岩土工程勘察设计与施工技术丛书

桩基工程

叶建良 汪国香 吴 翔 黄远华

中国地质大学出版社

73.1

图书在版编目(CIP)数据

桩基工程/叶建良，汪国香，吴翔，黄远华．—武汉：中国地质大学出版社，2000.10
（岩土工程勘察设计与施工技术丛书/蒋国盛，姚爱国，叶建良，汪国香，李文新主编）
ISBN 7-5625-1577-8

Ⅰ．桩…
Ⅱ．①叶…②汪…③吴…④黄…
Ⅲ．施工技术-桩基-工程
Ⅳ．TU47

桩基工程　　叶建良　汪国香　吴　翔　黄远华

责任编辑：方　菊　　责任校对：熊华珍

出版发行：中国地质大学出版社（武汉市洪山区鲁磨路31号）　邮编：430074
电话：(027)87483101 传真：87481537 E-mail：cbo @ cug.edu.cn
经　　销：全国新华书店

开本：787毫米×1092毫米 1/16　　字数：230千字　印张：9
版次：2000年10月第1版　　印次：2000年10月第1次印刷
印刷：中国地质大学出版社印刷厂　　印数：1—4 000册

ISBN 7-5625-1577-8/TU·23　　定价：17.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

《岩土工程勘察设计与施工技术丛书》参编单位

中国地质大学　　国土资源部中国地质调查局
广东省工程勘察院　　水利部长江水利委员会综合勘测局
山东省冶金勘察总局　　湖北省鄂东北地质基础工程公司

《岩土工程勘察设计与施工技术丛书》编委会

主　任：蒋国盛　姚爱国　叶建良

主　编：蒋国盛　姚爱国　叶建良　汪国香　李文新

委　员：（以下按姓氏笔画为序）

马　明　叶建良　古锐开　李文新　李红民
李汉旭　汪国香　吴　翔　赵振红　周道崇
祝德生　姚爱国　段隆臣　韩　云　黄海兰
黄远华　赖万兴　蒋国盛　管典志

秘　书：段隆臣

前　言

随着我国国民经济的发展，高层和超高层建筑、水利水电、路桥、地质灾害治理等工程建设项目蒸蒸日上。岩土工程作为上述各种建设工程的前期和基础性工作，其从业（包括科研、教学、生产）人员和单位空前增多，技术力量日益壮大，已成为规模庞大的产业。在国家有关部门的大力倡导和推动下，经过广大科研和工程技术人员的努力，目前我国在勘察、设计、施工、监理、监测技术和方法方面已达到了一定水平，并不断完善和发展。

为了进一步推动我国岩土工程事业的蓬勃发展，中国地质大学组织有关单位及专家认真编写了《岩土工程勘察设计与施工技术丛书》。丛书共分五册：《岩土工程勘察与评价》、《岩土工程钻进原理》、《桩基工程》、《地基处理与托换技术》、《基坑工程》。该丛书较全面地介绍了岩土工程的勘察设计和施工技术，并及时总结和推广岩土工程方面的科研成果、新技术新方法和先进的工程经验。该丛书具有较高的学术价值和重要的实践意义，特别适合于从事岩土工程勘察、设计、施工、监理和监测的工程技术人员，也可作为相关专业科研人员和大专院校师生的参考书或教材。

编写《岩土工程勘察设计与施工技术丛书》的指导思想和丛书的特色：

（1）以我国现行的国家、行业和地区的规范、标准及规程为依据，归纳和总结了有代表性的科研成果、新技术新方法和先进的工程经验，如灌注桩后压浆技术、加固防渗薄壁墙技术等，做到学术性和实用性的统一。

（2）在内容上结合工程实际，力求做到全面、完整、透彻、精练，清晰地把原理、方法、工程应用融为一体，可读性及参考性强。

（3）丛书的总体体系和结构科学、合理。例如，绝大多数岩土工程的建设需要通过钻进施工来完成，而钻进施工的工艺方法很多，并有其使用条件。丛书则将此部分内容单独编写成《岩土工程钻进原理》集中介绍，避免了以往类似书籍在介绍此部分内容时的重复、不全面和杂乱。

（4）丛书紧密结合工程建设的科学理论与实际需要。例如，随着基坑深度的加大及环境条件的复杂化，对支护结构的变形控制提出了更高的要求，当前，支护结构设计正从维护本工程自身安全稳定的单一目标，向按变形控制进行设计转变。分册《基坑工程》则以此为指导思想，组织、安排全书内容，并对按变形控制进行支护结构设计的思路和方法作了较深入的探索。

该套丛书在编写过程中得到了众多专家、学者、工程技术人员及博士、硕士研究生的帮助，同时也得到了参编单位有关部门和领导的大力支持，中国地质大学出版社及其有关人员也为丛书的出版花费了大量心血。谨此，丛书编委会向他们表示衷心的感谢！

