

强夯法在高填方路堤应用研究

张小燕

(安徽省蚌埠市勘测设计研究院, 安徽 蚌埠 233000)

5 **摘要:** 强夯法是一种经济高效的地基处理方法。本文根据对强夯地基加固机理的定性认识, 建立强夯法处理高填方路堤的物理实验模型, 模拟了 3000KN.m、2500KN.m、2000KN.m 和 1000KN.m 这四种夯击能的强夯加固过程, 获得了试验土体在不同夯击次数作用下的含水量、压实度随深度的变化规律。强夯法模拟试验研究, 对强夯加固地基研究具有一定的理论意义, 为强夯法处理高填方粉土路堤的设计、施工和监测提供参考依据。

10 **关键词:** 强夯法; 模型试验; 高填方路堤; 加固深度
中图分类号: TU447

Simulation Test Study on the High Embankment of Dynamic Compaction Methods

Zhang Xiaoyan

(Anhui Bengbu Survey and Design Institute, AnHui BengBu 233000)

15 **Abstract:** Dynamic compaction method is a cost-effective way of foundation treatment. Based on the qualitative understanding to mechanism of dynamic strengthening foundation, this article establishes physical experiment model, simulates the four level dynamic compaction processes of 3000KN.m, 2500KN.m, 2000KN.m and 1000KN.m. And gets impact stress, moisture, moisture content and dry density of test soil depth direction's changes under the conditions of different tamping times. Simulation test study has a certain extent theoretical signification on the dynamic compaction study. And to provide a reference for high silt embankment fill of the design, construction and monitoring, which treated by dynamic compaction methods.

20 **Keywords:** dynamic compaction method; model test; high fill embankment; reinforced depth

0 引言

随着等级公路的发展, 在施工中必然遇到前所未有的一些问题, 在等级公路设计过程中为了满足线形要求, 要一改过去在路线中跨越深沟或穿过地面障碍时能绕过去则尽可能绕过去的选线做法, 对深沟障碍一般采用高路堤和深路堑通过, 这不仅提高了设计和施工复杂性, 而且对周围的地质环境带来的扰动也比过去的“盘山”公路大得多^{[1][2]}。因此, 如何确保高路堤下地基和路堤本身的稳定则成为等级公路建设急需解决的问题之一。

30 强夯法作为一种主动加固地基的方法^{[3][4]}, 将土体本身作为一种可以满足技术要求的工程材料, 充分利用和发挥土体的力学性能, 具有诸多地基处理方法不可比拟的技术优点, 是一种简单、经济、快速并且有效的地基加固技术, 因此强夯法在处理高填方路堤中的应用也越来越广泛。

与一般路堤比较而言, 高填方路堤具有以下几个特点^{[5][6][7]}: (1) 填筑高度较大, 需要对路堤边坡进行验证, 要求路堤本身具有足够的整体强度和边坡稳定性; (2) 由于填筑高度路堤填筑断面面积很大, 填筑工程量巨大, 填筑的填料缺陷相对较多, 填筑质量难以保证; (3) 路堤自重过大, 本身累积沉降量大, 路堤工后沉降量也很大, 一般需要几年甚至几十年才能沉降稳定。 (4) 由于荷载相对较大, 需要对地基强度进行验算, 要求地基承载力高、稳定性好。 (5) 地基沉降量大, 填筑过程中需要对地基进行监测, 控制总沉降量和沉降速率, 确保高填方路堤的稳定。因此在道路工程中, 高填方路堤一般较受重视, 无论是

作者简介: 张小燕, 女, (1963-), 工程师, 从事岩土工程研究. E-mail: 710507887@qq.com

路堤本身的填料、边坡还是地基承载力都需要在测得相应参数后进行设计和验算，在施工中如果没有相关施工经验还要进行施工监测。

1 工程地质概况

该工程位于山东省境内，该路线所经地段，地势起伏较大，其路基的形式主要为高填方路堤和切方路基，路堤的填土高度一般为 5~12 m，路基填土主要为粉质土和粉质粘土。为确保路基施工质量，拟采用强夯法加固处理路基，以使其沉降周期缩短，减少工后沉降，提高路基承载力。

