

文章编号: 1007-9432(2005)01-0040-04

横泉水库已筑坝体强夯试验研究

梁仁旺¹, 籍延青¹, 白晓红¹, 孙万功², 李效勤²

(1. 太原理工大学建筑学院, 山西太原 030024; 2. 水利部山西水利水电设计院, 山西太原 030024)

摘要: 以横泉水库坝体强夯试验为背景, 结合加固过程中测得的试验数据, 通过对比分析夯前夯后试样物理力学指标的变化, 对碾压填土强夯的加固效果进行了分析, 其结果可对类似工程的施工提供参考。

关键词: 填土; 强夯; 加固效果

中图分类号: TU472.31 文献标识码: A

强夯法又称动力固结法, 是一种软弱地基的处理方法。以前此法仅用于加固砂土和碎石土地基, 经过几十年的发展, 它已适用于加固粘性土、杂填土、湿陷性黄土等各类地基土^[1]。

由于强夯法工艺简单、原理直观、速度快、投资省、使用范围广、加固效果显著, 在国内外得到普遍采用。经强夯加固处理, 可使地基土压密、提高地基承载力和抗液化能力、消除湿陷性, 尤其在仓储、码头、厂房等较空旷的场地中应用较广。但是强夯法在已筑坝体的加固处理上尚未发现报道, 另外, 目前强夯法尚未建立起一套成熟的理论和设计计算方法, 强夯加固深度无法精确计算, 设计上大多以工程经验来确定。为确保地基加固达到工程设计要求, 应通过试夯来确定合适的施工工艺参数以指导正式施工^[2,3]。本文以横泉水库坝体强夯工程试验为背景, 对填土地基的高能量强夯试验进行了研究和分析, 并用多种测试方法对其加固效果进行了检验, 得出的一些结论, 可对填土或类似土质条件的强夯加固设计提供一些依据和参考。

1 工程概况

横泉水库现有坝体的填筑共经过4次施工, 1958年、1960年、1966—1967年在左岸以水中倒土施工的方法, 共筑坝30余万 m^3 。1978年, 左坝改为碾压施工, 1979年左岸已筑坝体形成长230 m, 顶宽90~110 m, 底宽200 m, 高17 m左右的三面临空坝体。右坝结合清基进行部分回填碾压, 长200 m, 高约3~5 m, 总填方量约150万 m^3 。由于

筑坝时间、筑坝方式不同, 坝体土物理力学特性有不同程度差异。坝体填土为淡黄色、浅红色低液限粘土, 天然含水量 $\omega_0 = 5.6\% \sim 23.0\%$, 平均14.2%; 干密度 $\rho_d = 1.32 \sim 1.77 \text{ g/cm}^3$, 平均1.52 g/cm^3 ; 压缩系数 $\alpha_{1-2} = 0.04 \sim 0.47 \text{ MPa}^{-1}$, 具有一低压缩性; 湿陷系数由上至下0~10 m内, $\delta_{s2.0} = 0.00 \sim 0.053$, 局部土层具湿陷性, 10~17 m内, $\delta_{s2.0} = 0.00 \sim 0.017$, 土层基本无湿陷。已筑坝体加固的主要目的之一是消除湿陷性, 二是提高坝体土的干密度。强夯设计技术指标: 有效加固深度10~12 m, 有效加固深度内湿陷系数 $\delta_{s2.0} < 0.015$, 干密度 $\rho_d \geq 1.58 \text{ g/cm}^3$ ^[4,5]。

2 强夯加固现场试验

2.1 试验区布点图

在大面积处理之前, 选择 $22.32 \times 25 = 558 \text{ m}^2$ 的现场试夯区, 夯点间距5 m, 正三角形布点, 共23个夯点, 见图1。

2.2 强夯施工参数

本工程采用三遍点夯、一遍满夯, 能级分别为8 000 $\text{kN} \cdot \text{m}$, 2 000 $\text{kN} \cdot \text{m}$, 具体参数见表1。

