

# 15000kN·m能级强夯置换在大型储油罐区 软基处理中的应用

兰志佳<sup>\*1</sup>,朱芝同<sup>2</sup>

(1.北京东方新星石化工程股份有限公司,北京 100070; 2.中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

**摘要:**根据工程实例,介绍了在大型储油罐区首次采用15000kN·m高能级置换强夯处理高含水量粘土地基的施工工艺,置换深度可达到9m,处理深度达到了16m,处理效果显著,可为其它具有类似地质条件的地基处理提供参考。

**关键词:**高能级置换强夯;大型储油罐区;高含水量;地基处理

**中图分类号:**TU472.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2015)01-0007-04

置换强夯法是强夯置换法的补充,是一种适用于处理高饱和度、低透水性、低强度、高压缩性软土地基的处理方法。其加固机理主要是置换作用,其次是对置换墩周围的墩间土进行二次加固,再次是挤密和大直径排水体的作用。其加固过程主要是置换体的形成和墩间土的加固,加固效果主要取决于置换体的深度。置换强夯法目前应用较少,须大力推广,强夯置换法在石化基地建设、仓储用地、铁路公路、填海造地等工程中得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。置换强夯法土体有效加固深度是反映地基处理效果的重要参数,又是选择地基处理方案的重要依据,与常规强夯法相比,高能级强夯(单位夯击能大于6000kN·m)的有效加固深度可达10~15m,可加固处理大厚度非饱和土、大面积重堆载场地、大中型油库、塔基、大型筏板地基、大厚度湿陷性黄土和新填土等,对提高地基强度和均匀性、降低压缩性、消除湿陷性、改善抗震动液化能力等具有明显的效果<sup>[2]</sup>。

本文结合xx原油商业储备基地工程,介绍xx<sup>#</sup>储罐以15000kN·m能级强夯置换法处理地表吹填土层及海陆交互沉积粘土地基的加固处理情况。

## 1 工程概况

xx原油商业储备基地工程工程重要性等级为一级,场地复杂等级为二级,地基复杂等级为二级,拟建构筑物为原油罐区。罐区内共布置xx台 $10\times 10^4\text{m}^3$ 储油罐及相应的变配电、雨水池等配套设施。

## 2 工程地质与水文条件

### 2.1 工程地质

根据野外钻探、原位测试及室内土工试验成果,依据场地岩土成因、年代、岩性及物理、力学性质,将本场强夯影响范围内地层自上而下分述如下:

①吹填土:浅灰—黄褐色,主要由细砂、中砂、粘性土组成,含贝壳碎片,有粘性土夹层,部分地段上部为淤泥,湿—饱和,松散,厚度0.90~13.70m。

①-1杂填土:主要由块石、碎石、粘性土等组成,分布于吹填土上部,松散,厚度1.00~11.10m。

①-2吹填粘土:灰—灰绿—黄褐色,主要由粘性土组成,混砂,软塑—可塑,厚度0.30~5.90m。

①-3吹填淤泥:深灰色,含有机质、贝壳碎片、具有腥臭味,混砂,流塑,厚度0.60~5.40m。

②泥炭质粘土:灰—深灰色,含有机质、贝壳,具有腥臭味,混砂砾,软塑—可塑,厚度0.30~4.50m。

③-1中—粗砂:黄褐—灰绿色,长石—石英质,颗粒呈亚圆形,均匀,含贝壳碎片,混粘性土,饱和,稍密—中密,厚度0.50~3.20m。

③-2碎石:主要由火成岩、变质岩碎块组成,亚角形,强—中风化,粒径20~40mm,最大可达60mm,空隙内充填多为粘性土,松散,厚度0.30~5.50m。

④粉质粘土:灰绿—褐黄色,含氧化铁、姜结石,有灰白色条纹,可塑,厚度0.10~4.30m。

⑤强风化花岗闪长岩:黄褐—棕褐色,主要由斜长石、石英、角闪石等矿物组成,中粗粒结构,似斑状构造,裂隙发育,充填石英岩脉,岩芯破碎,呈碎块状,厚

\* 收稿日期:2014-11-06 修回日期:2014-12-01

第一作者简介:兰志佳(1986-),男(汉族),天津人,助理工程师,现从事岩土工程的设计、施工及生产管理等工作。

度 1.00~10.00m。

⑥中风化花岗闪长岩:浅肉红—灰白色,主要由斜长石、石英、角闪石等矿物组成,中粗粒结构,似斑状构造,裂隙发育,充填石英岩脉,岩芯呈短柱状,未钻穿,揭露最大厚度为12.50m。

## 2.2 水文地质

本场地地下水为孔隙潜水及基岩裂隙水。场地地下水主要以大气降水的垂直入渗及周边区域地下水的径流补给,主要排泄途径为向大气蒸发和向海径流排泄,地下水的总体流向为从西向东,即从陆地向海域。

