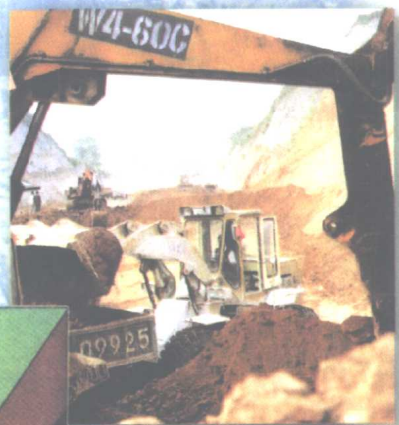
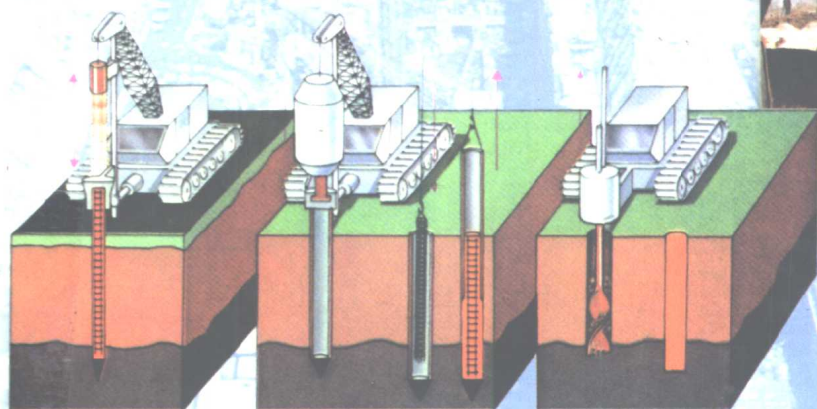


李志成 高乔明 编著

TESTING FOR 桩基础试验 PILE FOUNDATION



中国林业出版社

TU 134
6

桩基础试验

李志成 高乔明 编著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桩基础试验/李志成, 高乔明编著. —北京: 中国林业出版社, 2001. 5
ISBN 7-5038-2794-7

I. 桩… II. ①李… ②高… III. 试桩 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 028575 号

桩基础试验

出版 中国林业出版社 (北京西城区刘海胡同 7 号) 邮编 100009

印刷 北京地质印刷厂

发行 新华书店北京发行所

版次 2001 年 5 月第 1 版

印次 2001 年 5 月第 1 次

开本 787mm×960mm 1/16

印张 17

字数 300 千字

印数 1~3000 册

定价 30.00 元

前 言

桩基础在建筑中起着非常重要的作用，而桩基础又是隐蔽工程，许多缺陷和问题都是不能当场发现和修正的，这就给建筑带来一定的潜在危害。一旦外界偶然产生的作用，如地震就会引起建筑重大的事故。所以对建筑行业桩基础的安全性检测，日益受到人们的重视。建筑桩基础试验是检验建筑桩基础安全和可靠性的不可缺少的手段，通过试验的可靠检验能减少建筑质量事故，使人民的生命财产得到有效的保障。

本书是工业与民用建筑专业中有关桩基础方面的试验方法和技术的总结。它反映了当今建筑地基与基础中普遍采用的试验和测量技术，可为判断建筑桩基础的承载能力和安全性提供有代表性检测方法。本书主要目的是为广大的测量、施工技术人员提供较为成熟的桩基础测量技术手段，来降低工程费用，减少浪费，提高建筑安全可靠。本书理论阐述简明，技术方法系统、全面、具体，具有很强的操作性，可适用于建筑设计人员、施工技术人员和建筑检测人员等。

