

Jisuan Tuilizhuang De Zonghe Gangdu  
Yuanli He Shuangcanshuofa

计算推力桩的综合  
刚度原理和双参数法

吴 恒 立

人民交通出版社

Jisuan Tuilizhuang De Zonghe Gangdu  
Yuanli He Shuangcanshuofa

计算推力桩的综合  
刚度原理和双参数法

吴 恒 立

人民交通出版社

**计算推力桩的综合  
刚度原理和双参数法**

**吴恒立**

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:  $787 \times 1092$  1/32 印张: 6.125 字数: 128千

1990年3月 第1版

1990年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2050册 定价: 3.50元

## 内 容 提 要

本书较系统地阐述了计算推力桩的综合刚度原理和双参数法，基于对桩力桩的桩-土共同作用的机理研究，通过三个可供调整的参数，可较为满意地计算推力桩。

本书读者对象是土木技术人员及有关院校师生。

# 前 言

本书系统地阐述了计算推力桩的综合刚度原理和双参数法。

第一章较系统地介绍了各种桩及桩基础在工程建设中的应用和地位, 推力桩计算方法的历史和现状, 以及现行计算方法存在的问题和可能解决的途径。

第二章推导了土抗力模数  $K = mx^{\frac{1}{n}}$  中取指数  $1/n \geq 0$  的任意值时, 推力桩微分方程的通解及其收敛性证明。在研究推力桩桩-土共同作用机理的基础上, 阐述了桩-土综合刚度是待定参量的新概念, 即综合刚度原理。建议了推力桩按无量纲长度分类的原则和标准。还推导了结合具体桩底条件的各种计算公式, 以及应用到桩基础计算的有关公式。

第三章是通过受推力作用的长桩实测资料的分析, 标定桩-土参数, 即指数  $1/n$ 、桩-土相对柔度系数  $\alpha$  和桩-土综合刚度  $EI$ 。分析了三例, 均说明综合刚度原理和双参数法用于分析长桩, 能使桩在地面处的挠度、转角、桩身最大弯矩及其所在位置等三个主要工程指标的计算值, 同时与实测值很好符合。本章还讨论了当前尚未统一而又十分重要的两个实际问题, 即推力桩容许极限点的确定和桩身实测弯矩的标定问题。

第四章先用一定篇幅较详细地介绍了用于推力桩非线性分析的著名的  $p-y$  曲线法。然后, 从桩-土非线性工作过程的机理说明这正是综合刚度原理和双参数法最适宜解决的问

