

地基处理技术

③

桩和桩基

冶金工业部建筑研究总院 主编



地基处理技术

3

桩 和 桩 基

冶金工业部建筑研究院 主编

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

内 容 提 要

本书主要介绍国内外地基处理的新技术与工程实践经验。

全书共分五册:

第一册 强力夯实法与振动水冲法

第二册 喷射注浆法与深层搅拌法

第三册 桩和桩基

第四册 排水固结法与挤密法

第五册 基坑开挖与支护技术

本册为第三册,系统介绍了桩的类型、性能、设计、施工以及桩基工程的勘察、测试与检验。

本书可供从事建筑、水利、港口、铁道、公路工程地基处理的研究、设计、施工人员及大专院校有关师生参考。

地 基 处 理 技 术

第 三 册

桩 和 桩 基

冶金工业部建筑研究总院 主编

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷33号)

新华书店总店科技发行所经销

河北省枣强县印刷厂印刷

*

850 × 1168 1/32 印张 12 字数 316 千字

1992年2月第一版 1992年2月第一次印刷

印数00.001~5,050册

ISBN 7-5024-0912-2

TU·48 定价8.80元

前 言

我国地域辽阔，工程地质条件各异。在工程建设中经常会遇到不良的土质条件，从而需要进行地基处理，近十年来，我国在不良地基处理技术方面有很大进展，新的方法不断引进或开发，传统方法不断得到改进和充实，并在许多工程项目中取得良好的技术经济效果。这些方法包括：强力夯实法、振动水冲法、喷射注浆法、深层搅拌法、振实砂桩法以及预应力混凝土桩、钢管桩、大直径灌注桩等。

目前这些方面的资料较多。但比较零散，因而使用很不方便。我们组织编写这套《地基处理技术》丛书，旨在就上述多种地基处理方法给从事地基处理工程的设计、施工、科研、教学人员提供一套系统的技术用书。

全书以实用为主，理论为辅。着重介绍我国工程实践经验，同时兼收了国外地基处理的新成果，以期满足我国当前地基处理技术迅速发展的需要。

全书共分五册，由王吉望、周国钧、周志道、王盛衡负责组织编写。

本册第一章由冶金工业部建筑研究总院俞振全编写，第二章由索富珍编写，第三章由严人觉编写，第四章由周志道编写，第五章第一节至第七节由管震国编写，第八节由李德庆编写。本册最后由俞振全修改、统校、定稿。

限于作者水平，书中不妥之处，敬请读者指正。

编 者

一九九〇年十一月

目 录

第一章 概 述	F
第一节 桩的功能及适用条件.....	1
第二节 桩的类型.....	12
第二章 桩的性能	29
第一节 桩的荷载传递.....	29
第二节 桩周土性能.....	47
第三节 轴向荷载作用下桩的工作性状.....	51
第四节 水平荷载作用下单桩的工作性状.....	60
第五节 桩距对群桩性状的影响.....	68
第六节 桩与承台的共同作用.....	72
第七节 桩接头的力学性能.....	78
第八节 钢筋混凝土桩的锤击应力.....	85
第九节 混凝土打入桩的冲击疲劳.....	98
第三章 桩的设计	103
第一节 轴向受压单桩.....	103
第二节 轴向受荷群桩.....	135
第三节 横向受荷桩.....	149
第四节 动荷载桩基.....	177
第五节 桩基设计.....	191
第四章 桩的施工	223
第一节 桩的设置方法.....	223
第二节 钢管桩施工.....	244
第三节 预制混凝土桩施工.....	268
第四节 锚杆静压桩施工.....	298
第五章 桩基工程的勘察、测试与检验	313
第一节 场地勘察.....	313
第二节 钻孔与原位试验.....	314

第三节	量测技术.....	316
第四节	静载荷试验.....	347
第五节	抗拔与水平荷载试验.....	356
第六节	应力波理论在桩基上的应用.....	360
第七节	桩的完整性试验.....	361
第八节	高应变动力检验.....	364
参考文献.....		374

