

从实践到理论的基桩工程技术全方位解读

Jianzhu Jizhuang Tonglun 建筑基桩通论

Gu Sunping
顾孙平 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

建筑基桩通论

顾孙平 著

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑桩基通论 / 顾孙平著. — 上海: 同济大学出版社, 2015.12
ISBN 978-7-5608-6117-3

I. ①建… II. ①顾… III. ①桩基础 IV.
① TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 313948 号

建筑桩基通论

顾孙平 著

出品人: 支文军
责任编辑: 张 翠
责任校对: 徐春莲
装帧设计: 每日一文

出版发行: 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

地 址: 上海市四平路 1239 号

邮 编: 200092

电 话: 021-65985622

经 销: 全国新华书店

印 刷: 大丰科星印刷有限责任公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 36

字 数: 720 000

版 次: 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5608-6117-3

定 价: 78.00 元

有建筑就有基础，有基础就需要地基处理。

无论建筑物还是构筑物都可以分为基础、上部建筑两大部分。基础又分为天然地基基础、人工地基基础。基桩是人工地基基础中的主要基础形式。建筑物上部结构的荷载或作用就是通过基桩将承载力传给地面的。如果基桩不牢，轻者建筑物发生沉降、倾斜、开裂，出现墙面剥落、渗水和管道断裂等问题；重则会导致建筑物突然下沉、位移和倒塌等严重后果。

我国早在宋代的《营造法式》中就记录了包括基桩在内的多种地基处理方式。地面的浅表层通常包含淤泥、黏土、砂土、砾砂、风化岩和岩石等不同成分。建筑设计师针对不同的地表情况、使用需求，结合施工工艺设计使用不同的基桩；工程师则选择不同的成桩设备和成桩工艺。成桩时，若选用的成桩设备与使用的基桩不协调，要么桩达不到设计要求，要么桩存在各种质量问题。就像钉钉子一样，木匠会根据木头的种类、使用需要选择不同的钉子、工具（锤子）和钉钉子的方法；有的木头较硬，可以在钉钉子之前，先在木头上钻孔，再钉钉子。成桩也有类似的工艺。基桩就是将各种建筑材料在各种外力或各种工艺条件下形成各种构件，支撑地下或地表的各种建筑物等物体，防止其出现大的沉降或不均匀沉降，达到安全使用、方便使用的目的。

基桩工程发展至今，已经出现了多种材料或多种材料组合的工程桩，以满足各种不同的使用需求，达到了科学、合理的新高度。但是，在一个大型工程中如何选用既满足工程的使用需要，又经济合理、施工方便、对周围环境的影响最小的基桩，一直是各勘察、设计、

建设、施工单位共同努力、不断追求的目标。

随着我国国家实力的增强、建设标准的提高，在软土地基上建设的单层或多层建筑物，均采用了相应的基桩作为基础，由此国家每年至少增加几十亿甚至上百亿元的基本建设费用。基桩在建筑工程中的重要性可想而知。

本书试图通过对基桩、基桩工程的阐述，为工程类专业人士提供相应的基础知识与实践指导。如书中提出了 12 种基桩分类方法；将地下连续墙划入现浇板桩的范畴；PHC 预制管桩使用的局限性，谨慎用于支承桩；预制桩挤土效应的简易计算，并提出多种组合桩的设想。还收录了作者申请的专利技术：预制桩后注浆工艺技术，一种预埋钢板与锚筋的连接构造，以期解决群桩挤土对预制桩承载力的影响及桩顶与承台的简易锚固方法。同时，本书也希望能够为非工程类读者提供一个了解基桩的窗口。

书中应用规范尽可能使用最新的规范、标准。但由于编写时间跨度较大，开始编写时，应用的规范可能已经过时，现已由新规范所替代。读者在查找资料时请尽可能查找最新的有效规范参考。在案例中，由于要反映当时的情况，该部分应用的还是当时的规范。在此表示十分的歉意。

