

载体桩技术在徐州统一企业有限公司饮料生产项目结构设计中的应用

文 / 罗冰 中国轻工业南宁设计工程有限公司
 陈觅 中国轻工业南宁设计工程有限公司
 朱懋强 中国轻工业南宁设计工程有限公司

摘要：载体桩是一种创新的桩基技术，通过使用干硬性混凝土结合填料，并采用锤击方式来增强地基土体的稳固性。具有减少开支、简化建设以及环保等优点。本文简要介绍了载体桩的受力机制以及设计计算的关键要素。介绍了载体桩在徐州统一企业有限公司饮料生产项目中的应用，包括从基础设计方案选择、载体桩的设计以及检查结果等多个方面。
关键词：载体桩；实际应用；加固土层

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.105

引言

载体桩是一种近期发展的创新材料桩，使用建筑废料作为填充物，通过夯扩工艺在地下创建阶梯状承载力层。这种方法不仅能够大幅增强单桩的承载能力，而且采用建筑垃圾等材料作为填充物，使废料得以再利用，从而削减成本。这一高性价比方案也契合了可持续发展的原则。

一、载体桩定义

载体桩是一种新颖的地基嵌入结构，其主要由混凝土桩柱和位于底部的支撑装置组成。通过将建筑废料等填充物进行夯实处理，载体在桩端形成了阶梯状的人造承载层。该层由干硬性混凝土、填充物和加密的土层组成。在施工过程中，使用柱锤进行冲击以形成孔洞，并持续地对桩端周围进行填料和夯实。质量控制则通过“三击贯入度”来实现。采用这种方法，可以有效地压实桩端下方约3至5米深、直径约2至3米的土层区域。该桩型通过强化桩端土体，显著提高单桩承载力，具有较高的性价比，并适用于粉土、沙土等较好土层。

二、载体桩受力原理和适用范围

(1) 上部的荷载经过桩身传递至载体，由于干硬性混凝土、填充材料再到压密土层，土层密实度逐步下降，压缩模量也随之减小。在干硬性混凝土内，填充材料作为软弱的底层，所产生的附加应力低于地基的承载力。从结构力学的观点来看，载体桩的受力状态与扩展基础有相似之处。使用承台梁与载重桩的基础，其受力情形能够视作条基基础的力分布情况。独立承台与载体桩构成的基础系统，其受力特征类似于独立柱基础的力学行为。当使用密集排列的载体桩时，其受力特性可以视为与筏板基础的受力情况相似。具体内容请参见图1。因此，使用载体桩基础不仅是地基处理的一种方法，同时也涉及结构设计中的基础方面。为了保证基础装置达到所需深度，需通过精准控制管道的沉降程度来达成此目标。通过调节三次冲击的穿透深度，可以有效管理湿混凝土等材料的密实度，确保其符合设计要求，并实现预定的等效计算面积。

(2) 支撑桩的承载层是直接承接来自支撑桩的荷载的土层，而加固的土层是指支撑桩所处的土质层。因此，

选定的持力层应能满足上部结构的载荷和变形需求。这意味着，当上部结构的重力通过基础传导至持力层时，该层的地基承载力须超过上部结构施加的压力。此外，持力土层的变形也需符合建筑结构的标准。同时，强化后的土层必须确保具有可加固的特性。根据《载体桩技术标准》JGJ/T135-2018，建议加固土层包括碎石土、砂土、粉土以及可塑或硬塑的黏性土。不过，由于黏性土含有较多细颗粒，颗粒间的粘附力较强，通常其加固效果不如其他类型，尤其是软塑到流塑状态的黏性土。因为这类土的含水量通常较高，导致加固难度增大，因此建议优先选择粗颗粒土壤作为加固的首选层。

