

# 复合载体夯扩桩在山东魏桥热电厂工程中的应用

王庆军 王庆海 王洪冰

(山东鑫国基础工程有限公司 恒台 256401)

[提要] 工业建筑基础占地面积大,选择合理的地基处理方案将节约大量建筑成本。介绍了魏桥热电厂基础工程中复合载体夯扩桩的设计与施工控制,并对施工中容易出现的问题提出了解决方案。

[关键词] 复合载体夯扩桩 填料量 孔隙比 承载力

**Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in the Weiqiao Electricity Generation Station Engineering/Wang Qingjun, Wang Qinghai, Wang Hongbing (Shandong Xinguo Geotechnical Engineering Co., Ltd., Hengtai 256401, China)**

**Abstract:** The foundation area of industry building is very large, and the cost would reduce a lot if the proper ground treatment is chosen. The design and construction of ram-compaction piles with composite bearing base are introduced, and the solutions to the problem of the technology in construction are given.

**Keywords:** ram-compaction piles; composite bearing base; filled material; void ratio; bearing capacity

## 一、工程概况

山东魏桥创业集团魏桥电厂技改项目,位于滨州市邹平县魏桥镇,由中南电力设计院进行设计,工程新建8×60MW供热发电机组和8×240t/h煤粉锅炉及其配套附属设施。该项目地基处理面积大,设计基础采用复合载体夯扩桩,桩径为420mm,桩长为5.5m,设计单桩极限承载力为800kN,要求框架结构的主厂房沉降不大于150mm,相临柱间的倾斜,横向不大于0.002,纵向不大于0.003;汽机房外侧柱允许最大沉降为100~150mm,纵向柱间倾斜不大于0.003。

根据山东省地震工程研究院的岩土工程勘察报告,该工程各地层物理力学参数见表1。

场区地下水属第四系孔隙潜水,勘察期间地下水位埋深在3.45~6.00m,地下水对混凝土及混凝土中的钢筋无侵蚀性。

## 二、地基处理方案的论证与设计

该工程量大,工期紧,地基处理方案的选择将对工程成本和工期产生较大的影响。对地基处理的方案除了要求经济节省外,还必须施工快捷、高效。根据滨州地区的地质情况,通常采用的地基处理方案有预制桩、沉管夯扩灌注桩、钻孔灌注桩。预制桩施工快捷,施工质量易保证,但成本高,采用预制桩400×400,经计算桩长约16.0m;若采用沉管夯扩灌注桩,桩端必须进入土层⑨,初步设计计算,桩长约为11.0m;根据土层的物理力学参数,可采用复合载体夯扩桩,选土层⑦作为载体底持力层,表2为几种不同处理方案的经济造价对比。

土的物理力学参数指标

表1

岩土	厚度(m)	w(%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$I_L$	e	$E_s$ (MPa)	$f_k$ (kPa)
①耕植土	-	-	-	-	-	-	-
②粉土	0.6~3.3	20.5	17.7	0.52	0.845	10.40	110
③粉质粘土	0.3~2.3	27.5	19.0	0.46	0.830	5.64	110
④粉土	0.3~2.9	28.0	19.4	0.77	0.786	12.80	120
⑤粘土	0.7~4.1	38.0	18.5	0.50	1.042	4.90	130
⑥粉质粘土	0.2~2.9	27.6	19.3	0.43	0.784	4.86	120
⑦粉土	0.9~5.1	24.2	20.0	0.65	0.676	10.80	140
⑧粉质粘土	0.3~1.9	27.9	19.5	0.44	0.789	5.10	120
⑨粉土~粉砂	0.3~3.9	22.3	20.2	0.49	0.628	12.20	150

不同处理方案的对比

表2

桩型	截面(mm)	桩长(m)	单桩造价(元)	单桩承载力特征值(kN)	总桩数(根)	桩总造价(万元)
预制桩	400×400	16.0	2 400	800	9 000	2 160
钻孔灌注桩	φ600	16.0	3 200	950	7 600	2 432
沉管夯扩灌注桩	φ377*	11.0	1 000	450	16 000	1 600
复合载体夯扩桩	φ420	5.5	1 500	800	9 000	1 350

