

工程勘察

月刊(1973年创刊)

2009年增刊 第1期

顾问委员会

(按姓氏笔画为序)

王思敬 王秉忱 王鍾琦 卞昭庆 方鸿琪 卢耀如 李佩成 陈梦熊
张在明 张苏民 张宗祐 陆学智 严伯铎 沈照理 林在贯 卓宝熙
项勃 施鑫源 顾宝和 袁道先 常士骠 萧汉英 薛禹群

编辑委员会

主任: 单昶

副主任: 张政治 沈小克 武威

委员: (按姓氏笔画为序)

万力 王丹 王长科 王文科 王旭升 王解先 化建新 方玉树 方锋
丘建金 石振华 左强 孙铁 刘云祯 刘春平 闫明礼 朱建军 李广信
李广贺 李哲生 李爱国 李耀刚 季善标 吴永红 吴成元 陈吉宁 杨旭
杨志法 张发旺 张炜 邵益生 汪敏 陆濂泉 岳中琦 郑西来 武强
赵永贵 宫辉力 高大钊 徐张建 顾国荣 奚家鉴 黄坚 黄冠华 梁金国
康景文 蒋波 傅昌宁 潘正风 潘庆林 戴前伟 魏连伟

主办: 中国建筑学会工程勘察分会
建设综合勘察研究设计院

刊号: ISSN1000-1433

CN11-2025/TU

(2009)京新出报刊增准字第(03)号

广告许可证: 京东字 0162 号

主编: 武威

副主编: 徐前 汪祖进

责任编辑: 丁淑芬 周末竟 王继忠

编辑: 史瑞卿 李端文 孙维芬

裴红图

印刷: 廊坊市文峰档案文化用品
有限公司

订购处: 《工程勘察》编辑部

定价: 15.00 元

编辑: 《工程勘察》编辑部

地址: 北京东直门内大街 177 号

邮编: 100007

电话: 64013366-18, 64043313

传真: 64043313-13

网址: [Http://www.gckc.cn](http://www.gckc.cn)

E-mail: c1@gckc.cn (测量)

yt@gckc.cn (岩土)

sw@gckc.cn (水文)

序 言

《工程勘察》杂志要出一本关于载体桩设计、施工和工程应用实录的专辑，嘱我写一个前言。

从一个方面说，一本全国性的专业核心刊物为一种岩土工程工法出版专辑的情况，并不十分普遍，所以我觉得这是一件大事；从另一个方面说，由于我自己参加过建设部有关部门组织的对行业标准《载体桩设计规程》的审核，知道这种技术在我国推广很快，需要对其成功的经验和不足之处及时地进行总结，使技术更加完善，因此，专辑的出版，当然也是一件很好的事情。

一种新的技术，是否能得到应用和推广，首先要看它的功能和效益。由于载体桩自身所具有的承载力高、注重环保、节约原材料、节省投资和施工简便等优点，自 2001 年以来，该项技术在全国的很多省市得到应用，涉及的建设项目包括建筑、市政、公路、铁路和桥梁等领域，取得了较好的经济和社会效益。

新技术的生命力来自于它的不断创新和葆有的技术经济比较优势。载体桩的创新可能有两个特点。第一是依赖产学研的结合，在这种技术的形成和改进过程中，我们看到了一些来自学校和研究单位的论文，对它的工作机理和评价方法做了比较深入的探讨，形成了比较一套比较完整的技术体系和评价方法。该项技术在近年中获得了北京市科技进步奖就体现了这方面的研究成果；另一个特点是注重在生产实践中不断发现和解决问题，进行技术拓展，使这项技术逐渐走向成熟，形成市场上的比较优势。

新技术的生命力的持续性还源自其质量保证体系。其中，制定明确的技术标准是质量保证的重要环节。中华人民共和国行业标准《载体桩设计规程》(JGJ 135-2007)的颁布使得载体桩在各地推广时有技术法规可作依据。北京波森特岩土工程有限公司制定的企业标准《载体桩施工及验收规程》(QB 01-2007)同时颁布，可以作为各地同业的工作依据或参考。

本专辑涉及载体桩技术研究、设计、施工和工程实录等方面的 30 余篇论文，从多个方面和不同的角度对这项新技术进行了审视和总结。其中技术研究和设计施工部分的多篇论文，论述有相当的深度。数篇工程实录则详细记载了工程应用中的若干重大问题和工程经验，可供读者研判分析，内容十分丰富。

当然，和任何岩土工程技术一样，载体桩也有其对土质和环境的适用条件，其加固效果还要依赖于合理的设计和高标准的施工质量控制。我们希望通过这次专辑的出版，引起学术界、工程界更多同行对这项岩土工程技术的重视，使它不断改善，并得到更加广泛的应用。

 2008-12-18

目 录

技术研究

载体桩技术的诞生与发展	沈保汉 王继忠	(1)
载体桩的受力机理与技术创新	王继忠	(5)
载体桩技术的拓展	王继忠 杨启安	(10)
载体桩承载力性状有限元分析	仇凯斌 介玉新 李广信 王继忠	(15)
载体桩夯扩的影响范围研究	李广信 仇凯斌	(21)
带帽载体桩复合地基设计	雷晓雨 闫雪峰 初 蕾	(26)
载体桩施工对土体湿陷性和液化性影响的研究	杨启安 刘国权	(31)
载体桩加固机理和受力分析	张 健 刘茂青	(36)

载体桩设计与施工

载体桩的设计计算要点	葛宝亮 杨启安 王继忠	(40)
载体桩施工中注意的问题	戚银生	(46)
载体桩的挤土效应分析	杨启安 杜 强 胡景明	(51)
载体桩的检测	杨启安 张建洪 李玉朋	(57)
载体桩施工振动影响及隔振的研究	孙玉文 周秋燕	(63)
载体桩基础工程的勘察要点	戚银生 段亮亮	(67)

载体桩工程实例

载体桩在朝阳新城小区的应用	葛宝亮	(71)
载体桩在天津 105 厂整体搬迁项目中的应用	王晋霞 杨浩军	(75)
载体桩在粉(细)砂土层中的应用	兰小华 刘运超	(81)
沧州某大型坑填地基的工程特点与加固处理	孙玉文 段树松 赵文革 伊海昌 周秋燕	(85)
载体桩在岩溶地区的应用	刘国权 曾毅学	(91)
载体桩在南通尚德城邦商办楼工程的应用	毛 辉	(95)
载体桩在北京宏福大厦工程复合地基中的应用	李 霞 张建洪	(99)
北京动车段桩基础方案的研究与分析	刘焕强 房华荣	(104)
载体桩在北京万科熙园工程中的应用	马海华 安亚伟	(108)
载体桩技术在沈阳市沈北地区的应用与经济性分析	袁晓光 王 刚 季 强	(113)
载体桩与天然地基的经济分析	王中军 赵志强 杜浩瀚 张尊刚	(118)
载体桩在哈尔滨江北大众国际公寓建筑中的应用	杨立杰 孟宪君	(122)

载体桩在南通某工程中的应用.....	陈 娟 (127)
载体桩在北京璟都馨园的应用.....	李玉朋 杨静东 (132)
载体桩在某民用建筑中的应用.....	郝树林 (137)

等能量等变形挤密桩复合地基的工程应用

等能量等变形挤密渣土桩在北京动车段地基处理工程中的应用.....	郝树林 (141)
等能量等变形挤密碎石桩处理液化砂土的效果.....	张金成 段亮亮 (145)
北京动车段渣土桩复合地基施工参数优化和检测方法.....	刘焕强 房华荣 (149)

载体桩技术的诞生与发展

沈保汉¹, 王继忠²

(1. 北京建筑工程研究院, 北京 100039; 2. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 载体桩是在沉管式扩底桩、夯扩桩的基础上发明的, 本文介绍了载体桩的发明过程, 并针对社会上将载体桩误认为夯扩桩的现象, 重点介绍了载体桩与夯扩桩的区别, 使大家对载体桩有更详细的了解, 同时介绍了近几年载体桩的发展。

关键词: 沉管式扩底桩; 夯扩桩; 载体桩; 大直径载体桩

0 载体桩技术的发明思路

当采用天然地基其承载力或变形不满足设计要求时, 须进行地基处理或采用桩基础。如何提高桩的承载力是普遍关注的问题。增大桩径可以提高桩的承载力, 但由于受桩间距的制约, 其提高程度往往是有限的。研究者想到通过增加桩端受力面积或者改善桩端土体的受力特性, 来提高桩承载力的思路, 相应发明了扩底桩、夯扩桩等技术。但传统的扩底桩、夯扩桩等, 受工艺或者施工设备的制约, 桩端扩大头的面积不大, 或桩端土体的影响区域较小, 因此单桩承载力的提高有限。

作者在扩底桩、夯扩桩等技术的基础上, 经过多年的实践和摸索, 将创新思路定位在改进施工工艺和设备上, 通过增加夯击能量和填料, 增大桩端受力面, 改善桩端持力层土性和承载能力, 最终发明了载体桩技术。同时, 巧妙地选用了建筑垃圾作为填料, 既节省了投资, 也为消耗越来越多的建筑垃圾提供了一个经济的途径, 符合环保和可持续发展的需求。

1 扩底桩、夯扩桩技术介绍

1.1 沉管式扩底桩

第一类沉管扩底桩有钻孔灌注桩、西方扩底桩、Delta 桩、Alpha 桩、MacArthur 柱桩、GKN 桩等; 第二类有 Franki 桩及 Dowsett 桩等。

第一类桩的施工方法大致为: 1) 在桩心位置放置预制桩尖, 并将桩外管、芯轴与预制桩尖相连接, 沉入到设计标高; 2) 然后拔出芯轴或内管, 往桩管内放入干硬性混凝土或塑性混凝土; 3) 再次插入芯轴, 在稍稍提升桩管的同时锤击芯轴形成扩大头; 4) 拔出芯轴往桩管中插入钢筋笼, 浇注桩身混凝土; 5) 最后拔出钢管成桩。见图 1 (a)。

第二类桩的成桩工艺是: 1) 用钢管对准桩位后, 先在钢管内投入一定数量的碎石或干硬性混凝土, 形成管内的土塞柱; 2) 利用重锤自由落锤, 锤击管内的土塞柱, 依靠土塞柱与管壁的摩擦阻力将钢管沉入土中; 3) 当沉管深度达到设计标高后, 固定钢管, 将管内土塞柱锤击出管外, 再灌入一定量的混凝土, 锤击混凝土形成扩大头; 4) 插入钢筋笼, 继续向桩管内灌注混凝土, 换上轻锤 (比重锤的直径小, 以便在钢筋笼内锤打), 继续灌入混凝土, 边锤击混凝土, 边拔出桩管; 5) 直到设

计桩顶标高，最终成桩。见图 1 (b)。

1.2 夯扩桩

夯扩桩改进了锤击沉管灌注桩的机械设备与施工方法，吸收了国外的夯击式沉管扩底桩的优点，增加 1 根内夯管，按照一定的施工工艺（无桩尖或钢筋混凝土预制桩尖沉管），采用夯扩的方式（一次、二次、多次夯扩与全复打夯扩等）将桩端现浇混凝土扩成大头形。其施工流程大致如下：1) 将护筒沉到设计标高；2) 填入干硬性混凝土；3) 提外护筒，锤击内夯管挤压干硬性混凝土形成扩大头；4) 重复步骤 2)、3)；5) 放置钢筋笼；6) 浇注桩身混凝土，拔出护筒成桩。如图 1 (c) 所示。

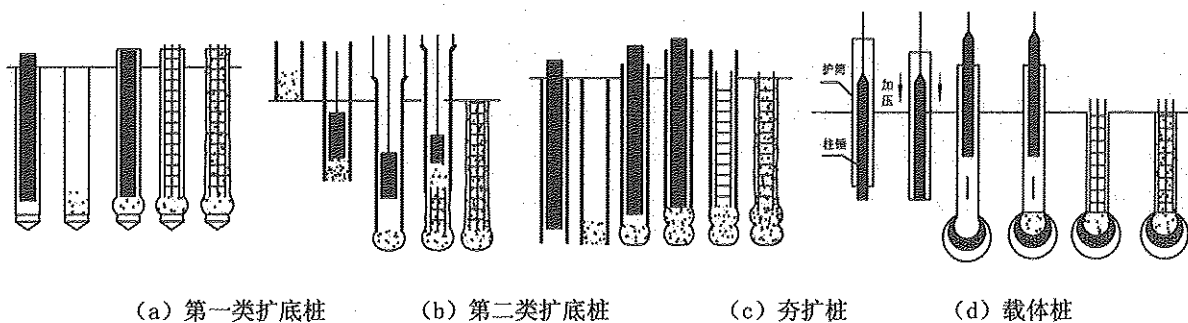


图 1 施工工艺流程

夯扩桩的特点：(1) 内管底部的干硬性混凝土能有效起到止水作用，使后续混凝土质量得到保证；(2) 桩身混凝土借助于柱锤和内夯管的作用成型，可避免或减少缩径等弊病；(3) 通过内管的锤击力夯击混凝土，增大桩端混凝土的面积，提高单桩承载力。

其承载力计算公式为：

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$$

桩端面积按圆形计算，其夯扩体直径为：

$$D_n = \alpha_n d_0 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i + h_n - c_n}{h_n}}$$

式中： D_n 为夯扩 n 次后扩大头的直径； α_n 为扩大头修正系数； d_0 为外管直径； H_i 为夯扩 i 次外管中灌注混凝土高度， h_n 为夯扩 n 次时外管上拔高度。

2 载体桩的成桩工艺

载体桩是由载体和混凝土桩身构成的桩，而载体有干硬性混凝土、夯实填充料和挤密土体组成。受力时，上部荷载通过混凝土桩身传递到载体，通过载体内不同材料的应力扩散，最终将上部荷载传递到深层土体，形成类似扩展基础的受力。

载体桩的成桩工艺为：1) 通过柱锤夯击成孔；2) 反压护筒，将护筒沉到设计标高；3) 分批向孔内投入填充料反复夯实、挤密，并通过三击贯入度进行密实度控制，当三击贯入度满足设计要求后，再填入干硬性混凝土夯实，形成载体；4) 然后放置钢筋笼；5) 灌注混凝土或放置预应力管节而形成桩。由于采用柱锤提升自由落体进行夯实，能量显著增加，桩端以下土体的影响区域也显著增大。如图 1 (d) 所示。

载体桩承载力计算公式为：

$$R_a = f_a \cdot A_e$$

式中： f_a 为地基土经过深度修正后的承载力； A_e 为载体的等效计算面积。

载体从混凝土到填充料，形成了多次的压力扩散，其受力与常规普通桩端受力有区别。表 1 列出了载体桩和夯扩桩的区别。

载体桩和夯扩桩的区别

表 1

桩型	组成	施工工艺	施工控制指标	承载力算式	施工影响范围
夯扩桩	混凝土桩身(桩端扩大头只是混凝土桩身的一部分)	通过内管挤压混凝土形成扩底,其作用主要是增加桩端受力面积	通过混凝土填料体积、外管每次的提拔高度来控制扩大头的直径和高度	与常规混凝土桩相同	填入的混凝土量少,故影响范围小,一般直径不超过 1m
载体桩	混凝土桩身、载体(包括混凝土、夯实填充料和挤密土体)	通过填料夯实挤密周围土体,形成载体,载体既有扩底作用,同时又加密土体,改善受力性状,形成等效扩展基础	通过三击贯入度控制填料来控制桩端土体的密实度	按等效扩展基础估算: $R_a = f_a A_e$	通过柱锤填料夯实,填料约 1.5~1.8m ³ ,载体的影响区域约宽 2~3m,深 3~5m,影响范围广

综合载体桩作为一种新工艺具有以下几个优点：(1) 通过填料、夯击挤密土体形成复合载体，提高了单桩承载力。通常情况下，其承载力是同条件下相同桩径和相同桩长普通混凝土灌注桩的 3~5 倍；(2) 在同一施工场地，在不改变桩长、桩径的前提下，可根据不同的设计要求，通过调整施工参数来调节单桩承载力；(3) 施工机械轻便，移动方便；(4) 施工速度快、工期短；(5) 施工过程中无泥浆产生，同时还消耗大量的建筑垃圾和工业废料，保护了建筑环境；(6) 造价经济；(7) 采用三击贯入度进行控制，有利于减少建筑物的沉降。

同时应注意载体桩也存在着一定的局限性：(1) 该工艺会对周围建筑和管线产生挤土效应；(2) 在填料夯击过程中有轻微振感；(3) 当地下水位较高时，应注意封水、止水。

3 载体桩的拓展研究

载体桩经过多年的实践和不断发展，近年来又创新出新的形式。

3.1 扩顶载体桩复合地基

传统的 CFG 桩复合地基由 CFG 桩、桩间土和褥垫层组成，CFG 桩和桩间土共同受力，褥垫层的作用是调节桩土的应力分配，使桩与土的承载力能充分发挥。为提高复合地基承载力，用载体桩施工工艺代替普通 CFG 桩，以提高单桩承载力。为充分发挥载体桩单桩承载力，施工时采用特定的工艺将桩顶进行扩径。当上部荷载通过褥垫层传给复合地基时，由于桩顶接触面积增大，单桩分担荷载相应增大，故复合地基承载力也相应增大。由于荷载更多地传到深层土体，而深层土体具有承载力高、压缩性低等特点，故采用扩顶载体桩复合地基还能减少地基沉降和不均匀沉降。

3.2 预制桩身载体桩

载体桩桩身与普通钢筋混凝土桩身一样，故普通混凝土灌注桩施工中易出现的问题，载体桩施工过程中同样也会出现。在某些特殊地区为避免桩身混凝土施工中出现缩径、断桩和离析等缺陷，

将载体桩混凝土桩身用预应力管桩来代替,即载体施工完毕后直接放入预应力管桩,通过特定的处理使预应力管桩与复合载体紧密结合,形成预制桩身载体桩。该桩受力机理与普通载体桩一致,只是改变了上部桩身的施工,提高了施工效率,保证了施工质量。

3.3 大直径载体桩

针对建筑地基中单柱单桩和市政桥梁中对单桩高承载力的要求,发明了大直径载体桩施工工艺。它采用特定的施工设备将三个护筒沉管后固定在一起,然后填料、夯击,放置钢筋、灌注混凝土,形成三桩联体的大直径载体桩。大直径载体桩的桩身为三根钢筋混凝土桩身,由于桩端面积增大,填料显著增加,因此单桩承载力显著提高。试验研究证明其极限承载力可达 10000kN。与采用旋挖施工的工艺相比,大直径载体桩技术由于其施工工艺简单、成本低廉、施工工期短、质量易控制等优点,并且施工时无泥浆排出,具有广阔的应用前景。

4 结语

载体桩是一种全新的桩型,其受力机理、承载力计算公式等与传统桩基础不同,该技术可以通过改变施工参数调整单桩承载力以适应不同的工程,还可以施工成复合地基,因此载体桩技术是一项具有显著经济和社会效益的技术。

参考文献

- [1] 顾晓鲁.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 曾国熙等.桩基工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 中华人民共和国行业规程.载体桩设计规程(JGJ 135-2007)[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 杨家丽.建筑工程地基处理技术——夯扩桩的设计与施工[M].北京:科学技术出版社,10997.

载体桩的受力机理与技术创新

王继忠

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 介绍了载体桩的组成和受力的分析, 同时重点介绍了载体桩的技术核心, 使大家对载体桩更深刻地了解。载体桩与传统桩基础相比, 在施工工艺和施工设备等多方面进行了创新, 使其具有显著的优点, 是一项高效经济的技术。

关键词: 载体; 载体桩; 扩展基础; 创新; 三击贯入度

1 载体桩的构成和受力

载体桩是由载体与混凝土桩身构成的桩, 其中载体由混凝土、填充料和挤密土体三部分构成(图1(a))。施工时通过柱锤夯击、反压护筒成孔或沉管设备成孔; 达到设计标高后分批向孔内填入砖、碎石等填充料进行夯实挤密; 当达到设计要求三击贯入度后, 再填入干硬性混凝土进行夯实, 形成载体; 然后放置钢筋笼、灌注混凝土或直接放置预应力管节形成的桩。根据桩身混凝土的施工方法、施工材料及受力条件等的不同, 载体桩分为现浇钢筋混凝土载体桩、素混凝土载体桩和预应力桩身的载体桩。

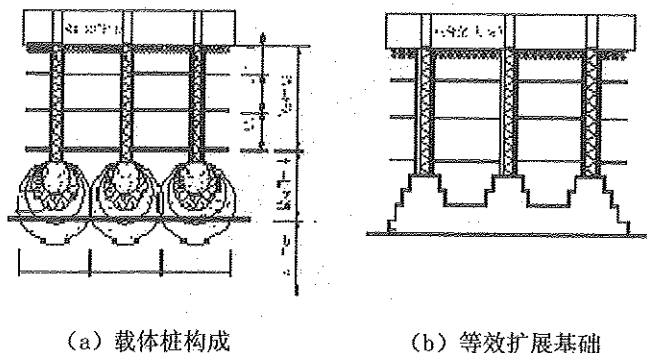


图1 载体桩的受力传递示意

通常载体桩桩长都比较短, 实测表明复合载体施工完毕时, 桩端下深3~5m、宽度2~3m范围内的土体都得到了有效挤密, 承载力和压缩模量也有一定程度的提高。在受力时, 桩侧摩阻力都比较小, 大部分荷载通过桩身传递到桩端的载体, 再通过载体传递到持力层土体上。而载体由三部分组成, 从混凝土、填充料到挤密土体, 材料的压缩模量逐级降低、承载力也逐级降低, 下一层材料对于上一层材料, 是软弱下卧层, 应力在每一软弱下卧层顶都被扩散、降低, 因此从桩身传递的附加应力经过三种材料逐级扩散, 当传递到持力土层时, 附加应力已大大降低, 小于地基土的承载力, 这是载体桩单桩承载力高的主要原因。

如图 2 (b) 所示, 从受力特点来看, 载体桩类似于扩展基础。桩身可以等效为传力的杆件, 复合载体等效为传递荷载的扩展基础。上部荷载通过桩身传到复合载体, 并最终将荷载扩散到扩展基础底部的持力土层。当桩间距在 2.0~3.0m 之间时, 承台梁和载体桩可以等效为条形基础; 独立承台和载体桩可以等效为独立柱基; 满堂布置的载体桩则可以等效为筏板基础。因此, 采用载体桩是将地基处理的问题演变为结构设计中的基础设计问题。载体桩通过沉管深度来控制载体基础的埋深; 通过三击贯入度控制干硬性混凝土和填料的施工, 进而控制载体扩展基础的面积。

为进一步验证载体桩的端承受力特点, 北京波森特岩土工程有限公司在武夷花园工程进行了载体(消除桩侧摩阻力)和载体桩的承载力对比试验。该工程土层自地表以下依次为: 填土、粘质粉土和粉砂, 试验桩以粉砂层作为持力土层, 承载力为 160kPa, 压缩模量为 12MPa。载体荷载试验采用柱锤作为传力杆以消除桩侧的摩阻力。采用桩基础荷载试验的方法进行试验, 并对没有达到极限破坏状态的载体曲线以逆斜率法推算极限承载力。施工参数见表 1。

载体施工参数

表 1

桩号	钻孔直径 (mm)	钻孔深度 (m)	填料量 (块)	三击贯入度 (cm)
1 号	370	4.5	480	8
2 号	370	4.5	380	12
3 号	370	4.5	320	13

载体和工程桩的荷载试验曲线如图 2。根据试验数据, 载体和桩的平均单桩承载力特征值分别为 850kN、950kN, 则桩身侧摩阻承载力占比例为 $(950-850)/950=10.5\%$ 。可见, 载体桩桩身的侧阻力较小, 其承载力主要来源于载体的承载力。

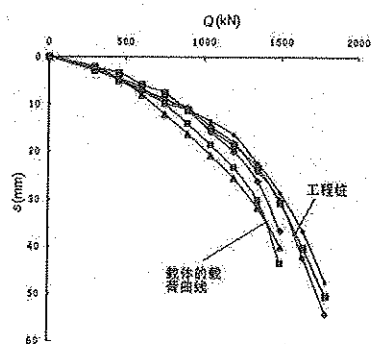


图 2 荷载试验曲线

2 载体桩施工技术的核心机理

一般情况下土体是由三相组成: 土颗粒、空气和水。从物理力学性质上分析, 空气和水占总体积的比例越低, 土体密实度和压缩模量就越高, 承载力也就越高。地基土是经过若干万年土体的沉积而成的, 土层越深, 沉积年代就越久, 土体就越密实, 其承载力也就越高, 因此从理论上分析, 只要埋深足够深、基础底面积足够大, 任何一种建筑的基础都可以采用天然地基。但由于受施工技术的限制或由于施工造价原因, 相当多的建筑物, 当天然地基承载力不满足设计要求时, 常采用地基处理方法或桩基础。

载体桩施工技术是一种全新的技术,它是一种基础的施工工艺,而非地基处理工艺。其技术核心为在一定埋深下的特定土层中,通过柱锤冲击能量的作用成孔,并迅速填料作为介质进行反复夯实,挤压土体中的水和气,在一定侧限约束下使桩端土体实现最优的密实,达到设计要求的三击贯入度,形成等效计算面积为 A_e 的多级扩展基础,实现应力的扩散。故载体桩技术的核心为土体的密实,通过土体密实形成等效扩展基础。

一定埋深指根据上部结构荷载的要求选择满足强度和变形要求的持力层,且该土层能保证有足够的侧向约束,这是土体密实的边界条件,没有约束任何土体都无法挤密,故在设计时必须保证载体的埋深,若埋深太浅,周围约束力太小,将无法达到设计要求的密实度,且施工过程中也容易隆起,影响载体桩施工质量。

填充料作为一种介质,其目的是将柱锤的能量传递给地基土,排出水和气实现土体的密实,同时介质的作用还可以避免柱锤直接夯击地基土造成地基土的破坏,从而影响施工效果。

最佳密实度是指通过三击贯入度来控制最佳的填料。该填料既能保证地基土最大限度的挤密,同时工效最高,不同的土层其三击贯入度也是不同的,三击贯入度的概念为质量3.5t锤,锤径355mm,提升6m后自由落体,累计3次的贯入度之和,三次的贯入度要求后一击比前一击小或持平。

扩展基础即为由混凝土、填充料和挤密土体构成的载体,而扩展基础的承载力即为载体桩承载力,因此规范中采用扩展基础承载力的计算公式来计算载体桩单桩承载力, $R_a=f_a A_e$ 。 f_a 为地基土承载力,而 A_e 为载体的等效计算面积,通过不同的土性和三击贯入度查规范可得。通过对全国1500多根载体试验曲线反分析统计,规范给出了对应不同的土性和三击贯入度的 A_e ,使载体桩的设计变得简单可行。使传统的桩基础设计变为了扩展基础的设计,只需要选择合适的持力土层和根据三击设计合适的扩展基础面积即可。

土体的密实与很多因素有关,如夯击能量、土体的含水量等。土体的密实度也并非越大越好,一方面现场夯实与室内的击实试验不完全相同,不可能达到室内试验的密实度;另一方面若过分严格要求三击贯入度可能造成施工工效的降低从而增加施工成本。因此,如何选择合适的持力土层、合适的填充料数量,确定最佳的施工间距是载体桩研究的一个重要课题。

由于载体桩的技术核心是通过填料实现压力扩散形成扩展基础的受力,因此设计施工时,并非填料越多越好,填料越多,夯实影响的区域越大,则可能影响到邻近桩的成桩质量。根据不同的土层,我们可以选择不同的填料组成部分,达到应力扩散的效果,如在砂性土或碎石土中,由于土体的挤密效果很好,我们可以通过填料夯实来实现应力的扩散,能取得非常好的效果,而在粘性土中,由于粘性土的被加固性差,单纯通过填料夯实往往不能起到好的效果,可以通过增加混凝土的填量,通过扩大载体中混凝土部分的应力扩散,来实现最终的应力扩散,也能取得好的效果。因此施工中应根据不同的土性,选择合适的施工参数,实现最佳的应力扩散和传递。

3 载体桩的技术创新

载体桩施工与普通混凝土桩相比在施工技术上存在以下几项创新:

(1) 采用柱锤冲切地基成孔,大大增加施工功效,且施工过程中只需提锤,消耗功率低,降低对功率的要求;(2) 采用护筒成孔,所有的工序都在护筒中完成,可以避免施工过程中地下水对施工的影响,且在地下水位较高的地区施工时不用降水,降低施工成本;(3) 当成孔到设计标高后,进行填料夯击,一方面可以通过填充料调节桩端周围土体的含水量,使土体的含

水量接近最优含水量，增加土体的挤密效果，另一方面，借助填充料可以避免柱锤对桩端下土体的直接夯击，增加夯击效果；(4) 施工过程中先夯实挤密桩身土体、然后填充料夯实，最后填入混凝土夯实，施工完毕后从上到下形成不同的夯实材料，实现应力的扩散，提高单桩的承载力，形成等效扩展基础，这是该技术最大的创新。(5) 施工过程中采用三击贯入度控制。该技术在施工过程中通过控制三击贯入度对挤密土体的密实度进行控制，测量三击贯入度时，必须保证后一击的贯入度不大于前一击的贯入度，这样保证柱锤不穿透柱锤下的土体。(6) 施工设备的创新。通过设计特定的卷扬设备，实现载体桩的施工工艺，实现成桩。

4 载体桩技术的优点

(1) 通过填入填充料后夯击挤密土体形成复合载体，提高单桩承载力。通常情况下，其承载力是同条件下相同桩径、桩长的普通混凝土灌注桩承载力的 3~5 倍；(2) 在同一施工场地，可根据不同的设计要求，通过调整施工参数(表 2)来实现不同的单桩承载力，如图 3；(3) 施工机械轻便，移动灵活；(4) 施工过程中，不必降水，减少开挖的工程量，提高施工速度，缩短工期；(5) 施工过程中无泥浆产生，同时还消耗大量的建筑垃圾和工业废料，保护建筑环境；(6) 由于施工过程中采用建筑垃圾等废料，减少建筑材料的消耗，同时采用该技术减少部分施工工艺，降低施工造价。

施工控制参数

表 2

桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层	填砖数 (块)	三击贯入度 (cm)
1号	410	5.2	粉砂	300	5
2号	410	4.0	穿粘土进粉土	515	6
3号	410	4.0	穿粘土进粉土	460	12
4号	410	2.7	粘土	485	9
5号	410	4.0	—	—	直杆桩

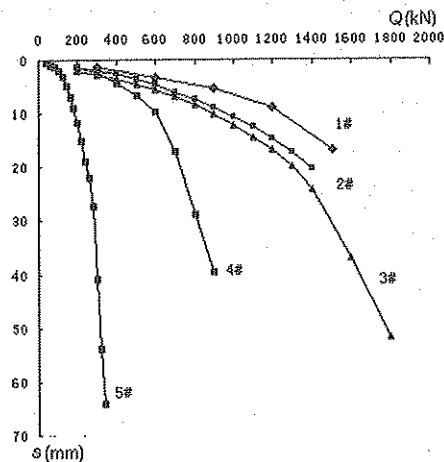


图 3 不同施工参数对应的 Q-s 曲线

5 载体桩技术的经济效益

5.1 工程及地质条件概况

拟建工程位于北京市丰台区菜户营, 东侧为天伦小区, 北侧为市煤炭公司住宅, 西侧为京九铁路。建筑地上 9 层, 地下 1 层。剪力墙结构, 埋深-3.50m。平面为 L 形, 平面尺寸 4.92m × 16.4m, 基底天然地基土承载力为 220kPa。

根据岩土工程勘察报告, 场地自然地坪下 7m 的深度范围内分为 4 大层, 分别为人工堆积层填土、房渣土、粉质粘土、粉细砂, 其下为未揭穿的卵石地层。其中粉细砂和卵石层承载力分别为 180 kPa、250kPa。

5.2 地基处理技术及经济对比

场地天然地基承载力不能满足设计要求 ($f_{ak}=220\text{kPa}$), 需进行处理。原地基处理方案采用 CFG 桩复合地基, 由于基础底面标高下仍有 3.5m 左右的杂填土和粉质粘土, 侧摩阻力较小, 故若采用 CFG 桩必须进入卵石层一定深度, 设计 CFG 桩长 7.0m, 桩径 410mm, 满堂布桩, 共 500 根。后经分析, 卵石层承载力较高, 采用载体桩选卵石层作为持力层, 可以很好地发挥卵石层的承载能力, 调整方案为载体桩基础, 设计桩径为 410mm, 有效桩长 3.5m, 共布桩 258 根。对比数据见表 3, 经核算工程总造价节省 20.1%。

两种设计方案的经济性对比

表 3

方案	桩数/基底标高	主要工程量			地下室底板下总造价 (万元)	造价 (元/m ²)
		混凝土 (m ³)	钢筋 (t)	土方 (m ³)		
原设计	CFG 桩	500	300	—	75.5	46.3
	筏板	-3.7m	978	52		
现设计	载体桩	258	184	9.06	60.3	37.0
	承台梁	-3.9m	810	34.5		

6 结语

- (1) 载体桩将土体密实理论应用于桩基础施工中, 通过填料夯实改善土体的土性;
- (2) 载体桩通过混凝土、填充料和挤密土体的扩散将上部荷载传递到深层地基土, 形成等效扩展基础;
- (3) 载体桩可以通过调节施工参数, 调整单桩承载力;
- (4) 载体桩最显著的优点为承载力高, 节约造价, 比常规技术节约造价 20% 以上。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司. 载体桩成套技术与开发 (内部资料), 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 北京城建勘察设计院. 绿化三大队工程勘察报告 [R]. 2003.
- [4] 北京市检测一所. 武夷花园桩基础检测报告 [R]. 2001.

载体桩技术的拓展

王继忠, 杨启安

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 载体桩具有承载力高、变形小的特点, 近几年, 随着对载体桩技术研究的深入, 在载体桩技术的基础上发明了扩顶载体桩复合地基、预制桩身载体桩和大直径载体桩等施工工艺, 本文对这些方法进行了介绍, 使工程技术人员对载体桩技术有更全面的了解, 为载体桩技术的进一步推广与更广泛的应用奠定了坚实基础。

关键词: 复合载体; 复合地基; 等效置换率; 侧压力; 管桩; 沉降

0 前言

载体桩自诞生以来, 由于其具有施工工艺简单、施工速度高效快捷、质量易控制、造价经济等特点, 迅速在全国各地被广泛采用。但它的使用仍然受到一定的限制, 例如由于它是桩基础, 没有发挥桩间土的承载力; 常规的桩基础承载力为 500~1500kN、桩径为 410~430mm, 当建筑物荷载较大, 对单桩承载力要求较高时, 现有载体桩技术的使用必然受到限制。如何在载体桩技术的基础之上, 开发出新技术以拓宽载体桩的使用一直是北京波森特岩土工程有限公司研究的课题, 经过近几年的研究与实践, 研发出了一系列以载体桩技术为基础的新技术, 为载体桩技术的进一步推广应用奠定了基础, 本文将分别对这些种技术进行介绍。

1 扩顶桩复合载体地基

1.1 扩顶桩复合地基的原理与试验研究

扩顶桩复合地基是一种以载体桩技术施工复合地基的施工技术, 该技术既能发挥载体桩单桩承载力高的特点, 同时又利用了桩间土的承载力。由于该技术施工简单, 施工质量易保证, 经济高效, 是一项值得大力推广的地基处理技术。

传统的 CFG 桩复合地基由 CFG 桩、桩间土和褥垫层组成, 褥垫层的作用是调节桩土的应力分配, 使桩与土的承载力充分发挥。复合地基受力时由于桩间土压缩模量小、变形大, 桩体弹性模量大、变形小, 实际工程中大部分荷载通过褥垫层传递到桩间土上, 致使单桩承载力的发挥有限。为提高复合地基承载力, 我们首先采用载体桩代替普通 CFG 复合地基的素混凝土桩, 以提高单桩承载力, 其次为充分发挥载体桩单桩承载力, 施工时采用特定的设备对桩顶进行扩径, 形成扩顶载体桩复合地基, 如图 1 所示。当上部荷载通过褥垫层传给复合地基时, 由于桩顶面积增大, 单桩分担荷载相应增大, 传递到桩间土的荷载相应减少, 使桩和桩间土的荷载分配更加合理, 提高了复合地基的承载力。由于荷载更多地通过桩传递到深层土体, 而深层土体具有承载力高、压缩性低等特点, 因此采用扩顶桩复合地基还能减少地基沉降、控制不均匀沉降。

为更好了解载体桩复合地基的受力与变形，笔者做了两组普通复合地基与扩顶载体桩复合地基的对比试验（图2）。其地质参数和施工控制参数分别如下表1和表2。

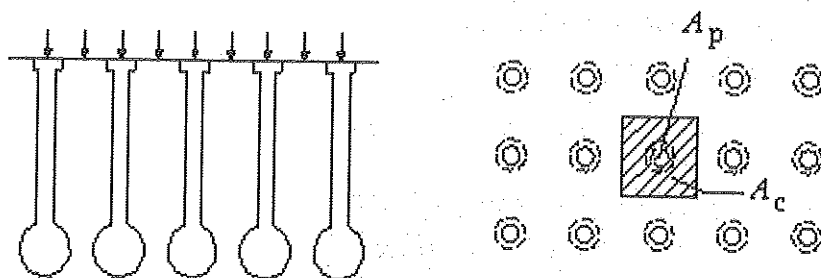


图1 扩顶载体桩复合地基

地质参数

表1

土层	厚度	w	γ	I_p	e	E_s	f_k
①粉质黏土填土	0.7	-	-	-	-	-	-
②粉质黏土	1.3	23.9	19.3	0.37	0.73	2.75	100
③黏质粉土	1.6	27.9	19.5	0.39	0.77	4.51	120
④粉质黏土	0.6	29.2	19.6	0.69	0.79	4.80	130
⑤砂质粉土	3.8	25.3	19.8	0.80	0.71	13.60	230

扩顶与不扩顶复合地基对比试验

表2

试验编号	桩径 (mm)	桩长 (m)	桩间距 (m×m)	桩端持力层	三击 (cm)	扩顶直径 (mm)	长径比	
12#	扩顶复合地基	327	6.0	1.3×1.3	粉质粘土	8.0	600	7.6
	扩顶复合地基	327	6.0	1.3×1.3	粉质粘土	7.5	800	7.6
	复合地基	327	6.0	1.3×1.3	粉质粘土	9.0	-	7.6
13#	扩顶复合地基	327	6.0	1.3×1.3	粉质粘土	21.5	600	7.6
	复合地基	327	6.0	1.3×1.3	粉质粘土	20.0	-	7.6

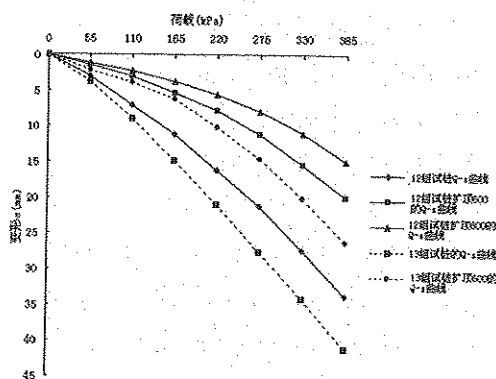


图2 扩顶与不扩顶复合地基载荷试验的 $Q-s$ 曲线对比

通过对这两组复合地基进行静载荷试验发现：载体桩由于其单桩承载力高，其施工的复合地基承载力都比较高；扩顶后的载体桩复合地基的承载力比不扩顶的复合地基承载力高。

由此可见,载体桩复合地基的桩端载体由于填料与夯击等工艺,在桩端形成复合载体,提高了单桩设计承载力,桩顶扩径让承载力高的载体桩发挥出更多的承载力,提高了复合地基的承载力。

(2) 载体桩复合地基承载力的分析与计算

传统复合地基承载力特征值为:

$$f_{spk} = mR_a / A_d + \beta(1-m)f_{sk}$$

该计算公式认为复合地基受荷时,单桩承载力全部发挥,桩间土承载力部分发挥,但实践证明复合地基受力时并非如此。复合地基单桩摩阻力的发挥依赖于桩土之间的相对位移的大小或相对位移趋势的大小。当桩土之间不产生相对位移或不产生相对位移趋势,则摩阻力为零;当桩土之间产生向上的相对位移或相对位移趋势,则摩阻力为负;当桩土之间产生相下的相对位移或相对位移趋势,则摩阻力为正;试验证明桩侧摩阻力的发挥随深度呈递减的趋势,当达到一定深度后侧阻为零,该位置即为中性点。并且在进行复合地基设计时,有时为控制变形而人为增加桩长,这也造成单桩侧阻不能全部发挥。因此认为复合地基中单桩承载力全部发挥是不正确的,相对于扩顶载体桩复合地基,我们提出了其承载力的计算公式为:

$$f_{spk} = n_1 m R_a / A_d + n_2 (1-m) f_{sk}$$

其中: n_1 和 n_2 为单桩和桩间土承载力的发挥系数。

2 预制桩身载体桩

载体桩由桩身和载体组成,其承载力主要源于载体,混凝土桩身的作用为传递上部荷载到载体,实现力的扩散,若桩身质量有缺陷,则由于荷载传递不到载体,其承载力也无法发挥出来。载体桩桩身与普通钢筋混凝土桩身材料和施工一样,因此普通混凝土灌注桩施工中出现的问题,载体桩施工中同样也会出现。在某些特殊地区为避免桩身混凝土施工中出现缩径、断桩和离析等缺陷,将载体桩混凝土桩身用预制桩身来代替,即载体施工完毕后直接放入预制桩身,并对预制桩身进行施工处理使预制桩身与载体紧密结合,即为预制桩身载体桩,该桩受力机理与普通载体桩一致,只是将上部施工工艺进行了改变,确保了施工质量,避免产生缺陷。

预制桩身载体桩的设计与普通载体桩相同,根据不同的地质情况和结构安全等级进行桩基选型、单桩承载力的设计与计算、沉降和软弱下卧层的验算。唯一的区别是普通载体桩需要进行桩身混凝土强度验算,确保桩身不被压坏,而载体桩是通过上部结构选择合适的管桩。

由于预制桩身载体桩中管桩作用为传递荷载,管桩与载体的结合对载体承载力的发挥至关重要。其施工中应注意以下几点:①预制桩身载体桩的端部应填入一定量的砂浆或细石混凝土,确保桩身与载体的良好结合,同时避免荷载过大时预制桩身刺入载体;②由于载体中采用了干硬性混凝土施工,故预制桩身载体桩的施工应在干硬性混凝土施工完毕后立即进行,低能量夯击管桩,使管桩与载体结合良好,否则在干硬性混凝土初凝后施工预制桩身载体桩会造成载体中产生裂纹而影响单桩承载力;③施工中应选用与预制桩身载体桩配套的护筒施工,保证管桩能顺利进入护筒,方便施工。

3 大直径载体桩

3.1 大直径载体桩的发明

市政路基中桥梁基础、建筑地基中单柱单桩的基础对单桩承载力要求都比较高,常常达到3000kN以上,传统的载体桩承载力往往达不到,大直径载体桩技术就是针对高承载力的要求而发明

的施工工艺，它采用特定的施工设备将3个护筒固定在一起，同时沉管、填料、夯击、放置钢筋、灌注混凝土形成3桩联体的大直径载体桩。

大直径载体桩与普通载体桩一样，由混凝土桩身与复合载体组成，由于采用3个护筒填料施工，其填料量增加，载体的等效计算的面积也相应增加，故承载力也相应增大。由于桩底载体相互影响，大直径载体桩设计时，桩端等效计算面积并非3个单根桩 A_c 的叠加，其承载力受场地的地质情况和填料的影响较大。试验研究表明：大直径载体桩极限承载力可达 10000kN；图3为一大直径载体桩静载荷试验的 $Q-s$ 曲线，其地质参数见表3，施工参数见表4。与传统大吨位桩施工采用的旋挖工艺相比，大直径载体桩技术由于其施工工艺简单，成本低廉，施工工期短，质量易控制，并且施工时无泥浆排出，保护了环境，在市政桥梁工程中具有广阔的应用前景。

地质参数

表3

土层	厚度 (m)	天然密度 (g/cm ³)	孔隙比	含水量 (%)	压缩模量 (MPa)	承载力 (kPa)
①房渣填土	1.7	-	-	-	-	-
① ₂ 填土	1.0	1.82	0.75	17.5	9.8	-
②粉质黏土	2.5	1.94	0.70	23.5	5.7	110
③黏质粉土	2.7	2.0	0.62	20.0	14.0	200
③ ₁ 粉质黏土	0.7	2.0	0.63	20.6	8.2	160
④细砂	4.9	-	-	-	35.0	300
⑤卵石	>5.2	-	-	-	75.0	360

单个载体桩的施工参数

表4

序号	护筒 (m)	桩径 (mm)	桩长 (m)	三击 (cm)	填砖 (块)	干灰 (m ³)
1#	10.0	400	10.0	8	108	0.3
2#	10.0	400	10.0	8	105	0.3
3#	10.0	400	10.0	9	105	0.3

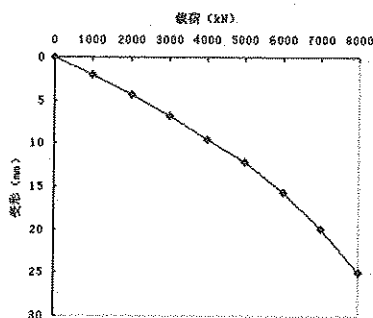


图3 某工程大直径桩 $Q-s$ 曲线

3.2 大直径载体桩的设计

大直径载体桩承载力同样来源载体，与普通载体桩不同的是它来源于三个载体桩而非一个载体，这三个载体在施工时相互影响，因此受力也会相互影响，对于常规载体桩，《载体桩设计规程》(JGJ135-2007)中给出了单个载体桩承载力的计算公式，而对于大直径载体桩可以采用相似的公式进行计算。其单桩承载力为

$$R_a=3\alpha f_a A_e$$

式中： A_e 为单根载体桩的等效计算面积； α 为受相邻载体影响对等效计算面积的折减系数，根据大量的载荷试验进行统计。

4 结束语

本文介绍了在载体技术基础上研发出的几种新型的工艺，即扩顶载体桩复合地基、预制桩身载体桩和大直径载体桩的受力和施工等。实际工程中应根据不同的条件，因地制宜，灵活运用各种技术，才能更好发挥载体的技术特点。

参考文献

- [1] 龚晓南.复合地基的理论及工程运用[M].北京：中国建筑工业出版社，2002.
- [2] 董必昌，郑俊杰.CFG桩复合地基沉降计算方法的研究[J].岩石力学与工程学报，2002，P21.
- [3] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程（JGJ 135-2007）[S].北京：中国建筑工业出版社，2007.
- [4] 中华人民共和国行业标准.建筑地基处理技术规范（JGJ 79-2002）[S].北京：中国建筑工业出版社，2002.

