

钻孔灌注桩施工技术

李世京 刘小敏 杨建林 编著

地质出版社

钻孔灌注桩施工技术

李世京 刘小敏 杨建林 编著



地质出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了钻孔灌注桩施工技术，共十一章。主要论述了钻孔桩基础的特点、适用范围；桩孔成孔施工设备和工艺。重点介绍了泵吸反循环成孔工艺技术；钢筋笼制作；混凝土的配制和水下灌注方法；桩的质量检测以及静载试验等。同时，比较系统地介绍了水域钻孔桩施工技术。

本书理论联系实际，可供从事工业与民用建筑、公路、铁路、桥梁、港口码头等桩基工程设计、施工和科研的技术人员参考，亦可供大专院校有关专业师生阅读。

钻孔灌注桩施工技术

李世京 刘小敏 杨建林 编著

*

责任编辑：冯士安

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：850×1168 $1/32$ 印张：9.75 字数：252000

1990年11月北京第一版·1990年11月北京第一次印刷

印数：1—5710册 国内定价：5.60元

ISBN 7-116-00736-9/P·626

前 言

钻孔灌注桩是建筑物的基础结构型式之一，也是防治岩土体滑动、边坡支护和锚固建筑物的有效措施。随着国民经济建设的发展，工业与民用建筑、桥梁、港口码头等高大重型建筑物的增多，钻孔灌注桩基础显得越来越重要，应用范围越来越广。相应地促进了钻孔灌注桩的设计理论、施工技术和质量检测方法的发展和完善。本书作者根据多年来从事钻孔灌注桩施工技术开发的成果和施工经验，广泛参阅国内外有关文献资料，针对施工的实际需要和理论联系实际的原则，比较系统地介绍了钻孔灌注桩施工的方法、设备和工艺技术。并相应探讨了有关基本理论，重点阐述了泵吸反循环钻进成孔技术、水域钻孔桩施工技术以及水下混凝土灌注工艺技术。

本书由李世京同志主编，共十一章。其中第一章、第六章的第一、二、三节和第七章由李世京同志编写；第三、四、五章、第六章的第四节和第八章由杨建林同志编写；第二章、第六章的第五节，第九、十、十一章由刘小敏同志编写。

由于作者的理论水平和实践经验有限，系统而全面地介绍钻孔桩施工技术实属尝试，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 地基与基础的结构型式	1
第一节 地基土的物理、力学性质	1
一、土的容重 γ	2
二、土的含水量 W	2
三、土颗粒比重 G	2
四、孔隙比 e 与孔隙度 n	2
五、饱和度 S_r	2
六、粘性土的可塑性指标	2
七、砂土的密实度指标	3
八、土的渗透性与渗透系数 K	3
九、土的压缩性	4
十、土的抗剪强度	5
第二节 地基土的分类	5
一、土的工程分类	6
二、按成因分类	11
第三节 常用基础型式及其施工特点	11
一、桩基础	11
二、沉井基础	13
三、箱形基础	14
四、管柱基础	14
第四节 钻孔灌注桩的功能特点	15
第五节 钻孔灌注桩分类及适应范围	17
一、按桩的受力情况分类	17
二、按成孔工艺方法分类	19
第六节 钻孔灌注桩承载力的计算与确定	19
一、桩的支承特性	19
二、单桩轴向容许承载力的确定	21

第七节 钻孔灌注桩的质量要求	24
一、工业与民用建筑钻孔桩 (据《JGJ4-80规程》)	24
二、桥梁钻孔桩 (依据交通部和铁道部规程)	25
第二章 施工准备	26
第一节 施工设计与施工流程	26
一、施工设计的编制	26
二、施工流程的确定	27
第二节 场地准备	28
一、场地规划布置	28
二、地下埋设物及地上障碍物的清除	29
三、桩位测量	30
第三节 护筒制作和埋设	30
一、护筒的制作	30
二、护筒的埋设	32
第四节 泥浆配制与循环设施	33
一、泥浆的配制	33
二、泥浆循环系统	34
第五节 施工公害的治理对策	35
一、废浆钻渣的处理	35
二、噪声和振动危害的控制	36
第六节 设备安装就位与材料运送	37
一、设备的安装就位	37
二、材料运输进场	37
第三章 正循环回转钻进成孔施工技术	39
第一节 概述	39
第二节 设备和机具	41
一、钻机及泥浆泵	41
二、钻具	46
第三节 正循环回转钻进成孔工艺	50
一、泥浆及其地面循环系统设置	50
二、硬质合金钻进成孔	51
三、钢粒钻进成孔	52

