

# 钢混组合桩联接段沉桩应力传递效果分析

郭伟<sup>1</sup>, 卓杨<sup>2</sup>, 邱松<sup>2</sup>, 方利国<sup>1</sup>

(1. 上海港湾工程质量检测有限公司, 上海 201315; 2. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 钢混组合桩结合了混凝土管桩造价低和钢管桩抗弯性能好的优点, 在满足工程质量要求的前提下降低成本。结合工程实例开展钢混组合桩沉桩动应力测试, 对联接段的应力传递效果进行研究。结果表明: 联接段设计合理, 能起到很好的应力传递作用。

**关键词:** 钢混组合桩; 联接段; 沉桩; 动应力

中图分类号: U 655.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0164-05

## Piling stress transfer effect by connection section of steel concrete composite pile

GUO Wei<sup>1</sup>, ZHUO Yang<sup>2</sup>, QIU Song<sup>2</sup>, FANG Li-guo<sup>1</sup>

(1. Shanghai Harbor Quality Control & Testing Co., Ltd., Shanghai 201315, China;

2. Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The steel concrete composite pile combines the low cost of concrete cylinder pile and good flexural performance of steel tubular pile, and reduces the cost under the premise of satisfying the project quality requirement. Combining with the engineering practice, we carry out the dynamic piling stress test to study the effect of the stress transfer by the connecting section. The results show that the design of the connection section is reasonable and it plays a good role of stress transfer.

**Keywords:** steel concrete composite pile; connecting section; piling; dynamic stress

钢混组合桩是在预应力混凝土管桩的一端通过专用接头(联接段)锚接一段钢管桩而组成的新桩型, 该桩型结合了混凝土管桩造价低和钢管桩抗弯性能好的优点, 在满足工程质量要求的前提下, 达到降低成本的目的。目前钢混组合桩已在多个项目中得到应用<sup>[1]</sup>。

钢混组合桩联接段是连接混凝土管桩和钢管桩的关键结构, 已有文献对受力性能进行了研究, 并开展结构优化分析<sup>[2]</sup>, 但对于联接段在沉桩过程中的应力传递尚无相关成果发表。本文结合实际工程, 对钢混组合桩开展沉桩动应力测试, 对联接段的应力传递效果进行研究。

## 1 试验概况

### 1.1 地质情况

对在某工程中应用的2根钢混组合桩进行沉桩动应力测试。根据土层的沉积年代、沉积环境、岩性特征及物理力学性质, 勘探深度范围内的地基土层分为5个工程地质层, 并细分为10个工程地质亚层。工程场地地层结构如表1所示。

### 1.2 试验钢混组合桩

试验钢混组合桩桩长81 m, 上部为28 m钢管桩, 中间为0.5 m的联接段, 下部为52 m大管桩和0.5 m的钢桩靴。

表 1 工程地质层划分

土层	土质	层厚/m
① <sub>1</sub>	素填土 (mcQ)	6.30~8.50
① <sub>2</sub>	淤泥质粉质黏土 (mQ <sub>4</sub> <sup>2</sup> )	1.60~5.90
② <sub>1</sub>	淤泥质粉质黏土 (mQ <sub>4</sub> <sup>2</sup> )	7.30~37.80
② <sub>2</sub>	淤泥质黏土 (mQ <sub>4</sub> <sup>2</sup> )	7.50~29.00
③ <sub>1</sub>	粉质黏土 (mQ <sub>4</sub> <sup>1</sup> )	3.00~14.50
③ <sub>2</sub>	黏土 (mQ <sub>4</sub> <sup>1</sup> )	3.20~45.90
④ <sub>1</sub>	粉质黏土 (al-IQ <sub>3</sub> <sup>2</sup> )	2.50
④ <sub>3</sub>	粉质黏土 (mQ <sub>3</sub> <sup>2</sup> )	1.70~5.00
⑤ <sub>1</sub>	粉质黏土 (al-IQ <sub>3</sub> <sup>1</sup> )	1.20~30.50
⑤ <sub>2</sub>	圆砾 (dl-plQ <sub>3</sub> <sup>1</sup> )	该层未揭穿

钢管桩桩径 1 200 mm, 壁厚为 20 mm, 材料为 Q345 钢材。联接段由钢管、矩形加劲板、端部法兰、联接部法兰和钢覆板组成, 钢管内直径为 910 mm, 壁厚 25 mm; 矩形加劲板厚 25 mm, 数量 16 块, 等圆周布置; 端部法兰和联接部法兰厚 32 mm, 钢制包覆板外径 1 200 mm, 壁厚 6 mm。钢管桩本体与联接段端板之间用 16 块三角加劲板加固, 壁厚 16 mm, 与管桩环形端板等宽, 高度 500 mm。钢混组合桩联接段结构见图 1。

