护筒垂直度偏差，要求不超出规范允许值。

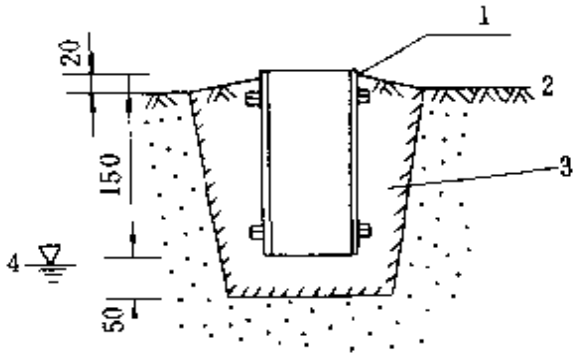


图 3-2　挖埋护筒

1—护筒；2—地面；3—夯填粘土；4—施工水位

如原地面为松散细砂地层，挖坑不易成型时，可采用双层护筒。在外层护筒内挖砂或射水使护筒下沉，里面安设正式护筒。外层护筒内径比内层护筒外径应大 40～60cm，两筒之间填筑粘土夯实。

(2)填筑埋设：当地下水位较高、挖埋比较困难时，宜用填筑法安设护筒，如图 3-3 所示。宜先填筑工作台地，然后挖坑埋设护筒。填筑的土台的高度应使护筒顶端比施工水位(或地下水位)高 1.5～2.0m。土台的边坡以 1∶1.5～1∶2.0 为宜。顶面平面尺寸应满足钻孔机具布置的需要并便于操作。

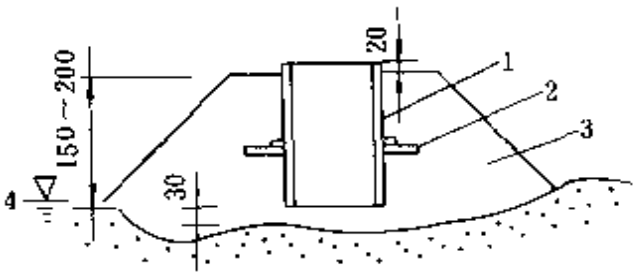


图 3-3　填筑式护筒

1　木护筒；2　井框；3　土岛；4　地下水位

在水域中施工时，护筒沉至河床表面后，可在护筒内射高压水、吸泥、抓泥，在护筒上压重、反拉(静力压桩)或用震动打桩机震动下沉护筒等方法埋设护筒。

二、一般规定

(一)不同桩型的适应条件

(1)泥浆护壁钻孔灌注桩适用于地下水位以下的粘性土、粉土、砂填土、碎(砾)石土及风化岩层,以及地质情况复杂、夹层多、风化不均、软硬变化较大的岩层;冲孔灌注桩除适应上述地质情况外,还能穿透旧基础、大孤石等障碍物,但在岩溶发育地区应慎谨使用。

(2)沉管灌注桩适用粘性土、粉土、淤泥质土、砂土及填土;在厚度较大、灵敏度较高的淤泥和流塑状态的粘性土等软弱土层中采用时,应制定质量保证措施,并经工艺试验成功后方可实施。

(3)夯扩灌注桩适用于桩端持力层为中与低压缩性粘性土、粉土、砂土、碎石类土,且其埋深不超过 20m 的情况。

(4)干作业成孔灌注桩适用于地下水位以上的粘性土、粉土、填土、中等密实以上的砂土、风化岩层。

(5)人工挖孔灌注桩在地下水位较高,特别是有承压水的砂土层、滞水层、厚度较大的高压缩性淤泥层和流塑淤泥质土层中施工时,必须有可靠的技术措施和安全措施。

(二)钻(冲)孔机具的适用范围

参照表 3-1 选用。

表 3-1 钻(冲)孔机具的适用范围

成孔机具	适用范围
潜水钻	粘性土、粉土、淤泥、淤泥质土、砂土、强风化岩、软质岩
正、反循环回转钻	碎石类土、砂土、粘性土、粉土、强风化岩、软质与硬质岩
冲抓钻	碎石类土、砂土、砂卵石、粘性土、粉土、强风化岩
冲击钻	各类土层及风化岩、软质岩

(三)成孔的控制深度

(1)摩擦型桩：摩擦桩以设计桩长控制成孔深度；端承摩擦桩必须保证设计桩长及桩端进入持力层深度；当采用锤击沉管法成孔时，桩管入土深度控制以标高为主，以贯入度控制为辅。

(2)端承型桩：当采用钻(冲)、挖掘成孔时，必须保证桩孔进入设计持力层的深度；当采用锤击沉管法成孔时，沉管深度控制以贯入度为主，设计持力层标高对照为辅。

(四)灌注桩成孔施工的允许偏差

灌注桩成孔施工的允许偏差见表 3-2。

表 3-2　灌注桩施工允许偏差

序号	成孔方法		桩径偏差(mm)	垂直度允许偏差(%)	桩位允许偏差(mm)	
					单桩、条形桩基沿垂直轴线方向和群桩基础中的边桩	条形桩基沿轴线方向和群桩基础中的间桩
1	泥浆护壁冲(钻)孔桩	$d\leqslant1000$mm	$-0.1d$ 且 $\geqslant-50$	1	$d/6$ 且不大于 100	$d/4$ 且不大于 150
		$d>1000$mm	-50		$100+0.01H$	$150+0.01H$
2	锤击(振动)沉管、振动冲击沉管成孔	$d\leqslant500$mm	-20	1	70	150
		$d>500$mm			100	150
3	螺旋钻、机动洛阳铲钻孔扩底		-20	1	70	150

(五)钢筋笼除符合设计要求外，尚应符合的规定

(1)钢筋笼制作的允许偏差见表 3-3。

(2)分段制作的钢筋笼，其接头宜采用焊接并应遵守《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204)。

(3)加劲箍宜设在主筋外侧，主筋一般不设弯钩，根据施工工艺

表 3-3　钢筋笼制作允许偏差

项次	项目	允许偏差(mm)
1	主筋间距	±10
2	箍筋间距或螺旋筋螺距	±20
3	钢筋笼直径	±10
4	钢筋笼长度	±50

要求所设弯钩不得向内圆伸露，以免妨碍导管工作。

(4)主筋净距必须大于混凝土粗骨料粒径 3 倍以上。

(5)钢筋笼的内径应比导管接头处外径大 100mm 以上。

(6)搬运和吊装时，应防止变形，安放要对准孔位，避免碰撞孔壁，就位后应立即固定。

(7)钢筋笼主筋的保护层允许偏差：水下浇注混凝土桩为±20mm；非水下浇注混凝土桩为±10mm。

(六)其它规定

(1)成孔设备就位后，必须平正、稳固，确保在施工中不发生倾斜、移动。为准确控制成孔深度，在桩架或桩管上应设置控制深度的标尺，以便在施工中进行观测记录。

(2)为核对地质资料，检验设备、工艺及技术要求是否适宜，桩在施工前，宜进行"试成孔"。

(3)人工挖孔桩的孔径(不含护壁)不得小于 0.8m，当桩净距小于 2 倍桩径且小于 2.5m 时，应采用间隔开挖。排桩跳挖的最小施工净距不得小于 4.5m，孔深不宜大于 40m。

(4)人工挖孔桩混凝土护壁的厚度不宜小于 100mm，混凝土强度等级不得低于桩身混凝土强度等级，采用多节护壁时，上下节护壁间宜用钢筋拉结。

(5)灌注桩施工现场所有设备、设施、安全装置、工具配件以及个人劳保用品必须经常检查，确保完好和使用完全。

第三节　灌注桩成孔方法

一、泥浆护壁成孔灌注桩

(一)泥浆的制备和处理

泥浆的主要功能是清洗孔底，携带钻渣，平衡地层压力，保护孔壁，防止坍塌和冷却钻具等。

钻孔灌注桩在成孔过程中，除能自行造浆的土层外，均应制备泥浆(少数地层好时可用清水成孔的除外)。所以泥浆制备应选择高塑性粘土或膨润土，必要时添加泥浆处理剂处理。搅拌泥浆应根据施工机械、工艺及穿越土层进行配合比设计。

1. 制备的泥浆性能要求(见表 3-4)

2. 泥浆护壁应符合的规定

(1)施工期间护筒内的泥浆面应高出地下水位 1.0m 以上，在受水位涨落影响时，泥浆面应高于最高水位 1.5m 以上。

(2)在清孔过程中，应不断置换泥浆，直至浇注水下混凝土。

(3)浇注混凝土前，孔底 500mm 以内的泥浆密度应小于 1.25g/cm^3，含砂量≤8%，漏斗粘度≤28s。

(4)在容易产生泥浆渗漏的土层中应采取维持孔壁稳定的措施。

(5)废弃的泥浆、碴应按环境保护的有关规定处理。

3. 泥浆的制备

钻孔灌注桩施工与一般勘探孔施工的最大区别是钻孔的容积很大，因而泥浆量很大。结合经济方面的考虑，通常情况下就没有必要使用粘土或膨润土制作的泥浆来护壁，而采用清水钻进或自然造浆。但在稳定性较差的地层，且地层厚度又较大时，应必须制备较好的泥浆，一般由粘土和水拌合而成，有时加入少量碱或泥浆处理剂。如果地层特别不稳定而且厚度较大，这时的泥浆应为优质泥浆或植物胶

无粘土冲洗液，即由膨润土、水、碱和植物胶或泥浆处理剂配合搅拌而成。

表 3-4　制备泥浆的性能指标

项　次	项　　目	性　能　指　标	检　验　方　法
1	相对密度	1.1～1.15	泥浆密度计
2	粘度	10～25mPa·s	旋转粘度计
3	含砂率	<6%	
4	胶体率	>95%	量杯法
5	滤失量	<30mL/30min	滤失量仪
6	泥皮厚度	1～3mm/30min	滤失量仪
7	静切力	1min2～3Pa 10mm5～10Pa	静切力计
8	稳定性	<0.03g/cm^2	
9	pH　值	7～9	pH 试纸

4. 泥浆的循环和净化处理

(1)泥浆的循环：泥浆的循环系统和普通岩芯钻探的循环系统差不多，但灌注桩成孔设备比较集中，所以多台设备可以共用一套循环系统，图 3-4 所示的为 6 台成孔设备在旱地上泥浆循环系统布置。

(2)泥浆的净化：

①机械净化法：

a. 高频振动泥浆筛：高频振动泥浆筛是最通用的一种泥浆净化设备，一般用它先把 0.5mm 以上的大颗粒砂筛出，剩下混有 0.5mm 以下砂粒的泥浆再进一步用旋流除渣器净化。

高频振动泥浆筛的结构如图 3-5 所示，其技术性能如表 3-5。这种高频振动泥浆筛使用 18 号和 40 号不锈钢筛网，耐用，不跑泥浆，

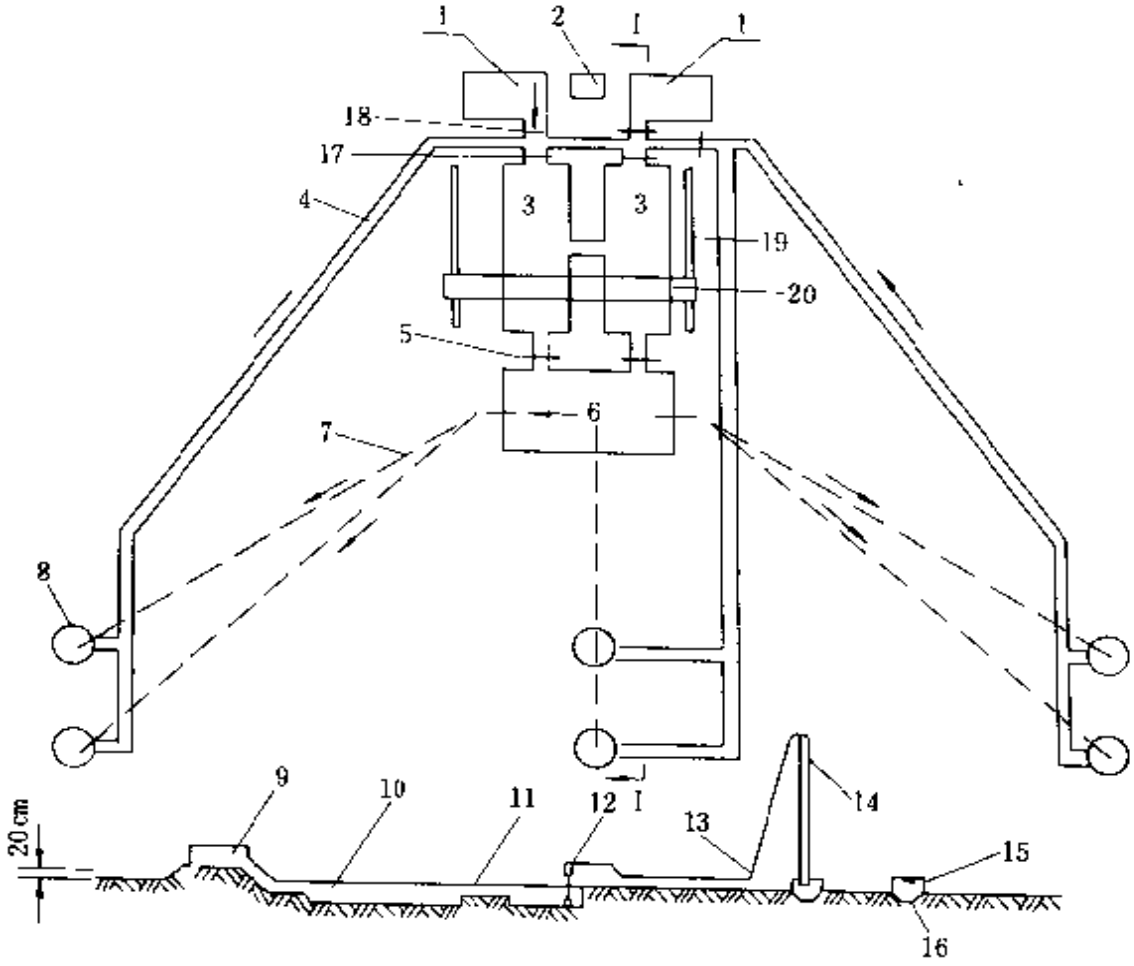


图 3-4　旱地上泥浆循环系统布置示意图

1 -制浆池；2－水塔；3　沉淀池；4 -出浆槽；5－闸门；6　贮浆池；7－泥浆泵和进浆管；8　钻孔；9- 制浆池；10　沉淀池；11　贮浆池；12－泥浆泵；13　泥浆管；14　钻杆；15 -护筒；16　出浆槽；17 - 闸门；18－闸门；19　轨道；20　抓斗龙门吊机

表 3-5　高频振动泥浆筛技术性能

频率 (1/min)	振幅 (mm)	离心力 (N)	泥浆入筛速度 (m·s)	净化泥浆			电动机	轴承型号
				筛布 (号)	泥浆量 (L/s)	砂径 (mm)		
3500	2～3	20500	1	18	100	1.2	2.2kW 2850r·min	1310
				40	80	0.5		

排渣快，钻渣在筛网面停留不超过 10s，自行排渣，不用人扒，且便于同旋流除渣器配套使用。

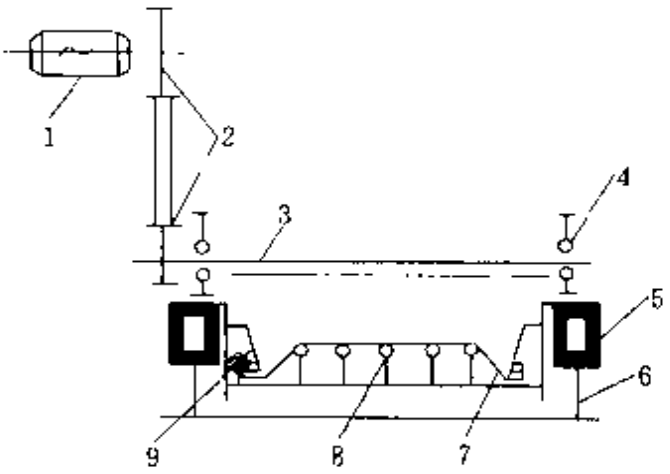


图 3-5　高频振动泥浆筛示意图

1　电动机；2—三角皮带轮；3　偏心轴；4　轴承；5　振动胶皮；6　筛座；7　筛架；8　不锈钢筛布；9　张紧异型槽铁

b. 旋流除砂器（旋流器）：旋流除砂器如图 3-6 所示，要进行泥浆净化处理时，泥浆通过进浆管（5）沿圆管（1）的切线方向进入圆管，泥浆便在圆管和锥形管（2）中做高速度旋转流动，由于离心力的作用，固体颗粒被甩向外壁，沿锥形管下降至排砂口，将沉砂帽（3）打开便可放出，净化后的泥浆则经上部溢浆管（4）流出。为了能形成泥浆的高速旋转流动，进浆管处的液流压力一般要达到 0.3MPa。

旋流器的结构比较简单，但几乎每个结构参数都对其性能有相当影响。主要结构参数有：旋流器直径（圆管内径）D、锥形管锥角 α、进浆管和溢浆管内径（d_2、d_1）、进浆管轴线与水平线之间的夹角、排砂孔直径 d_3、圆管高度 H、溢浆管下伸的深度 l 等，每一结构参数的变化都或多或少影响旋流器的处理量及净化效果。根据实验和使用经验，可得到一些合理的数据范围，但考虑到在使用时工艺条件的变化，某些结构参数还应允许能做适当的调节。

D 为基本尺寸，一般为 150mm 以下，它的大小决定了旋流器单位时间的泥浆处理量；α 一般取 20°；$d_1=(0.2\sim0.4)D$；$d_2=(0.4\sim0.8)d_1$；$d_3=(0.04\sim0.1)D$；$H=(0.6\sim1.0)D$；l 略小于或等于 H。

图 3-7 所示为利用高频振动泥浆筛和旋流器的反循环出土的泥浆处理系统。

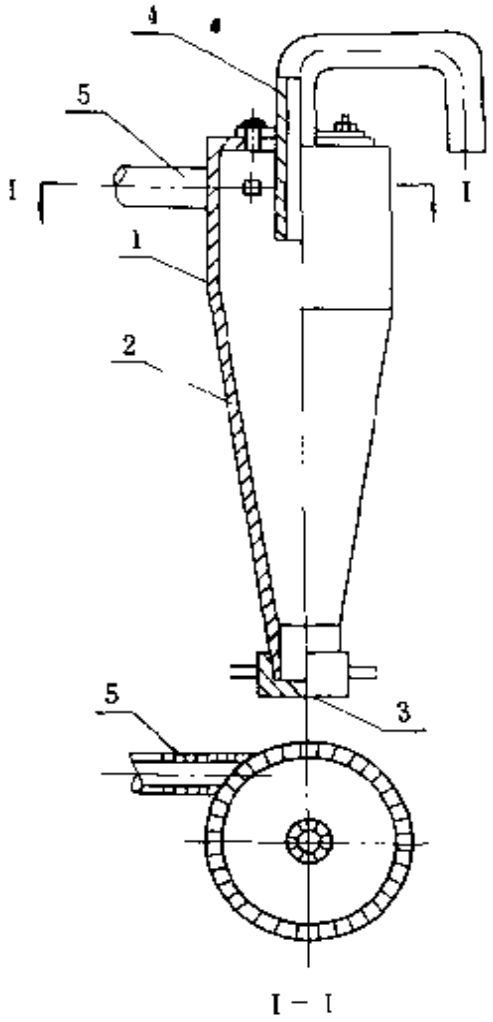


图 3-6　旋流除渣器

1　圆筒；2　锥形管；3　沉砂帽；4　溢浆管；5　进浆管

c. GNJ-2A 型泥浆净化机：GNJ-2A 型泥浆净化机是中南工业大学研制的一种满足中小型工地施工泥浆处理需要的净化设备。它能大幅度降低排污费用，节约制新泥浆成本，使泥浆能良性循环，有利于提高钻进效率，特别是使终孔灌浆前的换浆时间大大缩短；减少桩底的沉砂量，从而提高灌注质量；它的使用对环境保护有显著作用。

GNJ-2A 型净化机的主要性能参数：

泥浆处理量：振动筛为 108～151m^3/h；除砂器为 70～80 m^3/h；除泥器为 50m^3/h 左右。

净化岩屑量：5～10t/h（此值与废浆中固相含量有关）。

除砂率：＞90%（体积百分数）。

排出岩屑含水率：＜30%（卡车装运时不滴水）。

总功率：59kW（正循环钻进）；37kW（反循环钻进）。

整机质量：3600kg。

外廓尺寸（长×宽×高）：3400mm×1900mm×2500mm（一般的卡车可以装运）。

GNJ-2A 型泥浆净化机适应于正循环和反循环两种钻进方式使用。

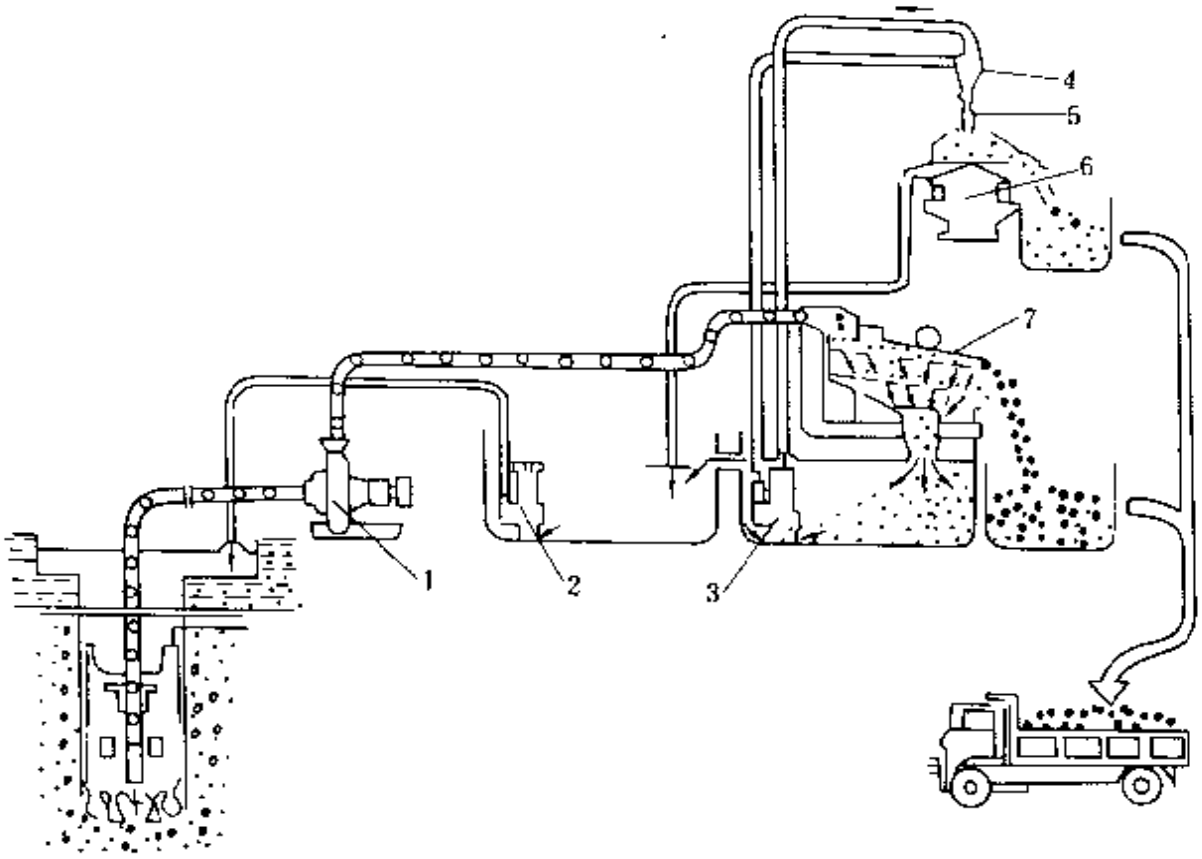


图 3-7　反循环出土的泥浆处理系统

1—吸力泵；2—回流泵；3　旋流器供给泵；4　旋流器；

5- 排碴管；6　脱水机；7　振动筛

②化学净化：

一般可采用无机盐[$CaCl_2$、$Fe_2(SO_4)_3$ 等]和有机高分子絮凝剂的联合作用，以中和颗粒表面的负电荷使固体颗粒聚结沉淀和高分子的吸附架桥絮凝使水土分层。也可在泥浆中加入 0.1%～0.3%的铁铬木质素磺酸钠盐，使钻渣颗粒聚集而加速沉淀，达到重复使用的泥浆具有较高的性能指标。

③深水处泥浆的循环和净化：

有两种方法：一种是在岸上设粘土库、制浆池、沉淀池，制造和沉淀净化泥浆。另配 2～3 只船，船上均设有储浆池和带有泥浆槽的贮渣浆池，轮流补足净化泥浆和接受钻孔流出的含钻渣泥浆。此法的优

点是使用的船只可较小，缺点是泥浆循环补换较麻烦。另一种方法是除粘土库和制浆池设在岸上外，其余泥浆槽、沉淀池、储浆池均设在驳船上，用泥浆泵向驳船上压送新鲜泥浆。驳船上储浆池和沉淀池隔开，其布置如图 3-8 所示。此法的优点是泥浆循环净化不要由两只船轮换，操作简便，缺点是驳船面积较大。

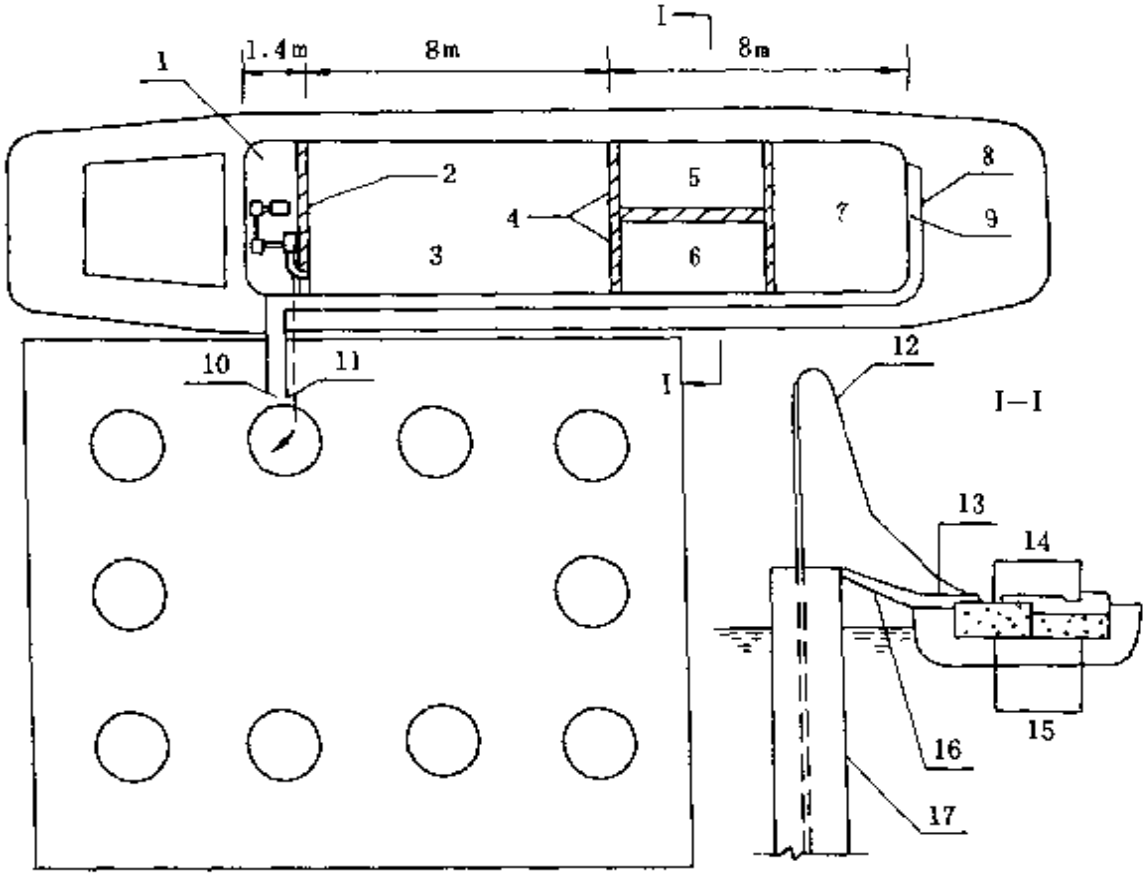


图 3-8　泥浆船布置示意图

1　泥浆泵池 1.4m×4.2m；2　隔墙；3　储浆池 8m×4.2m；4、9　闸门；5、6、7　沉淀池；8、10　泥浆槽；11、12　进浆管；13、16　泥浆槽 0.4m×0.3m；14　闸门；15　沉淀池；17　护筒

(二)泥浆护壁成孔工艺技术

1. 正循环回转钻孔灌注桩成孔工艺

(1)概述：

①钻进原理：

在钻机驱动钻具回转钻进的同时，利用泥浆泵通过水龙头、钻杆内腔向孔底输送冲洗液，冲洗孔底，携带岩渣的冲洗液沿钻杆与孔壁之间的外环空间上升，从孔口流向泥浆池，形成正循环排渣系统。

②正循环回转钻进的特点：

a. 多采用泥浆循环，所以孔壁比较稳定。

b. 循环系统有少量泄漏，循环也不会中断。

c. 冲洗液上返流速低，大于粒径 40～50cm 的卵砾石不能排出。

d. 施工技术较易掌握。

③选择该方法的依据：

a. 直径大于 1m 的桩，使用该方法无论在经济上或工期上都不利，所以该方法只适用于 ϕ1 m 以下的桩施工，多用于 ϕ800mm 以下。

b. 该方法钻机体积较小，重量较轻，在施工少量桩时，工程造价较低。

c. 在基坑底部或狭窄地段，以及重型机械不易进入的山地等处筑造桩，该方法具有绝对优势。

d. 该方法耗电量小，既使用 50～60kW 的电动机(累加)，也可以进行钻孔、灌注砼、钢筋笼加工等工作。

(2)设备类型和选择：

①钻机能力选择：

a. 钻机扭矩 M：

钻进土层时：

$$M=2\times10^{-2}P_d\cdot D^2\cdot K \tag{3-1}$$

式中：M——钻机扭矩，N·m；P_d——每厘米钻头直径长度上所施钻压，N/cm；D——钻头直径，cm；K——地质修正系数(按图 3-9 选取)。

钻进基岩时：

$$M=9.36\times10^{3}\times K\cdot P_d^{1.5}\cdot D^{2.5} \tag{3-2}$$

式中：K——地质参数，一般取 7.0×10^{-3}；P_d 与 σ_c 的关系见图 3-10。

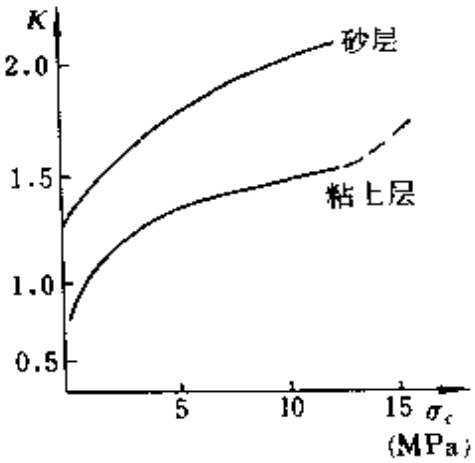


图 3-9　K-σ_c 曲线

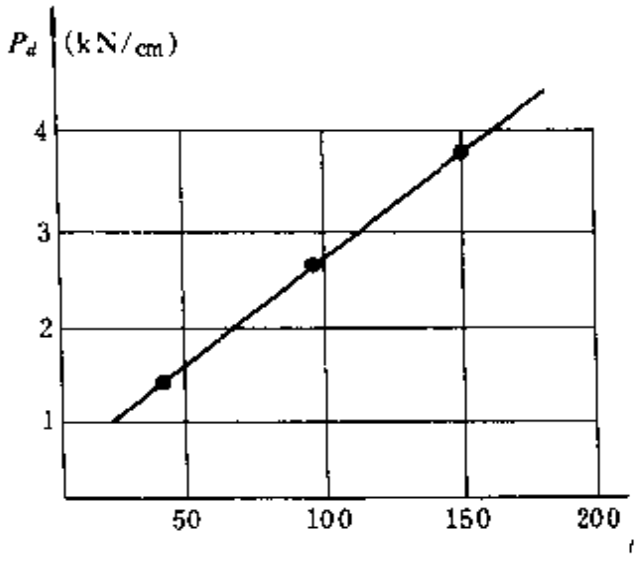


图 3-10　P_d-σ_c 曲线

需要说明的是上式在选择钻机能力时使用，钻进中实际扭矩小于该式得出的值。

b. 钻机转速 n：

国外推荐大口径钻进时最经济的经验公式(刮刀、滚刀钻头)：

$$n=\frac{36.576}{D} \tag{3-3}$$

c. 钻机功率 N：

$$N=\frac{M\cdot n}{9.75\eta} \tag{3-4}$$

式中：η——转盘传动效率，一般 $\eta=0.95$。

d. 选择钻机的原则：

i. 首先考虑满足钻孔的地质条件，钻孔主要指标对设备性的要求。

ii. 优先考虑利用(或改造后利用)本单位现有钻机的可能性。

iii. 考虑外购时，设备应先进和实用，兼顾本工程要求。

iv. 选择钻机时力求普通(配件容易购到)、实用、重量轻或分解性好。

有关国产钻机见表 3-6。

②水泵的选择：

a. 水泵的排量：水泵工作的实际排量，应以孔壁不被冲坏的前提下保证冲洗液上返流速超过钻渣在静止冲洗液中由重力作用下下沉的速度。实际测定冲洗液上返流速以取 0.08～0.1 m/s 为妥，再反推泵的排量。

b. 水泵的压力：工程施工孔一般较浅，泵压不大。现有水泵压力完全可以满足要求。

c. 水泵动力机功率：

$$N=\frac{\gamma \cdot Q \cdot P}{81.2\eta_0} \tag{3-5}$$

式中：γ——冲洗液密度，g/cm^3；P——泵压，MPa；Q——泵量，L/min；η_0——水泵总功率，一般取 $\eta_0=0.85$。

常用泵的性能见表 3-7。正循环钻进设备机具配套见表 3-8。

(3)钻进工艺与操作要领：

①水头高度的选择：

一般钻孔内水头高度：1.5～2.0m；

流动性较强的砂层：2.5～3.0m。

②钻头的选择：

工程孔所遇地层一般为两类：一类属软地层，包括第四系的土、砂土、坝土和淤泥等；另一类属硬层，包括卵砾石层、风化或半风化基岩。而在一个钻孔中，往往前者所占比例大，一般为 80%～90%，后者钻进工作量虽不大，但所需时间占总钻进时间的 1/2，甚至更多。因此钻头要适应地层需要。

表 3-7　常用泵的性能参数

泵型	性能	流量 (m^3/h)	流量 (L/s)	扬程 (m)	转数 (r/min)	功率 (kW)	吸程 (m)	叶轮直径 (mm)	泵的质量 (kg)
离心式	PWL 污水泵	350		23		55			
	4PN 泥浆泵	100		41		55			
	4PN 衬胶泥浆泵	160		40		55			
	6PN 泥浆泵	230 280 320	64 78 90	27 26 25	980	75	5.5 5.3 4.2	420	12
	8PN 泥浆泵	450 550 600	125 153 163	65 63 62	980	215	3.5	635	40
	4PS 砂泵	90		37		55			
	6PS 砂泵	320 380 440 500		29 28.5 27 26	980	115			14
	8PS 砂泵	500 650 750		39 37 32	980	215			21
	4PH 灰渣泵	100		41		40			
	6PH 灰渣泵	330 440 480	92 112 134	48 47 45	1470	115	5.5 5.3 4.2	375	12
	8PH 灰渣泵	450 550 600	125 153 167	65 63 62	980	185	3.5	635	40
	4BA－6 清水泵	90		91		55			
	4BA－8 清水泵	90		43		22			
往复式	BWT450/12	27		泵压 1.2 MPa		17			
	BW250/50	15		5MPa					
	2DN－250/50	25		8MPa					
	BWT－800/20	48		2MPa					
	BW－600/30	36		3MPa					

注：① 泵的数字代号表示排出口直径 D(mm)，如 4PN＝D·25；

② 离心式清水泵不耐磨，应严格控制含砂量小于 1%。

表 3-8　正循环钻进机组机器具配套表

序号	名称	规格	单位	数量	说明
1	钻机	按施工技术设计定	台	1	
2	泥浆泵	按口径定	台	1	
3	钻架	10～12m	台	1	人字或四角钢架
4	动力机	与钻机配套	台	1	
5	水龙头	提引式水龙头	个	2	
6	主动钻杆	110×10×8000(mm)(四方)	根	2	
7	钻杆	ϕ89、ϕ114、ϕ127	m		根据口径选用
8	提引钩		个	1	提拉一般水龙头用
9	高压胶管	$2^{1/2}$	根	1	带吸浆龙头一个
10	滑轮	直径 25～30cm	个	4	提吊钻杆或作转向用
11	钢丝绳	16mm	m	35～40	
12	钻杆夹持器	钢制	个	2	接、卸钻杆时用
13	护筒	若干节，每节 1～2m	节		根据需要而定
14	除砂装置		套	1	包括地表循环系统
15	扭卸工具		件	若干	接卸钻杆用
16	各类钻头	按钻孔直径定	个	若干	软、硬岩土钻头皆备
17	测深锤		个	1	带测绳若干米
18	照明变压器	低压(32～36V)	个	1	

a. 用于软岩成孔的钻头：

i. 阶梯刮刀钻头：合金切削具以稀疏、阶梯方式布置在钻头底部，合金按内疏外密方式排列(见图 3-11 所示)。

ii. 鱼尾钻头：鱼尾钻头可用 50mm 厚钢板制作，钢板中部切割成宽度与圆钻杆接头半径相等、长约 300mm 的切口，嵌入钻杆接头并焊成一体。为增加钻头的刚度，在钢板两侧各焊 3～4 根加强肋。另在钢板两侧，钻杆接头下口沿回转前翼而各焊一段 90mm×90mm 角钢，形成两个出浆口，钻头翼板的切削边缘应加焊合金钢板，或敷焊硬质合金粉末。

鱼尾钻头结构简单(如图 3-12)，与孔底接触面积小，以较小的钻压即能在粘土、粉砂土和砂层中获得较高的钻进效率。但鱼尾钻头

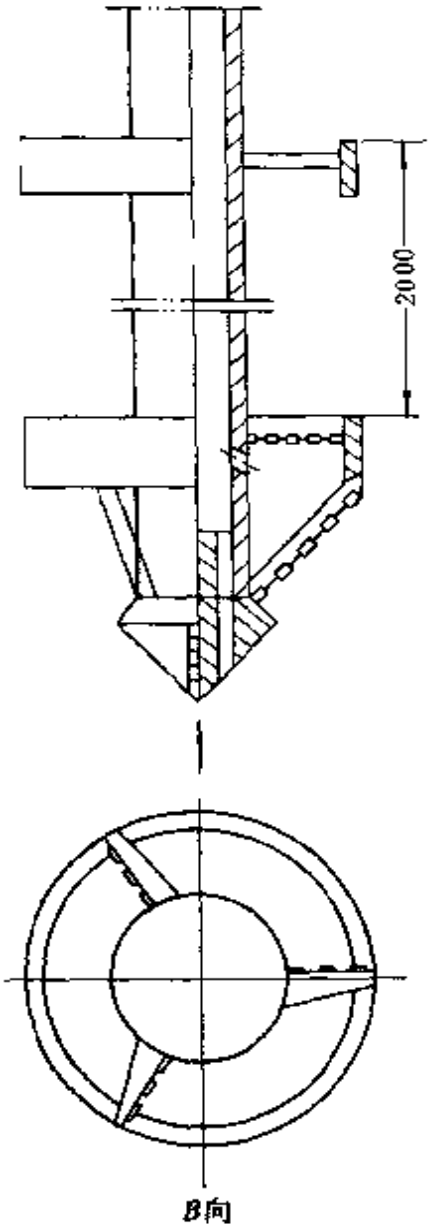


图 3-11　阶梯刮刀钻头

导向差，遇局部阻力或侧向挤压力易偏斜。因此，有的生产单位在鱼尾钻头翼板上方加焊导向笼，形成笼式鱼尾钻头。

iii 笼式刮刀钻头（双腰带笼式钻头）：笼式刮刀钻头的结构如图 3-13 所示，它适用于粘土、粉砂、细砂、中粗砂和含少量砾石（不多于 10%）的土层，应用最为广泛。该钻头由中心管、翼板、上下导正圈（通称“腰带”）、立柱、横支杆、斜支杆和超前小钻头等组成。中心管一般用 ϕ140mm、壁厚 15mm 左右的无缝钢管制作，无缝钢管上端焊锁接头一个与钻杆连接。中心管下端以法兰盘连接小尺寸的四翼锥形钻头，若连接取芯小钻头，则可同时取芯。小钻头主要起定向作用，并保护出浆口不受阻塞。导正圈起导向作用可减少孔斜。上、下导正圈的距离不小于钻头直径。上导正圈顶焊斜挡板一圈（斜 45°），使钻头提升时不刮孔壁。在上、下导正圈的外圈柱面上可加焊带硬质合金片的肋骨，以扩大孔径、修圆钻孔，并减少导正圈的磨损。撑杆一般用 ϕ30mm 左右圆钢或钢管制作，在保证钻头刚度的前提下，为减少钻进阻力和糊钻，应尽量减少撑杆数量。翼板按一定角度焊接在下导正圈的内壁上，翼板上可按一定排列规则直接镶焊硬质合金切削具，也可以用螺栓将镶有硬质合金片的切削刀体固紧在翼板上，成为可拆换式切削刀具。翼板的数量视钻头直径而定，

ϕ800mm 钻头用 4 片；ϕ1000mm 钻头用 4～6 片；ϕ1200mm 以上钻头用 6 片。

iv. 除此之外还有四翼阶梯式定向钻头、全锥形钻头（刺猬钻头）、筒式钻头、三翼式钻头等。

b. 用于基岩的钻头：

i. 钢粒钻头：大口径内外肋骨钢粒钻头（如图 3-14）由中心管、加强片、岩芯管、内肋骨片、外肋骨片组成。

ii. 翼形金刚石复合片钻头（见图 3-15 所示）。

c. 用于砂、砾石层的钻头：

i. 灯笼式钻头（见图 3-16）；

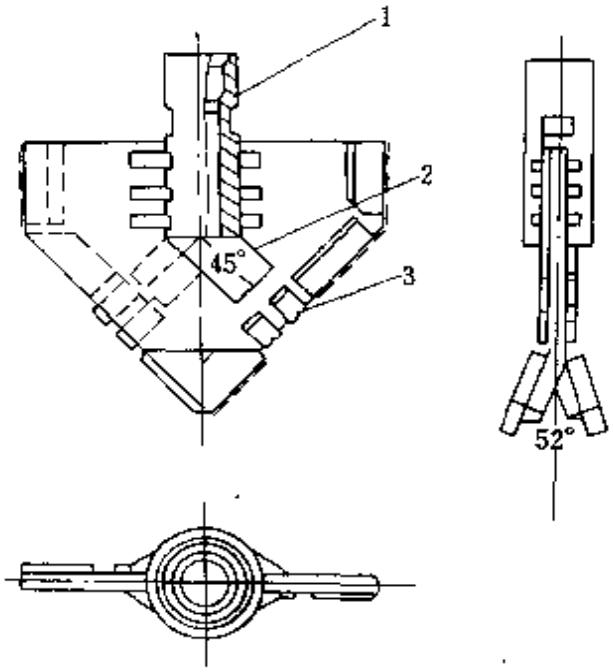


图 3-12 鱼尾钻头

1—接头，2 出浆孔；3—刀刃

ii. 内螺旋钻头（见图 3-17）；

iii. 四翼阶梯式空心钻头（见图 3-18）；

iv. 圆柱式钻头（见图 3-19）。

d. 用于风化岩层或卵砾石层的钻头：

i. 大口径组合式牙轮钻头：这种钻头是由石油钻井使用的牙轮钻头（大部分是使用过的旧牙轮钻头）分解后再按一定要求组合的（如图 3-20 所示）。

ii. 滚刀钻头、牙轮钻头：大直径桩孔通过风化、中等风化基岩时，前所讲的各种钻头大部分寿命短，有时甚至不进尺，在这种情况下可以使用牙轮钻头或滚刀钻头。但牙轮钻进和滚刀钻进均需要较高的钻压，而且钻头成本很高。

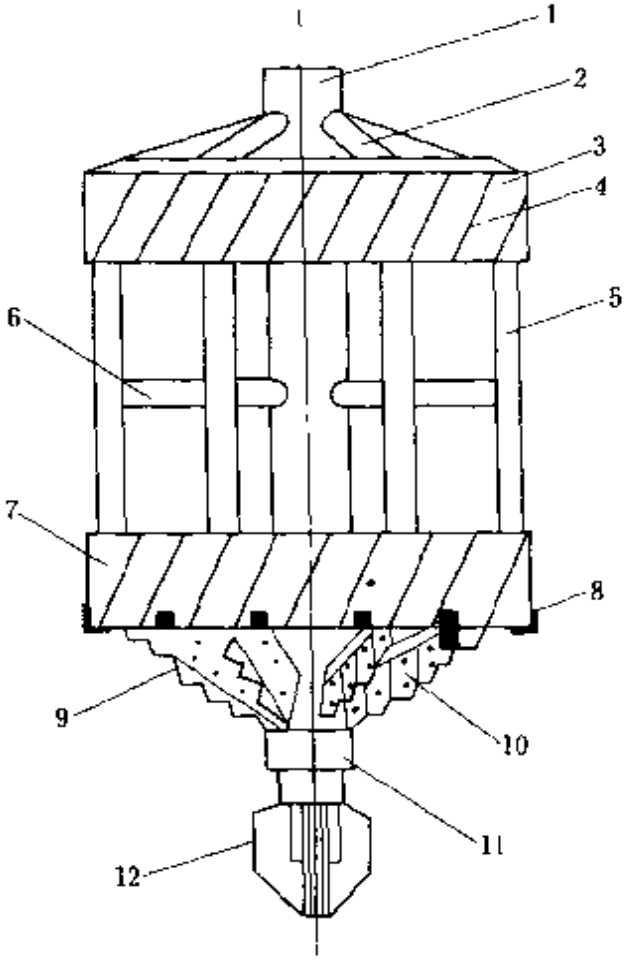


图 3-13　双腰带笼式钻头

1- 中心管；2　斜支杆；3　上导正圈；4- 肋骨；5　支柱；6　横支杆；7　下导正圈；8　肋骨；9　翼板；10　刀体；11　接头；12　小钻头

③钻进规程参数：

a. 钻压：

松散地层、软地层主要靠钻具自重；

基岩等硬地层一般需要加压，主要通过钻铤或配重块来实现。

钻压参考值选择见表 3-9。

b. 转速：见表 3-10。

c. 泵量：见表 3-11。

d. 投砂量：10～20kg/m。

④操作要领：

a. 钻具下入孔内，钻头应距孔底沉渣面 50～80mm，开动泥浆泵循环 2～3min，然后开动钻机，将钻具放至孔底。

b. 加接钻杆时，应先将钻具提离孔底，待冲洗液循环 3～5min 后，再拧卸加接钻杆。

c. 在易塌孔地层中钻进时，应适当加大泥浆的密度和粘度来稳定孔壁。

d. 在砂砾石层中钻进时，钻具易跳动、蹩车、蹩泵、钻孔偏斜等，操作时要控制给进，加大泵量，降低转速。必要时，钻具应加导向，防止孔斜。

e. 在松软土层中钻进，应根据泥浆补给情况控制钻进速度。

f. 利用钻杆加压时，在钻具中应加设扶正器。

⑤正循环钻进常见事故及处理方法：

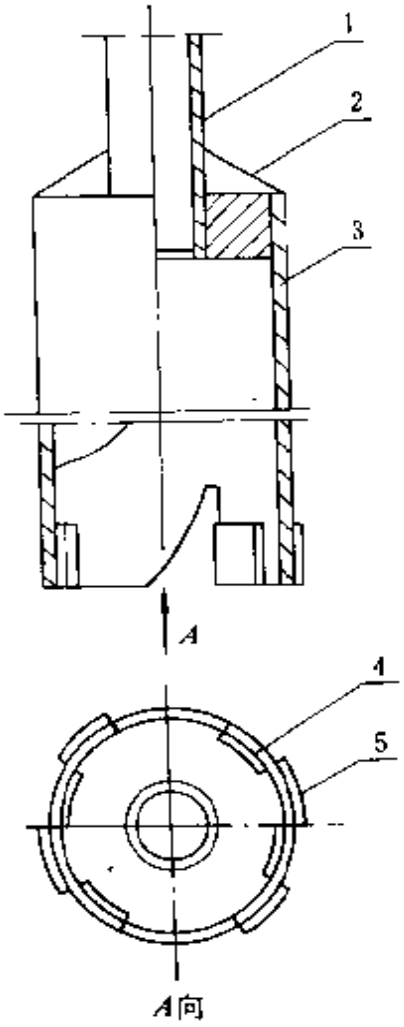


图 3-14　大口径内外肋骨钢粒钻头
1　中心管；2　加强片；3　岩芯管；4　内肋骨片；5　外肋骨片

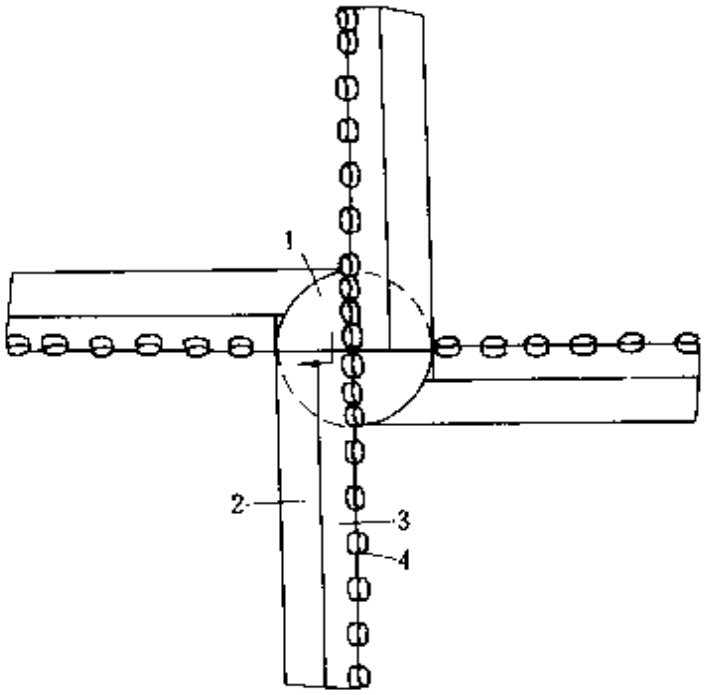


图 3-15　翼形金刚石复合片钻头
1　回转轴；2　翼形部件；3　切削部件；4　复合片

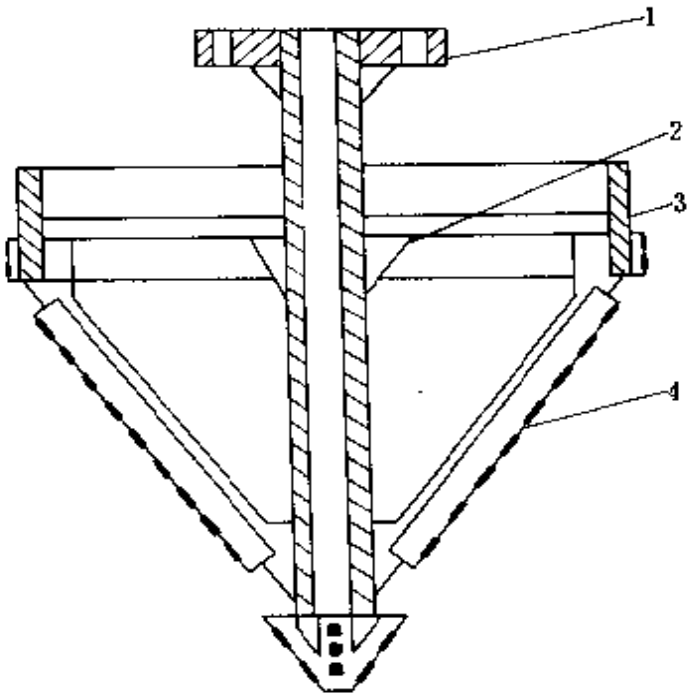


图 3-16　灯笼式钻头
1　法兰盘；2　肋骨；3　圆铜管；4　合金刀片

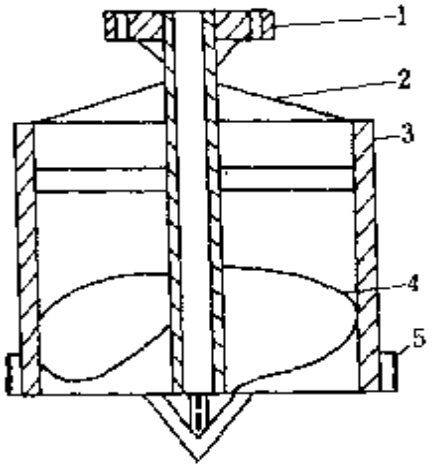


图 3-17　内螺旋钻头
1 -法兰盘;2- 肋骨;3　圆钢管;
4　螺旋片;5- 合金

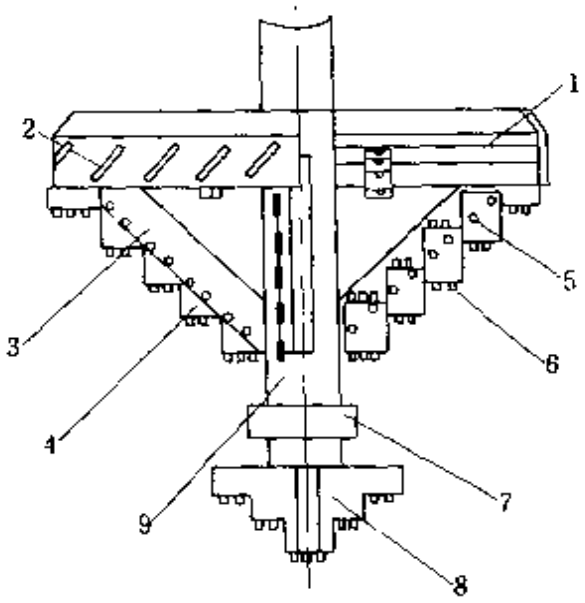


图 3-18　四翼阶梯式空心钻头
1　导正环;2-- 肋骨片;3 - 翼板;
4　刃板;5- 固定螺栓;6 - 硬合金片;
7 - 法兰盘;8　小钻头;9 --中心管

a. 在粘土层中钻进，进尺慢、蹩泵。

原因：泥浆粘度大；钻压过大；糊钻。

处理方法：调整泥浆性能和钻进参数；专门清洗孔底和钻头。

b. 在砂砾层中钻进，进尺慢，钻头磨损大。

原因：冲洗液上返流速小，钻渣不易排出，钻头重复破碎严重。

处理方法：加大泵量，增大上返流速；每钻进 4～6m，专门清渣一次。

c. 钻具跳动大，回转阻力大、切削具崩落。

原因：孔内多有大小不等的砾石、卵石等。

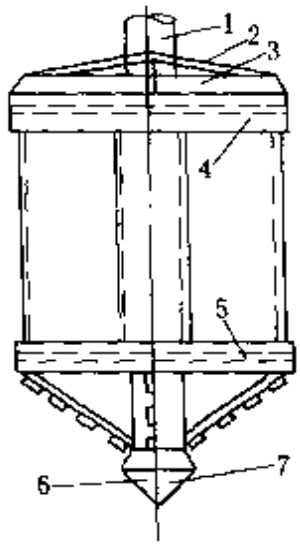


图 3-19　圆柱式钻头
1　钻杆;2　肋骨;3　轮骨;
4、5　导向的上、下腰带;
6　合金;7　小钻头

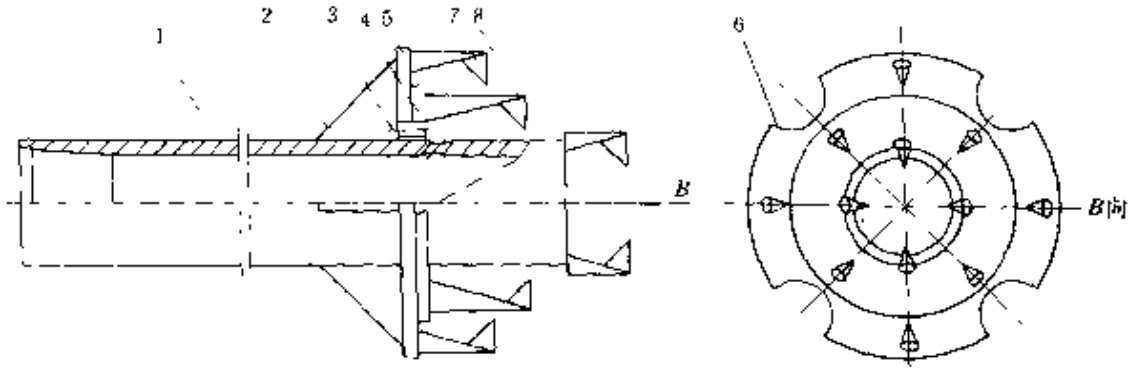


图 3-20　大口径组合式牙轮钻头示意图
1- 心轴；2　加强板；3--紧固螺栓；4　下托盘；
5- 上托盘；6　水口；7-- 牙轮掌；8　牙轮钻头

表 3-9　正循环钻压选择参考表

岩土类别	单轴抗压强度(MPa)	孔径(m)				
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
		钻压(kN)				
砂层、砂土层		2～8	3～11	4～15	5～19	6～23
粘性土		8～17	11～26	15～35	19～43	23～52
含砾粘土、强风化泥岩、泥灰页岩	<5	17～22	26～33	35～44	43～55	52～65
强风化—中等风化砂页岩，卵砾石层	5～30	22～50	33～75	44～99	55～124	65～149
中等风化—微风化砂页岩、软石灰岩	30～60	50～68	75～103	99～137	124～171	149～205
石英砂岩	60～100	68～87	103～130	137～173	171～216	205～260
片麻岩、花岗岩	100～200	87～119	130～179	173～238	216～198	260～357
致密石英岩	200～350	119～154	179～231	238～308	298～385	357～462

表 3-10　正循环转数选择表

岩土层	线速度(m/s)	钻头直径(m)				
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
		钻头转速(r/min)				
稳定性好的土层	1.5～3.5	72～167	48～111	36～84	29～67	24～56
稳定性较差的土层	0.7～1.5	33～72	22～48	17～36	13～29	11～24
极不稳定的砂层、漂卵石层	0.5～0.7	24～33	16～22	12～17	10～13	8～11
软质岩(σ_c<30MPa)	1.7～2.0	81～95	54～64	41～48	32～38	27～32
硬质岩(σ_c=30～60MPa)	1.4～1.7	67～81	45～54	33～41	27～32	22～27
极硬岩(σ_c>60MPa)	1.0～1.4	48～67	32～45	24～33	19～27	16～22

表 3-11　正循环泵量选择表

地层情况与钻进方法	孔径(m)			
	0.4	0.6	0.8	1.0
	泵量(L/min)			
上部无不稳定地层(刮刀、牙轮钻进)	340～390	500～825	990～1485	1560～2330
上部无不稳定地层(钢粒钻进)	135～300	200～450	270～600	340～755
上部有不稳定地层	<120	<280	<500	<780

注：采用此泵量，冲洗液上返速度达 0.3～0.5m/s。

处理方法：可用冲击钻头破碎或挤压石块通过这类地层；用抽砂筒或冲抓锥专门捞除大的石块。

2. 反循环钻进成孔方法

(1)泵吸反循环钻进：

①工作原理：

泵吸反循环是利用离心泵或轴流泵的抽吸力量、使钻杆内流体上升的一种管路布置方式，如图 3-21 所示。

a. 工作原理：泵的吸水口通过吸水软管与水龙头、钻杆柱相连

接。当泵工作时，泵在其进水口处形成负压，井口的液体在大气压的作用下，经钻头（可看成是泵的吸水口）携带岩屑经钻杆（中空）而上升，通过水龙头、胶管从泵中排至集碴坑中。经沉淀后的流体，以自流的方式自井口流至井底，形成循环。

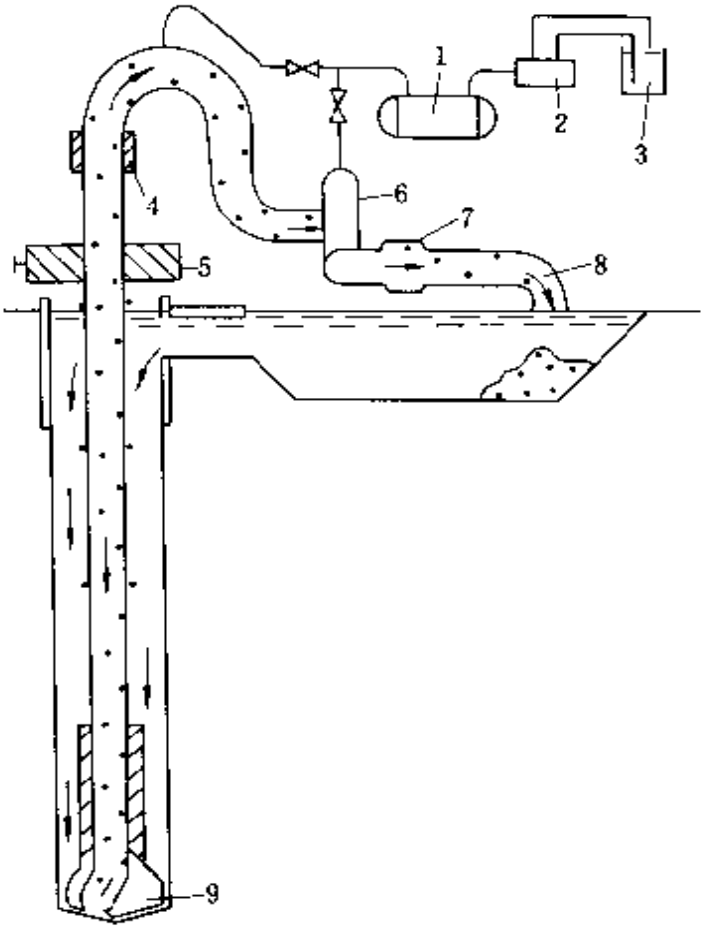


图 3-21　泵吸反循环示意图

1　真空包；2　真空泵；3 -冷却水容器；4 - 水龙头；5　转盘；6　抽吸泵；7 - 单向阀；8 - 排出口；9 - 钻头

b. 特点：

i. 反循环冲洗液上升速度快（2～4m/s），排渣速度快，所以钻进速度快。

ii. 由于排渣效果好，减少了重复破碎，所以钻头寿命明显延长。

iii. 环状面积中冲洗液的流速很慢，对孔壁的破坏作用小，只要合理地设置水头高度，钻孔一般不会坍塌。

iv. 清孔效果好，孔底沉渣厚度可不超过 5cm，这一点对于保证混凝土灌注质量是十分重要的。

c. 该方法的理想应用条件：

i. 有较充足的水源，以满足钻进用水的需要。

ii. 施工过程中应没有大于钻杆内径 4/5 的石块或杂物，否则这些东西会积聚在孔底，给钻进造成困难；或易堵塞循环通道，导致钻

进中断。

iii. 这种方法的经济合理钻深为 200m，孔径为 ϕ600～3000mm。

iv. 地下水位适当，这种方法的孔内水位要比地下水位高 2m 以上。因此地下水位过高或过低都会带来不良影响，需采取防范措施。

②设备及专用机具：

我国常用的泵吸反循环钻机有 GJC-40HF、GPS-15、QJ-250 和 QZ-200 等，其主要技术参数见表 3-12。

泵吸反循环钻进循环介质是利用泵的真空度来维持循环的，常用的泵为砂石泵，它要求能排出岩渣而又要有较大的真空度。

砂石泵一般为离心式泵。一般说来，离心泵叶片数目越多，泵效率越高，但通道直径越小。砂石泵为了增大通道直径，一般为二个叶片，效率在 50%～60%左右。

表示砂石泵性能的主要参数有：流量 Q、全扬程 H、吸程 H_s、自由通道直径 d。钻孔工作对砂石泵的要求是吸程要足够大，一般吸程要保证在 7m 以上，因为没有足够的吸程，就不能打比较深的孔，同时工效也会较低。对扬程要求不高，因为沉淀池距泵很近。

泵吸反循环钻进所需配套设备和机具见表 3-13。

③成孔工艺与操作要领：

a. 保持孔壁稳定的措施：

i. 使孔内水位高出地下水位 2m。

ii. 在地层不稳定、孔较深、施工周期长的情况下，可使用泥浆。

iii. 控制冲洗液沿孔壁下流的速度不超过 10m/min。

iv. 合理控制起下钻速度。

b. 钻头的合理设计与选用：

泵吸反循环钻进应根据不同的地质条件选用钻头。但在工程施工钻进中一般孔深不是太大，如果过于频繁地更换不同类型的钻头，会使工效降低，因此须尽可能选择或设计对地层适应性较强的钻头。

表 3-12　我国几种转盘式泵吸反循环工程钻机的技术性能

技术参数 \ 钻机型号		GJC-40HF	GPS-15	QJ-250	QZ 200
钻孔直径(m)		1.5	0.8～1.5	2.5	0.6～1.5
钻孔深度(m)		40	50	100	200
转速 (r/min)	正	20～60	13;23;42	12.8;21;40	20;40;60
	反	16～20	13;23;42	68.70	29.4
最大扭矩(kN·m)		13.61	17.64		
提升能力(kN)		29.4	29.6		29.4
提升速度(m/s)		0.716;1.42;2.04	0.65;1.16;2.08		0.81;1.7;2.47
提升能力(kN)		19.6	19.6		6.86
提升速度(m/s)			0.46;0.80;1.44		0.71;1.47;2.15
	高度(m)	11	8		9.9
	负荷(kN)	147	176.4		117
泵	排量(m^3/h)	180	180	200	280
型号		3PN	3PN	NB-75	无
排量(m^3/h)		108	108	180	
扬程(m)		21	21	200	
型号		$1\frac{1}{2}$BA-6	$1\frac{1}{2}$BA-6	空压机	真空泵 SZB-8
排量(m^3/h)		11	11	12	
型号		6135Q 柴油机	Y200L－4 电机	YSL126 -10	4125A 柴油机
功率		160 马力 (1 马力＝735.5W,下同)	30kW	95kW	75 马力
尺寸 长×宽×高(m)		10.85×2.47×3.55(运输)	9.75×2.42×8.62	3.00×1.60×8.19	6.5×3×10.82

续表 3-12

钻机型号 / 技术参数		BDM-1		BDM-2	
总质量(kg)		1500	15000	1300	9500
生产厂		天津探矿机械厂	上海探矿机械厂	郑州勘察机器厂	吉林乾安机械厂
钻孔直径(m)		1.25		1.5	
钻孔深度(m)		40～60		40～60	
转盘转速(r/min)		9,19,26;18,38,52,		5,10,17;10,20,34	
转盘最大扭矩(kN·m)		11.87		27.46	
转盘电机型号		JD03-200M-12/6		JD03-225S-12/6	
转盘电机转速(r/min)		480/960		490/980	
转盘电机功率(kW)		14/22		18/28	
水龙头提升能力(kN)		150		200	
钻杆规格:外径×内径(mm)		140×120		180×156	
砂石泵型号		6PSS			
砂石泵流量(m^3/h)		180			
砂石泵扬程(m)		12			
砂石泵允许抽吸真空度(kPa)		68.65			
砂石泵电机功率(kW)		17			
外形尺寸	长(mm)	5050		5230	
	宽(mm)	1930		2200	
	高(mm)	8194		86900	
主机质量(kg)		9000		11000	
生产厂		铁道部大桥工程局桥梁机械制造厂			

表 3-13　泵吸反循环钻进机组所需主要设备与机具

主要设备、机具	单位	数量	备　注
工程钻机	台	1	包括钻塔、平台能下钢筋笼
潜水泵(包括胶管)	套	1	可视需要，另配回灌泵
钻杆(包括水管)	台	2～3	
潜水泵(包括水龙头)	m	若干	内径 147～200mm 无缝钢管，壁厚 10～15mm
钻头	个	2～3	
扩底钻头	个	2～3	
冲抓锥	个	1	
冲击钻头	个	1	
钻碴分离机械	个	1	
电焊机	台	1	
孔底沉渣、孔径测量器具	套	1	自制
贮水箱	个	1～2	自制
护筒	个	3～4	各种直径，自制
钢轨	m	100	
打捞丝锥、捞勾、套筒			处理断钻杆、掉钻头，修孔底
75kW 发电机组	台	1	
3～12t 汽车吊	台	1	一般两钻机配一台吊车
选料、出渣车	台		根据需要配套

较常用的钻头类型有前述的鱼尾钻头和滚刀钻头，还有锥形三翼钻头(如图 3-22 所示)，它适用于钻进砂性土、粘性土、卵石地层以及风化岩地层；牙轮钻头(如图 3-23 所示)，它适用于钻进砂性土、卵砾石层、风化基岩地层以及中硬和硬岩地层；还有带导流盘锥形三翼钻头

