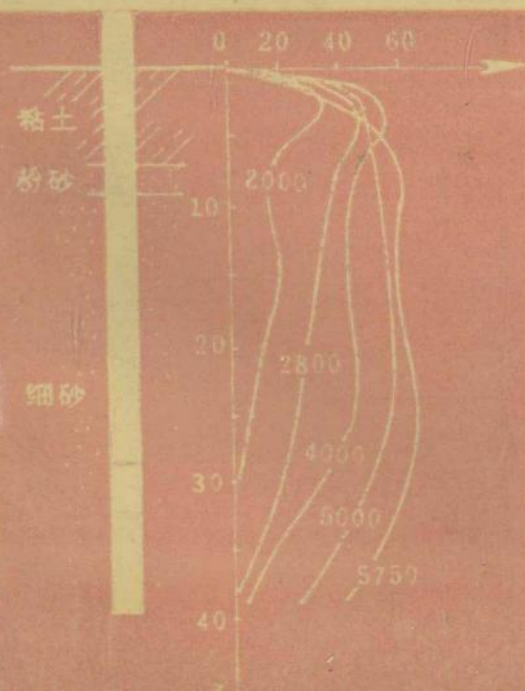


桩基础

张 李
英 泽
民 东



桩 基 础

李泽东 张英民 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

全书共分两篇，计九章。第一篇内容包括：桩的简介；桩的分类；桩的承载机理；桩的试验；单桩及群桩的承载力确定；桩基础的设计；桩与承台的协同工作及桩基托换。第二篇内容包括：不同设桩方法的桩的施工机具选择，施工程序及桩基础的经济分析和比较。

本书可作为工业与民用建筑、港口建筑及道桥等有关专业的技术人员参考书，也可作为大专院校相应专业学生的参考书。

桩 基 础

李泽东 张英民 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

黑龙江省幼师印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/32 印张13.375 字数297千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数：1—2000

ISBN 7-5603-0477-X/TU·5 定价：6.90元

前 言

本书是基于近年来“建筑中不断出现和发展的多层、高层建筑应有一个承载性能好且又有较好经济效果的基础形式”这一想法编写的。

桩基础确实是多层、高层建筑，尤其是建筑在软弱地基上的多层、高层建筑的理想基础形式之一。这是因为桩基础作为高层、多层建筑不仅承载性能可靠，而且与其他基础形式相比有明显的经济效果。

近年来桩基础被广泛地采用就足以说明这一点。

本书第一篇较系统、深刻地介绍了桩的一般性能；桩的分类；桩的试验方法、试验曲线的分析和试验结果的评价；单桩及群桩在垂直荷载和水平荷载作用下的承载机理；单桩、群桩承受水平荷载及垂直荷载的承载能力的确定；桩基础的设计理论；桩与承台协同工作理论；承台的桁架建计理论；桩基托换的设计方法等。同时以具体工程实例说明设计理论的应用。第二篇介绍了不同设桩方法的桩及其施工特点；根据不同桩的施工特点确定不同的施工机具；不同设桩方法的桩的施工方法与合理的施工程序；各种不同设桩方法的桩的施工过程、施工程序及经济的比较等。

本书编写过程中正值新旧规范交替，为使读者能对桩基础新规范有较深刻理解，在分析问题，均从新旧规范两个角度出发给以较详尽论述。对设计中的具体问题也给以充分对比，并按两种规范的设计方法举出了具体设计实例。以使

读者能更充分认识、运用新规范的设计方法。

本书第一篇由李泽东编写，第二篇由张英民编写，初稿由王润华高级工程师审定。在编写过程中王广洲高级工程师对本书提出宝贵意见并给以大力支持和帮助，在此表示深切的谢意。

限于作者水平，本书不足之处在所难免，恳请读者给以批评、指正。

编 者

1991年6月于哈尔滨

目 录

第 一 篇

第一章 绪 论

- § 1-1 概 述 (1)
- § 1-2 桩基础的优越性 (2)
- § 1-3 桩基础的适用条件 (6)

