

gji Zhuangtu

ing Xingzhuang Fangzhen Yu Shiyen Yanjiu

桥梁桩基桩-土 共同作用性状仿真与试验研究

李 晋 © 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

桥梁桩基桩-土共同作用 性状仿真与试验研究

李 晋◎著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书是在总结国内外桥梁桩基研究现状的基础上,通过现场测试和离心试验研究,利用数值仿真技术,并结合理论推导,对海洋环境桥梁桩基和黄土地区桥梁桩基桩-土-承台共同作用进行了系统分析、总结。全书共分12章,主要内容包括:桩土共同作用研究现状、桩基数值仿真技术、海洋环境下桥梁桩基的受力环境和荷载组合特点、湿陷性黄土地基桩基承载特点分析及计算方法、负摩阻力条件下的群桩效应、桩基离心试验和桩基施工过程的数值模拟等。

本书可供桩基工程技术人员、土木工程专业师生及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁桩基桩-土共同作用性状仿真与试验研究/李晋
著. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0818 - 7

I. ①桥… II. ①李… III. ①桥梁基础;桩基础—研究 IV. ①U443.15

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第202165号

书 名 桥梁桩基桩-土共同作用性状仿真与试验研究

著 者 李 晋

责任编辑 陈红梅

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 16 字数 262千字

版次印次 2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

定 价 35.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着我国交通基础建设的发展,当代桥梁建设在东部向海上桥梁发展的同时,也在西部向黄土高原延伸,这些正在建设或者筹划中的桥梁基础建设带动了桩基工程的发展,同时也带来了一系列新的技术难题需要攻克。

超大跨江、跨海大桥将在我国未来的政治、经济和交通枢纽中占有重要地位,仅我国当前已建和要建的跨海桥梁已经近 10 座,且每座跨海大桥的工程造价都在几十亿甚至上百亿元。然而海洋环境下桥梁基础的理论研究很少,海上桥梁桩基设计多套用跨河桥梁基础的经验,在跨海桥梁基础设计中,采用以前的荷载组合设计的传统结构形式是否合理,规范规定的计算方法是否还适合,海洋环境下桩基的受力特性如何,这一系列问题都还没有得到很好的研究和解决。

我国黄土分布面积约 64 万平方千米,主要分布于西北、华北和东北一带,其中湿陷性黄土的分布面积约占 60%。据统计,黄土地区桥梁桩基大多采用摩擦桩,一旦发生由于浸水或其他外部条件影响下引起的黄土湿陷,将导致湿陷范围内桩侧正摩阻力的丧失,甚至产生向下的负摩阻力,由此给桥梁基础带来的危害是致命的。对黄土特有的工程特性,特别是湿陷性考虑不足,导致的工程病害屡见不鲜。交通部有关桥梁桩基方面的规范由于颁布时间过长,很多内容已不适合于指导当前桥梁基础的设计;对于在湿陷性黄土场地桩基设计,相关规范给出的只是半经验性的、粗略的定性规定,湿陷性黄土地基下桩基的诸多理论问题都还未能给出令人满意的解答,这些问题严重地制约着桥梁桩基的建设和发展。

笔者长期从事黄土地区桥梁桩基的理论与试验研究,以及海上桥梁桩基的相关研究,本著作是近年来围绕以上两个专题研究的成果总结。

特别是在海洋环境下桥梁基础的研究还处于起步阶段、理论研究严重滞后于工程实践、至今尚无较为完整与系统的设计理论的情况下,无论从科研还是从工程应用的角度来讲,本著作的出版都是必要的,以期能抛砖引玉,推动该问题的进一步解决。

本著作的出版分别得到了国家自然科学基金项目(51108255)、交通运输部应用基础研究项目(2009-319-814-130)、山东省自然科学基金(ZR2009FQ015)和山东省交通运输厅科技项目(2010Y25-1)的资助;在以上研究起步阶段,得到了中国博士后科学基金(20080441131)和山东交通学院博士基金的资助。

笔者在长安大学攻读博士学位期间,承蒙谢永利教授的指导,开始从事桥梁桩基方面的研究。在课题研究期间,谢永利教授在百忙之中多次给予指导和鼓励,在此表示感谢。在博士后研究期间,得到了山东大学朱维申教授的指导;在数值分析和离心试验中,得到了长安大学冯忠居教授、刘保健教授、张宏光副教授、李哲副教授、来弘鹏副教授、俞永华博士和唐飞硕士的帮助;在山东交通学院工作与研究期间,得到了唐勇教授、朱霞教授、王庆东处长等的帮助与支持,在此一并表示感谢。