3 地基加固效果评价

3.1 夯击数与夯沉量的关系

夯点收锤标准根据最后二击的夯坑沉降量平均值不大于20 cm来确定。第一遍夯8个点, 夯坑深

收稿日期: 2004-04-16

基金项目: 横泉水库工程(2285)

作者简介: 梁仁旺(1962—), 男, 山西夏县人, 教授, 主要从事岩土工程研究。

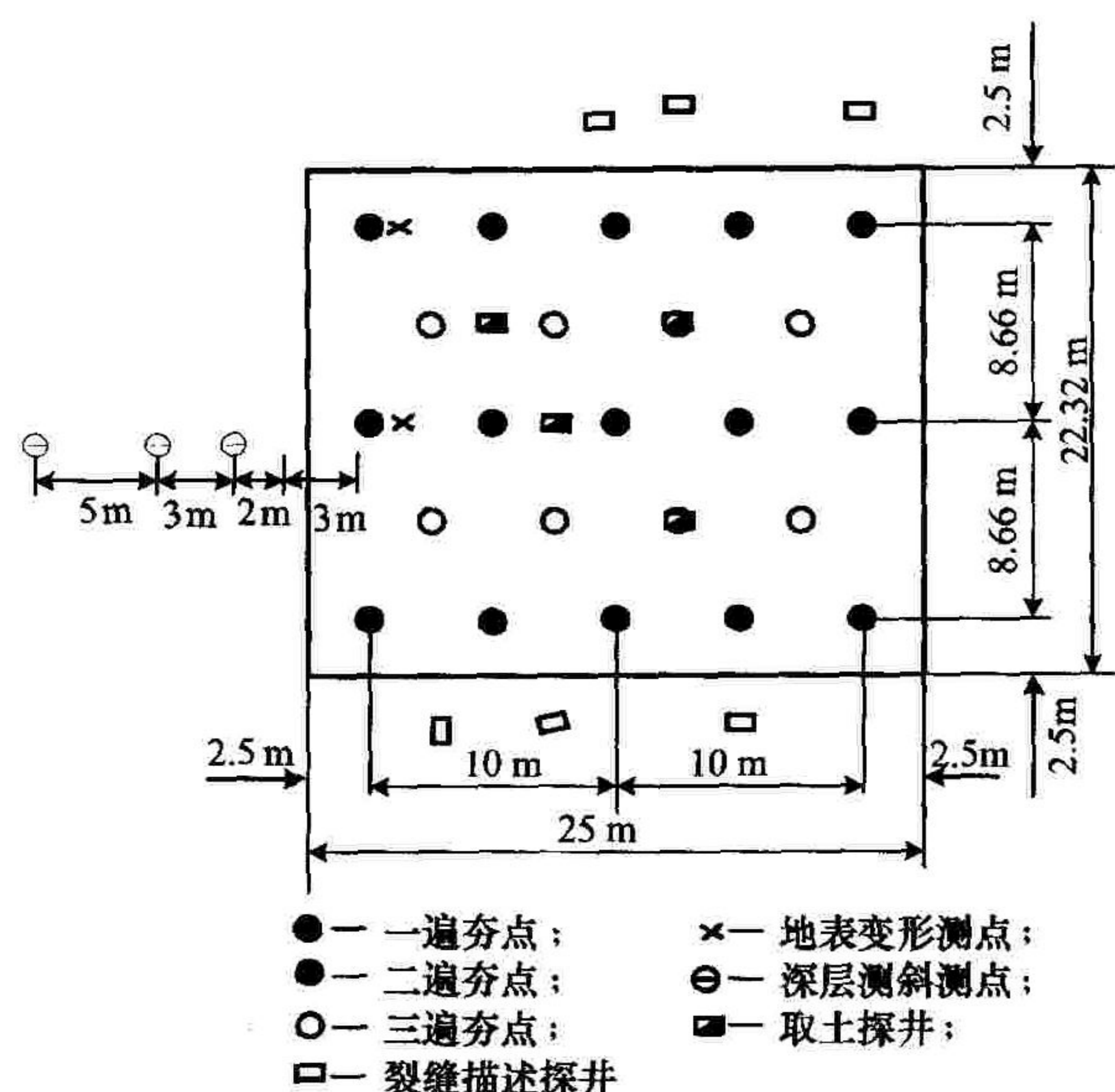


图 1 强夯试验测点布置图

度 5.06~5.47 m, 夯击数 20~25 击; 第二遍夯 7 个点, 夯坑深度 5.01~5.15 m, 夯击数 20~27 击; 第三遍夯 8 个点, 夯坑深度 4.01~4.73 m, 夯击数 20~22 击。一般在前 5 击单击夯沉量逐步降低, 以后趋于稳定, 以比较均匀的速度发展, 最后两击夯沉量趋于减少, 说明随着夯击次数的增加, 土体已逐渐密实。由于受前二遍夯击的影响, 土体被侧向挤密, 因此, 竖向压缩量的增长速度也随之减少。在每遍夯完后, 用推土机将场地平整压实, 用 10m×10m 方格网测量场地标高, 同夯前标高比较。由于施工过程中有约 270 m³ 的强夯范围之外场平土被推入试区, 经计算最终夯沉量约为 1.60 m。

表 1 强夯施工参数

夯击遍数	单击夯击能 / (kN·m)	夯距 / m	布点形式	单点夯击数	夯坑深度 / m
一遍点夯	8 000	10	正三角形	20~25	>5
二遍点夯	8 000	10	正三角形	20~27	>5
三遍点夯	8 000	5×8.66	矩形	20~22	>4
四遍点夯	2000	—	夯印搭接 1/4	5	—

能级 / (kN·m)	锤重 / kN	落距 / m	锤底面积 / m ²	锤底直径 / m	锤底静压力 / MPa	起重机起重重量 / kN
8 000	350	22.8	5	2.52	70	500
2 000	150	13.3	5	2.52	30	500

3.2 湿陷性评价

在满夯结束一周后, 在试区挖掘探井共 4 个, 夯点 2 个, 夯间 2 个, 从夯后地面开始, 挖掘深度 16.0 m, 0~11 m 每米取原状土样 2 组, 每组 2 块, 规格 20 cm×20 cm×20 cm, 12~16 m 每米取原状土样 1 组, 每组 2 块, 规格同上, 其湿陷性试验结果如图 2 所示。