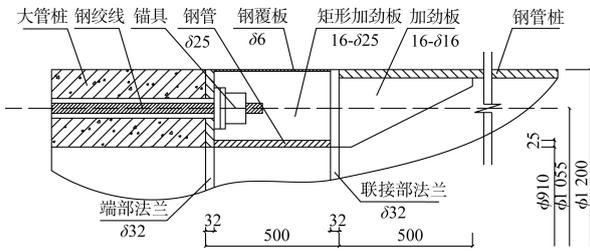


图 1 钢混组合桩联接段结构 (单位: mm。下同)

大管桩壁厚为 145 mm, 混凝土为离心振动辊压复合工艺生产的 C60 干硬性混凝土, 预应力筋采用 7φ5 钢绞线。

### 1.3 测点布置

考虑沉桩时的偏心锤击力影响, 所有测试断面均对称布置测点, 共 18 个, 测点布置见图 2。

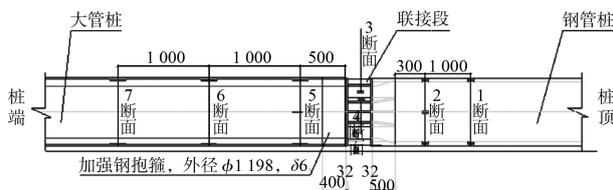


图 2 钢混组合桩动应力测点布置

1) 钢管桩段: 在 1 断面和 2 断面处沿桩周分别均匀对称布置 2 个、4 个测点, 共布置 6 个;

2) 联接段: 在 3 断面和 4 断面处沿桩周分别均匀对称布置 2 个测点, 共布置 4 个;

3) 混凝土管桩段: 在 5 断面、6 断面和 7 断面处沿桩周分别均匀对称布置 4 个、2 个、2 个测点, 共布置 8 个。

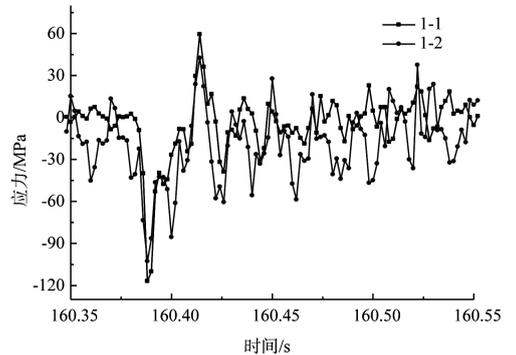
## 2 试验结果与分析

采用三航桩 18# 与 D100 柴油锤进行沉桩, 日本 TML 公司的 TMR-211 小型多通道动态数据采集仪进行数据采集。

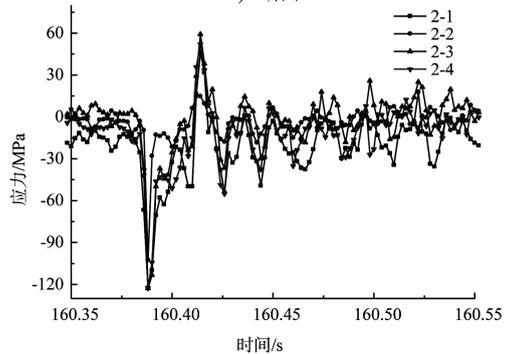
根据沉桩时桩尖所在土层不同, 对 1# 桩共进行了 4 次测试, 对 2# 桩共进行了 5 次测试。从测试结果看, 2 根桩在沉桩过程中, 各测点的规律基本保持一致, 只是在不同的高程由于锤击力大小的差异, 各测点的应力幅值大小不同。由于测试数据较多, 本文仅选取 2 根桩各 1 组数据进行分析。