2 强夯物理模拟实验方案设计

采用实验室物理模拟试验的研究方法研究强夯法加固高填方路堤主要施工参数，分析强夯前后的土体物理力学性质变化，确定强夯的有效加固深度，有效夯击能。模型试验采用与原型相同的材料，依据条件和试验要求确定模型试验的几何缩比为 $C_L=10$ 。试验台高 1000mm，直径为 $\Phi 1000$ mm。重锤为钢筋混凝土锤，外壳为钢管，钢管厚度为 10mm。为了使重锤落下时不发生偏斜，设计成孔半径为 12mm 的穿心锤，使重锤从导杆上落下。

3 强夯效果试验研究

3.1 夯坑周围土体的变形

夯坑周围地面土体变形量见表 1，夯坑周围土体变形曲线如图 1 所示。

从图 1 可以看出，夯击完成后，夯锤下土体出现较大的沉降，在 3000 KN.m 时夯坑沉降量达 1.34 m，夯坑直径为 3 m，这是因为在夯击过程中夯锤对侧向土体产生冲击剪切压缩，土体侧向挤压，但是影响范围不大，这说明强夯的冲击能量主要消耗在土体的竖向压缩变形中。夯坑地面产生隆起，影响范围在 2 m 左右，周围隆起量随夯击能的增大而增大，3000KN.m 下最大隆起量 19.2 cm。

表 1 夯坑周围地面土体变形量表

距夯坑中心距离(m)	夯坑周围地面变形量(cm)			
	3000KN.M	2500KN.M	2000KN.M	1000KN.M
0.0	-134	-122	-110	-71
1.1	-134	-122	-110	-71
1.5	19.2	12.6	10.7	6.4
2.0	13.3	9.1	5.6	3.2
2.5	4.8	2.3	1.2	0
3.0	1.4	0	0	0