分册《桩基工程》的第1章、第5章、第6章由叶建良编写，第2章、第3章由汪国香编写，黄远华编写第4章，吴翔编写第7章。

由于作者水平有限，丛书难免有不妥甚至错误之处，敬请读者批评指正。

《岩土工程勘察设计与施工技术丛书》编委会

2000年7月

目　录

1　绪论 …… (1)
1.1　桩基工程的基本概念 …… (1)
1.1.1　桩基工程常用术语解释 …… (1)
1.1.2　桩的类型及其选择 …… (2)
1.2　桩基勘察 …… (6)
1.2.1　勘察 …… (6)
1.2.2　取样和试验工作 …… (6)
1.3　我国桩基工程发展现状 …… (7)
2　桩土相互作用 …… (9)
2.1　单桩轴向荷载的传递 …… (9)
2.1.1　荷载传递机理 …… (9)
2.1.2　桩身轴力与桩横截面位移 …… (9)
2.1.3　桩侧摩阻力的分布 …… (11)
2.1.4　影响荷载传递的因素 …… (12)
2.1.5　桩侧负摩阻力 …… (13)
2.2　桩尖下土的极限平衡 …… (14)
3　桩的承载力计算 …… (16)
3.1　单桩竖向承载力 …… (16)
3.1.1　根据桩身材料强度确定 …… (16)
3.1.2　按规范经验公式确定 …… (17)
3.1.3　按静荷载试验确定 …… (22)
3.1.4　按静力触探法确定 …… (25)
3.1.5　按土的抗剪强度指标确定 …… (26)
3.2　桩基竖向承载力 …… (26)
3.2.1　群桩效应和群桩效应系数 …… (27)
3.2.2　桩基竖向承载力设计值 …… (28)
3.2.3　桩的抗拔承载力 …… (30)
3.3　桩的水平承载力 …… (31)
3.3.1　单桩水平静载试验 …… (32)
3.3.2　单桩水平承载力设计值的确定 …… (33)
4　桩基设计 …… (38)
4.1　桩基的设计原则 …… (38)
4.2　确定桩的类型和几何尺寸 …… (39)
4.3　桩的根数及布置 …… (39)
4.3.1　桩的根数 …… (39)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

4.3.2 桩的平面布置……(40)
4.4 桩基承载力验算……(41)
4.4.1 桩基中各桩（基桩或复合基桩）的荷载验算……(41)
4.4.2 特殊条件下桩基承载力验算……(42)
4.5 桩基沉降验算……(44)
4.5.1 概述……(44)
4.5.2 等效作用分层总和法沉降计算……(44)
4.6 桩身结构设计……(55)
4.6.1 灌注桩结构设计……(55)
4.6.2 钢筋混凝土预制桩……(56)
4.7 承台的设计……(57)
4.7.1 承台的构造要求……(57)
4.7.2 板式承台计算……(58)
4.7.3 梁式承台计算……(62)
5 预制桩施工……(64)
5.1 常用的沉桩施工方法……(64)
5.2 沉桩机械……(65)
5.2.1 打桩机械……(65)
5.2.2 压桩机械……(67)
5.3 沉桩前的准备工作……(67)
5.3.1 预制桩施工前的资料准备……(67)
5.3.2 施工场地的准备……(68)
5.3.3 桩的制作、运输与堆放……(69)
5.3.4 减小沉桩对周围管线及建筑物的影响……(70)
5.3.5 减小沉桩时对周围的环境影响……(71)
5.3.6 试打桩……(71)
5.4 锤击沉桩施工……(71)
5.4.1 打桩顺序……(71)
5.4.2 吊桩……(72)
5.4.3 打桩……(72)
5.4.4 接桩形式……(72)
5.4.5 打桩记录……(73)
5.4.6 停止打桩的标准……(73)
5.4.7 打桩中常见问题及其分析处理……(74)
5.5 静压沉桩施工……(75)
5.5.1 压桩与接桩……(75)
5.5.2 送桩与截桩……(75)
5.5.3 压桩施工注意事项……(75)
6 灌注桩施工……(76)
6.1 泥浆护壁成孔灌注桩……(76)

6.1.1 施工准备 …… (77)
6.1.2 泥浆护壁成孔施工 …… (84)
6.1.3 清孔 …… (84)
6.1.4 钢筋笼施工 …… (85)
6.1.5 水下混凝土施工 …… (86)
6.1.6 钻孔灌注桩工程验收 …… (90)
6.2 干作业成孔灌注桩 …… (91)
6.2.1 螺旋钻进成孔灌注桩 …… (91)
6.2.2 人工挖（扩）孔灌注桩 …… (91)
6.3 灌注桩后压浆技术 …… (98)
6.3.1 工作原理 …… (98)
6.3.2 后压浆工艺 …… (98)
6.3.3 灌注桩后压浆事故防治 …… (99)
6.3.4 灌注桩后压浆工程实例 …… (101)
6.4 沉管灌注桩 …… (103)
6.4.1 概述 …… (103)
6.4.2 振动沉管灌注桩的施工机具 …… (104)
6.4.3 振动沉管灌注桩的施工 …… (105)
6.4.4 振动沉管灌注桩施工中常见问题及质量控制 …… (106)
6.5 夯扩灌注桩 …… (107)
6.5.1 概述 …… (107)
6.5.2 夯扩桩设计计算 …… (108)
6.5.3 无桩靴夯扩灌注桩施工 …… (111)
7 桩基工程检测 …… (114)
7.1 概述 …… (114)
7.1.1 桩基的质量问题 …… (114)
7.1.2 桩基工程检测的内容 …… (115)
7.2 动测技术 …… (115)
7.2.1 动测技术简介 …… (115)
7.2.2 动测法的分析方法 …… (116)
7.2.3 低应变动测法 …… (116)
7.2.4 高应变动测法 …… (129)
7.3 抽心验桩 …… (132)
7.3.1 抽心验桩的特点 …… (132)
7.3.2 抽心验桩应注意的问题 …… (132)
7.3.3 抽心验桩数据处理 …… (133)
参考文献 …… (134)

