

土木建筑工程继续教育丛书

桩基础设计与计算

刘金砺 编著



中国建筑工业出版社

土木建筑工程继续教育丛书

桩基础设计与计算

刘金砺 编著

中国建筑工业出版社

本书围绕桩基础的设计与计算，介绍了桩基的工作机理、承载力和变形特性、设计原则和计算方法，吸收了国内外有关的最新成果，理论分析与实际应用兼顾，侧重于实用。主要内容包
括：桩的类型与选型；单桩竖向承载力的静力计算法、原位测试法、经验确定法；群桩承台、桩、土相互作用特性；群桩的竖向承载力；软下卧层的强度验算；单、群桩的沉降计算；横向荷载下单、群桩的承载力与变位；桩基的负摩阻力，时间效应和桩的压曲；桩基结构设计的有关问题等。

本书可供从事土木建筑的设计、施工、科研和教学人员参考。

土木建筑工程继续教育丛书

桩 基 设 计 与 计 算

刘金砺 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本，850×1168毫米 1/32 印张，9⁷/₈。字数：264千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数：1—6,490册 定价：5.05元

ISBN7—112—01067—5/TU·773

(6141)

出 版 说 明

社会的进步、经济的振兴和科技的发展，都依赖于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。为此，必须努力通过各种途径，加强对劳动者和科技工作者的职业教育和在职继续教育。

为满足土木建筑界科技工作者补充新知识的需要，在中国建筑学会及中国土木工程学会的倡导和参与下，我社拟编辑一套《土木建筑工程继续教育丛书》，由两个学会各专业委员会协助，按专题约请有关专家执笔，陆续出版。

本丛书以在职的具有大专文化程度的中青年科技工作者为主要对象，可作为进修自学材料，也可供短期培训之用。

中国建筑工业出版社

目 录

第一章 桩的类型与选型	1
1.1 概述	1
1.2 桩的分类	3
1.2.1 按功能分类	3
1.2.2 按桩土相互作用特点分类	4
1.2.3 按桩材分类	5
1.2.4 按成桩方法分类	6
1.3 各类桩的特点与适用条件	7
1.3.1 预制桩的类型、特点与适用条件	7
1.3.2 灌注桩的类型、特点与适用条件	13
1.4 桩型与成桩工艺选择	28
第二章 竖向荷载下单桩的承载力与 沉降	31
2.1 单桩承载力	31
2.1.1 桩、土体系的荷载传递	31
2.1.2 单桩的破坏模式与极限承载力	34
2.1.3 单桩容许承载力与承载力的可靠度分析	36
2.2 桩端阻力和桩侧阻力的深度效应	43
2.2.1 桩端阻力的深度效应	43
2.2.2 关于砂层中端阻深度效应的机理分析	48
2.2.3 考虑深度效应极限端阻力的计算	49
2.2.4 桩侧阻力的深度效应	52
2.3 静力法计算单桩承载力	53
2.3.1 桩端阻力的计算	53
2.3.2 桩侧阻力的计算	57
2.4 土的原位测试法确定桩的承载力	61
2.4.1 静力触探 (CPT) 确定打入桩的承载力	61
2.4.2 标准贯入试验 (SPT) 确定桩的承载力	62

2.4.3 旁压试验 (PMT) 确定桩的承载力	64
2.5 经验方法确定单桩承载力	68
2.5.1 概述	68
2.5.2 波兰 PN-83/B-02482 桩和桩基承载力规范中的 方法	69
2.5.3 苏联建筑法规一桩基础 СНиП 2.02.03-85 中的方法	70
2.6 大直径灌注桩的承载力	79
2.6.1 概述	79
2.6.2 大直径桩的承载性状	79
2.6.3 大直径桩承载力的确定	80
2.7 嵌岩灌注桩的承载力	85
2.7.1 概述	85
2.7.2 嵌岩灌注桩的承载性状	86
2.7.3 嵌岩灌注桩承载力的确定	92
2.8 单桩的沉降计算	95
2.8.1 概述	95
2.8.2 弹性理论分析方法	96
2.8.3 荷载传递分析法	102
2.8.4 分层总和法	104
第三章 竖向荷载下的群桩	106
3.1 群桩的工作性状	106
3.1.1 概述	106
3.1.2 砂土中的摩擦型群桩	111
3.1.3 粘性土中的摩擦型群桩	113
3.1.4 粉土中的摩擦型群桩	116
3.2 群桩承台土反力和承台分担荷载的作用	126
3.2.1 概述	126
3.2.2 承台土反力的分布特征	128
3.2.3 承台分担荷载比随有关因素的变化	128
3.2.4 承台土反力的时间效应	132
3.2.5 承台内、外区土反力的变化特性	135
3.2.6 承台土反力及承台分担荷载的计算	137
3.3 群桩极限承载力计算	138