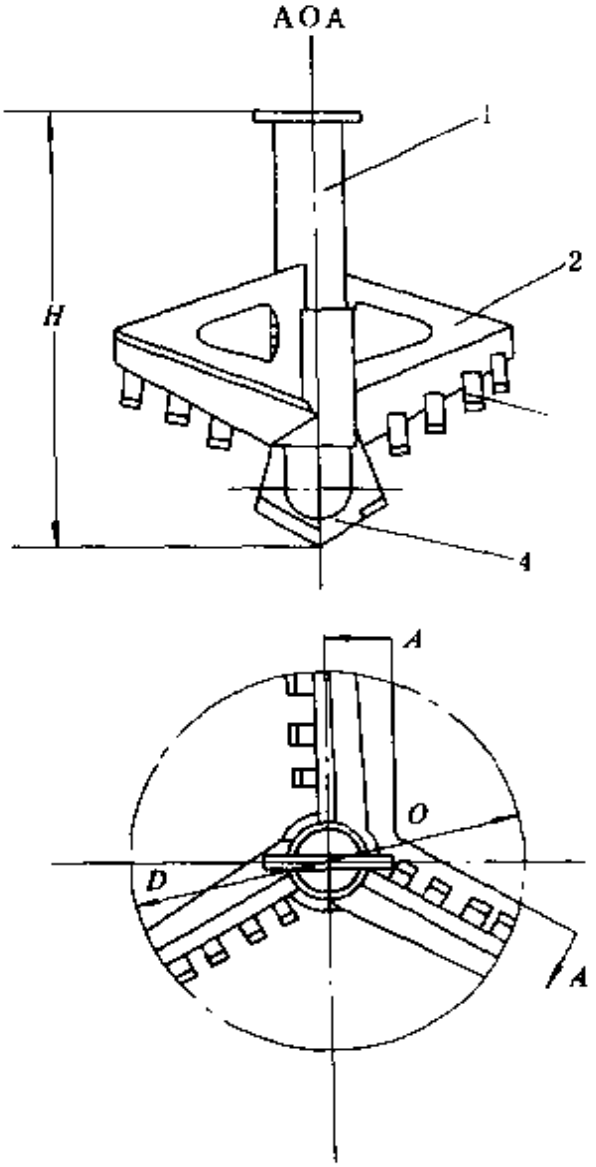


图 3-22　锥形三翼钻头
1　芯管；2－翼板；3－齿板；4　超前小钻头

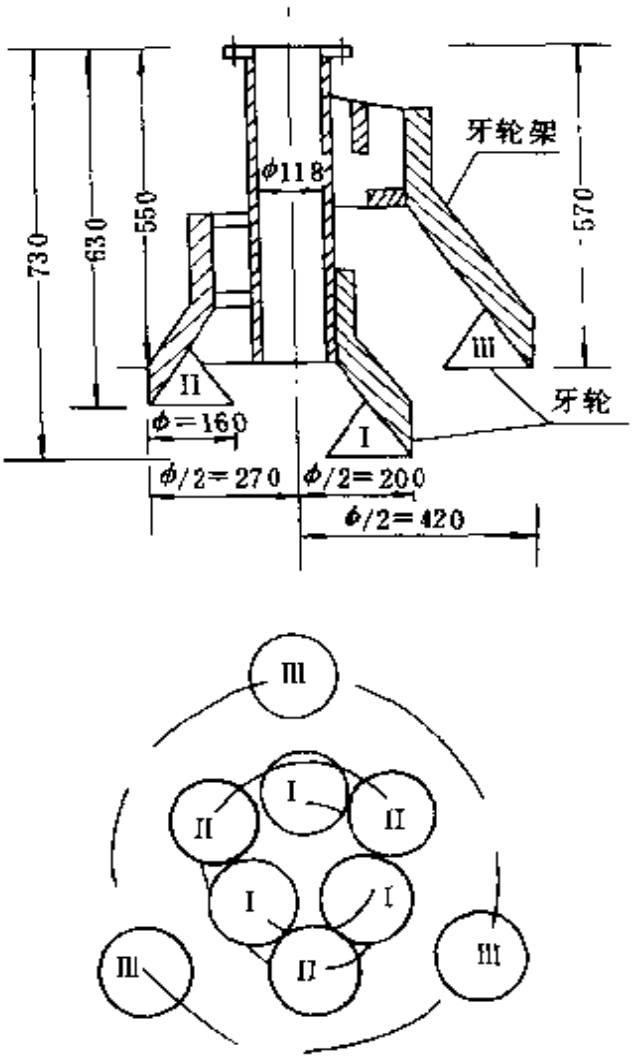


图 3-23　牙轮钻头

(见图 3-24 所示)。它是国内粘土层钻进使用较为理想的翼状钻头。在日本还出现了反循环用扩底钻头和反循环用油压扩底钻头。

泵吸反循环钻进对钻头的要求：

i. 钻头吸水口断面开敞，流阻小，防止堵塞。钻头吸口距钻头底端不宜大于 250mm。

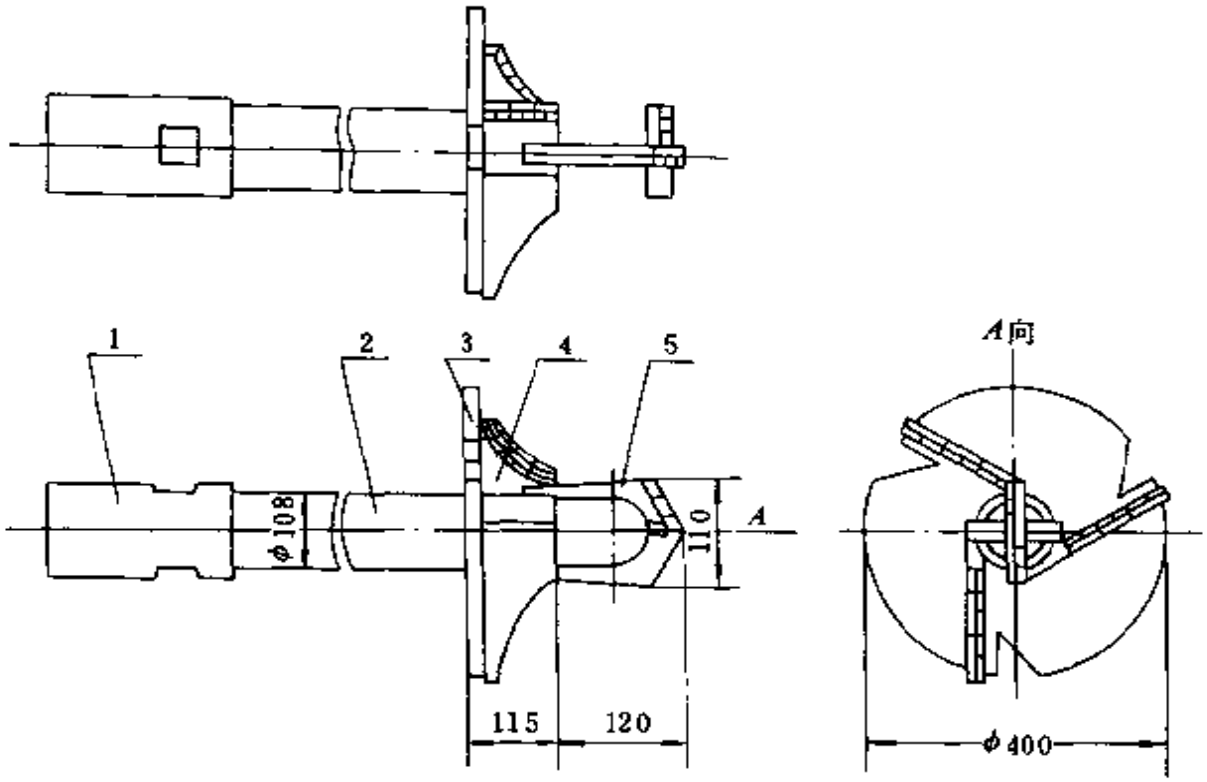


图 3-24　带导流盘锥形三翼钻头
1－接头；2　芯管；3　导流盘；4　主切削翼板；5　前导钻头

ii. 翼板数量与钻头直径关系见表 3-14，翼板底面与水平面交角为 30°。

表 3-14　翼板数量与钻头直径关系表

钻头直径	翼板数量
小于 1m	3
1～1.5m	4～6
大于 1.5m	适当增加

iii. 钻头吸口数量视泵量、孔径确定。当钻头直径较大，且泵量也比较大时，可在钻头径向设置第二吸口。

iv. 前导钻头直径比中心钻杆直径大 160～200mm 左右，超前距离为 200mm。

c. 泵吸反循环钻进参数的选择：

i. 钻杆内流体上返速度：钻杆内流体的上返速度愈高，携带岩渣能力愈强。国外推荐采用 3～4m/s。从国内试验情况来看，当达到 2.5～3.5m/s 时，钻进效果已经达到良好程度。当流体速度再增加后，常出现鹅颈管磨损过快，同时引起环状间隙的流速增高，对井壁稳定不利。因此，当前上返速度以 2.5～3.5m/s 为宜。当然，钻速越高，单位时间所产生的岩屑越多，其上返速度应增高。

ii. 钻杆内径：钻杆内径应与钻孔的直径相匹配。钻杆内径大，钻进过程中的各种压力损失都可减小，可增大反循环钻进所能达到的钻孔深度；同时钻杆内径大，可上返的钻屑颗粒也大，且不易产生管道堵塞，从而钻进速度也可提高。但钻杆直径太大，当钻杆内泥浆上返流速一定时，增大了泥浆的泵量和钻杆外环隙中的泥浆流速，对孔壁冲刷作用也大。一般建议钻孔直径与钻杆直径之比在 10 左右为好，但内径不宜小于 100mm。

iii. 钻杆长度：在泵吸反循环管路中，压力最低点在水龙头上的弯管顶部，为使该处的压力不小于泥浆的汽化压力，泵吸反循环一般采用较短的钻杆和主动钻杆（一般为 3m）；当孔较深时至少还要配备一节 1.5m 长的短钻杆。

iv. 砂石泵流量 Q：砂石泵出厂时标定的流量是指抽吸清水的流量。实际施工时，砂石泵抽吸的是含有大量钻屑的泥浆，故实际流量小于其标定的额定流量。因此，按下式选择砂石泵时，要视冲洗液类型乘以一个大于 1 的系数，其泵量才能满足实际施工需要。

$$Q=2826v \cdot d^2k \tag{3-6}$$

$$v=\frac{4\alpha Q}{\pi D^2} \quad (\mathrm{m/min}) \tag{3-7}$$

式中：Q——砂石泵的排量，m^3/s；α——岩屑在上升流体中的含

量；D——钻孔直径，m；d——钻杆内径，m；v——钻杆内流体上返速度，m/s；k——考虑泵工作时余量系数，取 1.4～1.8。

v. 岩屑含量和岩屑粒径：岩屑含量和岩屑颗粒的大小，在泵吸反循环中也是一个重要的因素。

岩屑含量的大小与所钻的岩层性质、钻孔深度和循环介质种类有关。当实际测定浅井、软岩，使用泥浆钻进的岩屑含量达 10%～15%时，钻进效率仍很高。当深井使用清水钻进软硬的岩石时，为防止管路堵塞，岩屑含量可控制在 1%～3%。因此，井浅时岩屑含量可以高一些，当井深时就要小一些。一般地层，岩屑含量可在 5%～8%。

岩屑含量是用给进速度加以控制的。其它有关钻进参数见表 3-15。

表 3-15　泵吸反循环钻进参数推荐表

钻进参数和钻速 / 地　层	钻压(kN)	转速 (r/min)	砂石泵排量 (m^3/h)	钻速 (m/h)
粘土层、硬土层	10～25	30～50	180	4～6
砂土层	5～15	20～40	160～180	6～10
砂层、砂砾层、砂卵石层	3～10	20～40	160～180	8～12
中硬以下基岩风化基岩	20～40	10～30	140～160	0.5～1

d. 泵吸反循环回转钻进工艺：

i. 砂石泵起动前钻头离孔底大于 0.2m。

ii. 砂石泵起动方法有：

使用灌浆泵。先开动灌浆泵并关闭砂石泵的出水阀，通过砂石泵向孔内注冲洗液，待钻具、水龙头、软管及砂石泵全部充满后，观察井口不返气泡时，即可启动砂石泵，同时关闭灌浆泵，打开砂石泵出水阀。

使用真空泵起动。先关砂石泵出水阀和气包放水阀，并打开真空泵管路阀门，然后启动真空泵，抽吸系统内空气，产生负压，把孔内冲洗液引到砂石泵。通过气包观察窗看到水面升到上部时，即可启动砂石泵，同时停真空泵，当砂石泵出口压力表达 0.2Pa 时，打开砂石泵排水阀。砂石泵启动后，即可打开气包排水阀门，放出气包内冲洗液。

iii. 吸水系统的连接严密、牢固、通顺。

iv. 砂石泵启动后，应待形成正常反循环，才能开动钻机慢速回转，下放钻头至孔底。开始钻进时，应先轻压慢转至钻头正常工作后，逐渐增大转速，调整钻压，以不造成钻头吸水口堵塞为限度。

v. 钻进中应认真细心观察进尺情况和砂石泵的排水出渣情况；排量减小或出水中含钻屑量太多时，应控制给进速度，防止因循环密度太大或管道堵塞而中断反循环。

vi. 在砂砾、砂卵、卵砾石层中钻进时，为防止钻渣过多，卵砾石堵塞管道，可采用间断给进、间断回转的方法来控制钻速。

vii. 加接钻杆时应先停止进尺，将钻具提离孔底 100mm 左右，维持冲洗液循环 1～2min，以清洗孔底，并将管道内的钻渣掘出排净，然后停泵加接钻杆。

viii. 钻进时如孔内出现坍孔、涌砂等异常情况，应立即将钻具提离孔底控制泵量，保持冲洗液循环，吸除坍落物和涌砂，同时，向孔内输送性能符合要求的泥浆，保持水头压力以抑制继续涌砂和垮孔；恢复钻进后，控制泵排量不宜过大，避免吸垮孔壁。

ix. 钻孔孔深达到设计要求停钻后，钻具提离孔底 50～80mm，维护冲洗液正常反循环清孔，直到符合清孔标准为止。起钻时应注意操作轻稳，防止钻头拖刮孔壁。并向孔内补入适量冲洗液，稳定孔内水头高度，防止坍孔。

e. 常见故障及处理：

在施工过程常出现一些故障，一般采取如表 3-16 所示的处理方法。

表 3-16 气泵吸反循环常见故障的处理方法

序号	故障现象	故障原因	处理(排除)方法
1	真空泵启动时，系统真空度达不到要求	1. 启动时间不够 2. 气水分离器中未加足清水 3. 管路系统漏气，密封不好 4. 真空泵机械故障 5. 操作方法不当	1. 适当延长启动时间但不宜超过 10 分钟 2. 向气水分离器中加足清水 3. 检修管路系统，尤其是砂石泵塞线和水龙头处 4. 检修或更换真空泵 5. 按正确操作方法操作
2	真空泵启动时，真空度达到要求，但不吸水，或吸水而启动砂石泵时不上水	1. 真空管路或循环管路被堵 2. 钻头水口被堵住 3. 水龙头弯管最高点过高	1. 检修管路，注意检查真空管路上的阀是否打开 2. 将钻头提离孔底，并冲堵 3. 水龙头弯管最高点离钻孔液面之间的距离降到 6.5m 以下
3	灌浆泵启动时管道阻力大，孔口不返水	1. 管路系统被堵塞物堵死 2. 钻头水口被埋住	1. 清理管路系统堵塞物 2. 把钻具提离孔底，用正循环冲堵
4	砂石泵启动正常循环后，循环突然中断或逐渐中断	1. 管路系统漏气 2. 管路突然被堵 3. 钻头水口被堵 4. 吸水胶管内层脱胶损坏	1. 检修管路，紧固砂石泵塞线压盖或水龙头压盖 2. 冲堵管路 3. 清除钻头水口堵塞物 4. 更换吸水胶管
5	在粘土层中钻进时，进尺缓慢，甚至不进尺	1. 钻头有缺陷 2. 钻头泥包或糊钻 3. 钻进参数不合理	1. 检修钻头，必要时重新设计钻头(更换钻头) 2. 清除泥包，调整冲洗液的密度、粘度，适当增大泵量或向孔内投入适量砂石，解除泥包糊钻 3. 调整钻进参数
6	在基岩中钻进时，进尺很慢甚至不进尺	1. 岩石较硬，钻压不够 2. 钻头切削具崩落钻头有缺陷损坏	1. 加大钻压(可用加重块)调整钻进参数 2. 修复钻头或更换钻头

续表 3-16

序号	故障现象	故障原因	处理(排除)方法
7	在砂层、砂砾层或卵石层中钻进时，有时循环突然中断或流量突然减小，钻头在孔内跳动厉害	1. 进尺过快，管路被砂石堵死 2. 冲洗液的密度过大 3. 管路被石头堵死 4. 冲洗液中钻渣含量过大 5. 孔底有较大的活动卵砾石	1. 控制钻进速度 2. 立即稍提升钻具，调整冲洗液密度至符合要求 3. 起闭砂石泵出水阀，以造成管路内较大的瞬时力波动，或用正循环冲堵。如无效，则应起钻予以排除 4. 降低钻速，加大排量，及时清渣 5. 起钻、用专用工具清除大块卵砾石
8	塌孔	1. 地层松散，水头压力不够 2. 孔内漏失，水位下降 3. 操作不当 4. 泵量过大(松散层)	1. 向孔内补充足够泥浆，加大泥浆密度或抬高水头高度或下长护筒 2. 向漏水层投泥球堵漏 3. 注意操作，升降钻具应平稳 4. 调整泵量，减少抽吸

(2)射流反循环回转钻进：

a. 工作原理：

射流反循环又称喷射反循环，它是利用安装在循环管路上的射流泵(亦称喷射元件)来驱动循环管路中介质流动的。用高扬程的离心泵或往复泵向射流泵输入高能流体，此流体称工作流体，从而使井底的流体(称此流体为引射流体)自钻杆中空返出地面。在施工中通常使用的工作流体为泥浆、水或压缩空气，而自井底返上来的则是夹带着岩屑的泥水混合物。经过澄清的泥浆或水，经管外环状空间以自流的方式流向井底。射流反循环钻进工作示意图见图 3-25 所示。

b. 射流泵及其安装方式：

射流泵是利用喷嘴来造成真空度的。在射流反循环中所使用的射流泵，要求大颗粒的岩屑能顺利的通过泵的管道，因此，常采用多个喷嘴，布置成环状，形成"环状喷射"。

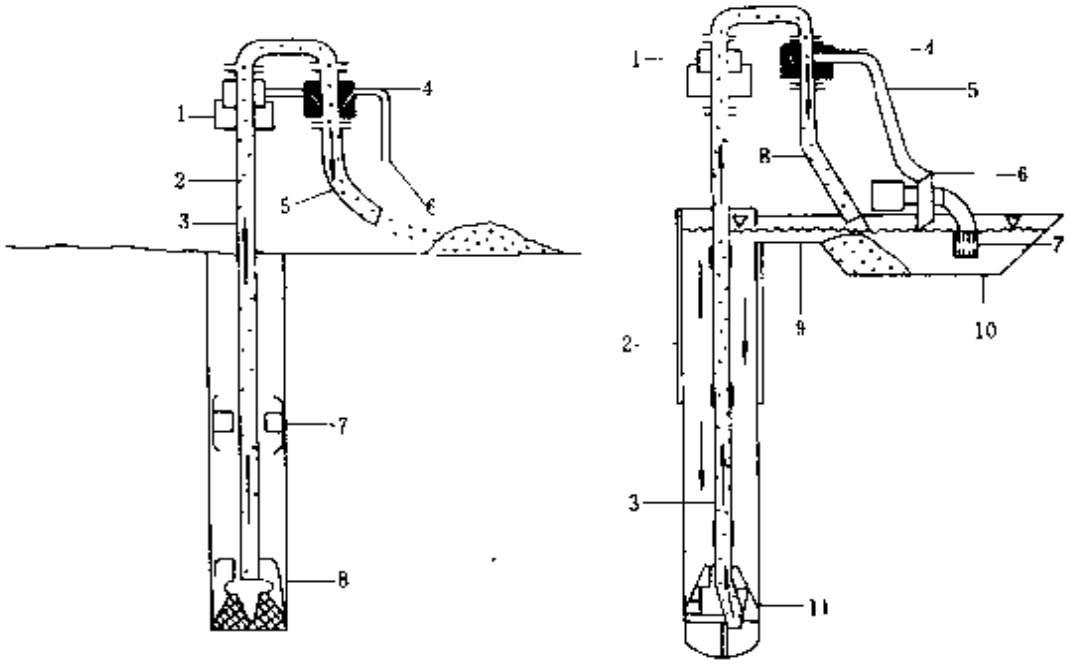


图 3-25　射流反循环钻进示意图

A：1－动力头；2　上返流体；3－钻杆；4－射流泵；5－排渣管；6　压缩空气；7－导正器；8　钻头

B：1－动力头；2－护孔口管；3　钻杆；4－射流泵；5－高压水管；6－离心泵；7　进水莲蓬头；8－排渣管；9－泥浆槽；10　沉渣池；11－钻头

图 3-26 是 B_3A 型钻机所配用的射流泵结构图。在射流泵内沿圆周布置四个直径 15mm 的圆柱形的喷嘴。该射流泵由钻机上带的离心泵驱动工作，工作泵量为 144～150m^3/h，泵压在 0.6MPa 左右。

对环形多喷嘴的射流泵，在我国已有不少单位进行了研究试验，表 3-17 为某单位的室内试验结果。

射流泵的工作流体和引射流体可以是液体也可以是气体。工作流体的随意性使得泥浆泵（包括离心泵和往复泵）和空压机都可作为

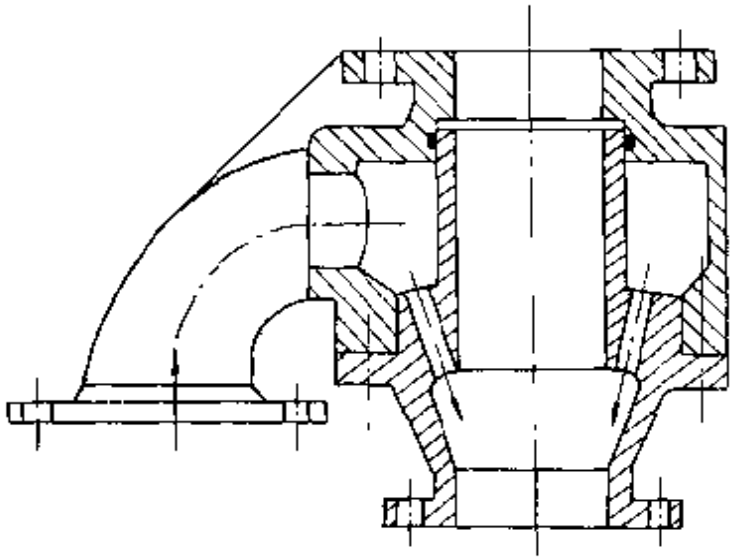


图 3-26　B_3A 型钻机喷嘴结构

射流泵的动力源。引射流体的随意性，使射流泵既能抽吸液体又能抽吸空气。射流泵的这一特性使得它在反循环钻进中的应用非常灵活。在气举反循环开孔时，可用空压机作为动力源进行射流反循环钻进；在泵吸反循环中，可用射流泵作为真空泵来启动砂石泵；当用泥浆泵作动力源进行抽吸射流反循环钻进时，射流泵能抽吸空气，不像砂石泵那样需要启动装置。

表 3-17　环状多喷嘴射流泵室内试验数据表

吸入真空度（米水柱）	引射流量（m^3/h）	泥浆上返速度(m/s) 钻杆内径 87mm	泥浆上返速度(m/s) 钻杆内径 100mm	吸入真空度（米水柱）	引射流量（m^3/h）	泥浆上返速度(m/s) 钻杆内径 70mm	泥浆上返速度(m/s) 钻杆内径 80mm
8.79	92.7	4.33	3.28	7.79	74.2	5.36	4.10
8.87	87.9	4.11	3.11	7.99	69.3	5.00	2.83
8.95	84.6	3.95	2.99	8.12	64.6	4.66	3.57
9.04	79.3	3.71	2.80	8.21	62.7	4.53	3.46
9.11	74.2	3.47	2.62	8.41	59.2	4.27	3.27
9.17	71.2	3.33	2.52	8.51	55.7	4.02	3.08
9.25	66.4	3.10	2.35	8.63	52.4	3.78	2.89
9.33	60.1	2.81	2.13	8.79	47.7	3.44	2.64
9.41	55.7	2.60	1.97	8.88	42.5	3.07	2.35
9.49	49.2	2.30	1.74	9.00	37.0	2.67	2.04
9.54	41.8	1.95	1.48	9.08	30.7	2.22	1.70
9.59	33.8	1.58	1.20	9.24	25.1	1.81	1.39
9.68	25.1	1.17	0.89	9.38	15.9	1.15	0.88

射流泵在射流反循环管路中布置形式有三种：一种是把射流泵潜入孔内，放置在钻头上部，如图 3-27a 所示；一种是将射流泵放在地表，如图 3-27b 所示；另一种是把射流泵装在水龙头的下方，如图 3-27c 所示。

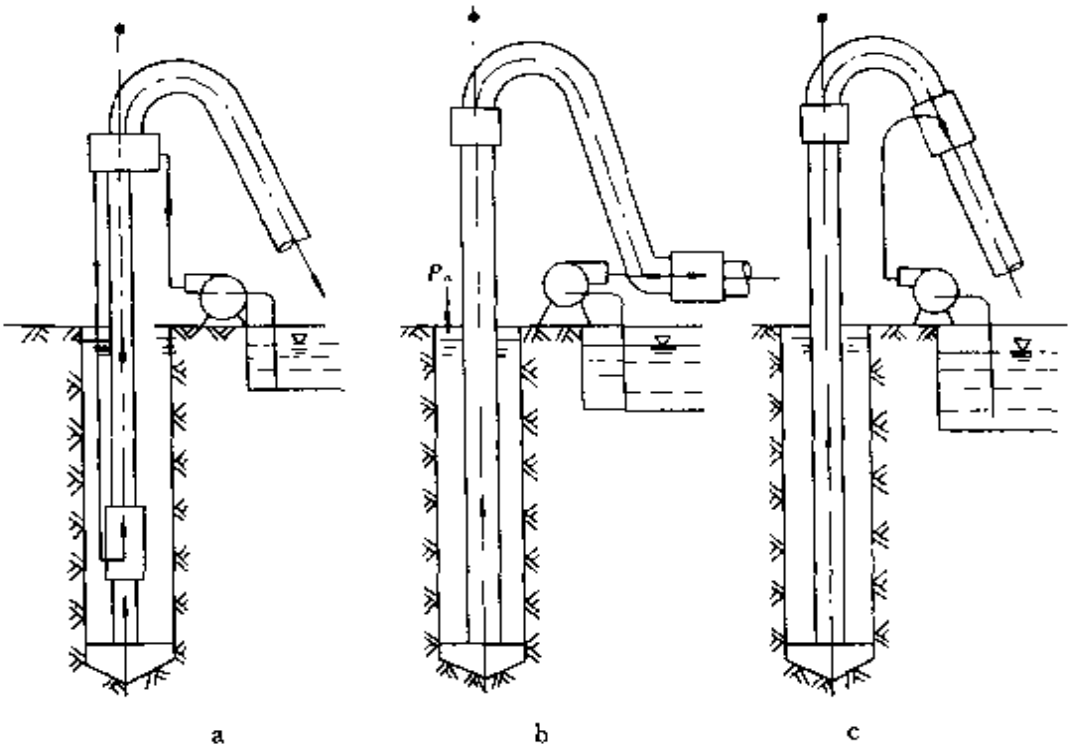


图 3-27　不同安装位置的射流反循环布置图

从图 3-27 中三种不同安装位置来看，b、c 管路简单、射流泵不运动，但它是利用射流泵真空度来驱动循环的，因此，这二种方式适用于钻进浅井或与其它反循环钻进配套或组合使用。a 的布置是利用射流泵的扬程进行工作，因此，循环驱动力大于 0.1MPa。若工作

流体为液体，则上升流体为工作流体与引射流体之和，增大了上升流体的流速。若工作流体为压缩空气，则使上升流体变成气、水和固体混合物，形成与气举反循环相似的形式。这种布置的缺点是使钻具复杂，且多半采用双壁钻杆。

6SPS 射流泵是中国地质大学研制的专利产品，其结构示意图如图 3-28 所示。它是正反循环两用射流泵，其主要技术参数如下：

用于反循环时：真空度 9.5m 水柱；引射流量 100～225m³/h；配用钻杆内径 φ150mm。

用于正循环时：最大泵压 0.6MPa；最大泵量 180m³/h。

外形尺寸 1885mm×1332mm×860mm（长×宽×高）（不包括排出管）；质量 1100kg；功率 37～45kW。

③射流反循环回转钻进工艺：

射流反循环钻进与泵吸反循环钻进相比，泵工作条件较好，但增加了一个射流泵。射流泵较砂石泵优点较多，磨损小，无运动件，能自吸，但它受效率的影响，其驱动力仍然不大。因此，射流反循环钻进也适用于浅井，射流泵安装在地表的射流反循环回转钻进的施工工艺与泵吸反循环回转钻进基本相同，因此，这里只介绍射流泵的使用及注意事项。

泵的安装高度应尽可能低，泵轴线距泥浆池液面高度不大于 0.5m 为宜。如射流泵组长时间不运转，工作泵（离心泵）内无水，启动前打开闸阀及蝶阀，通过排出管向泵内灌水，同时打开工作泵泵体上的小闸阀放气，待工作泵及其吸水管空气排净后，关闭小闸阀，启动工作泵。工作泵正常供水是射流泵正常工作的必要条件。如工作泵供水正常，可先试用一下正循环，打开蝶阀，将闸阀逐步关闭，当孔口返水时，说明循环管路无堵塞或堵塞已被冲开。这时再打开闸阀关闭蝶形阀，系统实现反循环。反循环正常后，开动钻机回转并给进。

当大量钻渣涌进钻杆上升时，射流泵吸入阻力增加，水量会减小。因此，司钻要随时注意水量变化，如发现水量明显减小，应减缓进

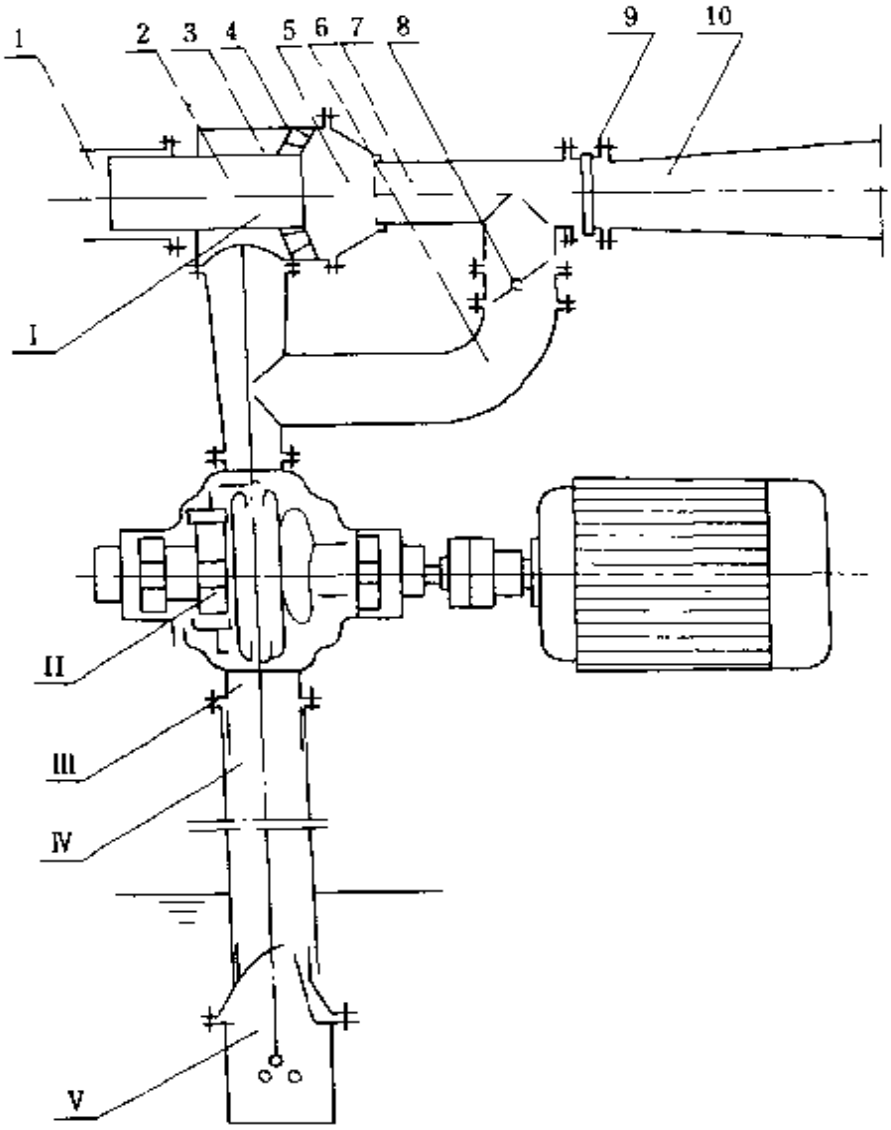


图 3-28　正反循环两用射流泵示意图

Ⅰ　射流泵；Ⅱ　轴封润滑油缸；Ⅲ　工作泵；Ⅳ　吸水胶管；Ⅴ　吸水龙头

1 -射流泵吸水胶管；2　引射管；3　泵体；4　喷嘴；5　吸入室；

6　三通；7 -喉管；8　蝶阀；9　闸阀；10　扩压管

尺速度或停止进尺，必要时稍提钻具，等水量恢复正常后再进尺。随着孔深的增加，循环系统的各项阻力随之增加，水量会逐步减小一些，这是正常现象。

①常见故障及处理：

i. 工作泵供水不正常：

原因：工作泵内滞留空气未排净；吸水龙头被杂物堵塞或被沉淀下来的钻渣埋没；吸水龙头沉入深度浅，吸水时产生漩涡，吸入了空气。

处理：将工作泵内滞留空气排净；清除吸水龙头的堵塞物；将吸水龙头沉入深一些。

ii. 喷嘴堵塞：装上吸水龙头就是为了防止比喷嘴出口直径大的钻屑或杂物进入射流泵而堵塞喷嘴。当然有时吸水龙头也被堵塞，所以应及时清除泥浆池里的杂物，增大沉淀池容积，吸水龙头附近及时清砂清泥是保证射流泵正常工作的关键。

(3)气举反循环：

①工作原理：

气举反循环又称压气反循环，其基本原理是将压缩空气通过供气管路送至井下的气水混合室，并使空气与钻杆内的水混合，从而形成密度小于管外液体的掺水混合液柱。由于不断地供气，管内的混气液柱的压力降低，使钻杆内外形成压力差。在此压力差的作用下，钻杆内的掺气水流挟带着岩屑，被排出钻孔而流入沉淀池中。沉淀池中的水以自流的方式流向钻孔环状间隙(见图 3-29 和图 3-30 所示)。

压缩空气由混合室向钻杆送入，与水混合形成气泡，这需要一段过程才能形成较好的气泡。气泡在上升过程中，由于外界压力逐渐减小而继续膨胀。其膨胀功转化为流体的功能，提高了混合液上升的速度，故称气举反循环。

气举反循环的一般管路，其下部为单管，上部为双管，在钻进过程中，钻杆内，混合室以下的流体是固、液混合物；混合室以上则为固、液、气混合物。从示意图上看，气举反循环与空气升液器相似。所不足的是气举反循环钻进管路系统里，有固相加入此循环系统。

②气举反循环供气方式：

a. 并列式多空气室供气：在单壁钻杆旁以并列的方式放置两根

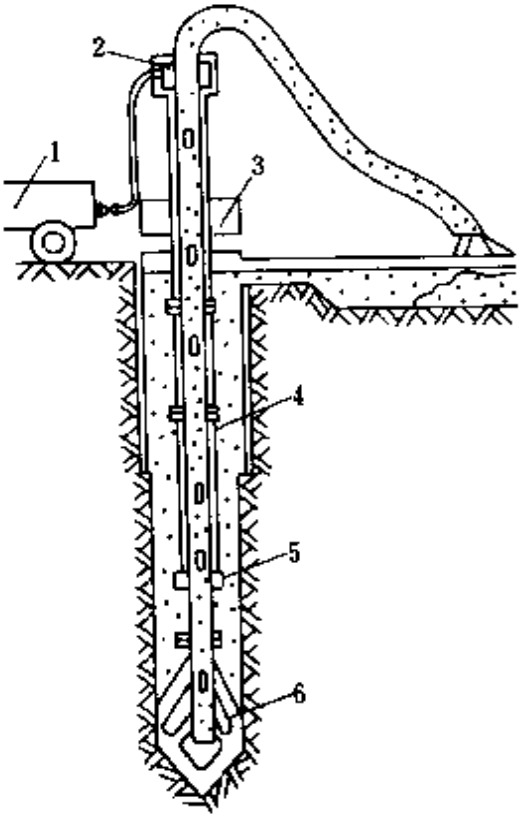


图 3-29　气举反循环钻进示意图
1　压风机；2－压气盒；3－转盘；
4　双层管道；5－混合室；6－钻头

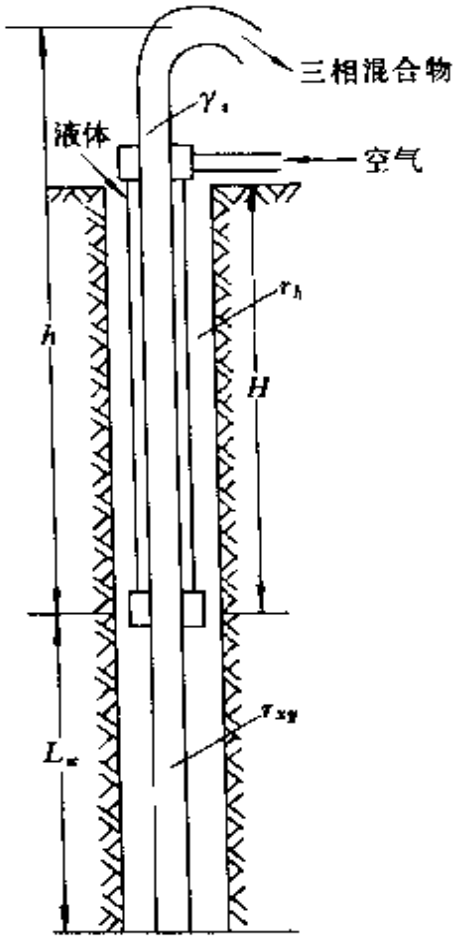


图 3-30　气举反循环工作原理示意图

送气管，钻杆之间用法兰连接。在钻进过程中，因不断地接入新钻杆，混合室的位置随之不断延深。当达到空压机工作压力所规定的深度之后，就必须改变混合器潜入水中的深度，否则将超过空压机的额定负载。法兰连接的钻杆有两根风管，其中一根与水气龙头上的出气孔相连，因此，压缩空气进入此风管。另一根由于水龙头上无出气孔，因此是不通气的。不通气的风管与上部混合器的单向阀相连，通气的风管与下部混合器上的风管相连，因此，上部混合器开始是不工作的。在此混合器下方仍接 30m 的法兰钻杆后，再接入一个气水混合室，

此气水混合室上的单向阀与法兰上有压缩空气的风管相连。当下面的混合室超过空气压缩机的额定压力时，从水龙头处将法兰钻杆不通气的一端对准水龙头的出气口，使原来不通气的风管通气，通气的风管处于不通气状态。这样上面一个气水混合室将因有空气通入而开始工作，压缩空气经此混合室进入钻杆内部，而下面一个混合室则因无空气供给而自动失去作用。等于将混合室提到了一个新高度，这样节省了起下钻具的时间。混合室之间的间距与空压机的压力有关，可参考表 3-18。

表 3-18　气水混合室与井深风压关系表

风压(MPa)	0.6	0.8	1.0	1.2	2.0
混合室间距(m)	24	36	45	59	98
混合室最大允许沉没深度(m)	51	72	99	108	192

b. 钻柱上部采用双壁钻杆，下部是单壁钻杆。

这种利用双壁钻杆向井下输送压缩空气的供气方式，要解决双壁钻杆的加工工艺问题、上部进气方式及下部空气混合室结构问题。

双壁钻杆外管是传递扭力矩和给钻头以压力的。内管是封隔空气，防止压缩空气中间短路，保证将空气送入混合室内。

双壁钻杆的结构如图 3-31 所示。

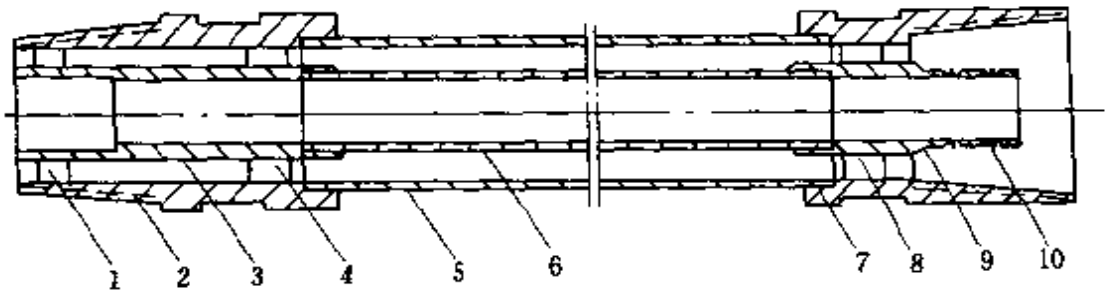


图 3-31　双壁钻杆结构图

1　支承块；2　公接头；3　内管外接头；4　支承块；5　外管；6　内管；7　母接头；8　支承块；9　内管内接头；10　密封圈

上部进气方式有三种：一种是通过气龙头，经主动钻杆进入双壁管；一种是在立轴下由进气盒直接将压缩空气进入双壁钻杆内；还有一种是进气龙头与回转动力头为一体。我国用的多为气龙头。

空气混合室是将空气输入内管里，使压缩空气很快与水混合，停止供给压缩空气时，能自动密封，防止泥浆中的岩屑堵塞混合室。图3-32所示为一种空气混合室。

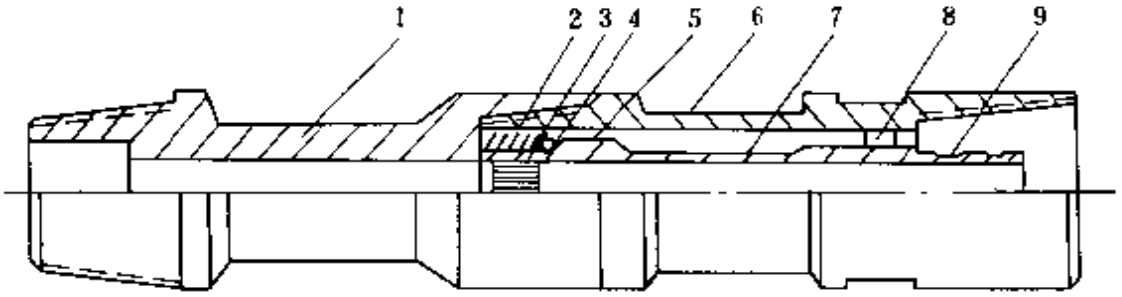


图3-32　气举反循环钻进混合室结构示意图
1—下接头；2—弹簧；3—气孔；4—钢球；5—支承块；
6—上接头；7—内管；8—支承块；9　密封圈

c. 悬挂风管式(中心式)。供气的中心管通过水龙头悬置于钻杆中心，不随钻杆回转。这样，管路简单，也便于向上提起，以保持适当的沉没深度。但中心风管占据钻杆一定截面积，大直径钻渣无法排出，同时容易造成堵塞故障，故目前只适用于小颗粒地层钻进。

d. 全部采用双管。在钻杆与钻头之间连接一节交叉流动短节，钻头采用镶有硬合金的冠状钻头(见图3-33所示)。

e. 气举反循环用的主动钻杆。一般是在厚壁管外纵焊四条角钢，构成方钻杆。压气自角钢与厚壁管之间的间隙内传送。这种结构比双壁主动钻杆简便、可靠。

③气举反循环参数的选择与配合：

a. 钻杆直径与钻杆内径的关系：和泵吸反循环相似，钻孔的直

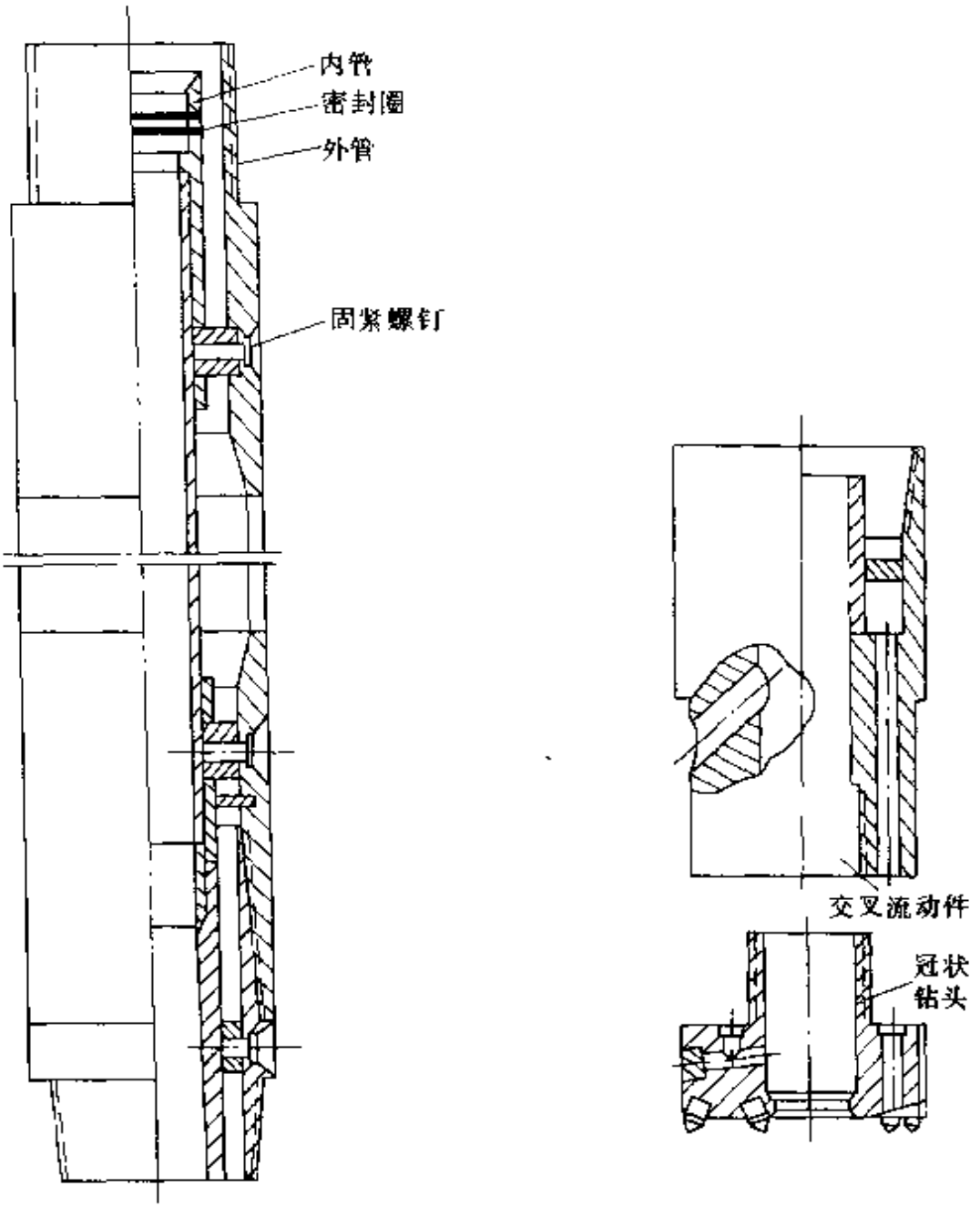


图 3-33　法国福拉克公司空气反循环钻具结构图

径决定钻杆内径，即钻孔直径越大，应选择的钻杆就越大。表 3-19 是国外常用的匹配关系，可供选择时参考。

b. 空气混合室安装深度：它由整个管路系统沉没系数（又叫沉

表 3-19　钻杆直径与钻杆内径的关系

钻孔直径(mm)	200	400	500	590	760	1100	1500	2300	3200	5000
钻杆内径(mm)		80	80	94	150	150	150	200	300	
	80	94	94	120	200	200	200	300	315	315
			120	120	150		300	300	315	
								315		

没比)确定：

$$m=\frac{H}{h} \tag{3-8}$$

式中：m——沉没系数，它为混合室下入水中的深度与自混合器算起扬程高度之比；H——混合室安装的最大深度，m；h——自混合室算起扬程高度，m。

一般要求 m>0.3。当 m<0.3 时，升液效率很低，甚至不升液。m 愈大后，整个系统工作愈是优越。对气举反循环来说，当 m 增大后，由于工作系统驱动力大，就能克服钻进中难以避免的困难，如井壁坍塌，突然的井漏以及一切意外的阻力加大。同时，有高的钻进效率。当然，此时的空压机能量消耗也大。

就此意义来说，当空压机的压力越大时，钻进的深度就越大。

c. 空压机的压力：考虑到供气管道的压力损失，空气压力 P 应按下式计算：

$$P=\frac{r_a H}{1000}+\Delta P \tag{3-9}$$

式中：r_a——孔内泥浆密度，kg/m³；ΔP——供气管道压力损失，一般取 0.05～0.1 MPa。

当空压机的压力已定，也可由上式反算混合器的最大允许沉没深度。

d. 空气量：空压机(空气量) Q 的计算，是根据钻杆内混合流体上升的速度 v 和钻杆内径 d 来进行估算的：

$$Q=(2\sim2.4)d^2v \qquad (3\text{-}10)$$

式中：Q—所需空气量，^{3}/min；d——钻杆内径，m；v——钻杆内混合流体上返速度，m/min；数字系数是考虑了气水混合比后的经验系数。

空气量在已知的钻杆间隙的钻杆系列中，也可以根据钻杆内径选定。表 3-20 所列数据可作选择风量时的参考值。

表 3-20　钻杆内径与空压机风量关系表

钻杆内径(mm)	80	94	120	150	200	300
空压机风量(m^3/min)	2.5	4	5	6	10	20

e. 尾管长度的选定：从气举反循环原理上讲，尾管长度 L_w 愈小，管内整个液柱压力愈小，排碴效率越高。但实际施工中，又往往是用小能量的压风机钻进较深的钻孔。当双壁管长度受空压机风压限制时，尾管也需要加长。

一些文献上认为，尾管长度以 $L_w=(2\sim3)H$ 为宜。我国在深井条件下进行的试验证明，利用气举反循环深度接近 $L_w=4H$。但是，必须指出：在此种状况下，钻进效率很低，经常发生堵塞事故。因此，气举反循环尾管的安全钻进长度应为：$L_w\leqslant3H$。

f. 钻进特点：气举反循环与回转钻进相结合，即为气举反循环回转钻进，其钻进工艺基本上与泵吸反循环回转钻进类似。这种钻进方法的突出优点是：只要由高压空压机提供高压空气，就能钻进较深的孔。此外，气举反循环的管路平直，加上有较大的驱动压力，故管路不易堵塞，即使堵塞了，也易于排除。带有岩屑的三相流不流经任何工作机械，设备磨损小。在循环管路，特别是地面上的管路，各处的压力都大于一个大气压，故不会像泵吸和射流泵安在地表的射流反循环那样，因管路局部密封不严、漏气而使冲洗液循环中断或不正常，也不会发生气蚀。由于以上原因，气举反循环工作比较可靠，故障较少，纯钻时间利用率高；而且液流上返速度高，能排出大粒径岩屑，重复

破碎少，其钻进效率也较高。气举反循环的缺点是：不能用它来开孔钻进，浅孔段时效率较低，因此只有较深的桩孔施工才用气举反循环钻进。

3. 潜水钻机成孔技术

潜水钻属孔底动力钻进，其特点是潜水钻机结构简单（见图 3-34 所示），地面设备简单，因此其维护修理方便，质量小，体积小，运输、移动方便，操作简单；由于其动力在孔底，钻杆不回转，其功率损耗小，钻进效率高，易于实现反循环；钻进时，基本无噪声，无振动，对孔壁的扰动很小。

潜水钻适用于钻进一般粘性土、淤泥和淤泥质土及砂土，并可钻进基岩地层；尤其适于钻进地下水位较高的地层。其施工孔径为 ϕ600～1200mm。

潜水钻机成孔原理与正反循环相同，只是钻机是密封的，潜入水中工作。

（1）机具与设备：

潜水钻的主要设备除潜水电钻外，还有钻架、卷扬机、电缆卷筒、水管卷筒、泥浆泵、砂石泵、方型钻杆、电缆线、配电柜等机具。河北省新河钻机厂生产的电动潜水钻机，其型号和主要技术参数见表 3-21，其所需配套设备见表 3-22。

（2）潜水钻成孔工艺：

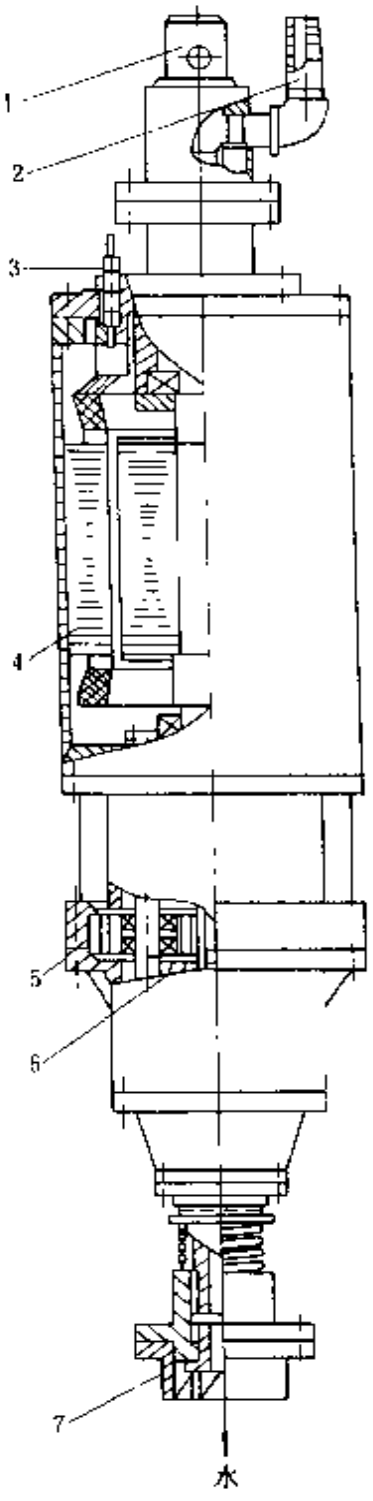


图 3-34 潜水钻构造示意图
1 提升盖；2 进水管；3 电缆；4 潜水电机；5 行星减速箱；6 中间进水管；7 钻头接箍

表 3-21　国内 GZQ 型潜水钻机主要技术性能

性能参数 \ 钻机型号		GZQ-800	GZQ-1250	GZQ-1500
钻孔直径(mm)		500—800	1250	1500
钻孔深度(m)		50	50	50
钻　　杆(mm)		80×80;90×90(方形)	96×96(方形)	127(圆形)
潜水主机	主轴转速(r/min)	200	60	38.5
	主轴扭距(kN·m)	1.18	4.46	5.46
	主电机功率(kW)	22	22	22
	主电机转速(r/min)	960	960	960
	主机质量(kg)	550	700	1000
卷扬机	提升力(kN)	19.6	19.6	49
	提升速度(m/s)	0.067	0.067	0.23
	电机功率(kW)	10	10	13
砂石泵	型号	3PN 或 3PS	3PN 或 3PS	Q4PS—1
	排量(m^3/h)			120
	扬程(m)			20
	功率(kW)	22	22	30
钻机总质量(t)		4.6	7.5	12.5
钻机外廓尺寸(长×宽×高)(mm)		4300×2230×6450	5350×2220×8742	7530×3160×10250
生产厂		河北新河钻机厂		

注：GZQ-800、GZQ-1250 型钻机的砂石泵安装在地表。GZQ-1500 型钻机的砂石泵安装在主机上，潜入孔内。

①潜孔电钻成孔特点：

潜水电钻的成孔工艺实际上就是正循环或反循环成孔工艺，只

表 3-22　潜水钻机所需配套设备

名　称	型　号　规　格	数　量	备　注
卷　扬　机	DJ10	1	配 10kW 电机
地表台车	步履式底盘或焊制轻便机等	1	
钻杆	80×80,5m/根,90×90,5m/根	各 7	
泥浆泵或砂泵	3PN 或 3PS;1/2PS		配 22kW 电机
配电柜	PD×1-00		
钻头	φ500～800mm φ900～1250mm		笼式锥形钻头
配重		2.5t/台	
钢丝绳	φ15.5mm,φ11.5mm	各 50m	
反循环钻杆	φ172mm		据需要而定
胶管	6″		
胶管	3″		
电缆	3×16+1×10	50m	
小卷扬机	JJM1-0.5	1	配 3kW 电机

不过要注意以下特点：

a. 潜水电钻适用于淤泥、粘土、砂土、砂夹小卵石层和强风化基岩。

b. 安装潜水电钻、卷扬机、泥浆泵的电缆要求接入配电箱，便于操纵。潜水电钻的电缆不得破损、漏电，必须指定专人负责收、放电缆和进浆胶管。

c. 安装钻锥、潜水电钻和钻杆，钻进时钻杆不转动，只起导向作用，产生反转矩，必须将钻杆卡在钻架底层铁门的导向滚轮内。

d. 将钻锥、电钻吊入护筒内，关好钻架底铁门，起动泥浆泵（正循环）或吸浆泵（反循环），稍吊起钻锥，使电钻空转。待泥浆压进钻孔（正循环）或泥浆被吸出孔外（反循环）后，放下钻锥开始钻进。

e. 根据钻杆进尺放松电缆线，不可过多，防止缠绞。

f. 接长钻杆时，先停止电钻转动，提升钻杆，泥浆继续循环。然后按正、反循环钻机的方法加接一节钻杆，放下电钻、钻锥继续钻进，如此连续作业直达设计标高为止。

潜水钻机工作示意图见图 3-35、图 3-36 和图 3-37 所示。无钻杆反循环潜水钻机工作示意图见图 3-38 所示。

②钻进时应注意事项：

a. 为防止潜水电钻因钻杆折断或其它原因而掉入孔中，应在电钻上加焊吊环，系一保险钢丝绳通出钻孔外吊挂；

b. 电缆和进浆胶管上应用油漆标明尺度，便于和钻杆上所标尺度相校核；

c. 在钻进时，一般钻机电流为 30～40A，如果突然上升说明电钻超负荷，应将电钻上提，相应收回电缆线及进浆胶管，并应设自动跳闸装置，以便钻进遇到阻碍，电流大大地超过负荷时，能自行停转；

d. 应根据土质情况控制电钻进尺。

二、沉管灌注桩

（一）概述

沉管灌注桩是目前采用较为广泛的灌注桩之一。它包括锤击沉管灌注桩、振动沉管灌注桩和振动冲击沉管灌注桩。这类灌注桩的施工工艺是：使用锤击式桩锤或振动式桩锤将一定直径的钢管沉入土中，造成桩孔，然后放入钢筋笼，浇筑混凝土，最后拔出钢管，便形成所需要的灌注桩。沉管灌注桩最大的特点是不需要排泥浆，且在其适应的地层成桩速度很快。

（二）设备及机具

沉管桩的施工方法是在桩管底口安装一个桩尖（见图 3-39 所示），用锤击或振击方法冲击管头，使整个桩管和桩尖同步下沉。当其达到设计深度后，吊放钢筋笼和灌注混凝土，并相应进行拔管。若用

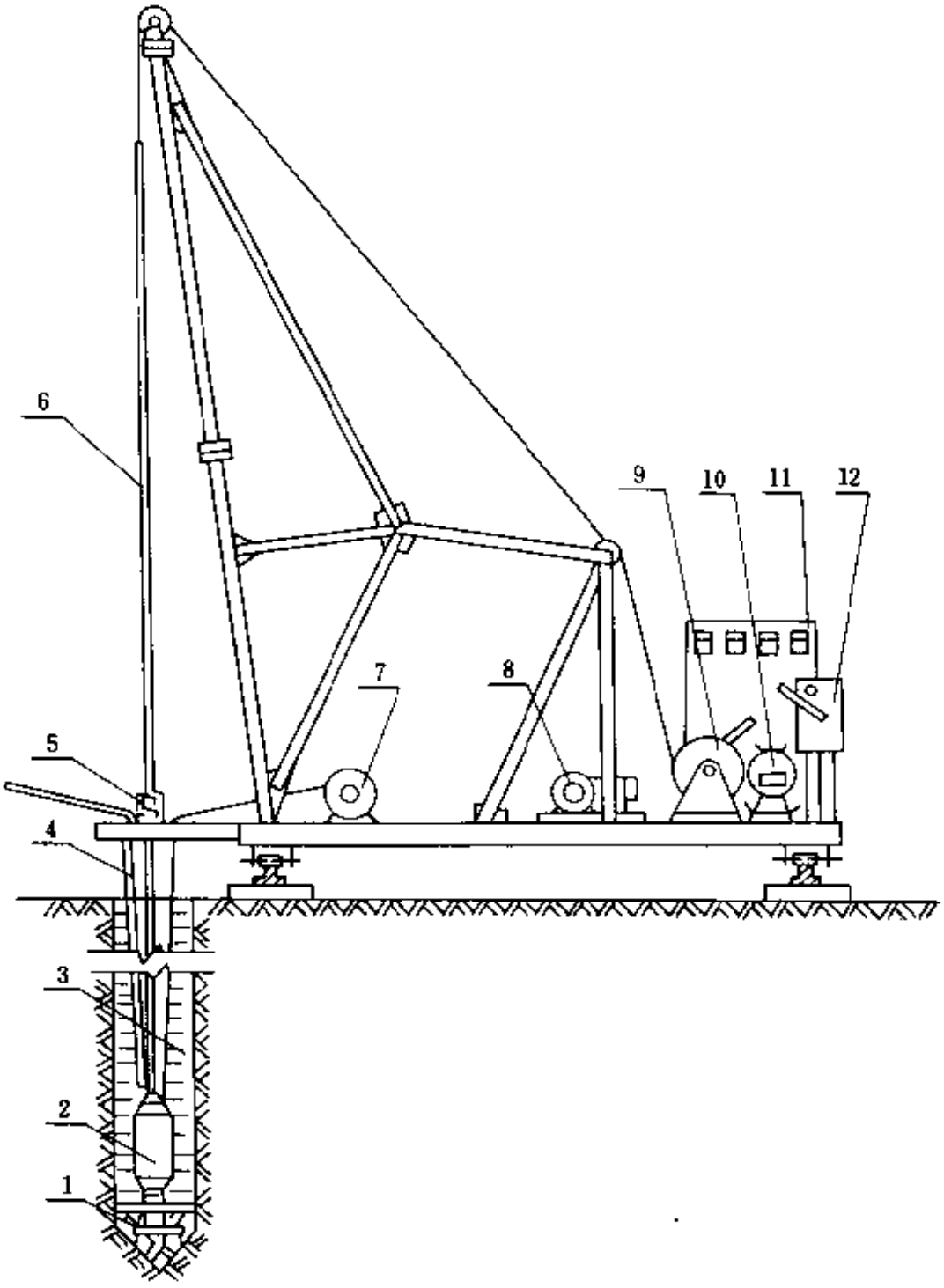


图 3-35　潜水钻机工作示意图

1- 钻锥(钻头);2—钻机;3—电缆;4—泥浆压入或排出管;5—滚轮;6—方钻杆;7-电缆滚筒;8—卷扬机;9—卷扬机;10—防爆开关;11—电流电压表;12—启动开关

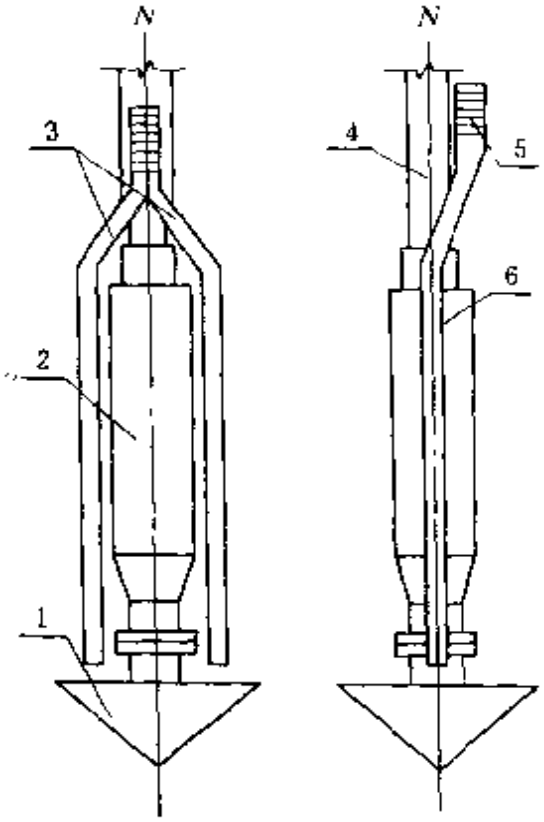


图 3-36　正循环分叉管示意图
1-钻头；2　电钻；3　分叉管；4　钻杆；
5-内径 ϕ75mm；6　内径 ϕ50mm

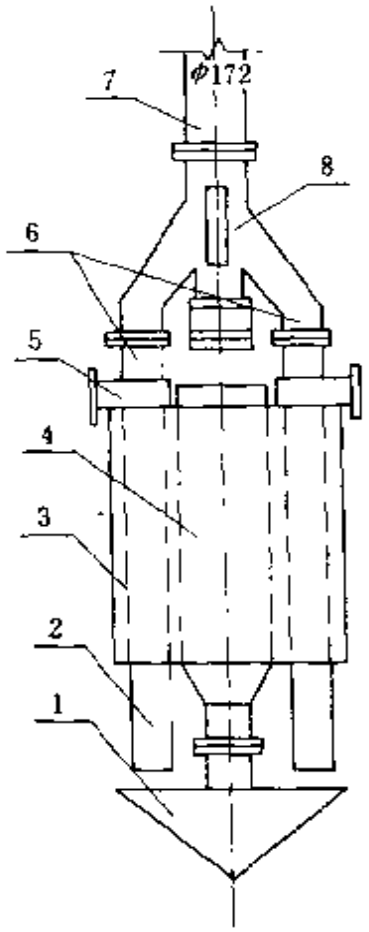


图 3-37　反循环分叉管示意图
1-钻头；2　内径 ϕ110mm；3　配重；
4-电钻；5　孔壁支撑；6　分叉管；
7　钻杆；8-高压风喷嘴

混凝土桩尖，便脱离桩管留于孔底；若用活瓣桩尖，活瓣在桩管上起拔时便张开随桩管同步上升。这种方法适于孔径 ϕ270～400mm、孔深小于 20m 的桩。

锤击沉管桩的锤击机械可用钻机的卷扬机，亦可用一般的卷扬机，也有专用的锤击机械（见图 3-40 所示），主要由桩锤、桩管、桩尖、桩架和卷扬机等组成。

桩锤分蒸汽锤、坠锤（落锤）和柴油锤三种。常用的锤击沉管成孔机性能见表 3-23。

桩管系无缝钢管，一般有三种规格，一种外径 460mm（配以外径

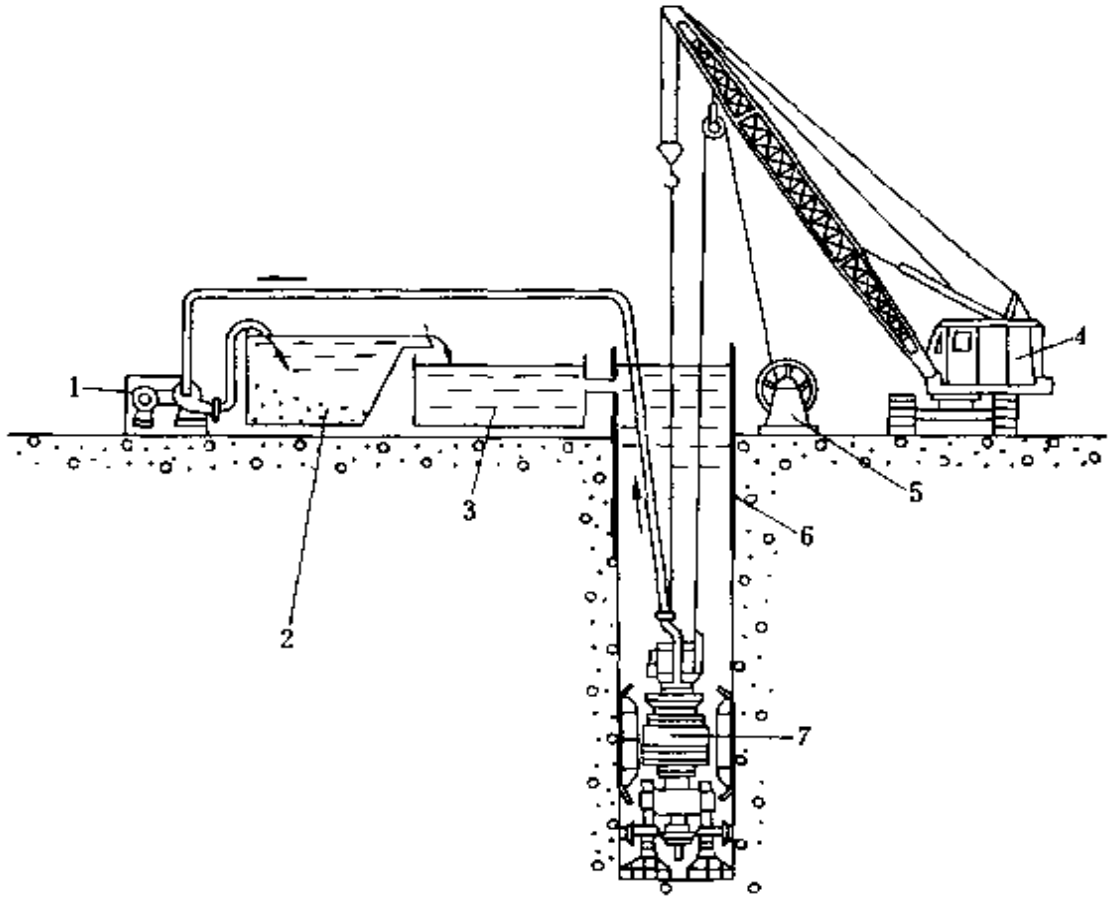


图 3-38　无钻杆反循环潜水钻机工作示意图
1－吸泥泵；2－沉淀池；3－储浆池；4－吊机；
5　绝缘电缆绞盘；6　护筒；7　潜水钻机

为 480mm 的桩尖），一种外径为 320mm（配以外径 340mm 的桩尖），第三种外径为 273mm；桩管长度 10～20m，有的达 24m 甚至 27m，视桩架的高度和需要而定。

振动（或振击）沉管桩所用机械有振动冲击锤（见图 3-41 所示），其振动沉管机示意图见图 3-42 所示。它包括有：桩架、振动（或振动冲击）桩锤、桩管和滑轮组。施工时，将桩管（4）下端活瓣桩尖（20）闭合起来，对准桩位，使桩尖慢慢地压入土中，开动激振器（振动锤）（2），同时放松滑轮组（1），使桩管逐渐下沉，并开动加压卷扬机，通过

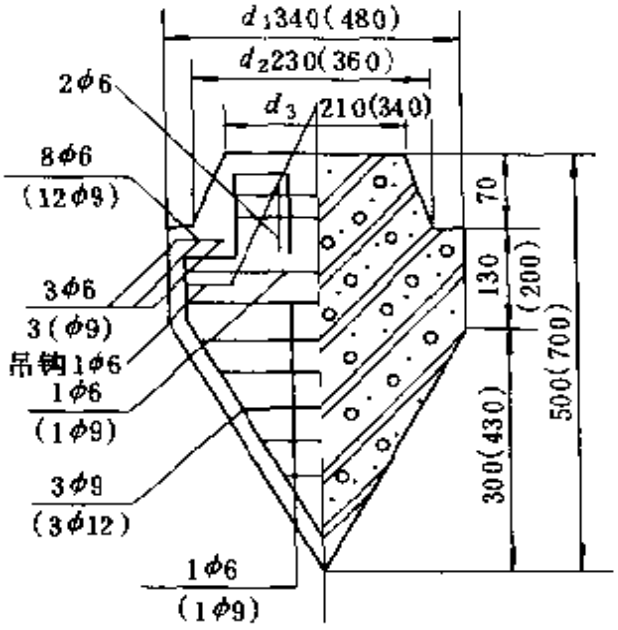


图 3-39　混凝土桩尖示意图

钢丝绳(11)对钢管加压。当桩管下沉达到要求后，便停止振动器锤的振动，利用吊斗(13)向桩管内灌入混凝土。混凝土灌满后，再次开动振动锤和卷扬机，一面振动，一面拔管。拔管过程中，一般都要向桩管内继续加灌混凝土，以满足灌注量的要求。

(三)沉管灌注桩施工工艺

1. 锤击沉管灌注桩施工工艺

(1)施工过程：

锤击沉管灌注桩的施工过程可综合为：安放桩尖→置桩管于桩尖上并校正垂直度→锤击桩管至要求的贯入度或标高→测量孔深并检查桩尖是否卡入桩管→放入钢筋笼→灌入混凝土→边锤边拔出桩管。

(2)施工工艺：

施工开始时，将桩管对准预先设置在桩位的预制钢筋混凝土桩尖上。桩尖与钢管接口处垫有稻草绳或麻绳垫圈，以防打入地下后，地下水渗入管内，影响混凝土质量。

校正桩管的垂直度(偏差≤0.5%)后，即可用桩锤打击桩管。当桩管打入至要求的贯入度或标高后，用吊铊检查管内有无泥浆或渗水及混凝土桩尖是否卡入桩管，接着即用吊斗将混凝土通过灌注漏斗灌入桩管内，待混凝土灌满桩管后，开始拔管。在拔管过程中应保持对桩管进行连续地低锤密击，使钢管不断得到冲击振动，从而振实混凝土。

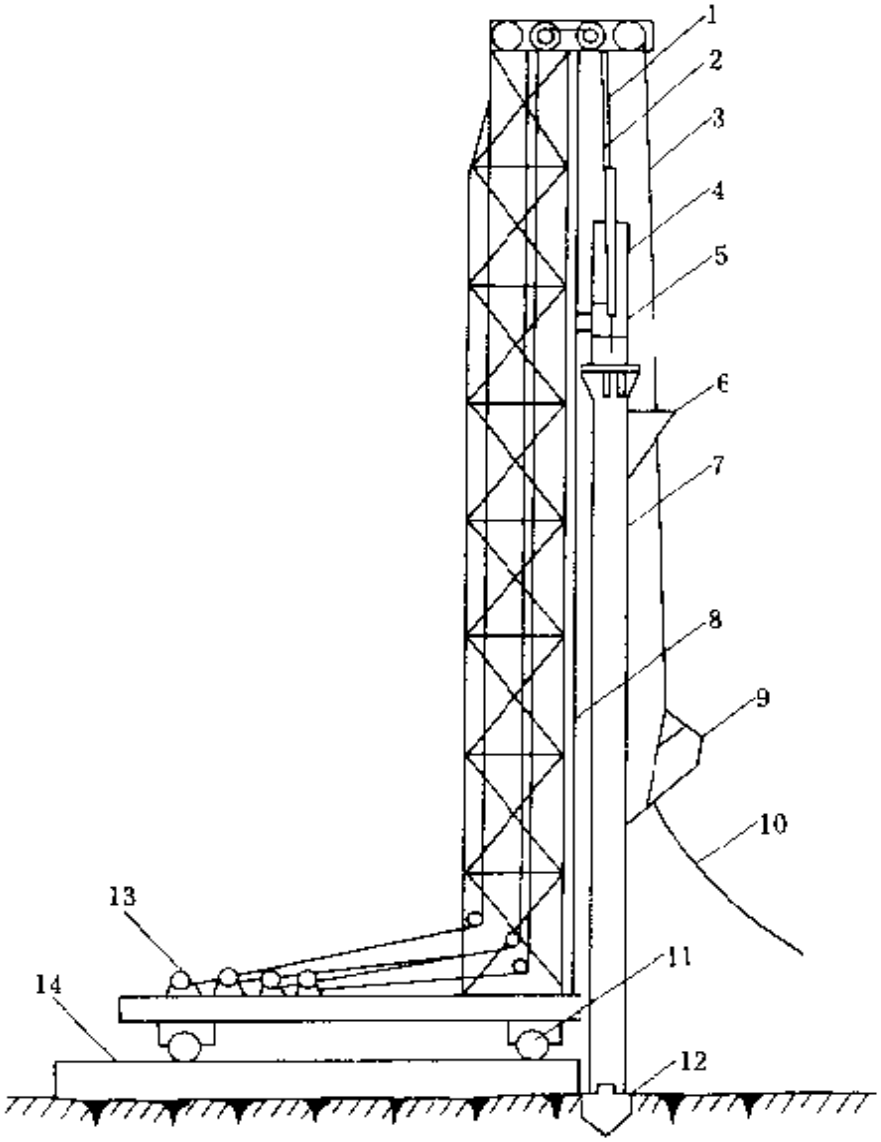


图 3-40　锤击沉管灌注桩机械设备示意图

1　桩锤钢丝绳；2　桩管滑轮组；3　吊斗钢丝绳；4　桩锤；5　桩帽；6　灌注漏斗；7　桩管；8　桩架；9　混凝土吊斗；10　回绳；11　行驶用钢管；12　预制桩尖；13　卷扬机；14　枕木

上面所述灌混凝土及拔管的工艺过程，属于单打灌注桩的施工。为了提高桩的质量和承载力，目前不少单位多采用一次复打扩大灌注桩（或称冲击振动扩大灌注桩）。一般混凝土灌注充盈系数（实际灌注混凝土体积与按设计桩身直径计算体积之比）小于 1 的应采用全

复打桩：对于断桩及有缩径的桩可采用局部复打桩，其复打深度必须

表 3-23　常用的锤击沉管成孔机性能

名称	功率	锤质量（t）	落锤高度（cm）	拔管倒打冲程（cm）	桩架高（m）	桩管直径（mm）	桩管长（m）
蒸汽打桩机	蒸发量 lt/h	1 2.5 3.5	40～60	20～30	20～34	320 460	23
电动落锤打桩机	卷扬机 23kW	0.75～1.5	100～200	20～30	15～17	320	10～12
柴油机自动落锤打桩机	40 马力	1.75	100～200	20～30	13～17	320	11～15
柴油锤打桩机	柴油耗量						
D_1-12		1.2				273	6～8
D_2-18	9L/h	1.8	250				
D_3-25	18.2L/h	2.5				320	10～15

超过断桩或缩径区 1m 以上。

一次复打扩大灌注桩的施工程序如下：当单打施工完毕，拔出桩管后，及时清除粘附在管壁和散落在地面上的泥土，在原桩位上第二次安放桩尖，以后的施工过程则与单打灌注桩完全一样。施工复打扩大灌注桩应该注意：桩管第二次打入时，应与第一次的轴线相重合；复打扩大灌注的工作，必须在第一次灌注的混凝土初凝以前全部完成，且第一次灌注的混凝土应达到自然地面，不得少灌。