本书的第一章概括地介绍了国内外桩基技术的发展与应用，着重从整体上对建筑桩基础的应用、发展、用途、分类、设计及事故防治等几个方面进行阐述；第二章至第七章分别介绍了国内外发展较为成熟的五种桩基础试验技术——桩基静载试验、模型试验、高应变测试试验、低应变测试试验和超声波测试试验，在介绍各测试技术时主要从测试技术的发展、测试的机理、测试试验的实施、数据整理分析四个方面来进行阐述，并给出了工程测试实例；第八章为试验仪器设备汇总，给出了当前桩基础试验常用的有关仪器和设备的详细介绍和使用说明，读者可参照本章节进行仪器和设备操作；附录包括建筑桩基技术规范（JGJ94-94）、基桩低应变动和检测规程（JGJ/T93-95）、基桩高应变动力检测规程（JGJ106-97）规范，供广大的工程技术人员进行对照和参考。

在本书编写过程中，得到了有关部门及人士的大力支持与帮助，参考了国内外相关资料。研究生胡金生、朱隽、艾德武、李国荣参加了本书的编写

工作。在此表示衷心的感谢。

书中漏误之处，敬请专家、同行和读者批评指正。

李志成
高齐明

2001. 5.

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 桩基技术的发展.....	(1)
第二节 桩的分类及用途.....	(3)
第三节 桩的选用.....	(6)
第四节 桩的工作形式及破坏模式.....	(8)
第五节 桩基设计与单桩承载力的确定	(11)
第六节 桩基工程事故及其防治	(16)
第二章 桩基础静载试验	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 单桩竖向抗压静载试验	(24)
第三节 单桩竖向抗拔静载试验	(39)
第四节 单桩水平静载试验	(41)
第五节 Osterberg 静载测试方法	(46)
第六节 桩侧阻力与桩端阻力的测定	(52)
第七节 工程实例	(70)
第三章 桩基础模型试验	(80)
第一节 概述	(80)
第二节 模型试验相似律	(81)
第三节 模型试验的设计	(83)
第四节 室内模型试验	(85)
第五节 现场模型试验	(86)
第六节 试验实例	(87)
第四章 桩基础动测试验	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 单自由度与多自由度系统的振动	(97)
第三节 杆的纵向振动.....	(101)

第四节 桩基动测测试系统.....	(104)
第五节 数字信号数据处理.....	(107)
第五章 桩基础高应变试验.....	(111)
第一节 概述.....	(111)
第二节 Case 波动方程法	(113)
第三节 Smith 波动方程法	(128)
第四节 其他方法.....	(131)
第五节 工程实例.....	(136)
第六章 桩基础低应变试验.....	(140)
第一节 概述.....	(140)
第二节 反射波法.....	(142)
第三节 机械阻抗法.....	(148)
第四节 其他方法.....	(157)
第五节 工程实例.....	(164)
第七章 桩基础超声检测试验.....	(168)
第一节 概述.....	(168)
第二节 原理及实施.....	(169)
第三节 工程实例.....	(174)
第八章 试验仪器及仪表.....	(176)
第一节 承载力试验仪器仪表.....	(176)
第二节 高应变试验仪器仪表.....	(212)
第三节 低应变试验仪器仪表.....	(217)
第四节 超声检测仪器.....	(235)
 附录一：建筑桩基技术规范 (JGJ94-94)	(242)
附录二：基桩低应变动力检测规程 (JGJ/T93-95)	(248)
附录三：基桩高应变动力检测规程 (JGJ106-97)	(252)
附录四：DPPLT 软件简介	(262)
主要参考文献	

第一章

绪 论

第一节 桩基技术的发展

一、桩的使用历史

1981年1月,美国肯塔基大学的考古学家在太平洋东南沿岸智利的蒙特维尔德附近的森林里发现一间支承于木桩上的木屋。放射性碳 60 检测结果表明,该桩距今至少已有 12000~14000 年的历史,是目前所发现的最早使用的桩。

我国的考古学家于 1973~1978 年间,在浙江省余姚市河姆渡村发掘新石器时代的文化遗址,出土了占地约 4 万 m^2 的大量木结构遗存,其中有木桩数百根(圆桩直径约 $\Phi 60\sim 180\text{mm}$ 不等,方桩截面约 $60\text{mm}\times 100\text{mm}$ 至 $150\text{mm}\times 180\text{mm}$ 不等,板桩厚度约 $14\sim 40\text{mm}$,宽度约 $100\sim 500\text{mm}$ 不等)。经测定,该处浅层和深层文化层大约分别距今 6000~7000 年。这是全球迄今发现的规模最大的木桩遗存。