## 3 地基处理要求及难点

### 3.1 地基处理方案选择

根据勘察报告,场区内冲填土、杂填土成份杂乱,固结程度差,物理力学特性不均,不宜作为建筑物天然地基,场区内存在冲填土、杂填土较厚,最大深度13.7m,土层非常松软,压缩性大。若采用换填垫层法,土方量较大,且需要降水、排水,费用较高。为缩短工期,降低费用,为严格控制大型储罐基础的不均匀沉降,根据场地覆盖层地质特点,按地质详勘揭示的场地主要压缩层分布情况,采用不同能级进行置换强夯处理加固。处理后的承载力特征值达到250kPa以上。针对本工程,置换强夯法具有以下特点:

(1)材料充足、施工效率高、成本低。施工现场附近有大型采石场,碎石供应充足,保证施工的连续性;强夯工艺施工造价低,所用的碎石级配程度要求较为宽松,降低了原材料的加工成本。

(2)提高孔隙水消散速度,加快土体固结速度。由于场地土体含水量较高,强夯施工过程中与施工完成后的孔隙水消散时会沿夯点中置换墩的空隙渗出,一旦出现积水,用排水泵排除。

(3)软硬土体间加固的智能性。夯坑填料随着夯锤的不断夯击而向夯坑周边及下部扩散,在施工过程中,石料会通过上部传递的挤压力自动趋向较软的土体中扩散直至周边土体软硬度接近一致。当达到持力层时这一现象更为突出,最终使夯墩主体坐落在一个趋于稳定的持力层面,夯墩形成过程中的侧向挤压力也迫使墩间土承载力大幅提高。

(4)提高地基的均匀性。置换强夯与传统强夯置换工艺相比,增加了一遍墩间土的加固处理,进一步提高墩间土的承载力,改善地基均匀性,确保处理后的地基具备更高的稳定性,更能满足大型罐基础地基惧怕地基不均匀沉降的条件。

### 3.2 设计要求

(1)按照变形控制设计,确保地基加固处理后储罐基础以及辅助建构物的沉降和不均匀沉降符合国家现行规范要求。

(2)强夯处理深度为14~16m,承载力特征值不小于250kPa,压缩模量不小于15MPa。

### 3.3 本工程地基处理的难点

(1)高能级置换强夯处理高含水量粘土可行性问题。该场地地基回填土以软塑—可塑粘土为主,地基含水量高,高能级置换强夯加固地基的可行性及加固后的强度是未知因素。

(2)置换强夯的处理深度问题。国内目前强夯的主流能级为5000kN·m,置换的深度也不超过7m,而对于地质条件复杂、软土层厚较大、含水量较高的场地进行高能级置换强夯处理案例甚少<sup>[3]</sup>。本工程要求的强夯处理深度在16m,远高于国内常见的强夯置换深度,可借鉴的经验不多。

## 4 置换强夯设计与施工

### 4.1 置换强夯设计

(1)强夯参数。15000 kN·m能级置换强夯参数如表1所示。

表1 强夯设计参数

种类	遍数	夯击能 (kN·m)	夯点 间距 (m)	最后两击 平均夯沉 量(mm)	总夯击 数不少 于
15000 kN·m (平锤)	第一遍	15000	10	250	20
	第二遍	15000	10	250	20
	第三遍	8000	10	100	12
	第四遍	4000	5	50	8
	第五遍满夯	1500	1/3搭接夯	无	3

(2)回填料。夯坑回填料宜采用当地丰富的开山碎石,粒径大于300mm的颗粒含量不宜超过全重的30%。回填料应采用风化程度低、强度高的石块,以保证加固地基的强度和抗变形能力。填料时机根据夯坑深度确定,以不丢锤、不吸锤、夯坑内无水为原则。施工过程中应坚持“少喂料,喂小料,喂好料”的原则。

(3)夯点布置。对整个场区进行4遍点夯,第一遍夯点在设计的处理范围下均匀布置,夯点间距为10.0m;第二遍夯点位于第一遍4个夯点中心,类似的第三遍夯点在一、二遍4个夯点中心增加夯点,第四遍在一、二、三遍的4点个夯点中心增加夯点,每一遍施工