限于时间和水平所限,书中难免有错误和不当之处,敬请广大读者批评、指正。

著者

2011年12月

目 录

1	桥梁桩基应用现状	1
1.1	发展历程	1
1.2	应用现状	3
1.3	发展趋势	6
1.4	面临的问题	7
2	桩-土共同作用研究现状	9
2.1	桩-土共同作用理论研究	9
2.2	桩-土共同作用试验研究	18
3	桩-土体系作用性状数值仿真技术	23
3.1	仿真软件	23
3.2	计算模型建立	24
3.3	用户子程序开发	28
3.4	桩土接触面模拟技术	31
4	海上桥梁基础研究现状	40
4.1	问题的提出	40
4.2	工程应用现状	41
4.3	国内外研究现状	43
5	跨海桥梁荷载组合分析	52
5.1	汽车制动力	52

5.2	波浪荷载·····	53
5.3	风荷载·····	55
5.4	冰荷载·····	60
5.5	本章小结·····	63
6	黄土桩基研究现状·····	64
6.1	黄土的工程特性·····	64
6.2	研究意义·····	65
6.3	国内外研究现状及分析·····	66
7	黄土桩基现场静载试验·····	71
7.1	概况·····	71
7.2	试验设计方案·····	73
7.3	加载系统设计·····	74
7.4	试验加载与测试·····	80
7.5	浸水试验设计·····	81
7.6	载荷试验成果分析·····	83
7.7	本章主要结论·····	98
8	湿陷性黄土地基单桩合理桩长·····	100
8.1	数值仿真可靠性论证·····	101
8.2	仿真计算·····	103
8.3	成果分析·····	110
8.4	理论计算分析·····	119
8.5	工程应用·····	127
8.6	本章主要结论·····	129
9	群桩受力特性仿真分析·····	130
9.1	几何模型·····	130
9.2	群桩基础沉降分析·····	134
9.3	群桩基础承载性状分析·····	148
9.4	自重湿陷性黄土地基群桩效应研究·····	167
9.5	工程实例·····	174

9.6	本章主要结论	180
10	桩基施工过程数值模拟	183
10.1	岩土工程施工数值计算概述	183
10.2	桩基施工数值计算思路	185
10.3	工程实例	190
10.4	本章主要结论	200
11	桥梁桩基离心试验	201
11.1	试验目的	201
11.2	离心模型试验理论	202
11.3	离心机主要技术指标与仪器研发	204
11.4	桩基离心模型试验计划及方法	208
11.5	试验结果分析	215
11.6	本章主要结论	227
12	总结与展望	228
12.1	本研究主要成果	228
12.2	今后工作的展望	230
	参考文献	231

1 桥梁桩基应用现状

1.1 发展历程^[1-4]

桩基础是最古老的基础形式之一,有文字记载以前,人类就懂得在地基条件不良的河谷和洪积地带采用木桩来支撑结构物,而桩基础在桥梁方面的应用,据《水经注》记载,公元前 532 年在今山西汾水上建成的三十墩柱木柱桥梁,即为桩柱式桥墩。而中国汉代古灞桥等对桩基础的应用,则是对桩基础的推广。

1893 年,人工挖孔桩在美国问世,当时美国芝加哥、底特律等大城市由于土地紧张,建筑物层数不断增加,而某些高强轻质材料相继开始生产,为高层建筑设计施工创造了条件。但这些城市地表以下存在着厚度很大的软土或中等强度的黏土,建造高层建筑仍沿用当时通用的摩擦桩,必然会产生很大的沉降。于是工程师开始考虑使桩穿越软弱土层,把桩端设在很深的持力层上,并且为满足承载力的要求,桩身横截面也设计增大,而这样的桩不可能用木桩制作。即使用钢管、型钢或钢筋混凝土预制桩,依靠当时的打桩设备也难以打至所需要的深度,于是借鉴人类相传的掘井技术,人工挖孔桩在这一历史背景下试验成功,解决了工程中的难题。这种桩因其施工工艺简单,且不需特殊机械,不久即不胫而走,被美国各大城市及世界各地的工程界所采用。而 50 年后,即 20 世纪 40 年代,大功率钻孔机具的研制成功,使钻孔灌注桩在美国问世,之后在南美委内瑞拉某高速公路的桥梁工程——马拉开波法特大桥的基础施工中首次用旋转钻浇筑混凝土桩。此后,钻孔灌注桩技术在日本、英国乃至在世界范围内出现了蓬勃发展的局面,其用量