# 目 录

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....                | 1   |
| §1-1 桩和桩基础在工程建设中的应用和地位.....        | 1   |
| §1-2 推力桩的计算方法及其历史和现状.....          | 8   |
| §1-3 推力桩现行计算方法存在的问题.....           | 21  |
| 参考文献.....                          | 22  |
| <b>第二章 计算推力桩的综合刚度原理和双参数法</b> ..... | 26  |
| §2-1 双参数法的概念和参数的选择.....            | 26  |
| §2-2 双参数法微分方程的通解.....              | 28  |
| §2-3 解的收敛性证明和讨论.....               | 42  |
| §2-4 桩的地面处位移和桩底条件.....             | 46  |
| §2-5 推力桩的分类和特点.....                | 60  |
| §2-6 考虑桩-土共同作用的综合刚度原理 .....        | 64  |
| §2-7 桩顶位移的计算.....                  | 69  |
| §2-8 桩基础的计算.....                   | 73  |
| 参考文献.....                          | 80  |
| <b>第三章 长桩试验资料分析</b> .....          | 82  |
| §3-1 推力桩容许极限点的确定.....              | 82  |
| §3-2 桩身实测弯矩的标定.....                | 88  |
| §3-3 长桩试验资料分析 (一) .....            | 99  |
| §3-4 长桩试验资料分析 (二) .....            | 105 |
| §3-5 长桩试验资料分析 (三) .....            | 108 |
| §3-6 讨论和建议.....                    | 110 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 参考文献                                                                                                              | 112 |
| 第四章 推力桩的非线性分析                                                                                                     | 113 |
| §4-1 $p-y$ 曲线法                                                                                                    | 113 |
| §4-2 综合刚度原理和双参数法                                                                                                  | 129 |
| (一) 推力桩非线性分析实例一                                                                                                   | 129 |
| (二) 推力桩非线性分析实例二                                                                                                   | 134 |
| (三) 推力桩非线性分析实例三                                                                                                   | 138 |
| 参考文献                                                                                                              | 151 |
| 第五章 短桩的计算                                                                                                         | 154 |
| §5-1 短桩的特点和参数标定                                                                                                   | 154 |
| §5-2 计算短桩的无量纲系数法                                                                                                  | 157 |
| §5-3 无量纲系数法公式的证明                                                                                                  | 163 |
| §5-4 短桩桩身弯矩和桩顶位移                                                                                                  | 170 |
| §5-5 讨论和表格化                                                                                                       | 176 |
| 参考文献                                                                                                              | 177 |
| 附录一 $A(\alpha x)$ 、 $B(\alpha x)$ 、 $C(\alpha x)$ 、 $D(\alpha x)$ 及其一、<br>二、三阶导数按级数取十项计算的程序<br>(SHARP PC-1500计算器) | 178 |
| 附录二 $Y_1(\alpha_0 x)$ 、 $Y_2(\alpha_0 x)$ 、 $Y_3(\alpha_0 x)$ 、 $Y_4(\alpha_0 x)$ 的<br>数值表                        | 184 |
| 附录三 系数 $\zeta$ 和 $\psi$ 的数值表                                                                                      | 186 |

# 第一章 绪 论

## §1-1 桩和桩基础在工程建设中的应用和地位

桩是基础中的柱形构件，亦即是插入土或岩石中的“杆件”，其作用是承受上部结构的载荷，并将载荷传递到土或岩石的深层中去。

在古代就有利用承载桩支承结构物的记载和实例。罗马人在英国修建的桥梁和河滨住宅用过木桩。中世纪东安格里亚 (East Anglia) 沼泽地区修建的大修道院也用过橡木桩和赤杨木桩。我国则可以追溯到更早的年代。秦朝的栈桥为支承桥面系统而水平嵌入悬岩的木、石构件，可以看作是受横向力作用的桩。汉朝的桥梁建设者用过木桩。古代棘人用水平嵌入悬岩的木桩或石桩支承悬棺，四川省珙县现存明朝的悬棺。生活中挂物的钉子，也可以看作是桩。

桩基础是指位于上部结构和地基之间的由桩组成的基础部分。

事物的发展，一般都是先有实践，后有理论，再反复循环，不断提高。例如大孔径钻孔灌注桩，1960年在我国河南省公路部门采用后，现已发展成为一种桥梁基础新形式。实践证明它有很多优点，如设备简单、操作方便、变水下作业为水上作业，大大简化了施工，能较显著地缩短工期并降低造价。大孔径钻孔灌注桩的问世，还极大地促进了我国对桩



和桩基础计算理论的研究工作。

桩基础是公路和铁路桥梁基础的重要类型之一，并且有日益推广使用的趋势。桥梁桩基础有时采用单桩，但通常由承台和桩群组成。承台的作用是联结桩顶，将外荷载传给桩群，并可校正桩群施工位置和设计位置的偏差，以保证上部结构的准确位置。由于承台底面标高设置的位置不同，可将桩基础分为低桩承台和高桩承台两种。低桩承台是指承台底面标高位于最低冲刷线以下的桩基础（图1-1a），而高桩承台则是指承台底面标高位于最低冲刷线以上的桩基础（图1-1b）。