1 绪 论

1.1 桩基工程的基本概念

1.1.1 桩基工程常用术语解释

(1) 桩基础：由基桩和连接于桩顶的承台共同组成。在工业与民用建筑中，桩基础的承台底面位于地面以下，此类桩基叫作低承台桩基。承台底面高出地面以上的叫作高承台桩基，多用于桥梁和港口工程。

(2) 单桩：不受承台和邻桩影响的一根孤桩（桩顶无承台、周围无邻桩）叫作单桩。

(3) 单桩基础：采用一根桩（通常为大直径桩）以承受和传递上部结构（通常为柱）荷载的独立基础。

(4) 基桩：群桩基础中的单桩。

(5) 群桩基础：由两根以上基桩组成的桩基础。

(6) 复合基础：由桩和承台底面地基土共同承担荷载的桩基。

(7) 复合基桩：包含承台底土阻力的基桩。

(8) 单桩竖向极限承载力：单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载。它取决于土对桩的支承阻力和桩身材料强度，一般由土对桩的支承阻力控制，对于端承桩、超长桩和桩身质量有缺陷的桩，可能由桩身材料强度控制。

(9) 群桩效应：群桩基础受竖向荷载后，由于承台、桩、土的相互作用使其桩侧阻力、桩端阻力、沉降等性状发生变化而与单桩明显不同，承载力往往不等于各单桩承载力之和，称之为群桩效应。群桩效应受土性、桩距、桩数、桩的长径比、桩长与承台宽度比、成桩方法等多因素的影响而变化。

(10) 群桩效应系数：用以度量构成群桩承载力的各个分量因群桩效应而降低或提高的幅度指标，如侧阻、端阻、承台底土阻力的群桩效应系数。

(11) 桩侧阻力群桩效应系数：群桩中的基桩平均极限侧阻与单桩平均极限侧阻之比。

(12) 桩端阻力群桩效应系数：群桩中的基桩平均极限端阻与单桩平均极限端阻之比。

(13) 承台底土阻力的群桩效应系数：群桩承台底平均极限土阻力与承台底地基土极限阻力（平板基底土阻力）之比。

(14) 桩侧阻端阻综合群桩效应系数：群桩中的基桩平均极限承载力与单桩极限承载力之比。根据单桩静载实验确定单桩竖向极限承载力时，采用综合群桩效应系数。

(15) 负摩阻力：桩身周围土由于自重固结、自重湿陷、地面附加荷载等原因而产生大于桩身的沉降时，土对桩侧表面所产生的向下的摩阻力。在桩身某一深度处的桩土位移量相等，该处称为中性点。中性点是正、负摩阻力的分界点。

(16) 下拉荷载：对于单桩基础，中性点以上负摩阻力的累计值即为下拉荷载。对于群桩基础中的单桩，尚需考虑负摩阻力的群桩效应，即其下拉荷载尚应将单桩下拉荷载乘以相应的负摩阻力群桩效应系数予以折减。

1.1.2 桩的类型及其选择

在土木建筑工程中，当地基浅层土质不能满足建筑物对地基承载力和变形的要求，而采取地基处理措施又不适宜时，便选择以深层坚实土层或岩层作为持力层的深基础方案。深基础主要有桩基础、沉井、地下连续墙等几种形式，其中桩基础历史最长、应用最广。随着工业技术的进步和工程建设规模的扩大，桩基技术在近几十年间得到了突飞猛进的发展，桩基础已成为高层超高层建筑、铁路公路大桥、港口码头、重型储仓等结构物的最常用的基础形式。

桩基础通常又称桩基，由承台和埋在土中的桩组成。桩基础可由单根桩构成，称为一柱一桩的单桩基础。多数情况是由多根桩组成的群桩基础，如图 1.1，承台把桩联结起来，上部荷载通过承台传递给各桩桩顶，再由桩传到地基中去。桩实质上是埋置于土中的受力杆件，一般用来承受轴向（竖向）压力，有时可用来承受上拔力和水平力，或竖向、水平荷载的综合作用。