四、牙轮钻头钻进成孔	52
五、分级扩孔钻进成孔	53
六、操作注意事项	54
第四节 清孔	54
一、压风机清孔原理和主要机具设备	55
二、清孔操作要点	56
第四章 泵吸反循环钻进成孔施工技术	58
第一节 反循环钻进成孔施工技术概述	58
第二节 泵吸反循环钻进成孔原理	62
一、工作原理及基本参数的选择	62
二、砂石泵的起动方式	76
第三节 主要设备和机具	79
一、钻机和砂石泵组	79
二、钻渣分离设备	85
三、钻塔	86
四、钻具	86
第四节 泵吸反循环钻进成孔施工工艺	93
一、桩孔结构和护壁方法	93
二、钻渣废液分离方法与循环系统设置	94
三、钻进参数	97
四、操作技术要点	101
五、常见故障及处理方法	102
六、清孔	104
第五节 泵吸反循环钻进成孔施工实例	104
一、南昌滕王阁桩基工程	104
二、福州洪塘大桥钻孔桩工程	109
三、中国丝绸公司上海办事处03号住宅楼桩基工程	111
第六节 泵吸反循环钻进成孔施工技术的发展方向	112
第五章 冲击钻进成孔施工技术	114
第一节 概述	114
第二节 主要设备和机具	115

一、冲击钻机	115
二、冲击钻具	118
第三节 冲击钻进技术参数的确定	123
一、冲锥重量	123
二、悬距	124
三、冲击高度和冲击次数	124
四、泥浆比重和回次冲击时间	125
第四节 冲击钻进成孔施工工艺	126
一、开孔钻进	126
二、粘土层钻进	126
三、砂砾石层钻进	127
四、卵石、漂石层钻进	127
五、裂隙岩溶地层钻进	127
六、硬岩层钻进	127
七、捞渣与冲击反循环钻进	127
八、清孔	130
第五节 常见事故预防及处理	130
一、梅花孔	130
二、钻孔偏斜	130
三、卡锥	131
四、掉锥	131
第六章 其它成孔施工方法	133
第一节 螺旋钻成孔	133
一、成孔特点与适应范围	133
二、成孔设备及配套机具	134
三、成孔工艺问题	141
第二节 潜水电钻成孔	145
一、性能特点与适应范围	146
二、成孔设备与配套机具	147
三、施工注意事项	148
第三节 内冲式沉管成孔	151
第四节 冲抓成孔	153

一、成孔特点和适用范围	153
二、成孔设备和机具	154
三、成孔工艺和操作要点	158
四、贝诺特施工法	159
五、清孔	160
第五节 振冲成孔	161
一、振冲成孔特点	161
二、振冲成孔原理	161
三、主要设备机具	163
四、振冲成孔施工工艺	164
五、振冲成孔施工实例	167
第七章 水域钻孔桩施工技术	170
第一节 概述	170
一、水域钻孔桩施工特点	170
二、水域施工场地的类型及其适用条件	171
第二节 水域工作平台的建造与定位	173
一、船式工作平台及抛锚定位	173
二、支架式工作平台	181
三、浮动式工作平台	184
四、沉浮式工作平台	186
第三节 围堰筑岛的围筑要求和方法	186
一、草(麻)袋围堰筑岛	187
二、竹笼围堰筑岛	188
三、钢板桩围堰筑岛	189
第四节 水域护筒的埋设	189
第五节 水域施工的其它注意事项	192
第八章 钢筋笼的制作与安放	194
第一节 概述	194
第二节 钢筋笼的制作	196
一、制作的一般要求	196
二、钢筋笼的成型方法	196
三、焊接工艺	198