3.3.1	由单桩极限承载力计算群桩极限承载力	138
3.3.2	等代墩基法计算群桩极限承载力	140
3.3.3	考虑承台、桩、土相互作用计算群桩极限承载力	140
3.4	群桩的沉降计算	142
3.4.1	概述	142
3.4.2	按等代墩基计算群桩沉降	144
3.4.3	非粘性土中群桩沉降的经验估算	146
3.4.4	弹性理论法计算群桩沉降	148
3.4.5	群桩变形性状的试验研究	163
3.5	群桩软下卧层的强度验算	167
3.5.1	概述	167
3.5.2	高承台群桩软下卧层的验算	167
3.5.3	低承台群桩软下卧层的验算	170
第四章	横向荷载下桩基的承载力和变位	175
4.1	横向荷载下单桩的破坏性状	175
4.2	静载试验方法确定单桩的横向承载力和地基土水平反力 系数	176
4.2.1	概述	176
4.2.2	单向多循环横向荷载试验	177
4.2.3	慢速维持荷载法横向荷载试验	181
4.3	极限平衡法计算横向受荷刚性短桩	182
4.3.1	概述	182
4.3.2	粘性土中的短桩	183
4.3.3	砂土中的短桩	185
4.3.4	桩的位移	187
4.4	线弹性地基反力法计算横向受荷桩	189
4.4.1	概述	189
4.4.2	地基反力系数为常数的线弹性地基反力法—— 张氏法	191
4.4.3	地基反力系数随深度线性增长的线弹性地基反力 法——m法	196
4.4.4	地基反力系数随深度呈凸形和凹形抛物线变化的 线弹性地基反力法——c法和K法	203

4.4.5	几种线弹性地基反力法的应用问题	205
4.5	灌注桩横向承载力的特性	207
4.5.1	灌注桩在横向荷载下的破坏特性	207
4.5.2	灌注桩的容许横向承载力	207
4.5.3	灌注桩横向临界荷载(容许横向承载力)的计算	208
4.5.4	竖向荷载对灌注桩横向承载力的影响与计算	209
4.6	横向荷载作用下的群桩	211
4.6.1	群桩效应	211
4.6.2	群桩横向承载力的特性	213
4.6.3	根据单桩横向承载力计算群桩横向承载力	217
4.6.4	按线弹性地基反力法计算群桩的变位和内力	225
第五章	桩基工程中的几个特殊问题	248
5.1	桩基负摩阻力	248
5.1.1	负摩阻力的发生机理与发生条件	248
5.1.2	负摩阻力的若干特性	249
5.1.3	单桩负摩阻力的计算	251
5.1.4	群桩负摩阻力的计算	257
5.1.5	减小负摩阻力的措施	258
5.2	摩擦桩承载力的时间效应	259
5.2.1	饱和软土中挤土摩擦桩的时间效应	259
5.2.2	粘性土中非挤土灌注桩承载力的时间效应	266
5.2.3	饱和粘土中挤土群桩承载力的时效	267
5.3	桩的压屈	269
5.3.1	概述	269
5.3.2	桩身压屈失稳的验算	270
5.3.3	轴力与弯矩、水平力联合作用下, 弯矩、水平力 作用平面内桩身强度的验算	272
第六章	桩基的结构设计	274
6.1	桩的几何尺寸设计	274
6.1.1	桩径与桩长	274
6.1.2	桩的中心距	276
6.2	桩身构造与强度计算	278
6.2.1	灌注桩桩身构造的几个问题	278

6.2.2	预制钢筋混凝土桩构造的几个问题	279
6.2.3	预制桩的装运、堆放、吊运过程的强度验算	282
6.3	承台的构造与强度计算	285
6.3.1	承台构造的几个问题	285
6.3.2	承台板的计算	287
6.3.3	承台梁的计算	292
6.4	提高桩基横向承载力的构造措施	297
6.4.1	桩身的构造措施	297
6.4.2	桩基承台及地坪的构造措施	298
参考文献		300

第一章 桩的类型与选型

1.1 概述

承受竖向下压荷载的桩是通过桩侧摩阻力和桩端阻力将上部荷载传递到深部土（岩）层，因而桩的竖向承载力同桩所穿过的整个土层和桩底持力层的性质、桩的外形和尺寸密切相关。承受横向荷载的桩是通过桩身将荷载传给侧向土体，其横向承载力同桩侧土的抗力系数、桩身的抗弯刚度与强度密切相关。工程实际中，以承受竖向荷载为主的桩基居多。