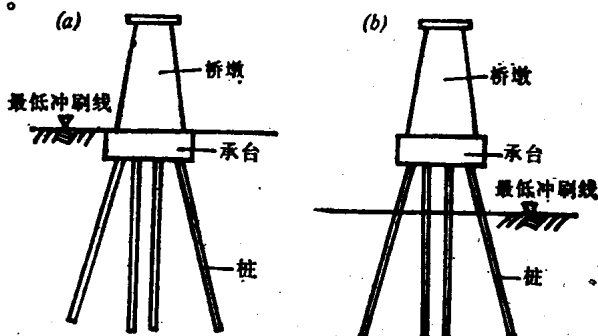


图 1-1

新修订的《公路桥涵地基与基础设计规范 JTJ 024-85》中取消了高桩承台和低桩承台的名称，统称基桩承台。同时也取消了关于低桩承台的判别和计算规定，采用与高桩承台一样的算法。其依据是认为两者在力学分析上不应有原则性区别，在桥梁桩基础中选用何者则应按受载大小、水文、地质、施工条件等因素综合考虑。一种观点认为，低桩承台考虑桩与桩间土共同承担承台传来的载荷，不仅可以减少桩数，有明显的经济效益，还可以减小基础沉降，对防渗和减小土的液化危

害也都有利。但要使低桩承台下桩间土起支承作用，是有许多条件限制的，我国最近在修订船坞规范时，曾作过这方面的试验研究工作。

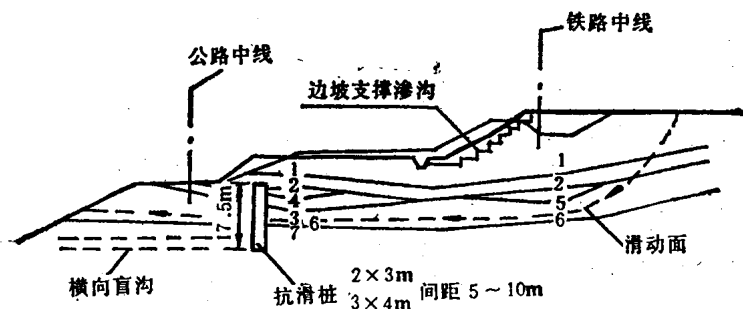


图1-2 103站滑坡横断面示意图

- 1-人工填筑土；2-砂粘土；3-粘土；4-碎石土；5-卵石层（二冰期）；  
6-昔格达层（间冰期湖积层）；7-卵石层（一冰期）

在滑坡防治工程中，国内外曾采用抗滑桩取得了良好的效果。例如四川省渡口铁路支线103站大滑坡，先后采用排水和挡土墙工程整治未能见效，后抢修了65根抗滑桩并设置了若干盲沟、支撑渗沟、排水沟等，才遏止住滑坡使路基得

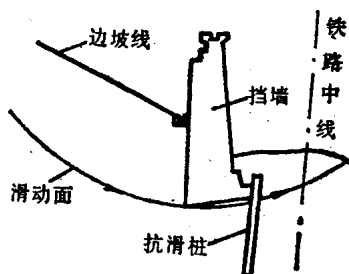


图1-3 英国铁路某滑坡横断面示意图

以稳定，情况见图1-2。国外采用抗滑桩的例子见图1-3和图1-4。甚至有在隧道顶上开挖公路，引起山体滑动，用抗滑桩成功地保护了隧道的例子。抗滑桩的计算原理即是受横向力作用的桩的计算原理。