四、钢筋笼保护层垫块设置	202
第三节 钢筋笼的运输与安放就位	203
一、钢筋笼的运输	203
二、吊放入孔就位	203
第九章 混凝土配制与水下灌注	205
第一节 水泥	205
一、水泥的成分与标号	205
二、常用水泥的性能与选用	208
第二节 骨料	209
一、粗骨料	209
二、细骨料	211
三、骨料的级配	212
四、水下混凝土骨料级配选择	214
第三节 混凝土外掺剂与拌合用水	215
一、外掺剂	215
二、拌合用水	216
第四节 水下混凝土的主要技术性能	216
一、和易性(工作性)	216
二、粘聚性和保水性	217
三、凝固时间	218
四、抗压强度与混凝土标号	218
五、粘结强度	220
六、抗冻性与抗腐蚀性	222
七、抗渗性	223
八、混凝土的容重	224
第五节 水下混凝土的配合比设计	225
一、配合比设计的参数选择	225
二、配合比的计算	226
三、配合比的试验确定	230
第六节 水下混凝土的配制与输送	231
一、混凝土搅拌机械的选配	231
二、拌制工艺	234

三、混凝土的运输	236
第七节 水下混凝土的灌注	240
一、导管灌注的主要机具	240
二、导管灌注水下混凝土的过程分析	242
三、导管灌注能力与导管埋深的确定	245
四、导管灌注半径与导管漏斗高度计算	245
五、首批混凝土灌入量（初灌量）的确定	247
六、灌注施工	247
第八节 桩头处理和养护	249
第九节 水下混凝土灌注常见事故的预防处理	250
一、堵管	250
二、导管漏水	251
三、桩身缩径、夹层	252
四、断桩	252
五、混凝土严重离析	253
六、钢筋笼错位	254
第十节 水下混凝土灌注实例	254
第十章 钻孔灌注桩的质量检测	256
第一节 桩孔质量检测	256
一、孔径和孔形检测	256
二、孔深和孔底沉渣检测	258
三、桩孔垂直度检测	259
四、桩位检测	260
第二节 桩身混凝土取样检验与其强度测试	260
一、桩身混凝土钻探取心检验	260
二、混凝土取样与强度测试	264
第三节 钻孔桩的无损检测	265
一、概述	265
二、机械阻抗法	266
三、水电效应法	267
四、激震波速效应法	269
五、声波法	270

六、锤击法	272
第十一章 钻孔灌注桩荷载试验	274
第一节 试桩种类和方法	274
一、试桩种类	274
二、试桩方法	275
第二节 试桩设备器具	280
一、试桩设备	280
二、观测器具	281
第三节 单桩垂直静载试验	283
一、试验目的	283
二、试验装置的安装调试	283
三、加载程序	285
四、沉降观测	286
五、桩底反力和桩身内力的测定	287
六、桩周摩阻力测定	287
七、试桩资料整理	288
八、垂直荷载确定	289
九、实例	290
第四节 单桩水平静载试验	293
一、试验目的	293
二、试验装置的安装调试	293
三、加载程序与变形观测	294
四、试验资料整理	295
五、水平荷载的确定	295
参考文献	300

第一章 地基与基础的结构型式

支承建筑物的土层（岩层）叫做地基，地基的状态关系着整个建筑物的安危。为确保建筑物的安全和正常使用，地基应满足两个基本条件：一是作用于地基的荷载不超过地基的容许承载力，以保证地基稳定；二是地基的沉降量不超过容许的限度，以保证建筑物不致损坏或影响其正常使用。一般来说，天然地基很难满足上述要求，特别是现代的高层、重型构筑物对基础有严格要求。所以在工程设计之前，必须进行工程地质勘察。在探明工程地质条件之后，综合考虑地质、水文、施工、建筑材料、上部结构荷载、地形及临近既有建筑物等情况，确定地基加固的方案（即基础类型及结构），达到地基和基础既有足够的强度、稳定性和耐久性，又便于施工，技术经济效益也好的目的。

第一节 地基土的物理、力学性质

了解各类地基土的性质，对正确选择基础形式及施工工艺方法有着极为重要的意义。土木建筑工程所称的土，狭义来说是指岩石经过风化、剥蚀，搬运，沉积等过程后所形成的各种松散颗粒物质；广义的概念也包括整体岩石在内。土是由固体颗粒和颗粒间孔隙中的水和气体组成的三相体。土中固体颗粒的大小，成分及三相之间的比例关系，反映出土的不同性质，如干湿，松密、轻重，软硬等等。土的这些物理性质与力学性质之间有着密切的联系，如土松而湿则强度低、压缩性大；土干且密，则强度高且压缩性小。