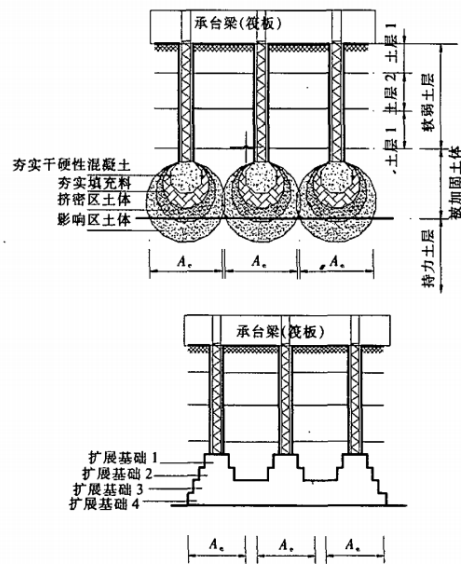


图1 载体桩受力图

三、载体桩的技术优势

(1) 改变了传统的地基设计理念，将桩体与当地地质条件结合起来，使地基处理得到优化。

(2) 减小整个工程项目的支出。这有助于双方节省开支，实现明显的经济和社会利益。

(3) 单根桩的垂直支撑能力较为优越，其承载能力是相同规格的传统灌注桩的两倍到四倍。

(4) 在施工过程中，可以大量利用建筑废料，从而

减少混凝土的使用，具有环保优势，并有助于实现可持续发展的目标。

四、载体桩的设计

设计载体桩需要考虑多个因素：确定桩的长度和间距、计算单桩的承载能力、核实软弱层的强度、检验桩身混凝土的强度、进行桩身的钢筋配置，以及承台的设计。

(一) 桩长与桩间距的确定

桩的长度由承载层的深度决定，而根据《载体桩设计规程》，桩与桩之间的距离应不小于桩径的三倍。此外，在进行载体的施工过程中，必须确保不对邻近桩的施工质量产生影响。当加固的土层由粉土、砂土或碎石组成时，桩之间的间隔建议不少于 1.6 米。在增强高水分黏性土层的稳固性时，建议将桩与桩之间的距离至少设置为 2.0 米。

(二) 单桩承载力的计算

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：

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

式中 f_s ——复合载体下地基土经深度修正后的地基土承载力特征值 (kPa)；

A_e ——等效计算面积 (m^2)。

1. 载体下地基土承载力特征值 f_a 的计算

f_a 为复合载体下持力层地基土经深度修正后的地基承载力特征值，对于地基土承载力的修正深度并非是桩身本身长度的修正，而是建筑基底埋深与桩长深度之和，承载力深度修正计算按现行地基规范：

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

式中 η_d ——地基承载力深度修正系数；

γ_m ——载体基础计算深度以上地基土的加权平均重度，地下水位以下取浮重度 (kN/m^3)；

d ——等效基础埋置深度 (m)， $d = d_1 + d_2 + L + L_1$ ， L_1 根据地质情况和填料略有差异，大量数据统计分析，一般取 $L_1 = 2.0 m$ ，对于单桩承载力计算时，只考虑深度修正，而不考虑载体基础的宽度修正；

L ——混凝土桩身的长度 (m)。

2. 等效计算面积 A_e

等效计算面积 A_e 没有明确的计算公式，但与三击贯入度息息相关。在规程 JGJ135 中，针对不同类别的土壤，提供了三击贯入度为小于 10cm、10cm、20cm、30cm 以及大于 30cm，对应桩径为 410mm 的复合夯扩桩桩端等效面积，详细信息请参见表 1。当设计三击贯入深度在 10 厘米到 30 厘米之间时，可以使用插值法进行计算。如果三击贯入深度小于 10 厘米，在进行等效面积的计算时，可以使用一个适用于 10 厘米贯入深度的等效面积，并乘以一个增加系数来进行调整。具体的增大系数需要依据当地的地质状况以及设计经验来确定。在表 1 中，三击贯入度是通过使用 35KN 重锤从 6.0 米的高度自由落下产生的深度来测量。在实际施工中，如果使用的锤子的重量与该标准值有所不同，则应调整其落差，以保证其冲击能量与标准锤一致，从而能够准确地测量三击贯入深度。

表 1 A_e 的取值

被加固土层土性		三击贯入度/cm				
		<10	10	20	30	>30
粘性土	$0.75 < I_p \leq 1.0$	-	2.0-2.3	1.6-1.9	1.4-1.7	<1.8
	$0.25 < I_p \leq 0.75$	-	2.3-2.6	1.9-2.2	1.7-2.0	<2.1
	$0.0 < I_p \leq 0.25$	2.7-3.2	2.6-2.9	2.2-2.6	2.0-2.3	<2.2
粉土	$e > 0.8$	2.4-2.7	2.2-2.5	1.9-2.2	1.6-1.9	<1.7
	$0.7 < e \leq 0.8$	2.7-3.0	2.5-2.8	2.2-2.5	1.9-2.2	<2.0
	$e \leq 0.7$	3.0-3.4	2.8-3.1	2.5-2.8	2.2-2.5	<2.3
粉砂细砂	中密	2.7-3.1	2.4-2.8	2.1-2.5	1.8-2.2	<1.9
	稍密	3.1-3.5	2.8-3.2	2.5-2.9	2.2-2.6	<2.2
中砂粗砂	中密	2.9-3.4	2.7-3.1	2.4-2.8	1.9-2.4	-
	稍密	3.4-3.8	3.1-3.5	2.8-3.2	2.4-2.8	-
碎石土	中密	3.2-3.8	2.9-3.4	2.6-3.0	-	-
	稍密	3.8-4.5	3.4-3.8	3.0-3.4	-	-
杂填土		2.4-2.9	2.1-2.5	1.8-2.2	1.5-1.9	<1.6

