

高真空击密法加固淤泥质土试验研究

江锋, 袁盛杰, 陈天幸

(湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430050)

摘要: 湖北地区处理淤泥质土路基多采用粉喷桩法, 但其造价和环保方面优势不大。文中探索高真空击密法在淤泥质软土地基地面上的应用, 采用 2 遍高真空排水—击密循环工序施工, 施工沉降、孔隙水压力、静力触探、载荷试验等数据对比结果表明高真空击密法适用性良好。

关键词: 公路; 高真空击密; 淤泥质土; 孔隙水压力; 静力触探; 回弹模量

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)06-0080-03

高真空击密法是一种快速加固软土地基的技术, 它通过高真空排水—击密的多遍循环, 浅层插入高真空排水管抽水负压及击密产生的正压形成压差使孔隙水快速排出, 使浅层地基土达到超固结, 软弱土层性质进一步提高, 形成刚度较大的硬壳层。两道工序的相互作用, 实为动力主动排水固结, 具有质量可控、造价较低、工期节约、环保等优点。湖北地区道路工程施工中, 特殊路基处理往往采用粉喷桩法, 即利用搅拌桩机将水泥喷入土体并充分搅拌形成复合地基, 其造价较高、环保性较差。鉴于此, 该文探索高真空击密法对湖北公安地区以淤泥质土为主的场地的适用性。

1 工程概况

湖北公安县境内某公路工程项目, 位于长江以南汉江盆地与洞庭湖盆地过渡地带, 属长江及其支流间的河湖冲积平原, 地势较平坦, 起伏较小, 植被发育, 以农作物为主, 池塘、小湖泊较发育, 海拔高程一般为 26~37 m。在地势低洼或水草茂盛的地方, 多为过去的河漫滩湖泊或牛轭湖, 多分布有一层或多层较厚的条带状或透镜体状软土, 基岩一般埋藏

较深, 其堆积巨厚的第四系沉积物以细颗粒为主, 主要由第四系全新统冲(洪)积黏性土、细砂及卵石层组成。地下水很浅。

从上至下土层描述如下: 1) 粉质黏土。黄褐色, 饱和, 可塑为主, 局部硬塑, 含铁锰质氧化物, 局部夹有可塑状粉质黏土、粉土和粉砂。2) 淤泥质土。灰褐色, 流塑为主, 局部软塑, 饱和, 摇震反应明显, 局部夹有薄层粉土、可塑状粉质黏土, 并互层, 含大量有机质, 呈灰褐色, 有腥臭味。3) 粉质黏土。灰色, 饱和, 可塑为主, 局部硬塑, 多与细砂、粉土互层。4) 细砂。灰色, 饱和, 中密~密实, 并与粉土互层, 主要成分为石英、长石及云母, 砂质分布较均匀。5) 卵石。杂色, 饱和, 中密, 成分以石英及燧石为主, 呈次圆状, 粒径 1~5 cm, 大于 2 cm 颗粒含量约 50%, 由细砂及少量黏性土充填。典型地质剖面见图 1, 土体物理力学性质指标见表 1。

选取 K1+950—K2+150 段共 6 672 m² 进行高真空击密法试验, 要求达到如下指标: 工后沉降 ≤ 30 cm, 地基处理交工面设计高程以下 1.46 m, 包括结构层 0.66 m 及路床 0.8 m, 该交工面承载力特征值 ≥ 120 kPa, 回弹模量 ≥ 30 MPa。

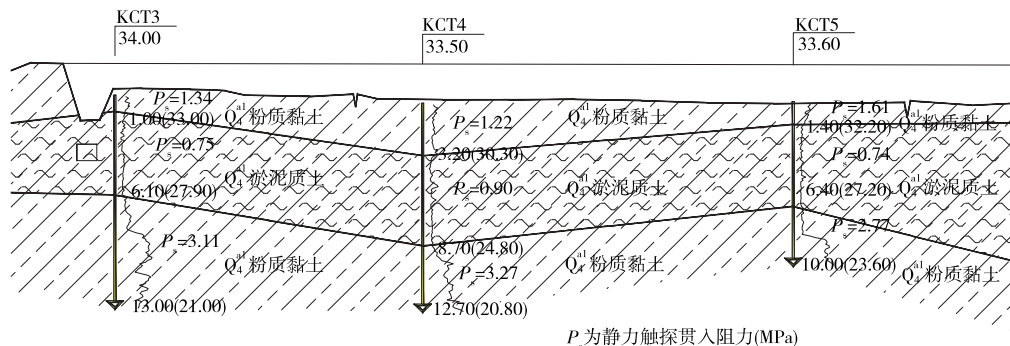


图 1 试验区典型地质剖面图(单位: m)