顾孙平
2015 年冬

自序	XI
1 概述	002
1.1 基桩简史	002
1.1.1 预制桩简史	002
1.1.2 灌注桩简史	005
1.2 基本名词解释	007
2 桩的分类与基本适用条件	024
2.1 按材料分	024
2.1.1 混凝土桩	024
2.1.2 钢桩	030
2.1.3 木桩	034
2.1.4 水泥土桩	034
2.1.5 注浆微型桩	034
2.1.6 石桩	035
2.1.7 砂、碎石桩	035
2.1.8 CFG 桩	035
2.1.9 灰土桩	035
2.1.10 塑料套管混凝土桩 (TC 桩)	036
2.1.11 布袋注浆桩	036
2.1.12 其他 (合成) 材料桩	036

2.2 按形状分	037
2.2.1 圆形桩	037
2.2.2 方桩	037
2.2.3 矩形桩	037
2.2.4 板桩	037
2.2.5 楔形桩	037
2.2.6 地下连续墙	038
2.2.7 大头桩	038
2.2.8 扩孔桩	038
2.2.9 树根桩	039
2.2.10 竹节桩	039
2.3 按用途分	040
2.3.1 承压桩	040
2.3.2 抗拔桩	040
2.3.3 抗拉、压桩	040
2.3.4 挡土桩	040
2.3.5 止水桩	041
2.3.6 锚定桩	041
2.3.7 支架桩	041
2.3.8 抗水平力桩（斜桩）	041
2.3.9 挤密桩	041
2.3.10 排水桩	041
2.3.11 增强桩	042
2.3.12 应力释放桩	042
2.3.13 隔离桩	042
2.3.14 纠偏桩	042
2.4 按成型工艺分	042
2.4.1 预制成型桩	042
2.4.2 现场成型桩	044

2.5 按成桩工艺分	047
2.5.1 非挤土桩	047
2.5.2 部分挤土桩	047
2.5.3 挤土桩	049
2.6 按沉桩工艺分	050
2.6.1 静压沉桩	050
2.6.2 打入沉桩	050
2.6.3 振动沉桩	051
2.6.4 植入沉桩	052
2.6.5 水冲沉桩	052
2.7 按承载性状分	052
2.7.1 垂直承载型	052
2.7.2 水平承载型	052
2.8 按受力状况分	053
2.8.1 受压桩	053
2.8.2 抗拔桩(受拉桩)	053
2.8.3 抗弯桩	053
2.8.4 抗水平力桩	054
2.8.5 抗剪桩	054
2.9 按桩径大小分	054
2.10 按桩长度分	055
2.11 按接桩工艺分	055
2.11.1 无接头桩	055
2.11.2 有接头桩	055
2.12 按长径比分	057
3 基桩工程地质勘察	062
3.1 概述	062
3.2 岩土工程勘察分级	062

3.3 各阶段勘察的基本要求	064
3.3.1 可行性研究阶段的勘察要求	064
3.3.2 初步设计阶段的勘察要求	064
3.3.3 施工图设计阶段的勘察要求	065
3.3.4 《建筑桩基技术规范》对岩土工程勘察的特殊要求	068
3.3.5 桩基施工对岩土工程勘察的特殊要求	069
3.4 岩土分类	069
4 桩基工程设计	074
4.1 桩基工程设计应收集的资料	074
4.2 荷载选用的有关规定	075
4.2.1 概述	075
4.2.2 一般规定	076
4.2.3 荷载组合	076
4.3 桩基设计的一般规定	078
4.3.1 桩基设计的一般步骤	078
4.3.2 桩基设计的一般规定	079
4.3.3 单桩竖向承载力特征值	083
4.3.4 抗震地区对桩基的基本要求	131
4.4 桩的选型与布置基本要点	131
4.5 桩基构造的一般规定	133
4.5.1 混凝土预制桩	133
4.5.2 灌注桩	134
4.5.3 预应力混凝土空心桩	136
4.5.4 钢桩	136
4.5.5 地下连续墙	137
4.5.6 其他类型的桩基	138
4.6 特殊条件的桩基设计规定	139
4.7 桩基耐久性的相关规定	145