载体桩承载力性状有限元分析

仇凯斌¹, 介玉新¹, 李广信¹, 王继忠²

(1. 清华大学水利系, 北京 100084; 2. 北京波森特岩土工程公司, 北京 102218)

摘要: 本文对载体桩进行了有限元分析, 通过现场取样和模型试验确定夯扩挤密区范围, 通过分段线性插值确定夯扩影响区土单元的材料参数, 从而能够较为准确地分析这种桩承载力的特殊性状。本文根据计算结果讨论了桩身的荷载传递规律、承载力的计算及最优夯扩体直径的确定, 同时也比较了这种桩与扩底灌注桩在承载力特性方面的区别, 从而揭示了载体桩承载力性状的基本规律, 说明了载体桩是一种承载力性能优越的桩型。

关键词: 载体桩; 挤密区; 承载力; 最优夯扩体; 直径; 荷载传递

0 引言

载体桩是近年来在工程实践中发展起来的新技术, 它由载体和混凝土桩身构成(如图1)。它与普通夯扩桩的区别在于其不采用混凝土作为夯扩体的填充料, 而是采用碎砖、碎石块石等价格十分低廉的建筑材料。通过填料夯实形成类似复合地基的受力。

自从这种桩出现以后在全国各地得到了广泛运用, 但目前对这种桩的承载力性状一直缺乏系统的研究, 本文在现场试验的基础上通过有限元分析来揭示这种载体桩的承载力性状。

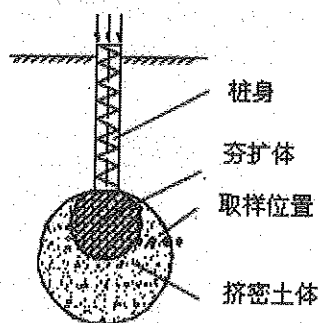


图1 载体桩示意图

1 载体桩计算模型的确定

载体桩的荷载传递途径为混凝土刚性桩→夯扩体→挤密土体→原状土地基, 其中夯扩体和挤密土体共同承担桩体传递下来的荷载, 被称为复合载体。原位测试和模型试验表明, 加到一定荷载后, 桩侧和周围土体发生错动, 扩底端上方会出现临空面(如图2)。随着荷载不断增大, 临空面加速扩大, 桩体沉降加速发展, 最终夯扩体刺入土体破坏。

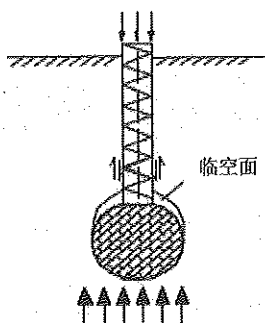


图2 载体桩受荷变形示意图

根据现场开挖和模型试验的结果, 夯扩体的形状接近于椭球体, 在本文的数值计算中, 其形状简化为同直径的圆球体。

为了充分反映载体桩在荷载作用下的变形特点和破坏模式, 按如下方式确定计算模型:

- (1) 由于桩体空间轴对称所以可以简化为二维问题计算;
- (2) 为了模拟桩身和周围土体的错动及夯扩体上方临空面的出现, 在桩侧和夯扩体侧设 Goodman 接触面单元;
- (3) 针对现场土质特点选定土的本构关系为 Duncan-Chang 模型。

2 挤密区范围的确定和挤密区土体计算参数的确定

载体桩有限元计算的难点在于如何确定夯扩体下挤密土体的范围和挤密土体的力学性质。需要特别强调指出的是, 在夯扩体周围被加密的土体范围内, 土的力学性质是随着其同夯扩体的距离的变化而变化的, 距离夯扩体越近, 土体越密, 有更高的强度和力学性质。

为了确定夯扩过程中持力层土体被挤密加固的程度和范围, 作者在天津工地现场沿夯扩桩 (该桩直径 400mm, 桩长 5m, 夯扩体直径 1000mm) 一侧开挖出的土层揭露面上, 从夯扩体最大直径处, 离夯扩体 0cm、30cm、60cm、90cm 分别取土样, 在实验室进行土的基本性质试验, 通过对试验资料 (见表 1) 的分析, 确定加密区的范围为夯扩体侧面为 1 倍夯扩体直径, 夯扩体底部为 2 倍夯扩体直径。

挤密区土样密度表

表 1

取土样点号	距夯扩体距离 (cm)	孔隙率 n (%)	密度 (g/cm^3)
1	0	41.1	2.045
2	30	42.1	2.01
3	60	43.8	1.95
4	90	44.7	1.92

注: 点号 4 土样为挤密区外原状土样。

为了确定在相同桩径情况下不同夯扩体直径对应的挤密影响区范围, 作者在室内进行了模型试验, 研究在不同夯扩体直径情况下挤密影响区的范围。试验结果显示, 在相同桩径情况下, 对于不同的夯扩体直径, 夯扩影响区范围均接近于夯扩体侧面 1 倍夯扩体直径, 夯扩体底部以下为 2 倍夯

扩体直径。

根据这 4 种土体的密度，采用原状土配制土样进行固结排水三轴试验，确定 Duncan-Chang 模型参数，见表 2。

各种土样 Duncan-Chang (E-u) 模型材料参数表

表 2

取土样点号	C (kg/cm^2)	φ	K_0	K_{nr}	n	R_f	G	F	D
1	29	36	347	509	0.24	0.857	0.27	0.22	4.1
2	25	32	302	452	0.24	0.856	0.26	0.20	4.1
3	19	30	257	404	0.23	0.860	0.25	0.20	4.2
4	16	28	201	367	0.22	0.862	0.23	0.19	4.2

确定挤密区范围之后，值计算还要求准确确定挤密区中任何一个单元的材料参数。所以，有限试验数据确定挤密区任何一个单元的材料参数就成为一个十分重要的问题。本文采用分段线性插值的方法解决了这个难题。最终的计算结果说明这种方法是足够精确的。

插值方法如图 3 所示，为确定挤密区内任一点 x 的 Duncan-Chang 模型参数，则从 x 向桩底中心 O 连线，分别同夯扩体边界和挤密区边界相交于 a 和 b ，当 $l_{ax} / l_{ab} \leq 1/3$ 时，利用土样 1 和土样 2 的材料参数进行线性插值，当 $1/3 < l_{ax} / l_{ab} \leq 2/3$ 时，利用土样 2 和土样 3 的材料参数进行线性插值，当 $l_{ax} / l_{ab} > 2/3$ 时，利用土样 3 和土样 4 的材料参数进行线性插值。

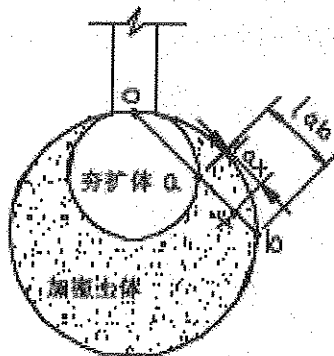


图 3 挤密区土体模型参数插值计算示意图

对于不同夯扩体直径，假定仅有夯扩挤密区范围的变化而夯扩挤密区内的土体力学性质有相同的变化规律，这样任何一个土单元的材料参数根据这四种土样的材料参数进行分段线性插值，通过这种方法确定夯扩挤密区土体的材料参数，能够比较合理地反映夯扩挤密区土体真实力学性质。

3 计算成果分析

3.1 计算结果和现场静荷载试验对比分析

对桩长 5m、直径为 400mm、夯扩体直径为 1000mm 的载体桩进行计算，计算结果和现场荷载试验数据进行对比，发现符合得很好，如图 4 所示，说明计算模型的选择是合理的。

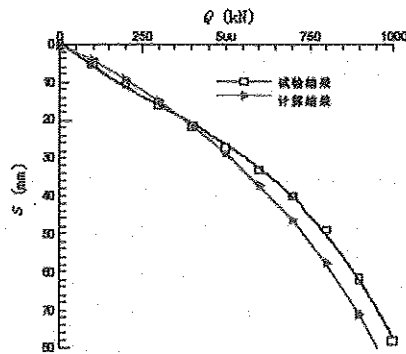


图4 荷载沉降曲线计算和实测结果对比图

3.2 临空面的出现对桩体荷载传递的影响

在桩体承担一定荷载后, 夯扩体上方和桩身连接处会出现临空面(见图2), 随着荷载的增加, 临空面会不断扩大。对于桩直径400mm、桩长5m、夯扩体直径1000mm的载体桩, 计算结果表明, 在500kN的作用下, 临空面开展为19.8mm, 当荷载达到1000kN, 临空面开展达60.6mm。随着临空面的开展, 载体桩桩身下部桩侧阻力明显降低。由于随着桩体沉降的增加, 临空面的扩展导致桩侧阻力有下降的趋势。

3.3 桩身荷载传递规律

如图5所示在不同的荷载作用下夯扩桩的桩侧阻力占桩的全部承载力不超过18% 并且随着荷载增加桩侧阻力所占比例下降说明考虑临空面的开展而把桩侧阻力作为安全储备是合理的。

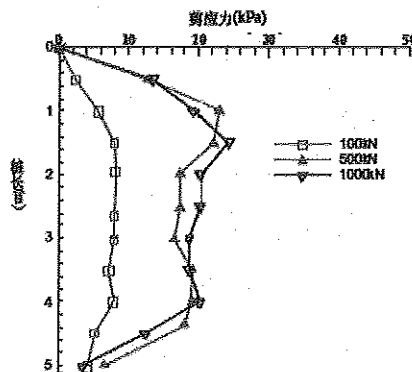


图5 桩体横截面正应力沿深度的变化

3.4 对应于不同夯扩体直径的荷载沉降曲线

随着夯扩体直径的增加, 桩底持力层被加固的程度和范围都会增加, 桩端阻的作用面积也扩大了, 由于端承力占整桩承载力的主要部分, 所以, 随着夯扩体直径的扩大, 扩底桩的承载力应有明显提高, 图6表示了这种规律。由于 $Q-s$ 曲线呈缓变型取沉降值为60mm确定各桩的极限承载力, 如表3所示。虽然桩的极限承载力随着夯扩体的直径增大而增大, 但其增加率是变化的, 其施工难度和工程造价也不同, 所以存在一个技术经济最优的夯扩体直径。由于当夯扩体直径达到1200mm时, 容易引起周围土体隆起, 工程上很少采用, 而当桩的夯扩体直径取600mm时, 其极限承载力仅分别为夯扩体直径为800mm和1000mm时的极限承载力的71%及67%, 同时, 夯扩体直径从600mm提高到1000mm, 工程费用增加不多, 所以获得最优的技术经济效益, 夯扩体的最优直径在

800~1000mm 之间, 在目前的工程实践中大部分夯扩桩都采用这一夯扩体直径。

不同直径载体桩的极限承载力

表 3

直径 (mm)	夯扩体体积 (m ³)	极限承载力 (kN)
600	0.15	555
800	0.3	778
1000	0.786	820
1200	1.2	975

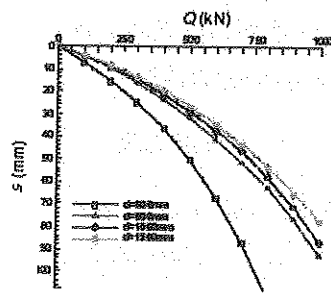


图 6 不同夯扩体直径的夯扩桩荷载沉降曲线

3.5 载体桩和扩底灌注桩的对比分析

载体桩和扩底灌注桩的区别在于载体桩对周围及下卧土层有强烈的夯实挤密作用, 能够很好地扩散荷载, 并且大大减少了沉降, 而扩底灌注桩没有夯扩挤密区。

为了了解夯扩挤密过程对提高桩承载力的效果, 对一根桩长 5m, 桩径为 400mm, 夯扩体直径为 1000mm 的夯扩桩同一根有相同形状的扩底灌注桩进行了对比。计算结果如图 7 所示, 取沉降为 60mm 时的荷载为极限荷载, 则灌注桩的极限荷载仅为载体桩的 74%。由于计算中没有考虑灌注桩底虚土对桩承载力的影响, 所以扩底灌注桩的实际承载力应该更低, 说明夯扩过程确实明显地提高了桩的承载力。

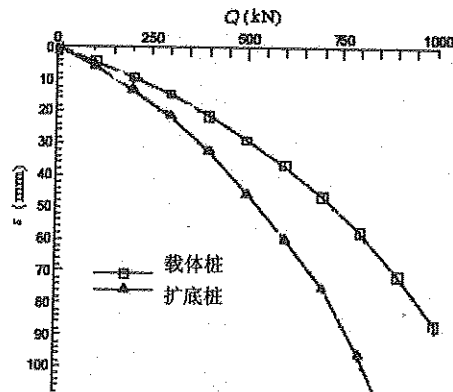


图 7 载体桩和同形状扩底灌注桩荷载沉降曲线对比图

4 结论

本文采用的有限元模型正确反映了载体桩的承载力性状, 在分析中通过现场取样和模型试验确定夯扩挤密区范围, 通过分段线性插值确定夯扩影响区土单元的材料参数, 克服了如何确定夯扩体下侧挤密区土体的范围和反映挤密区内土体的力学性质的难题, 通过计算得到载体桩的承载力性状的相关规律。

(1) 随着荷载的增加, 在夯扩体上方和桩身结合处会出现临空面, 导致桩身下部桩侧阻力降低, 故建议进行承载力计算时, 忽略桩侧阻力, 把桩侧阻力作为安全储备进行计算。

(2) 载体桩是一种以端承力为主的桩, 类似扩展基础受力, $Q-s$ 曲线呈缓变型, 破坏特征点不明显, 可以位移 $u_s=40\sim 60\text{mm}$ 确定极限承载力。

(3) 夯扩体直径控制在 $800\sim 1000\text{mm}$ 之间能获得最优的技术经济效益, 建议工程中采用。

(4) 载体桩同相同形状的扩底灌注桩相比有更高的承载力, 并且载体桩还克服了困扰扩底灌注桩的桩底虚土的弊病, 是一种承载力性能优越的桩型。

参考文献

- [1] 陈荣, 俞季民. 夯扩桩扩大头直径计算的试验研究[J]. 土工基础, 1995, 9(2): 19~25.
- [2] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994.
- [3] 张正红. 提高碎石桩极限承载力的研究[D]. 清华大学, 1996.
- [4] 刘金砺. 竖向荷载作用下单桩和群桩的承载力[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

载体桩夯扩的影响范围研究

李广信, 仇凯斌

(清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘要: 载体桩的夯扩体以下挤密土体和影响土体的范围及其挤密效果是难以直接确定的。在本文中, 作者通过现场测试和模型试验对于不同地基土中的夯扩与挤密范围进行了研究。结果表明, 在一般粘性土中其挤密影响范围在两倍夯扩体直径左右。高饱和度的原状粘性土影响范围较小; 采用砂石填料比碎砖填料的影响范围大; 粘性土中比砂土中影响范围要大。这些成果增加了人们这种桩承载机理的认识。

关键词: 载体桩; 影响区; 现场测试; 模型试验

0 引言

载体桩与其他的桩型不同, 其载体是由用废砖石夯击而成的夯扩体, 夯扩体四周的挤密土体和其外一定范围的影响土体组成。随着荷载一层层的扩散, 载体的应力也随之减小, 材料的强度和造价也随之逐步减少, 从而达到了最优的性价比。因此其经济合理, 技术可靠。从而被广泛应用, 创造了巨大的效益。

在载体桩中, 其复合载体由夯扩体、加固(挤密)土体、影响土体三部分组成。其中加固体与影响土体都在被加固土层中, 二者一般难以截然分开。复合载体深埋于地下, 人们无法观察和很难测试, 不易清楚地了解和确定它们的范围, 这就影响了对这种桩的荷载传递机理的理解。这对于合理地使用和设计也有一定影响。现场开挖观察和模型试验是了解它们的必要手段。使用模型槽进行模型试验可以得到直观的结果^[1]。李广信等在试验和分析的基础上, 对于载体桩布置的合理间距进行了研究^[2]。一般的数值计算只能在假定已经形成的地基土密度分布基础上进行分析, 无法模拟土体在夯击过程中的挤密结果^[3]。

1 现场开挖观测的结果

在天津某工地现场, 桩身直径400mm, 桩长5m, 夯扩体位于粉质粘土层3b中。该土层的塑性指数 $I_p=11.2$, 含水量 $w=23\%$, 初始孔隙比 $e=0.730$, 天然密度 $\rho=1.92\text{g/cm}^3$, 压缩模量 $E_s=9\text{MPa}$ 。为了确定夯扩过程中被加固层中土体的挤密加固的程度和影响范围, 在施工结束后即将夯扩体及周围土体开挖, 进行观察和测试。发现其夯扩体为直径约为1000mm的圆球状实体, 在沿夯扩体一侧开挖出的土层揭露面上, 距夯扩体外缘0cm、30cm、60cm、90cm、300cm处分别取土样(见图1), 测试其密度, 结果见表1和图2。

挤密区土样密度表

表 1

取土样点号	距夯扩体距离 (cm)	密度 ρ (g/cm^3)	孔隙比 e
1	0	2.045	0.613
2	30	2.01	0.647
3	60	1.95	0.704
4	90	1.92	0.730
5	300	1.92	0.730

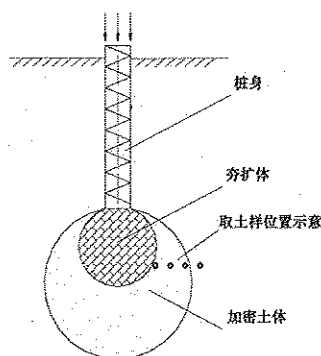


图 1 现场开挖取样示意图

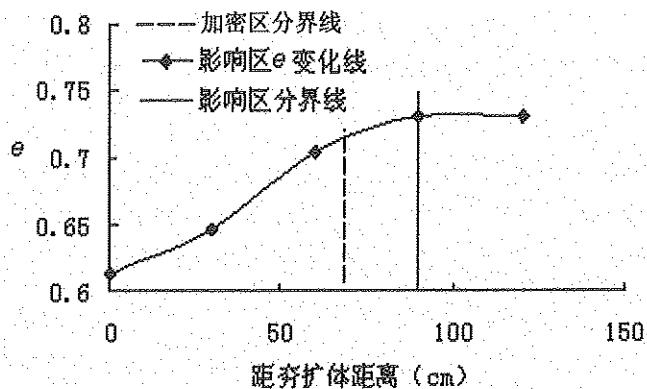


图 2 夯扩体外土体的孔隙比分布

图 2 表明, 如果以孔隙比明显增加区作为挤密区, 则在夯扩体直径为 1.0m, 被加固土层为较高含水量的粉质粘土的情况下, 假设挤密区与影响区为球状, 则其挤密区外直径大约为 1.7m; 以孔隙比有所增加的区域为影响区, 其外直径大约为 2.2m。可见, 其影响区的密度增加已经不很明显了。亦即影响区球体外径约为 2.2 倍的夯扩体直径。

2 模型试验

2.1 试验设备与方法

采用尺寸为 700mm×700mm×200mm (长×高×宽) 的模型箱, 内装模拟的地基土。箱的正面是有机玻璃板, 上有 20mm×20mm 的方格网 (局部有 5mm×5mm 方格网), 其余各面为钢板。如取

有机玻璃板为地基的对称面，采用有机玻璃内侧涂抹硅油并衬上透明塑料薄膜，可有效降低土及填充料与有机玻璃箱壁间的摩擦。模型箱的构造和夯扩桩的设置如图3所示。

为了便于观测夯扩体夯扩过程中的形状变化和与周围土的相互作用，在模型箱中紧贴有机玻璃板进行半桩试验。取半边钢管（外径 $D=32\text{mm}$ ，内径 $d=28\text{mm}$ ，长度 $L=400\text{mm}$ ）模拟外套管；内夯杆及夯锤，也完成了系列的全桩试验，对于不同情况下的土体挤密程度进行了测试，得到各种条件下土体挤密的范围和程度。

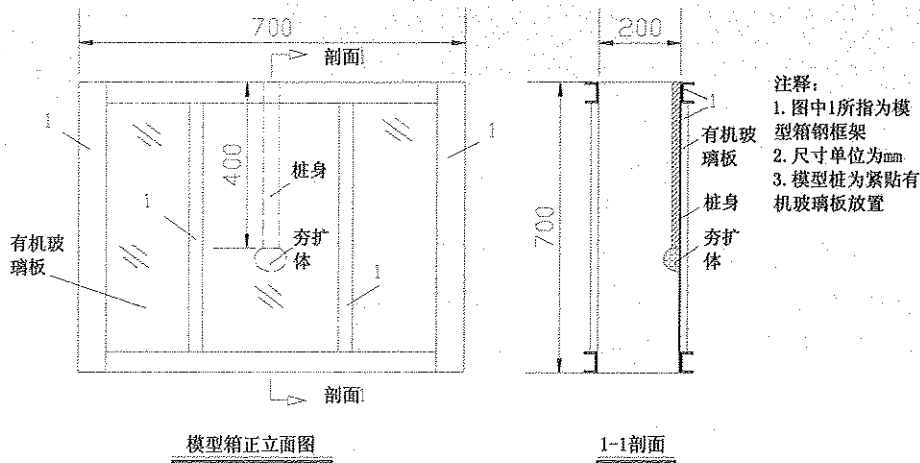


图3 模型箱半桩试验示意图

2.2 试验条件

以不同密度的粘性土（湿度在最优含水量）和砂土作为地基土进行了夯扩模型试验，夯扩体所用的填充料分别为不同颜色的粉笔头（模拟碎砖）和中砂和砂砾（模拟碎石）。其中粘性土为白河堡粉质粘土，其塑性指数为 $I_p=14.9$ 。砂土为普通河砂， $d_{50}=1.2\text{mm}$ ，级配均匀。试验的地基土种类如表2所示。

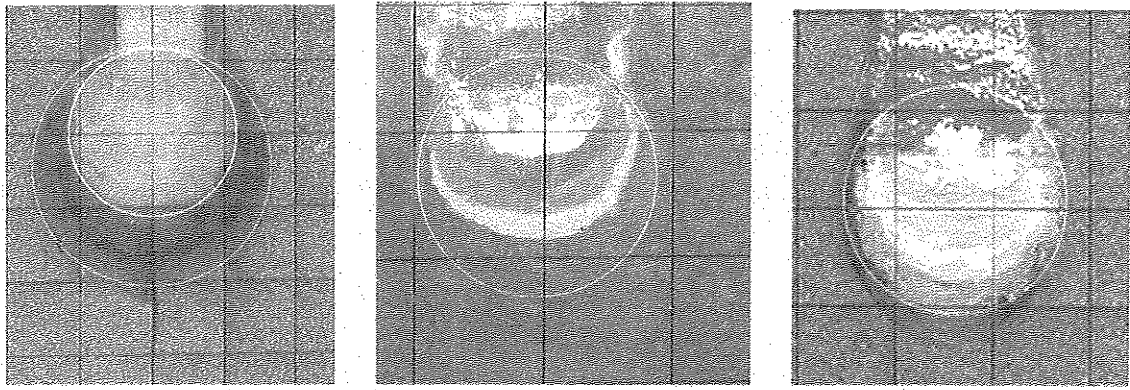
不同地基土的模型试验

表2

地基土类	白河堡粘土					普通河砂			
	松		密			松		密	
状态	松		密			松		密	
干密度、相对密度	$\rho_d=1.55 (\text{g/cm}^3)$		$\rho_d=1.65 (\text{g/cm}^3)$			$D_r=0.27$		$D_r=0.73$	
填料	粉笔	中砂	粉笔	中砂	砂砾	粉笔	中砂	粉笔	中砂

3 室内试验的结果

图4清楚地表明了不同条件下夯扩体的形状。在粘土持力层中，夯扩体形状接近椭球体，下卧土体越密，夯扩体越接近球形，同时，在相同土层中，随着夯扩体直径的增大，夯扩体逐渐接近球形。在砂土持力层中，夯扩体的形状变化同粘土持力层相似。从试验结果可以看出，通过填充料体积来计算夯扩体直径时，把夯扩体形状近似为球形是反映工程实际的。



(a) 粉笔在高密度粘土中的夯扩 (b) 粉笔在密砂中的夯扩 (c) 中砂在密砂中三次夯扩

图4 不同情况夯扩体的形状

为了揭示夯扩的影响范围,在夯扩体以下用小型环刀取土测定其密度,得到图5和图6,它们都是在密实粘土中的试验。从图5可以看出,在紧挨着夯扩体的土体,在不同的夯扩体直径情况下,其密度均接近于下卧层粘土的最大密度。进一步夯扩,只是将该部分土体以外的土挤密。

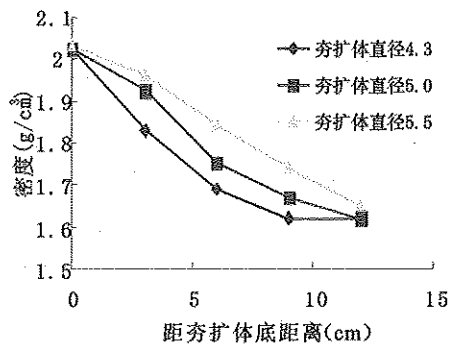


图5 在粘土层中不同夯扩体直径对应影响区范围
对应影响区范围(夯扩填充料为中砂)

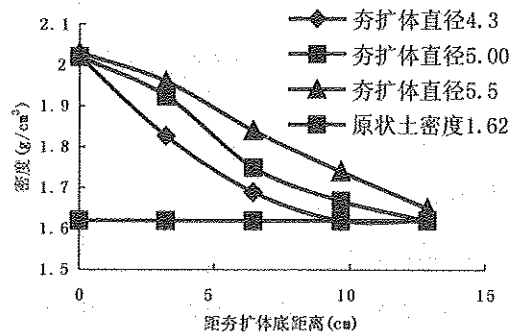
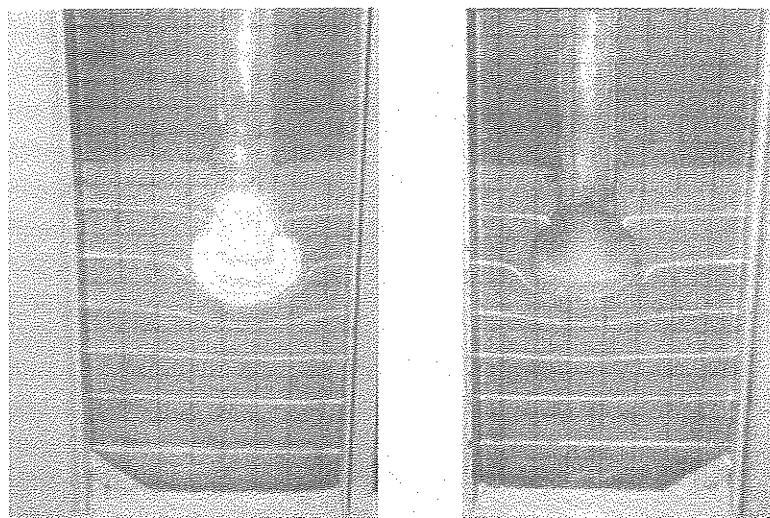


图6 在粘土持力层中不同夯扩体直径(填充料为粉笔)

使用粉笔作为填料,对于不同的夯扩体直径,其影响范围均在2~2.2倍夯扩体直径。亦即影响区的球体外径约为3~3.2倍夯扩体直径,这比现场试验的结果要大,可能是与现场地基土为高含水量的原状土有关。而采用中砂做了同样的试验,试验结果如图6所示。可以看出,随着夯扩体填充料摩擦角的增大,夯扩影响范围有所提高,为2.3~2.4左右。挤密区的范围确定较为困难,如果以干密度达到 1.65g/cm^3 定义为挤密区,则挤密区范围约为1.6~1.8倍的夯扩体直径。亦即其外径约为2.6~2.8倍夯扩体直径。

在密实砂土层进行了试验,由于砂土密度量测取样的困难,采用半桩试验的网格观测方法确定影响区。而试验中夯击沉管会破坏网格,所以采用了引孔方法(即从半管中取土入桩),这可能对试验结果有所影响。结果见图7。



(a) 中砂填充料

(b) 粉笔填充料

图7 密实砂土中夯扩体直径为6.4cm的试验

从表3可见其影响区范围有明显减少。粉笔填充料的平均影响深度为1.3倍夯扩体直径，中砂填充料的影响深度为1.67倍夯扩体直径。

以上的试验结果表明，对比在粘土持力层和砂土持力层中的试验结论说明，同样的夯扩体直径，在粘土持力层中的影响范围明显高于砂土中，而在两种持力层中，中砂填充料的影响范围均明显高于粉笔。

密实砂土层中夯扩影响范围(单位: cm)

表3

夯扩体直径	粉笔填充料	中砂填充料
4.3	6.0	7.5
5.5	7.5	9.0
6.4	9.0	10.4

4 结论

(1) 室内试验表明，对于处于最优含水量的粘性土，夯扩挤密的影响区为2.0倍以上的夯扩体直径(亦即其外径约为夯扩体直径的3倍以上)。砂石填料比碎砖填料的影响区稍大。

(2) 砂土地基的挤密影响区比粘性土的影响区明显偏小，尤其是采用碎砖填料时，其挤密影响区更小。

(3) 与比室内最优含水量的地基土比较，在现场的高含水量原状粘土中，其挤密影响区较小。

(4) 试验的影响区与载体夯扩桩的荷载传递扩散范围不一定一致，对于密实砂土，其荷载扩散范围可能大于影响区范围。

参考文献

[1] 杨家丽. 建筑工程地基处理技术—夯扩桩的设计与施工[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1997.
 [2] 李广信, 仇凯斌, 介玉新, 王继忠. 载体桩最优桩距的研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(1): 29~31.
 [3] 仇凯斌, 李广信. 载体桩承载力性状有限元分析[J]. 工程力学, 2002, 19(3).

带帽载体桩复合地基设计

雷晓雨¹, 闫雪峰², 初蕾³

(1. 天津大学建筑工程学院岩土工程系, 天津 300072; 2. 中国建筑技术集团总公司, 北京 100013;
3. 中建一局集团第五建筑有限公司, 北京 100024)

提 要: 本文简要介绍了载体桩复合地基的加固机理, 给出了刚性桩复合地基桩土承载力发挥系数的定义以及影响桩土承载力发挥系数的主要因素, 指出当桩的承载力发挥系数为常值时, 载体桩设置桩帽不能提高复合地基承载力, 设置桩帽的主要目的是减小厚径比、提高桩承载力发挥系数, 使复合地基承载力大幅度提高。

关键词: 载体桩; 复合地基; 承载力; 厚径比; 置换率

0 前言

复合地基通常由增强体(桩)、桩间土、褥垫层和足够刚度的基础组成。根据增强体(桩)的性状不同, 冠以不同名称的复合地基, 如增强体为碎石称为碎石桩复合地基, 增强体为水泥和土组成称为水泥土桩复合地基, 等等。

载体桩复合地基是由载体桩、桩间土、褥垫和足够刚度的基础组成, 如图 1 所示。与前述复合地基的不同在于, 增强体是由载体和混凝土桩组成, 载体由低塌落度混凝土、夯实充填料和挤密土体组成。夯实充填料由块状或粒状为主的材料夯实而成, 当被加固土为挤密效果好的土时, 夯实充填料周围土被挤密, 形成挤密土体。低塌落度混凝土做成直径自上而下逐渐增大的夯扩体, 对桩身传来的荷载向下扩散起着重要作用。

当单桩承载力较高时, 为了较充分地发挥桩的承载力, 有时在桩顶做一较桩身断面大的桩帽(图 1)。

由于载体桩的构成、施工方法与等直径刚性桩不同, 使得复合地基设计思想、设计参数和它的适用条件都有所不同。本文将就带帽载体桩复合地基设计做一些分析和讨论。

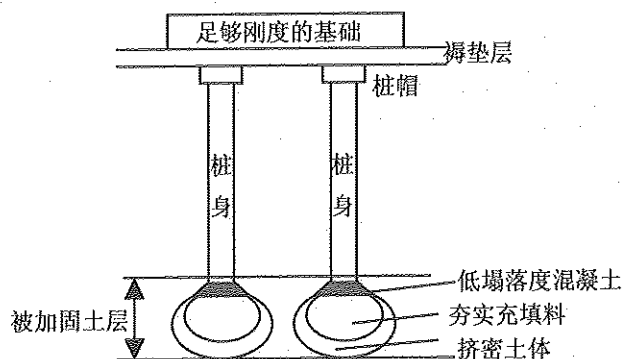


图 1 带帽载体桩复合地基示意图

1 载体桩承载性状

等直径刚性桩的单桩承载力可以用式(1)表示:

$$R_a = f_1 (q_{sa}, q_{pa}, L, d, C) \quad (1)$$

式中: q_{sa} —桩侧阻特征值; q_{pa} —桩端阻特征值; L —桩长; d —桩径; C —桩身强度。

即单桩承载力与桩侧桩端土的性状、桩的几何尺寸(桩长桩径)和桩身强度相关。

夯扩桩的单桩承载力可以用式(2)表示:

$$R_a = f_2 (q_{sa}, q_{pa}, L, d, D, C) \quad (2)$$

式中: D —夯扩桩桩端扩大头直径。

即单桩承载力与桩身强度、桩侧桩端土的性状和桩的几何尺寸相关,桩的几何尺寸包括桩长、桩径和桩端扩大头直径。夯扩桩是靠增加桩端的断面面积提高单桩承载力,由于桩端断面增加量有限,单桩承载力增加量不大。

载体桩的单桩承载力可以用式(3)表示:

$$R_a = f_3 (q_{sa}, q_{pa}, L, d, C, Z_T) \quad (3)$$

式中: Z_T —载体性状。

即单桩承载力与桩身强度、桩侧桩端土的性状和桩身几何尺寸、载体性状密切相关。载体性状包括被加固土挤密性、持力层土承载力、充填料材料组成及填料量、夯击能大小,低塌落度混凝土投入量。

由于载体具有加固土体和应力扩散作用,使得桩长、桩径大体相同条件下,载体桩比等直径直杆件桩和夯扩桩的承载力高许多。

载体桩单桩承载力可参照《载体桩设计规程》(JGJ 135-2007)确定。应当指出,由于载体桩单桩承载力与载体性状密切相关,而载体性状由被加固土、持力层土、充填料材料构成及填料量、夯击能大小,低塌落度混凝土投入量及形状等多种因素所决定。《载体桩设计规程》给出的计算表达式,只是供初步设计时的估算值,与实测值相比给出很高精度的计算值是困难的。或者说,载体桩单桩承载力主要靠现场静载试验确定。

2 复合地基承载力表达式

复合地基承载力可用如下表达式表示:

$$f_{spk} = \frac{\lambda_1 R_a + \lambda_2 A_s f_{sk}}{A} = \lambda_1 m \frac{R_a}{A_p} + \lambda_2 (1-m) f_{sk} \quad (4)$$

式中: f_{spk} —复合地基承载力特征值; R_a —单桩承载力特征值; A_p —桩的断面面积; f_{sk} —加固后桩间土承载力特征值; A —一根桩承担的面积; A_s —桩间土面积; m —面积置换率; λ_1 、 λ_2 —

分别为单桩承载力、桩间土承载力发挥系数,并有: $\lambda_1 = \frac{p_p}{R_a}$, $\lambda_2 = \frac{p_s}{f_{sk}}$, 其中 p_p 、 p_s 分别为复

合地基达到承载力时桩受的集中力和桩间土受的应力。

由(4)式可知,复合地基承载力由桩承载力和桩间土承载力组成。它的大小取决于桩和桩间土承载力的发挥。在荷载作用下,复合地基达到承载力时,桩、桩间土同时达到各自的承载力是最理想的。此时 $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ 。问题是什么条件下才能保证桩、桩间土同时达到各自的承载力,单桩承载

力发挥系数 λ_1 、桩间土承载力发挥系数 λ_2 与哪些因素有关?

试验表明,对刚性桩复合地基, λ_1 、 λ_2 与复合地基设计参数即:桩长、桩径、桩距、褥垫厚度、桩间土性状和基础刚度有关。其中,褥垫厚度与桩径之比(简称厚径比)和基础刚度最为显著。其它条件不变时,基础刚度越小 λ_1 越小,厚径比越小 λ_1 越大,见图 2。

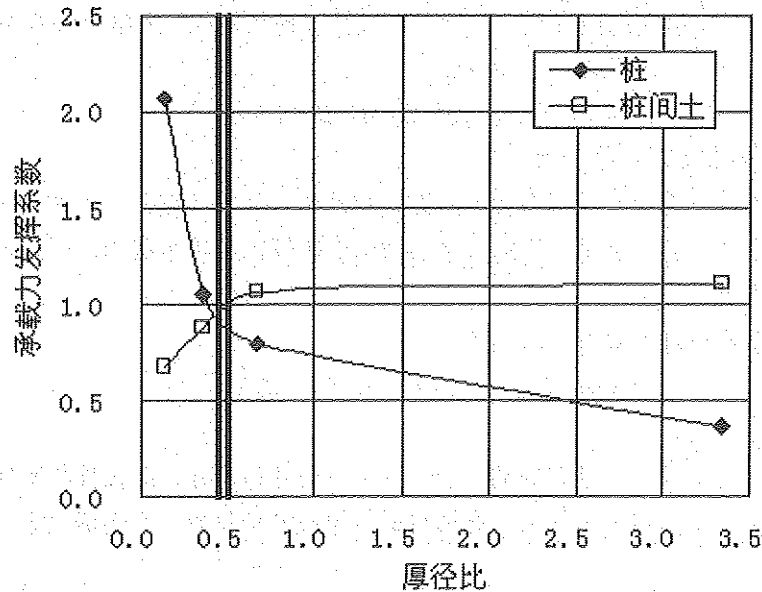


图 2 承载力发挥系数与厚径比的关系

表 1、表 2 给出了不同情况下夯实水泥土桩、CFG 桩复合地基荷载达到复合地基承载力时桩、土承载力发挥系数。

夯实水泥土桩复合地基中桩、桩间土承载力发挥系数

表 1

复合地基	面积置换率 m	λ_1	λ_2	备注
5L0.8m 水泥土桩	0.0345	0.59	1.00	褥垫厚度 10cm, 桩径 15cm, 厚径比 0.667
5L1.6m 水泥土桩	0.0345	0.87	0.95	
5L2.4m 水泥土桩	0.0345	0.80	1.08	

CFG 桩复合地基桩、土承载力发挥系数

表 2

试验编号	桩数×桩长	褥垫厚度 (cm)	桩径 (cm)	厚径比	λ_1	λ_2
MD-1#	6×2.25m	2	15	0.133	2.07	0.67
4#楼	18.5m	15	41.5	0.361	1.06	0.88
1-1#	4×1.6m	10	15	0.667	0.80	1.06
1-2#	4×3.2m	10	15	0.667	0.81	1.09
4-1#	9×3.2m	10	15	0.667	0.90	1.05
MD-3-4#	9×1.2m	10	15	0.667	0.81	1.01
5#	4×3.2m	10	15	0.667	0.68	1.15
1-7#	4×1.6m	50	15	3.333	0.37	1.11

注:表中试验编号为工程试验中的桩的编号。

由表 1、表 2 和图 2 可以看出:

(1) 厚径比大于 0.5 时桩间土承载力能充分发挥(由于桩对土的侧向约束作用, 负摩擦区桩阻止桩间土向下的变形, 桩间土承载力发挥系数大于 1 是正常的)。

(2) 厚径比越小、桩承载力发挥系数越大, 当厚径比小于 0.133 时, 桩承载力发挥系数为 2.07, 即桩分担的荷载达到极限承载力。

(3) 厚径比小于 0.333 时桩间土不能充分发挥, 发挥系数 λ_2 只有 0.37, 而桩承载力发挥系数远大于 1。

综合考虑, 厚径比取 0.45~0.5, 桩承载力发挥系数为 0.9 左右, 桩间土发挥系数 0.95~1.1。

3 载体桩复合地基承载力和带帽桩选用的条件

足够刚度基础下的载体桩复合地基, 当 $\lambda_1 = \text{const}$, $\lambda_2 = \text{const}$ 时, 载体桩无需在桩顶设桩帽。因为设置桩帽不能提高复合地基承载力。下面分别对带帽和无帽载体桩复合地基承载力公式进行推导。

令一根桩分担的面积为 A , 桩的断面面积为 A_p , 置换率 $m = A_p/A$; 桩帽的断面面积为 A_{p1} , 置换率 $m_1 = A_{p1}/A$, 载体桩单桩承载力为 R_a , 桩间土承载力为 f_{sk} , 无帽时载体桩复合地基承载力为:

$$\begin{aligned} f_{spk} &= m \frac{\lambda_1 R_a}{A_p} + \lambda_2 (1 - m) f_{sk} \\ &= \frac{\lambda_1 A_p}{A} \frac{R_a}{A_p} + \lambda_2 \left(1 - \frac{A_p}{A}\right) f_{sk} = \frac{\lambda_1 R_a}{A} + \lambda_2 \left(1 - \frac{A_p}{A}\right) f_{sk} \end{aligned} \quad (5)$$

带帽载体桩复合地基承载力为:

$$\begin{aligned} f_{spk1} &= m_1 \frac{\lambda_1 R_a}{A_{p1}} + \lambda_2 (1 - m_1) f_{sk} = \frac{A_{p1}}{A} \frac{\lambda_1 R_a}{A_{p1}} + \lambda_2 \left(1 - \frac{A_{p1}}{A}\right) f_{sk} \\ &+ \lambda_2 \left(\frac{A_{p1} - A_p}{A}\right) f_{sk} = \frac{\lambda_1 R_a}{A} + \lambda_2 \left(1 - \frac{A_p}{A}\right) f_{sk} \end{aligned} \quad (6)$$

由式 (5)、式 (6) 可知, 当 $\lambda_1 = \text{const}$ 时, 有帽和无帽载体桩复合地基承载力是相同的。即载体桩设置桩帽不能提高复合地基承载力。必须指出, 刚性桩设置桩帽也不是增加面积置换率, 从而提高复合地基承载力。载体桩设置桩帽的目的旨在减小褥垫厚度与桩径的比值(厚径比), 使桩分担更多的荷载, 从而使复合地基承载力提高。

有如下情况时宜选用带帽载体桩复合地基:

(1) 单桩承载力高, 常用褥垫厚度条件下, 厚径比偏大, λ_1 小, 桩承载力发挥不充分, 可保持褥垫层厚度不变, 增加桩顶直径, 以获取较小的厚径比, 使单桩承载力充分发挥;

(2) 基础刚度较差, 基础向桩上转移荷载的能力弱, 可选用带帽桩;

(3) 单桩承载力高, 桩间土较差, 可选用带帽桩和适度减少褥垫层厚度, 更多地发挥桩的承载力, 少发挥桩间土承载力, 减少复合地基变形;

(4) 单桩承载力高、桩距大, 桩距与桩径之比偏大(大于规范规定限值 5), 选用带帽桩可使桩距与桩径之比在 3~5 的范围之内, 保证桩、土共同工作。

4 结语

(1) 载体桩由于采用锤击振动成桩工艺, 具有挤密桩间土和夯实被加固土的作用, 加上载体的

应力扩散效应,载体桩具有较等直径桩和夯扩桩承载力高的特点。

(2) 载体桩复合地基由载体桩、桩间土、褥垫层和足够刚度的基础组成。足够刚度的基础具有向桩上转移荷载的能力;褥垫层厚度对桩、土承载力的发挥具有显著影响。厚径比越小,单桩承载力发挥系数越大。

(3) 当单桩承载力发挥系数等于1时,载体桩设置桩帽不能提高复合地基承载力。

(4) 采用带帽桩,在褥垫厚度不变条件下,通过增加桩帽的断面面积减小厚径比,增大单桩承载力发挥系数 λ_1 ,可提高复合地基承载力。

(5) 带帽桩复合地基设计褥垫厚度与桩帽直径之比可参照 CFG 桩复合地基的研究成果,选用0.45~0.5。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准.建筑地基处理技术规范 (JGJ 79—2002) [S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程 (JGJ 135-2007) [S].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 闫明礼,张东刚.CFG 桩复合地基技术及工程实践 (第二版) [M].北京:中国水利水电出版社,2006.

载体桩施工对土体湿陷性和液化性影响的研究

杨启安¹, 刘国权²

(1. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218; 2. 北京万科企业有限公司, 北京 100016)

摘要: 载体桩施工过程中采用填料夯实等工序, 在强大的能量下土颗粒重新排列和固结, 使土体的土性发生变化。本文通过现场试验研究了载体桩施工对湿陷性黄土湿陷特性和液化砂土液化消除的范围, 为设计人员提供设计参考。

关键词: 载体桩; 夯实; 湿陷性; 土工试验; 液化; 标贯试验

0 前言

湿陷性黄土是指结构不稳定, 在一定的压力下受水浸湿, 土体结构迅速破坏, 并产生显著下沉的黄土。而液化土是指具有液化特性的土, 这些土在震动下, 由于孔隙水压增大, 有效应力降低, 当有效应力为零时, 土体就象液体一样, 丧失强度和承载力。这两种土虽是两种不同的土, 但其共同特性便是都不能作为基础的持力土层, 当地层中存在这样土层时, 通常都必须采用深基础, 穿透湿陷性黄土层和液化土层。

载体施工过程中, 通过填料和夯击的作用, 使部分土颗粒被击碎, 改变了土颗粒的级配, 必然改变土体的土性, 另一方面在夯击能量下, 土体中的孔隙被排除, 土体的密实度得到了提高, 因此施工完载体桩后在一定范围内黄土的湿陷和砂土的液化特性都将得到改变。为了研究载体桩施工过程中对湿陷性和液化性的影响及影响深度, 为设计人员在黄土和砂土地区的设计提供依据, 我们进行了相关的试验研究。

1 消除对黄土湿陷性的研究

1.1 研究目的

- 1) 研究载体桩施工的影响范围;
- 2) 研究载体桩施工对土体湿陷性消除的影响。

1.2 地质概况

该试验场地位于三门峡市第二印染厂内, 试验场地的工程是印染厂住宅楼, 共包括 5 栋住宅楼, 地上 6 层, 一层地下室。工程桩设计由三门峡市设计院设计, 由于是为了试验湿陷的消除情况, 在正式设计前进行了试验桩的施工和试验, 且试验桩比工程桩短, 成孔深度为 9.0m, 桩径为 410mm。

根据地质勘察报告, 自地面从上而下地层为: ①填土层; ②黄土类粉质粘土; ③黄土类粉土; ④黄土类粉土; ⑤黄土类粉质粘土; ⑥黄土类粉土。场地内无地下水。各土层的物理力学指标见表 1。

1.3 试验方法

本次试验共施工载体桩 3 根, 3 根载体桩呈“一”字型布置施工, 桩间距 2m, 桩平面位置和试样取土平面位置如图 1 所示。其中一取土位置位于两桩中心线上, 由于该位置施工过程的影响最小, 若施工完毕后该位置的土湿陷性被消除, 则离载体近的土体湿陷也必定被消除。另一位置选在离载体桩较远的地方, 受施工影响较小, 土样可视为施工前的原状土样。为试验湿陷沿深度的消除情况, 我们从混凝土桩桩底开始沿垂直方向进行取土, 位置见图 2。载体桩施工参数见表 2。

各土层的物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	含水量 (%)	干重度 (g/cm ³)	孔隙比 e	液限 W_L (%)	塑限 W_p (%)	压缩模量 (MPa)	承载力特征值 (kPa)
①填土层	0.8~3.5	-	-	-	-	-	-	90
②黄土类粉质粘土	0.0~1.5	13.9	1.51	0.80	27.2	16.8	13	150
③黄土类粉土	5.5~7.7	19.5	1.44	1.08	25.6	16.4	6	140
④黄土类粉土	2.2~4.0	22.9	1.40	1.04	26.3	16.4	14	150
⑤黄土类粉质粘土	1.4~2.5	23.1	1.45	1.12	25.1	16.1	13	160
⑥黄土类粉土	<6.7	24.0	1.48	1.10	24.8	15.8	19	170

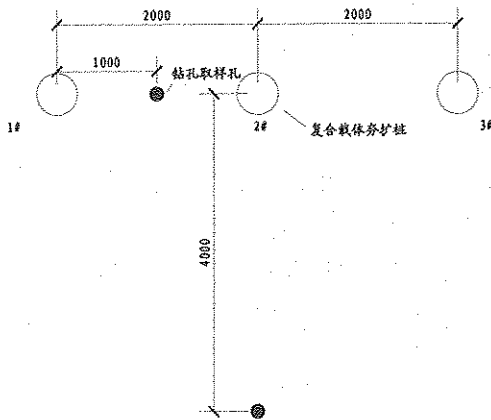


图 1 试桩平面位置

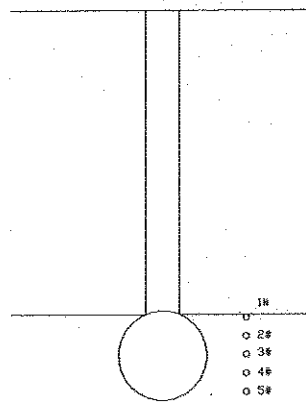


图 2 取土样的位置

试桩施工参数

表 2

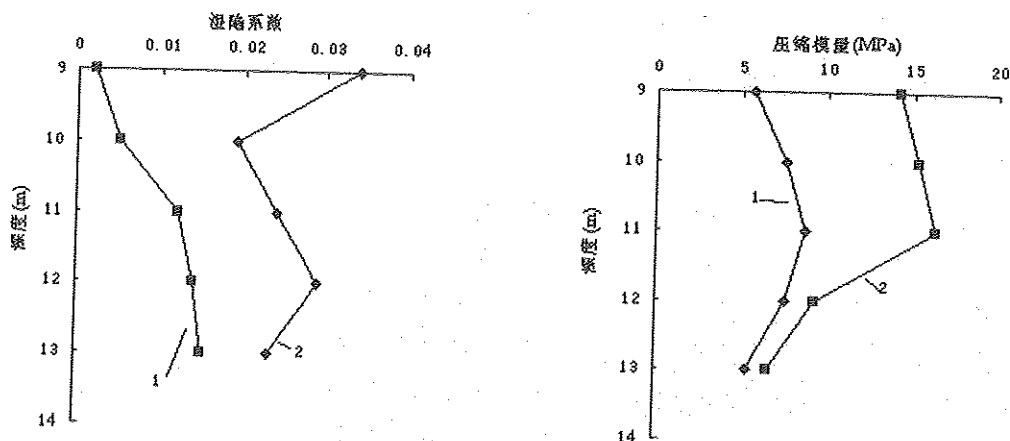
桩号	桩长 (m)	桩径 (mm)	填料 (m ³)	三击贯入度 (cm)
1	9.0	410	1.65	6
2	9.0	410	1.62	6
3	9.0	410	1.65	7

夯扩体一侧土体在夯扩体施工前后土工试验成果对比分析见表 3, 图 3 为施工前后土压缩模量和湿陷系数的变化曲线。

土的物理力学指标对比

表 3

土样类别	土样编号	取样深度 (m)	天然含水率 w (%)	天然密度 ρ (g/cm^3)	干密度 ρ_d (g/cm^3)	比重 G_s	孔隙比 e	饱和度 S_r (%)	液限 W (%)	塑限 W_p (%)	塑性指数 I_p	液性指数 I_l	压缩系数 $a_{0.5-1.0}$ (MPa^{-1})	压缩系数 $a_{1.0-2.0}$ (MPa^{-1})	压缩模量 E_s (MPa)	湿陷系数 ξ_s
原状土	1	9.0	13.5	1.58	1.39	2.70	0.940	38.8	26.0	16.7	9.3	<0	0.295	0.342	5.7	0.034
	2	10.0	18.9	1.74	1.46	2.71	0.856	59.8	27.3	17.5	9.8	0.14	0.148	0.245	7.6	0.019
	3	11.0	15.8	1.64	1.42	2.70	0.901	47.3	26.6	17.0	9.6	<0	0.232	0.217	8.8	0.024
	4	12.0	13.5	1.60	1.41	2.70	0.915	39.8	26.2	16.8	9.4	<0	0.284	0.253	7.6	0.029
	5	13.0	14.6	1.58	1.38	2.70	0.957	41.2	25.8	16.8	9.0	<0	0.325	0.363	5.4	0.023
施工后土样	1	9.0	13.9	1.80	1.58	2.70	0.709	52.9	25.9	16.4	9.5	<0	0.143	0.120	14.2	0.002
	2	10.0	19.1	1.79	1.50	2.71	0.807	64.2	27.3	17.5	9.8	0.16	0.147	0.118	15.3	0.005
	3	11.0	14.6	1.66	1.45	2.70	0.862	45.7	26.2	16.8	9.4	<0	0.143	0.114	16.4	0.012
	4	12.0	16.2	1.67	1.11	2.70	0.875	50.0	25.9	17.0	8.9	<0	0.127	0.201	9.3	0.014
	5	13.0	14.0	1.62	1.42	2.70	0.901	41.9	25.9	16.9	9.0	<0	0.111	0.283	6.7	0.015



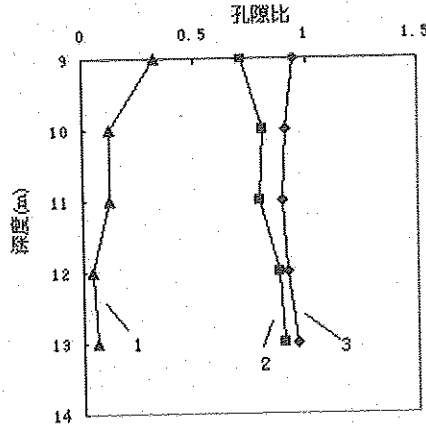
(a) 1 施工后土体的湿陷系数, 2 施工前土体的湿陷系数 (b) 1 施工前土体的压缩模量, 2 施工后土体的压缩模量

图 3 载体桩施工前后夯扩体一侧土体压缩模量和湿陷系数随深度的变化

1.4 试验分析

通过试验数据对比发现,在载体桩施工前,在混凝土桩身下 4m 范围内,土体的湿陷系数都大于 0.015,表明具有湿陷性,而载体桩施工完毕后,该范围内土体的湿陷系数都小于 0.015,表明土体的湿陷性被消除。并且在混凝土桩底处湿陷系数的降低最明显,随着深度增加,降低的程度逐渐减少。就其原因,载体桩的施工过程是一个填料夯扩的过程,在该过程中,土体在强大的冲击能量下,结构被破坏,消除了黄土中原来的孔状结构,颗粒重新排列,变得密实,孔隙变小,这点可以从土样的土工试验结果中看到,经过施工后,在 9m 处土体的压缩模量从原来的 5.7MPa 变为 14.2MPa,提高了 1.5 倍,孔隙比也从施工前的 0.94 变为 0.709,减少了 27.7%,随着深度的增加,夯击能量在土中被消耗,能量降低,其影响效果就减少,在地面下 13m 处,土体的压缩模量从原来的 5.4MPa 变为 6.7MPa,孔隙比也从施工前的 0.957 变为 0.901,见图 4,由于施工时夯扩体位置的夯击能量最大,挤密效果也最好,随着深度增加夯击能量逐渐降低,其挤密效果也降低,湿陷消除的程度也降低。

经过该试验说明：①载体施工的影响深度约为 3~5m，在该范围内土体的物理力学参数明显改变，且随着深度的增加能量减少，湿陷消除的程度也降低；②对于具有湿陷性的黄土，经过载体施工后，土体的湿陷系数也有一定程度的降低，在混凝土桩底以下 4m 范围内，土样的湿陷系数都小于 0.015，湿陷性被完全消除。



1 孔隙比随深度减少百分比的变化； 2 施工后的孔隙比； 3 施工前的孔隙比

图 4 土的孔隙比随深度的变化

2 载体施工对消除砂土液化的研究

2.1 工程和地质概况

该试验位于在北京东潞苑小区，采用载体桩基础，桩径为 370mm，桩长 3.5~5.0m，地面下各土层依次如下：填土、粉砂、粘质粉土、砂质粉土和粉砂土，其中②层粉砂、②₁层粘质粉土、③层砂质粉土和③₂粉砂土具有液化特性，液化等级为中等~严重液化。

为研究载体桩施工对液化的消除程度，试验载体桩混凝土桩底与液化土层顶齐平，载体位于液化土层中，在施工载体桩前后，分别采用标贯设备对载体周围砂土进行标贯试验，分析土体液化指数的变化。试验参数见表 4 和表 5，图 5 为 1 号和 2 号孔施工前后标贯击数的变化。

1 号孔试验结果

表 4

深度 (m)	代表厚度 (m)	粘粒含量 (%)	标贯击数基准值 (击)	临界击数 (击)	施工前击数 (击)	施工后击数 (击)
4.4	0.8	3	10	11.31	7	12
5.3	0.9	3	10	12.21	10	14
6.3	1	3	10	13.21	16	17
7.3	1	3	10	14.21	13	16
8.2	0.9	3	10	15.11	9	19

2 号孔试验结果

表 5

深度 (m)	代表厚度 (m)	粘粒含量 (%)	标贯击数基准值 (击)	临界击数 (击)	施工前击数 (击)	施工后击数 (击)
4.4	0.8	3	10	11.31	5	13
5.3	0.9	3	10	12.21	7	14
6.15	0.85	3	10	13.06	8	16
7.15	1	3	10	14.06	17	17
8.35	1.2	3	10	15.26	13	18

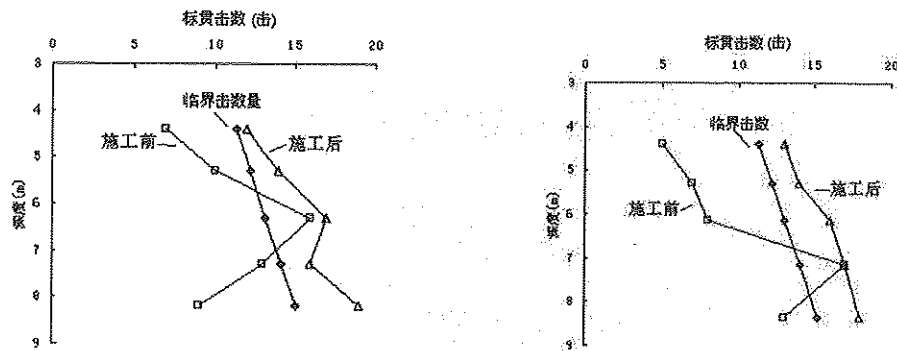


图5 1号和2号孔载体施工前后周围土体标贯击数的变化

2.2 试验数据分析

由试验数据分析,载体桩施工前,在混凝土桩身下4m范围内,除了1个点的标贯击数大于临界击数外,其余各点标贯击数都小于临界击数,表明砂土具有液化特性。载体桩施工完毕后,所有点的标贯击数都大于临界击数,表明砂土的液化特性被消除。分析原因:在砂土的地下水埋深、上覆非液化土深度、基础埋深都一定的情况下,决定液化特性的参数为标贯击数和粘粒含量,砂土经过夯实后,其粘粒含量没有明显的改变,其主要的改变为密实度和承载力提高,孔隙比降低。夯击能量越大,对土体的挤密效果就越好,密实度提高的越大,标贯击数也就越大。因此施工完毕后,作为反映密实度和承载力的参数标贯击数明显提高,当大于临界击数时,其液化被消除。

3 结语

通过在湿陷性黄土地区和液化砂土中的试验发现:①载体桩施工完毕后,在混凝土桩身下3~5m范围内土体的土性被改变;②在湿陷性黄土地区,通过载体的施工可以消除混凝土桩身下4m范围内土体的湿陷性;③在液化性砂土地区,载体的施工可以消除混凝土桩身下4m范围内土体的液化。设计人员可以充分利用载体桩施工后对周围土体土性的改变,在桩身承载力满足设计要求的情况下合理减少桩长,降低工程造价。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司.载体桩成套技术的研究与开发[R].2007.
- [2] 顾晓鲁等.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程(JGJ 135-2007)[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 三门峡质监站.三门峡第二印染厂住宅楼桩基础检测报告[R].2002.
- [5] 北京寰球地科岩土技术有限公司.东潞苑补充勘察报告[R].2003.

