

建筑桩基设计与施工

刘 金 砺

(中国建筑科学研究院地基所)

建设部科技干部培训中心印

1988. 9.

86.1174
890 8757

目 录

第一章 桩的类型与选型

1-1	概 述	1
1-2	桩的分类	4
1-2-1	按功能分类	4
1-2-2	按竖向荷载下桩、土相互作用的特点分类	5
1-2-3	按桩材分类	6
1-2-4	按成桩方法分类	7
1-3	各类桩的特点与适用条件	10
1-3-1	预制桩的类型、特点与适用条件	10
1-3-2	灌注桩的类型、特点与适用条件	18
1-4	桩型与成桩工艺选择	63

第二章 竖向荷载下单桩的承载力与沉降

2-1	单桩的极限承载力	67
2-1-1	桩、土体系的荷载传递	67
2-1-2	单桩的破坏模式与极限承载力	73
2-1-3	单桩容许承载力与承载力的可靠度分析	78

2-2	桩端阻力和桩侧阻力的深度效应	88
2-2-1	桩端阻力的深度效应	88
2-2-2	关于砂层中端阻深度效应的机理分析	93
2-2-3	考虑深度效应极限端阻力的计算	95
2-2-4	桩侧阻力的深度效应	98
2-3	静力方法计算单桩承载力	99
2-3-1	桩端阻力的计算	99
2-3-2	桩侧阻力的计算	107
2-4	原位测试法确定单桩承载力	111
2-4-1	静力触探 (CPT) 确定打入桩的承载力	111
2-4-2	标准贯入试验 (SPT) 确定单桩承载力	112
2-4-3	旁压试验 (PMT) 确定单桩承载力	115
2-5	经验方法确定单桩承载力	122
2-5-1	概 述	122
2-5-2	波兰 PN-83 / B-02482 桩和桩基承载力规范中的方法	123
2-5-3	苏联建筑法规 CHy Π 2.02.03-85 - 桩基础中的方法	129
2-6	大直径灌注桩的承载力	140
2-6-1	概 述	140

2-6-2	大直径桩的承载性状	141
2-6-3	大直径桩承载力的确定	143
2-7	嵌岩灌注的承载力	150
2-7-1	概 述	150
2-7-2	嵌岩灌注桩的承载性状	151
2-7-3	嵌岩灌注桩承载力的确定	159
2-8	单桩的沉降计算	164
2-8-1	概 述	164
2-8-2	弹性理论方法	165
2-8-3	荷载传递分析法	172
2-8-4	剪切变形传递法	177
2-8-5	有限单元法	179

第三章 竖向荷载下的群桩

3-1	群桩的工作性状	183
3-1-1	概 述	183
3-1-2	砂土中的摩擦型群桩	189
3-1-3	粘性土中的摩擦型群桩	192
3-1-4	粉土中的摩擦型群桩	197
3-2	群桩承台土反力和承台分担荷载的作用	219

3-2-1	概 述	219
3-2-2	承台土反力的分布特征	221
3-2-3	承台分担荷载比随有关因素的变化	222
3-2-4	承台土反力的时间效应	228
3-2-5	承台内、外土反力的变化特性	233
3-2-6	承台土反力及承台分担荷载的计算	237
3-3	群桩极限承载力计算	240
3-3-1	由单桩极限承载力计算群桩极限承载力	240
3-3-2	等代墩基法计算群桩极限承载力	241
3-3-3	考虑承台、桩、土相互作用计算群桩极限承载力	242
3-4	群桩的沉降计算	246
3-4-1	概 述	246
3-4-2	按等代墩基计算群桩沉降	247
3-4-3	非粘性土中群桩沉降的经验估算	249
3-4-4	弹性理论法计算群桩沉降	253
3-4-5	群桩变形性状的试验研究	283
3-5	群桩软下卧层的强度验算	299
3-5-1	概 述	299
3-5-2	冲切破坏的验算	299