逐年上升,居高不下。

我国桩基础的发展是在 20 世纪 50 年代,当时多采用木桩基础。虽然钢筋混凝土桩和钢桩也有应用,但数量较少,桩的制造工艺和施工质量均不高,如 1934 年开始建造的钱塘江大桥就曾采用木桩和钢筋混凝土桩基础。20 世纪 50 年代以后,木桩逐渐被钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩所代替,工程中开始普遍采用普通预制钢筋混凝土管桩和方桩基础,如武汉长江大桥、余姚江大桥、奉化江大桥、南京长江大桥、潼关黄河大桥等。由于普通钢筋混凝土管桩的抗裂能力不高,尤其是在沉桩过程中,桩身防止横向裂缝的能力较差。1966 年,丰台桥梁厂开始研制先张法预应力离心混凝土管桩,并于 1966 年正式投入成批生产。

1955 年,我国在武汉长江大桥以管桩钻桩下到基岩持力层后再浇筑混凝土。20 世纪 60 年代初,在河南省安阳冯宿河大桥的修建中首先成功地应用了人工冲击钻和回转钻成孔的钻孔灌注桩基础,接着在河南竹竿河和白河 2 座大桥扩大应用,并在国内其他一些省市相继推广。1965 年,交通部在河南省南阳市召开了钻孔桩技术鉴定会,认为这是一项重大的技术革新,是在当时我国客观条件下一种多快好省的桥梁基础施工方法,并决定在全国推广。因钻孔灌注桩具有工艺简单、承载力大、适用性强等突出的优越性,很快被公路工程技术人员认同并接受,成为公路桥梁基础的首选形式。桩基技术的发展历史见表 1-1。

表 1-1 桩基技术发展历史

阶段	年代	主要桩型	特 点
初期阶段	人类有历史记录以来至 19 世纪	木桩和石灰桩	1. 由天然材料做成,桩身较短,桩径较小; 2. 采用竖直桩,主要用于传递结构的竖向荷载; 3. 多设置于地质条件不利的河谷及洪积地带; 4. 采用简单的人工锤击下沉的施工方法
发展阶段	19 世纪中叶至 20 世纪 20 年代	除天然材料制成的桩外,主要是混凝土桩和钢筋混凝土桩	1. 桩型较少,打桩机械沉桩的施工方法开始使用; 2. 土力学理论的建立为桩技术的发展奠定了理论基础; 3. 桩的设计理论和施工技术比较简单,处于初级发展阶段; 4. 桩的尺寸有所增大,直径约 30 cm,桩长 900 ~ 1 500 cm

续表 1-1

阶段	年代	主要桩型	特 点
现代阶段	第二次世界大战后至今	除钢筋混凝土桩外发展了一系列的桩系,如钢桩系列、特殊桩(超高强度、超大直径、变截面等)系列等	1. 多种桩型的出现与发展,形成现今桩基的各种不同体系; 2. 桩基技术与理论吸取其他学科的先进技术与成果,拓宽了桩的研究领域,使桩的应用范围得到极大的发展; 3. 人工成桩被复杂的机械和专门化的工艺所代替; 4. 新型桩的出现,使桩的承载力得到极大的提高; 5. 公路桥梁桩基础普遍采用大直径钢筋混凝土灌注桩

1.2 应用现状^[5-6]

随着公路桥梁桩基础施工技术的进步与桩基础设计计算理论的发展,目前大江大河上修建桥梁的跨径在不断增大,而为提高桥梁基础的承载力,相应地要求桥梁桩基的桩径与桩长也越来越大。1985年,河南郑州黄河大桥采用桩径 2.2 m、桩长 70 m 的摩擦桩,我国最大跨径悬索桥——江阴长江公路大桥和南京长江二桥主塔墩基础反循环钻孔灌注桩直径均为 3.0 m,且后者桩长达 150 m。目前,公路桥梁桩基直径大于 2.5 m 的情况已较普遍,最大的桩径已达 8.0 m。大直径桩与小直径桩相比有明显的差异,不仅可以提高承载力,而且可以减少水中作业,加快工程进度;提高结构的抗震、抗风稳定性与抵御冲击能力,降低工程造价。例如,广东九江大桥主桥为 2 m×160 m 的独塔斜拉桥,主跨基础采用变截面钻孔灌注桩高桩承台结构,此前曾采用了不同桩径的方案比较,见表 1-2。从表中可以明显地看出,三种方案均在满足工程要求的情况下,大直径桩的材料用量明显少了许多。据粗略统计,国内部分公路大桥采用 2.5 m 以上直径桩基,见表 1-3。国内部分公路大桥采用超长钻孔灌注桩,见表 1-4。

