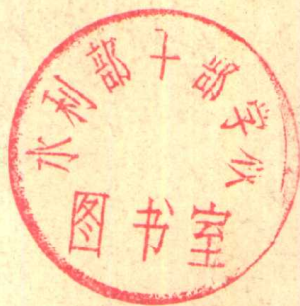


桥梁钻孔桩试验

卢世深、林亚超 编



人民交通出版社

F136

桥梁钻孔桩试验

卢世深 编
林亚超

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为我国多年来进行钻孔桩荷载试验的经验总结。全书分九章，对包括垂直和水平两个方向荷载的静载试验，动载试验，模型试验以及嵌岩桩和斜桩试验等都作了较详细的论述，并附试验实例。书中还详细地介绍常用的试验仪具的使用方法和构造原理。试验资料的整理方法和试验计划的编制方法也有阐述。

本书可供桥梁技术工作者和专业学校师生的参考。

桥梁钻孔桩试验

卢世深、林亚超编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：19.375 插页：2 字数：416 千

1980年10月 第1版

1980年10月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,300册 定价：2.00元

前 言

在我国的桥梁和其他工程中，近年来普遍地采用钻孔桩（即钻孔灌注桩），这对多快好省地进行桥梁建设起了积极的作用。这种型式的桩，在我国开始研制到现在虽仅十余年，但它的施工技术已有了迅速的发展，机械化水平和成桩质量都有显著的提高。在设计理论方面，比较深入地探讨了它的工作性能，制订了比较符合实际的一套计算方法和参数，在试验方面进行了较大荷载的各种试验，广泛地采用了电测技术，积累了丰富的经验和实测数据。所有这些都是我国广大的建桥职工和有关部门的同志们经过不懈的努力，通过实践—认识—再实践—再认识，取得的丰硕成果，为进一步发展我国的桥梁建设创造了良好的条件。

近十余年中，许多单位所作的大量钻孔桩试验和写出的试验报告和总结为本书的编写提供了丰富和宝贵的资料，这是科技人员和广大工人生产实践和科学实验成果的综合。本书以介绍国内桥梁钻孔桩荷载试验的实践经验为主，并适当地介绍一些国外经验，目的在为初做钻孔桩试验工作的同志提供较为系统的参考资料。限于编者的思想和技术水平，本书中错误和遗漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 试验设计	1
第一节 荷载试验的意义和目的	1
一、荷载试验的意义	1
二、荷载试验的目的	2
三、试桩种类	2
第二节 试验内容和试验设计	4
一、试验内容	4
二、试验设计	5
第三节 试验计划和试验报告	11
一、试验计划的编制	11
二、试验报告的编制	14
第二章 试验仪器	17
第一节 机械式量测仪器	18
一、位移计	19
二、测力计	24
三、应变计	33
第二节 电测式量测仪器	40
一、电阻应变片、环氧砂浆电阻应变计和电阻应变仪	41
二、差动电阻式应变计、差动电阻式钢筋计和 比例电桥	53
三、钢弦式压力盒、钢弦式钢筋计和钢弦周期测定仪	63
四、滑线电阻式测斜仪、电测位移计和电子水平仪	71
第三章 单桩(摩擦桩)垂直静载试验	79
第一节 试验目的	79

第二节 试验方法	81
一、荷载装置	81
二、加载方法	85
三、沉降观测	93
四、桩底反力测定	94
五、桩壁摩阻力测定	95
六、桩身混凝土弹性模量测定	97
七、桩径和孔底沉淀土厚度的测量	99
第三节 试验资料分析	100
一、试验资料整理	100
二、极限荷载的确定	106
三、容许荷载	120
四、划分桩壁摩阻力和桩底反力	121
五、按剪切系数法估算单桩的内力和变形	141
第四节 单桩(摩擦桩)垂直静载试验例	144
一、试验目的	144
二、地质情况	145
三、试桩设计	146
四、测点布置	151
五、加载方法	151
六、试验成果分析	154
第四章 单桩(摩擦桩)水平静载试验	184
第一节 试验目的	184
一、确定桩的容许水平荷载和容许水平位移	184
二、测定地基系数	184
三、推算桩的截面弯矩	185
四、验证单桩计算方法的适用性	185
五、探讨桩基的新的测量方法	185
第二节 试验方法	186
一、加载装置	186

