

# 复合载体夯扩桩在软土地基处理中的应用

曹德生

(路桥集团第一公路工程局北京海威公司 北京市 100071)

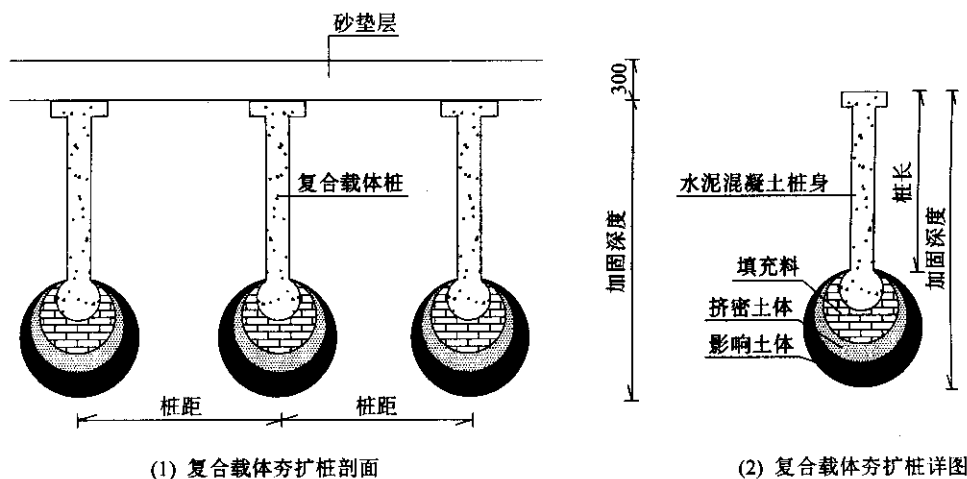
**摘 要:** 主要阐述了复合载体夯扩桩的作用机理、施工工艺、技术特点等,同时举工程实例进行了简单地介绍。

**关键词:** 复合载体夯扩桩; 夯实; 贯入度; 地基承载力

软土一般是指天然含水量大、压缩性高、承载力低的一种软塑状态的淤泥质土,一般是在静水或缓慢的流水环境中沉积,经生物、化学作用而形成的。在公路建设中经常会遇到软土地基,所以软土地基的处理就显得尤为重要。通常,软土地基处理的方法有很多种,如换土法、堆载预压法、桩基法、排水固结法等,本文介绍桩基法中一种经济而又实用的方法——复合载体夯扩桩。

## 1 复合载体夯扩桩简介

复合载体夯扩桩是一种新的施工工艺,目前已被迅速应用于公路路基、建筑地基等的地基处理中。复合载体夯扩桩是由干硬性水泥混凝土及其他填充料等,经细长锤夯扩形成的复合载体和水泥混凝土桩身组成。复合载体夯扩桩以碎砖、碎石、水泥混凝土等为填充料,在持力层内夯扩加固挤密形成挤密实体。复合载体夯扩桩由干硬性水泥混凝土、填充料、挤密土体和影响土体 4 个部分组成,如图 1 所示。



单位: mm

图 1 复合载体夯扩桩结构

## 2 复合载体夯扩桩的作用机理

该桩与其他桩型的最大区别在于它不是通过桩身形状、桩径的改变来提高承载能力,而是利用重锤对填充料进行夯实,对土体施加挤压力进行有效加固挤密,使土体变形模量得到提高,从而使地基承载力也得到较大幅度地提高。

该技术关键之处主要有 3 点:一是扩大了桩端的承载面积,据开挖实测,在一般粘性土中,其承载面积扩大了近 10 倍;二是桩身承受的集中荷载在“复合载体”内的分层扩散作用,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;三是在夯扩“复合载体”的过程中,对其所在的土层进行了有效地加固挤密,显著地改善了原状土层的土性。呈层状分布的、由不同材料组成的“复合载体”,连同其周围被挤密的土体,形成了深层复合地基,其承载能力较原状土体的承载能力有较大幅度地提高,如图 2 所示。

