



# $\phi 1\ 400$ 大管桩、钢管桩在 连云港25万吨级矿石码头工程中的应用

周伟<sup>1,2,3</sup>

(1. 河海大学, 江苏南京 210098; 2. 连云港建港指挥部, 江苏连云港 222042;  
3. 连云港港口建设项目管理有限公司, 江苏连云港 222042)

**摘要:** 大管桩由于高强、耐久及经济等优点用于直立桩, 但大管桩在沉桩时难以承受水平荷载, 故考虑采用钢管桩来承受水平荷载。这种设计理念和布置方案是合理的, 施工也是可行的, 能够适应码头大型化、专业化的发展需求。 $\phi 1\ 400$ 大管桩、钢管桩首次在连云港地区成功运用, 为该地区类似工程桩基设计提供参考。

**关键词:** 桩基; 港口工程; 应用

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)06-0060-006

## Application of $\phi 1\ 400$ large-diameter pipe pile and cylindrical pile in Lianyungang 250 000 DWT ore wharf

ZHOU Wei<sup>1,2,3</sup>

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Lianyungang Port Construction Headquarters, Lianyungang 222042, China;  
3. Lianyungang Port Construction Project Management Company Limited, Lianyungang 222042, China)

**Abstract:** The large-diameter cylindrical pile is applied to the vertical pile due to high strength, durability and other economic advantages, but it's hard for the large-diameter cylindrical pile to bear the horizontal load, so it is considered to adopt the steel pipe pile to bear it, which is reasonable in design idea and arrangement, feasible in construction, and can adapt to the development demand of wharf enlargement and specialness. The successful application of  $\phi 1\ 400$  large-diameter pile and cylindrical pile in Lianyungang may serve as reference for the pile foundation design of similar projects in the region.

**Key words:** pile foundation; port engineering; application

进入21世纪以来, 我国水运事业发展迅速, 码头向大型化、专业化方向发展。青岛港董家口港区兴建了我国第一座40万t矿石码头, 目前已投入运营。为适应船舶的大型化和深水码头的建设, 对码头结构形式提出了更高更多的要求。预应力大直径混凝土管桩在80年代研制成功后, 在我国南方各大港口得到了推广应用。在连云港,  $\phi 1\ 200$ 大直径管桩使用技术已非常成熟, 但 $\phi 1\ 400$ 大直径管桩尚无使用的先例。本工程不

仅是大管桩和钢管桩混合桩基, 也是 $\phi 1\ 400$  mm大管桩首次在连云港地区运用。沉桩工程的顺利实施, 为该地区其他类似工程(尤其是旗台港区其他码头)的桩基设计提供了有益的参考。本文就 $\phi 1\ 400$ 预应力混凝土大管桩及 $\phi 1\ 400$ 钢管桩混合桩基在连云港港口工程的应用实践进行了分析研究。分析大管桩和钢管桩各自不同的特点, 充分发挥不同桩型的优势, 设计出合理的混合桩结构形式: 直桩采用大管桩, 斜桩采用钢管桩。本文对这此混合

收稿日期: 2012-12-25

作者简介: 周伟(1980—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程建设管理工作。

桩结构进行研究，以使其得到更广泛的应用，适应码头大型化、专业化的发展需求。

### 1 工程概况

连云港港旗台港区25万吨级矿石码头水工建筑物工程位于连云港港旗台港区，连云港港口入海口处。本工程拟建1个25万吨级卸船泊位，长度为390 m；1个15万吨级卸船泊位（兼顾2个1万吨级装船泊位），长度为365 m，码头总长度为755 m，宽度为38 m。水工结构均按30万吨级散货泊位考虑。码头后沿由3座引桥与陆域连接，西端1#引桥及中间2#引桥宽度均为12 m，东端3#引桥宽为19 m，长度均为79.75 m。码头前沿线距围堤控制线113 m。

### 1.1 工程设计方案

码头采用栈桥式高桩梁板结构，排架间距为10 m，共有10个分段（其中8个分段长度为77.5 m，2个分段长度为67.5 m），上部结构采用现浇桩帽、预制纵横梁、等高连接及预制现浇叠合面板的形式，预制纵横梁及预制面板均采用预应力结构。每榀排架下布置10根桩，其中前后轨下均布置2根直桩（ $\phi 1400$  mm大管桩）和1根斜桩（ $\phi 1400$  mm大管桩，斜度30:1），中间布置2对叉桩（ $\phi 1400$  mm钢管桩，斜度3.5:1）。在码头东、西两端结合转运站结构增设纵向叉桩（ $\phi 1400$  mm钢管桩）。图1为矿石码头水工结构断面。