表 1 土体物理力学性质统计

地层编号	岩土名称	含水量/%	孔隙比	塑性指数	压缩模量/ MPa	静力触探 试验/MPa	标准贯入 试验/击	静力触探 试验/MPa
1	粉质黏土	—	—	—	—	1.46	—	160
2	淤泥质土	36.6	1.025	15.2	3.60	0.60	3.0	70
3	粉质黏土	27.4	0.790	16.8	6.58	2.74	6.7	180

2 试验方案

2.1 试验目的

对淤泥质软土路基通常采用粉喷桩法处理,经对比分析,高真空击密法在质量、工期、造价、环保方面均具有优势,故选取高真空击密法对试验段进行处理,分析高真空击密法的适用性。通过试验实现以下目标:1) 高真空击密法处理后地基承载力、回弹模量、工后沉降能否达到设计要求;2) 针对类似工程地质情况,通过试验段试验,确定真空管间距、排水时间等排水参数及最佳夯能、击密间距、击密间隔时间、击密次数和遍数等击密工艺参数,为后期大面积施工提供依据;3) 动态了解地基处理对各土层的加固效果和变形特征;4) 处理效果和经济效益对比;5) 了解高真空击密对周边建(构)筑物的影响及相应措施的控制效果。

2.2 施工工艺

- (1) 清表并整平场地,回填 30 cm 厚砂砾石。
- (2) 设置隔水措施。在试验区边线处设置真空管作为密封措施。开挖到 3.5 m 处时出现一处透土层,采取换填封堵措施,然后在两侧开挖排水沟。
- (3) 高真空排水。分别插设真空管深管和浅管对土层进行分层排水、分层控制,地下水位降至地面以下 2.0 m 后进行第一遍击密,击密过程中不中断排水。
- (4) 击密。满足要求后进行第一遍点夯击密,击密过程中不中断排水,拔除影响夯机行走的真空管。排水 7 d 后,根据试夯结果,第一遍击实能量采用 1 000 kN·m、2 击时效果最好,周边土体无明显隆起;6 d 后第二遍击密能量采用 1 200 kN·m、2 击;满夯击密能量为 800 kN·m、1 击。
- (5) 高真空击密施工完成后,碾压并整平场地。

3 监测与检测

地基处理施工过程中进行高程测量、静力触探试验、水位观测、孔隙水压力观测,其中水位观测和孔隙水压力观测作为施工过程中的参数控制措施,

高程测量用于了解处理期间的沉降并判断处理后标高是否满足设计要求,静力触探试验用于判断处理深度方向土层的指标改善情况。处理后由第三方进行承载力和回弹模量检测,判断承载力和回弹模量是否满足设计要求。

3.1 地表沉降

地基处理前后在道路沿线每隔 20 m 一个断面测量标高,处理前场地平均标高为 33.40 m,处理后场地平均标高为 33.16 m,高真空击密期间平均沉降为 0.24 m。地基处理交工标高在路床底以下平均为 0.85 m,满足交工标高不高于路床底的要求。

3.2 孔隙水压力

为检测每遍高真空击密产生的超孔隙水压力及其消散情况,判断下一遍击密时间,在地层中埋设孔隙水压力计。试验区范围内埋设钢弦式孔压计,埋设深度分别为 2.0(1# 观测孔)、3.5 m(2# 观测孔),地下水位在地表以下约 0.5 m,观测结果见表 2 和图 2。

表 2 孔隙水压力观测结果

工况	孔隙水压力/kPa	
	1# 观测孔	2# 观测孔
初始值	16.03	22.05
第一遍击密前(谷值)	11.60	18.76
第一遍击密后(峰值)	37.36	41.78
第二遍击密前(谷值)	15.40	22.17
第二遍击密后(峰值)	37.10	44.90
满夯前	18.92	24.77