二、加载程序	193
三、测量项目和测量方法	194
第三节 试验资料分析	199
一、桩顶位移和转角	199
二、截面弯矩	206
三、地基系数	214
四、验算截面强度的安全度	223
第四节 单桩(摩擦桩)水平静载试验例	226
一、桩内没有埋设测量元件的试桩实例	226
二、桩内埋设测量元件的试桩实例	234
第五章 嵌岩桩试验	252
第一节 试验目的	252
第二节 试验方法	254
一、加载装置	254
二、桩的间距	256
三、加载方法和测量方法	256
第三节 试验资料分析	258
一、嵌岩桩试验资料分析的特点	258
二、垂直静载试验资料分析	259
三、水平静载试验资料分析	274
第四节 嵌岩桩试验例	283
一、有覆盖层嵌岩桩垂直静载试验	283
二、有覆盖层嵌岩桩水平静载试验	293
三、无覆盖层嵌岩桩垂直静载试验	302
四、无覆盖层嵌岩桩水平静载试验	314
第六章 斜桩试验	331
第一节 试验目的	331
一、斜单桩的性能	331
二、群桩基础计算中的刚度系数	340
第二节 试验方法	345

一、加载装置和加载程序	345
二、测量项目和测量方法	347
第三节 试验资料分析	351
第四节 斜钻孔桩静载试验例	353
一、斜单桩静载试验	353
二、双桩承台静载试验	379
第七章 桩的动力试验	396
第一节 试验仪器和方法	396
一、试验仪器	396
二、试验方法	404
第二节 基本原理	406
一、单桩垂直自由振动	406
二、单桩水平自由振动	411
第三节 桩动力试验的应用	427
一、预估单桩垂直承载力	429
二、推力桩各种参数的动测	437
三、检查桩身质量	440
四、检测单桩的抗震能力	442
第八章 桩的模型试验	449
第一节 桩的室内模型试验	450
一、模型箱和加载设备	450
二、模型的制作	452
三、模型桩试验例	454
第二节 现场小桩荷载试验	478
一、试验目的和桩的概况	478
二、试验成果和分析	480
三、国外群桩模型试验	485
第三节 桩的光弹性模型试验	490
一、光弹性试验概述	490
二、试验资料的整理方法	493

三、高桩承台光弹性模型试验例	496
第四节 钢筋混凝土承台模型破坏试验	506
一、桩顶承台的两种设计方法	507
二、承台模型试验	508
三、钢筋布置	509
第五节 模型比例	509
一、几何相似	510
二、力学相似	510
三、桩的其他模型比	512
四、根据模型桩推测实型桩	515
第九章 试验资料的整理方法	530
第一节 量测误差理论	531
一、基本概念	531
二、单次测量的误差	535
三、多次等精密度重复量测结果的精密度	538
四、次数不多的重复量测的误差	539
五、测定误差的综合讨论	541
六、一般函数误差的表示法	545
第二节 试验数据的公式化	548
一、选择经验公式的方法	548
二、经验公式中常数的求法	551
第三节 相关分析	562
一、直线相关	562
二、曲线相关	563
第四节 试验数据的统计分析	566
一、统计分析的基本概念	566
二、各种土层钻孔桩极限桩壁摩阻力的统计估算	570
附录 国内钻孔桩静载试验概况	586
一、垂直荷载试验	587
二、水平荷载试验	603

第一章 试验设计

第一节 荷载试验的意义和目的

一、荷载试验的意义

桩基础是桥梁下部构造的一个重要组成部分，它担负着桥梁上部构造和墩、台的全部荷载以及其他的各种作用力，它的工作性能对桥梁的安全使用有决定性的影响。设计时，一方面要根据理论计算确定它的承载能力和变位，另一方面则常需进行各种现场荷载试验来验证它的承载能力和工作状态，使理论紧密结合实际。

对于钻孔桩，荷载试验具有更为重要的意义。

首先，由于目前钻孔机具一般都具有较高的能力和工作效率，基础工程常采用大直径钻孔桩，所以每个墩、台的桩数一般都较少，而每根桩的设计荷载则都较大。而每根钻孔桩的承载能力能否满足设计要求，设计的桩长、桩径是否恰当，这直接影响着基础工程的安全和经济。因此，对重要的桩基础都要事先通过荷载试验来检验它的实际承载能力。从这个意义上说，桩的荷载试验自然成为基础工程的安全可靠和桩基设计合理经济的一个重要步骤。