以上图是在 200 kPa 和 300 kPa 下试验结果,

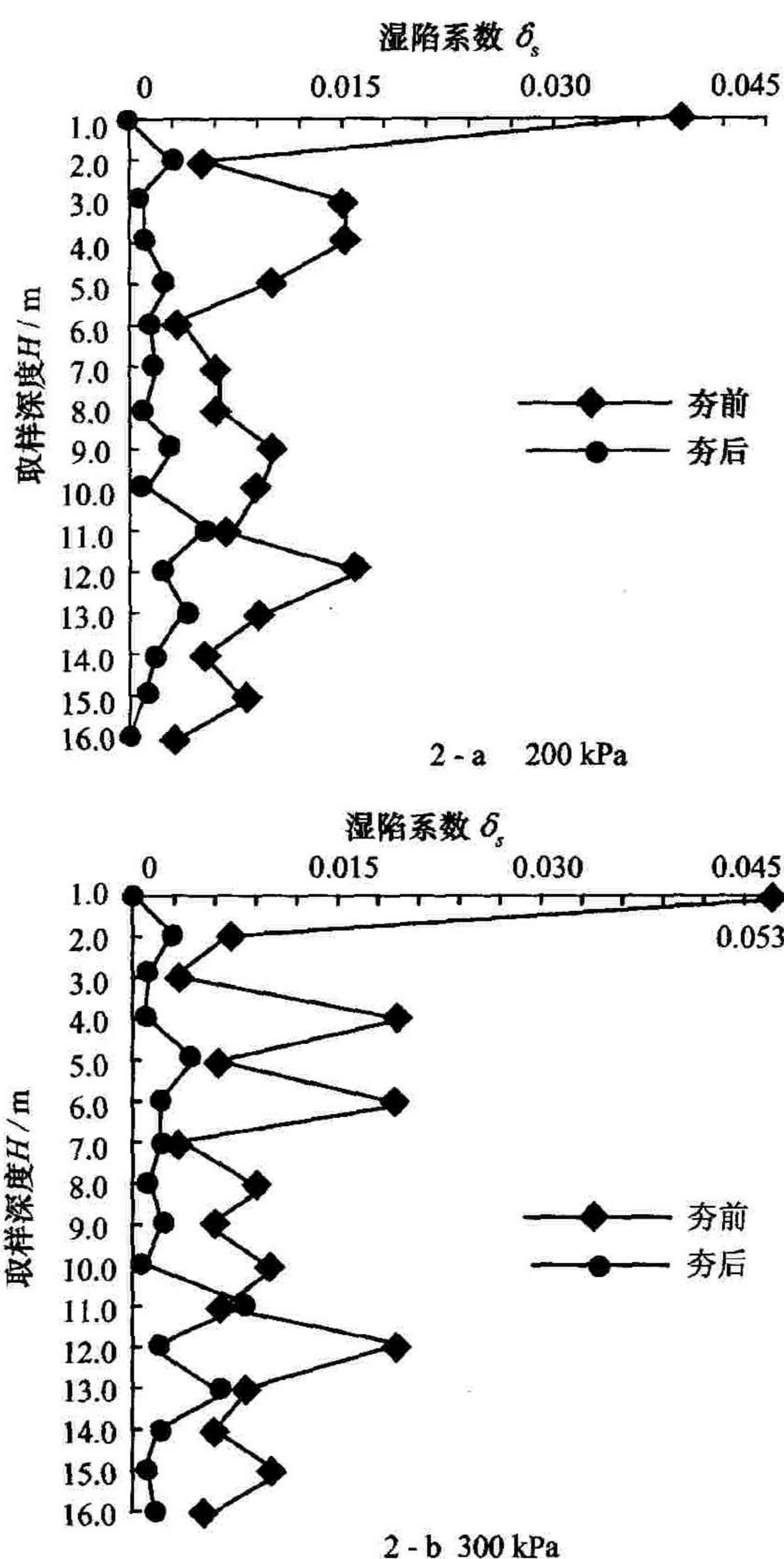


图 2 200 kPa, 300 kPa 下夯击前后不同深度处湿陷系数的对比曲线图

由图可见, 夯前湿陷系数离散性较大, 部分深度处存在湿陷性, 经处理后, 整个场地土在 16.0 m 深度范围内, 土的湿陷系数远远小于 0.015, 可认为湿陷性全部消除, 达到了设计要求。

3.3 干密度测试

各遍点夯施工进行时, 在已夯完的夯点用洛阳铲成孔, 然后用带有长杆的小环刀取样, 测试土样干密度, 对场地夯点、夯间 16.0 m 深度范围内土样的干密度进行统计, 结果见图 3。

由图可知: 夯点 11.0 m 以上干密度大于 1.58 g/cm³, 夯间 9.0 m 以上干密度大于 1.58 g/cm³, 平均为 1.70 g/cm³, 其干密度值均比夯前有大幅度提高, 表明强夯加固深度可达 10.0 m, 再加上场地总夯沉量 1.60 m, 则本次强夯最终加固深度能达到 11.6 m, 满足设计要求。