第一章 概 述

第一节 桩的功能及适用条件

桩的采用已有一千多年的历史，在钢筋混凝土出现以前，则多半采用木桩。只是到了19世纪末20世纪初，木桩才逐渐被钢筋混凝土桩所取代。到了本世纪50年代，钢桩的采用才逐渐增多。在沉桩设备方面，已由早期的手动自由落锤，发展到现阶段的柴油锤、大功率的双作用蒸汽锤、震动锤等。总之，桩工这门技术，在施工、设计和适用范围等方面，都比过去有了突飞猛进的发展。

所谓桩，从施工角度来看，系指利用打击或震动，把较小直径的长杆件（等截面或变截面），沉入指定位置而形成的基础；或在预先钻好的孔中浇注混凝土，构成桩身而成的基础。长桩或短桩，可以根据桩抵抗垂直于桩轴方向的荷载（水平向荷载），即抗弯曲变形能力，按下式加以判别：

长桩（半无限长桩）

$$L \sqrt[4]{\frac{KD}{4EJ}} > 3 \quad (1-1)$$

短桩（有限长桩）

$$1 < L \sqrt[4]{\frac{KD}{4EJ}} \leq 3 \quad (1-2)$$

式中 L ——桩的入土深度（米）；

K ——横向地基反力系数（千牛/米³）；

D ——桩径（米）；

EJ ——桩身抗弯刚度（千牛·米²）。

一、桩的功能

桩可把上部结构传来的荷载，经由软弱的可压缩层，或穿过水传到坚硬密实、低压缩性的土层或岩层上去。有时桩可用来承

受上拔力和水平力，或垂直、水平、上拔荷载的综合作用。

二、桩的适用条件

桩的适用条件主要根据场地的工程地质条件、方案的技术经济比较以及施工条件而定。

可能需要采用桩基的一些工程地质条件如图1-1所示。

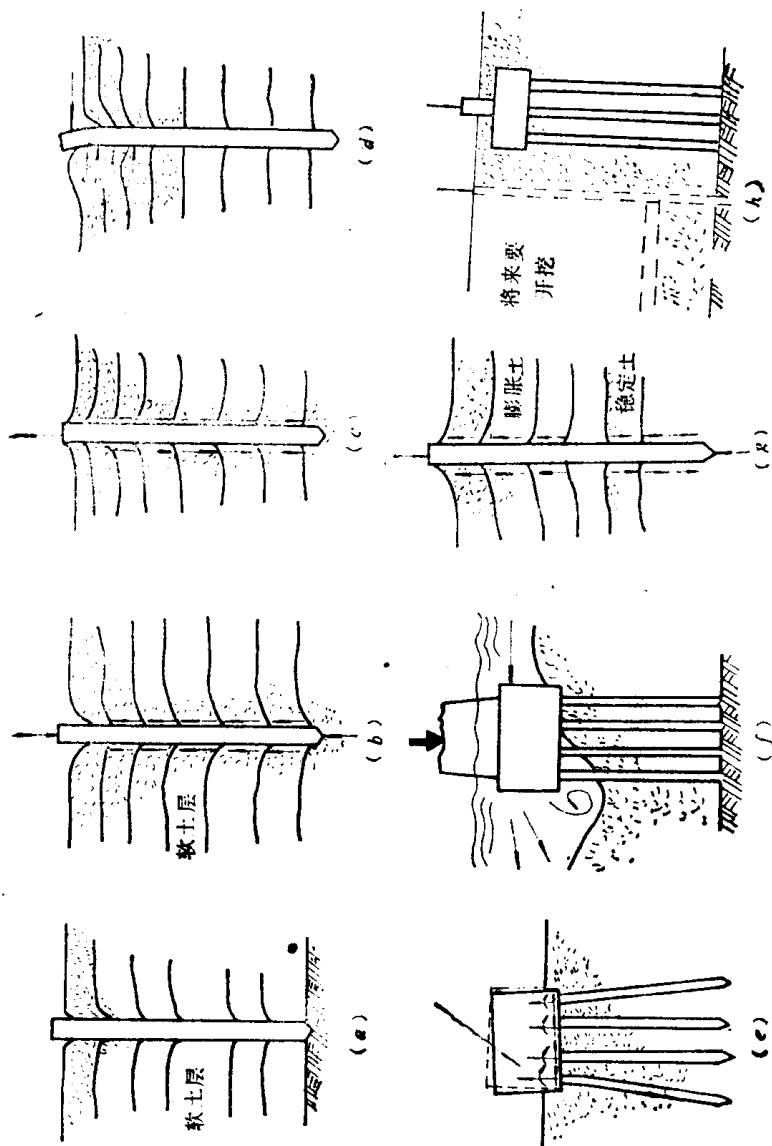


图 1-1 可能需要采用桩基的一些地质条件

当上部覆盖层较为软弱，压缩性高，满足不了上部结构对地基承载力和沉降的要求时，需要采用桩将上部传来的荷重，传给深层较坚硬地层，如基岩等。这种桩往往属于“支承桩”（图1-1a）。我国广州、深圳等城市的高层建筑桩基多属于这一类型。

有时在一定土层深度以内，不存在较理想的坚硬地层，而只有相对表层来说较为坚实的土层，就需要采用桩。这种桩主要依靠桩周摩阻来传递上部荷载，一般称为摩擦桩（图1-1b）。如我国上海、宁波、福州等地的桩基，多属于这种桩。

在挡土墙、码头以及缆车塔架、输电线路塔架基础以及承受较大风力或地震力的一般高耸构筑物基础中，为了抵抗倾斜力、水平力或上拔力，提高抗倾覆能力而采用桩（图1-1c）。这种桩称之为“抗拔桩”。

