

填海碎石土地基上大型船舶 工场强夯处理试验研究

王亚凌¹, 水伟厚², 詹金林², 何立军²

(1. 中化岩土工程有限公司, 北京 102600; 2. 现代建筑设计集团上海申元岩土工程有限公司, 上海 200011)

摘要: 对抛石填海的碎石土地区进行 6 000~10 000 kN·m 能级强夯试验研究, 通过 4 个不同能级试验区的强夯施工, 地基处理夯后动力触探试验、多道瞬态面波测试、平板载荷试验检测, 并根据面波波速反演地基土承载力特征值及变形模量, 得出强夯加固碎石土的一些经验性结论, 为抛石填海区域地基处理积累一定经验。

关键词: 地基处理; 高能级强夯; 碎石土

作者简介: 王亚凌(1964—), 男, 高级工程师, 国家注册土木工程师(岩土), 总工程师, 主要从事地基处理技术工作。

0 工程概况

拟建某大型船舶建造设施工程船体联合工场由两个大的工场组成, 分别为船体加工、部件装焊区(位于场区西侧)和平面、立体分段装焊区(位于场区东侧)。

该联合工场为一长度近 1 200 m、宽 150 m 的大型工场。该工场西部为船体加工区和部件装焊区, 长 543 m, 3 跨, 跨度 39 m。内设多台行车(最大吨位 32 t)。该工场东部为平面、立体分段装焊区, 长 351 m(近东西向), 3 跨, 内设两层行车且有多台重型行车(最大吨位 150 t), 基础形式为独立基础。

在拟建厂房的西侧, 采用强夯法进行试验, 试

验效果直接关系到将来本区域地基处理是继续采用强夯法处理还是与人工挖孔桩基, 由此将对工期和造价产生很大影响。

1 工程地质

本工程场地主要是填海造地而成, 其中船体加工区和部件装焊区浅部分布 6.0~9.0 m 厚的填土, 其主要由块石、碎石、砂及黏性土构成, 粒径、成分不匀, 块石粒径大者 1.0 m 以上。填土堆填时间因分布位置而有所不同, 部分区域填土时间在 5 年以上, 另一部分区域为新近堆填, 填土层下断续分布厚约 0.5~1 m 的淤泥混砂(①₂)层。表 1 为本场区各土层(强夯加固前)的分布及物理力学指标。

表 1 场地地层基本参数一览表

土层编号	名称	层厚 (m)	黏聚力 C (kPa)	内摩擦角 Φ (°)	标贯平均值 N(击)	重型动力触探 $N_{63.5}$ (击)
①1	填土	6.0~9.0				11.6
①2	海底淤泥	0.0~2.5				
①3	卵石	1.7			24.8	12.6
②	灰色粉质黏土	0.0~1.6	34.0	21.8		
③	黄褐色含砾黏性土	4.5	49.1	21.6	21.7	7.4
④1	棕红色含碎石黏性土	4.6	39.9	22.9	27.3	

续表 1

土层编号	名称	层厚 (m)	黏聚力 C (kPa)	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	标贯平均值 N(击)	重型动力触探 $N_{63.5}$ (击)
④ ₂	棕红色含黏性土砾石	3.7			59.3	
④ ₃	棕红色含碎石黏性土	0.0~5.2			8	
⑤ ₁	强风化辉绿岩	8.3			71.6	
⑤ ₂	中风化辉绿岩	0.0~5.1				
⑦	中风化砂质辉岩	未钻穿				

2 地基处理试验

根据填土厚度、下覆淤泥层厚度及上部结构要求不同,在本地区进行不同能级的 4 个试验区,通过试验区施工参数的积累及夯后检测的加固效果,为后期大面积地基处理优化设计提供依据。I、II、III 区试夯区平面尺寸为 24 m×24 m,IV 区为 18 m×18 m。

试夯 I 区: 10 000 kN·m 能级强夯处理区,四遍成夯工艺,第一、二遍点夯能级为 10 000 kN·m,第三遍点夯能级为 3 000 kN·m,第四遍满夯能级为 1 500 kN·m。主夯点间距均为 12 m×12 m 方格网布置,采用跳打进行施工,第三遍夯点位于一、二遍四个夯点中间。该区域的柱基荷载可达 15 000 kN,填土厚度较大,在 7.0 m 左右,淤泥含砂层 3.3 m 厚,含黏性土碎石层 2.2 m 厚。

试夯 II 区: 8 000 kN·m 能级强夯处理区,四遍成夯工艺,第一、二遍点夯能级为 8 000 kN·m,第三遍点夯能级为 3 000 kN·m,第四遍满夯能级为 1 500 kN·m。主夯点间距均为 12 m×12 m 方格网布置,采用跳打进行施工,第三遍夯点位于一、二遍四个夯点中间。该区域的柱基荷载较大,基岩最深可达 22 m,填土厚度在 7.0 m 左右,含砾黏性土层 4.9 m,含黏性土碎石层 6.1 m 厚。