### 2.1 钢管桩段应力

图 3~4 分别为 2 根桩钢管桩段各断面在某次锤击时的应力时程曲线。

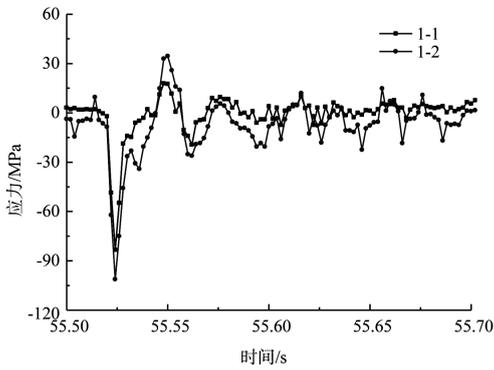


a) 1断面

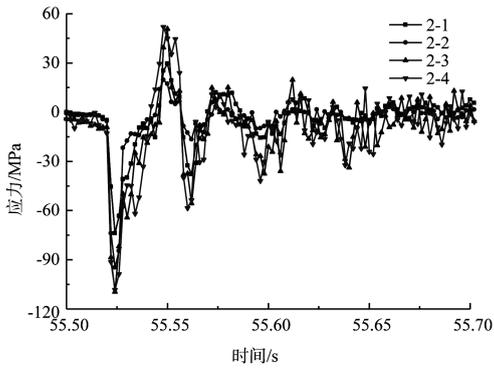


b) 2断面

图 3 1# 桩钢管桩各断面的应力时程曲线



a) 1断面



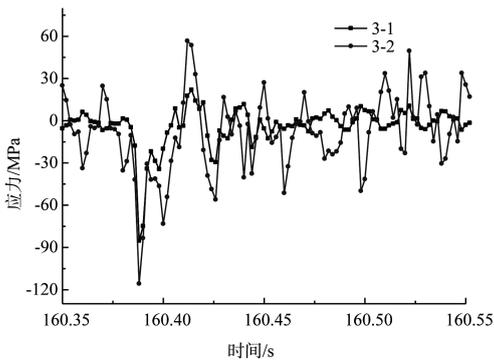
b) 2断面

图4 2#桩钢管桩各断面的应力时程曲线

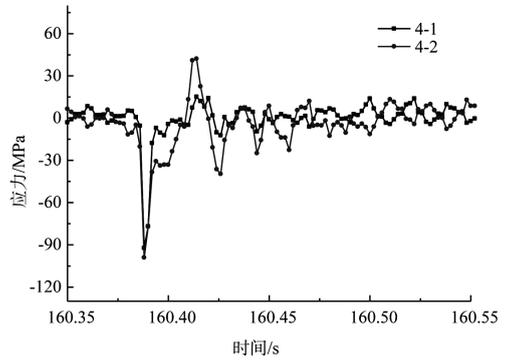
由图3~4可以看出, 1#桩1断面~2断面在测试过程中的最大锤击压应力在 100~120 MPa; 2#桩1断面~2断面在测试过程中的最大锤击压应力在 90~110 MPa。可见, 每根桩在同一锤作用下各测点的数据变化趋势相同, 能量能较好地往下传递; 各断面应力大小基本接近, 表明钢管桩上应力分布均匀, 偏心较小。

### 2.2 联接段应力

图5~6分别为2根桩联接段各断面在某次锤击时的应力时程曲线。

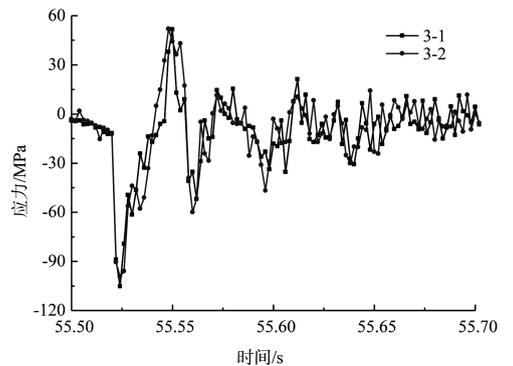


a) 3断面

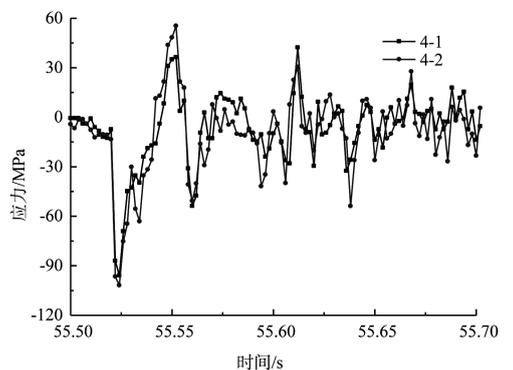


b) 4断面

图5 1#桩联接段各断面的应力时程曲线



a) 3断面



b) 4断面

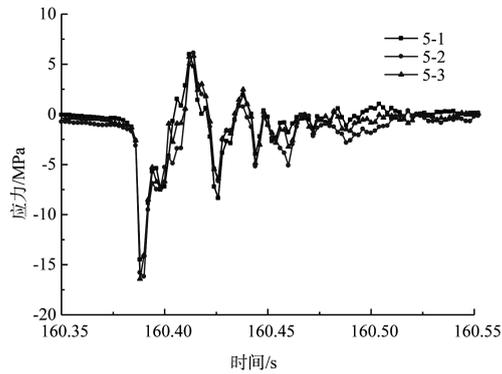
图6 2#桩联接段各断面的应力时程曲线

由图5~6可以看出, 2根桩的3断面~4断面最大锤击压应力在 90~110 MPa, 应力水平在合理范围内, 其他锤击数据的规律也基本一致, 表明联接段应力分布较为均匀, 能较好地传递锤击压应力。