人类应用木桩经历了漫长的历史时期。直到 19 世纪后期,钢、水泥、混凝土和钢筋混凝土相继问世,它们先被应用于桥梁、房屋等的各种上部结构,接着均被成功地用来作为制桩材料。自此以后,木桩与钢桩和钢筋混凝土桩在世界各地并存了几十年。到了 20 世纪 50 年代以后,世界上除了盛产木材的地区外,其他大部分地区一方面由于木材资源不足,另一方面由于木材作为制桩材料其性能已不能满足时代的要求,故木桩渐渐被钢筋混凝土桩和钢桩所代替,约至 70 年代即已基本被淘汰。

二、桩基技术的沿革

百余年的应用历史证明,混凝土和钢是远比木材更为合适的制桩材料,并

且采用混凝土和钢制桩,其意义不仅是摆脱了木材资源不足的限制,更重要的是它给古老的打桩技术注入了勃勃生机,增添了无限活力,带来了巨大变化。这些变化突出地表现在:

(1) 桩的长度和几何形状,包括其横截面、端部形状,乃至整个桩身的形状,不再像木桩那样受天然材料的限制,而可以根据设计作种种变化。

(2) 钢桩、混凝土桩和钢筋混凝土桩的强度、刚度等力学特性均远比木桩为高,它们具有更好的贯入性能,能承受更大的冲击,能担负更大的荷载和水平力,并且更为耐久。

(3) 制桩和沉桩工艺大为改观。千百年来木桩只能利用木材预先加工制备而后打入土中。钢桩虽亦属预制打入桩,仅钢管桩可按照设计需要制成大小不同的管径,又可采取开口或闭口打入;而型钢桩可制成各种截面,并可制成各种钢板桩,等等。另一方面,将混凝土用于制桩,既可在现场或工厂预制;又可借鉴房屋、桥梁等上部结构的成熟经验,就地灌注;还可发展预应力制桩工艺。

于是,随着机械设备的不断改进,产生了名目繁多的各种桩型和工法;随着桩的用途不断拓宽以及用桩场地地质和环境条件的种种变化,施工技术和机械设备不断得到改进与发展;随着人们对桩的承载性能、设计方法、检测技术等不断探索研究,新的桩型和新的设计施工方法不断呈现。如此互相促进,以致在 20 世纪中叶,特别是自 80 年代以来,桩基技术蓬勃发展,不论在我国或在国际上均成为令人瞩目的科技热点之一。

三、桩基技术的前景

桩的应用已经历了数千年的历史,然而审视现状,环顾世界各地,桩的应用正方兴未艾。桩的生命依然显得年轻,有许多奥秘犹待人们探索,其前景十分广阔。进入 21 世纪,在桩基技术发展中至少有以下一系列方向与课题值得人们关注。

(1) 近年的工程实践极大推动了一些传统桩型和新桩型的发展。例如预应力管桩由于其强度高、质量稳定,且不会在施工现场产生泥浆污水等特点,正在取代已使用达 20 余年的沉管桩,而成为我国南方各地的主导桩型。与此同时随着人们对环保的要求日益严格,静压施工正愈来愈受人们青睐,成为桩基施工工艺今后发展的一个主流方向。

人们还看到了,一些新的桩工设备,例如高频液压沉拔桩锤、泥浆净化装置等正在开始投产应用或加紧研制。此类设备有助于环境保护,均可望被

推广应用。

(2) 桩在 20 世纪的百年中,从“预制打入”的方式,发展到“取土置换”的方式,而后又研究出“深层搅拌”的方式;实践证明后一方式不需取土置换而仅少量挤土,在施工工艺上堪称后来居上。国外某些施工企业正在研究发展采用大直径深层搅拌而后插入外表带螺旋状助条的钢管的新桩型,旨在使其能承受较大荷载。它兼具现有各种桩型的优点,值得借鉴开发。