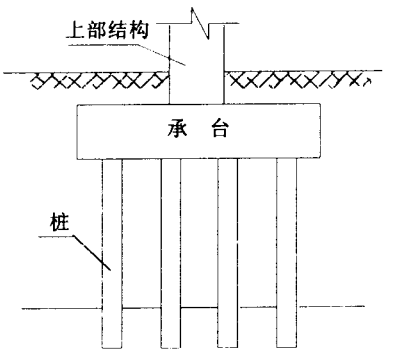

图 1.1 桩基础

一般在下列情况下可考虑采用桩基础：

(1) 建筑物荷载较大，地基软弱，采用天然地基不能满足承载力的要求或地基沉降过大对建筑物造成危害时；

(2) 经技术经济指标、工程质量、施工条件等方面综合比较，采用桩基础比天然地基或地基加固处理优越时；

(3) 高耸建筑物对整体倾斜有严格限制时；

(4) 重要、大型、精密机械设备的基础对地基变形有严格限制时；

(5) 因地基沉降对相邻建筑物产生相互影响巨大时；

(6) 作为抗液化和处理地震区软弱地基的措施。采用桩基穿越可液化土层并伸入密实稳定土层足够长度，可消除或减轻液化对建筑物的危害。

1.1.2.1 桩的类型

桩的分类方法有多种。根据桩身材料的不同，可分为钢桩、木桩、混凝土桩和钢筋混凝土桩；根据桩径大小，可分为小桩（$d\leqslant 250$mm）、中直径桩（250mm$<d<$800mm）和大直径桩（$d\geqslant 800$mm）；根据使用功能的区别，又可分为竖向抗压桩、竖向抗拔桩、水平受荷桩以及竖向和水平荷载均较大的复合受荷桩；根据桩径变化可分为等直径桩（直身桩）、扩底桩和多分支承力盘桩；根据桩身截面形状可分为圆桩、方桩、三角形桩、空心方桩、管桩以及 H 形钢桩等。本节主要根据桩的承载性状、成桩施工方法以及桩的设置效应等情况不同，对桩进行分类。

1. 按承载性状分类

在竖向荷载的作用下，桩顶荷载由桩侧阻力和桩端阻力共同承受，而桩侧阻力、桩端阻力的大小及其分担荷载比例，主要由地基土的物理力学性质、桩的承载性状、桩的尺寸和施工工艺所决定。传统的分类法是将桩分为摩擦桩和端承桩，认为摩擦桩主要靠桩周表面与土

之间的摩擦力起支承作用（有时桩端土也起一定的支承作用）；端承桩主要靠桩端处坚实土层或岩层的阻力起支承作用，设计时一般不考虑侧摩阻力。建筑桩基技术规范（JGJ94－94）则根据竖向荷载下相互作用的特点、桩侧阻力与桩端阻力的发挥程度和分担荷载比例，将桩分为摩擦型桩和端承型桩两大类四个亚类。

（1）摩擦型桩。

指桩顶竖向荷载全部或主要由桩侧阻力承受的桩。根据桩侧阻力分担荷载的大小，摩擦型桩可分为摩擦桩和端承摩擦桩两类。

摩擦桩：指桩顶竖向荷载几乎全部由桩侧阻力承受的桩。例如深厚的软弱土层中的桩，或因桩端无较硬持力层，或因桩的长径比（l/d）很大，传递到桩端的轴力很小。桩顶荷载绝大部分由桩侧阻力承受，桩端阻力很小可以忽略不计。

端承摩擦桩：指桩顶竖向荷载大部分由桩侧阻力承受，小部分由桩端阻力承受的桩。例如当桩的 l/d 不很大，桩端持力层为较硬的粘性土、粉土和砂类土时，除桩侧阻力外，还有一定的桩端阻力，这类桩工程中很多见。

（2）端承型桩。

指桩顶竖向荷载全部或主要由桩端阻力承受的桩。根据桩端阻力发挥的程度和分担荷载的比例，端承型桩可分为端承桩和摩擦端承桩两类。

端承桩：指桩顶竖向荷载由桩端阻力承受的桩。当桩的 l/d 较小（一般小于 10）时，桩身穿越软弱土层，桩端设置在密实砂层、碎石类土层、微风化岩层中，桩顶荷载绝大部分由桩端阻力承受，桩侧阻力很小可忽略不计。长径比小且孔底沉渣清除干净的嵌岩桩是典型的端承桩。

摩擦端承桩：指桩顶极限荷载主要由桩端阻力承受，次要的由桩侧阻力承受的桩。当桩端进入中密以上的砂土、碎石土或中、微风化岩层时，就属此情况。

2. 按施工方法分类

按制作、设置桩的施工方法不同，桩可分为预制桩和灌注桩两大类，如图 1.2。

（1）预制桩。

预制桩是在工厂或工地预先把桩制作好，再用打桩设备把桩锤击、振动打入或静压入土中的各种桩。按材质可分为钢筋混凝土桩、钢桩和木桩（竹桩）。

钢筋混凝土桩：此类桩的优点是，长度和截面形状可在一定范围内根据需要选择，桩身质量相对稳定可靠，横截面可做成方、圆、三角等各种形状，如图 1.3，有的还做成空心的。

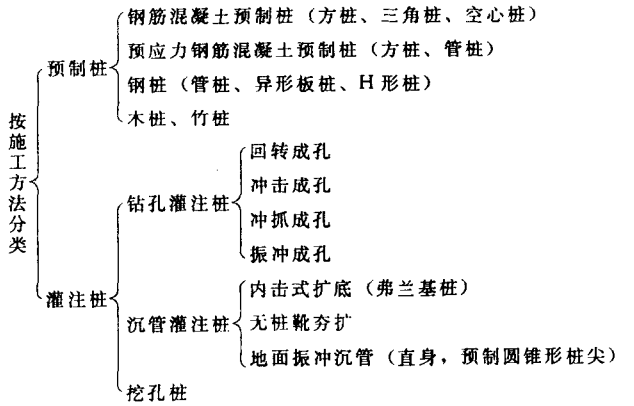

图 1.2　按施工方法分类

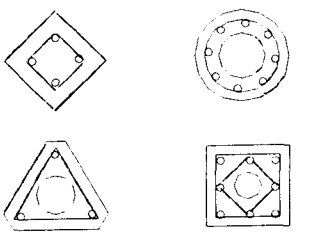

图 1.3　钢筋混凝土预制桩的截面形状

普通实心方桩的截面边长不小于200mm，现场预制长度一般在25～30m以内，工厂预制的长度一般不超过12m。桩身配筋应按吊运、打桩以及桩在建筑物中受力等条件计算确定，配筋率相对较高。

