

黄河三角洲地区预制桩挤密效应对砂（粉）土液化的降低作用浅析

王学习

中石化石油工程设计有限公司 山东 东营 257026

摘要：本文论述了黄河三角洲地区砂（粉）土的特点，通过工程实例研究了预制管桩施工在提高黄河三角洲地区地层锥尖阻力和标贯击数的作用，结果表明，预制管桩的挤密作用可提高黄河三角洲地区地层的强度、降低地层液化等级。

关键词：黄河三角洲；液化；桩基

黄河三角洲地区砂（粉）土分布不均、颗粒级配不良、性质变化大，在地震作用下可能发生液化现象。砂（粉）土液化可能导致地基失效从而引发上部结构破坏，对工程安全、建设投资有较大影响。

场地液化评价和液化处理一直是岩土工程界研究的重点，随着国家对抗震设计规范和地基基础设计规范的逐步更新和完善，地基液化分析和处理变得越来越重要。

在众多抗液化措施中，预制桩基在黄河三角洲地区作为抗液化措施的应用较少。本文结合工程实例介绍了预制管桩挤密效应在黄河三角洲地区降低场地液化等级的作用。

1 砂（粉）土液化

1.1 液化的概念

饱和砂（粉）土受动力荷载（地震、机器以及车辆振动、爆破等）作用后，松散的砂土有变得更紧密的趋势，孔隙水压力上升，有效压力减小，当有效压力完全消失时，砂层会完全失去抗剪强度和承载能力，变得像液体一样的状态，这就是砂土液化现象。

1.2 液化的危害

砂土液化会导致喷水冒砂、地面沉陷、地基软化、承载力下降、基础下沉等严重危害。

1.3 液化的判别

（1）初步判别：对于饱和粉土，当符合下列条件之一时，可初步判别为不液化或可不考虑液化影响：

1）地质年代为第四纪晚更新世（Q3）及其以前时，7、8度时可判为不液化；

2）粉土的黏粒含量百分率，7度、8度和9度分别不小于10、13和16时，可判为不液化土。

3）浅埋天然地基的建筑，当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时，可不考虑液化影响：

$$d_u > d_o + d_b - 2$$

$$d_w > d_o + d_b - 3$$

$$d_u + d_w > 1.5d_o + 2.0d_b - 4.5$$

（2）进一步液化判别：进一步液化判别采用标准贯入试验液化判别法，在地下20m深度范围内，液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算：

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] (3 / \rho_c)^{1/2}$$

当饱和砂土的标准贯入锤击数（未经杆长修正）小于或等于液化判别标准贯入锤击数临界值时，应判为液化土。

另外，可根据静力触探法、剪切波速法开展相应地质条件下的砂（粉）土液化判别^[1]。

1.4 地基液化等级

按公式： $I_{LE} = \sum (1 - N_i / N_{cri}) d_i W_i$ 计算每个钻孔的液化指数，综合划分地基的液化等级。（公式参考《建筑抗震设计规范》）

2 预制桩挤密效应

《建筑抗震设计规范》中说明不宜将未经处理的液化土层作为天然地基持力层，规范中根据液化等级和抗震设防类别给出了抗液化措施，但关于桩基措施方面仅说明了桩端应深入液化深度以下稳定土层中，没有说明桩基对降低地基液化等级的作用。

2.1 挤密效应原理

当桩打入土中时，桩的沉入使周围土体向外挤出，其体积被桩填充。桩身和桩端周围一定范围内的土会发生不同程度的扰动和重塑。桩间土受排土打入桩挤压后向压力较小的方向位移。上覆压力较小的浅层土向上隆起，其体积增大，应力释放比原状土更为松散，因而其桩周摩阻力较小。随着深度的增加，上覆土压力也越来越大，最后足以抵御挤压产生的上顶力，其桩周摩阻

力也相应增大。而在桩端发生的土体移动是以桩端为中心的球形径向移动。由于桩的打入，土体受到急速的挤压，在桩周围产生很高的超孔隙压力。在砂土地区，因其孔隙较大，超静孔隙水压力消散很快，沉桩的挤密效应主要表现在对土体强度的强化效应上。在超静孔压快速消散的同时，有效应力增大而使土体的强度得到提高。