第二章 桩的分类

- § 2-1 按设桩方法分类 (8)
- § 2-2 桩的其他分类方法 (14)

第三章 桩的承载作用机理

- § 3-1 单桩在垂直荷载作用下的承载机理 (17)
- § 3-2 扩底桩在垂直荷载作用下的承载机理 (35)
- § 3-3 预应力钢筋混凝土桩在垂直荷载作用下的
承载机理 (43)
- § 3-4 单桩在水平荷载作用下的承载机理 (47)
- § 3-5 群桩的承载作用机理 (51)

第四章 桩的试验

- § 4-1 概 述 (55)
- § 4-2 单桩在垂直荷载作用下的静载试验 (56)
- § 4-3 单桩的垂直动测试验方法 (63)
- § 4-4 单桩在水平荷载作用下的静载试验 (67)

第五章 桩的承载力确定

- § 5-1 垂直荷载作用下的单桩承载力确定 (71)
- § 5-2 水平荷载作用下的单桩承载力确定 (98)
- § 5-3 垂直荷载作用下群桩的承载力确定 (114)
- § 5-4 水平荷载作用下群桩中的单桩受力分析
..... (123)

第六章 桩基础的设计

- § 6-1 桩基础的勘察 (167)
- § 6-2 垂直荷载作用下桩基础设计 (169)
- § 6-3 水平荷载作用下桩基础设计 (175)
- § 6-4 承台设计 (183)
- § 6-5 桩与承台的构造要求 (204)
- § 6-6 爆扩桩基础设计 (211)
- § 6-7 打入式灌注桩基础设计 (216)
- § 6-8 扩底桩基础的设计 (217)
- § 6-9 桩基础设计实例 (236)

第七章 桩与承台的协同工作

- § 7-1 概 述 (272)
- § 7-2 桩与承台协同工作的理论分析 (274)
- § 7-3 桩与承台协同工作的设计实例 (286)

第八章 桩基托换

- § 8-1 概 述 (293)
- § 8-2 桩基托换中桩与基础的承载机理分析
..... (294)
- § 8-3 托换桩数的确定 (296)
- § 8-4 托换设计实例 (301)

第 二 篇

第九章 桩基础的施工

§ 9-1	桩基础施工机械设备简介	(306)
§ 9-2	钢筋混凝土预制桩的施工	(337)
§ 9-3	灌注桩的施工	(362)
§ 9-4	爆扩桩的施工	(382)
§ 9-5	打拔灌注桩的施工	(393)
§ 9-6	木 桩	(404)
§ 9-7	板 桩	(406)
§ 9-8	打入桩、灌注桩与钢筋混凝土条形基础的 分析、比较	(411)
附录	常用量符号	(414)

第 一 篇

第一章 绪 论

§ 1-1 概 述

人们使用桩基础的历史是久远的。从古代的桥梁建筑到其他古建筑,都广泛地采用桩基础。古代桥梁多为木结构,当时桩既作为桥梁的基础又作为桥梁的墩台,它不仅能满足承载能力的要求,还能满足当时施工技术条件的要求。这一技术直到不久以前仍为我国森林铁路桥梁所采用。在我国古代的建筑中,如历史悠久的杭州湾海塘工程、北京的御河桥、西安的坝桥、南京的石头城和上海的龙华塔等水工建筑、城墙及塔式建筑,无一不是以桩基础来承受上部荷重的。直到现在,这些建筑物状态良好,保持了它们应有的风格而闻名于世。我国幅员辽阔,地质条件复杂。有沿海地区的淤泥地带,有河谷的冲击地带,还有不同的砂质土质以及沼泽泥炭地带。在这些复杂的地质条件下,建筑各种建筑物、构筑物,尤其是高大的有一定体量和建筑形象的建筑,采用浅基础将是很困难的。桩基础为我们在这些复杂地质条件下建筑各种形式的建筑物、构筑物提供了可靠的基础形式。

