

强夯法在加固砂土地基中的应用

苏建峰, 杨 艳

(陕西省机械施工公司南京分公司, 南京 210046)

摘要: 本文通过工程实例简介强夯法加固地基在砂土中的应用, 提高了地基承载力, 消除了液化, 达到了设计要求加固的深度, 效果显著。

关键词: 承载力; 加固深度; 液化; 强制排水

作者简介: 苏建峰(1978—), 男, 陕西闫良人, 从事施工管理工作。

0 工程概况

拟建场地位于石狮市蚶江镇石湖港工业区内, 西临石湖大道, 四周皆为待建的空地, 对强夯施工非常有利。

建设规模: 本次强夯区域为罐区、氢气氮气接收站、空压站。总强夯面积约为 3.5 万 m²。其中罐区 2.6 万 m², 氢气氮气接收站、空压站 0.9 万 m²。

1 地形、地貌及周边环境

拟建场地位于石狮市蚶江镇石湖港工业区, 场地开阔, 四周皆为待建的空地。原始地貌类型为风积沙纹地及坡残积台地, 场地地形总体由西南向东北倾斜, 现有农田旱地耕作区。

2 岩土分布及其特征

经钻探揭露, 拟建场地自上而下分布以下岩土体:

(1) 素填土(Q4ml): 全场地基本分布, 厚度 0~2.9 m。呈褐、褐黄色, 松散状, 干-稍湿, 主要由黏性土为主, 局部实为原耕植层土等组成, 杂质含量约 10%, 为新填土, 未经专门分层压实处理, 含植物草根等有机质物, 密实度差。

(2) 冲洪积粉质黏土(Q4dl-pl): 部分场地分

布, 厚度 1.70~5.30 m。顶板埋深 0.30~5.30 m, 顶板标高-0.37~14.17 m。呈褐红色、褐黄色, 湿-稍湿, 属新近冲洪积成因, 可塑-硬塑状, 以黏粉粒、石英沙砾为主, 含中粗砂约 15%左右, 切面稍有光泽, 韧性及干强度中等, 手捏有少许黏性, 上表面含少许有机质物。该层压缩系数 0.227~0.387 MPa⁻¹, 平均 0.31 MPa⁻¹, 属中压缩性土; 经杆长修正后标贯击数 12.4~17.5 击/cm, 平均 14.56 击/30 cm; 力学强度较高, 工程地质性能一般。

(3) 细砂(Q4m): 全场地基本分布, 仅部分缺失, 揭露厚度为 1.0~10.80 m。顶板埋深 0~7.20 m, 顶板标高-1.77~16.22 m。底部埋深 1.20~11.20 m, 底板标高-3.75~13.70 m。黄褐、灰白、灰黄色, 稍湿-饱和, 松散状。属风积成因, 以细石英砂为主, 颗粒级配较差, 该层经杆长修正后的标贯击数为 3.7~9.7 击, 平均击数为 6.19, 力学强度较低, 不宜作为拟建物持力层

(4) 淤泥质黏土(Q4m): 仅局部场地分布, 揭露厚度为 1.10~4.30 m, 顶板埋深 0.50~4.50 m, 顶板标高 2.27~8.90 m。底部埋深 2.50~6.50 m, 底板标高 0.27~6.40 m。灰黑色、深灰色, 含大量有机质物, 夹含中细砂, 以粉黏粒为主, 有臭味, 该层压缩系数 0.977~1.453 MPa⁻¹, 平均 1.12 MPa⁻¹, 属高压缩性土; 经杆长修正后标贯击数 2.9~5.6 击/cm, 平均 4.05 击/30 cm; 该层具有高压缩性, 触变性, 强度低等不良特征, 未经处理不宜作为拟建物持力层。

(5) 坡积粉质黏土(Q4dl-pl): 全场地基本分

布,厚度 1.0~10.6 m。顶板埋深 0~8.90 m,顶板标高-2.97~17.19 m。底板埋深 1.50~14.90 m,底板标高-9.0~15.43 m。石英砂砾为主,手捏少许黏性,含中粗砂约 15%~20%,底部含粗砾砂较多,切面稍有光泽,无摇震反应,干强度和韧性中等。该层压缩系数 $0.254\sim 0.351\text{ MPa}^{-1}$,平均 0.31 MPa^{-1} ,属中压缩性土;经杆长修正后标贯击数 10.4~17.2 击/cm,平均 13.8 击/30 cm,;力学强度较高,工程地质性能一般。