船柱由于直径受水平荷载，大型仓库或成品库的厂房柱，因大面积推料而引起的桩基变位甚至深层滑动，需设置桩来抵抗水平（垂直）荷载（图1-1d）。

在一些桥基或大型挡土构筑物上采用直桩或斜桩构成群桩，共同抵抗竖向和斜向荷载（图1-1e）。

当基脚周围土遭受侵蚀和冲刷后，为了确保上部结构安全，即使在较浅深度处存在较坚实土层（如砂或砾石等），也往往采用桩（图1-1f）。

在地表以下存在较厚的膨胀土或湿陷性土的地区，需要用桩将基础荷载（包括膨胀土所产生的上拔力和湿陷性土所产生的下泄力），传递至不受季节性湿度变化影响的稳定土上（图1-1g）。

在建筑物附近，考虑到城市规划，以后可能会兴建地下铁、高速公路或其它地下建筑（如地下停车场等）而需要大开挖时，最好采用桩基方案，将基础荷载传递给预定挖土标高以下的地层，以防建筑物发生重大损害而需要进行加固处理（图1-1h）。

桩的适用条件，有些是属于客观条件，如场地的工程地质条件，有的属于人为因素，如施工条件。

桩基的施工条件，主要系指施工设备、施工场地与空间、三

通一平、原材料供应等条件。因此桩的适用条件是可变的，也就是说，桩的设置必须因时、因地制宜。例如某工程，根据场地的工程地质条件及方案技术经济比较分析，最宜采用直径 400 毫米的打入式预应力钢筋混凝土管桩。但通过调查了解，当地短期内不具备生产预应力管桩的能力，从外地调运又受到铁路运输限制，这样这个方案就是行不通的。

三、桩型选择因素

桩型选择系指在桩基方案已经确定后，再进一步结合某一特定的环境，选择适当的桩型。

桩型选择主要取决于建筑场地的位置、地形和地质条件以及所采用的上部结构的结构特征和几何特征、桩身的耐久性等。其中地基土与地下水的状况，往往是最重要的因素。

1. 建筑场地的位置

在大城市人口稠密地区，采用打入桩时，如不采取相应措施，则由于打桩可能引起噪音、振动以及地面隆起等危害，这个方案是不适用的。如采用钻孔（或冲孔）灌注桩，泥浆护壁，则需考虑场地泥浆池的位置及其面积和排渣等问题。采用预制桩，还要考虑堆桩场地及空间净空条件。如有高压动力线通过，还要考虑安全距离或采取必要的安全措施。一些常用桩型的施工场地面积见表1-1。在一些交通不十分方便的边远山区，采用过于笨重的打桩设备，会给运输带来困难，甚至误时；而采用一些轻型的成桩设备是方便适用的。采用商品桩，则应考虑货源是否充足，运距是否经济。原则上应就地取材，避免长途运输，这些对某些桩型的经济指标会产生决定性的影响。