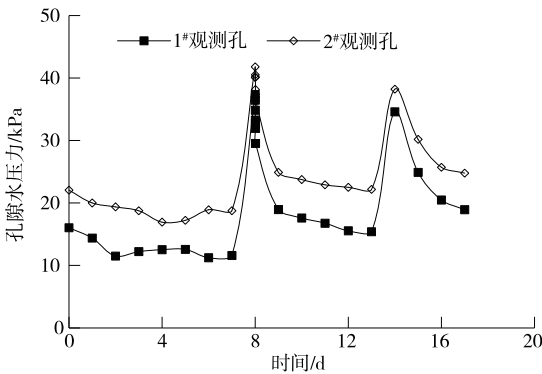


图 2 孔隙水压力曲线

由表2和图2可知:1) 1#观测孔第一遍高真空排水约7 d,第8 d开始第一遍击密之前的孔隙水压力为11.60 kPa,第一遍击密激发的最大孔隙水压力约37.36 kPa,超孔隙水压力为25.77 kPa;第二遍排水时间约5 d,孔隙水压力由37.36 kPa降至15.40 kPa,孔压消散21.97 kPa、约85.5%;第二遍击密激发的最大孔隙水压力为34.58 kPa,超孔隙水压力为19.19 kPa;继续排水约2 d,孔隙水压力由34.58 kPa降至18.92 kPa,孔压消散15.67 kPa、约81.7%。2) 2#观测孔第一遍高真空排水约7 d,第8 d开始第一遍击密之前的孔隙水压力为18.76 kPa,第一遍击密激发的最大孔隙水压力约为41.78 kPa,超孔隙水压力为23.02 kPa;第二遍排水时间约5 d,孔隙水压力由41.78 kPa降至38.21 kPa,孔压消散19.60 kPa、约85.2%;第二遍击密激发的最大孔隙水压力为38.21 kPa,超孔隙水压力为16.04 kPa;继续排水约2 d,孔隙水压力由38.21 kPa降至24.77 kPa,孔压消散13.44 kPa、约83.79%。

对孔压观测数据进行分析,得到如下规律:1) 不同埋设深度处,孔隙水压力变化规律基本相同,均表现为击密时很短的时间内孔隙水压力上升很快,击密完成后在下次高真空排水初期孔压消散较快,后期消散速率趋于平缓;2) 击密后超孔隙水压力瞬间升高很大,在高真空排水作用下孔压消散较快,排水效果明显;3) 在下一遍击密前,超孔隙水压均已消散80%以上,可按此考虑各遍击密之间的间隔时间。

3.3 静力触探测试

为检验高真空击密加固过程中土体强度增长效果,地基处理前、后(休止26 d)分别在K1+950、K2+000、K2+120处进行静力触探试验。如图3~5及表3所示,高真空击密处理结束,休止约26 d后,0~6 m深度范围内 P_s 值提高幅度平均约23.5%,效果显著。

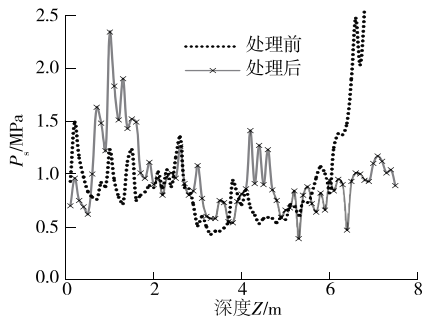


图3 K1+950处静力触探曲线

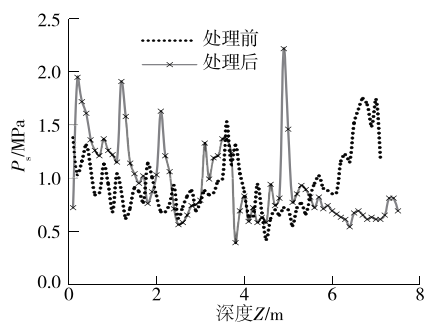


图4 K2+000处静力触探曲线

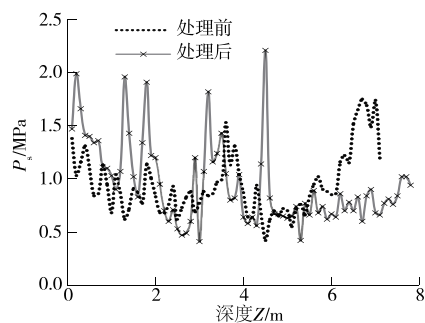


图5 K2+120处静力触探曲线

表3 高真空击密处理前后静力触探数据对比

桩号	深度/m	P_s 平均值/MPa		处理后 P_s 提高幅度/%
		处理前	处理后	
K1+950	0~6	0.806	0.968	20.1
K2+000	0~6	0.867	1.027	18.5
K2+120	0~6	0.756	0.998	32.0
平均值	0~6	0.810	0.998	23.5

3.4 平板载荷试验

平板载荷试验采用慢速加载法,荷载板大小为1 m×1 m,逐级等量加载,最大加载量为240 kPa。平板载荷试验结果见表4,处理后承载力特征值大于120 kPa,满足设计要求。

表4 平板载荷试验承载力特征值

试验点	位置	最大试验荷载下		承载力特征值	
		试验结果		荷载/kPa	沉降/mm
		荷载/kPa	沉降/mm		
ZH1#	K1+980 右 8 m	240	13.66	120	2.91
ZH2#	K2+040 中线	240	10.64	120	2.48
ZH3#	K2+100 左 8 m	240	9.37	120	1.94