(6) 残积砂质黏性土(上段)(Qel):(按标贯实测击数 <20 击/30 cm 分为上段),场地少部分揭露。厚度 2.0~7.10 m。顶板埋深 0~9.6 m,顶板标高-2.50~13.39 m。底板埋深 3.80~12.80 m,底板标高-5.40~9.59 m。褐黄、灰黄、灰白色,属花岗岩风化残积砂质黏性土,含石英、长石、云母碎屑等,石英砾含量约 10%~15%,韧性中等,干强度较差,无摇震反应,切面稍有光泽。该层压缩系数 $0.284\sim 0.386\text{ MPa}^{-1}$,平均 0.33 MPa^{-1} ,属中压缩性土,经杆长修正后的标贯击数 13.5~21.1 击,平均 16.01 击,力学强度高,工程地质性能较好。但该层属特殊性土,具有泡水、扰动后易软化、崩解等不良特性。

(7) 残积砂质黏性土(Qel):(按标贯实测击数 >20 击/30 cm 分为下段),基本全场地分布,厚度 0.80~9.20 m。顶板埋深 0~14.90 m,顶板标高-9.0~16.79 m。底板埋深 1.0~16.30,底板标高-10.30~13.62 m,黄色、褐黄色,可-硬塑状态,以硬塑为主,主要成分是高岭土、长石、石英与云母,系花岗岩风化而成,切面稍有光泽,无摇震反应,干强度中等,韧性较差。该层压缩系数 $0.315\sim 0.4\text{ MPa}^{-1}$,平均 0.35 MPa^{-1} ,属中压缩性土;经杆长修正后标贯击数 15.4~22.7 击,平均 18.69 击,力学强度较高,工程地质性能较好。但该层属特殊性土,具有泡水、扰动后易软化、崩解等不良特性。

3 设计要求

(1) 强夯有效影响深度不小于 9 m,单击夯能不小于 4 000 kN,强夯后地基承载力特征值不小于 150 kPa。其中罐区 PX 罐(2 个、半径 25 m)强夯后地基承载力特征值不小于 250 kPa,燃料油罐(半径 15 m)强夯后地基承载力特征值不小

于 180 kPa。

(2) 按照规范、规程要求,按夯击点确定的技术参数进行。以各个夯击点的夯击数作为施工控制数值。

(3) 补充填土/砂石,在第一遍点夯完成或第二遍点夯完成后及时回填,根据第一遍强夯后的下沉量确定。

4 施工方法及技术措施

4.1 降水

本工程项目的重点和难点就是施工排水,排水系统布置是否合理,直接影响工程的进展和工程质量。为保证排水沟的畅通,充分利用排水系统,专门成立排水施工队对排水系统进行维护、疏通,达到迅速排除地表水、合理降低地下水位、降低土体含水量的目的。

4.2 排水沟的设置

根据现场勘测报告显示:拟强夯施工区域的稳定水位高低差距较大,高位距原地面 0.8 m;低位距原地面 2.6 m。因此,在大面积施工前,必须先进行现场排水,以保证施工质量并利于现场施工。排水沟的设置分两步进行:

(1) 为了尽可能自然降低砂层或土层内的积水,首先在拟强夯边界外 5 m 处用挖掘机挖一条永久排水沟。据了解在厂区的北面有一座废弃的水泵站,因此在靠墙的东西两边出水口挖设集水井,在围墙处挖两个小孔,利用废弃的水泵站和原有的管道把场地内的水汇集到集水井后排出墙外或排到业主单位指定的管道内。永久排水沟挖设深度为 2.0~2.5 m,下口宽 1.2 m,放坡 1:0.25。

(2) 在自然降低水位的基础上,上部土体的物理状态发生一定的变化,所以强夯机械在砂面上行走,不易产生液化。但在自然条件下砂土内的含水量还相当高,只有在外力的作用下,改变土体原有的物理状态,使水通过土体间的空隙渗透出去。因本工程单体面积较大,外围的排水系统可能不利于空隙水的排泄,在这种情况下,采取在强夯区域内再挖掘排水网络,场地内的排水网络与永久排水沟相通,使场地内的水及时排干。场内排水沟挖设深度为 2.0 m,下口宽 1.0 m,放坡 1:0.25。

表 1 施工机械设备一览表

序号	名称	规格型号	数量	单位	用途
1	履带式起重机	W200A	2	台	400 kN·m 强夯
2	自动脱钩	自制	2~3	只	强夯用
3	夯锤	18-20T	2	只	强夯
5	振动压路机	YZ14J	1	台	碾压

5 设计强夯施工参数

点夯间距 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$, 正方形布置, 夯能为 $4\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、采用隔点不隔行二遍点夯夯, 每遍夯点夯击数 $8\sim 12$ 击, 且最后两击平均贯入度小于 10 cm , 每遍强夯之间间歇时间不少于 7 天, 根据试验情况确定; 普夯一遍二击, 夯能 $1\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$, 搭接 $1/3D$; 振动碾压压实。

