

山区含碎石黏土地基强夯超孔隙水 压力变化规律试验研究

谢志方

(湖南省交建工程集团有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 对南方山区某机场含碎石黏土地基工程开展强夯试验研究, 探究不同强夯能级作用下含碎石黏土地基超孔隙水压力的变化规律。试验结果表明, 山区含碎石黏土地基适合采用低能级强夯工艺进行加固, 过大夯击能易对含碎石黏土地基表层土体结构产生较大破坏, 损坏原有渗流结构, 造成孔隙水淤积而无法及时消散, 形成橡皮土, 削弱夯击能的传播功效, 降低施工效率; 推荐选取夯击能 $1\ 600\ \text{kN} \cdot \text{m}$ 的强夯工艺, 点夯最佳击数为 7~8 次, 夯点水平布置间距控制在 4.5 m, 第一、二遍点夯夯击间隔时间取 36 h, 第二遍和满夯间隔时间取 54 h。

关键词: 公路; 强夯; 地基处理; 超孔隙水压力; 含碎石黏土

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0076-03

南方山区某拟建机场地基中存在大量含碎石黏土, 其颗粒级配、物化性质及渗透特性等具有不均匀性, 局部存在较大粒径块石, 孔隙水含量较丰富, 埋藏较浅。考虑到该机场所在地区的地形条件, 冲压工艺无法达到运行速度, 振动碾压工艺的加固范围有限, 选用强夯工艺对该工程含碎石黏土地基进行加固处理。

李晓静、周健、黄晓波、施有志等通过分析强夯过程中超孔隙水压力的变化情况, 分析了强夯加固机理和加固效果, 确定了合理的强夯施工工艺; 张功新等对孔隙水压力监测中遗留的问题进行研究并提出了相应对策; 白冰等提出了强夯荷载作用下饱和土层孔隙水压力简化计算方法。但目前并未深入开展山区含碎石黏土地基强夯过程中超孔隙水压力变化规律的研究, 没有形成可靠的理论方法和适用性强的强夯工艺, 其强夯加固效果及孔隙水压力消散情况尚不清楚。为此, 该文结合该工程开展含碎石黏土地基强夯试验, 分析不同强夯能级作用下含碎石黏土地基超孔隙水压力随水平距离、土层竖向深度、时间及夯锤击数的变化规律, 为强夯法处理含碎石黏土地基的研究与工程实践提供指导。

1 试验概述

1.1 工程概况

拟建机场场址区属低山丘陵, 以丘岗地为主, 地形有一定起伏、比较开阔, 地面除少数民房外, 多为

耕地和林地。前期地质勘探发现地基土中存在大量含砾黏土, 其颗粒级配、物理力学性质、渗透特性等具有不均匀性, 局部存在较大粒径块石, 孔隙水含量较丰富, 埋藏较浅, 且地处丘状山体斜坡地带, 地质情况较复杂。根据钻孔情况, 场地内土层由表及里的竖向分布为: 1) 黏性耕土, 层厚 0.3~0.7 m; 2) 褐黄色黏土, 层厚 0.9~7.10 m, 土层平均层厚 4.43 m; 3) 风化岩, 呈褐红色、紫红色, 泥质及少许钙质胶结, 中厚层状构造, 主要矿物成分为石英、长石及黏土矿物等。

1.2 试验方案

试验场区分别设置 I 区 ($1\ 200\ \text{kN} \cdot \text{m}$)、II 区 ($1\ 600\ \text{kN} \cdot \text{m}$)、III 区 ($2\ 200\ \text{kN} \cdot \text{m}$)、IV 区 ($3\ 000\ \text{kN} \cdot \text{m}$) 4 个不同能级强夯试验小区, 依次在各试验小区周围距夯锤中心 3、5、7 m 位置选取测点, 在测点表面向下距离表面 2、4、6、8 m 位置埋设孔隙水压力监测设备, 在强夯处理过程中对超孔隙水压力进行实时监测, 重点监测单点夯最佳夯锤击数、夯击间隔时间及超孔隙水压力消散时间等。在试验场区周围采用盲沟等进行排水处理。强夯施工参数见表 1, 场区孔隙水压力监测设备布置方案见图 1。