(三) 确定桩内钢筋布置方案，验证混凝土的抗压能力，并设计承台结构

载体桩的桩身横断面钢筋配置率可为 0.20% 到 0.65%。用于抗压和抗拔的桩主钢筋至少须有 6 根直径为 10 毫米的钢筋，而对承受水平力的桩主钢筋则至少需要 8 根直径为 12 毫米的钢筋。可以使用直径至少为 $\Phi 6$ 且间距不低于 300mm 的螺旋箍筋。在桩顶范围的 3~5 倍桩身直径内，箍筋需要适当加密，确保钢筋笼沿整根混凝土桩身充分配筋。当钢筋笼超出 4 米时，应该每隔 2 米设置一个直径至少为 12 毫米的焊接加固箍筋。

桩体混凝土的强度校核以及承台的计算方法和传统灌注桩无异。桩体混凝土的强度评估及承台的分析应参考《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 中的第 5.8 和 5.9 节的要求进行。

五、载体桩技术在徐州统一饮料生产项目中的应用

(一) 项目概况

徐州统一料生产项目坐落在徐州市的经济开发区，拥有良好的交通条件和优越的地理位置。这个项目计划建设的设施包含饮料储存库、生产车间、注塑车间、材料存放库以及办公综合楼等。请参阅附表 A，其中列出了建筑和构筑物的详细信息。

表 A 建(构)筑物概况一览表

序号	建筑名称	建筑物尺寸 (m×m)	建筑层数	结构类型
1	饮料仓库	183.0×82.0+72.0×15.0	1F	框架
2	饮料车间	160.0×71.5	1-2F	框架
3	注塑、资材仓库	87.0×75.0	1F	框架
4	综合楼	59.6×15.0	5F	框架

(二) 项目地质描述

这个地区是黄河冲积平原的一部分。地面局部有所凸凹，但整体变化不显著，地表的相对高度差为 1.62 米。拟建场地勘探深度范围内岩土层自上而下分层及其地质评价如下：

1、层 1 杂填土，层厚 0.2~1.6m，杂色，以粘性土、粉土为主，结构松散，

最近的人工填土项目质量不理想，土壤的性质较差。

2、层 2 粉土，层厚 0.3~2.0m，灰黄色，湿，中密，干强度低，韧性低，

工程性质一般；

3、层 3 粘土，层厚 0.3~2.40m，褐黄色，软-可塑，局部流塑，工程性质差；

4、第四层为粉土，厚度范围为0.3至2.6米，呈灰黄色，湿润状态，中等密度，低干强度和低韧性，具有中等可压缩性。土质不均匀，局部可见薄层状的粘性土，部分区域缺失，工程性能较差。

5、第五层为粘土，厚度在0.30至2.50米之间，呈现灰黄色或浅灰色，具有可塑性，干燥时强度高而且韧性突出，主要表现出中等压缩性，但有局部高压缩性现象，土质不均匀，部分区域夹有粉土薄层，工程地质特性较差。

6、位于第六层的是粘土，厚度范围为0.40至1.40米，呈褐黄色。该层材料的塑性表现出稍硬的特性，部分区域坚硬，不具有摇振反应且带有光泽。粘土的干燥强度及韧性均较高，表现出中等的压缩特性，其工程地质属性整体表现一般。

7、土层7为粘土，厚度从0.30到5.70米不等，呈褐黄色，质地硬塑，表面有光泽，无震荡反应，干燥时强度高，耐磨性好，具有中等的压缩性。内含铁、锰及钙质结核，间或可以发现灰岩等岩石碎屑，工程地质性能优良。