桩基可由单根桩构成，如一柱一桩的情况；多数情况是由多根桩组成的群桩，荷载通过承台传递给各桩桩顶。当承台与地面接触形成低承台群桩基础时，承台、桩、土将相互影响共同作用，使群桩的承载性状发生较大变化并趋于复杂。

影响桩基承载力的因素甚多，主要有以下几方面：

1. 桩身所穿越土层的强度、变形性质和应力历史：桩基的竖向承载力受桩身所穿越的全部土层的影响，而横向承载力主要受靠近地面的上部土层的影响。桩侧土层若处于欠固结状态，在后期固结过程产生的压缩变形可能对桩身产生负摩阻力。

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

3. 桩身与桩底的几何特征：桩身的比表面积（侧表面积与体积之比， F_s/V_p ）愈大，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，可将桩身截面作成如图 1-1 所示的

三角形、六边形、环形、十字形、H形等异形断面桩，或作成楔形、螺旋形、“糖葫芦”形等变断面桩。为提高桩端总阻力，常将桩端作成扩大头。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，因而横向荷载方向桩身可作成如图1-2所示的矩形、T形、工字形、8字形（二圆桩相切）、十字形等异形桩，或将承受弯矩较大的上段作成如图1-2所示的变断面桩。

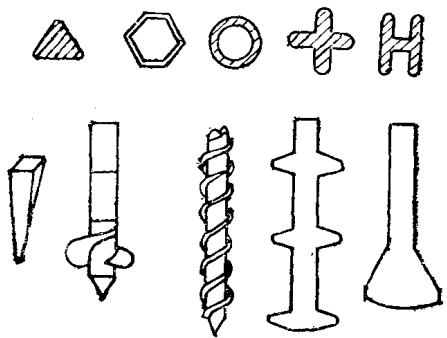


图 1-1 受竖向荷载的异形桩

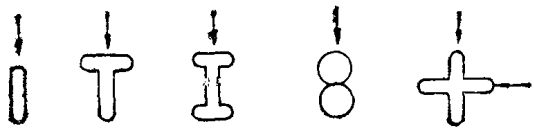


图 1-2 受横向荷载的异形桩

4. 桩体材料强度：当桩端持力层的承载力很高时（如砂卵石、基岩等），桩体材料的强度可能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提高竖向承载力十分重要。对于受横向荷载的桩，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受弯的桩段配置适量的钢筋，对提高其横向承载力十分重要。

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几何参数对承台、桩、土的相互作用和群桩承载力影响较大，设计时应根据荷载、土质与土层分布、上部结构特

点等综合分析，优化确定。

6. 成桩方法：成桩方法与工艺对桩侧摩阻力和桩端阻力都有一定影响。非饱和土特别是粉土、砂土中的打入式桩，其侧摩阻力和端阻力将因沉桩挤土效应而提高。采用泥浆护壁成孔的灌注桩，稠度过大形成桩侧表面的“泥膏”会大大降低摩阻力，过厚的孔底沉淤会导致端阻力明显降低。