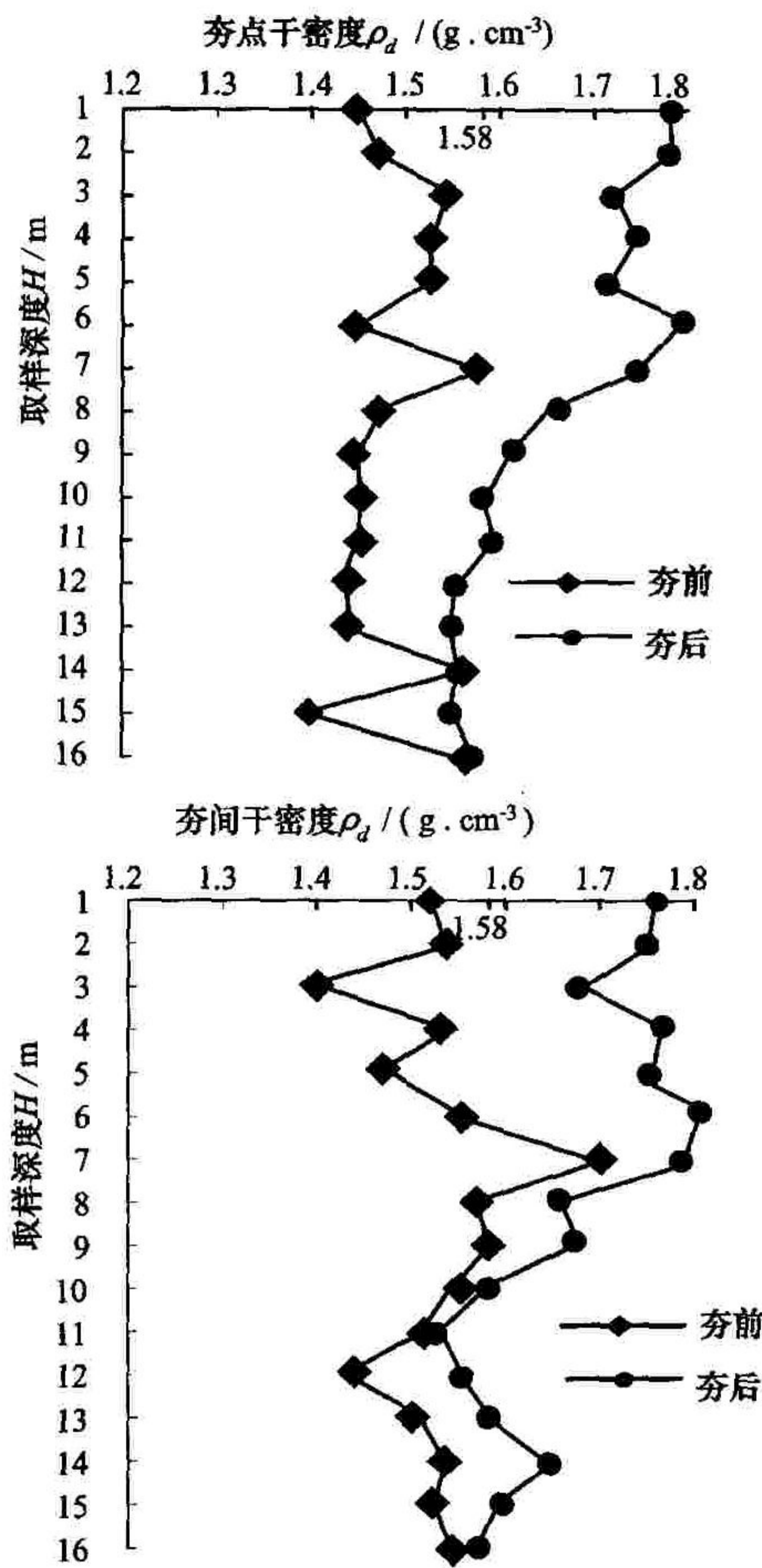


图3 夯击前后试样干密度对比曲线

3.4 压缩性评价

旧坝体土为中低压缩性土,压缩系数为 $0.04 \sim 0.47 \text{ MPa}^{-1}$ 。从探井取样,作室内压缩实验,测试土样压缩系数,结果见图4。