载体桩加固机理和受力分析

张 健, 刘茂青

(北京波森特岩土工程有限公司 北京 102218)

摘 要: 载体桩是一种新发明的技术, 本文介绍了载体桩的技术原理, 从土体三相理论研究分析了载体桩在施工期间的加固机理, 并对影响载体桩承载力的因素及载体桩的时间效应进行了分析, 使大家对载体桩的受力和技术原理有更加全面的了解。

关键词: 载体桩; 土体颗粒; 骨架; 孔隙水压力; 时间效应

0 前言

载体桩技术是通过柱锤对深层土体进行填料夯实, 形成载体, 上部结构荷载通过载体扩散到深层土体中, 由深层土体颗粒承担全部荷载。这是一项新型技术, 近几年来广泛应用于工业与民用建筑和市政等工程中。下面根据载体桩的技术原理及施工特点等介绍载体桩在施工期间及施工后期在土体中的受力分析。

1 载体桩技术原理

载体桩的技术原理为: 侧限约束下的土体密实理论。即在入土一定深度下, 通过柱锤在一定高度自由落体产生的能量冲切土层形成孔洞, 并迅速填料, 以填料作为介质进行夯实, 反复进行填料夯实工作, 挤压排出土体中的水和气, 实现土体的最优密实, 并使地面土体不隆起、邻桩不破坏, 形成扩展基础, 实现力的扩散。

载体桩的特点: 载体施工完毕后, 使桩端下深度 3~5m、直径 2~3m、体积约 10m^3 的土体得到加固挤密, 载体形成后从混凝土桩身至干硬性混凝土、填充料、挤密土体、原状地基土, 其材料的压缩模量逐渐降低、材料强度也逐渐降低, 应力在每一种材料界面处被扩散、降低。上部结构通过桩身传递的附加应力经过三种材料的逐级扩散, 当传递到持力土层时, 附加应力已大大降低, 小于地基土的承载力。载体桩的受力可等效为扩展基础的受力。

2 载体桩加固机理

载体桩填料夯实, 挤压排出土体中的水和空气, 实现土体的最优密实。载体桩承受的上部结构荷载最终要传递给土体, 由土体骨架承担。

(1) 土体是三相介质的混合物, 土体构成的主要部分是固体颗粒, 它们堆积成具有孔隙的结构体, 这称为骨架, 骨架的轮廓尺寸也就是土体体积, 在一般情况下, 骨架孔隙中充填着部分空气和水, 或者完全是空气, 在饱和情况下, 孔隙中则完全充满着水。在无水的情况下, 骨架之间的孔隙充填着空气, 如图 1 所示。载体桩选择的载体持力层一般为第四纪及其以前的土体, 原状土体在其

自重的作用下结构已基本稳定, 在不受外力作用下土体不会发生变形, 土体自身的重力通过土体骨架来承担, 但骨架之间的孔隙较大。

载体桩施工时利用柱锤的冲击力来冲切土体, 土体局部发生破坏, 形成孔洞, 迅速向孔洞内填入填充料, 利用柱锤冲击填充料向原状土体中施加竖向力。在施工初期柱锤底端下的土体先受到柱锤的冲击力, 在外力作用下颗粒之间发生错动, 土中孔隙减小, 致使骨架体积收缩, 因固体颗粒本身的体积在外力作用下不会发生变化, 因此土骨架的收缩量只是土体孔隙的减小量。在不断填料夯击的过程中, 土骨架不断收缩, 孔隙减小, 排出骨架间的空气。继续填料夯击时, 由于柱锤底面下的土体抗力提高, 柱锤底部侧面的土体压力较小, 填充料在强大冲击力的作用下就会向四周挤压土体。在不断填料夯击过程中柱锤底端四周的围压趋于一致, 载体趋于球状。达到载体桩三击贯入度的控制要求时不再夯填填充料, 夯填干硬性混凝土之后浇筑桩身混凝土形成载体桩。

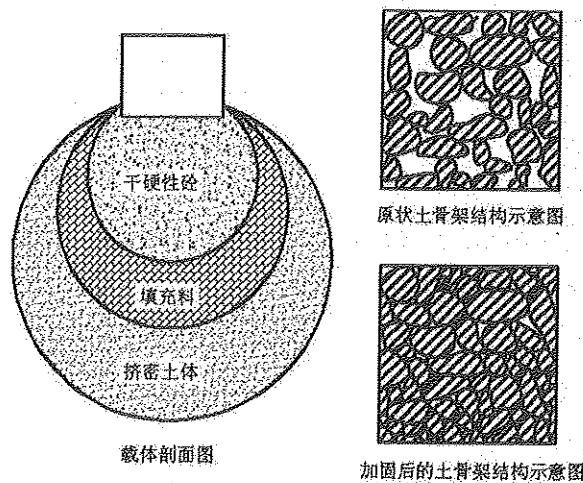


图1 载体桩剖面及加固前后土骨架结构示意图

(2) 当土体骨架的孔隙中充满了水。载体桩施工时, 通过填料夯击向土体中施加外力。土体初始受到外力作用下, 土颗粒骨架和孔隙水都分别承担了部分外力。骨架受到的力通过颗粒及其接触点主要向下方传递。颗粒之间发生错动、压缩, 颗粒间的孔隙减小, 骨架收缩, 由于土颗粒不产生变形, 骨架的收缩量即为孔隙的减小量。这个由土骨架承担的使土骨架产生变形的力即为有效压力。孔隙水所承担的压力即为孔隙水压力。孔隙水压力包括水面以下的水柱压力和作用在水面上的外力, 按静水压向四面传递, 因此土粒四周受到同等的水压力。在静水压力下土粒之间不会产生相互移动, 土体骨架不会错动变形。水和土颗粒一样是不可压缩的, 在不透水情况下, 仅仅孔隙水压改变而有效压力不变, 对整个土体的体变都不产生影响。

柱锤下填料夯击时, 利用填充料将柱锤的冲击力强加到土体中, 土体在外力作用下, 随着孔隙水的渗出, 有效压力和孔隙水压力之间的关系发生着变化。根据太沙基的有效压力理论, 作用在饱和土体上的总压力 σ , 等于作用在土骨架上的有效压力 σ' 与孔隙水压力 μ 之和, 即

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

当总压力 σ 不变时, μ 的增加就意味 σ' 的减少, 反之亦然。当土体受到 σ 的突然作用, 土中孔隙水压力将随土的渗透情况而发生变化, 在 σ 刚作用瞬间, 孔隙水来不及渗出, 孔隙水压力 μ 将迅速增加, 由外力引起附加的孔隙水压力称为超静水压力。超静水压力随着土中渗流的发生而消散。孔隙水压力消散时, 孔隙在减小, 土骨架将产生压缩, 有效压力也随之提高, 当超静水压消散完毕, 孔隙水的外渗也就停止, 垂直有效压力则等于垂直总压力。土体得到密实。

(3) 在实际工程中,地基土中总有水的存在,粉土、砂性土颗粒较大,孔隙也大,在施工期间产生的超孔隙水压力能够在较短的时间内消散,因此粉土、砂性土的可加固性好,其单桩承载力也较高。粘性土的颗粒较小,孔隙也小,施工产生的超孔隙水压力较难消散,可加固性较差。在施工中并非填入的填充料越多越好,施工中夯填的填充料过多,土中超孔隙水压力不能及时消散,就会使粉土、砂性土液化,粘性土变成橡皮土,造成桩不合格。北京韩村河工地,持力层、可加固土层均为粉质粘土,地下水位在地表以下 2.0m,单桩承载力特征值为 600kN,载体桩试桩施工参数如表 1。

韩村河工地载体桩施工参数 表 1

桩号	桩径 (mm)	桩长 (mm)	填充料量砖 (块)	三击贯入度 (cm)	干硬性砣 (m ³)	承载力极限值 (kN)	备注
1	325	4.0m	550	12	0.3	960	不合格
2	325	4.0m	540	11	0.3	1080	不合格
3	325	4.0m	535	12	0.3	960	不合格
4	325	4.0m	310	15	0.4	1200	合格
5	325	4.0m	300	15	0.4	1200	合格
6	325	4.0m	285	14.5	0.4	1200	合格

1号、2号、3号试桩夯填填充料过多致使粘性土变成了橡皮土,单桩承载力不满足要求。后调整施工参数,将三击贯入度降低,夯填的填充料减少,并适当增加了干硬性砣的量,检测后承载力满足要求。因此施工中应控制填料量,以使被加固土体达到最优密实为宜。

3 影响载体桩承载力的因素

影响载体桩承载力的因素主要有以下几种:

(1) 土性、载体入土深度及地下水位

土颗粒的大小及各粒径的土颗粒所占的比例决定了土性,土体颗粒粗,可加固性好,载体承载力高;同等土层情况下载体入土越深,地下水位越低则承载力越高。

(2) 桩间距

载体桩施工工艺为挤土工艺,成桩挤土效应对桩的承载力、成桩质量有很大影响。尤其在饱和粘性土中成桩,桩间距设置不当或施工顺序不当就会产生明显的挤土效应,导致载体桩桩身缩小或断裂,甚至造成邻近已施工完毕的载体桩上涌和移位,地面隆起,影响载体桩承载力。通过大量试验得知载体桩的最小桩间距不宜小于 1.6m,粘性土中桩间距取大值,砂性土桩间距可小些。

(3) 填料量

填料量对载体桩承载力的影响也很大,一般情况下,填料量越大,承载力越能很好地发挥,但对于饱和粘性土、松散的粉土、粉细砂,填料量过大,会使粘性土变成橡皮土,松散的粉土、粉细砂产生严重液化,影响载体桩承载力,因此要控制填料量。对于饱和粘性土、松散的粉土、粉细砂可减少填充料的投入量而适当增加干硬性混凝土的填入量,增加载体对力的扩散效果,以更好地发挥载体承载力。

(4) 三击贯入度

三击贯入度与桩端等效计算面积密切相关,故三击贯入度是确定载体桩单桩承载力的主要控制参数,也是载体桩施工时的主要控制指标。同等土层情况下三击贯入度越小,桩端等效计算面积越大,载体桩承载力越高。

此外柱锤的重量、直径、落距、夯击能量也对承载力有影响。

4 时间效应

施工过程中, 由于夯击能量使土体原来的结构发生破坏, 载体桩承载力存在时间效应。这是因为在外力作用下地基土承载力会暂时降低, 但随着时间的推移, 地基土承载力逐渐恢复并超过原来承载力, 即土的触变。土中超孔隙水压力的消散也需要一定的时间。在北京交通大学华北分院的工程中, 对成桩后不同时间的桩进行了静载荷试验, 试验资料见表 2, 载荷试验曲线如图 2 所示。

成桩后不同时间静载荷试验资料

表 2

桩号	桩长 (mm)	桩径 (mm)	持力土层	填料量 (块)	三击贯入度 (cm)	试验时间
1	18	400	粉土	680	5.5	成桩后 3d
2	18	400	粉土	660	6	成桩后 15d

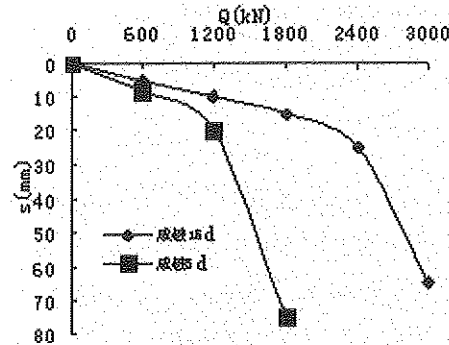


图 2 载荷试验 $Q-S$ 曲线

从试验数据分析, 在成桩后 3d 载体桩静载荷试验单桩极限承载力为 1200kN, 在成桩完成后 15d 载体桩静载荷试验单桩极限承载力为 2400kN, 承载力相差 2 倍。此试验验证了时间效应对载体桩的承载力有较大影响。

载体桩施工时, 载体周围的土体有应力集中, 而过了一段时间后载体周围的应力集中会消失, 这对桩的承载力没有影响, 因为集中的应力传递给了土体骨架, 使土体密实。

5 结语

(1) 载体将上部结构的荷载扩散到了载体下的土体中, 整个建筑物的荷载都由土体骨架承担。载体起到扩散应力的作用。

(2) 影响载体桩承载力的因素较多, 其中最主要的是持力层、可加固土层的土性、桩间距、三击贯入度等, 在设计和施工时要综合考虑这些因素。

(3) 载体桩受时间效应的影响较大。载体桩成桩完毕后, 要尽量减少动荷载对载体桩的影响, 要预留一定的时间使载体桩承载力恢复增强。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司. 载体桩成套基础的研究与开发 (R). 2007.
- [2] 陈仲颐. 高等土力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ 135-2007) [S]. 中国建筑工业出版社, 2007.
- [4] 建设综合勘察研究院. 北京交通大学华北分院桩基检测报告 [R]. 2004.

载体桩的设计计算要点

葛宝亮, 杨启安, 王继忠

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 由于载体桩是一种与常规桩基础不同的桩, 因此其设计与常规桩基础也不同, 本文介绍加固土层与持力土层的选择、桩长确定、承载力和沉降计算及桩身设计几方面进行了介绍。

关键词: 载体桩; 承载力; 设计; 三击贯入度; 预制桩

0 引言

从受力上分析, 复合载体相当于等效扩展基础, 该技术的理论为侧限约束下的土体密实, 即在入土一定深度下, 通过柱锤的势能冲切土层形成孔洞, 并迅速填料作为介质进行夯实, 反复进行, 挤压土体中的水和气, 实现土体的最优密实, 即地面土体不隆起、邻桩不破坏, 形成扩展基础, 实现力的扩散。因此选择合适的深度确保必要的侧限约束, 选择合适的填料确保达到设计要求的密实度等是设计工作的关键。

1 载体桩持力层和被加固土层的选择

载体桩持力层是直接承受载体桩传递荷载的土层, 被加固土层是指载体所在的土层。一般认为混凝土桩身下 2m 的土层为被加固土层, 被加固土层下为持力土层, 如图 1。

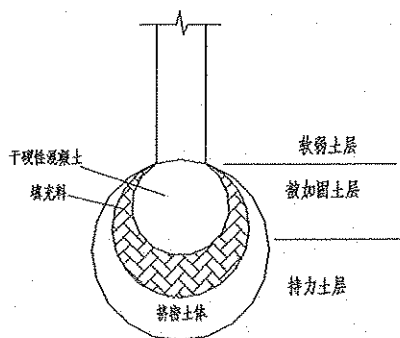


图 1 载体桩示意图

设计时, 这两种土层的选择既可以是同一种土层, 也可以为不同的土层。持力层和被加固土层在选择时应注意两个问题: 土层土性要求和经济性。

1.1 土性要求

首先持力层的选择必须满足上部结构的荷载和变形的要求, 即当上部结构的荷载通过载体传递

到持力土层后,其压力必须小于地基土的承载力,变形也必须满足建筑结构的要求。而被加固土层的选择须满足土体的被加固性。根据规范,被加固土层宜为碎石土、砂土、粉土及可塑、硬塑状态的粘性土,由于粘性土细颗粒较多,颗粒之间的粘聚力大,被加固性较其它几种土相对差些,尤其是软塑状态到流塑状态的粘性土,由于其一般含水量高,可加固性差。因此优先选用颗粒较粗的土体作为被加固土层。

在有承压水的地区应考虑地下水的封堵情况。典型承压水地区一般为透水性高的卵石层或角砾层,其上为不透水的粘性土层,由于卵石或角砾层承载力比较高,优先选用该土层作为被加固土层;当承压水头较低,且施工中能有效控制地下水时,可以将护筒沉到卵石层,以卵石层作为被加固土层和持力土层;若承压水压力过大,设计时可承压水顶面上的土层作为被加固土层,以卵石层作为持力层,这样有效降低承压水的影响。

1.2 经济性

影响载体桩的因素有桩间距、等效计算面积和埋深等。同一工程既可以选择大间距、埋置深、承载力高的载体桩,也可以选择小间距、埋置浅、承载力低的载体桩。载体桩的设计即为选择最佳间距、埋深和等效计算面积 A_e ,使工程造价最低。而被加固土层和持力土层直接决定载体桩桩长,影响载体桩造价,因此选择被加固土层和持力土层时要考虑方案的经济性。

2 设计桩长的确定和承载力的计算

2.1 桩长确定

载体桩桩长包括混凝土桩身长度和载体的高度。持力土层和被加固土层确定后,载体桩桩长就初步确定了。但桩长确定是否合理还须根据载体桩单桩承载力的要求进行计算调整,若单桩承载力的计算值和要求值相差过大,须调整持力层和被加固土层,重新确定桩长。

2.2 单桩承载力设计计算

载体桩桩长较短,且由于载体的存在减少了侧阻的发挥。实际监测和经验表明,桩长在10m内,载体桩侧阻所占比例非常低,计算时可不考虑侧阻。根据载体桩设计规程,载体桩的单桩竖向承载力特征值计算公式:

$$R_a = f_a \cdot A_e \quad (1)$$

式中: f_a 为载体下地基土经深度修正后的地基土体承载力特征值(kPa); A_e 为等效计算面积(m^2)。

2.2.1 载体基础下地基土承载力特征值 f_a 的修正

根据地基规范 GB50007,再考虑到载体为一等效基础,并非真实的扩展基础,故修正时只进行深度修正,不进行宽度修正。等效扩展基础下地基土承载力为:

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (2)$$

式中: d 为等效基础埋置深度, $d = d_1 + d_2 + L + L_1$,见图2。 L 根据地质情况和填料略有差异,深度约3~5m,大量数据统计分析表明,取 $L=2.0m$ 比较安全,故设计计算时取 $L=2m$ 。深度修正时应该注意填土时间、基础形式、主裙楼的关系等实际情况,具体可参考相关文献。其他参数见地基规范。

单位长度的竖向力； G 为承台和承台上土的自重标准值； G' 为承台和承台上土的单位长度上自重标准值； q_{sia} 为桩侧阻力的特征值； ΔR 为载体的等效计算距离； L_0 为承台长度； B_0 为承台或承台梁的宽度，计算简图如图 3。

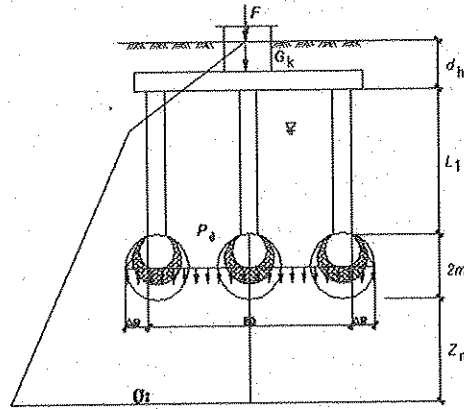


图 3 沉降计算简图

在计算沉降时应注意以下几点：1) 与传统桩基础计算方法以外围桩形成的等代实体基础计算沉降不同，计算载体桩沉降时，必须考虑载体的影响，因此其等代实体尺寸为外围桩尺寸加上载体的影响尺寸 ΔR ；2) 载体的影响深度为 3~5m，为方便计算，将载体的计算深度取 2m 进行计算，即等代实体的深度为混凝土桩长加 2m，2m 以下按天然地基土考虑，这样计算的结果偏于安全；3) 考虑地基变形的非线性性质，一律采用固定压力段的 E_s 进行计算必然会引起沉降计算的误差，为避免沉降计算的误差，计算时采用每一计算土层实际的 E_s 。

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (6)$$

式中： e_0 为该计算土层自重压力下的孔隙比； a 为土从自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段的压缩系数。

4 桩身的设计

4.1 现场浇注载体桩

选择合适的混凝土强度等级，进行桩身混凝土的强度验算，若不满足要求，可提高混凝土强度等级或增大桩身直径，反之亦然。桩身混凝土强度按照下式验算：

$$N \leq \psi_c f_c A_p \quad (7)$$

式中： N 为相应于荷载效应基本组合时，作用于载体桩单桩上竖向承载力设计值 (kPa)； ψ_c 为成桩工艺系数，现场浇注载体桩取 0.75。

4.2 预制桩身载体桩的设计

根据上部结构荷载，考虑相应于荷载效应标准组合时，计算出作用于任一复合载体夯扩桩上的竖向力、水平力，查预应力管桩的图集，根据设计要求的管桩的竖向力、水平力进行选择。预制桩提供的往往是管桩桩身结构竖向承载力设计值 R_p

$$R_p = A (f_c - \sigma_{pc}) \psi_c \quad (8)$$

式中： A 为管桩桩身横截面面积； f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值； σ_{pc} 为管桩混凝土有效预应力； ψ_c 为工作条件系数。

故验算时必须将承载力设计值转换为单桩承载力特征值，既满足 $R_a < R_p/1.35$ ，桩身结构承载力即可满足设计要求。

5 结语

载体桩的受力原理和施工工艺与传统的桩基础截然不同，故其设计与传统桩基础的设计也不相同。对载体桩设计时持力层和被加固土层的选择、单桩承载力设计计算、沉降计算及桩身设计进行了详细介绍，并对某些关键参数的选择进行了详细阐述，使设计人员对整个载体桩的设计有更全面的了解。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司. 载体桩成套技术研究与开发 (内部资料), 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规范 (JGJ94-2008) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [4] 天津工程建设标准. 预应力混凝土管桩技术规范 (J 10487-2004) [s]. 天津: 天津建设管理委员会, 2004.

载体桩施工中注意的问题

戚银生

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 随着载体桩技术的发展, 已经广泛应用于各个领域, 积累了丰富的施工经验, 但施工过程中若控制不严也会出现质量事故, 本文介绍载体桩施工过程中容易出现的问题, 总结实际工程中经验与教训, 并重点介绍了施工中的几个重要的技术问题, 为类似工程的施工提供参考。

关键词: 载体桩; 承载力; 施工; 封水

0 前言

载体桩是北京波森特岩土工程有限公司的专利技术, 是利用柱锤冲击成孔, 并利用卷扬反压护筒下沉护筒, 当达到设计标高后, 通过夯填填充料形成由硬性混凝土、夯实填充料和挤密土体组成的载体, 载体和上部钢筋混凝土桩身组成载体桩。载体和桩身及其结合部位都应保证施工质量, 任何一个环节出现问题都直接影响载体桩的承载性能。近几年来, 载体桩已经应用到建筑、铁路、公路、冶金、石油、化工等各个领域, 全国已施工数十万根桩, 随着在全国的推广应用, 也暴露出了一些问题, 为了更好地应用载体桩技术, 对已有工程的经验教训进行了总结, 以便应用时参考。

1 载体桩施工设备

载体桩施工采用北京波森特岩土工程有限公司的专用设备, 见图 1。该设备由液压步履式底盘、门式架、柱锤、钢护筒、主副卷扬和配电箱组成。钢护筒直径一般为 325~580mm, 柱锤重量一般 1.5~5.0t, 锤径与钢护筒相匹配。

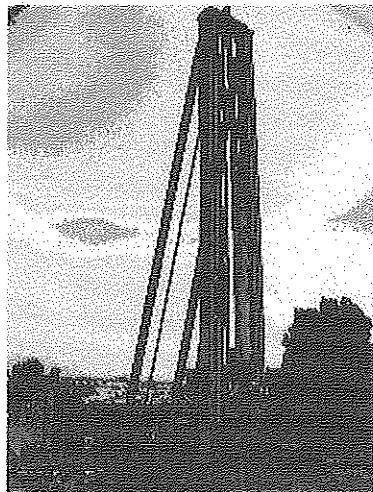


图 1 载体桩施工设备

2 载体桩施工工艺

①放线确定桩位；②桩机就位，将护筒对准桩位；③通过柱锤冲击成孔，并利用卷扬反压护筒；④填料夯实，并测量三击贯入度；⑤达到三击贯入度后，夯填干硬性混凝土，使之于护筒底基本齐平；⑥灌注少量混凝土；⑦放置钢筋笼，浇灌混凝土；⑧拔出护筒，振捣混凝土。

3 影响载体桩工程质量的关键工序、质量通病和对策

载体桩施工工艺简单，易操作，质量容易保证，但若某些环节控制不严，也容易出现质量事故，下面就分别介绍施工中容易出现的质量事故及对策。

3.1 影响工程质量的关键工序

桩位测放：看似简单，却经常出现问题，一般表现为基准点位置错误导致测放点的位置错误或施工过程中读数错误等。桩位出现偏差后一般采用补桩或加大承台梁措施。应采取测量复核、白灰点定位、挖定位桩孔等措施。

夯填填充料应达到设计要求的三击贯入度，三击贯入度要依次渐小或持平，避免出现假三击。

夯填干硬性混凝土：锤出护筒要少，一般 1~2cm 或持平，避免从护筒底端进水、进泥。

灌注少量高流态混凝土：夯填干硬性混凝土后立即灌注少量混凝土，要求混凝土的和易性要好，主要是为了缩短护筒底端暴露的时间和保证结合部位的混凝土质量。

放置钢筋笼：提倡控制护筒标高，确定好长度的钢筋笼放入即可，一般不用钢丝绳吊起控制钢筋笼。

拔出护筒：不带震动头的桩机施工时，因下部混凝土无法振捣，提拔护筒的速率要保持在 1m/min 以下。

振捣混凝土：浅部混凝土因上覆压力小，需要振捣，应尽量向深部插入振捣棒，遵从快插慢拔。

3.2 载体桩施工的质量通病如下表

载体桩施工的质量通病分析表

表 1

质量通病	桩位偏差	钢筋笼不居中	钢筋笼下沉	桩顶标高下沉	桩顶混凝土不密实	底部结合不好
直接后果	改变承台设计	不予验收	钢筋锚固长度不够	接桩	接桩	检测不通过，影响承载力
导致原因	测量误差，对位不准，表层土软	无保护层装置	标高误差，护筒下沉	计算错误，混凝土不足	无振捣，混凝土和易性差，保护桩长不足	灌混凝土前提护筒，底部回弹
预防措施	注意测量校核，制作定位圈，挖定位孔	加保护层装置，从孔口拨正	控制护筒标高和钢筋笼长度	加大混凝土量	必须振捣，检查混凝土质量，确保保护桩长，超灌	严禁灌混凝土前提护筒，夯干灰后先灌少量流态混凝土
检查方法	尺量检查	开挖检查	水准仪观测	开挖检查	开挖，监督	低应变检测

3.3 不同地层时载体桩施工的对策如下表

不同地层时载体桩施工的对策分析表

表 2

施工地层	常遇问题	对 策	工程实例
穿过砂层	难穿过	土层薄时锤击跟管、加振动头	顺义四季花城工程 金汉绿港工程
硬塑粘性土	护筒难下, 挤土	螺旋钻引孔、锤击跟管预成孔	藁县·邯郸文丰
一般粘性土	护筒难下, 挤土 被加固土回弹引起 底部结合不好	螺旋钻引孔、跳打、适当加大每次填砖量, 减少 扰动, 加水泥, 灌注前锤静压减少回弹, 调整 桩长	金汉绿港工程 延庆日上工程
杂填土	护筒难下, 有大块	螺旋钻引孔、大块挖除或改变桩长	北辰万通工程 万科紫台工程
地下水	遇透水层封水难	砖塞、塑料布、粘土袋、水泥、调整桩长	天津杨村和井陘某工程

4 载体桩施工中应注意的问题

4.1 载体桩的封水问题

应该指出, 载体桩在水下一般容易施工, 质量也很好保证, 但在大能量夯击下地基土瞬间被扰动, 原渗透途径被切断, 地下水对载体的施工不会造成不良影响。当被加固土为渗透系数较大的砂土、卵石时, 需要采取封水措施, 使地下水短时间内不进入载体, 以实现连续夯击, 确保载体的质量。

工程实践表明, 目前有以下几种有效的封水方法: 一是砖塞夯击法, 即在成孔过程中护筒未进入前, 填入碎砖至护筒底部以上一定距离, 用锤轻击碎砖在护筒底部形成约 0.5m 高的砖塞, 然后用锤夯击砖塞, 利用砖塞和护筒壁的摩擦将护筒沉到设计深度, 然后提高重锤, 大落距将砖塞击出护筒, 再迅速填入填充料施工载体, 这样能起到很好的效果。润泽庄苑工程, 杂填土厚 3~6m, 采用载体桩, 桩端为中砂, 水位 4.5m, 桩长 4~9m, 桩径 400mm, 常规工艺施工, 接近中砂层后, 护筒充满水, 无法继续夯击, 后改为在 4m 深度制作砖塞, 用砖塞带动护筒的办法施工, 封水非常成功; 二是塑料彩布法, 该方法是预先钻、挖或冲击成孔, 成孔后在护筒底扎塑料彩布, 柱锤放到与护筒底齐平, 锤与护筒同时下沉到自重下不再下沉时, 夯填砖, 在护筒内形成砖塞, 夯至设计标高后, 夯出砖塞, 夯填填充料, 注意锤出护筒不要超过 10cm。例如, 井陘矿务局某办公楼挖孔桩接近桩底时遇水, 孔底为卵石层, 水量很大, 挖孔桩受阻, 后采用塑料彩布法施工载体桩, 成功封水, 施工非常成功; 第三种方法是粘土袋封水, 即利用黏土渗透性差的特性, 通过加入黏土改善原有土的渗透性, 起到封水的作用。天津天狮项目, 水位位于地下 2m, 桩长 18m, 桩端为细中砂, 单桩承载力特征值 900kN, 用带震动头的夯扩桩机带桩尖达到设计深度后, 若不采取措施, 护筒内将很快进入地下水, 实际施工时, 当达到砂土层时, 迅速填入粘土袋进行夯击, 边填边夯, 锤始终不出护筒, 在护筒底部形成粘土球, 填粘土 6 袋后, 封水成功, 然后填碎砖施工载体, 后经过试验检测, 该方法施工的载体桩质量非常可靠。

4.2 相邻桩的相互影响

载体桩属于挤土桩, 一方面指锤击跟管过程排挤桩侧土, 另一方面是夯填填充料时挤密周围地基土, 挤土效果非常明显, 这种挤土效应易对邻桩造成危害。尤其对于粘性土, 大面积载体桩施工

易引起邻桩向上位移,影响其承载力的发挥。

河南某煤仓,被加固土层和载体持力层均为粘土,硬塑状态。桩长 5.0m,桩径 400mm,填充料为 0.5m^3 煤矸石,单桩承载力特征值为 1000kN,桩间距 1.8m,满堂放射状布置,施工方式为间隔跳打,间隔时间不少于 3d,施工中观测到邻桩混凝土面上浮 3~4cm。静载荷试验加载到 1000kN 时突降 3cm,然后稳定,稳定后沉降量为 10mm 左右。分析其极限侧摩阻力不会达到 1000kN,可排除载体顶部脱开的可能,硬塑状态的粘土可加固性差,载体施工时粘土发生位移,影响到邻桩载体,使载体发生向上的位移,从而影响到承载力。

载体桩施工时,夯击会引起振动,对于松散、稍密状态的饱和粉土、砂土易引起液化,从而影响到邻桩桩身的质量,出现断桩和缩径等缺陷。如内蒙的巴以卓尔某工程,地质情况为粉土、粉质粘土互层,粉土呈稍密状态,水位埋深 0.4m。桩长 8.0m,桩径 400mm,设计单桩承载力特征值为 600kN,桩间距 1.8m \times 1.8m,满堂布置,施工方式为间隔跳打。未见地面隆起,单桩静载荷试验 600kN 破坏,开挖检查 1.5m 和 2.7m 桩身呈哑铃形,且不对称、不光滑。分析原因,粉土在低幅、低频振动作用下发生液化,液化后孔隙水的排出将未凝固的混凝土中的砂浆带走,进入桩间土,甚至石子也发生漂移,削弱了桩身截面,剩余的截面不足 300mm,这种液化削弱效应引起足够重视。

某工程地下水位埋深 4m,局部 3~5m 存在稍密状态的粉细砂,剪力墙下布单排桩,按顺序施工,低应变检测结果表明,在 4m 左右桩身有缩径,恰是粉细砂所在位置,其原因就是砂土振动作用下发生液化。

4.3 桩身与载体的结合部位处理

载体桩的承载力主要源于载体,通过桩身将荷载传递到载体,因此载体与桩身的结合非常重要。载体桩的桩身一般是在护筒内连续灌注,施工时只要封水成功,护筒内不进入水或泥浆则不会影响施工质量,但在载体施工过程中,护筒根部周围充满扰动的地基土,孔隙水压力很高,泥或水沿护筒底端易进入护筒,因此施工时必须确保护筒和载体之间不出现孔隙,控制方法有:①施工完毕前不上拔护筒;②严格控制锤出护筒的深度;③干硬性混凝土夯完后立即灌注少量和易性较好的混凝土可缩短底端暴露的时间。只要施工过程中严格控制,将能确保施工质量。

某高级中学教学楼,设计桩径 400mm 和 500mm,桩长 5m,共 352 根桩,载体持力层为角砾层,上部土层为冲洪积褐红色的粉质粘土,单桩承载力特征值分别为 600kN、1200kN。施工完毕后 30d 进行载荷试验发现部分桩达不到设计要求,部分桩只达到 500kN 左右,对承载力不足的桩的开挖检查发现,桩身底部与载体间发现夹土,厚度约 70mm。分析其原因是褐红色的粉质粘土粘性强,成孔时下沉护筒困难,操作手担心护筒上拔困难,在夯完干硬性混凝土后,提升了护筒,结果护筒根部周围地基土进入桩身底部,形成“烂根”。后来先用低应变检测找出“烂根”桩,通过锤击桩顶,使结合部位闭合,再做静载荷试验达到了设计要求,教学楼投入使用后沉降观测表明,最大沉降不超过 20mm。

某工程 11 栋楼采用载体桩,共 1975 根桩,桩径 450mm 和 530mm,桩长 8~12m,单桩承载力为 1000~1700kN,以粉质粘土为被加固土层。施工后,通过低应变和静载荷试验查明,底部结合有问题,分析原因是粉质粘土可加固性较差,孔隙水压力消散很慢,施工载体时锤出护筒多,造成高压的泥进入护筒,造成结合部位缺陷,从而影响到桩的承载力。后经过检测挑出不合格桩进行补桩处理,基础完工后进行了沉降观测,经观测最大沉降量为 25mm。

5 结语

(1) 载体桩每一道工序都应细心施工,载体桩的质量完全能够保证,因其施工简便、工艺简单,应用会越来越广泛。

(2) 载体桩属挤土桩,施工时应观测相邻桩影响,应合理安排打桩顺序减小相邻桩影响,可采用隔排跳打和预钻孔等措施。

(3) 当施工过程中遇透水层可采用砖塞、彩条布、粘土袋的方法封水。

(4) 载体和桩身的结合部位,是载体桩施工的关键,应控制锤出护筒高度并夯完干硬性混凝土后立即浇注少量混凝土。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司.载体桩成套技术的研究与开发报告(内部资料),2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程(JGJ135-2007)[S]北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 北京波森特岩土工程有限公司企业标准.载体桩施工及验收规程(QB 01-2007)[S]北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 建设综合勘察设计研究院.璟都馨园桩基础检测观测报告[R].2008.
- [5] 建设综合勘察设计研究院.金汉绿港桩基检测观测报告[R].2008.
- [6] 建设综合勘察设计研究院.璟都馨园检测观测报告[R].2008.
- [7] 中华人民共和国行业标准.建筑基桩检测技术规程(JGJ106-2003)[S]北京:中国建筑工业出版社,2003.

载体桩的挤土效应分析

杨启安¹, 杜强², 胡景明³

(1. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218; 2. 北京金隅佳业房地产开发公司, 北京 100078;
3. 河北工程技术高等专科学校, 河北 沧州 061001)

摘要: 采用弹塑性力学理论中的圆孔扩张理论和球形扩张理论分析载体桩施工过程中桩身和复合载体的挤土效应, 确定塑性区的半径。计算结果表明, 在载体桩的施工过程中, 影响邻桩施工质量的因素是复合载体的施工, 而非桩身的成孔影响。根据球形扩张理论, 可以大致预估出施工过程中桩间土的隆起。分析为设计提供了一定的参考, 并通过实际工程验证了结论的正确性。

关键词: 复合载体桩; 球形扩张; 挤土效应; 隆起

0 前言

载体桩是由混凝土桩身和复合载体构成的桩, 其中桩身由锤击跟管形成, 复合载体通过填料、夯击, 在桩端形成复合载体包括三部分: 混凝土、夯实填充料和挤密土体。载体的施工通过一定的工艺在桩端进行挤土扩孔, 形成一定的空间, 同时使周围的土体在一定范围内被挤密, 形成的空间最后被填料和混凝土所填充。空间外的土体的变化可以分为两部分, 靠内侧的部分土体, 由于夯击能量的冲击, 发展为塑性变形, 靠外侧的土体为弹性变形。载体的承载力通过三击贯入度来控制, 而三击贯入度主要由密实度决定, 若填料多, 夯击效果好, 则三击贯入度小, 载体桩承载力高。由于载体桩为挤土效应桩, 在桩间距一定的情况下, 若填料过多, 则周围影响区域大, 势必影响到周围邻近载体, 所以研究载体施工的挤土效应对研究载体桩是相当必要的。由于受多方面因素的影响, 如今对于载体桩挤土效应的研究比较少, 并且都集中在一些现场取土的土工试验上, 下面我们通过圆孔扩张理论对复合载体施工的挤土效应进行分析。

1 复合载体影响范围的确定

1.1 基本假定

为了便于在理论上对复合载体施工的影响进行研究, 做如下假定: 1) 按平面轴对称的问题考虑; 2) 复合载体的施工过程为一侧向挤土过程, 忽略锤施工的影响; 3) 考虑桩端震动波对土体的影响。

1.2 柱形孔扩张的弹塑性解

假设圆孔初始半径为 R_1 , 扩张后的半径为 R_0 , 扩孔后的塑性区半径为 R_p , 塑性边界处的土体位移为 u_p , 成桩过程中圆孔扩张的示意图见图 1。

1) 柱形孔扩张弹性解

轴对称条件下, 土体的弹性阶段的应力分量为:

$$\sigma_r = A/r^2 + 2c \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = -A/r^2 + 2c \quad (2)$$

式中: σ_r ——径向方向的应力分量; σ_θ ——切向方向的应力分量; A、C——系数。
当 $r=R_p$ 时, $\sigma_r = \sigma_p$; $r=\infty$ 时, $\sigma_r = \sigma_0$, 代入 (1) 得 $c = \sigma_0/2$

$$\sigma_r + \sigma_\theta = 2\sigma_0 \quad (3)$$

式中: σ_0 ——初始应力, $\sigma_0 = k \sigma_z$; k ——自重应力系数。

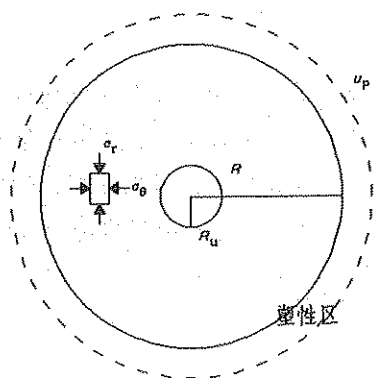


图1 圆孔扩张示意图

由弹性定律的 lame 方程, 轴对称条件下的弹塑性边界的径向位移可表示为

$$u_p = \frac{1+\nu}{E} R_p (\sigma_p - \sigma_0) \quad (4)$$

式中: u_p ——弹塑性边界的径向位移; ν ——土的泊松比; E ——土的压缩模量。

2) 柱形孔扩张弹塑性解

在轴对称条件下, 土的莫尔-库仑屈服条件可表示为

$$\sigma_\theta = \frac{(1 + \sin \varphi) \sigma_r - 2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (5)$$

代入平衡方程

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (6)$$

$$\text{设 } a = \frac{-2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad b = \frac{-2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$$\text{解得: } \sigma_r = Dr^{E-1} = Dr^{-2 \sin \varphi / (1 - \sin \varphi)} + \frac{b}{a} \quad (7)$$

式中: D ——积分常数。

对于砂土, $c = 0$, 故 b/a 等于 0。

当 $r=R_u$ 时, $\sigma_r = P_u$, 则:

$$\sigma_r = p_u (R_u / r)^{2 \sin \varphi / (1 + \sin \varphi)} \quad (8)$$

在弹性区的边界上 $r=R_p$, 则:

$$\sigma_p = p_u (R_u / R_p)^{2 \sin \varphi / (1 + \sin \varphi)} \quad (9)$$

代入 (3) 得弹性区边界的位移为:

$$u_p = \frac{1 + \nu}{E} R_p \left[p_u (R_u / R_p) r^{2 \sin \varphi / (1 + \sin \varphi)} - \sigma_0 \right] \quad (10)$$

载体施工时孔的体积变化等于弹性区的体积变化加上塑性区的体积变化, 得:

$$\pi R_p^2 - \pi R_i^2 = \pi R_p^2 - \pi (R_p - u_p)^2 + (\pi R_p^2 - \pi R_u^2) \Delta \quad (11)$$

式中: Δ ——塑性区平均体积应变。

$R_i=0$, 忽略到 u_p^2 , 经整理, 得

$$u_p = \frac{R_u^2}{2R_p} - \frac{R_u}{2} \Delta \quad (12)$$

由 (10) 和 (12) 得

$$\frac{R_u^3}{2R_p^2} - \frac{R_p}{2} \Delta = \frac{1 + \nu}{E} R_p \left[p_u (R_u / R_p) r^{2 \sin \varphi / (1 + \sin \varphi)} - \sigma_0 \right] \quad (13)$$

由式 (4) 和 (3) 得

$$\sigma_p = (1 + \sin \varphi) \sigma_0 \quad (14)$$

由式 (9) 和 (14) 得

$$p_u = \sigma_0 (1 + \sin \varphi) (R_p / R_u)^{2 \sin \varphi / (1 + \sin \varphi)} \quad (15)$$

将 (15) 代入 (13) 解方程得

$$R_p = \frac{R_u}{\sqrt{\Delta + \frac{2(1 + \nu)}{E} \sigma_0 \sin \varphi}} \quad (16)$$

对于饱和粘土地区, 由于 $\varphi = 0$, 采用同样的方法, 可得:

塑性区半径:

$$R_p = R_u \sqrt{\frac{E}{2(1 + \mu) C_u}} \quad (17)$$

塑性区外边界径向位移:

$$u_p = \frac{1 + \mu}{E} C_u R_p \quad (18)$$

2 载体球形扩张的弹塑性解

球形扩张与柱形扩张的唯一区别为三维的平衡方程, 球形扩张理论的平衡方程为:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + 2 \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (19)$$

在设计时被加固土层和持力层尽量避免选用饱和粘性土，故这里主要考虑砂性土的挤土效应。利用边界条件求解平衡方程，并根据载体施工时孔的体积变化等于弹性区的体积变化加上塑性区的体积变化，若 $R_i=0$ 时，忽略高次项，经整理后的

$$u_p = \frac{R_u^3 - R_p^3 \Delta}{2R_p^2} = \frac{R_u^3}{2R_p^2} - \frac{R_p}{2} \Delta \quad (20)$$

代入相关参数求得砂性土塑性区的影响半径 R_p 为：

$$R_p = \frac{R_u}{\sqrt[3]{\Delta + \frac{2(1+\nu)}{E} \cdot \sigma_0 \sin \varphi}} \quad (21)$$

对于饱和粘性土，根据相同的方法，计算 u_p

$$u_p = \frac{R_u^3}{2R_p^2} \quad (22)$$

塑性区半径：

$$R_p = R_u \sqrt[3]{\frac{E}{2(1+\mu)C_u}} \quad (23)$$

3 施工过程中的挤土效应分析

对于以饱和粘性土为主的地基，采用锤击跟管方法施工时，由于施工过程中的挤土效应使水平方向的周围土体密度提高，由于水平方向变形有限，因此在竖向会引起土体隆起。根据圆孔扩张理论的概念，小孔扩张的桩体体积应等于沉桩引起桩周土体的扩张体积，由于饱和粘性土塑性区体积保持不变，圆孔扩张体积等于弹性区土体的体积变化。

设桩长为 H ，塑性区边界产生的单位桩长挤土位移为 Δ_p ，综合约束效应系数为 K （综合约束包括加固区周围环境约束、相邻桩体位移约束等，与桩间距、桩周围土体性质以及施工工艺有关），沉桩后产生的总的挤土位移为 Δ ，则：

$$\Delta_p = \sqrt{R_p^2 + r_0^2} - R_p \quad (24)$$

$$\Delta = K_1 K_2 H \Delta_p = K_1 K_2 H (\sqrt{R_p^2 + r_0^2} - R_p) \quad (25)$$

式中 K_1 、 K_2 为挤土系数和分配系数。在沉桩过程中，挤出的土体一部分产生水平位移，表现为侧向挤密，另一部分产生竖向位移，表现为地面隆起，水平位移和地表隆起量之比难以精确量确定，位移分配系数予以估算：

$$\Delta_H = K_3 \Delta; \quad \Delta_V = K_3' \Delta \quad (26)$$

式中： K_3 、 K_3' 分别为水平向位移和竖向位移分配系数， $K_3' = 1 - K_3$

4 工程实例分析

北京市六环路位于北京市区边缘,是一条联系北京市郊区卫星城镇,疏导市际过境交通的高速公路。六环路路面宽度 26m,双向四车道,设计车速 100km/h。其中北六环(西沙屯-温泉段)位于北京市昌平区和海淀区,由于路基的天然地基不满足承载力设计要求,需进行地基处理,经过专家分析最终确定采用扩顶载体桩复合地基。根据相关地质资料,地面以下土层的物理力学指标见表 1。地下水位位于地面下 2.3m。设计要求处理完毕后复合地基承载力达到 200kPa,采用满堂布置,以粘性土作为被加固土层,设计桩径为 $\phi 400\text{mm}$,桩长为 10.0m,复合地基载体桩的施工中,砖填料量为 0.43 m^3 ,干硬性混凝土用量 0.15 m^3 ,三击贯入度为 22cm。

土层物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	天然密度 (g/cm^3)	含水量 (%)	饱和度	孔隙比	液性指数	压缩模量 (MPa)	承载力 (kPa)
耕土①	1.1	-	-	-	-	-	-	-
亚粘土②	3.0	2.01	27.9	0.92	0.81	0.71	4.5	105
泥炭质亚粘土③	8.5	1.8	38.3	1.03	0.99	0.67	3.9	100
亚砂土③ ₁₁	1.1	0.4	23.5	0.96	0.65	0.22	17.0	150
亚粘土④	1.4	7.2	23.9	0.97	0.66	0.50	9.9	190
亚粘土⑤	2.1	8.1	24.9	0.97	0.63	0.59	12.0	210

由于勘察报告上没有提供 μ 和 c_u ,根据经验取 $\mu=0.48$, $c_u=40\text{kPa}$,加权压缩模量 $E=4.5\text{MPa}$, $R_u=0.2\text{m}$,根据公式,沉桩过程中桩身范围内塑性区的半径 $R_p=1.23\text{m}$ 。

载体桩施工时,根据填砖量和干硬性混凝土加入量,按球形体积估算 $R_u=0.47\text{m}$,则根据式(23)计算得出载体施工时的塑性区的半径为: $R_p=1.58\text{m}$ 。

可见在载体桩施工过程中,决定桩间距的因素不是桩身施工的挤土效应,而是载体施工过程中的挤土效应,桩间距必须大于塑性影响半径时,当影响半径大于桩间距时,必须进行跳打。理论计算结果见表 2。

沉桩挤土效应计算结果

表 2

塑性半径 (m)	挤土位移 (m)			K	K ₃
	单位桩长	单桩竖向	单桩水平		
1.23	0.016	0.18	0.18	2.2	0.5

通过施工过程中的检测,发现地面隆起为 0.15m。由于实测土体的影响半径存在较大困难,根据大量的工程经验,通过地面隆起的大小来判断土体的影响半径,发现根据隆起值判断的土体影响半径与理论计算值相符合,由于载体埋深较深,载体的施工对周围地面的隆起影响不太大,若载体埋深较浅时,应注意考虑载体施工对地面隆起的影响。

5 结论

(1)可以利用圆孔扩张理论分析载体施工过程中的挤土效应,确定合适的施工间距和施工顺序。

(2)由于载体施工时的影响半径比沉管时的挤土效应大,故决定载体桩施工间距和顺序的因素是载体施工的影响范围,载体的影响半径与桩身没有直接关系。

(3) 可以通过圆孔扩张理论计算载体桩施工时地面的隆起, 载体桩施工过程中可以通过对地面隆起的监测控制施工质量。

参考文献

- [1] 王继忠, 杨启安. 复合载体夯扩桩技术研究[J]. 建筑结构, 2005, (增刊).
- [2] 杨启安, 葛宝亮, 张子杰. 复合载体夯扩桩的设计与计算[J]. 建筑结构, 2005, (增刊).
- [3] 顾晓鲁等. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 龚晓南. 高等土力学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.
- [5] 钱家欢. 土工原理与计算[M]. 南京: 水利水电出版社, 1994.
- [6] 郑颖人等. 岩土塑性土力学原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [7] 张季如. 高应力粒状土中球形孔的扩张问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21.