(3) 基于高层建筑物承重的需要,一种巨型“壁板桩”(Barrette)正在国外和国内兴起。它有专用施工机械,并可利用抓掘取土式地下连续墙的设备施工。我国北京等大中城市已开始将其应用于城市高架路立交桥等的桩基,今后将会迅速进入高层建筑领域而出现“条形桩基”的新技术。

(4) 计算机技术应用于桩基施工,在我国有了新的进展。一种被称为“DX 全智能型”多功能挤扩装置的新设备最近在武汉等地应用并获得成功。该装置配合常规的泥浆护壁或干取土大直径灌注桩施工,可制成多级扩孔桩。它由计算机通过传感器记录,可显示施工过程的扩孔实况,包括每一级扩孔的挤扩压力值、深度值、倾角值,并可打印出完整的桩孔剖面 and 沉渣厚度等指标。该装置适用于除淤泥质土以外的各类地质条件,可将 $\Phi 600 \sim 1200\text{mm}$ 的桩身按照地层变化和设计要求进行多级扩孔,扩大至 $\Phi 1000 \sim 2500\text{mm}$,并能使单方混凝土承载力提高至直身桩的 2~3 倍。

(5) 上部结构的荷载完全由桩承担的时代即将过去;桩基按变形设计将被人们广泛应用;复合桩基理论与设计方法必将走上一个新的台阶。

(6) 桩的承载力在很大程度上受施工工艺技术的影响。人们已清楚地知道了在一定的地质条件下,桩的承载力并不是固定不变,而是通过采取一定的技术措施可以驾驭的。自从灌注桩出现了后压浆技术,其承载力得到了大幅度提高。人们以此为契机,必将致力于把桩基技术与地基处理技术互相渗透融合,开发出更多的新技术,进而把桩基理论与技术推向一个新的高度。

第二节 桩的分类及用途

一、桩的分类

1. 按制桩材料分

有木桩、钢筋混凝土桩和钢桩,已如第一节所述,但广义而言,在地基处理技术中尚有水泥土桩、CFG 桩、石灰桩、二灰桩、灰土桩,以及碎石桩

等。

2. 按桩身的制作方法分

基于上述广义桩的概念，有预制桩、灌注桩和搅拌桩三类。预制桩包括木桩、钢桩及混凝土桩。预制混凝土桩可在工厂或施工现场预制。灌注桩有沉管成孔、钻孔冲孔、抓掘成孔、螺旋成孔和人工挖孔；搅拌桩有水泥浆搅拌和水泥粉体喷射搅拌两种。

3. 按直径或出面尺寸分

有大直径、中等直径和小直径桩之分，此分类常用于灌注桩。但各国（地区）和各专业的分类界线不尽相同，主要视施工习惯及桩型性状等不同而区分。例如，我国《建筑桩基技术规范》（JGJ94-94）将 $\geq \Phi 800\text{mm}$ 的灌注桩视为大直径灌注桩，而在《港口工程预应力混凝土大直径管桩设计与施工规程》（JTJ/J261-97）中则将 $\geq \Phi 1200\text{mm}$ 的预应力混凝土管桩视为大直径管桩；我国香港特别行政区则将 $\geq \Phi 600\text{mm}$ 灌注桩视为大直径灌注桩。至于小直径桩一般均指 $\leq \Phi 250\text{mm}$ 的桩，也称为微型桩，多用于地基浅层处理和旧建筑物基础托换加固。

灌注桩正向着大直径和小直径两个方向发展。

4. 按端部形状分

预制桩有尖底、平底之分；钢管桩有开口、闭口之分；沉管灌注桩有采用预制圆锥形桩尖或平底桩靴之分；人工挖孔桩和机械成孔桩均有平底或锅底之分。预制桩和沉管灌注桩采用平底具有压密桩端土层的效果。钢管桩采用开口具有减轻挤土影响的作用。