试夯 III 区: 6 000 kN·m 能级强夯处理区,五遍成夯工艺,第一、二遍点夯能级为 6 000 kN·m,第三遍点夯能级为 8 000 kN·m,第四遍点夯能级为 3 000 kN·m,第五遍满夯能级为 1 500 kN·m。6 000 kN·m、8 000 kN·m 和 3 000 kN·m 点夯呈 6 m×6 m 方格网布置,采用跳打进行施工。该区域为码头区,填土由碎石、砂石和黏性土等填筑而成,填料成分与本次大面积回填的开山填料差异较大,淤泥含砂层 1.5 m 厚,含黏性土碎石层 2.2 m 厚,故用强夯置换深层加固,置换后用 8 000 kN·m 再加固。

试夯 IV 区: 3 000 kN·m 能级强夯处理区,第一、二遍点夯能级为 3 000 kN·m,第三遍满夯能级为 1 000 kN·m。两遍夯点间距均为 6 m×6 m 方格网,呈梅花型布置。该区域已回填多年,表层为厚度 5.7 m 左右的松散杂填土。

其中 3 000 kN·m 能级以下主夯点收锤标准为最后两击平均夯沉量小于 5 cm,I、II 区 6 000~10 000 kN·m 能级主夯点收锤标准为最后两击平均夯沉量小于 10 cm; III 区 6 000~8 000 kN·m 能级主夯点收锤标准为最后两击平均夯沉量小于 15 cm。

3 夯后检测

本地区由于工程地质条件复杂,填土粒径不均,因此采取多种检测手段进行综合测试,通过夯前夯后处理效果的对比,对加固效果进行综合评价,为后期设计提供依据。本次检测内容包括超重型动力触探试验、多道瞬态面波测试、平板载荷试验。为了更加准确反应地基土的加固效果,夯前、夯后动探试验孔均一一对应。

3.1 重型动力触探加固效果分析

在试验区施工前后分别在相同位置进行了重型动力触探试验,图 1 为 4 个试验区的夯前、夯后各个试验区的重型动力触探试验对比曲线,通过图 1 可以看出加固效果非常明显。

3.2 多道瞬态面波测试加固效果分析

图 2 为 4 个试验区的夯前、夯后多道瞬态面波波速对比曲线,通过波速对比曲线可以得出,试夯区经强夯后多道瞬态面波波速明显提高,深度方向 0.0~3.0 m 提高 18%~56%,3.0~10.0 m 提高 61%~161%。根据波速分段对比曲线可得出试夯区经强夯处理后 0.0~10.0 m 范围内可视作双层地基。表 2、表 3 分别为根据多道瞬态面波波速换算所得的夯前、夯后地基承载力特征值和压缩模量,可以看出经过地基处理后地基承载力特征值和压缩模量大幅度提高,加固效果非常明显。