8、第八层由灰白色石灰石构成，显示鲕粒或细晶的结构特征，以中到厚层出现。岩芯完整，整体质量评级在III到IV级之间。工程地质性质好。

请参阅表B以获取关于土壤承载能力特性和压缩模量的建议。

表B 承载力特征值及压缩模量建议值一览表

层号	土层名称	承载力特征值 fak (kPa)	压缩模量建议值 Es (MPa)
2	粉土	120	6.0
3	粘土	90	3.5
4	粉土	110	5.5
5	粘土	95	4.0
6	粘土	170	5.5
7	粘土	240	7.5
8	中风化石灰岩	4000	

(三) 基础选型

(1) 天然浅基础：拟建饮料仓库、饮料车间、注塑、资材仓库、综合楼等地面建筑1-5层，框架结构，荷载一般，对地基强度要求一般，从经济的角度可以考虑采用天然浅基础。按本工程的场地条件如考虑天然浅基础就只能以层2粉土作基础持力层，但层2粉土较薄，场地为轻微液化地基，上部土层的均匀性较差、总体强度不高，层3及层5粘土为软弱下卧层。经过对下卧层的分析与评估，发现第3层以及第5层的黏土性质未达标，这两层无法用于下卧层。无法实施自然地基方案。

(2) 载体桩：经设计组讨论，方案对比，去现场实地考察，与地质勘查部门研究后决定采用载体桩。从收集到的载体桩与人工挖孔桩、沉管灌注桩、钻孔灌注桩的造价对比资料可知载体桩只有以上三种桩造价的50%左右。以下为几个工程造价对比：

1、中国矿业大学地下研究中心

	桩型	根数	桩长 (m)	极限值 (KN)	造价 (万元)
原设计	人工挖孔桩 (桩径1000)	134	12	7500	201.36
后改为	载体桩	616	6.0	1700	110.14

2、邳州市卫生局办公楼

	桩型	根数	桩长 (m)	极限值 (KN)	造价 (万元)
原设计	沉管灌注桩	386	10.0	900	60.0
后改为	载体桩	204	6.2	1600	36.8

3、江苏省运河中学体育馆

	桩型	根数	桩长 (m)	极限值 (KN)	价 (万元)
原设计	钻孔灌注桩 (桩径500)	268	16	1700	115.04
后改为	载体桩	268	8.5	1700	61.5

(四) 载体桩基础计算

根据地质资料及设计规程可以确定载体桩的桩径为410mm，以层7粘土为被加固土层，桩长约为5.5米。

由破碎的混凝土块与水泥结合而成的填料。填料的体积应保持在1.8立方米以内。在施工期间，必须将三击打入的深度限制在20厘米以内，以保证该规范的严格执行。根据层7粘土的液性指数 I_L 为0.13~0.25，取载体等效计算面积 A_e 为2.2 m²。

取地基承载力深度修正系数为1.0， $f_a=240+1.0*18*(5.5-0.5)=330Kpa$ ；

$R_a=330*2.2=726kN$ ，取载体桩的单桩竖向承载力特征值为700KN。

在层7粘土下方存在层8的石灰岩，因此无需进行关于软弱下卧层的计算。

(五) 载体桩的检测

建议在进行载体桩的竖向静载试验时，采用慢速保持荷载方式。而在工程桩的验收测试中，可以选择快速保持荷载的方法。在施工完成后，需依据施工方提供的桩身质量相关资料，对载体填充材料、夯填混凝土的数量、贯入度以及三次贯入程度进行严格的审核，均符合技术规范的标准。通过静态载荷试验评估了单根桩的垂直承载力，结果显示其承载能力符合设计标准。经过严格的测试，本项目的基础桩完全符合国际标准的要求。

(六) 应用效果

载体桩在本次工程实例中得到很好的运用，工程已竣工验收投入使用，桩基检测结果合格表明载体桩技术应用非常成功，受到建设单位、施工单位的肯定和好评，取得了显著的经济和社会效益。

结语

本文通过实例从基础方案选择、载体桩设计以及检查结果等方面探讨了载体桩的应用情况，结果表明载体桩在提高地基承载力、改善了土体受力状态等方面优势显著，能适配复杂地质条件，为工程建设提供经济高效的解决方案。后续可深化不同环境下载体桩的优化设计研究，进一步拓展其应用边界，为相关工程实践提供更全面的理论支撑。

参考文献

[1] 尤亚超, 李小萌. 载体桩基础在某实际工程中的设计应用 [J]. 建筑结构, 2009年, 第三十九卷第二期 119 ~ 120 页.
 [2] 杨军, 张伯林, 崇燕. 载体桩之设计体会 [J]. 煤炭工程, 2010年第11期, 21 ~ 22 页.