锤击沉管灌注桩的施工质量与材料、土层以及施工工艺有直接的关系。就施工后的桩体直径而言，处于淤泥等软土中的桩体直径较大，处于砂层等硬土中的则较小，对于同一根桩，在不同的土层中有

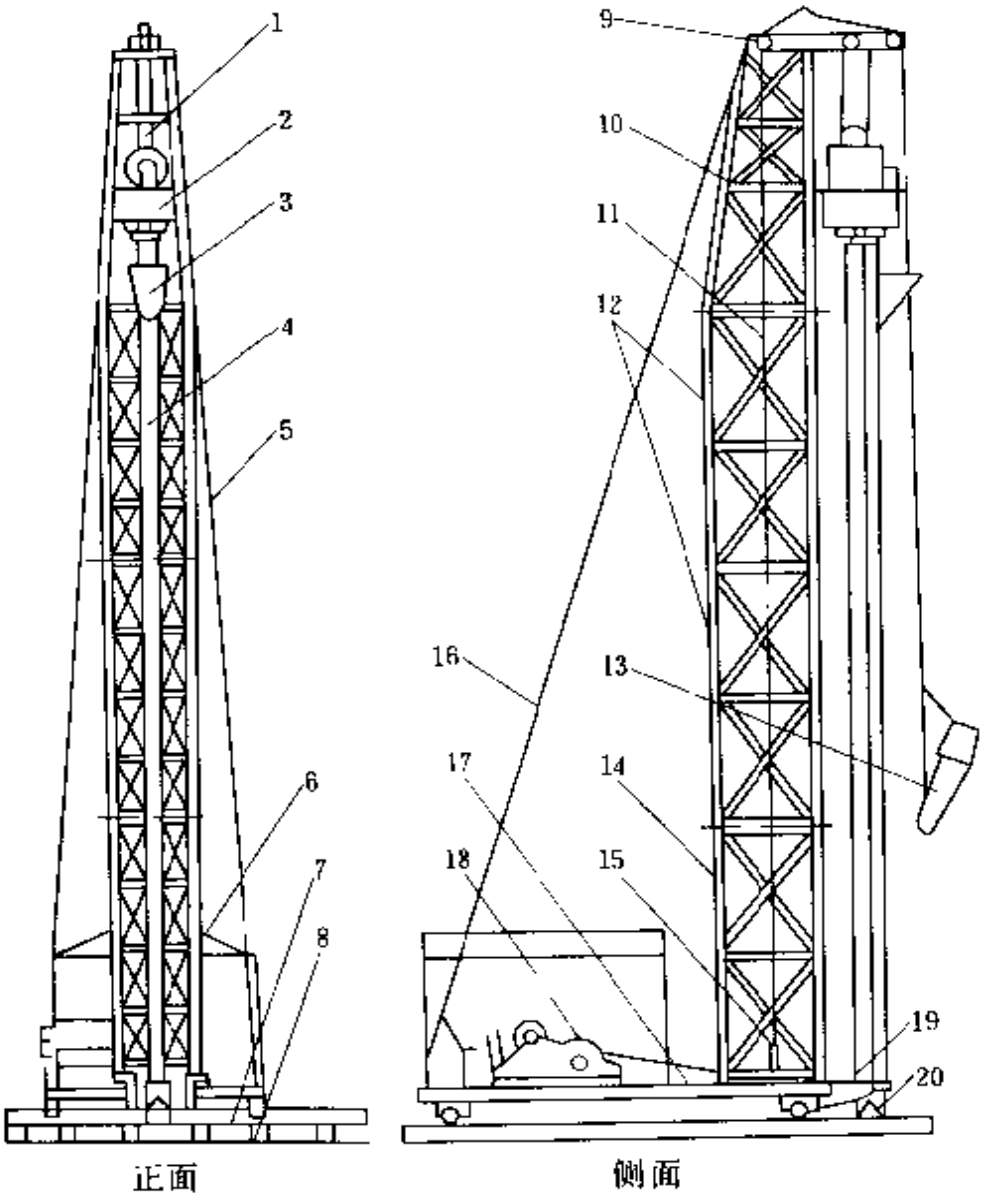


图 3-41　振动沉管机示意图

1　滑轮组；2　振动锤；3　漏斗口；4　桩管；5　前拉索；6　遮棚；7　滚筒；8　枕木；9　架顶；10　架身顶段；11　钢丝绳；12　架身中段；13　吊斗；14　架身下段；15　导向滑轮；16　后拉索；17　架底；18　卷扬机；19　加压滑轮；20　活瓣桩尖

不同的直径。由于边锤击边成型的特点，所以桩体质量，直接受到操作方法的影响。在拔管和灌注混凝土过程中应注意下列几点：

①每次向桩管内灌注混凝土时应尽量多灌，用长桩管打短桩时，混凝土可一次灌足；打长桩时，第一次灌入桩管内的混凝土应尽量灌

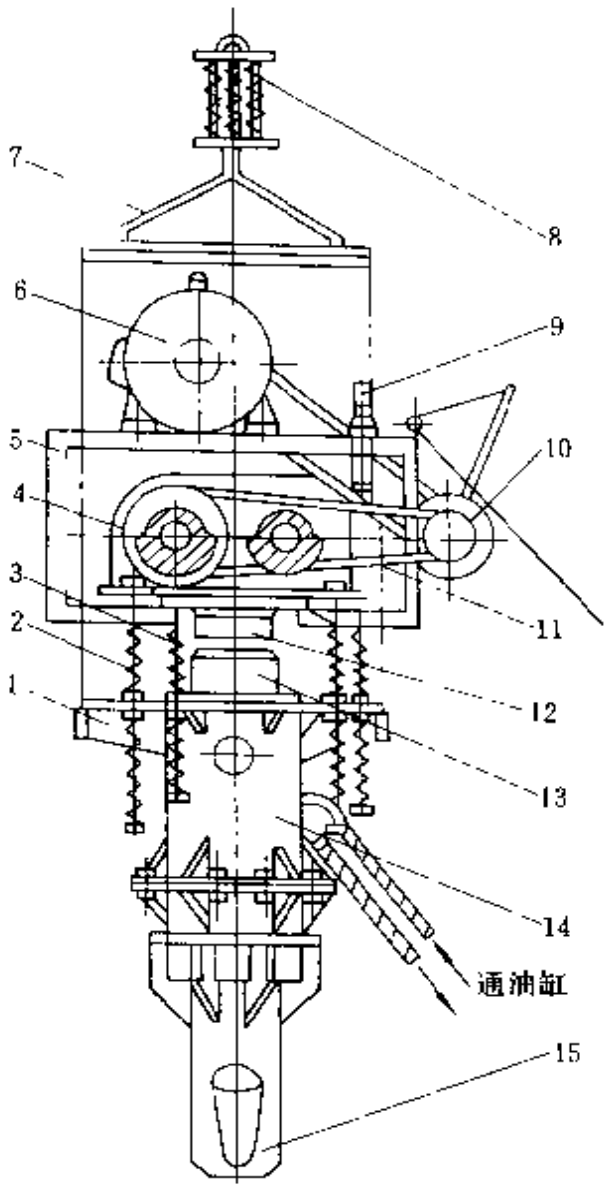


图 3-42 振动冲击锤构造示意图

1 底座；2 工作弹簧；3 减振弹簧；4 振动箱；5 支架；6 电动机；7 吊环；8 缓冲架；9 压轮；10 离合器；11 三角传动带；12 上锤砧；13 下锤砧；14 液压夹头；15 桩管

满，第一次拔管高度应控制在能容纳第二次所需要灌入的混凝土为限，不宜拔得过高，应保证桩管内保持不少于 2m 高度的混凝土。在拔管过程中应设专人用测锤或浮标检查管内混凝土面的下降情况。

②拔管速度应均匀，对一般土层，以不大于 1m/min 为宜；在软弱土层及软硬土层交界处应控制在 0.8m/min 以内。

③采用倒打拔管的打击次数，单动汽锤不得小于 $70min^{-1}$；自由落锤轻击（小落距锤击）不得小于 $50min^{-1}$；在管底未拔到桩顶设计标高之前，倒打或轻击不得中断。

为防止打桩管入土时由于土体的隆起和水平挤动影响邻桩的质量，当桩的中心距小于桩管外径的 3.5 倍时，桩管的施打，必须在邻桩混凝土初凝时间之内全部完成。否则，应实

行跳打，中间空出的桩需待邻桩混凝土达到设计强度等级的50%以后方可施工。

(3)锤击沉管灌注桩施工中常见问题的分析及其处理：

锤击沉管灌注桩在施工中，由于影响质量的因素较多，常会遇到各种问题，现将常遇到的问题列述如下：

①关于桩管入土达不到设计标高或贯入度要求。现场施工中，若桩管入土达不到设计要求标高，则可能遇到障碍物或地层情况与勘察报告不符；若桩管入土达不到设计贯入度，则可能是地层偏软弱。在这两种情况下，应与设计单位共同研究解决，不宜盲目锤击。

②关于断桩的问题。锤击沉管灌注桩往往会出现断桩的现象，有时，尽管采取了间隔跳打的方法，仍难避免断桩。断桩的裂痕呈水平或略有倾斜，一般都是贯通整个截面，其位置常见于地面以下1～3m的不同软硬土层交接处。

断桩的原因是由于桩身混凝土终凝不久，其强度承受不了外力的影响所致。例如，当桩距较小时，邻桩桩管施打时使土体隆起和挤压，因而产生水平力和拉力，拔管时又产生拉力，这些力的传递，在软硬不同的土层中，有着不同的大小，因此，对于桩身混凝土来说，便产生一定的剪应力和拉应力，如混凝土的强度不够，就会出现断桩的现象。避免断桩的措施如下：

布桩应坚持少桩疏排的原则，桩与桩之间以不小于3.5d为宜(d为桩径)。

桩身混凝土强度较低时，应尽量避免振动和外力的干扰，打桩顺序和桩架行走路线都应考虑这一点。

有些土质，用跳打法施工，可减轻对邻桩的影响。但对于很差的土，如饱和的淤泥，用跳打法仍不能解决断桩问题时，可采用控制时间的办法来避免断桩，即在邻桩混凝土终凝以前，必须把影响范围内的桩施工完毕。例如，一个基础范围内的桩，应在最先浇筑的一根桩的混凝土终凝以前全部施工完毕。

断桩的检查和处理：截桩头和挖承台土方时最容易检查出断桩。检查断桩的简易办法是用手锤敲击桩头侧面，敲时用脚踩在桩顶。若桩已断，会感到浮振（与未断的桩相比会有明显的感觉）。但用这方法，只能检查地面以下 2～3m 处断桩的情况。如对更深处有断桩怀疑时，目前一般采用开挖的办法及应力波传播法检查。断桩一经发现后，应将断的桩段拔去，将孔清理干净后，略增大面积或加上铁箍连接，再重新浇筑混凝土补做桩身。

③关于瓶颈桩的问题。瓶颈桩又称蜂腰桩，它的特点是在桩的某部分桩径缩小，截面积不符合设计要求。产生瓶颈桩，除了抽管过快，管内混凝土的存量过少，混凝土的和易性又较差的原因外，主要与土质有关。土的粘性越大，土质越软弱，含水量越高，发生瓶颈桩的可能性就越大。因为含水量大的粘性土，在沉入桩管时受到强烈扰动和挤压，产生很高的超孔隙水压力，这种水压力，当桩管拔去后便作用到新浇筑的混凝土桩身上。若某处的孔隙水压力大于混凝土自重产生的侧压力时，则桩身直径就会相应变小，从而引起不同程度的缩径现象。相反，在含水量低于 15％的粉土或砂土中，则很少出现瓶颈桩。

④关于桩尖进水进泥的问题。在含水量大的淤泥、粉砂土层中沉入桩管时，往往有水或砂从桩尖处进到管内，有时进入的砂和水高达数米。这是由于桩管与桩尖接合处的垫圈不紧密或桩尖被打坏所致。处理办法：将桩管拔出，清除管内泥砂，用砂回填桩孔后重新沉入桩管；如果只受地下水的影响，则当桩管沉至接近地下水位时，用水泥砂浆灌入管内约 0.5m，并再灌入混凝土约 1m 高做封底，然后继续沉桩。若桩管内进水不多（小于 200mm），可不做处理，只在灌第一槽混凝土时酌量减少用水量即可。

⑤关于吊脚桩问题。所谓吊脚桩，即桩底部的混凝土隔空，或混凝土中混进了泥砂而形成松软层。形成吊脚桩的原因：一是由于混凝土预制桩尖质量差，强度不足，边缘在沉管时被冲破，桩尖挤入桩管内，加以拔管时冲击振动不够，桩尖未被压出来，直到桩管拔至一定

高度才落下，落下时被硬土层卡住，未落到底而形成吊脚。另一原因是混凝土桩尖被打碎而进入桩管内，泥砂与水也挤入桩管，与灌入的桩身混凝土混合而形成松软层。

防止吊脚桩要严格检查混凝土桩尖的强度（应不小于C30），以免桩尖被击碎或击破边缘而压入桩管。沉入桩管时，用吊铊检查桩尖是否有缩入管内的现象，如果有，应及时拔出纠正或将桩孔回填后重新沉入桩管。

⑥关于混凝土超灌量的问题。淤泥地区，在孔隙比大而又处于饱和状态的淤泥或淤泥质软土中，由于土体受到沉管和灌注混凝土的扰动，结构被破坏而液化，强度急剧降低，经不起混凝土的冲击和侧压力，因而混凝土灌入时发生扩散，有时因扩散严重，混凝土的超灌量达一、二倍，甚至三、四倍。

淤泥质软土中施工单打锤击沉管灌注桩，混凝土灌入量比按桩管外径计算的体积增加20%～30%是正常的，增加40%～50%也是常有的。如果灌入量超过一倍以上，则应会同设计单位研究，改用钻孔灌注桩或预制桩。

2. 振动、振动冲击沉管灌注桩施工工艺

振动、振动冲击沉管灌注桩是利用振动桩锤、振动冲击桩锤将桩管沉入土中，然后灌注混凝土而成。这两种灌注桩与锤击沉管灌注桩相比，更适合于稍密及中密的碎石土地基上施工。振动沉管灌注桩和振动冲击沉管灌注桩的施工工艺可以说是完全相同的，所不同的仅仅是，前者用振动桩锤沉管，后者用振动冲击锤沉管。

(1)施工工艺：

①单振法：在桩管灌满混凝土之后，开动振动锤，先振动5～10秒后再开始拔管，应边振边拔。拔管速度在一般土层中以1.2～1.5m/min为宜，在较软弱土层中不得大于0.8～1.0m/min。在拔管过程中，每拔起0.5m左右，停拔5～10秒钟，但保持振动，如此反复直至将桩管拔离地面为止。单振法施工速度快，混凝土用量也较小，

适用于含水量较小的土层。

②复振法：采用单振法施工完成后，再把活瓣桩尖闭合起来，在原桩孔混凝土上第二次沉下桩管，将未凝固的混凝土向四周挤压，然后进行第二次灌注混凝土和振动拔管。此法能使桩径增大，可在单振法不能满足承载力要求的情况下采用。此外，如果灌注桩需放入钢筋笼，也需要采用此法，即当单振法完成而将桩管拔离地面一定高度后，从活瓣桩尖处将钢筋笼放进桩管内，然后合闭桩尖的活瓣，再进行第二次沉管和混凝土的灌注。

③反插法：拔管时，桩管每拔出 0.5～1m，便向下反插约 0.3～0.5m，如此反复进行，并始终保持振动，直至桩管全部拔出地面。在拔管过程中应分段添加混凝土，保持管内混凝土面始终不低于地表面，或高于地下水位 1～1.5m 以上，并应控制拔管速度不得大于 0.5m/min，在桩尖处约 1.5m 范围内宜多次反插，以扩大桩的端部断面。反插法能使桩的截面积增大，从而提高桩的承载力，宜在饱和土层采用，但此法耗用混凝土量较大。

在振动沉管过程中，有时会遇到沉管异常缓慢，连续振动仍难以进尺的情况。实践证明，在这种情况下，应立即停止振动，几分钟（如 2～5 分钟）后再启动振动器，情况往往改善。其原因是振动时桩尖或桩头下面砂层被挤实，砂层中的水被挤出，如连续振动，砂土不断被挤压密实，就给桩尖沉入造成很大的阻力；如适时停止振动，则地层中的压力水将被渗入被挤实的密砂中，降低其强度，且在振动作用下易于液化，这就为连续沉管创造了有利条件。

在地下水位较高的情况下，振动沉管工作时间稍长，桩管内将进入大量的地下水。这时如立即灌注混凝土，将会降低混凝土质量。为此，除注意提高活瓣的密封性（如用塑料布包扎）外，还可采用空中投料和二次振动沉管（即复打法）施工工艺。即一次振动沉管到达预定标高后，拔出沉桩管，放出管内积水，包扎好活瓣，利用装满料的空中投料斗和桩架上的滑轮机构，向管内输入混凝土料（保证管内至少有

1.5m 高度的混凝土)。然后下入孔内,迅速进行第二次沉管,其工艺过程分列如下:

第一次振动沉管→拔管、排水、扎好活瓣→空中投料→第二次振动沉管→放入钢筋笼→灌注混凝土→拔管成桩。

放入钢筋笼有四种方法:一是在混凝土漏斗上方桩管上留有长槽,钢筋笼从长槽中插入;二是卸下振动器,从桩管上口插入钢筋笼;三是振动器的两根偏心轴分别由两台电动机带动,振动器中间带有大通孔,从振动器上方的大通孔中插入;四是拔管排水后,从管底部放入。

(2)振动灌注桩的施工要求:

振动灌注桩的混凝土强度等级不宜低于 C15,桩身配筋时坍落度宜为 8～10cm,素混凝土宜为 6～8cm,骨料粒径宜为不大于 30mm,混凝土的和易性要好。如采用单振动法施工,在一般情况下,灌注的混凝土数量,应使桩体的平均截面积与桩管底部截面积之比不小于 1.1。

振动灌注桩的中心距,一般不宜小于 3.5 倍桩管外径,否则,应采取间隔跳打的方法进行施工,或者在邻桩混凝土初凝时间内,将灌注桩施工完毕,以保证桩的质量。

为了保证桩的承载力的要求,必须认真控制桩管的最后两个两分钟的贯入速度,其值应按设计要求或根据试桩和当地长期的施工经验确定。

三、夯扩灌注桩

(一)工作原理

夯扩灌注桩是在锤击沉管桩的机械设备与施工方法的基础上加以改进,增加一根内夯管,按照一定的施工工艺,采用夯扩的方式将桩端现浇混凝土扩大成大头形的一种桩型,通过增大桩端截面积和挤密地基土,使桩的承载力有较大幅度的提高;同时桩身混凝土在柴

油锤和内夯管的压力作用下成型，使桩身质量得以保证。大量工程实践证明：夯扩桩施工具有施工技术可靠、工艺科学、无泥浆污染和工程造价低等优点。夯扩桩最早于80年代初由浙江省有关单位研究成功，后在浙江、江苏、山东、湖北等省得到广泛应用，前景广阔。

（二）夯扩桩施工设备

夯扩桩施工设备是由沉管灌注桩施工设备改装而成，如图3-43所示，主要由机架、桩锤、内、外夯管、行走机构等部分组成。

机架有井式、门式和桅杆式等，桩锤一般采用柴油锤，柴油锤又有导杆式和筒式之分。导杆式柴油锤主要技术参数见表3-24，行走机构一般为走管式，少数为走轨式和履带式。

表3-24　导杆式柴油锤主要技术参数

型号	DD18	DD25	DD40
锤击部分质量(缸锤)(kg)	1800	2500	4000
锤击部分最大跳高(mm)	210	2500/3000	2500/3000
锤击频率(l/min)	45～50	42～50	42～50
锤击能量(kJ)	19.6	29.4	47
气缸孔径(mm)	290	370	450
活塞行径(mm)	540	499	585
压缩比	1∶15	1∶22	1∶22
最大耗油量(L/h)	6.9	9.89	12
导向距(mm)		360	330
桩锤总质量(kg)	-	4200	7000
桩锤高度(mm)		4888	5025

夯扩桩机具与沉管灌注桩机具的最大区别是在外桩管的基础上增加了一根内夯管。内夯管在夯扩桩施工中起主导作用：①作为夯锤的一部分在柴油锤的锤击作用下将内外管同步沉入地基土中；②在

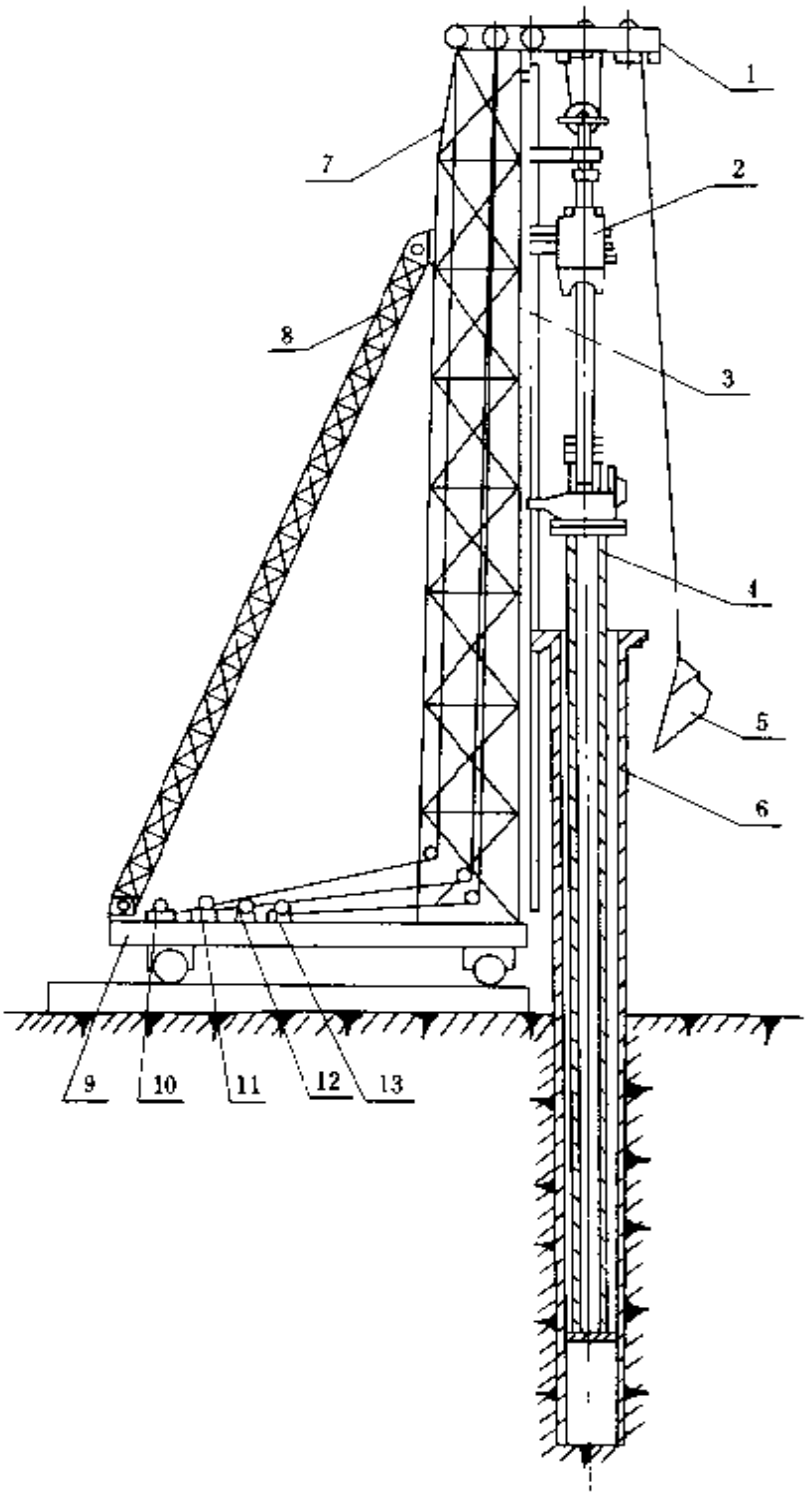


图 3-43　夯扩桩机

1　顶部滑轮组；2　机锤；3　导向架；4　内管；5　料斗；6　外管；7　立柱；8　斜撑；9　底架；10　拔桩卷扬；11　前后移架卷扬；12　滑轮组卷扬；13　吊锤吊杆卷扬

夯扩工序时将外管内砼夯出管外并在桩端形成扩大头；③在施工桩身时利用内夯管和柴油锤的自身重力将桩身砼压实。为满足采用干砼封底止淤的要求，内夯管长度比外桩管短100～200mm，这个长度范围可根据不同土层条件适当调整，对土层性质较好、地下水较低的可取小值，反之则应取大值。

（三）施工工艺

1. 施工准备

施工前要具备建筑场地工程地质资料、桩基施工图、建筑物场内和邻近的设施、桩基础施工技术方案和施工组织设计、试成桩资料及桩静载荷试验资料等。

施工前还应准备下列作业条件：

（1）现场内妨碍施工的障碍物和地下埋设物（如地下管线、旧基础等）已排除，有隔震要求的邻近建筑物已采取保护措施。

（2）施工用水、用电、道路及临时设施已畅通和就绪。

（3）施工前场地已平整，对影响施工机械进场与操作的松软场地已进行适当处理，并有排水措施。

（4）施工前应按设计要求进行建筑物定位和桩位测放，对建筑物定位应根据规划部门的红线图，由建设单位、规划部门等现场确定测量基准点，桩位测放由施工单位进行，但需得到建设单位或其它有关部门的签证认可，基准点应埋设在不受桩基施工及外界扰动影响之处。

（5）施工前必须进行试成桩，数量为1～3个，以便核对地质资料，检验设备及技术要求是否适宜。试成桩位置选择在紧靠地质钻孔和有代表性的部位。试成桩时应详细纪录有关的夯扩参数及沉管贯入度等参数，以作为施工控制的依据。

2. 一般规定

（1）夯扩桩可采用静压或锤击沉管进行夯压、扩底、扩径。内夯管比外管短100mm，内夯管底端可采用闭口平底或闭口锥底（见图3-

44 所示)。

(2)沉管过程,外管封底可采用干硬性混凝土、无水混凝土,经夯击形成阻水、阻泥管塞,其高度一般为 100mm。当不出现由内、外管间隙涌水、涌泥时,也可不采用上述封底措施。

(3)桩端夯扩头平均直径可按下列公式估算:

一次夯扩 $$D_1=d_0\sqrt{\frac{H_1+h_1-C_1}{h_1}} \tag{3-11}$$

二次夯扩 $$D_2=d_0\sqrt{\frac{H_1+H_2+h_2-C_1-C_2}{h_2}} \tag{3-12}$$

式中:D_1、D_2——第一次、二次夯扩扩头平均直径;d_0——外管内径;H_1、H_2——第一次、二次夯扩工序中外管中灌注混凝土高度(从桩底算起);h_1、h_2——第一次、二次夯扩工序中外管上拔高度(从桩底算起),可取 $H_1/2$、$H_2/2$;C_1、C_2——第一次、二次夯扩工序中内外管同步下沉至离桩底的距离,可取 C_1、C_2值为 0.2m(见图 3-45 所示)。

(4)桩的长度较大或需配置钢筋笼时,桩身混凝土宜分段灌注;拔管时内夯管和桩锤应施压于外管中的混凝土顶面,边压边拔。

3. 施工工艺

夯扩桩施工工艺流程如图 3-46 所示。夯扩桩的沉管与止淤方法在初期是采用混凝土预制桩尖,后经改进采用干混凝土的止

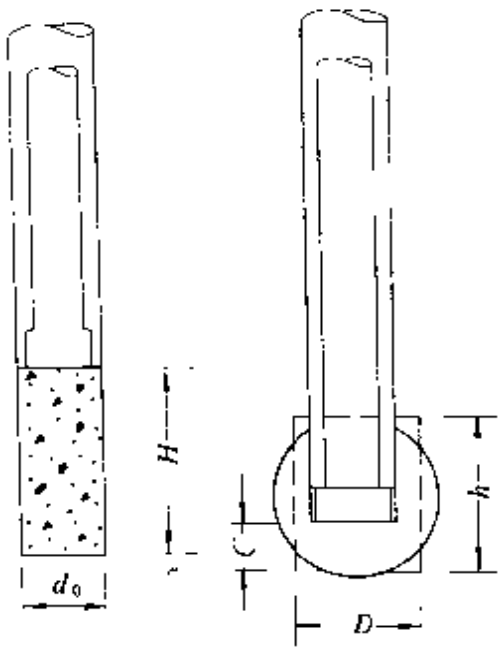


图 3-44 内外管及管塞

(a)平底内夯管;(b)锥底内夯管

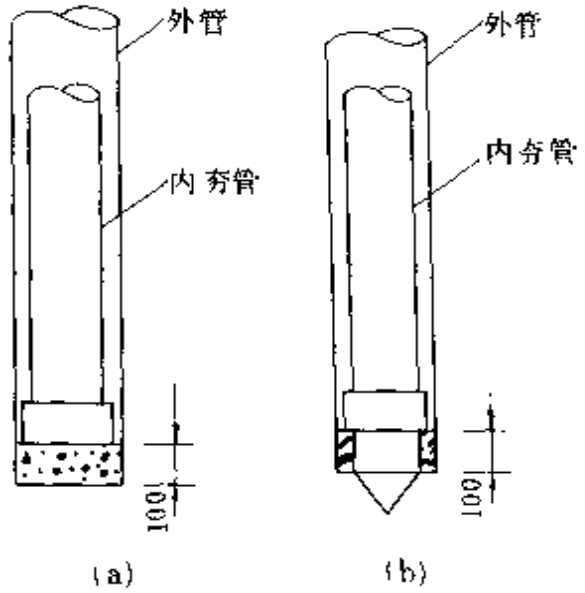


图 3-45　扩底端

淤方法。其作法是在沉管前干桩位处预先放上高 100～200mm 的与桩身混凝土同标号的干混凝土，然后，将双管扣在干混凝土上开始沉管。该干混凝土在沉管过程中不断吸收地基中的水分，形成一层致密的混凝土隔水层，其止淤效果很好，且不影响夯管内混凝土的夯出。但对某些特殊地基条件（例如地表存在有成分复杂的杂填土），当沉管与封底有困难时，也可采用钢筋混凝土预制桩尖的成桩方式。

夯扩桩的桩端入土深度应以设计桩长的桩底标高和锤击贯入度进行双项控制，一般情况均应以贯入度控制为主，以设计标高控制为辅。贯入度的控制指标则是以沉管进入桩端持力层时最后 10 击贯入度为准，具体数据可按试桩施工时的参数确定。

夯扩桩施工的允许偏差见表 3-25。

夯扩桩混凝土的配合比应按设计要求的强度等级混凝土的基本要求确定（前述）。混凝土的坍落度，对扩大头部分以 4～6cm 为宜，桩身部分以 10～14cm 为宜。

夯扩桩拔管时应将内夯管连同桩锤压在超灌的混凝土面上（超灌高度为 2～4m），随外管缓慢均匀地上拔，内夯管徐徐下压，直至同步终止于施工要求的桩顶标高处，然后将内外管提出地面。拔管的速度应控制在 2～3m/min，在淤泥或淤泥质土地层中应控制在 1～2m/min。

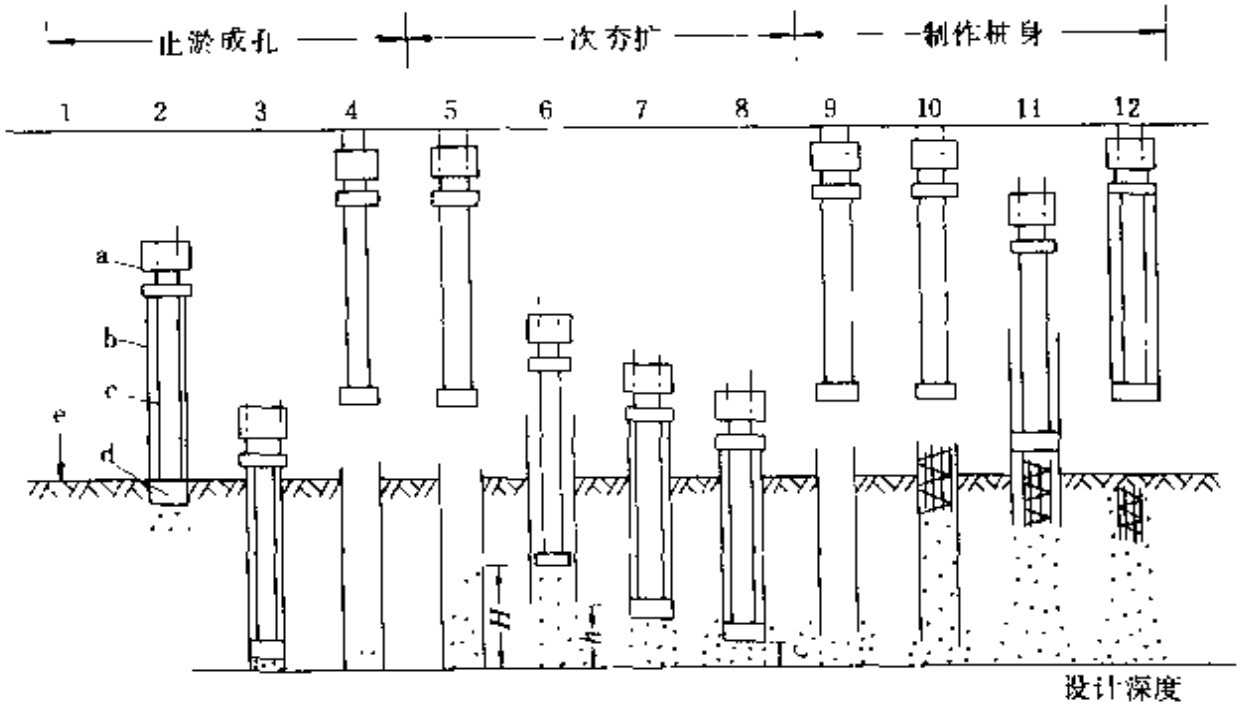


图 3-46　夯扩桩施工工艺示意图

a--柴油锤；b -外管；c -内管；d- 内管底板；e--200#干硬混凝土

说明：1. 在桩位处按要求放置干混凝土；

2. 将内外管套叠对准桩位；

3. 通过柴油锤将双管打入地基土中至设计深度；

4. 拔出内夯管；

5. 向外管内灌入高度为 H 的混凝土；

6. 内管放入外管内压在混凝土面上，并将外管拔起一定高度 h；

7. 通过柴油锤与内夯管夯打外管内混凝土；

8. 继续夯打管下混凝土直至外管底端深度略小于设计桩底深度处(其差值为 c)，此过程为一次夯扩；如需第二次夯扩，则重复 4～8 步骤；

9. 拔出内夯管；

10. 在外管内灌入桩身所需的混凝土，并在上部放入钢筋笼；

11. 将内管压在外管内混凝土面上，边压边缓缓起拔外管；

12. 将双管同步拔出地表，则成桩过程完毕。

表 3-25　夯扩桩施工允许偏差

项目	桩位允许偏差	桩径允许偏差(mm)	垂直度
桩数为 1～2 根或单排桩基中的桩	70mm	+50～−20	1%
桩数为 3～20 根的桩基中的桩	1/2 桩径		
桩数大于 20 根的桩基中的桩			
最外边的桩	1/2 桩径		
中间的桩	一个桩径		

注：①桩径允许偏差的负值是指个别断面；

②此表摘自 WBJ1-10　93。

施工时应按下面的顺序施打：

(1)可采用横移退打的方式自中间向两端对称进行或自一侧向单一方向进行；

(2)根据基础设计标高，按先深后浅的顺序进行；

(3)根据桩的规模，按先大后小，先长后短的顺序进行；

(4)当持力层埋深起伏较大时，宜按深度分区进行施工。

4. 施工中常见问题及处理

在施工过程中参考表 3-26 及时处理好施工中出现的有关问题。

四、冲抓成孔技术

(一)工作原理

冲抓成孔是在稳定液护壁的条件下，利用特制的冲抓锤或冲抓斗的重量冲击破碎孔底岩土，并由冲抓锤瓣直接抓取岩土并提出孔外，卸土。重复上述过程，使钻孔不断延伸到设计深度。孔中的稳定液(泥浆)只起护壁作用，土层较好的钻孔可用水头护壁，完全不用泥浆。从日本引进的 TH 型和 MT 型钻机则是利用压入钢护筒到桩底护壁，用冲抓锥钻进。

表 3-26　施工中常见问题及处理

常见问题	发生原因	处理方法
1. 管内进水止淤失效	1. 止淤干混凝土量不足 2. 内管底板直径偏小与外管内径的间隙过大	1. 添足止淤干混凝土量 2. 加大内管底板直径
2. 地面隆起	1. 桩间距过小 2. 桩长过短 3. 地基中孔隙水压力不易消散	1. 调整桩间距，减少桩数 2. 调整设计桩长 3. 采取塑料板或砂井等排水方法以降低孔隙水压力
3. 钢筋笼下沉和笼顶低于设计标高	1. 钢筋笼预留长度不够 2. 混凝土超灌量不够 3. 桩身混凝土坍落度过大	1. 积累施工经验，认真做好试成桩工作 2. 以较准确地掌握混凝土超灌量和钢筋笼高度 3. 掌握好混凝土坍落度
4. 钢筋笼上浮	1. 混凝土中粗骨料粒径过大 2. 钢筋笼箍筋间距过密 3. 钢筋笼制作质量不好	1. 控制好粗骨料粒径不大于 40mm 2. 对钢筋笼调整箍筋间距，控制好制作质量
5. 桩身缩颈	1. 拔管过快、或内夯管未压在混凝土上 2. 桩间距过小 3. 混凝土坍落度不好	1. 控制好拔管速度、内夯管匀速下压 2. 调整桩间距或跳打 3. 控制好混凝土坍落度
6. 断桩	1. 桩间距过小 2. 混凝土初凝后、在桩附近堆放重物或车辆行走 3. 混凝土坍落度过小，形成脱空	1. 跳打：在跳打时须等相邻桩达到设计强度的 70%以上再进行 2. 注意现场保护 3. 增大混凝土坍落度
7. 夯扩困难	1. 进入持力层过深 2. 投料高度 H 过大，拔管高度 h 过小	1. 调整进入持力层的深度 2. 减少投料高度或增大拔管高度或增加夯扩次数

其特点为：

①设备和机具简单；

②工艺简单，易于掌握；

③对地层的适用性强，效率高。

它的理想的适用条件是：

①在腐植土、淤泥、坚密性粘土、砂土、流砂、松散及软硬相差较大的岩层均可使用。

②施工孔径一般为ϕ700～1200mm，最大可达ϕ1600mm。

③施工孔深一般在20m以内，最深可达40m。

(二)设备与机具

1.钻机与钻架

钻架的型式和规格根据施工具体要求而定。一般在国内是冲抓工具与相应的卷扬和钻架配合，如A-6型冲抓成孔机，外形如图3-47所示。

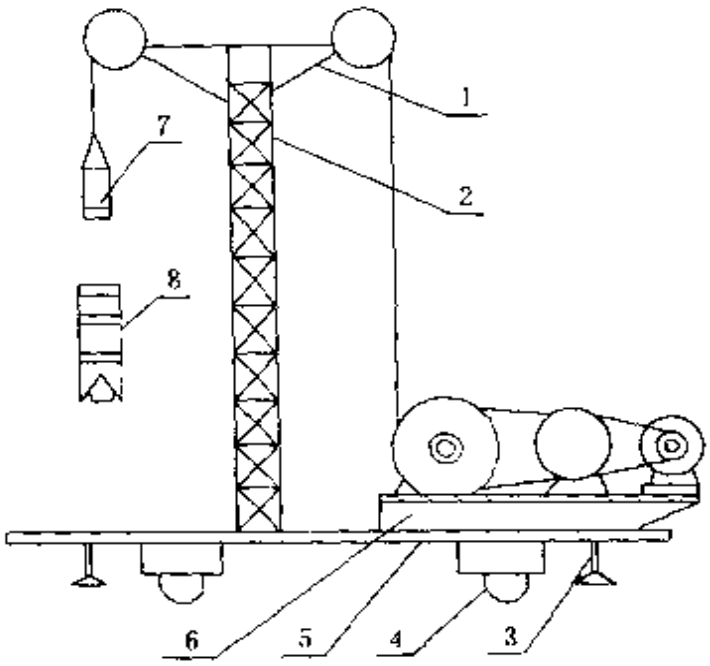


图3-47　A-6型冲抓钻机结构示意图

1—顶架横梁；2—立柱；3—支腿；4—走管；5—托盘；6—卷扬机；7—冲抓锥；8—脱钩架

2. 卷扬机

冲抓施工所用的卷扬机一般都采用双筒卷扬。卷扬的提升能力控制在锤重的 1.5～2.0 倍范围内。

3. 抓斗

(1)双绳冲抓锤(斗)：

图 3-48 所示为双绳冲抓锤，由卷扬机卷筒伸出的两根主钢丝绳

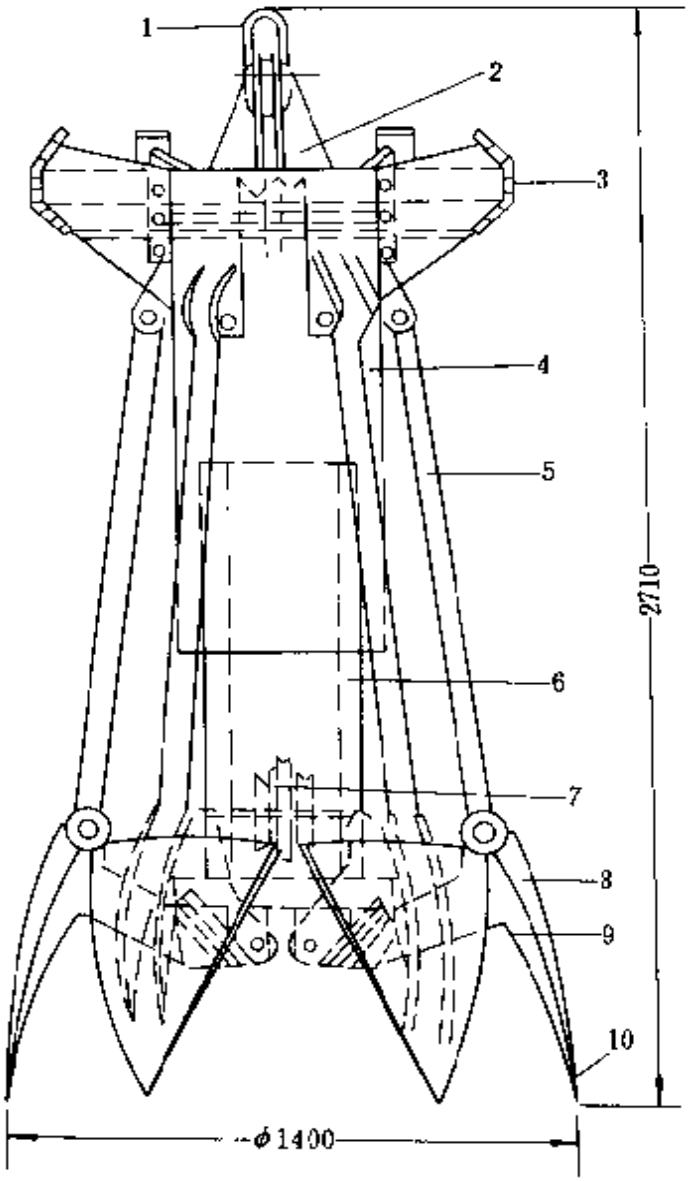


图 3-48 双绳冲抓锥

1—挂环；2—外套滑轮；3—导向圈；4—外套；5—连杆；6—内套；7—内套滑轮；8—叶瓣；9—瓣背；10—瓣尖

通过钻架上的滑轮后(见布置图 3-49),一根与双绳冲锤的锤顶吊环

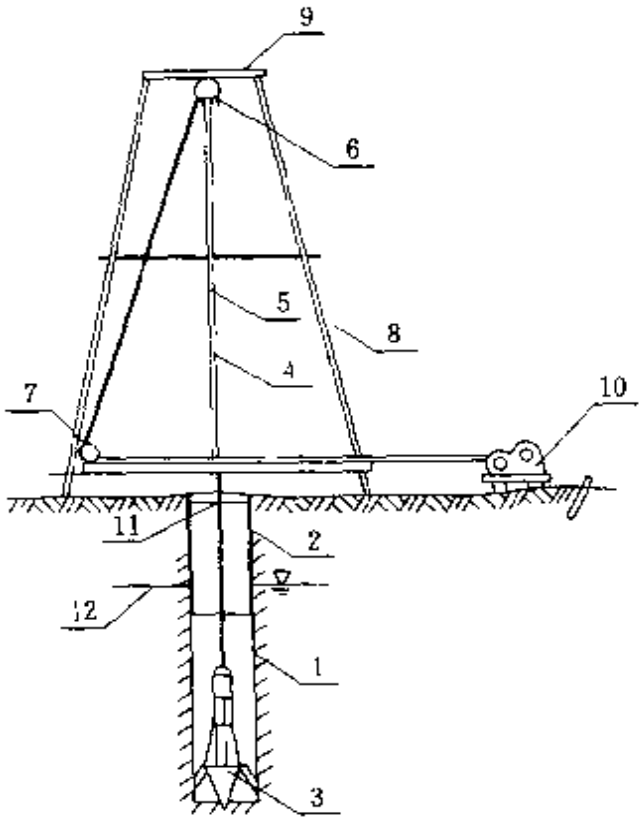


图 3-49　双绳冲抓锥施工布置

1　钻孔;2　护筒;3　冲抓锥;4　开合钢丝绳;5　吊起钢丝绳;6　天滑轮;
7　转向滑轮;8　钻架;9　横梁;10　双筒卷扬机;11　水头高度;12　地下水位

连接(称为外套或吊起钢丝绳);另一根穿入锥体内,绕过开合机构的滑轮组(外套滑轮和内套滑轮)后连接到外套上端(称为内套绳或开合钢丝绳)。当外套绳提住锥时,内套绳不受力,锥的内套因重力作用向下坠,锥瓣张开。当收紧内套绳时,通过开合机构的上下滑轮组收缩内套,锥瓣就合拢。两条主绳是互相交替操作的,这种形式的冲抓锤一般配带离合器的双筒卷扬机一台。若用单筒卷扬机,则需用两台同时操作,一台接内套绳,另一台接外套绳。

(2)单绳冲抓锤(斗):

单绳冲抓锤仅有一条内套绳，用一台带离合器的单筒卷扬机操作。抓土和抓锤出孔与双绳冲抓锤相同，但是卸土和落锤冲击则采用下述两种方式进行。

①人工挂钩：用一条短钢丝绳一端绑一个钩轻柄重的活动钩，另一端编结在锥顶面的一段内套绳中。由钻架的横梁吊下来一个固定钩，并在钻塔中部搭一工作台，由专人在工作台上负责挂固定钩和活动钩。当用固定钩吊住锤时，内套绳不受力，锥瓣便张开卸土；当用活动钩提住锥的吊环时，内套绳虽已受力，但锥内开合机构滑轮组的钢丝绳仍然松着，开合机构暂时不起作用，故落锤冲击时锥瓣仍然张开。当落锤至孔底后，内套绳松着，活动钩因钩轻柄重便自动脱出吊环，这样就可以收紧内套绳通过开合机构合拢锥瓣抓土和提锥出孔，如图 3-50 所示。

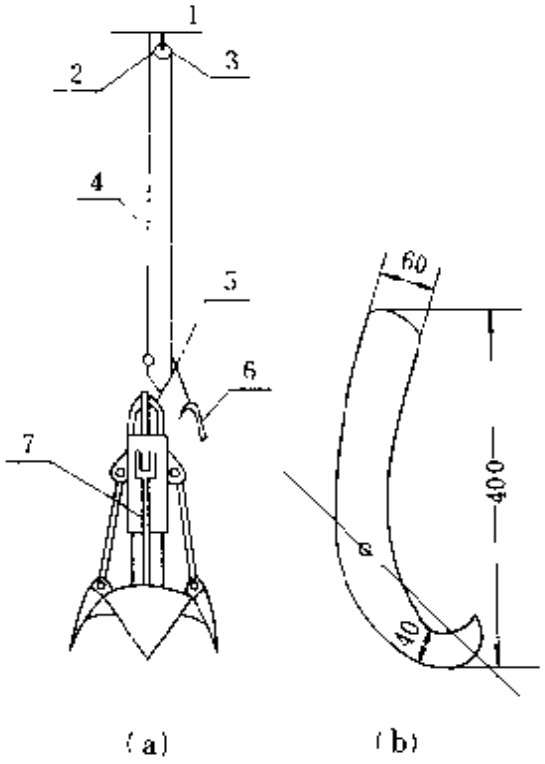


图 3-50　人工挂钩冲抓锥

(a)固定钩吊住冲抓锥情形；(b)活动钩大样

1—钻架顶横梁；2—内套绳；3—滑轮；4—短钢丝绳上系钻架下带固定钩；5—短钢丝绳插入起吊钢丝绳；6—活动钩；7—冲抓锥

②自动挂钩：自动挂钩装置如图 3-51 所示(浙江天台机械厂生产)。在冲抓锤锤顶用螺栓连接如图 3-52 所示的开闭装置，在钻塔(架)天滑轮下方设置如图 3-53 所示的挂钩器，在锥顶外的内套绳之间连接如图 3-54 所示的绳帽套。

其工作原理介绍如下：

挂钩：当冲抓锤以图 3-52(a)的状态冲入孔底后，进一

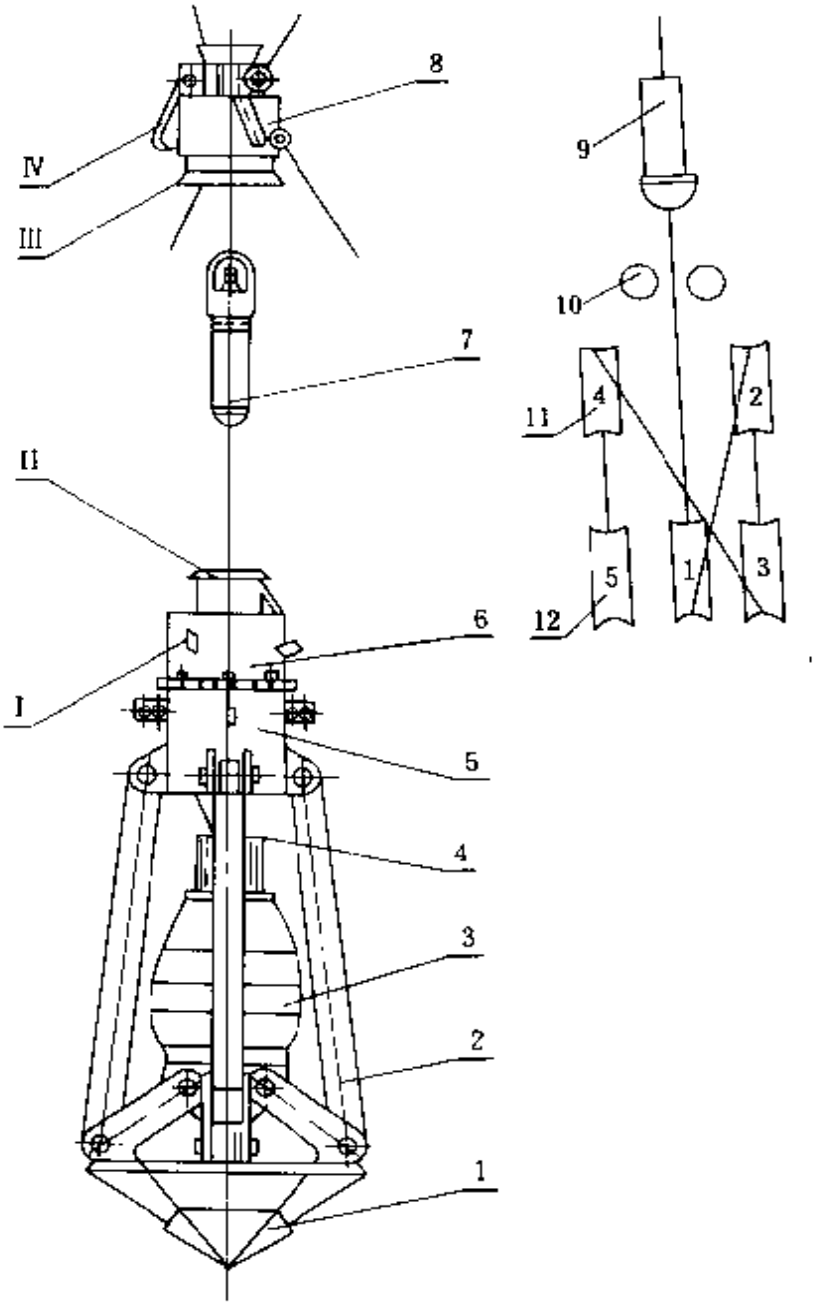
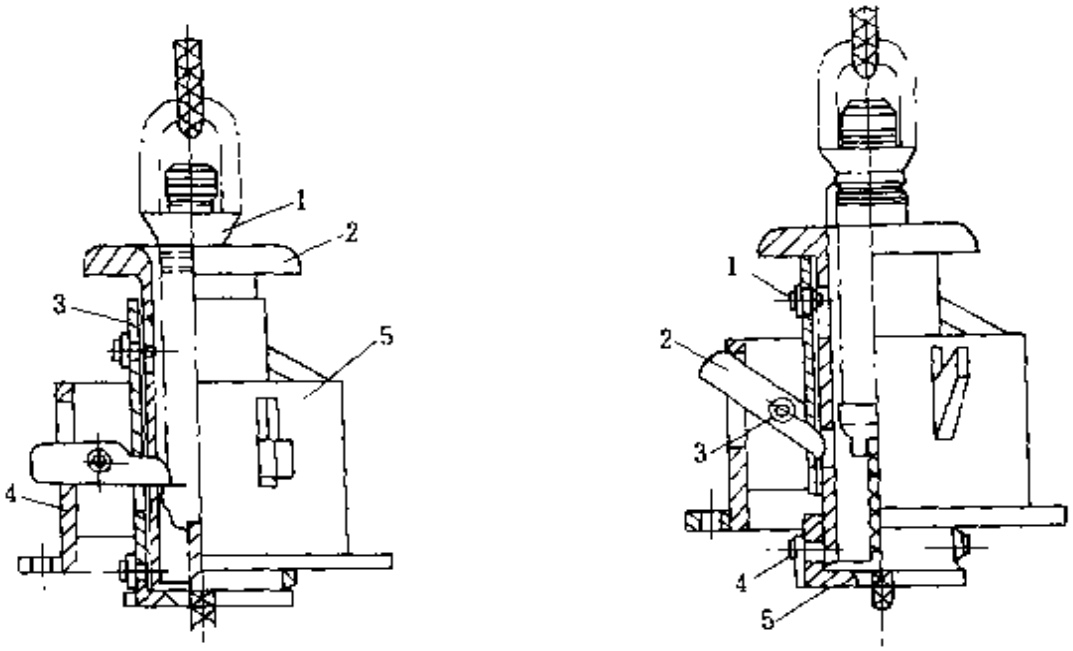


图 3-51　自动挂钩冲抓锥系统图

1—叶片；2—连杆；3—配重体；4—下滑轮架；5—上滑轮架；6—开闭装置；7—绳帽套；8—挂钩器；9—绳接头；10—小导向轮；11—上滑轮组；12—下滑轮组；Ⅰ—支撑块；Ⅱ—套筒法兰；Ⅲ—导向套；Ⅳ—挂钩



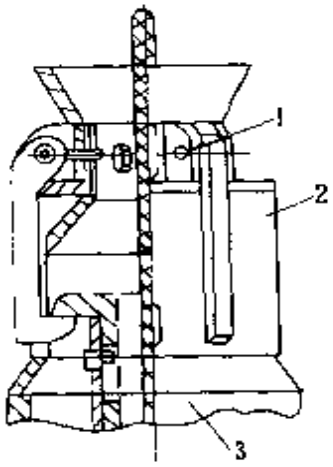
(a) 叶片开启时　　(b) 叶片合拢时

图 3-52　开闭装置

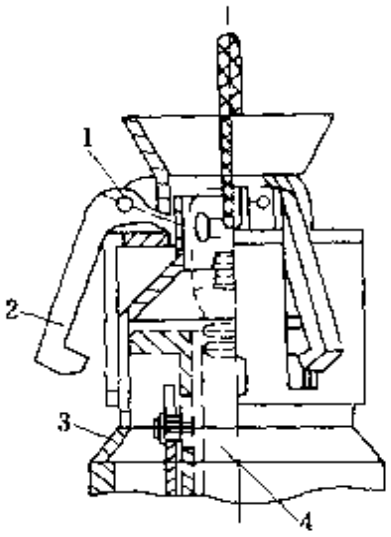
(a)1　绳接头部件;2　套筒;3　内圈;4　外圈;5　开闭机构

(b)1—定向螺钉;2—支撑块;3—支撑块开口销;4—紧固螺钉;5—挡盘

步松内套绳,绳帽套下部的肩胛离开开闭装置的支撑块,开闭装置上的套筒因重力作用下坠,直到它的顶部法兰与开闭装置的内圈贴合,套筒下坠迫使支撑块头部退出套筒内孔,尾部上翘。收卷扬机钢丝绳,此时支撑块的头部已退出套筒内孔,不能阻挡绳帽套。因而可上提锥内的内套绳并通过开合机构的滑轮组,使锥瓣合拢抓土并提锥出孔。锥头继续上升至开闭装置的外圈将挂钩器的导向罩顶升时,挂钩器里的挂钩头上的小轴便不受压,在挂钩重力作用下,挂钩插入导向罩槽内,钩住开闭装置的套筒法兰,完成挂钩动作。稍放松卷扬钢丝绳,使套筒法兰由挂钩吊住,进一步放松钢丝绳,锥瓣便张开卸土,



(a) 挂钩时



(b) 脱钩时

图 3-53 挂钩器

(a)1 - 定位螺钉及弹簧垫圈；2 挂架；3 - 开闭机构总成

(b)1 挂钩销轴及开口销；2 挂钩；3 导向罩；4 绳接头部件

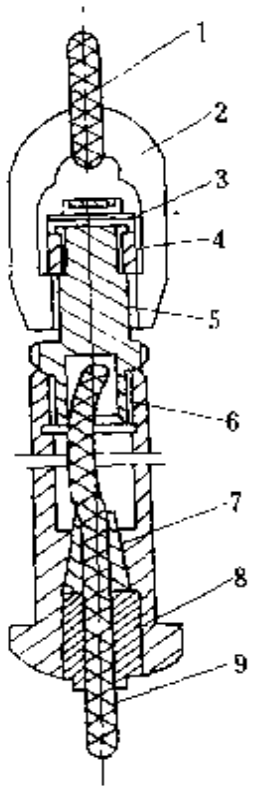


图 3-54 绳帽套

1 - D 型钢丝绳 ϕ17.5mm；2 - 绳接头上段；3 开口销；4 圆螺母；5 - 绳接头中段；6 绳接头下段；7 - 三瓣锥夹头；8 - 压紧螺塞；9 D 型钢丝绳

同时绳帽套肩下行到支撑块下方后套绳完全放松(不受力)，冲抓锥重力由套筒肩胛传给挂钩，套筒法兰与开闭机构内圈脱开，支撑块头部不受套筒所压，因重力作用，其尾部绕轴旋转到水平位置，头部插入套筒槽内。套筒法兰与开闭机构内圈脱开还意味着开闭装置的外圈相对下行，挂钩器的导向套不再受开闭装置的外圈顶托。

脱钩：卸完土后，收拢卷扬机钢丝绳，支撑块头部便抵住绳帽套肩胛，冲抓锥通过支撑块由绳帽套肩胛提住。再稍收卷扬机钢丝绳，挂钩不受力，导向罩便下坠压住挂钩头小轴，迫使挂钩退出导向罩的

槽外，与套筒法兰脱离，完成脱钩动作。脱钩后绳帽套提住锥头，锥的开合机构滑轮组钢丝绳不受力，则落锥冲孔时锥瓣是张开的。

（三）冲抓成孔工艺

1. 冲抓锥操作步骤

双绳冲抓锤的操作步骤：

（1）收紧内套钢丝绳将锥提起，同时检查锥的中心位置是否偏移，卷扬机、钻架、架上滑轮和冲抓锤等有无异常。

（2）放松内套绳。由外套绳将锥吊住，转动锥头防止两根主钢丝绳扭在一起。在冲抓锤下落过程中，内套绳不受力，且内套绳较所要的冲击高度（1.5～2.0m）多松 1～2m。

（3）抓锤冲击孔底岩土后，收紧内套钢丝绳，通过开闭机构使锥瓣合拢抓取岩土。当锥开始上升后，逐渐收集外套绳并注意使其恰好于不受锥拉力的状态。

（4）收紧外套绳，待内套绳不受力时，锥瓣张开卸渣。

双绳双颚板抓斗工作进程见图 3-55 所示。

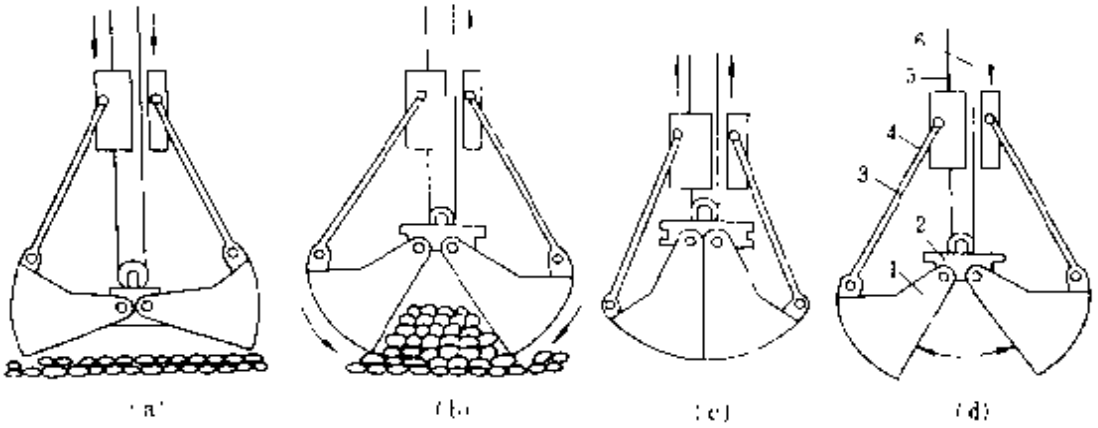


图 3-55　双绳双颚板抓斗工作进程

(a)降斗；(b)闭斗抓土；(c)满斗提升；(d)开斗卸土

1—颚板；2—下横梁；3—撑杆；4—上横梁；5—支撑绳；6—开闭绳

单绳人工挂钩冲抓锤的操作步骤：

(1)收紧内套钢丝绳，提锥至挂环比固定钩稍高一点的地方停住。

(2)钻架上的工作人员持固定钩勾住挂环，然后指挥卷扬机稍松钢丝绳，使锥由固定钩吊住，这时主绳不受力，锥瓣张开，准备向孔底冲击。

(3)钻架上的工作人员持活动钩勾住锥的挂环，并指挥卷扬机稍为收紧内套绳将锥吊住，替换取出固定钩。这时内套绳受力，但活动钩与开合机构间的一段绳仍松着，故开合机构暂时不起作用。

(4)操纵卷扬机松放内套绳落锥到要冲击的高度，松开离合器，使锥迅即下冲。锥瓣切入土石后，钩轻悄重的活动钩便自动脱出挂环。

(5)收紧内套绳，经开合机构的作用，使锥瓣合拢抓土。然后提升锥至略高于固定钩处停住，钻架上的工作人员用固定钩勾住挂环，并指挥卷扬机稍松内套绳，由固定钩吊住挂环，则锥瓣张开卸土，卸土完毕后，回到上述第三步。

2. 成孔工艺

(1)对于一般粘土层，可按上述操作方法冲抓成孔。土层软时，冲程不宜过大。若土质较密实，则可增大冲程 2～3m，并用外套绳双绳冲抓锤连续冲几次后，再抓土。

(2)在砂土层中成孔时，采用小冲程 0.5～1.0m。为保持孔壁稳定，除保持孔内水头高度和泥浆密度外，一般每冲抓一次要往底投入一定量的粘土和勤加水。

(3)在砂卵石层成孔时，适当增加冲程，采用连续冲、抓几次反复将土石集中到孔底中央，然后再抓出。

(4)在漂石层成孔时，冲程太大容易损坏锥瓣，以应用外套绳提出锥头连续低冲为好。收内套绳时要慢，收一下松一下，然后要收紧内套绳合拢锥瓣抓土和提锥出孔。经过这样反复进行，把漂石旁的一

部分土石抓出，并把漂石抓松动后，能将漂石整个地抓出来。

(5)单一冲抓方法遇复杂地层时(如紧密的土层、卵砾石层以及大漂石、探头石)冲抓较为困难，可结合冲击、爆破，高压水射流来处理。

3. 操作注意事项

(1)提锥的钢绳应选用同向捻制，纤维芯无死折迹、无断丝，其安全系数不得小于 12。

(2)锥中心与护筒中心的偏差不得大于 20mm。

(3)可根据需要，直接向孔内灌入泥浆，倒入粘土或投入泥球。倒入粘土后，将锥瓣收拢的冲抓锤放入孔内，冲挤粘土使之与松散的孔壁胶结，然后提起冲抓锤张开锥瓣进行冲抓钻进。

五、干作业成孔灌注桩

(一)钢绳冲击钻进法

1. 工作原理

钢绳冲击钻是利用钢绳将冲击钻头提升到一定高度后，让钻头自由下落，使钻头的势能转化为动能冲击破碎岩土体。钻头每冲击一次后，被钢绳带动扭转一定的角度，反复地冲击，便凿出一个圆形孔。

钢绳冲击钻特点：

(1)冲击动载破碎岩体，岩石在动载作用下抗破碎强度低，容易钻进。

(2)设备、机具简单，操作和维护容易，工程费用低。

(3)占用场地小，用水量小。

(4)有效碎岩时间短。

(5)采用专门的抽筒捞渣，影响钻进效率。

(6)由于靠钻头自由下落钻进，所以只能打直孔。

应用范围：

可应用于卵砾石层、砂层、土层、裂隙发育的基岩地层。桩孔直径

一般为 ϕ600～1200mm。

2. 设备及机具

(1)常用的冲击式钻机见表 3-27 和表 3-28。

表 3-27　常用机械冲击钻机的机械性能规格表

性能 / 型号 / 项目	CZ 20C 型	CZ -22 型	CZ -30 型	丰收 -120 型	双丰收 -250 型
使用泥浆或清水保护孔壁的开孔口径(mm)	750	840	1200	500	600
使用泥浆或清水保护孔壁的钻进深度(m)	120	150	180	120	250
钻具的最大质量(kg)	1000	1300	2500	400	1000
钻具冲程(mm)	1000;450	1000;350	1000;500	750;650	970;900;840;780
钻具每分钟冲击次数(次/min)	40;46;50	40;45;50	40;45;50	40	38
卷筒起重能力(kg)： 工具卷筒 抽筒卷筒 辅助卷筒	 1500 1000	 2000 1300 1500	 3000 2000 3000	 1500	 2700
钢丝绳平均卷速(m/s)： 工具卷筒 抽筒卷筒 辅助卷筒	 0.52;0.58;0.65 0.96;1.08;1.27	 1.1～1.4 1.2～1.6 8.0～1.0	 1.1;1.25;1.42 1.21;1.38;1.68 0.95～1.22	 0.5～0.8	 1.03～1.78 0.78～1.24
钢丝绳直径(mm)： 工具卷筒(6 股、19 丝、右旋、交绕) 抽筒卷筒(6 股、19 丝、右旋、交绕) 辅助卷筒(6 股、19 丝、右旋、交绕)	 19.5 13	 21.5 15.5 15.5	 26 17.6 21.5	 17	 20 12.5

续表 3-27

项目 \ 性能 \ 型号	CZ -20C 型	CZ -22 型	CZ -30 型	丰收 -120 型	双丰收 -250 型
卷筒容量绳(m)：					
工具卷筒	250	230	350		300
抽筒卷筒	250	250	350	150	300
辅助卷筒		135	210		
拖杆起重量(t)	5.0	12.0	25.0	10.0	12
电动机：	20	20			
功率(kW)	972	90	40	10	28～30
转速(r/min)	220/880	980	735	1460	1450
电压(V)	6.27	220/380	220/380		
钻机在工作状态的外形尺寸(mm)：					
长度	3800	5600	7700	1920	2770
宽度	1850	2300	2840	1300	1430
高度	12300	14000	16000	1640	1820
钻机在运动状态的外形尺寸(mm)：					
长度	8000	8500	10000		
宽度	1850	2300	2800		
高度	2800	2750	3500		
钻机在公路上运输速度(km/h)	2	20 6.85	20 11.15	固定式 1.8	固定式

(2)卷扬机：国产卷扬机类型较多，挑选的余地较大，现多用提升能力 3～5t 带离合器的双筒卷扬机和相应的钻架组成。

(3)冲击钻具：冲击钻头目前使用较为普遍是带副刃十字型冲击钻头(见图 3-56 所示)。它尤其适用于砂卵石、砂砾石及裂隙发育的中硬地层。使用较为普遍的还有抽筒钻头(见图 3-57 所示)。可用

表 3-28　YKC 型冲击钻机性能

型号		YKC-31 型	YKC-30 型	YKC-22 型	YKC-20 型
厂家		洛阳矿山机械厂		洛阳太原矿山机械厂	北京探矿机械厂
钻孔深度(m)			500,400～50	300	300
钻孔直径(mm)			400,800～1300	559	508
动力机功率(kW)		60	40	20	20
卷扬	卷筒个数(个)	2	3	3	2
	起重力(kN)	55,25	30,20	13,15,20	10,15
	提升速度(m/s)		1.24,1.41,1.56	1.18,1.32,1.45	0.52,0.58,0.65
冲击次数(次/min)		29,30,31	40,45,50	40,45,50	40,45,50
冲程(m)		1.0,0.8,0.6	1.0,0.8,0.7,0.5	0.35～1.0	0.45～1.0
钻具最大质量(t)		3	十字型钻头 2.5	1.3	1.0

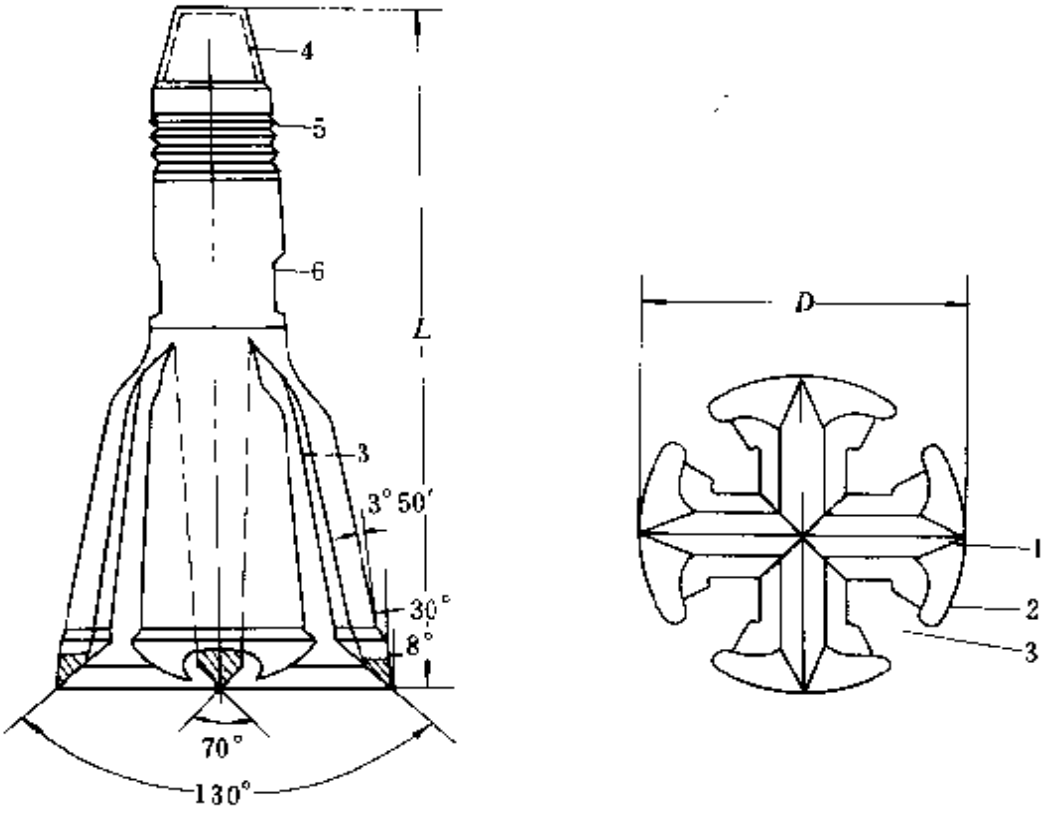


图 3-56　带副刃十字型冲击钻头

1—主刃；2　副刃；3　水槽；4　锥形丝扣；5　环形槽；6　扳手卡槽

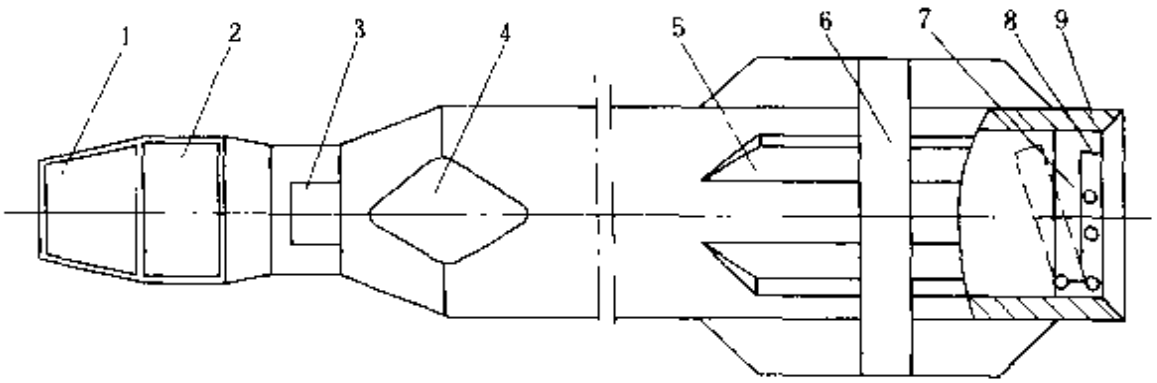


图 3-57　抽筒钻头

1－锥形螺纹头；2　打捞螺纹；3　卡槽；4　排渣口；
5　肋骨片；6　周圈；7　活门板；8　活门圈；9　筒体

于松散的含砂土层或砂卵砾石层中。

抽筒：它是专门的捞渣工具，其外径通常为孔径的 0.6～0.8 倍（见图 3-58 所示）。

冲击钻杆：冲击钻杆是为加重钻头重量的实心钻杆。与钻头的连接采用法兰盘或丝扣（见图 3-59 所示）。

钢丝绳接头（绳卡）：图 3-60 所示的钢丝绳接头，在提起钻具时，钢丝绳在冲击钻具的重力作用下被拉伸，带动钻具按钢绳捻扭的相反方向转动一个角度，当钻具冲击孔底岩石时，钢绳处于松弛状态，则由于本身的弹性作用又带动转向套（环）转回原位，从而使钻具每冲击一次便转动一个角度。钢丝绳上固定绳卡不少于 3 个，且绳卡方向一反一正，两绳卡之间的距离不得小于钢绳直径的 6 倍。