预应力钢筋混凝土预制桩自重较小、节约钢材，能提高桩的承载力和抗裂性，它是在工厂中用离心旋转法经蒸汽养护预制的。

钢桩：常用的钢桩有开口或闭口的管形、H形等，长度为12～15m。钢桩横截面外径为400～1 000mm，壁厚为9～18mm。H形钢桩的穿透能力强，承载能力高。但钢桩耗钢量大，成本高，只能在少数重要工程中使用。

木桩、竹桩：自重小，便于加工运输和施工，但承载能力小，耐久性差，只能在木（竹）材产地和某些应急工程中使用。

（2）灌注桩。

在现场开孔并放入钢筋笼（也有省去钢筋的），再向孔内浇灌混凝土而成型。与钢筋混凝土预制桩相比较，灌注桩一般只根据使用期间可能出现的内力配置钢筋，用钢量小，桩长可以灵活掌握，施工噪音小，各种地层均可施工。因此，在国内外得到迅速发展。灌注桩有几十个品种，常见的有以下几种：

钻孔灌注桩：使用钻机在桩位上钻孔，清除孔底残渣并安放钢筋笼，最后浇灌混凝土而成桩。桩径一般为600～1 500mm，桩长由几米到几百米，能进入微风化硬质岩石中，刚度大、承载力高而桩身变形很小。

沉管灌注桩：采用锤击振动、振动冲击等方法将钢管沉入土中开孔，向钢管中灌注混凝土后拔出钢管，再进行振捣而成。

挖孔桩：采用人工或机械挖掘开孔后放置钢筋笼和浇灌混凝土。

此外还有钻孔扩底灌注桩、爆扩底桩、冲击成孔灌注桩等。

3. 按设置效应分类

桩的设置方法（打入或钻孔成桩）不同，桩对桩周土的排挤作用也不相同。排挤作用会引起土的天然结构、应力状态和性质的变化，从而影响桩的承载力和变形性质。这些影响可统称为桩的设置效应。按设置效应，可将桩分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩三类。

（1）挤土桩。

实心预制桩、下端封闭的管桩以及沉管灌注桩等打入桩，在锤击或振入过程中都要将桩位处的土大量排挤开，对桩周土的结构有严重的挠动破坏（重塑）作用。在非饱和松散土中采用挤土桩，其承载力明显高于非挤土桩，这就是所谓的“挤密作用”。但在饱和软土中设置挤土桩，如设计和施工不当，就会产生不良的挤土效应，如导致未初凝的灌注桩身缩小乃至断裂，桩上涌，地面隆起，从而降低桩的承载力，有时还会损坏邻近建筑物。一般来说，挤土桩的设置会使粘性土降低抗剪强度，而对无粘性土则可提高其抗剪强度。

（2）部分挤土桩。

设桩对桩周土稍有排挤作用（如开口钢管桩、薄壁开口的预应力钢筋混凝土桩等），对土的强度及变形性质影响不大。由原状土测得的土的物理力学性质指标，一般仍可用于估计桩基承载力和沉降。

（3）非挤土桩。

先成孔再成桩，由于成孔过程中将孔中土体清除掉（如钻孔灌注桩），故设桩时没有产生挤土作用。而桩周土可能向桩孔内位移，因此，非挤土桩的承载力常有所减小。在不同的地

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

质条件下，按不同方法设置的桩所表现的不同性状是复杂的，目前的设计工作还只能大致考虑桩的设置效应。

1.1.2.2 桩型选择

桩基方案确定后，再进一步结合工程所处的特定环境和施工条件，选择适当的桩型。桩型选择的主要因素有以下几个方面：

1. 建筑场地的位置

在人口密集的繁华闹市区，不能选用打入桩，因为打桩可能引起噪音、振动以及地面隆起等危害。采用钻孔灌注桩则可以基本消除上述污染和公害，要强调的是采用泥浆护壁时，需要考虑场地泥浆池的位置和排渣等问题。施工场地大小和空间净空条件，对选择桩型是有所限制的。在交通不便的边远山区，采用过于笨重的打桩设备，会给运输带来困难，而采用轻型的成桩设备则方便适用。制桩材料应尽量就地取材，避免长途运输。

2. 场地的地形和地质条件

场地的地形系指表面是平坦（倾斜10°以下）还是倾斜。场地凹凸不平，会影响打桩设备的运行和施工排水，增加劳动量的消耗。通常地质条件对选择桩型起决定性作用。如果地层中有大孤石或其他障碍物（如树根、上下水道、电缆、金属渣和碎砖瓦等），或埋藏有漂石、密实砂砾层或砂层，打入桩就很难穿越；在饱和软粘土中打桩，引起的超静孔隙水压力会对已打好的桩产生不利影响。