其次，钻孔桩是一项地面下隐蔽工程，它的质量同施工工艺有极为密切的联系。自推广使用钻孔桩以来，施工工艺经过不断的革新，一些新工艺一般都是通过荷载试验的检验鉴定才获得推广应用。所以荷载试验对新工艺的采用和改进

有直接促进的作用。

承受荷载时，桩土共同工作。在桩土体系的分析研究中经常存在许多复杂的理论问题。由于具有刚度较大，配筋率较低，位移范围不能太大等特点，钻孔桩的工作性能同打入桩或管桩的计算方法的结果有较大的差异。所以国内外近年来一直重视大直径钻孔桩计算方法的研究，先后提出多种计算承载力的公式并观测钻孔桩在各类土中和不同荷载量，不同位移值下的工作性能，为改进设计理论积累了必要的计算数据。我国近年来对单位摩阻力 τ 值，弹性地基梁计算的 m 值、 k 值等的修订和 σ 值法的推荐使用以及桩壁摩阻力和桩底反力的划分等都是在大量荷载试验的基础上研究提出的，正在研究用触探法、振动法确定钻孔桩承载力，也需要大量的荷载试验对比资料。综上所述，可见荷载试验不单是一个试验方法问题，而是对施工、设计和科研有着重要意义的一项基本的工作。

二、荷载试验的目的

荷载试验的主要目的是确定桩的承载力，其具体要求是确定桩的容许荷载或极限荷载，查明强度的安全储备，推求桩的计算参数，了解桩的变位情况和桩的动力性能。根据试桩成果，如发现承载力超过或低于设计要求过多时，可以提请变更设计，修改原定的桩长或桩径，或增减桩数，以利于保证桩基的安全、经济。同时，通过荷载试验还可检查所采用的施工工艺和钻孔机具是否合理完善，以便作必要的改进和调整。

三、试桩种类

根据上述目的，桩的试验一般分两类：

(一)工艺性试桩 这类桩的试验着重检查:

桩位处地质情况同钻探资料的符合程度,提供决定桩基础设计方案或变更设计方案的参考;

钻孔机具和钻进方法是否适宜,测定钻进工效和进度,根据试验结果制订施工操作规程和实施性的施工计划;

测定桩径和扩孔率、桩长、桩垂直度(或斜度)以及桩底沉淀土厚度等,在满足质量标准要求的前提下,确定实际操作中这些项目的具体指标要求。

工艺性试桩根据地质钻探资料,选择在有代表性的土层或预计钻进有困难的土层中进行试验,必要时也可兼作荷载试验用。因此设置工艺性试桩时,应适当考虑力学性能试验的要求。

(二)力学性试桩 这类桩必须作荷载试验,对桩的承载能力和工作性能提出结论性的意见。按要求的荷载不同,试验又分两种:

1.鉴定性试验 一般在实际工程的桩上进行。试桩的位置和数量根据具体情况决定。加载到设计荷载的1.2~1.5倍,检验桩的施工质量和承载能力是否满足设计的要求。测量仪具通常布设在桩的地上部分,地面以下不必布设。

2.破坏性试验 破坏性试验指加载到桩失去承载力的试验。所以施加的荷载量比鉴定性试验的大,观测的项目也多,一般是在专供破坏试验的桩上进行,根据具体情况,也可在实际工程的桩群中布置破坏性试验的桩,使加载的反力系统易于布置。

这种试桩应有周密的设计,事先在桩内埋设各种测量仪具,以便对预定的项目进行较详细的观测,取得设计的准确数据,并为设计理论的探讨改进提供确实的根据。

第二节 试验内容和试验设计

一、试验内容

试验内容随不同的试桩有所差异。通常测定以下的各个项目：

(一)荷载 决定垂直(竖向)承载力时应测定垂直荷载；决定水平(横向)承载力时应测定水平荷载。所有的荷载都应分级施加于试桩，达到规定的荷载或破坏荷载为止。荷载是试验的主要项目，所以应作精确的测定并相应于各级荷载记录其他项目的实测值。

(二)变位 变位指桩在地面处和其他各截面处的垂直位移、水平位移和转角。变位和荷载一起表征桩的工作性能，所以它是试桩必须测定的项目，鉴定性试桩最少必须测定桩在地面处的变位，并测试桩开裂的情况和锚桩上拔量。