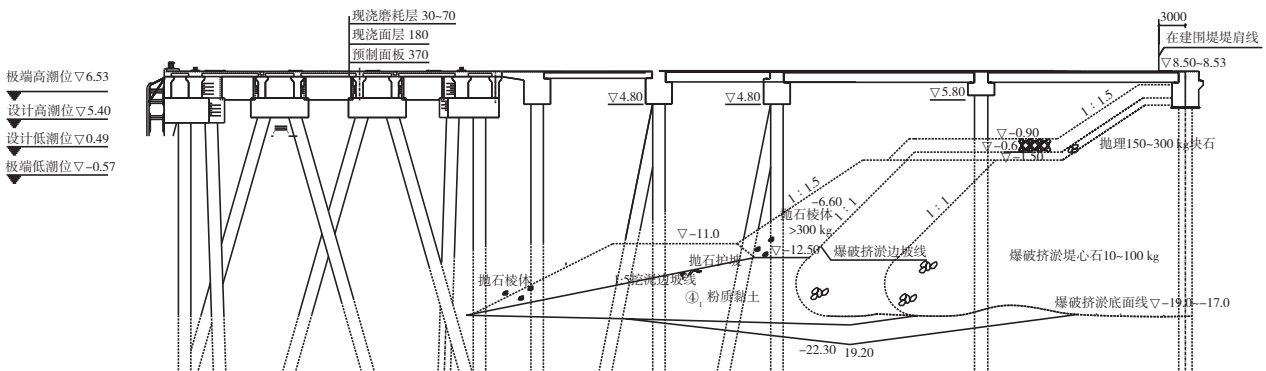


图1 矿石码头水工结构断面

### 1.2 工程自然条件

连云港港地处我国海岸线的中部，江苏省北部海洲湾顶至废黄河口之间岸线的转折处，其北靠云台山，前瞻东西连岛。连云港港北距青岛港101 n mile，南至上海港388 n mile，至基隆港702 n mile，香港1106 n mile，距韩国釜山港522 n mile，日本长崎港587 n mile。水上交通运输十分方便，优越的地理位置使连云港具有对内、对外双向辐射的区位优势。25万吨级矿石接卸码头工程位于老港区东防波堤以东至旗台嘴岸线范围，工程点地理坐标概位：北纬 34°44'12"，东经 119°28'30"。

#### 1.2.1 设计潮位（连云港零点）

- 设计高潮位： 5.40 m(高潮累积频率10%);
- 设计低潮位： 0.49 m(低潮累积频率90%);
- 极端高潮位： 6.53 m (50 a一遇高潮位);

极端低潮位： -0.57 m (50 a一遇低潮位)。

#### 1.2.2 设计波浪（仅波浪设计高水位、50 a一遇的波浪要素）

拟建工程位于马腰港区(原老港区)东防波堤以东至旗台嘴岸线区域，主要受NE，E，ESE向波浪作用。码头轴线方位角112°，码头排架主要受NE向强浪作用；引桥轴线方位角202°，引桥排架主要受E向强浪作用。码头区50 a一遇设计波要素见表1。

表1 50 a一遇波要素取值

水位	波向	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$T/s$	$L/m$
设计高水位	NE	4.70	4.00	3.30	8.0	88.8
	E	4.10	3.50	2.80	6.7	66.9
	SE	3.80	3.20	2.60	6.9	62.0
极端高水位	NE	5.05	4.30	3.54	8.0	88.8
	E	4.21	3.59	2.85	6.7	66.9
	SE	3.90	3.26	2.63	6.9	62.0

施工期设计波高 $H_{4\%}=1.2$  m，施工期波高为主

要施工船舶作业和基桩验算时控制波高,也可由施工单位根据船舶性能自行决定。

2004年6—7月东口门断面测流资料见表2。

表2 东口门南侧A0402垂线实测流速、流向

潮型	最大流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)	平均流速/(m·s <sup>-1</sup> )
涨潮	0.65	299	0.29
落潮	0.45	97	0.23