桩能否打穿硬土层，与地基的土质条件密切相关。砂层厚度在5m以上，且标贯击数 $n>50$ 时，桩一般是穿不过的；若厚度小于5m时，桩可能穿过。在 n 值相同的情况下，砂的颗粒级配越好，桩就越不易穿过。硬土层下面有一层较弱土层时，桩较容易穿越。对于 $n>30$ 的土层，钢筋混凝土桩也不易穿过。

在较松散的无粘性土中，如采用打入桩或打入式灌注桩，打桩使桩周土大量挤密，挤密效应会提高单桩承载力；但在较坚硬粘土中采用打入桩，则可能会造成土的大量隆起。此时不宜采用打入桩，而宜采用螺旋钻孔桩。

灌注桩对地层的适应性较广，尤其是钻（冲）灌注桩，几乎可以在所有地层条件下施工。如存在流动性地下水，则不宜采用泥浆护壁，而要考虑采用套管，如果地层含有强腐蚀性工业废水，此类桩型就不适合了。人工挖孔桩造价低，常被优先采用，但在地下水位偏高的软土地区或含有有毒气体地层中，就要综合考虑工程安全和人身安全问题。采用锤击、振动或静压沉管灌注桩，包括弗兰基桩、夯扩桩、平底大头桩等，此类桩因造价特别低，在施工环境条件允许的场地适宜选择。此类桩的质量主要依赖于施工操作水平。

3. 上部结构特征

对于高层、超高层建筑和重型构筑物，由于其荷载大，所需桩的承载力也很大，首选桩型应是大直径钻孔灌注桩，也可选择大截面预制桩。对于建筑平面复杂、层数相差悬殊的建（构）筑物，考虑其不均匀沉降，应尽量选择同一类型的桩。对于规模较小的单独建筑物或构筑物，如果采用大型设备施工的打入桩或灌注桩，设备的运输和安装费用较大，不如采用当地现有轻型成桩设备施工的桩型，既经济又省时。

4. 技术经济比较

有些工程，可能某一桩型是唯一合理的，也可能多种桩型都较合适，都能满足承载能力的需要。因此还要做技术经济分析，以便选择经济合理、安全适用的桩型。不同类型桩之间的经济比较，主要包括劳动工时消耗、原材料消耗、机器设备消耗和其他附加消耗，其中最

主要的是单桩承载力和施工工效。

1.2 桩基勘察

与一般建筑物相比，高层建筑由于荷载大，地基内的附加应力影响深、范围大，不仅要求地基有较高的承载力，而且还需考虑建筑物可能的过大沉降、差异沉降及整体倾斜；由于建筑物高，对水平荷载、特别是地震荷载引起的地基稳定性问题必须考虑；同时还需考虑深基坑开挖可能引起的坑壁稳定、地基回弹、基坑降水及深基础施工对相邻建筑的影响等问题。因此，对桩基础的勘察要求更加严格。勘察任务包括下列内容：

(1) 查明桩基的岩土埋藏条件及其物理力学性质，特别是可供选择的持力层及下卧层的埋藏深度、厚度、变化规律，并预估桩的承载力；

(2) 拟用基岩作为端承桩的持力层时，应查明基岩岩性、风化程度及基岩面的深度、起伏；

(3) 查明有关的水文地质条件，判别水对桩材的腐蚀性；

(4) 查明桩基施工条件及其对环境的影响。

1.2.1 勘察

1.2.1.1 *勘探点的布置要求*

勘探点的布置要求如下：

(1) 对于端承型桩，勘探点按柱列线布置，其间距以能控制桩端持力层层面和厚度变化为原则，一般为 12～20m；当相邻勘探点所揭露持力层层面坡度超过 10%时，需加密勘探点。

(2) 对于摩擦型桩，以及筏基或箱基下的群桩，勘探点的间距为 20～35m，但当土层层位和土性变化较大时应适当加密勘探点。

(3) 大直径桩（$d \geqslant 800$mm）或扩底桩，当地质条件变化较大时，宜每个桩（墩）位布置一个勘探点。

(4) 勘探点总数中应有 1/3～1/2 为控制性勘探点。

1.2.1.2 *勘探点的深度要求*

勘探点的深度有如下要求：

(1) 对于端承型桩，控制性勘探点深度应达到预计桩尖平面以下 3～5m，或 6～10 倍桩身宽度或直径（大直径桩取小值，小直径桩取大值）；一般性勘探点应深入预计持力层内 0.5～1.0m。持力层为基岩时，控制性勘探点宜深入中风化带 1 倍桩径的深度，如遇破碎带应予钻穿，进入较完整岩体 3～5m；大直径桩的勘探孔应达到桩端以下 3 倍桩径的深度。

(2) 对于摩擦型桩，控制性勘探点深度应超过预计桩长 3～5m，一般性勘探点应超过预计桩长 1～2m。当需要计算群桩的变形时，将群桩视为实体基础，控制性勘探点深度应超过从桩尖平面算起的压缩层深度，一般为桩尖平面以下 1～1.5 倍基础宽度。当在此深度内遇不可压缩的坚硬地层时，可终止勘探。

1.2.2 取样和试验工作

1.2.2.1 取样

取样数量见表 1－1。

表 1-1 各土层取样与原位测试数量

类　别	持力层内土层	主要受力层内土层	主要受力层以下土层
取不挠动土样（件）	12～18	8～12	6～10
原位测试（次）	8～12	6～10	4～7

1.2.2.2 原位测试

根据地区经验和岩土条件选择合适的原位测试手段，测试次数同表 1-1。

对于一级（高层）建筑，其单桩承载力与变形特性宜采用现场荷载试验，试桩数量不宜少于 3 根；当水平荷载较大时，尚应进行桩的水平推力荷载试验，其数量不宜少于 2 根。当基础受上拔力时，可进行桩的抗拔试验。