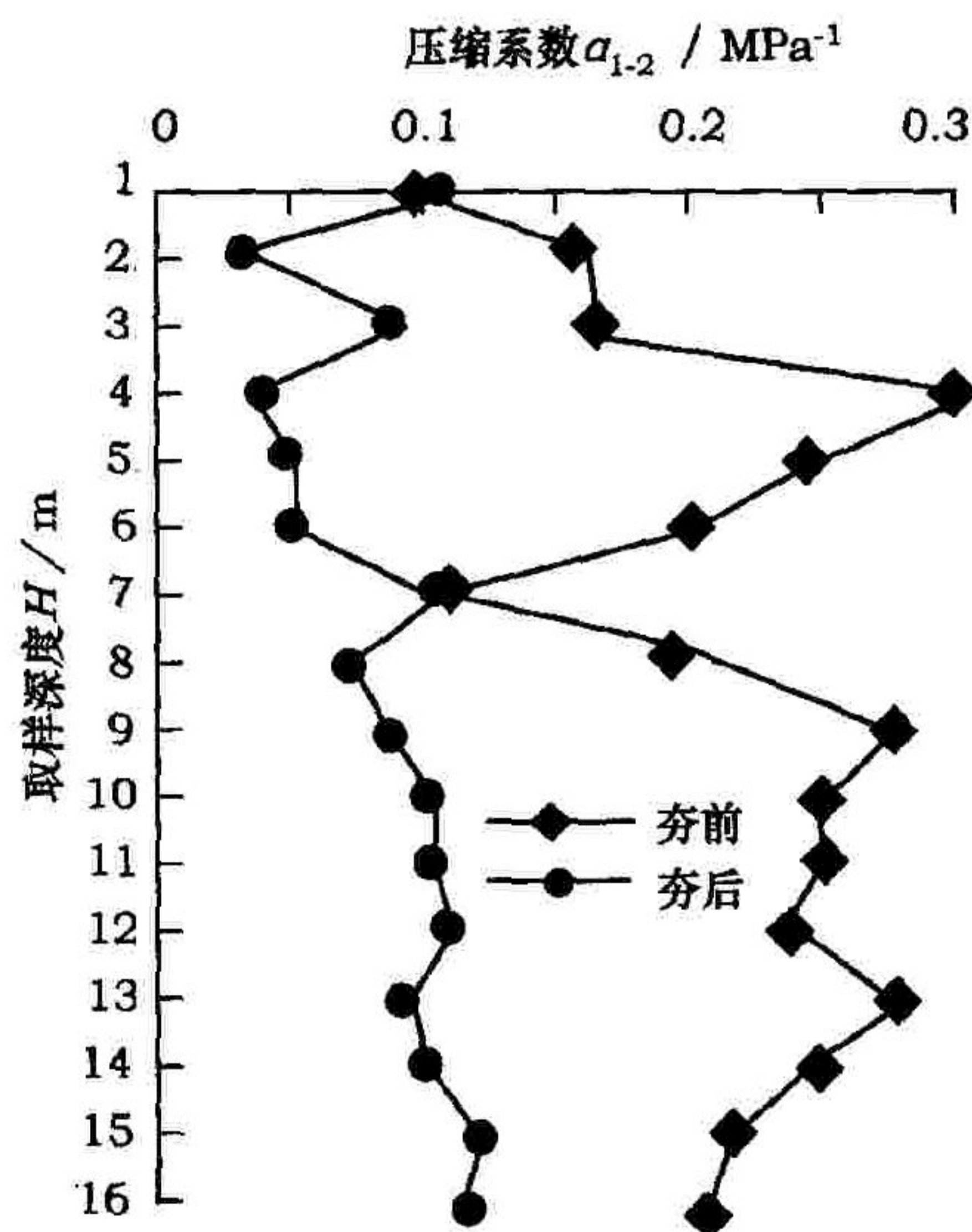


图4 夯击前后压缩系数对比曲线

由图4可知,夯后试样压缩系数比夯前减少很多,基本在 $0.07 \sim 0.12 \text{ MPa}^{-1}$ 之间,压缩模量提高

约3倍,已成为低压缩性土。说明土体经动力固结后,孔隙比减少,土体趋于密实,压缩性降低,强度提高,达到了地基处理的目的。

3.5 地表及深层水平位移监测

现场施工时,第一遍夯击数超过20击后,夯坑深度达到5m,地表变形表现为下沉,说明夯击能尚未饱和;第二遍强夯时;地表变形为轻微隆起,而夯击数多在23击时,夯坑深度才达到5m以上。说明夯击能接近饱和;第三遍夯坑出现坍塌,不能进行地表变形测试,而夯击数在20击时夯坑深度才4m,较一、二遍有大幅度改变,说明夯击能达到饱和。