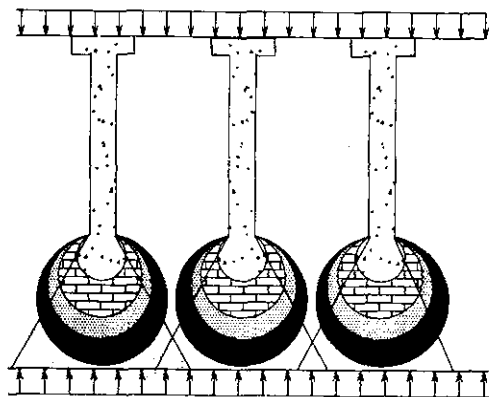


图 2 复合载体夯扩桩群桩受力

复合载体夯扩桩单桩竖向承载力特征值可用下式估算:

$$R_a = u_p \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_e$$

式中:  $R_a$  为单桩竖向承载力特征值;  $u_p$  为桩身断面周长;  $q_{sia}$  为桩侧第  $i$  层土的侧阻力特征值;  $l_i$  为桩身穿越的第  $i$  层土厚度;  $q_{pa}$  为复合载体下地基土经深度修正后地基持力层承载力特征值;  $A_e$  为等效桩端计算面积。

由复合载体夯扩桩单桩竖向承载力特征值公式可以看出,复合载体夯扩桩承载力提高的原因在于:一是载体所影响的土体被挤密加固后,桩端承载力得到显著提高;二是通过载体作用扩大了桩端作用面积。这 2 个方面所提高的均为桩端承载力,因此施工过程中桩体底部同复合载体顶面密切结合以及结合状况将直接影响到单桩竖向承载力。

### 3 复合载体夯扩桩特点

(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,使建筑物基础的结构形式简单、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能力,使之最优化地满足工程需要。

(3)施工工艺简单,施工质量易控制。施工中,无需实施降低地下水水位、基坑开挖等工序,减少了工

程量,缩短了工期,施工速度快并且安全。

(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,尤其是当地基浅部具有相对较好土层、表层杂填土较厚时,其优势更为明显。

## 4 施工工艺

### 4.1 桩位放样

测量人员依据设计图纸放出桩位,用石灰做出标记,并报经监理验收。在施工前,各施工技术员对所要打的桩位再进行一遍复测,确认无误后方可进行施工。桩位允许偏差:沿轴线方向偏差  $\leq 150$  mm,垂直轴线方向偏差  $\leq 70$  mm。

### 4.2 桩机就位

检查桩机设备工作是否正常,移动桩机就位。桩机在就位过程中,通过枕木的铺设将机座调平、机架调查,确保在施工中不会发生倾斜、移位。

### 4.3 锤击成孔

在确定所要打的桩位上,使护筒中心与桩位中心对齐,先用细长锤低落距夯击地面,在地面土体中形成一个浅孔,用反压系统将护筒沉至孔底,并调整护筒垂直。

### 4.4 沉护筒至设计标高

用细长锤夯击成孔,将护筒沉至孔底,经反复操作后,将护筒沉至设计标高处。当接近桩底标高时,需控制重锤落距,以便准确地将护筒沉至设计标高。

### 4.5 填料夯击

护筒沉至设计标高后,提升重锤高出填料口然后填料,再用重锤夯击填充料。

### 4.6 实测三击贯入度

承载体形成密实状态后,在不填料的情况下,令重锤以 6 m 落距做自由落体运动,严禁带刹车。实测三击贯入度,每级贯入度应比前击小或相等,且三击贯入度的累计值应满足设计要求。如三击贯入度不满足设计要求,则应继续填料夯击至满足三击贯入度要求为止。