为检验灌注桩的成桩质量，可采用动力测试法或钻孔取心法。采用动测法时，检测桩数不宜少于桩总数的 10%～15%。

1.2.2.3 室内试验

室内试验应满足下列要求：

(1) 为估算桩的极限摩阻力、端阻力，验算下卧层强度时，应作三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验。三轴剪切试验的受力条件需模拟工程实际情况。

(2) 当需进行桩基变形验算时，对桩尖平面以下压缩层土层进行固结试验，其固结压力应大于土层实际受力情况，试验条件模拟桩实际工作情况。

(3) 当桩尖持力层为基岩时，宜进行岩样的饱和单轴极限抗压强度试验，软质岩石需进行软化试验。

1.3 我国桩基工程发展现状

改革开放后国家的经济建设突飞猛进，桩基工程也得到了迅猛发展。广大工程技术人员在引进国外先进技术的同时，结合各地地质条件和工程要求，综合应用多种技术手段，取得了举世瞩目的成就。

20 世纪 80 年代中期，大直径钻、冲孔灌注桩仅有少数单位能够施工，如今已被我国工程界普遍掌握，成为高层超高层建筑、铁路公路大桥、港口、地铁等结构物的最常用基础形式。此类桩的数量已达近百万根，可谓世界第一。直径最大的已达 4m，一般为 2～3m。其深度最大的已逾 100m（厦门昌林大厦、黄河北镇大桥等），在软土地区通常为 50～80m。在等径桩的基础上，开发了竹节桩、分枝桩等异径桩，为充分发挥大直径桩的侧摩阻力作了有益的探讨。

在钻、冲孔灌注桩成桩后实施压力灌浆，是 20 世纪 90 年代兴起的在基础工程中综合应用多种工程技术的典型代表。该技术取得了消除桩底沉渣隐患，改善桩端和桩周土性质，提高承载力和减少沉降量的综合效果，已在十余省市推广应用，所采用的工艺和管路颇具中国特色。利用压浆概念还开发了钻孔压浆无砂混凝土桩，它不须泥浆护壁，不产生断径、缩径，不致残留沉渣，已在各地数百项工程中应用。

钢筋混凝土预制桩是我国东部和东南沿海地区多年沿用的桩型，如今在桩体结构性能、几何尺寸、施工技术和配套机械等方面都得到长足发展，建成的重大项目有上海交通大学包兆龙图书馆、福州国际大厦、天津贸易中心、深圳爱华大厦等等。其中，屹立在上海黄浦江畔

的亚洲第一电视塔“东方明珠”高达 468m，采用的预制桩尺寸为 500mm×500mm×35m，送桩达 12.5m。

为减少打桩引起挤土、振动等危害，近年来预制桩大多实施预钻孔打入法，也有采用预制平底开口空心桩的，为了提高其贯入硬土、砾石和页岩的能力，常采用 H 形钢桩焊接于桩底。为减少施工噪音，常以静压代替锤击或振动。通过上述措施扩大了预制桩的应用范围。

预应力混凝土管桩早年始用于桥梁和码头等水工建筑，近年又大量推向工业与民用建筑，全国有数十家管桩生产厂家，年产量达六七百万米。此类桩所支承的建筑高达 40 层。施工长度最长已达 65m，代替钢管桩可降低造价约 50%。与此同时，国内也生产出了具有国际先进水平的检测仪器仪表。

另外，在施工环境等条件容许的场地，还采用锤击、振动或静压沉管灌注桩，包括弗兰基桩、夯扩桩、平底大头桩等。

原来挖孔桩是从旱地施工的墩台基础发展起来的，用于大桥的边滩、引桥，对城市跨线桥、立交桥最为有利，城市桥用挖孔桩除了可以节省钻机机具外，还可以避免钻机的噪音污染和泥浆对街道环境的污染。现在已逐渐发展到水中也采用挖孔桩；直径也由 1.0m（小于 1.0m 人工不易操作）至 1.5m 发展到 4～6m；深度由小于 10m 发展到大于 20m；并由小直径的挖孔实心桩发展到大直径的挖孔空心桩，挖孔桩还用来处理一些钻孔桩施工过程中出现的事故。

2 桩土相互作用

2.1 单桩轴向荷载的传递

本节以轴向受压的竖直单桩为例，讨论施加于桩顶的荷载是如何通过桩土之间的相互作用传递给地基的。

2.1.1 荷载传递机理

在桩顶轴向荷载作用下，桩身横截面上产生了轴向力和竖向位移，桩身上部先受到压缩而产生相对于土的向下位移，由于桩身与桩周土的相互作用，桩侧表面便受到土的向上摩阻力。桩顶荷载通过桩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，桩侧摩阻力尚未发挥作用。随着桩顶荷载的增加，桩身压缩量和位移量增大，桩身下部的摩阻力随之调动起来，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，从而使桩身侧摩阻力进一步发挥出来。当桩身侧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。