完毕后,及时进行场地平整。夯点布置如图1所示。

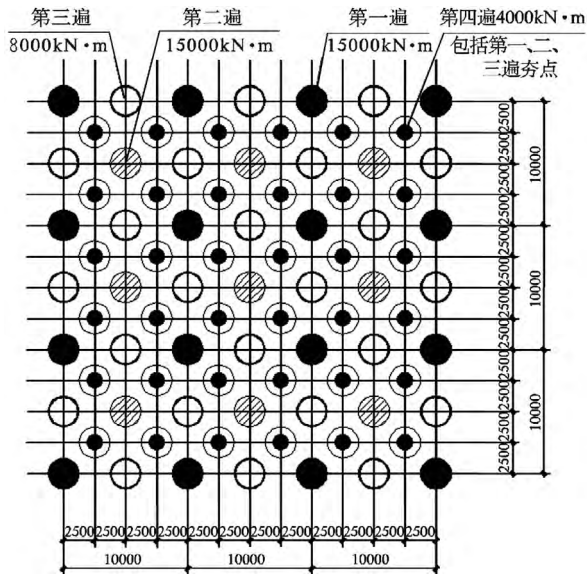
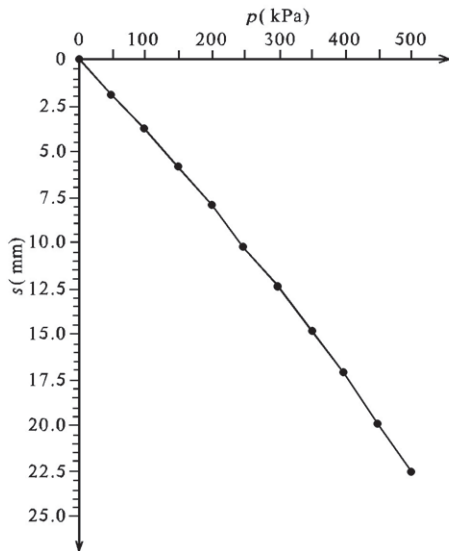


图1 15000kN·m能级夯点布置图

### 4.2 强夯置换施工

- (1)清理并平整施工场地;测量场地标高。
- (2)按设计要求布置第一遍夯点位置。
- (3)夯机就位,夯锤置于夯点位置。
- (4)测量夯前锤顶高程。
- (5)将夯锤起吊到预定高度,满足夯击能要求,开启脱钩装置,待夯锤脱钩自由下落后,放下吊钩,测量



锤顶高程。夯击并记录夯坑深度,完成1次夯击。

(6)重复步骤(5),当夯坑过深或发生起锤困难时停夯,向坑内回填碎石料(按设计要求击数过半后夯坑深度大于3m才可填料,没有提锤困难的现象时,夯坑填料不超过夯坑深度的1/3),并记录填料数量,并测量锤顶高程。当夯点周围软土挤出影响施工时(最大隆起量超过350mm),可随时清理并回填碎石。当夯坑内有水时,及时排除,并回填碎石料(第四遍4000kN·m能级点夯施工过程中不填料,主要对前三遍点夯后的墩间土起到加固作用)。

(7)重复步骤(5)~(6),按设计规定的夯击次数及控制标准,完成一个夯点(墩体)的夯击,用机械将碎石料填平夯坑。

(8)换夯点,重复步骤(4)~(7),完成第一遍全部夯点的夯击。

(9)整平场地。

(10)重复步骤(2)~(9),按设计要求的停锤标准和遍数完成点夯施工。

(11)完成全部夯击遍数后,用1500kN·m能级满夯,将场地表层松土夯实,并测量夯后场地高程。

### 5 置换强夯效果的质量检测

(1)载荷试验本罐体共13组载荷试验,各检测点地基承载力特征值均达到了250kPa,满足设计要求(图2)。

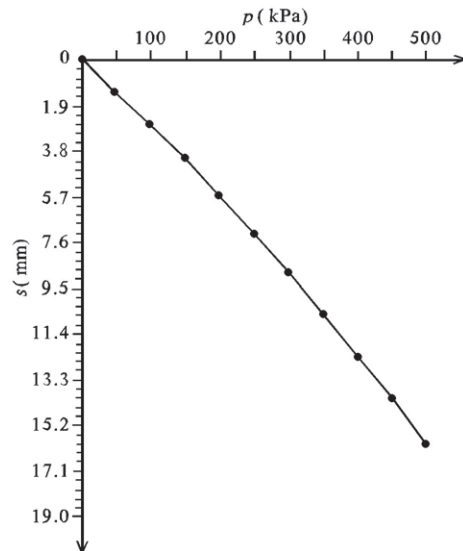


图2 组载荷试验P-S曲线图

(2)通过重型动力触探试验(图3)、标准贯入试验(图4)、瑞利波测试、钻孔取样及室内土工试验检测结果分析,检测点0~3m地基承载力特征值和压缩模量满足设计要求,3m至基岩的检测指标结果由设计人员