载体桩的检测

杨启安, 张建洪, 李玉朋

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 由于载体桩与传统桩受力原理、施工方法不同, 因此其检测判断也不同。本文分别介绍了载体桩的静载荷试验检测和低应变完整性检测的检测方法, 并重点介绍了这两种检测的判断依据, 对载体桩低应变检测曲线进行了分类。

关键词: 载体桩; 静载荷试验; 低应变检测; 缺陷

0 前言

载体桩是一种新型的施工技术, 在施工过程中通过填料夯实, 形成桩端载体, 其受力时侧阻所占的比例较少, 主要由桩端载体承担。由于载体桩的施工工艺、受力原理及荷载传递机理等完全不同于传统的桩基础, 因此, 其检测的判断与传统桩基础也不一样, 本文就结合载体桩的构成、受力和施工, 介绍载体桩的检测方法。传统桩基础的检测方法包括静载荷试验、低应变完整性检测和高应变检测等。而载体桩桩端存在载体, 采用高应变所需要的锤击能量大, 一般不采用该方法进行检测, 因此本文主要介绍载体桩的静载荷试验和低应变完整性检测。

1 静载荷试验

静载荷试验是通过堆载或锚桩作为反力装置, 采用千斤顶作为加载手段, 分级对桩基础或复合地基进行加载, 模拟桩或复合地基的受力以检测其是否满足工程设计要求的检测手段。一般包括工程试验桩检测和工程桩验收检测。

1.1 工程桩验收检测

载体桩作为一种基础形式, 其下部存在载体, 上部与普通桩基础一样, 故其检测手段和方法与常规桩基础一样, 其检测手段可以参见相关规范。唯一不同是由于载体桩的受力与常规桩基础不同, 因此对载体桩试验结果的判断不尽相同。

普通桩基础的载荷曲线, 根据其桩侧土体、桩端土体的土性及成桩工艺、桩的形状的和尺寸分为不同的类型, 但总体上可以分为两大类: 陡降型和缓变型, 如图 1。第 1 种类型主要为摩擦桩, 当荷载达到一定值后, 沉降急剧增加, 表明侧阻全部发挥, 单桩承载力达到极限。第 2 种类型主要为端承桩, 受荷时, 首先是侧阻发挥作用, 当侧阻全部发挥时候, 端阻才发挥。随着侧阻和端阻的逐渐发挥, 变形逐渐增大, 是一种缓慢增加的过程。普通桩基础承载力的确定原则为: 对于陡降型曲线, 取发生明显陡降的起始点所对应的荷载作为极限荷载; 对于缓变形曲线的桩取 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载作为极限荷载, 当桩长大于 40m 时, 宜考虑桩身的压缩量; 对于直径大于或等于 800mm 的桩取 $s=0.05D$ 对应的荷载作为极限荷载。

载体桩主要通过载体传递荷载、实现压力扩散，故其受力类似扩展基础但不是扩展基础，而扩展基础的承载力确定是根据载荷板试验，通过变形和载荷板尺寸的比值来确定，因此载体桩承载力的确定既不同于普通桩基础，也不同于扩展基础。通过试验和实践发现，载体桩变形达到 40mm 时，承载力还有很大的富余，此时卸载其回弹变形较大，说明还没有发生较大的塑性变形，因此载体桩设计规程规定：对于陡降曲线，取陡降起始点对应的荷载作为极限荷载；缓变型曲线取变形为 60mm 对应的荷载作为载体桩极限荷载。

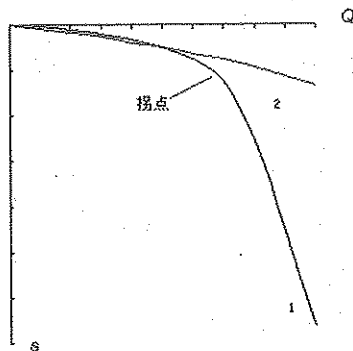


图 1 桩的荷载试验曲线的两种主要类型

1.2 试验桩的检测

载体桩作为一项新的技术，在某些地区可能是首次使用，根据规程规定：对无相近地质条件下成桩资料的载体桩设计，应事先进行成孔、成桩试验和载荷试验确定设计及施工参数。

普通桩基础试验桩的检测必须要 28d 才能进行试验，原因包括：①桩身强度的影响。如龄期短，强度不满足要求，试验时会出现桩身被压裂或压断等现象；②桩的施工过程对土的结构会造成一定的破坏，因此桩侧阻在施工后短时间内会较低。土具有触变的特性，经过一段时间后，土的承载力恢复，因此在施工完的初期可能承载力不满足设计要求，而经过一定时间后承载力可以满足设计要求。

载体桩由于桩长短，侧阻所占比例小，主要通过载体发挥承载力，而载体承载力的发挥须通过施工过程中形成不同密实度的材料，上部荷载通过桩身传到载体，在载体内部进行扩散，而压力的扩散不太受施工后时间的影响，因此可不考虑时间对其的影响，因此作为试验桩检测时常常用预制桩身作为传力杆件代替桩身进行试验，只要载体承载力满足设计要求，则载体桩必将满足设计要求。图 2 为某一实际工程中载体和载体桩承载力的对比。从试验数据可以看出载体桩单桩承载力和单个载体的承载力大致相同。

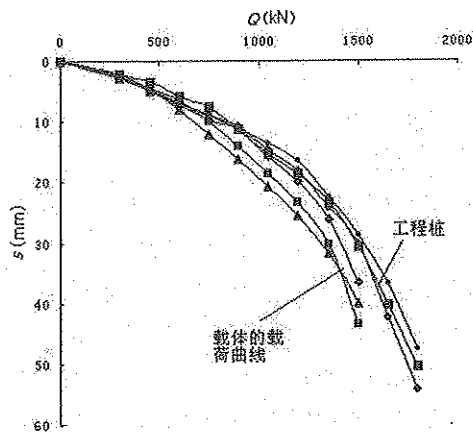


图 2 载体和载体桩承载力的对比

2 低应变完整性检测

低应变完整性检测通常采用的方法为反射波法,反射波法是利用波在固体中传播规律,通过桩底反射波信号进行分析判断桩身与桩底混凝土质量的一种无损检测方法。它利用重锤在桩顶进行敲击产生震动波,震动波在固体中传播时,当传播介质发生变化,或传播截面发生变化时,一部分波便会反射回桩顶。通过对桩顶传感器采集的信号进行数学积分,筛选、分离和放大,分析出桩身的缺陷。

2.1 反射波法的原理

假设一如图3所示的桩,m-m面以上桩身面积为 A_1 ,纵波在其中传播的速度为 c_1 ,M-M以下桩身面积为 A_2 ,纵波在其中传播的速度为 c_2 ,入射波声压为 P ,反射波声压为 P_1 ,透过的声波声压为 P_2 。

$$P = pe^{-\alpha x} e^{i(\alpha x + \varphi)} \quad (1)$$

$$P_1 = p_1 e^{-\alpha x} e^{i(\alpha x + \varphi)} \quad (2)$$

$$P_2 = p_2 e^{-\alpha x} e^{i(\alpha x + \varphi)} \quad (3)$$

式中: P 、 P_1 、 P_2 为入射波声压、反射波声压、折射波声压; p 、 p_1 、 p_2 为入射波、反射波、折射波声波的起始振幅值; ω 为阻尼运动的角频率; α 为衰减系数。

由于在任何截面固体介质中存在声压连续和振速连续,故:

$$P + P_1 = P_2 \quad (4)$$

$$v + v_1 = v_2 \quad (5)$$

根据振速与应力的关系:

$$v = p / z \quad (6)$$

$$z = \rho c \quad (7)$$

其中: ρ 为介质密度; c 为声波在介质中传播的速度。根据图3力的传播方向,将(6)和(7)代入(4)和(5),则

$$pA_1 + p_1A_1 = p_2A_2 \quad (8)$$

$$\frac{P}{z_1} - \frac{P_1}{z_1} = \frac{P_2}{z_2} \quad (9)$$

式中: z_1 、 z_2 为m-m截面上、下桩身材料的阻抗。

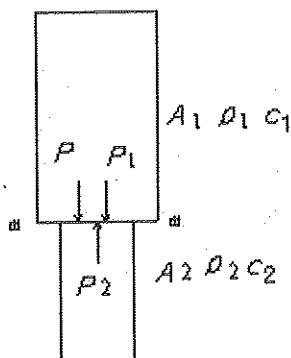


图3 桩在变截面处的传播简图

由上式可以求出振速反射系数

$$R_v = \frac{P_1}{P} = \frac{\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2}{\rho_1 c_1 A_1 + \rho_2 c_2 A_2}$$

若 R_v 大于 0 时，通过截面的反射波的初动相位与直达波的初动相位相同；若 R_v 小于 0 时，通过截面的反射波的初动相位与直达波的初动相位相反。

2.2 载体桩的低应变检测

载体桩上部为混凝土桩身，故工程中常常用低应变动力测试来检测桩身完整性。由于载体桩桩端为复合载体，桩端施工与普通混凝土桩不一样，要正确分析载体桩的测试信号，判断其桩身质量和缺陷，必须了解该技术的原理和施工工艺。

1) 桩身判断

载体桩桩身缺陷的判断与普通混凝土没有太大区别，当混凝土强度不变、桩身截面发生变化时，若桩身有缩径，截面减少，即 $A_1 > A_2$ ，则 $R_v > 0$ ，表明反射波相位与初相位相同，出现同相反射；若桩身某处扩径，即截面增加， $A_1 < A_2$ ，则 $R_v < 0$ ，表明反射波相位与初相位相反，出现反相反射；当桩身截面不变，桩身出现离析或夹泥时，混凝土强度降低时，即 $c_1 > c_2$ ， $\rho_1 > \rho_2$ ，则 $R_v > 0$ ，表明截面反射波相位与初相位相同，出现同相反射。如表 1 所示。

不同缺陷的反射波典型曲线特征

表 1

缺陷类别	曲线特征	对承载力的影响
缩径	桩底反射明显，在缺陷位置出现与入射波同相的波峰或波谷，但振幅较小	当缩径严重时对承载力有一定影响
扩径	桩底反射明显，在缺陷位置出现与入射波反相的波峰或波谷	不影响承载力
夹泥或离析	桩底反射明显，在缺陷位置出现与入射波同相的波峰或波谷，但振幅较小	当夹泥或离析严重时对承载力有一定影响
断桩	无桩底反射，出现多次震荡的波形或大阻尼的震荡波形	影响承载力

2) 对于桩端信号的分析

普通混凝土桩由于桩体强度比桩端土体强度高（嵌岩桩除外），因此桩底出现同相反射的信号，而载体桩的桩底反射情况比较复杂。载体从外形看是椭球状，面积大于桩身截面积，其材料分析依次为混凝土、填充料、挤密土体，材料密度依次降低，波在里面传播的速度也逐渐减小，因此 R_v 可正、可负，故桩端反射的信号取决于 $\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2$ 的大小，当材料的密度影响为主时，

$\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2$ 大于 0, 出现同相反射; 当载体的面积增大影响为为主时, $\rho_1 c_1 A_1 - \rho_2 c_2 A_2$ 小于 0, 桩端出现反相反射。由于一般载体桩施工时, 都填干硬性混凝土, 体积在 $0.15 \sim 0.5 \text{m}^3$, 通过填料夯实, 一般都会形成扩大的混凝土球体, 因此一般面积增大影响为主要影响, 载体桩的桩底反射一般呈反相反射; 当混凝土填量较少时, 受材料的影响较大时候, 桩底反射呈现同相反射。

载体桩最可能的缺陷是桩身与载体的结合不良, 原因可能为施工工艺上的原因, 如施工过程中提护筒; 也可能是地层的原因, 如桩端为饱和土; 邻桩的施工造成桩身与载体的脱离或裂缝等。其缺陷的反应为同相反射, 与材料材性影响为主的无缺陷桩桩底反射相同。因此对载体桩桩底的反射应认真分析。

桩身质量检测判断一般分为四类: 其中 I、II 类是属于没缺陷或有轻微缺陷但不影响承载力的桩, III、IV 是属于有严重缺陷的须降低承载力使用或不能使用的桩基础。载体桩桩端反射信号大致呈现几种, 如图 4。

曲线 1 为典型的载体桩曲线, 由于干硬性混凝土扩径引起的同相反射信号大于载体部分介质密度减少引起的反相信号, 因此在桩底曲线呈现明显的反相反射的信号; 曲线 2 由于载体基础深度的影响土体范围较深, 干硬性混凝土扩径产生的信号与载体材料产生的信号相互叠加形成; 曲线 3 可以看出在反相反射波之前有一低幅的同相反射; 曲线 4 在桩底有明显的同相反射明显时, 且振幅较大, 同相反射后的反相信号也不明显。其中曲线 1 和曲线 2 都属于桩身完整性、承载力满足要求的桩基础; 对于曲线 3 和曲线 4, 首先应根据施工参数、施工工艺, 并结合现场地质条件综合分析, 进行判断, 必要时要结合静载荷试验进行分析判断。根据经验, 有缺陷的桩一定为桩底同相反射, 但桩底为同相反射的桩不一定是缺陷的或影响承载力的桩。

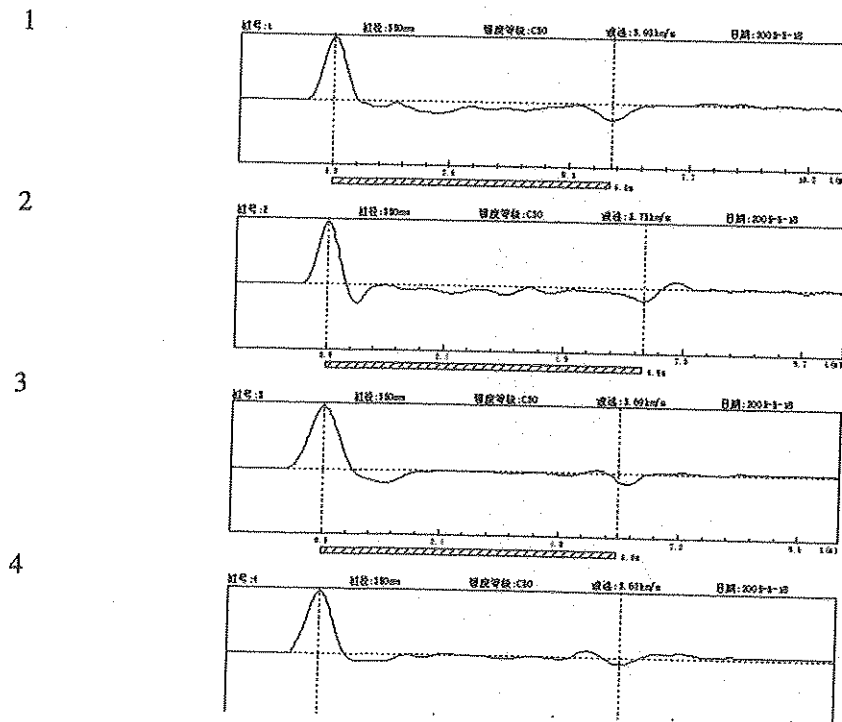


图 4 载体桩的典型低应变检测图形

载体桩施工主要在护筒内进行,桩身质量易保证,在三击贯入度严格控制的情况下,一般缺陷表现为施工过程控制不严造成的混凝土桩身与载体的结合不良。对于这类质量事故的处理,可以先采用低应变检测方法,对桩的缺陷进行分类,找出需要处理的基桩,对其可采用锤击桩顶的方法,使桩身与载体结合良好,即可达到设计承载力的要求。

3 结束语

载体桩作为一种新型的地基处理技术,它既是等效扩展基础,同时也具有与混凝土桩一样的桩身,低应变检测时,应根据载体桩的结构与受力机理对桩身与桩端的缺陷进行正确分析和判断,根据其缺陷对承载力的影响进行分类,既保证载体桩的质量,又要避免不合理的判断。

参考文献

- [1] 国家建设工程质量监督检验中心. 桩基动测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑基桩检测技术规范 (JGJ106-2003) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 桩基础工程手册编写委员会. 桩基础工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [5] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

载体桩施工振动影响及隔振的研究

孙玉文¹, 周秋燕²

(1. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218; 2. 河北沧州师范专科学校, 河北 沧州 061001)

摘要: 载体桩施工过程中, 由于采用柱锤夯实, 必然产生振动。本文通过一个特定的试验, 检测载体桩施工过程中的振动影响, 并且提出了减少振动影响的措施, 并通过现场试验对该措施的效果进行了试验。

关键词: 载体桩; 振动; 检测; 速度; 加速度; 减隔振

0 前言

由于载体桩施工是通过柱锤夯击成孔, 成孔后通过填料夯实, 整个施工过程中, 都是通过柱锤的自由落体产生的重力势能转换成动能, 动能通过波在土体中的传播, 使土体的结构发生破坏, 颗粒重新排列, 形成土体的密实, 因此在整个施工过程中一直都会形成振动波, 振动波向邻近的地基土体及建筑物传播, 形成振感, 可能会影响邻近工厂企业、居民的正常生产和生活。为了研究载体桩施工过程中振动的影响, 防止或减少施工过程中对周围建筑的破坏或影响, 我们对载体桩施工时振动的产生、传播、测试及减隔振技术进行了研究。

1 振动产生及其传播

利用柱锤进行载体桩施工, 实际是一个将柱锤的重力势能转化为动能作用于被加固的地基土实现土体密实的过程。因此, 在沉管及夯扩过程中, 必然会产生振动。在地基土体中, 振动是以弹性波的形式向夯扩区周围土层进行扩散和传播的。根据振动弹性波传播的性质, 可将其分为实体波和表面波。实体波包括纵波(压缩波, 又称P波)和横波(剪切波, 又称S波); 表面波为瑞利波。据有关资料得知, 上述各种振动弹性波分量占输入总能量的百分比分别为: 瑞利波占67%、横波(剪切波)占26%、纵波(压缩波)只占7%。由此可见, 瑞利波占了振动总能量的三分之二, 且其随着距离增加而衰减的速度要比实体波来得慢的多, 故在离振源一定距离内, 表面波的影响是主要的。

在工程中, 常用五个参量来表征因施工所引起的地基土的振动, 它们是: 振幅 A 、质点速度 V 、质点加速度 a 、频率 f 、波的传播速度 v 。

2 减隔振技术

施工过程中, 振动受多方面因素的影响, 包括柱锤的提升高度, 柱锤的重量及土体的土性等, 在一般的施工中, 由于柱锤提升的高度是有限的, 因此产生的振动不会对周围建筑产生大的影响, 但当夯击能量大且建筑物近时, 施工中产生的振动有可能给周围的建筑造成一定的危害, 因此研究隔振技术对减少施工中振动的影响, 推广该技术的应用具有重要的意义。

2.1 减隔振技术基本原理

众所周知，振动波在地基土中传播的充分必要条件：一是有振源，二是有传播媒体。由于载体桩施工是利用柱锤的动能对地基土进行加固，必然会产生振动，消除振源是不可能的，因此在切断振动波的传播媒体上做文章。本文即是在离施工区一定距离处，采用打隔离孔的方式，将连续的地基土体间断隔离，形成环状隔离带，以达到减隔振的目的，如图1所示。

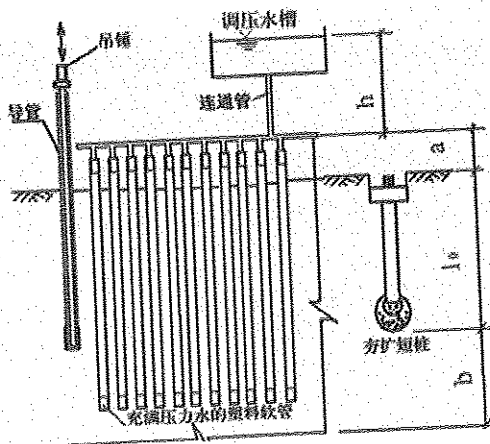


图1 减隔振技术原理

减隔振系统如图2所示，采用管中吊锤的装置，在打桩区周围每隔一定距离打一个竖向孔；在孔中并列放置两根塑料软管，两根软管的下端同系在一个管堵上；向管中充满水，并将两根软管的上端与连通管相连，通过连通管再与调压水槽相通，这样就形成一个能够调压的连通器。将每个孔中的软管均相连，即组成一条由原状土与软管相间的隔离带。当振动波通过地基土体传至此隔离带时，振动波能量会使软管内的水压力增高，增高的水压力通过连通器在调压水槽中得到调节与消散，振动波能量在此被全部或大部分吸收，其透射波就很小了。

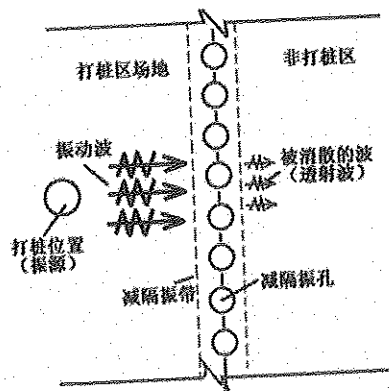


图2 减隔振技术施工工艺示意图

2.2 减隔振技术施工工艺

- (1) 根据设计图，进行施工放线，确定出钻孔的位置；
- (2) 采用专用成孔装置进行成孔；
- (3) 连接、充水、关闭调节阀；
- (4) 在成桩施工时，打开调节阀。

2.3 施工振动的检测与成果

为了检测减隔振技术的减振效果,采用长沙旭华仪表厂研制的 SWG 全自动面波勘探仪和北京测震仪器厂生产的 CD-7 型速度拾震器,拾取测点上铅垂和径向两个方向的质点振动速度。再依据实测质点振动速度计算质点的位移和加速度。

在测试前,专门对仪器和拾震器系统进行了标定。

(1) 监测点布置 (如图 3 所示)

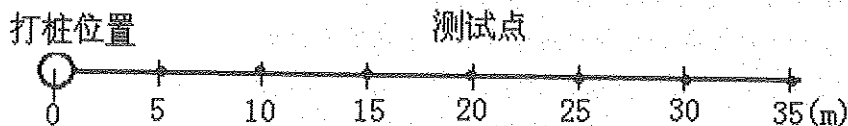


图 3 检测点的布置

(2) 场地地质条件

该试验位于河北廊坊安次房地产公司综合楼工程施工现场,载体桩桩径为 410mm,桩长约为 4.0~5.5m。从地面开始往下,依次为填土、粉质粘土和粉细砂土。载体的被加固土层是在测试场地的 14 号钻探孔附近第③层的中密粉细砂土层上,该土层埋深为 4.4m,层厚 2.80m,平均 $N_{63.5}=32$ 击,最大 $N_{63.5}=42$ 击,最小 $N_{63.5}=23$ 击。柱锤进入该土层 30~50cm。

(3) 检测结果

测试结果如图 4、图 5 所示。

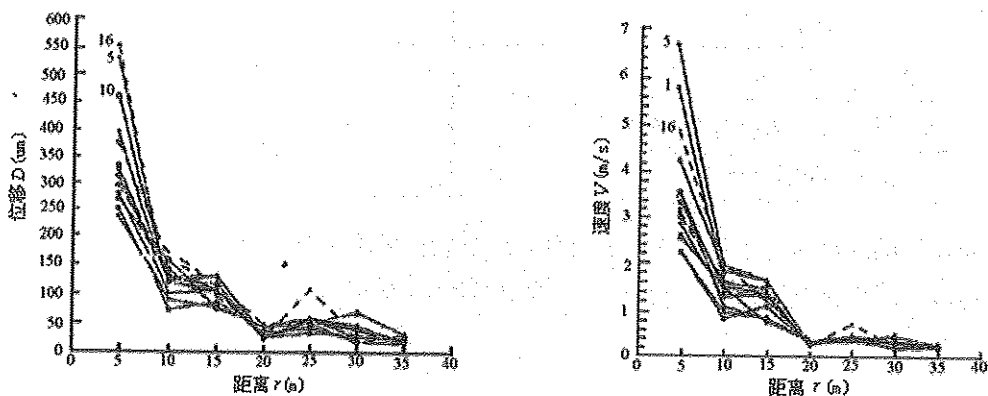


图 4 实测质点的振动位移、速度与距离的关系

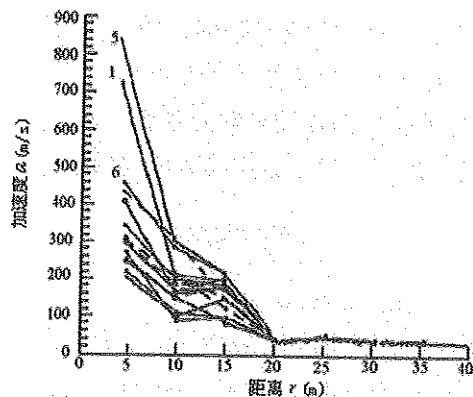


图 5 实测质点的振动加速度与距离的关系

由上图可知:

- 1) 由锤击所产生的振动, 随离振源的距离 r 的衰减是很快的, 强度随距离呈对数衰减;
- 2) 在 10m 处的质点振动速度仅是 5m 处的 1/3~1/4; 35m 处, 质点振动速度是 5m 处的 1/10 左右。径向水平方向的质点振动速度较铅垂方向的大 20%~52%;
- 3) 质点振动频率为 10~20Hz;
- 4) 随着填料的增加和一击贯入度的贯入量的减小, 土体的密实度在不断增加。在振动能量不变的情况下, 质点的位移、速度和加速度均随着土体的密实度的不断增加而增大。如图 5 所示, 图中的 16 条曲线分别为不同填料和贯入量时相应的振动量的变化规律。其中: 1~5 号为填料从 70 块砖~110 块砖时的实测数据; 6~8 号分别为空打 1 击、2 击、3 击时的实测数据; 9~14 号为填 0.3m³ 干硬混凝土时的实测数据; 15~16 号为空打 1 击、2 击的实测数据。
- 5) 在地表浅层范围内为较软弱层时, 振动影响是很小的, 无需采用减隔振措施。在地表浅层范围内为较硬土层、距离居民较近、振动影响较大的情况下, 需要采取减隔振措施, 并视具体地质条件、夯击能量等参数进行设计。

2.4 监测结果评价

目前在工程中, 对于基桩夯扩、强夯等施工振动效应没有任何限制标准。因此, 借用国家标准局《爆破安全规程》(GB6672-2003) 的有关条文, 对于工程振动效应的限速标准如表 1 所示。

《爆破安全规程》限速标准

表 1

建筑物类型	限速 (m/s)
土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5~1.0
一般砖房、非抗震的大型砌块建筑	2.0~3.0
钢筋混凝土框架结构房屋	3.0~5.0

由实测质点的速度值与上述标准比较可知, 距离载体桩施工位置 20 m 以外的距离, 质点的速度小于限速标准, 载体桩施工过程一般不会影响场地周围居民的正常生产和生活。

3 结语

(1) 载体桩施工过程中由于柱锤的夯实作用, 会产生振动波, 若夯击能量过大, 将可能给建筑物造成影响。

(2) 为了消除载体桩施工过程中产生的振动波对周围建筑物的影响, 可以采用减隔振系统, 对解决载体桩施工对周围建筑物的振动危害问题是行之有效的。

(3) 对载体桩施工过程中不同位置的振动系数的监测结果表明, 距离载体桩 20m 以外的位置, 质点速度小于限速标准, 因此施工过程一般不会影响场地周围居民的正常生产和生活。

参考文献

- [1] 王继忠. 载体桩的受力机理与技术创新[J]. 建筑结构, 2008, (5).
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 国家建设工程质量监督检验中心. 基桩动测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 爆破安全规程 (GB6672-2003) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

载体桩基础工程的勘察要点

戚银生, 段亮亮

(北京波森特岩土有限公司, 北京 102218)

摘要: 载体桩技术的应用在不断发展与完善, 对载体桩基础的地质勘察仍存在模糊认识。通过工程实践结合对各规范的理解, 提出采用载体桩基础工程勘察要点, 供类似工程参考。

关键词: 载体桩; 勘察; 钻探孔; 湿陷; 液化

1 载体桩基础勘察的必要性

勘察是我国基本建设程序的第一步, 勘察成果是地基基础设计的依据, 是地基基础设计的指导, 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 总则中明确规定: “各项工程建设在设计和施工之前, 必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。” 载体桩基础单桩承载力高, 适用范围广, 设计前一定要在本场地进行岩土工程勘察。岩土工程勘察报告是载体桩基础设计和施工的直接依据。

2 载体桩基础勘察的要点

结合各规范和工程实践, 认为载体桩基础勘察应遵从以下要点:

(1) 勘察资料的要求

载体桩设计前应获得如下勘察资料: ①完整的岩土工程勘察报告和图件; ②承载力和变形计算所需的岩土物理力学性质指标; ③建筑场地不良地质现象和防治方案; ④已确定或预测地下水位及水分析结论; ⑤按抗震设防烈度提供的液化资料; ⑥有关地基土的冻胀性、膨胀性、湿陷性的资料。

(2) 载体桩基础勘察的岩土工程勘察等级

载体桩基础的原理是通过填料夯实, 挤密深部土体, 密实后的土体和填充料及干硬性混凝土组成载体, 承担桩身传来的荷载。载体桩单桩的承载力主要来源于载体的持力层, 《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 已略去桩侧摩阻力, 毫无疑问载体桩属于端承桩, 持力层土的性质将直接影响载体桩的工作性能, 根据已有的工程经验, 载体桩基础岩土工程勘察建议等级为甲级。

(3) 勘探点间距

应参考现行《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008) 从严掌握, 即按端承桩执行, 勘探点间距主要根据桩端载体持力层坡度确定, 宜为 12~24m, 当相邻两个勘探点揭露出的层面坡度大于 10% 时, 应根据具体工程条件适当加密勘探点; 复杂地质条件下的柱下单桩基础应按柱列线布置勘探点, 并宜每桩设一勘探点。对于以岩层为载体持力层时, 控制性钻孔应深入岩层不小于 3~5 倍的桩径, 一般性钻孔应深入岩层不小于 1~3 倍的桩径。

(4) 勘探孔深度

参考现行《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008), 布置 1/3~1/2 的勘探孔为控制性孔, 且场地至少

布置 3 个控制性孔。控制性孔深度应穿透桩端平面以下压缩层厚度，一般性勘探孔应深入载体底端平面以下 3~5m。岩溶地区应查明溶洞、溶沟、溶槽、石笋等的分布情况以及溶洞的充填情况和充填物的性质。

(5) 土工试验和原位测试

在勘察深度范围内的每一土层，均应采取不扰动样进行室内试验或进行有效的原位测试，提供设计所需参数。

3 特殊性岩土的勘察

3.1 填土的勘察

填土具有不均匀性、自重压密性、湿陷性、低强度和高压缩性。一般分为素填土、杂填土、冲填土、压实填土。

对于填土地基上的载体桩基础近年来应用较多，主要是载体桩基础对杂填土适应性较强。表现出明显的经济和技术优势，但勘察报告对填土所做描述和评价较少，对载体桩设计和施工缺乏指导意义，因此对于填土的勘察应引起重视。如北京回龙观小区某住宅楼项目勘探孔间距约 30m，上部土层为杂填土，打桩时发现异常，局部出现生活垃圾，不得不开挖回填后打桩，还发现暗埋的池塘，又重新划出范围。又如晋元庄小区某住宅楼工程，勘察报告只说明上部土层为杂填土，没有更多的描述，施工时遇到建筑灰渣及直径 1m 的建筑垃圾，难以在施工前采取有效手段，施工具有盲目性。以上表明，对杂填土勘探点应加密，遇到特殊情况应具体处理，不可一带而过。

填土勘察应搜集资料，调查地形地物的变迁，查明填土的来源、堆积年限和堆积方式；查明填土的分布、厚度、物质成分、颗粒分配、均匀性、密实性、湿陷性和压缩性；判明地下水对建筑材料的腐蚀性。

载体桩基础勘探点的布置按复杂场地布置，孔深应穿透填土层，当填土层下为软弱土层时，部分钻孔还应加深。对暗埋的塘、浜、沟、坑的范围应追索并圈定，必要时应加密勘探点，勘探方法对素填土可采用小口径螺纹钻、洛阳铲等，对杂填土宜采用触探、钻探、并配置适量探井。测试应以原位测试为主、辅以室内试验，填土的承载力可由轻型动力触探、重型动力触探、静力触探和取样分析确定，必要时应采用载荷试验。填土的压缩性、湿陷性可采用室内压缩试验、浸水压缩试验或载荷试验、浸水载荷试验确定。为确定载体桩的适用性，除钻孔外，还应布置适量探井，对现场土层进行详细描述，必要时拍照，对粒径和组成成分及有机质含量作出评价，杂填土的密度试验宜采用大容积法。

3.2 湿陷性土的勘察

湿陷性土的勘察应确定湿陷性土深度、判定场地湿陷类型和地基湿陷性等级，应按《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004) 布置工作量，单独的甲、乙类建筑场地内勘探点不应少于 4 个，采取不扰动土样和原位测试的勘探点不得少于全部勘探点的 2/3，其中采取不扰动土样的勘探点不宜少于勘察点总数的 1/2。湿陷性土地基上载体桩的设计应穿透湿陷性土层、控制性勘探点的深度要大于湿陷性土层深度和压缩层厚度。对于非自重湿陷性黄土场地中桩长大于 10m，当自重湿陷量小于 5cm 时，单桩承载力应计入湿陷性黄土层按饱和状态的正侧摩阻力；对于自重湿陷性黄土场地，不计入正侧摩阻力，而应计入负摩阻力。场地内各土层的物理力学性质指标和承载力，可选择室内压缩试验、现场静载荷试验或试坑浸水载荷试验测试获得。

3.3 液化土的勘察

对于拟采用载体桩的地震液化的勘察,就是判定场地土的液化可能性、确定液化深度并评定液化等级。

饱和砂土和粉土在抗震烈度为7度以上时,应判定液化可能性。液化判别应先进行初判,存在可能性时,再作进一步判别。初判根据地质年代、粉土的粘粒含量、上覆非液化土层厚度和地下水深度来判定,作进一步判别一般根据标准贯入试验锤击数判定。

选择桩基作为地基处理的场地,液化的判定深度应为20m,勘探点深度大于液化判别深度,判别液化的勘探点不应少于3个。当采用标准贯入试验判别液化时,应按每个孔的实测锤击数进行,在需判别的土层中,试验点的竖向间距宜为1~1.5m,每层土的试验点数不宜少于6个。

北京东潞苑小区某楼工程选择载体桩作为地基处理方案,施工完毕后经补充勘察表明:载体所在的土层即加固层,砂土的密实度明显提高,液化指数降低。结合本工程实例数据可考虑载体桩施工对砂土的挤密作用,可适当减少桩的入土深度,减少桩端在砂土中的入土深度。

3.4 混合土

混合土主要由级配不连续的粘粒、粉粒和碎石粒(砾粒)组成。混合土承载力较高,可加固性好,可作为载体桩的载体持力层。但因其难以钻探,目前对混合土的勘察较粗,对载体桩的设计与施工指导性较差。

房山区某中学餐厅项目,勘察报告给出基槽底为粘土,局部夹卵石,设计时按粘土考虑,以该层为载体持力层,入土深度为6m,单桩承载力特征值700kN,试桩时发现难以达到设计深度,人工挖探井发现该层粘土卵石含量大于25%,应定名为混合土,后经设计方同意,桩长调整为2.5m,单桩静载荷试验数据表明调整后的桩承载力同样满足要求。本工程勘察仅对该层土进行了钻探和动力触探,成分指标没有勘察清楚,勘探孔间距偏大达到了30m。

混合土勘探方法有多种,如井探、钻探、动力触探及物探等。对于有经验的地区,宜以工程物探或动力触探等原位测试为主,钻探为辅。勘探孔的间距比一般地区要小,深度要比一般地区要深。应布置一定数量的探坑,直接对混合土的结构进行观察、素描、照相。野外测试时可对细粒土进行静力触探、标准贯入,对粗粒土进行动力触探;对于混合土的密度测试常采用充砂法和充水法,现场载荷试验可准确确定承载力。室内试验应注意土样的代表性,应进行颗粒分析试验。

3.5 地下水

着重查明地下水位,地下水的承压特性和对混凝土的腐蚀性。载体桩适用于有地下水的情况,但施工时可根据水位采取措施封水。对承压水为防止土涌要采取封水措施,因此勘察时应给出承压水的水头。如长沙某工程以卵石为载体持力层,勘察报告对承压水没有描述,结果给载体桩的施工带来困难,后通过调整桩长成功封水。

4 结论

(1)对于可能采用载体桩的地基,勘察工作量的布置和勘探点深度应满足《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)的要求,必要时可加密勘探点。

(2)对于特殊性岩土勘察应针对岩土的特点采取有效的勘察手段,获取对载体桩设计与施工具有指导意义的参数。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准.《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008) [S].北京: 中国建筑工业出版社, 1994
- [2] 中华人民共和国国家标准.《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004) [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [3] 中华人民共和国国家标准.《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [4] 中华人民共和国行业标准.《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [5] 中华人民共和国国家标准.《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2001

载体桩在朝阳新城小区的应用

葛宝亮

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 通过北京朝阳新城小区载体桩工程实例, 介绍了该桩的承载特点及检测效果。实践证明, 载体桩可大幅度提高桩基承载能力, 具有明显的经济效益和广泛的应用前景。

关键词: 载体桩; 承载力; 方案比较

0 引言

载体桩是近几年发展起来的一种新桩型, 载体桩与其他桩型的最大区别在于它不是通过桩身侧摩阻、桩端阻来提高承载能力, 而是通过桩端土体的加固, 并填以干硬性混凝土形成载体来大幅度提高桩基承载能力。它具有施工速度快、承载能力高、施工质量好、造价低、保护环境等优点。现以朝阳新城小区为例简述其工艺与性能。

1 工程概况

北京朝阳新城住宅小区位于北京市朝阳区东坝乡, 小区内建筑均为六层住宅楼, 混合结构, 无地下室。根据工程地质勘察资料揭示, 该场区为大面积人工填土, 填土厚度较大、成分复杂、密实度及均匀性较差, 勘探期间未见地下水。地基土层及其物理力学性质指标见表 1。

土层物理性质

表 1

土层	土层名称	厚度 (m)	质量密度 ρ (g/cm^3)	天然孔隙比	压缩模量 E_s (MPa)	地基承载力 f_{ka} (kPa)
①	人工填土	0.7~11.0	-	-	-	-
②	粉土	0.6~8.5	2.01	0.633	8.0	150
③	细中砂	2.8~10.3	-	-	15.00	220
④	粘土	2.0~2.7	1.99	0.637	6.00	160
⑤	细中砂	2.6~3.9	-	-	20.00	250
⑥	粘土	可见 2.2	1.93	0.815	8.0	190

根据本工程的地质条件, 曾经考虑过振冲碎石桩、CFG 桩、强夯等多种方案。采用振冲碎石桩由于施工期间会产生大量的泥浆, 对周围的环境造成污染, 并且通过前期的工程经验, 碎石桩对前期工程的地基处理, 沉降控制效果不理想; 强夯施工时产生震动较大, 该小区前期的业主已经入住, 采用该工艺必将对周围群众的生活造成影响; 而 CFG 桩复合地基施工成本较高, 因此经过多方面对比分析, 最后决定采用载体桩基础方案。

2 载体桩承载机理

载体桩的关键部位就是桩端的载体，桩的竖向承载力主要靠载体来提供。载体的形成过程是填充料受到高能量夯击、挤密过程及土体受到强挤密加固的过程，形成以夯实干硬性混凝土、夯实填充料、挤密土体组成的载体。该载体的形成使其周围土体结构发生了变化：由于填料挤密使土体中固体颗粒含量增加，孔隙和含水量减少，从而密实度增加，也就是使原状土强度增加。经过载体桩的施工，在一定的恢复期后，载体下部及周围土体的承载力和压缩模量会显著提高，从而提高桩基承载能力，减小地基的沉降。

该桩有以下特点：(1) 改变传统的地基处理观念，避软就硬，因地制宜，将建筑物的结构形式与场地的工程地质条件有机地结合起来，使地基处理获得最优的效果；(2) 将地基处理与基础施工合二为一，降低地基处理费用，节约基础投资；(3) 极大地改善了桩的承载性状，使得相同条件下的单桩承载力大大提高；(4) 可以通过调整载体桩的施工控制参数，改变其单桩竖向承载力极限值，使之最优化地满足工程需要；(5) 施工中能就地取材，充分利用固体废弃物或廉价的建筑材料作为填充料，变废为宝，节约资源，利国利民，保护环境。

在本场地采用载体桩工艺成孔，是非常合理的一种工艺。首先，因为表层的杂填土较厚，其它工艺成孔有困难，或塌孔无法保证桩身的质量；其次，传统桩型是靠桩身侧摩阻和端阻来提供承载力，对本工程地质而言，杂填土没有侧摩阻，也没有很好的端阻力，故小型基桩单桩承载力很小，难以满足设计要求。而载体桩恰好克服了以上难点，用较短的桩型，提供了较高的单桩承载力。

3 载体桩的设计计算

施工图由北京环洋世纪建筑设计有限公司设计。

设计桩径 400mm，桩身长约 8.0m，以③层中砂为桩端持力层，地基土承载力特征值为 220kPa，单桩承载力特征值 650kN。

(1) 参数的确定

本场地各单体±0.00 标高差别不大，绝对标高均在 31.0m 左右，桩端持力层为第③层中砂，桩端距离持力层不大于 1.5m。

混凝土桩身长取 $L=8.0\text{m}$ ，桩端土修正深度 $D=8.0+2.0$ （承载体高度） $=10.0\text{m}$ 。

考虑地下水的因素，土的加权平均重度取： $\gamma_0=10.0\text{kN/m}^3$ 。

根据《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》， $\eta_d=2.5$ 。

桩径 $d=400\text{mm}$ ，混凝土 C20。

(2) 单桩承载力特征值计算

持力层地基土经深度修正后承载力

$$\begin{aligned} f_a &= f_{ak} + \eta_d (D-1.5) \gamma_0 \\ &= 220.0 + 2.5 \times (10.0-1.5) \times 10.0 \\ &= 445.0\text{kPa} \end{aligned}$$

根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007)，由公式 4.3.2：

$$R_a = f_a A_c$$

取三击贯入度 15cm，查规范表 4.3.2，

$$A_c = 2.0\text{m}^2$$

则单桩承载力特征值： $R_a = f_a A_e = 445.0 \times 2.0 = 890.0 \text{ kN}$ 。

根据本工程上部结构荷载，单桩承载力特征值采用 650kN。

4 载体桩的施工

载体桩施工所用机械为液压步履式载体桩机，该桩机为载体桩施工专用设备，其体形较小，移动灵活。载体桩施工过程分为以下几个主要步骤：（1）固定桩位：移动桩机到位，在桩位点上挖定位孔，将护筒底端放入孔内，对护筒进行调直；（2）成孔：采用冲击成孔、护筒跟进的成孔方法。首先利用柱锤自由落体夯击土体，然后通过反压装置将护筒向下压，如此反复操作，直至将护筒沉至设计标高；（3）填料夯实：当护筒达到设计标高后，将其固定，向护筒内填筑填料，提升柱锤，大能量夯击填料，边夯边填料，直至满足三击贯入度要求，停止填料夯击；（4）夯填干硬性混凝土：在三击贯入度满足要求后，分次向孔内夯填 0.3 m^3 的干硬性混凝土，使干硬性混凝土与护筒底齐平；（5）放置钢筋笼：将加工好的钢筋笼，慢慢放入孔内，抄平笼顶标高，固定好钢筋笼；（6）灌注混凝土：混凝土的坍落度要求在 $14 \sim 16 \text{ cm}$ ，一次灌注至桩顶以上 1.0 m 左右，以保证提护筒时的充盈度；（7）提升护筒：提升护筒时速度要慢，掌握在每分钟 $1.5 \sim 2 \text{ m}$ 的速度，同时观察钢筋笼标高的变化，避免将钢筋带起；（8）振捣桩身混凝土：待护筒完全拔出后，利用振捣棒进行振捣，振捣时要一次插到桩底，快插慢拔。

5 载体桩的质量检测

对于本工程载体桩的质量检测，采用了两种方法：（1）静载荷试验，检验单桩的竖向承载力，检测数量为总桩数的 1%；（2）低应变无损检测，检验钢筋混凝土桩身质量，检测数量为总桩数的 10%。

在朝阳新城 G 组团共施工了载体桩 4300 根，根据有关规范，随机抽取了 56 根进行单桩静载荷试验；同时还做了 600 根低应变检测，90% 为 I 类桩，10% 为 II 类桩，没有出现 III 类桩，证明桩身质量良好。部分试验桩的 $Q-s$ 曲线见图 1。按照曲线形状和相对应沉降量综合分析，试验桩在承载 1300 kN 垂直荷载时，均未出现极限特征，呈缓变的抛物线型。这是因为载体桩不会出现刺入破坏现象，主要表现为桩端下土层的压密变形，压密区的土体既有较高的承载力，又有较小的压缩变形。卸载后残余变形只有总变形量的 20%，说明该桩在承担 1300 kN 荷载时桩端土体还处于压密阶段。因此在房屋长期使用荷载作用下，桩端土体不仅不会破坏，而且会因不断固结压密而提高其承载力，所以载体桩的安全储备是很高的。

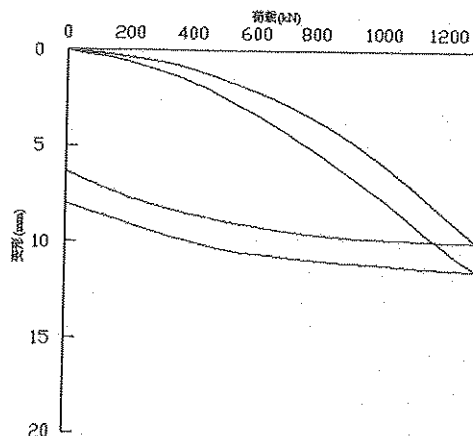


图 1 部分试桩荷载-沉降 ($Q-s$) 曲线

6 方案比较

本期工程为朝阳新城 G 组团, 总建筑面积约 10 万平方米, 桩基部分造价为每建筑平方米造价 70 元, 与该小区前期工程采用过的碎石桩复合地基相比, 基础造价降低了 20% 左右。现以某个单体为例, 主要工程量对比见表 2。

不同地基工程量对比

表 2

基础形式	分部分项	钢筋砼量	土方量 (m ³)	合价 (万元)	合计 (万元)
碎石桩 复合地基	带形基础	390m ³	2060	26	50
	碎石桩	1475m ³	—	24	
载体桩基础	桩承台	145m ³	400	16	40
	载体桩	170 根	—	24	

采用载体桩后, 施工现场为干作业, 无须降水挖土等工序, 又消纳大量建筑垃圾, 利于保护环境, 具有显著的经济效益和社会效益。

7 结论

- (1) 载体桩作为一种新型桩基, 是处理软弱地基比较经济、可靠的方法。
- (2) 该桩具有较高竖向承载力, 比常规桩基础承载力高 3~5 倍。
- (3) 该桩具有施工速度快、成桩质量好、沉降量小且均匀、利于保护环境等优点。
- (4) 比常规地基处理方法节省造价 20%~30% 左右, 具有显著的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 北京波森特岩土工程有限公司. 载体桩成套技术的研究与开发报告 (内部资料) [R]. 2007.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规范 (JGJ94-94) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [4] 刘金励. 桩基础设计与计算 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [5] 北京航天勘察设计研究院. 朝阳新城 G 组团岩土勘察报告、施工图、检测报告 [R]. 2006.