4.8 基桩设计的选型建议	147
4.8.1 桩型初步设计	147
4.8.2 桩位布置设计	149
4.8.3 桩长设计	151
4.8.4 施工工艺设计	152
5 预制基桩的制作	158
5.1 木桩的制作	158
5.2 混凝土桩的制作	158
5.2.1 先张法预应力混凝土管桩的制作	159
5.2.2 非预应力钢筋混凝土方桩的制作	174
5.2.3 水运工程中预制混凝土桩的质量要求	176
5.2.4 预制钢筋混凝土板桩	180
5.2.5 预制钢筋混凝土大头桩	182
5.3 钢桩的制作	182
5.3.1 钢管桩制作工艺	182
5.3.2 钢板桩制作工艺	188
5.3.3 H 型钢桩制作工艺	189
5.4 基桩耐久性防腐要求	190
5.4.1 木桩	190
5.4.2 混凝土桩	190
5.4.3 钢桩	191
5.5 国内外制桩技术发展趋势	194
6 基桩施工组织设计	198
6.1 基桩施工组织设计	198
6.1.1 基桩施工工艺的分类	198
6.1.2 基桩施工组织设计	198
6.2 预制桩的沉桩工艺与施工方案	240

6.2.1 静力压桩沉桩工艺	240
6.2.2 锤击沉桩工艺	241
6.2.3 震动沉桩工艺	241
6.2.4 埋入式沉桩工艺	242
6.2.5 水冲沉桩工艺	243
6.2.6 预制现浇沉桩工艺	244
6.3 预制桩沉桩施工方案	244
6.3.1 打入桩沉桩施工方案	244
6.3.2 静压沉桩施工方案	254
6.3.3 振动沉(拔)桩施工方案	256
6.3.4 埋入式沉桩施工方案	259
6.3.5 水冲沉桩施工方案	260
6.3.6 锚杆静压沉桩施工方案	262
6.3.7 水上沉桩施工方案	266
6.4 就地灌注桩成桩工艺与施工组织设计	272
6.4.1 灌注桩成桩工艺	272
6.4.2 冲孔灌注桩成桩工艺	287
6.4.3 挖孔灌注桩	293
6.4.4 沉管式灌注桩	300
6.4.5 套管式灌注桩	303
6.4.6 灌注桩后压浆	307
附录	318
一、澳门国际机场联络桥桩基工程施工组织设计	318
二、澳门国际机场联络桥基桩工程施工总结	351
三、南浦大桥浦东主墩基桩施工小结	370
7 基桩质量要求及其检测	384
7.1 基桩质量检测概述	384
7.2 原材料检测	387
7.3 制桩质量要求及检测	389

7.3.1 混凝土预制桩的制桩质量要求	389
7.3.2 高强混凝土预应力桩的产品质量检测	397
7.3.3 预制钢筋混凝土板桩	400
7.3.4 钢板桩	400
7.3.5 钢桩	401
7.4 成桩过程质量要求	405
7.4.1 预制桩沉桩质量要求	405
7.4.2 现场灌注桩成桩质量要求	415
7.5 成品桩质量检测	426
7.6 桩基础监测	441
8 基桩工程监理	444
8.1 预制桩工程的监理	444
8.1.1 监理准备工作	444
8.1.2 基桩制作监理	446
8.1.3 陆上预制桩沉桩监理	453
8.1.4 板桩质量监理要点	464
8.1.5 预制桩试桩工程的监理要点	465
8.1.6 预制桩陆上基桩工程进度控制监理要点	467
8.1.7 预制桩陆上基桩工程验收	469
8.2 灌注桩工程监理	473
8.2.1 试桩工程监理	473
8.2.2 灌注桩工程施工监理细则	482
附录	488
一、关于“××大厦项目试桩工程调整进度计划”的批复意见	488
二、关于“××大厦基础桩试验计划大纲”的审批意见	489
三、××大厦试桩工程监理小结	490
四、××大厦桩基工程施工图监理审图意见	493
8.3 基桩工程造价管理	494