1.2 桩的分类

1.2.1 按功能分类

1. 承受轴向压力的桩

各类建筑物、构筑物的桩基大体都是以承受竖向荷载为主，基桩桩顶以轴向压力荷载为主，如图1-3a。

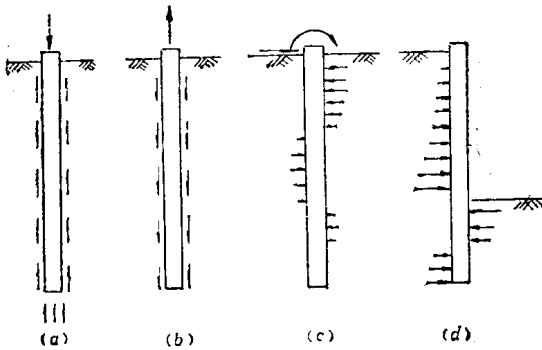


图 1-3 不同功能的桩

(a) 受压桩；(b) 抗拔桩；(c) 横向荷载主动桩；
(d) 横向荷载被动桩

2. 承受轴向拔力的桩

水下建筑抗浮力桩基、牵缆桩基、输电塔和微波发射塔桩基等，其主要功能以抵抗拔力为主，基桩荷载以轴向拔力为主，如图1-3b。

3. 承受横向荷载的桩

当外荷载以力或力矩形式作用于与桩身轴线相垂直的方向

(横向)，使桩身横向受剪、受弯时，称之为横向荷载桩，如图 1-3c、d。

1.2.2 按桩土相互作用特点分类

1. 竖向荷载桩

(1) 摩擦桩

竖向荷载下基桩所发挥的承载力以侧摩阻力为主时，统称为摩擦桩。以下几种情况均可视为摩擦桩。

1) 当桩端无坚实持力层且不扩底时；

2) 当桩的长径比很大，即使桩端置于坚实持力层上，由于桩身压缩量过大，传递到桩端的荷载较小时；

3) 当灌注桩桩底残留较厚的虚土、沉渣形成一压缩性高的褥垫，致使坚实持力层无法充分发挥其承载性能时；

4) 当预制桩沉桩过程由于桩距小、桩数多、沉桩速度快，使已沉入桩上涌，桩端阻力明显降低时。

(2) 端承桩

竖向荷载下基桩所发挥的承载力以端阻力为主时，统称为端承桩。以下两种情况属于这一类。

1) 当桩端置于坚实土层 (砂、砾石、卵石、坚硬老粘土等) 或岩层中，且桩的长径比不太大时；

2) 当桩底扩大时。

2. 横向受荷桩

(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。风力、地震力、车辆制动力等作用下的建筑物桩基属于主动桩。

(2) 被动桩

沿桩身一定范围内承受侧向土压力，桩身轴线被该土压力作用而偏离初始位置。深基坑支挡桩、坡体抗滑桩、堤岸支护桩等均属于被动桩。

1.2.3 按桩材分类

1. 木桩

木桩适于地下水位以下地层中工作，因在这种条件下木桩能抵抗真菌的腐蚀而保持耐久性。当地下水位离地面深度较大而桩必须支承于地下水位以下时，可在地下水位以上部分代之以钢筋混凝土桩身，将其与下段木桩相联接。对于地下水位变化幅度大的地区不宜使用木桩。我国木材资源不足，因此工程实践中早已趋向于不采用木桩。

2. 钢桩

钢桩可根据荷载特征制作成各种有利于提高承载力的断面，如图1-1所示。管形和箱形断面桩的桩端常作成敞口式以减小沉桩过程的挤土效应；当桩壁轴向抗压强度不够时，可将挤入管、箱中的土塞挖除灌注混凝土。H形钢桩沉桩过程的排土量较小，沉桩贯入性能好。此外，H形桩的比表面积大，用于承受竖向荷载时能提供较大的摩阻力。为增大桩的摩阻力，还可在H形钢桩的翼缘或腹板上加焊钢板或型钢。对于承受侧向荷载的钢桩，可根据弯矩沿桩身的变化情况局部加强其断面刚度和强度。

钢桩除具有上述断面加工的易变性外，还具有抗冲击性能好、节头易于处理、运输方便、施工质量稳定等优点。钢桩的最大缺点是造价高，按我国价格，约相当于钢筋混凝土桩的3~4倍。按照当前国情，我们还只能在极少数深厚软土层上的高重建筑物或海洋平台基础中使用。

3. 钢筋混凝土桩

钢筋混凝土桩的配筋率较低（一般为0.3~1.0%），而混凝土取材方便、价格便宜、耐久性好。钢筋混凝土桩既可预制又可现浇（灌注桩），还可采用预制与现浇组合，适用于各种地层，成桩直径和长度可变范围大。因此，桩基工程的绝大部分是钢筋混凝土桩，桩基工程的主要研究对象和主要发展方向也是钢筋混凝土桩。

1.2.4 按成桩方法分类

按成桩方法可分为两大类：预制桩和灌注桩。

1. 预制桩

多年来，钢筋混凝土预制桩是建筑工程的传统的主要桩型。七十年代以来，随着我国城市建设的发展，施工环境受到越来越多的限制，预制桩的应用范围逐步缩小。但是，在市郊的新开发区，预制桩的使用是基本不受限制的。

（1）预制桩不易穿透较厚的砂土等硬夹层（除非采用预钻孔、射水等辅助沉桩措施），只能进入砂、砾、硬粘土、强风化岩层等坚实持力层不大的深度。

（2）沉桩方法一般采用锤击，由此产生的振动、噪声污染必须加以考虑。

（3）沉桩过程产生挤土效应，特别是在饱和软粘土地区沉桩可能导致周围建筑物、道路、管线等的损坏。

（4）一般说来预制桩的施工质量较稳定。

（5）预制桩打入松散的粉土、砂、砾层中，由于桩周和桩端土受到挤密，其侧摩阻力因土的加密和桩侧表面预加法向应力而提高；桩端阻力也相应提高。基土的原始密度愈低，承载力的提高幅度愈大。当建筑场地有较厚砂、砾层时，一般宜将桩打入该持力层，以大幅度提高承载力。当预制桩打入饱和粘性土时，土结构受到破坏并出现超孔隙水压，桩承载力存在显著的时间效应，即随休止时间而提高。