(三)应力 通常测定桩内主钢筋应力和混凝土应力。根据实测应力可以推算截面弯矩、轴向力等，提供和理论计算对比的资料。通过应力测量还可测定桩的弹性模量。

(四)土的应力 土中应力主要指桩对土的水平向压力(土抗力)和桩侧摩阻力。

(五)桩底反力 由于直接测定桩侧摩阻力有困难(国内正在研制摩擦力盒)，目前多是通过桩底反力和各截面轴向力的测定来推算桩侧摩阻力。测定桩底反力还可查明钻孔桩底部的工作状态。须要同时测定桩底沉淀土厚度。

(六)地面变形 地面(包括岩面)变形是判断桩承载力的重要因素。试验时要尽可能观测地面的变形和开裂的情况。

(七)混凝土质量 主要是水下混凝土质量。一般是在桩试验结束后钻取桩内混凝土芯样来鉴定，并根据试验目的进

行混凝土弹性模量的测定。

(八)地基土试验 通过钻探取桩位处的原状土,测定其物理力学性能指标,供试桩分析计算用。

二、试验设计

在桩试验前,要进行两方面的试验设计:试桩设计和反力装置设计。至于量测仪表和元件的选择和设计可参考第二章试验器具。

(一)试桩设计 要确定桩的数量、直径、入土长度、桩距、混凝土标号和配筋和测点布置等。

1. 试桩位置和数量

工艺性试桩 根据地质钻探资料,选择有代表性的土层或预计钻进有困难的土层设置工艺性试桩,其数量以能达到掌握施工工艺,投入正式施工为原则。

鉴定性试桩 在需要确定承载力的重点墩台中应至少抽取一根桩进行鉴定。如全桥的桩数很多,也可按全桥桩数的2~3%或在有代表性的墩台中至少有二根桩作鉴定性试验。对质量有怀疑或发生质量事故经过补强处理的桩均应尽可能进行鉴定试验。

破坏性试验 这种试桩的测定项目较多,要根据设计和科研要求,并应尽可能接近工程实际情况,确定试桩位置和数量。由于施工上的差异和桩土试验中存在的离散性,在同一条条件下,最好应有2根以上的试桩。当同时进行垂直和水平两种荷载试验时,也可在作过垂直荷载试验隔一段时间后的桩上进行水平荷载试验,以减少试桩数量。嵌岩桩因嵌岩段侧阻力受到破坏后不能完全恢复,故垂直和水平两种荷载试验应分别设置试桩进行。

2. 试桩直径和入土长度

垂直荷载试验时，桩顶荷载是通过桩侧阻力逐渐向下传递的。减少长径比（桩入土长度 L 同桩直径 d 的比），增大桩身混凝土与桩侧土弹性模量的比或增大桩底土同桩侧土的弹性模量比，都将增大传递到桩底的荷载。因此，一般地说，试桩的长径比最好和实际桩相同。据研究，当桩身混凝土与桩侧土的弹性模量比为一定时， L/d 超过25之后，长径比对传递到桩底的荷载值的变化已无较大的影响。故当所验核的实际桩的长径比大于25时，试桩采用 $L/d = 25$ 的长径比基本上不会影响试验成果。在具体应用时，如限于加载条件不能采用过大的入土长度时，也可考虑采用 $L/d = 10$ ，但不得小于6，而且应保证试桩在实际的承重土层中有足够的长度，满足实际桩底土同桩侧土的弹性模量比的条件，使求得的桩侧摩阻力等参数基本上与实际情况接近。

水平荷载试验时，桩的工作性能在很大程度上受桩的入土长度和桩的直径的影响（此外还受荷载大小和加载方式的影响），即相对于土为较刚的刚性桩的荷载位移特性同较为柔性的弹性桩的荷载位移特性有很大的差别。前者的横向位移主要是由桩绕桩中某点（称为旋转中心）的转动而引起的，桩身的挠曲变形不占重要地位。后者的横向位移主要是由桩的挠曲变形引起的。因此作水平荷载的试桩的入土长度应根据实际的桩为刚性桩或弹性桩来确定。但如实际的桩很长，属于弹性地基上无限长桩范围时，则试桩的入土长度不一定要和实际桩相同，可参考表 1-2-1 中三种地基系数图式的 α 值，设计试桩使其 α 值大于表列数值，就能获得基本上符合实际桩的情况的试验结果。表中 c_1 、 c_2 分别表示试桩底标高处和深度 Z 处的地基系数值，可根据钻探资料，查桥梁设计规范或根据经验确定， EI 为试桩的抗弯刚度， α 为桩直径， L 为入土长度。