表 1-2 广东九江大桥主墩基础灌注桩设计方案比较

桩径/m	桩数/根	桩身混凝土/m ³	承台混凝土/m ³	基础混凝土/m ³
1.5	63	6 234	4 250	10 484
2.0	32	5 634	3 850	9 484
2.5	18	4 873	3 200	8 073

表 1-3 国内部分公路大桥采用大直径桩的情况

桩径/m	桥 名
2.5	泸州长江大桥、九江长江大桥、常德沅江大桥、宣城汉江大桥、三门峡黄河大桥、钱塘江大桥、武汉长江大桥、广东斗门大桥、广东肇庆西江大桥
3.0	湖南石龟山大桥、黄石长江大桥、珠海横琴大桥、益阳资江大桥、江汉四桥、广州鹤洞大桥、芜湖公铁长江大桥、南京长江二桥、江苏江阴长江公路大桥、广东番禺大桥及新会崖门大桥
3.5	湖南沅陵大桥、湘潭湘江二桥
4.0	铜陵长江大桥、南昌新八一大桥、湖南石龟山大桥
5.0	湖南张家界碧鹭湾大桥(挖孔空心桩)、江西湖口大桥(多次成孔及人工挖孔)

表 1-4 国内部分公路大桥采用钻孔灌注桩的情况

项目 \ 参数	基础形式	直径 /m	数量 /根	桩长 /m	混凝土用量 /m ³
杭州湾大桥南航道桥主塔基础	钻孔灌注桩	2.8	38	125	29 233
舟山金塘跨海大桥主塔基础	变径钻孔灌注桩	2.8 变径至 2.5	42	115	26 626
青岛海湾大桥大沽河航道桥主塔基础	钻孔灌注桩	2.5	24	85.5	10 068
青岛海湾大桥沧口航道桥主塔基础	钻孔灌注桩	2.5	28	67	9 204
青岛海湾大桥红岛航道桥主塔基础	钻孔灌注桩	2.2	27	83	8 514
湛江海湾大桥主塔基础	变径钻孔灌注桩	2.9 变径至 2.5	31	100	17 740
苏通长江大桥主塔基础	变径钻孔灌注桩	2.8 变径至 2.5	131	120	86 659
湖北荆州长江大桥北汉桥主塔基础	钻孔灌注桩	2.5	22	90.4	9 758
南京长江二桥北汉桥主塔基础	钻孔灌注桩	3	21	87	12 907
南京长江二桥南汉桥主塔基础	钻孔灌注桩	3	21	102	15 133
南京长江三桥主塔基础	钻孔灌注桩	3	24	96	16 277
武汉天兴洲大桥主塔 3 号墩基础	钻孔灌注桩	3.4	40	84	30 490
武汉阳逻长江大桥南塔基础	钻孔灌注桩	2.0	50	92	14 444

续表 1-4

项目	参数	基础形式	直径 /m	数量 /根	桩长 /m	混凝土用量 /m ³
济南黄河二桥主跨基础		钻孔灌注桩	2.0	26	92.5	7 552
滨州黄河大桥 2 号墩基础		钻孔灌注桩	2.0	15	90	4 239
济南黄河三桥主桥基础		钻孔灌注桩	2.0	97	80~119	30 458