5. 按纵向截面形状分

有柱状桩、板桩、换形桩或锥形桩之分；柱状桩又有直身桩、扩底桩、多节桩、竹节桩、表面带螺纹的桩等。

6. 按横向截面形状分

有圆形、管形、正方形、短形、十字形、H形、箱形、三角形、多角形等。

7. 按扩底方法分

对于中小直径沉管灌注桩而言，有预制扩底、振动扩底、夯击扩底、挤压扩底等方法；对于大直径灌注桩而言，有人工扩底、机械扩底等。

8. 按设置状态分

有直桩和斜桩，工程建设中大多数桩均为竖直设置，斜桩多用于桥梁码头等工程，以抵抗水平力。

9. 按承台位置分

有高承台桩和低承台桩，前者多用于桥梁码头和海洋工程；后者多用于工业与民用建筑等。

10. 按设置时对地事土的影响程度分

(1) 大量挤土桩（包括各种打入、振入、压入、旋入桩等）；

(2) 少量挤土桩（包括开口钢管桩、H型钢桩、预钻孔打入桩、螺旋成孔桩等）；

(3) 非挤土桩（包括人工挖孔桩和冲孔、钻孔、抓掘成孔桩等），此类桩也称为置换桩，因为它们是用混凝土和钢材等置换相应的主体；

(4) 非置换而少量挤土桩，即水泥土和加劲水泥土桩；此类桩施工时无废土外运，不产生泥浆污水，对环境保护较有利。

11. 按承载性状分

(1) 摩擦型桩，指桩顶荷载全部或主要由桩侧阻力承担的桩；根据桩侧阻力承担荷载的份额，摩擦型分为纯摩擦桩和端承摩擦桩；

(2) 端承型桩，指板顶荷载全部或主要由桩端阻力承担的桩；根据桩端阻力承担荷载的份额，端承桩分为纯端承桩和摩擦端承桩。

12. 按其竖向受荷方向分

有抗压桩和抗拔桩；大多数桩均属抗压桩。

13. 按水平向受荷条件分

(1) 主动桩：指桩顶受水平荷载或力矩作用，桩身轴线偏离初始位置，桩身所受上压力是由于桩主动变位而产生的情况；

(2) 被动桩：指沿桩身一定范围内承受侧向上压力，桩身轴线由于该上压力作用而偏离初始位置的情况。

14. 按用途或功能分

主要有基础桩、围护桩；此外还有锚桩、标志桩、促沉桩、控沉桩、隔离桩等。

二、桩的用途

桩可应用于各种地质条件和各类工程建设。

首先，它常被用来作为建（构）筑物的下部结构向地基深部传递荷载；这种下部结构就被称为“桩基础”。此时，桩顶常设承台，承台具有承接上部结构并将其下面的若干根桩联成一体的作用。

作为“桩基础”的桩，通常称为“基础桩”或简称“基桩”。其应用例子

甚多，如：

- 应用于荷载大，对沉降有一定限制或严格限制的各类建（构）筑物；
- 应用于活载占较大比例的建（构）筑物；
- 应用于对倾斜量有特殊要求的高耸杆塔结构物；
- 应用于配备重级工作制吊车的厂房；
- 应用于动力机器基础，以减小基础振幅；
- 应用于易因地震而液化的地基等。

其次，桩常被用来支挡主体而成为岸坡、基槽、基坑或主体开挖时的围护结构。此时桩被称为“围护桩”或“支护桩”、“挡土桩”，此类桩常成排设置，有时连接成壁状。相对而言，“基础桩”则常独立设置或成群设置。

桩除了上述“基础桩”和“围护桩”两大类主要用途外，传统上还将其作为锚桩、标志桩、系船桩等。而发展至今，在建（构）筑物纠倾加固、增层加载、邻房保护等方面又有加固桩、隔离桩、促沉桩、撞沉桩、应力转移桩、托换桩等用途。在地基加固处理中则有挤密桩、加劲桩等。