3-5-3 按半无限弹性体理论验算	307
-------------------	-----

第四章 横向荷载下的桩基承载力和变形

4-1 横向荷载下单桩的破坏性状	311
4-2 静载试验方法确定单桩的水平承载力和地基土水平抗力系数	315
4-2-1 概 述	315
4-2-2 单向多循环水平静载试验	315
4-2-3 慢速维持荷载法水平静载试验	320
4-3 受横向荷载的刚性短桩的计算	322
4-3-1 极限平衡法 (极限地基反力法)	322
4-3-2 线弹性地基反力法	332
4-4 线弹性地基反力法计算横向荷载弹性桩	343
4-4-1 概 述	343
4-4-2 地基抗力系数为常数的线弹性地基反力法——张氏法	348
4-4-3 地基抗力系数随深度线增长的线弹性地基反力法——m 法	357
4-4-4 地基抗力系数随深度呈凸形抛物线变化的线弹性地基反力法——c 法	368

4-4-5	地基抗力系数随深度呈凹形抛物线变化的线弹性	
	地基反力法——K法	372
4-4-6	几种线弹性地基反力法的应用问题	381
4-5	灌注桩的横向承载力特性	383
4-5-1	灌注桩在横向荷载下的破坏特性	383
4-5-2	灌注桩的容许水平承载力	383
4-5-3	灌注桩水平临界荷载（容许水平承载力）的 计算	385
4-5-4	竖向荷载对灌注桩横向承载力的影响与计算	388
4-6	横向荷载作用下的群桩	390
4-6-1	群桩效应	390
4-6-2	群桩水平承载力的某些试验结果	394
4-6-3	根据单桩水平承载力计算群桩水平承载力	403
4-6-4	按线弹性地基反力法计算群桩的变位和内力	416

第一章 桩的类型与选型

1-1 概 述

承受竖向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,同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、土将产生相互影响共同作用,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_{s_0}/E_{s_s}) 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。