### 1.2.3 工程地质状况

根据杭州市勘测设计研究院2007年3月编制的《连云港港旗台港区25万吨级矿石接卸码头工程施工图设计阶段岩土工程地质勘察报告》及2007年9月提供的试桩补充勘察报告,拟建工程区域地基土的构成与特性分述如下:

#### 1) 海相沉积层。

①<sub>2</sub>灰黄色淤泥(Q<sub>m</sub><sup>4</sup>)饱和,流塑。该土层分布稳定,顶板高程一般为-2.70~-3.10 m。

①<sub>3</sub>灰色淤泥(Q<sup>4</sup>)饱和,流塑。该土层分布稳定,顶板高程一般为-5.10~-7.70 m。

①<sub>4</sub>灰色淤泥(Q<sup>24</sup>)饱和,流塑。分布稳定,局部有缺失,顶板高程一般为-9.50~-14.10 m。

#### 2) 陆相沉积层。

②<sub>2</sub>灰绿-灰黄色黏质粉土及粉质黏土(Q<sup>33</sup>)

饱和,稍密(可塑)。该土层小部分布,顶板高程一般为-14.60~-19.80 m。

#### 3) 冲海相沉积层。

③<sub>1</sub>灰黄色含砾粉细砂(Q<sup>23</sup>)。

湿,稍密-中密,该土层大部分布,顶板高程一般为-14.00~-21.30 m。

③<sub>2</sub>灰色黏土(Q<sup>23</sup>)饱和,流塑-软塑。该土层为局部分布。

#### 4) 陆相沉积黏土层。

④<sub>1</sub>灰黄色粉质黏土(Q<sup>13</sup>)。

饱和,软塑-可塑,该土层大部分布。顶板高程一般为-15.60~-21.40 m。

④<sub>2</sub>灰黄色粉质黏土(Q<sup>13</sup>)。饱和,可塑硬塑,分布稳定,顶板高程一般为-18.60~-25.20 m。

④<sub>3</sub>灰黄粉细砂(Q<sup>13</sup>)湿,稍密-中密,该土层局部分布,顶板高程一般为-24.30~-30.10 m。

5) 海相沉积土层。

⑤<sub>1</sub>灰色含砂黏土(Q<sup>13</sup>)。饱和,软塑-可塑,该土层为大部分布。

⑤<sub>2</sub>灰色黏土(Q<sup>13</sup>)饱和,软塑-流塑,该土层分布稳定。顶板高程一般为-26.80~-34.00 m。

⑤<sub>3</sub>灰色含砾粉细砂(Q<sup>13</sup>)湿,稍密-中密,该土层局部分布,平均层厚2.09 m。

⑤<sub>4</sub>灰色含砂黏土(Q<sup>13</sup>)饱和,软塑-可塑,该土层为局部分布,平均层厚3.41 m。

#### 6) 陆相沉积土层。

⑧<sub>1</sub>灰黄色粉质黏土(Q<sup>2</sup>)饱和,可塑-硬可塑,该土层为大部分布,平均层厚5.04 m。

⑧<sub>2</sub>灰黄色含砾粉细砂(Q<sup>2</sup>)湿,稍密-中密,该土层局部分布,平均层厚3.09 m。

⑧<sub>3</sub>灰黄色粉质黏土(Q<sup>2</sup>)饱和,可塑-硬塑,该土层为整体分布,平均层厚10.93 m。局部勘探点未揭穿。

⑧<sub>3</sub>夹灰黄色粉细砂(Q<sup>2</sup>)湿,中密,最大层厚4.70 m,最小层厚0.30 m,平均层厚1.71 m。

⑧<sub>4</sub>灰黄色粉细砂(Q<sup>2</sup>)湿,中密,该土层大部分布,顶板高程一般为-57.50~-66.90 m,平均层厚3.19 m。局部勘探点未揭穿。