9 基桩工程质量通病与防治要点	502
9.1 预制桩常见质量通病与防治	502
9.1.1 高强混凝土预应力桩图集中几个问题的探讨	502
9.1.2 陆上预制桩施工常见质量通病与防治	506
9.1.3 高桩码头工程预制桩常见质量通病与防治	516
附录	521
关于预制桩群桩挤土效应的简易计算	521
9.2 就地灌注桩常见质量通病与防治	533
9.2.1 钻孔灌注桩质量通病与防治	533
9.2.2 夯扩桩的质量通病及其防治	542
10 基桩工程展望	548
10.1 对基桩工程的新要求	548
10.2 基桩设计的新思路	548
10.3 新型基桩不断涌现	548
10.4 基桩施工设备的不断改进	550
10.5 检测技术更科学, 准确率高, 速度快	552
10.6 新标准、新规范不断推出	552
计量单位对照表	554
符号一览表	555
后记	562

1 概述

1.1 基桩简史

1.1.1 预制桩简史

最早出现的是木桩、竹桩。这是自然界赋予人类天然的桩材。早在距今 7 000 - 8 000 年前的新石器时代,人类在湖泊和沼泽里,就用木桩搭台作为水上的支撑依据。我国早在汉代已用木桩修桥。

基桩不仅用于建筑和修桥等工程,而且较早地用于武术练功中。相传在西周以前,约公元前一千多年,有一位祖师化名“云盘”,住在“西域天盘云程孝县清静宫玄金殿”,即现在的昆仑山一带。他创造了两种拳,一为“八卦”,一为“梅花”。其中的梅花拳,就有“梅花桩”的别称,武者站在木桩上练功。这也是桩最贴近生活的一个生动案例。

到我国宋代,基桩技术已经比较成熟。今上海市的龙华塔和山西太原的晋祠圣母殿,都是北宋(960 - 1127)年间修建的基桩建筑。

宋代李诫等人编纂的我国古代建筑巨著《营造法式》中也有关于桩的建筑记载:“临水筑基。”

英国也保存了一些罗马时代修建的木桩基础的桥和民居建筑。

20 世纪初,上海一些高层建筑和码头、桥梁等采用木桩作为基桩。如国际饭店、外白渡桥、原上海港二区码头、原江南造船厂老 3# 船坞(后为新 3# 船坞)、原上钢三厂材料码头等建筑均为木桩基础。

19 世纪 20 年代,铸铁板桩开始用于修筑围堰和码头。到 20 世纪初,美国出现了各种形式的型钢,尤其 H 型钢受到营造商的重视。美国密西西比河地区的建筑大量采用钢桩基础。

1915 年,澳大利亚人休姆(W. R. Hume)发明了离心法成型混凝土构件。1934 年,日本开始制造离心钢筋混凝土管桩;1956 年,研制成功凹螺纹低松弛钢筋;1962 年,服部健一首先将蔡磺酸甲醛缩合物用于混凝土分散剂;1964 年,日本花王石碱公司将其作为产品销售。同时期,联邦德国于 1963 年研制成功三聚氰胺磺酸盐甲醛缩合物,同时出现了多环芳烃磺酸盐甲醛缩合的减水剂。1964 年,日本对凹螺纹低松弛钢筋进行全面研究,并与预应力高强混凝土管桩进行了完美的结合;1966 年,日本开始生产预应力混凝土管桩;1968 年,日本颁布了世界上第一部官方管桩标准《先张法离心预应力混凝土管桩》(JISA 5335、JISA 5336)。这种凹螺纹低松弛钢筋一直沿用至今。1970 年,日本开发了离心预应力高强混凝土管桩(PHC 桩);1972 年,开发出掺掺合料的管桩;1982 年,制定了新的管桩标