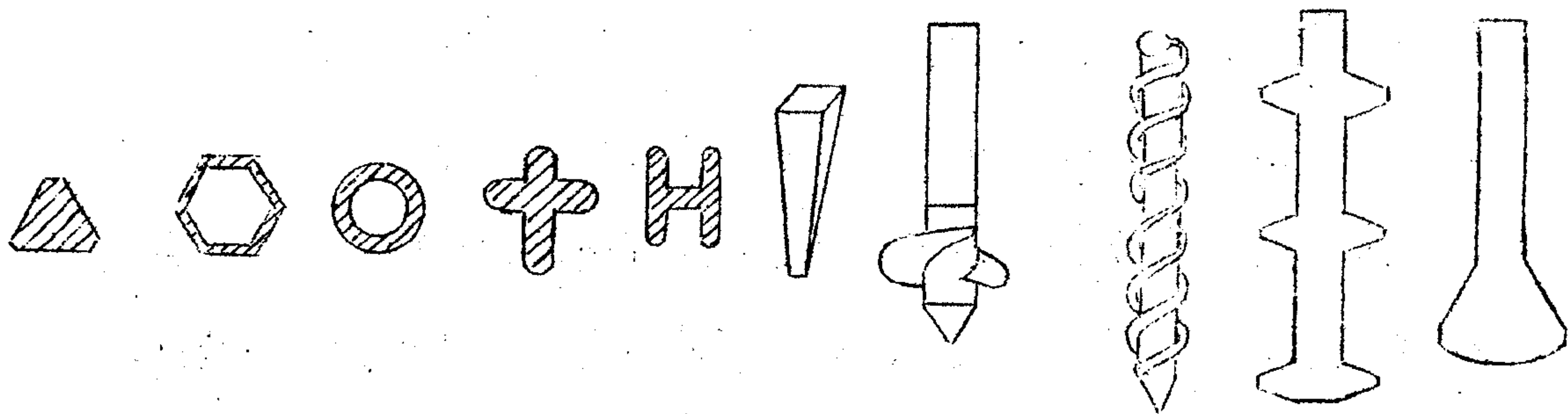


图 1-1 受竖向荷载的异形桩

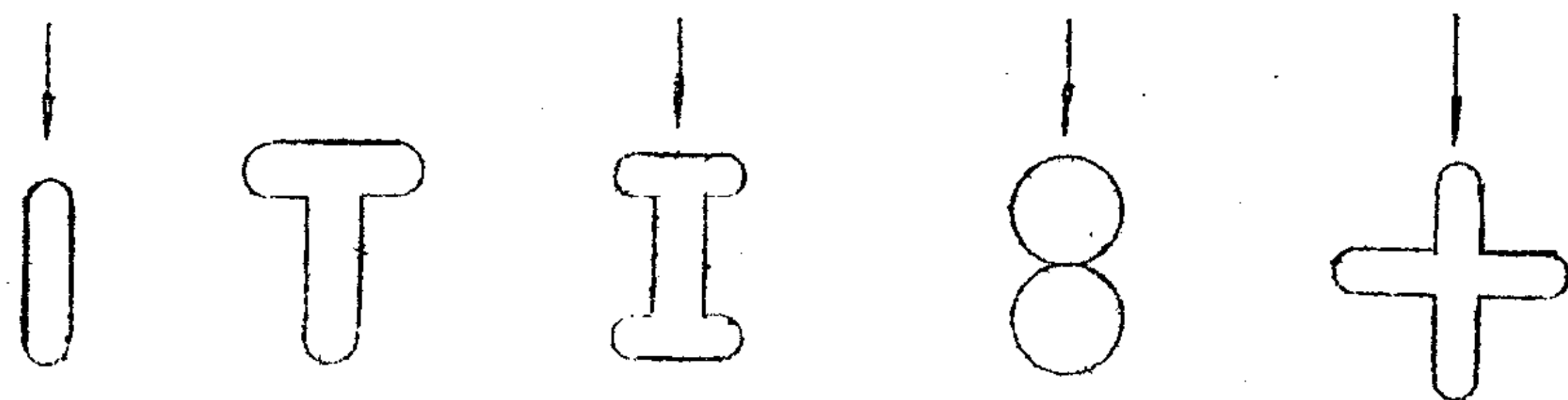


图 1 - 2 受横向荷载的异形桩

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压力为主，同时也具备抵抗风力、地震力、制动力、撞击力、波浪力等水平荷载的功能。

2. 承受轴向拔力的桩

水下建筑抗浮力桩基、纤缆桩基、输电塔和微波发射塔桩基等，其主要功能以抗拔力为主，因而常做成扩底桩。

3. 承受横向荷载的桩

按横向力作用情况可分为主动桩和被动桩两类。当桩顶受横向荷载，桩对土产生侧向压力，称为主动桩。当桩身范围受到侧向土压力，迫使桩侧向位移，称为被动桩（本书不讨论），如图1-3所示。前者如受风力、地震力、波浪力、制动力等的桩；后者如基坑、路堑、滑坡体等的支挡桩。