树根桩 (root piles) 又称微型桩 (micropiles)，本世

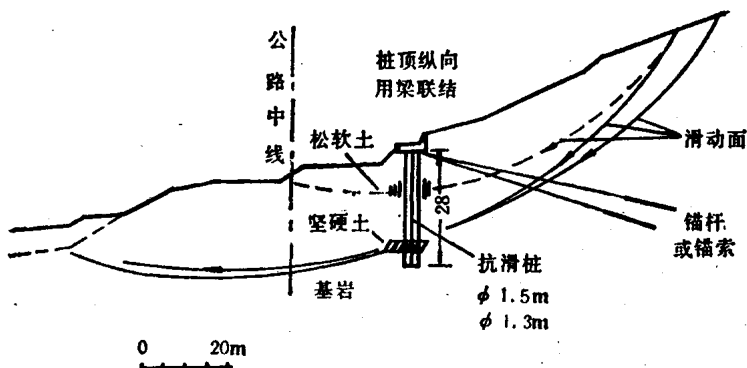


图1-4 奥地利公路某滑坡横断面示意图

纪三十年代首创于意大利，即是使用许多小型的钻孔灌注桩或钢管桩，使它们起到类似于树根那样的作用。它最初主要用于加固抢救古建筑，其突出的优点是施工空间小，可以在不破坏地基对原有建筑物的支承作用的条件下加固地基。现已扩大应用于许多场合，例如用网状树根桩体系加固路基、破碎的岩石边坡、拱桥地基等。我国1981年曾用树根桩加固国家重点保护文物苏州虎丘塔的地基。1983年又曾结合上海一座新建厂房地基加固的需要，作过软土中树根桩的试验研究工作。

在软弱地基上修建房屋，有时需要采用桩基础。图1-5表示建于桩基础上的水电站厂房，该处地质条件很差，采用桩基础可以防止因上、下游水位差引起渗流而可能带来的危害。上海宝山钢铁总厂建于软土地带（吴淞口），普遍采用了桩基础。曾遇到过因附近继续打桩特别是开挖土方引起土体变形，使已打好的桩出现了可观的水平位移的情况（软土

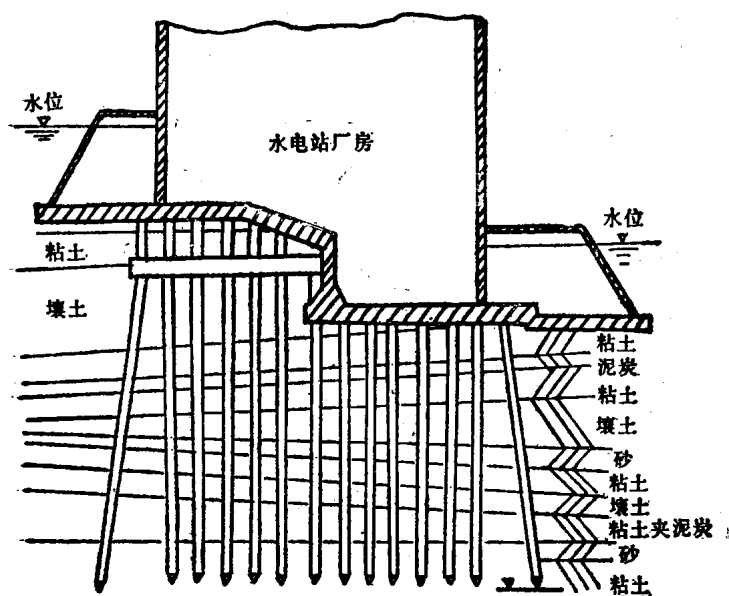


图1-5 修建在桩基上的水电站厂房

地基水平位移，可达开挖深度的  $1\% \sim 2\%$ ，甚至更大），并就此情况对桩的承载能力的影响，作过一些分析研究工作。

港口工程中常采用高桩承台码头和单点系泊建造。图1-6是一种高桩承台码头的示意图。图1-7a)所示为单点系泊建造。图1-7b)所示是货船栈桥码头所用的防护板和防冲桩，在船舶停靠时主要承受横向力的作用。

为开发海洋资源，近海工程已成为当今世界各先进技术中的一个重要方面。我国海域广阔，近海有极丰富的石油资源，它的开发对我国经济建设意义重大。海上石油开采平台，因其技术的复杂性，国外甚至有人把海上开发石油与人