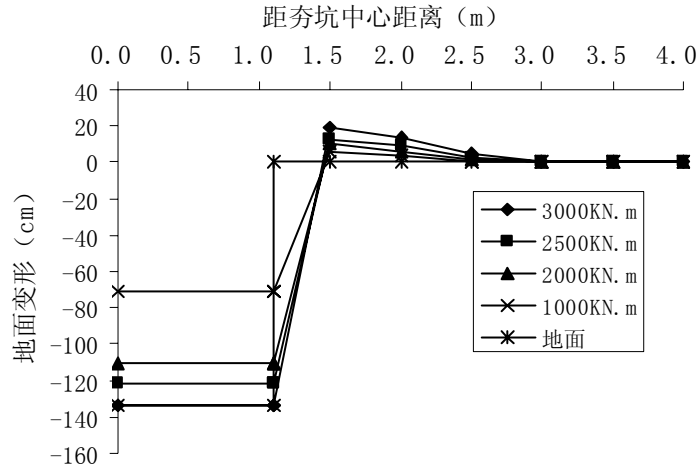


图 1 夯坑周围地面土体变形曲线

3.2 单击夯沉量

不同夯击能作用下土体单击夯沉量与累计夯沉量曲线如图 2~图 5 所示。

70

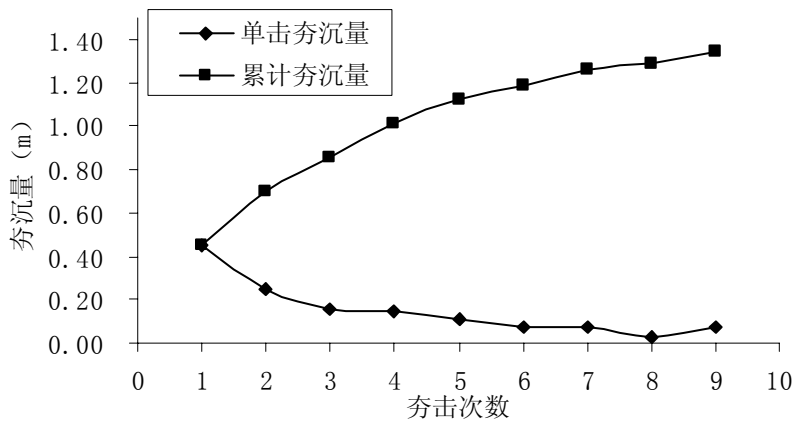


图 2 夯击能 3000KN.m 时夯击次数与夯沉量关系曲线

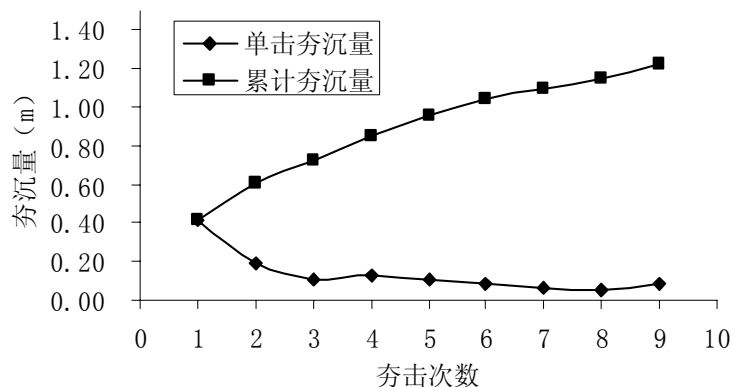


图 3 夯击能 2500KN.m 时夯击次数与夯沉量关系曲线

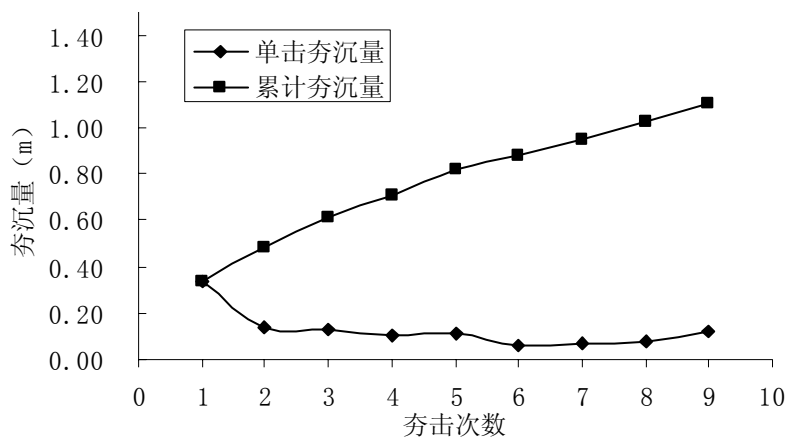


图4 夯击能 2000KN.m 时夯击次数与夯沉量关系曲线

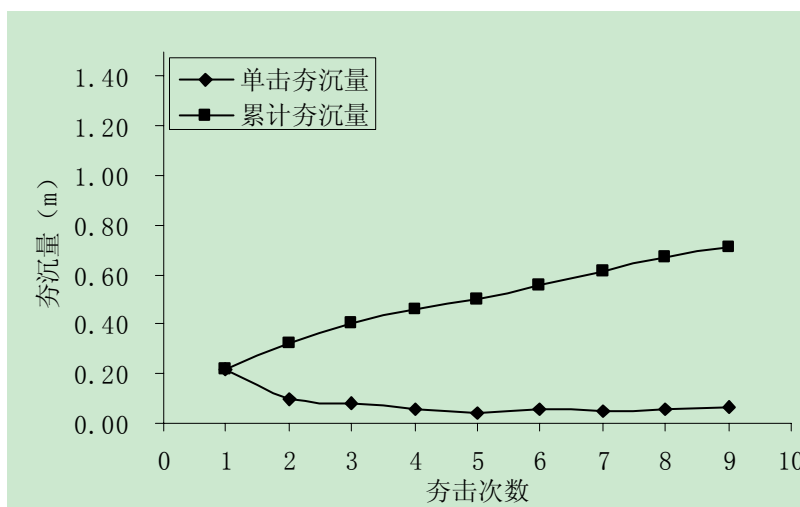


图5 夯击能 1000KN.m 时夯击次数与夯沉量关系曲线

从夯击次数与夯沉量的关系曲线，可以看出以下几点：

(1) 单击夯沉量随夯击次数的增加而逐渐减小，单击夯沉量曲线趋于收敛，说明随夯击次数的增加土体的密实度逐渐提高；

75 (2) 累计夯沉量随夯击次数的增加而逐渐增大，但增幅逐渐减小，累计夯沉量曲线趋于平缓；

(3) 在相同夯击次数、不同夯击能作用下，夯击能越大，单击夯沉量越大，累计夯沉量也越大；

80 (4) 根据夯击次数与夯沉量关系曲线，第七击、第八击的单击夯沉量均小于 5cm 可以得出最佳夯击次数在 7~8 击。

3.3 不同深度土体的沉降量分析