第三节 桩的选用

桩的长度与设置方法以及桩的工作特性，随桩的不同类型和地质的具体情况有较大的选择余地，因此，桩较容易适应各种地基、荷载条件。同时，在进行基础工程设计时，也应全面地考虑地质情况、环境条件、工程性质等因素，以确定是否选用桩基以及选择何种类型的桩基，以确保选用的桩基科学、合理、经济而又可行。

一、桩基的应用

1. 适用桩基的情况

(1) 地基的浅层土质较差，不能满足地基强度和变形要求，而且在桩可以达到的深层土质较好的情况。

(2) 地表软弱土层较厚，不宜作为持力层，或局部有暗浜、深坑、古河道等情况。

(3) 上部荷载大，或者是动力荷载、大偏心荷载的情况。

(4) 重要建筑物，或上部结构对基础不均匀沉降相当敏感的情况。

(5) 高层建筑和高耸构筑物有很大的竖向荷载和水平荷载，且对限制倾斜有特殊要求的情况。

(6) 对基础沉降或沉降速率有严格要求, 或在使用过程中对振幅要求控制的情况。

(7) 地下水位较高或地表水位较高而又不易排除的情况。

(8) 大面积地面荷载的建筑物或软土上活荷载较大的筒仓、油库等构筑物, 而使用过程中又无法控制缓慢加荷的情况。

(9) 山丘或丘陵地带, 覆土厚薄不一, 可能引起不均匀沉降的情况。

(10) 在地震区, 遇到可液化地基土层的情况。

2. 不适用桩基的情况

(1) 上层土比下层土坚硬得多, 特别是下层又为软弱粘性土的情况。

(2) 密实砂土及其它欠固结地基或大量抽吸地下水地区的情况。

(3) 地基中有承压水存在的情况。

(4) 土层中存在障碍物(块石、未风化岩脉、金属等), 而又无法排除的情况。

(5) 只能使用打入或振入法施工, 而附近又有重要的或对振动强烈敏感的建筑物情况。

二、桩型与成桩工艺选择

1. 考虑建筑物的性质与荷载

(1) 建筑物的重要性、对不均匀沉降的敏感程度。对于重要建筑和对不均匀沉降十分敏感的建筑, 应选成桩质量稳定性好, 质量易于控制、检测的桩, 如预制桩和挖孔灌注桩等。

(2) 建筑物的荷载大小。对于荷载较大的高重建筑物, 首先应选择单桩承载力足够大的桩型, 以使在有限的平面范围内合理地布置桩距、桩数。

(3) 荷载的性质。对于地震设防区或受其他动荷载的桩基, 应考虑选用既能满足竖向承载力要求, 又有利于提高横向承载力的桩, 并应考虑动荷载可能给桩基承载力带来的影响。

2. 考虑工程地质与水文地质条件

(1) 持力层的埋深与性质。应充分考虑持力层的埋置深度和性质, 当埋深较浅时, 优先采用端承桩; 当埋深较深时, 应视承载力的要求, 对摩擦桩, 应选择恰当的长径比。当为砂、砾层时, 尽量采用挤土桩, 如沉管灌注桩等; 对粉、细砂时, 尽量采用灌注桩。

