

The Sparse Pile Foundation
Theory and Practice

疏 桩 基 础
理论与 实践

管自立 著

中国建筑工业出版社

疏桩基础理论与实践

管自立 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

疏桩基础理论与实践/管自立著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-112-17671-7

I. ①疏… II. ①管… III. ①桩基础-研究 IV. ①TU473

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 012880 号

本书以疏桩基础为主题, 系统介绍了疏桩基础的基本理论、设计方法及工程实践。同时, 编录作者有关软地基础工程及港湾工程方面的文章, 其内容有较好的可读性和启发性。全书共分三部分: 疏桩基础、软土工程、岩土思考, 共 18 章。

本书可供土木、建筑工程、港湾工程类专业设计和施工人员在学习应用复合桩基及地基础设计施工时参考使用, 也可作为土木、建筑、港湾工程类大专院校师生、研究生的参考用书。

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 董建平

责任校对: 李欣慰 刘梦然

疏桩基础理论与实践

管自立 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{3}{4}$ 字数: 323 千字

2015 年 9 月第一版 2015 年 9 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-17671-7

(26895)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

20 世纪 80 年代初，笔者在承担扩底桩试验研究及水泥石灰加固软弱地基试验研究等课题的同时，由于作为国家标准《建筑地基基础设计规范》74 版修订组成员的工作需要，又承担了对温州软土地基基础处理方法进行调查调研的工作。

记得第一次去温州时，入住刚建成开业不久的鹿城饭店。走近该饭店，但见其外墙窗口下多有八字形裂缝，而其门厅地面则低于人行道面约两级台阶。第二次去温州时入住建成较早的华侨饭店。当晚下雨，次晨下楼但见大堂已淹水盈尺。上述印象至今历 30 余年而记忆犹新。

那次调研工作得到了温州市领导及建筑设计施工部门的热情支持。调研小组由胡显钦（时任副市长）、李凤霖（时任市土木建筑学会理事长）、马云博（时任市建筑设计院院长，不久调任副市长）等领导以及何正筹、钱振荣、管自立、黄云方等市内主要负责工程师等组成。他们在百忙之中介绍情况，提供图纸资料，陪同察看现场，并且几乎无不坚持参加每一次会议，共同分析、讨论研究。

笔者与管自立学弟即是在那次调研工作中相识。由于笔者当时正在华东水利学院（即今河海大学）兼职指导研究生，而自立学弟是华水港工专业的高才生，毕业后留校任教十余年，才在近年调回其故乡温州，从事软土地基设计研究工作。两人忝有校友之谊，相互交流时多了一些话题。

温州是我国著名的软土地区。地表仅有极薄的硬壳层，软土的埋藏浅、厚度大，各项土工指标与浙江的杭州、宁波、舟山及省外的上海、天津、广州、福州等地相比，多以温州的为最差。

自 20 世纪 70 年代后期开始，温州由于旧城改造和经济发展的需要，成片的住宅、商业用房、办公楼及轻工厂房相继兴建，建筑物的层数逐渐增加，新的街区次第形成。而与此同时，伴随而来的是不少建筑物产生了过量的沉降和差异沉降，墙体裂缝几成常事，有的建筑物发生下沉倾斜，造成了近旁道路开裂塌陷，或影响相邻新老建筑物的正常使用或危及安全，有的受影响的工厂甚至长期不能恢复生产。而为处理此类因建筑物下沉而引起的问题或纠纷，温州市建委等有关部门牵扯了很大的精力。温州的软土地基处理的技术问题，已演变成了影响市民生活和生产安全的一个社会问题。

调研工作历时三个月，认真梳理了问题，并根据当时的知识水平，参照国内外有关的经验，提出了一系列建议和措施。

孰料，笔者刚回杭州写完调研报告，即被派往国外承担一项大型工程任务。直到完成该项任务回国，虽常心系温州软土，却一直无缘再去温州。

后约至 1987 年，笔者获悉了管自立学弟倡导的“疏桩基础”的报道，深感欣慰。因当时笔者已学习了墨西哥 Zeevaert 教授关于“补偿基础”的理论，并翻译了他的名著《难处理地基的基础工程》等书，深知墨西哥是世界著名的软土地区，软土的含水率高达

100%以上,因此觉得自立所提出的“疏桩基础”与 Zeevaert 的“补偿基础”颇有别树一帜而异曲同工之妙。这些创新思维和理念,颠覆了传统的理念,突破了传统设计方法的框框。

随后笔者获悉,我国土力学教育的先行者、我国岩土工程学科的奠基人之一、先师俞调梅教授,以及我国桩基工程领域的前辈施履祥先生、钱家欢先生、童翊湘先生等都对“疏桩基础”的理念和设计实践表示认可、赞赏和鼓励。