在公路桥梁桩基础设计与施工技术发展过程中,受地层土质与工程性质的影响及灌注桩施工工艺上的局限性,经常会遇到即使增加桩长和桩径,桩承载力提高的幅度并不明显,从而使桩的承载力难以满足大型公路桥梁工程使用上要求的情况。以现行公路桥梁桩基础采用的钻孔灌注桩为例,由于桩成孔过程中以泥浆护壁法为主,使成桩工艺存在着固有的缺陷(如桩底沉渣、桩侧泥皮对桩承载力的影响等),导致桩侧阻力与桩端阻力显著降低,为改善桩端与桩周土的工程性质,提高桩承载力,减小桩的沉降量,桩端与桩周注浆技术应运而生。桩周与桩端注浆技术在国外已有 50 多年的历史,1961 年在修建 Maracaibo 大桥桩的施工中首次应用,此后日本、意大利、法国、英国、德国及前苏联等国均开始使用该技术,并在施工中使该项技术不断得到发展与完善。20 世纪 80 年代,注浆技术首先在我国的工业与民用建筑行业得到应用;90 年代初,该项技术被引入公路桥梁桩基础的施工中并得到广泛应用和发展,获得了明显的技术经济效益。大量的现场实测结果表明,由于地质情况的差异和注浆技术的差异使桩侧与桩端注浆后的承载力较注浆前的承载力提高程度相差较大,最少可提高 30%。因此,该项技术将会成为我国公路桥梁钻孔灌注桩必备的配套技术。

另外,为提高桩的承载力,有关专家与学者,从桩的受力机理出发,提出了人工挖孔扩底桩的设计方法。该方法就是通过扩大桩端头的截面尺寸,提高桩端承受外荷载的能力,从而使桩的整体承载力得到提高。在日本,扩底直径与桩身直径之比小于 2.0,而扩大头则有数米之高(已有的实体工程达 8.0 m),目前的施工方法近 30 种。而我国近年来推荐采用锅底形扩底桩,锅底矢高取 $(0.1 \sim 0.15)D$,扩底起始侧面的斜率取 $1/3 \sim 1/2$ 。人工扩底桩目前在工业与民用建筑中应用较多,现有的扩底桩种类超过 20 种,而该桩型在公路桥梁桩基础的设计与施工中,辽宁等地已逐渐开始使用。但该桩型的设计计算理论目前不同的行业采用不同的标准

与方法,仍处于研究探索阶段。

1.3 发展趋势^[7]

21 世纪公路桥梁桩基础技术发展的动向主要有以下几个方面:

1.3.1 向大直径长桩方向发展

基于大型桥梁主塔基础等承载的需要,桩径越来越大,桩长越来越长。欧美及日本的钢管桩长已超过百米,桩径超过 2.5 m。济南黄河三桥采用了桩径 2.0 m、桩长 119 m 的摩擦桩;南京长江二桥主塔墩基础灌注桩直径达 3.0 m,桩长达 150 m;铜陵长江大桥的钻孔灌注桩桩直径达 4.0 m;湖南的石龟山大桥等 10 多座大桥采用大直径钻埋预应力混凝土空心桩,用单根大直径桩代替群桩基础,使得结构轻型化,简化施工程序和节省多排桩所需的承台及围堰,使工程费用大大降低。例如:1992 年湖南湘潭二桥采用了无承台 5.0 m 和 3.5 m 的大直径桩;1996 年又顺利在江西南昌八一大桥中主塔基础采用 4 根直径为 4.0 m、嵌入风化岩层 8.0 m 的大直径桩。

1.3.2 向复杂环境下高墩基础方向发展

超大连跨桥梁是水上交通基础建设的主要发展趋势,由于通航、泄洪及安全的要求,大型跨江、跨海桥梁常常采用高墩基础的形式。水上地质、水文和气候环境与内陆地区差别很大,特别是水上高墩桥梁基础会时时刻刻受到风、浪、流、海冰和地震等环境载荷的作用,高墩桥梁基础比一般桥梁基础的受力条件更复杂,要求水上高墩桥梁基础应具有更高的安全和耐久性。2010 年山东省遭遇了 40 年来最严重海冰灾害,流动冰体对高墩桥梁撞击产生的动弯矩值比一般桥梁大,破坏性也更大。因此,穿越复杂地质、水文及气候条件下的大型跨江、跨海大桥高墩基础是桩基础发展的一个必然趋势。

1.3.3 向高强度桩方向发展

桥梁桩基础在向埋入式桩方向发展的同时,对桩自身的要求也越来越高,诸如高承载力,普通钢筋混凝土桩(简称 R. C 桩,混凝土强度等级通常为 C20~C40)已满足不了工程的要求。因此,预应力钢筋混凝土桩

(简称 P. C 桩,混凝土强度等级通常为 C40~C80)使用越来越多。P. C 管桩在欧美、日本、俄罗斯及东南亚等国家和地区被大量应用,我国公路桥梁桩基础的施工中采用的大直径钻埋预应力混凝土空心桩就属于 P. C 桩一类。