### 4.7 夯填干硬性混凝土

三击贯入度满足设计要求后,分次夯填干硬性混凝土。

### 4.8 灌注水泥混凝土

从护筒填料口灌入水泥混凝土,连续灌至桩顶标高,并适当超灌 30~50 cm 的高度。

4.9 拔护筒

水泥混凝土浇注完毕后,将护筒拔出。拔护筒时速度要慢,避免破坏桩身水泥混凝土。

4.10 水泥混凝土振捣

振捣时,一次插至桩底,要快插,并逐渐慢慢上提至桩顶。振捣时间不宜少于 2 min。

4.11 二灰垫层施工

经无破损检测合格后,即可进行二灰垫层的施工。二灰垫层一般厚为 30 cm,分 2 层施工。二灰垫层施工时按照二灰基层施工工艺和标准施工,压实度达到 98% 以上,7 d 无侧限抗压强度按照 0.8 MPa 控制。施工前注意清理桩头杂物,保证顶面清洁,并在桩头适当洒水。施工垫层时采用推土机摊铺平整,用 18 t 以上压路机碾压成型,待压实度和强度均合格后方可继续进行路基施工。

5 质量要求

质量要求应符合《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)、《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T 135—2001)的相关规定,表 1 为复合载体夯扩桩施工主要的检查项目及相应的要求。

表 1 复合载体夯扩桩实测检查项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距/mm	±100	抽查 10%
2	桩径/mm	不小于设计	抽查 10%
3	桩长/mm	不小于设计	查施工记录
4	竖直度/mm	≤1	查施工记录
5	强度/kPa	不小于设计	每 200 m <sup>3</sup> 取 3 组和 每台班 2 组双控
6	三击贯入度/cm	不小于设计	抽查 10%

6 工程质量保证

- (1)桩位允许偏差不大于桩径的 1/2。
- (2)采用 C25 干水泥混凝土止淤止水。
- (3)沉管后若发现冒水反淤现象,应采用干混凝土将管内泥水用内夯管压出管外,若压不出应重新止淤沉管。
- (4)测三击贯入度时严禁带刹车离合,重锤落距控制在 6 m 左右。
- (5)桩身灌注充盈系数≥1.0。
- (6)采用现场搅拌的水泥混凝土,搅拌时砂和碎石每车均应进行计量,严格按水泥混凝土施工配合比下料。每盘拌和时间不少于 3 min,坍落度控制在

10~12 cm 之间。

(7)桩的混凝土试件块要有专人负责管理,每班不少于 2 组。

(8)成桩拔管时,拔管速度应控制在 0.8 m/min 左右。

(9)施工原始记录应详实、完整、齐备。

(10)设置专职资料员,负责进度报表资料的收集、整理等工作。

7 工程实例

7.1 工程概况

本工程为北京市六环路西沙屯~寨口段北沙河 2 号桥西桥头的地基处理工程。北沙河 2 号桥中心桩号为 K5+665.125,设计要求处理后的地基承载力特征值不小于 220 kPa,处理面积为 960 m<sup>2</sup>。地基处理采用复合载体夯扩桩方案,打桩 372 根。桩长为 3~5 m,桩径为 40 cm。

7.2 地质情况

工程地质情况见表 2。

表 2 地质情况

层号	土层名称	$f_{ak}$ /kPa	$E_s$ /MPa	$q_{sik}$ /kPa
(1)	轻亚粘土填土			
(2)	亚粘土	130	35	10.03
(3)	粉砂—亚粘土	170	45	13.67
(3) <sub>1</sub>	亚粘土—轻亚粘土	150	45	
(3) <sub>2</sub>	中砂—粗砂	200	50	
(3) <sub>3</sub>	圆砾	230	55	
(3) <sub>4</sub>	轻亚粘土	180	45	13.4
(4)	亚粘土—粉砂	200	50	
(4) <sub>1</sub>	亚粘土—轻亚粘土	180	50	12.39
(4) <sub>2</sub>	细砂—中砂	260	55	
(4) <sub>3</sub>	粗砂	300	55	
(5)	卵石	380	80	
(6)	亚粘土	230	50	17.0