几乎与自立提出“疏桩基础”的同时,上海的黄绍铭先生提出了“减沉桩”的理念和设计方法,并做了大量的工程实践。“疏桩基础”与“减沉桩”都是旨在因地制宜地充分发挥地基土、桩和承台以至上部结构的共同作用,虽各有侧重,而其共同目标都是为了节约资源和降低工程造价。这些新的设计方法,必然都会受到学术界和工程界的重视,并付诸工程应用,裨益国家建设。相对于黄绍铭的“减沉桩”,有的学者将管自立的“疏桩基础”称为“协力桩”。

笔者主编的《实用桩基工程手册》(中国建筑工业出版社,1999)、《桩基工程手册(桩和桩基础手册)》(人民交通出版社,2008)以及高大钊教授主编的《岩土工程的回顾与前瞻》(人民交通出版社,2000)等书均对“疏桩基础”分别作了较详细的介绍。即将出版的《桩基工程手册(桩和桩基础手册)》第二版将有3章约25万字阐述复合桩基的理论和设计方法,其中即包括了自立学弟的“疏桩基础”。

自立学弟兼跨学科,理论基础扎实,科研思维活跃,近数十年为祖国各地建设事业贡献良多。

最近,自立学弟拟将其历年发表的有关“疏桩基础”的论文和相关科研成果整理结集出版,他将其全部书稿发来,要笔者审阅指点,并作序评介,此诚快事,而实不敢当。为此,笔者很高兴地回顾了上述“疏桩基础”产生的历史背景,谨以此表示祝贺其大作问世。

是为序。

史佩栋

“七七事变”七十七周年纪念日

于大运河终端·北景菊香·融畅微舍

时年八十有八

史佩栋先生,中国《岩土工程丛书》编审出版委员会主任委员、浙江省建筑科学设计研究院教授、中国工程机械学会桩工机械分会名誉理事长、浙江省建筑业行业协会地下工程分会创办会长

前 言

本书早在 2010 年已形成初稿框架,但常感有不尽人意之处。2014 年再次对全书内容进行重组,同时以工程应用模式撰写,可以满足不同读者的需求与兴趣,各取所需。全书内容主要取自作者第一性工程实践经验。内容具有真实性、实用性、科学性。最后增写了第 3 部分“岩土思考”篇章,如愿完成本书的撰写并顺利脱稿出版,历时三年有余。全书共分三部分,“疏桩基础”、“软土工程”、“岩土思考”共 17 章。

本书重点论述了软土地基上的疏桩基础及其复合桩基等内容,同时分析了软地基基础的基本特性及其特征,以及岩土工程常见的、难处理工程问题的剖析与应对技术。

通读全书,从中可以了解有关软土地基基础工程设计的基本论点及概念性设计与分析:

一、悟出了“生命土力学”介绍趣味的岩土工程案例、论述岩土工程有关哲学思想及概念性、理论性的分析。

二、提出了岩土工程实施的“蹊路”,归纳于:(1)共同作用与理论分析相结合;(2)理论分析与计算结果相结合;(3)计算结果与判断分析相结合;(4)判断分析与构造措施相结合。运用统筹法与岩土哲学作优化设计,作为岩土工程的实施路径。

三、叙述了疏桩基础由来与发展、提出疏桩基础实用设计方法、总结了“疏桩基础”设计的要点,归纳为两个“八个字”要则:即“长桩疏布、宽基浅埋”与“均衡疏桩、疏而不漏”。

四、论述了基础设计一般性的准则与软弱天然地基的工程隐患与弊端,归纳为“三个怕”即“纵向怕裂、横向怕倾、竖向怕沉”,并分析了基础设计的“必要与充分”的通解条件,提出疏桩基础“双控设计”概要。

五、提出了软地基基础设计的主导思路可归纳为“四句话”:即“以刚制柔”的工程对策;“扬长避短”的技术措施;“因地制宜”的辨证施治;“统筹优化”的方案论证。

六、分析了建于软弱地基上建筑物的受力与形变总特性,归纳为“横向受力、纵向形变”及结构共同作用的“应力、应变释放期”的概念。

七、对软地基上“难处理工程”的大面积堆载工程、大倾斜危房纠偏等,提出了作“共同作用的工况与破坏机理分析”概要。

八、应用弹性力学基本原理与弹性地基基础梁的热莫契金连杆法原理,成功解决若干复杂的工程设计的计算简图,例:疏桩基础工作计算简图、石砌圆形水池设计计算简图、弹性地基上短梁计算简图、天然地基基础梁计算简图。

九、介绍简化算法、实用算法一些解题思路,例:柔性高桩台岸壁简化算法、高桩墩台码头实用设计法、多层土坡稳定分析优选法等。

十、剖析现行淤泥、黏土类地质条件下的地下工程抗浮设计若干问题,提出了永久性地下工程支护结构与地下工程共同作用做设计,可望实现建筑节能。

十一、针对我国沿海围海造地工程崛起,提出了综合处理技术措施,把结构措施与地基处理相结合,提出了倒筏板地坪与地基共同作用。

感谢史佩栋学长对我关心与帮助,欣然同意为本书作序,感谢多年来、多次给作者寄来有关桩基方面的科技情报,同时学习了由他翻译的墨西哥 Zeevaert 教授名著《难处理地基的基础工程》中的“补偿基础”理论;也是促成作者萌发了“疏桩基础”的设计思路。