3. 冲击钻进工艺及操作要领

（1）钻进规程：

①钻具重量：钢绳冲击钻进是利用钻具在井中自由下落冲击而

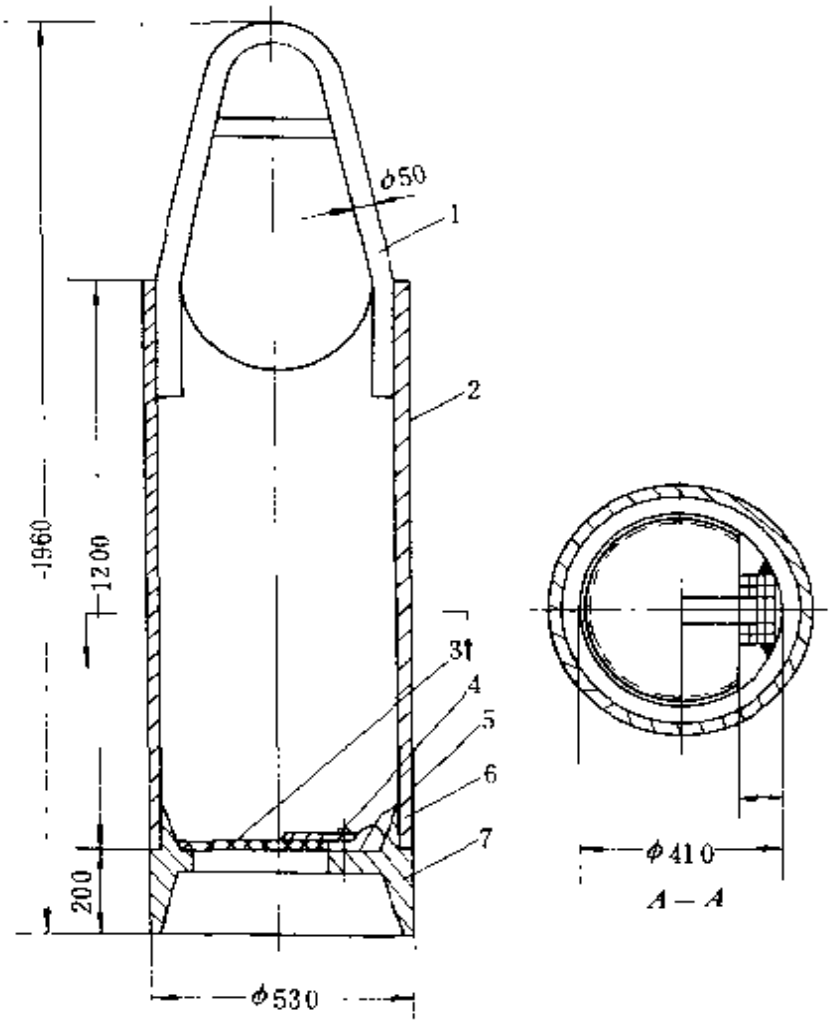


图 3-58　φ530mm 抽筒

1—提梁；2—筒体；3—底活门；4—螺栓；5· 铰链；6—销轴；7 一管靴

破碎岩石，因此，钻具重量直接影响着钻进效率。选择时一般按每单位刃长上的钻具重量 80～120N/cm。松软地层取小值，坚硬地层取大值。

②冲程与冲击频率：增加冲程与冲击频率可以提高钻进效率，但这两个因素互相制约不能同时增加。一般软地层用小冲程，硬地层用大冲程，同时大多数冲击钻机的冲程为 1.0m，采用卷扬机冲击时可以加到 3～6m。冲击频率一般为 40～50 次/min。

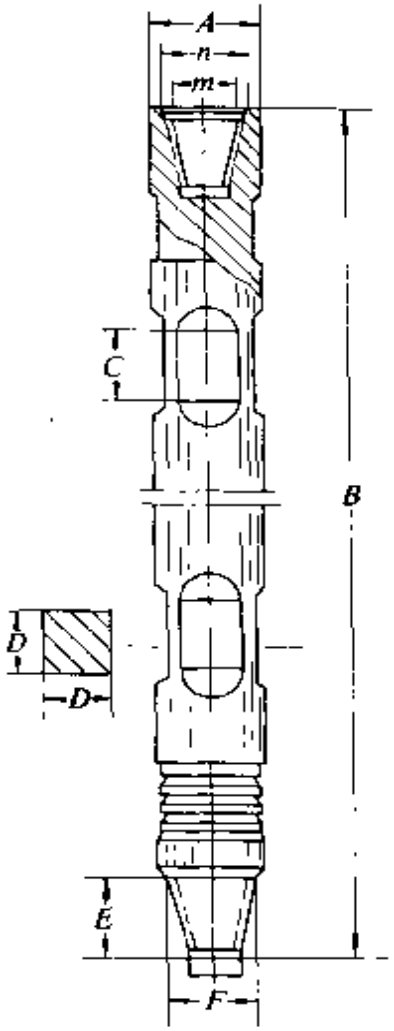


图 3-59　冲击钻杆结构图

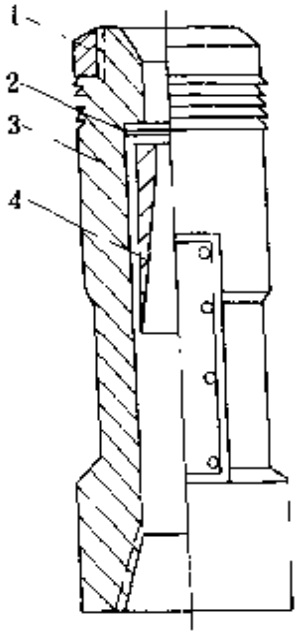


图 3-60　绳卡结构图

1—保护箍；2—垫片；3—绳卡体；4—活套

③悬距：钻具是经过很长的钢丝绳与钻机联系着，压轮的上下摆动高不等于钻具在井内的冲击高度（冲程）。如何解决钢丝绳在受力后弹性伸长和不断延伸的井深问题，在实际工作中，常采用控制放绳和留悬距的办法，来提高钻进效率。当冲击钻机的冲击梁处在上死点位置，待钢丝绳静止后，钻头距孔底的距离称为悬距，软层悬距小或等于零，硬地层悬距等于 3～4cm。

①岩粉密度：在冲击钻进中，井内岩粉浆的密度值直接影响着钻进效率。控制岩粉浆密度在实际操作上的办法：一是控制回次间隔，

二是控制掏砂时的掏砂量。所以在冲击钻进操作规程中有"勤掏少掏"的规定。

在利用抽筒掏砂时，抽筒应该在井底岩粉浆密度最高的"岩粉柱"范围内活动；提动距离不要太大，一般有 20～50cm 即可。活动次数有 3～4 次即可。过大的活动范围和过多的活动次数，会使稠岩粉自抽筒上部溢出。

冲击钻进各种技术参数的配合，主要根据地层条件，详见表 3-29。

表 3-29　冲击钻进规程参数参考表

岩性 / 规程	软岩 $f=0.5\sim1$	中硬岩 $f=2\sim4$	裂隙及破碎岩 $f=5\sim8$	坚硬岩 $f=10\sim14$	极硬岩 $f=17\sim20$
冲击高度(m)	0.78	0.92	0.92	1.1	1.1
冲击次数(次/min)	58	53	53	48	48
悬距(cm)	0～0.5	1～3	1.5～2.5	4～6	5～7
岩粉高度(m)	3.3	2.5	2～1.5	1.8～1.6	1.6～1.3
岩粉密度(kg/L)	1.3～1.5	1.5～1.7	1.9～2.6	1.8～2.1	2.0～2.3
给进时间(min)	3～4	6～9	12～25	15～25	25～45
清孔时间(min)	2～3	3～4	4～5	4～5	5～6
回次进尺(m)	1.2～1.0	0.6～0.7	0.65～0.5	0.6～0.5	0.4～0.3

注：为普氏岩石硬度系数。

(2)操作要领：

①用冲击式钻机施工时，应控制钢绳放松量，勤放少放。

②用卷扬机施工时，应在钢绳上作记号控制冲程。

③开孔用小冲程勤冲击。

④冲击钻头磨损较快，应经常检修补焊。

⑤每次停钻后再次开钻时，应由低冲程逐渐加大到正常冲程，以免卡钻。

4. 常见事故及其处理

(1)桩孔不圆，抽砂筒下入困难：

原因：钻头转向失灵；岩粉浆粘度高，钻头转动阻力大；冲程小，钻头得不到充分转动时间。

处理方法：发现孔不圆，可用碎石粘土回填钻孔重新冲击；经常检查回转装置的灵活性；调整岩粉浆密度和粘度；用低、高冲程交替进行。

(2)钻孔偏斜：

原因：孔内有探头石、漂石；基岩面非水平；钻进时钻塔移位。

处理方法：发现探头石后应回填碎石，或将钻塔稍移向探头石一侧，采用高冲程；遇基岩时采用低冲程、高冲频，入基岩后采用高冲程；经常检查钻塔是否发生移位并及时调整。

(3)冲击钻头被卡提不起来：

原因：钻孔不圆，钻头被狭窄部位卡住；上部孔壁坍落物卡住钻头；在粘土层中冲程太高，泥浆粘度过大，钻头被吸住。

处理方法：下放钻头转动至孔径较大方向提起；用打捞钩或打捞活套助提；往孔内泵送优质泥浆置换孔内粘度过高的泥浆、清除坍落物。

(二)螺旋钻进成孔技术

1. 工作原理

螺旋钻进是利用螺旋钻杆连接螺旋钻头加压回转，从而破碎孔底岩土而不断向下钻进的一种干式回转全面钻进的钻孔方法。采用这种方法破碎下来的岩土不是用循环冲洗液清除，而是由转动的螺旋钻杆不断地输送至地表或将螺旋钻具提出钻孔清除的。

螺旋钻成孔特点：

在地下水位以上没有砾石及硬夹层的软岩(如砂土层)中钻进，时效非常高；无循环液钻进，免去了泥浆循环系统，适用于高寒、缺水、漏失地层钻进；低公害(无泥浆)、低噪音(无振动)、低成本；输送钻屑的同时，向孔壁挤压钻屑，有加固孔壁的作用；钻进中消耗功率大。

螺旋钻进技术适用于松散土层、砂土层、亚砂土层及含有少量粒径不大的砾石地层。在粘性土地层和含水砂层中钻进难度较大。

现在多用长螺旋钻进(整个钻杆为螺旋钻杆，在钻进过程中，被钻头破碎的岩土靠螺旋钻杆输送至地表，钻进和排粉是连续不断地同时进行)和短螺旋钻进(短螺旋钻头的叶片一般为双线，在钻进一个回次中，破碎的岩土附着在长度不大的螺旋叶片上，在钻完一个回次后将钻头提出地表，可反转甩掉附着在叶片上的岩土，然后再下入孔内，开始另一个回次的钻进)。前者多用于孔径不超过 1m，深度在 15m 以内的桩基孔；后者可用于孔径不大于 3.0m，孔深不超过 50m 的桩基孔。

2.设备与机具

(1)螺旋钻机：螺旋钻机的种类较多。各发达国家都已基本形成了系列。长螺旋钻机见图 3-61；短螺旋钻机见图 3-62。

(2)螺旋钻头：螺旋钻头由钻头体、翼片、螺旋带和连接部分组成(见图 3-63 所示)。各类螺旋钻头见图 3-64 所示。

图 3-64(a)为单翼片螺旋钻头，用于软土层，直径不超过 450mm。图 3-64(b)为阶梯螺旋钻头，钻进效率高。图 3-64(c)为螺距平缓的螺旋钻头，两个叶片相向，且在叶片上开有两个缺口，每个缺口又装有自动闭合的折页，以便尽可能多地提升孔底钻屑，一般直径不大于 200mm。图 3-64(d)为双翼片螺旋钻头，较图 3-64(a)工作更平稳。

图 3-65 所示为可拆卸式螺旋钻头，主要用于大口径钻进。

图 3-66 所示为平底钻头，由芯管、螺旋带、平刀与中心尖刀、接

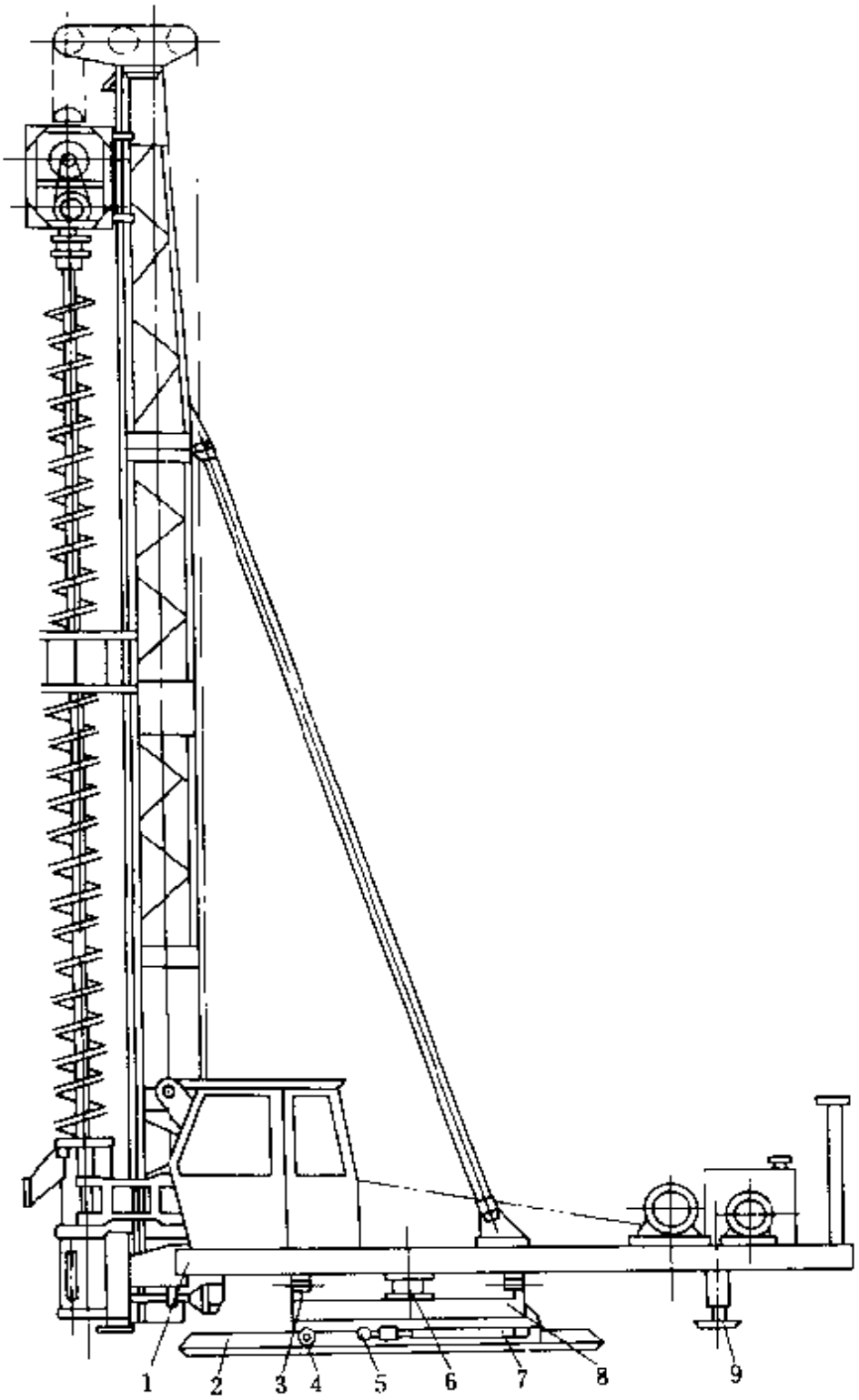


图 3-61　步履式全螺旋钻孔机

1—上盘；2—下盘；3—回转滚轮；4—行走滚轮；5—钢丝滑轮；6—回转中心轴；7—行走油缸；8 中盘；9—支腿

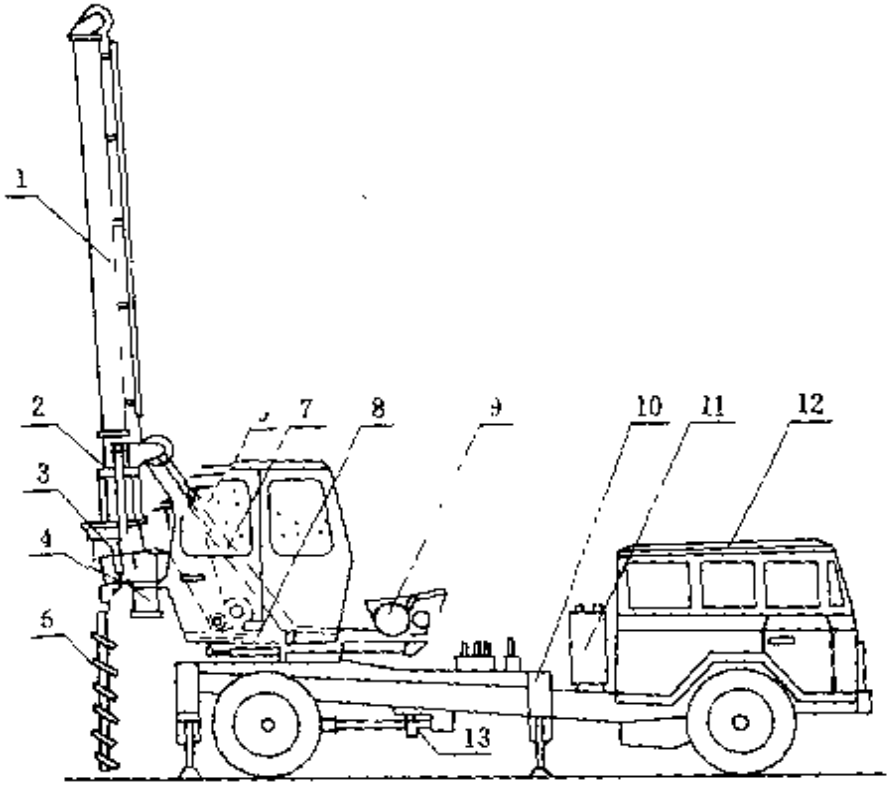


图 3-62　短螺旋钻机

1—钻杆护套；2—加压油缸；3—回转变速箱；4—回转马达；5—钻头；6—操纵室；7—斜油缸；8—回转就位机构；9—卷扬机系统；10—支腿；11—油箱；12—驾驶室；13—油泵

头组成，钻头的平刃长度（即钻头直径）应比螺旋叶片外径大 10～20mm。该钻头适用于一般的土层。

图 3-67 所示的为耙式钻头，由芯管、螺旋带、中心尖刀、切削刀齿等组成。该钻头适用于含有大量砖头、瓦块的杂填土层。在该钻头的切削刀齿上镶焊硬质合金后，还可用于软岩层钻进。

图 3-68 所示为筒式钻头，适用于钻混凝土块、条石等障碍物，每次钻取厚度应小于筒身高度，钻进时应适当加水冷却。

③螺旋钻杆：螺旋钻杆一般由心管、螺旋带和连接部分组成，心管为无缝钢管，外面焊有螺旋，一般为六方插接式（即一端为六角形杆，另一端有六角形套），两根钻杆的套与杆连接后，插入销子，并用防松定位器固定；另外螺旋钻杆也有通过螺纹丝扣连接的或三棱插

接式或四方形连接式的。图 3-69 所示为各种接头形式。图 3-70 所示为各种螺旋钻杆。

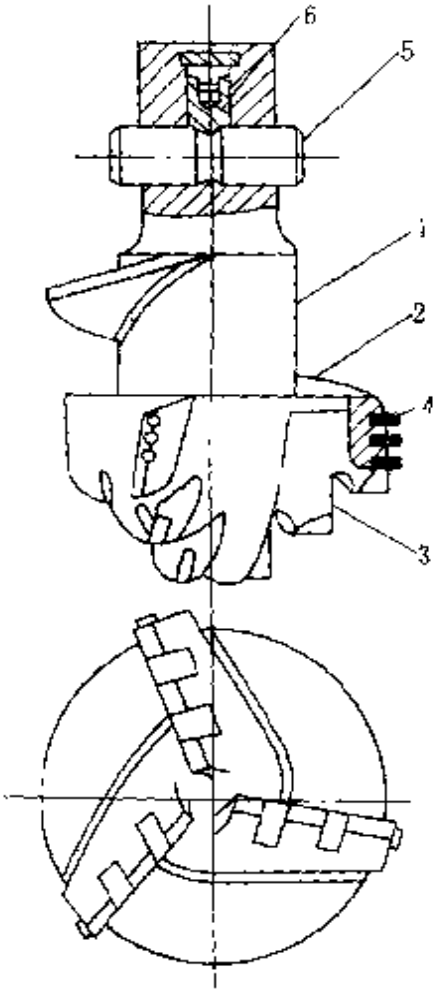


图 3-63　三翼螺旋钻头
1—钻头体；2—螺旋带；3—翼片；4—硬质合金

3. 钻进工艺与操作要领

(1)钻进工艺参数：

①钻压：主要靠钻具自重和螺旋钻杆上输送土的重量。

②钻具的转速：我国目前设计的螺旋钻具的转速常为 100～150r/min，而直径大于 500mm 的钻具。一般转速都不超过 100r/min。

③钻进速度的控制：螺旋钻进中，为了能有效地输送孔底岩土，避免岩土堵塞而不能钻进，在实际钻进中并非瞬时钻速越高越好。因此，对钻速提出限制，即最高钻进速度应满足下式要求：

$$v_{max} \leqslant \frac{80\phi(R^2-r^2)4v_2}{R^2 jk_0} \qquad (3\text{-}13)$$

式中：v_{max}——实际最高钻速，m/h；R、r——螺旋叶片外、内径，m；φ——两螺旋叶片间的充满系数，0.2～0.5；v_2——岩土块运移速度的垂直分量，m/h；j——钻进中由于扩孔使输送量增加的系数，取 1.1～1.2；k_0——岩土的松散系数，其值为：

砂及砾石：1.05～1.2，亚粘土及亚砂土：1.2～1.25，纯粘土及夹卵石粘土：1.3～1.4，含砂石土：1.4～1.43，泥页岩：1.4～1.6。

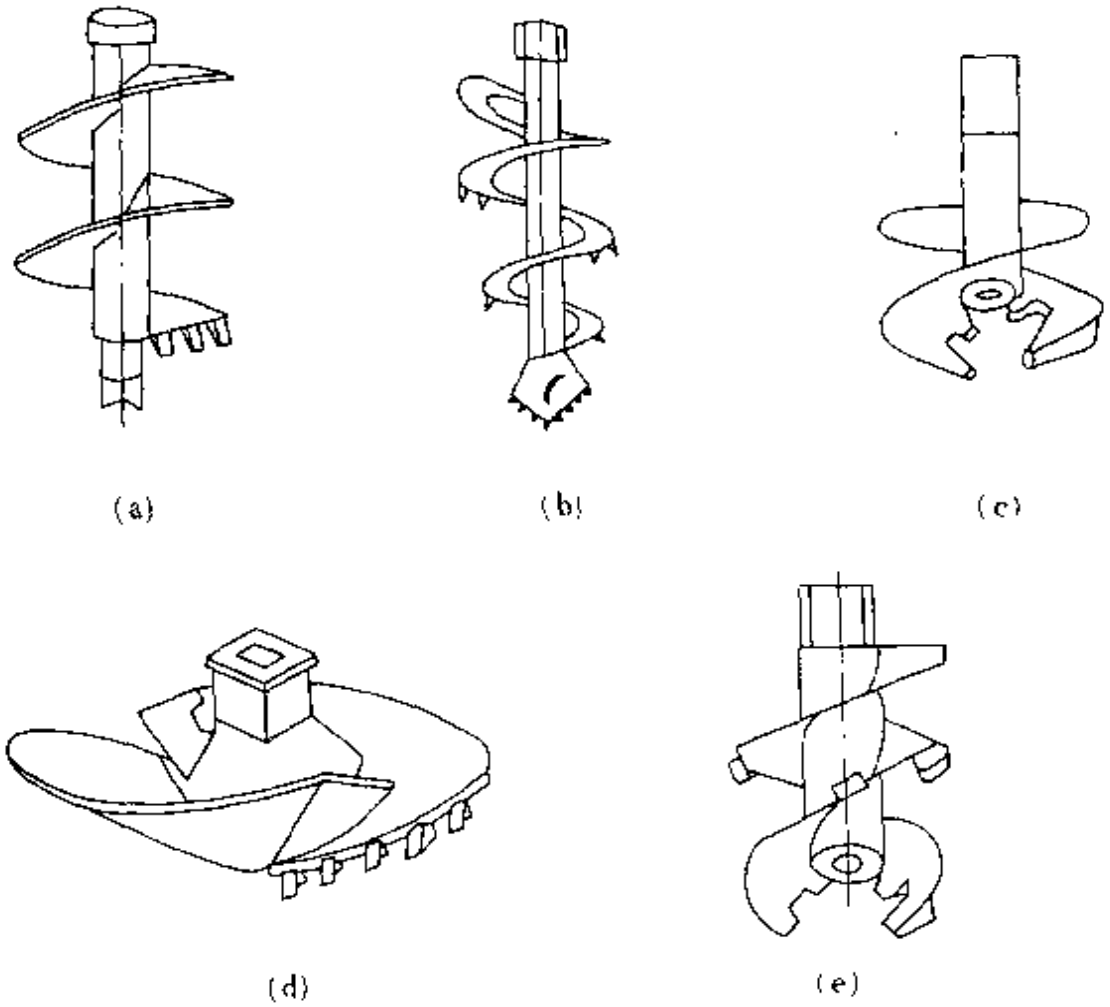


图 3-64　大直径螺旋钻头结构形式
(a)单翼片螺旋钻头;(b)阶梯螺旋钻头;(c)平缓螺旋钻头;
(d)基岩中凿岩螺旋钻头;(e)漂石中钻进用螺旋钻头

(2)钻头选择:

①粘性土层用锥底钻头。

②松软土层用平底钻头。

③杂填土、含有大量砖、瓦乱石层,用耙式钻头。

有关钻进规程参数见表 3-30 和表 3-31。

(3)钻进技术措施与注意事项:

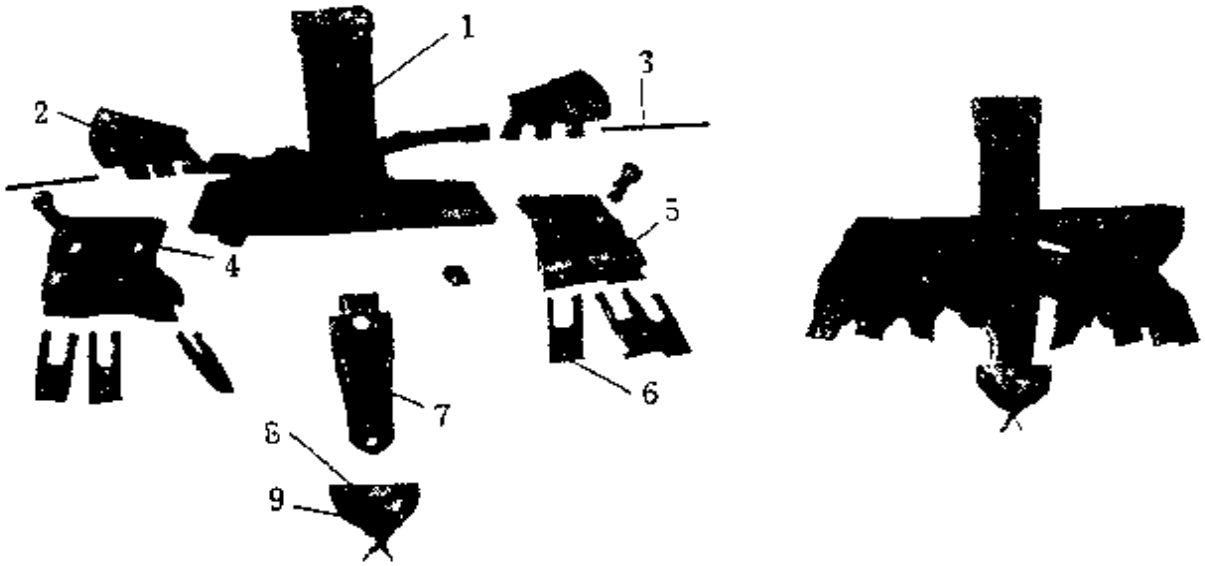


图 3-65　可拆卸式螺旋钻头

1　钻头体；2—挡板；3—挡板连接销；4—翼片；5—切削具连接销；6　切削具；7—导向钻头连接柄；8—导向钻头连接固定螺钉；9－导向钻头

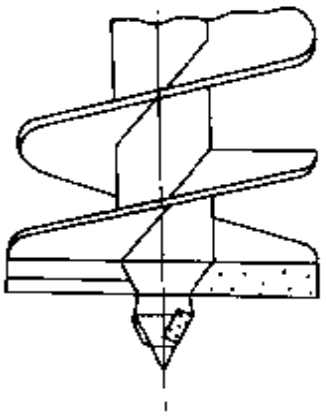
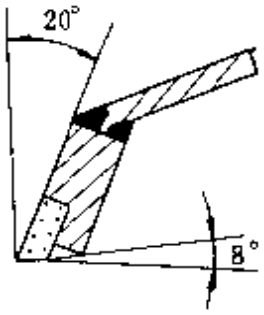


图 3-66　平底钻头



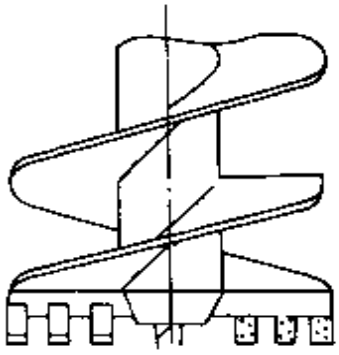


图 3-67　耙式钻头

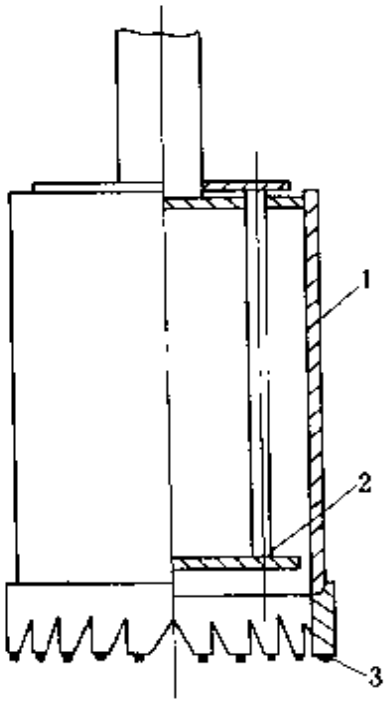


图 3-68　筒式钻头
1—筒体；2—推土盘；
3—八角硬质合金刀头(YG-8)

①钻屑顺利上升，是长螺旋钻顺利钻进的首要条件。为此，必须适当控制给进速度，防止钻屑量太大而产生堵塞。现场判断给进速度是否正常的主要依据是回转电机的电流表读数。一旦给进速度过快，孔内阻力猛增，则电流表指针将迅速向增大方向偏摆。因此，钻进时操作者要密切注视电机的电流表。

②螺旋钻进，应注意防止钻孔偏斜。为此，开孔前应平整施工场地，调平钻机，使钻机回转轴线垂直；严格检查钻杆的垂直度和钻杆接头的同心度，不使用弯曲的钻杆和偏心的接头；长螺旋钻具回转时，坚持带导向套作业，以防止钻杆中部弯曲；开始钻进或穿过软硬土层交界处时，应保证钻杆垂直，缓慢进尺；在含砖头、瓦块的杂填土层或含水量较大的软塑性土中钻进时，应尽量减少钻杆晃动，以免扩大孔径。

③采用长螺旋钻孔达到要求深度时，一般应在原处空转清土(清除孔底和叶片上的土)，然后停止回转，提升钻杆。如孔底虚土超过允许厚度，应使用掏土工具掏除或用夯实工具夯实孔底。

④短螺旋钻进，应注意根据地层性质和钻头长度正确掌握回次进尺。钻进砂、粉土层，回次进尺可达 0.8～1.2m，而对粘土、粉土地层，每回次进尺宜控制在 0.6m 以下，甚至减至 0.3～0.4m。回次进尺一般不宜超过短螺旋钻头长度的 2/3。否则，在钻头上部将形成泥包，增加提钻阻力，严重时甚至提不动钻具。

(4)操作注意事项：

①开钻前应调平钻机，安装导向套。

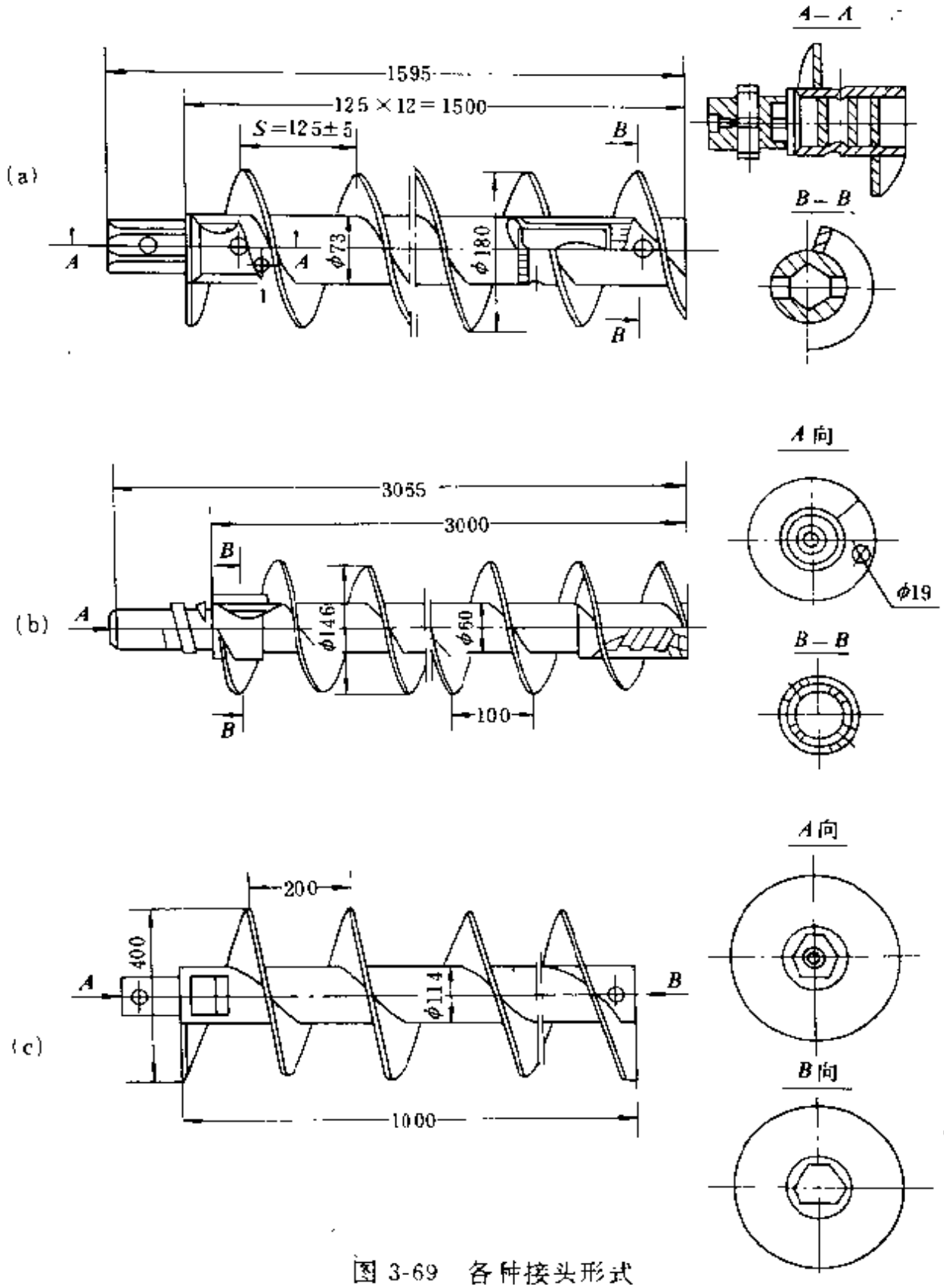


图 3-69　各种接头形式

(a)六方插接式；(b)螺纹式；(c)三棱插接式

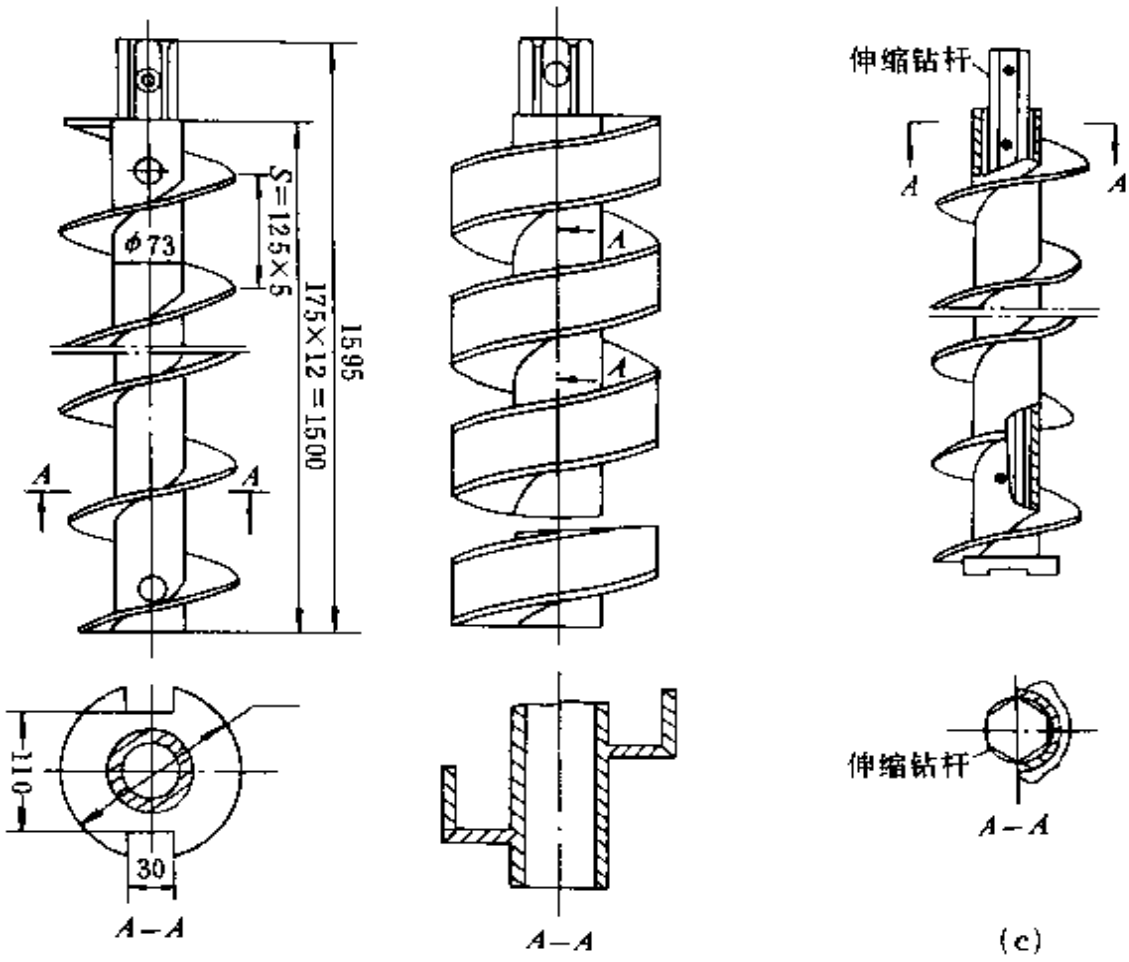


图 3-70　特殊型螺旋钻杆

(a)与转盘配套用螺旋钻杆；(b)带挡板螺旋钻杆；(c)伸缩式螺旋钻杆

表 3-30　原苏联 ПБУ-50 钻机大直径螺旋钻进规程参数

地层	转速(r/min)	轴向压力(kN)
砂、亚砂土	24～17	25～30
粘土、湿亚粘土	40～30	30～35
干亚粘土	30～24	35～40

②开孔时或穿过硬土层分界处时，应慢速回转，控制进尺不宜过快，并保持钻杆垂直。

③钻进时应保持钻具工作平稳，尽量减少钻杆晃动，防止钻孔超

表 3-31　原苏联 УТБМ-16 螺旋钻进规程参数

地层	钻头直径 (mm)	压力 (kN)	转速 (r/min)	平均回次长度 (m)	机械钻速 (m/h)	生产效率 (m/班)
泥、砂	1100	7～9	60～120	0.3～0.32	5～6	12.6～18.5
砂层	1100	7～10	86～120	0.36	18.5	20
泥砂含砾石	1100	7～9	60～120	0.30	5.4	15.7
致密的卵砾石层	700	11～12	38～46	0.35	4.5	18

径或偏斜。

④采用短螺钻杆钻进时，钻进深度与螺旋长度大致相当。

⑤钻遇较大的卵石、探头石，发生卡钻、夹钻时，不得施行钻进或提升，防止蹩断钻杆。应缓慢回转，上、下活动，解除卡、夹钻事故。

（三）钻斗钻进成孔技术

1. 工作原理、特点

（1）钻进原理：

通过伸缩钻杆的旋转，带动它前端的钻斗回转，用钻斗底端和侧面的切削具切削岩土，同时切削下来的钻屑进入钻斗内，待钻斗装满一定量的钻屑后，通过伸缩钻杆把钻斗提到孔口，卸土，再把钻斗下到孔底钻进，这样一直延缓到设计孔深。

（2）特点：

①在无地下水的粘土层中可不使用稳定液，在一般地层要使用稳定液护壁；

②施工速度较快，成本较低；

③钻机移动和安装方便，但占地面积较大；

④噪音和振动小；

⑤对稳定液的管理十分严格，且竣工后要对稳定液进行处理；

⑥在承载地基附近有较大承压水时，护壁困难，且桩体不能保证质量。

（3）理想的应用条件：

①在卵石粒径超过 5～10cm 的一切软土层中钻进均可使用该技术；

②施工钻孔直径可以为 ∅300～3000mm，钻孔深度一般小于 50m。

2. 设备和机具

(1)钻机：钻斗式钻机常用履带式吊车改装。我国目前还没有厂家生产，多使用进口钻机，表 3-32 所示为日本近期研制的钻斗钻机的型号和主要技术规格。

(2)钻杆：

①伸缩钻杆：该钻杆是由外层、中层、内层三层杆组成。类似于电视天线式的伸缩，由驱动设备向外层杆施加转矩，并通过中层杆驱动内层杆，使与内层杆连接的钻斗旋转。

②普通钻杆：利用外平的普通钻杆，用钢绳升降钻斗，钻斗可使外平钻杆滑动，在钻杆下端固紧或松开(与钻杆)，压力和扭矩靠钻杆传递给钻斗。

(3)钻斗(见图 3-71)：

①锥底式钻斗：除粒径 5mm 以上的密实砾石层、大卵石层、坚硬土层外，一般土质都可使用。

②冲击式钻斗：专用于大块石、大卵石、密实砂层。

③闭锁钻斗：专用于掏取孤石、漂石等。

3. 钻进工艺和施工要点

(1)钻进参数：

①钻压：钻压由钻具的自重、给进力、钻斗内土的重量三部分组成。

②转速：转速一般小于 30r/min。

(2)钻斗的选择：

正确选择钻斗底盘切削齿的形状、规格、布置方式是很重要的。软层选用小切削角、小刃角，齿宽也稍大，齿间距大的钻斗；稍硬土层

表 3-32　日本钻斗钻机的技术规格

性能参数 \ 主机型号		KH100-2ED	KH125-2ED	DH300ED	DH350ED
最大钻孔直径(mm)	一般土层	1500	1500	1500	1500
	软土层	1700	1700	1700	1700
最大钻孔深度(m)	只用方钻杆	33	38	33	33
	加钻杆	43	48	43	43
吊杆长度(m)		19	20.5		19
回转器 回转速度(高/低)(r/min) 回转扭矩(kN·m)		23/11.5 39.2/50	23/11.5 39.2/50	20/12 39.2/49	20/12 39.2/49
钻斗最大提升力(kN)		117.6	117.6		
付吊钩最大容量(kN)		49	49		
各项速度	钻斗升降(高/低)(m/s)	1.17/0.58	1.17/0.58	1/0.5	1/0.5
	付吊钩升降(高/低)(m/s)	1.17/0.58	1.17/0.58	1/0.5	1/0.5
	吊杆俯仰(m/s)	0.75	0.75	0.78	0.78
	旋转(r/min)	3.8	3.4	3.8	3.8
	行走(km/h)	1.5	1.5	1.3	1.3
动力机	额定功率(kW)	93.4	93.4	93.4	93.4
	转速(r/min)	2000	2000	2000	2000
全部装备质量(t)		40.5	47		45
装备着地平均地压力(Pa)		0.066	0.068		0.065

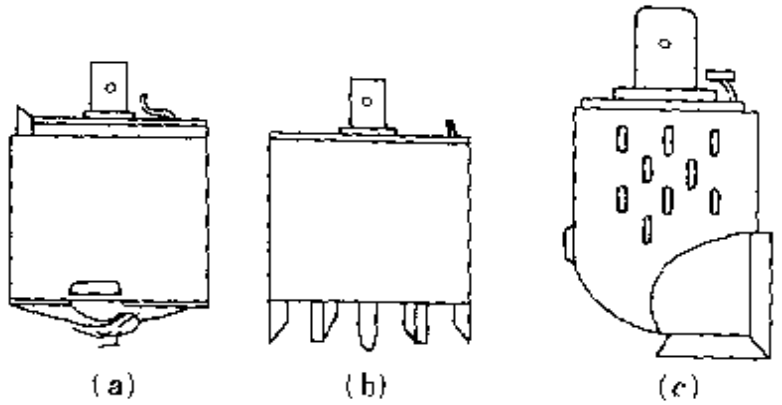


图 3-71　各种钻斗示意图
(a)锥底式；(b)冲击式；(c)闭锁式

选用较大切削角、齿宽稍窄的切削齿。

(3)施工要点：

①当现有伸缩钻杆长度不够时，可在内层杆下端另接钻杆，但必须进行强度校核。

②稳定液管理是钻斗施工能否成功的关键一环。为防止稳定液性质改变可采取以下一些措施：增加泥浆处理剂，如 CMC、硝基腐植酸钠等；防止砼、泥砂及多余水的混入。

③如遇硬土层，回次钻进速度过小，可先钻小孔，然后再扩孔。

④钻遇砂砾层，为易于加固孔壁和取出砂砾，可首先向孔内投入适量粘土球。下入孔内的钻斗，其底盘必须装阀门，以防提钻过程中砂砾从底部漏掉。

4. 常见事故及处理方法

(1)桩孔垂直度不够：

原因：钻机安装不稳；钻斗底侧刃有磨损。

处理方法：在软质地基上施工时，要垫坚固的木板；经常检查钻斗。

(2)孔壁坍塌：

原因：稳定液管理不善；钻斗升降过快；孔口套管没有穿入稳定地层。

处理方法：加强稳定液管理；在易坍地层中控制钻斗升降速度；重新研究孔口套管的长度并确定套管要插到地下水位下的不透水层0.5m以下。

(四)潜孔锤钻进成孔技术

1.概述

(1)简介：

压缩空气既作为循环介质又作为驱动孔底冲击器的能源而进行的冲击回转钻进，通称潜孔锤钻进。

(2)特点：

①钻进效率高：特别是在坚硬岩层中，它比回转钻进效率提高几倍甚至几十倍。

②钻头寿命长：一个直径220mm球齿钻头，在坚硬的花岗岩层钻进，总进尺达500m，在石灰岩中钻进，进尺可超过1000m。

③需要的钻压低：使用ϕ171mm的牙轮钻头在回转钻进中需要12t以上的钻压才能达到较好的钻进效果，而直径220mm的潜孔锤只需1.3～1.8t的钻压即可达到很好的钻进效果。由于钻压低，不仅改善了钻杆所受的扭矩，而且也改善了钻具的工作条件。

④有一定的防斜作用：由于进尺快和钻压小，潜孔锤钻进具有一定的防斜效应。

⑤钻孔直径大，孔底全面破碎，单位时间产生的岩粉量大，为保持孔底干净，免于重复破碎或埋钻，要求钻进方法应具有高的排屑能力。

⑥具有很好的嵌岩作用。

⑦功耗较大。

2.设备及机具

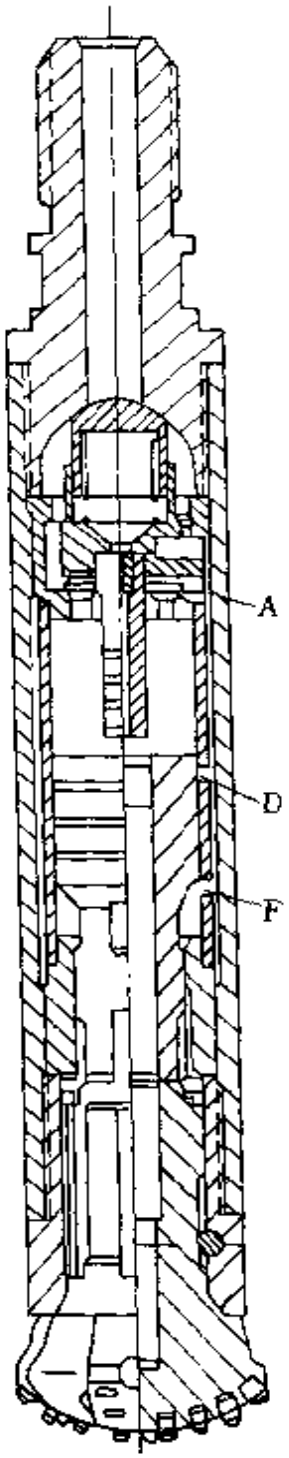


图 3-72　J-200 型
潜孔锤结构图

(1)潜孔锤钻具：

潜孔锤型式很多，根据配气装置的形式可分为有阀式和无阀式两大类。

①有阀式潜孔锤及其工作原理：

有阀潜孔锤在我国出现较早，类型也较多，适合于大口径的有 J-200 型(见图 3-72 所示)。

工作原理：

此类潜孔锤下入孔内后，当钻头未接触井底前，钻头吊挂在最下端，活塞也随钻头下行至下死点。此时 D 进气口被打开，开始送气后，压气推开止逆阀，进配气室 A，经气道至进气口 D，经后气室、活塞中心孔、钻头中心孔排出，整个钻具处于吹洗孔底状态。

在钻具下到井底后，钻头接触孔底，钻头尾部则沿花键上行至图 3-72 所示的位置。进气口 D 被堵，而进气孔 F 则被打开，压气进入活塞下方，于是就推动活塞上行，即开始工作。

②无阀式潜孔锤：

无阀式潜孔锤是利用布置在活塞和气缸壁上的配气系统控制活塞往复运动，即活塞运动时自动配气，它减少了配气装置，免去了因阀片磨损而失效的现象。这在潜孔锤设计中是一项大的改革。

工作原理：

如图 3-73 为 W-220 型潜孔锤，压缩空气由钻杆进入潜孔锤后，

止逆阀 4 被打开，压缩空气即进入潜孔锤的内腔沿内缸 8 与外缸 9 之间的环状间隙、经活塞的环腔进入下气室，推动活塞上行，如图 3-74(a)所示。

当活塞上行至下段活塞的 d 点封闭内缸下口 a 后，压缩空气即停止向下气室进气。这时活塞靠下气室内的压缩空气的膨胀，继续推动活塞上行，如图 3-74(b)所示。

当活塞的上段 b 点超过内缸的 c 点以后，由于活塞的中间环腔与内缸的上气室连通，压缩空气就进入气缸的上气室，此时活塞已接近上死点，靠惯性再向上移动一些很小距离，此时上气室集聚了很大的能量，如图

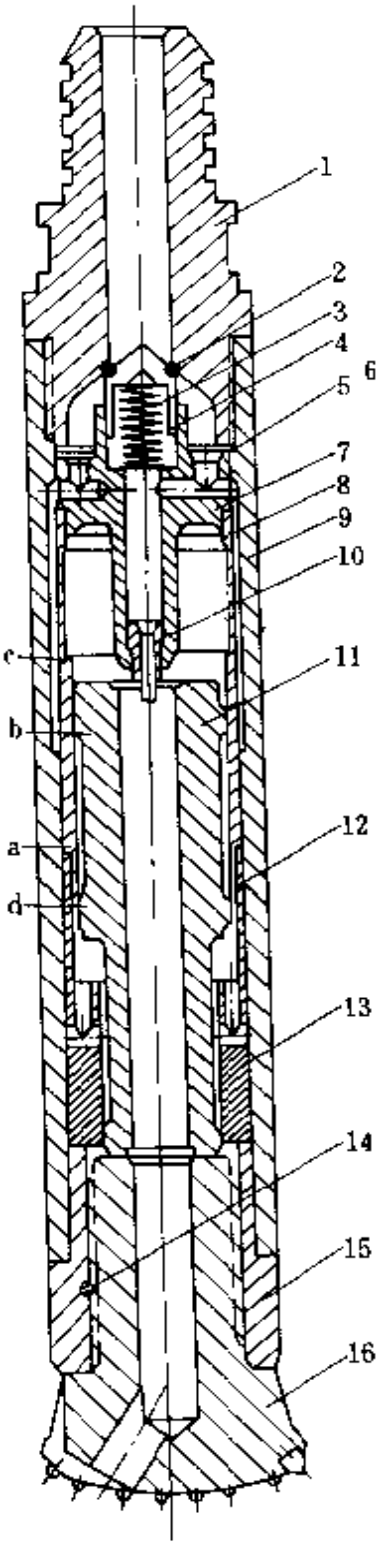


图 3-73　W-220 型潜孔锤

1—上接头；2—密封圈；3—弹簧；4—止逆塞；5—垫圈；6—密封垫圈；7—进气座；8—内缸；9—外缸；10—喷嘴；11—活塞；12—隔套；13—导向套；14—圆键；15—下接头；16—钻头

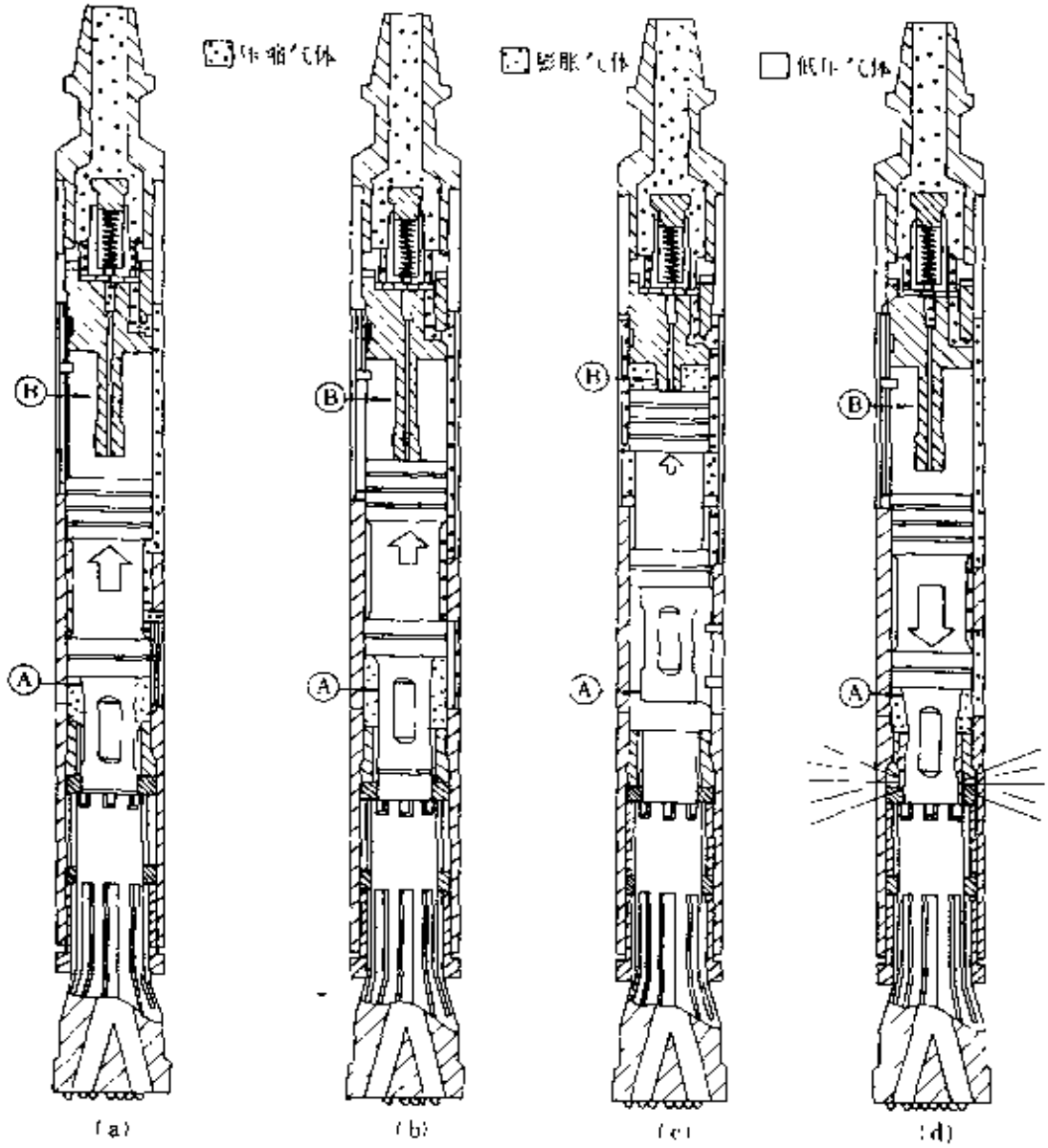


图 3-74　无阀潜孔锤工作原理图

3-74(c)所示。

当上气室的压缩空气能量足够大后，以很大的推力驱动活塞加速下行，将最大的冲击能量施加于钻头的尾部，如图 3-74(d)所示。

此时压缩空气又进入活塞下部，重复以上动作。

在止逆阀下部安有调节喷嘴，使一部分气流经引导杆进入孔底，协助清除岩粉。

图 3-75 所示为 FGC-15 型大口径风动潜孔锤钻具系统，它是由长春科技大学研制，上海探矿机械厂制造。

③国内潜孔锤类型：

表 3-33 为国产潜孔锤主要类型及性能。

表 3-33 国内气动潜孔锤主要性能表

技术特征 \ 类型	潜孔锤类型							
	ϕ200	T-170	C-150	金-80	ϕ-80	Y-200	J-200	C-230
全长(mm)	985	757	573	540	917	1115	1100	935
外径(mm)	185	152	137.5	73	72	178	180	180
质量(kg)	128	75	47	10	18.6	142	130	110
冲击功(kg·m)	30	18	10	3	5	28	34	37
冲击频率(次/min)	800～1000	1570	1250	1600	1500	1200	850	800～1000
耗气量(m^3/min)	17～20	15～18	11～13	3	3.1	17	17	18～21
排气方式	旁侧	旁侧	旁侧	旁侧	旁侧	中心	中心	中心
结构行程(mm)	114	89	100	76	116	88	120	115
活塞质量(kg)	13.5	6.5	4.4	0.99	1.24	17	14.9	16.5
阀行程(mm)	10	5.5	3.2	1.5	3	摆角 2×1°45′	10	18.5
钻头直径(mm)	214	170	150	80	80	205	210	220～230
钻头质量(kg)	29.7	13	—	—	2.35	35.85	30	12

④FC-312 型大直径捆绑式潜孔锤：

由几只潜孔锤固定在一起形成的钻具称为捆绑式潜孔锤，又称组合式或集束式潜孔锤。其组成部分及结构见图 3-76 所示。

该潜孔锤是由长春科技大学在研制多种单头潜孔锤基础上研究

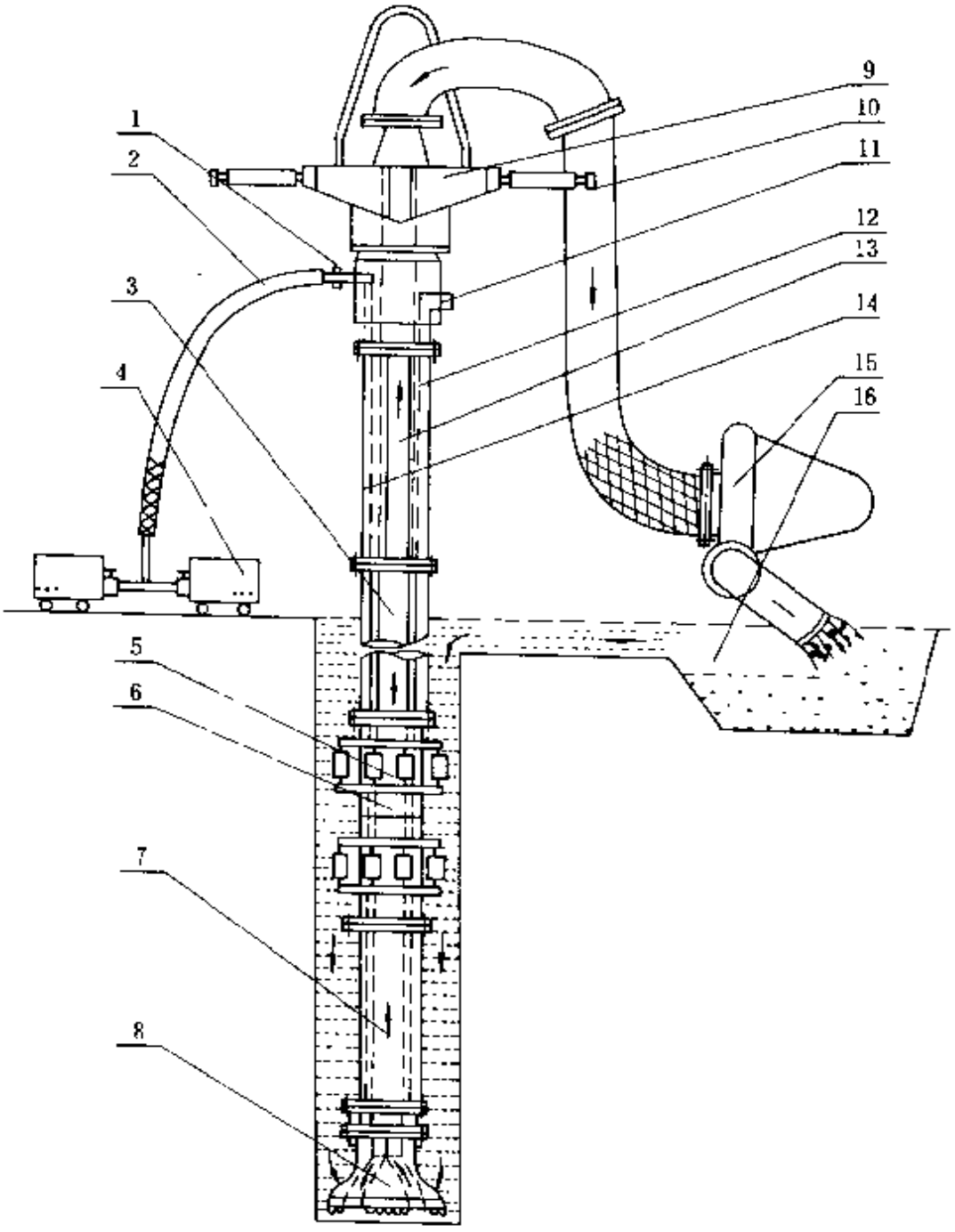


图 3-75　FGC-15 型潜孔锤钻具系统图

1—进气口；2—高压胶管；3—匹钻杆；4—空压机；5—导正器；6—加重块；7—潜孔锤；8—钻头；9—水龙头；10—胶管；11—排气口；12—排气通道；13—主动钻杆；14—进气通道；15—砂石泵；16—泥浆循环池

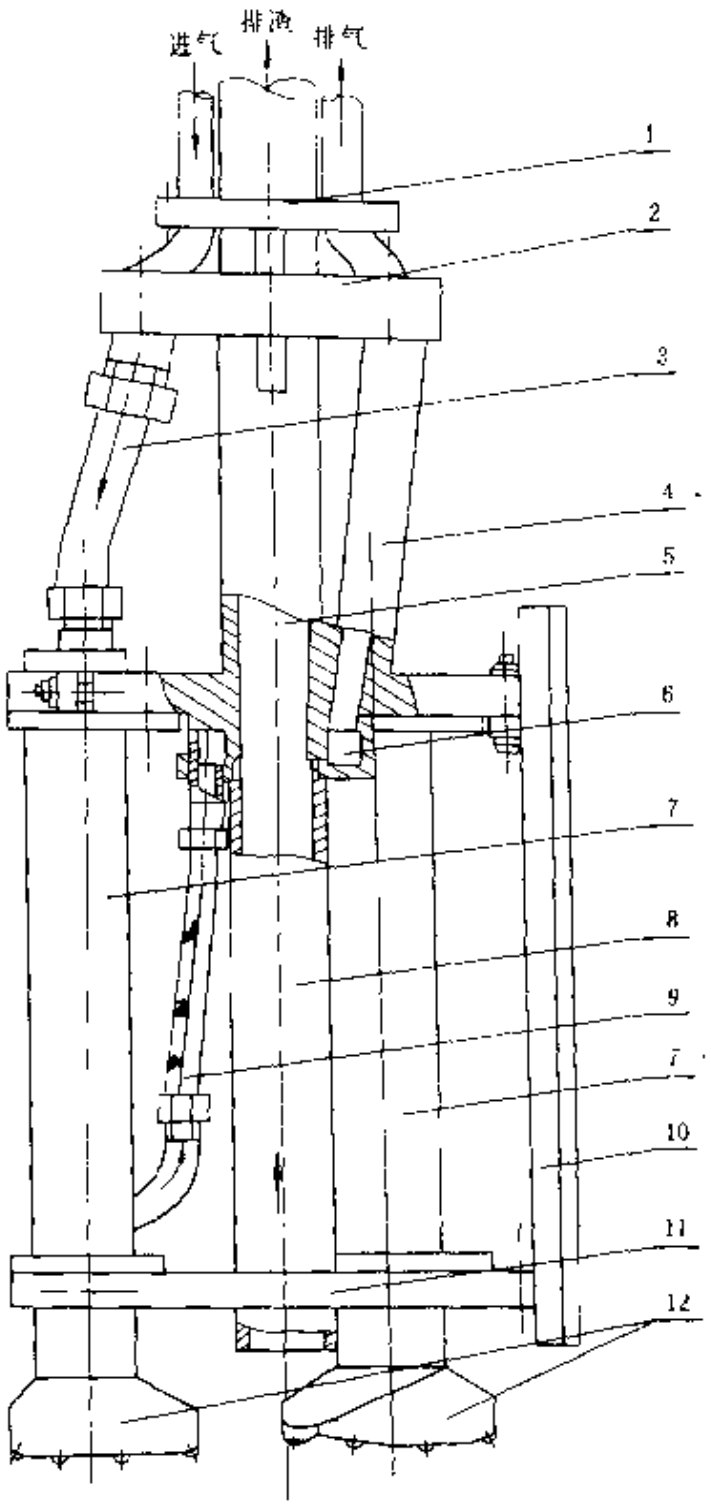


图 3-76　FC-312 型捆绑式潜孔锤

1—法兰盘；2—进风盒；3—进气管；4—排风管；5—上座体；6—排风盒；7—单头冲击器；8—中心排渣管；9—单头冲击器排气管；10—加重导板；11—下座板；12—冲击器钻头

设计的，由上海探矿机械厂加工制造。

a. FC-312 型捆绑式潜孔锤钻具系统及工作原理：

压缩空气由三通道钻杆左侧通道进入进风盒 2，再由单头冲击器进风管 3 进入冲击器驱动冲击器工作，排出的低压废气由单头冲击器排风管 9 排至排风盒 6、再经总排风管 4 及三通道右侧道排至地面。三只单头冲击器钻头破碎的岩屑，由砂石泵通过循环介质，经中心排屑管 8，抽吸到地表，由循环槽沉淀后，干净的冲洗液介质再流入孔内，可保护和支撑孔壁。同样该冲击器压风管路系统与排渣管路系统也是完全分开的，这样有利于用低压空压机及钻进深孔。

b. FC-312 型捆绑式潜孔锤特点：

i. 捆绑式潜孔锤由于是几只较小直径潜孔锤组合而成的，因而潜孔冲击器加工、装配、维修方便、易于更换零件。

ii. 潜孔锤钻头为独立式，加工容易、更换方便。

iii. 潜孔锤本身质量大、导正性能好。

iv. 潜孔锤虽由几只单头潜孔锤组成，但与国外同类潜孔锤相比，耗风量小，工作风压低，适合我国国情。

c. FC-312 型捆绑式潜孔锤技术性能参数：

钻孔直径	1200～1600mm
捆绑的潜孔锤数量	3 个
单头潜孔锤冲击能	1394～2374J
总冲击能	4182～7122J
单头潜孔锤冲击频率	11～13Hz
总耗风量	36～60m³/min
工作风压	0.5～0.7MPa
总质量	4500kg

⑤潜孔锤配套设备：

钻机可选用上海探矿机械厂生产的 GPS-15 型反循环钻机，其它反循环钻机也可以选择配用。

空压机可选用VHP-700(即风量20m³/min,出口风压为1.2MPa),17m³/min或普通低压W-9/7,10/12空压机几台并联使用也可。

潜孔锤上部的钻具包括:三通道导正加重器、三通道钻杆、主动钻杆及气水龙头。

用大直径气动贯通式潜孔锤破碎岩石,反循环方式进行排渣,需要时可实现反循环连续取芯钻进,遇到软层、易塌地层还可用泥浆循环护壁。采用并列式三通道钻具目的可实现压气闭路循环,这样可降低供风风压。即利用现有钻探设备及低压空压机,解决大直径硬质基岩或卵砾石层钻进难题。

⑥潜孔锤钻进所使用的钻头:

潜孔锤钻头的种类较多,从破碎岩石的硬质合金形状可分为刀片刃钻头和柱齿钻头。前者用于一般软地层,后者用于硬地层。

3.钻进工艺

(1)风压:潜孔锤的冲击频率和冲击功都与风压有关,见图3-77所示。

从潜孔锤工作要求来看,工作风压要大于上、下配气室的压差时,潜孔锤的活塞才能作上下往复运动。这种正常工作所需压力的大小,取决于潜孔锤本身结构设计。目前,国内生产的潜孔锤有两种:低压潜孔锤,所需风压是0.5～0.7MPa;高压潜孔锤,所需的风压为0.8～1.1MPa。

在使用潜孔锤钻进时,除去潜孔锤正常工作所需的风压外,还要加上随着钻孔的深度增加而带来的沿程压降及克服水位以下的水柱压力。

国外常用的潜孔锤钻进风压为0.5～1.4MPa。

表3-34所列为不同风压下的冲击频率和冲击功等值。

(2)风量:潜孔锤钻进所需的风量与钻孔内环状断面有关,对于潜孔锤本身也有一定的额定风量才能正常工作。如我国生产的

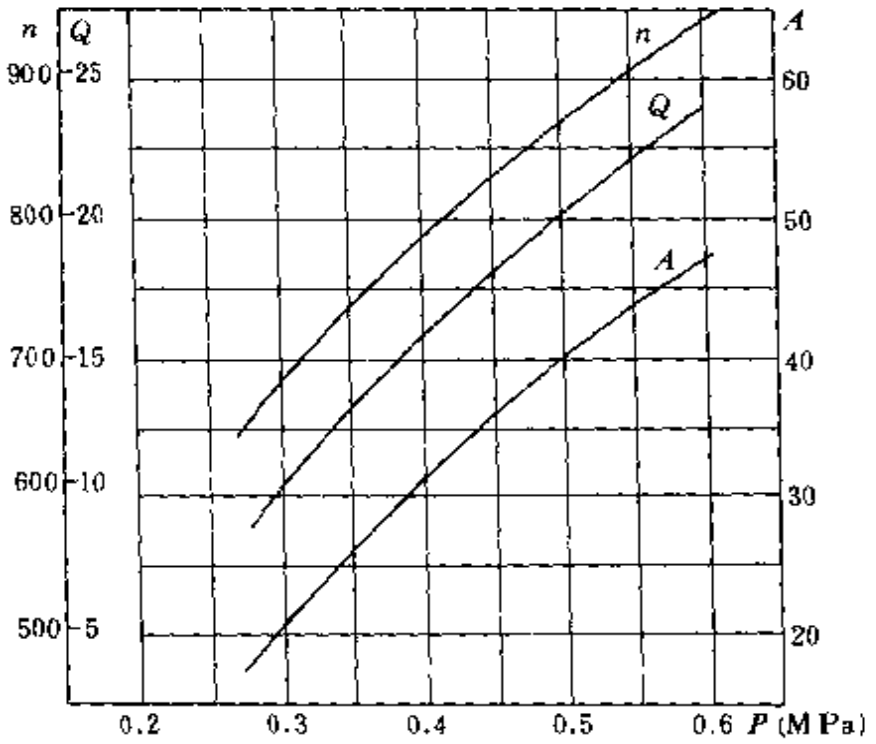


图 3-77　潜孔锤与风压关系图

A－单次冲击功，kg·m；n－冲击频率，次/min；Q－耗气量，m^3/min

表 3-34　不同风压下的冲击频率和冲击功等值

项目 \ 工作风压(MPa)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
冲击频率(次/min)	690	780	863	930	990
冲击速度(m/s)	4.1	5.0	5.8	6.5	7.1
冲击功(kg·m)	19	28	38	47	56
耗风量(m^3/min)				18～21	