2 试验结果及分析

2.1 不同深度处超孔隙水压力随时间的消散规律

各强夯试验小区不同深度位置超孔隙水压力随时间的变化见图 2~5。

表 1 原地面强夯处理施工参数

| 强夯分区 | 主夯 | | | | | 满夯 | | | | 面积/ m ² |
|-------|-------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|----------|------------|------------|-----------------------|
| | 单点夯击能 量/(kN·m) | 夯点间 距/m | 单点击 数/次 | 夯击遍 数/遍 | 夯点布 置形式 | 夯击能量/ (kN·m) | 夯点 间距 | 单点击 数/次 | 夯击遍 数/遍 | |
| I 区 | 1 200 | 3.0 | 8~10 | 2 | 正方形 | 1 000 | 1/3 锤印搭接 | 3 | 1 | ≥40×40 |
| II 区 | 1 600 | 3.5 | 8~10 | 2 | 正方形 | 1 000 | 1/3 锤印搭接 | 3 | 1 | ≥40×40 |
| III 区 | 2 200 | 4.0 | 8~10 | 2 | 正方形 | 1 000 | 1/3 锤印搭接 | 3 | 1 | ≥40×40 |
| IV 区 | 3 000 | 4.5 | 8~10 | 2 | 正方形 | 1 000 | 1/3 锤印搭接 | 3 | 1 | ≥40×40 |