感谢浙江大学龚晓南院士,温州市建筑设计研究院张清华总工为“刚-柔性复合桩基技术规程”的制定作出的支持。

感谢浙江大学顾尧章教授为积极推广“疏桩基础”,于1992年6月安排作者在杭州科技馆会堂,给杭州工程界的同仁们作了“疏桩基础”的专题报告(由浙江省地基基础学术委员会组织召开)。

感谢建筑结构编辑部对“疏桩基础设计实例分析与探讨”一文给予作者热诚的支持与鼓励(1992.11.1审稿函:……最后,我们向您为积极推广先进科学技术而付出的辛劳表示敬意!),而记忆犹新,推动作者持续进行“疏桩基础”工程实践。

“疏桩基础”的推广应用,得到中国建筑科学研究院地基基础研究所、温州大学、温州市城乡建设委员会关注与支持,于1990年与温州市建筑设计院共同申报浙江省自然科学基金项目“疏桩基础应用研究”(见附录5)。

感谢岩土工程前辈:同济大学俞调梅教授、河海大学钱家欢教授、上海民用设计研究院顾问总工施履祥学者、浙江工业大学史如平教授(见附录4)等在百忙中就“疏桩基础”论文(1987年浙江省建筑年会交流资料)提出了许多宝贵的意见及建议。

同时感谢温州市建筑设计研究院,温州市民用建筑规划设计院,浙江同方建筑设计有限公司,温州市城建设计院,浙江华东建设设计有限公司的热情支持。

感谢林为哨高级工程师协同进行多项的工程实践,并取得了成功经验。

感谢中国建筑工业出版社王梅主任对本书的内容与目录作相关修正及审定。

本书内容由温州同力岩土工程技术开发有限公司管光宇经理进行整理与部分修改。

由于作者水平有限与工程实践的局限性,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

管自立

于甲午年九月初六

目 录

第一部分 疏 桩 基 础

第一篇 基 本 理 论

第 1 章 概 论	1
1.1 概述	1
1.2 我国的起源	2
1.3 设计思想与关注度	2
1.4 设计方法探讨	3
1.5 研究与回顾	5
第 2 章 疏桩基础设计原理	9
2.1 概述	9
2.2 复合地基	10
2.3 复合桩基	10
2.4 基础分类	13
第 3 章 疏桩基础初次应用	16
3.1 概述	16
3.2 对比工程案例介绍	16
3.3 技术经济指标对比	19
3.4 有关问题的讨论	21
3.5 技术背景漫话	22
第 4 章 疏桩基础原型试验	25
4.1 疏桩基础现场试验目的	25
4.2 荷载与沉降的现场原型试验	25
4.3 荷载与应力的现场原型试验	27

第二篇 设 计 方 法

第 5 章 疏桩基础实用设计法（一）（承载力控制计算）	30
5.1 概述	30
5.2 疏桩要则	30
5.3 疏桩基础模拟设计状态	31
5.4 疏桩基础承载力设计状态分析	38
5.5 疏桩基础承载力安全系数分析	38

第 6 章 疏桩基础实用设计法 (二) (沉降量控制计算)	40
6.1 概述	40
6.2 沉降计算—以地基土的沉降来完成	40
6.3 沉降计算—以桩基沉降来完成	41
6.4 疏桩基础沉降简化估算法	43
第 7 章 疏桩基础实用设计法 (三) (疏桩技术)	46
7.1 概述	46
7.2 疏桩基础设计步骤	47
7.3 工程实例	47

第三篇 工程实践

第 8 章 实用设计条文与施工要点	56
8.1 疏桩基础一般规定	56
8.2 复合体桩类型	57
8.3 复合体承载力补偿值设计	58
8.4 复合体下卧层承载力验算	58
8.5 复合桩基基础内力计算	59
8.6 复合桩基计算用表	60
8.7 疏桩基础的施工与检验	61
第 9 章 疏桩基础工程实录	63
9.1 常规型疏桩基础工程实例	63
9.2 广义疏桩基础工程实例	67
9.3 荣欣家园工程实例	78
9.4 西堡锦园工程案例	82

第二部分 软土工程

第 10 章 软基工程实践回顾与思考	96
10.1 难处理的工程	96
10.2 创新工程技术	97
10.3 创新计算技术	97
第 11 章 软基础设计原理	99
11.1 概述	99
11.2 建筑物与地基土的接触应力一般特性分析	100
11.3 软土地基上的建筑物内力计算探讨	101
11.4 软基上建筑物的某些工作规律	102
11.5 软土地基上常见工程弊端及其预防措施	104
第 12 章 难处理软地基基础工程案例	107
12.1 纵向折板基础	107
12.2 大倾斜危房纠偏	112
12.3 大面积堆载	116