(2) 土层中有空穴和障碍物。当上层中存在空穴和障碍物时, 尽量采用挖孔桩。

(3) 土层的特殊性。当土层为湿陷性、膨胀性土层时,前者可考虑小桩距挤土桩,后者可考虑短扩桩。

(4) 地下水位和地下水补给条件。当遇饱和软土时,尽量采用非挤土桩,如钻孔桩等。

3. 考虑施工环境

(1) 与相邻建筑物、道路、地下管线、堤坝等的距离。当相隔的距离较小时,尽量选择非挤土桩和无振动效应或振动效应较小的桩,如钻成孔或人工挖孔灌注桩。

(2) 施工现场泥浆处理条件不具备时,尽量不用泥浆护壁成孔灌注桩。

(3) 现场设备进退场和运输条件不良时,就不能使用大型成桩设备。

4. 考虑材料供应与施工技术条件

(1) 施工原材料运输困难时,尽量不用灌注桩,因灌注桩需要源源不断的砂、石、水泥等材料,在城市闹市区施工更应注意这一点。

(2) 成桩制作条件困难时,就不应使用预制桩。

(3) 工艺技术条件情况也影响桩的选型。有些桩工艺复杂,技术要求高,本地区又没有成熟的施工经验,对这种桩不应采用。

5. 考虑经济效益与施工工期

在确保结构安全的前提下,选择桩型时,尚应以多快好省为原则,以使有限的建设资金尽快发挥出综合效益。

第四节 桩的工作形式及破坏模式

一、桩的工作形式

图 1-1 表示桩把荷载传给地基土的四种形式。图 1-1 (a) 为一根竖直的桩支撑着垂直荷载的情形。当桩还没有承受外荷载时,作用在桩身表面上的是水平向的土压力;随着桩上的垂直荷载的增大,桩侧摩阻力逐渐发挥出来;作用在桩底的反力主要是竖直向的,称为桩端阻力。所以桩的垂直承载力包括桩侧摩阻力与桩端阻力两部分,两者的数值取决于地基土的分层及其物理力学特性、桩的尺寸与设置方法、桩与土之间的相对位移、施工状况以及桩顶荷载的大小等因素。图 1-1 (b) 至 (d) 则表示桩上作用着水平力与力矩、上拔力以及负摩阻力的情况。