2.1.2 桩身轴力与桩横截面位移

端承桩通过桩端传递荷载，桩身轴力沿深度不变，其数值就等于桩顶荷载。由于桩尖进入微风化岩层或坚硬土层中，持力层的压缩性很低，桩的沉降量很小，故桩截面位移主要来自桩身的弹性压缩。而非端承桩通过桩身侧面将部分或全部荷载传递到桩周土层，如图 2.1，计算时既要考虑桩身侧面与土之间的摩阻力，又要考虑桩端下土的支承作用，桩的截面位移由桩身弹性压缩和桩端土的压缩共同决定。桩身轴力一般随深度的增加而减小，因为桩侧土产生向上的摩阻力 q_z。q_z 是截面位移的函数。桩土之间的极限摩阻力 q_u 可用类似于土的抗剪强度的库仑公式表达：

$$q_u = \sigma_z \cdot \tan\varphi_a + C_a \tag{2-1}$$

式中：σ_z 为垂直于桩侧面的法向应力（土应力），kPa；

C_a、φ_a 为桩身侧面与土之间的附着力（kPa）和摩擦角（°）。

式（2-1）表示极限摩阻力 q_u 由 $\sigma_z \cdot \tan\varphi_a$ 和附着力 C_a 两部分组成。

由于桩的设置效应，挤土桩的桩侧土压力 σ_z 大于部分挤土桩和非挤土桩；表面粗糙的灌注桩的 φ_a 大于表面光滑的预制桩。桩土之间的摩阻力极限 q_u 如果大于土中的抗剪强度 τ_f，则剪切破坏（滑移）将产生于桩周土体之内，即桩周摩阻力由土的抗剪强度控制。用泥浆护壁的钻孔桩往往在桩侧混凝土表面附着一层 2～3mm 的致密粘土，故剪切破坏产生在土中，而

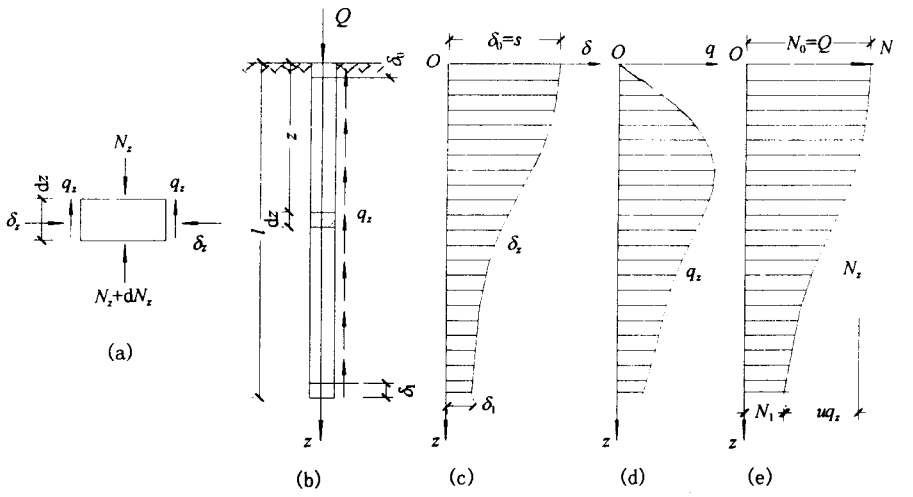

图 2.1 单桩轴向荷载的传递

(a) 桩体元素的受力情况；(b) 轴向受力的单桩；(c) 截面位移曲线；(d) 摩阻力分布曲线；(e) 轴力分布曲线

不产生在桩侧面上。

以桩顶（也是地面）作为坐标原点，离桩顶深度为 z 处的桩身轴力为：

$$N_z = Q - \int_0^z u \cdot q_z \mathrm{d}z \tag{2-2}$$

式中：u 为桩的横截面周长。

N_z 对 z 的一阶导数为：

$$\frac{\mathrm{d}N_z}{\mathrm{d}z} = -u \cdot q_z$$

或

$$q_z = -\frac{1}{u} \cdot \frac{\mathrm{d}N_z}{\mathrm{d}z} \tag{2-3}$$

负号表示 N_z 随深度 z 的增加而减小。式（2-3）也可从深度为 z、长度为 $\mathrm{d}z$ 的一小段桩体的平衡条件得到。式（2-3）表示摩阻力与轴力的关系。如果试验时测出若干截面的应力（从而得到轴力 N_z），则摩阻力的大小和分布可按该式确定。

把桩视作线性变形体，其横截面面积为 A，弹性模量为 E_P，则桩顶沉降 s 为：

$$s = \delta_1 + \frac{1}{AE_P}\int_0^l N_z \mathrm{d}z \tag{2-4}$$

桩身任意截面的位移 s_z 为：

$$s_z = \delta_1 + \frac{1}{AE_P}\int_z^l N_z \mathrm{d}z \tag{2-5}$$

式中：δ_1 为桩端位移，即桩的刚体位移。

为了简化起见，假设桩底以下为文克尔地基，则桩端持力层的地基反力 P（kPa）与桩端位移 δ_1（m）成正比例，即：

$$P = k_s \cdot \delta_1 \text{ 或 } N_1 = k_s \cdot A_1 \delta_1 \tag{2-6}$$

式中：k_s 为桩端持力层的基床系数，$\mathrm{kN/m^3}$；

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com