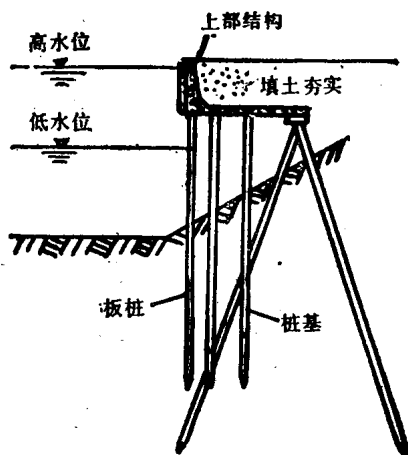


图 1-6

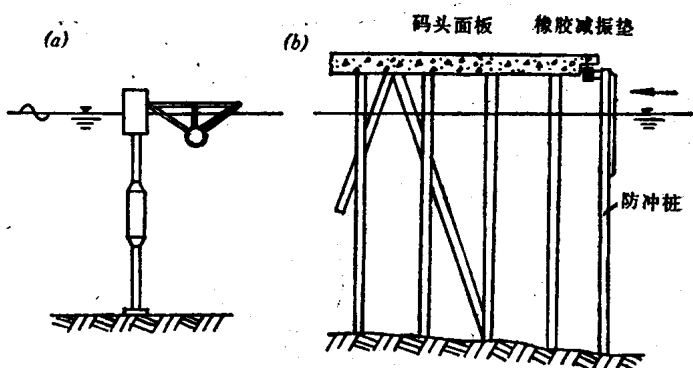


图 1-7

类登月相比，其中适用于水深 300m 处的，是用钢管焊成空间刚架作为平台支撑，底部用桩打入海底土中的“钢质异管

架桩基平台”(图 1-8)。适用于其他水深的尚有：全部用铰

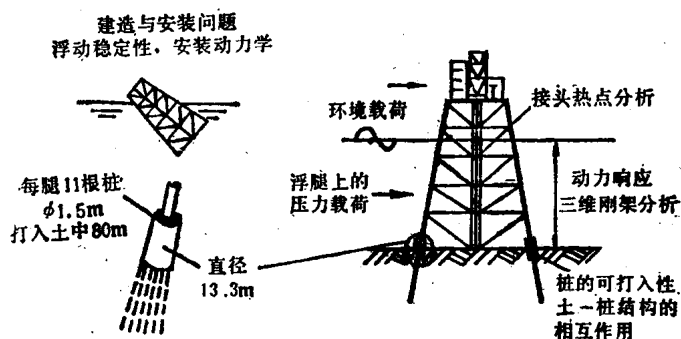


图 1-8

筋混凝土浇注, 依靠自重座落在海底上的“重力式平台”, 可用于水深等于 200m 的近海海域。用顶张力钢弦将平台固定于海底的“张力腿式平台”, 可用于水深小于 1000m 处。以及驳船用缆索锚固于海底的“锚泊式平台”, 可用于水深 1000m 处。

海工结构中, 当前我国设计部门最关心的是桩基础问题和基础稳定问题。因为海工结构造价的 40~50% 集中在基础上, 并且结构设计所需参数中, 最棘手的是地基参数。

1982年2月在厦门召开的“海上固定平台建造与入级规范”审查会上, 大连工学院、天津大学、中国科学院力学所等十单位提出今后几年的科研规划, 其中与桩和桩基础有关的课题就有:

1. 桩在水平静、动载荷作用下的性能研究及其承载力的计算, 确定  $p-y$  曲线。

2. 桩系相互作用，确定有关系数。
3. 群桩的受力分析及遮蔽效应。
4. 桩的深度对桩的侧摩擦阻力和端摩擦阻力的影响。
5. 桩的承载力分析程序，桩与导管架整体的静、动分析程序等。

我国在1986~1990年交通科技发展规划中，要求干线公路、海港和内河建设技术，都提高到新水平。其中深水高墩大跨桥梁上下部结构，海港大管桩结构，内河高水位差码头结构等项目要求，均与桩和桩基础有关。

总之，由以上可见，桩和桩基础的适用范围很广。在桥梁、房建、码头、堤坝、山坡抗滑处治、地基加固、海上开采石油支架等方面，都有重要而广泛的用处。并且随着我国公路、铁路、港口和近海工程的发展，桩和桩基础的应用和地位，更会日趋重要。