2. 场地的地形和地质条件

场地的地形系指地表是平坦（倾斜 10° 以下），还是倾斜（ 10° 以上）。场地凹凸不平，将会影响打桩设备的运行、场地排水，增加劳动量的消耗。在场地地质条件上，对打入桩来说，要考虑覆盖层中是否含有难于穿过的漂石、密实砂砾层或砂层和其它障碍物（如树根、上下水道、以碎砖瓦为主的城市杂填土）

表1-1

常用桩型的施工场地面积

施工方法		预制混凝土桩 D-22打桩机	扩底桩木桩架	贝诺托桩 BJ-2型机	钻孔桩 20-H型机	钢 桩 D-22打桩机	备 注
打桩机或成孔 机械	宽×长(米)	3.5×7.0	7.0×11.5	2.495×9.25 (6.385)	2.82×7.70 (66.10)	3.5×7.0	
	作业面积(米)	64.0	225.0	144.0	100.0	64.0	
	最小回转半径(米)	3.0	15.0	12.0	9.9	8.0	
	起重最小回转半径(米)	(轨迹式)		10	10.0		5吨吊车
叶轮泵				0.5×1.5 0.5×1.2	0.5×1.5 0.5×1.2		
				30千瓦1台			
电焊机		1.0		1.0	1.0	1.0	
				T100 $\phi 1.08$ $\times 3 \times 8$ 20.0 $\phi 30 \times 3 \times 8$ 根 100	T100 $\phi 1.08$ $\times 6 \times 1$ 8.0 $\phi 30 \times 3 \times 8$ 根 100		
外套管							
泥浆搅拌机							
L形水槽							
集水坑							
钢筋加工场(米 ²)			15×4=60	15×4=60	15×4=60		
桩材堆场(米)					5×5=25	15×5=75	
轨迹最小回转半径(米)		8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
合计面积(米 ²)		204.0	480.0	427.0	388.0	204.0	

等；在饱和软粘土中打桩，则应考虑打桩引起的超孔隙水压对已打好的桩带来的影响。

桩能否打穿硬土层，与地基的土质条件密切相关。若砂层厚度在5米以上，且标贯击数 $N > 50$ 时，桩一般是穿不过的；若厚度小于5米时，桩可能穿过。在 N 值相同的情况下，砂的颗粒级配越好，就越不易被桩打穿。如果硬土层下面还有一层软弱土层，则该层就容易被桩穿过。对于 $N > 30$ 的土层，钢筋混凝土桩一般也不易穿过。

在较松散的无粘性土中，如采用打入桩或打入式灌注桩，由于打入过程中桩周土被大量挤密，将提高单桩承载力；又考虑到这种土的自重固结过程引起的负摩擦力，采用这种桩型是可能适用的。如在较坚硬粘土中采用打入桩，可能会造成土的大量隆起，就不太适用了，而宜采用螺旋钻孔桩。

对于灌注桩，如存在流动性地下水，则不宜采用泥浆护壁，而要考虑采用套管；如存在层压水或有强腐蚀性工业废水，这类桩型就不适用了。

钻孔灌注桩，一般可适用于下列地质情况：地基由硬的、半硬的和硬塑的粘性土（其中包括湿陷性粘土及膨胀土）构成，而在施工期内，地下水位又位于桩尖以下，此时钻孔壁可不需加以保护；地基土由软塑和流塑性粘土构成时，钻孔应用泥浆护壁；地基土由夹有砂和亚砂土互层的非均质饱和的流动性粘土构成时，应采用套管保护孔壁；地基土由任意土质构成，而桩尖支承在坚硬土或其它承载力高的密实土（硬粘土、粗砂、粗粒残积土）上时，可使用带护壁钢管（可拔出的工具式套管的）特殊钻机施工。主要桩基工法适用的地质条件、地形和场地环境，如表1-2所示。

3. 上部结构的结构特征及几何特征

对于高层建筑和其它重型构筑物（如高炉等），由于其荷载大，就需要采用承载力很大的桩，不宜采用木桩和较小截面的打入桩和灌注桩。对于建筑平面复杂、层数相差悬殊的建（构）筑