12.4 围海造地地基、地坪综合处理技术	119
第 13 章 创新工程技术的应用	127
13.1 预制 X 形异型桩	127
13.2 预制排渣桩	130
13.3 刚构式结构码头	132
第 14 章 创新计算技术应用	134
14.1 石砌圆形结构贮液池理论计算	134
14.2 弹性地基短梁内力求解	137
14.3 柔性高桩台岸壁结构简化算法	139
14.4 高桩墩台双弹性中心法	142
14.5 土坡稳定运筹法	149

第三部分 岩土思考

第 15 章 常见工程的现象剖析	153
15.1 引言	153
15.2 案例趣谈	154
15.3 结语	169
第 16 章 感悟地下工程设计	170
16.1 引言	170
16.2 “共同作用”的内涵释义	170
16.3 现行地下工程的抗浮设计几个商讨问题	171
16.4 地下工程抗浮设计案例剖析	173
16.5 基坑支护结构与地下本构共同作用剖析	176
第 17 章 岩土工程“共同作用”的理论与思考	178
17.1 引言	178
17.2 共同作用的原理	179
17.3 共同作用的方法	181
第 18 章 岩土工程哲学的理论与应用	184
18.1 引言	184
18.2 岩土工程实施路径	184
18.3 岩土工程哲学理论	185
18.4 工程设计中有关的岩土哲学	187
18.5 几个问题的探讨	189
附录 1 我国岩土工程先驱者——同济大学俞调梅教授的来信函	193
附录 2 我国岩土工程先驱者——河海大学钱家欢教授的来信函	194
附录 3 我国岩土工程先行者——上海民用建筑设计院顾问总工施履祥学者的来信函	195
附录 4 我国岩土工程先行者——浙江工业大学史如平教授的来信函	197
附录 5 浙江省自然科学申请表——疏桩基础应用研究	199
附录 6 作者自述——我的岩土之路	201
附录 7 温州日报新闻报导—瓯越之子 76——记软地基基础专家管自立	206
参考文献	207

第一部分 疏桩基础

第一篇 基本理论

疏桩基础是建立在桩、土共同作用的基础上,在工程实践中发展起来的。本篇较系统地介绍了疏桩基础的由来与发展、设计原理、现场试验及有关工程案例分析。相对于常规概念桩基础而言,疏桩基础还处在初始发展阶段,许多问题还有待更多志同道合者去研究、去开发、去实践。

第1章 概 论

1.1 概述

近年来随着桩、土共同作用的理论发展,出现了一种具有比常规设计的桩基用桩量少,桩的间距比常规桩基础要大,上部荷载由桩基与桩间土(天然地基)共同承担的桩基础,称为疏桩基础。实质上,它是桩基技术的发展,是天然地基基础的延伸,是桩基基础与天然地基之间的一种过渡型的基础形式。

我国著名岩土工程前辈河海大学钱家欢教授于1988年5月1日就“疏桩基础”^[1]一文指出“…关于疏桩基础,对于沉降不很重要的建筑物,是可取的。如果布置不妥而引起较大差异沉降建筑物容易裂缝,所以疏桩可以不同程度的“疏”来采用,确保沉降或差异沉降的安全,事实上疏桩如果疏到没有桩,那就是以筏式基础来代替”[见附录2]。

疏桩基础顾名思义是对桩基础进行疏化,当把“疏”字,作为副词理解是稀少的含义,可以理解为“少桩基础”。当把“疏”作动词理解是对桩基础作疏化、精减的处理,可以不同程度地疏。“疏”、桩的数量可减少,间距可放大。“疏”、单桩的承载力可提高,桩控制沉降功能可发挥。所以,疏桩基础“疏”是关键。

随着对桩基础进行疏化,地基土桩的含量自然就不同,疏桩基础的工作性状与特性随着桩的含量不同而不同;这就符合“量变到质变”的定律。所以研究疏桩基础必须引入疏桩率 η 概念。并用式(1-1)表示基础的用桩率,并称 η 为疏桩率。

$$\eta = (N_p - N_{sp}) / N_p (\%) \quad (1-1)$$

式中 N_p ——常规方法设计的总用桩重(根);

N_{sp} ——疏桩基础设计的总用桩量(根)。

上式的疏桩率 η 物理意义就是疏桩基础用桩量对比按常规桩基础、减少的百分率。当基础疏桩率等于零时 ($\eta=0$), 就是常规的桩基础; 当基础疏桩率等于 100 时 ($\eta=100$), 就是常规的天然地基。当 $0<\eta<100$ 时, 就是疏桩基础, 所以说疏桩基础是由天然地基基础向桩基础过渡的过渡型基础。