载体桩在天津 105 厂整体搬迁项目中的应用

王晋霞¹，杨浩军²

(1. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101; 2. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 载体桩是近年来发展起来的一种新型的施工技术, 它改变了传统地基与基础设计与施工理念, 在提高单桩承载力降低工程造价方面具有显著的效果, 尤其是在软土地区, 采用载体与预制桩身相结合的工艺, 既能发挥载体的优点, 同时又能解决软土地区施工中容易出现的质量问题。本文介绍了该技术在天津 105 厂整体搬迁项目中的具体应用情况, 为预制桩身载体桩技术在软土地层中的应用提供参考。

关键词: 预制桩; 载体桩; 承载力; 设计与施工; 应用

0 前言

载体桩是近年来研发出的新的施工技术, 由于其具有承载力高、造价低等特点, 迅速在全国被广泛采用, 由于其桩身采用现场浇注, 因此现浇混凝土桩施工中容易出现的问题, 载体桩中也容易出现, 在软土地区尤其明显。目前在软土地区最常采用的是预制桩, 由于桩身预制, 因此能避免很多施工缺陷的产生, 能否将预制桩身和载体施工工艺相结合, 这样能同时发挥载体和预制桩身的优势, 天津 105 厂迁建工程第一次将这两种技术结合起来成功地应用到工程中, 为软土地区的桩基础设计提供了参考, 下面就结合该工程对该技术进行介绍。

1 工程概况

拟建的 105 厂整体搬迁项目位于天津空港物流加工区航空路和航天路之间, 场地地形平坦, 上部结构为框架(排架)结构, 因地基承载力不能满足上部荷载要求, 需进行地基处理。

根据本项目岩土工程勘察报告, 勘探深度 30.0m 深度范围内的地层特征见表 1。

土层物理指标

表 1

地层及编号	厚度 (m)	层顶标高 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)	状态
①素填土	0.5~5.0	-	-	5.33	稍密
②粘土	0~4.2	-1.49~3.28	100	3.40	软~可塑
③ ₁ 淤泥质粘土	1.7~7.0	-1.49~1.38	70	2.63	流塑
③ ₂ 淤泥质	1.7~7.2	-6.92~-2.19	90	3.80	流~软塑
③ ₃ 粉质粘土	1.0~6.8	-10.6~-5.64	115	5.14	软~可塑

地层及编号	厚度 (m)	层顶标高 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)	状态
③ ₄ 粉细砂	0.3~4.5	-13.62~-9.36	130	10.0	中密~密实
④ 粉质粘土	0.2~5.1	-14.62~-9.28	140	5.87	可塑
⑤ ₁ 粉土	1.9~6.5	-17.12~-13.41	180	13.82	中密~密实
⑤ ₂ 粉质粘土	0.3~5.0	-20.28~-15.90	150	6.00	可塑
⑤ ₃ 粘土	2.0~6.0	-22.57~-18.30	150	6.14	可塑
⑤ ₄ 粉质粘土	0.0~5.0	-24.57~-20.43	170	6.57	可塑
⑤ ₅ 粉土	0.0~4.0	-26.37~-22.63	200	12.31	中密~密实
⑤ ₆ 粉细砂	0.0~2.8	-	200	25	中密~密实

勘察期间静止水位埋深 2.0~2.4m, 绝对标高 0.93~1.70m。属孔隙潜水。据区域水文地质资料, 地下水年变化幅度 1.0m 左右。

在抗震设防烈度 7 度时, 可不考虑液化问题。建筑场地类别为 III 类。

2 处理方案设计对比试验

2.1 载体桩设计参数确定

本工程持力层为第⑤₁层粉土层, $f_{ak}=180\text{kPa}$; 桩端(不含扩大头)距持力层不大于 1.5m, 桩的入土深度为 16.0m。

计算深度 $D=18.0+2.0$ (载体高度) $=20.0\text{m}$

土的有效重度: $\gamma_0=10.0\text{kN/m}^3$

根据《建筑地基基础设计规范》(GB5007-2002), 取 $\eta_d=2.0$ 。

2.2 单桩承载力估算

根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007), 由公式 4.3.2

$$R_a = f_a A_e$$

持力层经修正后承载力:

$$f_a = f_k + \eta_d (D - 0.5) \gamma_0 = 180.0 + 2.0 \times (20.0 - 0.5) \times 10.0 = 570.0\text{kPa}$$

取三击贯入度 8cm, 查表 4.3.2,

$$A_e = 3.2\text{m}^2$$

则单桩承载力特征值:

$$R_a = f_a A_e = 570.0 \times 3.2 = 1824.0\text{kN}$$

根据本工程上部结构荷载情况, 设计单桩承载力特征值可取 1500kN。

2.3 试桩对比

根据地质情况,设计要求对静压预制管桩和预制桩身载体桩分别进行了试桩试验,静压预制管桩试验数量为9根,预制桩身载体桩为17根,试桩情况见表2。

桩承载力对比表

表 2

序号	数量 (根)	桩型	桩长 (m)	桩径 (mm)	桩身竖向承 载力设计值 (kN)	试验单桩 极限承载力 (kN)	试验 最终沉降 (mm)	桩身承载力 利用率 (%)
1	3	静压 PHC-400 (80) 管桩	18.5	400	3500	1280	44.81	36.6
2	3	静压 PHC-450 (80) 管桩	18.5	450	4420	1440	46.70	32.6
3	3	静压 PHC-500 (80) 管桩	19.0	500	5560	1600	43.88	28.8
4	17	预制桩身载体 PHC-400 (80) 管桩	18.0	400	3500	≥3000	22.32	85.7

- 注: 1) 本表数据根据天津市磊基基础工程检测有限公司提供的 105 厂整体搬迁项目试桩检测报告统计而成;
2) 表中桩身竖向承载力设计值根据《天津市工程建设标准 02 系列结构标准设计图集》(DBJT29-44-2002, DBJT29-46-2002) 中 PHC 管桩选用表中数值确定;
3) 表中后 3 列数据为平均值, 其中序号 1、2、3 对应的试桩数量为 3 根, 序号 4 对应的试验桩数为 17 根;
4) 由于试验条件限制, 载体桩的载荷试验加载到 3000kN;
5) 桩身承载力利用率为单桩实际利用承载力与最大承载力的比值。

根据试桩试验结果, 设计采用预制桩身载体桩进行基础处理, 桩身采用高强预应力管桩, 型号为 PHC-A400 (80), 桩长在 17m 左右, 桩端持力层为第⑤₁层粉土, 桩径为 400mm, 工程量约 2500 根, 三击贯入度不大于 10cm。

3 施工技术及工艺简介

载体桩是近年来发展起来的一种新型的地基基础施工技术, 它由桩身和载体组成, 主要技术特点是通过重锤夯击成孔, 跟管护壁至设计加固深度, 然后填料夯击, 以填料为介质, 挤密加固土体, 将土体中的水和气排出, 实现土体的改良, 提高土体的压缩模量和承载能力, 从而提高桩的承载能力。通过桩身将上部结构的力传递到载体, 由载体逐步扩散到周围土体中。

载体桩与其它桩型的最大区别在于不对桩体本身进行研究, 而是通过在桩端与作为持力层的较好地基土层之间形成荷载分散体, 改变传统的桩端与地基土体之间的作用关系, 在相邻桩端下面各自承受荷载的土体不相互影响的情况下, 充分地调动桩端各自的地基土体的承载力, 从而使桩的承载能力大大提高, 并降低桩基础的成本。

该技术利用重锤对填料反复进行填充和夯实操作, 使桩端下纵向 3~5m、横向 2~3m、体积约 10m³ 的土体得到加固挤密, 在不影响相邻桩已完成的挤密土体的破坏和松动的前提下, 使填料底端形成最大最优的密实体和影响土体, 桩身承受的集中荷载通过复合载体的分层扩散作用, 消除桩端的应力集中, 并逐层降低至天然土体能够承受的程度, 从而改善了土体的受力状态。

其主要施工流程为: 先采用沉管桩机沉到设计深度, 然后用重锤进行夯击填料形成载体, 再填

充干硬性混凝土，达到设计要求的深度后，再把预先焊接好的预制管桩下入护筒内，最后再用水泥砂浆将桩身外侧缝隙填满即可，具体工艺流程见图 1。

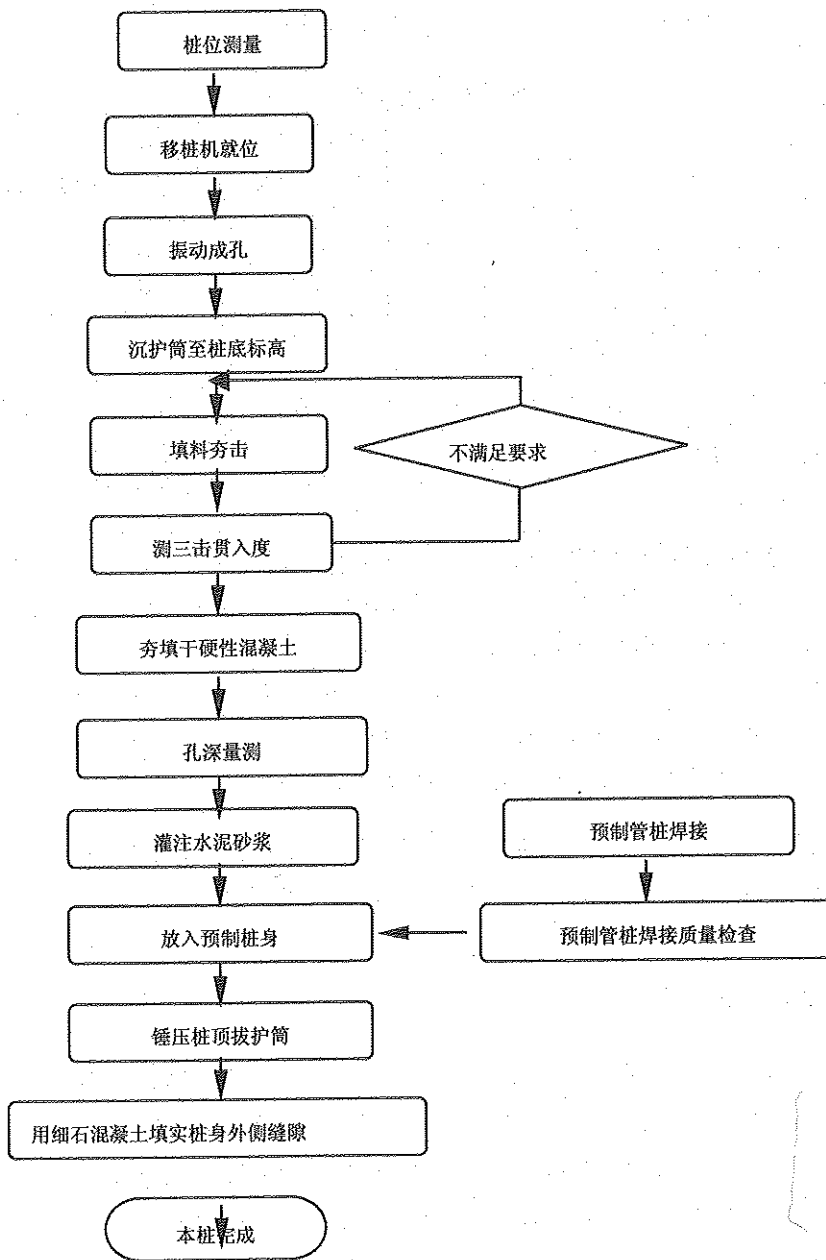


图 1 施工流程图

4 使用效果及建筑物竣工沉降分析

预制桩身载体桩工程从 2006 年 3 月开始施工，到 2006 年 6 月施工结束，共施工 3160 根桩，比原先设计的静压预制管桩节约工程投资 200 万元，天津市磊基基础工程检测有限公司对桩进行了高、低应变及静载荷试验，所检测桩桩身完整性良好，全部为 I 类桩，单桩承载能力符合要求。

该项目上部结构施工期间，对建筑物设置了沉降观测点，其中 503 科研、装配试验厂房所设置

的 30 个观测点中, 最大沉降量为 22.9mm, 最小沉降量为 15.3 mm, 平均沉降量为 17.9 mm, 具体观测时间和累积沉降数值及沉降图见表 3 及图 2。

503 科研、装配试验厂房沉降观测时间及累积沉降统计表 (mm)

表 3

观测时间	最大值	最小值	平均值
2006-09-14	0.0	0.0	0.0
2006-10-10	1.1	0.1	0.5
2006-11-15	3.5	1.9	2.7
2006-12-10	4.7	2.2	3.6
2007-03-24	11.4	5.2	10.1
2007-06-15	16.1	12.3	13.8
2007-08-21	19.7	14.0	16.1
2007-09-23	20.9	14.6	16.8
2007-12-05	22.9	15.3	17.9

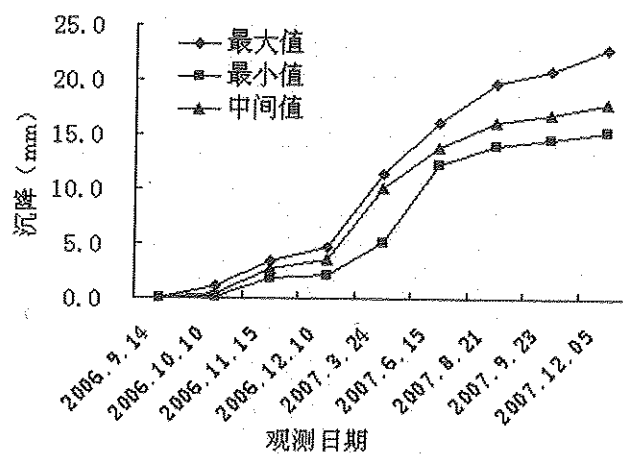


图 2 503 科研、装配试验厂房沉降观测曲线图

5 结束语

(1) 只要选择适宜的加固层, 在沿海软土地区, 采用预制桩身载体桩, 可以有效地提高单桩承载力。在同等长度和桩径情况下, 承载力比常规静压预应力管桩可提高一倍以上。

(2) 采用预制桩身载体桩, 可以大幅度提高管桩的设计承载利用能力。

(3) 预制桩身载体桩技术突破了常规短桩应用模式, 可以在具有深厚软土层中应用, 以适宜的硬层作为加固土层, 在提高承载能力的同时, 又保证了桩身的质量。

(4) 由于单桩承载能力较高, 和常规技术比较可节约工程投资 10%~30%, 具有可观的经济效益。

(5) 节约资源, 保护环境。载体桩的填料可以采用碎砖、建筑垃圾等材料, 起到环保节能的作用。

参考文献

- [1] 天津市磊基基础工程检测有限公司. 105 厂整体搬迁项目试桩检测报告[R]. 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 中航勘测设计研究院. 105 厂整体搬迁项目岩土工程勘测报告 [R]. 2004.

载体桩在粉（细）砂土层中的应用

兰小华, 刘运超

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 结合天津某工程实例, 阐述了载体桩在粉(细)砂土层中应用时的施工方法和步骤, 开辟了载体桩在饱和砂土层应用的先例, 为类似工程提供了宝贵经验。

关键词: 载体桩; 饱和砂土; 设计; 检测

0 前言

在砂土中施工载体桩一直以来都被视为载体桩施工的难点, 尤其在饱和砂土施工, 封水问题尤为突出。天津某工程采用了振动沉管加预制桩尖成孔, 到达持力层后采用粘土封水施工载体, 获得成功, 为载体桩在饱和砂土层施工提供了新的方法。

1 工程概况和工程地质条件

1.1 工程概况

天津天狮国际健康产业园位于天津市武清区开发区内新源道与泉和路交口西北侧及龙凤新河以南地块, 即处于后河淤、前河淤及小新房子自然村之间, 占地总面积约为 47.8 万 m^2 , 总建筑面积约为 29.7 万 m^2 。

产业园中的主办公楼, 作为该园区的标志性建筑, 采用载体桩基础, 单桩承载力特征值为 $R_a=1000kN$ 。采用该技术工艺简单, 施工质量可靠, 同时该桩基础具有沉降变形小、单桩承载力高、综合造价低廉等特点。

但基于本工程载体持力层为第③₇层粉砂, 其上为③₄层粉砂, 透水性较大, 而载体桩施工时需干作业, 所以, 护筒沉到设计深度后的封水问题是制约载体桩工艺得以顺利进行的关键所在。

1.2 工程地质条件

本次勘探深度 25.0m 深度范围内的地层特征见表 1。

勘探区内地层特征

表 1

地层及编号	厚度 (m)	层顶标高 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)	状态
② ₁ 粘土	0.5~3.6	5.57~6.77	90	4.13	可塑—软塑
② ₂ 粉质粘土	0.5~4.5	2.5~7.51	100	5.45	软塑
② ₃ 粉土	0.4~4.5	1.24~7.09	110	9.29	稍密—中密

地层及编号	厚度 (m)	层顶标高 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)	状态
② ₄ 粉土	0.6~6.1	-0.5~3.83	120	19.89	稍密—中密
② ₅ 粉土粘土	0.4~4.7	-1.57~4.77	90	4.58	可塑
② ₆ 粉土	0.4~3	-1.67~3.13	110	9.01	稍密—中密
② ₇ 粘砂	0.9~5	-3.12~3.31	120	21.48	稍密及中密
③ ₁ 粘土	0.5~4.9	-3.55~2.29	100	3.78	软塑
③ ₂ 粉质粘土	0.5~5.5	-4.14~2.20	110	4.8	软塑
③ ₃ 粉土	0.5~4.9	-6.51~1.83	130	9.93	中密
③ ₄ 粉砂	0.6~9.4	-6.77~1.91	160	20.2	中密
③ ₅ 粉质粘土	0.4~2.7	-9.47~-0.72	110	4.73	软塑
③ ₆ 粉土	0.8~3.8	-10.6~-3.29	160	9.71	密实
③ ₇ 粉砂	1.5~10.5	-11.24~-1.83	180	20.82	密实
④ ₁ 粘土	0.6~3.7	-13.95~-7.79	110	4.39	可塑
④ ₂ 粉质粘土	0.4~5.1	-14.67~-6.8	130	4.89	可塑
④ ₃ 粉土	0.7~2.1	-14.21~-10.57	160	14.21	中密
⑤ ₁ 粘土	0.5~3.2	-16.89~-11.44	150	4.69	可塑
⑤ ₂ 粉质粘土	0.4~4.8	-17.64~-11.57	155	5.18	可塑
⑤ ₃ 粉土	0.5~4.1	-19.30~-13.64	170	11.36	中密—密实
⑤ ₅ 粉质粘土	0.6~4.8	-18.77~-15.37	150	5.12	可塑
⑤ ₆ 粉砂	0.6~3.9	-20.87~-15.96	180	13.09	密实

勘察期间静止水位埋深 2.0~2.4m, 绝对标高 0.93~1.70m。属孔隙潜水。据区域水文地质资料, 地下水年变化幅度 1.0m 左右。

在抗震设防烈度 7 度时, 可不考虑液化问题。

建筑场地类别为 III 类。

2 载体桩的设计

2.1 计算参数

本工程持力层为第③₇层粉砂, 其天然地基土承载力 $f_{ak}=180\text{kPa}$ 。混凝土桩身底端距离持力层不大于 2.0m, 混凝土桩身的入土深度为 10.0m。有效混凝土桩身长约为 8.0m。

桩径 450mm, 桩身混凝土 C25, 桩身配筋 6 Φ 14, 箍筋 6@100/200。

2.2 单桩承载力估算

载体的计算深度 $D=10.0+2.0$ (承载体高度) $=12.0\text{m}$,

考虑地下水的因素, 土的有效重度取: $\gamma_0=10.0\text{kN/m}^3$ 。

根据《建筑地基基础设计规范》GB5007-2002, $\eta_d=3.0$ 。

桩端持力层深度修正： $f_a = f_k + \eta_d(D - 0.5)\gamma_0$

$$= 180 + 3.0 \times (12.0 - 0.5) \times 10.0 = 525.0 \text{ kPa}$$

根据《载体桩设计规程》JGJ135-2007：

$$R_a = f_a A_e$$

查表 4.3.2，取三击贯入度为 10cm，得：

$$A_e = 2.4 \text{ m}^2$$

则单桩承载力特征值：

$$R_a = f_a A_e$$

$$= 525.0 \times 2.4 = 1260 \text{ kN}$$

根据本工程的结构及荷载情况，单桩承载力特征值可取 $R_a = 1000 \text{ kN}$

2.3 桩身强度验算

根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 式 4.3.2：

$$\text{桩身强度 (C25): } 0.7 f_c A_p = 0.7 \times 14.3 \times 0.785 \times 450^2 = 1324.2 \text{ kN.}$$

单桩承载力设计值 $Q = 1.25R = 1250 \text{ kN} \leq 0.7 f_c A_p$ ，满足设计要求。

3 载体桩施工

- 1) 密封护筒底口：用塑料布将护筒底口包扎严实（其包扎高度为 1.0m 左右）；
- 2) 包裹预制桩尖：在预制桩尖的边缘台上铺上适量水泥，并用水泥袋或塑料布铺在桩尖顶上；
- 3) 护筒就位：将包扎好的护筒对准预制桩尖，落在桩尖上；
- 4) 沉护筒：开动振锤，将护筒沉到设计深度；
- 5) 封水：在护筒沉到设计深度后，马上往护筒里填入适量粘土，用柱锤采取适当落距进行夯击，使柱锤始终保持在护筒里 10~15cm，如此夯填约 5 袋粘土，即封水成功；
- 6) 三击测定：封水完毕后，填入适量砖头，进行填料的夯击，并使三击贯入度满足设计要求；
- 7) 夯填干硬性混凝土：在三击贯入度满足设计要求后，即进行夯填 0.5 m^3 的干硬性混凝土；
- 8) 浇灌混凝土：在夯填完干硬性混凝土后，将钢筋笼安放于设计标高处，并立即浇灌桩身混凝土，其强度为 C25；
- 9) 拔护筒：浇灌满混凝土（根据充盈情况，适当超灌），开动振锤，边拔边振，提升速度为每分钟 2.0m 左右。

4 施工注意事项

在该土层中进行载体桩的施工，其关键在于封水，要想封水措施得以成功，必须注意以下事项：

(1) 粘土的选择：在以往施工遇含水性较大的地层时，往往都采用适量的水泥进行吸水拔干，以便夯扩时干作业。本工程所遇的地层为透水性较大的粉细砂，就不能采用吸水的办法，而必须采取封水的措施，在封水方面，采用粘土的效果比水泥好，因此，必须选择封水好粘土。

(2) 夯填粘土量：每次夯填的粘土量约 20~30kg，用水泥袋装好，用柱锤采取适当落距（约 5~

6m) 进行夯击, 使柱锤始终保持在护筒里 10~15cm, 如此夯填约 10 袋左右的粘土(水泥袋), 使护筒底口形成一定厚度的以粘土为隔水屏幕的止水带。

(3) 每次夯填量: 在每次夯填砖、干硬性混凝土时, 根据柱锤出护筒的多少, 须控制好每次填料量。如果填多了, 夯不出护筒, 在开振锤提护筒时, 护筒底口容易进水、进泥; 反之, 如果填少了, 则柱锤出护筒较多, 柱锤容易击穿用粘土形成的止水带, 造成护筒底口进水、进泥, 以上两种情况都无法使载体桩工艺正常进行。因此, 在施工时, 掌握好每次夯填量, 控制好柱锤出护筒 5~10cm, 以保证载体的形成。

(4) 柱锤落距: 因为落距大会击穿粘土膜, 而使封水失效, 夯填充料时落距要小。

5 基桩检测

在成桩达到养护期后, 经中铁西北科学研究院有限公司工程检测试验中心采用慢速维持荷载法对该批桩(6根)进行了静载荷试验。

完毕后, 任意选取 3 根桩做了静载荷试验, 每级加载量为 200kN, 试验最大加荷为 2000kN, $Q-s$ 曲线呈缓变型, 未出现陡降破坏段。根据 $Q-s$ 曲线综合分析, 试桩单桩竖向抗压极限承载力实测值均不小于 2000kN, 满足设计要求。 $Q-s$ 曲线如图 1。

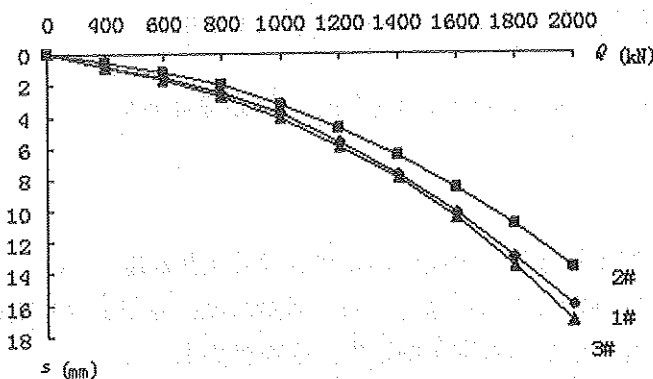


图 1 部分载荷试验曲线

6 结论

(1) 单桩静载试验结果表明, 天津天狮国际健康产业园工程载体桩单桩竖向抗压承载力特征值可采用 1000kN, 满足设计要求。

(2) 通过工程实践表明, 在透水性较大的粉(细)砂土层中, 采用振动沉管加预制桩尖成孔, 用粘土对护筒底口先进行封水, 再进行载体的施工, 是完全可行、可靠的。

参考文献

- [1] 天津勘察设计院. 天津天狮国际健康产业园[R]. 2005.
- [2] 中华人民共和国行业标准, 载体桩设计规程(JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 王继忠等. 载体桩施工及验收规程. 北京波森特岩土工程有限公司企业标准, 2007.

沧州某大型坑填地基的工程特点与加固处理

孙玉文¹, 段树松², 赵文革³, 伊海昌⁴, 周秋燕⁵

(1. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218; 2. 沧州三环工程建设监理公司, 河北 沧州 061001;

3. 沧州筑美建筑设计有限公司, 河北 沧州 061001; 4. 沧州水利勘测设计院, 河北 沧州 061001;

5. 河北沧州师范专科学校, 河北 沧州 061001)

摘要: 对沧州某大型坑填地基的工程特点进行了分析, 提出了多个地基处理方案, 经过技术与经济比较, 最终采用载体桩施工技术进行加固处理, 达到了预期效果。在施工过程中, 利用护筒中重锤的冲级能, 将夯实的建筑垃圾层一锤一锤的击碎、挤向周围, 并及时将护筒跟进, 有效地穿越夯实的建筑垃圾层, 同时又对该层产生了进一步挤密的作用, 达到对其下部土层实施加固处理的目的。针对场地地下承压水对施工的影响, 采取了打减压孔, 孔底封堵, 局部降水等有效措施, 成功的解决了场地地下承压水的问题, 确保了每根复合载体桩的施工质量。

关键词: 地基处理; 载体桩; 大型坑填地基; 刚性桩复合地基

0 前言

沧州市某开发住宅小区, 总建筑面积 12 万平方米, 其中 1#、2#楼为两栋地上 12 层、地下为 1 层的小高层建筑, 主体为框剪结构, 其余均为多层。整个住宅小区坐落在由人工填筑的大型取土坑上, 原取土坑深 12~14m。大型取土坑的填筑过程是: 先排除明水, 在坑底回填碎砖等建筑垃圾, 并进行夯实, 然后用素土(灰土)进行分层碾压至地表, 形成人工地基, 素土(灰土)分层碾压厚度 9~11m。经过跟踪检测及最终检测, 其人工地基的承载力及抗变形能力均能满足建造多层住宅的设计要求, 但在其上建造小高层则不能满足设计要求, 故需进行地基加固处理。针对两栋小高层的地基加固处理, 设计人员及有关专家进行了多方案的论证, 最终采用载体桩施工技术。

1 本大型坑填地基的工程特点

1.1 工程地质特点

根据本工程的《岩土工程勘察报告》揭示, 在一字排开的两栋小高层的地基上, 沿南、北立面的外墙线分别布置了 1-1 和 2-2 两个剖面, 共布置钻孔 16 个, 最大揭示深度为 35.5m。从上而下共分 12 个工程地质层, 层⑥以下(天然土层)各土层稳定、物理力学指标相对较好。场地各土层分层情况及基本力学指标如表 1, 1-1 剖面见图 1。

由表 1 及图 1 可见, 该地基在第⑥层以上分布很不均匀, 承载力及压缩模量均偏低, 如果不进行处理, 其地基沉降变形肯定不均匀。除此之外, 场地的第⑤~⑧层仍处在小高层的主要受力区内, 其承载力及抗变形能力也不能满足小高层的设计要求, 故第⑥~⑧层也需要进行适当的加固处理。

1.2 水文地质特点

整个大坑在未填筑以前具有很深的明水。为了进行分层碾压，先将明水排除，后进行了井点降水。为了清除坑底的淤泥，再用建筑碎砖等建筑垃圾进行了挤除淤泥及夯实等工作，被夯实的建筑碎砖等建筑垃圾层的厚度为0.8~5.4m。此后，再在建筑垃圾层上进行分层碾压，分层碾压时，靠近底部的数层是采用灰土分层碾压的。分层碾压至场地周围地下水位以上后，停止降水。

由于灰土分层碾压层的透水性很弱，待地下水恢复后不能向上渗透，就富含在建筑碎砖等建筑垃圾层中，使得地基在碾压层以下形成了承压水。工程勘察报告提供的地下水水位埋深为4.90m，经过分析可知，地质勘察时所测得的地下水水位及埋深实际是钻孔中的承压水卸压以后的静止水位。

场地各土层的土性、承载力及压缩模量

表 1

层号	土层名称	土性简述	层厚 (m)	f_{ak} (kPa)	E_s (MPa)	c (kPa)	φ (°)
1	素填土	粉土为主，伴粉质粘土属中压缩性土。	3.00~11.00	130	7.0	25	25.4
2	杂填土	碎砖为主，含少量的混凝土块，密实。	0.80~5.40	135	5.5	39	15.2
3	粉土	褐灰黄色，很湿中密，属中压缩性土。	0.90~4.10	115	6.0	16	32.8
4	粉质粘土	棕褐色，可塑，属中压缩性土。	0.50~1.60	120	6.0	47	15.0
5	粉土	褐灰色，很湿中密，属中压缩性土。	0.60~3.90	130	8.0	18	27.6
6	粉质粘土	黑灰色，可塑，属中压缩性土。	0.40~2.00	115	5.0	-	-
7	粉土	浅灰色，湿~很湿中密，属中压缩性土。	0.80~1.60	130	8.0	16	33.2
8	粉质粘土	浅灰~黄褐色，硬塑，属中压缩性土。	6.40~7.10	115	6.0	30	13.3
9	粉土	褐黄色，湿，中密，属中压缩性土。	4.20~5.20	135	8.0	16	30.8
10	粉质粘土	褐黄色，可塑，属中压缩性土。	5.10	120	6.5	30	22.8
11	粉土	褐黄色，湿，中密，属中压缩性土。	1.70	160	11.0	15	34.0
12	粉质粘土	灰~灰黄色，可塑，属中压缩性土。	35.5m 未揭穿	130	6.0	-	-

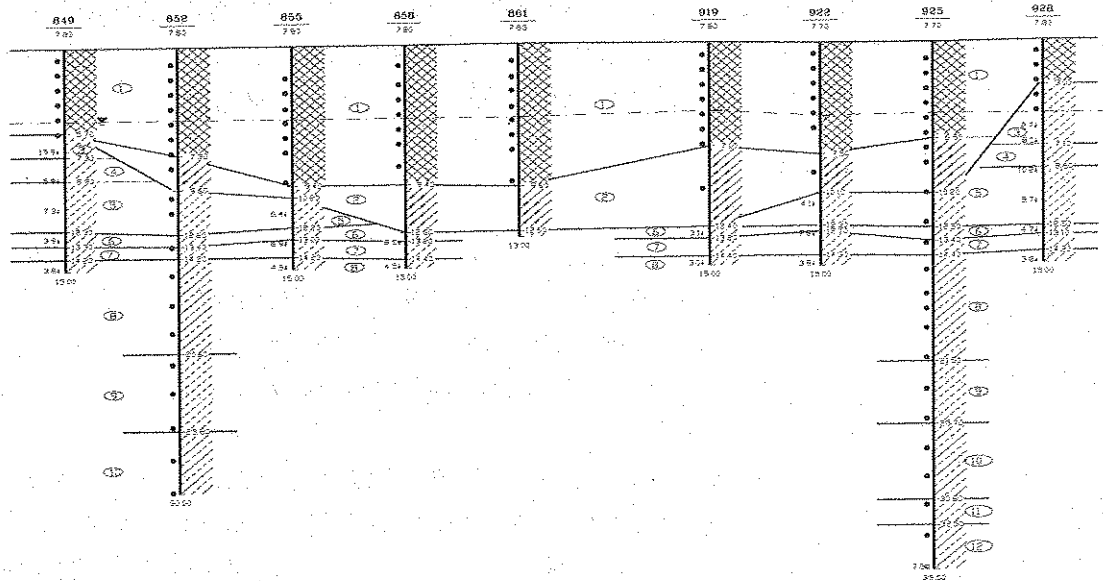


图 1 1-1 剖面图

2 地基加固处理方案的选择

综合考虑上部结构及基础形式,并结合当地已经应用过的地基处理工艺及施工水平,有如下几个地基加固处理方案可以选择。

2.1 钻孔灌注桩桩基方案

为了保证钻孔灌注桩的施工质量、达到设计要求,桩径必须在 600mm 以上,桩长不小于 18m,基础必须采用板梁形式。本方案从经济角度上讲不尽合理,由于有一层地下室,板式基础最经济。采用桩基后,为了满足桩基的受力要求,必须将板式基础加厚或在板式基础底下沿墙体轴线加一道断面很大的梁或柱下加承台,这样势必会造成投资增加很多。另外,在施工工艺上还存在着穿越不同厚度(0.8~5.4m)的夯实建筑垃圾层及解决地下承压水等难题。

2.2 刚性桩复合地基方案

设计要求处理后的复合地基承载力特征值 $f_{ak} \geq 200\text{kPa}$,面积置换率为 0.04,处理深度为基础底板以下 15.5m(即至第⑧层)。为了保证第①层分层碾压土层已有的完整性,设计还要求不能采用挤土桩施工工艺,只能采用排土桩的施工工艺。在当地可供选择的有 CFG 长螺旋压灌桩、机械洛阳铲挖孔灌注桩等工艺。由于场地第②层夯实建筑碎砖(建筑垃圾)层的存在和场地所形成的地下承压水等难题,上述施工工艺不能保证桩身的长度和完整性,故都被专家否定。

2.3 载体桩加固处理方案及施工工艺

由北京波森特岩土工程公司提出的载体桩加固处理方案得到设计的认可。其设计思路为:用载体桩的桩身穿越①~⑤层土,形成复合地基中的增强体,用载体桩的底端填料夯扩挤密施工工艺将层⑥、⑦层及第⑧层上半部分进行加固。具体做法为:先用长螺旋钻引孔(引孔直径为 420mm)至夯实建筑垃圾层,将护筒下沉至夯实建筑垃圾层,用护筒中的重锤(锤径 355mm,锤重 35kN)冲击穿越夯实建筑垃圾层至第⑥层,用填料夯扩挤密工艺将第⑥、⑦层及第⑧层上半部分进行加固,用 C20 钢筋混凝土灌注桩身。在施工过程中,对每根桩的填料量不做控制,只控制空夯三击贯入量均小于 18cm,使得每根桩的承载性状基本相同,达到调整地基不均匀性、提高地基主要受水土层的承载力及抗变形能力的目的。

工艺流程:引孔→沉管→冲击穿越砖层→填料夯扩→实测三击→夯填干硬性砂→放置钢筋笼→灌注混凝土→提出护筒→振捣密实混凝土→完成。

3 载体桩加固处理方案

3.1 设计参数

载体桩桩径 430 mm,桩长(混凝土桩身部分)9m,桩间距为 1.85m×1.85m。桩身混凝土强度等级 C20,主筋为 6 $\phi 12$,螺旋筋为 $\phi 6@200$ 。复合地基承载力 $f_{ak} \geq 200\text{kPa}$,面积置换率 4.2%。1#楼共布桩 270 根,2#楼共布桩 376 根。桩顶以上做 15cm 的碎石垫层,碎石粒径 10~20mm,如图 2 所示。

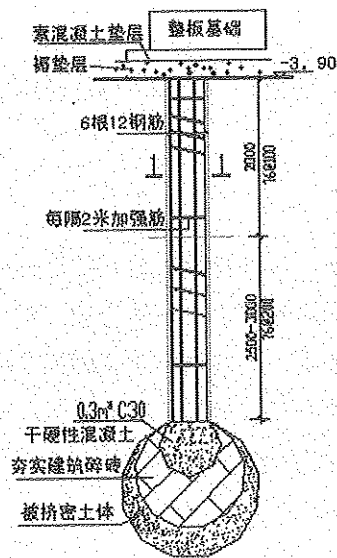


图2 以载体桩为增强体的复合地基构造示意图

3.2 施工过程中解决的难题

首先,解决了穿越夯实建筑垃圾层的难题。利用护筒中柱锤的冲击能,将夯实建筑垃圾层一锤一锤地击碎,并挤向周围,及时将护筒跟进,这样反复操作,就能有效地穿越夯实建筑垃圾层,以达到对其下部土层实施加固处理的目的,同时又对该层产生进一步的挤密作用。

为了验证施工工艺的可行性,在工程桩施工以前,先在整个场地的不同区域施工了4根试验桩。试验桩成桩过程中,就出现了地下承压水问题。当引孔或冲击成孔至夯实建筑碎砖(建筑垃圾)层时,富含在砖层中的承压水很快涌出,在孔中的涌高达4~5m,使得填料夯扩工序不能实施。当移开2m后再打,承压水的影响变小。鉴于此,在打后边的3根试验桩时,就在其旁边先打两个孔,以起到减压的作用,为工程桩施工找到了解决地下承压水的措施。工程桩施工时采用了孔底封堵与局部降水相结合的方法,达到预期的效果。可见在工程桩施工中采取打减压孔、孔底封堵、局部降水等有效措施,成功地解决了场地地下承压水问题,确保了每根载体桩施工质量,成桩率达到100%。

3.3 效果检测

在本工程桩的检测中,按照规范规定的检测数量,分别在1#、2#楼各取3个点做了单桩复合地基静载荷试验,为了更加全面地了解地基加固效果,又在1#楼,2#楼各取了3根桩做了单桩竖向静载荷试验,对桩身完整性进行了100%的低应变动力无损检测,检测结果如图3~图5及表2、表3所示。

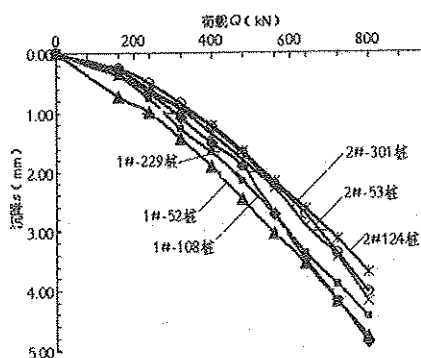


图3 1#、2#楼载体桩载荷试验曲线

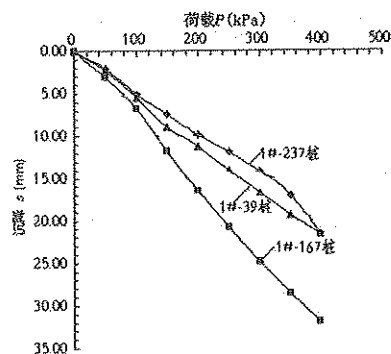


图4 1#楼载体桩单桩复合地基载荷试验曲线

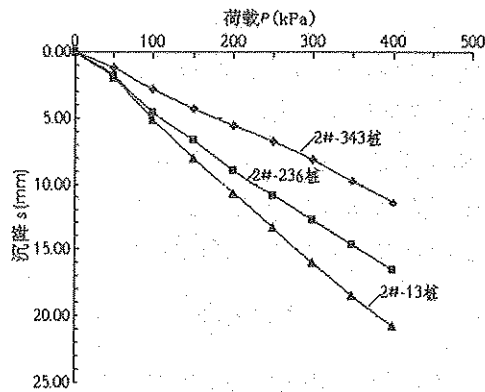


图5 2#楼载体桩单桩复合地基 $Q-s$ 曲线

1#、2#楼载体桩单桩竖向载荷试验汇总表

表2

楼号/桩点号		承载力特征值 (kN)	承载力特征值对应变 形 (mm)	单桩极限承载力 (kN)	单桩极限承载力对应 变形 (mm)
1#楼	52	400	1.90	800	4.78
	108	400	1.67	800	4.45
	229	400	1.52	800	4.87
2#楼	53	400	1.23	800	4.03
	124	400	1.21	800	3.70
	301	400	1.37	800	4.19

1#、2#楼载体桩单桩复合地基载荷试验成果汇总

表3

楼号/桩点号		承载力特征值 (kPa)	承载力特征值对应变 形 (mm)	单桩极限承载力 (kPa)	单桩极限承载力对应变 形 (mm)
1#楼	39	200	11.28	400	21.55
	167	200	16.54	400	31.96
	237	200	9.79	400	21.64
2#楼	136	200	10.69	400	20.69
	236	200	8.95	400	16.49
	343	200	5.54	400	11.38

从上述图表可以看出, 6根被检测的载体桩承载性状基本相同, 各个承载阶段的变形均分布在1mm左右的狭小区域内, 单桩极限承载力(2倍承载力特征值)所对应变形为5mm, 说明载体桩承载力仍有很大的贮备。从1#、2#楼单桩复合地基静载荷试验曲线看, 分布特征相似, 荷载与变形基本上呈线性变化; 但随着荷载的增加, 各个测点之间的变形差异有所增加。

低应变动力无损检测结果为: 1#楼 I、II类桩占96.3%, III类桩占3.7%; 2#楼 I、II类桩占98.7%, III类桩占1.3%。

4 结束语

(1) 在工程桩的施工中, 利用护筒中重锤的冲击能, 成功地解决了穿越夯实建筑垃圾层的难题, 达到了对该层进行进一步的挤密及其下土层实施填料夯扩挤密的目的。从检测结果可以看出, 采用载体桩加固处理方案是正确的, 达到了预期的加固目的和效果;

(2) 针对场地承压水问题, 施工中采取了打减压孔和局部降水措施, 给承压水提供卸压通道, 有效地消除了地下承压水对成桩的影响。结合孔底封堵措施, 成功地解决了场地承压水问题, 确保了每根载体桩施工质量, 使得成桩率达到了 100%

(3) 工程中, 采用载体桩施工工艺, 重点是以填筑层以下的原坑底为加固对象, 在不扰动上部填筑层的情况下, 将起伏变化比较大的原坑底淤泥、软土及填筑的碎砖实施有效的填料夯实挤密, 使得地基整体强度和变形满足设计要求。因此本工程的实践, 拓宽了载体桩的又一个应用方向。

参考文献

- [1] 孙玉文, 王继忠, 葛宝亮. 大型坑填地基的工程特性分析与处理技术[J]. 岩土工程界, 2005, (6): 51~54.
- [2] 沈保汉, 兰小华. 夯扩桩技术的发展与应用[J]. 建筑结构, 2005, (增刊): 3~6.
- [3] 王继忠, 杨启安. 复合载体夯扩桩技术的研究[J]. 建筑结构, 2005, (增刊): 7~8.
- [4] 杨启安, 葛宝亮, 张子杰. 复合载体夯扩桩的设计与计算[J]. 建筑结构, 2005, (增刊): 9~12.