## §1-2 推力桩的计算方法 及其历史和现状

桩按受载特点主要分为：受轴向压力作用的桩，受上托力或轴向拉力作用的桩，受扭矩作用的桩，以及受横向载荷作用的桩。

受轴向压力作用的桩简称承压桩，它对下压荷载的总抗力，等于桩侧摩擦力和底端抗力两个分量之和。以桩侧摩擦力起主导作用的桩，称摩擦桩（图1-9a）。支承在岩石或坚硬土壤上，以底端抗力为主的桩，称端承桩（图1-9b）。填方地段，穿过填土进入天然土的桩，会受负摩擦力作用，称负摩擦桩，负摩擦力是指填土下沉在桩侧表面产生的下拖力

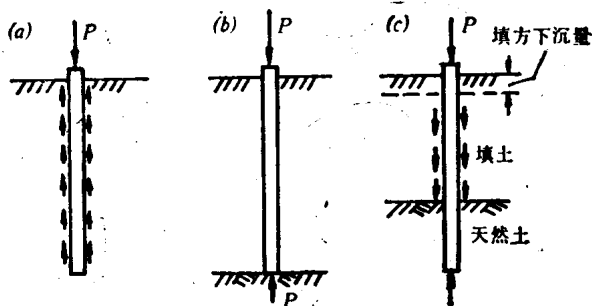


图 1-9

(图1-9c)。

承压桩有许多值得研究的问题。例如对它的承载力和沉桩能力(桩的可打入性)的分析,采用波动方程解法,国内外都做过大量的工作。又如负摩擦桩,如何确定负摩擦力的大小、分布以及摩擦力为零的零点位置,都有值得研究的问题。有过用压桩和拔桩两组试验预估填土负摩擦力的尝试。试验表明,非饱和粘性土填土下沉对桩所产生的负摩擦力数值,不等于桩顶受压使桩下沉时填土对桩所产生的正摩擦力数值。而且从定性上看,负摩擦力小于正摩擦力。桩头扩大的承压桩和完全嵌岩的承压桩的承载能力,也都需要深入研究。

诸如干船坞、地下室及泵站等上浮结构物下的桩,就需要抵抗上托载荷的作用。又如当桩基础需要抵抗倾覆力时,其中一部分桩将会受到拉力作用(图1-10)。最典型的受拉桩的例子是锚桩,即在岩石中钻孔,插入高强钢丝束,再用



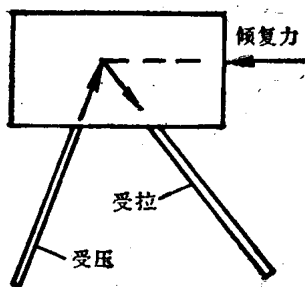


图 1-10

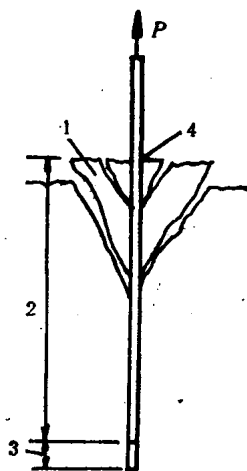


图 1-11

高压灌浆，使其周围与岩石固结。锚桩受轴向拉力作用的破坏，通常如图1-11所示。因为需将周围岩石按锥体拔出，故能抵抗相当大的拉力，是一种代替缆索锚碇的先进装置。1984年2月，在四川省铜街子大渡河右岸，曾作过锚桩的单拔和双拔试验。该处的地质条件是不规则裂隙发育的致密块状玄武岩。锚桩的孔径0.1m，孔深有1.5m、3m、6m三种规格，安放由40根 $\phi 5$ 高强钢丝扎成的双层钢丝笼，压入300号水泥砂浆，待凝结硬化达到强度后，用精镗桩将钢丝灌注在套筒内，作为拉拔锚头。试验表明，即使是孔深1.5m的锚桩单拔，承受100kN的拉力，仍未将它拔出，其强大威力是令人感兴趣的。

受扭矩作用的桩，称受扭桩，其研究至今未受到足够的重视。虽然有承台的群桩，可以用桩承受横向力来抵抗扭矩，即用推力桩代替受扭桩，但对单根受扭桩的性状，以及扭转时桩-土共同作用的规律，仍有单独作研究的必要。