现场地表变形测试结果说明本次试验设计参数非常合理。强夯试验的同时,在测试点钻孔,将测斜管逐节组装并放入孔内,进行了深层水平位移变测试,并在强夯结束后,进行最终测量。由测点的实测计算结果可知,从上到下侧向位移较小,离试区最近测点的侧向位移最大值为 0.0562 mm ,在夯坑深2.3m处。说明该坝体土为回填土,随着夯击数的增大,夯坑越来越深,夯击主要用于竖向加密,侧向挤密范围小。

3.6 试区周边裂缝观测

受强夯的影响,主要在试区的东、西、南三面产生了沿试区边沿方向的纵向裂缝。为探明裂缝的深度及走向,在试区的东、西开挖6个探井,对其中暴露的裂缝进行了观测,并在其中两个探井开挖前,沿裂缝灌注石灰水,再进行开挖观测描述。所有裂缝基本上为南北走向,间断不连续,裂缝上宽下窄,宽度为5~10mm,裂缝最深达2.67m。裂缝产生的原因:由于强夯后夯坑逐渐加深,坑侧土体临空,在强夯振动下,坑侧土体破裂向坑内倾斜,土体相当于承受主动土压力,产生滑动开裂。这种裂缝深度较浅,经过满夯处理完全可以消除,不会对坝体的稳定和安全产生任何影响。

4 结语

1) 对于已筑坝体填土地基,用 $8000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的高能级强夯能达到10~12m的有效加固深度,湿陷性完全消除,干密度、压缩系数均得到很大提高;通过夯后试验检测可知用强夯法处理横泉水库坝体是可行的。

2) 通过强夯试验证明强夯效果好于预想要求,在10m深度范围内平均干密度达 1.70 g/cm^3 ,大于新筑坝体要求的填土干密度 1.61 g/cm^3 ,为防止新旧坝体过于软硬不均,在实施强夯加固时,可合理

调整强夯施工参数,并通过施工试验加以确定。

3) 本试验不足之处是只选取了一个试夯区,如

能再作一试夯区,可将两者结果作对比分析,从而优化设计,则在大面积强夯时参数可能更加合理。

参考文献:

- [1] 周国均.地基处理技术[M].北京:冶金工业出版社,1986.
- [2] 李焜,吴玉山,程祖锋.碎石填土地基的动力固结试验[J].岩土力学,2001,22(2):204-206.
- [3] 马彩霞.强夯技术在地基处理中的应用[J].邯郸大学学报,2000:23-25.
- [4] 山西省机械施工公司.横泉水库已筑坝体强夯试验报告[R].2004.
- [5] 水利部山西水利水电勘测设计研究院.初步设计阶段地质勘察报告[R].2003.

Dynamic Consolidation Test of HengQuan

Reservoir Filling-up Dam

LIANG Ren-wang¹, JI Yan-qing¹, BAI Xiao-hong¹, SUN Wan-gong², LI Xiao-qin²

(1. TaiYuan University of Technology, Taiyuan 030024, China ;

2. Shan:ri Hydroelectric Investigation and Design Institute Ministry of Water Resources, Taiyuan 030024, China)

Abstract: This paper is based on dynamic consolidation experiment of Hengquan reservoir dam. By combining with test data of consolidation, comparing and analyzing the change of samples' physical parameters before and after tamping, authors analyzes the tamping effect on crushed filling soil. The result can provide reference for similar construction projects.

Key words: filling-up soil ; dynamic consolidation ; reinforced effect