1.2 在我国的起源

桩基技术发展同步于人类文明史, 我国余杭县河姆渡发掘木桩遗址是见证我国具有五千年文明史, 今天的桩基不只是桩技术的专有, 已发展用于地基处理。同样, 地基处理技术发展, 也不只是地基处理专有, 已发展用于桩基技术。这种交融的发展在各类学科中已不是稀罕的。

疏桩基础改变传统桩基设计理念, 即建筑物上部荷载不再是单一由桩基承担。在我国原生态的疏桩基础, 起源于旧上海。我国著名岩土工程前辈同济大学俞调梅教授于 1988 年 3 月 24 日就“疏桩基础”^[1]一文指出“…在旧上海三四十年代也有过类似的疏桩基础, 在处理暗浜基础等, 您的尝试值得欢迎, 鉴于目前用桩过多过密的事实, 采用疏桩基础是无可非议”[见附录 1]。

把桩、土共同作用的理论发展于“疏桩基础”则来自 1987 年在上海与温州两地软基工程实践, 并分别称为“沉降控制复合桩基”与“疏桩基础”。“疏桩基础”^[1]一文最早见于 1987 年浙江省建筑年会交流资料。

温州与上海地基是我国典型的软弱地基, 上海地基土的承载力上海人口头语“老八吨”; 温州地基土只能叫得上“老六吨”。这里引用的“老”字, 作者理解是指有地表硬壳层的“老土”存在才能达到该数值。可见疏桩基础的诞生背景是软弱地基土。

我国《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 则把上述复合桩基与疏桩基础合并称为“减沉复合疏桩基础”。这种以桩间地基土作补偿的桩、土共同作用为主要特点的复合桩基可称为狭义的复合桩基。

1.3 设计思想与关注度

温州市建筑设计研究院于 1986 年首次提出了疏桩基础设计思想, 提出了用桩来补偿天然地基, 利用天然承载力来减少桩基的新构思, 使桩基与天然地基达到互补效应。并进行了常规桩基与疏桩基础对比工程实践尝试。

在我国疏桩基础诞生, 引起了学术界、工程界关注, 谷歌网站就疏桩基础作了学术关注度统计分析(图 1-1)。

疏桩基础的历史回顾:

历史事件: 上海民用建筑设计院和温州市建筑设计院分别自 1987 年起在实际工程中应用疏桩基础, 并在实践中提出设计计算方法并取得显著成就。

学术关注度(1996年~2008年)

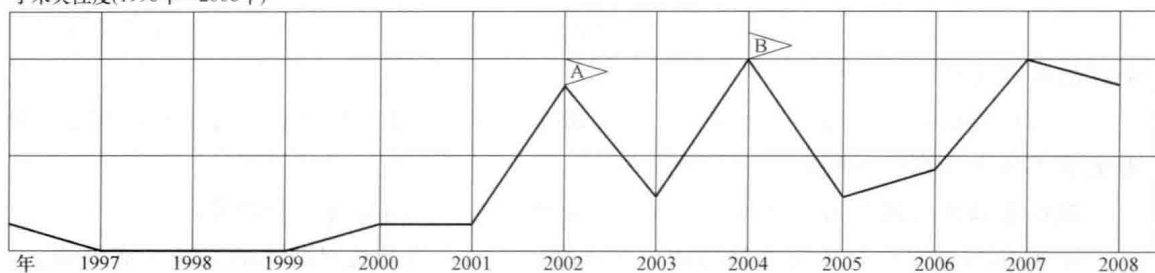


图 1-1 疏桩基础学术关注度：1996~2008 年见上述曲线

20 世纪 50 年代起国外采用的类似的复合桩基有：“附加摩擦桩的补偿基础 (compensated foundation with friction piles)”、“减少沉降量桩 (settlement reducing piles)”、“桩筏 (pile-raft system)”等体系。

桩与土的共同作用机理是复杂的，实质上软弱地基土对桩的容量也有一个度的限制，不是桩越多沉降越小；根据我们初步实践，认为地基土对桩存有一个最佳桩容量；对应最佳桩容量建筑物沉降量为最小（详见第 9 章【工程实例 1】）。

上海民用建筑设计院顾问总工施履祥学者于 1988 年 3 月 13 日就“疏桩基础”^[1]一文指出：

(1) 疏桩与密桩，我个人认为密桩不见得沉降少，这次在你的对比工程中得以证实，但一般设计中用到 $6d$ 为止，而你的典型工程用到 $9.8 \sim 14.8d$ 而没有问题，的确难能可贵。

(2) 上海在新中国成立前和新中国成立初期，是将地基强度扣除后再算余下荷载由桩来承担，这样考虑桩土共同作用，我在 1981 年作了这一方面试验……我在第二次编上海地基规范时引用了这一经验，在暗浜中处理地基时，可扣除地基强度 $3t/m^2$ ，然后由短桩承担，那是很多资料证实的。