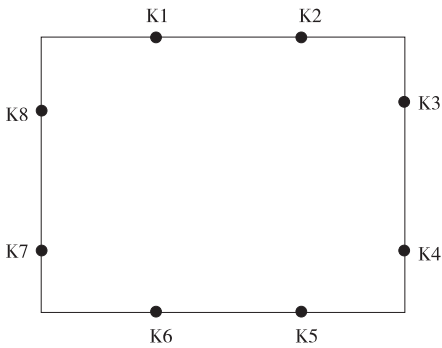


图 1 孔隙水压力测点布置平面图

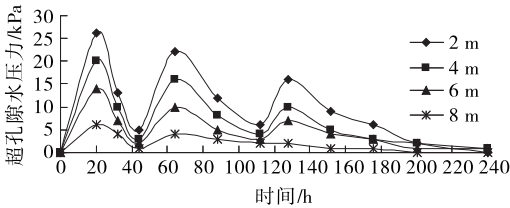


图 2 I 区超孔隙水压力随时间的消散规律

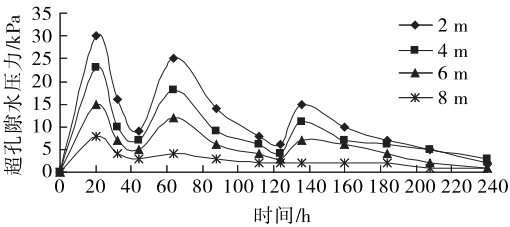


图 3 II 区超孔隙水压力随时间的消散规律

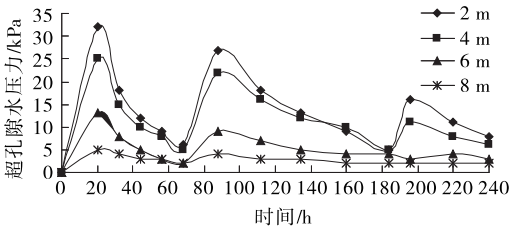


图 4 III 区超孔隙水压力随时间的消散规律

由图 2~5 可知:1) 超孔隙水压力峰值均出现在单遍点夯刚完成时,随后进入消散期;随着夯击能的加大,相同遍数下超孔隙水压力峰值逐步增大,峰

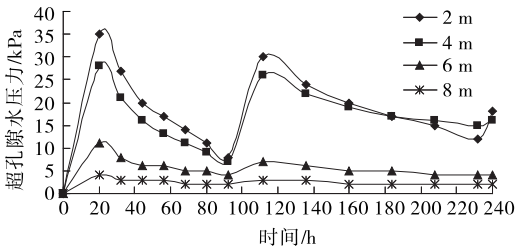


图 5 IV 区超孔隙水压力随时间的消散规律

值之间的间距逐步加大;同一能级强夯作用下,随着点夯遍数的增加,峰值逐步降低,峰值之间的间隔时间逐步增大。2) 浅层 0~4 m 的超孔隙水压与深层 4~8 m 的超孔隙水压的峰值差异及随时间的变化幅度差异较大,且这种差异随着夯击能的增长逐步增长。当夯击能增加到 1 600 kN·m(II 区)时,深层 6~8 m 的超孔隙水压力峰值随着夯击能的增加而逐步回落,超孔隙水压在 96 h 内浅层 0~4 m 范围消散约 85%,深层 6 m 位置消散约 80%,深层 8 m 位置消散约 50%。通常超孔隙水压消散达到 70%~80% 时进行后续夯击的效果最佳,按照这一原则,随着强夯能级的增加,完成满夯的周期逐步增加,I、II、III 区的完成时间依次为 130、140、210 h,而根据现场观察结果,IV 区在满夯后超孔隙水压迟迟无法消散。

2.2 超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化规律

各强夯试验小区超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化见图 6~9。

由图 6~9 可知:在夯击过程中,深层 6~8 m 的超孔隙水压力增量小于浅层 0~4 m 的超孔隙水压

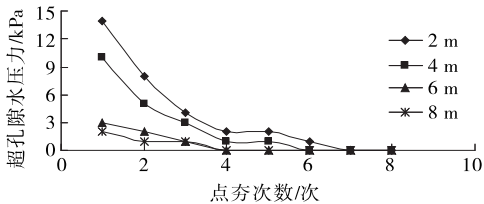


图 6 I 区超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化

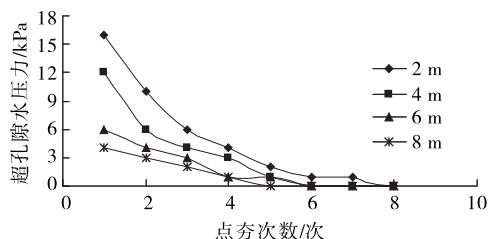


图7 II区超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化

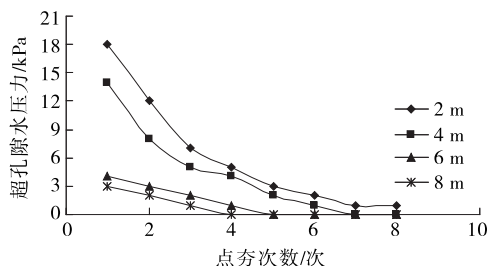


图8 III区超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化

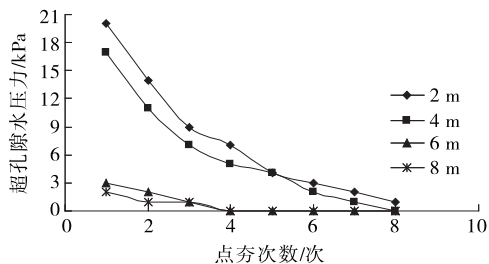


图9 IV区超孔隙水压力增量随夯锤击数的变化

力值;单次超孔隙水压力增量随着夯锤击数的增加而逐步下降,且减弱趋势从浅层往深层位置逐步加大;第一遍夯击次数达到6次时,不同位置超孔隙水压力增幅明显减弱,其中6~8 m深孔位置的孔隙水压力变化趋于零,建议将点夯次数控制在6~7次。随着夯击能的增加,点夯前三次时各试验小区浅层0~4 m位置处的超孔隙水压力增长幅度与夯击能成正比,深层位置的孔隙水压力则较早出现稳定,夯击能增加至1 600 kN·m时(见图7),深层范围的超孔隙水压力达到最大增幅,随着夯击能的继续增长,孔隙水压力增幅反而减小。