载体桩在岩溶地区的应用

刘国权¹，曾毅学²

(1. 北京万科企业有限公司，北京 100016； 2. 云南凤昇建筑工程公司，昆明 650118)

提 要：载体桩是一种新型的工艺，本文结合一岩溶地区的工程桩方案调整为载体桩的实例，详细介绍了载体桩的设计、施工，以及针对岩溶地区该工艺的优势，为岩溶地区的桩基础设计提供新的设计思路和设计经验。

关键词：岩溶；承载力；静载荷试验；溶洞

0 前言

岩溶是指可溶性岩层（石灰岩、石膏等）以被水溶解为主的化学溶蚀作用，并伴以机械作用而形成沟槽、裂隙、洞穴，以及由于洞顶塌落而使地面产生陷穴等一系列地质现象的总称，主要存在于我国的西南、东南等地方。这些地区有具有共同的特点：存在大量的地下水；地面下基岩埋置不深，且在地面下存在溶洞。在岩溶地区，当天然地基不满足设计要求时大多采用桩基础，如人工挖孔桩、钻孔灌注桩等，本文通过介绍载体桩在云南一岩溶地区的成功应用，为岩溶地区的基础设计提供了新的思路和参考。

1 工程地质概述

拟建工程为安宁市扬帆职业技术学校，位于安宁市温泉路西南侧，羊角村寺岗山脚，西南临螳螂川，西北与龙山相望。该建筑为一栋六层教学楼，框架结构，平面尺寸为 72.3m×15.5m，场地地基土主要为冲洪积地层，下伏石灰岩石，地基土均匀性差，属中等复杂地基；场地地形起伏较大，属中等复杂场地。

勘察期间场地未经平整，地形变化较大，呈台阶状坡地，自然地坪下各土层及其物理力学指标如表 1 所示。

土的物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	含水量 (%)	密度 (g/cm ³)	孔隙比 e	液限 W_L	塑限 W_p	压缩模量 (MPa)	承载力特征值 (kPa)
①填土	0.2~1.2	-	-	-	-	-	-	-
②粉质黏土	0~3.7	25.6	1.99	0.739	36.2	21.9	5.43	150
② ₁ 淤泥质粉质黏土	0~3.1 (局部夹)	37.3	1.88	0.943	36.3	21.6	3.57	80
② ₂ 粉土	0~1.3 (局部夹)	24.3	1.96	0.733	25.9	17.3	5.14	140
③圆砾	0~2.5	-	-	-	-	-	-	220
③ ₁ 粉质黏土	夹层	24.6	1.99	0.694	33.9	19.3	5.61	160
④中风化石灰岩	未揭穿	-	-	-	-	-	-	2500

在勘察期间地下水稳定在现有地面下 0.4~3.5m 之间。地下水的类型以孔隙型潜水存在。局部为上层滞水,深部基岩中分布有少量裂隙水,主要受大气降水及地表径流补给。

2 不同地基处理方案的对比

对于岩溶地区,桩基础一般采用钻孔灌注桩或人工挖孔灌注桩,当单桩荷载较大及岩层埋深较浅时,宜采用嵌岩桩。人工挖孔桩施工简单,同时在施工过程中还能更准确了解地下的地质情况及土性等,根据本工程地质勘察报告提供的方案,原设计方案为人工挖孔灌注桩,设计桩径为 800mm,桩长为 8.0~12.0m,以石灰岩作为持力层,桩端进入石灰岩 0.5m,设计单桩承载力特征值为 8000kN,共设计人工挖孔桩 38 根。由于地下水位较浅,地下水丰富,因此施工时,应进行基坑的支护和降水工作。施工单位于 2007 年 3 月开始人工挖孔桩的施工,施工过程中发现,由于地下水非常丰富,孔内滞留水太多,施工困难,而长时间的抽水引起土中细颗粒的流失,造成部分地区塌陷,且土层中存在粉土层,由于地下水的渗流,形成流砂,致使支护结构倾斜,造成施工困难,质量很难控制,存在安全隐患,必须改变设计方案。

由于该地区属于岩溶地区,对岩溶的考虑和处理是选择方案的关键。对于岩溶地区,地基处理的方法主要为:对不稳定的岩溶,根据大小、形态和埋深,采用清爆换填、浅层填塞或调整柱距等方法及采用桩基础将上部荷载传递到基岩,当遇有溶洞时候,混凝土填充溶洞,消除了溶洞的影响。该地区由于夹有淤泥质粉质黏土和粉质黏土,若采用沉管灌注桩也容易出现缩径或断桩等缺陷,所以也要谨慎考虑。经过多方讨论和对比分析,我们确定采用载体桩,虽然这种桩还没有在该地区采用过,但该方法具有如下优点:①载体桩施工时,通过柱锤夯实,施工过程中产生大量的能量,当遇有溶洞时,能夯实近的溶洞和消除较远溶洞的影响;②尤其在桩底部分,常规的桩遇有溶洞时,往往通过填充混凝土来填充空洞,混凝土消耗量大,且成本高,混凝土充盈系数有时达到 2~3 倍,而在施工载体桩时能发现溶洞,通过填筑建筑垃圾进行夯实,成本低;③由于在护筒内施工,不需要降水,减少了某些工序,降低了成本;④采用载体桩,显著提高承载力,减少桩数,显著降低了成本。采用人工挖孔灌注桩造价为 58 万元,而采用载体桩造价仅为 24 万元,节余造价超过 50%,经济优势非常明显。

3 载体桩的设计

根据地质勘察报告,由于基岩埋深较浅,其上为相对软弱的地基土,故选择中风化石灰岩作为载体桩持力层,被加固土层既可以选择中风化上的粉质粘土也可以选择中风化的石灰岩石,考虑到粉质黏土含水量高,被加固性差,容易形成橡皮土,故选择中风化石灰岩作为被加固土层。根据基础埋深、被加固土层及持力土层,确定载体桩桩长,进行单桩设计。

(1) 单桩承载力的计算

根据拟建工程地质勘察报告和±0.00 标高,确定桩长为 5.0~6.0 m。设计桩径为 420mm。

中风化石灰岩的承载力为 2500kPa,根据建筑地基基础设计规程,中风化的承载力不进行深度修正,初步确定三击贯入度为 10cm,根据《载体桩设计规程》(135-2007)规程查表 A_c 取值为 3.50m²,则载体桩承载力标准值为: $R_a = f_a A_c = 8750\text{kN}$ 。

设计桩身混凝土等级为 C30,根据规范公式进行载体桩桩身强度的验算, $N = 0.75 \times 3.14 \times 0.21^2 \times 14.3 = 1485\text{kN}$ 。桩身竖向承载力特征值 $R_a = 1485 / 1.35 = 1100\text{kN}$ 。故取值为 1100kN。

对桩身混凝土强度进行验算其强度满足设计要求。

(2) 配筋

载体桩配筋采用 $6\phi 14$ 通长配置, 螺旋箍筋 $\phi 6@100/200$; 加劲箍筋 $\phi 12@2000$, 混凝土保护层厚 40mm。

故最终载体桩设计为桩径 420mm、桩长 6 m, 三击贯入度控制值小于 10cm, 干硬性混凝土夯填量 0.5m^3 , 单桩竖向承载力特征值为 1100kN。

4 载体桩的施工

载体桩的施工共包括以下几步: 1) 按图纸放线, 确定桩位, 并做相应标记; 2) 移动设备到桩位处, 并对准桩位孔; 3) 利用柱锤夯击成孔, 反压护筒, 将护筒沉到孔位标高; 4) 向孔内投入填充料反复夯实、挤密, 并通过三击贯入度进行密实度控制; 5) 当三击贯入度满足设计要求后, 再填入干硬性混凝土, 形成载体; 6) 放置钢筋笼, 灌注混凝土。

该地区由于地下水比较丰富, 施工过程中部分护筒内出现地下水进入护筒的现象, 通过往护筒内填入水泥进行封水, 效果比较明显。载体桩施工过程中通过提升 6 m 进行夯实, 仿佛是一个超大型的動力触探设备, 三击贯入度即为动力触探击数, 当三击满足要求后, 浅层的溶洞被消除, 深层的溶洞或裂隙即使没被消除, 也不会影响单桩承载力, 而其它的桩基础只能填充溶洞或裂隙, 这是其它的桩基础与载体桩处理岩溶地区所无法比拟的。采用人工挖孔桩过程中, 当发现溶洞时, 通过人工填塞的方法进行处理, 只有当混凝土浇灌量非常大时才能确定存在溶洞, 唯一的处理办法为采用混凝土填充溶洞或裂隙; 本次施工过程中发现溶洞时, 采用填入级配石进行夯实处理, 一方面封堵地下水的通道, 另一方面通过级配石排出孔中的地下水, 挤密溶洞中的孔隙。实践证明载体桩的施工在该工程中取得了良好的效果。

5 工程桩的检测和监测

(1) 工程桩的检测

施工完毕后, 对工程桩进行检测, 由于某些原因, 本工程共进行了 2 根试验桩的载荷试验, 采用堆载作为试验配重, 慢速度维持荷载法进行试验, 由于单桩承载力特征值为 1100 kN, 根据规范试验加载到 2 倍设计荷载, 即 2200kN。通过试验发现, 在 2 倍设计荷载下, 单桩变形非常小, 约 3mm, 卸载后回弹率也较大, 这是因为该工程载体桩设计桩长较短, 承载力主要源于载体, 且以石灰岩作为持力层, 石灰岩的承载力为 2500kPa, 在该荷载下, 岩石还处在弹性变形阶段, 故卸载后弹性变形恢复, 回弹率高。经检测, 试桩承载力满足设计要求。

采用低应变完整性检测对部分桩基础进行检测, 检测桩身是否存在缩径和断桩, 经过对检测的曲线进行分析, 桩身没有缺陷反应, 低应变检测 100%满足设计要求。由于本工程填料非常多, 桩底呈现明显的反向反射, 表明桩身与桩底结合良好, 并且在有溶洞的区域由于填料较大, 桩底反射比别的桩反射明显。

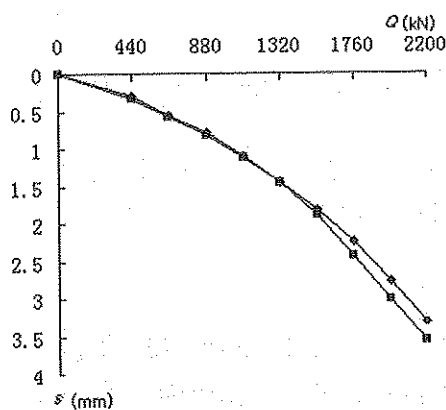


图1 静载荷试验 $Q-s$ 曲线

(2) 工程的沉降观测

由于第一次在岩溶地区采用该工艺, 根据规范, 应进行沉降观测, 按照规范和设计要求, 基础施工完开始, 结构每施工一层观测一次, 封顶后每月观测一次, 直至竣工验收且沉降稳定为止。一年后最终沉降量平均值仅仅为 3mm, 远小于规范要求。

6 结语

- (1) 通过实际工程, 证明在溶岩地区采用载体桩技术是可行的;
- (2) 载体桩技术在岩溶地区施工应注意地下水的情况, 防止地下水影响载体桩施工质量;
- (3) 载体桩采用建筑垃圾填充溶洞, 与其它处理方法相比, 经济效益更加明显。

参考文献

- [1] 曾国熙等. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 顾晓鲁等. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] 王继忠等. 载体桩施工及验收规程 (QB 01-2007) [s]. 北京波森特岩土工程有限公司企业标准, 2007.

载体桩在南通尚德城邦商办楼工程的应用

毛 辉

(南通中房建筑设计研究院有限公司, 江苏 南通 226001)

摘 要: 结合江苏省南通市的一个工程实例, 介绍了载体桩在长江三角洲冲积平原河口区的设计与运用, 验证了载体桩在本地区的适用性。

关键词: 载体桩; 承载力; 软弱下卧层; 变形; 试验

0 前言

江苏省南通地区属于长江三角洲冲积平原河口区, 成陆时间较晚, 主要覆盖第四纪松散沉积物, 以粉土、粉砂为主。在高层建筑的桩基工程中虽然有各种桩型可以选择, 但由于考虑到桩基工程施工时对周边环境和建筑物影响、沉桩难度以及工程造价等因素, 实际上桩型的选择是比较困难的。

在最近几年的工程实践中, 尝试了载体桩技术, 帮助我们解决了许多基础设计中的难题, 效果相当不错。

1 工程概况

南通尚德城邦商办楼位于南通市区, 地上部分由三幢十五层和一幢六层的办公楼以及两层的大底盘商业裙房所组成, 总建筑面积 4.8 万平米, 由于地下设有一层汽车库且地下车库未设置变形缝, 使得大底盘上部建筑层数相差十三层, 基础设计等级为甲级, 需要进行桩基础的变形验算, 且控制建筑物的不均匀沉降是基础设计中非常重要的部分。

2 桩基的设计

2.1 地质条件

本工程的土层埋深及参数如表 1。

土层埋深及参数表

表 1

层次	土层名称	厚度 (m)	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)	载体桩侧阻力 q_{sla} (kPa)
1	填土	1.0	60	5
2	粉土夹粘土	4.8	140	15
3	粉土夹粉砂	3.6	160	18
4	粉砂夹细砂	8.1	230	20
5	粉土夹粘土	1.0	120	—
6	粉砂与粘土	5.5	140	—
7	粉砂夹细砂	-	200	—

本工程地基变形计算参数如表 2。

地基变形参数

表 2

层次	天然重度 (kN/m ³)	压缩模量 E_s (MPa)		
		E_{s1-2}	E_{s2-4}	E_{s4-8}
1	18.00			
2	19.05	8.4	12.5	
3	19.09	10.3	15.0	
4	19.31	13.6	19.6	28.5
5	18.54	5.3	7.9	11.6
6	18.73	9.9	14.6	21.7
7	18.80	14.2	20.2	30.4

2.2 桩基设计

在多轮的基础方案比较后，我们决定采用承载力比较大沉降值较小、造价较低的载体桩。为了控制建筑物的沉降差，利用土的压应力与压缩模量的关系，采用不同承载力的桩在桩底面以下的土层中产生不同的土应力及相应的压缩量，使主楼和裙房的沉降值基本一致，从而控制了建筑物的不均匀沉降。

(1) 载体桩的单桩承载力计算

主楼载体桩以④层土作为载体持力层，深度修正系数为 3.0，埋深 10.4m，平均重度 10.66kN/m³，依据 GB50007-2002 的规定：

$$f_a = 230 + 3.0 \times 10.66 \times (10.4 - 0.5) = 546.6 \text{ kPa}$$

控制三击贯入度 ≤ 30cm，等效计算面积 $A_c = 1.9 \text{ m}^2$ ，单桩承载力特征值为：

$$R_a = 546.6 \times 1.9 \approx 1000 \text{ kN}$$

裙房载体桩以③层土为持力层，深度修正系数 2.0，埋深 10.4m，平均重度 10.58kN/m³，依据 GB50007-2002 的规定：

$$f_a = 160 + 2 \times 10.58 \times (8.4 - 0.5) = 327.16 \text{ kPa}$$

控制三击贯入度 ≤ 30cm，等效计算面积 $A_c = 1.6 \text{ m}^2$ ，单桩承载力特征值为：

$$R_a = 327.16 \times 1.6 \approx 500 \text{ kN}$$

(2) 桩身强度的设计

桩身直径为 420mm，桩身混凝土强度为 C30，控制单桩竖向力设计值不大于 1400kN，故：

$$\psi_c f_c A_p = 1485 \text{ kN} \geq N$$

(3) 软弱下卧层验算

⑤层土是软弱下卧层，需要进行承载力的验算。⑤层土层顶距地面 17.5m，平均重度 9.9kN/m³，所以：

$$f_{az} = 120 + 2.0 \times 9.9 \times (17.5 - 0.5) = 456.6 \text{ kPa}$$

④层土与⑤层土压缩模量之比小于 3.0, 故不考虑地基压力扩散, 载体底面至软弱层顶面得距离 $t=7.1\text{m}$, 以九桩承台为例作如下计算:

$$F_K = 7444 \text{ kN}$$

$$G_K = 4.04 \times 1.75 \times 25 = 714.07 \text{ kN}$$

$$\gamma A d_h = 18.8 \times 4.04^2 \times 4.25 = 1304.1 \text{ kN}$$

$$2(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i = 1575.42 \text{ kN}$$

$$L_0 + 2\Delta R = 4.82 \text{ m}$$

$$B_0 + 2\Delta R = 4.82 \text{ m}$$

$$\sigma_{pz} = \frac{F_K + G_K - \gamma A d_h - 2(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)}$$

$$= 227.2 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{pz} + \gamma_1 Z = 227.2 + 9.9 \times 17.5 = 400.45 \text{ kPa} \leq f_{az}, \text{ 可见软弱下卧层的承载力满足使用要}$$

求。

(4) 基础沉降计算

载体桩基础的沉降采用分层总和法计算, 因此载体桩基础的沉降计算公式为:

$$s = \psi_p p_0 \sum_{i=1}^n \frac{z_i \alpha_i - z_{i-1} \alpha_{i-1}}{E_{si}}$$

其中:

ψ_p ——沉降计算经验系数, 与压缩模量当量值有关;

E_{si} ——土层的压缩模量, 与土层有关, 也与土层中的土应力相关。

以主楼的九桩承台和裙房四桩承台为算例, 按 $\sigma_z = 0.2\sigma_c$ 要求控制沉降计算深度, 计算结果如

表 3:

基础沉降计算结果

表 3

计算结果	计算部位	主 楼 九桩承台	裙 房 四桩承台
压缩模量当量值 (MPa)		20	11
沉降计算经验系数		0.2	0.55
附加应力 (kPa)		227.21	69.23
$\sum_{i=1}^n \frac{z_i \alpha_i - z_{i-1} \alpha_{i-1}}{E_{si}}$		0.239	0.272
沉降计算值 (mm)		10.86	10.36

本工程其余承台的沉降计算结果在 9.92~11.02mm 之间, 相邻基础的沉降坡度 ≤ 0.0013 , 由此可以看到主楼与裙房基础沉降基本一致的现象存在, 从而证实了我们的设计思路: 通过设置不同承载力的载体桩, 在桩底面以下土体中产生不同的土应力, 由于土的压缩模量随土应力变化, 从而可以对建筑物的沉降差异进行有效地控制。

3 载体桩的检测与验证

在桩基工程施工完成后, 委托检测单位进行了十六组载体桩的单桩承载力和变形试验, 试验得到的数据与计算结果比较吻合, 验证了我们的想法, 部分检测结果如图 1 及图 2。

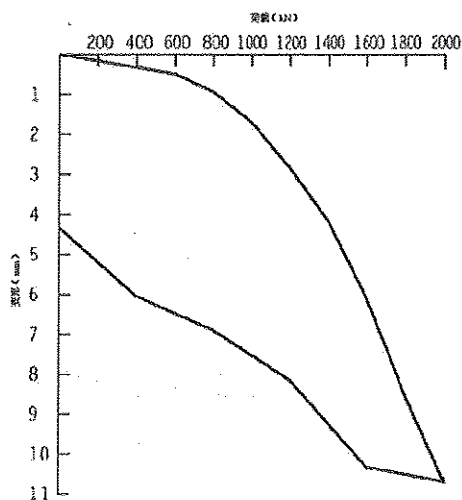


图 1 九桩承台下桩的 $Q-s$ 曲线

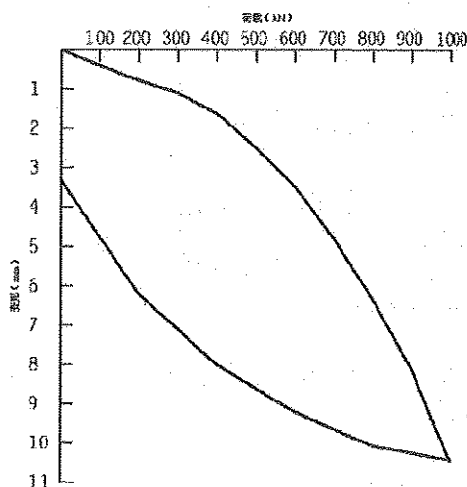


图 2 四桩承台下桩的 $Q-s$ 曲线

4 结语

在对典型工程分析以及大量工程实践经验的基础上总结, 笔者认为:

- (1) 载体桩是一种设计理论可靠, 施工方便, 适用性强, 经济高效的桩型, 值得推广。
- (2) 合理地运用载体桩技术, 可以很好地解决建筑物沉降差异的问题。
- (3) 对于承载力较大的载体桩, 需要进一步完善设计理论, 尤其是桩体与载体的连接强度设计。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 (GB50007-2002) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规范 (JGJ94-2008). 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.

载体桩在北京宏福大厦工程复合地基中的应用

李霞¹, 张建洪²

(1. 保定华北工程勘测设计研究院, 河北 保定 071051; 2. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 将载体桩工艺应用于复合地基的施工, 由于载体桩承载力高从而大大提高了复合地基承载力, 且大部分荷载通过载体桩传递到了深层土体, 因此载体桩复合地基沉降也大大减少。本文以一工程实例介绍该技术的设计、施工、检测。

关键词: 载体桩, 复合地基, CFG 桩, 沉降, 检测

0 前言

以往载体桩大多应用于桩基础, 若将载体桩应用于复合地基中, 将其作为复合地基的增强体, 发挥出载体桩承载力高的特点, 将大大提高复合地基承载力, 减少桩数, 降低造价, 本文就以一工程实际为例, 介绍载体桩复合地基的设计、施工与检测, 为设计人员提供新的思路。

1 工程介绍

1.1 工程概况

拟建场区位于北京市昌平区北七家镇郑各庄村南, 现内蒙古兴安盟驻京联络大院内。拟建工程分别为地上 2 层、17 层和 20 层, 设有 2 层地下室, 地下室每层层高 3.75m, 采用箱形基础, 剪力墙结构, 总建筑面积约为 40000.0m²。

1.2 工程地质概述

拟建场地地面较平坦、开阔, 钻孔孔口处地面标高为 38.51~38.91m。本次勘察所揭露的地层的最大深度为 35.00m, 根据钻探揭露与原位测试及室内土工试验结果, 按照其年代、成因类型及岩性将勘察深度范围内的地基层划分为 6 个大层, 其物理力学指标如表 1 所示。

各层土的物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	ω (%)	I_L	e	E_s (MPa)	γ (kN/m ³)	f_k (kPa)
①粘质粉土填土	1.21	-	-	-	5.000	18.0	100.0
②粘质粉土	1.29	19.24	0.16	0.61	8.200	20.0	140.0
③砂质粉土	2.36	21.26	-0.07	0.64	13.800	20.0	180.0
④粘土	2.91	33.53	0.61	1.04	5.300	18.0	140.0
⑤粉质粘土-粘质粉土	2.34	19.25	0.31	0.58	7.900	20.2	160.0
⑥砂质粉土	2.50	21.1	-0.07	0.64	9.300	20.5	180.0
⑦粘质粉土-粉质粘土	4.79	19.56	0.24	0.59	23.200	20.0	260.0
⑧重粉质粘土-粘土	5.94	28.74	0.52	0.9	13.700	20.4	200.0
⑨粉质粘土~粘质粉土	>11.0	19.55	0.27	0.59	30.00	20.0	250.0

该场区勘察期间揭露二层地下水，第一层静止水位埋深 1.00~2.80m，标高 35.90~37.65m，属上层滞水；第二层静止水位埋深 7.40~8.40m，标高 30.37~31.44m，属潜水。

2 方案确定

本工程基底标高在地表以下 9.0m，基底土层本身承载力就很高，若采用桩基础势必造成浪费，故考虑应采用桩土共同作用的复合地基方法处理地基。复合地基方案选择有 CFG 桩、夯实水泥土桩、水泥土搅拌桩、灰土挤密桩等。其中夯实水泥土桩、水泥土搅拌桩、灰土挤密桩因其对地基承载力的提高有限，多用于多层建筑、单层厂房的地基加固，而该建筑层数高，结构荷载大，夯实水泥土桩、水泥土搅拌桩、灰土挤密桩复合地基都不能满足要求。在北京地区，高层建筑大多采用 CFG 桩复合地基。

CFG 桩是一种采用长螺旋中心压灌施工的混凝土桩与地基土共同作用的复合地基，由于依靠桩侧与桩端端阻受力，一般桩长较长，并且有时为了控制地基沉降还会人为的增加桩长。桩侧阻主要依靠桩土发生相对位移或相对位移趋势才能充分发挥，但桩长较长，下端的桩土发生相对位移或相对位移趋势较小，而不能完全发挥，故造成一定的浪费。

载体桩复合地基是一种全新的施工技术，是一种用载体桩技术施工复合地基的工艺，载体桩技术的核心是侧限约束下的土体密实，在入土一定深度，通过柱锤的势能冲切土层形成孔洞并迅速填料作为介质夯实，并反复进行，形成扩展基础，大大提高了单桩的承载力，采用载体桩的复合地基，由于载体桩承载力高，复合地基承载力也高，并且由于载体桩主要依靠载体承载，故采用载体桩施工复合地基，其荷载将大部分通过桩身传递到深层土体，这将大大降低建筑物的沉降。

由此可见，载体桩加固软弱地基的原理与 CFG 桩是有区别的，其桩体作用要明显强于 CFG 桩，因其载体承担绝大部分荷载，有利于桩更多的发挥作用，减小土体承担的荷载，桩数也相应减少。

经分析，本工程⑦₂层为细砂层，该层地基土承载力为 280kPa，压缩模量约为 23.2MPa，可以作为载体桩的持力层，⑦层厚度为 4.79m 的粘质粉土—粉质粘土层，稍微填料夯实即可得到良好的挤密效果，是一种非常适合于载体桩的地层。经过方案的论证，本工程最终采用载体桩复合地基施工技术。

采用 CFG 桩与载体桩的经济对比

表 2

施工设计方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	总桩数 (根)	沉降计算 (mm)	总报价 (元)
CFG 桩	410	8.0	651	93.52	533496
载体桩	430	6.0	498	82.63	488140

3 载体桩复合地基的设计

(1) 单桩承载力的计算

根据场地资料选择⑦₂层细砂层作为载体桩持力层，基底标高为-9.550m，可综合确定桩长约为 8.0m，桩径 430mm。

根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007)，载体桩承载力为：

$$R_a = f_a A_e$$

式中, f_a 为经深度修正后的载体桩持力层地基承载力特征值 (kPa)。

由于该工程采用复合地基+筏板基础, 根据《建筑地基处理技术规范》, 载体持力层地基土承载力修正从室外地表开始计算, 深度为 18.0m。

$$f_a = f_k + \eta_d (D - 0.5) \gamma_0$$

$$= 280 + 2.5 \times (18.0 - 0.5) \times 12.0 = 805 \text{ kPa}$$

查表 4.3.2 取三击贯入度 30cm, 得:

$$A_e = 1.6 \text{ m}^2$$

$$\text{则: } R_a = f_a \cdot A_e$$

$$= 805 \times 1.6 = 1288 \text{ kN}$$

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002/J220—2002) 对桩身混凝土进行验算:

$$\text{桩身强度 (C20): } f_{cu} \geq 3 R_a / A_p$$

式中: f_{cu} 为桩体 28 天立方体试块强度取 20MPa; A_p 为桩的断面面积

根据本工程荷载情况, 取单桩承载力特征值为 1000kN, 强度满足设计要求。

(2) 复合地基承载力计算

复合地基桩间距为 1.8×1.8 , 则复合地基承载力为:

$$f_{sp, x} = m R_a / A_p + \beta (1 - m) f_{s, x}$$

$m = 3.14 \times 0.215^2 / (1.8 \times 1.8) = 0.042$, 修正后复合地基承载力特征值 f_z 为 885.8 kPa, 大于 380kPa, 满足设计要求。

(3) 复合地基沉降验算

由于本工程为高层建筑, 需对基础进行沉降验算, 建筑物基础的沉降包括主固结沉降、次固结沉降和瞬间沉降, 精确计算是一个比较复杂的问题, 若采用经验系数计算, 结果有可能产生较大误差, 为方便计算, 工程上多采用分层总和法, 假定①压缩时地基土不能侧向膨胀; ②根据基础中心点下附加应力进行计算; ③基础最终(固结)沉降量等于基础底面下压缩层(或受压层)范围内各土层压缩量的总和。

$$\text{公式为: } s = \psi_s \sum_{i=1}^n P_0 / E_{si} (Z_i a_i - Z_{i-1} a_{i-1})$$

式中: s 基础最终沉降量; ψ_s 为沉降计算经验系数; E_{si} 基础底面下第 i 层土的压缩模量; P_0 对应于荷载标准值时基础底面处的附加压力; Z_i 、 Z_{i-1} 分别为基础底面到第 i 层和 $i-1$ 层土底面的距离; a_i 、 a_{i-1} 分别为基础底面计算点第 i 层和第 $i-1$ 层底面范围内平均附加应力系数, 可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007) 规定采用, 经计算最终基础最大沉降为 67.75mm, 满足规范要求。

沉降计算结果

表 3

分层	Z_i	Z_i/b	α_i	E_{si} (MPa)	Δs_i (mm)	$\Sigma \Delta s_i$ (mm)
1	0	0.000	1.00	9.3		
2	2.4	1.297	0.601	9.3	58.2	58.2
3	4.8	2.595	0.362	23.2	4.7	62.9
4	7.6	4.108	0.246	13.7	3.5	66.4
5	9.6	5.189	0.206	30.0	1.35	67.75

4 桩基检测试验和沉降观测

4.1 工程桩的检测

本工程地基处理，共布桩 498 根，桩位图见图 1。依据《建筑地基处理技术规范》中对复合地基的检测要求，共进行 3 个点复合地基的静载荷试验和 50 根桩的低应变动力检测。3 组静载荷试验中，当荷载试验加载到 2 倍设计荷载 760kPa 时沉降量为 31.63mm，在设计使用荷载 380kPa 时，试验变形最大为 10.96mm，均满足设计要求。 $P-s$ 曲线呈缓变型，无明显拐点，这充分说明三根桩还处于弹性工作状态。卸载后，回弹率在 24.0% 左右，说明载体桩承载力还有一定的储备。载荷试验的 $P-s$ 曲线如图 2 所示。低应变动力检测，通过采集信号进行分析，桩底反射信号清晰，桩身质量除有一根桩桩身轻微缩颈外，其余桩身质量完好，满足设计要求。

4.2 沉降观测

为了解载体桩在工程不同时期的沉降，对大厦的角点和重要部位进行了沉降观测（图 3），观测时间从大厦施工到±0.00 开始，经分析建筑物在完工 600d 后最大沉降为 18.56mm，最小为 16.98mm，平均沉降率为 0.03mm/d，变形稳定，呈收敛趋势，可见载体桩复合地基在高层建筑中能有效控制基础沉降，减小不均匀沉降。

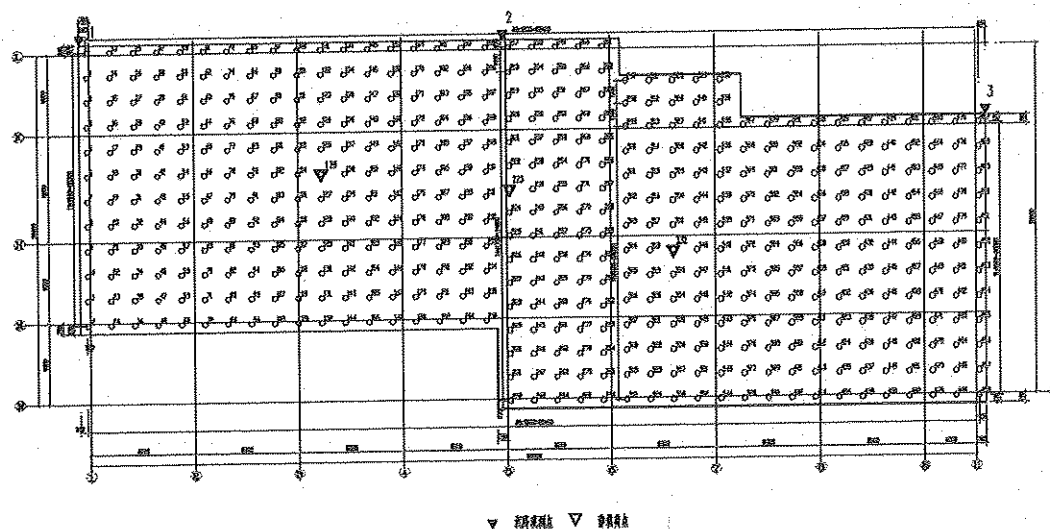


图 1 基础平面图

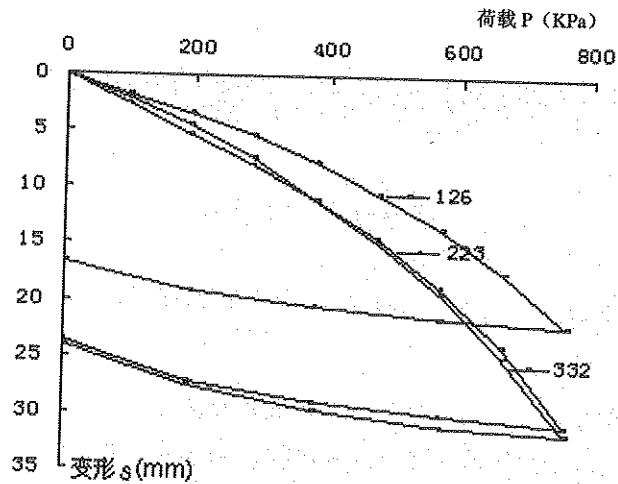
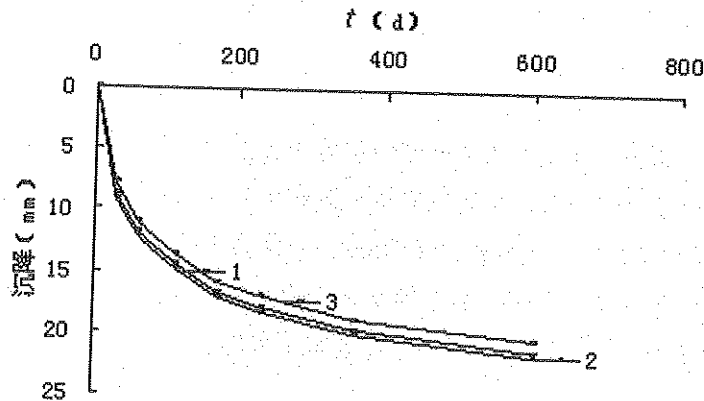


图2 静载 $P-s$ 曲线



注：1、2、3 为沉降观测点

图3 大厦部分沉降观测点的沉降随时间变化曲线

5 结语

结合宏福大厦工程的地质条件,介绍了对载体桩的设计、施工及检测。载体桩不仅可以进行灌注桩施工,还可进行复合地基施工。载体桩复合地基施工简单,质量易控制,造价经济,是一项值得推广的既经济又环保的施工技术。

参考文献

- [1] 顾晓鲁.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 中华人民共和国行业标准.建筑地基处理技术规范(JGJ 79-2002).北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程(JGJ 135-2007).北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 建设综合勘察研究设计院.宏福大厦工程复合地基检测报告[R].北京:2003.

北京动车段桩基础方案的研究与分析

刘焕强¹, 房华荣²

(1. 中铁电气化局集团, 西安 710055; 2. 北京市建筑设计研究院, 北京 100045)

摘要: 北京动车段工程是国家重点工程, 由于其地处杂填土地区, 常规方案不能采用, 通过方案论证和试验桩的试验及不同方案间的经济与技术比较, 最终采用载体桩基础, 解决了基础的不均匀沉降问题, 又节约了造价, 开辟了 in 深厚杂填土上采用桩基础的新方法。

关键词: 杂填土; 载体桩; 卵石; 试验; 造价

1 问题的提出

拟建北京动车段工程位于北京市大兴区狼垡村及丰台区宝台村一带, 京山铁路东侧, 由检修车间、维修车间及其配套工程等组成。检查维修场沿既有丰双铁路布置, 东西长约 1650m, 南北长度约 728m。厂房采用排架结构, 单柱荷载为 4000kN, 沉降要求严格。

拟建场地位于回填采沙坑, 回填土为杂填土, 成份为建筑垃圾和生活垃圾, 厚度不均, 成份复杂, 颗粒不均, 杂填土最大厚度为 28m。在这样地基上采用桩基, 桩基的选型成了首先要解决的难题。

2 场地工程地质条件

拟建场地是由于近年来的采砂活动, 在场地内形成的多处大型采砂坑, 后成为渣土消纳场, 回填、堆积了建筑垃圾及生活垃圾, 后经人工改造成现有地形。

地层表层主要为第四系人工堆积层 (Q_4^{ml}), 其中人工堆积层主要为杂填土, 填土的厚度变化较大, 揭露的厚度为 3.1~27.8m, 中部厚度大, 靠近砂土坑的边缘厚度较小。填料成分杂乱, 以建筑垃圾为主, 多为碎石、混凝土块及砖块等, 粒径大小不一, 且分布不均, 一般粒径 20~50mm, 充填物多为灰渣、炉灰、砖渣、粉土及其它杂物, 杂填土颗粒大小不一, 骨架大, 孔隙比大, 渗透性强, 处于松散~稍密状态。据调查杂填土填筑时间为 1~6 年, 尚未完成自重固结, 地基土不均匀, 若遇地表水渗入, 会发生湿陷, 将会因湿陷作用产生较大不均匀沉降。局部在填土内含有大量的生活垃圾, 多为未腐烂木块、废塑料袋及碎布为主, 灰黑色, 潮湿~饱和, 局部生活垃圾已经腐烂, 具有臭味, 将使地基长期处于缓慢的沉降过程中。

场地内的杂填土具有不均匀性、自重压密性、湿陷性、低强度性等特点, 在这样的场地上建设, 建筑物要采用桩基础。

3 桩基方案技术经济分析

3.1 桩基方案的技术分析

3.1.1 桩基础的技术对比

在充满大块的杂填土上采用桩基础, 泥浆护壁钻孔灌注桩成孔难度大, 穿透能力强, 但容易漏浆, 会造成塌孔、缩径、排污等问题; 长螺旋钻孔桩遇到大块容易憋钻; 沉管灌注桩适用于一般粘性土、粉土, 当遇到卵石、块石时难以下沉, 达不到持力层的深度。通过技术分析只能采用人工挖孔桩和载体桩, 人工挖孔桩是古老的成熟方法, 优点是能清楚看到桩端持力层, 质量易保证, 缺点是施工安全性不好。载体桩有建设部行业规范《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 指导设计, 能穿透大块的杂填土成桩, 单桩承载力高, 并且经对比分析, 载体桩在造价上有明显优势。

3.1.2 杂填土地基采用载体桩的工程实例

载体桩在设计前进行了大量调查, 经调查已完成的大坑回填土采用载体桩的项目很多, 典型的载体桩工程实例如表 1, 其中茂华集团的 TSM 项目与该工程地质情况类似, 位于原取砂坑, 杂填土厚度 28m, 成份为工业垃圾、建筑垃圾、生活垃圾等, 建筑为 9~12 层, 总建筑面积 100 万平米, 采用载体桩基础, 单桩承载力特征值为 1000~2000kN, 经现场载荷试验证明满足要求, 表明载体桩适宜杂填土层。

杂填土上载体桩工程实例

表 1

序号	工程名称	桩型	桩长 (m)	工程量 (根)
1	晋元庄住宅小区	载体桩	5~18	10000
2	石景山 TSM 南区	载体桩	4~24	6600
3	旧宫绿化隔离区建设项目	载体桩	6~10	2400
4	道丰科技园	载体桩	5~15	1500
5	亚运新新家园	载体桩	8~12	1500
6	万科熙园	载体桩	4~18	1800
7	万科中粮	载体桩	4~20	500
8	朝阳新城	载体桩	5~9	8000
9	润泽庄苑	载体桩	3~9	5000
10	北京理工大学	载体桩	3~9	600
11	汇佳学校	载体桩	5~10	2000
12	回龙观文化居住区	载体桩	4~8	2500

3.1.3 现场载体桩试桩与分析

为了验证载体桩的工法在本场地的适用性, 为设计提供数据, 在现场进行了螺旋钻孔桩和载体桩试桩, 载体桩具体施工参数见表 2, 螺旋钻孔桩因钻进困难而被迫中止, 载体桩施工了 30 根, 选择代表性的 3 根桩进行了载荷试验, 试验结果见表 3, 单桩承载力均满足要求, 试验结果表明载体桩的施工参数合理, 因此在实际工程设计和施工中应用了载体桩。

载体桩的施工参数

表 2

桩长 (m)	桩径 (mm)	桩间距 (m)	锤重 (t)	填砖量 (块)	三击贯入度 (cm)	干硬性砂量 (m ³)	充盈系 数	坍落度 (cm)	承载力特征值 (kN)
27	450	1.8	3.5	350	10~5	0.5	1.5	12~14	1500~2000

载体桩载荷试验结果表

表 3

试验桩号	试验类型	终止荷载 (kN)	对应设计荷载沉 降量 (mm)	最终沉降量 (mm)	承载力特征值 (kN)
材料总库 93 [#]	单桩竖向抗压	2000	2.25	5.97	≥1000
材料总库 144 [#]	单桩竖向抗压	2000	3.23	9.38	≥1000
检查库 2278 [#]	单桩竖向抗压	2000	1.89	3.94	≥1000

3.1.4 载体桩的原理与技术特点

载体桩的技术核心为侧限约束下的土体密实，通过填料夯实使桩端一定深度的土体得到最有效的挤密。使夯实后的填充料与挤密的土体形成具有扩散受力特性的扩展基础，见图 1 和图 2。

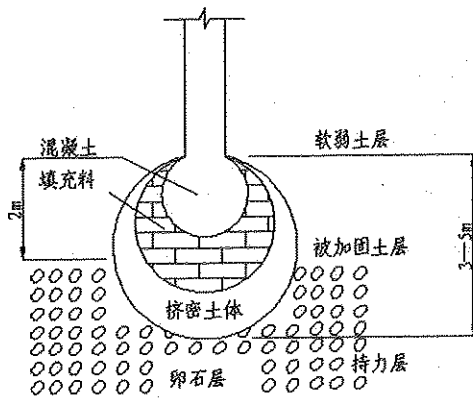


图 1 载体桩构造图

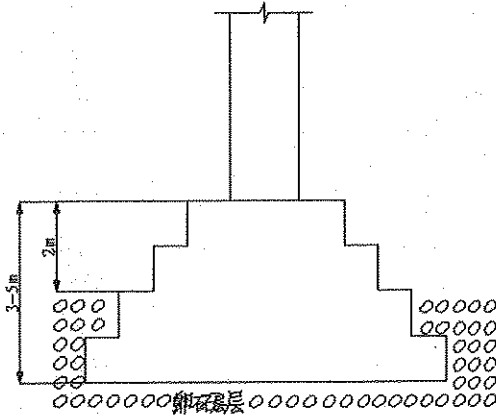


图 2 载体扩展基础示意图

载体桩作为载体基础，具有以下主要技术特点：①通过填料、夯实使桩端下深度 3~5m、约 10m³范围内的土体得到最优密实，实现设计的等效载体基础，使载体基础下地基土承载力满足荷载的要求，载体基础的计算面积 A_c 可以通过现场载荷试验在施工完毕后立即得到验证；②在同一施工场地，在不改变桩长、桩径的前提下，可根据不同的设计要求，通过调整施工参数来调节等效载体基础的计算面积从而得到不同的承载力；③施工机具轻便，移动方便；④施工速度相对较快；⑤施工过程中无泥浆产生，同时还能消化大量的建筑垃圾和工业废料，有利于保护环境。

载体桩为由混凝土桩身和载体构成的桩，载体桩桩长包括混凝土桩身长度和载体高度。其中混凝土桩身长度即从承台底到载体顶的高度，载体的高度因桩端土体土性和三击贯入度的不同而不同，载体的高度一般为 3~5m。

杂填土在有载荷试验验证的情况下可以作为被加固土层。载体桩设计规程 3.0.2 条明确指出“杂填土经过成桩试验和载荷试验确定载体桩的承载力满足要求时，也可作为被加固土层。”本工程被加固土层为杂填土和卵石土，载体的计算高度一般取 2m，载体嵌入卵石层至少 1.0m。本工程载体桩可以卵石层或砂层为载体持力层，载体已经嵌入到持力层至少 1.0m，根据规程经验公式： $R_a=f_a A_c$

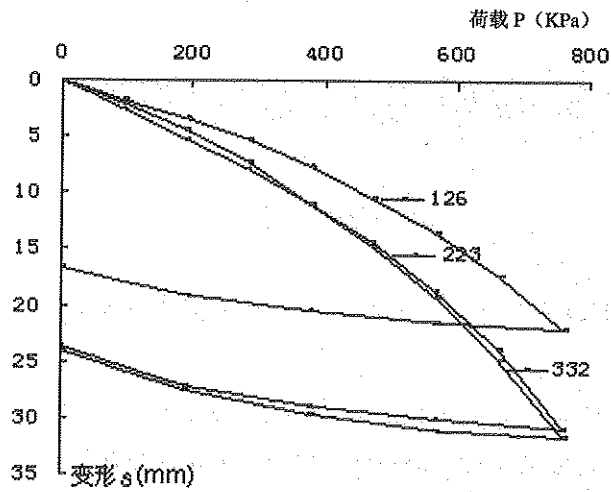
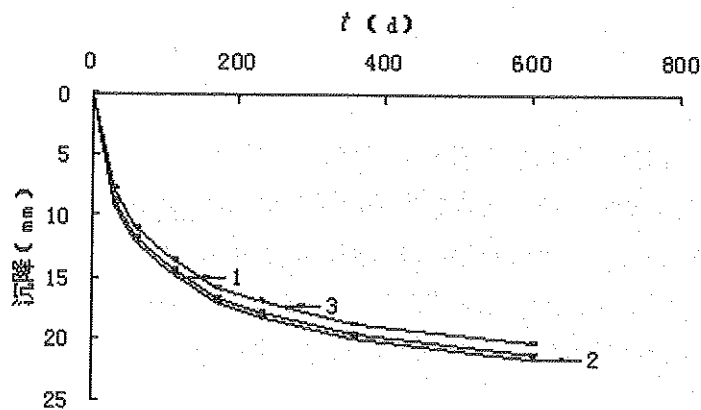


图2 静载 $P-s$ 曲线



注：1、2、3 为沉降观测点

图3 大厦部分沉降观测点的沉降随时间变化曲线

5 结语

结合宏福大厦工程的地质条件,介绍了对载体桩的设计、施工及检测。载体桩不仅可以进行灌注桩施工,还可进行复合地基施工。载体桩复合地基施工简单,质量易控制,造价经济,是一项值得推广的既经济又环保的施工技术。

参考文献

- [1] 顾晓鲁.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 中华人民共和国行业规程.建筑地基处理技术规程(JGJ 79-2002).北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 中华人民共和国行业规程.载体桩设计规程(JGJ 135-2007).北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 建设综合勘察研究设计院.宏福大厦工程复合地基检测报告[R].北京:2003.