基础工程施工常涉及到土的物理、力学性质的定义及指标，分述如下：

一、土的容重 γ

土在天然状态下单位体积的重量叫做土的天然容重，单位用“ N/m^3 ”表示。土的容重与土的含水量，密实程度有关，一般土的天然容重为 $16\text{—}22\text{kN}/\text{m}^3$ ，容重大的土比较密实，强度也较高。

土的干容重 γ_d 是土在烘干状态下的容重，即单位体积土颗粒的重量。土愈密实干容重愈大，一般为 $13\text{—}20\text{kN}/\text{m}^3$ 。

土的饱和容重是指土体中孔隙充满水时的单位体积重量；地下水位以下的土，颗粒受到水的浮力作用，其容重称为水下浮容重。

二、土的含水量 W

土的含水量是指土在天然状态下，土中水的重量与土颗粒重量之比，用百分数表示。土的含水量反映土的湿度。含水量越大说明土越湿。对于同一种类的土，当含水量增大时，它的强度就会降低。

三、土颗粒比重 G

土颗粒经 $100\text{—}105^\circ\text{C}$ 下烘至恒重的重量与同体积的蒸馏水在 4°C 时重量的比值，称为土颗粒的比重。土颗粒的比重决定于土的矿物成分和有机质含量，一般土粒比重为 $2.65\text{—}2.75$ 。

四、孔隙比 e 与孔隙度 n

土的孔隙比 e 是土中孔隙的体积与土粒体积之比。土中孔隙的体积与土的总体积之比，称为孔隙度 n ，其值恒小于 1。孔隙比与孔隙度都反映土的孔隙特征，间接反映土的密实度和强度。

五、饱和度 S_r

土中孔隙被水充满的程度叫饱和度，以土中水的体积与孔隙体积之比来表示。如果 $S_r = 100\%$ ，则表示土的孔隙中充满着水，土是完全饱和的；如果 $S_r = 0$ ，则表示土中没有水。

六、粘性土的可塑性指标

粘性土的性状与含水量有着密切的关系。对于同一种粘土，当其含水量小于某一限度时，处于坚硬的状态。随着含水量的增

加，它就会变为塑性状态。所谓塑性状态是指土体在外力作用下，可塑成任何形状而不发裂，也不改变体积，当外力取消后，还可保持变形后所得的形状。如果含水量进一步增加，土体就会由可塑性状态变为流动状态。

塑限 W_p (%) 土由固态变到塑性状态时的分界含水量，系实测指标。

液限 W_L (%) 当土由塑性状态变到流动状态时的分界含水量。我国广泛采用液限仪来测定。

塑性指数 I_p 液限与塑限之差，系计算求得的指标。塑性指数的大小，主要与土内所含的粘粒多少有关。土中含粘粒愈多，则其塑性指数愈大，即表示土在含水量变化相当大的范围内，仍能保持塑性状态。由于塑性是粘性土的一种特征，故在地基基础规范中以塑性指数作为粘性土的分类标准。

液性指数 I_L 土的天然含水量与塑限之差除以塑性指数的计算指标。液性指数表示粘性土的软硬程度。例如当 $I_L \leq 0$ ，即 $W \leq W_p$ 时，土处于坚硬状态。当 $I_L > 1$ ，即 $W > W_L$ 时，土处于流塑状态。

七、砂土的密实度指标

砂土的密实程度是确定其承载力的主要指标。密实的砂土压缩性小，强度较大，结构稳定；而松散的砂土，特别是饱和的细砂、粉砂则相反，结构很不稳定，容易发生流砂现象。

砂土的密实度在地基基础规范中是根据天然孔隙比 e 来分类确定。在实际工作中也可采用标准贯入试验（锤重63.5kg，落距76cm，贯入度30cm）的实测锤击数 $N_{63.5}$ 来判断砂土的密实程度，见表1—1。