上海某高层建筑采用了 60m 长的钢管桩基础,单桩允许承载力达 6250kN。如果采用浅基础之一的筏片基础来达到

上述承载能力，则相当每根桩承载能力的筏片基础面积为 78m^2 。可想而知，要达到支承全部建筑的筏片基础，其面积之大将是很可观的。这样大的筏片基础也是相当厚的。如此规模的筏片基础将给施工带来极大的困难。

桩基础不仅被广泛地用作新建筑的基础，而且近年来对越来越多的有纪念意义的古、旧建筑基础托换加固和旧有建筑增层的基础托换加固也采用了桩基托换加固的方法。由于桩基础承载可靠、承载性能易掌握，其托换加固结果也非常可靠，因此桩托换深得国内外学者、专家的青睐，其前景是很可观的。

随着社会的不断前进和经济的日益发展，人们对建筑的外部形象和内部使用功能的要求也越来越高。同时由于人口的增加，城市建筑的拥挤，而要求珍惜宝贵的城市用地，因此建筑不得不向高大化发展。这些高大建筑使人们在设计与施工中必然采用经济可靠的桩基础。可以预言，未来城市建筑的基础将属于桩基础的世界。

§ 1-2 桩基础的优越性

一、桩基础的可靠性

桩基础是最可靠的基础形式之一。它的可靠性可以反映在以下几个方面：

1. 桩基础有可靠承载的历史

前面例中采用桩基础的古建筑，经过上千年至今，仍保持着良好的建筑形象。如果不采用桩基础，以当时的技术条件采用其他基础是很困难的。

2. 桩基础具有承载的可知性

无论是打入桩还是钻孔灌注桩，均可以通过静载试验来确定桩的承载力。近年来用动测法确定桩的承载能力和成桩质量，使桩的承载力确定方法更加简便易行。另外，打入桩尚可通过锤击贯入度来确定桩的承载力。这些可知手段是其他基础形式所没有的。

承载可知的另一个方面，是桩基础在承载过程中产生建筑的沉降可以通过静载试验测得，也就是说，桩基在建筑未形成之前就可以预测其沉降量。

3. 桩基础的沉降量小

与浅基础相比，桩基础的最终沉降量较其他基础小得多，尤其是梁式承台和桩数少于9桩、桩距又比较大的独立承台桩基础。如一个由5根8m长的桩组成的独立承台桩基础，在最大容许荷载作用下总沉降量仅有1.04cm。

桩基础沉降量小，容易满足规范对建筑的沉降量要求，同时也能很好的满足建筑的使用要求。

二、桩基础的经济性

桩基础与其他基础形式相比不仅有很好的可靠性，也有很好的经济效果。有人做过比较，当地基容许承载力小于 150kPa (15t/m^2) 的时候，打入桩基础较其他钢筋混凝土基础节约造价 $2\sim 3\text{元/m}^2$ 。如果采用钻孔灌注桩基础，可比其他钢筋混凝土基础节约造价 $4\sim 6\text{元/m}^2$ 。

灌注桩较其他钢筋混凝土基础经济的原因如下：

1. 耗钢量少

灌注桩基础桩的配筋量少，尤其是无抗震设防地区，这

一优点更加突出。以6~7层单元式住宅为例,钻孔灌注桩较钢筋混凝土条形基础每平方米可节约钢材6~8kg。

2. 土方工程量小

现在的城市建设外运土造价非常高,一般10~20元/m²。钻孔灌注桩的土方除供室内填土外,基本不用外运。以6m长的灌注桩基础为例,它的土方工程量仅是普通基础的1/5。

三、桩基础施工的优越性

桩基础便于施工,无论是打入桩还是钻孔灌注桩均具有这一特点。

打入桩在一般粘性土、砂质土中非冬季施工日打桩数在70~90根/天,且施工现场容易组织,作业之间干扰小,施工进度快。一栋5000m²的建筑,其打桩时间不超过一周,比一般条形基础可节省15~20天,比筏片基础节省的时间还要多些。