准 (JISA 5337), 开发了钢管混凝土复合桩——SC 桩; 1983 年, 发明了密集型螺旋筋桩 PRC 桩, 比 PHC 桩具有更高的屈服强度、比 SC 桩更经济; 1993 年, 日本重新修订了国家标准 (JISA 5337-93)。目前, 日本混凝土管桩有 PHC 管桩 (免压蒸已达 C120 的超高强度)、RC 钢筋混凝土管桩、PC 混凝土管桩、SC 钢管混凝土管桩、PRC 混凝土管桩、AG 竹节管桩、AHS-ST 大根柱管桩、H 型钢混凝土桩等。

1949 年, 美国雷蒙特混凝土桩公司最早用离心法生产出第一根中空钢筋混凝土管桩, 被简称为雷蒙特桩。美国混凝土学会 (ACI) 1961 年成立了第 543 专业委员会, 1973 年提出了混凝土桩的设计、制造和安装规程。美国主要生产后张法预应力混凝土方桩和外方内圆的空心桩。

德国 Zublin 公司生产 $\phi 750\text{mm} \times 50\text{m}$ 、 $\phi 850\text{mm} \times 42\text{m}$ 的管桩, 还生产 $\phi 1\,000 \sim 1\,300\text{mm} \times 20\text{m}$ 锥形管桩。Centricon 公司生产的管桩可达 $\phi 1\,200\text{mm}$, 长 36m。意大利生产的管桩在港口码头上得到广泛应用, 其最大桩径为 $\phi 1\,800\text{mm}$, 最大桩长达 36m。到 20 世纪 30 年代, 欧洲大量采用钢桩。

我国直至 20 世纪 60 年代, 由于钢材一直是紧缺物资, 都很少使用钢桩。70 年代, 上海宝山钢铁厂建设中, 大量使用了钢管桩, 主要用于主厂房和主原料码头等工程中。

我国铁路系统于 20 世纪 50 年代末开始生产预应力钢筋混凝土桩。60 年代交通部水运系统开始生产先张法预应力空心方桩, 这种空心方桩空心部分不达桩顶和桩尖, 采用胶囊充气作为空心的模板, 施工控制要求较高, 尤其是胶囊的定位, 一旦偏心, 造成桩壁厚度不均, 沉桩时易产生断桩等质量事故。目前, 基本上不再生产, 已由 PHC 管桩替代。

20 世纪 60 年代末, 铁道部丰台桥梁厂开始生产先张法预应力钢筋混凝土管桩 (简称 PC 管桩)。当时主要用于铁路桥梁的基础建设。70 年代开始研制生产后张法预应力混凝土管桩。1985 年上海虹桥宾馆首先使用预应力钢筋混凝土空心方桩 (C60) 于陆上高层建筑的基桩, 开创了预应力空心方桩在陆上使用的先河。这是在预制工厂使用张拉台座、普通模板、空心胶囊作为内膜的预应力空心方桩, 桩端和桩尖均无实心段。

1987 年, 交通部第三航务工程局从日本全套引进预应力高强混凝土管桩 (简称 PHC 管桩) 生产线。1992 年, 为适应生产和出口的需要, 交通部第三航务工程局修编了国内第一个《先张法预应力离心高强混凝土管桩》企业标准 (JQ/SH-00-KJ-1-001-92); 1994 年 12 月进行了修订 (JQ/SH-00-KJ-1-001-95), 1995 年 1 月 1 日起执行新标准, 简称 95 企业标准。

95 企业标准共有十条、五个附录, 包括: 主题内容与使用范围、引用标准、代号、分类、性能、技术要求、试验内容及方法、检验规则、产品储存、产品出厂; 附录 A 离心混凝土抗压强度试验方法、附录 B 管桩抗弯性能试验方法、附录 C 管节和整桩质量评定标准、