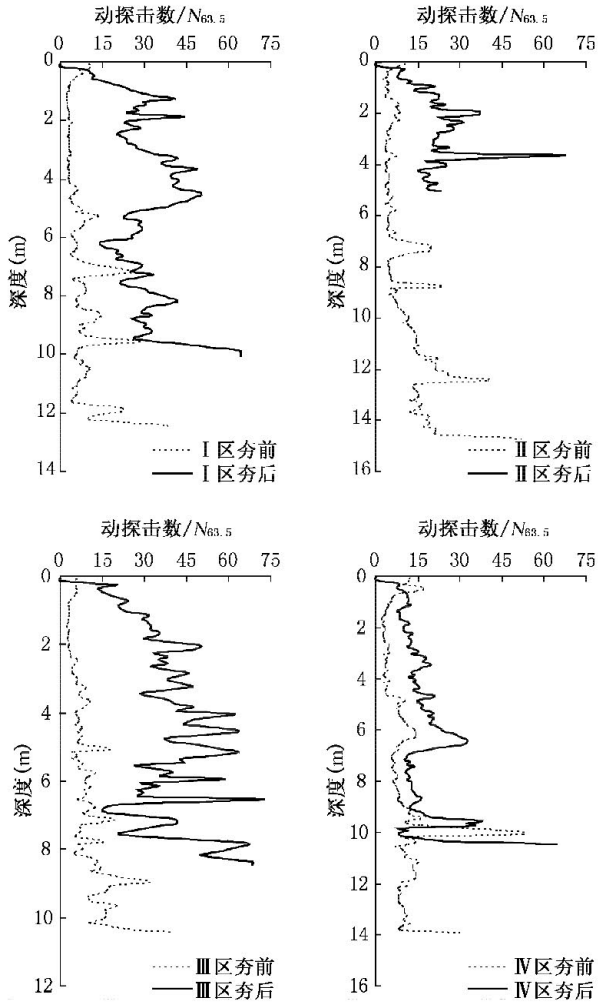


图1 试验区动力触探对比曲线

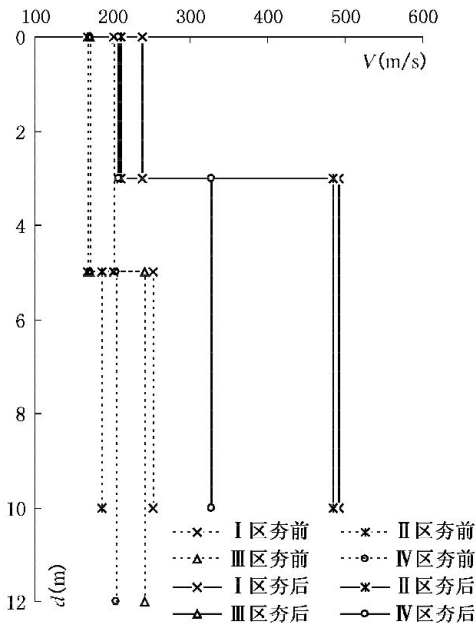


图2 试验区波速对比曲线

表2 夯前多道瞬态面波波速换算承载力特征值及压缩模量

试验区	深度范围 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)
I	0.0~5.0	166	12
	5.0~12.0	234	17
II	0.0~5.0	120	9
	5.0~10.0	144	11
III	0.0~5.0	124	9
	5.0~12.0	227	16
IV	0.0~5.0	123	9
	5.0~12.0	169	12

表3 夯后多道瞬态面波波速换算承载力特征值及压缩模量

试验区	深度范围 (m)	承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)
I	0.0~3.0	220	15
	3.0~10.0	500	35
II	0.0~3.0	180	13
	3.0~10.0	500	35
III	0.0~3.0	270	19
	3.0~10.0	500	35
IV	0.0~3.0	170	13
	3.0~10.0	380	30

3.3 平板载荷试验加固效果分析

图3为试验区夯前、夯后平板载荷试验的 $p-s$ 曲线,表4为夯前夯后承载力特征值及其提高倍数。

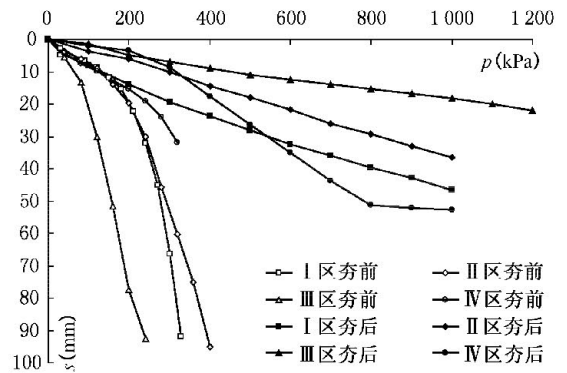


图3 平板载荷试验对比曲线

表4 夯前、夯后承载力特征值

试验区	承载力特征值(kPa)		载力提高倍数
	夯前	夯后	
I	120	400	3.3
II	100	430	4.3
III	100	500	5.0
IV	140	230	1.6

根据静载试验、动力触探试验、多道瞬态面波测试,结合静载试验实际情况综合分析评价,各试验区地基承载力及参考变形模量建议值(根据承压板影响深度及动触击数分为两个层段评定)见表5。

表5 夯前、夯后承载力特征值

试验区	深度范围(m)	承载力特征值(kPa)	变形模量(MPa)
I	0~3 m	400	22.0
	3~10 m	450	25.0
II	0~3 m	430	36.0
	3~10 m	500	56.0
III	0~3 m	500	60.0
	3~10 m	600	60.0
IV	0~3 m	230	14.0
	3~10 m	350	35.0

4 结 论

(1) 通过试验,确定本区域采用强夯法有效加固深度和承载力均满足预期设计要求,后期地基处理均可采用强夯法进行大面积处理,避免采用桩基,从而大大节省工期和造价。

(2) 试夯区经强夯后多道瞬态面波波速明显提高,深度方向 0.0~3.0 m 提高 18%~56%, 3.0~10.0 m 提高 61%~161%。

(3) 根据波速分段对比曲线可得出试夯区经强夯处理后 0.0~10.0 m 范围内可视为双层

地基。

(4) 10 000 kN·m 能级有效加固深度为 11.0~12.0 m; 8 000 kN·m 能级有效加固深度为 9.0~10.0 m; 6 000 kN·m 能级有效加固深度为 7.0~9.0 m; 3 000 kN·m 能级有效加固深度为 6.0~7.0 m;

(5) 经过加固后的地基土承载力特征值可提高数倍,经过强夯法处理的粗粒土地基土承载力不再是主要问题,主要问题是加固深度。

本工场已建成投产三年,柱基和地坪的最大沉降量均在 15 mm 以内,效果良好。

参 考 文 献

- [1] 王铁宏. 新编全国重大工程项目地基处理工程实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 王铁宏, 水伟厚, 王亚凌, 等. 10 000 kN·m 高能级强夯地面变形与孔压试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 759~762.
- [3] 王铁宏, 水伟厚, 等. 高填方碎石土地基 160 000 kN·m 能级强夯试验研究[C]. 第十届土力学及岩土工程学术会议论文集(下册). 2007: 43~48.
- [4] JG J79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [5] 王铁宏, 水伟厚, 王亚凌, 等. 强夯法有效加固深度的确定方法与判定标准[J]. 工程建设标准化, 2005(3): 27~38.
- [6] 王铁宏, 水伟厚. 强夯技术与节能环保[J]. 节能与环保, 2005(11): 6~9.