灌注桩的施工与打入桩施工相比,现场混凝土浇注工作量多些,但较普通钢筋混凝土基础的浇注量小得多。而灌注桩施工场噪音小、对邻近建筑影响小的优点又是打入桩所不具备的。

无论是打入桩还是灌注桩,其基础施工都具有施工机械化程度高,工人劳动强度低等优点,因此,能加快施工进度,缩短施工周期,降低建筑成本。

四、钻孔扩底桩简介

钻孔扩底桩又称扩底桩或钻扩桩,它也是钻孔桩的一种。钻扩桩近年来也不断地为工程上所采用。这不仅因为它

具有较好的承载性能，而且也因为它具有较好的经济效果。钻扩桩与钻孔桩相比，每平方米造价可节约 2~4 元。表 1-1 给出扩底直径为 0.8~4.0m 时的造价、混凝土用量及承载能力等变化情况。扩底直径从 0.8m 增加到 4.0m，造价增加 2.96 倍，混凝土用量增加 2.83 倍，而承载力却增大 25 倍多。

表 1-1 不同尺寸扩底桩的造价、混凝土用量和承载能力比较表

扩底直径 (cm)	80	120	150	180	250	300	350	400
扩底面积 (m ²)	0.5	1.13	1.77	2.54	4.9	7.07	9.62	12.57
扩大头体积 (m ³)	0.04	0.18	0.35	0.8	2.45	4.2	6.4	9.2
单桩体积 (m ³)	4.00	4.15	4.50	4.80	5.90	7.30	9.40	11.80
钢筋用量 (kg)	80	80	80	80	80	80	80	80
单桩造价 (元/根)	332.5	345.3	374.4	399.4	490.9	607.4	782.1	981.8
单桩允许 承载力 (kN)	300	678	1062	1524	2946	4242	5712	7542
承载力 造价 (元/kN)	11.09	5.09	3.50	2.52	1.67	1.43	1.35	1.30

大直径扩底桩基础的优点是承载能力高、沉降量小，能承受较大的水平力；施工方便，混凝土质量易于保证，造价低。大直径扩底桩基础适用于中密以上的砂土层、密实的粘土和岩层。在高层建筑中被广泛采用。

§ 1-3 桩基础的适用条件

桩基础有着诸多优点，是一种理想的基础形式。但是，任何一种结构形式都有适用的特定条件，桩基础也有着自身要求的适用与不适用条件。当我们选用桩基础时，必须按着这些能充分发挥桩基础作用的条件，合理地选用桩基础，才能使基础形式以及整个建筑的结构方案更加合理。

一、不适用于使用桩基础的条件

地基上部土层坚硬而下部土层软弱，如果采用桩基础且桩尖被置于软土层中，这种情况就不宜使用桩基础。因为此时桩被置于软土层中，桩将会产生很大的沉降。另外，在很软的土层中设有长度不足的桩，且桩尖未进入较硬的土层中，这种桩不仅稳定时间长，且易发生作为桩基础不允许出现的破坏形式——刺入性破坏。如巴西某十一层大厦的倒塌事故即属于这种情况。大厦占地面积为 $29 \times 12\text{m}^2$ ，支承在 99 根 21m 长的桩上，1955 年开始施工，1958 年初建成后尚未使用就倒塌了。事后查明，建筑场地的土质为沼泽泥炭土，相邻建筑采用的是 26m 长桩，已经进入较硬的土层，建筑未发生任何问题。这一大厦由于桩长不足而使桩悬浮在泥炭土层内，产生了开始被人们误认为是允许的过大沉降差。另一个原因是建筑的重心与形心不重合，而且相距较大，所以当刺入性破坏发生后，很快导致倒塌事故。

据此，应在对桩基础地质条件进行充分分析的基础上，合理地确定桩型、桩长，才能获得可靠的承载效果。

二、适于采用桩基础的条件

根据软土地基地区的工程实践，当遇到下列情况之一时应采用桩基础。

1. 建筑物、构筑物的荷载大，且占地面积小，地基软弱，采用天然地基上的浅基础沉降量过大，或建筑物较重要，要求不宜产生过大的变形，这时应采用桩基础。

2. 建筑的堆积荷载较大，自身荷载不太大，同时地基又比较软弱，地面荷载的沉降变形将会影响建筑物的沉降变形，甚至危害建筑的正常使用，这时应采用桩基础以减少地面荷载对建筑物的影响。