北京动车段桩基础方案的研究与分析

刘焕强¹, 房华荣²

(1. 中铁电气化局集团, 西安 710055; 2. 北京市建筑设计研究院, 北京 100045)

摘要: 北京动车段工程是国家重点工程, 由于其地处杂填土地区, 常规方案不能采用, 通过方案论证和试验桩的试验及不同方案间的经济与技术比较, 最终采用载体桩基础, 解决了基础的不均匀沉降问题, 又节约了造价, 开辟了深厚杂填土上采用桩基础的新方法。

关键词: 杂填土; 载体桩; 卵石; 试验; 造价

1 问题的提出

拟建北京动车段工程位于北京市大兴区狼垡村及丰台区宝台村一带, 京山铁路东侧, 由检修车间、维修车间及其配套工程等组成。检查维修场沿既有丰双铁路布置, 东西长约 1650m, 南北长度约 728m。厂房采用排架结构, 单柱荷载为 4000kN, 沉降要求严格。

拟建场地位于回填采沙坑, 回填土为杂填土, 成份为建筑垃圾和生活垃圾, 厚度不均, 成份复杂, 颗粒不均, 杂填土最大厚度为 28m。在这样地基上采用桩基, 桩基的选型成了首先要解决的难题。

2 场地工程地质条件

拟建场地是由于近年来的采砂活动, 在场地内形成的多处大型采砂坑, 后成为渣土消纳场, 回填、堆积了建筑垃圾及生活垃圾, 后经人工改造成现有地形。

地层表层主要为第四系人工堆积层 (Q_4^{ml}), 其中人工堆积层主要为杂填土, 填土的厚度变化较大, 揭露的厚度为 3.1~27.8m, 中部厚度大, 靠近砂土坑的边缘厚度较小。填料成分杂乱, 以建筑垃圾为主, 多为碎石、混凝土块及砖块等, 粒径大小不一, 且分布不均, 一般粒径 20~50mm, 充填物多为灰渣、炉灰、砖渣、粉土及其它杂物, 杂填土颗粒大小不一, 骨架大, 孔隙比大, 渗透性强, 处于松散~稍密状态。据调查杂填土填筑时间为 1~6 年, 尚未完成自重固结, 地基土不均匀, 若遇地表水渗入, 会发生湿陷, 将会因湿陷作用产生较大不均匀沉降。局部在填土内含有大量的生活垃圾, 多为未腐烂木块、废塑料袋及碎布为主, 灰黑色, 潮湿~饱和, 局部生活垃圾已经腐烂, 具有臭味, 将使地基长期处于缓慢的沉降过程中。

场地内的杂填土具有不均匀性、自重压密性、湿陷性、低强度性等特点, 在这样的场地上建设, 建筑物要采用桩基础。

计算, 单桩承载力特征值大于 1000kN。

3.2 地基基础方案经济比较

在本工程场地, 桩基础可选用人工挖孔桩和载体桩两种, 现将两种方案进行经济对比, 对比数据如表 4, 由表中数据可知载体桩比人工挖孔桩节省造价明显。

人工挖孔桩和载体桩的经济对比

表 4

桩型	桩径 (mm)	桩长 (m)	工程量 (m ³)	单桩造价 (元)	单桩承载力特征值 (kN)
人工挖孔桩	800	25	23.8	23800	1000
载体桩	450	20	4.0	7000	1000

注: 人工挖孔桩护壁厚度按 15cm 计算工程量。

4 结语

通过经济技术比较, 建筑物柱基和轨道基础采用载体桩, 具有经济技术优势, 同时消纳建筑垃圾具有环境效益。已有载荷试验表明, 单桩承载力均达到设计要求。

通过工程实践, 载体桩解决了地层中存在块石时普通桩基础施工方法难以穿透的问题。由于施工中采用护筒施工, 解决了塌孔问题, 且与螺旋钻孔和泥浆护壁钻孔比有明显技术和经济优势, 经在本场地进行试验验证, 其工艺和承载力试验均得到满意的效果。

参考文献

- [1] 国家建设工程质量监督检验中心. 基桩动测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基检测技术规范 (JGJ106-2003) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

载体桩在北京万科熙园工程中的应用

马海华¹, 安亚伟²

(1. 江苏地质基桩工程公司 镇江 212001; 2. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 载体桩是一项新型技术, 具有单桩承载力高、施工方便、综合造价低、环保节能等优点, 本文介绍了该桩型在北京万科熙园工程中的应用情况, 可为类似工程提供设计和施工经验。

关键词: 杂填土; 载体桩; 设计; 施工及检测

1 工程及地质概况

万科熙园工程位于北京市丰台区岳各庄, 西侧为永定路, 南侧为梅市口路, 主要由住宅楼、会所、商业及地下车库组成, 建筑面积约 10 万 m², 拟建场地原分布有采石坑, 最深达 17m, 施工前已回填, 回填物质一般为杂填土(以房渣土为主)及素填土(以粘性土、粉土、砂土、卵石、碎石为主), 成分复杂多样, 含有物包括砖块、灰渣、混凝土块、钢筋、碎木、垃圾、土等, 局部夹有较大体积的漂石等。由于上部结构荷载较大, 该场地不能采用天然地基, 需要进行地基处理或采用桩基础。

根据现场勘测及室内土工试验成果, 按其成因年代将土层划分为人工堆积层、新近沉积层及第四纪沉积层共三大类, 并按岩性、工程性质指标进一步划分为 4 个大层及亚层。自上而下分述见下表:

场地地层岩性及力学指标

表 1

成因年代	层号	地层描述	极限侧阻力标准值 (kPa)	极限端阻力标准值 (kPa)	承载力标准值 (kPa)
人工堆积层	① ₂	粉质粘土填土~粘质粉土填土	10	-	-
	① ₃	重粉质粘土填土	-	-	-
	① ₄	粘质粉土填土~砂质粉土填土	10	-	-
	① ₅	细砂填土~中砂填土	12	-	-
新近沉积层	②	卵石~圆砾	80	1500	250
	② ₁	中砂	45	-	180
第四纪沉积层	③	卵石~圆砾	120	2500	400
	③ ₁	细砂	60	1200	280
	③ ₂	粉质粘土	65	-	220
第四纪沉积层	④	砂质粉土~粉质粘土	140	2800	500

本场地地面以下 30m 内含有一层地下水, 属潜水; 水位标高位于 27m 以下, 近 3~5 年最高水位为 36.40m。

2 基础方案选择

本场地回填物主要为杂填土, 传统机械成孔工艺在这种杂填土层中较困难, 而且在没有护壁的情况下, 桩身混凝土灌注质量难以保障。考虑成桩因素, 在该场地可行的桩基方案有两种: 钻孔灌注后压浆桩及载体桩。根据坑底土层情况, 考虑上部杂填土会产生负摩阻力, 钻孔桩需要较长的桩长及较大的直径, 这样会大大增加桩基造价, 并且施工中产生较多的泥浆需要处理。而载体桩利用载体的应力扩散可以在最大程度上缩短桩长及桩径, 从而降低工程造价。

载体桩为端承桩, 不需要靠侧壁摩阻力, 而是靠底端扩大的复合载体来提供承载力, 故可以减小桩径及桩长, 降低工程造价。该方案成孔工艺先进, 采用柱锤冲击成孔, 可穿透建筑垃圾、砖块、混凝土块等杂填土; 钢套管护壁, 在冲击成孔的过程中, 钢套管全程跟进护壁, 确保成孔质量, 保证桩身不缩径、不断桩; 同时该桩基础具有沉降变形小、综合造价低廉等特点。

经过综合分析对比, 考虑成孔工艺的可行性、桩身质量的保证措施以及造价、工期等多种因素, 最终采用了载体桩方案。

3 载体桩的设计 (以 $R_a=2000\text{kN}$ 为例)

(1) 设计参数

桩端持力层为第③层卵石层, 桩端 (不含承载体) 距持力层不大于 1.5m, 桩长按 6.0m 考虑, 桩端土的修正深度 $D=6.0+2.0$ (承载体高度) $=8.0\text{m}$ 。桩径 $d_1=400\text{mm}$, $d_2=600\text{mm}$, 桩身混凝土强度 C30。

土的加权平均重度取: $\gamma_0=18.0\text{kN/m}^3$

根据《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002, $\eta_d=4.4$ 。

$$f_a = f_{ak} + \eta_d(D-0.5)\gamma_0$$

$$=400+4.4 \times (8.0-0.5) \times 18.0=994.0\text{kPa}$$

(2) 单桩承载力计算

桩径按 $d_1=400\text{mm}$ 计算承载能力

①单桩承载力计算

根据《载体桩设计规程》JGJ135-2007, 由公式 4.3.2:

$$R_a = f_a A_e$$

取三击贯入度 20cm, 查表 4.3.2, 得:

$$A_e=2.6\text{m}^2$$

$$\text{则: } R_a = f_a A_e$$

$$=994.0 \times 2.6=2584\text{kN}$$

②桩身强度验算

根据《载体桩设计规程》JGJ135-2007 式 4.3.3:

$$\text{桩身强度 (C30): } Q \leq \Psi_c f_c A_p = 0.75 \times 14.3 \times 10^3 \times 0.785 \times 0.40^2 = 1347\text{kN}$$

根据本工程的结构及荷载情况,对于直径为400mm的桩,单桩承载力特征值取 $R_a=1000\text{kN}$ 。

桩径按 $d_2=600\text{mm}$ 计算单桩承载力

①单桩承载力计算

根据《载体桩设计规程》JGJ/T135-2007,由公式4.3.2:

$$R_a = f_a A_e$$

取三击贯入度20cm,查表4.3.2,查得桩径为400mm的载体等效计算面积为:

$$A_e = 2.6\text{m}^2$$

$$\text{则: } R_a = f_a A_e$$

$$= 994.0 \times 2.6 \times (600 \div 400) = 3876\text{kN}$$

②桩身强度验算

根据《载体桩设计规程》JGJ135-2007式4.3.3:

$$\text{桩身强度 (C30): } Q \leq \Psi_a f_c A_p = 0.75 \times 14.3 \times 10^3 \times 0.785 \times 0.60^2 = 3030\text{kN}$$

根据本工程的结构及荷载情况,对于直径为600mm的桩,单桩承载力特征值取 $R_a=2000\text{kN}$ 。

4 施工工艺

载体桩由复合载体和混凝土桩身组成,是近年来发展起来的一种新型的施工工艺,它利用细长锤夯击成孔,静压跟管至设计标高处,分次向护筒加填料进行夯击,用三击贯入度作为夯实控制标准,然后填充一定量的干硬性混凝土并进行夯击,使桩端下3~5m、直径2~3m区域内的土体得到有效的加固和挤密,形成复合载体,最后吊放钢筋笼并浇注混凝土成桩的一种工艺。复合载体组成由上往下依次为:干硬性混凝土、填充料、挤密土体和影响土体,工艺流程如下:

(1) 桩位测量及复核

放线人员依据给定控制点确定桩位,经监理验线合格后,方可进行施工;

(2) 材料检验

开工前,将施工所用材料报监理验收并送具有试验资质的实验单位进行试验,合格后才能用于工程中;

(3) 移桩机就位

检查桩机设备工作是否正常,移桩机就位,调直护筒,在确定桩位准确无误后,使护筒中心与桩位中心位对齐,然后将护筒放至地表,并调整护筒垂直;

(4) 成孔

成孔采用锤击跟管成孔,用柱锤低落距轻夯地面,使护筒准确定位于桩位,然后再提高细长锤夯击成孔;

(5) 沉护筒至设计标高

锤击成孔时,护筒下沉,当接近桩底标高时,控制柱锤落距,准确将护筒沉至设计标高;

(6) 夯击填料

护筒沉至设计标高后,提升柱锤高出填料口,进行碎砖或其他填料,柱锤做自由落体夯击,夯击填充料(填充量以锤底出护筒底40~60cm为依据);

(7) 测量三击贯入度

承载体形成密实状态后,柱锤以 6m 落距做自由落体运动,测三击贯入度,每级贯入度应比前击小或相等,三击总贯入度应满足设计要求,如不满足设计要求,则应继续填料夯击至满足三击贯入度要求;

(8) 夯填干硬性混凝土

三击贯入度满足设计要求后,填干硬性混凝土 0.5m^3 ,继续夯击至锤底出护筒 $2\sim 5\text{cm}$;

(9) 下放钢筋笼

在护筒内放入预制好的钢筋笼,测量钢筋笼顶标高,使钢筋笼沉至设计标高;

(10) 浇筑混凝土

从护筒填料口灌入混凝土,一次灌至桩顶标高,并适当进行超灌;

(11) 拔护筒

混凝土浇注完毕后,将护筒拔出,拔护筒时速度要慢,同时注意观察钢筋笼是否有位移;

(12) 振捣混凝土

振捣时要快插慢拔,振捣时间不少于 2 分钟。

5 载体桩应用及检测结果

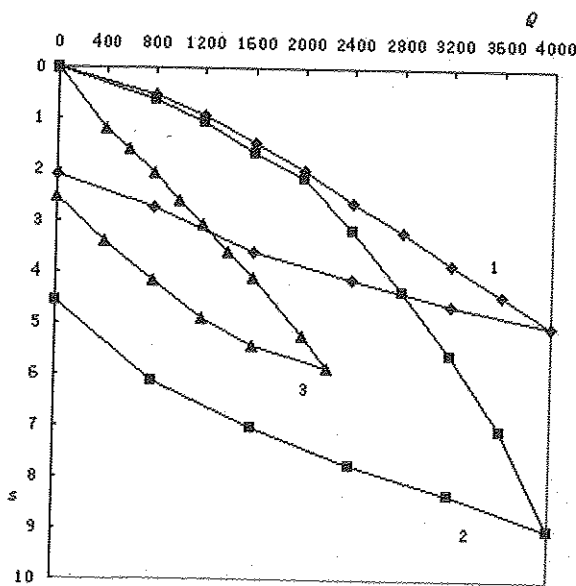
在万科熙园项目中,共 7 个单体建筑采用了载体桩方案,共施工完成了 1400 根载体桩,桩基施工结束后按有关规范进行了检测,分为工程桩的桩身质量检测 and 单桩竖向承载力检测两部分。

(1) 工程的桩身质量检测

该工程的桩身质量检测采用低应变动测法检验桩身的完整性,占桩基总数量的 20%。检测结果为: I 类桩占 80%, II 类桩占 20%,未出现 III、IV 类桩,桩身完整性满足设计和工程使用要求。

(2) 单桩竖向承载力检测

本工程采用静载荷试验对单桩承载力进行检测,加载采用慢速维持荷载法。静载荷试验结果全部满足要求,并且有很大安全储备。部分静载荷试验 $Q-s$ 曲线如图 1:



注: 1、2 号桩单桩承载力特征值为 2000kN, 3 号桩单桩承载力特征值为 1000kN

图 1 部分载荷试验曲线

6 结论

在填土地区,采用载体桩技术能保证施工质量,有效降低工程造价,缩短工期。通过本工程实例,证明载体桩具有以下特点。

(1) 造价低廉。按处理面积计算,载体桩造价约为 70 元/m²,而钻孔灌注桩后压浆桩的造价约为 120 元/m²。

(2) 质量可靠。由于载体桩的工艺比较先进,采用套管护壁灌注混凝土,其施工质量不受地下水和杂填土的影响。

(3) 节约资源,保护环境。载体桩的填料可以采用碎砖、建筑垃圾等材料,既便于就地取材,又可节约大量建筑材料,同时建筑垃圾的使用还有利于环境保护,可谓一举多得。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司. 复合载体夯扩桩研究报告(内部资料)[R].1997.
- [2] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程(JGJ135-2007)[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 北京市勘察设计研究院.万科熙园岩土工程勘察报告[R].2005.
- [4] 国家建筑工程质量监督检验中心.万科熙园工程检验报告[R].2006.

载体桩技术在沈阳市沈北地区的应用 与经济性分析

袁晓光¹, 王刚², 季强³

(1. 东北建筑设计研究院岩土公司, 沈阳 110006; 2. 辽宁省有色地质局一〇九队, 沈阳 110006;
3. 沈阳波森特岩土工程有限公司, 沈阳 110006)

摘要: 载体桩作为一种全新的技术, 具有技术可行、造价低廉等特点。介绍了载体桩的原理及受力, 并结合沈阳北部地区一实际工程对不同的方案的经济性分析, 分析说明载体桩技术在沈北地区具有明显优势, 在技术可行的条件下值得大力推广。

关键词: 载体桩; 密实理论; 单桩承载力; 特征值; 经济性

1 载体桩的原理及特点

1.1 载体桩的介绍

载体桩(原名复合载体夯扩桩)其工艺是先采用柱锤夯击土体成孔, 然后将钢护筒套在柱锤上沉到设计标高后停止, 再用柱锤击出护筒底一定深度, 分批向孔内投入填充料和干硬性混凝土, 用柱锤反复夯实、挤密, 在桩端形成载体, 最后放置钢筋笼, 灌注桩身混凝土而成桩, 也可在载体上放置预制好的管桩而成桩。

该桩由上部的桩身和下部载体组成, 桩身为钢筋混凝土结构, 载体是避软就硬, 以碎砖、碎石、混凝土块等为填充料, 在持力层内夯扩加固挤密形成的多种材料组成的复合体。载体由干硬性混凝土、填充料、挤密土体三部分组成。其核心是基于深层土体的密实理论。

该桩与其它桩型的最大区别在于它不是通过桩身形状、桩径、桩端面积的改变来提高承载力, 而是利用柱锤对填充料进行夯实挤密, 挤密区土体受到很大夯击能量对侧向周围影响土体施加侧向挤压力进行有效加固挤密, 土体变得密实, 变形模量有较大提高, 所以较大幅度地提高地基承载力。

载体受力与传统夯扩桩的受力是完全不同的, 夯扩桩靠桩侧与桩端扩大头承载, 而载体桩施工完毕后, 深层载体为直径 2~3m、厚约 3~5m 的密实混合体(砂层除外), 载体桩的承载特性是受力扩散, 因此它是一种扩展基础。桩身将上部结构荷载传递到载体, 再由载体传递并扩散到承载力高的持力层土体, 承载力的验算可以等效为扩展基础的承载力验算。当承台梁下采用载体桩时, 桩端载体等效为在桩端深度形成一条形基础; 当独立柱基下采用载体桩, 桩端载体等效为桩端深度处的深层独立基础; 当采用满堂布置载体桩时, 桩端载体在桩底等效为桩端深度处的筏板基础, 故载体桩施工工艺实际上是一种将条形基础、独立基础、筏板基础等进行深层施工的技术。

该技术关键之处主要有三点:

1) 在桩端形成载体, 通过载体承载而非通过桩侧侧阻和端阻承载;

2) 是桩身承受的集中荷载通过“载体”的分层扩散作用, 消除了桩端的应力集中现象, 将桩端的应力水平逐层降低至天然土体能够承受的程度, 从而改善了土体的受力状态, 提高了桩的承载能力;

3) 由于其受力主要来源于载体, 受荷时, 通过桩身将荷载传递到深层土体, 因此采用该技术具有承载力高的特点。并且由于施工过程中通过三击贯入度的指标进行控制, 使基础和地基的沉降变得更加均匀, 减少了建筑物的不均匀沉降。

1.2 载体桩技术特点

1) 该桩型具有桩基的承载特性, 可采用承台梁直接将上部结构荷载传递到桩基上, 建筑物基础结构形式简单、经济;

2) 单桩竖向承载力高, 是同等普通灌注桩承载能力的 3~5 倍。并且可通过调整施工控制参数调节单桩的承载力;

3) 施工工艺简单, 施工质量易控制。施工中, 无需场地降水、基坑开挖等工序, 减少了工程量, 缩短了工期。施工速度快, 安全文明。处理一栋 5000m² 的楼房地基, 仅需要 10~5d;

4) 该技术可消纳大量的建筑碎砖、混凝土块等, 变废为宝, 保护环境, 利国利民。在施工过程中, 具有无污染、低噪声等特点;

5) 适用范围广泛, 尤其对深部才有砂层, 浅部具有相对较好粉质粘土土层、表层回填土建筑垃圾等较厚场地, 其优势更为明显。

1.3 载体桩的局限性

- 1) 当土层中存在硬夹层时, 普通锤击跟管困难, 必须采用螺旋钻引孔施工;
- 2) 该工艺会对周围建筑和管线产生一定的挤土效应;
- 3) 在填料夯击过程中有轻微振感。

2 沈北地区的地质情况

沈阳市区北部地区从东至西分别为辉山农业开发区、虎石台地区、道义开发区和于洪区北部。工程地质条件比较相近, 都是粉质粘土为主, 东部个别地区靠山部分岩层较浅, 其余地区砂层埋深都超过 15m。其土层分布如下 (表 1)。

土层分布

表 1

地层名称	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_s (MPa)	层厚 (m)
杂填土	-	-	1~1.5
粉质粘土	170	5.1	2~2.5
粉质粘土	110	3.6	2.5~3.5
粉质粘土	160	4.2	5~7
粉质粘土	180	5.7	4~6

一般情况下, 可见两层地下水, 即上层滞水和承压水。上层滞水水位为自然地面下 3.5~4.5m 并受季节影响水位变化较大。承压水的初见水位一般与砂层深度相同, 稳定水位为 8m, 水样分析结果表明: 地下水对钢结构具有弱腐蚀性, 对混凝土无腐蚀性, 对钢筋混凝土结构中的钢筋无腐蚀性。

3 几种桩型在沈北地区的经济性比较

3.1 沈阳地区常规地基处理技术的介绍

由于地质情况的限制,沈北地区多采用桩基础。目前有螺旋钻孔超流态桩(简称超流态桩)、静压桩、载体桩、水泥搅拌桩加筏板和 CFG 桩加筏板等形式。

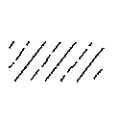
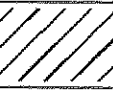



由于超流态桩和静压桩都是常规的摩擦桩或端承桩,在侧摩阻较小时,桩端必须进入砂层或强风化岩层,这样在沈北地区桩长必须要达到 15~20m,造价较高,无可比性。水泥搅拌桩加筏板一般是传统采用的基础形式,特别是在多层的砖混结构中应用的比较广泛。随着这几年载体桩的推广应用,已开始取代了传统工艺,特别是水泥搅拌桩地础处理,人为因素大、施工中不好控制,经常出现质量问题,而载体桩是承载力高、可控、且造价低,已在沈北地区广泛应用,近百个项目都采用了载体桩技术,如辉山的大溪地、山水绿阁、中体花园、工人疗养院、徐福记食品、炮校经济适用房;虎石台地区的斯沃电器、中地名都、中德国际花园、辽宁经济管理学院、沈阳软件学院、辽宁美术学院、沈阳电子学校;道义和四台子地区的武警边防总队、正良佳苑、东川一期的时尚雅居、东川二期的文欣澜庭、武警总队经济适用房、梅江世纪城;于洪北区的八家子热源厂、下坎子村经济适用房、军区 767 仓库、格林春晓、绿园雅舍等。

3.2 经济对比

为对比不同技术方案的经济造价,我们以一实际工程梅江世纪城基础方案进行分析对比。该工程位于沈阳叁台子地区,11 层,框架结构,建筑面积 6 万多平米。其地质情况从上至下依次为杂填土①、粉质粘土②、粉质粘土③、粉质粘土④,具体以 75 号孔为例描述地质情况如表 2。

世纪城钻孔柱状图

表 2

工程名称			梅江世纪城		
钻孔编号			75		
稳定水位深度			7.6m		
地层 标号	底层 深度	分层 厚度	柱状图	岩土名称及其特征	主要指标
①	1.0	1.0		杂填土: 杂色, 主要由粘性土、砖头、砂土等组成。局部含生活垃圾, 松散、稍湿	
②	3.0	2.0		粉质粘土: 黄褐色、可塑, 干强度中等, 韧性中等	$E_s = 6.8, e = 0.68, I_L = 0.25$ $f_{ak} = 180 \text{ kPa}$
③	5.3	2.3		粉质粘土: 黄褐色、可塑、局部软塑	$E_s = 4.4, e = 0.87, I_L = 0.77$ $f_{ak} = 130 \text{ kPa}$
④	14.3	9.0		粉质粘土: 黄褐色、可塑, 干强度中等, 韧性中等	$E_s = 5.3, e = 0.76, I_L = 0.40$ $f_{ak} = 160 \text{ kPa}$
⑤	15.0	未穿透		粉质粘土: 黄褐色、可塑, 干强度中等, 韧性中等	$E_s = 5.9, e = 0.72, I_L = 0.40$ $f_{ak} = 200 \text{ kPa}$

3.2.1 方案一 地基处理+筏板基础

(1) 地基处理

1) 根据设计要求,地基土经过处理后承载力特征值 $f_{ak} \geq 220\text{kPa}$, 选用水泥搅拌桩进行处理, 桩径 $\phi 500\text{mm}$, 桩间距为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。

2) 承载力计算: $d = 500\text{mm}$, 桩长 $l = 6\text{m}$, $s = 1000$ $R_a = 120\text{kN}$

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} = \frac{0.5^2}{(1.13 \times 1)^2} = 0.2$$

$$f_{spa} = 0.2 \times \frac{120}{0.1962} + 0.75 \times (1 - 0.2) \times 180 = 230 \text{ kPa}$$

满足设计要求。

3) 造价计算: 处理面积: $14 \times 50 = 700\text{m}^2$ 总桩数: 700 根。

造价: $700 \text{ 根} \times 6\text{m} \times 38 \text{ 元/m} = 159600 \text{ 元}$

(2) 筏板基础

筏板设计为 800 厚 (双面双向配筋)。

砼量 = $13.6 \times 49.9 \times 0.8 = 542.9\text{m}^3$ 。

筏板造价 = $542.9 \text{ 立方米} \times 900 \text{ 元/立方米} = 488610 \text{ 元}$

(3) 造价总汇

地基处理+筏板基础 = $159600 \text{ 元} + 488610 \text{ 元} = 648210 \text{ 元}$

3.2.2 方案二 载体桩+承台 (载体桩单桩承载力特征值为 700kN)

(1) 承台砼量: 348.23 立方米, 每立方米 650 元

(2) 承台造价 = $348.23 \text{ 立方米} \times 650 \text{ 元} = 226350 \text{ 元}$

(3) 载体桩:

1) 载体桩承载力计算: 载体桩持力层选在第 4 层粉质粘土, 桩长 6m。 A_e 选 2.1m^2 。

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 160 + 1.6 \times 19 \times 6 = 342\text{kPa} \text{ (桩顶埋深约 } 1\text{m, 修正深度按 } 6.5\text{m} \text{ 计算)}$$

$$R_a = f_a \cdot A_e = 718\text{kN}, \text{ 取 } 700\text{kN}$$

2) 造价: 1#楼共有载体桩 235 根, 载体桩单价为 1500 元/根, 桩造价 = $235 \text{ 根} \times 1500 \text{ 元/根} = 352500 \text{ 元}$

(4) 造价汇总:

载体桩+承台 = $352500 + 226350 = 578850 \text{ 元}$

3.2.3 方案三 压灌桩+承台 (压灌桩单桩承载力特征值为 700kN)

(1) 承台基本与载体桩相似

(2) 压灌桩

本地区砂层埋深超过 20m, 持力层选在第 5 层土。

极限端阻力标准值 $q_{pk} = 650\text{kPa}$, 极限侧阻力标准值 $q_{sik} = 45\text{kPa}$, 桩径选 $\phi 600$, 桩长选 15m。

$$\text{则: } R_a = \frac{1}{2} \times (q_{pa} \cdot A_p + \sum q_{sik} \cdot l_i) = \frac{1}{2} \times (650 \times 0.2826 + 45 \times 14) = 685\text{kN}$$

压灌桩每根造价 = $15\text{m} \times 0.2826 \times 800 \text{ 元/m}^3 = 3391 \text{ 元}$

远高于载体桩 (每根 1500 元的造价)

● 结果分析

通过方案三与方案二比较,在桩基方案中,载体桩是最经济的。

方案一与方案二直接经济差别为

$$\frac{648210 - 578850}{578850} = 12\%, \text{ 即方案二比方案一节省 } 12\%。$$

4 结论

针对沈北地区的地质条件,并通过载体桩在该地区 100 余个工程实际应用,我们总结的经验是:在单桩承载力特征值确定上,桩端选在 120kPa 至 180kPa 的土层上, $\phi 400$ 直径载体桩单桩承载力特征值可达到 600kN 至 800kN, $\phi 480$ 直径的桩可达到 700kN 至 1000kN。用在条形基础或独立柱基础上正好适用,既可减少地梁的体积,又能缩小承台尺寸。总之在多层和小高层建筑中采用载体桩技术即能保证质量提高承载力安全系数,又能降低造价,消除建筑垃圾,是节能、环保,优质、经济的最佳选择。

参考文献

- [1] 北京波森特岩土工程有限公司. 载体桩成套技术研究报告[R]. 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 沈阳勘察院. 梅江世纪城岩土工程勘测报告 [R]. 2004.
- [4] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规程 (JGJ94-2008) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

载体桩与天然地基的经济分析

王中军¹，赵志强¹，杜浩瀚²，张尊刚³

(1. 新乡市建筑设计研究院 河南 新乡 453000; 2. 河南机电高等专科学校 河南 新乡 453000;

3. 河南顺成建设工程管理有限公司 河南 新乡 453000)

摘要: 岩土工程勘察报告, 在天然地基满足上部荷载要求的情况下, 很少提供桩基的设计参数, 但在某些情况下采用载体桩比天然地基更节约成本, 本文通过一工程实例, 进行载体桩与天然地基造价的对比, 为同类工程的勘察设计提供了一些建议。

关键词: 载体桩; 持力层; 天然地基; 经济效益

0 引言

岩土工程勘察报告是地基基础设计的基本依据, 岩土工程勘察报告提供的岩土物理力学指标、地基基础分析评价等是否正确、全面, 将直接影响到基础设计方案的合理性。岩土工程师依据场地的岩土物理力学指标及设计单位提供的岩土工程勘察委托书对场地的地基及基础进行分析评价, 提出几种合理的基础形式供设计参考。一般在天然地基满足上部荷载设计要求的情况下, 很少再提出地基处理和桩基方案, 认为采用地基处理或桩基会增加工程造价, 其实, 若认真分析建筑物的场地、地基基础和上部结构, 选用合理的桩基类型, 不但不会增加工程造价, 反而会节约工程造价。下面就载体桩基础的使用与天然地基基础进行对比, 分析使用载体桩基础的经济优越性。

1 载体桩简介

载体桩是近几年发展起来的一种较新施工工艺的桩型。该工艺首先选择理想的桩端持力层。通过对桩端土进行挤密和灌注混凝土, 形成载体扩展基础, 上部荷载通过桩身传到载体, 并扩散到载体基础底部的持力层。载体桩的基本成桩原理为: 先采用柱锤夯击成孔, 将护筒沉到设计标高, 再用柱锤夯击出护筒到一定深度; 然后分批向孔内投入填充料, 测三击贯入度, 满足设计要求后, 夯实干硬性混凝土, 反复夯实, 挤密, 在桩端形成载体; 放置钢筋笼, 灌注混凝土成桩。载体桩的主要优点有:

- 1) 通过填料, 夯击挤密土体形成复合载体, 提高了单桩承载力。通常情况下, 其承载力是同条件下相同桩径和相同桩长普通混凝土灌注桩的 3~5 倍;
- 2) 在同一施工场地, 在不改变桩长、桩径的前提下, 可根据不同的设计要求, 通过调整施工参数来调节单桩承载力;
- 3) 施工机械轻便, 移动灵活;
- 4) 施工进度快, 工期短;
- 5) 施工过程中无泥浆产生, 同时还消耗大量的建筑垃圾和工业废料, 保护了建筑环境;

6) 造价经济。

2 工程实例

某教学实验楼东西长 76.5m，南北宽 21.6m，五层框架结构，最大柱网间距 5000mm×9000mm。岩土勘察报告揭示，各土层物理力学指标见表 1。

土的物理力学指标

表 1

土层	层底埋深 (m)	W (%)	γ (kN/m ³)	I_L	e	E_s (MPa)	f_{ak} (kPa)
粉质黏土	4.0~5.6	28.0	18.82	0.440	0.848	4.3	95
粉土	4.9~6.1	24.5	19.20	0.744	0.777	6.4	130
粉质黏土	5.7~7.8	23.2	19.74	0.500	0.700	5.5	85
③ ₁ 粉质黏土	7.9~8.8	19.6	19.80	0.100	0.643	6.6	200
④ 粉土	6.5~9.4	20.3	20.55	0.600	0.590	12.2	180
⑤ 粉砂	9.1~12.5	17.0	20.57	-	0.525	39.3	290
⑥ 细砂	12.7~14.6	-	-	-	-	26.5	280
⑦ 粉质黏土	13.6~15.5	32.1	19.10	0.500	0.888	6.0	170
⑧ 细砂	未揭穿	-	-	-	-	38.0	300

2.1 筏板基础设计方案

地基基础分析评价为：上部荷载平均值为 70kN/m²，拟定基础埋深 1.6m，基础将位于第①单元层粉质粘土层，其承载力特征值 95kPa，经深度修正后地基承载力特征值 $f_a=115.6\text{kPa}$ ，柱网间距 5000mm×9000mm 跨度时要求单柱下基础面积不应小于 24.5m²。岩土勘察报告建议采用筏板基础。筏板基础设计如图 1。

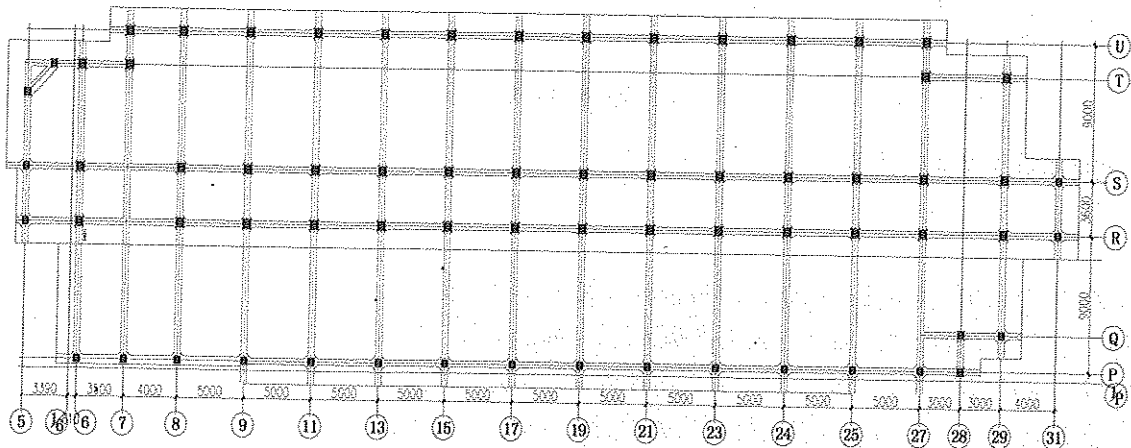


图 1 筏板基础设计方案 (单位: mm)

2.2 载体桩基础设计方案

施工前有关单位进行图纸会审，笔者提出若使用载体桩基础可能会比筏板基础节约造价 30%左右，业主经分析论证后，要求按载体桩重新做方案，并要求勘察单位重新提供载体桩设计参数。

(1) 载体桩单桩承载力特征值计算

岩土工程勘察补充报告提供的载体桩设计参数：选用第⑤层粉砂为桩端持力层，经深度修正后的载体桩持力层地基承载力特征值 $f_a=650\text{kPa}$ ，以第④层粉土为被加固土层，孔隙比为 0.525，三击贯入度控制为 20cm 时，等效桩端计算面积 A_e 取 1.8 m^2 ，根据第④层层底埋深 6.5~9.4m，桩长取 6.0~9.0m，平均 7.5m，设计桩径 420mm，根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 估算单桩承载力特征值如下：

$$R_a=f_a\times A_e=650\times 1.8=1170\text{kN}, \text{实际设计取 } R_a=1000\text{ kN}.$$

$$\text{桩身混凝土强度验算: } Q\leq 0.7f_cA_p, \text{取 } Q=1350\text{ kN}, A_p=3.14\times 210\times 210=138474\text{ mm}^2$$

$$f_c=1350\times 10^3/0.7\times 138474=13.92\text{ N/mm}^2, \text{取 } f_c=14.3\text{ N/mm}^2, \text{桩身强度为 C30 满足要求.}$$

桩身配筋为主筋 $6\Phi 14$ ，箍筋采用 $\Phi 6@200$ ，桩顶 2.0m 范围内加密，配筋率为 0.67%，满足要求。

(2) 载体桩基础设计方案

依据上部荷载分布及估算单桩承载力，设计载体桩基础方案如图 2。

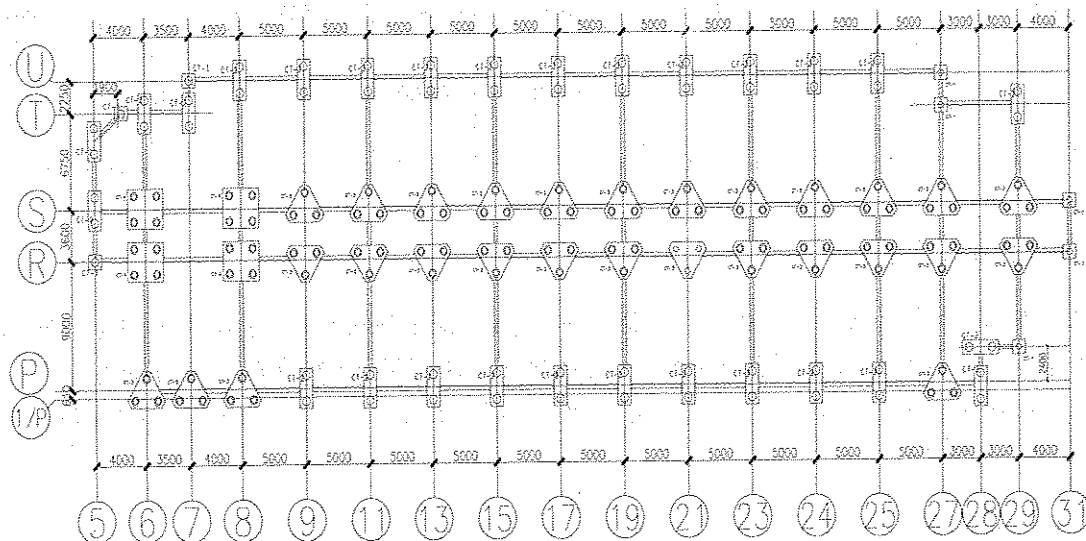


图 2 载体桩基础设计方案

3 载体桩施工及质量检验

3.1 施工

选用专业的载体桩施工队伍，严格按照《载体桩设计规程》及《载体扩桩施工及验收规程》进行施工，监理工程师旁站监理。施工步骤为：1) 移机就位；2) 通过柱锤夯击成孔；3) 利用卷扬反压护筒，将护筒沉到设计标高；4) 分批向孔内投入填充料反复夯实、挤密，并通过三击贯入度进行密实度控制；5) 当三击贯入度满足设计要求后，再填入干硬性混凝土，形成载体；6) 放置钢筋笼，灌注混凝土，并利用震捣棒进行震捣。

3.2 检测

经化工部基础工程研究检测中心检测，共做载荷试验 3 组，最大沉降量 10.54mm，均未破坏， $Q-s$ 曲线见图 3。桩身完整性检测，一类桩 94.7%，二类桩 5.3%，无三、四类桩。整体工程质量满足要求。

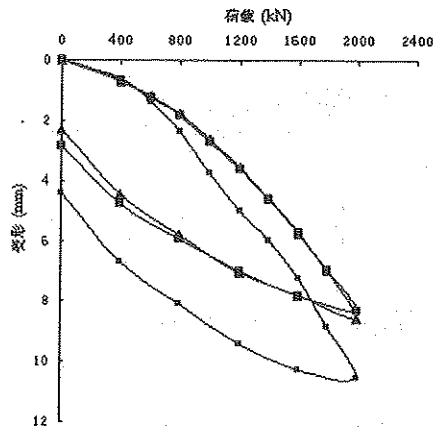


图3 载体桩 $Q-s$ 曲线

4 经济分析

针对两种基础方案, 业主委托专业造价公司分别做预算, ± 0.00 以下两种基础形式造价分析如表 2。

两种基础方案经济分析对比

表 2

基础类型		混凝土 (m^3)	钢筋 (t)	造价 (万元)	± 0.00 以下造价 (万元)
方案一: 筏板基础	筏板基础	879.9	110.8	77.5	83.3
	基础垫层	190.5	-	5.8	
方案二: 载体桩基础	载体桩+检测	216.8	11.3	25.6	52.2
	承台+梁+垫层	351.3	26.8	27.6	

从表 2 可以看出, 采用载体桩基础比采用天然地基筏板基础 ± 0.00 以下对比可节约造价 37.3%, 具有显著的经济效益。

5 结束语

(1) 岩土工程勘察报告对地基基础的分析评价, 在天然地基满足上部荷载要求的情况下, 一般建议使用天然地基, 但仍要提供经济可靠的桩基设计参数, 为设计单位合理选择基础形式提供可靠依据。

(2) 对地基、基础和上部结构分析论证后, 若方案选择合理, 采用桩基础比天然地基更节约造价。

(3) 载体桩基础作为经济可靠的新型桩基础, 有很好的推广价值和前途。

参考文献

- [1] 唐业清. 简明地基基础设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范 (GB50021-2001) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 (GB50007-2002) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规范 (JGJ94-2008) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [5] 中华人民共和国行业标准. 复合载体夯扩桩设计规程 (JGJ/T135-2001) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ/T135-2007) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

载体桩在哈尔滨江北大众国际公寓建筑中的应用

杨立杰¹, 孟宪君²

(1. 哈尔滨波森特建筑安装工程有限公司, 哈尔滨 150000; 2. 哈尔滨理工大学, 哈尔滨 150000)

摘要: 载体桩技术是一种新型的技术, 在哈尔滨地区由于其土层适用, 造价低廉, 非常适合推广, 本文通过载体桩在哈尔滨江北大众国际公寓建筑的应用, 介绍了该桩的特点及经济效果。

关键词: 载体桩; 承载力; 沉降; 检测; 经济对比

0 前言

载体桩是一种近几年发明的新的施工技术, 由于其具有承载力高、造价低廉、施工快捷和质量易控制等特点, 其一推广便迅速被广泛采用, 尤其在哈尔滨地区, 在浅层地区存在一相对较好的土层—砂层, 该土层可以作为载体桩的持力层。设计载体桩, 桩长短, 承载力高, 往往是常规桩技术的2~3倍, 其经济效果非常明显, 非常适合载体桩基础的应用。本文以一实际工程为例介绍载体桩在该地区的应用, 供设计人员参考。

1 工程概况

哈尔滨市江北大众国际公寓位于哈尔滨市江北利民开发区南京路与远东大街交汇处, 为松花江北岸冲积河谷平原的高漫滩, 拟建建筑物24层, 无地下室。土层工程地质力学指标参见表1, 地下水位自然地坪下3.6m, 持力层为③层细砂层, 自然地坪标高116.66m。

各土层力学指标

表1

土层	γ (kN/m ³)	w (%)	E_s (MPa)	q_{sia} (kPa)	f_{ak} (kPa)	e	I_L
①粉质粘土	19.0	31.2	4.6	10	130	0.882	0.97
②粉砂	-	-	-	11	130	-	
②-1 粉土	-	-	-	11	110	-	
②-2 粉质粘土流塑	18.2	33.4	3.87	10	120	1.043	1.19
②-3 粘土	15.3	44.5	2.56	10	110	1.892	1.3
③细砂	-	-	24	11	140	-	
④中砂	-	-	33	-	180	-	

2 载体桩基础的设计

现以 9#楼为例, 该工程为砖混结构, 地上六层 18m, 设计要求单桩 $R_a=700\text{kN}$, 桩径 410mm, 桩间距 1.6m。

2.1 参数的确定

9#楼桩身底端位于②层粉砂, 持力层为③层细砂层, 持力层标准值: $f_{ak}=140\text{kPa}$ 。建筑物±0.00 相当于绝对标高 117.50m, 基底标高-7.35m, 相当于绝对标高 110.15m, 桩身底距③层 0.5m, 有效桩身长 $L=5.0\text{m}$, 计算深度 $D=7.0$, 桩径 410mm, 桩身混凝土 C25, 桩身配筋 $6\Phi 12$, 箍筋 $\Phi 6.5@100/200$, 土的平均有效重度 18 kN/m^3 。根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) $\eta_d=3.0$ 。

2.2 单桩承载力计算

根据《载体桩设计规程》(JGJ/135-2007) 计算单桩承载力的特征值, 因有地下水, 深度修正 η_d 按粘土修正取 1.0。

$$\begin{aligned} f_a &= f_{ak} + \eta_d(D-0.5)\gamma_0 \\ &= 140 + 1.0 \times (7-0.5) \times 13.5 \\ &= 227.8\text{ kPa} \quad (13.5 \text{ 为加权平均重度}) \end{aligned}$$

取三击贯入度小于 10cm, 根据规程查表 4.3.2 可知 $A_0=3.3\text{m}^2$, 则 $R_a=227.8 \times 3.3=751.74\text{kN} > 700\text{kN}$, 满足设计要求。

2.3 桩身强度验算

根据《载体桩设计规程》(JGJ/135-2007) 或 4.3.3, 桩身砼强度等级为 C25。
 $0.75f_c A_p = 0.75 \times 11.9 \times 400 \times 400 \times 0.785 / 1.35 = 830\text{ kN} > 700\text{kN}$, 满足设计要求。
经设计计算 9#楼共布桩 432 根, 部分布桩如图 1 所示。

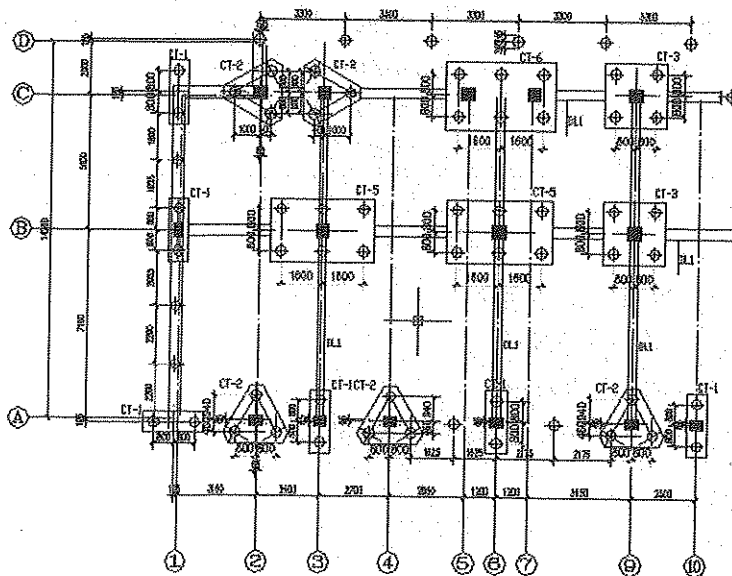


图 1 部分基础布桩图

2.4 沉降计算

载体桩桩端部可看作为一扩展基础，基础底面积为外围载体所形成面积的总和。基底附加应力为群桩轴力之和除以面积总和。对于四桩承台基础，桩端附加应力为 $4 \times 700 / 12.3 = 227.6 \text{ kPa}$ ，按等效圆计算圆中点沉降，圆半径取 2m。

根据《建筑地基基础设计规范》5.3.5 条的规定，取 $\phi_s = 0.7$ 。

2.4.1 计算公式

$$s = \psi_s P_0 \sum (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) / E_{si}$$

式中： P_0 为对应荷载准永久组合压缩层顶部的平均附加应力 (kPa)； E_{si} 为沉降计算范围内第 i 层土的压缩模量 (kPa)； ϕ_s 为沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定； z_i 、 z_{i-1} 分别为复合载体底面至第 i 、 $i-1$ 层土底面的距离 (m)； $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ 分别为 i 、 $i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数，可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007) 规定采用。

2.4.2 沉降计算

$$p_0 = 700 \times 4 / 12.3 = 227.6 \text{ kPa}$$

沉降计算工程地质参数见表 1，沉降计算结果见表 2，其中 ϕ_s 取 0.7，基底附加应力 $p_0 = 227.6 \text{ kPa}$ 。基础中心点沉降最大，经计算沉降量为 20.594mm，计算深度为 10m。

沉降计算结果

表 2

Δz	z/γ	$\bar{\alpha}_i$	E_s (MPa)	Δs mm	$\Sigma \Delta s$	z_i	$z_i \bar{\alpha}_i$	$z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}$
0.00	0.0	1	24			0		
1.00	0.5	0.974	24	8.616	9.24	1	974	0
1.00	1.0	0.878	24	7.42	16.655	2	1756	782
1.00	1.5	0.762	24	5.026	21.68	3	2286	530
1.00	2.0	0.658	33	2.38	24.06	4	2632	346
1.00	2.5	0.574	33	1.64	25.7	5	2870	238
1.00	3.0	0.507	33	1.18	26.88	6	3042	172
1.00	3.5	0.453	33	0.889	27.769	7	3171	129
1.00	4.0	0.409	33	0.696	28.465	8	3272	101
1.00	4.5	0.372	33	0.524	28.989	9	3348	76
1.00	5.0	0.341	33	0.427	29.42	10	3410	62

2.4.3 沉降验算

$$0.025 \Sigma \Delta s_i = 0.025 \times 29.42 = 0.7355 \text{ mm}$$

$$\Delta s_{10} = 0.427 < 0.7355 \text{ 满足规程要求。}$$

$$s = \psi_s \Sigma \Delta s = 0.7 \times 29.42 = 20.594 \text{ mm}$$

基础中心点沉降最大，经验算沉降量为 20.594mm。

3 载体桩施工及检测

3.1 检测

在大众国际公寓工程中施工所用的机械为液压步履式夯扩桩机，载体桩共计 4500 余根。桩基础

施工结束后,分别采用静载荷试验和低应变对桩质量进行检测,检测结果为静载荷全部达到设计要求,桩身质量检测一类桩达95%以上,没有出现三类桩。

3.2 施工

载体桩施工除正常施工外,如何封住地下水是载体桩施工的关键所在。由于被加固土层多为淤泥质土及粉砂,所以在施工中我们采取以下措施封水:

(1) 沉护筒时,在护筒内先填入一定量的砖带护筒沉下,此作用是封堵地下水受外作用下被置换出来过多的空隙水造成地面塌陷;

(2) 置换出来部分空隙水后,有利于填塞、密实,利于封水;

(3) 在填料过程中填入部分水泥;

(4) 当护筒沉至设计标高后向筒内填满碎砖,用锤压住提出护筒,再进行第二次沉管。

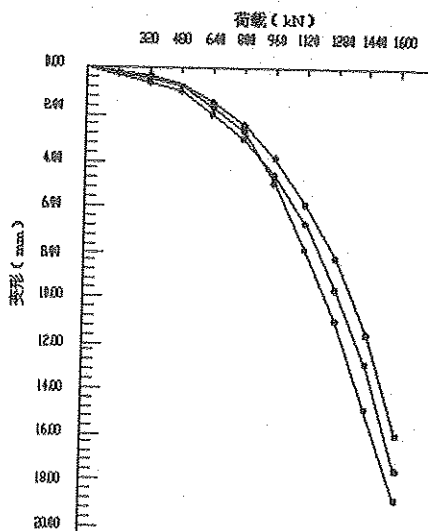


图2 部分试验桩的静载荷试验曲线

4 方案比较

大众新苑根据地勘资料可采用沉管灌注桩和静压桩,但用载体桩24栋楼给开发单节约资金100万元以上。在工期方面,由于载体桩承载力较高,比普通桩工程量要小,而且机械耗电量又小,在保证机械数量条件下,大大缩短了工期。施工现场为干作业区,不需降水也无泥浆排放,施工现场文明环保,同时消耗大量的建筑垃圾,变废为宝。

5 结论

- (1) 载体桩作为一种新型桩基,是一种经济、有效、可靠、先进的处理地基的施工方法。
- (2) 在同等条件下载体桩承载力是普通桩承载力的3~5倍,节省投资。
- (3) 载体桩的施工方法简单,利于操作,变废为宝,保护环境,具有显著的经济效益和社会效益。
- (4) 载体桩的施工不受地下水的影响,具有施工速度快,成桩质量好的特点。
- (5) 适用范围广泛,尤其对浅部具有相对比较好土层的地区,而表层杂填土较厚的地层,其优势更为明显。

参考文献

- [1] 载体桩设计规程 (JGJ135-2007). 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 建筑地基基础设计规范 (GB 50007-2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 建筑桩基技术规范 (JGJ 94-2008). 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

载体桩在南通某工程中的应用

陈 娟

(南通市建筑设计研究院有限公司, 江苏 南通 226006)

摘 要: 本文介绍了载体桩的设计原理, 通过在南通地区首例德诚嘉园工程应用实例说明载体桩具有较高的竖向承载力和很好的经济和社会效益, 在浅层有较好持力层的软土地基中也具有广泛的运用前景。

关键词: 载体桩; 设计; 应用; 检测; 效益分析

1 载体桩的基本原理

载体桩由两部分组成, 上部的钢筋混凝土桩身和下部的载体。它采用柱锤夯击成孔, 将护筒沉到设计标高后, 柱锤击出护筒底一定深度后分批向孔底内投入填充料和干硬性混凝土, 并用柱锤反复夯实、挤密, 在桩端形成载体, 最后放置钢筋笼, 灌注桩身混凝土而成桩。载体桩大样如图 1 所示。

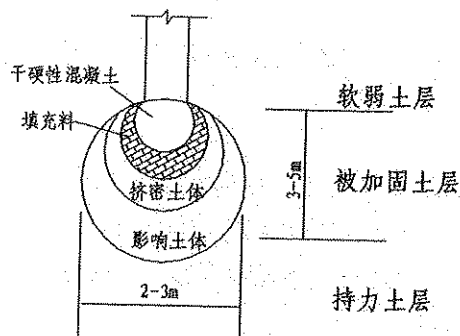


图 1 载体桩桩身结构图

载体桩的最大特点是通过夯击填充材料, 对桩端土体进行挤密加固和扩大桩端面积双重作用。当浅土层为软弱土层(软弱土层指不能满足上部结构对承载力和变形要求的土层), 而下层有一定厚度的较好土层时, 它具有突出的优势。影响载体桩竖向承载力的最大因素是被加固的桩端持力层的性质。此层土应具有一定的承载力, 良好的挤密性, 并有足够的厚度、稳定的层面和适宜的埋深。

2 设计及施工顺序

2.1 工程概况

南通德诚房地产有限公司德诚嘉园 4、7 号楼工程位于南通市经济技术开发区新开南路以东、振

兴路以南, 4、7号楼为小区内两幢6+2多层住宅。该建筑物位于场地内明河之上, 明河区填土最大厚度3.5m, 北边为居民区, 为避免静压桩机下沉及夯扩桩的施工扰民。经综合比较, 本工程选用高承载力、低成本、环保型、无噪音的载体桩。

2.2 各土层主要物理力学指标

场地各土层主要物理力学指标见表1。

各土层主要物理力学指标

表1

层序	土层名称 土名	平均 层厚 (m)	含水量 w (%)	天然重度 γ (kN/m ³)	压缩 系数 a_{1-2} (MPa ⁻¹)	压缩 模量 E_{s1-2} (MPa)	抗剪强度		地基承载力 特征值 f_{ak} (kPa)
							内聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)	
①	素填土	1.0	-	-	-	-	-	-	80
②	粉土	1.4	30.0	19.1	0.17	11.49	16.4	7.2	125
③	粉砂	2.0	28.3	19.3	0.11	16.48	4.0	29.7	150
④	粉土夹粉砂	7.6	31.4	18.9	0.15	13.90	7.9	22.4	140
⑤	粉砂夹粉土	4.5	31.1	18.9	0.14	14.90	3.5	24.5	160
⑥	粉砂	3.5	28.3	19.1	0.11	17.26	3.2	29.0	190
⑦	粉质粘土	19	35.5	18.0		5.81	25.3	3.8	100

2.3 载体桩的设计

(1) 单桩竖向承载力的估算

根据行业标准《载体桩设计规程》(JGJ/T135-2007)^[2], 其单桩竖向承载力特征值由下式估算:

$$R_a = f_a A_e$$

式中: f_a 为载体下地基土承载力经深度修正后的特征值; A_e 为载体的等效计算面积。

根据南通勘察设计有限公司岩土工程勘察报告(2004089), 初步估算单桩竖向承载力特征值为700kN。2004年底在德诚嘉园工地上进行了南通地区第一次载体桩的试打, 以检测单桩承载力。由此开创了载体桩在南通应用的先河。