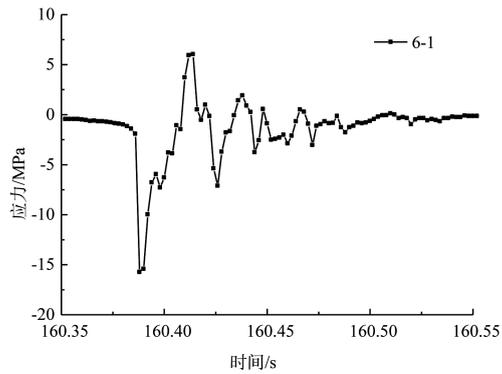
### 2.3 大管桩段应力

图7~8分别为两根桩大管桩段各断面在某次锤击时各测点及断面均值的应力时程曲线, 其中

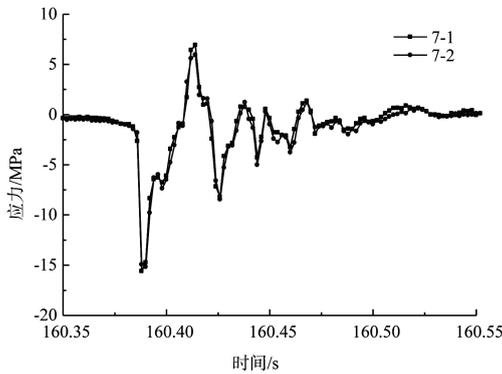
部分断面钢筋计在制桩时损坏而缺少相应数据,但不影响对总体规律判断。



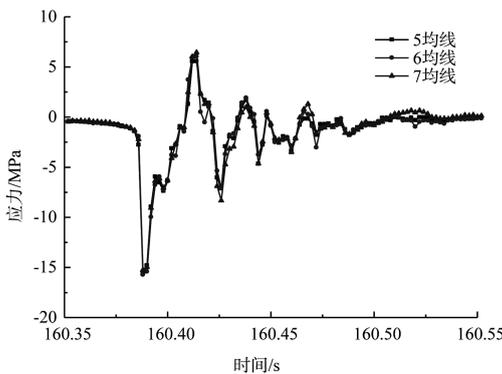
a) 5断面



b) 6断面

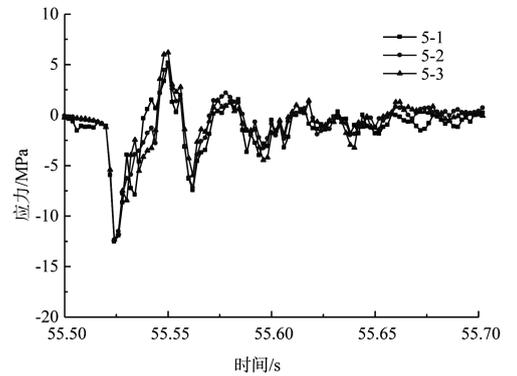


c) 7断面

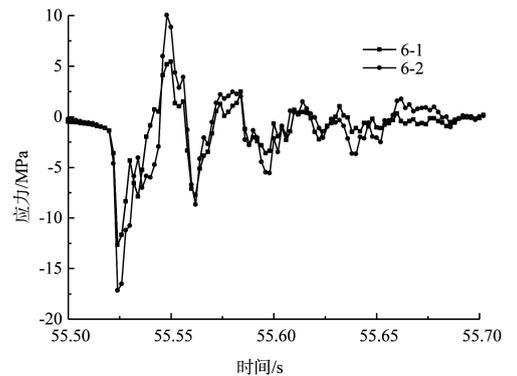


d) 各断面均线

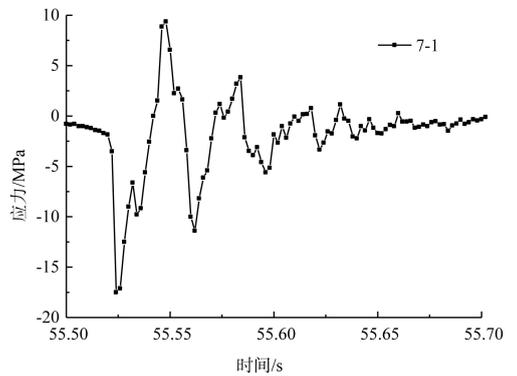
图7 1#桩大管桩各断面的应力时程曲线



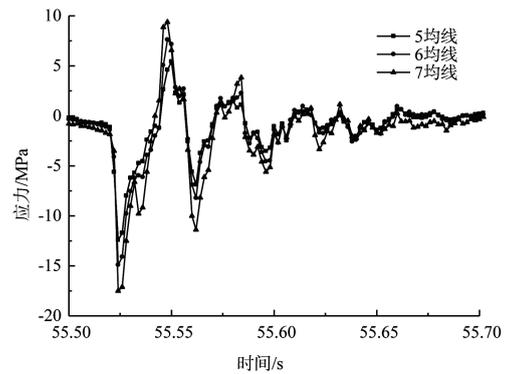
a) 5断面



b) 6断面



c) 7断面



d) 各断面均线

图8 2#桩大管桩各断面的应力时程曲线

由图7~8可以看出, 1#桩5断面~7断面在测试过程中的最大锤击压应力在15 MPa左右, 最大拉应力在7 MPa左右; 2#桩5断面~7断面在测试过程中的最大锤击压应力为12~18 MPa, 偏心较小, 最大拉应力为5~10 MPa。

根据规程<sup>[3]</sup>中式(1)和式(2)对大管桩锤击压应力和拉应力进行验算:

$$\gamma_{sp} \sigma_p \leq f_c \quad (1)$$

式中:  $\gamma_{sp}$ 为锤击压应力分项系数, 取1.1;  $\sigma_s$ 为大管桩锤击沉桩时的总压应力标准值;  $f_c$ 为大管桩混凝土轴心抗压强度设计值。

$$\gamma_s \sigma_s \leq f_t + \frac{\sigma_{pc}}{\gamma_{pc}} \quad (2)$$