3. 高耸的建筑物、构筑物对限制倾斜有特殊要求，且地基不均匀或比较软弱时，应采用桩基础。

4. 设有大吨位重级工作制吊车的重型单层工业厂房，吊车重量大，使用频繁，车间内设平台多，基础密集，且地面荷载较大，这时应采用桩基础以防止基础有过大的变形及沉降差。

5. 精密仪器的设备基础，安装及使用过程中对地基沉降变形及沉降速度有严格要求；动力机械基础对容许振幅有一定要求，这两种情况采用桩基础可以获得较为满意的效果。

6. 山区地基中，当荷载比较大，土层又不均匀（下伏基岩面起伏不平）时，为了克服由此而产生的不均匀沉降，常采用桩基础。

第二章·桩的分类

§ 2-1 按设桩方法分类

一、打入桩

打入桩是将在预制场或施工现场预先加工好的桩沉入地基中。按所用材料可分为钢筋混凝土预制桩、木桩和钢桩。如按其沉桩方法又可分为锤击沉入、振动沉入和静力压入等。

1. 钢筋混凝土桩

(1) 普通钢筋混凝土桩

普通钢筋混凝土桩的长度和截面可在一定范围内根据需要进行选择，制作质量较易保证，承载能力高，耐久性好，因此在工程中应用最广。这种桩的横截面可以做成方形、圆形等各种形状，有的还做成空心的（图 2-1）。实心方形截面的桩，无论制作、运输、还是堆放都比较方便。其截面边

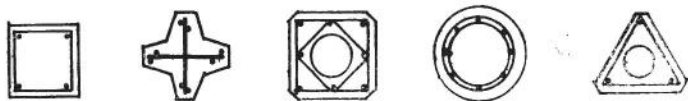


图 2-1

长一般为 25~55cm。三角形截面的空心桩和十字形截面桩具有用料省、自重较轻和表面积较大等特点。但无论横截面的形状如何，钢筋混凝土桩的桩身横截面积却一般不变。限于桩架高度，现场预制桩的长度一般在 25~30m 以内；限于

运输条件，工厂预制的桩长一般不超过 12m，否则需分节制造，然后在沉桩过程中予以接长。例如上海地区的钢筋混凝土桩，最长达 60m 以上，分三节预制。

截面尺寸大的实心桩，自重较大，纵向钢筋需根据在起吊运输和吊立过程中的弯曲应力来确定，因而用钢量较大。

（2）预应力钢筋混凝土桩

预应力钢筋混凝土桩是近年来被采用的新型钢筋混凝土桩。由于预应力的存在，满足了桩在吊装、吊打时受弯引起的弯曲应力要求，因此它有明显的节钢性能。预应力钢筋混凝土桩不仅可以制成实心桩而且也可以制成空心管形桩。国外采用高强钢筋混凝土的预应力管桩，其混凝土强度达到 88.0kg/cm^2 ，显示出了明显的经济性和较高的抗裂度。钢筋混凝土空心管桩是用离心旋转法在工厂中预制的，国内铁道部门已有定型生产厂家，其管的直径为 300mm，400mm 及 550mm，管壁厚为 80mm，每节长为 2m~12m，在下节管桩设置桩尖。桩尖内部留有圆孔，以便在采用水冲法辅助沉桩时，安装射水管之用。

2. 钢桩

常用的钢桩有开口或闭口的钢管桩以及宽翼工字形钢桩等。钢桩的承载能力高，无论起吊运输或是沉桩接桩都很方便。但耗钢量大，成本高，目前我国只在少数重点工程中使用。钢管桩的直径为 250~1200mm。在上海某工程中曾使用从国外进口的 $\phi 914.6\text{mm}$ 开口钢管桩，其壁厚 16mm，长 62 m 左右。

3. 木桩

木桩往往由杉木、松木等制成。其桩径（小头）在 160