根据检测结果进行综合判断。

(3)夯墩长度测量第一遍夯墩3个、第二遍夯墩3个,平均长度7.1m,基岩埋深约10.8~11.8m。

(4)3m以下至基岩的地层厚度加权平均压缩模量



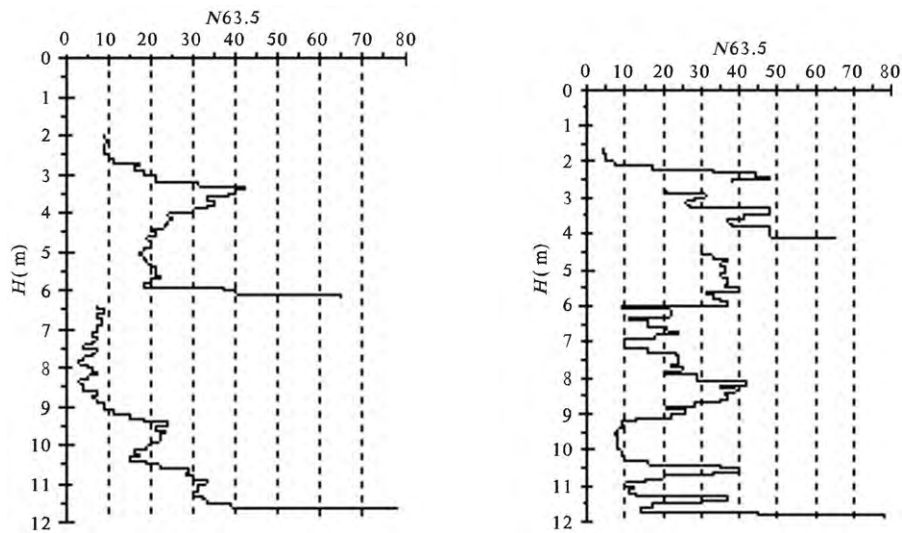


图3 重型动力触探试验曲线图

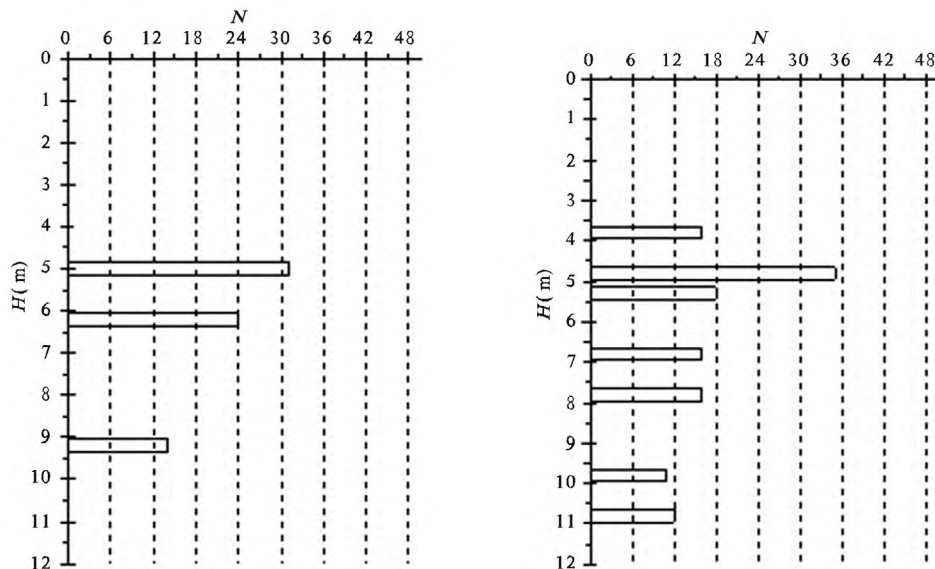


图4 标准贯入试验图

$E_v$ 为9.5~15.9MPa,其中最低厚度加权平均压缩模量为9.5MPa。

(5)总体上,强夯处理效果较明显,场地液化已消除,有效加固深度至基岩。地基土的均匀性稍好。

## 6 结论与建议

(1)置换强夯复合地基具有施工简单、取材容易、施工速度快、工期短、造价低,经济效益显著,前三遍点夯形成的置换墩起到了加速地基孔隙水的消散作用,降低了土体含水率,确保了第四遍4000kN·m能级点夯施工过程中采取不填料的形式对前三遍点夯形成的墩间土进行二次加固顺利进行,进一步提高墩间土的承载力,可为有类似地质条件工程的地基处理提供借鉴和参考。

(2)置换强夯处理饱和软土地基具有置换加固作用、挤密作用和排水作用,克服了强夯技术加固高含水量软土地基和强夯置换地基不均匀的缺陷,本工程的成功实施,验证了15000kN·m高能级置换强夯处理高含水量粘土的可行性,因此,置换强夯处理软土高含水量地基具有较高的推广价值。

## 参考文献:

- [1] 徐玉胜.大能量强夯置换法处理深圳地区软土地基的应用研究[D].中国铁道科学研究院,2009.
- [2] 王亚凌.高能级强夯工程实践与推广应用[J].地基处理,2003(3):29-30.
- [3] 李锋瑞.高能级强夯置换处理新填大厚度软土地基[J].建筑施工,2009(7):548.