南通市兴业桩基检测有限责任公司对试打的3根桩进行了基桩质量检测, 报告编号0502005005, 试验加荷至1400kN后均由于配重有限而停止, 遗憾的是静载检测均未做到破坏。

(2) 桩的布置

载体桩与普通的锤击沉管夯扩桩在某些方面相类似, 都是利用地基浅部较好的持力层来提高桩基的竖向承载力。锤击沉管桩要求桩间距不小于1.5倍的扩大头直径^[3], 对于载体桩而言, 夯扩体直径一般均大于1.0m, 因此其间距应不小于1.6m, 同时, 我们又不希望相邻桩基下部被加固挤密土层相互影响重叠, 因而桩间距不应小于1.6~2.0m。根据工程经验, 对于砂土可取小值, 对于粘土可取大值。

另外, 对于短桩, 桩间距的选择应充分考虑是否会引起地面隆起。

根据南通市兴业桩基检测有限责任公司(0502005005号)基桩质量检测报告进行基础设计, 采用载体桩, 以④层粉土夹粉砂层为桩端持力层。桩顶标高-1.850m(见图2示), 按照试桩报告, 单桩竖向承载力特征值为700kN, 桩距1.6m。

2.4 施工工艺及顺序

载体桩的施工工艺为：将护筒加压下至设计标高，提起柱锤至 6m 以上，填入建筑垃圾（主要为旧砖），进行夯击。每次的填入量约为 0.01m^3 ，当三击贯入度满足设计标准时，再夯入 0.5m^3 的干硬性混凝土，将干硬性混凝土夯至设计桩底标高，放入钢筋笼，灌入混凝土，拔管，振捣成桩。值得注意的是，三击贯入度是保证载体桩承载力的最重要的指标，施工时必须严格执行。

工程桩施工时按三击贯入度控制在 150mm 以下，三击贯入度以 3.5t 重锤和 6.0m 落距为基准，锤径为 400mm 进行控制。三击贯入度控制后实际混凝土桩身长度只有 2.5m。

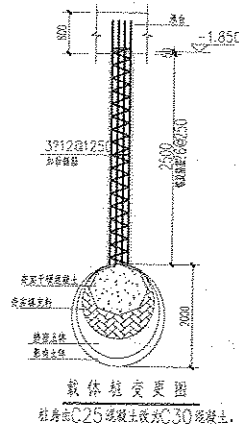


图 2 载体桩示意图

2.5 桩基检测

桩基施工结束后，南通市兴业桩基检测有限责任公司进行了 3 根桩的静载试验。静载试验结果终载加荷 1400kN 时，对应沉降量为 13.54~20.97mm，试验 $Q-s$ 曲线均未出现明显陡降，4 号-6 号桩 $Q-s$ 曲线见图 3-图 5^[4]，则单桩承载力特征值 (R_a) 取 700kN，对应沉降量为 6.80~13.79mm，满足设计要求。

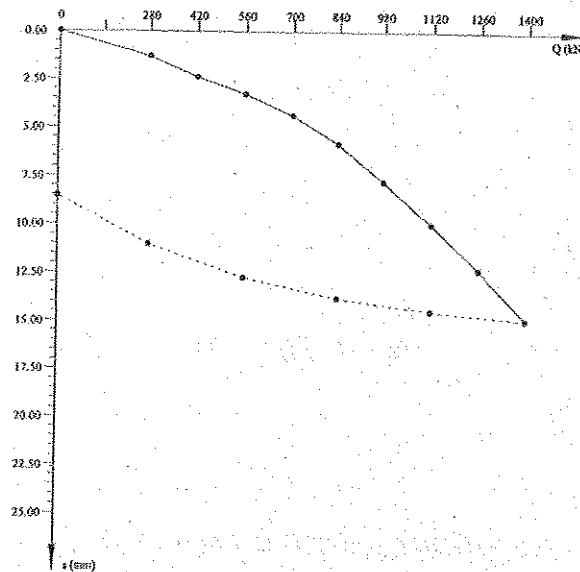


图 3 4 号桩 $Q-s$ 曲线

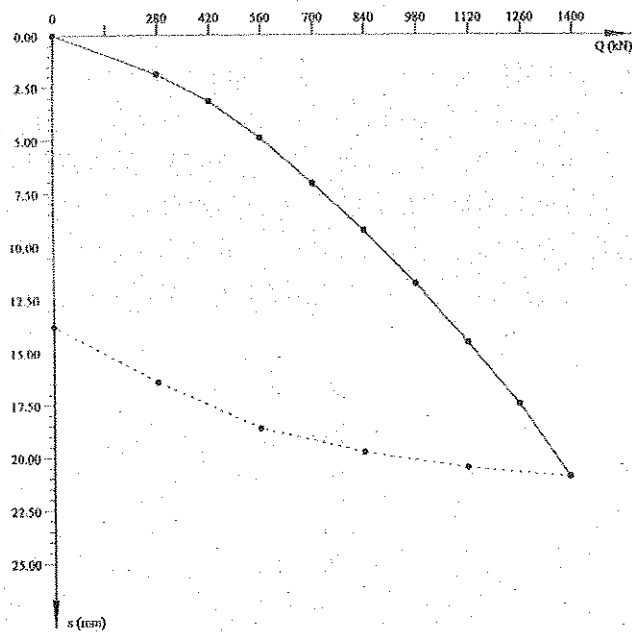


图4 5号桩 Q-s 曲线

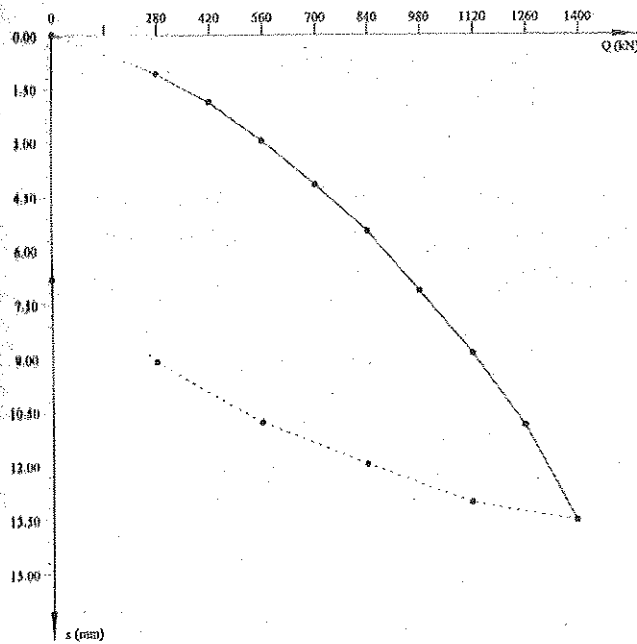


图5 6号桩 Q-s 曲线

3 效益分析

载体桩不必采用其他端承桩要求的具有较高承载力的地层为持力层，可缩短桩长，从而降低成本，在同等持力层条件下，载体夯扩桩通过对土体进行加固，可大大提高单桩承载力。因载体主要是用建筑垃圾施工，有利于环保，具有明显的社会效益。经过对比分析本工程采用载体夯扩桩比挖

孔桩可节省造价 30 余万元, 经济效益、社会效益显著。

4 结束语

(1) 从受力分析, 复合载体相当于等效扩展基础, 桩身相当于传力杆件; 通过调整三击贯入度、载体的影响深度, 实现土体的最优密实, 从而达到满足单桩承载力的设计要求。

(2) 与传统的锤击桩相比, 载体桩相对比较环保; 与静压桩相比, 场地要求一般, 无需硬化, 回填土平整即可。对土层的适用性较强, 流程可控性较好。

(3) 江苏南通地处长江下游冲击平原, 浅层一般有较稳定的持力层, 适宜载体桩的应用。由于施工设备较小, 流程可控, 对于地表松软、有河塘、回填区、土层较硬难以施工等地层更显适用性。

参考文献

- [1] 南通勘察设计有限公司岩土工程勘察报告 (2004089) [R].2001.
- [2] 中华人民共和国行业标准.载体桩设计规程 (JGJ/T135-2007) [s].北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 中华人民共和国行业标准.建筑桩基技术规范 (JGJ94-94) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [4] 南通市兴业桩基检测有限责任公司基桩质量检测报告 (05020050055-1) [R].2002.

载体桩在北京璟都馨园的应用

李玉朋¹, 杨静东²

(1. 北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218; 2. 北京市地质调查研究院, 北京 102206)

摘要: 结合璟都馨园工程载体桩的设计, 重点分析了杂填土地基的地基处理方案的选择和载体桩的设计、施工及检测, 实践证明, 载体桩在处理杂填土地基具有明显的经济效益。

关键词: 方案选择; 载体桩; 杂填土地基; 桩静载荷试验; 沉降观测

0 前言

载体桩施工技术, 由于承载力高、造价低, 在全国各地大量被采用。尤其是在杂填土地区, 由于杂填土承载力低, 且土的侧摩阻为零, 采用载体桩技术比其他桩基技术优势明显。本文以北京璟都馨园工程为例, 介绍了载体桩技术在杂填土地区的应用。

1 工程概况

1.1 工程简介

璟都馨园位于北京市石景山区八角北路, 总建筑面积约为 30 万 m², 包括 8#、19#、21#、23#、24#、25# 地块 50 多栋多层、高层建筑的大型普通民用住宅项目。为解决业主停车及人防要求, 每个地块均设有地下车库和人防设施, 车库为地下 2 层。

本工程住宅楼、商业楼、人防设施均为剪力墙结构, 地下车库为钢筋混凝土结构。基础采用载体桩基础, 共布桩 8000 余根, 单桩设计承载力特征值为 1000~1500kN。

1.2 地质条件

拟建场地地质条件比较复杂, 原为采砂石坑, 后经人工回填, 回填料主要为废钢渣及建筑垃圾。地貌单元属于永定河冲洪积扇中上部。勘探时揭露最低标高 37.33m (埋深 31.00m), 未见地下水。根据勘察结果, 拟建场地在钻探揭露深度范围内各土层物理力学指标见表 1。

各土层物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	f_{ka} (kPa)	q_{sia} (kPa)	q_{pa} (kPa)	E_s (Mpa)	$N_{63.5}$ (击)
①房渣土	10.5	50	-	-	7	9
① ₁ 炉灰填土	7.5	40	-	-	-	-
① ₂ 卵石-圆砾填土	1.5	100	-	-	15	-

土层	厚度 (m)	f_{ka} (kPa)	q_{sia} (kPa)	q_{pa} (kPa)	E_s (Mpa)	$N_{63.5}$ (击)
① ₃ 碎石填土	-	100	-	-	15	-
① ₄ 粘质粉土 砂质粉土填土	-	60	-	-	4	8
① ₅ 细中砂填土	-	80	-	-	7	6
① ₆ 钢渣填土	-	150	-	-	15	14
②卵石	-	250	-	3500	60	-
② ₁ 细粉砂	-	160	-	2000	25	17
③卵石	10.3	350	-	4000	110	-

2 方案的确定

由于杂填土承载力低、压缩性大且不稳定，不能直接作为建筑物的地基使用，必须进行地基处理或采用桩基础，常用的方案为：(1)大开挖后回填级配石；(2)人工挖孔灌注混凝土桩；(3)碎石桩复合地基。

大开挖后回填级配石的处理方法，回填量大、工期长、工程费用高。人工挖孔灌注混凝土桩基础受力性能可靠，不需大型机具设备，可直接检查桩底岩土层情况，单桩承载力高，无环境污染，在杂填土地区经常被采用，但是此桩型孔深较深，孔内空气稀薄，经常出现窒息的现象，需向孔内鼓风，施工较复杂；且在施工中容易塌方，安全性较差，需要做护壁，北京市明文规定一般情况不宜采用此工艺。

碎石桩复合地基包括柱锤冲扩碎石桩法和振冲碎石桩法。柱锤冲扩碎石桩法施工工艺简单，容易控制，但是地基处理深度浅，复合地基承载力特征值一般不超过 160kPa，不能满足本工程的要求。振冲碎石桩法采用高压水流冲击成孔，通过碎石置换土颗粒形成碎石桩复合地基。本工程勘察报告所揭露的地质情况显示，该场地杂填土深度为 7.6~20.0m，局部回填土中掺杂大量块石和钢渣，要处理如此深的地基，需要很高的水压力，施工困难，同时在施工过程中产生大量泥浆，污染了环境。鉴于以上各方案的缺陷，本工程拟采用载体桩技术。

载体桩是一种通过混凝土桩体将上部荷载传递到载体，再传递到深层土体的桩，相当于扩展基础。该场地上部为杂填土，下部一定深度为卵石层。由于不用考虑桩身侧摩阻，而卵石层可以作为载体桩很好的持力层，所以非常适合采用该工艺。相对相同桩长、桩径的普通灌注桩，载体桩具有以下优势：(1)单桩竖向承载力高；(2)施工工艺简单，施工质量易控制；(3)可消纳大量建筑垃圾，保护了环境；(4)工程造价低。

首先为了进一步验证载体桩的技术可行性，在工程开建之初，对 8#地块的会所进行了试验桩检测，会所共布桩 61 根，桩长 16.0m，设计单桩承载力特征值为 1200kN。对其中的 11#、30#、46# 桩进行了静载荷试验，对所有的桩都进了低应变动力测试。试验桩极限荷载沉降量最大 10.06mm，桩身完整性完好，完全满足设计要求。试验桩的 $Q-s$ 曲线及动测曲线见图 1。

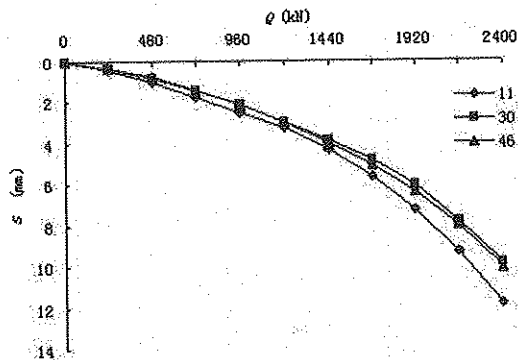


图1 $Q-s$ 曲线及动测曲线

其次对载体桩和人工挖孔桩进行了技术经济性比较, 见表 2。采用载体桩方案相对人工挖孔桩可以节省 20% 以上的造价, 具有明显的经济效益。

综合各种因素, 最后采用载体桩方案, 桩端持力层为卵石层, 桩径 450mm、500mm, 三击贯入度不大于 15cm。

技术经济性比较表

表 2

桩型	桩数 (根)	混凝土桩 (m)	单桩承载力特征值 (kN)	桩径 (mm)	工程量 (m ³)	综合单价	总价 (万元)
人工挖孔桩	31	18.0	2800	1000	438	850 元/m ³	37
载体桩	61	16.0	1200	500	192	4000 元/根	24.4

3 单桩承载力的计算 (21#地)

(1) 参数确定

根据地质条件, 采用载体桩基础。

以 7—7, 剖面 18 号钻孔为例进行计算, 孔口标高 70.50m。桩端持力层为第③层卵石层, $f_{ak}=350\text{kPa}$ 。桩端距持力层不大于 1.0m, 有效桩长为 6.5m

桩端土修正计算深度: $D=0.6$ (承台高度) + 6.5 + 2.0 (承载体高度) = 9.1m。

土的有效重度取: $\gamma_0=18.0\text{kN/m}^3$ 。

根据《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》(DJB01-501-92), $\eta_d=4.0$ 。

桩径 500mm, 桩身混凝土 C30, 桩身配筋 8 Φ 14, 箍筋 8@100/200。

(2) 单桩承载力估算

根据《载体桩设计规程》JGJ-2007, 由公式 4.3.2 (P9):

$$R_a = f_a A_e$$

$$f_a = f_{ak} + \eta_d (D - 1.5) \gamma_0 = 350 + 4.0 \times (9.1 - 1.5) \times 18.0 = 897.2\text{kPa}$$

取三击贯入度 8cm, 查表 4.3.2 (P10),

$$A_e = 1.7\text{m}^2$$

$$\text{则单桩承载力标准值: } R_a = f_a A_e = 897.2 \times 1.7 = 1525.3\text{kN}.$$

根据本工程上部结构荷载，单桩承载力标准值取 1500kN。

(3) 桩身强度验算

根据《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 式 4.3.3:

桩身强度 (C30): $Q \leq 0.75 f_c A_p = 0.75 \times 14.3 \times 103 \times 0.785 \times 0.52 = 2104.7 \text{ kN}$ 。

4 载体桩的施工

载体桩利用重锤冲击成孔，对周围土体进行挤密加固，当沉管到设计标高时，连续进行填料、夯实、挤密等操作，并用三击贯入度（锤重 35kN，上提 6.0m，自由落体时灌入的深度）作为控制指标，再填入干硬性混凝土，使桩端下深度为 3-5m 区域约 10m^3 的土体得到最有效的加固挤密，形成自上而下的干硬性混凝土、填充料、挤密土体组成的载体，然后再放置钢筋笼，灌注混凝土而成。

载体桩施工可分为两种：(1) 桩端底部直接进入③层卵石持力层，不用填料，在持力层直接夯击，直至三击贯入度满足设计要求；(2) 桩端底部不用进入持力层，在持力层上 1.5~2.0m 处夯击填充料形成扩展基础；后者比前者桩长短，节省材料，工效也高，同时消纳了建筑垃圾，降低了造价，见图 2。

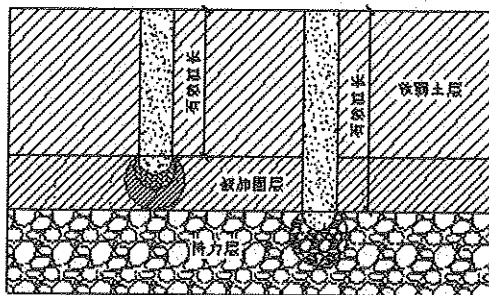


图 2 施工长度对比示意

5 载体桩的检测

21#地块按照相关规范要求抽取 10 根桩进行了静载荷试验，采用慢速维荷法，最大加荷 3000kN，最大沉降量为 33.16mm，均未达到破坏， $Q-s$ 曲线呈缓变形，为一条完整连续的平缓、匀滑曲线。根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94) 和《载体桩设计规程》(JGJ135-2007) 中有关条文规定试桩承载力特征值 $\geq 1500\text{kN}$ 。部分 $Q-s$ 曲线见图 3。

试桩参数及沉降量表

表 3

桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	三击贯入度 (cm)	填砖量 (块)	设计荷载 (kN)	对应荷载沉降量 (mm)	最大沉降量 (mm)
135	500	10.5	15	165	1500	10.93	33.16
317	500	6.2	6	185	1500	8.44	19.61
393	500	8.5	13	169	1500	9.83	29.62
546	500	9.0	9	176	1500	7.86	22.78

6 建筑物的沉降观测

经对 8#地的沉降观测，210 天沉降累计最大值为 19.9 mm，最大沉降差为 1.6mm，总的沉降量很小，充分满足规范的要求。S-T 曲线见图 4。

5 结语

(1) 载体桩具有承载力高、施工高效、质量易保障等特点;

(2) 载体桩施工时由于填入了干硬性混凝土,并在端部进行夯击,故在一般情况下,低应变反射信号呈反向反射;

(3) 与其它地基处理方案相比,采用载体桩能有效降低成本,尤其对于多、高层民用建筑,其优势更加明显,具有大规模推广的价值。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ135-2007) [s].北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 杨启安等. 载体桩的设计与计算[J]. 建筑结构, 2005, (增).
- [3] 中兵勘察设计研究院. 回龙观小区 C07 地质勘察报告[R]. 1999.
- [4] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基基础设计规范 (GB50007-2002) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

等能量等变形挤密渣土桩在北京动车段地基处理工程中的应用

郝树林

(北京铁建工程管理有限公司, 北京 100855)

摘要: 结合工程实例对等能量、等变形控制挤密渣土桩设计、施工及检测进行了阐述。该工艺技术先进、施工简单、质量易控制。在北京动车段地基处理工程中的成功应用表明该方法对提高地基承载力及控制变形效果显著, 具有较好的应用前景。

关键字: 渣土桩; 等能量; 等贯入度; 变形

1 工程地质条件

北京动车段检查、检修场位于北京市大兴区狼垡村及丰台区宝台村一带, 由检修车间、维修车间、存车场、外皮洗涮及其配套工程等组成。建筑场地东西长约 1650m, 南北长度约 728m。

根据调查及勘探揭示, 本场地中部区域大部分地段原为采砂场, 现为渣土及垃圾消纳场, 表层堆积厚层的建筑垃圾、生活垃圾; 由于场地内杂填土成份复杂, 颗粒不均匀, 回填的方法、时间有很大的随意性, 无地下水。场区内杂填土具有不均匀性、自重压密性、湿陷性、低强度性, 铁路路基和建筑物的室内地面, 在长期荷载作用下均会产生过大的沉降, 在这样的场地上建房屋必须对地基进行处理。

2 建筑物地面及路基地基处理方案的确定

2.1 复合地基方案确定

对于杂填土地基的处理, 国内常用的地基处理方法有以下几种: 第一, 开挖后回填优质填料, 本工程杂填土较厚, 若采用常规方案彻底清除杂填土再分层回填优质填料的处理方案在技术上可行, 但是工程量巨大、工期长、费用高; 第二, 采用 CFG 桩复合地基方案, 由于填土成分复杂, 有回填大块, 深度较大, 施工困难, 经现场工艺试验, 难以成功; 第三, 强夯, 由于杂填土厚度大, 难以达到预定深度, 且存在扰民问题; 第四, 振冲碎石桩复合地基; 但具有排污问题。

2.2 等能量、等变形夯扩挤密渣土桩的原理

等能量、等变形夯扩挤密渣土桩处理方法是采用专利施工机械, 首先利用重锤冲击成孔, 使桩身周围土体得到第一次挤密; 其次在孔中分层填入渣土, 提升重锤到一定高度, 令其自由落体, 夯击渣土同时使桩周围的土体得到第二次挤密; 依次填入、夯击, 直至夯填至设计标高。利用此工法

可有效消除填土的湿陷性,改善土的物理力学指标,提高地基土的承载能力和压缩模量,减少地基土的压缩变形,且由于采用重锤的重量相同,提升的高度相同,因此夯击填料时的能量相同,视为等能量,要求夯击的收锤标准是单击贯入度,对同一个工程来讲为一个定值,称为等贯入度,采用等能量、等贯入度进行控制,软弱地基可多填料,密实地基可少填料,使地基承载力和压缩模量趋于均匀,避免了地基的不均匀沉降,并且,该技术施工快捷、经济优势明显。

2.3 桩身材料的确定

在本工程场地,作为地基处理的方案有等能量等变形挤密碎石桩和等能量等变形挤密渣土桩两种,现将两种方案对比如表1。

等能量等变形挤密桩填料材料的经济对比

表1

桩型	桩径 (mm)	桩长 (m)	工程量 (m ³)	单价 (元)	单桩造价 (元)	复合承载力特征值 (kPa)
碎石桩	600	10	2.8	226	633	150
渣土桩	600	10	2.8	177	500	150

可见,渣土挤密桩比碎石挤密桩节省造价20%以上,因此等能量、等变形夯扩挤密渣土桩更具有经济优势。最终确定采用等能量等贯入度控制挤密渣土桩。

3 渣土桩复合地基的设计

3.1 渣土桩桩长的确定

此场地上部为较厚的杂填土,最大厚度28m,全部处理费用巨大,应确定能满足变形要求的最小处理深度。

已有的工程实例表明,深厚杂填土部分处理可以满足变形要求,例如北京阜石路立交桥采用了等能量、等变形挤密渣土桩,该项目杂填土厚度30m,成分为建筑垃圾、生活垃圾等,路面宽度大于30m,等能量等变形夯扩挤密渣土桩桩径600mm,处理深度12m,建成5年,使用情况良好。

动车段场地杂填土回填时间较长,在自身重量和大气降水的作用下,土体自行压密,已经发生了一定沉降;另外,铁路路基和厂房室内地面荷载小,地基中附加应力较小,产生的沉降也小,因此不需要对整个厚度的杂填土进行处理;通过反复计算,当加固深度为12.0m时,沉降量为60mm,可满足设计对变形的要求。因此确定地基加固深度为12m。

3.2 复合地基承载力计算

(1) 参数确定

有效加固深度约12.0m,桩距 $s=1.6\text{m}$,桩径 $d=0.6\text{m}$,正方形布桩,桩间土的地基承载力特征值 $f_{sk}=50\text{kPa}$ 。

(2) 复合地基承载力验算

$d=0.6\text{m}$, $s=1.6\text{m}$ 。

面积置换率: $m=3.14 \times 0.6^2 / (4 \times 1.6^2) = 0.11$ 。

天然地基承载力特征值 $f_{ak}=50\text{kPa}$ 。

处理后桩间土承载力提高系数取1.5。

根据经验,桩体承载力特征值: $f_{pk}=500\text{kPa}$ 。

$$f_{spk} = mf_{pk} + \beta(1-m)f_{sk} = 0.11 \times 500 + 1.5 \times (1-0.11) \times 50$$

$$= 121.75 \text{ kPa} > 120 \text{ kPa}$$

承载力满足设计要求。

3.3 变形设计计算

采用规范法对复合地基进行沉降计算，最终沉降量为 60mm，差异沉降小于 30mm，满足设计要求。

3.4 施工工艺和施工参数

(1) 施工工艺

放桩位、桩机就位、锤击成孔、分层填料、直至设计标高以上 50cm。

(2) 施工参数

锤径 355mm，锤重 3.5t，成孔时孔底的单击贯入度不大于 20cm 作为收锤标准；

每次填料量为 0.15~0.3 m³，桩身上部 0~4.0m 每次填料 0.15m³，桩身 4.0m 以下每次填料 0.3 m³；每次填料锤击数不小于 3 击，落距一般为 6m，最后一击的贯入度不大于 20cm。

4 复合地基的检测

为分析等能量、等变形挤密渣土桩处理后复合地基的处理效果，分别对施工完毕后的渣土桩进行如下检测。

(1) 深层载荷试验：本次试验的承压板采用直径为 0.8m 的刚性板，试验点深度为桩顶下 10.0m 处，地基承载力特征值为 160kPa。荷载加载等级、加载方法、测读时间按照规范执行。

通过试验数据进行分析，试验点都能满足变形和承载力要求，*P-S* 曲线呈缓变形，在最大荷载 320kPa 条件下，最大沉降为 33.29mm。图 1 为深层载荷试验 *P-S* 曲线。

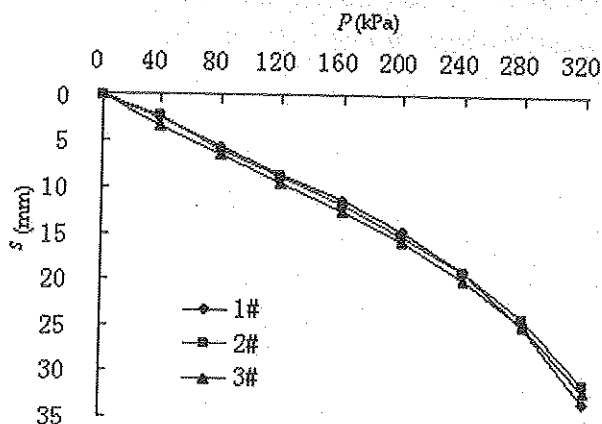


图 1 部分试验点 *P-S* 曲线

(2) 重型动力触探试验：结果显示，桩间土及桩身动探击数离散性较大。桩间土 4m 以上大部分分击数在 10 击以下，4m 以下大部分击数 10~20 击；桩身动探击数一般均大于 10 击。

(3) 载荷试验：本次试验采用与单桩处理面积相等的方形承压板（即 2.82m²），用慢速维持荷载法进行试验，加载分级、加载方法、测读间隔时间均按规范执行。

试验最大荷载加至 240kPa，分 8 级加载，加载级差为最大荷载的 1/8；每加一级荷载前后各读

记承压板沉降量一次，以后每半个小时读记一次。当一小时内沉降量小于 0.1mm 时，即可加下一级荷载。

对原数据进行分析，综合分析得出成果见表 2。

载荷试验成果表

表 2

试验桩号	有效桩长 (m)	最大试验荷载 (kPa)	最终沉降量 (mm)	测点承载力特征 值 (kPa)	对应沉降量 (mm)	承载力特征值 (kPa)
43	12.00	240	29.41	120	12.19	120
230	12.00	240	35.86	120	12.41	
272	12.00	240	25.61	120	9.70	

注：试验深度为设计桩顶标高处。

从上表来看，当荷载加至最大值 240kPa 时，总沉降量均未超过 36mm，按沉降量与承压板边长之比取值，均能满足 120kPa 的设计要求。

5 结论

(1) 通过动车段工程实践，等能量、等变形挤密渣土桩可以提高地基土承载力，减少地基不均匀沉降，可以用于深厚杂填土的地基加固，设计计算可参考散体材料桩复合地基计算方法。

(2) 等能量、等变形挤密渣土桩加固效果显著，工艺简单，施工方便。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范 (JGJ79-2002) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 孙玉文, 王继忠, 蔺忠彦等. 等能量、等贯入度控制的挤密碎石桩复合地基介绍[J]. 建筑结构, 2005, (增刊).
- [3] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 中华人民共和国行业标准. 载体桩设计规程 (JGJ 135-2007) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

等能量等变形挤密碎石桩处理液化砂土的效果

张金成, 段亮亮

(北京波森特岩土工程有限公司, 北京 102218)

摘要: 等能量等变形挤密碎石桩是用相同的夯击能量和相同的贯入度控制桩体质量, 使处理深度范围内地基土上下均匀。由于施工设备采用高能量实现孔内夯击填料, 对桩底和桩间土施以振动和挤密, 使松散砂土颗粒重新排列, 可提高砂土的承载力和压缩模量及消除砂土的液化可能性。本工法在沿海高速路基工程的成功应用开辟了砂土液化处理的新途径, 与振冲碎石桩的相比, 该技术工艺先进、地基处理效果好、经济效益明显。

关键词: 碎石桩; 复合地基; 承载力

1 等能量等变形挤密碎石桩处理液化砂土的原理

液化指的是饱和状态的粉土或砂土在地震水平力的作用下, 土的有效应力降低, 孔隙水压力增大, 大于土粒的自重, 使土颗粒呈悬浮状态, 从而产生喷砂冒水现象。松散至稍密状态的砂土容易液化。

实践表明: 砂土的抗液化能力与其密实度有关, 相对密实度高的砂土抗液化能力也相应增高。等能量等变形挤密碎石桩复合地基以重锤做自由落体运动所形成的强大夯击能量成孔到设计标高(一般锤重 3.5t、落距 6m), 使桩端及桩身周围土体得到第一次挤密; 填碎石料后, 以填料为介质, 通过柱锤对填料的夯击作用, 排出原状松散或软弱的土体中的空气和孔隙水, 使土体结构重新固结, 实现土体的第二次挤密。在填料夯击的过程中, 振动和填料使砂土的颗粒重新排列, 其密实度增加。等能量等变形挤密碎石桩桩身在受力过程中既起到分担荷载作用, 又能作为孔隙水消散的通道的作用, 并且在成桩过程中振动和挤密作用下土颗粒重新排列, 土的密实度增加, 从而可有效消除砂土液化可能性, 提高地基土的承载力和压缩模量, 减少地基土的压缩变形。

2 工程概况及工程地质条件

沿海公路唐山段高速公路为秦、唐、沧渤海公路的一部分, 是 2020 年河北省高速公路布局规划“五纵、六横、七条线”的重要组成部分, 是沟通沿海地区联系的主要通道。其中 T2 标段地处乐亭县境内, 根据《中国地震动参数区划图》(GB8306-2001), 乐亭县为 7 度区, 地震动峰值加速度为 0.15g, 地震动反应谱特征周期为 0.4s, 设计地震第一组。项目区设计基准期内年平均最高水位浅, 松散到稍密状态的砂土发育广泛, 极易发生砂土液化。通过对该区段 20m 以上砂土进行的判定, 结果液化现象较为普遍。经方案论证, 对于大、中型桥头路基中等以上液化段, 拟采用等能量等变形挤密碎石桩进行地基处理。

其中 T2 标段, K93+579 中桥桥头地基土工程物理力学参数如下表, 该桥头设计要求消除砂土液

化，其复合地基承载力特征值达到 150kPa。

地基土物理力学参数

表 1

层号	土层	厚度 (m)	f_k (kPa)
①	粉砂	2.5	110
②	细砂	3.9	120
② ₁	粉砂	3.6	180
③	中砂	2.5	230
④	粉质粘土	3.5	150

3 等能量等变形挤密碎石桩设计

3.1 设计计算

本工程基础底标高为-1.5m，则 f_k 为 110kPa，不满足设计要求，且由于地层中存在有液化特性的砂土，故必须进行地基处理。原设计振冲碎石桩，桩径为 800mm，桩长 8m，桩距为 2.0m。正三角形布置。等能量等变形挤密碎石桩，桩径为 550mm，桩距为 1.8m。正三角形布置。因等能量等变形挤密碎石桩在桩底以巨大能量夯击，有效加固深度在桩底以下 3m，结合地质条件桩长确定为 5m。

等能量等变形挤密碎石桩复合地基承载力计算公式： $f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk}$

$$m = A_p / A_e = 8.5\%$$

其中： f_{pk} 为桩体材料的承载力特征值，取 500kPa， f_{sk} 为处理后桩间土承载力特征值取 130 kPa（考虑桩间土承载力的提高，提高系数取 1.2），则等能量等变形挤密碎石桩复合地基承载力为

$$f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk} = 0.085 \times 500 + (1-0.085) \times 130 = 162 \text{ kPa}$$

承载力大于 150kPa，满足要求。

$$\text{变形计算公式：} s = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$$

复合地基的压缩模量采用 $E_{sp} = [1+m(n-1)]E_s$ ，经沉降计算对比，发现处理后的沉降比天然地基沉降减少 25%。

3.2 经济技术比较

振冲碎石桩其原理是利用振冲器的水平振动，使得桩间砂土颗粒重新排列，变得密实，填料再振冲具有挤密作用，振冲器下沉时，需要高压水射流，而在施工现场附近水资源缺乏，须外接水源，难度大，且该工法在施工过程中产生泥浆，污染环境；等能量等变形挤密碎石桩利用柱锤夯实成孔，通过巨大能量夯击填充料，对桩间土施加挤密和振动，施工过程不用水，不产生泥浆，故不会污染环境，且该技术造价低廉，质量有保证。振冲碎石桩和等能量等变形挤密碎石桩的经济比较如表 2。

振冲碎石桩和等能量等变形挤密碎石桩经济比较

表 2

处理方法	桩间距 (m)	桩长 (m)	桩径 (mm)	桩数 (根)	工程量 (m ³)	单价 (元)	总价 (元)
振冲法	2.0	8.0	800	266	1064	105	111720
夯扩碎石桩	1.8	5.0	550	328	390	227	88680

4 等能量等变形挤密碎石桩的处理效果

为检查等能量等变形挤密碎石桩处理后复合地基的处理效果, 分别对桩间土进行标准贯入试验和复合地基的承载力检测试验, 同时对桩体进行了超重型动力触探检测。

4.1 复合地基静载荷试验

经对试验桩进行检测, 所有试验曲线都呈缓变型, 在 2 倍设计荷载下最大变形为 14mm, 图 1 为部分试验点的载荷曲线 $Q-s$ 曲线, 从载荷试验分析发现: 沉降量很小, 承载力提高明显。

4.2 标准贯入试验 (SPT)

液化判别最直接的方法就是标准贯入试验, 施工完毕后对整个场地砂土进行原位标贯试验, 处理完毕后桩间砂土标贯击数都明显提高, 图 2 为标准贯入锤击数随深度变化的曲线, 处理后的曲线均在处理前 (SPT0) 的右侧, 提高幅度在 30% 以上, 越靠下部加固效果越明显, 这是因为上覆压力对加固有益处, 压力约大, 约束越大, 挤密效果就越好。由此可见桩间土重新排列, 密实度提高, 根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 判定, 砂土不发生液化。

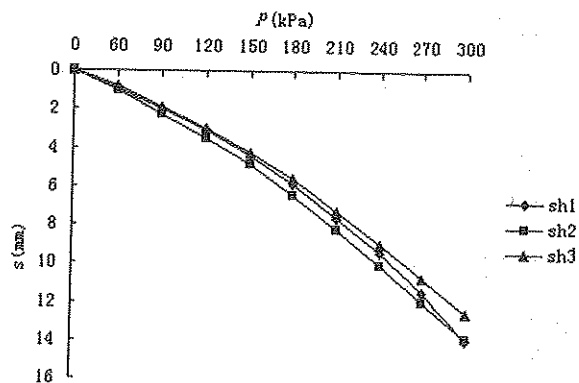
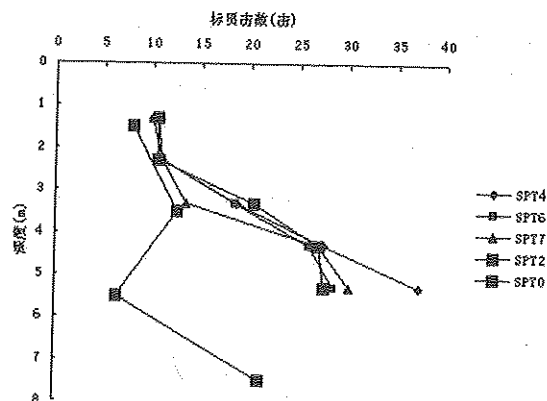
图 1 部分复合地基平板静载荷试验 $Q-s$ 曲线

图 2 标贯击数随深度变化曲线

4.3 桩体检验

完工后, 进行了桩体超重型动力触探, 以检验桩体的密实度, 超重型动力触探随深度的变化曲线如图 3, 桩体强度也达到了中密以上。

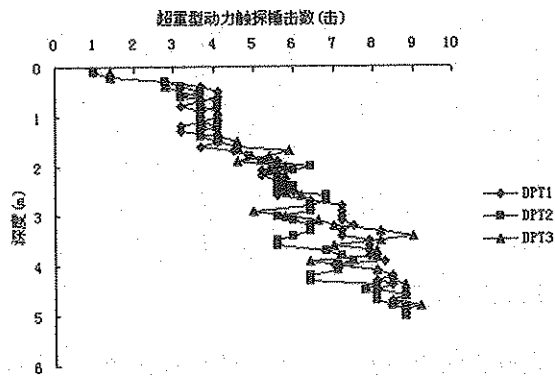


图3 超重型动力触探锤击数随深度变化曲线

5 结语

通过工程实践表明,等能量等变形挤密碎石桩工法处理砂土地基是可行的,既可提高砂土承载力和压缩模量,还可消除砂土液化。由于其工艺简单,施工质量易保证,环保性能好,同时比振冲碎石桩节省造价20%,因而在公路路基工程的地基处理上,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准.建筑地基处理技术规范(JGJ79-2002)[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] 叶书麟等.地基与基础施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 中华人民共和国国家标准.建筑抗震设计规范(GB50011-2001)[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

北京动车段渣土桩复合地基施工参数优化和检测方法

刘焕强¹, 华房荣²

(1. 中铁电气化局集团, 西安 710055; 2. 北京市建筑设计研究院, 北京 100045)

摘要: 结合工程实例对等能量、等贯入度控制挤密渣土桩施工参数优化及检测进行了阐述。所得的施工参数和检测方法可为类似工程提供参考。

关键词: 渣土桩; 等能量; 等贯入度

1 工程概况

北京动车段场地原为采砂场, 现为渣土及垃圾消纳场, 表层堆积厚层的建筑垃圾、生活垃圾; 场地内杂填土成份复杂, 颗粒不均匀, 回填的方法、时间有很大的随意性, 无地下水。场区内杂填土具有不均匀性、自重压密性、湿陷性、低强度性, 桩间土的地基承载力特征值 $f_{sk}=50\text{kPa}$ 。铁路路基和建筑物的室内地面, 通过技术经济对比确定采用等能量、等贯入度控制挤密渣土桩复合地基。

等能量、等变形夯扩挤密渣土桩处理方法是采用专利施工机械, 首先利用重锤冲击成孔, 然后在孔中分层填入渣土, 提升重锤到一定高度, 令其自由落体, 夯击渣土到松散的填土地基, 使桩周围的土体得到挤密; 依次填入、夯击, 直至夯填至设计标高。渣土桩和桩间土构成复合地基, 利用此工法可有效消除填土的湿陷性, 改善土的物理力学指标, 提高地基土的承载能力和压缩模量, 减少地基土的压缩变形, 且由于采用重锤的重量相等, 提升的高度相等, 因此夯击填料时的能量就相等, 视为等能量, 要求夯击的收锤标准是单击贯入度, 对一个工程来讲为一个定值, 称为等贯入度, 采用等能量和等贯入度进行控制, 软弱地基可多填料, 硬地基可少填料, 使地基在平面上和竖向趋于均匀。本工程共布置 14 万根渣土桩。

2 施工参数

有效桩长 10.0~12.0m, 桩间距 1.6~1.8m, 桩径 0.6m, 正三角形布桩, 复合地基承载力 120~150 kPa, 每次填料量 0.1~0.15m³, 锤重 3.5t, 落距 6m, 单击贯入度为 15cm。由此现场制定施工方案, 现场施工采用小推车计量, 每小推车为 0.075m³, 两小推车为 0.15 m³, 每次填入两小推车。翻斗车 (0.6 m³) 运到孔口后, 再用人工装两小车计量, 然后入孔, 普通能量夯两次 (落距 5m), 再用 6m 落距夯击一次, 每次填料夯实均测量单击贯入度。上述施工参数没有发挥机械施工优势、劳动强度大。

3 施工参数的优化

按上述施工方案, 单机效率是 0.7 根桩每小时, 成桩效率低, 因此现场进行了如下试验, 把小推车计量改为翻斗车计量, 每翻斗车体积为 0.6 m^3 , 分两次填入, 每次填入 0.3 m^3 ; 夯击参数为: 采用大能量夯击一次, 落距大于 8m, 再用 6m 落距夯击一次。顺便测量单击贯入度, 贯入度应小于 15cm, 每桩随机抽测 5 次。并作好相应的测量记录。

经过试验性施工, 参数优化后的总填料量不小于原施工参数, 在 3#区进行了对比试验, 各进行了 3 根渣土桩的施工, 设计长度 10m 的桩的填料量几乎相等, 相差只有 2%, 同时不小于设计方量 3.7 m^3 。

优化后的夯击能为大能量夯击一次, 一定填料情况下总夯击能与原施工参数一致, 计算如下: 原施工参数夯击能为 $5\text{m} \times 3.5\text{t} \times 2 = 35\text{t} \cdot \text{m}$; 试验方案夯击能为 $10\text{m} \times 3.5\text{t} = 35\text{t} \cdot \text{m}$, 优化前后总夯击能相等。

通过动力触探试验, 桩顶 1.5m 以下平均击数大于 10 击 (剔除大于 40 击以上的数据)。优化后单机效率为 1 根桩每小时提高 20% 以上。

4 渣土桩复合地基的检测

4.1 检测的方法

渣土桩同《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002) 中的柱锤冲扩桩法类似, 该规范强制性条文中指出: “柱锤冲扩桩验收时, 承载力检验应采用复合地基载荷试验。” 表明了复合地基载荷试验是验收所必须的, 应为主控项目, 并且规范指出, 本规范在质量检验中指出桩身和桩间土可采用重型动力触探进行检验, 但没给出参考值, 因此动力触探可作为辅助检测。

载荷试验只能反映 2~3 倍的压板宽度的范围内土被加固的情况, 深部土的情况只能通过动力触探来检测, 因此本工程应采用复合地基载荷试验加重型动力触探方法检测。从已有的动力触探记录明显看出, 动力触探击数呈现出了自上而下逐渐增大的趋势, 这就可以推断上部复合地基静载荷试验满足设计要求, 下部也就满足了承载力要求, 所以复合地基静载荷试验只做浅部试验就能判定加固效果, 下部桩身的施工质量可用动力触探方法检测。

4.2 重型动力触探锤击数的确定

目前, 关于渣土桩的桩身动力触探击数还没有统一的标准, 碎石桩、砂桩、灰土桩等规范对桩身动力触探击数均没做出规定。渣土桩的桩身动力触探击数受多种因素影响, 主要有: 桩身填料成分、周围桩间土的性质、夯击参数、休止时间等, 渣土桩属于挤土桩, 桩身密实度受周围桩间土的密实程度、上覆土的压力影响, 周围桩间土密实则桩身动力触探击数就高, 上覆土的压力越大, 夯击时的侧限越充分, 触探击数就越高, 所以击数呈现出了自上而下逐渐增大的趋势。夯击参数无疑影响桩身动力触探击数, 休止时间对填料中的细粒土为粘性土时影响较大。鉴于动力触探击数影响因素多, 所以各规范未给出检验标准, 更多的是靠静载荷试验来判断加固效果, 静载荷试验是目前复合地基检验最可靠、最直接的方法。

为了确定动力触探击数的合格标准, 可靠的途径是通过载荷试验找到满足承载力标准的最低值, 既满足设计要求又不影响单机效率, 为此现场进行了试验段的施工, 共统计了 19 组载荷试验, 复合地基特征值全部满足设计要求, 为便于对比, 在做载荷试验桩身上进行了重型动力触探试验。考虑到复合地基静载试验的影响深度为 2~3 倍的压板宽度, 对应桩间距 1.8m、1.6m, 正三角形布置,

压板宽分别为 1.67m、1.49m，对既做静载试验又打动力触探的渣土桩桩顶下 0.5~3.5m 的动力触探击数平均值进行了统计，统计数量为 19 根，满足承载力 120 kPa 要求的最小参考值为 7 击，满足承载力 150 kPa 要求的最小参考值为 8 击。试验结果汇总如表 1。

复合地基静载荷试验与重型动力触探结果对比

表 1

桩号	2 倍设计荷载对应沉降量 (mm)	设计荷载对应沉降量 (mm)	0.6~3.5m 动探平均击数 (击)	备注
43	29.41	12.19	23	桩间距 1.8m, 正三角形布置, 复合地基特征 值要求 120kPa
230	35.86	12.41	7	
272	25.61	9.70	13	
993	32	14.7	10	
878	14.85	6.98	10	
1234	11.69	4.55	12	
1315	19.96	7.59	7	
3643	22.7	7.5	9	
3663	23.9	10.72	13	
3681	14.26	5.7	12	
200	21.31	9.39	17	
500	29.32	14.39	15	
1018	16.6	7.34	11	
174	40.20	16.83	13	
376	40.76	16.80	12	
518	36.17	15.38	12	
144	23.49	11.32	8	
484	33.15	15.63	10	
887	17.86	6.30	9	

因此复合地基承载力特征值为 120kPa、150kPa 时桩身 0.5~3.5m 的动力触探锤击数平均值不小于 7 击、8 击，可定为桩身动力触探击数参考值，之所以采用击数平均值是因为动力触探为勘察手段，根据勘察规范用动力触探指标评价土的力学性质，只能采用平均值。

4.3 渣土桩与素土桩的对比

对于本工程现场为杂填土堆积的场地，填料为就地开挖土料，各个区域骨料含量及成分差别很大，这些直接影响了桩身动力触探击数，粒径几厘米的石块、砖块、混凝土块均可使击数升高很多，有的甚至达到 50 击或更高，而素土在施工参数相同情况下击数会较低，桩身动力触探击数不能真实反映桩身密实程度。

为了对比，选择在试验区进行试成桩 8 根，填素土按设计的夯击参数成桩 3 根，并进行 2 点复合地基静载试验和 9 个动力触探试验（2 个桩间土、5 个渣土桩、2 个素土桩），试桩的目的是确定填料对动力触探击数的影响。

试桩前对渣土桩填料进行了筛分，随机抽取 10L 填料（在填料大土堆上）进行筛分，5mm 以上骨料体积比为 40% 以上，骨料粒径不大于 15cm。

在施工的 8 根试验渣土桩中随机抽取 5 根、3 根素土（素土为粉土）桩中随机抽取 2 根进行动

力触探试验, 0.5~3.5m 的动力触探锤击数平均值统计如表 2。

0.6~3.5m 动力触探击数平均值统计表

表 2

桩号	198#	199#	200#	167#	197#	167#	200#	9293#	9163#
动探平均击数 (击)	10	10	5	5	9	10	10	6	6

注: 其中 9293#、9163#为素土桩, 素土为粉土; 200#和 167#为桩间土。

由上表可知, 按设计要求的施工参数施工的素土桩 0.6~3.5m 动力触探击数平均值为 6 击, 若工程桩 0.6~3.5m 动力触探击数平均值在 6 击以下, 应采用载荷试验验证, 载荷试验不满足设计要求时应采取处理措施。桩身填料成分对动力触探击数影响明显, 相同施工参数条件下, 素土桩动力触探击数比渣土桩低。大面积施工时全部采用现场挖出的渣土, 均含一定的粗粒料, 所以可以保证动力触探击数平均值在 7 击以上。

通过以上对检测数据的统计与分析, 确定渣土桩复合地基检测按如下方法进行: 复合地基承载力是主控项目, 通过复合地基载荷试验进行检验; 桩身动力触探为一般项目, 桩顶以下 0.5~3.5m 范围的动力触探击数平均参考值为 7 击, 6 击以下应采用载荷试验验证, 载荷试验不满足设计要求时应采取处理措施, 而桩间土的密实度主要受桩间距的控制, 3.5m 以下平均值不应小于 10 击。

5 工程检测

现场共施工 9 万根桩, 单桩复合地基载荷试验共进行了 440 组, 桩身重型桩身动力触探进行了近 800 个, 按照上述控制标准, 均达到了要求。

6 结语

(1) 通过现场试验, 将施工参数进行了优化, 一次填料量调整为 0.6m^3 , 大能量夯击一次, 标准能量夯击一次, 效率大大提高。

(2) 以试验为基础, 确定以载荷试验为主、桩身动力触探为辅的检测方法, 确定了对应复合地基承载力特征值为 120kPa、150kPa 时, 桩身 0.5~3.5m 的动力触探锤击数平均参考值不小于 7 击、8 击。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准: 建筑地基处理技术规范 (JGJ79-2002) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 铁三院. 北京动车段勘察报告[R]. 2004.