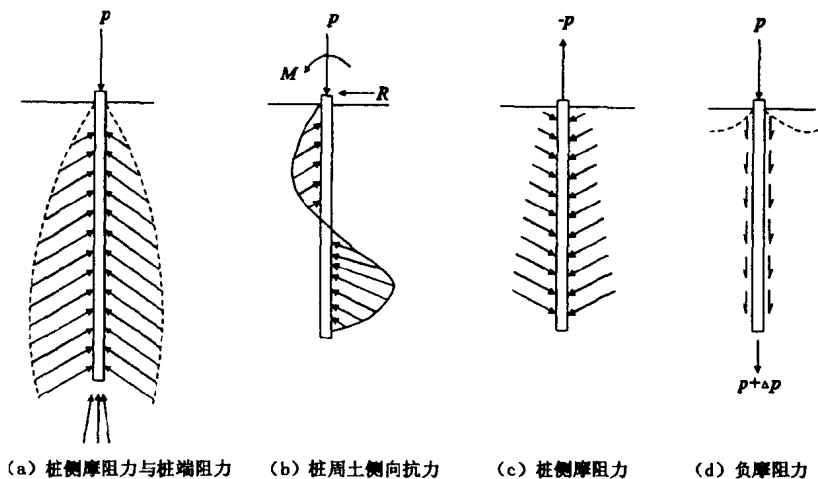


图 1-1 桩的荷载传给地基的不同形式

二、桩的破坏模式

桩的破坏模式主要取决于桩周围土的抗剪强度、桩端支承情况、桩的尺寸以及桩的类型等条件。

魏西克把破土中扩大基脚的破坏，根据土的相对密度 D_r 和基础的相对埋置深度 L/b 的不同条件，分为三种情况：

(1) 整体剪切破坏——具有明显形成的剪切破坏面，并有明确的破坏荷载；

(2) 局部剪切破坏——为使塑性平衡状态扩展到滑动土体的外缘而需要的侧向压缩，大于基础沉降时产生的侧向压缩；

(3) 刺入剪切破坏

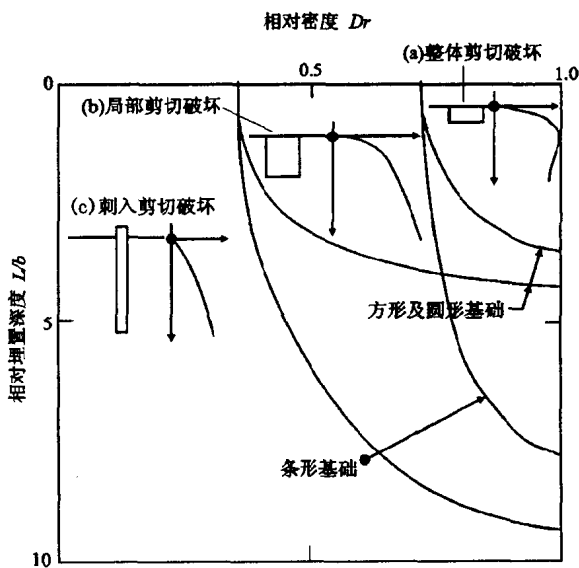


图 1-2 浅基础和深基础的不同破坏模式的条件

——只出现侧向压缩，而剪应力还不够大，没有能够把土的抗剪强度发挥出来。

图 1-2 给出了这三种破坏模式的示意图。

由图 1-2 可知，整体剪切破坏时，很容易确定极限荷载，而在后两种情况下，则常常不容易明确地定出极限荷载；随基础埋深的加大，整体剪切破坏将消失，并转化为局部剪切，最终将都成为刺入破坏；在松砂地基情况下，在任何埋深时都属于刺入破坏；对于桩来说，在常规尺寸时将出现刺入破坏，即使是没有桩侧摩阻力时，也是这样。由于刺入破坏下，荷载一下沉量曲线表明，随下沉量的增加，荷载也不断地增大，这解释了为什么一般不能明确地给出桩极限荷载值的原因。

图 1-3 给出了摩擦桩、端承摩擦桩、摩擦端承桩和端承桩的不同破坏模式的简图。图中给出了桩周土层及桩底持力层的抗剪强度 τ_s 的相对值，以及常规的桩顶荷载—桩顶下沉量曲线。

第一种情况——摩擦桩时情况，桩底处的土层较弱，桩顶荷载由桩侧摩阻力支承，桩端阻力不起作用。 $Q-S$ 曲线未段呈现出竖向的陡降段，此时的

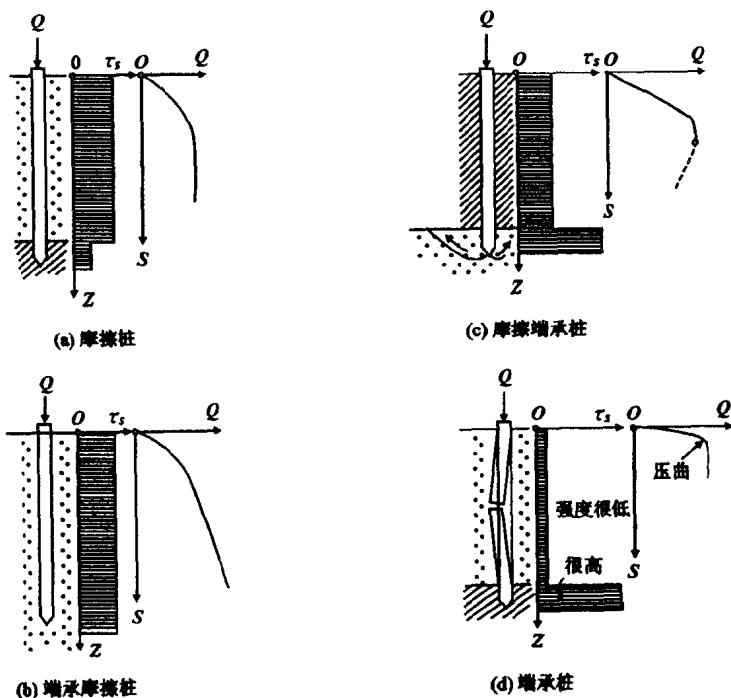


图 1-3 土的强度对桩破坏模式的影响