八、土的渗透性与渗透系数 K

由于土粒之间孔隙的存在，水在重力作用下，沿土的孔隙渗透流动。渗透系数 K 反映了土的渗透性能，其物理意义按达西公式为：当水力坡度为1时的渗透速度。土的渗透系数参考值如表1—2所列。

表 1—1 按标准贯入试验判定砂土的密实程度

分 级	实测平均锤击数 $N_{63.5}$
密 实	30—50
中 密	10—29
稍 密	5—9
松 散	<5

表 1—2 土的渗透系数

土 类	渗 透 系 数 K	
	m/d	cm/s
粘 土	<0.005	< 6×10^{-8}
亚 粘 土	0.005—0.1	6×10^{-6} — 1×10^{-4}
轻亚粘土	0.1—0.5	1×10^{-4} — 6×10^{-4}
粉 砂	0.5—1.0	6×10^{-4} — 1×10^{-3}
细 砂	1.0—5	1×10^{-3} — 6×10^{-3}
中 砂	5—20	6×10^{-3} — 2×10^{-2}
粗 砂	20—50	2×10^{-2} — 6×10^{-2}
圆 砾	50—100	6×10^{-2} — 1×10^{-1}
卵 石	100—500	1×10^{-1} — 6×10^{-1}
裂隙多的岩石	>60	> 7×10^{-2}

九、土的压缩性

土在压力作用下体积减少的性质叫土的压缩性。土的压缩主要是在荷载作用下,土中水或气体所占孔隙体积减少造成的,故土的压缩性是测定在不同压力下孔隙体积变化,即压力与孔隙比之间的关系来确定。

土的压缩性通常用压缩系数 a_{1-2} 来表示,它的单位正好是压力单位的倒数,即 $\text{cm}^2/\text{kgf} = \text{MPa}^{-1}$, a_{1-2} 表示压力为 1—2 kgf/cm^2 作用下的压缩系数。

当 $a_{1-2} < 0.102 \text{MPa}^{-1}$ ($0.01 \text{cm}^2/\text{kgf}$) 时,属低压缩性土;

$0.102 < a_{1-2} < 0.510 \text{MPa}^{-1}$ ($0.05 \text{cm}^2/\text{kgf}$) 时,属中压缩性土;

$a_{1-2} \geq 0.510 \text{MPa}^{-1}$ ($0.05 \text{cm}^2/\text{kgf}$) 时,属高压压缩性土。

工程上也常用室内试验求压缩模量 E_s 作为土的压缩性指标。表 1—3 所列为地基土按 E_s 值划分压缩性等级的规定。

表 1—3 地基土按 E_s 值划分压缩性等级

$E_s(\text{MPa})$	2—4	4—7.5	7.5—11	11—15	>15
压缩性等级	高压压缩性	中高压压缩性	中压缩性	中低压压缩性	低压压缩性

十、土的抗剪强度

土的抗剪强度是指土体抵抗剪切滑动的极限强度。土体的抗剪强度与作用在它上面的法向应力及土的内摩擦角 φ 有关。土的内摩擦角 φ 与土的密实度、颗粒大小、形状、粗糙程度等因素有关。一般来说土愈密实、土粒愈大、形状愈不规则,表面愈粗糙,则 φ 值愈大。天然砂土的 φ 的变化范围约在 30° (圆粒、均匀的松细砂) 到 45° (尖粒、不均匀的紧密粗砂) 之间。含水量对它的影响很小。对于极松散的砂,它的内摩擦角 φ 近于天然坡角。所谓天然坡角,是指砂土在自重作用下可能堆成的最大坡角 (坡面与水平面的夹角)。

粘土类土的内摩擦角 φ 与密实度及含水量有关,约为 $5—25^\circ$ 。粘性土的抗剪强度不仅包括内摩擦阻力,还包括粘聚力 C 。因为粘土颗粒间具有分子粘结力,而结合水在颗粒间又起着联结作用,这些力的总和构成粘性土的内聚力亦即粘聚力,它能抵抗一定的拉力和剪力作用。粘性土的粘聚力 C 一般为 $10—115 \text{kPa}$ 。

第二节 地基土的分类

土和岩石的分类方法很多,不同部门根据其用途采用各自的