在不同夯击能作用下，夯锤下土体的沉降量随深度的变化可以通过在不同土体深度埋设沉降板进行量测，不同夯击能作用下，夯锤下方土体沿深度方向上的沉降变化见表 2，沉降变化曲线如图 6 所示。

85

表 2 夯锤下不同土体深度沉降变化表

距地面深度 (m)	3000KN.M	2500KN.M	2000KN.M	1000KN.M
0	1.34	1.22	1.10	0.71
-1.0	1.20	0.90	0.90	0.60
-2.0	0.90	0.80	0.67	0.50
-3.5	0.60	0.56	0.50	0.30
-5.0	0.30	0.23	0.20	0.20
-6.5	0.12	0.10	0.10	0.08

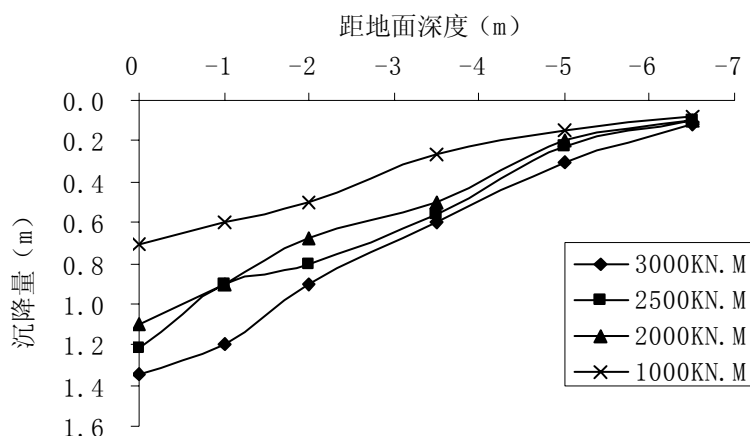


图 6 夯锤下不同土体深度沉降变化曲线

- 90 在不同夯击能作用下，夯锤下不同深度土体的沉降变化曲线上可以看出：
- (1) 在同一深度上，夯击能量越大，其产生的夯沉量就越大，同样的夯沉量在不同夯击能作用下产生的深度也不一样，夯击能越大，其夯沉量将在较深的土体深度产生；
 - (2) 不同土体深度沉降变化曲线呈近似线性关系，夯击能越大，其近似线性关系越不明显；
 - (3) 当土体达到一定的深度，不同夯击能夯击作用下土体产生的沉降趋于收敛，如图 6 所示，在距离地面 6~7 m 处，四个夯击能土体的沉降在 0.08 m~0.12 m 之间，变化很小，这从侧面说明强夯夯击能量在土体中传播是有一定范围的。从图上可以看出强夯夯击能量对土体的影响深度在 7 m 左右，但是超过 6 m 后其产生的沉降量很小，加固深度为 6 m 左右，因此强夯土体的有效加固深度为 6 m 左右。