α 值

表1-2-1

项 目	$c_z = c_L = \text{常数}$	$c_z = \frac{c_L}{L} Z$	$c_z = c_L \sqrt{\frac{Z}{L}}$
弹性长度 T	$\sqrt[4]{\frac{4EI}{c_L d}}$	$\sqrt[5]{\frac{EIL}{c_L d}}$	$\sqrt[4.5]{\frac{EIL 0.5}{16c_L d}}$
$\alpha = L/T$	≥ 2.5	≥ 4	≥ 3

通过水平荷载试验测定地基系数，除应选用适当的入土长度外，还应选用适当的桩径。据一些资料介绍，地基系数有随桩径的增加而降低的现象，如图 1-2-1。为使试桩获得的地基系数值接近桩的实际情况，试桩直径宜与实际的桩径相同。但当实际桩径超过 1 米时，因地基系数值的降低已不显著，试桩可采用 1 米的直径。

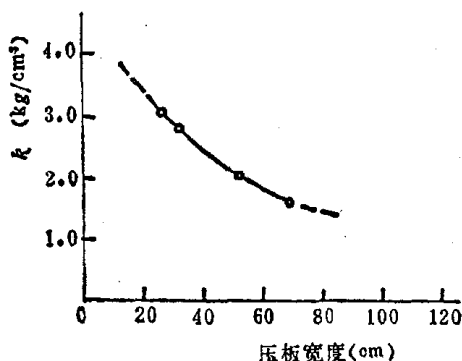


图1-2-1 地基系数同

3. 桩距 据一些资料介绍，桩距为 $3d$ 时，测定的地基系数值应降低 25% 使用。当在水平荷载施力方向上的桩距大于 $8d$ ，且在与水平荷载施力方向相正交的方向上的桩距大于 $2.5d$ 时，测定的地基系数值不受影响。因此把根据单桩测定的地基系数值应用于桩距不大的群桩计算时，应考虑地基系数的折减。

进行单桩试验时，几根试桩一般不是同时加载的，所以

它们在承受水平荷载时不存在互相影响的问题。但如桩距过小，桩土的性质将有改变，且加载到破坏时，一根试桩周围地面开裂变形很可能扩展到邻桩。所以在垂直荷载试验时，试桩的中心间距一般不得小于桥涵设计规范中钻孔灌注桩最小中心距离 $2.5d$ 的规定。又据国内的一些试桩资料，硬塑亚粘土中 1 米直径试桩受较大的水平荷载时，地面变形范围可扩展到桩前方 $5d$ 处（由桩中心起算），土质较软弱时，扩展范围较小。故进行水平荷载试验的试桩中心距离不宜小于 $4d$ 。

试桩同锚桩的中心距离也应满足上述要求。固定测量仪器的基准桩同试桩或锚桩的中心距离一般规定为 $4d$ 以上（取试桩或锚桩直径的大者计算）。

试桩之间或试桩与锚桩之间的中心距离不宜规定得过大，以免加载反力梁等设备的布置发生困难。

4. 混凝土标号和钢筋含量

试桩一般采用与实际桩相同标号的混凝土，对水平荷载试验，更应这样采用。如果作水平荷载的试桩混凝土标号低于实际桩的混凝土标号，则因试桩截面抗拉强度较低和桩土相对刚度比与实际桩的不相同，两种桩的变形情况就会发生较大的差异，影响试桩成果直接应用于实际桩的分析计算。基于相同的理由，作水平荷载试验的试桩的配筋率应和实际桩的配筋率相同。如果是进行一般性的试验，试桩的配筋率不宜低于《公路桥涵设计规范》中规定的钢筋混凝土构件最低配筋率。

作垂直荷载试验的试桩可采用比实际桩为低的配筋率。但如荷载很大，应在桩头一段范围内设置水平钢筋网 2~3 层加强，以免加载时发生压碎桩头的事故。

嵌岩桩垂直承载力有按桩身混凝土强度控制和按基岩强