（6）建筑工程中预制桩的单桩设计承载力一般不超过3000 kN，而在海洋工程中，由于采用大功率打桩设备，桩的尺寸大，其单桩设计承载力可高达10000 kN。

（7）由于桩的贯入能力受多种因素制约，因而常常出现因桩打不到设计标高而截桩，造成浪费。

（8）预制桩由于承受运输、起吊、打击应力；要求配置较多钢筋，混凝土标号也要相应提高，因此其造价往往高于灌注桩。

2. 灌注桩

当前灌注桩在我国已形成多种成桩工艺、多类桩型，使用范围已扩及到土木工程的各个领域。从国际上的情况看，灌注桩正朝两个方向迅速发展，即大直径巨型桩和小直径（ $d \leq 250\text{mm}$ ）微型桩。前者桩身直径大至 4 m，扩底直径达 9 m，其设计承载力，桩端支承于硬粘土层者高达 40000kN，支承于基岩者高达 70000kN。大直径桩多使用于高重建筑物，并多采用一柱一桩。八十年代以来，随着高层建筑的迅速增多，大直径桩在我国建筑工程中已获得很大发展。微型桩则多用于地基的浅层处理，形成复合地基；或用于旧建筑物基础的托换加固。微型桩在我国近年来也已开始发展起来。

灌注桩按其成桩过程对桩侧土体的影响程度可分为非挤土灌注桩、少量挤土灌注桩、挤土灌注桩三大类，每一类又包含多种成桩方法。

各类灌注桩有如下共同优点：

（1）施工过程无大的噪声和振动（沉管灌注桩除外）。

（2）可根据土层分布情况任意变化桩长；可根据同一建筑物的荷载分布与土层情况采用不同桩径；对于承受侧向荷载的桩，可设计成有利于提高横向承载力的异形桩（如图1-2所示），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。

（3）可穿过各种软、硬夹层，将桩端置于坚实土层和嵌入基岩，还可扩大桩底以充分发挥桩身强度和持力层的承载力。

（4）桩身钢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。无需象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%。

1.3 各类桩的特点与适用条件

1.3.1 预制桩的类型、特点与适用条件

1.普通钢筋混凝土预制桩（R.C.桩）

这是一种传统桩型，其截面多为方形（ $250 \times 250 \sim 500 \times 500$ mm）。

R.C.桩宜在工厂预制，高温蒸汽养护。蒸养可大大加速强度增长，但动强度的增长速度较慢，因此，蒸养后达到了设计强度的R.C.桩，一般仍需放置一个月左右碳化后再使用。

2. 预应力钢筋混凝土桩（P.C.桩）

对桩身主筋施加预拉应力，混凝土受预压应力，从而提高起吊时桩身的抗弯能力和冲击沉桩时的抗拉能力，改善抗裂性能，节约钢材。

P.C.桩的制作方法有离心法和捣注法两种。离心法一般制成环形断面；捣注法多为实心方形断面，也可采取抽芯办法制成外方带内圆孔的断面。为了减少沉桩时的排土量和提高沉桩贯入能力，往往将空心预应力管桩桩端制成敞口式。

预应力管桩在我国多数采用室内离心成型、高压蒸养法生产。其标号可达C60以上。规格有 $\phi 400$ 、 $\phi 500$ 两种，管壁分别为90mm、100mm，每节标准长度有8 m、10m（丰台桥梁厂），也可按需确定节长。表1-1和表1-2列出几种规格预应力管桩的材料用量与桩身承载力。

3. 锥形钢筋混凝土桩

预应力钢筋混凝土管桩材料用量(kg)

表 1-1

规 格	$\phi 400$		$\phi 550$	
	8 m 桩节	10m 桩节	8 m 桩节	10m 桩节
桩头法兰盘	40.8	40.8	59	59
桩 套 箍	11.8	11.8	16.2	16.2
主钢筋($\phi 12$)	56.3	70.5	84.4	105.8
螺旋筋($\phi 5$)	19.7	24.0	28.1	34.2
架力筋($\phi 10$)	4.3	5.5	6.2	8.0
钢材总重	139.2	152.6	196.7	223.2
混凝土总重	1800	2200	2800	3500
桩管总重	1900	2400	3000	3700