2.2 挤密效应对砂（粉）土液化的影响

由于桩基的挤密效应，超静孔隙水压力消散后，砂土的有效应力增加，土体的强度增强，标贯击数较挤密前有所提高，钻孔液化指数减小，场地液化等级降低。

相同条件下桩间距大于8D时，桩基对于砂土的液化危害不起作用；当桩间距介于4~6D时，抑制作用表现得较为明显；当桩间距小于3D时，可完全消除液化危害^[2]。

3 工程实例

某工程场地可能液化的地层如下：

3-1-1层：粉砂（ Q_4^{al} ），灰色，松散，饱和，土质不均，夹粉质黏土及粉土团块，局部含大量贝壳碎片，贝壳含量2.3%~38.4%，黏粒含量10.4%~20.0%。

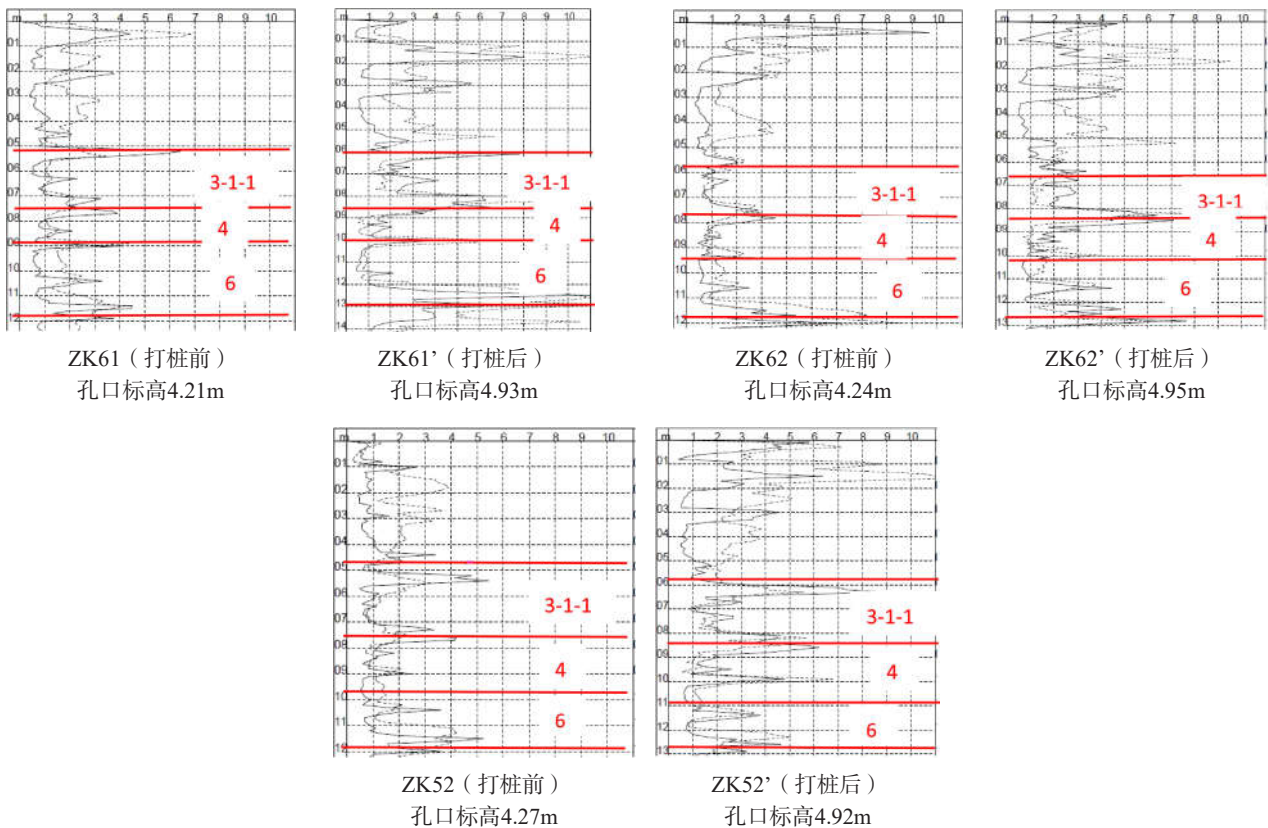
4层：粉土（ Q_4^{al} ），灰褐色，中密~密实，湿，土质较均，含云母及少量有机质，含贝壳碎片，摇振反应迅速。