注:\*为二次夯扩桩。

从造价来看,复合载体夯扩桩最为节省,比其他几种方案最少降低15.6%的造价。夯扩数量比钻孔灌注桩略多,但由于其桩长短,故造价低,施工速度快,工期短。经论证分析,最终决定采用复合载体夯扩桩。

## 三、复合载体夯扩桩的设计

### 1. 单桩设计

复合载体夯扩桩作为一种载体基础,设计首先应确定载体基础即持力层位置。由于层⑦粉土承载力为140kPa,埋深为2.0m左右,压缩模量10.8kPa,其上为



粉土或粉质粘土,孔隙比约 0.8,承载力约 120~130kPa,故可以该层土作为加固土层。根据经验,适当填料夯击即可达较小的三击贯入度。

工程设计桩径  $\phi 400\text{mm}$ ,桩长 5.5m,载体底部地基土承载力经深度修正后为  $q_{pa} = 140 + 2 \times 11.9 \times 9 = 354.2\text{kPa}$ 。

以地质报告中代表性孔进行计算,三击贯入度为 15cm,查表得  $A_c = 1.9\text{m}^2$ ,根据复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001),单桩设计承载力  $R_a = 138 + 673 = 811\text{kN} > 800\text{kN}$ ,满足设计要求。经对群桩基础进行等代实体深基础承载力验算,也满足要求。基础布桩平面图见图 1。

## 2. 沉降验算

由于电力厂房对建筑物沉降要求较高,须对基础进行沉降验算。现以主厂房为例进行验算。主厂房基础面积为  $85.0\text{m} \times 22.8\text{m}$ ,满堂布桩,桩间距为  $1.8\text{m} \times 2.0\text{m}$ 。由于桩身变形很小,复合载体夯扩桩的沉降可以等效为载体以下土体的变形。根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002),采用分层总和法进行计算。经计算基础最大沉降为 53.5mm,满足规范要求;相邻柱间最大沉降差为 10.4mm,柱间距为 8.0m,相邻柱间倾斜为 0.001 3,满足规范要求。

## 四、复合载体夯扩桩施工

### 1. 填料量的控制

工程桩端加固土层处于层⑦粉土中,室内土工试验表明最大孔隙比为 0.804,最小孔隙比为 0.603,平均值为 0.676,计算平均空隙率为 40.3%,根据当地地质经验,假定夯后孔隙比为 0.5,每根桩加固土体积为  $5.8\text{m}^3$ ,计算填料总量约为  $0.4\text{m}^3$ ,结合桩端距持力层高度变化,最终确定为  $0.6\text{m}^3$ ,为节约成本,施工后总桩数的平均填料量为  $0.56\text{m}^3$ 。施工过程中根据填料量及三击贯入度将桩长部分构筑物由 5.5m 调整为 7.7m,以适应持力层埋深的变化。

### 2. 上部空孔处理

桩顶标高距地面 4m 左右,施工中填满混凝土则造成太大浪费,如空孔则易造成桩项 1m 左右缩径,在施工中采取超灌 0.6m 的方法,混凝土上部用土填实并用细长锤轻夯,开挖证明处理后桩身观感质量明显,既满足了施工的要求,又有效节约了造价。

## 3. 施工顺序

为防止因挤土对相邻桩的影响和消除沉桩产生超静孔隙水压力,每个承台下的桩采取间隔一定时间分 2~3 批施工,但间隔时间不宜太长,以混凝土终凝时间作为控制时间,在终凝时间之前施工邻近的桩。