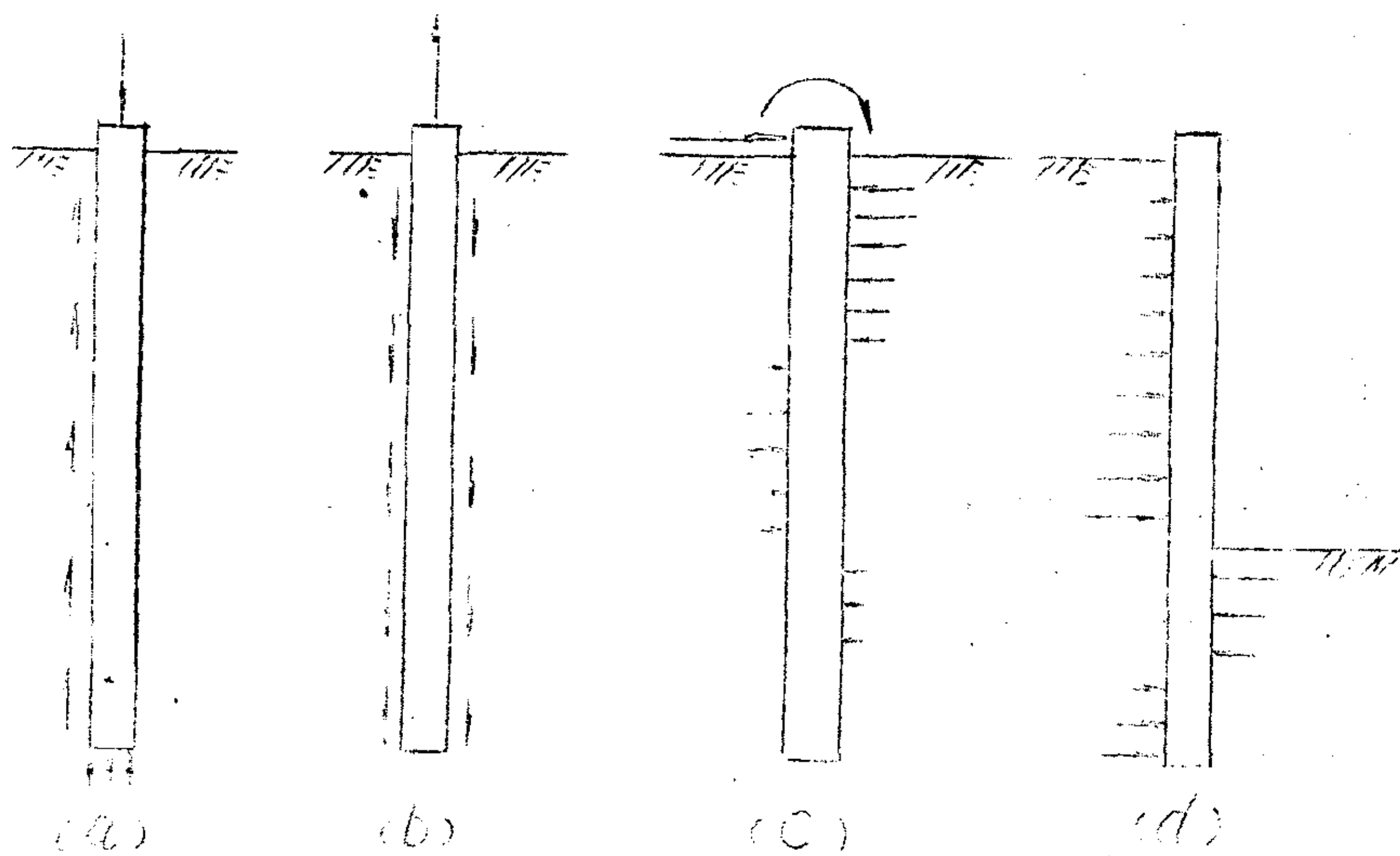


图 1 - 3 不同功能的桩

(a) 受压桩; (b) 抗拔桩;

(c) 横向荷载主动桩; (d) 横向荷载被动桩

1 - 2 - 2 按竖向荷载下桩、土相互作用的特点分类

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。

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。管形、多角箱形、锥形带波纹钢管适用于承受以竖向力为主的桩，H型钢桩适用于承受以侧向力为主的支挡桩等。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也较小，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。为加强某一方向的抗弯刚度或增大桩的轴向承载力，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，还具有材料强度高、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物或海洋平台中使用。

3. 钢筋混凝土桩

钢筋混凝土桩的配筋率较低（一般为0.3~0.8%），而混凝土取材方便、价格便宜、耐久性好。钢筋混凝土桩即可预制又可现浇（浇注桩），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，在新开发区，预制桩的使用是基本不受限制的。此外，在沉桩过程采取相应的措施，消减对于环境的影响，预制桩也是可以在繁华市区采用的。

(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，其单桩容许承载力可高达 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

灌注桩解放初期在我国桥梁工程中就开始采用，六十年代有较大发展。建筑工程中于七十年代末开始大量推广应用灌注桩。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各个领域。从国际上的情况看，灌注桩正向着两个方向迅速发展，即大直径巨型桩和小直径（ $d \leq 300 \text{ mm}$ ）微型桩。前者桩身直径大至 4 米，扩底直径大 9 米，其设计承载力，桩端支承于硬粘土层者高达 40,000 KN，支承于基岩者高达 70,000 KN。大直径桩多用于高重建建筑物，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、挤土浇注桩三大类，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（沿管灌注桩除外）。
- (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%。

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（ $250 \times 250 \sim 500 \times 500 \text{ mm}$ ）。七十年代，天津曾试用三角形预制桩。

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再使用。