W-200 型潜孔锤，其额定风量为 10～20m^3/min，国外一般潜孔锤的额定风量为 6～15m^3/min。从国内试验来看，当井内上返风速大于

15m/s 时，潜孔锤能发挥很好的效果，而小于 10m/s 时，孔内岩屑较多，影响钻进效率。因此，潜孔锤钻进时所需的风量应使其上返速度在 15m/s 以上。

(3)冲击频率：对于一种设计优良的潜孔锤，当达到其额定风量和额定风压时，都能达到其额定冲击频率。一般潜孔锤的额定冲击频率在 600～1000 次/min。

(4)钻压：潜孔锤钻进时的钻压，对某一直径的潜孔锤来说有一个合理范围。当钻压过大，不仅不会增加钻进速度，反而会加速钻头的磨损。国产潜孔锤钻压在 13～16kN 时钻进效率最佳，国外使用 100～300mm 直径的潜孔锤，钻压在 10～18kN。

(5)转数：由于潜孔锤碎岩呈块状，故转数不要求太高，一般为 18～31r/min，也可按下式计算：

$$A=n\frac{360}{f} \tag{3-14}$$

式中：A——最优转角，°，一般取 11°；n——钻具转数，r/min；f——冲击频率，次/min。

4.操作方法及注意事项

(1)操作方法：

①冲击器下孔前应连接高压管路系统作地面供气试验，检查冲击器工作状态，如发现有故障应及时排除。

②冲击器下钻前还应检查钻头磨损，如发现磨损严重，应及时进行修磨。

③空压机在可能条件下尽量离孔口近一些。

④加接钻杆时，要注意安全，挂好提引器，操作升降机人员与井口工作人员要配合好，保证工作可靠。还应仔细清理法兰盘及压风管接头，尤其要保证进气管路干净，另外还要检查各密封圈是否完好无损，并在配合表面涂抹黄油后对接插入。

⑤法兰盘连接螺栓应拧紧，并串入销钉固定，防止松动，保证钻

杆连接的密封性与可靠性。

⑥冲击器工作时应及时在进气管路上注入适量润滑油，或每次下钻加接钻杆时注入 0.5～1kg 润滑油，以润滑各运动表面。

(2)操作注意事项：

①钻头下至距离孔底 1.0～1.5m，应慢速回转钻具，并开动砂石泵排渣，等钻头到达孔底后，再缓慢送气驱动潜孔锤。

②根据孔径及地层情况，正确选择转速、钻压及风量风压等技术参数，钻头直径 0.8～1.2m 时，理想转数为 5～8r/min，钻压为 30～50kN，风量为 20～40m³/min，风压为 0.8～1.2MPa。

③操作人员应密切注意进尺情况，随时测量机上余尺，并随时注意排气管出口处排气情况及孔内冲击器工作状态，还应该注意钻机各部运转以及送气管、排气管、排渣工作情况。

④空压机操作人员应与钻机操作人员互相配合好，如有异常情况应及时停钻检查。

⑤潜孔锤下到孔底，因气路内渗入液体而送气不能冲击时，可将钻具稍提离孔底轻墩，通常可恢复正常工作；若尚不冲击时，可反接气水龙头的进气管反吹，可排除气室内杂物使潜孔锤恢复正常。

⑥钻进中应随时观察孔口反循环液流情况，若突然发现井口液面涌出大量气泡，查明气路发生泄漏，应立即停钻并提钻仔细检查。

⑦提升钻具前，应停钻专门开砂石泵反循环排渣，待孔底岩屑排除干净后，再提升钻具。

5. 事故处理

(1)孔内涌水：

①小涌水，水量为 0.5m³/h 以内。钻孔内出现小涌水时，返出地表的岩屑减少，空压机的压力缓慢上升，岩屑结成团块、孔内回转阻力增大。此时，易发生糊钻、钻孔堵塞、卡钻和缩径等事故。在遇小涌水时，通常可将潜孔锤提离孔底，以强风吹及时把孔内积水吹出来，然后继续钻进。涌水量很少时，为避免糊钻，可向孔内加入少量清水

(15～50L)，或在气流中注入少许泡沫剂，若为含粘土质矿物的岩层，还可加入少量柴油或原油(1～15L)，必要时，也可采用硅胶干燥处理或硬脂酸盐增水处理。

②中等涌水，水量为 0.5～8m³/h。钻孔内出现中等涌水时，岩屑难于上返，或有少量岩屑呈稀糊状返出地表，空压机压力显著增加、钻进速度下降，有较多的水随气流返出地面。一般处理方法有：加大风量(加大 1/2)强吹；或周期性地将潜孔锤提离孔底强力排水；或将适量的泡沫剂注入主气路，当泡沫剂在孔内遇水形成泡沫时，维持钻进；改用双壁钻杆气举法钻进；在必要时，可用堵漏材料堵塞涌水裂隙。

③大涌水，水量在 8m³/h 以上。钻孔出现大涌水时，空压机压力剧增，气流循环中断，空压机突然停止供气，潜孔锤不工作，停止钻进。可能处理的方法有：泡沫处理法；改用双壁钻杆加喷反接头气举，设法封隔涌水地层；在必要时，改用其它方法钻进。

(2)钻具事故处理：

①卡钻事故处理：在出现卡钻事故时，钻具可暂时停止回转(在孔斜严重时除外)，潜孔锤继续冲击工作，并同时提动钻具，尽可能用潜孔锤的振动解除卡钻。提动钻具时，以最低速试回转，试回转正常后，则继续钻进，卡钻事故严重时，在未采取其它措施前，始终要维持不断送风，防止停风后埋钻，即使在发生埋钻的情况下，只要尚有可能送风就不要停风。也可以另选一潜孔锤，将钻头卸下，换上一个带有钻尾的特殊钻杆接头，在孔口处与钻杆柱相接，借助于这一潜孔锤的冲击振动，解除卡钻事故。

②潜孔锤故障处理：当孔内潜孔锤发生故障，动作停止时，应立即反复提动钻具启动之，若判定潜孔锤或其钻头卡塞严重、或部件损坏，即应提钻检查、排除故障。

③钻头事故处理：发现钻头有碎齿或落齿现象，应清理孔底，更换钻头继续钻进。

（五）扩底桩孔施工技术

1.概述

（1）钻进原理：

所谓扩底桩孔施工就是首先采用正常的钻进方法钻出一个具有一定深度的圆孔，然后在孔底采用专门扩底钻头，把近孔底部分扩大，形成一个上部是直圆柱，下部是扩大的锥体的扩底桩孔。

在桩基设计中，为了增大单桩承载力，采用扩底桩是一种既经济而又有效的方法。

（2）扩底桩孔施工的特点：

①只有在稳定地层，才能进行扩底；

②可以进行单节扩底和多节扩底；

③必须使用专门的扩底钻头；

④由于采用扩底法，一般钻孔深度较浅；

⑤扩底操作工艺较复杂。

（3）适用范围：

①地层：坚硬、硬塑、可塑、软塑状态的粘性土以及密实、中密、稍密的砂土地基。

②我国使用的扩底钻头扩底最大直径达 2.8m。

2.设备和机具

（1）钻机：

扩底钻进法依附于前述的回转钻进施工方法，故其使用的设备基本相同，但反循环等技术也可扩底。

（2）扩底钻头：

目前国内外扩底钻头的类型较多，可见表 3-35。按扩底钻头扩刀的开闭驱动力，可归纳为自重式、油压式和水压式三大类。

①自重式：这类扩底钻头靠钻具重量下压，使扩刀撑开并由钻具带动回转进行扩底（如图 3-78 所示为 KDJ-1500 型扩底钻头）。

钻头结构：该扩底钻头主要由导向轴套、导向轴、上盘、下盘、限

表 3-35　国内扩底钻头

扩底钻头名称	CK86-1 大口径变径扩底钻头	YGK 扩底钻头	YKD 油压扩底钻头	铰链式扩底钻头	KDJ-1500 扩底钻头	四翼滑降扩底钻头	上提式扩底钻头
设计单位	煤炭部光华基础工程公司	冶金部探矿工艺研究所	地矿部勘探技术研究所	湖南地质建筑基础工程公司	陕西第二水文队	江西 195 煤田地质勘探队	国家机械委第三勘察设计院
排渣方式	正循环	正、反循环	正、反循环	正循环	正循环	反循环	正循环
扩底率$(D/d)^2$	≤2.25	≤3.24	≤4.00	≤1.96	≤2.25	≤1.67	≤4
扩底方式	下开式(机械)	下开式(机械)	下开式(油压)	上开式(机械)	上开式(机械)	下开式(机械)	下开式(机械)
实现扩底方法	控制钻杆到位	控制钻杆到位	液压缸	控制钻杆到位	控制钻杆到位	控制钻杆到位	控制钻杆到位
适用地层	四级以下岩层	塑性、半塑性软地层	土层、砂层、泥质页岩	软岩	软岩	2～3 级以下地层	软层
扩底最大直径(mm)	1800	2800	2600	1400	1500	2500	2000
备注		已形成系列	成孔＋扩底				成孔＋扩底

注：D— 扩大头直径；d —基桩孔直径。

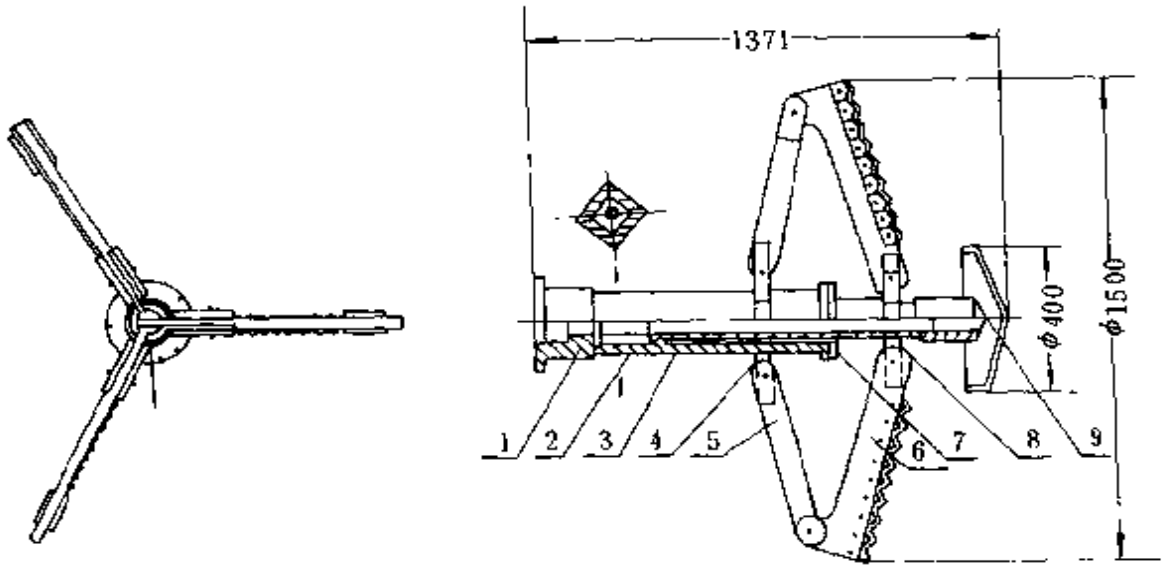


图 3-78　KDJ-1500 型扩底钻头
1　法兰盘；2　导向套；3　导向轴；4　上盘；
5—连杆；6　扩底翼板；7　限位板；8　下盘；9　前导钻头

位盘、连杆、翼片、销轴、前导钻头等组成。

工作原理：该钻头是通过导向轴套沿导向轴上下移动，带动连杆和翼片实现钻头的撑开和收拢。这类钻头结构简单，操作方便，在国内普遍使用。但扩孔翼板易张开遇阻不易收拢，且超径较大。

②油压式：图 3-79 为油压式扩底钻头，靠油压千斤顶的伸长或缩短，实现扩大翼撑开和收拢。这类钻头精度高，可施工多节扩底桩孔。但结构复杂，加工困难，成本高。

③水压式：利用冲孔的冲洗液动压力驱动扩刀开闭，如图 3-80 所示。扩孔钻具靠冲洗液压力，推动活塞下移实现扩刀撑开。扩孔完毕后靠弹簧收拢扩刀。

①反循环油压扩底钻头（见图 3-81 所示）；油压三翼扩底钻头（见图 3-82 所示）。

3. 扩底方法

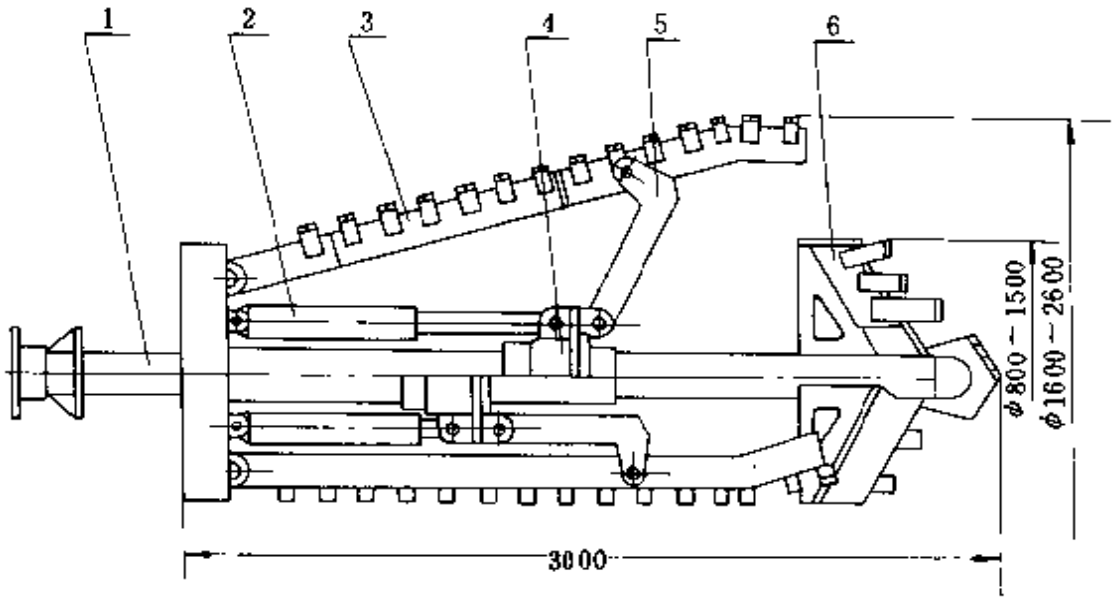


图 3-79　YKD 液压扩底钻头

1　中心管；2　液压缸；3－扩底翼板；4－连接支座；5－连杆；6　基孔钻头

(1)人工挖掘：该方法适用于桩径大于 800mm 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措施。

(2)爆扩法：该方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；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，以通过试验来检验让桩孔扩大头尺寸是否符合设计要求。其用炸药量可按表 3-36 选用，并在施工时，按试验孔取得的资料进行调整。

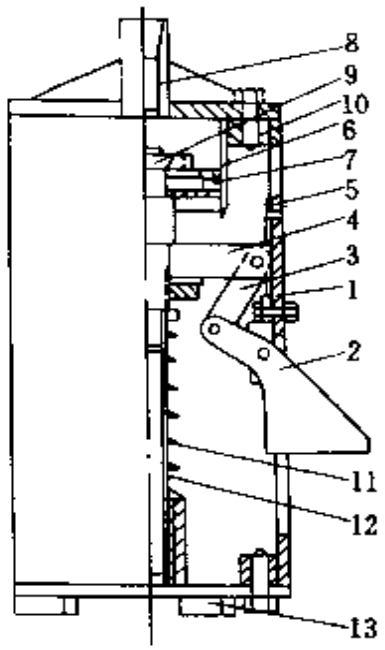


图 3-80　DYK-800 型扩底钻头

1—外壳；2—扩刀；3—连杆；4—支架；5—导轨；6—活塞；7—O 型圈；8—接手；9—心轴；10—泄水孔；11—弹簧；12—导管；13—锯齿

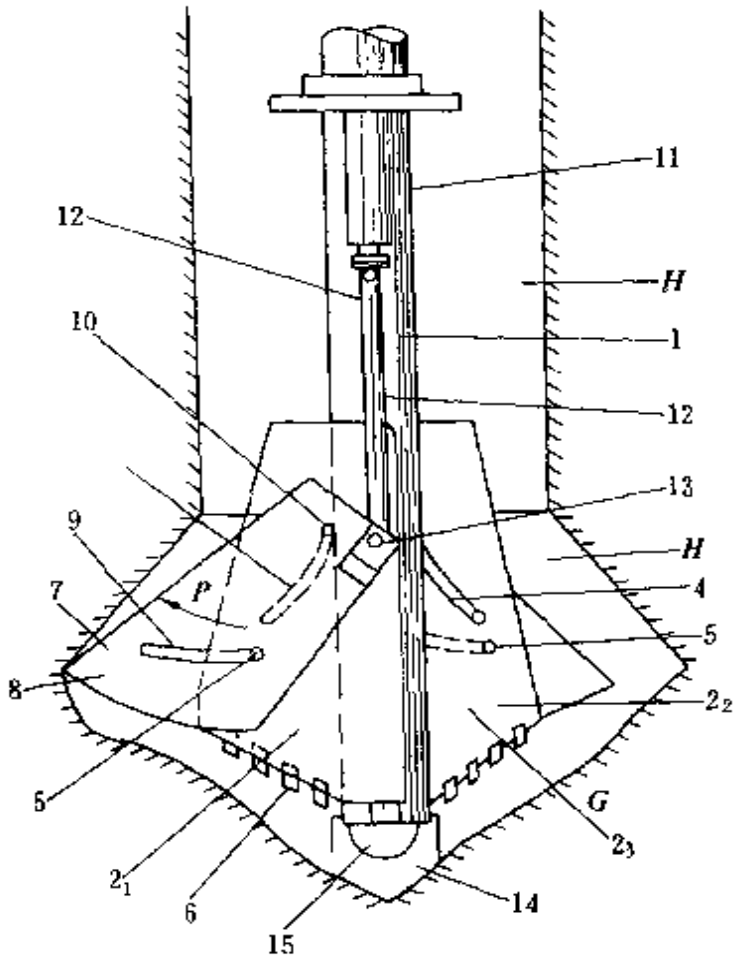


图 3-81　反循环油压扩底钻头

1—芯管，2_1，2_2，2_3—三个呈放射状固定在芯管周围的钻头主翼；4　导向槽；5—导向销；6—切削刃；7—扩大翼；9—导向槽；10—导向销；11—油压千斤顶；12—活塞杆；13—销轴；14—切削刃；15—排渣口

爆扩药包做成近球形，一般用两个雷管引爆，药包和雷管应放置在桩底面中心，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。

(3)钻扩桩孔。

4. 钻扩桩钻进工艺及操作要领

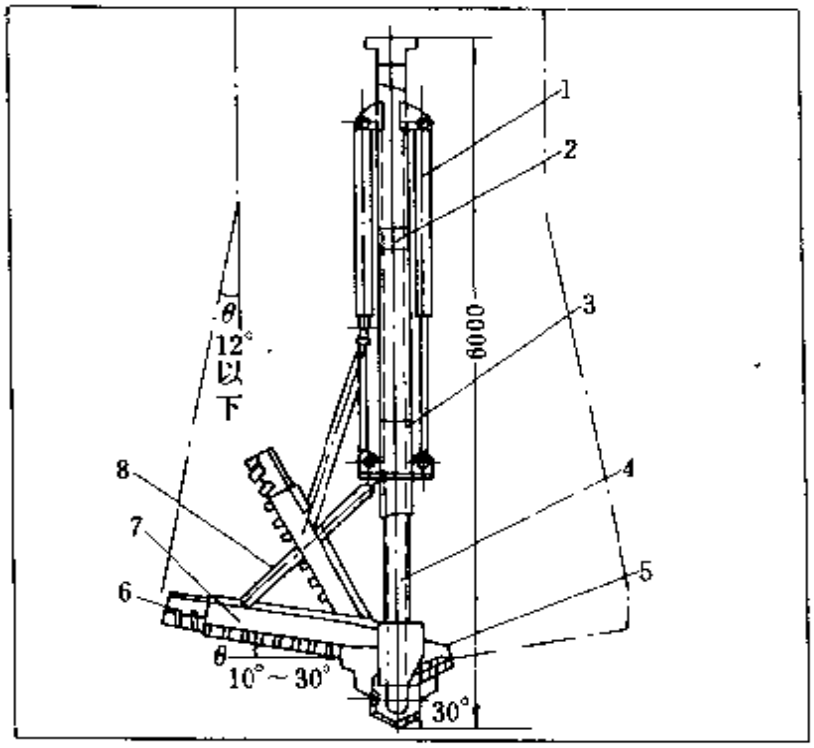


图 3-82　油压三翼扩底钻头

1-开闭油缸；2-行程检测器；3　滑块；4　扩底钻头本体；5—固定钻头；6-端部钻头；7　钻头安装翼；8-撑杆

表 3-36　爆扩用炸药量

扩大头直径(m)	使用炸药量(kg)
0.6	0.30～0.45
0.7	0.45～0.60
0.8	0.60～0.75
0.9	0.75～0.90
1.0	0.90～1.10
1.1	1.10～1.30
1.2	1.30～1.50

(1)钻进工艺参数：

①钻压：根据钻头直径一般在 12～25kN；

②转速：一般取 13～23r/min；

③泵量：一般为 120m³/h 左右。

(2)操作要领：

①钻孔成孔应遵守回转成孔施工方法的有关规定；

②下扩底钻头前应先检查扩底钻头翼板张开关闭是否灵活；

③扩底钻头下入孔底后，应保持空转不进尺，逐渐撑开扩刀，切土扩底；

④扩底时要控制钻进速度，不宜过快，以防孔塌；

⑤扩底完毕后，应继续空转几圈，并适当提高泥浆的粘度和密度，确保扩底孔及孔壁的稳定；

⑥钻孔扩底完毕，应清除孔底虚土或沉渣。

(六)人工挖孔桩成孔技术

1. 概述

挖孔桩通常指采用人工进行挖掘成孔，配以简易的施工机具，将孔挖到设计要求的持力层(大多是硬土层或岩层)，孔底部分根据设计要求还可扩大，经过清孔和吊置钢筋笼后在孔内灌注混凝土而成高承载力的大直径桩。

此类桩不仅直径大(φ1000～3500mm)，而且使桩穿越较厚的软土层或中等强度的沉积粘土层，直接伸展到下部硬土层或岩层，底部直径可扩大到桩径的 1.5 倍，使桩作为端承构件，不仅沉降量很小，还能获得极大的单桩垂直承载力。岩桩支承于硬土层中时，其承载力可达 3000～4000t，若桩支承于岩石中并扩底后，其承载力可达 6000～7000t，当然，在不同地区和不同持力层，其承载力也随之而变。挖孔桩的成功应用，使超高层建筑有了可靠的基础支承。近几年我国许多高层建筑基础都选用了挖孔桩基。例如深圳市 53 层的国际贸易中心大厦，41 层的深圳发展中心大厦，建筑高度达 160m，都是选用了挖孔桩，桩径最大达 3.1m；福建厦门的中闽大厦人工挖孔桩最深约 60m。

随着工业技术的进步，国外对挖孔桩的施工方法，已较少采用人工挖掘，大多以机械方式掘削成孔并扩孔，从而大大提高了生产效率，也避免了人工挖掘时易发生的安全事故。

2. 人工挖孔桩设计

(1)人工挖孔桩应用场所：

人工挖孔桩一般仅在下列情况下考虑采用：

①建筑场地不宜进行机械化施工时；

②其它桩型不能满足设计要求时；

③使用人工挖孔桩工程造价明显优于其它桩型时。

采用人工挖孔桩还应根据建筑场地的工程地质条件而定。人工挖孔桩一般只适用于粘性土、人工填土、无流动性淤泥质土以及中等密实以上的砂土。对于有流砂、涌水、涌泥，存在有害气体以及厚度大于 1m 的淤泥层，在没有可靠的技术和安全措施的情况下，不应采用人工挖孔桩。

(2)人工挖孔桩的桩身构造：见图 3-83。

①人工挖孔桩的桩长与桩径：

人工挖孔桩的桩长一般不宜超过25m，过长就不易施工。考虑到人员操作方便，桩径也不宜过小。根据经验：当桩长 $l \leqslant 8m$ 时，桩身直径(不含护壁)不应小于

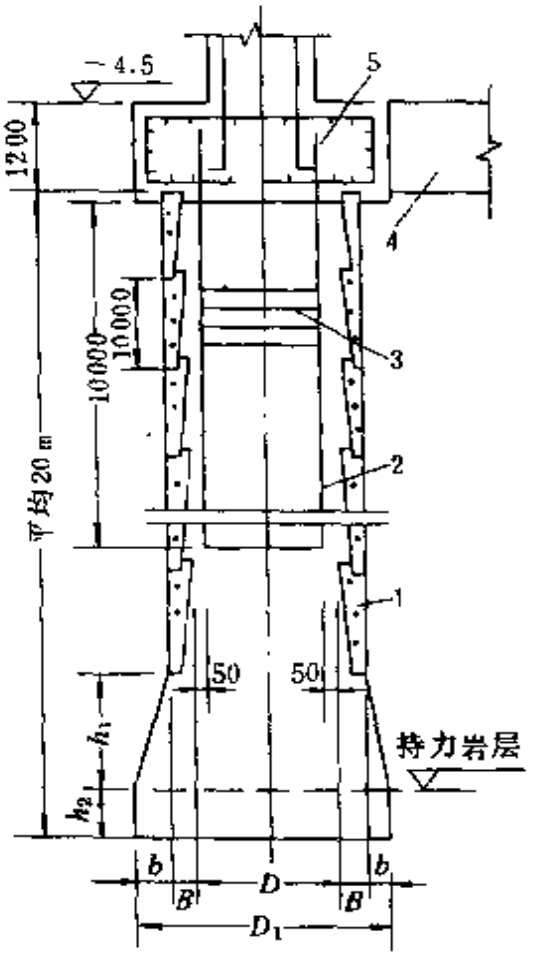


图 3-83 人工挖孔桩构造图
1—护壁；2—主筋；3—箍筋；
4—地梁；5—桩帽

0.8m；当桩长为 8m＜l≤15m 时，桩身直径不应小于 1.0m；当桩长为 15m＜l≤20m 时，桩身直径不应小于 1.2m；当桩长大于 20m 时，桩径应适当加大。

人工挖孔桩的桩端扩大头直径 D_1 不宜大于 2 倍桩芯直径 D，加宽部分的宽度 b 与高度 h_1 之比，视地质条件而定。当在岩层内扩孔时，b/h_1 不宜大于 1/2；当在土层内扩孔时，不宜大于 1/4。加宽部分的直壁高度 h_2 宜为 300～500mm。加宽部分总高度（h_1+h_2）大于 1000mm。

②人工挖孔的护壁形式：

除极少数地层情况特别好，孔深不大的孔可不采取护壁措施外，一般都应采取护壁措施。

根据护壁材料不同，主要有混凝土护壁、红砖护壁和钢套管护壁三种形式。混凝土护壁按护壁的形状又有锯齿状护壁和平直状护壁。红砖护壁一般设计成锯齿状。

人工挖孔桩的混凝土护壁应分段浇灌。对于一般的土层，每挖孔深不超过 1.0m；对于松软的土层，每挖孔深不超过 0.5m，即应浇灌一段护壁。对特殊的地质情况，应视护壁的安全情况来确定每段护壁的浇灌深度。护壁厚度一般为 100～150mm，也可按下式计算确定：

$$B=\frac{D}{10}+50 \qquad (3\text{-}15)$$

式中：D ——桩身直径，mm；B——混凝土护壁厚度，mm。

③桩间距及混凝土强度等级：

人工挖孔桩的最小中心距一般不少于 2.5d，且不小于 4.5m。当采用跳挖办法进行施工时，桩距可小于 2.5d，但桩的净距（包护壁）应不小于 1m。

人工挖孔桩护壁的混凝土强度等级不宜小于 C15。

3. 人工挖孔桩施工

(1)施工设备：

①挖掘工具；

②出土工具；

③降水工具；

④照明工具；

⑤通风工具；

⑥混凝土护壁模板。

(2)施工工艺：

①工艺流程：见图 3-84。

②施工工艺及注意事项：

a. 施工前应充分了解现场工程水文地质资料及施工区域内的地下管线设施，以便采取必要的技术措施。

b. 在可能产生流砂现象时，应采用合适的降水措施，使地下水位降低在桩孔底下 50cm 左右。

c. 挖孔施工一般是挖深一节就灌注混凝土护圈一节，每节高度一般为 50～90cm，厚 15～20cm，要视土质、桩径及桩深而定。为加强护圈的稳定性，在节与节之间插以直钢筋，以提高整体性，这在土质较差时，有重要的作用。

d. 混凝土护圈的施工，应在挖出一定孔深后，当天支模并浇注混凝土。当土质较好时环向钢筋一般可不放，这有利于混凝土的灌注，但最终应由设计计算确定。

e. 孔内挖土时，应有照明和通风设施。照明应采用 12V 低压防水灯。通风的送风量一般应不小于 25L/s，送风管可用塑料薄膜制成，直径不小于 10cm，经常检查，看它是否被穿破漏风，有漏即补。出风管口距操作人员应不大于 2m。

f. 挖孔至岩层时，应立即钻探 4.5m 深，取样检验，确保桩底按设计要求准确座落于微风化岩层中。

g. 对无流砂威胁但孔内有地下水渗出时，应在孔内设桩，用潜水泵予以抽排。

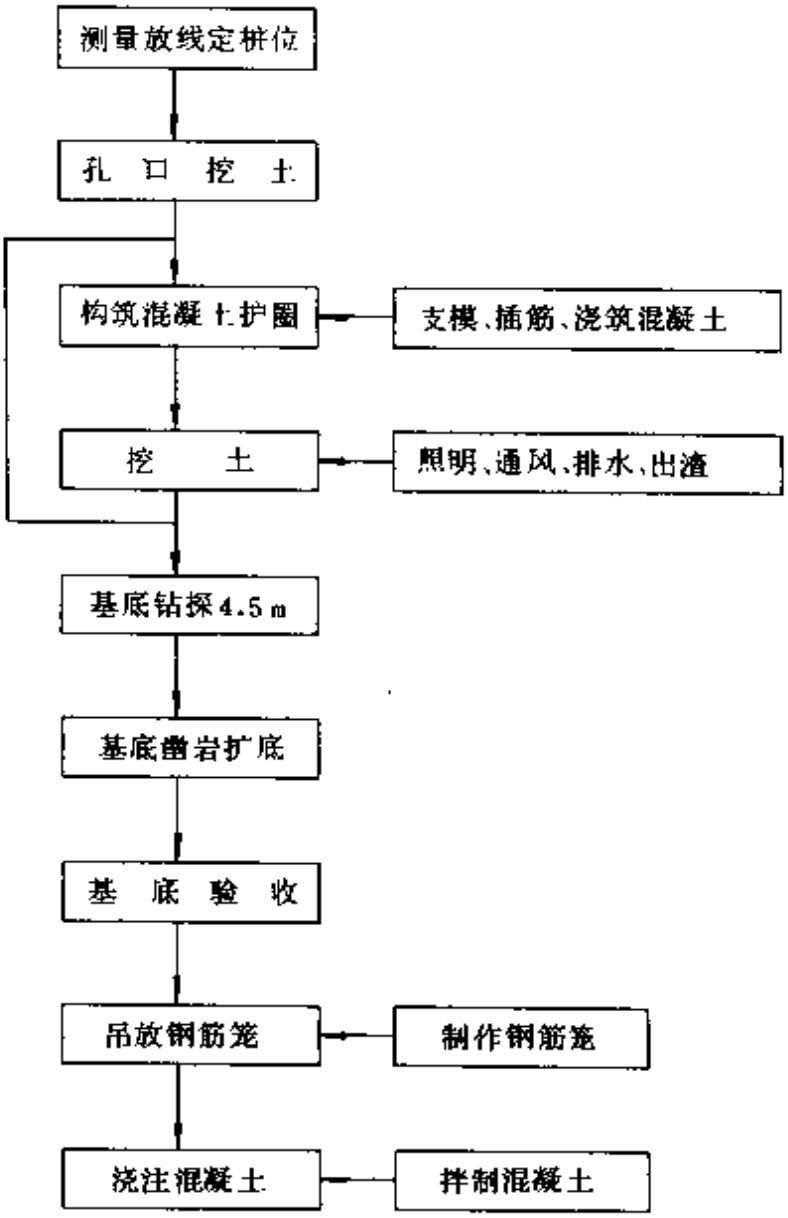


图 3-84 挖孔桩常用的工艺程序

h. 有扩底要求的挖孔桩，应按设计要求的尺寸进行凿岩扩底，清除碎岩杂物后，及时验收，然后吊置钢筋笼，尽快浇注混凝土。

i. 当孔底积水小于 10cm 时，可采用常规混凝土浇注方法，但应采用串筒，串筒下口距浇注面不得大于 3m，并应振捣使其密实，尤其是上部 5m 范围内，必须认真振捣，确保其密实性。

j. 当孔底积水大于 10cm 且难以抽排疏干时，应采用水下混凝土的导管法进行混凝土灌注，并严格按照水下混凝土的施工操作规程进行。

k. 当拟采用钢套管护壁阻挡流泥、流砂时，应选用合适的桩锤及套管帽，将钢套管像打钢管桩那样打入，直至进入强风化层或硬土层，然后在管内挖土、出土，直至钢管套下端，并按设计要求进行扩底开挖，清底后吊置钢筋笼，边灌注混凝土边拔出钢套管。拔钢套管宜采用能量相宜的振动锤。

4. 常见质量问题及处理方法

人工挖孔桩施工中常见的质量问题及其处理方法见表 3-37。

第四节　灌注桩成桩工艺

一、清孔

(一)概述

孔底沉渣是指钻孔时钻凿出来的松散岩土钻渣，未被冲洗液携带至地表，而沉淀于孔底的物质。当桩基孔钻凿到设计深度之后，于混凝土灌注之前，要清除残存于孔底的沉淀物，通常称这种清除孔底沉渣的全过程称为"清孔"。

(二)清孔的目的与标准

(1)清除孔底沉渣，提高桩端承载力。

(2)清除孔壁泥皮，提高桩身摩阻力。

(3)减小孔内泥浆相对密度，便于导管法灌注水下混凝土。

(4)GBJ202—83 规定：孔壁土质较好、用原土造浆的钻孔，清孔

表 3-37　挖孔桩施工中常见的质量问题及其处理方法

序号	常见质量问题	产生原因	处理方法
1	涌砂、涌泥	1. 地下水位高，土层中夹有粉细砂或淤泥质土层 2. 缺少行之有效的护壁阻挡措施	1. 人工降低地下水位，尽可能降到设计桩底标高以下 2. 沉设钢套管，以阻挡流砂、流泥
2	沉渣过厚（大于 10cm）	1. 地下水位高，降低水位不够，致使清孔后地下水渗入时夹带泥、砂 2. 吊置钢筋笼和串筒时，碰撞孔壁，使孔底泥、砂增厚 3. 吊置钢筋笼和串筒后，搁置时间过长，使孔底积土增加 4. 孔口处堆土未及时运走，落入孔中	1. 降低地下水位到足够深度 2. 混凝土浇注前，再次清孔 3. 应及时浇注混凝土 4. 孔口不可堆土，土碴应及时运弃
3	桩端基岩有夹层	基岩地层较复杂，在不厚的微风化基岩下面有破碎带或夹有中风化岩层	在拟终孔时，用 ϕ2～3cm 直径的钻头向下钻进 4～5m，如钻进速度较均匀，则可判定合格，如发现有软弱夹层，应再向下挖至设计要求的岩层，并用钻孔，深度仍为 4～5m，进行测定，直至符合设计要求
4	桩身混凝土质量不佳	1. 浇注混凝土时未用串筒，或串筒下口距浇注面大于 3m，造成混凝土离析 2. 孔内有地下水渗出，而浇注混凝土时又不连续，不仅每次量少，而且间隔时间长 3. 混凝土配合比不当 4. 振捣不良	1. 浇注混凝土时必须采用串筒，筒下口距离浇注面不大于 2m 2. 混凝土搅拌站要有足够的生产能力，并连续快速浇灌 3. 孔底积水尽量抽排干净，或孔外降水使孔底疏干。当孔内积水过多，须用水下混凝土导管法施工 4. 保证混凝土的配合比符合设计要求 5. 保证混凝土的振捣、振点不可疏漏
5	桩孔歪斜	1. 成孔时，未严格控制垂直度 2. 孔成后，迟迟未浇注混凝土，孔壁变形	1. 成孔时，严格控制桩位及垂直度；发现歪斜，应及时修正 2. 孔成后，应及时检验，并及时灌注混凝土

后泥浆相对密度应控制在 1.1 左右；孔壁土质较差时，清孔后的泥浆相对密度应控制在 1.15～1.25；灌注混凝土前，对于以摩阻力为主的桩，孔底沉渣厚度不得大于 300mm；对于以端承力为主的桩，孔底沉渣厚度不得大于 100mm。

(5)JTJ041—89 规定：清孔后泥浆的相对密度为 1.05～1.2，粘度为 17～20s，含砂率＜4%；孔内沉渣厚度摩擦桩不大于 0.4～0.6d（d 为设计桩径），端承桩不大于设计规定（一般不大于 50mm）。

(6)清孔结束后，应在 2h 内灌注砼，并应在灌注砼前，探测孔底沉渣厚度，若超过规定应重新清孔。

(7)沉渣厚度的测量：用平底钻头、冲击钻头、冲抓锤施工的桩孔，沉渣厚度以钻头或冲抓锤底部所达到的孔底平面为测量起点；用锥底形钻头施工，孔底为圆锥体形，沉渣厚度以圆锥体形的中点标高（作为桩底设计标高）为测量起点。

沉渣厚度应使用圆锥形测锤测定，锤底直径约为 80～100mm，顶径 40～50mm，高 120～150mm，可用钢板焊制，灌钢砂配重，一般为 3～5kg，测绳采用水文测绳。

(三)清孔的方法

1. 正循环清孔

(1)正循环清孔，一般适用在淤泥层、砂土层，基岩施工的桩孔，孔径不宜大于 800mm。

(2)正循环泥浆清孔，先将钻头提离孔底 80～100mm，输入相对密度为 1.05～1.08 的新泥浆进行循环，把桩孔内悬浮大量钻渣的泥浆替换出来，并清洗孔底。孔底沉淀物粒径较大，正循环泥浆清孔难以将其携带上来，或长期清孔，孔底沉渣厚度仍超过规定要求时，应改换清孔方式。

(3)正循环清孔时，孔内泥浆上返流速不应小于 0.25m/s，返回孔内泥浆的相对密度不宜大于 1.08。

2. 泵吸反循环清孔

(1)泵吸反循环清孔，一般适用于孔径 ϕ600mm 以上的桩孔，且孔底沉淀物的块度应小于钻杆内径。

(2)泵吸反循环钻进施工的桩孔，在钻进达到设计孔深位置后，停止回转钻具并将钻头提离孔底 50～80mm，进行泵反直到孔底沉渣符合规定为止。

其它方法施工的桩孔，清孔时将反循环钻杆下到离孔底沉渣面 80～120mm 以上，再启动砂石泵进行泵吸反循环清孔作业，直到符合规定要求。

(3)清孔时，送入孔内冲洗液，不得少于砂石泵排量。防止冲洗液补给量不足，孔内水位下降导致坍孔，砂石泵出水阀的阀门应根据清孔情况适时调整，以免流量过大，吸塌孔壁。返回孔内冲洗液的相对密度不宜大于 1.05。

3. 压风机清孔

(1)压风机清孔适用孔深大于 5m 的各种直径的桩孔。

(2)压风机清孔的主要设备包括空压机、出水管、送风管、气水混合器等。空压机的主要技术参数一般为风量 6～9m^3/min，风压 0.7MPa，送风管直径可为 20～25mm。设备机具的规格型号应根据水深、孔径等进行合理选择。管路系统的连接必须密封良好，无漏气、漏水现象。

(3)出水管的下入深度以出水管距沉渣 300～400mm 为宜，出水管底端宜加工成锯齿状，风管的下入深度一般以混合器至水位高度与孔深之比为 0.55～0.65 来确定。

(4)开始送风时，应先向孔内供水，停止清孔时，应先关气后断水，以防水头损失而坍孔。

(5)送风量应从小到大，风压应稍大于孔底水头压力；当孔底沉渣太厚，块度较大，或沉淀板结时，可适当加大送风量，并摇动出水管，以利排渣。

(6)随钻渣排出，孔底沉渣减少，出水管应适时跟进以保持出水

管底面距沉渣面的距离为 300～400mm，孔径较大时应经常改变水管在孔底的位置，但不得撞击孔壁或钢筋笼。

4. 掏渣法

当用冲击，冲抓钻头或钻斗钻进成孔时，可用抽筒掏渣清孔。

5. 夯实法

用螺旋钻成孔时，可首先采用原地空转的方法清底，若不理想可采用辅助工具夯实或向孔底投入碎石夯实的方法。

6. 潜水泵排渣法

将潜孔泵放至距孔底 0.3～0.5m 处，开动潜水泵，连同钻渣一起排出，同时注入清水或泥浆保持孔内液柱压力。这种方法适用于钻渣粒径小于潜水泵内通径的情况。当钢筋笼放入后发现孔底沉渣超出规定，往往采用这种方法重新清孔。

7. 其它清孔方法

(1)空气吸泥机清孔(见图 3-85 所示)。

(2)吸泥泵导管清孔(见图 3-86 所示)。

(3)砂浆置换钻渣清孔(见图 3-87 所示)。

(四)常见事故的预防和处理

1. 坍孔

原因：

(1)清孔后泥浆密度、粘度降低，对孔壁的静水压力减少，使孔壁失稳。

(2)清孔操作不当，供水时供水管直接冲刷孔壁或清孔时间过长。

预防和处理：

(1)指定专人管理循环系统。

(2)应尽量缩短清孔时间。

(3)升降钻具时应扶正，防止碰撞孔壁。

2. 空气吸泥机常见事故

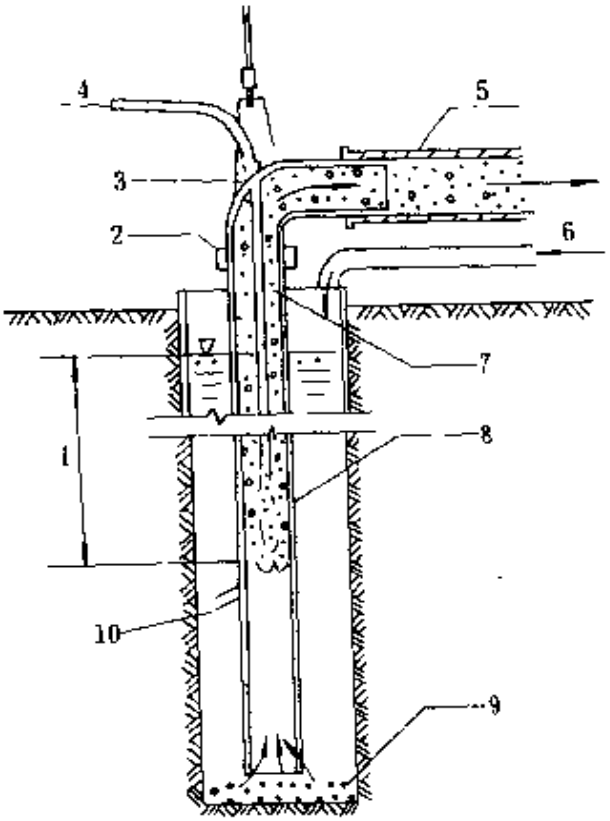


图 3-85　内风管吸泥清孔

1--高压风管入水深；2 -弯管和导管接头；3—焊在弯管上的耐磨短弯管；4 —压缩空气；
5 —排渣软管；6 —补水；7 -输气软管；8 - ϕ25mm 钢管长度大于 2m；
9- 孔底沉渣；10 - 风嘴

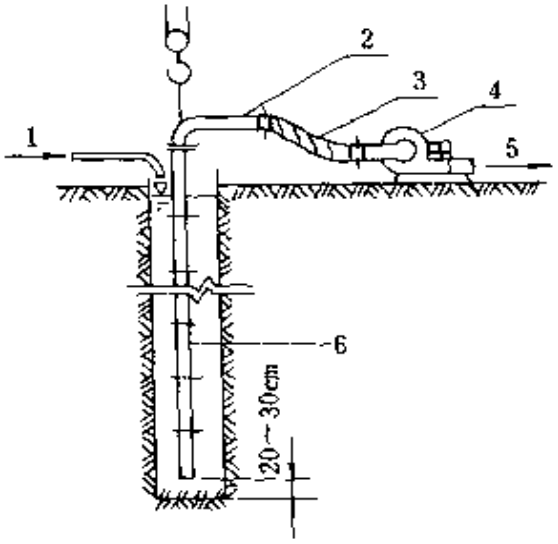


图 3-86　吸泥泵导管清孔

1—补水；2—特制弯管；3—软管；4—离心吸泥泵；5—排渣；6 -灌注水下混凝土导管

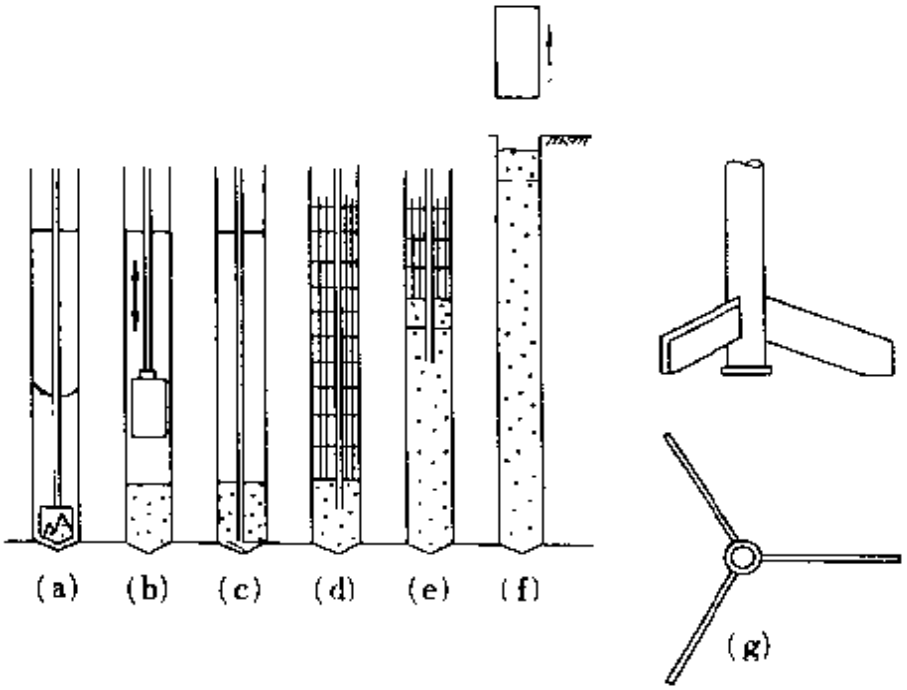


图 3-87　砂浆置换钻渣清孔

(a)用掏渣筒掏渣;(b)用活底箱灌注特殊水泥砂浆;(c)搅拌;
(d)安放钢筋骨架及导管;(e)灌注水下混凝土;(f)灌注完毕拔出护筒;(g)搅拌器示意

(1)吸泥管堵塞:

现象:孔内风压表压力降低,出气量大,出水量大,且含钻渣量少。

处理方法:急促开闭风阀门,吹落堵塞物,或打击吸泥管震落堵塞物,无效时拆管疏通。

(2)排泥管堵塞:

现象:孔口风压表压力升高,出气量少,排水量少,而含泥渣量减少,有时出水成雾状,孔内有气泡翻出。

处理方法:急促开闭风阀门,吹落堵塞物,若无效,须拆管疏通。

(3)混合室堵塞:

现象:孔口风压表压力升高,且不出水。

处理方法:急促开闭风阀门,吹落堵塞物,若无效,须拆管疏通。

二、钢筋笼的制作与安装

(一)钢筋笼的质量要求及注意事项

(1)钢筋笼制作偏差应符合表 3-38 的规定。

表 3-38　钢筋笼制作的允许偏差

项次	项目	允许偏差(mm)
1	主筋间距	±10
2	箍筋间距	±20
3	直径	±10
4	长度	±100

(2)桩孔里下有套管时,钢筋笼外径应比套管内径小 60～80mm。

(3)用导管灌注水下混凝土时,钢筋笼内径应比导管连接处的外径大 100mm。沉管灌注桩,钢筋笼的外径应比钢管内径小 60～80mm。

(4)钢筋笼在制作、运输、安装过程中,应有防止变形的技术措施,并设有保护层垫块。

(5)钢筋笼所用钢筋规格、材质、尺寸应符合设计要求。

(6)分段制作的钢筋笼,其长度以<10m 为宜。每段钢筋笼连接应采用焊接。焊接时,在同一截面内钢筋接头数不得超过主筋总数的 50%,两相邻接头应错开一定的距离(一般应大于 40cm)。焊缝高度为钢筋直径的 0.25 倍,且不小于 4mm;焊缝宽度为钢筋直径的 0.7 倍,且不小于 10mm;搭接长度,单面焊缝应为钢筋直径的 8～10 倍,双面焊缝为钢筋直径的 4～5 倍。箍筋的焊接长度应为箍筋直径的 8～10 倍,箍筋与主筋之间采用点焊连接。螺旋筋与主筋之间可用细铁丝绑扎,并间隔点焊固定。

钢筋笼全长超过 12m 时,应分段制作,其长度以 5～8m 为宜。

(7)在素砼桩顶采用插筋构造时，必须沿桩周对称，均匀垂直插入。

(8)在制作钢筋笼之前，应将钢筋进行除锈，调直——主筋不直度的偏差不应大于长度的1%，并不得有局部弯折，主筋应尽量采用整根钢筋，避免多接头。

(9)主筋为高碳钢材质时，不宜采用焊接方法，以免焊接高温影响主筋强度，箍筋与主筋宜用细铁丝绑扎。

(二)钢筋笼使用的材料

目前国内多选用热轧钢制作钢筋笼，有关机械性能见表3-39，施工单位要对进入工地的钢筋进行抽样检查，不合格者不予验收使用。

表3-39　热轧钢筋的机械性能

钢筋级别	直径 (mm)	屈服点 σ_s (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	冷弯 a - 弯心直径 d - 钢筋直径
			不小于		
光圆Ⅰ级	8～25	235	372	25	$180°a=d$
	28～50				$180°a=2d$
螺纹二级	8～25	333	510	16	$180°a=3d$
	28～50	314	419		$180°a=4d$
螺纹三级		372	568	14	$90°a=3d$
螺纹四级	10～25	539	834	10	$90°a=5d$
	28～32				$90°a=6d$

(三)钢筋笼的制作

1.钢筋笼制作设备及程序

(1)设备：

制作钢筋笼的主要设备和工具有电焊机、钢筋切割机、钢筋圈制作台、支承架、钢筋调直机、卡板等。

(2)钢筋笼制作程序：

①根据设计(如图 3-88 所示为直径 2.8m，长 13.6m 的钢筋笼

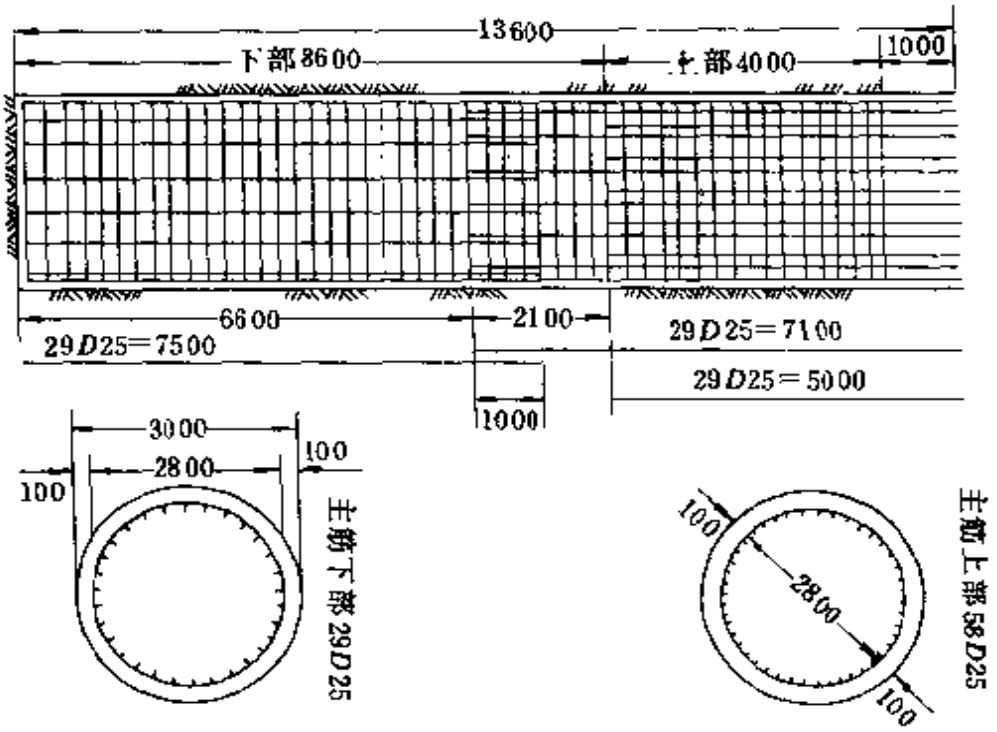


图 3-88　钢筋笼的配筋图

的配筋图)计算箍筋用料长度、主筋分段长度。将所需钢筋整直后用切割机成批切好备用。由于切断待焊的箍筋、主筋、缠筋的规格尺寸不尽相同，应注意分别摆放，防止用错。

②在钢筋圈制作台上制作箍筋并按要求焊接。

③将支承架按 2～3m 的间距摆放同一水平面上的同一直线上，然后将配好定长的主筋平直的摆放在支承架上。

④将箍筋按设计要求套入主筋(也可将主筋套入箍筋内)。且保

持与主筋垂直，进行点焊或绑扎。

⑤箍筋与主筋焊好或绑扎好后，将缠筋按规定间距绕于其上，用细铁丝绑扎并间隔点焊固定。

⑥焊接或绑扎钢筋笼保护层垫块。厚度一般以 6～8cm 为宜。方法有绑扎钢筋混凝土预制垫块或焊接钢筋"耳朵"，见图 3-89 所示。钢筋"耳朵"的直径不小于 10mm，长度不小于 15cm，高度不小于 8cm，焊在主筋外侧。

⑦将制作好的钢筋笼稳固放置在平整的地面上，防止变形。

⑧对制作好的钢筋笼应按设计要求进行检查，不合要求者，应予返工，否则不得使用。

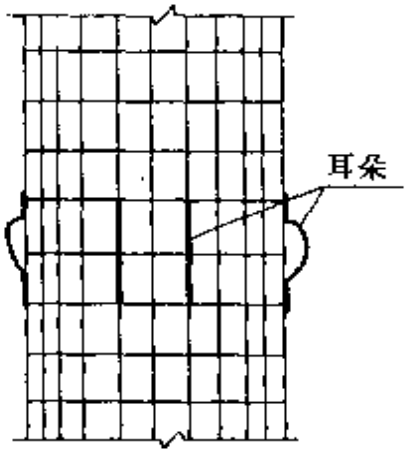


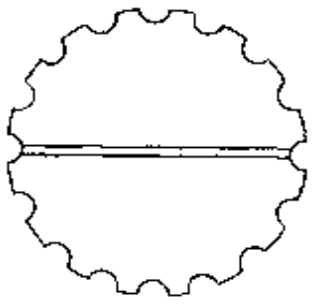
图 3-89　钢筋笼的"耳朵"

2. 制作方法

钢筋笼制作步骤为下料、制圈、钢筋笼组焊，其制作方法有如下几种：

(1)卡板成型法：

卡板成型法是用 2～3cm 厚的木板制成两块半圆卡板，按主筋位置在卡板边缘上作出支托主筋的半圆形槽(槽深等于主筋半径)。制作钢筋笼时，每隔 3m 左右放一块卡板，把主筋放入槽内用绳扎好，再将箍筋套入并用铁丝将其与主筋绑扎牢固，然后松开卡板与主筋的绑线，卸去卡板，随即将箍筋同主筋点焊(或用铁丝绑扎)成型(卡板图见图 3-90 所示)。


图 3-90　卡板图

(2)木支架成型法：

支架由固定部分和活动部分组成，如图 3-91 所示。用 3～4cm 厚的木板，按钢筋笼的设计尺寸，做成半圆固定支架 5，在它的周围边缘，按主筋位置凿出支托

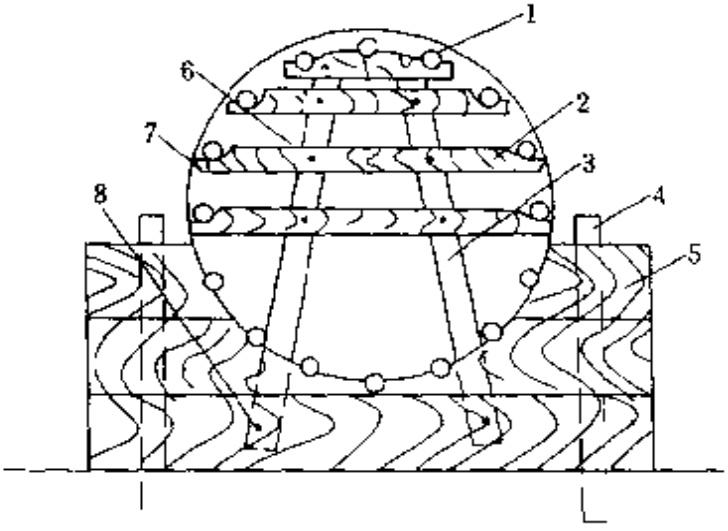


图 3-91　木支架
1－主筋；2—横木条；3－斜木条；4－支柱；
5－固定支架；6－铁钉；7－箍筋；8　螺栓

主筋的凹槽。固定支架用两根 4×10cm 的支柱 4 固定于地面，它的上方有一个半圆活动支架，是用 3～4cm 厚的木板 2 若干条（条数按支托的主筋根数决定）钉于下端向外倾斜的两根木条 3 上做成。活动支架各木条的两端也按主筋位置凿成凹槽。活动支架的斜木条下端用螺栓 8 固定于固定支架。这样，上下两个半圆支架连在一起，构成一个圆形支架，按钢筋笼的长度，每隔 2m 左右设此支架一个。各支架应互相平行，圆心应位于同一水平线上。

制作时，把主筋逐根放入凹槽。然后，将筋按设计位置放在骨架主筋外围，即与主筋点焊连接。焊好箍筋后，把活动支架和固定支架的连接螺栓拆除，从钢筋笼两端抽出活动支架，整个钢筋笼可以从固定支架上取下，然后再绕焊螺旋筋。

（3）钢管支架成型法：

如图 3-92 所示，首先根据箍筋的间隔和位置将钢管支架 5 和平杆 4 放正、放平、放稳，在每圈箍筋上标出与主筋的焊接位置；再按设计要求间隔放两根主筋 2 于平杆上，按设计要求间隔绑焊箍筋，并注意与主

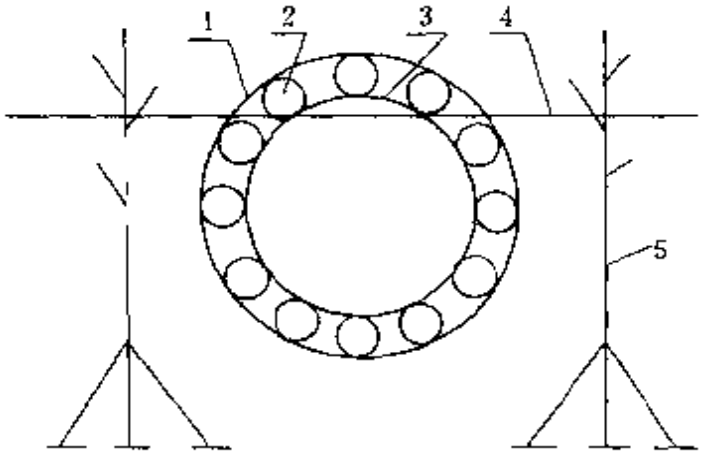


图 3-92　钢管支架成型法示意图
1—箍筋；2—主筋；3—螺旋筋；
4—平杆；5—钢管支架

筋垂直；然后按箍筋上的标记焊其余主筋；最后按规定螺距套入螺旋筋，绑焊牢固。

3. 钢筋笼保护层的设置

钢筋笼保护层厚度应按设计图纸设置。一般非水下砼灌注桩的主筋砼保护层不小于30mm，水下砼灌注桩不小于50mm，设置保护层的方法有：

(1)在钢筋笼上焊接(或铁丝绑扎)预制砼垫块。一般为15×20×80(mm)或30×50×50(mm)，一般在钢筋笼长度方向每隔2m对称地设置4块或每节钢筋笼分上、中、下三个部位以120°设置垫块。预制砼垫块见图3-93所示。

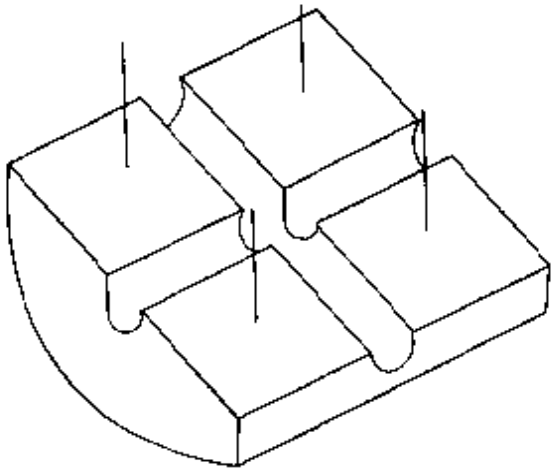


图3-93 预制砼垫块

(2)钢筋笼上设导正筋：

导正筋应分段等距设置在钢筋笼的外周，段距以2～3m为宜，每段设置数不应小于3个。

(3)垫管(空心导正杆)：

它是将短管焊在主筋上以控制保护层厚度，短管厚度视保护层的厚度要求而定，设在同一平面的垫管一般不小于3根。

钢筋笼保护层设置示意图见图3-94所示。

(四)钢筋笼的安装

钢筋笼的安装包括钢筋笼的搬运、吊装就位和吊放埋设过程。

(1)钢筋笼长度在6m以内时，可用两部平车搬运，长度超过6m时，需在平车上加托架，也可采用人工搬运方法；无论用哪种方法都不得使钢筋笼变形。

(2)钢筋笼吊放，可用双吊点或单吊点，吊点位置应恰当，一般在箍筋处，对于直径较大的钢筋笼，可采取措施对起吊点予以加强，以

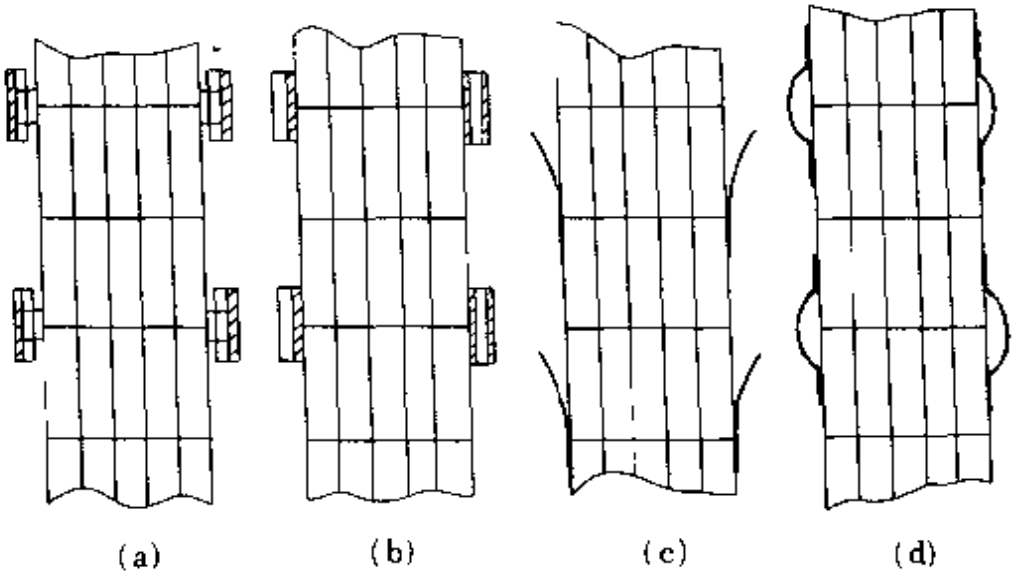


图 3-94　钢筋笼保护层设置示意图
(a)预制砼垫块;(b)垫管;(c)导正钢筋;(d)导正钢筋耳

保证钢筋笼起吊时不致变形，吊放入孔时应对准钻孔中心缓慢下放至设计标高。对分段制作的钢筋笼，当前一段放入孔内后即用钢管穿入钢筋笼上面的箍筋下面，临时将钢筋笼搁支在钻机大梁或护筒口上，再起吊另一段，对正位置焊接后逐段放入孔内至设计标高。吊放钢筋笼入孔时应对准孔位轻放、慢放，不允许左右旋转。若遇阻应停止下放，查明原因进行处理。严禁高起猛落、碰撞和强行下放。

(3)钢筋笼一般采用分节吊放，孔口焊接。分节长度应按孔深、起吊高度和孔口焊接时间合理选定。焊接时，上下主筋位置应对正，保证钢筋笼上下轴线一致。主筋搭接位置应错开，一个平面上搭接的主筋不多于 2 根，搭接平面之间的最小距离应大于一个搭接长度，单面焊缝长度大于双面焊缝长度的 2 倍。

(4)钢筋笼全部入孔后，应按设计要求检查安放位置并做好记录，符合要求后，可将主筋点焊于孔口护筒上或用铁丝牢固绑扎于孔口上，以便使钢筋笼定位，防止钢筋笼因自重而下落或灌注混凝土时

往上串动造成错位。

(5)桩身混凝土灌注完毕，达到初凝后即可解除钢筋笼的固定装置，保证钢筋笼随砼一起收缩。

(6)采用正循环或压风机清孔，钢筋笼入孔宜在清孔前进行，其它在清孔后进行。

三、混凝土的配制与灌注

(一)混凝土的配制与灌注的一般要求

(1)桩身混凝土在28天龄期后应达要求：

①抗压强度达到设计标号强度。

②凝固密实，胶结良好，不得有蜂窝、空洞、裂隙、离析、夹层、夹泥渣等固结不良现象。

③水泥砂浆与钢筋粘结良好，不得有脱粘露筋现象。

④有特殊要求时，混凝土或钢筋混凝土的其它性能指标符合设计要求。

⑤桩身混凝土容重为23～24kN/m³。

(2)混凝土的配制要求：

①混凝土的配合比应符合设计强度要求。

②混凝土坍落度：水下灌注为16～22cm；干作业灌注为8～10cm；沉管成孔灌注为6～8cm。

③混凝土具有良好的和易性，初凝时间以满足灌注时间需要为原则，一般控制在4h以内。

④混凝土应具有良好的粘结性和保水性。

(3)灌注要求：

①水下混凝土灌注采用导管灌注法，灌注作业应连续紧凑，中途不得中断，使灌注工作在初次灌入的混凝土仍具塑性的时间内完成。灌注中严禁将导管拔出混凝土面，以免出现断桩事故。

②实际灌入的混凝土量不得少于设计桩身直径的理论体积，灌

注充盈系数不得少于1.0，一般也不宜大于1.3。灌注充盈系数可通过下列公式进行计算检查：

$$\text{灌注充盈系数}=\frac{\text{实际灌入的混凝土体积}(m^3)}{\text{按设计桩身直径计算的体积}(m^3)} \tag{3-16}$$

③必须认真完整地填写混凝土灌注施工记录，并按要求绘制有关图表曲线，作为检查工程质量的原始数据。

（二）混凝土配制的材料

1. 水泥

（1）灌注桩一般采用矿渣水泥或普通硅酸盐水泥。对进场水泥要求复查力学性能。水泥的初终凝时间及稳定性能也需进行检验或调整，初凝时间不得小于45分钟，终凝时间不得长于12小时。

（2）选用水泥标号时，应以能达到要求的混凝土标号并能尽量减少混凝土的收缩和节约水泥为原则。在不使用外掺剂、高强振捣、特殊养护等特殊措施时，选用的水泥标号应为混凝土标号的1.5～2倍，且不宜低于425号。

（3）袋装水泥在储运过程中应妥善保管。

（4）已受潮的、不合格的、不同标号品种混杂的水泥，不得用于灌注桩混凝土，也不得在一根桩内，使用不同标号、不同品种和厂家的水泥配制桩身混凝土。

2. 水

（1）水中不含有影响水泥正常凝结、硬化的有害物质。

（2）污水、pH小于4的酸性水和含大量硫酸根的水均不能使用。

（3）供饮用的自来水、未受污染的河水、湖泊水和地下水都是搅拌砼常用的水。钢筋混凝土灌注桩不得用海水拌制混凝土。

（4）拌制混凝土前，一般应对拌合用水进行水质分析检验，并进行拌合试验。使用供饮用的自来水或清洁的天然水作拌合用水，可免作试验。

3. 骨架材料

砂、石子是砼中的骨架材料。砂为细骨料，石子为粗骨料。

(1)细骨料：

①细骨料应选用级配合理、质地坚硬、颗粒洁净的天然中、粗河砂。

②一般高于300号砼含泥量不大于3%，低于300号的砼含泥量不大于5%，有害物质含量不大于1%。

③每批砂料进场应有检验报告单，以检查砂料是否符合要求。如砂中泥土杂物含量超过要求时，可过筛并用水冲洗后使用。

(2)粗骨料：

①粗骨料宜选用坚硬卵砾石和碎石，其规格技术要求见表3-40和表3-41。不得使用曾受矿化水，特别是酸性水侵蚀过的石灰岩碎石。水下混凝土应优先采用符合要求的碎石作粗骨料。

②粗骨料中泥土杂物含量超过规定，应过筛并用水冲洗以除去泥土杂物；若混入煤、煤渣、白灰、碎砖或煅烧过的石块等难以筛洗的杂物，则禁止使用。

(3)桩身混凝土石料一般采用粒径为20～40mm，最大粒径不得大于导管内径的$\frac{1}{6}$～$\frac{1}{8}$和钢筋最小净距的$\frac{1}{3}$；用于素混凝土的石料粒径不宜大于50mm，最大粒径不得大于导管内径的$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{5}$。

(4)石料的级配应保证混凝土具有良好的和易性。石料规格不符合级配要求时，可通过试验掺加另一种规格的石料，使之符合设计要求。

(5)每批石料进场，应有检验报告单以检查石料是否符合要求。现场石料应堆放于干净之处，不使泥土杂物混入。

4. 外掺剂

(1)混凝土中掺入适量外掺剂，能改善混凝土的工艺性能，加速工程进度及节约水泥用量。混凝土中掺入外掺剂，必须先经过试验，以确定外掺剂使用种类、掺入量和掺入程序。

(2)外掺剂的试验和现场使用，应有专人负责掌握，精确称量，作

表 3-40　混凝土用卵石的技术要求

项次	项目		高标号(≥325号)混凝土			一般混凝土		
1	空隙率不大于,(%)		45			45		
2	颗粒级配	筛孔尺寸(mm)	5	1/2最大粒度	最大粒度	5	1/2最大粒度	最大粒度
		累计筛余(以质量%计)	90～100	36～60	0～5	90～100	36～60	0～5
3	软弱颗粒含量,按重量计,不大于(%)		5			10		
4	针、片状颗粒含量,按重量计,不大于(%)		15			15		
5	泥土,杂物含量(用冲洗法试验)按重量计,不大于(%)		1			2		
6	硫化物和硫酸盐含量(折算为 SO_3),按重量计,不大于(%)		1			1		
7	有机质含量(用比色法试验)		颜色不得深于标准色,如深于标准色,则应以混凝土进行强度对比试验,加以复核					
8	抗冻性按硫酸钠法试验时,最少循环次数(且其重量损失不超过10%)		寒冷地区处在水位变化范围内的或处在吸水范围内的混凝土结构7次,暴露在空气中遭受湿气影响但不在吸水范围内的混凝土结构5次,严寒地区分别为10次和7次					
备注	1. 抗冻性用硫酸钠法试验不合格时,按《公路桥涵设计规范》第3－4条执行。 2. 有抗冻要求的混凝土,所用卵石按高标号混凝土技术要求执行。							

表 3-41　混凝土用碎石的技术要求

项次	项目		高标号(≥300号)混凝土			一般混凝土		
1	颗粒级配	筛孔尺寸(mm)	5	1/2 最大粒度	最大粒度	5	1/2 最大粒度	最大粒度
		累计筛余(以质量%计)	90～100	30～60	0～5	90～100	30～60	0～5
2	强度以岩石试件(边长≥5cm 的立方体)在饱水状态下的抗压极限强度混凝土设计标号之比,不小于(%)		200			150		
3	针、片状颗粒含量,按质量计,不得大于(%)		15			15		
4	硫化物和硫酸盐含量(折算为 SO_2)按质量计,不大于(%)		1			1		
	注在饱水状态下抗压极限强度不低于 40MPa。							

好记录。常用外掺剂有速凝剂、缓凝剂、减水剂和早强剂等(见表 3-42)。

(三)混凝土配合比设计

所谓混凝土配合比设计是指确定混凝土中水、水泥、骨料等的配合比例,一般以水泥：砂：石表示,且以水泥为基数 1。混凝土配合比的正确选择,应保证混凝土能达到设计中所规定的标号,并符合施工中对和易性的要求;同时亦需符合合理使用材料,节约水泥的经济原则,必要时还应考虑工程对混凝土的特殊要求(抗渗性、抗冻性)等。

(1)混凝土配合比及试验应符合的要求:

①配合比应根据混凝土设计要求和施工工艺要求进行理论设计,再通过试配试验选择确定配合比。

②配制强度应比混凝土的设计标号高 15%～20%;选用的水泥标号应为配制强度的 1.5～2 倍;水下混凝土中水泥标号不宜低于 425 号。

③坍落度:导管灌注为 10～22cm,干孔灌注为 8～10cm,沉管成孔灌注为 6～8cm。

④水灰比:水下混凝土为 0.25～0.5,干作业的混凝土为 0.4～0.5,确定水灰比时应考虑砂石料的含水率。

⑤含砂率:水下混凝土为 45%～50%;干作业混凝土为 35%～45%;采用碎石作粗骨料时,含砂量可增大 3%。

⑥每立方米混凝土的水泥用量:水下混凝土为 380～450kg;干作业混凝土一般为 300～400kg。

⑦水下混凝土保持坍落度低于 15cm 的时间不低于 1.0 小时。

⑧混凝土容重为 23～24kN/m^3。

⑨可根据需要使用外掺剂。

⑩混凝土初凝时间,应满足灌注工作时间的需要。若灌注量大,为延缓初凝时间,可在首批灌注的砼中加入塑化剂或缓凝剂,加入量

表 3-42　常用外加剂类别、适用范围及掺入量

种类	名称	掺入量	使用说明
减水剂·塑化剂	木质磺酸钙(粉状)	为水泥质量的 0.15%～0.25%	混凝土减水率为 10%～0.25%，与早强剂或 MF 复合使用时可作早强减水剂，掺入量过多时将产生假凝现象
	亚甲基萘磺酸钠(NNO，粉状)	0.5%～1.0%	混凝土减水率为 14%～20%，加气量较小
	聚亚甲基萘磺酸钠(MF，粉状)	0.5%左右	混凝土减水率 15%～20%，加气量较 NNO 大，不需加气的混凝土，须另掺有机硅乳液或破乳剂 SP-169 等消泡剂
	纸浆废液	0.1%～0.3%	混凝土减水率 10%左右，有缓凝作用，适用作缓凝型减水剂
	糖厂废蜜	约 0.25%	混凝土减水率 5%～8%，有缓凝作用，掺 0.2%时缓凝约 2 小时，适于作缓凝型减水剂
早强剂	氯化钙	1%～3%	混凝土 2～3 天的抗压强度可提高 40%～100%，7 天抗压强度可高 25%
	三氯化铁	1%左右	能提高混凝土早期和后期强度
	三乙醇胺 氯化钠和亚硝酸钠复合剂	三乙醇胺 0.03%～0.05% 氯化钠 0.1%～0% 亚硝酸钠 1.0%～0%	混凝土达到 70%强度的时间可缩短 30%～50%。在钢筋混凝土和预应力混凝土结构中，一般不得掺用氯盐，掺用三乙醇胺复合早强剂时，应严格限制用量，以防钢筋锈蚀

续表 3-42

种类	名称	掺入量	使用说明
速凝剂	红星一型	约 3%	1～5 分钟初凝，2～10 分钟终凝，1 天的强度为不掺者的 2～6 倍，28 天的强度为不掺者的 60%～90%
	711 型	3%～5%	5 分钟初凝，10 分钟终凝，1∶3 水泥砂浆 28 天的强度为不掺的 80%，掺入混凝土可使其凝结快，早强、抗渗性得到改善
	铝酸钠（另含氧化钙、氧化锌）	4%左右	5 分钟初凝，10 分钟终凝，早期强度低于红星一型，后期强度较之为高
缓凝剂	柠檬酸	0.1%～0.3%	
	硼酸	0.6%	
	氯化锌或硫酸与氯化锌的复合物(1∶10)	0.2%～0.3%	初凝时间延长 7～10 小时，终凝延长 12 小时以上，3 天后抗压强度可提高 10%～22%

亦应通过试验确定。

(2)混凝土件的试配：

试配时，至少应采用三个不同的配合比，每一配合比的水灰比差值为0.02～0.03，每种配合比应至少制作一组(三块)试块，并模拟桩孔内条件进行养护。对28天龄期试块应做轴心抗压强度测定，检查试配标号是否达到要求。若达不到要求，应调整配比继续试配；若试配的各个配比均超过要求，选择其中合适的配比，做一步的试配调整，以最终选定。

(3)资料整理：

整理选定配比的试配资料，填写“混凝土配合比试验报告单”，通知现场施工人员遵此执行。

(四)混凝土的拌制

(1)有关规定：

①水泥和干燥状态的外掺剂，按质量计，允许误差不得超过2%。

②砂、石料，按质量计，允许误差不得超过5%。

③加水量视砂石的含水率加以调整，以保证混凝土的实际水灰比符合要求。

④水、外掺剂的水溶液，按质量计，允许误差不得超过2%。

(2)混凝土搅拌机的选择：

不同类型搅拌机都有其适应范围。在选用时，应综合考虑需拌制混凝土的总量和同时所需的最大量。目前国内施工现场常用鼓筒自落式搅拌机。且容量不宜小于400L。搅拌机的数量应根据下式确定：

$$n=q/p \tag{3-17}$$

式中：n——搅拌机的数量，台；q——每小时必要的砼灌注量，可根据导管直径选定，一般12～15m^3/h；p——搅拌机的生产能力(m^3/h)，由搅拌机的性能类型给出(见表3-43)。

(3)搅拌方法：

表 3-43　几种鼓筒自落式混凝土搅拌机技术参数

性能 / 型号	型式	干料容重(g/L)	生产量(m^3/h)	配套动力(kW)
J1-400	胶轮移动式	400	7.5	7.5
J1-400A	胶轮移动式	400	6～12	
J1-800	自落固定式	800	15～22	17

①搅拌前准备工作：搅拌前应准备足够数量的装载及测试工具，如翻斗车、手推车、磅称、坍落度筒、试块盒等。

②投料与搅拌：投料应根据砼配合比通知单进行，并分别换算出搅拌机一罐所投入的砼组成材料的数量。搅拌机一次可搅拌出的砼量，可按搅拌机的总量乘以制成系数(0.6～0.7)。

投料顺序：石子→水泥→砂→水。搅拌时间一般为 1～2 分钟为宜。

(五)混凝土的运输

混凝土从搅拌机中卸出后，应在尽可能短的时间里运到灌注地点。如有离析现象，应在灌注前进行二次搅拌。

混凝土从搅拌机中卸出后到浇筑完毕的允许延续时间见表 3-44。

表 3-44　允许延续时间表

延续时间(min) 气温(℃) / 砼强度等级(MPa)	≤25	>25
≤30	120	90
>30	90	60

不同桩长灌注时间可不同，见表 3-45 所示。

表 3-45　不同桩长适当的灌注时间

桩长(m)	<20	20～40	40～60	60～70	70～80	80～100
灌注时间(h)	1.5～2	2～3	3～4	4～5	5～6	7～8

(六)混凝土灌注

1.水下混凝土灌注

水下混凝土灌注的方法较多。灌注桩中刚性导管法最为常用，其特点是混凝土下落速度快，隔离效果较好。

(1)灌注设备与机具：

①吊车：吊车是提升混凝土料的主要设备，吊车选型主要依据混凝土灌注施工要求来选择吊车起重量和起吊高度。

②储料斗、漏斗：储料斗常用 5mm 厚的钢板制成。储料斗前方设一上大下小的出口并安有闸门，储料斗两侧焊上钢筋环并穿上起吊钢绳。另一种锥形储料斗是用铁板焊制而成。储料斗做成上大下小的锥形。

储料斗和漏斗应有足够的容量储存混凝土(初存量)以保证首批灌入的混凝土(称首次初灌量)能达到埋管 1.0～1.2m 的高度。漏斗与储料斗的初存量计算公式为：

$$V_{max}=[\frac{\pi D^2}{4}h^2+\frac{\pi d^2}{4}l\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{r_w}{r_c}\cdot H_w+\frac{\pi D^2}{4}\cdot H_c] \qquad (3\text{-}18)$$

式中：V_{max}——漏斗与储料斗的初存量，m^3；D——钻孔实际直径，m；h_2——导管底面距孔底距离，m；d——导管内径，m；l——导管在孔口泥浆面以下高度，$h=H_w+H_c-h_2$，m；r_w——泥浆密度，t/m^3；r_c——混凝土密度，t/m^3；H_w——孔口泥浆面距孔内混凝土面高度，m；H_c——孔内混凝土面距孔底高度，m。

漏斗一般用 2～3mm 厚钢板制成圆锥形或棱锥形。圆锥形漏斗上口直径 800mm，高 900mm；棱锥形漏斗一般为 1000×1000×800(mm)。漏斗与导管连接的变径短管长度一般不宜短于 300mm，且成

圆锥形，锥度为 15°～30°。

③导管：导管一般采用无缝钢管或钢板卷制而成，其技术规格和适用范围见表 3-46。

表 3-46　导管规格和适用范围

导管内径 (mm)	适用桩径 (mm)	通过混凝土能力(m^3/h)	导管壁厚(mm)		备注
			无缝钢管	钢板卷管	
ϕ200	ϕ600～1200	10	8～9	4～5	导管连接部位密封不得漏水
ϕ230～255	ϕ300～1800	15～17	9～10	5	
ϕ300	≥ϕ1500	25	10～11	6	

导管投入使用前，应在地面试装，并用木球模拟压水实验，检查有无漏水缝隙。投入使用时，孔口以下应保证有一节导管与灌注漏斗加接，其高度一般不宜小于 3m。

在实际使用中一般配 0.3m、0.5m、1.0m、2.0m 和 4.0m、6.0m 几种长度，其中 0.3m 和 0.5m 长导管是为调整导管下口与孔底距离和适应进料口高度而设，4.0m 或 6.0m 长导管安装在导管的最下部。

④隔水栓(球)：隔水栓在混凝土开始灌注时起隔水作用，减少初灌混凝土被稀释的量。隔水栓可放于漏斗与导管之间。

隔水栓可采用硬栓(木制的或混凝土预制的)、软栓(麻袋内装麻刀、锯屑等)、球栓或带有方向装置的板栓(夹胶皮)等各种形式，若施工桩径不大，桩深较浅时，也可不加隔水栓，但必须经试验验证。

⑤灌注平台：灌注平台应能安放导管、漏斗等，要能升降导管。对其有以下几点要求：第一有足够的强度和刚度，保证工作平稳，其有

效提升能力应是导管质量的2～2.5倍，且不宜小于40kN；第二在考虑漏斗和导管的安装高度后，其有效高度不宜小于4m；第三拆卸移动方便。

(2)混凝土灌注的准备工作：

①复测孔底沉渣。

②连接导管下孔。孔口以上不宜短于3m，中部一般用2.0m，下部用4～6m长导管，导管底端距孔底0.3～0.5m。

③灌注平台就位。

④检查混凝土的坍落度。

⑤准备时间不得超过4小时。

(3)灌注工艺：

①灌注水下混凝土是灌注桩施工的重要工序，应特别注意。成孔和清孔质量检验合格后，才可开始灌注工作。图3-95所示为水下混凝土灌注示意图。图3-96所示为导管灌注法的施工过程。

②计算初灌量后导管埋入混凝土中的深度。

鉴于第一次灌注量对保证水下混凝土灌注质量的重要性，应对第一次灌注量进行计算(见图3-97)：

$$V=\frac{\pi}{4}D^2(H-H_{首})+V_1-(V_2+V_3) \tag{3-19}$$

式中：V——第一次灌量，m^3；D——桩孔平均直径，m；H——桩孔深度，m；$H_{首}$——第一次混凝土灌注后的孔深，m；V_1——平衡导管外冲洗液导管内所需混凝土的体积，m^3；V_2——被埋导管的环形体积，m^3；V_3——隔水栓塞(水泥塞)体积，m^3。

若 $V_1=\frac{\pi}{4}d^2\cdot H_{首}\cdot\frac{r_1}{r_2}$，式中：$r_1$——冲洗液密度；$r_2$——混凝土密度；$d$——导管内径，m；而且$V_2$、$V_3$忽略不计，则有：

$$V=\frac{\pi}{4}D^2(H-H_{首})+\frac{\pi}{4}d^2\cdot H_{首}\cdot\frac{r_1}{r_2}$$

$$=\frac{\pi}{4}\left[D^2(H-H_{首})+d^2\cdot H_{首}\cdot\frac{r_1}{r_2}\right] \tag{3-20}$$

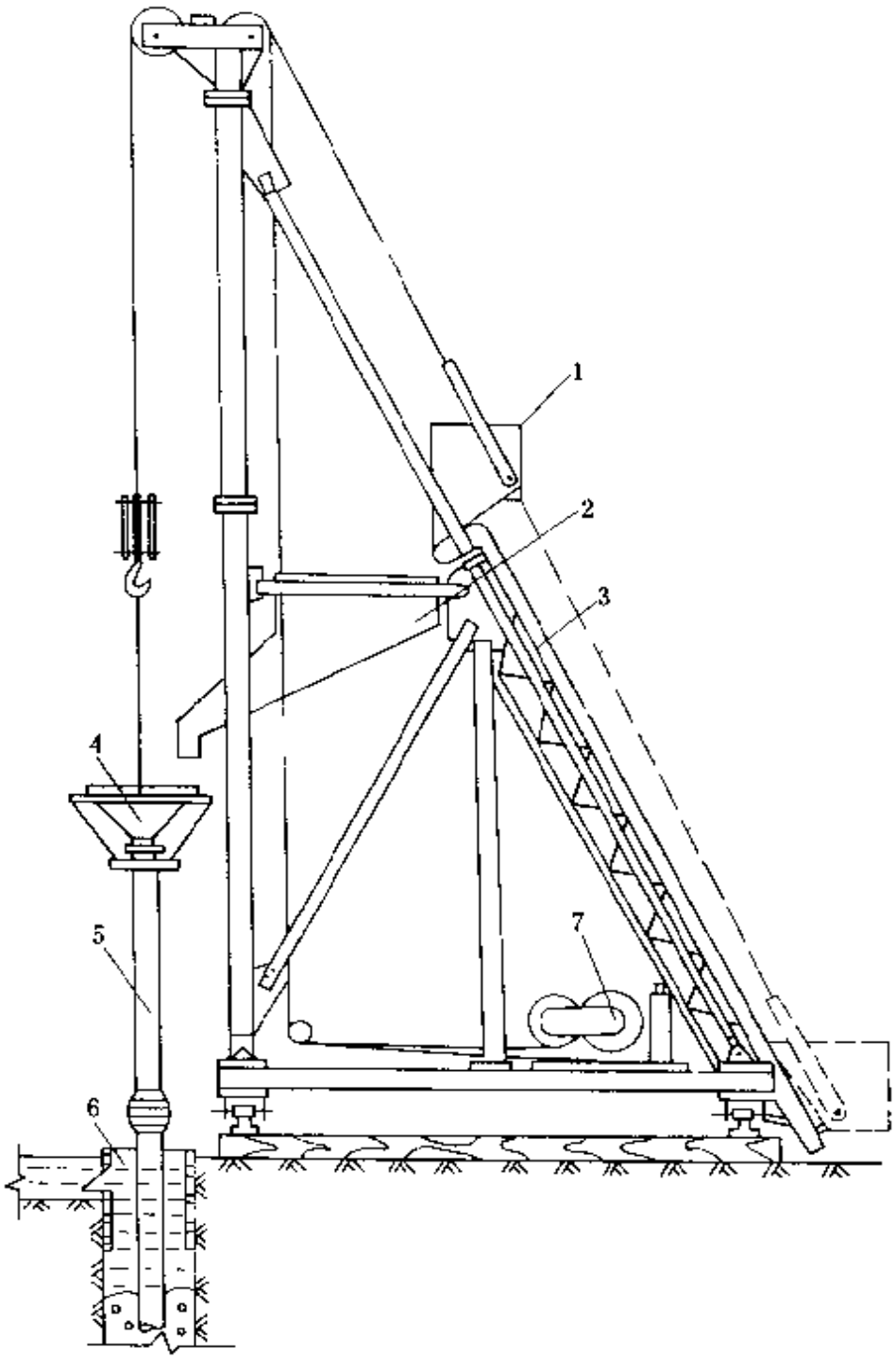


图 3-95　水下混凝土灌注示意图

1—进料斗；2—贮料斗；3—滑道 4—漏斗；5—导管；6—护筒；7—卷扬机

上述计算是以"静平衡"作为计算的依据的，根据施工经验，实际第一次灌注量为：

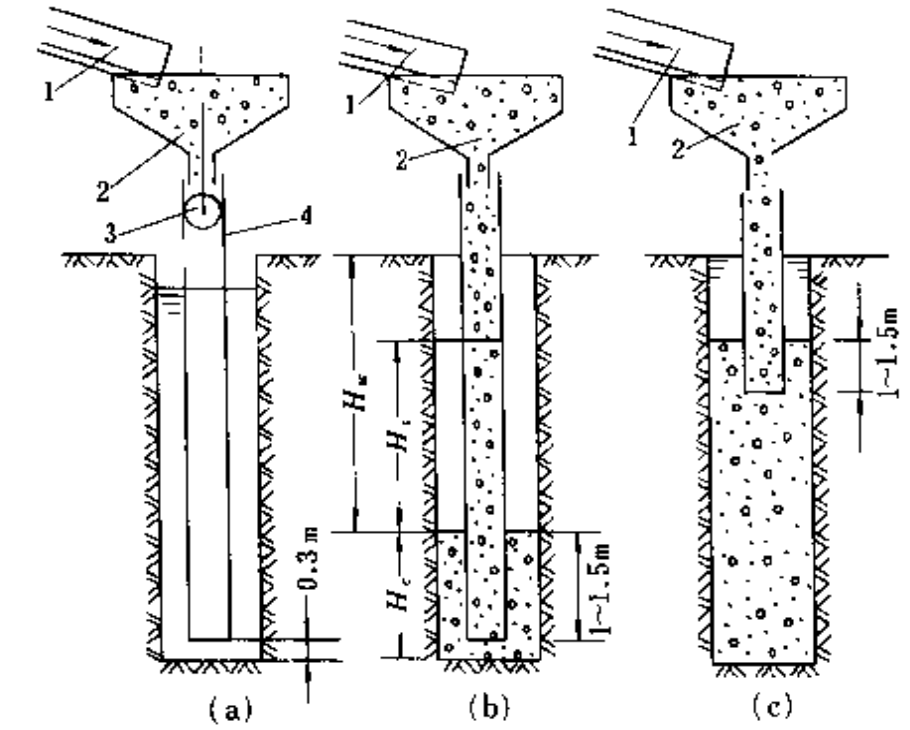


图 3-96　灌注水下混凝土

1—通混凝土储料槽；2—漏斗；3—隔水栓；4—导管

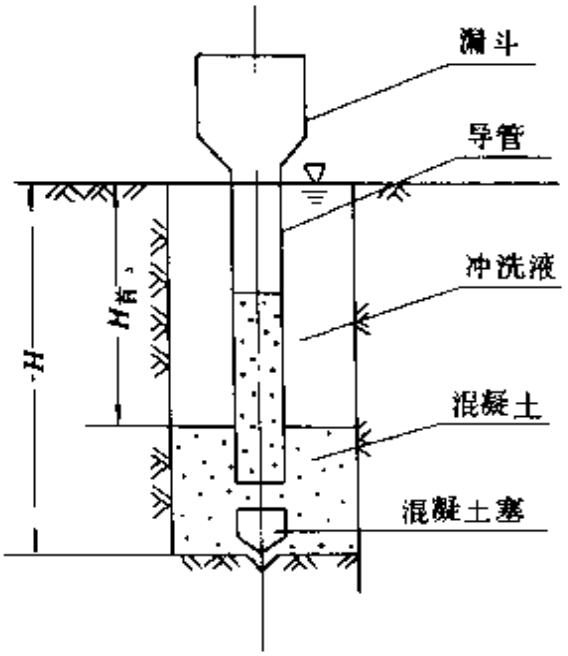


图 3-97　灌注量计算图

$$V_{实}=k\cdot V_{计} \tag{3-21}$$

式中：k——经验系数，取 1.15～1.25。

③储足第一批灌注量后，将首批混凝土灌入孔底后，立即测量孔内混凝土面高度，计算出导管的初次埋深，如符合要求，即可正常灌注。如发现导管内大量进水，表明出现灌注事故，应处理（见后）。

④首批混凝土灌注正常后，应紧凑地、连续不断地进行灌注，严禁中途停工。在灌注过程中要防止混凝土拌合物从漏斗顶溢出或从漏斗外掉入孔底，使泥浆内含有水泥而变稠凝结，使测深不准确。灌注过程中，应注意观察管内混凝土下降和孔口返水情况，及时测量孔内混凝土面高度，正确指挥导管的提升和拆除，保持导管的合理埋深。测量孔内混凝土面高度的次数一般不宜少于所使用的导管节数，并应在每次起升导管前，探测一次管内外混凝土面高度，特别情况下（局部严重超径、缩径、漏失层位），灌注量特别大的桩孔等应增加探测次数，同时，观察孔口返水情况，以正确地分析和判定孔内情况，并做好记录。

导管提升时应保持轴线竖直和位置居中，逐步提升，如果导管法兰卡挂钢筋笼，可转动导管，使其脱开钢筋笼后，移到钻孔中心。随着孔内混凝土的上升，需逐节（或两节）拆除导管。拆除导管的动作要快，时间不宜超过 15 分钟，拆下的导管应立即冲洗干净。

⑤在灌注过程中，当导管内混凝土不满，导管上段有空气时，后续混凝土要徐徐灌入，不可整斗地灌入漏斗和导管，以免在导管内形成高压气囊，挤出管节间的橡皮垫，而使导管漏水。而且空气从导管底部进入桩身后，若不能完全逸出，则是造成桩身上段混凝土疏松的原因之一。

⑥当混凝土面升到钢筋笼下端时，为防止钢筋笼被混凝土顶托上升，可采取如下措施：第一在孔口固牢钢筋笼上端；第二当混凝土面接近和初进入钢筋笼时，应保持较大的导管埋深，放慢灌注进度；第三当混凝土面进入钢筋笼 2～3m 后，应适当提升导管，减少导管

埋置深度(不得小于 1m),以增加钢筋笼在导管底口以下的埋置深度,从而增加混凝土对钢筋笼的总握裹力。

⑦为确保桩顶质量,在桩顶设计标高以上加灌一定高度,以便灌注结束后,将上段混凝土清除。增加的高度可按孔深、成孔方法、清孔方法而定,一般不宜小于 0.5m,深桩不宜小于 1m,上海地基规范规定为 2.5m,JTJ041—89 规定为 0.5～1m。

⑧在灌注将近结束时,由于导管内混凝土柱高度减小,导管外泥浆重度增大,沉渣增多,超压力降低。如出现混凝土顶升困难时,可在孔内加水稀释泥浆,并掏出部分沉淀土或增大漏斗提升高度,使灌注工作顺利进行,在拔出最后一节长导管时,拔管速度要慢,以防止桩顶沉淀的浓泥浆挤入形成泥心。

⑨在灌注混凝土时,每根桩应制作不少于 1 组(3 块)的混凝土试件。

⑩钢护筒在灌注结束,混凝土初凝前拔出,起吊护筒时要保持其垂直性,否则会将桩顶扭歪甚至破坏,特别是当桩顶标高高于护筒底面时更应注意。当桩顶标高很低时,混凝土灌不到地面,混凝土初凝后,可能还要回填钻孔。

(4)常见灌注故障预防及处理方法:

①隔水栓卡在导管内:

原因:a. 隔水栓翻转或胶垫过大;b. 隔水栓遇物卡住;c. 导管连接不直或导管变形。

处理方法:用长杆冲捣或振捣,若无效提出导管,取出隔水栓重放,并检查导管垂直度,拆换变形导管。

②导管内进水:

原因:a. 导管连接处密封不好;b. 初灌量不足,未埋住导管。

处理方法:a. 提出导管、检查垫圈,重新设导管;b. 提出导管清除灌入混凝土重新灌注,增加初灌量,检查导管底口距孔底高度。

③断桩:

原因：a. 混凝土面测量不准，导管提升过高；b. 钻孔上部发生坍塌或孔底沉渣过多；c. 导管密封不好，因漏水，混凝土产生严重离析或混凝土因故灌注中断。

处理方法：a. 严格按灌注规程操作；b. 导管埋深要测量准确；c. 对有疑问的桩要抽芯检查。

④导管堵塞：

原因：a. 导管变形或内壁有混凝土硬结，影响隔水塞通过；b. 隔水塞上没有浇水泥砂浆，而混凝土的粘聚性又不太好，在搅拌储料斗或提吊料斗中的初存量混凝土时漏斗中的混凝土离析，粗骨料卡入隔水塞或在隔水塞上架桥；c. 混凝土品质差；d. 导管漏水。

处理方法：a. 可在允许的导管埋入深度范围内，略为提升导管，或用提升后猛然下插导管的动作来抖动导管，抖动后的导管下口不得低于原来的位置，否则反会使失去流动性的混凝土堵塞导管口；b. 如果用上述方法仍不能消除卡管时，则应停止灌注，用长钢筋或竹竿疏通；c. 拔出导管疏通重新下入。

⑤钢筋笼上浮：

原因：a. 混凝土品质差。易离析的、初凝时间不够的、坍落度损失大的混凝土，都会使混凝土面上升到钢筋笼底端时钢筋笼难以插入或无法插入而造成上浮，有时混凝土面已升至钢筋笼内一定高度时，表层混凝土开始发生初凝结硬，也有携带钢筋笼上浮；b. 操作不当、即钢筋笼的孔口固定不牢、提升导管过猛、导管埋深太浅，混凝土面进入钢筋笼内一定高度后，导管埋深过大，

处理方法：操作不当引起的钢筋笼上浮较好预防，即注意操作；由于混凝土表层初凝而引起的钢筋笼上浮，则应通过配制混凝土和加快灌注速度予以避免。

⑥桩身混凝土质量问题：

属于这一类的事故有：桩身混凝土强度低于设计要求；桩身上部混凝土质量低；桩身混凝土夹泥、混凝土离析等。

a. 混凝土强度低：

原因：原材料不合格；混凝土配合比设计不合理。

处理方法：严把原材料质量关，正确选择配合比。

b. 桩顶部混凝土质量低劣：

原因：目前导管法灌注水下混凝土是靠导管内混凝土柱的压力灌注的，混凝土靠自重力压密实。由于接近地表时，超压力减小了，不得不减小导管埋深，因而桩顶段灌注的混凝土所受的自重压力始终较小，加之顶部混凝土始终与泥浆及沉渣接触，易混入杂质，因此，桩身上部混凝土质量不如桩身中、下部的质量。

处理方法：超落（即桩顶标高之上应有一定高度的混凝土）；控制上下提动导管的幅度、速度。

c. 桩身混凝土离析：

原因：原材料级配差、搅拌质量差、计量不准等。有时导管漏水也会造成。

处理方法：严格管理和施工。

第四章　灌注桩有关计算

第一节　桩顶作用效应计算

对于一般建筑物和受水平力(包括力矩与水平剪力)较小的高大建筑物桩径相同的群桩基础，应按下列公式计算群桩中复合基桩或基桩的桩顶作用效应。

一、竖向力

轴心竖向力作用下：

$$N=\frac{F+G}{n} \tag{4-1}$$

式中：N——轴心竖向力作用下任一复合基桩或基桩的竖向力设计值；F——作用于桩基承台顶面的竖向力设计值；G——桩基承台和承台上土自重设计值(自重荷载分项系数当其效应对结构不利时取 1.2；有利时取 1.0)，并应对地下水位以下部分扣除水分浮力；n——桩基中的桩数。

偏心竖向力作用下：$N_i=\frac{F+G}{n}\pm\frac{M_{xi}y_i}{\sum y_i^2}\pm\frac{M_{yi}x_i}{\sum x_i^2}$ (4-2)

式中：N_i——偏心竖向力作用下第 i 复合基桩或基桩的竖向力

设计值；M_x、M_y——作用于承台底面通过群桩形心的 x、y 轴的弯矩设计值；x_i、y_i——第 i 复合基桩或基桩至 x、y 轴的距离。

二、水平力

$$H_1=\frac{H}{n} \tag{4-3}$$

式中：H_1——作用于任一复合基桩或基桩的水平力设计值；H——作用于桩基承台底面的水平力设计值。

在计算时还应考虑如下几个问题：

(1)对于主要承受竖向荷载的抗震设防区低承台桩基，当同时满足下列条件时，计算时可不考虑地震作用。

①按《建筑抗震设计规范》规定可不进行天然地基和基础抗震承载力计算的建筑物；

②不位于斜坡或地震可能导致滑移、地裂地段的建筑物；

③桩端及桩身周围无液化土层；

④承台周围无液化土、淤泥、淤泥质土。

(2)属于下列情况之一的桩基，计算各桩基的作用效应和桩身内力时，可考虑承台(包括地下墙体)与基桩共同工作和土的弹性抗力作用。

①位于 8 度和 8 度以上抗震设防区和其它受较大水平力的高大建筑物，当其桩基承台刚度较大或由于上部结构与承台的协同作用能增强承台的刚度时；

②受较大水平力及 8 度和 8 度以上地震作用的高承台桩基。

第二节　计算受水平荷载的桩基

一、基本假定

(1)将土体视为弹性变形介质，其水平抗力系数随深度线性增加

(m 法)，地面处为零。

对于低承台桩基，在计算基桩时，假定桩顶标高处的水平抗力系数为零并随深度增加。

(2)在水平力和竖向力作用下，基桩、承台、地下墙体表面上任一点的接触应力(法向弹性抗力)与该点的法向位移 δ 成正比。

(3)忽略桩身、承台、地下墙体侧面与土之间的粘着力和摩擦力对抗水平力的作用。

(4)当承台底面与地基土之间不脱开，可考虑承台底摩阻力。承台与地基土之间的摩阻力同法向压力成正比，与承台水平位移值无关。

(5)桩顶与承台刚性连接、承台的刚度视为无穷大。因此，只有当承台的刚度较大，或由于上部结构与承台的协同作用使承台的刚度得到增强的情况下，才适于采用此种方法计算。

计算中考虑土的弹性抗力时，要注意土体的稳定性。

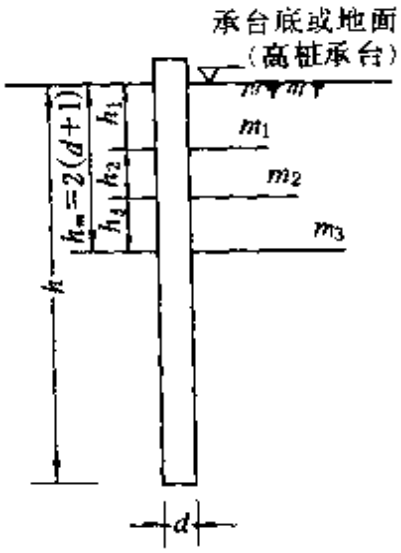


图 4-1

二、基本计算参数

(1)地基土水平抗力系数的比例系数 m：

m 值按本章第二节中规定采用。

当基桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 $h_m=2(d+1)m$ 范围内的 m 值作为计算值(见图 4-1)。

当 h_m 深度内存在两层不同土时：

$$m=\frac{m_1h_1^2+m_2(2h_1+h_2)h_2}{h_m^2} \tag{4-4}$$

当 h_m 深度内存在三层不同土时：

$$m=\frac{m_1h_1^2+m_2(2h_1+h_2)h_2+m_3(2h_1+2h_2+h_3)h_3}{h_m^2} \tag{4-5}$$

表 4-1　岩石地基竖向抗力系数 C_R

单轴极限抗压强度标准值 f_{rk}(kPa)	C_R(MN/m³)
1 000	300
≥25 000	15 000

注：f_{rk}为表列数值的中间值时，C_R采用插入法确定。

(2)承台侧面地基土水平抗力系数 C_n：

$$C_n = m \cdot h_n \tag{4-6}$$

式中：m——承台埋深范围地基土的水平抗力系数的比例系数，MN/m⁴；h_n——承台埋深，m。

(3)桩底面地基土竖向抗力系数 C_0：

$$C_0 = m_0 h \tag{4-7}$$

式中：m_0——桩底面地基土竖向抗力系数的比例系数，MN/m⁴，近似取 $m_0 = m$；h——桩的入土深度，m，当 h 小于 10m 时按 10m 计算。

(4)承台底地基土竖向抗力系数 C_b：

$$C_b = m_0 h_n \tag{4-8}$$

当 h_n 小于 1 m 时，按 1m 计算。

(5)岩石地基的竖向抗力系数 C_R：

C_R 不随岩层埋深而增长，其值按表 4-1 采用。

(6)桩身抗弯刚度 EI：

对于钢筋混凝土桩：

$$EI = 0.85 E_c I_0 \tag{4-9}$$

式中：I_0——桩身换算截面惯性矩，圆形截面，$I_0 = W_0 d/2$。

(7)桩身轴向压力传布系数 ζ_N：

$\zeta_N = 0.5 \sim 1.0$

摩擦型桩取小值，端承型桩取大值。

(8)地基土与承台板之间的摩擦系数 μ，见表 1-2 所示。

表 4-2　承台底与基土间的摩擦系数 μ

土的类别		摩擦系数 μ
粘性土	可塑	0.25～0.30
	硬塑	0.30～0.35
	坚硬	0.35～0.45
粉土	密实、中密(稍湿)	0.30～0.40
中砂、粗砂、砾砂		0.40～0.50
碎石土		0.40～0.60
软质岩石		0.40～0.60
表面粗糙的硬质岩石		0.65～0.75

三、计算

(一)计算公式

(1)单桩基础或与外力作用平面垂直的单排桩基础，见表 4-3。参见《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 B-3。

表 4-3　土层液化折减系数 ψ_L

序号	$\lambda_N=\frac{N_{63.5}}{N_{cr}}$	自地面算起的液化土层深度 d_L(m)	ψ_L
1	$\lambda_N\leqslant 0.6$	$d_L\leqslant 10$	0
		$d_l>10$	1/3
2	$0.6<\lambda_N\leqslant 0.8$	$d_L\leqslant 10$	1/3
		$d_l>10$	2/3
3	$0.8<\lambda_N\leqslant 1.0$	$d_L\leqslant 10$	2/3
		$d_l>10$	1.0

注：①$N_{63.5}$为饱和土标准贯入击数实测值；N_{cr}为液化判别标准贯入击数临界值；

②对于挤土桩，当桩距小于 4d，且桩的排数不少于 5 排，总桩数不少于 25 根时，土层液化折减系数可取 $\frac{2}{3}\sim 1$。

(2)位于(或平行于)外力作用平面的单排(或多排)桩低承台桩基,见表 4-4。参见《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 B-4。

(3)位于(或平行于)外力作用平面的单排(或多排)桩高承台桩基,见表 4-5。

(二)确定地震作用桩基计算参数和图式的几个问题

(1)当承台底面以上土层为液化层时,不考虑承台侧面土体的弹性抗力和承台底土的竖向弹性抗力与摩擦力,此时,令 $C_n=C_b=0$,可按《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 B-5 高承台公式计算。

(2)当承台底面以上为非液化层,而承台底面与承台底面下土体

表 4-4 地下水位以上的钻、挖、冲孔灌注桩桩端土承载力标准值 q_p(kPa)

土的名称	土的状态	桩的入土深度(m)		
		5	10	15
粘性土	$0.75<I_L\leqslant 1.0$	240	390	550
	$0.25<I_L\leqslant 0.75$	250	410	570
	$0<I_L\leqslant 0.25$	300	450	600
粉细砂	中 密	400	700	1 000
	密 实	600	900	1 250
中砂、粗砂	中 密	600	1 100	1 600
	密 实	850	1 400	1 900
碎石土	中密、密实	2 000	2 500	3 000

注:表列值适用于孔底虚土厚度≤10cm。

可能发生脱离时(承台底面以下有自重固结、自重湿陷、震陷、液化土层时),不考虑承台底地基土的竖向弹性抗力和摩阻力,只考虑承台单位变化引起的桩顶、承台、地下墙体的反力和时,应考虑承台和地下墙体侧面土体弹性抗力的影响,可按《建筑桩基技术规范》(JGJ91—94)表 B-4 的步骤 5 的公式计算($C_b=0$)。

表 4-5　地下水位以下的钻、挖、冲孔灌注桩桩端土承载力标准值 q_p(kPa)

土的名称	土的状态	桩的入土深度(m)		
		5	10	15
粘性土		100	160	220
粉细砂	中　密	150	300	400
	密　实	200	350	500
中砂、粗砂	中　密	250	450	650
	密　实	350	550	800

注：表列值适用于孔底回淤土厚度≤30cm。

(3)当桩周 2 $(d+1)$m 深度内有液化夹层时，其水平抗力系数的比例系数综合计算值 m，将按液化层的 m 据表 4-3 折减代入公式(4-4)和(4-5)中计算确定。

第三节　承载力计算

一、单桩垂直承载力

桩的垂直承载力，取决于桩材料的强度，或土对桩的支承能力。一般说来，桩的承载力是由后者决定的，材料强度往往不能充分利用。只有对端承桩(如支承在岩石、较密实碎石土和砂土以及坚硬的粘性土上的桩)，由于土的承载力很高，才可能由材料强度控制桩的承载力。

(一)桩土体系的荷载传递

1. 荷载传递机理

当竖向荷载逐步施加于单桩桩顶时，桩身上部受到压缩而产生相对于土的向下位移，与此同时桩侧表面就会受到土的向上摩阻力。桩顶荷载通过所发挥出来的侧摩阻力传递到桩周土层中去，致使桩

身轴力和桩身压缩变形随深度递减。在桩土相对位移等于零处，其摩阻力尚未开始发挥作用而等于零。随着荷载增加，桩身压缩量和位移量增大，桩身下部的摩阻力随之逐步调动起来，桩底土层也因受到压缩而产生桩端阻力。桩端土层的压缩加大了桩土相对位移，从而使桩身摩阻力进一步发挥出来。当桩身摩阻力全部发挥出来达到极限后，若继续增加荷载，其荷载增量将全部由桩端阻力承担。由于桩端持力层的大量压缩和塑性挤出，位移增长速度显著加大，直至桩端阻力达到极限，位移迅速增大而破坏，此时桩所受的荷载就是桩的极限承载力。

在竖向荷载下，单桩的沉降 s 由以下三部分组成：

(1)桩身在轴向压力作用下的压缩变形S_p，$S_p=\frac{1}{EA}\int_0^l N(l)\mathrm{d}l$，$E$为桩身材料弹性模量，$A$为桩身横截面面积，$l$为桩长，$N(l)$为桩身轴力。

(2)桩侧荷载传递到桩端平面以下引起桩端平面以下的土体压缩，桩端随土体压缩而沉降的 S_b。

(3)当桩端荷载较大时，桩端土产生剪切破坏或刺入破坏而引起的沉降 S_c。

所以：$S=S_p+S_b+S_c$ (4-10)

要计算以上三部分沉降都必须知道桩侧、桩端各自分担的荷载，以及桩侧阻力沿桩身的分布。

2. 影响荷载传递的因素

马特斯(N. S. Mattes)和波洛斯(H. G. Poulos)运用线弹性理论进行分析的结果表明，影响桩土体系(见图 4-2)荷载传递的因素主要有：

(1)桩端土与桩周土的刚度比 E_b/E_s。当 $E_b/E_s=0$ 时，荷载全部由桩侧摩阻力所承担，属纯摩擦桩。在均匀土层中的纯摩擦桩，摩阻力接近于均匀分布。当 $E_b/E_s=1$ 时，属均匀土层中的摩擦桩，其荷载

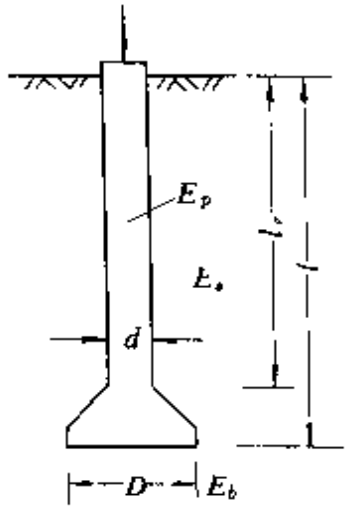


图 4-2　桩土体系图

传递曲线和桩侧摩阻力分布与纯摩擦桩相近。当 $E_b/E_s=\infty$ 且为中长桩($l/d\approx25$)时，桩身荷载上段随深度减小，下段近乎沿深度不变，即桩侧摩阻力上段可得到发挥，下段由于桩土相对位移很小(桩端无位移)而没法发挥出来。桩端由于土的刚度大，可分担 60%以上荷载，属端承桩。

(2)桩与桩周土的刚度比 E_p/E_s。E_p/E_s 愈大，桩端阻力所分担的荷载比例愈大；反之，桩端阻力分担的荷载比例降低，桩侧阻力分担的荷载比例增大。对于 $E_p/E_s\leqslant10$ 的中长桩($l/d\approx25$)，其桩端阻力接近于零。这说明对于砂桩、碎石桩、灰土桩等低刚度桩组成的基础。应按复合地基工作原理进行设计。

(3)桩底扩大头与桩身直径之比 D/d。D/d 愈大，桩端阻力分担的荷载比例愈大。

(4)桩的长径比 l/d。l/d 对荷载传递的影响较大。在均匀土层中的钢筋混凝土桩，其荷载传递性状主要受 l/d 的影响，l/d 越大，桩身压缩变形量 S_p 越大，允许桩端以下的地基上的压缩变形量就越小，受桩顶总沉降量的限制，桩端土所能发挥的端承力就越小。当 $l/d\geqslant100$ 时，桩端土的性质对荷载传递不再有任何影响。可见，长径比很大的桩都属于摩擦桩或纯摩擦桩，在此种情况下显然无需采用扩底桩。

(二)单桩破坏模式与极限承载力

单桩在竖向荷载下的破坏由以下两种强度破坏之一而引起：地基土强度破坏和桩身材料强度破坏。通常桩的破坏是由于地基土强度破坏而引起。

与桩的承载力相联系的地基土强度包含桩侧阻力和桩端阻力。

桩侧阻力 q_s 达到极限值 q_{su} 所需的桩土相对极限位移 s_u 与土的类别有关，而与桩径大小无关。对于粘性土 s_u 约为 5～7mm，对于砂类土 s_u 约为 10mm。但是对于加工软化型土[见图 4-3(b)]，所需 s_u 值较小，而且 q_s 达到最大值后又随位移的增大有所减小；对于加工硬化型土，所需 s_u 值比一般土大[见图 4-3(c)]，而且极限荷载特征点不明显。

充分发挥桩端阻力所需的桩端位移要比侧阻力所需的大得多，根据小直径桩的试验结果，一般粘性土约为 $d/4$，硬粘土约为 $d/10$，砂土约为 $d/12$～$d/10$。对于钻孔桩由于孔底虚土、沉渣压缩的影响，发挥桩端极限值所需位移更大。

由于桩侧阻力先于桩端阻力发挥出来(支承于坚实基岩的短桩

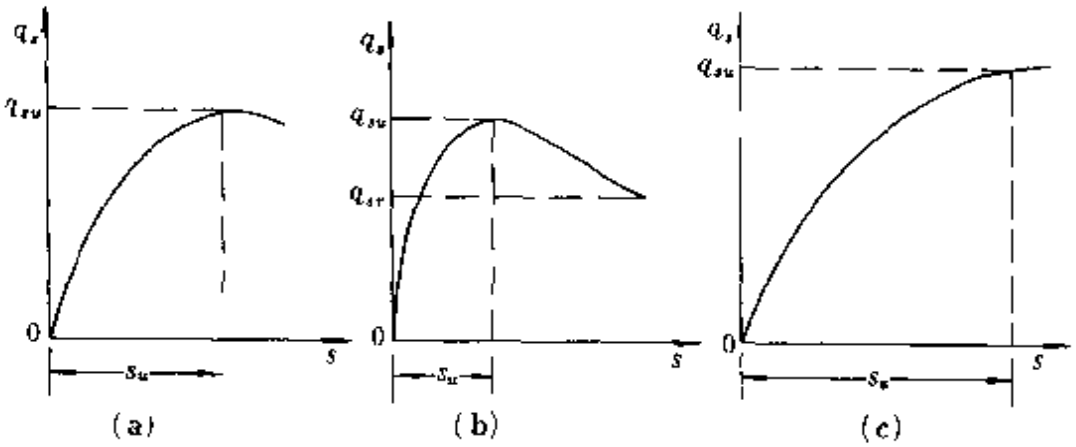


图 4-3　不同类型土的剪应力-位移关系

(a) 一般土；(b) 加工软化型土；(c) 加工硬化型土

除外)，因此单桩承载力的极限状态一般由桩端阻力的破坏所制约(纯摩擦桩除外)。

单桩的荷载-沉降特性是同桩的破坏模式联系在一起的。以下介绍工程实践中常见的几种典型破坏模式的单桩极限承载力取值准则。

(1)桩端无坚硬持力层的摩擦桩。桩端一般呈刺入破坏，桩端阻力所占比例小，Q-s 关系呈陡降型，出现 s 轴渐近线，极限承载力特征点明显，如图 4-4(a)所示。

(2)桩端持力层为砂土或粉土的打入桩。由于发挥极限端阻力所需位移大，桩端阻力所占比例也较大，Q-s 曲线后段呈缓变型，极限特征点不明显，如图 4-4(b)所示。此时桩端阻力虽仍有潜力，但由于沉降过大，对于建筑物而言已失去利用价值，因此常以某一极限位移 s_u[一般取 $s_u=40$mm，对于细长桩($l/d>80$)，可取 $s_u=60\sim80$mm]控制其极限承载力。

(3)扩底桩[图 4-4(c)]。支承于砾、砂、粘性土上的扩底桩，端阻破坏所需位移量很大，桩端阻力占承载力的比例较大，属于端承桩，其 Q-s 曲线呈缓变形，极限承载力一般以位移控制。

(4)桩端有较厚沉渣的钻孔桩[图 4-4(d)]。由于桩底沉渣的强度低，压缩性高，桩端一般呈刺入破坏，接近于纯摩擦桩，其 Q-s 曲线呈陡降型，极限承载力 Q_u 特征点明显。

(5)干法作业、桩端置入砂层中，孔底有一定厚度虚土的钻孔桩。由于桩端的砂性虚土经压缩，承载力提高，导致 Q-s 曲线出现台阶形，最终在较大沉降下桩端土呈局部剪切破坏如图 4-4(e)所示。此时极限承载力多以位移控制取值。

(6)嵌岩灌注桩。桩端嵌入坚硬基岩中的挖孔桩，由于清底好，桩不太长，桩身压缩和下沉量很小，在桩侧摩阻力尚未充分发挥的情况下，便由于桩身材料强度的破坏而破坏。其 Q-s 曲线呈陡降型，极限特征点明显，如图 4-4(f)所示。

综上所述，从 Q-s 曲线的形态来看，可分为突变陡降型和渐变缓降型两大类。实际上，Q-s 线形是桩破坏机理和破坏模式的宏观反映。因此，为便于工程分析应用，称前者为急进型破坏，后者为渐进型破坏。一般情况下，极限承载力的确定，前者可根据 Q-s 变化特征并结合 s-lgt、$\Delta s/\Delta Q$-Q 等的分析确定，后者一般宜根据变形控制确定。

根据变形确定的极限承载力，实际为拟极限承载力，因该承载力小于桩所能承受的最大荷载。

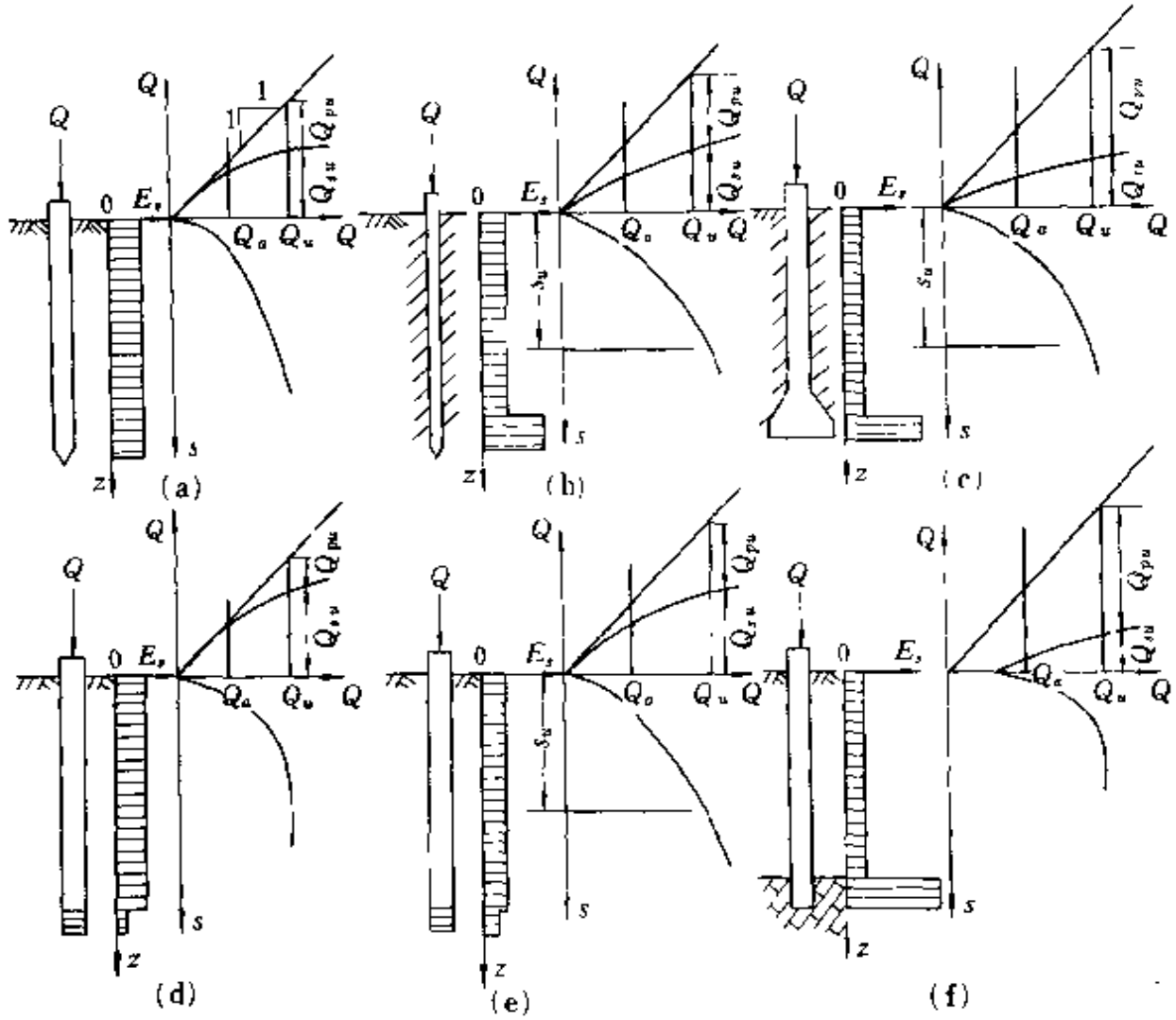


图 4-4　单桩 Q-s 形态和极限荷载下侧阻、端阻的性状

(a)均匀土中的摩擦桩；(b)端承置于砂层中的摩擦桩；(c)扩底端承桩；(d)孔底有沉渣的摩擦桩；(e)孔底有虚土的摩擦桩；(f)嵌入坚实基岩的端承桩

(三)单桩垂直承载力的计算

1. 单桩轴向受压允许承载力

(1)静载试验：

根据单桩垂直静载试验所确定的极限荷载按下式计算：

$$P_a=\frac{P_u}{K_y} \tag{4-11}$$

式中：P_a——单桩轴向受压允许承载力，10^4N；P_u——单桩轴向受压极限荷载，10^4N；K_y——安全系数，一般取 2。

单桩允许承载力也可根据桩的载荷试验曲线特性（见图 4-5 所示），按下列二个方法选取：

其一在 P-s 曲线上取明显的第二拐点处所对应的前一级荷载为极限荷载，并将此值除以安全系数，即为单桩允许承载力（即上述公式，见图 4-5 曲线 a）。

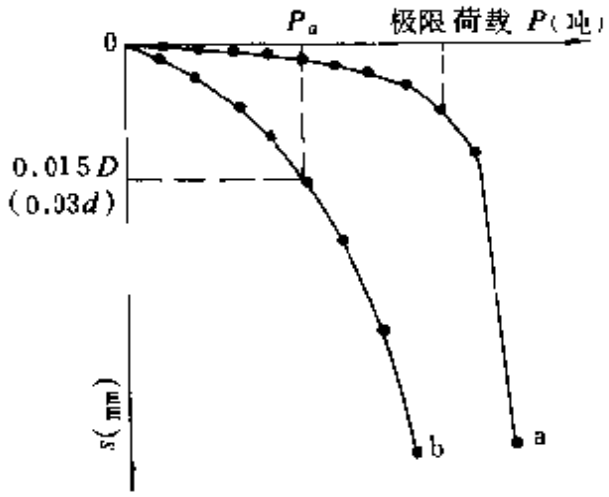


图 4-5　试桩曲线

其二在 P-s 曲线上取 s/D = 1.5%（爆扩桩）或 s/d = 3%（直径小于 50cm 的摩擦桩）所对应的荷载，作为单桩允许承载力 P_a（见图 4-5 曲线 b）。

上述两种确定允许承载力的方法是从许多试桩曲线中归纳出来的，有的试桩曲线接近图 4-5 中曲线 a，可用第一种方法确定；有的试桩曲线接近曲线 b，可用第二种方法确定；有的介于两者之间，则应从两者间取最小值。这样求得的允许承载力，既保证了地基土的强度，又控制了单桩的沉降。根据已搜集到的静荷载试验资料来看，其安全系数一般不小于 2，单桩的沉降值一般为 15～18mm 以内，也能满足爆扩桩常用的控制沉降在 20mm 的要求。

对于桩基沉降有特殊要求的建筑物，可根据允许变形值 s_g，在 P-s 曲线上取沉降 s 为 $(0.2\sim0.6)s_g$ 时所对应的荷载 P，作为单桩的允许承载力。

（2）经验公式：

按经验公式计算时单桩轴向受压允许承载力时，需考虑桩径、入土深度、桩型、施工方法和地基土层性质等因素，计算公式如下：

$$P_a = R_j A_j + \pi d_1 \sum_{i=1}^{n} l_i f_i \tag{4-12}$$

式中：R_j——桩端土的承载力标准值，kPa，对于钻、挖、冲孔灌注桩和沉管灌注桩可按表 4-3，表 4-4 和表 4-5 选用，也可按地区经验采用；A_j——桩身横截面面积，如采用机扩桩按其水平投影面积计算，m^2；d_1——成桩直径，m，可根据施工经验确定，当缺乏经验时，

表 4-6　地下水位以上钻、挖、冲孔灌注桩桩周土摩阻力标准值 q_L(kPa)

土的名称	土的状态	q_L
炉灰填土	已完成自重固结	8～13
房碴填土、粘性填土	已完成自重固结	20～30
粘性土	软　塑	20～30
	可　塑	30～35
	硬　塑	35～40
粉　土	$\omega>25$	22～30
	$15<\omega\leqslant 25$	30～35
	$\omega\leqslant 15$	35～45
粉细砂	稍　密	20～30
	中　密	30～40
	密　实	40～60

注：对地下水位以下钻、挖、冲孔灌注桩，可根据成孔工艺对桩周土的影响，参照本表使用。

对于钻、挖、冲孔灌注桩，按钻头直径增加下列数值：螺旋钻 1～2cm，潜水钻 3～5cm，机动洛阳钻 2～3cm，冲击钻 4～8cm；对沉管灌注桩，一般取 $d_1=d_c$（d_c 为套管外直径），一次复打时取 $d_1=\sqrt{2}\,d_c$，对于流塑、软塑状态粘性土应再乘以 0.7～0.9 的系数；l_i——桩周第 i

层土的厚度，m；f_i——桩周第 i 层土的摩擦阻力值，对于钻、挖、冲孔灌注桩可按表 4-6 及表 4-7 选用，亦可按地区经验采用。

表 4-7　沉管灌注桩桩周土摩阻力标准值 q_i(kPa)

土的名称	土的状态	q_i
房碴填土、粘性填七	已完成自重固结	20～30
淤　泥		5～8
淤泥质土		10～15
粘性土	软　塑 可　塑 硬　塑	15～20 20～35 35～40
粉　土	$\omega \geqslant 25$ $15 < \omega \leqslant 25$ $\omega < 15$	15～25 25～35 35～40
粉细砂	稍　密 中　密	15～25 25～40
中　砂	中　密 密　实	35～40 40～50

(3)桩基垂直承载力设计值：

规定：

桩数不超过 3 根的桩基，基桩的垂直承载力设计值：

$$R = Q_{sk}/\gamma_s + Q_{pk}/\gamma_p \tag{4-13}$$

式中：R——桩基中复合基桩或基桩的垂直承载力设计值；Q_{sk}、Q_{pk}——分别为单桩总极限侧阻力和总极限端阻力标准值；γ_s、γ_p——分别为桩侧阻抗力分项系数，抗端阻抗力分项系数(见表 4-8)。

当根据静载试验确定单桩垂直极限承载力标准值时，基桩的垂直承载力设计值为：

$$R = Q_{uk}/\gamma_{sp} \tag{4-14}$$

式中：Q_{uk}——单桩垂直极限承载力标准值；γ_{sp}——桩侧阻端阻综合抗力分项系数(见表 4-8)。

表 4-8　桩基竖向承载力抗力分项系数

桩型与工艺	$\gamma_s=\gamma_p=\gamma_{sp}$		γ_c
	静载试验法	经验参数法	
预制桩、钢管桩	1.60	1.65	1.70
大直径灌注桩(清底干净)	1.60	1.65	1.65
泥浆护壁钻(冲)孔灌注桩	1.62	1.67	1.65
干作业钻孔灌注桩($d>0.8m$)	1.65	1.70	1.65
沉管灌注桩	1.70	1.75	1.70

注：①根据静力触探方法确定预制桩、钢管桩承载力时，取 $\gamma_s=\gamma_p=\gamma_{sp}=1.60$；
②抗拔桩的侧阻抗力分项系数 γ_s 可取表列数值。

对于桩数超过 3 根的非端承桩复合桩基，宜考虑桩群、土、承台的相互作用效应，其复合基桩垂直承载力设计值为：

$$R=\eta_s Q_{sk}/\gamma_s+\eta_p Q_{pk}/\gamma_p+\eta_c Q_{ck}/\gamma_c \qquad (4\text{-}15)$$

式中：η_s、η_p、η_c——分别为桩侧阻群桩效应系数、桩端阻群桩效应系数(见表 4-9)、承台底土阻力群桩效应系数，$\eta_c=\eta_c^i\frac{A_c^i}{A_c}+\eta_c^e\frac{A_c^e}{A_c}$[其中 A_c^i、A_c^e 为承台区(外围桩边包络区)、外区的净面积，$A_c=A_c^i+A_c^e$，见图 4-6，η_c^i、η_c^e 为承台内、外区土阻力群桩效应系数，按表 4-14 取值]；Q_{ck}——相应于任一复合基桩的承台底地基土总极限阻力标准值；γ_c——承台底土阻抗力分项系数(见表 4-8)。

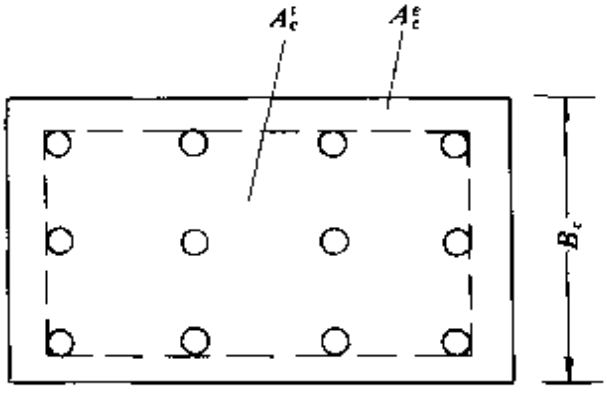


图 4-6　承台底分区图

当根据静桩试验确定单

桩垂直极限承载力标准值时，其复合基桩的垂直承载力设计值为：

$$R=\eta_{sp}Q_{uk}/\gamma_{sp}+\eta_c Q_{ck}/\gamma_c \tag{4-16}$$

$$Q_{ck}=q_{ck}\cdot A_c/n \tag{4-17}$$

式中：η_{sp}——桩侧阻端阻综合群桩效应系数，见表 4-9；q_{ck}——承台底$\frac{1}{2}$承台宽度、深度范围（$\leqslant 5m$）内地基土极限阻力标准值；A_c——承台底地基土净面积。

表 4-9　侧阻、端阻群桩效应系数 η_s、η_p 及侧阻端阻综合群桩效应系数 η_{sp}

效应系数	土名称	粘性土				粉土、砂土			
	B_c/l \ s_a/d	3	4	5	6	3	4	5	6
η_s	≤0.20	0.80	0.90	0.96	1.00	1.20	1.10	1.05	1.00
	0.40	0.80	0.90	0.96	1.00	1.20	1.10	1.05	1.00
	0.60	0.79	0.90	0.96	1.00	1.09	1.10	1.05	1.00
	0.80	0.73	0.85	0.94	1.00	0.93	0.97	1.03	1.00
	≥1.00	0.67	0.78	0.86	0.93	0.78	0.82	0.89	0.95
η_p	≤0.20	1.64	1.35	1.18	1.06	1.26	1.18	1.11	1.06
	0.40	1.68	1.40	1.23	1.11	1.32	1.25	1.20	1.15
	0.60	1.72	1.44	1.27	1.16	1.37	1.31	1.26	1.22
	0.80	1.75	1.48	1.31	1.20	1.41	1.36	1.32	1.28
	≥1.00	1.79	1.52	1.35	1.24	1.44	1.40	1.36	1.33
η_{sp}	≤0.20	0.93	0.97	0.99	1.01	1.21	1.11	1.06	1.01
	0.40	0.93	0.97	1.00	1.02	1.22	1.12	1.07	1.02
	0.60	0.93	0.98	1.01	1.02	1.13	1.13	1.08	1.03
	0.80	0.89	0.95	0.99	1.03	1.01	1.03	1.07	1.04
	≥1.00	0.84	0.89	0.91	0.97	0.88	0.91	0.96	1.00

注：①B_c、l 分别为承台宽度和桩的入土长度，s_a 为桩中心距，当不规则布桩时按 JGJ94-94 规范第 5.3.9 条确定；

②当 $s_a/d>6$ 时，取 $\eta_s=\eta_p=\eta_{sp}=1$；两向桩距 s_a 不等时，s_a/d 取均值；

③当桩侧为成层土时，η_s 可按主要土层或分别按各土层类别取值；

④对于孔隙比 $e>0.8$ 的非饱和粘性土和松散粉土、砂类土中的挤土群桩，表列系数可提高 5%，对于密实粉土、砂类土中的群桩，表列系数宜降低 5%。

(4)单桩垂直极限承载力标准值：

规定：

①一级建筑桩基应采用现场静载荷试验，并结合静力触探、标准贯入等原位测试方法综合确定；

②二级建筑桩基应根据静力触探、标准贯入、经验参数等估算，并参照地质条件相同的试桩资料，综合确定。当缺乏可参照的试桩资料或地质条件复杂时，应由现场静载荷试验确定；

③对三级建筑桩基，如无原位测试资料时，可利用承载力经验参数估算；

④采用现场静载荷试验确定单桩垂直极限承载力标准值时，在同一条件下的试桩数量不宜小于总桩数的1%，且不应小于3根，工程总桩数在50根以内时不应小于2根。

计算：

①当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩垂直极限承载力标准值时，宜按下式计算：

$$Q_{uk}=Q_{sk}+Q_{pk}=u\Sigma q_{sik}l_i+q_{pk}A_p \tag{4-18}$$

式中：q_{sik}——桩侧第i层土的极限侧阻力标准值，如无当地经验值时，可按表4-10取值；

q_{pk}——极限端阻力标准值，如无当地经验值时，可按表4-11取值。

②根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系，确是大直径桩($d\geqslant 800mm$)单桩垂直极限承载力标准值时，可按下式计算：

$$Q_{uk}=Q_{sk}+Q_{pk}=u\Sigma\psi_{si}q_{sik}l_{si}+\psi_p q_{pk}A_p \tag{4-19}$$

式中：q_{pk}——同上，但对于干作业(清底干净)可按表4-12取值；ψ_{si}、ψ_p——大直径桩侧阻、端阻尺寸效应系数，按表4-13取值。

③嵌岩桩单桩垂直极限承载力标准值，由桩周土总侧阻、嵌岩段总侧阻和总端阻三部分组成。当根据室内试验结果确定单桩垂直极限承载力标准值时，可按下列式计算：

表 4-10　桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}(kPa)

土的名称	土的状态	混凝土预制桩	水下钻(冲)孔桩	沉管灌注桩	干作业钻孔桩
填土		20～28	18～26	15～22	18～26
淤泥		11～17	10～16	9～13	10～16
淤泥质土		20～28	18～26	15～22	18～26
黏性土	$I_L>1$	21～36	20～34	16～28	20～34
	$0.75<I_L\leqslant 1$	36～50	34～48	28～40	34～48
	$0.50<I_L\leqslant 0.75$	50～66	48～64	40～52	48～62
	$0.25<I_L\leqslant 0.5$	66～82	64～78	52～63	62～76
	$0<I_L\leqslant 0.25$	82～91	78～88	63～72	76～86
	$I_L\leqslant 0$	91～101	88～98	72～80	86～96
红黏土	$0.7<a_w\leqslant 1$	13～32	12～30	10～25	12～30
	$0.5<a_w\leqslant 0.7$	32～74	30～70	25～68	30～70
粉土	$e>0.9$	22～44	22～40	16～32	20～40
	$0.75\leqslant e\leqslant 0.9$	42～64	40～60	32～50	40～60
	$e<0.75$	64～85	60～80	50～67	60～80
粉细砂	稍密	22～42	22～40	16～32	20～40
	中密	42～63	40～60	32～50	40～60
	密实	63～85	60～80	50～67	60～80
中砂	中密	54～74	50～72	42～58	50～70
	密实	74～95	72～90	58～75	70～90
粗砂	中密	74～95	74～95	58～75	70～90
	密实	95～116	95～116	75～92	90～110
砾砂	中密、密实	116～138	116～135	92～110	110～130

注：①对于尚未完成自重固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土，不计算其侧阻力；

②a_w 为含水比，$a_w=\omega/\omega_L$；

③对于预制桩，根据土层埋深 h，将 q_{sik} 乘以下表修正系数：

土层埋深 $h(m)$	≤5	10	20	≥30
修正系数	0.8	1.0	1.1	1.2

表 4-11　桩的极限端阻力标准值 q_{pk}(kPa)

土名称	土的状态 \ 桩型	预制桩入土深度(m)				水下钻(冲)孔桩入土深度(m)			
		$h\leqslant 9$	$9<h\leqslant 16$	$16<h\leqslant 30$	$h>30$	5	10	15	$h>30$
粘性土	$0.75<I_L\leqslant 1$	210~840	630~1 300	1 100~1 700	1 300~1 900	100~150	150~250	250~300	300~450
	$0.50<I_L<0.75$	840~1 700	1 500~2 100	1 900~2 500	2 300~3 200	200~300	350~450	450~550	550~750
	$0.25<I_L\leqslant 0.50$	1 500~2 300	2 300~3 000	2 700~3 600	3 600~4 400	400~500	700~800	800~900	900~1 000
	$0<I_L\leqslant 0.25$	2 500~3 800	3 800~5 100	5 100~5 900	5 900~6 800	750~850	1 000~1 200	1 200~1 400	1 400~1 600
粉土	$0.75\leqslant e\leqslant 0.9$	840~1 700	1 300~2 100	1 900~2 700	2 500~3 400	250~350	300~500	450~650	650~850
	$e\leqslant 0.75$	1 500~2 300	2 100~3 000	2 700~3 600	3 600~4 400	550~800	650~900	750~1 000	850~1 000
粉砂	稍密	800~1 600	1 500~2 100	1 900~2 500	2 100~3 000	200~400	350~500	450~600	600~700
	中密、密实	1 400~2 200	2 100~3 000	3 000~3 800	3 800~4 600	400~500	700~800	800~900	900~1 100
细砂	中密、密实	2 500~3 800	3 600~4 800	4 400~5 700	5 300~6 500	550~650	900~1 000	1 000~1 200	1 200~1 500
中砂		3 600~5 100	5 100~6 300	6 300~7 200	7 000~8 000	850~950	1 300~1 400	1 600~1 700	1 700~1 900
粗砂		5 700~7 400	7 400~8 400	8 400~9 500	9 500~10 300	1 400~1 500	2 000~2 200	2 300~2 400	2 300~2 500
砾砂	中密、密实	6 300~10 500				1 500~2 500			
角砾、圆砾		7 400~11 600				1 800~2 800			
碎石、卵石		8 400~12 700				2 000~3 000			

续表 4-11

土名称	桩型 / 土的状态	沉管灌注桩入土深度(m)				干作业钻孔桩入土深度(m)		
		5	10	15	>15	5	10	15
粘性土	$0.75<I_L\leqslant 1$	400~600	600~750	750~1 000	1 000~1 400	200~400	400~700	700~950
	$0.50<I_L\leqslant 0.75$	670~1 100	1 200~1 500	1 500~1 800	1 800~2 000	420~630	740~950	950~1 200
	$0.25<I_L\leqslant 0.50$	1 300~2 200	2 300~2 700	2 700~3 000	3 000~3 500	850~1 100	1 500~1 700	1 700~1 900
	$0<I_L\leqslant 0.25$	2 500~2 900	3 500~3 900	4 000~4 500	4 200~5 000	1 600~1 800	2 200~2 400	2 600~2 800
粉土	$0.75<e\leqslant 0.9$	1 200~1 600	1 600~1 800	1 800~2 100	2 100~2 600	600~1 000	1 000~1 400	1 400~1 600
	$e<0.75$	1 800~2 200	2 200~2 500	2 500~3 000	3 000~3 500	1 200~1 700	1 400~1 900	1 600~2 100
粉砂	稍密	800~1 300	1 300~1 800	1 800~2 000	2 000~2 400	500~900	1 000~1 450	1 500~1 700
	中密、密实	1 300~1 700	1 800~2 400	2 400~2 800	2 800~3 600	850~1 000	1 500~1 700	1 700~1 900
细砂	中密、密实	1 800~2 200	3 000~3 400	3 500~3 900	4 000~4 900	1 200~1 400	1 900~2 100	2 200~2 400
中砂		2 800~3 200	4 400~5 000	5 200~5 500	5 500~7 000	1 800~2 000	2 800~3 000	3 300~3 500
粗砂		4 500~5 000	6 700~7 200	7 700~8 200	8 400~9 000	2 900~3 200	4 200~4 600	4 900~5 200
砾砂	中密、密实	5 000~8 400				3 200~5 300		
角砾、圆砾		5 900~9 200						
碎石、卵石		6 700~10 000						

注：①砂土和碎石类土中桩的极限端阻力取值，要综合考虑土的密实度、桩端进入持力层的深度比 h_s/d、土愈密实，h_s/d 愈大，取值愈高；

②表中沉管灌注桩系指带预制桩尖沉管灌注桩。

表 4-12　干作业桩(清底干净，$D=800mm$) 极限端阻力标准值 q_{pk}(kPa)

土名称		状态		
粘性土		$0.25<I_L\leqslant 0.75$	$0<I_L\leqslant 0.25$	$I_L\leqslant 0$
		800～1800	1800～2400	2400～3000
粉土		$0.75<e\leqslant 0.9$	$e\leqslant 0.75$	
		1000～1500	1500～2000	
砂土、碎石类土		稍密	中密	密实
	粉砂	500～700	800～1 100	1 200～2 000
	细砂	700～1 100	1 200～1 800	2 000～2 500
	中砂	1 000～2 000	2 200～3 200	3 500～5 000
	粗砂	1 200～2 200	2 500～3 500	4 000～5 500
	砾砂	1 400～2 400	2 600～4 000	5 000～7 000
	圆砾、角砾	1 600～3 000	3 200～5 000	6 000～9 000
	卵石、碎石	2 000～3 000	3 300～5 000	7 000～11 000

表 4-13　大直径灌注桩侧阻力尺寸效应系数 ψ_s
端阻力尺寸效应系数 ψ_p

土类别	粘性土、粉土	砂土、碎石类土
ψ_{si}	1	$(\frac{0.8}{D})^{1/3}$
ψ_p	$(\frac{0.8}{D})^{1/4}$	$(\frac{0.8}{D})^{1/3}$

注：表中 D 为桩端直径。

$$Q_{uk}=Q_{sk}+Q_{pk}+Q_{gk} \tag{4-20}$$

$$Q_{sk}=u\sum_i \zeta_{si}q_{sik}l_i \tag{4-21}$$

$$Q_{pk}=u\zeta_p f_{rk}h_r \tag{4-22}$$

$$Q_{pk}=\zeta_p f_{rc} A_p \tag{4-23}$$

式中：ζ_{si}——覆盖层第 i 层土的侧阻力发挥系数。当桩的长径比不大($l/d<30$)，桩端置于新鲜或微风化硬质岩中且桩底无沉渣时，对于粘性土，粉土，取 $\zeta_{si}=0.8$，对于砂类土及碎石类土，取 $\zeta_{si}=0.7$；对于其它情况，取 $\zeta_{si}=1$；

f_{rc}——岩石饱和单轴抗压强度标准值，对于粘土质岩取天然湿度单轴抗压强度标准值；

h_r——桩身嵌岩(中等风化、微风化、新鲜基岩)深度，超过 $5d$ 时，取 $h_r=5d$；当光层表面倾斜时，以坡下方的嵌岩深度为准；

ζ_s、ζ_p——嵌岩段侧阻力和端阻力修正系数，与嵌岩深径比 h_r/d 有关，按表 4-14 取值。

表 4-14　嵌岩段侧阻和端阻修正系数

嵌岩深径比 h_r/d	0.0	0.5	1	2	3	4	≥5
侧阻修正系数 ζ_s	0.000	0.025	0.055	0.070	0.065	0.062	0.050
端阻修正系数 ζ_p	0.500	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000

注：当嵌岩段为中等风化岩时，表中数值乘以 0.9 折减。

2. 承压桩基的垂直承载力

(1)中心受压荷载：单桩的轴向受压允许承载力：

$$N_1 \leqslant P_a \tag{4-24}$$

(2)偏心受压荷载：单桩的轴向受压允许承载力除满足公式(4-24)外尚须按下列公式验算：

非地震荷载下：

$$N_{1max} \leqslant 1.2 P_a \tag{4-25}$$

式中：N_{1max}—单桩桩顶最大轴向压力，10^4N。

地震荷载下：

$$N_{1max} \leqslant 1.5P_a \tag{4-26}$$

3. 桩的负摩擦力

对于一般桩而言，在垂直压荷载作用下，桩相对于桩周土向下位移，这时桩周受到向上的摩擦力，称为正摩擦力。在有些情况下，如桩周为欠固结软土，或在自重下尚未能正常固结的新填土，或大面积地面超载使桩周土层进一步被压密，或在桩周土层中抽取地下水而使土层有效应力增加，地面发生沉降，或湿陷性黄土浸水沉陷等，都会出现桩周土相对于桩向下位移，这时桩周就会受到向下的摩擦力（见图 4-7）即为负摩擦力。由于部分土的自重及地面上的荷载通过负摩阻力传给桩，引起桩身轴力的增加。因此，负摩擦力降低了桩的承载力，增大了桩基的沉降，严重时，甚至会造成桩的断裂。工程中，需要采取施工措施减少负摩擦力的影响。