## 4. 桩身下部混凝土质量控制

桩身与载体连接处容易发生缩颈、离析等问题而使上部荷载传递不到载体,影响单桩的承载力。为避免出现上述情况,施工时在桩身底部混凝土灌入 1m 左右时,即拔管 0.5m 用振动棒对下部混凝土先行振捣,保证桩端混凝土与载体的密切结合,控制好提管速度,对含水量较小的填土、粉土、粘性土,以  $1 \sim 2\text{m}/\text{min}$  为宜;对含水量较大的填土、粉土等,提管速度以  $1\text{m}/\text{min}$  为宜,当土层中存在软弱土层和较硬土层交界处宜控制提管速度在  $0.3 \sim 0.8\text{m}/\text{min}$  之间。

## 5. 地下水的控制

地下水对复合载体夯扩桩的影响较大,沿海地区地下水位都比较高,当桩身范围内存在地下水或承压水时,应进行降水处理,选择合适的降水方案,降水方案不当,地下水容易进入护筒而影响施工速度和施工质量;若在桩身范围内局部存在上层滞水,厚度也不太大时可以不进行降水,但必须作好护筒的封水工作。

## 五、复合载体夯扩桩的检测和沉降观测

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)中检测的相关规定,共进行了 14 组竖向静力荷载试验,999 根低应变动力检测。14 组静载试验中,当荷载试验加载到 2 倍设计荷载  $1600\text{kN}$  时沉降量均小于 25mm,在设计使用荷载  $800\text{kN}$  下,试验变形为  $6.32 \sim 9.84\text{mm}$ ,可见复合载体夯扩桩试验曲线接近端承桩的试验曲线,

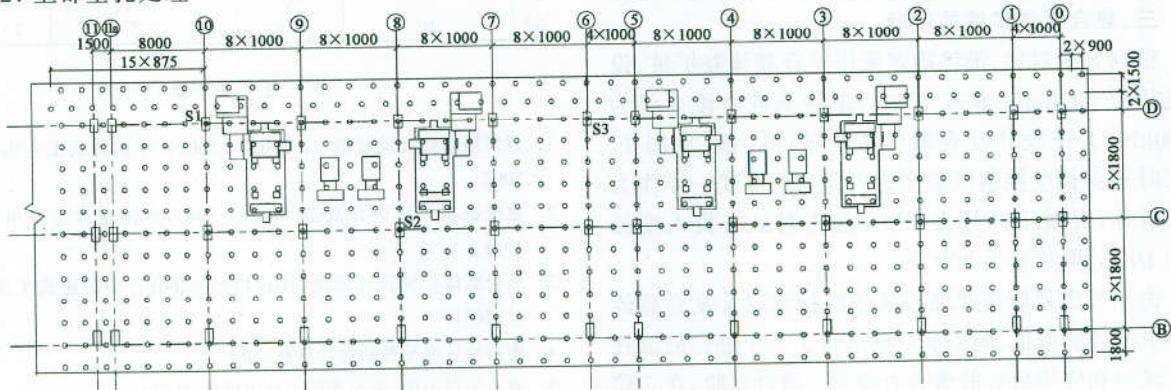


图 1 基础布桩平面图



桩端载体对承载力发挥了较大作用。小应变检测除部分桩因土建施工单位开挖造成上部断裂外,其余检测曲线完整,桩底反射明显,完整性满足设计要求,图2为部分桩静载荷试验 Q-s 曲线。

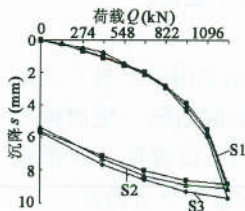


图2 静载荷试验的 Q-s 曲线

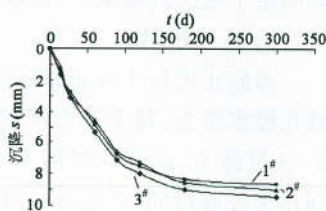


图3 厂房沉降随时间变化曲线

为了解复合载体夯扩桩在使用期间的情况,掌握建筑的沉降控制建筑物不均匀沉降,对建筑的角点和重要部位进行了沉降观测(图3),观测时间从施工至±0.00开始,经过沉降观测数据分析,建筑物在完工200d后最大沉降为9.45mm,最小沉降为8.64mm,平均沉降率为0.03mm/d,变形稳定,呈收敛趋势,可见复合载体夯扩桩运用于电厂厂房中能有效控制基础沉降,减小不均匀沉降。