主要桩基工法的适用条件

表 1-2

种 别		打 入 桩				就地灌注桩			
		射水桩	普通钢筋混凝土桩	预应力钢筋混凝土桩	钢桩	钢筋混凝土冲孔灌注桩	贝诺托桩	钻孔灌注桩	深基
支承方式	支承桩	△	○	○	○	○	○	○	○
	不完全支承桩	△	○	○	△	○	○	○	○
	摩擦桩	○	○	△	○	×	×	×	×
	挤密桩	○	○	×	×	×	×	×	×
支承层面的状态、深度	平坦(30°以下)	○	○	○	○	○	○	○	○
	倾斜(30°以上)	×	△	△	○	△	○	△	○
	凹凸不平	○	○	△	○	○	○	○	○
	深度(米)	10以下	○	○	△	×	×	×	△
		10~20	×	○	○	×	×	×	○
		20~30	×	△	△	○	○	○	△
		30以上	×	×	×	○	○	△	×
土质条件	粘性土	夹在中间 $N < 4$	○	○	○	○	○	○	○
		$N = 4 \sim 10$	×	△	○	○	○	○	○
		$N > 10$	×	×	△	○	○	○	○
地质条件	砂层	$N < 15$	△	○	○	○	○	○	○
		$N = 15 \sim 30$	×	△	○	○	○	○	○
	砂层厚度2~3米, $N > 30$		×	×	×	△	○	○	○
	连续不断的无粘性厚砂层		×	×	×	△	△	△	○
	砂层延续到持力层		○	○	○	○	△	△	○
	无砾石层		○	○	○	○	○	○	○

续表 1-2

种 别		打 入 桩				就地灌注桩			
		射水桩	普通钢筋混凝土桩	预应力钢筋混凝土桩	钢桩	钢筋混凝土灌注桩	贝诺托桩	钻孔灌注桩	深基
地 质	厚度小于2米的砾石层	×	△	○	○	○	○	○	○
	厚度2~4米的砾石层	×	×	△	○	○	○	○	○
	厚度大于4米的砾石层	×	×	×	△	△	△	△	○
	无玉石、孤石	○	○	○	○	○	○	○	○
	厚度为10厘米以下的玉石、孤石	×	△	△	○	○	○	△	○
条 件	厚度为10~80厘米的玉石、孤石	×	×	×	△	×	△	×	○
	厚度为80厘米以上的玉石、孤石	×	×	×	×	×	△	×	△
	地下水位在承台底面以上	○	○	○	○	○	○	○	×
	地下水位在桩尖以下	×	○	○	○	○	○	○	○
	无动态地下水	○	○	○	○	○	○	○	○
地 表 状 态	动态地下水为3米/分以上	○	○	○	○	×	×	×	×
	无层压水	○	○	○	○	○	○	○	○
	层压水厚2米以下	○	○	○	○	△	△	△	×
	无毒瓦斯	○	○	○	○	○	○	○	○
	有毒瓦斯	○	○	○	○	○	○	○	×
地 表 状 态	普通情况	○	○	○	○	○	○	○	○
	软弱粘性土, $N < 2$	△	△	△	△	△	△	△	△

续表 1-2

种 别	打 入 桩				就地灌注桩			
	射水桩	普通钢筋混凝土桩	预应力钢筋混凝土桩	钢桩	钢筋混凝土冲孔灌注桩	贝诺托桩	钻孔灌注桩	深基
地表状态	松散饱和砂质土, $N < 15$	△	△	△	△	△	△	△
	平坦 (10° 以下)	○	○	○	○	○	○	○
	倾斜 (10° 以上)	△	△	△	△	△	△	△
	凹凸不平	△	△	△	△	△	△	△
环 境	极软弱地基的水上施工	△	△	△	○	×	△	×
	有噪音、振动	△	×	×	△	△	△	○
	对邻近建筑物有影响	△	△	△	○	○	○	△
	作业空间狭窄	△	×	×	○	×	×	○

注: “○”表示条件适合; “△”表示根据条件可以使用; “×”表示条件不适合。

物, 考虑其不均匀沉降, 应尽量选择同一类型的桩, 只有在不得已的情况下, 才在布桩上作适当调配, 采用不同类型的桩。对于规模较小的单独建筑物或构筑物, 采用大型设备施工的打入桩或灌注桩, 设备的运输和安装费用较大, 不如采用当地现有轻型成桩设备施工的桩型, 这样既经济又可节省时间。