在地质钻探时,于钻孔中实测潜水静止水位标高为 40.05~44.59 m(埋深为 0.20 m~5.60 m),历史地下水位最高水位为 1959 年场区地下水位,接近自然地表。拟建场区地下水对水泥混凝土及钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性。地震烈度为 8 度;在地震烈度为 8 度、地下水位接近地表时,拟建场区内土层不液化。场地类别为Ⅲ类场地土。

7.3 设备组织

施工设备组织见表 3。

表 3 设备组织

序号	设备名称	规格	数量
1	打桩机	30 kW	3 台
2	搅拌机	0.28 m <sup>3</sup>	2 台
3	翻斗车	0.35 m <sup>3</sup>	3 台
4	小推车	0.1 m <sup>3</sup>	6 台
5	台秤	200 kg	3 台
6	水准仪	DNS	1 台
7	振动杆	6 m	3 根

7.4 施工组织

在施工中每台打桩机需配置司机 1 名,填料员 3 名(其中 1 名兼测贯入度)。后台拌料员 4 名,运料员 3 名。进行试桩时,在 2 号桥西桥头南侧当桩沉入 3.5 m 左右时,填砖量约为 50 块,干混凝土 0.3 m<sup>3</sup>,实测三击贯入度为 20 cm,满足设计要求。在 2 号桥西桥头北侧当桩沉入 4.5 m 左右时,才能达到设计要求。故 2 号桥西桥头南侧按桩长 3.5 m 施工,2 号桥西桥头北侧按桩长 4.5 m 施工。全部工程完工用时为 8 d;准备作用时为 2 d;打桩施工用时为 6 d。平均每台桩机的成桩进度为 20 根/d,成桩用时为 2.5 h/根。

7.5 静载试验

施工完毕后对桩进行检测,最大加载为 440 kN,总沉降量仅为十几毫米,回弹量为 3~4 mm。回弹率达 30%~40%,说明该桩还未达到极限状态,仍处于弹塑性工作状态。

7.6 效益分析

如按原设计采用 CFG 桩,桩长为 8.0 m、桩径为 40 cm,需满堂布桩共打桩 428 根。CFG 桩单价为 80.50 元/m,则总造价为 80.5×8×428=27.563 2 万元。如采用复合载体夯扩桩,桩径为 40 cm,桩长分别为 3.5 m、4.5 m,各打桩 186 根。3.5 m 桩单价为 596.66 元/根、4.5 m 桩为 630 元/根,则复合载体桩总造价为 596.66×186+630×186=22.815 8 万元。由此可见,采用复合载体夯扩桩更为经济实用。

参考文献:

[1] JTJ 017—96,公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].  
[2] GB 50202—2002,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].  
[3] GB 50300—2001,建设工程施工质量验收统一标准[S].  
[4] GB 50204—92,混凝土结构工程施工及验收规范[S].  
[5] JGJ/T 135—2001,复合载体夯扩桩设计规程[S].

欢迎订阅 2006 年《公路》杂志

《公路》月刊于1956年9月创刊。是我国公路行业出版最早的综合技术类科学技术期刊;全国中文核心期刊。《公路》杂志由交通部主管,由中交公路规划设计院主办,由《公路》杂志社出版。《公路》杂志1996年获第二届全国优秀科技期刊三等奖;双效期刊;2005年荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊。

《公路》杂志为大16开,全年12期。栏目主要有道路、桥梁、公路养护与环保、材料与试验、隧道、综合…等等;读者对象主要是从事公路建设的有关人员、大中专院校师生及市政、铁路、水利、林业、机场、矿业及石油等行业的有关人员。

2006年度报刊杂志征订工作已经开始,请您到当地邮局办理订阅手续。

《公路》杂志邮发代号:2—81。每期每本单价:6.80元。

若订阅不便的读者,可直接在我部办理零售业务。2006年零售价全年每套81.60元(免全年邮寄费)。

另本刊还有《公路》2000年~2005年合订本,每年度合订本200.00元(免邮寄费)。欢迎选购。

零售部联系电话:010—65235625,65279988(总机)转1408(上午)、2202(下午)

联系人:叶萍 地址:北京东四前炒面胡同33号 邮编:100010