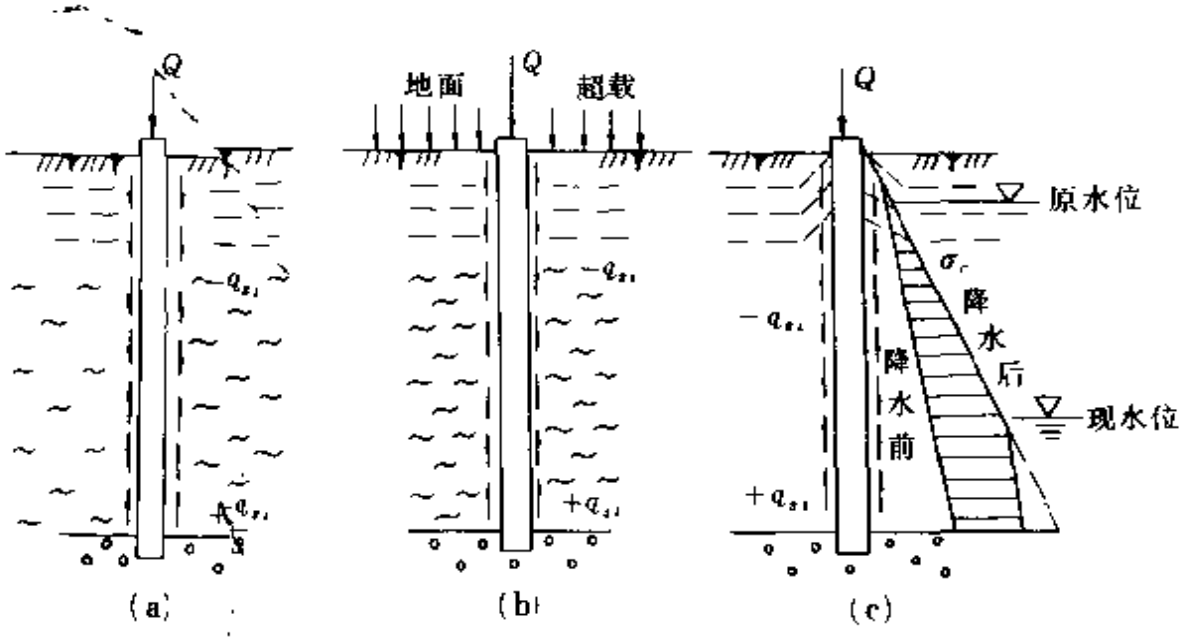


图 4-7　桩的负摩阻力及其部分原因

(a)桩周土固结下沉；(b)地面超载压密桩周土；(c)地下水位下降

一般认为桩的负摩擦力产生有以下三种原因：

(1)在打桩之前，新填土层或软粘土层没有在土层自重下完全固

结，由于这种软土层的固结，引起沉降，如图 4-8(a)所示。

(2)在正常固结或轻度超压密的软粘土地区，由于地下水位全面或部分降低，使垂直有效应力增加，因而引起的大面积沉降或部分桩的沉降，如图 4-8(b)。

(3)由于新填土、沉积或地面堆载等原因而促使桩周围的软土层固结，见图 4-8(c)所示。

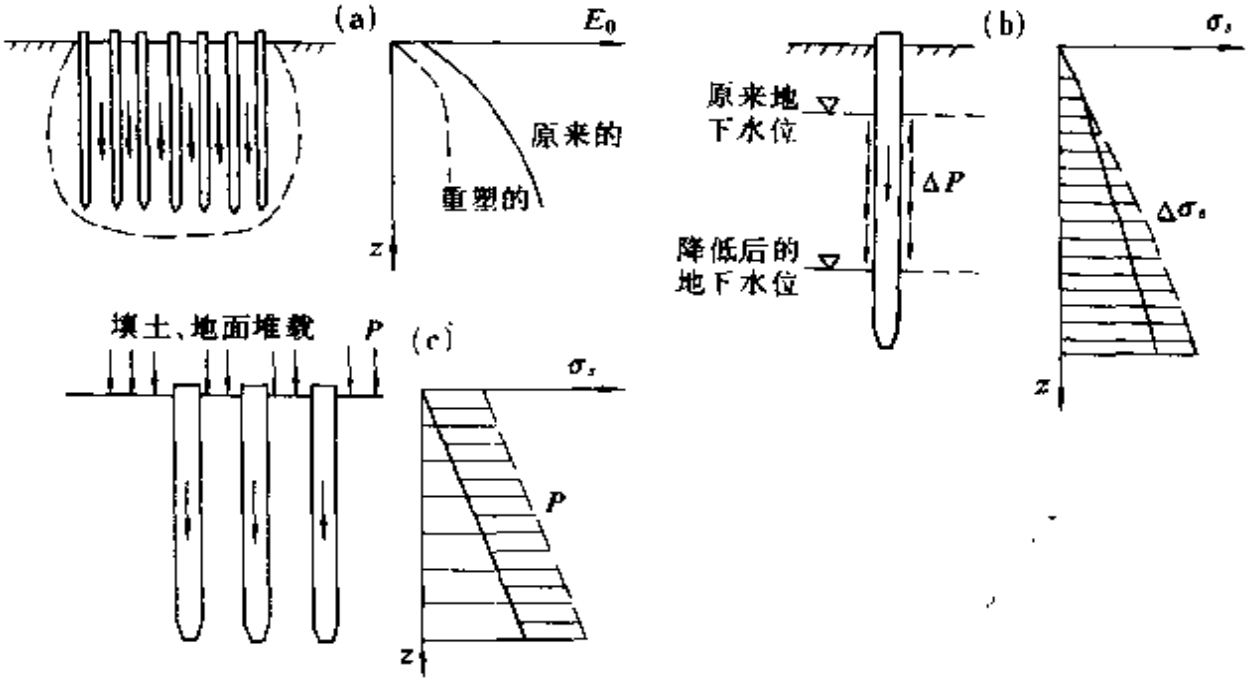


图 4-8　负摩擦力引起附加沉降的三种情况
(a)重塑土体的固结；(b)地下水位降低；(c)桩周土层在填土、地面堆载下压缩

桩的负摩擦力的计算方法很多，由于计算参数不能达到足够的精确度，通常不值得进行很精密的计算。实际应用中，对负摩擦力而产生的附加荷载仅作一个粗略的估算就可解决工程设计问题，简化的计算公式如下：

假定桩杆与软土的接触面上的负摩擦力等于桩的周长与软土层厚度相乘之积再乘以软土的原状不排水抗剪强度($\tau_f = q_u/2$)。

由图 4-9 计算可知，圆截面单桩负摩擦力引起的附加荷载可按下式简化计算：

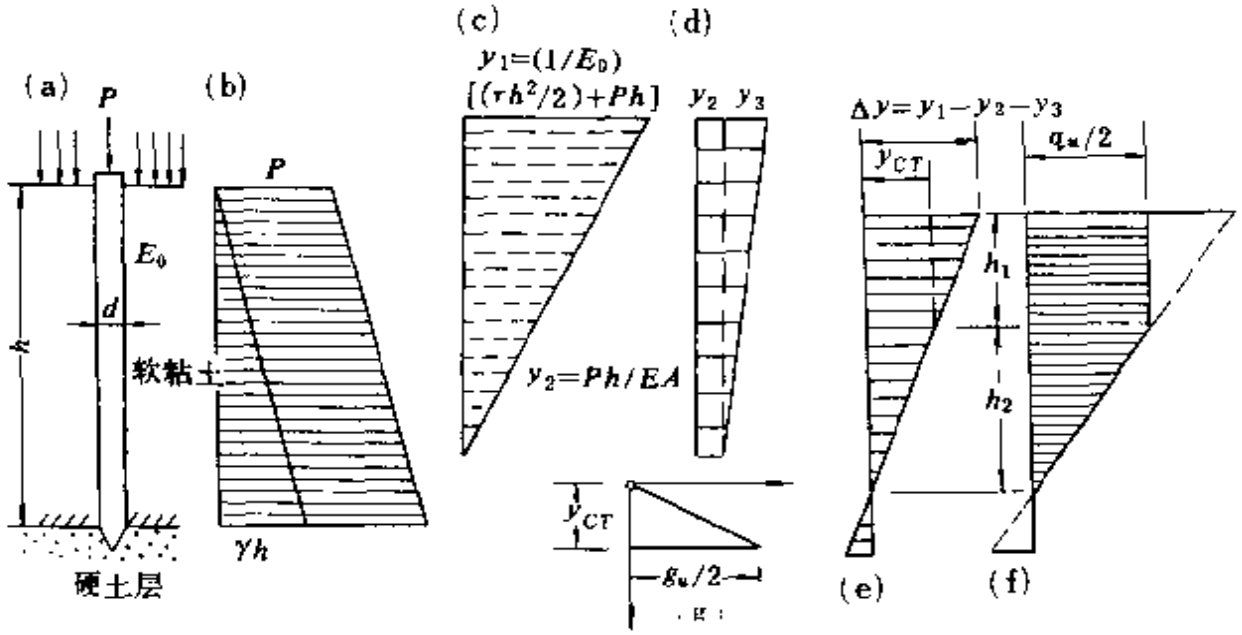


图 4-9　负摩擦力引起的附加荷载的计算

(a)剖面图；(b)桩周围土的竖向应力；(c)粘土的固结沉降 y_1；(d)桩的沉降(y_2 ··· 桩端的沉降；y_3 ···· 桩的压缩)；(e)相对位移；(f)负摩擦力的分布以及总的附加荷载 Δp；(g)假定的位移与表面摩阻力的关系(E_1 ···· 压缩模量，$E_1=\frac{1+e}{a}$，式中 e ····· 孔隙比，a ····· 压缩系数，y_{CT} ··· 摩阻力达到 $q_u/2$ 时，桩与土的相对位移)

$$\Delta P=(q_u\pi d/2)[h_1+(h^2/2)] \tag{4-27}$$

式中：q_u—— 无侧限抗压强度，10N/cm²；d—— 桩的直径或边长，cm。

如桩断面为正方形，则式(4-27)中的 $q_u\pi d/2$ 应改为 $2q_u d$。

二、承台、群桩的承载力

(一)摩擦桩低桩台基础

当承台下土体不致产生自重固结沉降，如新填土固结、降低地下水引起固结或自重湿陷、振(震)陷时，可考虑由承台底地基土承受承台和承台上土重。

(二)群桩的轴向承载力

对于桩距小于 $6d$，排列超过 2 排，桩数超过 9 根的摩擦桩基础，除了验算基桩的轴向承载力外，尚应将群桩基础视为假想实体深基础，验算其桩尖处的地基承载力。

对于桩距小于 $6d$ 的桩基，当桩尖影响深度下存在软弱下卧层时，应按假想实体除基础，验算该下卧层的承载力和沉降。

三、单桩水平承载力

(一)低桩承台桩基础

对于受水平力的一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物的低桩承台桩基，当根据单桩水平静载试验数据作为计算时，可按下列规定验算桩基中单桩的水平承载力。

(1)当桩顶只受水平力时：

$$H_1 \leqslant H_a \tag{4-28}$$

(2)当桩顶同时受水平力和轴向压力时：

$$H_1 \leqslant \frac{1}{\eta} H_a \left(1+\frac{0.9N_1}{\gamma R_j A_n}\right) \tag{4-29}$$

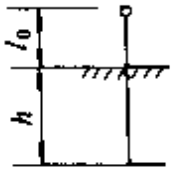
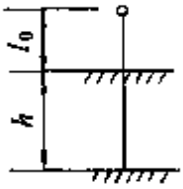
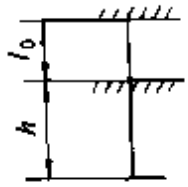
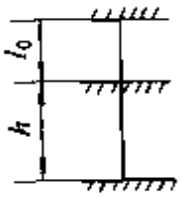
(3)当桩顶同时受水平力和轴向拉力时：

$$H_1 \leqslant H_a \left(1-\frac{N_1'}{\gamma R_j A_n}\right) \tag{4-30}$$

式中：η——偏心距增大系数，$\eta=\dfrac{1}{1-\dfrac{KN_1}{10\alpha_e E_a J}l_c^2}$，其中 K 为强度安全系数，采用 $K=1.55$，地震区 $K=1.24$；E_n 为混凝土的弹性模量，$10^4\mathrm{N/m^2}$；J 为桩身截面的惯性矩，$\mathrm{m^4}$；l_c 为桩身的计算长度，m，根据桩身变形系数 α 值(按表 4-15)确定；α_e 与偏心距有关的系数，按 $\alpha_e=\dfrac{0.1}{0.3+\dfrac{e_0}{d}}+0.143$ 计算，其中 e_0 为偏心距，$e_0=\dfrac{M}{M_1}$，而 $M=\dfrac{H_1\upsilon_m}{\alpha}$，$\upsilon_m$ 为桩顶(身)最大弯矩系数，见表 4-16；

N_1、N_1'——桩顶轴向压、拉力，$10^4\mathrm{N}$；

表 4-15　基桩的计算长度 l_c

桩顶铰接			
柱底支于非岩石土中		柱底嵌于岩石内	
$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$	$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$
			
$l_c=1.0(l_0+h)$	$l_c=0.7(l_0+\frac{4.0}{\alpha})$	$l_c=0.7(l_0+h)$	$l_c=0.7(l_0+\frac{4.0}{\alpha})$
桩顶固接			
柱底支于非岩石土中		柱底嵌于岩石内	
$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$	$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$
			
$l_c=0.7(l_0+h)$	$l_c=0.5(l_0+\frac{4.0}{\alpha})$	$l_c=0.5(l_0+h)$	$l_c=0.5(l_0+\frac{4.0}{\alpha})$

注：①表中 $\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$；

②l_0 为高桩台基桩露出地面的长度。

γ——截面抵抗矩的塑性系数，圆截面取 $\gamma=2$；

R_f——混凝土的抗裂设计强度，$10^4 N/m^2$；

A_n——桩身换算截面面积，$A_n=\frac{\pi d^2}{4}[1+(n-1)\mu g]$，其中 n 为钢筋与混凝土弹性模量的比值，$n=\frac{E_a}{E_h}$；μ_g 为桩身配筋率，%；

H_a——在桩顶自由且无轴向力情况下试桩的单桩允许水平承载力，$10^4 N$，可按下列公式之一确定：当桩身配筋率大于 0.65%时，应按下式确定：$H_a=\frac{\alpha_t}{K_H}H_u$；$H_a=\frac{\alpha_t}{K_H}H_{CT}$。其中 H_{CT}、H_u 分别为试桩的水平临界和极限荷载，$10^4 N$；α_t 为荷载性质系数，对受长期或经常

表 4-16　桩顶(身)最大弯矩系数 υ_m 和桩顶水平位移系数 υ_x

桩顶约束情况	桩的换算长度 (cm)	υ_m	υ_x
铰接(自由)	4.0	0.768	2.441
	3.5	0.750	2.502
	3.0	0.703	2.727
	2.8	0.675	2.905
	2.6	0.639	3.163
	2.4	0.601	3.526
固接	4.0	0.926	0.940
	3.5	0.934	0.970
	3.0	0.967	1.028
	2.8	0.990	1.055
	2.6	1.018	1.079
	2.4	1.045	1.095

注：铰接(自由)的 υ_m 系桩身的最大弯矩系数，固接的 υ_m 系桩顶的最大弯矩系数。

出现的水平力的桩基 $\alpha_i=0.8$，受水平地震力的桩基 $\alpha_i=1$；K_H 为单桩水平承载力的安全系数，一般取 1.4。

当使用上对桩基的水平位移有特殊限制，或上部土层为软土，或桩顶同时受较大轴向压力时，其单桩允许水平承载力除满足上述公式(4-28)、(4-29)和(4-30)外，尚应控制桩顶水平位移在允许范围之内，如利用试桩结果预估工程桩的桩顶位移时，应将试桩的位移值乘以位移换算系数：

$$m_x=\frac{v_{x\text{图}}}{v_{x\text{数}}} \tag{4-31}$$

式中：v_x——桩顶水平位移系数，按表 4-16 取值。

对于受长期或经常出现的水平荷载的桩基，应将水平位移试验测定值乘以大于 1 的系数。

(二)受水平力较小的高大建筑低桩台桩基

当桩身直径 $d=300\sim600$mm，配筋率为 0.40%～0.65%时，可按下列公式验算桩基中单桩的水平承载力。

(1)当桩顶只受水平力时：

$$H_1\leqslant[\frac{\alpha\gamma R_f W_0}{\zeta_M\eta v_m}(1.25+22\mu_g)] \tag{4-32}$$

(2)当桩顶同时受水平力和轴向压力时

$$H_1\leqslant[\frac{\alpha\gamma R_f W_0}{\zeta_M\eta v_m}(1.25+22\mu_g)(1+\frac{0.9N_1}{\gamma R_f A_n})] \tag{4-33}$$

(3)当桩顶同时受水平力和轴向拉力时：

$$H_1\leqslant[\frac{\alpha\gamma R_f W_0}{\zeta_M\eta v_m}(1.25+22\mu_g)(1-\frac{N_1}{\gamma R_f A_n})] \tag{4-34}$$

受长期或经常出现水平力的桩基，将公式(4-32)、(4-33)和(4-34)的右边乘以 0.8 进行验算。

对于水平位移有特殊限制、上部土层为软土，或桩顶同时受较大轴向力的桩基，单桩的水平承载力除按上述三式验算外，尚应按下列公式验算：

$$H_1 \leqslant \frac{\alpha^3 EJ}{\upsilon_x} x_{oa} \tag{4-35}$$

式中：ξ_M——桩身弯距调整系数，桩顶固结时，$\xi_M=0.9$，桩顶自由或铰接时 $\xi_M=1$；EJ——桩身抗弯刚度，$10^4 N \cdot m^2$；对于素混凝土桩 $EJ=E_hJ$，对于钢筋混凝土桩 $EJ=0.85E_nJ_0$，其中桩身换算截面惯性矩 $J_0=\frac{W_0 d}{2}$，$W_0=\frac{\pi d}{32}[d^2+2(n-1)\mu_g d_0^2]$，$d_0$ 为纵向钢筋圆环的直径，m；x_{oa}——桩顶允许水平位移，m；μ_g——桩的配筋率，%。

四、嵌岩灌注桩承载力

(一)概述

在基岩埋深不太大的情况下，常将大直径灌注桩穿过全部覆盖层嵌入基岩，成为嵌岩灌注桩。嵌岩灌注桩如果设计得当，可以充分利用基岩的承载性能而提高单桩的承载力。更重要的是嵌岩灌注桩由于桩端持力层是压缩性极小的基岩，因此，其单桩沉降很小，群桩沉降也不会因群桩效应而增大，群桩承载力不会因群桩效应而降低，且建筑物的沉降在施工过程中便可完成。以嵌岩灌注桩为基础的建筑物在地震过程中所产生的地震反应也比其它基础型式更轻微，抗震性能更好。

嵌岩灌注桩嵌岩桩段的单位侧摩阻力比土层要高得多，对于分担荷载起着很重要的作用。由于该部分侧阻的剪切破坏发生于桩、岩界面(对于坚硬完整岩体)或发生于靠近桩侧表面岩体中(对于软质岩或风化、破碎岩体)，因此，其侧阻力-相对位移关系(q_s-s 关系)，与一般土的 q_s-s 不同(如图 4-10)。它具有如下特性：

(1)q_s 达到极限值所需的相对位移 s 小于土层所需的 s；

(2)完整基岩中侧阻一般呈脆性破坏，q_s 由峰值减小到某一残余强度 q_{sr}。

表 4-22 给出了一部分岩体的极限侧阻所对应的相对位移经验

值。由表 4-17 可看出，完整岩体的 s 约为破碎岩体 s 值的 $\frac{1}{2}$；由图 4-10 可见岩体的 s 约为土体 s 的 $\frac{1}{2}$。由此可见，发挥嵌岩桩段侧阻力所需的位移是很小的，这一软垫的压缩导致嵌岩桩段与岩体间产生相对位移，从而使其侧阻力得以充分发挥。相反，桩底端阻力往往由于“软垫”作用或由于桩身材料先行破坏而不能有效发挥出来，更不可能发展至桩端以下岩体的破坏。

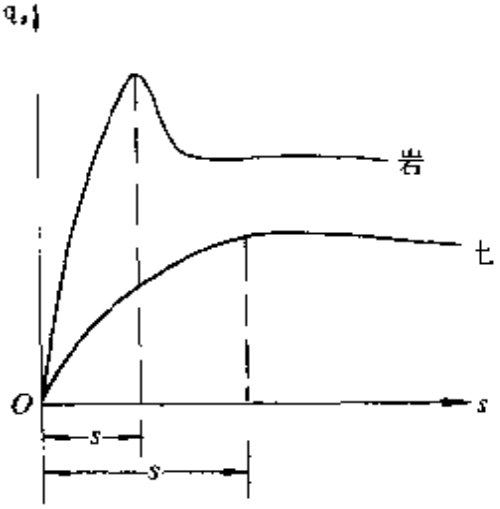


图 4-10　岩、土侧阻力-相对位移关系图

表 4-17　发挥极限侧阻对应的相对位移 s(mm)

岩石名称	破碎砂质粘土岩和细砂岩	完整细砂岩	完整石灰岩 花　岗　岩
s	4	3	≤2

对于短粗的人工挖孔嵌岩桩，或覆盖层极软的中长钻孔嵌岩桩，或清底极好不存在“软垫”的中长钻孔嵌岩桩，其承载性状也各有特点。短粗桩的桩身压缩量极小，桩侧阻力因桩土相对位移小而不能发挥，而且数值较小。此时，桩端阻力（包括嵌岩侧阻力）对桩的承载力起主要作用；对于第二种情况则由于覆盖土层侧阻力很小，也由端阻力起主要作用。桩的破坏由桩端阻力或桩身材料强度控制；对于第三种情况，由于桩底无“软垫”，在小位移条件下，桩端阻力就能发挥出来，但此时由于桩较长，土层桩侧阻力也是不应忽略的。

综上所述，关于嵌岩灌注桩的承载性状可以归纳为以下几点：

(1)嵌岩灌注桩的荷载传递和破坏特性主要与桩的长径比、覆盖

土层性质、嵌岩段的岩性和成桩工艺有关；

(2)对于 $l/d>15\sim20$ 的泥浆护壁钻(冲)孔嵌岩桩，无论是嵌入风化岩还是完整基岩中，其荷载传递具有一般摩擦桩的特性，即桩侧阻力先于桩端阻力发挥出来，桩端分担的荷载较小，属于摩擦桩。

(3)对于短粗的人工挖孔嵌岩桩，桩端阻力先于覆盖土层的侧阻力发挥出来，且桩端阻力对桩的承载力起主要作用，属于端承桩。

(4)对于覆盖土层极软的嵌岩灌注桩，其承载力主要由嵌岩段侧阻力和桩端阻力提供，属于端承桩。

(5)当 $l/d\geqslant40$，嵌岩桩端的承载力作用较小，在此情况下，桩端一般无需嵌入微风化岩中，也无需扩底。

(6)完整基岩嵌岩段侧阻力的发挥和破坏特性与土层侧阻力有所不同，所需相对位移较小，呈脆性破坏。

(7)尽管大部分嵌岩灌注桩也属于摩擦桩，但由于桩端以下为低压缩性持力层，因此嵌岩群桩的沉降不受群桩效应的影响。

(8)由于嵌岩灌注桩的嵌岩部分具有较高的侧阻力和极端阻力，其单桩承载力往往超过相同截面的土中的摩擦桩，桩身正应力值很高。因此，桩身材料强度是控制单桩承载力的重要因素。

(二)嵌岩灌注桩承载力的确定

如前所述，嵌岩灌注桩的承载性状由于长径比、覆盖土层性质、嵌岩段岩性、施工工艺不同而有显著差别，或属于摩擦桩或属于端承桩。承载力的计算不能不考虑到这些具体条件和特征。我国现行的关于嵌岩灌注桩承载力的计算模式大体分成两类，一类是只计桩端阻力，其桩端阻力的确定方法是将岩石饱和单轴极限抗压强度标准值 f_{rk}(微风化、中风化岩)乘以某一折减系数(如微风化岩折减系数取 0.2～0.33，中等风化岩取 0.17～0.25)，岩石 f_{rk} 为不少于 6 个岩样的抗压强度平均值减 1.645 倍的抗压强度标准差。另一类是只计嵌岩部分的侧阻力和桩端阻力。对于支承在岩层中的钻孔、挖孔灌注桩，其承载力设计值 R 可按如下的经验公式计算：

$$R=(C_1A+C_2ul_r)f_{rk} \tag{4-36}$$

式中：A——桩底面积，m^2；u——嵌入岩层内的桩孔周长，m；l_r—自新鲜岩石面算起的桩的嵌入深度，m；f_{rk}——桩底岩石饱和单轴极限抗压强度标准值，kPa；

C_1、C_2——系数，根据岩层破碎程度和清底情况而按表 4-18 确定。

表 4-18　C_1 和 C_2 系数

岩层及清底情况	C_1		C_2	
	铁　规	路　规	铁　规	路　规
良　好	0.50	0.60	0.04	0.05
一　般	0.40	0.50	0.03	0.04
较　差	0.30	0.40	0.02	0.03

注：当 $l_r\leqslant 0.5m$ 时，C_1 应乘以 0.7，$C_2=0$

两者都不计覆盖土层的侧阻力，其计算模式是值得进一步探讨的，前者只符合按端承桩设计且嵌岩深度小于 0.5 倍桩径的灌注桩的承载力性状，后者流行于桥基设计。不计覆盖土层的侧阻力主要是考虑冲刷的影响而忽略全部土层的侧阻力。因此，嵌岩灌注桩单桩承载力标准值宜按下式计算：

$$R_k=\frac{Q_{su}+Q_{ru}}{K_s}+\frac{Q_{bu}}{K_b} \tag{4-37}$$

式中：Q_{su}、Q_{ru}——分别为覆盖土层和嵌岩段的总极限侧阻力，如端承桩，取第一次侧阻力 $Q_{su}=0$；Q_{bu}——桩底总极限端阻力；K_s、K_b——分别为侧阻力和桩端阻力的安全系数，根据长径比、嵌岩段岩性和成桩工艺取值。

1. 完整基岩上的短粗挖孔嵌岩灌注桩

人工挖孔嵌岩灌注桩的特点是清底好。当长径比较小（$l/d\leqslant 8\sim 10$）且桩底支承于完整基岩时，竖向荷载下的位移很小，覆盖土层侧阻力不能发挥，其侧阻力潜在值相对较小。此时按端承桩计算单桩承载力设计值，只计嵌岩段的承载力，即令(4-37)式中 $Q_{su}=0$，所以：

$$R=\frac{Q_{su}}{K_s}+\frac{Q_{bu}}{K_b} \tag{4-38}$$

由于嵌岩段侧阻与端阻同步发挥，故取 $K_s=K_b=K$，从而：

$$R=\frac{f_{rk}}{K}(\psi_s u l_r+\psi_b A) \tag{4-39}$$

式中：R——单桩承载力设计值，kN；f_{rk}——岩石饱和单轴极限抗压强度标准值，kPa；K——安全系数，一般取 $K=2$；u——嵌岩段桩周长，$u=\pi d$，m；l_r——桩嵌岩段长度，m；A——桩底面积，m^2；ψ_s、ψ_b——分别为嵌岩段侧阻、端阻与岩石单轴极限抗压强度的比例系数，见表 4-19。

表 4-19　比例系数 ψ_s、ψ_b

岩石完整程度	ψ_s	ψ_b
微风化	0.08～0.10	1.0～1.2
中等风化	0.04～0.06	0.6～0.8

2. 完整基岩上的钻(冲)孔嵌岩灌注桩

如前所述，泥浆护壁钻(冲)孔嵌岩灌注桩，由于桩底“软垫”的压缩足以调动覆盖土层的侧阻力，端阻力则不能充分发挥，其发挥程度与桩的长径比、覆盖土层性质、嵌岩段岩性、成桩工艺等有关，故单桩承载力标准值宜按下式计算：

$$R_k=\frac{u}{K_s}(q_{su}l_s+\xi_s f_r l_r)+\frac{1}{K_b}\xi_b f_{rk}A \tag{4-40}$$

式中：K_s、K_b——分别为桩侧阻力和桩端阻力的安全系数，根据荷载传递特性分别取 $K_s=1.4$～1.8（l/d 较小时取高值，l/d 较大时取低值）；$K_b=3$～5（l/d 较小时取低值，l/d 较大时取高值）；q_{su}——覆盖土层极限侧阻，kPa，可按表 4-12 值乘 2 确定；ξ_s、ξ_b——分别为嵌岩段侧阻、端阻按单轴抗压强度计算的折减系数，根据岩石的完整程度和清孔情况取值，见表 4-20。

表 4-20　折减系数 ξ_s、ξ_b

岩石完整程度	ξ_s		ξ_b	
	清孔较好	清孔一般	清底较好	清底一般
微风化	0.06～0.08	0.045～0.055	0.8～1.0	0.5～0.7
中等风化	0.04～0.05	0.025～0.035	0.5～0.6	0.3～0.4

其它同公式(4-39)。

单桩承载力设计值 $R=1.2R_k$，对于桩数为 3 根及 3 根以下的柱下承台，取 $R=1.1R_k$。

五、群桩承载力

由若干根桩组成的桩基，在上部用承台连成整体称为群桩。群桩实质上是若干单桩的集合体，也是桩基础的一般型式。确定群桩的垂直承载力，必须研究单桩与群桩在承载力与沉降方面的相互关系，这也是桩基础理论中的一个重要问题。

研究群桩的承载力，首先要对群桩中各根桩的承载力统一取值，然后，确定各根桩的承载力统一值与群桩集合体的关系。

端承桩基础中各根桩的荷载由桩端承受，图 4-11 所示，各单桩之间相互影响小，所以群桩的承载力等于全部单桩承载力之和。

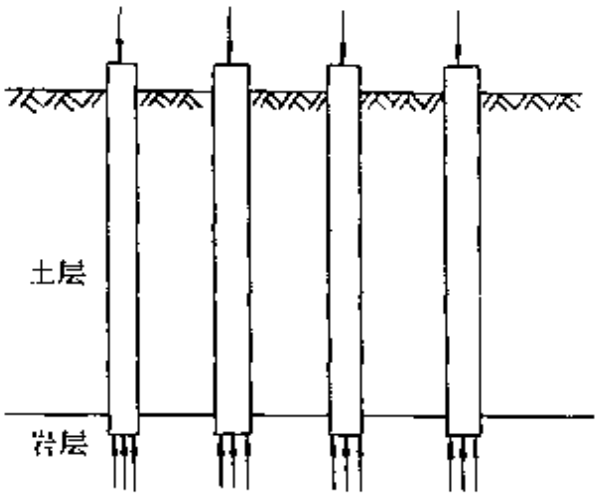


图 4-11　端承群桩

摩擦桩基础的每根桩不仅通过桩端传递荷载，而且通

过每根桩的桩周土对桩侧面的摩擦力传递荷载。摩擦力沿深度扩散[见图 4-12(a)]，在桩端平面上，附加压力的分布直径 $D=2l\mathrm{tg}\theta+d$，比桩径 d 大得多。对于群桩，当桩距小于 D 时，在桩尖处将出现压力叠加[见图 4-12(b)]。因此，在相同条件下，如果群桩中每根桩所受的荷载与某一单桩所受的荷载相同时，则群桩的沉降量比单桩沉降量大。如果要维持相同条件的单桩沉降量，则必须降低群桩中每根桩的平均承载力，亦即群桩的承载力小于全部单桩承载力之和。

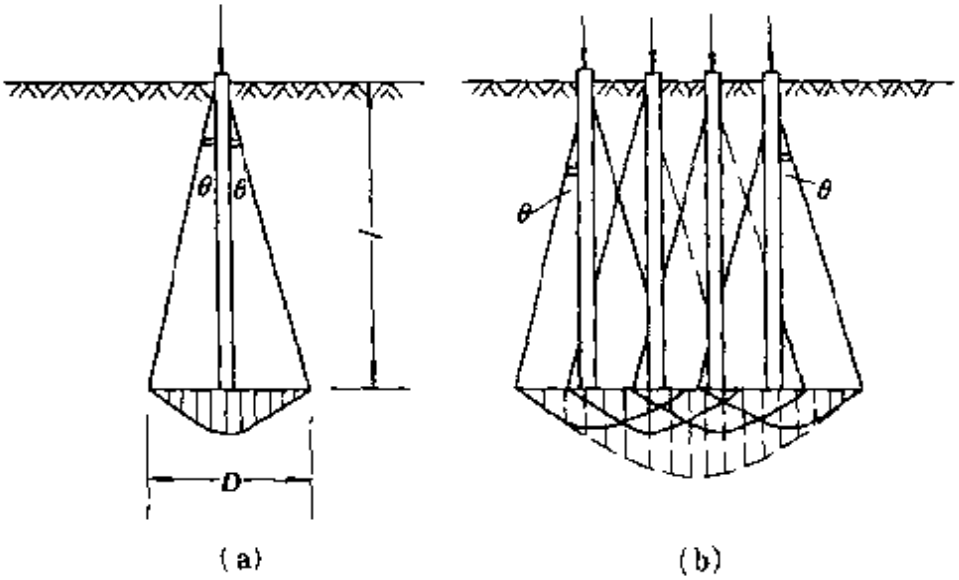


图 4-12　桩侧摩阻力的扩散作用与桩端平面上的压力分布
(a) 单桩；(b)群桩

影响群桩承载力的因素很复杂，其主要因素是桩距、桩数、桩长、土的性质以及群桩的平面形式和大小等。

群桩效率系数 ξ 是实际的群桩承载力与单桩承载力总和之比。其值一般小于 1，也可能大于 1。研究证明，桩距增大则 ξ 提高，但桩距大至一定值后，ξ 增加不明显；在桩距相同时，桩数越多 ξ 越低；承台面积保持不变，桩数增加时，ξ 显著降低。

沉降比 η 是群桩上作用荷载 ηQ 时的沉降量与单桩上作用荷载 Q 时的沉降量之比，其值一般均大于 1。当桩距增大，则 η 减小；桩距

与荷载都相同时，η 随桩数的增多而变大。

在桩基设计时，要尽量提高 ξ 和降低 η，以求得最佳效益。为此，应适当保持一定的桩距，使桩距 $s \geqslant 3d$；减少桩数，加长桩长及使桩尖进入较好的持力层且达到 1～2m 的深度以提高单桩承载力；注意桩的排列，加强外围和采用梅花式排列等。

综合以上原因，对于符合桩及桩基的基本构造，并按规定确定单桩承载力的群桩，GBJ7—89 按其工作状态分为以下两类：

(1)端承桩和桩数 $n<9$ 根的摩擦桩以及条形基础下不超过两排的摩擦桩。由于这类桩的桩数少，桩端压力互相影响小，故群桩的承载力为各单桩承载力之和。

(2)桩距 $s<6d$、桩数 $n \geqslant 9$ 根的摩擦桩。由于可将群桩与桩间土视为一假想的实体深基础，设计时应验算这个假想基础的地基强度和变形是否满足要求。

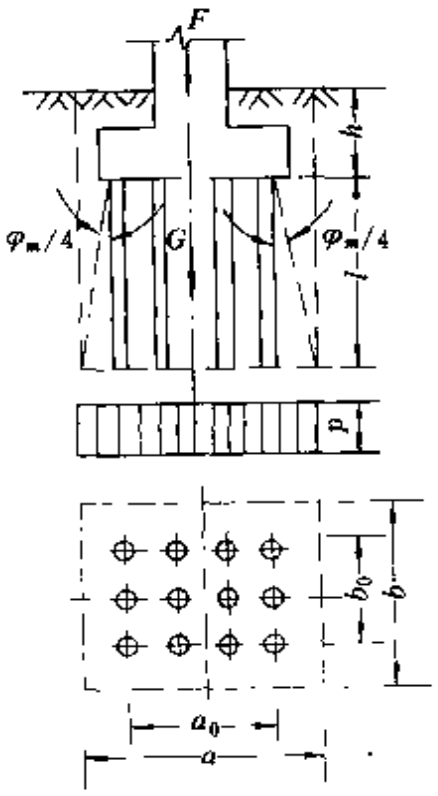


图 4-13　假想实体基础计算简图

假如作用在承台底面上的荷载，从最外圈的桩顶以 $\varphi_m/4$ 的角度向下扩散(见图 4-13)。φ_m 为桩长范围内各土层内摩擦角的加权平均值：

$$\varphi_m=\frac{\sum \varphi_i l_i}{\sum l_i}$$

设荷载扩散到桩端的压力分布面积为假想实体基础的底面积 A，则有：

$$A'=(a_0+2l\mathrm{tg}\frac{\varphi_m}{4})(b_0+2l\mathrm{tg}\frac{\varphi_m}{4}) \tag{4-41}$$

在中心载荷作用下，桩端平面处的平均压力应满足下述条件：

$$p=\frac{F+G}{A'}\leqslant f \tag{4-42}$$

在偏心荷载作用下，除应满足(4-42)式外，还应满足：

$$\frac{F+G}{A'}+\frac{M_x}{W_x}+\frac{M_y}{W_y}\leqslant 1.2f \tag{4-43}$$

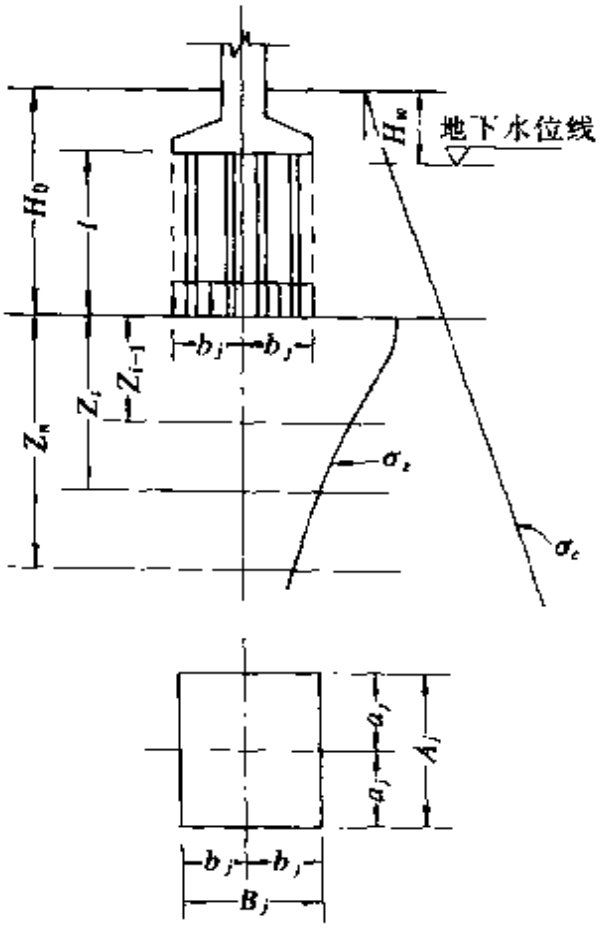


图 4-14

式中：F——上部结构物作用在设计地面上垂直荷载设计值，kN；G——假想基础体积范围受到的重力，kN，$G=A'(h+l)r_m$，r_m 为假想基础体积的平均重度，一般取 $r_m=20\mathrm{kN/m^3}$，但地下水位以下取浮重度；M_x、M_y——分别作用在假想基础底面 x、y 对称轴上的弯矩设计值，kN·m；W_x、W_y——假想基础底面 x、y 轴的抵抗矩，$\mathrm{m^3}$；f——假想基础底下地基土经修正后的承载力设计值，kPa。

当桩端以下主要受力层范围内存在软弱下卧层时，可采用图 4-14 的计算简图，对软弱下卧层进行验算，其验算方法与浅基础相似。

第四节　桩基沉降计算

一、桩基变形的衡量指标

(1)沉降量；

(2)沉降差；

(3)倾斜：建筑物桩基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离之比值；

(4)局部倾斜：墙下条形承台沿纵向某一长度范围内桩基础两点的沉降差与其距离的比值。

二、有关规定

(1)由于土层厚度与性质不均匀、荷载差异、体型复杂等因素引起的地基变形，对于砌体承重结构应由局部倾斜控制；对于框架结构应由相邻柱基的沉降差控制；对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜值控制。

(2)建筑物的桩基变形允许值如无当地经验时可按表 4-21 采用，对于表中未包括的建筑物桩基容许变形值，可根据上部结构对桩基变形的适应能力和使用上的要求确定。

(3)对于桩中心距小于或等于 6 倍桩径的桩基，以最终沉降量计算可采用等效作用分层总和法。等效作用面位于桩端平面等效作用面积为桩承台投影面积，等效作用附加应力近似取承台底平均附加应力。等效作用面以下的应力分布采用各向同性均质直线变形体理论。

(4)当桩基形状不规则时，可采用等代矩形面积计算桩基等效沉降系数，等效矩形的长宽比可根据承台实际形状确定。

表 4-21　建筑物桩基变形允许值

变形特征		允许值
砌体承重结构基础的局部倾斜		0.002
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差		
①框架结构		$0.002l_0$
②砖石墙填充的边排柱		$0.000\ 7l_0$
③当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构		$0.005l_0$
单层排架结构(柱距为 6m)柱基的沉降量(mm)		120
桥式吊车轨面的倾斜(按不调整轨道考虑)		
纵向		0.004
横向		0.003
多层或高层建筑基础的倾斜	$H_g \leqslant 24$	0.004
	$24 \leqslant H_g \leqslant 60$	0.003
	$60 < H_g \leqslant 100$	0.002
	$H_g > 100$	0.001 5
高耸结构基础的倾斜	$H_g \leqslant 20$	0.008
	$20 < H_g \leqslant 50$	0.006
	$50 < H_g \leqslant 100$	0.005
	$100 < H_g \leqslant 150$	0.004
	$150 < H_g \leqslant 200$	0.003
	$200 < H_g \leqslant 250$	0.002
高耸结构基础的沉降量	$H_g \leqslant 100$	350
	$100 < H_g \leqslant 200$	250
	$200 < H_g \leqslant 250$	150

注：l_0 为相邻桩基的中心距，mm；H_g 为自室外地面算起的建筑物高度，m。

(5)计算桩基沉降时，应考虑相邻基础的影响，采用叠加原理计算；桩基等效沉降系数可按独立基计算。

三、计算

(一)桩基内任意点的最终沉降量

$$(1)S=\psi\cdot\psi_e\cdot S'=\psi\cdot\psi_e\cdot\sum_{j=0}^{m}p_{0j}\sum_{i=0}^{n}\frac{z_{ij}\alpha_{ij}-z_{(i-1)j}\alpha_{(i-1)j}}{E_{si}} \quad (4\text{-}44)$$

式中：S——桩基最终沉降量，mm；

S'——按分层总和法计算出的桩基沉降量，mm；

ψ——桩基沉降计算经验系数，当无当地可靠经验时，非软土地区和软土地区桩端有良好持力层时，ψ 取 1；软土地区且桩端无良好持力层，当桩长 $l\leqslant 25$m 时，ψ 取 1.7，桩长 >25m 时，ψ 取 $(5.9l-20)/(7l-100)$；

ψ_e——桩基等效沉降系数；

$$\psi_e=C_0+\frac{n_b-1}{C_1(n_b-1)+C_2} \quad (4\text{-}45)$$

$$n_b=\sqrt{n\cdot B_c/L_c} \quad (4\text{-}46)$$

其中 n_b 为矩形布桩时的短边布桩数，当布桩不规则时可按(4-46)式计算，当 n_b 计算值小于 1 时，取 $n_b=1$；C_0、C_1、C_2 是根据群桩不同距径比(桩中心距与桩径之比)S_a/d、长径比 l/d 及基础长宽比 L_c/B_c，查表求得；L_c、B_c、n 分别为矩形承台的长、宽及总桩数。

m——角点法计算点对应的矩形荷载分块数；

p_{0j}——角点法计算点对应的第 j 块矩形底面长期效应组合的附加压力，kPa；

n——桩基沉降计算深度范围内所划分的土层数(见图 4-14 所示)；

E_{si}——等效作用底面以下第 i 层土的压缩模量，MPa，采用地基土在自重压力至自重压力加附加压力作用时的压缩模量；

z_{ij}、$z_{(i-1)j}$——桩端平面第 j 块荷截至第 i 层土、第 $i-1$ 层底面的距离，m；

α_{ij}、$\alpha_{(i-1)j}$——桩端平面第 j 块荷载计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数，可按《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 G-1～表 H-5 取值。

(2)计算矩形桩基变形时，桩基沉降计算式(4-44)可简化成下式：

矩形基础中点沉降：

$$s=\psi\cdot\psi_e\cdot S'=4\cdot\psi\cdot\psi_e\cdot p_0\sum_{i=1}^{n}\frac{z_i\alpha_i-z_{i-1}\alpha_{i-1}}{E_{si}} \tag{4-47}$$

式中：α_i、α_{i-1}——根据矩形长宽比 a/b 及深宽比 $\frac{z_i}{b}=\frac{2z_i}{B_c}$、$\frac{z_{i-1}}{b}=\frac{2z_{i-1}}{B_c}$，查表求得；$p_0$——平均附加压力。

矩形基础角点沉降。

$$S=\psi\cdot\psi_e\cdot S'=\psi\cdot\psi_e\cdot p_0\sum_{i=1}^{n}\frac{z_i\alpha_i-z_{i-1}\alpha_{i-1}}{E_{si}} \tag{4-48}$$

式中：α_i、α_{i-1}——根据矩形长宽比 a/b 及深宽比 $\frac{z_i}{b}=\frac{z_i}{B_c}$，$\frac{z_{i-1}}{b}=\frac{z_{i-1}}{B_c}$，查《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 G-1～表 H-5。

(3)地基沉降计算深度：

地基沉降计算深度 Z_n(见图 4-14 所示)，按应力比法确定，且 Zn 处的附加应力 σ_z 与土的自重应力 σ_c 应符合下式要求：

$$\sigma_z=0.2\sigma_c \tag{4-49}$$

$$\sigma_z=\sum_{j=1}^{m}\alpha_j p_{0j} \tag{4-50}$$

式中：α_j——附加应力系数，根据角点法划分的矩形长宽比及深宽比，查表求得。

(4)当布桩不规则时，等效距径比可按下式近似计算：

圆形桩　$S_a/d=\sqrt{A_c}/(\sqrt{n}\cdot d)$ (4-51)

方形桩　$S_a/d=0.886\sqrt{A_c}/(\sqrt{n}\cdot b)$　　(4-52)

式中：A_c——桩基承台总面积；b——方形桩截面边长。

(5)群桩地基沉降验算：

当桩端支承在低压缩性土层时，可不做沉降验算，但有特殊要求的建筑物或有软弱下卧层时则应考虑沉降计算。摩擦桩的沉降问题尤其重要。

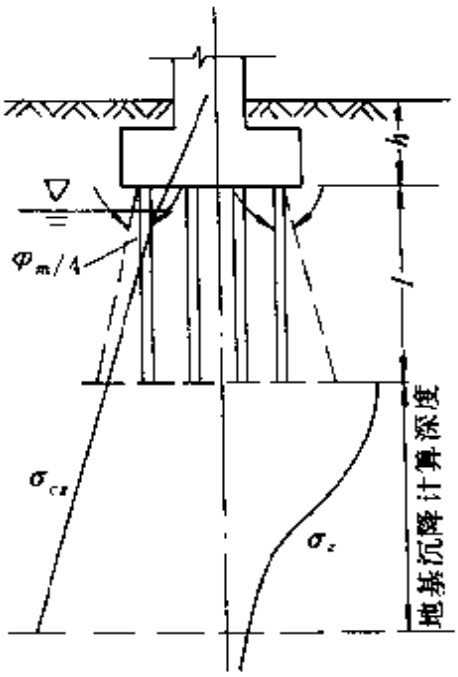


图 4-15　桩基沉降的计算简图

群桩沉降验算时，可按图 4-15 所示的假想压力图形，计算桩端以下地基变形计算深度范围内的变形量，作为桩基的沉降量。其计算步骤与上述差不多，只是在计算时，各层的压缩模量 E_s 宜按实际的自重应力和附加应力由压缩试验曲线决定。同时，GBJ7—89 中用于浅基础的沉降经验系数 ψ_s，不能用于桩基的沉降计算，应选用地区经验值。《上海地基基础设计规范》中推荐，ψ_s 取值为：当基础底面附加压力 $p_0\geqslant 40$kPa 时，可取 0.7；$p_0=60$kPa 时，可取 1.0；$p_0=80$kPa 时，可取 1.2；$p_0\geqslant 100$kPa 时，可取 1.3，中间值可内插。

第五节　桩身强度计算

一、轴向受压桩

当单桩桩顶轴向压力满足下列公式时桩内可不配置抗压钢筋。

$N\leqslant 0.48R_aA^2$　　(4-53)

式中：R_a——混凝土的轴心抗压设计强度，$10^4N/m^2$；d——桩身设计直径，m。

但为端承桩时，抗压构造钢筋应沿桩身通长配置。

二、抗拔桩

专用抗拔桩一般应通长配筋；因地震力、冻胀或膨胀力作用而受拔力的桩，按计算配通长或局部长度的抗拉筋。

三、受水平力的桩

当单桩桩顶水平力满足下列公式时，桩身可不配抗弯钢筋。

$$H_1 \leqslant \beta d^2 \sqrt[5]{1.5d^2+0.5d}\left(1+\frac{0.9N_1}{\gamma R_L A}\right) \qquad (4\text{-}54)$$

式中：H_1——单桩桩顶水平力，10^4N；β——综合系数，按表 4-22 采用；d——桩身设计直径，m；N_1——单桩桩顶轴向压力，10^4N；R_L——混凝土的抗拉设计强度，$10^4N/m^2$；γ——桩身截面抵抗矩的塑性系数，圆截面取 $\gamma=2$；A——桩身截面积，按设计桩径计算，m^2。

表 4-22　综合系数 β

上部土层的类别 指承台下 $2(d+1)$(m)深度范围内的土层	桩身混凝土标号	
	150 号	200 号
淤泥、淤泥质土，饱和湿陷性黄土	2.5～2.9	3.1～3.5
流塑、软塑状一般粘性土，松散粉细砂，松散填土	2.9～3.5	3.5～4.1
可塑状一般粘性土，湿陷性黄土，稍密砂土，稍密、中密填土	3.5～4.2	4.1～5.0
硬塑、坚硬状一般粘性土，湿陷性黄土，中密中粗砂，密实老填土	4.2～5.1	5.0～6.2
中密、密实砾砂、碎石类土	5.1～6.4	6.2～7.7

注：当桩基受长期或经常出现的水平荷载时，则按表中土层的类别降低一类取 β 值。

对于高大和较重要的建筑物，宜配置桩顶连接构造筋，伸入桩身

$3\sim5d$。

当单柱桩顶水平力不能满足上述公式时，应按计算配筋。

对于受水平力的一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物的低桩台桩基，当桩的设计直径为 30～60cm 时，可按配筋率 0.40%～0.65%，小直径桩取高值，大直径桩取代值配筋。配筋长度一般采用 $4.0/\alpha$，当桩长小于 $4.0/\alpha$ 时，桩内应通长配筋，当承台底部为可液化土层时，桩身配筋长度应按 $4.0/\alpha$ 加液化土层厚度考虑。

第六节　承台计算

桩承台应用足够的强度和刚度，将单桩连在一起，并将荷载均匀地传到桩上。承台的设计，主要是确定承台的平面尺寸、厚度与桩的连接以及配筋等。

一、承台平面尺寸和构造要求

承台的平面尺寸和形状，一般是由上部结构以及桩的数量和布置确定，如桩下桩基承台，通常做成条形，此外，承台边伸出边桩中心的距离不应小于桩的直径（或桩的边长），边桩边缘到承台边距离不应小于 10cm。

桩顶伸入承台的长度不应小于 5cm，当水平荷载较大时，不小于 10cm。灌注桩钢筋应插入承台，插入深度应满足钢筋锚固长度的要求。

二、承台板厚度的计算

与钢筋混凝土板式基础一样，钢筋混凝土承台的厚度，也是按冲切计算决定。承台冲切破坏，是由柱周边沿着 40°斜面拉裂，形成冲切锥体破坏（见图 4-16 所示），也可能是在边桩顶部形成冲切锥体破坏面（如图 4-17 所示）。

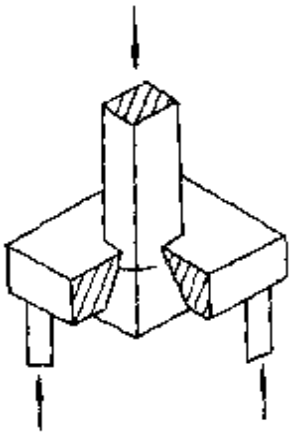


图 4-16　承台的冲切破坏

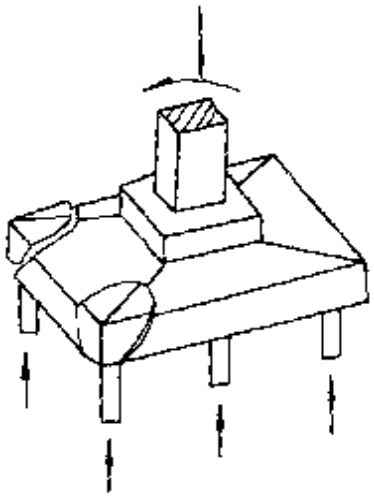


图 4-17　承台边桩顶部冲切破坏

根据《钢筋混凝土结构设计规范》，冲切强度验算应满足：

$$KQ \leqslant 0.75 R_L S h_0 \tag{4-55}$$

式中：Q——冲切力，即为作用在冲切锥体以外的各桩反力之总和，或为边桩中最大的反力；S——离冲切荷载边 $h_0/2$ 处，锥体破坏面上的水平周长验算边桩时，可做近似计算；h_0——锥体破坏面处的承台有效高度；R_L——混凝土抗拉计算强度；K——冲切强度安全系数，取 $K=2.2$。

三、承台板的受弯计算和配筋计算

承台板的配筋接受构件计算。在中心荷载作用下，通常在承台的中部出现裂缝（见图 4-18）。

目前，计算承台弯矩的方法还不统一。对于条基础下的桩基承台，通常作为支承在单个桩座上的多跨连续梁，同支承在单独基础上普通基础梁一样计算。对于柱下独立基础下的桩基承台的正截面弯

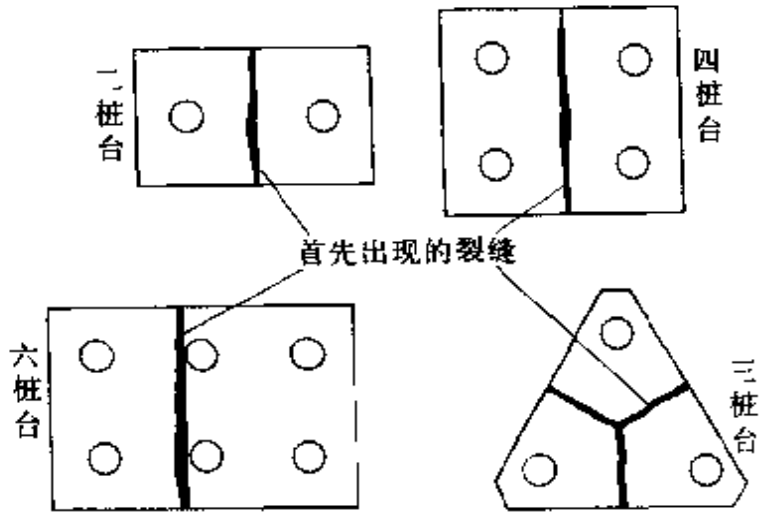


图 4-18　承台破坏示意图

矩设计值：

(1)多桩矩承台弯矩计算截面取在柱边和承台高度变化处(杯口外侧或台阶边缘)，可按下式计算：

$$M_x=\Sigma N_i y_i \tag{4-56}$$

$$M_y=\Sigma N_i x_i \tag{4-57}$$

式中 M_x、M_y——垂直 x 轴和 y 轴方向计算截面处的弯矩设计值；x_i、y_i——垂直 x 轴和 y 轴方向自桩轴线到相应计算截面的距离(见图 4-19)；N_i——扣除承台和承台上土自重设计值后第 i 桩垂直方向净反力设计值；当符合前述不考虑承台效应条件时，则为第 i 桩垂直向总反力设计值。

(2)三桩三角形承台弯矩计算截面取在柱边(见图 4-20)按下式计算：

$$M_y=N_x \cdot x \tag{4-58}$$

$$M_x=N_y \cdot y \tag{4-59}$$

对于三桩三角形承台计算弯矩截面不与主筋方向正交时，须对

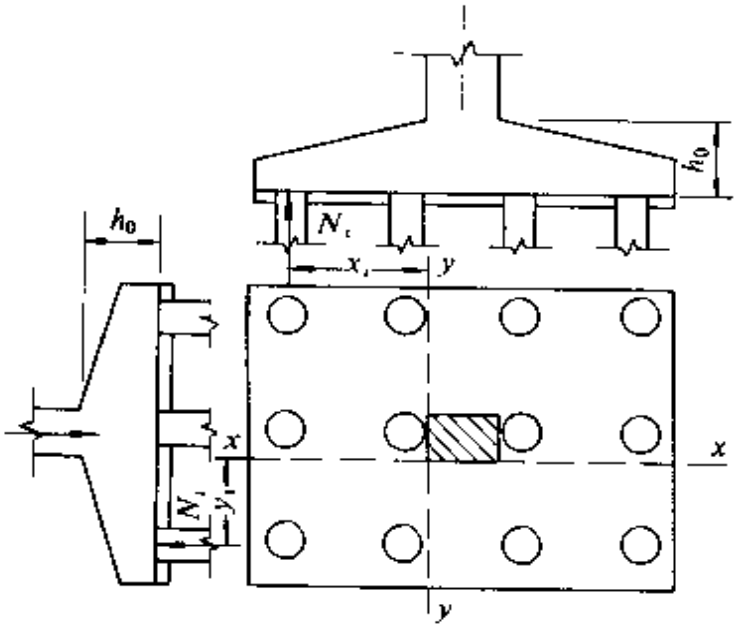


图 4-19　矩形承台弯矩计算

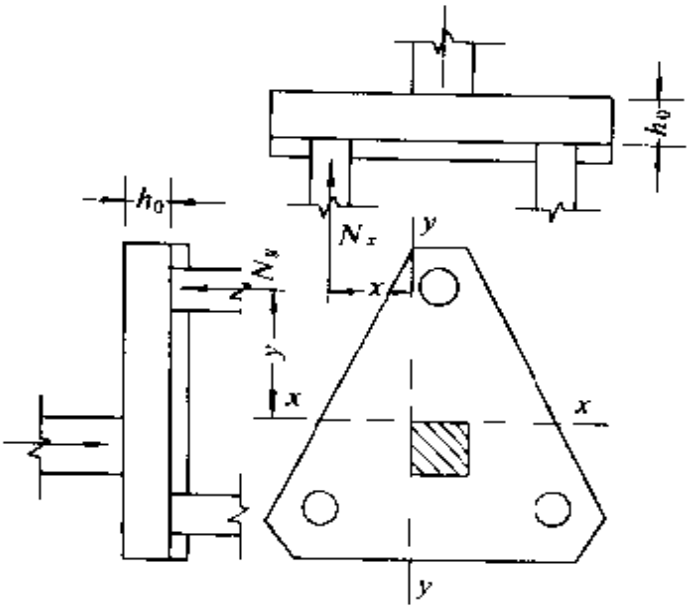


图 4-20　三桩三角形承台弯矩计算

主筋方向角进行换算。

(3)箱形承台和筏形承台弯矩的计算：

根据计算所得的弯矩，按《钢筋混凝土结构设计规范》进行配筋计算。对于等腰三角形的三桩台，可按梁式配筋，取梁宽 $b=d$；对其它桩台可按双向板配筋。

箱形承台和筏形承台的弯矩宜考虑地基土层性质、基桩的几何特征、承台和上部结构形式与刚度，按地基-桩-承台-上部结构共同作用的原理分析计算。对于箱形承台，当桩端持力层为基岩、密实的碎石类土、砂土，且较均匀时，或当上部结构为剪力墙、12 层以上框架、框架-剪力墙体系且箱形承台的整体刚度较大时，箱形承台顶、底板可仅考虑局部弯曲作用进行计算。对于筏形承台，当桩端持力层坚硬均匀、上部结构刚度较好，且柱荷载及柱间距的变化不超过 20% 时，可仅考虑局部弯曲作用按倒楼盖法计算；当桩端以下有中、高压缩性土、非均匀土层、上部结构刚度较差或柱荷载及柱间距变化较大时，应按弹性地基梁板进行计算。

(4)柱下条形承台梁的弯矩按弹性地基梁(地基计算模型应根据地基土层特性选取)进行分析计算；当桩端持力层较硬且桩柱轴线不重合时，可视桩为不动支座，按连续梁计算。

(5)墙下条形承台梁，可按倒置弹性地基梁计算弯矩和剪力。对于承台的砖墙，尚应验算桩顶以上部分砌体的局部承压强度。

(6)按倒置弹性地基梁计算墙下条形桩基承台梁：

按倒置弹性地基梁计算墙下条形桩基连续承台梁时，先求得作用于梁上的荷载，然后按普通连续梁计算其弯矩和剪力。弯矩和剪力的计算公式根据图 4-21 所示计算，分别按表 4-23 采用。

四、受冲切计算

冲切破坏锥体应采用自柱(墙)边和承台变阶处至相应桩顶边缘连线所构成的截锥体，锥体斜面与承台底面之夹角不小于 45°(见图

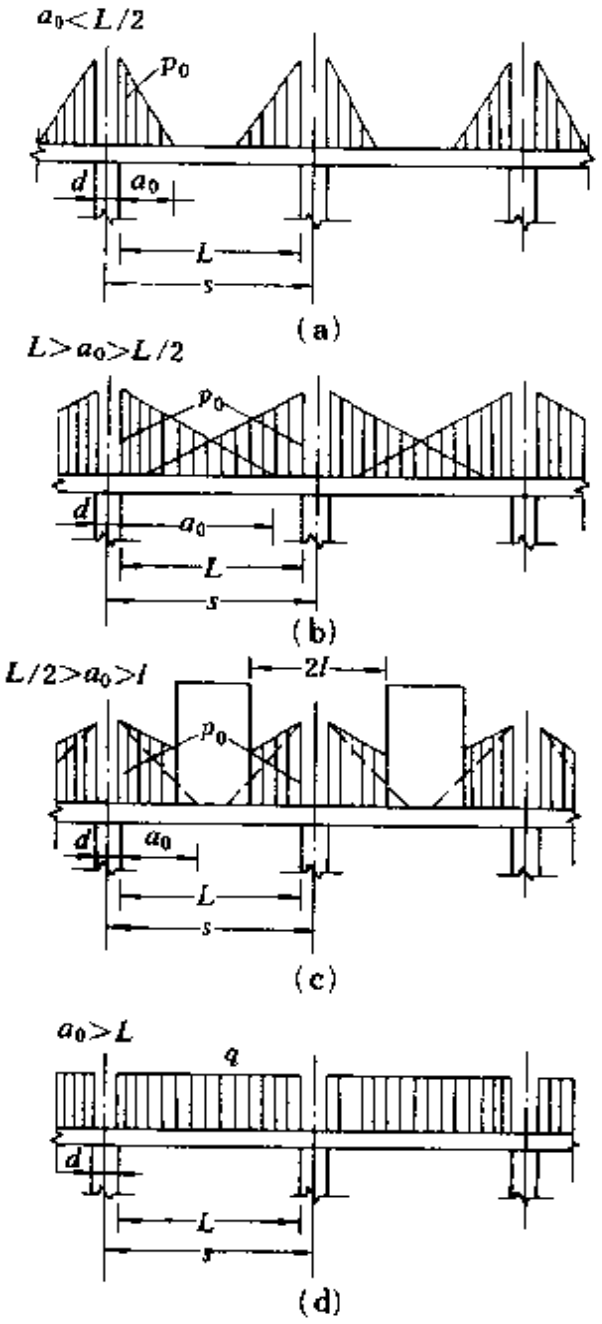


图 4-21　墙下条形桩基连续承台梁计算简图

4-22 和图 4-23)。

(1)受冲切承载力可按下列公式计算：

$$\gamma_0 F_l \leqslant a f_t u_m h_0 \tag{4-60}$$

表 4-23　墙下条形桩基连续承台梁内力计算公式

内　力	计算简图编号	内　力　计　算　公　式
支座弯矩	(a)、(b)、(c)	$M=-p\frac{a_0^2}{12}(2-\frac{a_0}{L_c})$
	(d)	$M=-\frac{qL_c^2}{12}$
跨中弯矩	(a)、(c)	$M=-p_0\frac{a_0^2}{12L_c}$
	(b)	$M=\frac{p_0}{12}[L_c(6a_0-3L_c+0.5\frac{L_c^2}{a_0})-a_0^2(4-\frac{a_0}{L_c})]$
	(d)	$M=\frac{qL_c^2}{24}$
最大剪力	(a)、(b)、(c)	$Q=\frac{p_0a_0}{2}$
	(d)	$Q=\frac{qL_c}{2}$

注：当连续承台梁少于 6 跨时，其支座与跨中弯矩应按实际跨数和图 4-20 求计算公式，$L_c=1.05L_n$。

式中：F_l——作用于冲切破坏锥体上的冲切力设计值，$F_l=F-\Sigma Q_i$；f_t——承台混凝土抗拉强度设计值；u_m——冲切破坏锥体一半有效高度处的周长；h_0——承台冲切破坏锥体的有效高度；α——冲切系数，$\alpha=\frac{0.72}{\lambda+0.2}$；$\lambda$——冲跨比，$\lambda=a_0/h_0$，$a_0$ 为冲跨，即柱(墙)边或承台变阶处到桩边的水平距离；当 $a_0<0.20h_0$ 时，取 $a_0=0.20h_0$，当 $a_0>h_0$ 时，取 $a_0=h_0$，λ 满足 0.2～1.0；F——作用于柱(墙)底的垂直荷载设计值；ΣQ_i——冲切破坏锥体范围内各基桩的净反力(不计承台和承台上土自重)设计值之和。

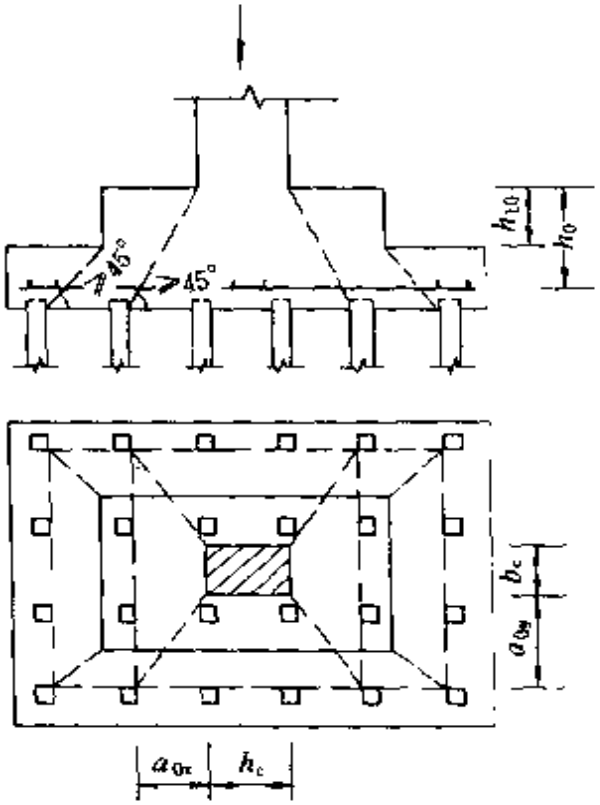


图 4-22　柱下独立桩基柱对承台的冲切计算

对于圆柱及圆桩，计算时应将截面换算成方柱及方桩，即取换算柱截面边宽 $b_c=0.8d_c$，换算桩截面边宽 $b_p=0.8d$。

(2)对于柱下矩形独立承台受柱冲切的承载力可按下式计算：

$$\gamma_0 F_l \leqslant 2[a_{0x}(b_c+a_{0y})+a_{0y}(h_c+a_{0x})]f_t h_0 \qquad (4\text{-}61)$$

式中：a_{0x}、a_{0y}——冲切系数，根据冲跨比求得，$\lambda_{0x}=\dfrac{a_{0x}}{h_0}$；$\lambda_{0y}=\dfrac{a_{0y}}{h_0}$；$h_c$、$b_c$——柱截面长、短边尺寸；$a_{ox}$——自柱长边到最近桩边的水平距离；$a_{oy}$——自柱短边到最近桩边的水平距离。

对于柱(墙)根部受弯矩较大的情况，应考虑其根部弯矩在冲切锥面上产生的附加剪力验算承台受柱(墙)的冲切承载力，计算方法可按《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》有关规定进行。

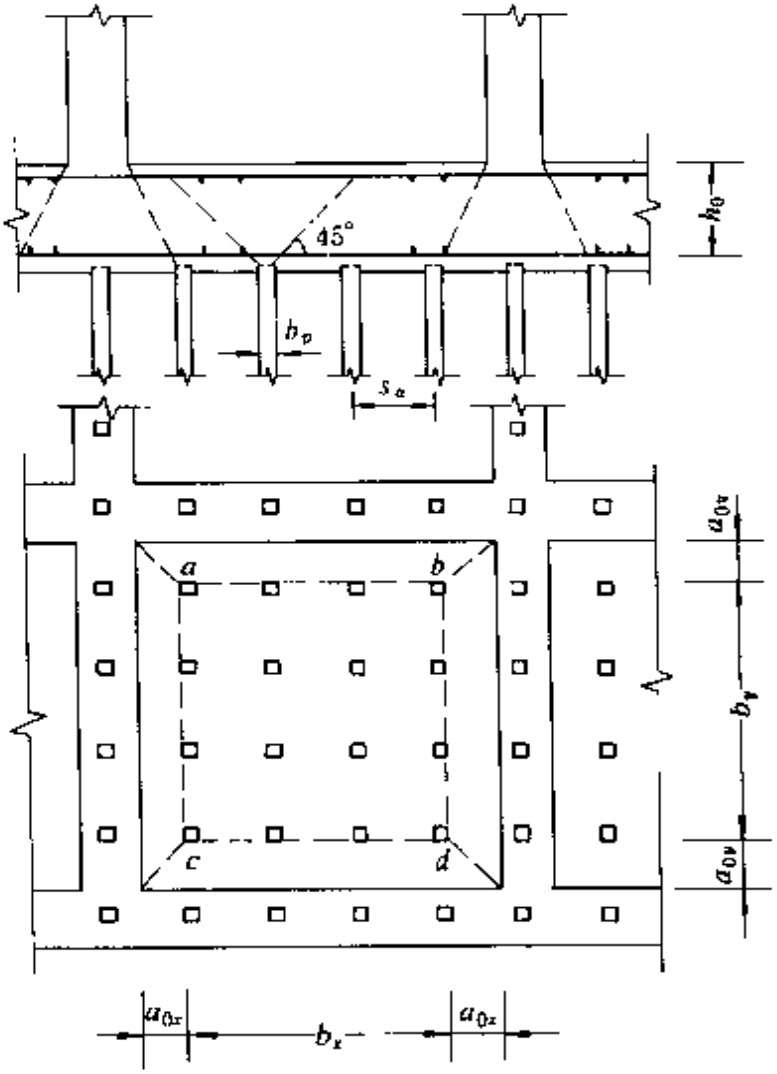


图 4-23　墙对筏形承台的冲切计算

(3)对位于柱(墙)冲切破坏锥体以外的基桩，应按下列公式计算受基桩冲切的承载力。

四桩(含四桩)以上承台受角桩冲切的承载力按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_1 \leqslant \left[a_{1x}\left(c_2+\frac{a_{1y}}{2}\right)+a_{1y}\left(c_1+\frac{a_{1x}}{2}\right)\right] f_t h_0 \qquad (4\text{-}62)$$

式中：N_1——角桩垂直向净反力设计值；a_{1x}、a_{1y}——角桩冲切系

数，$a_{1x}=\frac{0.48}{\lambda_{1x}+0.2}$；$a_{1y}=\frac{0.48}{\lambda_{1y}+0.2}$；$\lambda_{1x}$、$\lambda_{1y}$——角桩冲跨比，其值满足0.2～1.0；$\lambda_{1x}=\frac{\lambda_{1x}}{h_0}$，$\lambda_{1y}=\frac{a_{1y}}{h_0}$；$c_1$、$c_2$——从角桩内边缘至承台外边缘的距离；$a_{1x}$、$a_{1y}$——从承台底角桩内边缘引45°冲切线与承台顶面相交点至角桩内边缘的水平距离；当柱或承台变阶处位于该45°线以内时，则取由柱边或变阶处与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线（图4-24）；h_0——承台外边缘的有效高度。