在某些情况下, 可能仅一种桩型是唯一合理的, 也可能是多种桩型都较合适, 均能满足要求, 因此最终方案应待经济分析比较后才能选定。

四、桩的经济性

桩的经济性系指桩基方案同其它基础方案的经济比较以及桩型选择中不同类型桩之间的经济比较。

1. 桩基方案同其它基础方案的经济比较

比较时，不仅限于基础构件的比较，同时也包括基础结构对上部结构的影响。

在比较不同方案的工期中，要着重考虑施工的季节性、劳动工作量以及其它附带因素。

比较中要注意方案的可比性，在设计上要遵守国家的有关规范、规程，要在同样的荷载条件下进行比较估算；在同样的气候、地震、土质条件和使用条件下进行设计。

这种比较是在设计阶段进行的，一般是考虑几种基础方案经济比较。比较结果，如果采用桩基方案在劳动工时消耗（包括工作的连续性）、原材料消耗、机器设备消耗和其他附加消耗等指标（常用单个基础的消耗指标）最低，那么就说明采用桩基经济性最好。

2. 不同类型桩之间的经济比较

比较内容也主要包括劳动工时消耗、原材料消耗、机器设备消耗和其他附加消耗，其中最主要的是单桩承载力和施工工效。

一般工程上常用每千牛承载力的造价作为衡量比较的尺度（也有用每米³混凝土的承载力作为比较标准的，但这仅适用于钢筋混凝土桩）。常用的打入桩和就地灌注桩的单桩承载能力如

常用单桩承载能力

表 1-3

项 目	打 入 桩				就地灌注桩			
	射水桩	钢筋混 凝土桩	预应力 钢筋混 凝土桩	钢 柱	钢筋混 凝土冲 孔桩	贝诺 托桩	钻孔桩	深 基
常用桩径（厘米）	15~25	30~40	35~45	40~60	76~ 127	89~ 109	60~ 100	200~ 300
常用入土深度（米）	3~8	6~20	10~25	20~50	15~60	15~60	15~27	8~20
容许垂直承载力(千牛/ 根)	25~50	250~ 350	300~ 400	700~ 1500	1500~ 3000	1300~ 2500	1000~ 1500	4000~ 10000
容许水平承载力(千牛/ 根)	2~5	30~40	50~80	100~ 200	150~ 450	200~ 350	80~ 300	400~ 700

调查目的和内容

表 1-4

调查的种类		调查的目的	内 容
地形、地质 调查		(1) 下部结构位置的选定; (2) 持力层的选定	绘制地形图, 附近地史、地质资料调查, 钻孔标本制作, 绘制地质图
地基调查		(1) 掌握地基的成层状态; (2) 研究基础埋深; (3) 选定持力层; (4) 计算承载力、地基反力系数; (5) 选定结构形式; (6) 计算压密沉降量 (包含地基沉降); (7) 设计构筑物	钻孔标贯试验, 绘制地质岩性柱状图, 土质试验, 载荷试验, 探明地下水位
其它调查	以往资料调查	(1) 地基地质概况; (2) 基础埋深的研究; (3) 桩间距	地质调查处的地质图, 附近建筑设计计算, 设计图, 过去地质情况的调查
	河相调查 (湖、沼、海) 决定;	(1) 相对于冲刷基础埋深的决定; (2) 流水压的计算; (3) 施工工期、施工方法的选定; (4) 冲击荷载大小的选定 (5) 桩间距	绘制河川纵横剖面, 流速、流量、河流倾斜的调查, 年间水位变化、流送物、周转船舶调查, 治水方面条件调查
	地震调查	(1) 地震震度的决定 (震度通称为地震系数); (2) 耐震结构形式的选定	地震记录; 震害记录
	材料调查	(1) 可能取得材料的研究及积累; (2) 使用材料的选定	管料、用水是否合适的调查
	气象调查	(1) 温度变化的决定; (2) 风荷载的决定; (3) 施工工期、施工可能时期的决定	气象局气象记录; 当地记录的收集
	腐蚀调查	(1) 使用材料的选定; (2) 腐蚀层或混凝土保护层的决定; (3) 涂料种类、遍数的决定	以往的腐蚀状况调查, 涂料的暴露试验