6层：粉土（ Q_4^{mc} ），灰褐色，中密~密实，湿，土质较均，含云母及少量有机质，摇振反应迅速。

为了与预制管桩施工前钻孔形成对比，并消除打桩前钻孔的影响，打桩后的钻孔布置在距离对比钻孔3-5米的位置。以下以打桩前ZK61、ZK62、ZK52孔，打桩后对比孔ZK61'、ZK62'、ZK52'孔为例介绍打桩前后（桩间距2.2~2.3m，桩径D=0.5m）各地层的性质变化。

预制管桩施工前、施工后以上各层砂（粉）土的静力触探与标准贯入试验对比情况如下：

表1 打桩前后临近勘探点静力触探对比



通过对比打桩前后临近勘探点静力触探曲线，各岩土层位锥尖阻力对比如下表所示：

表2 打桩前后不同层位锥尖阻力变化对比

| 层号 | 打桩前锥尖阻力 (MPa) (ZK61) | 打桩后锥尖阻力 (MPa) (ZK61') | 地层参数平均提高 |
|-------|----------------------|-----------------------|----------|
| 3-1-1 | 0.5~6.1, 平均1.3 | 1.5~7.1, 平均2.5 | 92% |
| 4 | 2.1~4.2, 平均2.4 | 2.2~6.3, 平均5.3 | 121% |
| 6 | 1.2~4.1, 平均2.5 | 2.2~9.3, 平均4.1 | 64% |

续表:

| 层号 | 打桩前锥尖阻力 (MPa) (ZK62) | 打桩后锥尖阻力 (MPa) (ZK62') | 地层参数平均提高 |
|-------|----------------------|-----------------------|----------|
| 3-1-1 | 0.6~1.9, 平均1.1 | 1.5~3.1, 平均2.5 | 127% |
| 4 | 1.1~3.2, 平均1.8 | 1.9~6.3, 平均4.9 | 172% |
| 6 | 1.5~4.1, 平均2.5 | 3.2~6.3, 平均4.1 | 64% |
| 层号 | 打桩前锥尖阻力 (MPa) (ZK52) | 打桩后锥尖阻力 (MPa) (ZK52') | |
| 3-1-1 | 0.6~4.1, 平均1.1 | 1.0~7.1, 平均2.5 | 127% |
| 4 | 1.1~3.2, 平均1.8 | 1.3~6.0, 平均3.6 | 100% |
| 6 | 1.5~4.1, 平均2.5 | 3.2~6.3, 平均3.1 | 24% |

表3 打桩前后各岩土层标贯击数对比

| 层号 | 标贯击数 (打桩前) /击 | 标贯击数 (打桩后) /击 | 地层参数平均提高 |
|-------|---------------|---------------|----------|
| 3-1-1 | 3~8, 平均5.6 | 8~15, 平均11 | 96% |
| 4 | 5~17, 平均9.8 | 7~35, 平均13.8 | 41% |
| 6 | 5~16, 平均11.4 | 7~30, 平均15.6 | 37% |

表4 打桩前后场区标准贯入试验液化判别结果

| 打桩前 | | 打桩后 | |
|------------|--------|-----------|--------|
| 场区液化指数 | 场区液化等级 | 场区液化指数 | 场区液化等级 |
| 0.67~14.55 | 轻微~中等 | 2.47~5.96 | 轻微 |

由以上对比可知,在场区全部打桩后,场区可能液化地层(砂土、粉土)的锥尖阻力提高24%~172%,标贯击数提高37%~96%,地层强度有较大提高,场区液化指数降低,液化等级由轻微~中等液化降低为轻微液化。

4 结论

黄河三角洲地区普遍存在液化砂(粉)土层,土质不均,状态从松散到密实变化较大,本文通过工程实例,对比预制管桩施工前后场地土层的性能变化,静力触探锥尖阻力提高24%~172%,标贯击数提高37%~96%,

证明了预制管桩挤密作用有提高地层强度、降低地震液化的作用,对黄河三角洲地区地基处理和降低(消除)地层液化方面有指导意义。

参考文献

- [1]刘小丽,刘红军,贾永刚.黄河三角洲饱和粉土层地震液化判别方法及液化特征研究.岩石力学与工程学报,2007,7(26):2981-2987
- [2]韩立华,刘松玉.挤土桩对土层液化影响研究.工程抗震与加固改造,2005,2(27):66-69