2.3 超孔隙水压力随水平距离的变化规律

以II区为例,分析不同水平和竖向距离范围内超孔隙水压力的变化规律,结果见图10~12。

由图10~12可知:随着点夯次数的增长即超孔隙水压力测点与夯锤中心距离的扩大,不同竖向深度处的孔隙水压力变化趋于减弱,表现为曲线趋于平缓,斜率变小,说明夯击能的传播随着水平范围的增大逐步衰减,且这种变化趋势从浅层到深层6~8 m范围逐步加剧;强夯II试验小区的水平影响

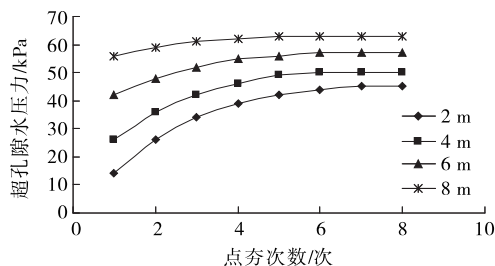


图10 第一遍点夯距离夯坑3 m处超孔隙水压力变化

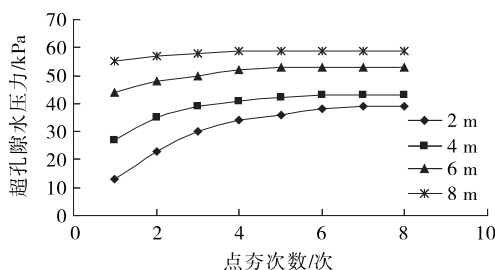


图11 第一遍点夯距离夯坑5 m处超孔隙水压力变化

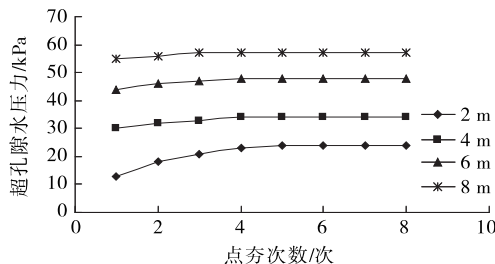


图12 第一遍点夯距离夯坑7 m处超孔隙水压力变化

范围约5 m,水平5 m位置的竖直方向影响深度约4 m,整个影响范围近似苹果形状。

2.4 试验结论

综合上述分析,随着夯击能的增大,夯击能对含碎石黏土地基表层土体结构的破坏深度逐步拓展,碎石黏土渗流路径破坏范围逐步增加,受碎石黏土层结构内部淤积的孔隙水的影响,夯击能被表层破碎软弱碎石黏土层吸收,影响其往竖向更深处传播,导致随着夯击能级的增加消散周期拉长,且有效加固深度未能有效增长。

相比而言,I区的超孔隙水压力消散效率略优于II区,但综合有效加固范围,II区的施工工艺最优,建议第一、二遍单遍锤击间隔时间取36 h,第二遍和满夯间隔时间取54 h。

3 结论

- (1) 山区含碎石黏土地基适合采用低能级强夯
(下转第81页)

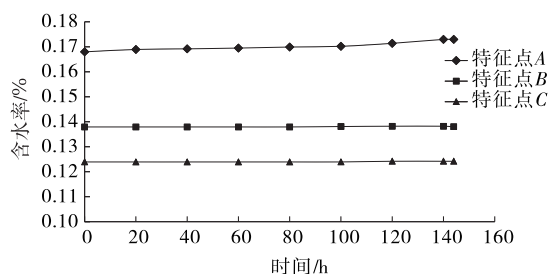


图5 排水系统和最佳包边土厚度下特征点的含水率随时间的变化

从图5可看出:在设置排水系统及最佳包边土厚度下,各特征点的含水率随时间的变化均接近于直线,在降雨全过程中,含水率一直小于饱和含水率,基质吸力从未消失,降雨只对坡面一定范围内有较大影响,且该影响范围在包边土以内,包边土外的雨水渗流影响甚小。