100 **3.4 夯击前后土体压实度分析**

土体压实度是土体的基本物理参数，压实度能直观反映土体的密实程度，本文根据强夯后压实度的变化确定强夯的有效加固深度。

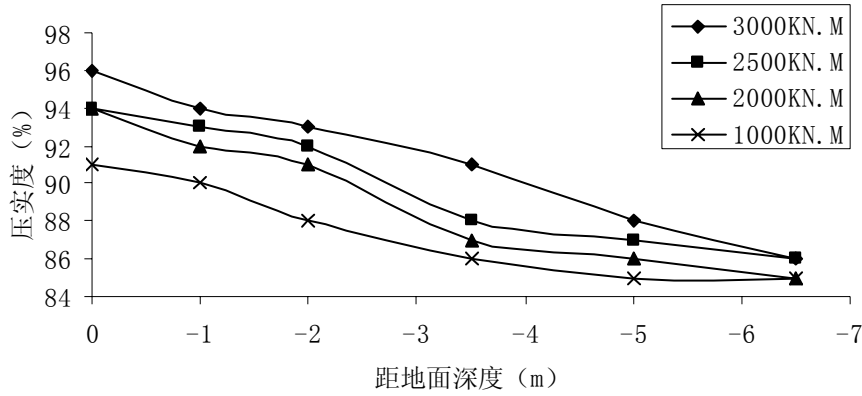


图 7 不同夯击能作用下不同土体深度压实度曲线

105 (1) 土体压实度提高的过程伴随着土体密度的增大和含水率的降低，夯击过程土体孔隙水排除，孔隙比减小。

(2) 夯击能为 3000 KN.m 作用下，深度 1 m 左右土体的压实度为 95 %，提高 17 %，土体平均干密度为 1.756 g/cm^3 ，平均干密度提高 15.9 %。