3.5 回弹模量试验

现场回弹模量采用30 cm直径圆形承载板,表5为现场测定回弹模量值,回弹模量均满足 ≥ 30

(下转第87页)

的危险滑动面及开挖过程中坡体的变形特征采取相应预防措施,做到边开挖边支护,降低边坡滑移风险,保证施工过程安全。

该文重点分析了开挖与降雨时序作用下边坡的应力与稳定性演化规律,但未考虑开挖与降雨作用下坡体岩土力学参数的劣化。

参考文献:

- [1] 陈祖煜,弥宏亮,汪小刚.边坡稳定三维分析的极限平衡方法[J].岩土工程学报,2001,23(5):524—529.
- [2] 李晶岩,付丽.边坡稳定性分析方法[J].山西建筑,2011,37(4):65—67.
- [3] 周荣先.碎石土边坡现场直剪试验及稳定性分析[J].公路交通科技(应用技术版),2018(8):101—103.
- [4] 邵江.开挖边坡的渐进性破坏分析及桩锚预加固措施研究[D].成都:西南交通大学,2007.
- [5] 任永胜,刘盼.降雨对公路边坡稳定性影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2015(2):64—66.
- [6] 熊勇林,朱合华,叶冠林,等.降雨入渗引起非饱和土边坡破坏的水—土—气三相渗流—变形耦合有限元分析

[J].岩土力学,2017,38(1):284—290.

- [7] 唐正光,徐则民,鲁婷,等.亚热带多雨地区路基上边坡病害机理研究[J].公路交通科技(应用技术版),2018(2):33—36.
- [8] 张理平,杨小明,张鸿,等.降雨和开挖对滑坡力学性能影响的试验分析[J].四川建筑科学研究,2016,42(2):47—50.
- [9] 刘新喜,张平,邓宗伟.炭质泥岩软岩基座路堑边坡开挖过程稳定性分析[J].中外公路,2016,36(6):14—16.
- [10] 薛海斌,党发宁,尹小涛,等.边坡强度参数非等比例相关折减法研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(增刊2):4005—4012.
- [11] 陈勇,杨贝贝.基于ABAQUS的非饱和边坡流—固耦合分析[J].地下空间与工程学报,2016,12(4):938—945.
- [12] 张伟.渗流场及其与应力场的耦合分析和工程应用[D].武汉:武汉大学,2004.
- [13] 赵欣桐.短时强降雨作用下土质边坡稳定性分析[J].公路与汽运,2020(5):58—60.

收稿日期:2021-01-29

(上接第79页)

rization of permanent deformation behaviour of unbound granular materials under repeated triaxial loading[J].Construction and Building Materials,2012,28:79—87.

- [17] 聂如松,李亚峰,冷伍明,等.列车间歇荷载作用下路基细粒土填料的塑性变形行为及临界动应力研究[J].岩石力学与工程学报,2021,40(4):828—840.

收稿日期:2021-05-27

(上接第82页)

MPa的设计要求。

表5 现场测定回弹模量值

试验点	位置	回弹模量/MPa
HT1 [#]	K2+050 右 7 m	43.89
HT2 [#]	K2+080 中线	46.35
HT3 [#]	K2+140 左 8 m	47.88

4 结论

(1) 试验段范围内高真空击密法地基处理效果显著,处理后0~6 m深度范围内静力触探 P_s 值提高约23.5%,处理过程中平均沉降约24 cm,处理后承载力达到120 kPa、回弹模量达到30 MPa,满足设计要求。

(2) 通过对周边建(构)筑物采取开挖隔震沟、裂隙监测、加固土体等措施,高真空击密施工对周边

建(构)筑物未造成不利影响。

(3) 高真空击密法地基处理直接费用较低,使用期维护费用少,工程造价较低,具有良好的经济效益和适用性。

参考文献:

- [1] 王连文,郑少河.高真空击密法加固饱和软土地基的试验研究[J].岩土工程学报,2010,32(增刊2):521—524.
- [2] 徐士龙,楼晓明.高真空击密法加固吹填粉煤灰地基的实例[J].粉煤灰,2004,16(6):19—21.
- [3] 汪国贤,苏银强,杨倩.真空预压加固深厚软土效果的影响因素分析[J].公路与汽运,2021(5):86—90+94.
- [4] 武亚军,张孟喜,徐士龙.高真空击密法吹填土地基处理试验研究[J].港工技术,2007(1):43—46.

收稿日期:2021-04-21