## 2 工程试桩及技术分析

### 2.1 试桩分布、试验情况

由于连云港地区尚无φ1 400大直径管桩及钢管桩静载试桩资料,为确定φ1 400大直径管桩及钢管桩桩长必须进行试桩。本工程试桩结合变电所平台基桩工程进行,由2根试桩、6根锚桩、2根基准桩和其余6根工程桩组成。试桩S1为φ1 400 mm长67 m的钢管桩(Q345B),上管节长度为45 m,壁厚为22 mm,下管节长度为22 m,壁厚为18 mm;试桩S2为φ1 400 mm长63 m的大管桩(C2型),另加1.0 m长钢桩靴,钢板厚度为16 mm。锚桩M1~M6为φ1 400 mm长63 m的大管桩(C2型),另加1.0 m长钢桩靴,钢板厚度为16 mm。基准桩为φ1 400 mm长56 m的大管桩(C2型),另加1.0 m长钢桩靴,钢板厚度为16 mm。工程桩为φ1 400 mm长56 m的大管桩(C2型),

另加1.0 m长钢桩靴，钢板厚度为16 mm。试桩S1和S2预估极限承载能力标准值为11 000 kN。预估极限承载能力仅作为参考，试验用钢梁加载的能力应取预估最大试验荷载的1.3倍。本工程锚桩及基准桩均可作为工程桩。打桩设备为中交三航局租用的浙桩8<sup>#</sup>：架高93.8 m，锤型D125柴油锤，3档，桩垫为棕绳和竹胶板。根据JTJ 254—1998《港口工程桩基规范》规定，进行静载和动载试验对比，并对试桩进行高、低应变动力检测。测试区域桩位平面见图2。

**2.2 大管桩及钢管桩沉桩及动、静载试验结果**  
大管桩及钢管桩沉桩及动、静载试验结果见

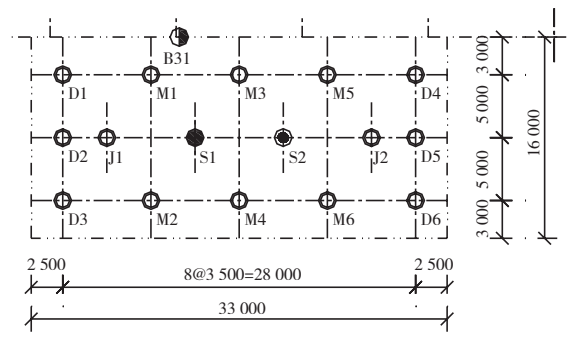


图2 测试区域桩位平面

表2。动测结果显示：桩锤最大传递能量为145 kJ，桩身完整性100%；复打承载力大于12 000 kN，静载承载力大于12 500 kN，满足设计要求。

表2 大管桩及钢管桩沉桩及动、静载试验结果

桩号	桩型	桩长/m	测试类型	测试日期	锤击力 $F_{MV}/kN$	传递能量 $E_{MV}/kJ$	应压力 $C_{SV}/MPa$	拉应力 $C_{SV}/MPa$	静土阻力/极限承载力/ kN	桩身完整性 系数/%
S1	$\phi 1400$ 钢桩	67	初打	2007-11-03	12 700	179	133.4	29.4	9 200 (9 240)	100
S2	$\phi 1400$ 大管桩	63	初打	2007-11-03	15 700	145	26.6	2.2	7 600 (7 770)	100
M1	$\phi 1400$ 大管桩	63	初打	2007-11-04	18 300	122	31.0	7.6	7 400	100
			复打	2007-11-22	12 000	66	26.1	7.1	11 500 (11 750)	100
M2	$\phi 1400$ 大管桩	63	复打	2007-11-04	15 400	107	26.6	5.7	7 000	100
			复打	2007-11-22	12 800	74	20.3	3.7	12 000 (12 060)	100
M3	$\phi 1400$ 大管桩	63	复打	2007-11-04	15 700	121	21.7	4.2	7 100	100
			复打	2007-11-22	14 600	75	24.7	4.5	12 800 (129 200)	100

**2.3 试桩**

试桩目的：

- 1) 确定大管桩单桩轴向抗压极限承载力，合理确定桩长；
- 2) 分析土层的阻力分布，打桩时的桩身应力及瞬时沉降特性，确定打桩控制标准；
- 3) 静载试验结果与高应变动力检测结果对比，验证动力检测参数的合理性，为施工阶段高应变检测提供依据。

**2.4 沉桩控制标准**

通过试桩并考虑桩的安全，结合试桩报告，制定了停锤标准。

- 1) 采用锤击沉桩，用125柴油锤、三档击打。停锤按设计高程和最后一阵10击平均贯入度控制，以高程控制为主，且控制总锤击数在1 000 ~ 1 500击之间。