3.5 夯击前后土体干密度与含水率分析

不同夯击能作用下，不同深度土体的干密度和含水率曲线如图 8~图 11 所示。

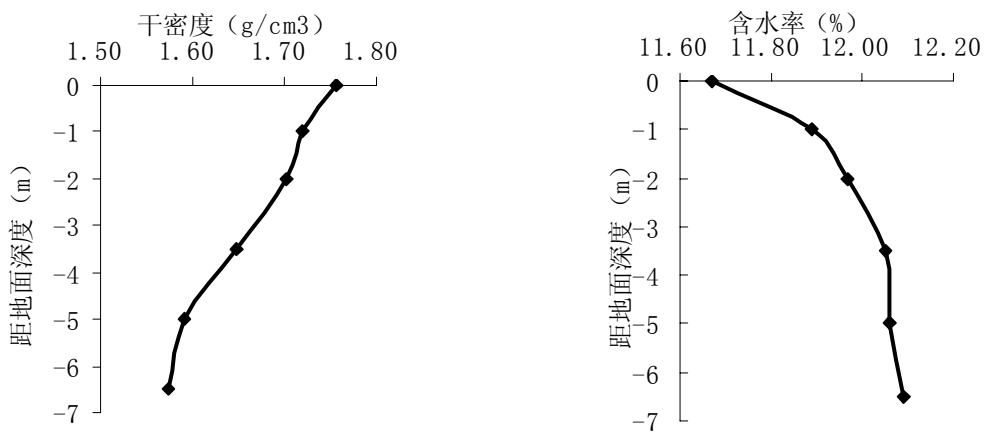


图 8 3000KN.m 夯击能作用下不同土体深度干密度和含水率曲线

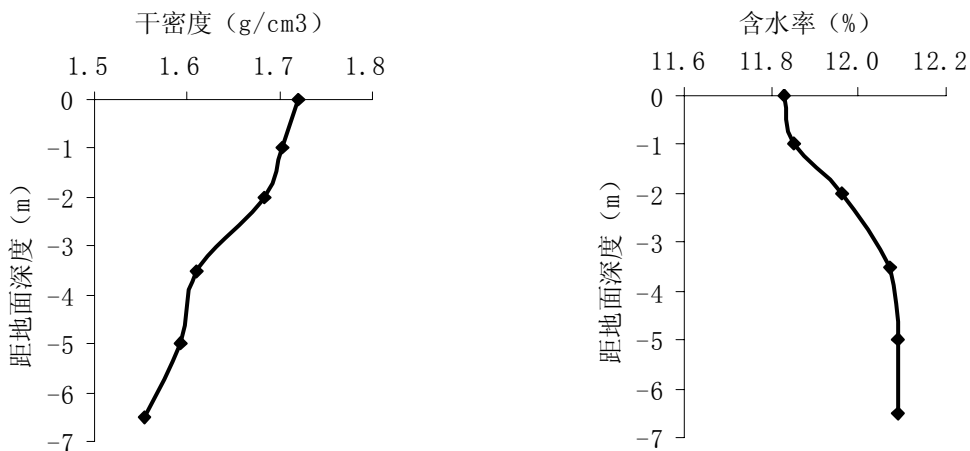


图 9 2500KN.m 夯击能作用下不同土体深度干密度和含水率曲线

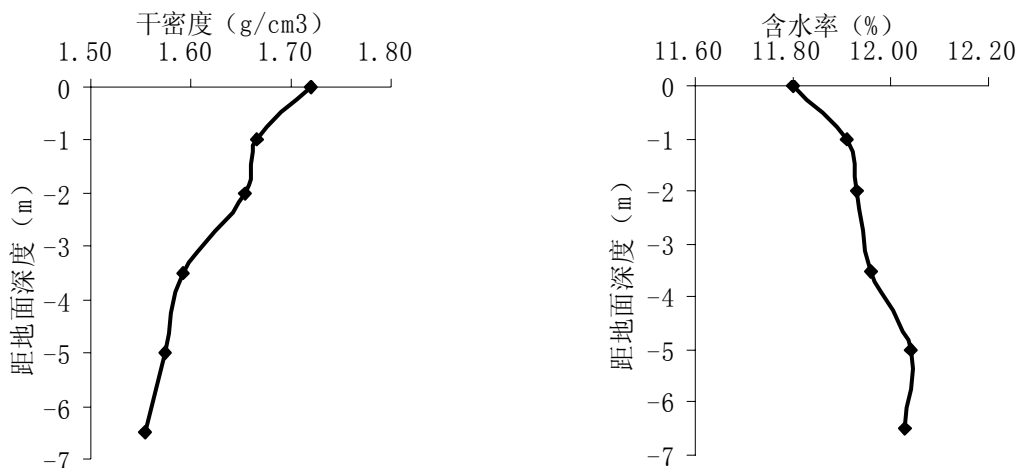


图 10 2000KN.m 夯击能作用下不同土体深度干密度和含水率曲线

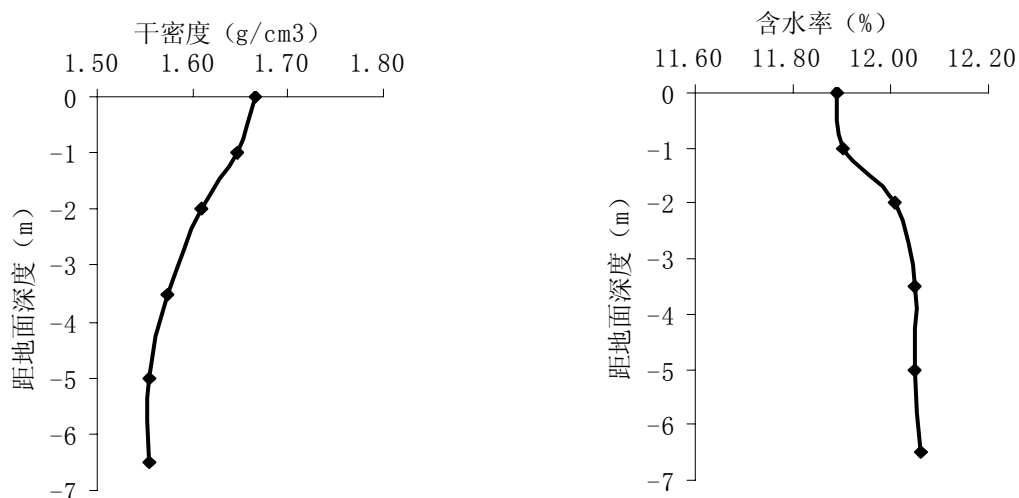


图 11 1000KN.m 夯击能作用下不同土体深度干密度和含水率曲线

110

(1) 在同一夯击能夯击完成后，土体干密度随深度增大而逐渐减小，但减小幅度逐渐降低，这说明强夯对加固地基土的影响随深度增大而逐渐减弱，也说明了冲击能量在土体中传播衰减速度随深度的增大而增大。在同一土体深度，夯击能越大土体干密度越大，但达到一定土体深度以后，干密度值趋于稳定，说明强夯加固地基土在一定的深度是有效的。

115

(2) 在地面下 1~2 m 深处，土体的含水率逐渐增大，达到 2 m 后，含水率恢复原填土含水率，这是因为，在强夯过程表层土体水分散失而使含水率降低。

4 结论

本文通过强夯路堤填土室内土工试验、强夯物理模型试验，对强夯法处理高填方路堤的应用进行了研究，主要分析了强夯填土的物理力学特性、强夯过程土体的变形和强夯路堤的沉降变形，得出以下结论：

120