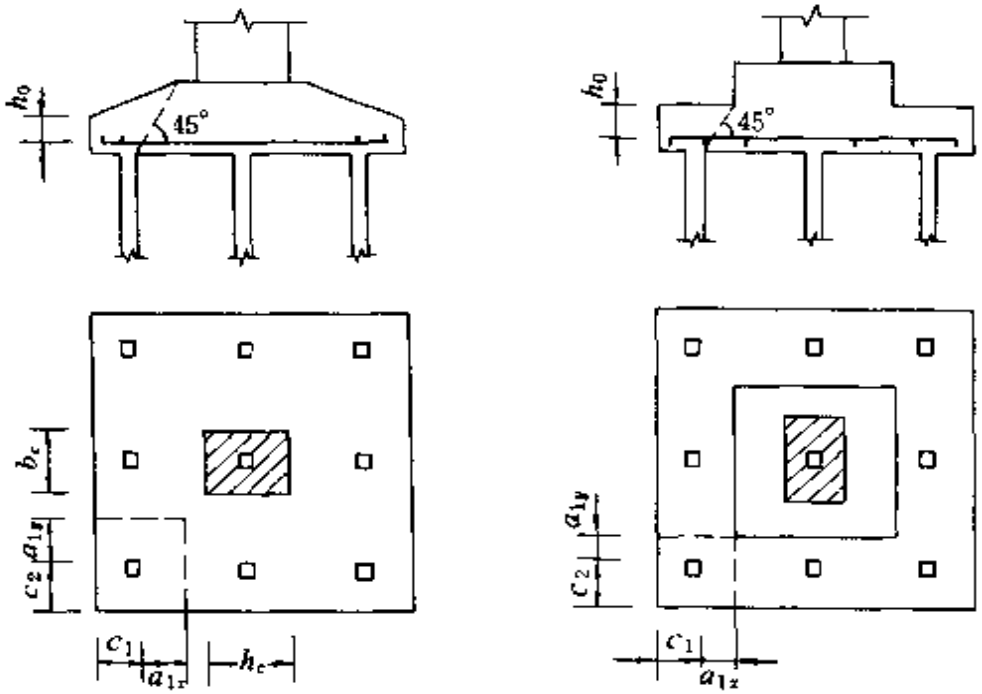


图4-24　四桩以上承台角桩冲切验算

对于三桩三角形承台可按下列公式计算受角桩冲切的承载力（见图4-25）：

底部角桩：

$$\gamma_0 N_1 \leqslant a_{11}(2c_1+a_{11})\mathrm{tg}\frac{\theta_1}{2} f_t h_0 \qquad (4\text{-}63)$$

$$a_{11}=\frac{0.48}{\lambda_{11}+0.2}$$

顶部角桩：

$$\gamma_0 N_1 \leqslant a_{12}(2c_2+a_{12})\mathrm{tg}\frac{\theta_1}{2}f_t h_0 \tag{4-64}$$

$$a_{12}=\frac{0.48}{\lambda_{12}+0.2}$$

式中：λ_{11}、λ_{12}——角桩冲跨比，$\lambda_{11}=\frac{a_{11}}{h_0}$，$\lambda_{12}=\frac{a_{12}}{h_0}$；$a_{11}$、$a_{12}$——从承台底角桩内边缘向相邻承台边引45°冲切线与承台顶面相交点至角桩内边缘的水平距离；当柱位于该45°线以内时，则取柱边与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线（见图4-25所示）。

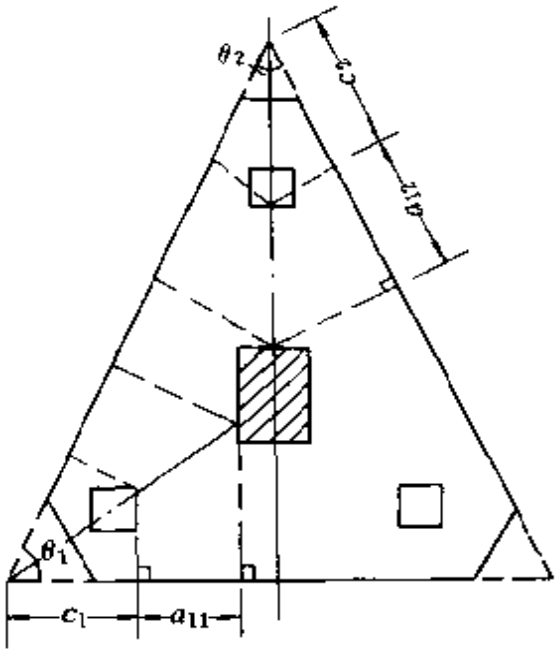


图4-25　三桩三角形承台角桩冲切验算

对于箱形、筏形承台，应按下列公式计算承台受内部基桩的冲切承载力。

受单一基桩的冲切承载力（见图4-23）：

$$\gamma_0 N_1 \leqslant 2.4(b_p+h_0)f_t h_0 \tag{4-65}$$

承台受桩群的冲切承载力（见图4-23）：

$$\gamma_0 \sum N_{1i} \leqslant 2[a_{0x}(b_y+a_{0y})+a_{0y}](b_x+a_{0x})f_t h_0 \tag{4-66}$$

式中：$\sum N_{1i}$——$abcd$冲切锥体范围内各桩的垂直向净反力设计值之和；

a_{0x}、a_{0y}——由λ求得，$\lambda_{0x}=\frac{a_{0x}}{h_0}$，$\lambda_{0y}=\frac{a_{0y}}{h_0}$。

五、受剪计算

剪切破坏面为通过柱边(墙边)和桩边连线形成的斜截面(见图4-26)。

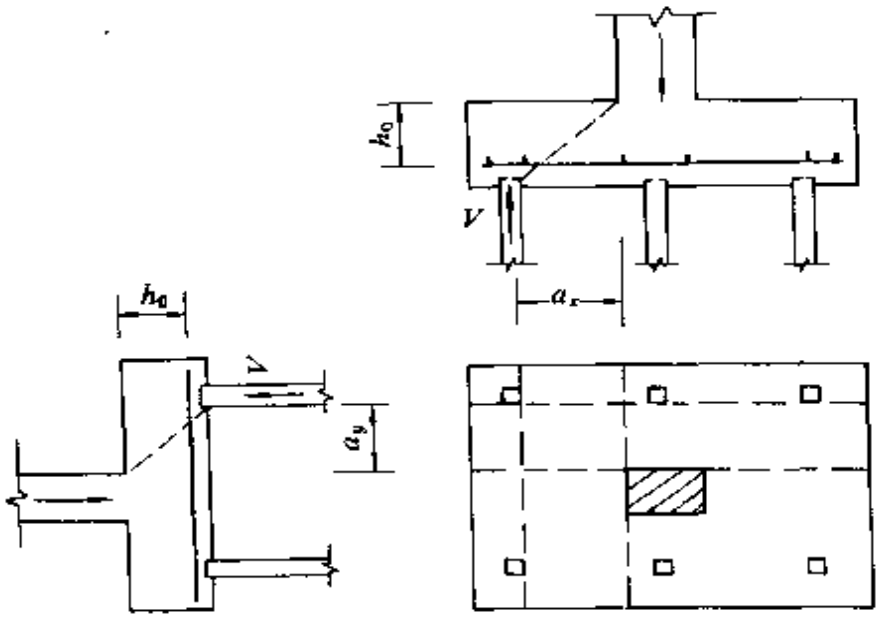


图 4-26　承台斜截面受剪计算

(1)斜截面受剪承载力应按下列公式计算：

$$\gamma_0 V \leqslant \beta f_c b_0 h_0 \tag{4-67}$$

当 $0.3 \leqslant \lambda < 1.4$ 时，$\beta = \dfrac{0.12}{\lambda + 0.3}$

当 $1.4 \leqslant \lambda \leqslant 3.0$ 时，$\beta = \dfrac{0.2}{\lambda + 1.5}$

式中：γ_0——斜截面的最大剪力设计值；f_c——混凝土轴心抗压强度设计值；b_0——承台计算截面处的计算宽度；h_0——承台计算截面处的有效高度；β——剪切系数；λ——计算截面的剪跨比，$\lambda_x = \dfrac{a_x}{h_0}$，$\lambda_y = \dfrac{a_y}{h_0}$，此处，$a_x$、$a_y$ 为柱边(墙边)或承台变阶处至 x、y 方向计算一

排桩的桩边的水平距离，当 $\lambda<0.3$ 时，取 $\lambda=0.3$；当 $\lambda>3.0$ 时，取 $\lambda=3.0$，λ 满足 0.3～3.0。

当柱边(墙边)外有多排桩形成多个剪切斜截面时，对每一个斜截面都应进行受剪承载力计算。

(2)对于柱下矩形独立承台的计算：

对于柱下矩形独立承台，应分别对柱的纵横($x—x$，$y—y$)两个方向的斜截面进行受剪承载力计算。

对于阶梯形承台应分别在变阶处($A_1—A_1$，$B_1—B_1$)及柱边处($A_2—A_2$，$B_2—B_2$)进行斜截面受剪计算(见图 4-27)。

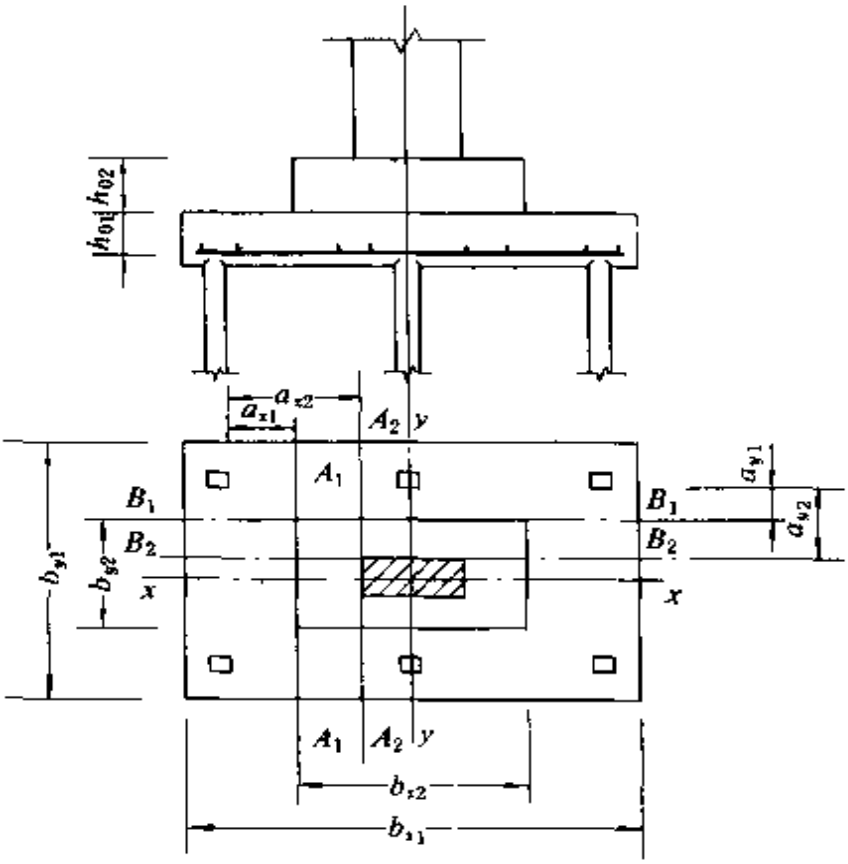


图 4-27　阶形承台斜截面受剪计算

计算变阶处截面 $A_1—A_1$，$B_1—B_1$ 的斜截面受剪承载力时，其截面有效高度均为 h_{01}，截面计算宽度分别为 b_{y1} 和 b_{x1}。

计算柱边截面 $A_2—A_2$ 和 $B_2—B_2$ 处的斜截面受剪承载力时，其截面有效高度均为 $h_{01}+h_{02}$，截面计算宽度分别为：

对于 $A_2—A_2$：

$$b_{y0}=\frac{b_{y1}\cdot h_{01}+b_{y2}\cdot h_{02}}{h_{01}+h_{02}} \tag{4-68}$$

对于 $B_2—B_2$：

$$b_{x0}=\frac{b_{x1}\cdot h_{01}+b_{x2}\cdot h_{02}}{h_{01}+h_{02}} \tag{4-69}$$

对于锥形承台应对 $A—A$ 及 $B—B$ 两个截面进行受剪承载力计算(见图 4-28)，截面有效高度均为 h_0，截面的计算宽度分别为：

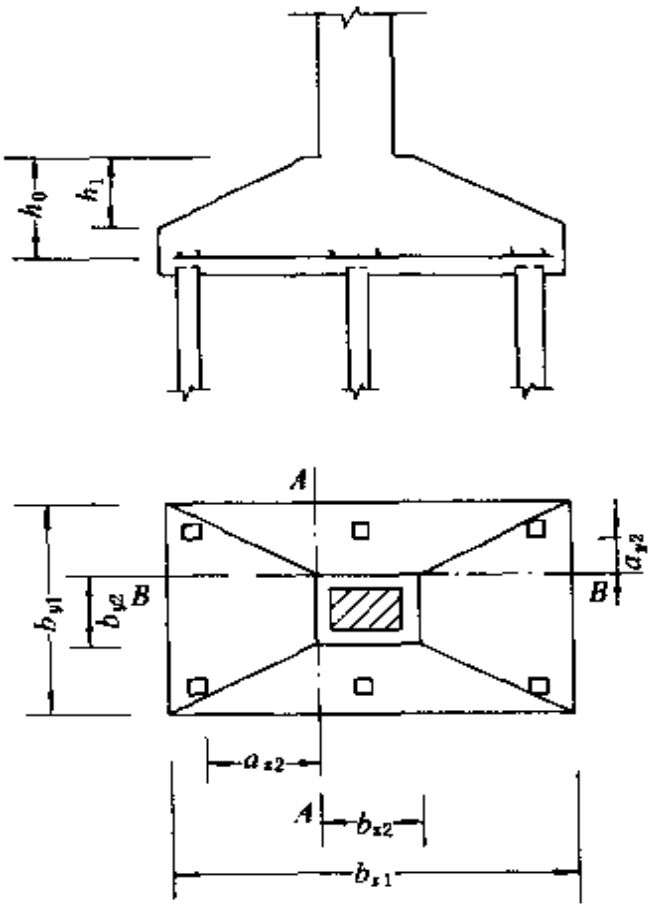


图 4-28　锥形承台受剪计算

对 $A—A$：

$$b_{y0}=[1-0.5\frac{h_1}{h_0}(1-\frac{b_{y2}}{b_{y1}})]b_{y1} \tag{4-70}$$

对 $B—B$：

$$b_{x0}=[1-0.5\frac{h_1}{h_0}(1-\frac{b_{x2}}{b_{x1}})]b_{x1} \tag{4-71}$$

墙(柱)下条形承台梁斜截面的抗剪承载力按《混凝土结构设计规范》GBJ10 计算；墙下条形承台梁的最大剪力按本章第六节有关内容确定。

(3)承台配有箍筋，但未配弯起钢筋时，斜截面的受剪承载力可按下列公式计算：

$$\gamma_0 V\leqslant\beta f_c b_0 h_0+1.25 f_y\frac{A_{sv}}{S}h_0 \tag{4-72}$$

式中：A_{sv}——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；S——沿计算斜截面方向箍筋的间距；f_y——非预应力钢筋的受拉强度设计值。

(4)承台配有箍筋和弯起钢筋时，斜截面的受剪承载力可按下列公式计算：

$$\gamma_0 V\leqslant\beta f_c b_0 h_0+1.25 f_y\frac{A_{sv}}{S}h_0+0.8 f_y A_{sb}\sin\alpha_s \tag{4-73}$$

式中：A_{sb}——同一平面弯起钢筋的截面面积；α_s——斜截面上弯起钢筋与承台底面的夹角。

六、局部受压计算

对于柱下桩基，当承台混凝土强度等级低于柱的强度等级时，应按现行《混凝土结构设计规范》*GBJ*10 的规定验算承台的局部受压承载力。

当进行承台的抗震验算时，应根据《建筑抗震设计规范》*GBJ*11 的规定对承台的受弯、受剪切承载力进行抗震调整。

第五章　灌注桩质量检验

第一节　概　述

灌注桩的质量检验，主要包括成孔、清孔、钢筋笼制作安装、混凝土搅拌和灌注等四个工序过程的质量控制和检验。

第二节　混凝土质量检验和灌注质量检验

(1)混凝土搅拌应对原材料质量与计量、混凝土配合比、坍落度、混凝土强度等级等进行检查；

(2)每条桩应至少留取一组(3 块)混凝土作抗压强度试件，以检查混凝土灌注质量和标号。

(3)根据混凝土灌注原始记录，检查灌注质量。

(4)开挖凿平桩头，检验桩头混凝土标高、固结情况。

(5)在灌注混凝土前，应按有关施工质量要求对已成孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度、钢筋笼安放的实际位置等进行认真检查，并填写相应质量检查记录。

(6)对桩的质量有疑问时可按设计要求，采用无损验桩法、钻探

取芯验桩法、来进一步检验桩的质量。

第三节　预留混凝土试件检验

一、取样

混凝土试样应在混凝土浇筑地点随机抽取。作为灌注桩混凝土取样，应在灌注漏斗中取样，当混凝土搅拌机就设在施工现场时，也可在搅拌地点取样。取样应注意随机性，不应故意挑选质量好的，也不可故意挑选质量次的。

二、混凝土试件制作

(1)试件数量：GBJ202—83 规定：浇筑混凝土时，同一配合比的试件，每班不得少于 1 组；泥浆护壁成孔灌注桩每根桩不得少于 1 组。JTJ041—89 规定每根桩的试件不得少于 2 组。

(2)试件尺寸：GBJ202—83 规定标准试件为边长 15cm 立方体，其它尺寸试件所得的强度分别乘以系数 0.95(边长 10cm 试件)和 1.05(边长 20cm 试件)折强为标准试件强度。

(3)试件成型：试件成型方法应视混凝土的稠度而定。一般来说，坍落度不大于 70mm 的混凝土，用振动台振实；坍落度大于 70mm 的混凝土用捣棒人工捣实；导管法灌注的水下混凝土，坍落度很大，基本上不用捣实就能自密。

(4)试件养护：试件成型后应覆盖，以防止水分蒸发，并在室温为 20℃±5℃条件下至少静止一昼夜(但不得超过两昼夜)，然后编号拆模。拆模后放在 20℃±3℃的温度和 90%以上湿度的潮湿空气中或 20℃±3℃的静水中养护。灌注桩混凝土试件一般是放在静水中养护的。水温对混凝土试件的强度有很大的影响，温度较高时，对于用硅酸盐水泥和普通水泥拌制的混凝土，其前期强度高，但后期(养护 28

天)强度反而低;对于用矿渣水泥、火山灰水泥及粉煤灰水泥配制的混凝土,因为温度高可加速混合材料内的活性 SiO_2 及活性 Al_2O_3 与水泥水化析出的 $Ca(OH)_2$ 的化学反应,使混凝土不仅提高早期强度,且后期强度也能得到提高。

三、试件强度取值

GB204—83 规定:每组(三块)应在同盘混凝土中取样制作,其强度代表值按下列规定确定:

(1)取三个试件试验结果的平均值作为该组试件强度代表值,其单位为 MPa;

(2)当三个试件中过大或过小的强度值,与中间值相比超过15%时,以中间值代表该组的混凝土试件的强度。

(3)当三个试件中过大和过小的强度值与中间值相比都超过15%,该组试件作废,即不参加统计。

四、试件强度评定方法

(1)统计评定法:

GBJ204—83 规定:

$$\overline{f}_{cu}-K_nS_n>0.85f_{cu,k} \tag{5-1}$$

$$(f_{cu})_{min}>0.85f_{cu,k}$$

式中:$\overline{f}_{cu}$——n 组试件的平均强度,MPa,$f_{cu}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(f_{cu})_i$,$(f_{cu})_i$ 为第 i 组试件强度取值,n 为参加统计的试件组数;

S_n——标准差,MPa,

$$S_n=\sqrt{\frac{\Sigma[(f_{cu})_i-\overline{f}_{cu}]^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{\Sigma(f_{cu})_i^2-n(\overline{f}_{cu})^2}{n-1}}$$

$f_{cu,k}$——混凝土的强度等级值,MPa;

$(f_{cu})_{min}$——n 组试件中的最小强度值,MPa;

K_n——合格判定系数，分别取 1.7（$n=10\sim14$），1.65（$n=15\sim24$），1.6（$n\geqslant25$）。

以上两式子必须同时满足，但起控制作用的是第一个式子。

GBJ107—87 规定：

$$\overline{f}_{cu}-\lambda_1 S_n\geqslant0.9f_{cu\cdot k} \tag{5-2}$$

$$(f_{cu})_{min}\geqslant\lambda_2 f_{cu\cdot k} \tag{5-3}$$

式中：λ_1、λ_2——合格判定系数，按表 5-1 取用。

表 5-1　混凝土强度的合格判定系数

试件组数	10～14	15～24	＞25
λ_1	1.7	1.65	1.6
λ_2	0.9	0.85	

（2）非统计评定法：

GBJ204—83 规定：

$$\overline{f}_{cu}\geqslant1.05f_{cu\cdot k} \tag{5-4}$$

$$(f_{cu})_{min}\geqslant0.9f_{cu\cdot k} \tag{5-5}$$

GBJ107—87 规定：

$$\overline{f}_{cu}\geqslant1.15f_{cu\cdot k} \tag{5-6}$$

$$(f_{cu})_{min}\geqslant0.95f_{cu\cdot k} \tag{5-7}$$

第四节　抽芯验桩

（1）抽芯数量：一般为总用桩量的 10%并不少于 4 根。受检桩应具有充分代表性，若发现有重大质量问题，设计部门又认为有必要，应加倍扩大抽芯。

（2）开孔位置一般在桩的中心，芯样直径 6cm 或 8cm 左右，视桩径大小而定，抽芯深度为桩身全长并深入基岩 60cm。

(3)所选用的抽芯钻应以旋转为主，尽量减少冲击，不得因钻进不当(包括技术上和设备上的原因)而影响芯样质量。

(4)抽芯应在混凝土浇灌 28 天以后进行。

(5)芯样应全部按深度逐段存放于芯样箱。每一桩孔的芯样应制作 4 件试样作抗压强度试验(混凝土三件，岩样一件)。

(6)混凝土采取率要达到 100%，否则检测结果不能完全令人信服。

(7)钻孔垂直度要求钻具达桩底前不穿出桩身。

(8)对于有断桩、夹泥、混凝土稀释层的桩，可以采用压浆补强的方法进行处理。对于基本上无缺陷的桩进行压浆封孔。终孔后，下入钻杆，向钻孔内泵压清水，将孔内岩粉、桩底沉渣冲洗干净，排出孔外；洗孔后用钻杆向孔内泵玉配制好的水泥浆(标号为 525，水灰比 0.45～0.5)，将钻孔内清水压出孔外；孔口返出水泥浆后，逐渐减少孔内钻杆数，继续向孔内压浆至水泥浆充满全孔后起拔套管。

(9)抽芯报告应提供每根抽芯桩的混凝土剖面图及试验结果，对桩身混凝土质量(包括裂缝数量及宽度、蜂窝、气泡、是否离析、有无杂物等)及基岩性质进行描述并作出评价，典型芯样应附照片。

第五节　超声波验桩

一、基本原理(见图 5-1)

当已知混凝土构件厚度 L(叫声程)，超声仪可以测出超声波传递的时间 t(称声时)，L/t 即为声速 c。若事先建立了混凝土强度 f_{cu} 与声速之间的经验关系式或经验关系曲线(f_{cu}-c)曲线，则可根据在被测件上测得的声速 c，反推被测混凝土的强度 f_{cu}。理论上来说，当发射探头与接收探头距离不变时(桩身内预埋平行的空管来实现)，如果桩身混凝土均匀一致，则不同深度处测得的声速 c(反映桩身混

凝土强度)、波幅 A 和波形应该是一致的，如果在某一部位发生了显著变化，则在相应位置桩身混凝土异常，我们可以根据桩身的不同缺陷在波速、波幅、波形等方面的不同表现来判别它们。

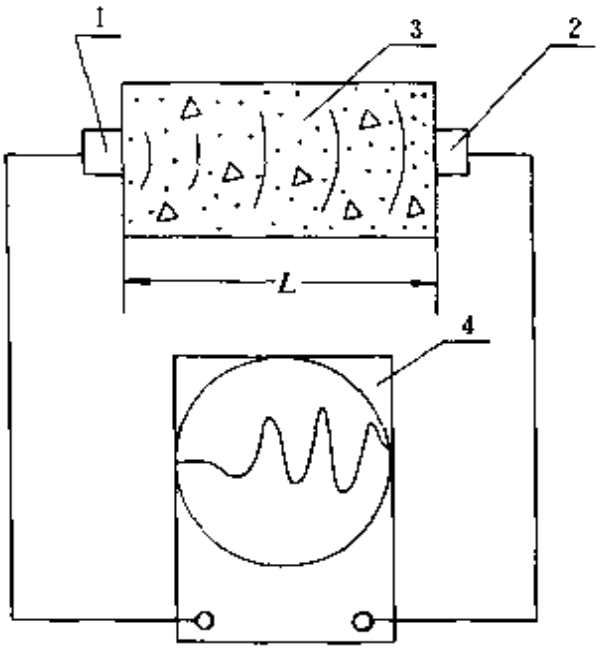


图 5-1　超声波验桩原理
1- 发射探头；2- 接收探头；
3- 混凝土构件；4 - 超声仪

二、检测方式

1. 双孔测量

把发射头和接收头分别置于两管道中，起声脉冲穿过两管之间的混凝土(见图 5-2)。这种方式检测的实际范围，即为超声波束从发射探头到接收探头所扫过的范围。因此，为了尽可能扩大在桩的横截面上的有效测试面积，必须使声测管合理布置。

双孔测量又为平测(两个换能器在同一水平上)、斜测(两个换能器一上一下，距离不变)和扇形扫测(一个换能器不动，另一个换能器上下移动)，在探测中，可视实际需要灵活运用。

2. 单孔测量

在某些特殊情况下，只能有一个检测孔道，例如，在抽芯验桩后需进一步了解芯样以外的混凝土质量。这时可采用单孔测量(见图 5-3)，超声波从水中及混凝土中分别绕射到接收探头，所得的接收信号为水及混凝土中传播而来的信号叠加，分析这一叠加信号，并测出不同声通路的声时、波幅、频率等物理量，即可分析孔道周围混凝土的质量情况。

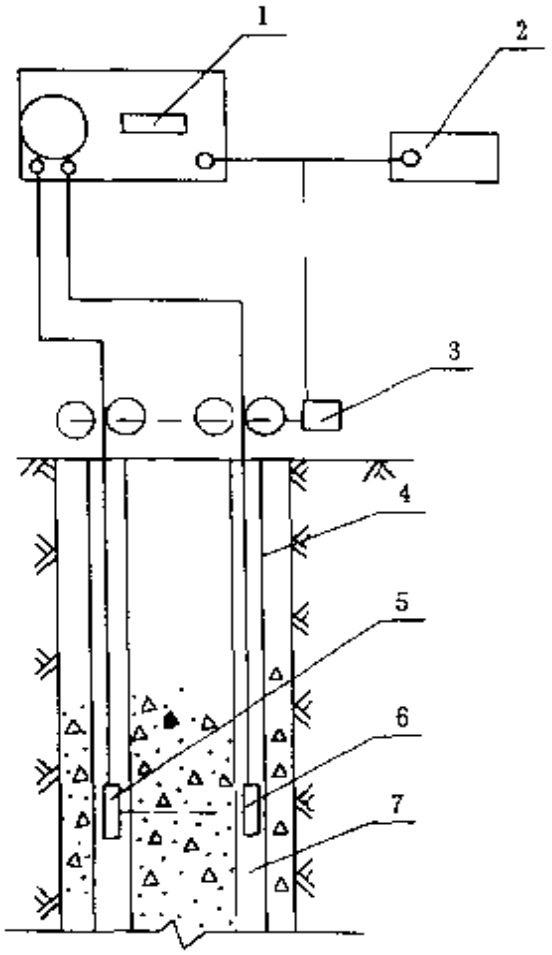


图 5-2　桩基声测法装置示意图
1—超声仪；2—计算机；3—升降器；4—声测管；5　发射探头；6—接收探头；7　水

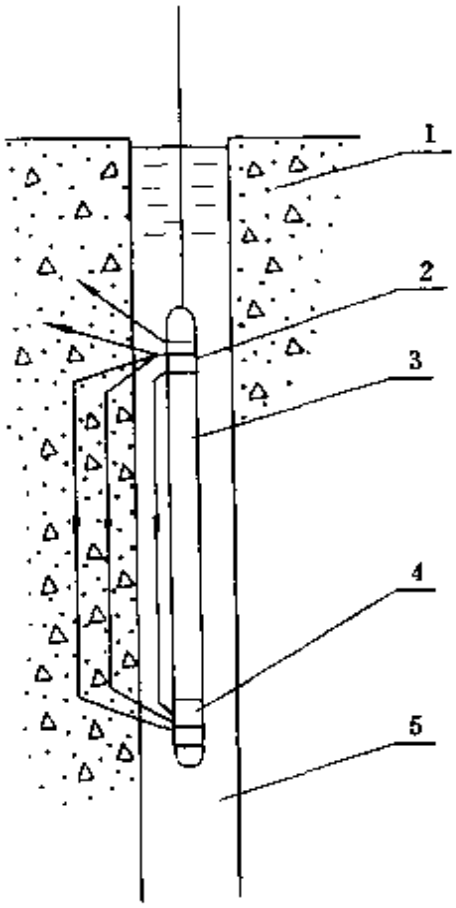


图 5-3　单孔测量示意图
1—混凝土；2—发射换能器；3—隔声件；4　接收换能器；5—水

用这一方式进行检测时，必须进行波形分析，较难解释测量结果，而且检测有效范围不大。

3. 桩外孔测量

当上部结构已施工或桩内没有预埋管子时，可在桩外的土层中钻一孔，埋入套管作为检测通道。桩外孔测量装置如图 5-4 所示。在桩顶上置一较强动率的低频发射探头，超声脉冲沿桩身向下传播，接收探头从桩外孔中慢慢放下，超声脉冲沿桩身并穿过桩与测孔之间的土进入接收换能器，逐段测出各物理量，即可作为分析桩身质量的

依据。由于超声脉冲在混凝土及土层中的衰减现象，这种方式的可探深度受仪器穿透能力的限制。

以上三种方式中，双孔测量是基桩测量的基本形式，它要求在灌注混凝土之前即预埋检测管通，虽增加了少量费用，但此管可一管多用，一举数得，并非浪费。其它两种检测方式的检测结果的分析上较为困难，可作为特殊情况的补救措施。

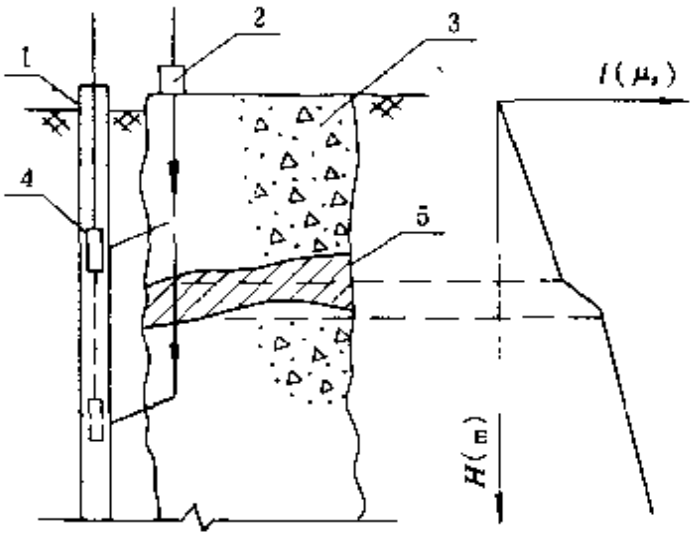


图 5-4　桩外孔测量示意图

1—桩外测孔；2—发射换能器；3—桩；4　接收换能器；5—夹层

第六节　桩的动力测试

桩的动力测试是在与单桩静荷载试验对比基础上发展起来的。动力试桩方法具有轻便、快速、经济、覆盖率高等特点。它与静荷载试验结合，可获得动、静对比系数，并用于桩基工程质量普查工作和预估单桩承载力。

一、桩的动力测试目的

(1)检验桩身的结构完整性，即有无离析、断裂、蜂窝、桩径变化

等缺陷，并推断所在位置和严重程度；

(2)预估单桩承载力。

二、测试方法

1. 球击动测法

试验前，应将桩头浮浆和有裂隙部分打掉，至坚硬混凝土后凿平。现场测试仪器设备如图 5-5 所示。

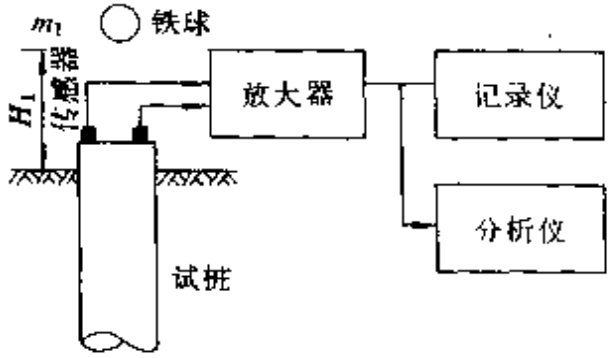


图 5-5　球击法仪器设备框图

试验时，将质量为 100～200kg 的铁球，提到 0.5～1m 高度，对准桩的中心位置自由落下，桩受的瞬时荷载的冲击作用即产生自由振动；铁球撞击桩头后回弹到一定高度后再次落下，给桩头施加第二次瞬时荷载。这样，安装在桩头两侧的传感器，便接收到桩体自由振动的先后二次信号，它经测振放大器放大后，送入记录仪显示振动波形如图 5-6 所示。铁球的质量和落球高度，视桩径和桩长而定。通常在一个工地的同一类型桩，要求球质量和落球高度保持不变。每根桩要重复做三次，以获得清晰完整的波形供资料分析用。

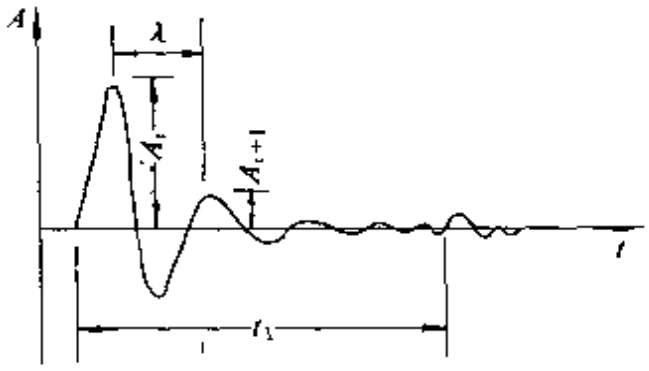
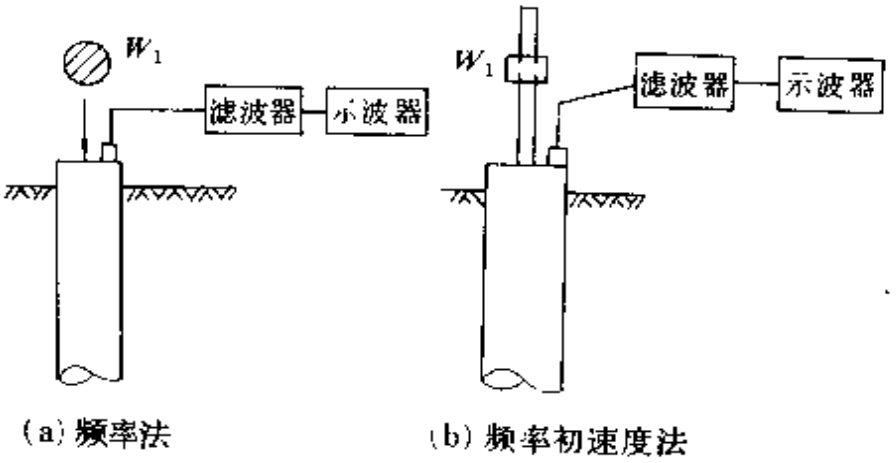


图 5-6　球击法振动波形

2. 桩基参数动测法

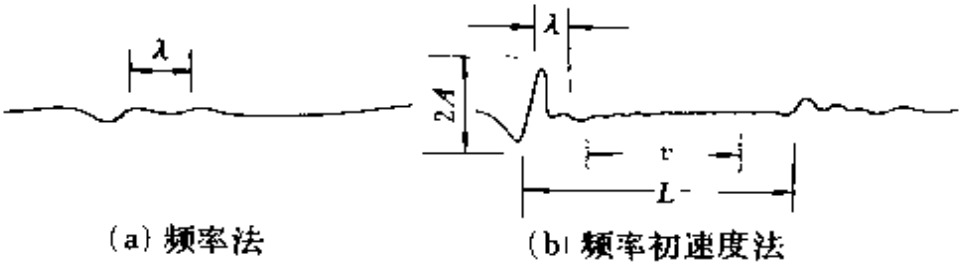
现场测试仪器设备见图 5-7，测法包括频率法和频率初速度法，

它们的不同之点为：频率法测试时，球撞击桩头中心，拾振器只需测定桩的自由振动频率即可；而频率初速度法测试时，是用带导杆的穿心锤激振桩头，拾振器不仅要测定桩的自由振动频率还要测出回弹波形，而且，还要测得落球高度与回弹高度。两种方法的实测波形如图 5-8。



(a) 频率法　　(b) 频率初速度法

图 5-7　桩基参数动测法设备



(a) 频率法　　(b) 频率初速度法

图 5-8　桩基参数动测波形

用频率法时，根据波形可计算单桩竖向振动频率 f_z（$f_z=v/\lambda$），再用有关公式计算承载力。当用频率初速度法时，还应按下式计算桩头的振动速度 v_0：

$$v_0=2A\cdot a \tag{5-29}$$

式中：a——全套测试仪器标定的灵敏度，m^3/s；A——实测波形

幅值。

单桩承载力计算：

单桩竖向极限承载力 $R_u(kN)$：

$$R_u=\eta K_z=0.004K_z \tag{5-8}$$

式中：η——静载荷试验极限承载力与动力测试抗压刚度之间的比例系数；K_z——地基刚度，kN/m。

频率法时：

$$K_z=\frac{2\pi(f_z)^2(Q_1+Q_2)}{2.365g} \tag{5-9}$$

式中：Q_1——折算后参振桩重力，kN，$Q_1=\frac{1}{3}AL_0\gamma_1$，其中，$A$——振幅，m；$L_0$——桩长，m；$\gamma_1$——桩的重度。

Q_2——折算后参振土重力，kN；$Q_2=\frac{1}{3}[\frac{\pi}{9}R_2^2(L+16\gamma_2)-\frac{1}{3}LA]\gamma_2$，其中，$R_2$——梨形土体扩散半径，m，$R_2=\frac{D_2}{2}=\frac{1}{2}(\frac{2}{3}l\mathrm{tg}\ \frac{\psi}{2}+d)$；$L$——桩入土深度，m；$\psi$——桩下段 $L/3$ 范围内土的内摩擦角，°；γ_2——桩下段 $L/3$ 范围内土的重度，kN/m^3；f_z——振动频率，$1/s$；g——重力加速度，m/s^2；2.365——单桩抗压刚度修正系数。

频率-初速度法时：

$$K_z=\frac{(2\pi f_z)^2m}{2.365} \tag{5-10}$$

式中：m——参加振动的桩和土的折算质量，$m=\frac{Q_1+Q_2}{g}=0.452\frac{(1+e)W_1NH_1}{v_0}K_s$，其中，$W_1$——穿心锤重力，kN；$H_1$——穿心锤落距，m；$v_0$——撞击后桩头的初速度，m/s；$K_s$——调整系数。

3. 水电效应法

(1)试验仪器设备：

仪器设备由震源系统、信号接收系统和信号处理系统组成(见图

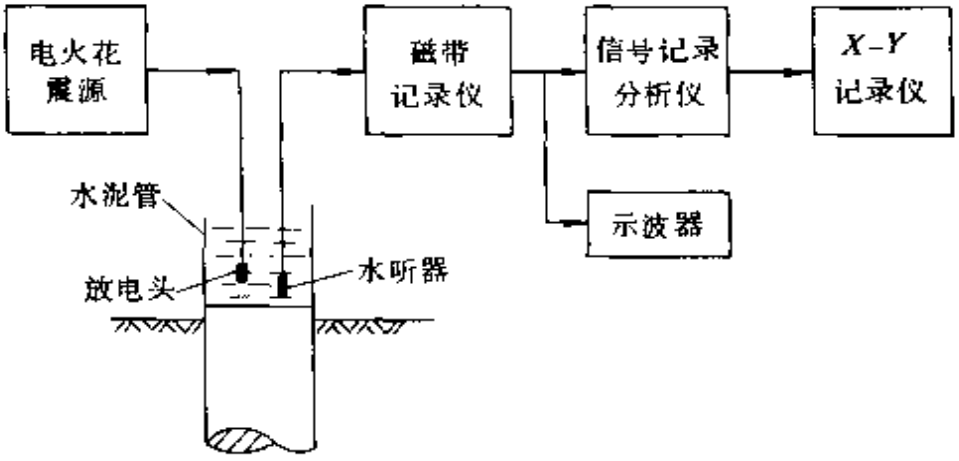


图 5-9　仪器设备安装示意图

(5-9)

(2)试验方法：

①桩头经修整后，将混凝土水管安装于桩头上，管子与桩的中轴心要一致，管与桩接触处用胶泥填实，以防漏水。

②管内充满水，将放电头与水听器放入管内水中(如图 5-10)。

③连接仪器，接通电源，调试仪器至噪声电压最小时方可进行试验。

④试放电几次，调整放大器使磁带机上指针接近满量程，而又不超限时即可。

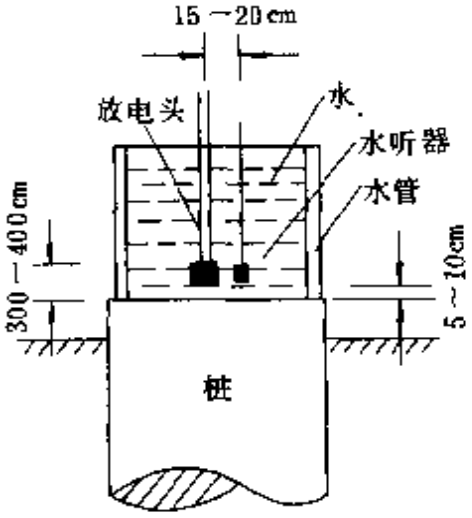


图 5-10　放电头与水听器放置位置示意图

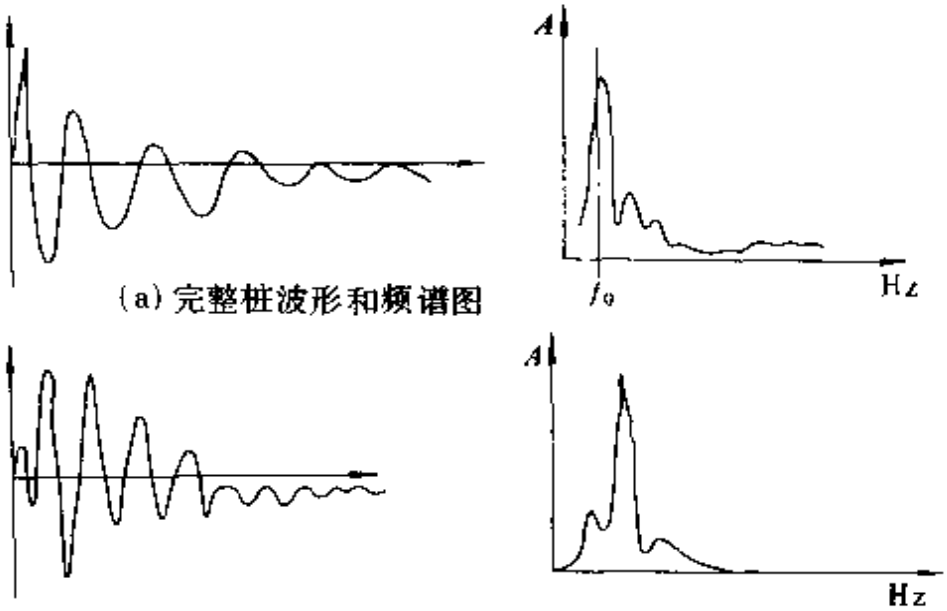
⑤按试验要求电压，每隔 10 秒钟放一次电，一般要进行 5 次以上平行试验，以得到足够的样本数据记录在磁带上，供室内分析用。

⑥在同一工地的同一类桩，可用几组电压(即不同的激振力)进行试验，以选择哪种放电电压效果最好。

⑦室内磁带机回放，用动态讯号分析仪进行处理，可得原始波形图和频谱曲线，供分析计算用。

(3)结果分析：

①根据原始波形和频谱图进行定性分析，见图 5-11 和表 5-1。



(a) 完整桩波形和频谱图

(b) 桩中间有离析的波形和频谱图

图 5-11　桩实测波形和频谱示意图

表 5-1　根据阻尼比和频谱曲线判别参考表

桩类别	阻尼比	桩的结构完整程度	频谱曲线
Ⅰ类桩	<0.12	混凝土质量较好，桩径均匀，桩身结构完整	频谱曲线只有一个主峰波形上下对称
Ⅱ类桩	0.12～0.2	桩身结构基本完整、局部有轻微损伤、离析、桩径稍有变化	频谱曲线主峰值高，其它峰值较低，波形基本对称
Ⅲ类桩	0.16～0.2	桩身有严重损伤、断裂或离析	频谱曲线出现双峰值，波形上、下不对称
Ⅳ类桩	>0.02	桩身完全损坏，并有严重断裂或离析，甚至多处	频谱曲线出现多峰值，主峰不明显，波形曲线混乱

注：阻尼比 $D=\frac{1}{2\pi}\ln\frac{A_i}{A_{i+1}}$。

②波速(v_0)计算：

$$v_0=2Lf_0 \tag{5-11}$$

式中：L——桩长，m；f_0——频谱图中的主频，1/s。

若频谱图为多峰，如果是峰值逐渐减小，是信频关系，也可以是完整桩；如果多峰的第二峰值比第一峰值大，且不是信频关系，桩身可能有缺陷，其缺陷深度 L_1(m)的计算式如下：

$$L_1=\frac{v_0}{2f_1} \tag{5-12}$$

式中：f_1——频谱图中峰值频率，1/s。

关于桩身混凝土质量的优劣，可根据实测波速参考表 5-2。

表 5-2 桩身与波速的关系

类 别	波速(m/s)	混凝土强度
优 质	>4 120	>C25
良 好	3 300～4 120	C20～C25
可 凝	2 750～3 300	C15～C25
较 差	1 920～2 750	>C10
差	<1 920	<C10

③预估承载力：

西安公路所推荐的方法是频谱图中，找出桩-土体系谐振频率 f_0，按下式计算地基刚度 K_z：

$$K_z=\omega_0^2 m \tag{5-13}$$

式中：ω_0——桩-土体系谐振圆频率，rad/s，$\omega_0=2\pi f_0$；m—桩-土体系的等效参振质量，$m=m_1+m_2$，其中，m_1——桩的参振质量，取桩长的$\frac{1}{3}$；$m_1=\frac{1}{3}\cdot\frac{\pi d^2}{4}L\rho_1$(式中 L——桩长，m；d——桩的直径，m；ρ_1——桩混凝土的密度，t/m³)；m_2——土的参振质量，与直径 d_2、高 L 的土桩等效($d_2=3d$)，$m_2=\frac{\pi(3d)^2}{4}L\rho_2$(式中 ρ_2——土的密度，t/m³)

因此，式(5-13)可改写为：

$$K_z=\frac{(2\pi f_0)^2}{g}(m_1+m_2) \tag{5-14}$$

根据桩的动、静对比试验所得对比系数 B，即可计算桩的极限承载力 ρ_u，其公式为：

$$\rho_u=BK_z \tag{5-15}$$

式中：B——动、静对比系数，m，可取 0.009～0.01m，各地土质不同，B 值根据具体情况而定。

第七节　桩的静载试验

一、单桩垂直静载试验

(一)试验目的

采用接近于桩的实际工作条件的试验方法，以确定单桩的轴向受压承载力。若埋设有测量桩底反力和桩身应力应变测量元件时，还可直接测定桩侧各土层的极限摩阻力和端承力。

(二)试验加载装置

一般采用油压千斤顶加载。千斤顶的加载反力装置可据现场实际条件取下列形式之一：

(1)锚桩横梁反力装置：见图 5-12 所示。锚桩数量、锚桩长度和横梁尺寸均按 1.2～1.4 倍预估桩破坏荷载进行设计。采用工程桩作锚桩时，锚桩数量不得少于 4 根，并应对锚桩在试验过程的上拔量进行测量。

(2)压重平台反力装置：压重不得少于预估试桩破坏荷载的 1.2 倍；压重应在试验开始前一次加上，并均匀稳定地放置在平台上，见图 5-13 所示。

(3)锚桩-压重联合反力装置：当试桩最大加载超过锚桩的抗拔

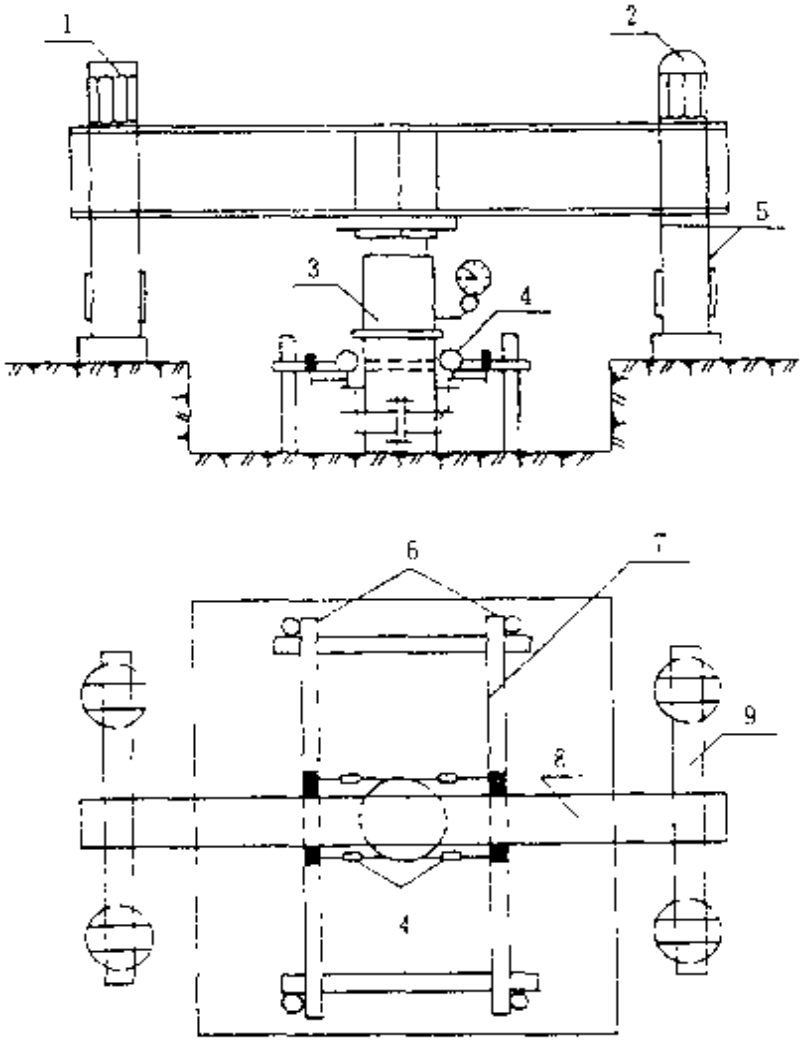


图 5-12　垂直静载试验装置示意图

1—厚钢板；2　硬木色钢皮；3- 千斤顶；4 -百分表；5 -锚筋；

6- 基准桩；7 -基准梁；8 -主梁；9 - 次梁

能力时，可在横梁上放置或悬挂一定重物，由锚桩和重物共同承受千斤顶的反力。

千斤顶应平放于试桩中心；当采用两个以上千斤顶加载时，宜将千斤顶并联同步工作，并使千斤顶的合力通过桩中心。

（三）荷载与沉降测量仪表

荷载可用放置于千斤顶上的应力环、应变式压力传感器直接测定；或采用联于千斤顶的压力表测定油压，然后换算成荷载。桩的沉

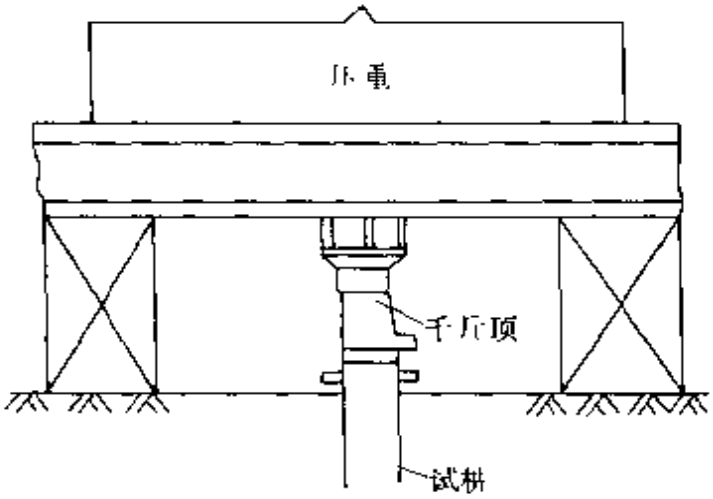


图 5-13　压重平台试桩示意图

降一般采用百分表测量。但应在桩的 2 个正交直径方向上安装 4 个百分表(小桩径可安置 2 个或 3 个百分表)。沉降测定平面离桩顶不应小于 0.5 倍桩径。

(四)试桩的规定、要求

(1)试桩、锚桩(压重平台支墩)和基准桩之间的中心距应符合表 5-3 的规定。

表 5-3

反力系统	试桩与锚桩(或压重平台支墩边)	试桩与基准桩	基准桩与锚桩(或压重平台支墩边)
锚桩横梁反力装置 压重平台反力装置	$\geqslant 3d$ $\leqslant 1.5$m	$\geqslant 4d$ $\leqslant 2.0$m	$\geqslant 4d$ $\leqslant 2.0$m

若试桩或锚桩为扩底桩时,试桩和锚桩的中心距不应小于 2 倍扩大端直径。

(2)试桩制作要求:

首先试桩顶部应予加强,顶部应配置加密钢筋网 2～3 层,或以薄钢板圆筒作成加箍筋与桩顶混凝土浇成一体,用高标号砂浆抹平。

其次为安置沉降测定点和仪表,试桩顶部露出试坑地面的高度

不宜小于 60cm。

最后试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。当缩短试桩养护时间时，混凝土标号可适当提高或掺入早强剂。

(3)从浇注试桩混凝土到开始试验的时间间隔，在满足混凝土达到设计标号的前提下，对砂类土，不可少于 10 天；对一般粘性土，不应少于 20 天；对于淤泥或淤泥质土中的沉管灌注桩，不应少于 30 天。

(五)试验加载方式

一般采用慢速维持荷载法，即逐级加载，每级荷载达到相对稳定后加下级荷载，直至达到试桩目的，然后逐渐卸载到零；也可以采用多循环加卸载法，即每级荷载达到相对稳定后卸载至零等方法。

(六)极限载荷的确定

(1)根据沉降随时间的变化特征来确定极限载荷。取 S-lg$t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级载荷为极限载荷，见图 5-14 所示。

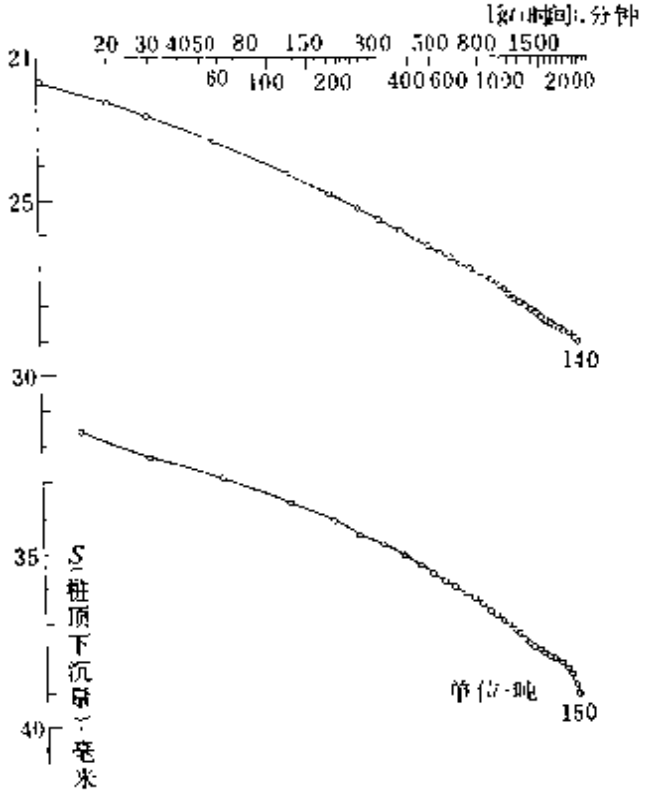


图 5-14 S-lg$t$ 曲线

(2)根据沉降随载荷的变化特征来确定极限荷载：

①取 P-S 曲线发生明显陡降的起始点所对应的载荷为极限载荷，见图 5-15 所示。

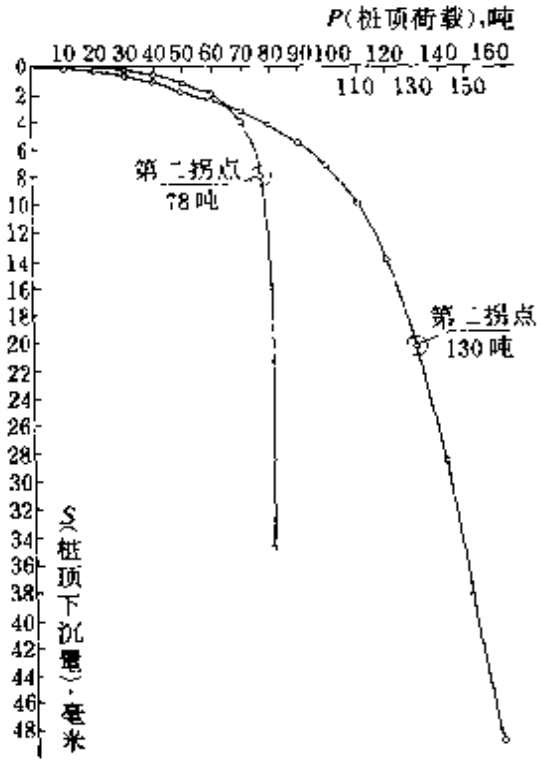


图 5-15　P-S 曲线

②取 S-lg$P$ 曲线出现陡降直线段的起始点所对应的载荷为极限载荷，见图 5-16 所示。

③对于承载力以摩阻力为主的桩，桩测极限摩阻力和桩底极限端承力可在 S-lg$P$ 曲线上，将陡直段向上延伸与横座标相交，交点左段为总极限摩阻力；交点至极限荷载的距离，即为极限端承力，见图 5-16 所示。

二、单桩水平静载试验

(一)试验目的

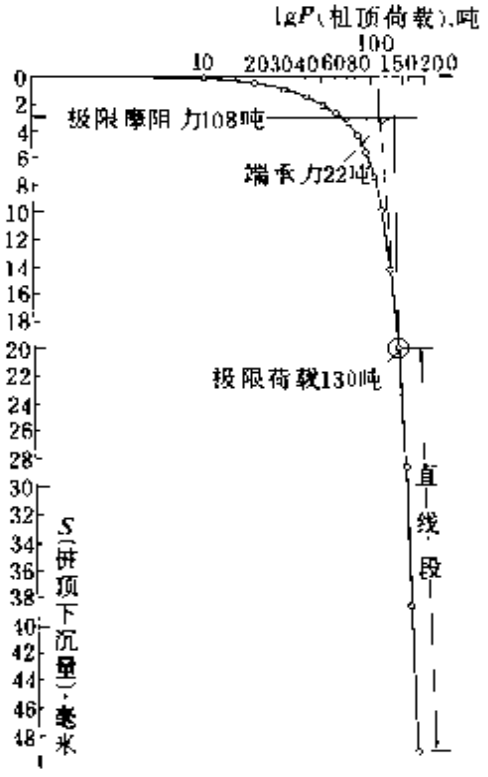


图 5-16 S-lg$P$ 曲线

采用接近于桩的实际工作条件的试验方法，以确定单桩的水平临界载荷和单桩水平极限载荷。

(二)试验设备与仪备表装置

见图 5-17 所示。

(三)试验加载方法

一般采用单向多循环加卸载法进行。对于个别受长期水平荷载的桩基也可采用慢速连续加载法(稳定标准参照单桩垂直静载试验)。

多循环加载试验法取预估水平极限载荷的 1/10～1/15 作为每级载荷的加载增量(根据桩径大小，并适当考虑土的软硬，对直径 300～1 000mm 的桩，每级载荷增量可取 0.25～2t)。每级载荷施加后，增载 4 分钟，测读水平位移；然后卸载至零，停 2 分钟，测读残余

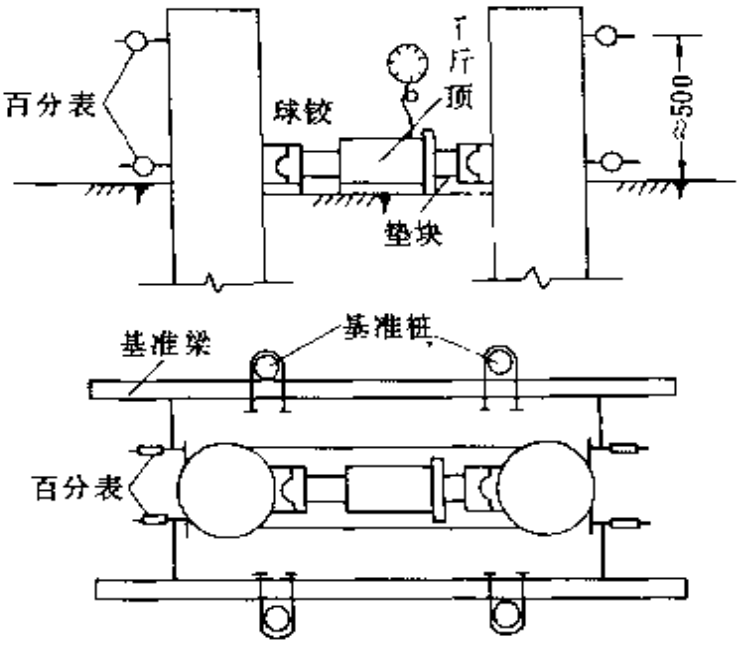


图 5-17　水平静载试验装置示意图

水平位移。至此完成一个加卸载循环。如此循环 5 次便完成一级载荷的试验观测。

试验的终止条件是：当桩身折断或水平位移超过 30～40mm(软土取 40mm)时，可终止试验。

(四)单桩水平临界荷载的确定

(1)取 H_0-t-X_0 曲线出现突变(相同荷载增量的条件下出现比前一级明显增大的位移增量)点的前一级载荷为水平临界载荷，见图 5-18 所示。

(2)取 H_0-$\frac{\Delta X_0}{\Delta H_0}$ 曲线第一直线段的终点(或 $\lg H_0$-$\lg X_0$ 曲线拐点)所对应的荷载为水平临界载荷。

(五)单桩水平极限载荷的确定

(1)取 H_0-t-X_0 曲线明显陡降的前一级荷载为极限荷载，见图 5-18。

为方便确定极限载荷，亦可将各级荷载反复作用的位移包络线

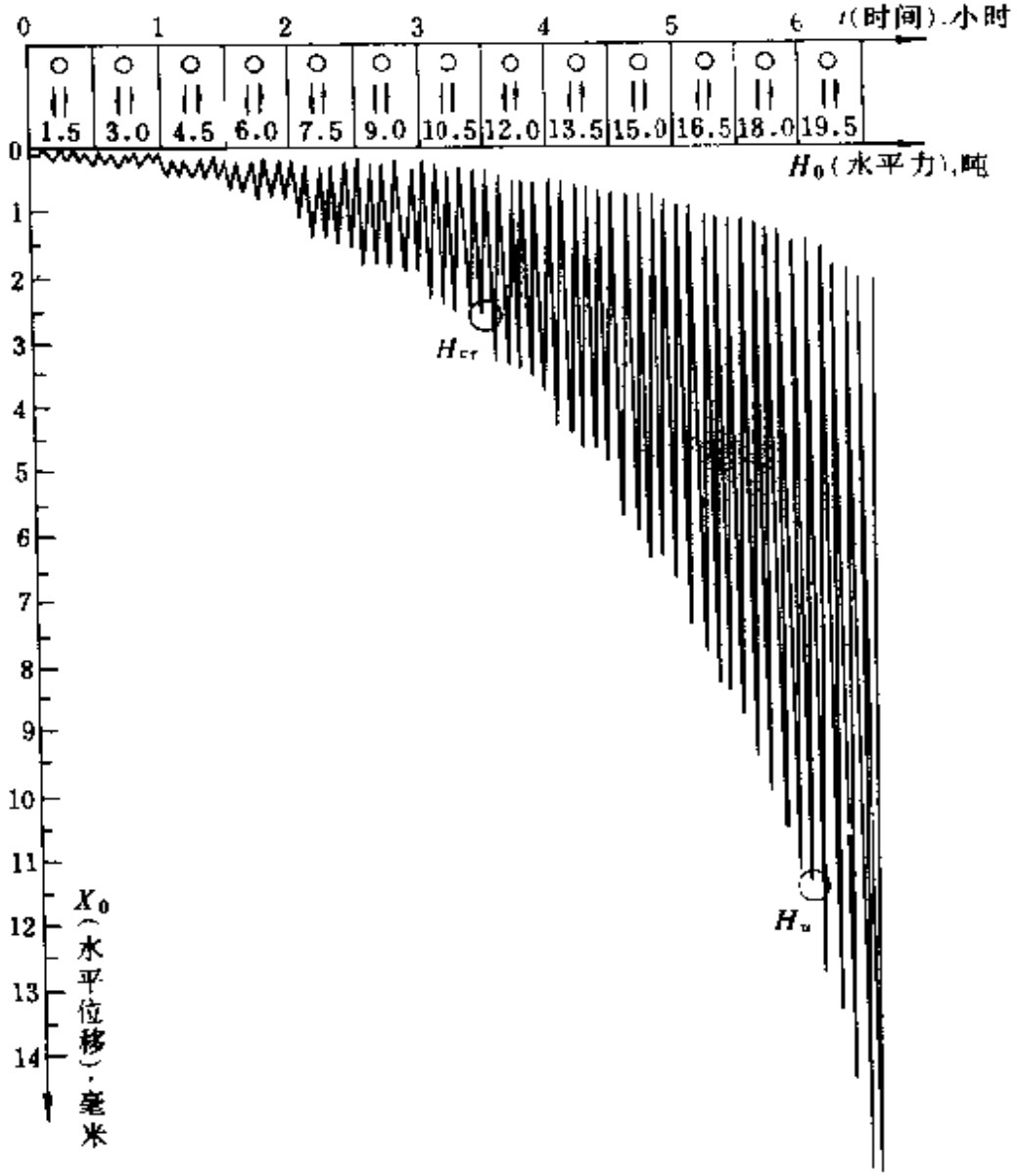


图 5-18　H_0-t-X_0 曲线

连起来，这就是该级载荷下的位移包络线。若包络线为向下凹时，则表明在该级荷载反复作用下桩的变形不断增加且不稳定，使桩趋于破坏，故可以认为该级载荷为桩的破坏载荷，而前一级载荷即为极限载荷。

(2)取 H_0-$\frac{\Delta X_0}{\Delta H_0}$曲线第二直线段终点对应的载荷为极限载荷，见图 5-19 所示。

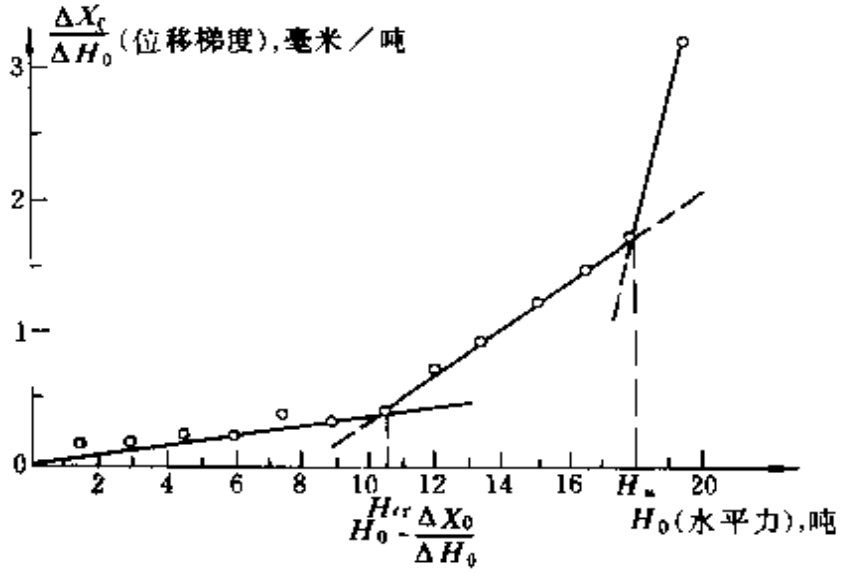


图 5-19 H_0-$\frac{\Delta X_0}{\Delta H_0}$曲线

第八节 其它

(1)锤击贯入试验，见图 5-20 所示

(2)瞬态激励法，见图 5-21 所示。

(3)机械阻抗法，见图 5-22 所示。

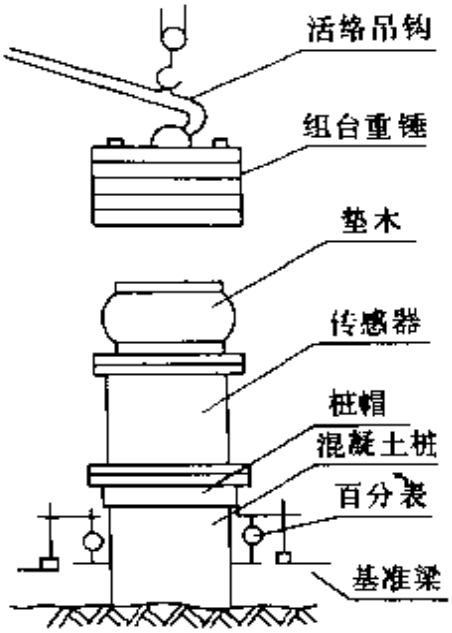


图 5-20　锤击贯入试桩仪器设备安装示意图

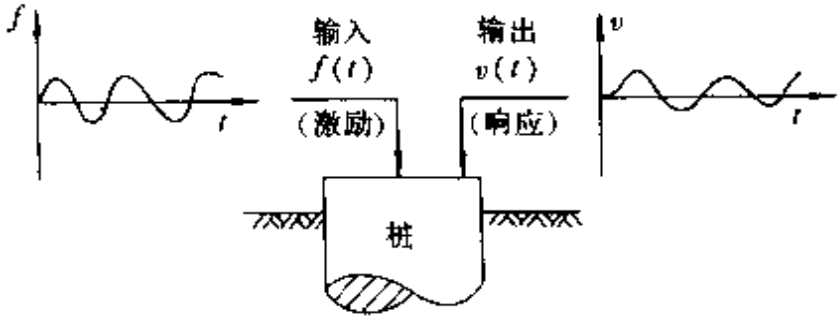


图 5-21　机械阻抗法原理

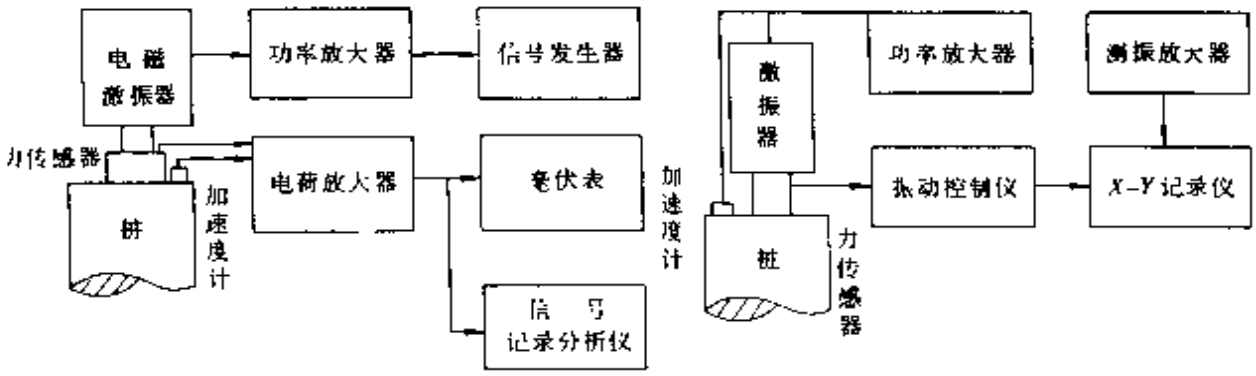


图 5-22　机械阻抗法仪器设备安装

主要参考文献

1. 段新胜等编著，1995 年，桩基工程，武汉：中国地质大学出版社。
2. 黄志诚，1990 年，提高钻孔灌注桩施工质量的有关技术探讨。西部探矿工程，第 1 期。
3. 洪毓康、陈强华，1985 年，钻孔灌注桩的荷载传递性能。岩土工程学报，第 5 期。
4. 龚主华主编，1990 年，岩土工程施工方法。沈阳：辽宁科技出版社。
5. 涂克龙，1991 年，钻孔灌注桩的断桩与接桩。西部探矿工程，第 1 期。
6. 建筑施工手册编写组，1980 年，建筑施工手册，北京：中国建筑工业出版社。
7. 刘金砺主编，1994 年，桩基工程设计与施工技术。北京：中国建材工业出版社。
8. 刘金砺编著，1990 年，桩基础与计算。北京：中国建筑工业出版社。
9. 刘兴录，1987 年，珠海灌注桩应用和质量检验。建筑科学，第 3 期。
10. 刘兴录，1987 年，灌注桩质量检验综述。工程勘察，第 6 期。
11. 李世忠主编，1989 年，钻探工艺学。北京：地质出版社。
12. 李世京等，1990 年，钻孔灌注桩施工技术。北京：地质出版社。
13. 卢世深等译，1981 年，岩土工程数值方法。北京：中国建筑工业出版社。
14. 沈杰编，1995 年，地基基础设计手册。上海：上海科技出版社。
15. 沈保汉，1986 年 6 月，日本钻孔扩底灌注工法现状。建筑技术开发。
16. 沈保汉，1986 年 6 月，钻孔扩底灌注桩垂直承载能力的评价。建筑技术开发。
17. 徐攸在、刘兴满主编，1989 年，桩的动测新技术。北京：中国建筑工业出版社。
18. 俞振全等编，1992 年，桩和桩基。北京：冶金工业出版社。
19. 张泽业编著，1993 年，工程施工钻技术，成都。成都科技大学出版社。
20. 张步钦，1988 年 2 月，大直径钻孔灌注桩扩孔钻头。建筑技术开发。
21. 郑池等，1989 年 4 月，长螺旋钻孔灌注桩工法。建筑技术开发。
22. 郑堵根等编，1992 年，大口径钻头图谱。北京：地质出版社。
23. 中华人民共和国行业标准，1995 年，建筑桩基技术规范(JGJ94－94)。北京：中国建筑工业出版社。
24. 中国建筑科学院主编，1981 年，工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程。(JGJ4－80)。北京：中国建筑工业出版社。
25. 中国建设部主编，1990 年，建筑地基基础设计规范(GBJ7－89)。北京：中国建筑工业出版社。

26. 中国建筑科学院主编，1990 年，混凝土结构设计规范(GBJ10－88)。北京：中国建筑工业出版社。
27. 中国建筑工业出版社主编，1995 年，建筑地基基础规范选编。北京：中国建筑工业出版社。
28. 周国均等，1991 年，灌注桩设计施工手册。北京：地震出版社。