式中:  $\gamma_s$ 为锤击拉应力分项系数, 取1.15;  $\sigma_s$ 为锤击拉应力标准值;  $f_t$ 为大管桩混凝土轴心抗拉强度设计值;  $\sigma_{pc}$ 为大管桩混凝土有效预应力值;  $\gamma_{pc}$ 为混凝土预应力分项系数, 取1.0。

C60混凝土 $f_t$ 和 $f_c$ 分别为2.04和27.5 MPa<sup>[4]</sup>;  $\sigma_{pc}$ 为10.93 MPa。

经计算, 大管桩混凝土的最大压应力和拉应力均满足设计要求。

从图7d)、8d)中可以直观地看出各断面应力水平基本一致, 表明大管桩上应力分布均匀, 无明显应力集中现象, 能量能较好地往下传递。

## 2.4 传递效果

2根钢混组合桩钢管桩段应力在90~120 MPa, 联接段内钢管外壁与矩形加劲板的应力为90~110 MPa, 大管桩段的压应力为12~18 MPa。

钢管桩段的应力与联接段的应力大小基本一致。

联接段内钢管外壁的应力与矩形加劲板的应

力大小基本一致, 表明矩形加劲板的尺寸与数量设置合理。

大管桩段的3个截面的应力基本一致, 表明在大管桩段应力能较好地往下传递。

根据桩身截面积与应力得到钢管桩段与大管桩段的轴力基本一致, 表明联接段能很好地传递应力, 联接段整体设计合理。

综上所述, 钢混组合桩在沉桩过程中, 联接段能将应力较好地向下传递, 大管桩桩身应力分布较为均匀, 满足设计和施工要求。

## 3 结语

1) 钢混组合桩沉桩时, 应力能较好地通过联接段从钢管桩传递到混凝土管桩上, 联接段设计合理;

2) 钢混组合桩沉桩时, 联接段大大缓解了混凝土管桩顶部混凝土的局部压应力, 使管桩顶部被打坏的可能性大大降低, 有利于桩身混凝土质量。

## 参考文献:

- [1] 刘永辉. 钢混复合桩在舟山综合基地工程中的应用[J]. 港工技术与管理, 2013 (S1): 8-12.
- [2] 卓杨, 吴锋. 钢混复合桩连接部优化分析[J]. 港工技术与管理, 2015(3): 1-3.
- [3] 中交上海三航科学研究所有限公司. JTS 167-6—2011 港口工程后张法预应力混凝土大管桩设计与施工规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

(本文编辑 郭雪珍)