对于灌区的地耐力要求为 250 KP 及 180 KP , 承载力比较高, 采用在两遍点夯完成后, 在该区域回填约 $60\sim 80\text{ cm}$ 厚的石料, 进行增加 $2\ 500\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的点夯, 击数 $4\sim 6$ 击, 夯点间距为 $3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 完成后再进行搭接宽度为 $1/3$ 锤径, 夯能 $1\ 500\text{ kN}\cdot\text{m}$, 每点 2 击的平夯, 以达到设计要求。

夯锤采用底面积 5.0 m^2 左右、锤底静压为 30 kPa 的圆台形 $18\sim 20\text{ T}$ 铸铁锤, 经计算确认后, 在施工时必须对夯锤落距进行测定与控制(表 1)。

6 强夯地基检测及分析

6.1 地基承载力

表 2 地基土承载力试验结果汇总表

试验点编号	最大试验荷载 Q_{\max} (kPa)	对应 Q_{\max} 沉降量 S (mm)	地基土变形模量 E_0 (MPa)	地基土压缩模量 E_s (MPa)	地基土承载力 f_{ak} (kPa)	对应 f_{ak} 沉降量 S (mm)
ZH1	500	17.45	6.3	6.6	250	6.9
ZH2	500	18.09	6.3	6.6	250	6.9
ZH3	500	16.68	6.8	7.2	250	6.36

注: 地基土变形模量 $E_0 = 0.89(1 - \mu^2)d \times P/S$; 地基土压缩模量 $E_s = E_0/\beta$ 。

6.2 检测结论

由本工程进行的 PX 罐区的 3 个点的平板静载荷试验资料可以看出(表 2), 3 个试验点在加载至最大试验 500 kPa 过程中, 各级沉降量稳定、连续、无突变, 累计沉降量分别为 17.45 mm 、 18.09 mm 、 16.68 mm , 该 3 个试验点位处经处理后的强夯地

基土承载力 (f_{ak}) 均可达到设计要求不小于 250 kPa , 地基土压缩模量 E_s 在 6 MPa 以上, 满足设计要求。

6.3 岩土工程检测

表 3 标贯试验成果简化表

孔号	序号	试验深度	实测击数	地基编号	地层名称
		(m)	(平均) (击/30 cm)		
ZK1	1	1.15~3.95	23.0	2	细砂
	2	5.25~10.25	21.25	3	残积砂质黏性土
ZK2	3	1.15~5.65	20.0	2	细砂
	4	6.85~10.05	23.0	3	残积砂质黏性土
ZK3	5	1.65~3.45	16.5	2	细砂
	6	5.15~8.45	19.3	3	残积砂质黏性土
ZK4	7	1.65~3.65	18.0	2	细砂
	8	4.85~9.95	20.25	3	残积砂质黏性土
ZK5	9	1.65~7.15	21.25	2	细砂
	10	8.50~10.25	12.5	3	残积砂质黏性土
Zk6	11	1.15~5.65	19.25	2	细砂
	12	6.85~9.95	22.67	3	残积砂质黏性土

表 4 饱和砂土、粉土液化判别成果表(简化)

钻孔编号	地层编号	试验深度	地下水位	黏粒含量 R_{60} (%)	计算临界值 N_{cr} (击)	标贯实测值 N (击)	液化判定
		d_s (m)	d_w (m)				
ZK1	2	1.30~3.5	0.60	3.00	8.61	23.0	不液化
ZK2	2	1.30~5.50	0.50	3.00	9.38	20.0	不液化
ZK3	2	1.80~3.3	0.60	3.00	8.76	16.5	不液化
ZK4	2	1.80~3.5	0.50	3.00	8.92	18.00	不液化
ZK5	2	1.80~7.00	0.50	3.00	10.22	21.25	不液化
ZK6	2	1.30~5.50	0.60	3.00	9.30	19.25	不液化

通过对强夯地基处理后标准贯入试验(表 3)及相关规范综合整理分析, 结论如下: 强夯后达到设计要求, 强夯有效加固深度不小于 9 m ; 强夯后场地细砂层在有效加固深度范围内液化等级为不液化(表 4)。

7 结束语

通过强夯后的地基检测分析, 结果表明地基土的承载力、加固深度、消除液化得到了明显的效果, 对比强夯前的土体物理性指标也发生了不同程度的变化, 达到了设计要求。强夯施工工艺的

选择与土体结构以及物理性指标有直接关系,适用的地基选择强夯工艺参数也是与土质有着直接的关系,根据强夯的要求必须配合有效的降水和碾压措施,使强夯的效果得以实现和保证。总之强夯法与其他的施工工艺相比有很多的优点,比如具有能级高、冲击力大、影响深度大、加固效果显著、适用范围广、方便快捷、工期短、施工费用低等。从工艺上讲,由于强夯产生的震动局限它的

地域性,以及受天气的影响比较大。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准. JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 曾国熙,等. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988.