随着疏桩基础概念的发展和实际工程应用的扩大，常规疏桩基础已不适应当今建设事业的发展，近年来作者根据软土地基的特点，提出了广义复合桩基，申请了国家发明专利“复合桩基及其设计方法”^[9]。在其复合桩基的桩间土施加增强体，它把桩基技术与地基处理技术复合在一起，逐步形成了广义复合桩基的概念并应用于实际工程。

因为常规复合桩基有很大的局限性，须知，如果仅有 $6 \sim 8t$ 地基承载力作复合桩基的补偿设计，自然其应用范围直接受到限制。

2010 年“刚-柔性复合桩基”成为浙江省工程技术标准 (DB33/T 1048—2010)^[12]，标志着复合疏桩基础进入了一个新的应用阶段。

1.4 设计方法探讨

从疏桩基础的工作特性分析，它不同于常规桩基础，也不同于常规的天然地基基础，从弹性力学基础梁分析它是一个多变量的接触应力问题，精确解答涉及数学上的困难。目前，复合桩基及疏桩基础的设计方法在工程界、学术界还处在探索与初步实践阶段。正如

浙江工业大学史如平教授于1988年3月11日就“疏桩基础”^[1]一文来函指出:

……还由于软土性质的复杂性,一种新的方法要得到社会的认可与推广往往要经历一条可能是“漫长”的路程。

我从您的论文中得到有益的启示,作为教学工作者,在一定场合我可以作此宣扬,使有更多实践者能在这—领域有所推进。……

疏桩基础的共同作用,具体用于成就的设计还有一些尚待进一步研究:

1. 我不知道温州软土是欠固结的还是正常固结的,因为这对将来的沉降是有影响。

2. 承台承担看来占很大比重,承台受力后,使其下的土体受到压缩沉降,则对桩来说相当于受到负摩擦的作用,这之间关系如何?

具体来说,到底桩分担了多少荷载?这是设计者很关心的。……

就目前提出的方法作者把它归为以下两类:

一类:直接以承载力作初始控制指标(已知条件),进行复合桩基设计,来确定桩的数量(由温州市建筑设计研究院提出)。就是根据建筑物的重要性、建筑物自身整体刚度以及按常规桩基础设计的桩位图,事先初步设定控制目标疏桩率,并按第一设计状态即承载力极限状态,进行承载力的桩间土补偿计算,由于它把“承载力”作为初始控制指标,所以简称为“以承载力为控制指标”设计。

桩在初步完成疏桩基础平面图,确定桩长、桩的布置以及承台底板尺寸等后,再计算建筑物的沉降量。此时,应按第二设计状态作沉降量计算,根据计算沉降数值,确定是否需要预留沉降量,或者再调整设定的目标疏桩率。

二类:直接以沉降量限值作控制指标(已知条件),进行复合桩基设计,来确定桩的数量(由上海市民用建筑设计研究院提出)。就是根据建筑物的重要性与整体刚度,事先设定建筑物的允许沉降量,并以此沉降量为控制目标,按第二极限设计状态即正常使用荷载长期效应组合,计算确定用桩量。在上述初步确定用桩量与桩承台尺寸后,再根据第一设计状态作承载力极限状态验算,验算其是否满足承载力安全值要求,决定是否调整承台的承载力补偿量或桩增加量。具体设计步骤详见参考文献,该方法由于把“沉降量”作初始控制指标,所以简称为“以沉降量为控制指标”设计。

上述两种方法反映了我国科技人员在复合桩基这个领域上的研究成果与不同的学术流派。实质上是一个概念范畴上的不同思路与不同的设计方法及工程手段。其总体皆在发挥桩与桩间土的共同作用的潜在正能量,利用桩体控制沉降作用,利用复合体加强桩间土的刚度(压缩模量)提高桩间土与桩体协同工作的能力。

上述两种设计方法它们都满足:

(1) 以平衡条件为设计依据作控制承载力设计;

(2) 以变形条件为设计依据作控制沉降量设计。

所不同只是所取的未知变量不同:

方法1把未知变量承载力分配为定值,可理解为杆件系统结构力学“力法”;