1.3.4 向复合式施工工艺桩方向发展

由于桩承载力的要求、环境保护的要求及工程地质与水文地质条件的限制等,采用单一工艺的桩型往往满足不了工程要求,工程中采用了复合式施工工艺桩。例如:对于桩径超过 3.0 m 的桩基础,施工中常采用一次、两次甚至多次扩孔进行成孔,成桩采用灌注混凝土与放置预制桩 2 种工艺;桩端压力注浆有成孔成桩与成桩后给桩端压力注浆 2 种工艺;桩侧注浆有成桩后注浆与桩侧回填粗集料后再注浆 2 种工艺;钻孔扩底灌注桩有直接成孔和扩孔 2 种工艺。

1.3.5 向降低公害的成桩工艺发展

我国公路桥梁桩基础以灌注桩为主,对于钻孔灌注桩采用的是泥浆护壁的成孔方法。钻孔灌注桩中的泥浆在成桩后目前仍未能采取有效的方法进行处理,往往造成环境污染,且泥浆在使用中会造成施工现场的不文明。目前国外主要采用贝诺特灌注桩,国内已在昆明、浙江及北京等地的十几处工地进行了应用,贝诺特灌注桩的优点是环保效果好(噪声低、振动小、无泥浆污染与排放)、施工现场文明。

1.4 面临的问题

从桩基技术的发展趋势上可以看出,桩基技术在进入现代化阶段后获得了迅速的发展,也面临着以下几方面的挑战:

(1) 由于工程造价、工程进度和工程质量的要求越来越高,使得桩基技术显得越来越重要。事实上,对于不同的桥梁结构、不同的地质条件、不同的桩型,而就同一工程往往有多种不同的桩型可以采用,这就必须对其分别进行技术与经济比较,选择承载能力大、工期短、造价低且能确保工程质量的桩型。

(2) 随着基础建设力度的加大,桥梁桩基础建设的难度也越来越大,对减小环境不良效应的要求更高。因此,针对实体工程,推陈出新,克服

传统桩基中存在的技术缺陷势在必行。

(3) 随着新型桩基技术的不断推出,相应的桩基施工机械设备暴露出很多缺陷,这就要求加速桩基施工机械的研究、开发和改进,确保新技术的推广和应用。

(4) 某些特殊性状土地基,如湿陷性黄土、软土、欠固结土等地基沉降所引起的桩基负摩阻力的作用性状和计算理论认识不清,使得在桩径和桩长的设计中存在较大的随意性和不确定性,从而使这些特殊地基桥梁群桩的设计基本上处于无章可循状态,给桥梁结构的安全稳定带来极大的危害,也使资源配置效率大大降低,给工程投资造成巨大浪费。

(5) 随着海上桥梁的大规模兴建,复杂海洋环境下超大海上群桩基础的设计计算方法与施工技术等一系列技术难题亟需解决,已成为当前桩基研究的热点问题。

2 桩-土共同作用研究现状

桩是深入土层的柱形构件,其作用是将上部结构的荷载,通过较弱地层或水传递到深部较坚硬的、压缩性小的土层或岩层。从历史发展来看,桩是一种比较古老的基础形式,也是迄今应用最为广泛的建筑物基础或支护构件,属于深基础的一种。桩基础因其具有承载力高、可靠性大、适用范围广等优点,在我国桥梁基础中被普遍采用。桥梁桩基主要承受轴向荷载,有时由于水流、土体侧向滑移、风载、船舶撞击及以车辆制动力等因素也可能承受部分横向荷载。对于海洋环境下桥梁桩基,由于桥梁受到复杂、恶劣的海洋环境荷载作用显著,其所受环境荷载作用及相应荷载变异都很大;同时,由于考虑到海深及通航净空,海上桥梁基础的悬空高度往往大于常规桥梁,使得水平荷载引起的弯矩值更大,导致其不同于以车载为控制荷载的常规桥梁,而是以风、浪、流的水平组合荷载为控制荷载。

2.1 桩-土共同作用理论研究

在土力学研究中已经把相互作用的研究提到了重要地位,它是系统论思想的体现。(谢定义,1997)^[8]。轴向荷载作用下桩-土共同作用理论研究一直是桩基研究的主流,相对比较成熟,目前主要研究方法集中在以下几个方面。

2.1.1 荷载传递分析法

荷载传递分析法最早由 Seed H B 和 Reese L C(1957)^[9] 提出,澳大利亚著名学者 Poulos H G 和 Davis E H(1980)^[10] 在其经典著作中对此