(1) 累积夯沉量随夯击次数的增加而增大，单击夯沉量的大小与夯击能有关，夯击能越大，则单击夯沉量越大。同时，单击夯沉量的增长幅度随夯击次数的增加而逐渐减小。

(2) 强夯加固的最终目的是通过提高高填方路堤的压实度来提高路堤的承载力。从强夯前后填土的干密度和压实度变化可以看出，对夯击能 3000 KN.m，路面下深度 0~1 m，压实度达到 96%，上路堤压实度达到 94%，下路堤达到 91%；对于夯击能 2500 KN.m，0~1 m，

125

压实度达到 94%，上路堤压实度达到 92%，下路堤达到 91%。四个夯击能土体的有效加固深度为 4~6.5 m。

(3) 强夯后土体的含水率减小，含水率减小幅度随土体深度增大而减小，但是含水率变化不明显。

130 (4) 强夯后土体的力学性质较夯前有很大改善，加固效果明显。

(5) 满足实际工程需要的最佳夯击能约为 3000 KN.m，最佳夯击次数为 7~8 次。

[参考文献] (References)

- 135 [1] 地基处理手册编写委员会.地基处理手册(第三版).北京:中国建筑工业出版社,2008.
[2] 左名麒,朱树森.强夯法加固地基[M].北京:中国铁道出版社,1990.
[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] 邵春荣.强夯加固机理及强夯影响效果研究分析[D].湖南:中南大学,2007.
[5] 吴丽君,蒋关鲁等.非饱和粉质粘土固结压缩性及体变试验研究[J].现代地质,2009,23(3):559-563.
140 [6] 时红莲,马如江.强夯法处理湿陷性黄土地基的试验研究[J].路基工程,2009,3,104-105.
[7] 郭乃正,邹金峰,杨小礼等.高填方路堤强夯试验与数值模拟研究[J].铁道科学与工程学报,2007,4(3): 41-43.