- 2) 码头基桩承载力是以桩侧承载力为主，

沉桩以高程控制为主，贯入度作为校核。沉桩时按部颁JTJ 254—1998《港口工程桩基规范》要求做好沉桩记录和测定最后贯入度。当桩尖未达到设计高程，贯入度已 $< 3$  mm/击时，应继续锤击50击，若此时平均贯入度仍 $< 3$  mm/击，且桩顶距设计高程小于1 m，可停锤，若桩顶距设计高程大于1 m，应另行研究处理。当桩顶高程已达到或低于设计桩顶高程，而贯入度仍较大时，应由设计、监理、施工各方及时共同研究解决，必要时可做大应变动力检测以验证其承载力。

**3  $\phi 1400$ 大管桩应用情况、存在问题及改进措施**

**3.1 大管桩及钢管桩应用情况**

连云港矿石码头工程使用桩的数量及桩型：整个工程共计使用大管桩488根，钢桩360根。其中：引桥用大管桩6根，桩型分别为：大管桩54 m；码头用468根，桩型分别为：管桩54 ~ 58 m；

试桩13根,大管桩56~63 m。钢管桩长度为56~60 m。沉桩情况分析:按设计桩长制作并满足沉桩控制标准的桩合格率为100%。

### 3.2 存在问题及沉桩改进措施

原因分析及措施:若按设计桩长制作不满足沉桩控制标准的桩,主要是由于土层的变化较大在地质报告中反映不够详细而造成的,受施工条件等因素的限制,采取就近补桩措施,以满足设计要求。但在本工程未发现沉桩不符合控制标准。沉桩初期出现管桩内壁裂缝的现象,通过及时调整打桩船的锤击档位、能量。在以后的沉桩过程中,类似情况未再发生过。沉桩工程质量评定:沉桩合格率达100%,沉桩分项工程质量等级为优良。

### 3.3 大管桩制作的改进及质量控制措施<sup>[1]</sup>

#### 3.3.1 改进

在管桩中加入钢纤维以减少裂缝。

#### 3.3.2 质量控制

1) 在管节成型的质量控制方面:严把原材料和混凝土的工作度的质量关,混凝土成型工艺严格按工艺要求进行操作和控制;

2) 在管节养护控制方面:①采用立式蒸养工艺;②低温天气(0℃~+5℃)钢模外套保温罩后吊入蒸养座;③采用计算机辅助温度自动控制系统,计算机自动反馈实施结果;④负温情况下停止管节制作;

3) 在管桩拼接质量控制方面,着重解决:①随气温变化调整粘结剂的配比等;②管节在拼接台座上进行端面二次处理,保证粘结的效果;③采用二次张拉工艺。

4) 在管桩装船时采取有效的保护措施。

经过以上技术改进和有效的质量控制,桩基工程质量得到保障。

## 4 大管桩、钢管桩对比分析

### 4.1 优缺点

钢管桩是大型港口工程常用的桩型,钢管桩沉桩工艺十分成熟,对坚硬的土层其穿透性好,耐锤击性能特别优良,能够适应地质复杂的

工程条件,钢管桩对于岩面的起伏变化适应性能较强,水上的接桩和截桩比较方便,接桩技术也很成熟,便于施工,质量有保证;钢管桩特点是具有较大的抗弯能力,沉桩的斜率大,抗水平荷载能力很强;但其缺点是造价比较高,自身抗海水腐蚀不强,需要进行专门的防腐设计和维护。在外海大型深水高桩码头工程中和需要超长桩以及水平荷载较大和对桩抗弯要求更高的码头设计中,尽管钢管桩工程造价相对较高,但从码头结构设计和桩基施工两方面考虑,钢管桩在技术性能上具有其独特的优势,因此得到较多的应用。

大管桩特点是强度高、抗裂性能及耐久性好,能够承受大能量锤击<sup>[3]</sup>,成本比较钢管桩能够大大降低,有较好的防腐特性,在一般深水结构中能充分发挥其优势。在目前工程实践中,大管桩的斜率较小,一般为6:1~30:1,因而承受水平荷载能力与钢管桩相比抗弯能力相差较大,在水深较深、波流作用强的区域,其施工期自由长度、垂直度均受到外力作用的限制。是否可以尝试采用更大斜率,需要更多工程实践检验和技术论证<sup>[2]</sup>。