方法2把未知变量沉降为定值,可理解为杆件系统结构力学中的“变位法”。

我们把上述的设计方法用图1-2来表述,就一目了然。

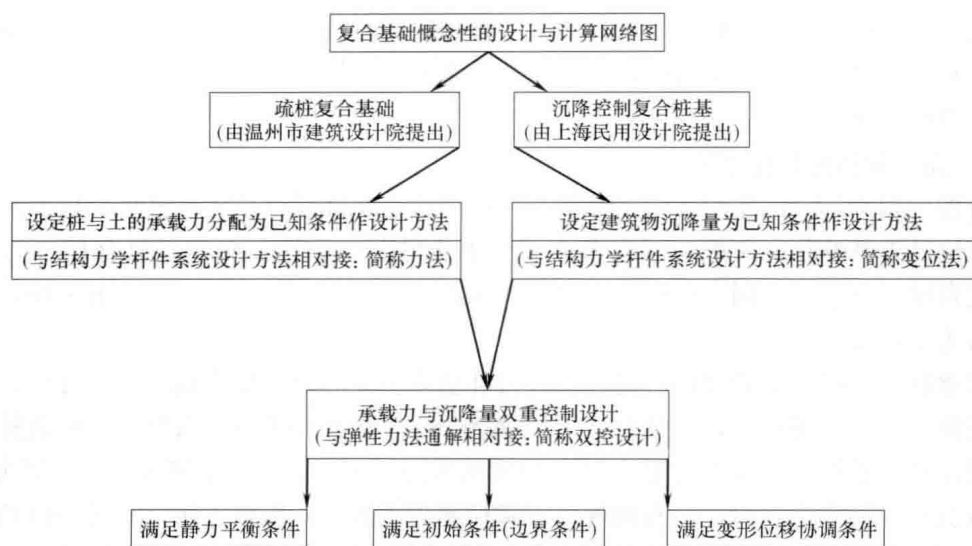


图 1-2 复合桩基设计方法通解图

1.5 研究与回顾

1.5.1 相关专家的论述^[24]

复合桩基这个领域上，上海市建筑设计研究院、温州市建筑设计研究院、同济大学、南京建筑工程学院、天津大学等单位均有显著的成就。

近 20 年来，我国工程界、学术界在复合桩基、复合地基进行了大量的研究与应用。许多学者各自提出了深层次的学术观点有力推动了这一学科与技术的发展。

上海市建筑设计研究院黄绍铭学者等在“减少沉降量桩基的设计与初步实践”^[25]一文中，把这种减少沉降量设计的桩基础称为“沉降量控制的桩基础”。

同济大学杨敏教授在“以沉降为设计目标的减少沉降桩基础为研究”^[26]一文中，把这种减少沉降量设计的桩基础称为“少桩基础”。它通常是以沉降量控制来确定桩的数量。

南京建筑工程学院宰金珉教授在“复合桩基设计理论与工程应用”^[27]一书中指出：实质上“疏桩基础”是从天然地基基础向桩基础过渡的中间型的一种“复合基础”。并称为“复合桩基”。同时，提出复合桩基应按“双重控制”设计，桩的承载力发挥值取用近于极限承载力。

天津大学郑刚教授等在“复合桩基设计若干问题分析”^[28]一文中根据桩的设置目的与作用的不同，把疏桩基础划分于“控沉疏桩基础”与“协力疏桩基础”。

冶金工业设计院刘惠珊学者，论证了疏桩基础可以应用到 30 层以内高层建筑，并提出了疏桩基础沉降计算方法^[30]。

1.5.2 龚晓南教授的论述^[29]

在深厚软黏土地基上按桩设计的摩擦桩基础时，为了节省投资，管自立（1987）采用稀疏布置的摩擦桩（桩距一般在 5~6 倍桩径以上），并称为疏桩基础。疏桩基础比常规桩

基础理论设计的常规摩擦桩基础用桩量要小，但沉降量要大。采用疏桩基础，考虑桩间土对承载力的直接贡献，以较大的沉降换取工程投资的节约。当沉降控制在合理范围内，采用疏桩基础是可行的。有关疏桩基础的论文的发表引起学术界和工程界很大兴趣，各地都开展了类似的研究。

1.5.3 高大钊教授的论述^[23]

将桩土和基础共同作用的研究成果推广应用于桩基础设计，考虑桩长、桩的刚度、桩数、桩位对桩基性状的影响，同时考虑承台下土的分担作用，提出了复合桩基的设计思想。复合桩基有两种不同的思路：一种是以承载力控制为主的设计方法；另一种是以沉降控制为主要特点的方法。

以承载力控制为主的设计：是以承载力补偿为主要原则的复合桩基设计方法，典型的例子是浙江温州市建筑设计院管自立于 20 世纪 80 年代初提出的，按预定目标疏桩率进行疏化设计和《建筑桩基技术规范》94 版规定的考虑承台底阻力的单桩承载力计算方法。

以沉降控制为主的设计：有两种以沉降控制为主的桩基设计方法，一种是以控制沉降量为原则，典型的例子是上海地基基础设计规范的沉降控制复合桩基，另一种是 2008 版《建筑桩基技术规范》中的软土地基减沉复合疏桩基础。

1.5.4 史佩栋教授的论述^[31]

温州是我国著名的软土地区，地表仅有极薄的硬壳层，软土的埋藏浅、厚度大，各项土工指标与浙江的宁波、舟山、杭州及省外的上海、广州、福州、天津等地相比，多以温州的为最差（见图 1-3 和表 1-1）。