附录 D 管节拼接和焊接质量评定标准、附录 E 表面缺陷修补方法。产品的外径仅为 400mm、500mm、600mm、800mm、1 000mm 五种规格,共有 16 种型号。当时只有国产Ⅳ级钢或进口高强低松弛钢筋,还没有国产的高强低松弛钢筋及相应的国家标准。参照日本的 JISG 3109 标准执行。

20 世纪 80 年代后期,宁波浙东水泥制品有限公司与有关科研院所合作,针对我国沿海地区淤泥软弱地质的特点,通过对 PC 管桩的改造,开发了先张法预应力混凝土薄壁管桩(简称 PTC 管桩)。

1989 年上海市第二座黄浦江大桥——南浦大桥采用 $\phi 914$ 钢管混凝土桩。

1992 年交通部第三航务工程局第二工程公司于上海外高桥码头一期工程进行水上试桩,首先在国内进行了 $\phi 800$ 高强预应力钢筋混凝土管桩(PHC)长桩(68m)水上试桩。

1993 年在澳门国际机场联络桥工程中大量使用 $\phi 800$ PHC 管桩,累计长度约 12 万 m。

目前我国是世界上管桩产量最高的国家。从中国混凝土与水泥制品协会——预制混凝土桩分会、中国硅酸盐学会钢筋混凝土制品专业委员会年会传出的信息,统计至 2011 年我国有管桩生产企业 500 多家,年产量约 35 000 万 m,2012 年约 26 292 万 m,2013 年约 28 843.8 万 m。主要的产品有 PHC 桩、PC 桩、PHS 桩等,部分企业已经开发出 PHC(免压蒸)桩;桩的主要规格有 $\phi 300\text{mm}\times 7\sim 11\text{m}$ 、 $\phi 400\text{mm}\times 7\sim 13\text{m}$ 、 $\phi 500\text{mm}\times 7\sim 15\text{m}$ 、 $\phi 600\text{mm}\times 7\sim 15\text{m}$ 、 $\phi 700\text{mm}\times 7\sim 20\text{m}$ 、 $\phi 800\text{mm}\times 7\sim 30\text{m}$ 、 $\phi 1\,000\text{mm}\times 7\sim 50\text{m}$ 、 $\phi 1\,200\text{mm}\times 15\sim 50\text{m}$ 、 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times (\leq)13\text{m}$ 、 $350\text{mm}\times 350\text{mm}\times (\leq)14\text{m}$ 、 $400\text{mm}\times 400\text{mm}\times (\leq)15\text{m}$ 、 $450\text{mm}\times 450\text{mm}\times (\leq)15\text{m}$ 、 $500\text{mm}\times 500\text{mm}\times (\leq)15\text{m}$ 等。从制作的长度看,已经突破了规范的约束。国产最长的单节管桩长度已经达到 55m。

国家标准设计图集已经出现了 $\phi 1\,400\text{mm}$ 直径的管桩,而其中采用的 $\phi 14\text{mm}$ 低松弛预应力钢棒国内还没有生产,如果进口外国的产品,生产管桩的成本将大大增加,失去了管桩成本较低的优势,阻碍了管桩生产的发展。

上海是典型的冲击平原,典型的软土地基,而在上海又有众多的大型、特大型建筑工程,如黄浦江上的特大型桥梁,分布于全市各地的高层、超高层建筑。尤其陆家嘴,400m 以上的建(构)筑物就有多栋。这些建(构)筑物就是依靠深埋的基桩才能巍然耸立于大地之上,入云端微微律动而稳如泰山。

超高层建筑的基桩根据地质条件和使用要求的不同,有的设计为钢管桩,也有的设计为混凝土灌注桩、也有钢筋混凝土预制桩等。这样高强度的基桩可以设计出来,桩的施工机械也必须跟上,否则无法满足设计要求。因此,预制桩施工的关键设备桩锤不断地趋于大型化。以筒式柴油锤为例,以锤的上活塞(冲击块)重量的大小表示锤的大小,较早