(上接第53页)

通过工程中一个柱下承台的设计计算可知,钻孔灌注桩和人工挖孔灌注桩单桩承载力高,桩数量少,承台尺寸小,但由于桩长较大,造价高;静压管桩的桩长短,但其承载力低、柱下单桩数量大,承台尺寸也较大,故造价也高;复合载体夯扩桩桩长短、单桩承载力高且承台尺寸小,故能显著降低造价,与造价最低的人工挖孔灌注桩相比,也能节省造价30.6%。

### 三、复合载体扩桩的试验

根据方案对比,最终确定采用复合载体夯扩桩,设计桩径为 $\phi 410\text{mm}$ ;桩长8.2m,单桩承载力设计值为1000kN,工程设计复合载体夯扩桩935根,见图1。施工时桩身长度控制以载体进入持力层深度一半作为控制指标,混凝土标号为C25。施工时三击贯入度控制为10cm,填砖量为500块。

由于考虑到地基处理的区域性特点以及复合载体设计中的经验取值,施工前分别进行了三个桩位的成孔施工试验和完毕后桩的承载力检测。通过试验,在2倍设计荷载作用下均未出现极限荷载,最大变形为

## 六、结论

(1)在地基浅层为承载力较低的软弱层,一定深度下土层承载力高的地质条件下,复合载体夯扩桩是一种经济高效的桩型。

(2)桩端的填料量并非越多越好,应根据加固土层的孔隙比和含水量等物理力学指标确定填料的体积和三击控制指标。在施工过程中宜通过标贯、静力触探等原位测试手段对各种地层的填料总量进行效果检验、积累数据,以总结土层压缩性指标与填料量之间的关系。

(3)工业建筑占地面积大,基础处理面积大,选择技术合理、造价经济的地基处理方案将为建设节约大量成本。复合载体夯扩桩合理利用建筑垃圾,采用特殊专利,减少了桩长,降低了成本,是一项值得大力推广的技术。

## 参 考 文 献

1. 桩基工程手册. 中国建筑工业出版社, 1995.
2. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001). 中国建筑工业出版社, 2001.
3. 沈保汉. 复合载体夯扩桩. 建筑施工技术, 2003, (9).
4. 顾晓鲁等. 地基与基础. 中国建筑工业出版社, 2001.

23.2mm,最小变形为15.6mm,且载荷曲线呈缓变型,卸载后变形回弹量都在20%~30%之间,桩端土体没有发生塑性变形,单桩承载力满足设计要求,图2为部分静载荷试验的 Q-s 曲线。施工控制参数见表4。

## 四、结论

通过该工程的设计、施工和检测,可见复合载体夯扩桩作为一种新型施工技术桩在南京地区应用是可行的,由于其技术先进性、质量可靠性和良好的经济效益,必将占领更广的市场,值得大力推广。

施工控制参数

表 4

桩号	三击贯入度(cm)	填砖(块)	干硬性混凝土(m <sup>3</sup> )	变形(mm)
1#	8.5	532	0.3	15.60
2#	8	517	0.3	18.91
3#	9	536	0.3	23.20

## 参 考 文 献

1. 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002). 中国建筑工业出版社, 2002.
2. 建筑桩基技术规范(JGJ94—94). 中国建筑工业出版社, 1995.
3. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001). 中国建筑工业出版社, 2001.
4. 南京地区地基基础设计规范, 2000.
5. 岩土工程手册. 中国建筑工业出版社, 1999.
6. 南京 IT 工业园岩土工程勘察报告, 2002.