自 1970 年代后期开始，温州由于旧城改造和经济发展的需要，建筑物的层数逐渐增加，新的街区次第形成。建筑物产生过量的沉降和差异沉降使墙体出现裂缝几成常事，有的建筑物发生下沉倾斜，造成了近旁道路开裂塌陷。温州的软土地基处理的技术问题，已演变成了影响市民生活和生产的一个社会问题（见图 1-4~图 1-7）。

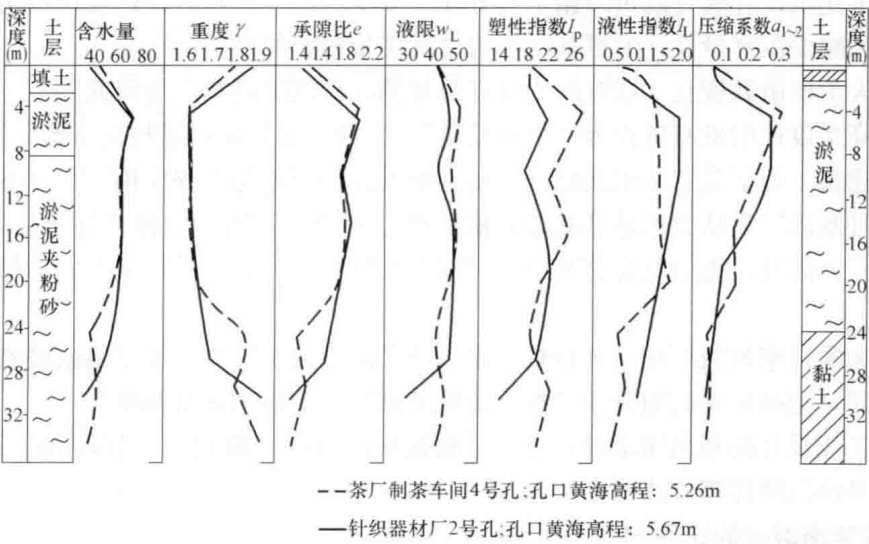


图 1-3 温州土工指标图

浙江省内外主要软土地区的物理力学性质

表 1-1

地区	成因	埋深 (m)	含水量 w (%)	重度 γ (g/cm ³)	孔隙比 e	液限 w_L	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	压缩系数 a_{1-2}
温州	泻湖相	1~35	63	1.62	1.79	53	30	1.5	0.193
宁波	滨海相	2~12	56	1.70	1.58	46	19	1.23	0.093
		12~28	38	1.86	1.08	36	15	1.11	0.072
舟山	滨海相	2~14	45	1.75	1.32	37	18		0.110
		17~32	36	1.80	1.03	34	14		0.065
杭州	三角洲相	3~9	47	1.73	1.34	41	19	1.34	0.130
		9~19	35	1.84	1.02	33	15	1.13	0.117
上海	三角洲相	6~7	50	1.72	1.37	43	20	1.16	0.124
		1.5~6; >20	37	1.79	1.05	34	13	1.05	0.072
广洲	三角洲相	0.5~10	73	1.60	1.82	46	19		0.118
福州	湖谷相	3~19							
		1~3	68	1.50	1.87	54	29	2.3	0.203
		19~25	42	1.71	1.17	41	21	1.4	0.070
天津	滨海相	7~14	34	1.82	0.97	34	17		0.051



图 1-4 右侧原是四层建筑物因受两旁新建建筑物影响沉降的严重而不得不拆除

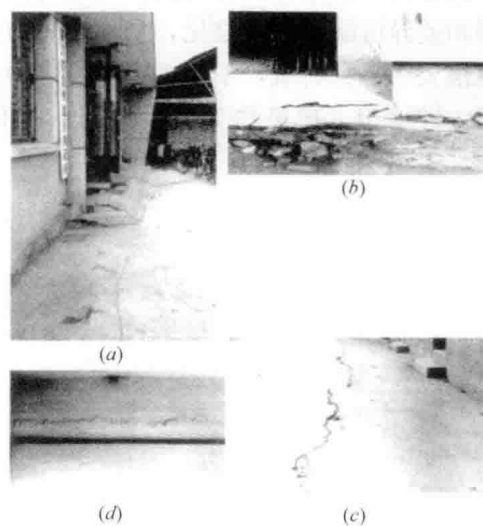


图 1-5 建筑物沉降引起周围地面和墙体开裂

后来大约在 1987 年,笔者获悉温州市建筑设计院的管自立倡导了“疏桩基础”的理念和设计方法,笔者深感欣慰。概因当时笔者已学习了墨西哥 Zeevaert 教授关于“补偿基础”的理论,并翻译了他的名著《难处理地基的基础工程》等书,深知墨西哥是世界著名的软土地区,软土的含水率高达 100% 以上,“补偿基础”的理论对于墨西哥乃至世界各地软土地基基础处理的重大意义,因此觉得管自立所提出的“疏桩基础”与 Zeevaert 的“补偿基础”相比,颇有别树一帜而异曲同工之妙。