4 结论

(1) 各土层设置排水孔、坡脚处设置边沟,有利于引排、疏干雨水,从而缩小暂态饱和区范围。

(2) 设置排水系统时,软土层(第2、4、6层)的最佳包边土厚度分别为1、1.2 m。通过包边土与排水设施二者有效结合,相互衔接,相互配合,可缩小边坡受雨水渗流影响的范围,降低雨水入渗量,使其

含水率、孔隙水压力随降雨持续而无明显变化,达到防水、排水效果。

参考文献:

- [1] 杨旭,周翠英,刘镇.华南典型巨厚层红层软岩边坡降雨失稳的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(3).
- [2] 王骑虎,陶连金,罗玉玲.降雨诱发红层滑坡的破坏形态及处治措施[J].兰州大学学报:自然科学版,2015,51(6).
- [3] 谭伟,贾致荣,杨若冲.包边填砂路基边坡稳定性计算方法研究[J].公路交通科技,2009,26(3).
- [4] 张书华,张海龙,赵中华.降雨条件下体积含水率对堆积体边坡渗流特性的影响研究[J].工程地质学报,2015,23(5).
- [5] 付宏渊,曾铃,王桂尧,等.降雨入渗条件下软岩边坡稳定性分析[J].岩土力学,2012,33(8).
- [6] 赵荐,周斌.边坡虹吸排水技术的工程应用[J].华东公路,2015(2).
- [7] 田宇杰,缪宏兵.高填方路基边坡的工程处治分析[J].盐城工学院学报,2016,29(2).
- [8] 吴佳,丁敏,金鑫.水力模型用于排水系统改造工程规划设计的研究[J].中国给水排水,2016,32(11).

收稿日期:2017-01-21

(上接第78页)

工艺进行加固,过大夯击能易对地基表层土体结构产生较大破坏,破坏原有渗流结构,造成孔隙水淤积,出现橡皮土,削弱夯击能的传递,影响强夯效果。

(2) 夯击能随着水平距离的增加对地基土的影响逐步减弱,且减弱趋势随着水平距离的增加由浅到深逐步加剧。通过对强夯水平影响范围的分析可更加合理地布置夯锤间距,有利于提高夯击效率。

(3) 建议选用Ⅱ区1 600 kN·m的强夯工艺,点夯击数控制在7~8次,夯点水平间距控制在4.5 m,第一、二遍单遍夯击间隔时间取36 h,第二遍和满夯间隔时间取54 h。

参考文献:

- [1] 刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,2016,49(1).
- [2] 水伟厚.冲击应力与10 000 kN·m高能级强夯系列试验研究[D].上海:同济大学,2004.

- [3] 徐至钧,张亦农.强夯和强夯置换法加固地基[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 谢能刚,包家汉.强夯加固机理的动力学分析[M].合肥:合肥工业大学出版社,2009.
- [5] 李晓静,李术才,姚凯,等.黄泛区路基强夯时超孔隙水压力变化规律试验研究[J].岩土力学,2011,32(9).
- [6] 周健,史旦达,贾敏才,等.低能量强夯法加固粉质黏土地基试验研究[J].岩土力学,2007,28(11).
- [7] 施有志.强夯作用下孔隙水压力响应试验[J].水道港口,2007,28(5).
- [8] 黄晓波,周立新,周虎鑫.路基强夯处理孔隙水压力监测及参数确定[J].公路交通科技,2005,22(12).
- [9] 张功新,莫海鸿,董志良.孔隙水压力测试和分析中存在的问题及对策[J].岩石力学与工程学报,2006,25(增刊2).
- [10] 白冰.强夯荷载作用下饱和土层孔隙水压力简化计算方法[J].岩石力学与工程学报,2003,25(9).

收稿日期:2017-02-05