### 4.2 防腐保护措施

在海水环境建造高桩码头,钢筋混凝土构件锈蚀是影响码头使用寿命的主要原因。大管桩的保护根据腐蚀区域的划分,采用涂料或其他有效措施来防止或减少锈蚀进行保护。涂料的选用根据保护时间、效果及费用等综合确定。工艺简单易行。

连云港码头的钢管桩属于海中固定式结构,工作在水位变动区、水下区和泥下区3大腐蚀区。采用牺牲阳极阴极保护和涂层联合保护。涂装过程中的喷砂除锈、涂装、检验、补涂及养护要求较高,阳极块水下湿法焊接工艺复杂,保护系统运行后需要检测、维护管理。

### 4.3 耐久性

大管桩采用高速离心方法成型,混凝土密实性要高于普通预应力混凝土方桩,经过抗冻试验以及氯离子渗透实验报告证明其抗冻性和耐腐蚀性能良好,完全可以在有抗冻要求的地区使用。

矿石码头的钢桩防腐有效保护年限为30 a。

#### 4.4 性价比

预应力混凝土大直径管桩的桩端阻力和侧摩阻力较大,抗锤击性能远远高于普通预应力方桩。价格为1 800元/m(仅指购买价)。钢管桩的桩端阻力和侧摩阻力较小,价格为4 444元/m(含涂层保护费用,不包括牺牲阳极阴极保护防腐费用)。另外,大管桩的惯性矩大,抵抗水平力的能力远远超过普通预应力混凝土方桩。

## 5 结论

高桩码头结构方案的比选,实际上就是码头桩基结构形式的比较,其重要性不容置疑。大管桩已在大中型高桩码头中得到较广泛应用,但仅在20万吨级以下的码头工程中,可取代以垂直荷载为主的钢管桩<sup>[2]</sup>。考虑大管桩的经济、耐久性、强度高、耐锤击性能强、抗渗性能好、抗弯刚度大,大管桩的抗压性能较强,最适合垂直荷载大的情况。为解决在20万吨级以上高桩码头桩基中充分利用大管桩,尝试利用大管桩和钢管桩的不同特点,设计出混合桩结构形式,在矿石码头工程中混合桩基通过结构测试和试打桩的动、静载

试验,各项指标均达到设计要求,大管桩、钢管桩混合桩基在连云港25万吨级矿石码头的成功应用,取得良好的效果。目前大管桩及钢管桩混合桩基已在连云港高桩码头中得到了推广应用,在多个工程中采用了混合桩基。设计单位提出了CSC桩的设想:即在大管桩假象嵌固点附近,采用承受弯矩能力较大的钢管节代替;嵌固点以上桩身弯矩小于自身抗裂弯矩的部分仍可采用大管桩;桩尖部分入土较深,主要承受轴向力,也可采用大管桩。由于CSC桩的设想是首次提出,有待制造单位与科研机构共同努力,开发出具有广泛应用前景的新桩型,一旦开发成功,CSC桩将为大管桩在大型港口工程中的运用开创新的天地,为国家的港口工程建设节省大量的资金。

#### 参考文献:

- [1] 刘锐. 预应力混凝土大直径管桩在北方港口工程中的应用实践[J]. 中国港湾建设, 2007(2): 72-75.
- [2] 方育平, 何文钦. 大中型高桩码头不同类型桩基结构的应用与分析[J]. 水运工程, 2009(7): 87-92.
- [3] 周鹏. 大管桩在港口工程中的应用与分析[J]. 新乡学院学报, 2010(10): 64-65.

(本文编辑 郭雪珍)

~~~~~

## · 消 息 ·

### 国内首创1.4 m PHC桩基施工完成

近日,四航局承建的珠海集装码头二期工程完成国内首创的1.4 m PHC桩基结构施工。

该工程为高桩梁板结构,共8个结构段,包含钢管桩151根、PHC桩318根,其中1 400 mm B型PHC管桩为目前国内最大直径。该大直径PHC管桩于2010年5月30日通过专家鉴定,达到了国家有关规范要求,其结构耐久性好、抗锤击性能强、适用性广泛。该大直径沉桩投入使用,打破了PHC管桩在大型码头中无法发挥优势的局限性,为国内港口工程相关施工提供了宝贵的经验。

摘编自《交通建设报》