

① 95-99

第28卷 第5期
2000年10月西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalisVol. 28 No. 5
Oct. 2000

[文章编号] 1000-2782(2000)05-0095-05

关中西部黄土地基强夯处理工程效果研究

张伯平¹, 席丁民¹, 张玉香², 费秉胜²

TU444

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100;

2 陕西省杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 根据实际工程地基强夯处理的试验资料, 分析了强夯对土体密度、压缩性、湿陷性等性质的影响, 探讨了强夯法处理湿陷性黄土地基的工程效果及有效影响深度, 评价了目前国内外几种常用的影响深度计算公式的适应性, 提出了适用于关中西部黄土地区的影响系数及其定量取值范围。

[关键词] 强夯法; 黄土地基; 湿陷性; 工程效果;

[中图分类号] TU444

[文献标识码] A

关中西部. 土体密度. 压缩性.
深度计算.

强夯法处理地基由法国 Menard 技术公司首创于 1969 年^[1], 用于处理石渣填土、砂土及饱和软粘土地基。1978 年引进我国, 先后在天津塘沽, 山西白洋墅, 河北廊坊、秦皇岛以及上海等地区使用, 对处理淤泥质土、吹填土、细粉质土、粘土、杂填土及素填土都有显著效果, 具有工期短、工效高、速度快、用工省、施工简便等优点^[2]。近年来被用于处理湿陷性黄土地基, 但对其理论研究却很少, 且难度大, 估算加固土层深度的梅纳(Menard)经验公式($Z = \sqrt{MH}$, M 为夯锤质量, H 为夯锤落距)实际上也确与工程实践不符^[1]。根据我国的实践结果一般土层加固深度 $Z = (0.45 \sim 0.85) \sqrt{QH}$ (Q 为夯锤质量, H 为夯锤落距)^[1]及国内其他经验公式, 对关中西部黄土强夯效果评估都不很确切, 直接影响着强夯处理湿陷性黄土地基的工程效果评价和技术参数确定。本研究通过对陕西炭素厂焙烧车间湿陷性黄土地基强夯处理的试验, 从土体密度、压缩性和湿陷性等几个方面分析了强夯法处理湿陷性黄土地基的工程效果, 探讨了强夯法处理关中西部湿陷性黄土地基的有效影响深度, 并对计算公式及有关参数进行了评价和修正。

1 场地和方法

1.1 试验场地概况和地基土层土性指标

试验场地位于眉县常兴镇东 300 m, 陇海铁路南约 100 m 处, 地貌单元属渭河北岸Ⅱ级阶地。场地地形平坦, 地质构造简单, 无不良地质现象存在, 地下水埋藏较深, 地层稳定。

场地地基土层从高程 488.5 m 至 480 m 为黄土状亚粘土, 属湿陷性黄土, 累计厚度达 8.5 m, 分为 3 层, 上 2 层(土层序号Ⅰ和Ⅱ)土体湿陷系数较大, 按照湿陷量和分级湿陷量计算结果及其与附近建筑物工程地质资料相似比较判断, 该场地属自重湿陷性黄土, 湿陷等级为Ⅱ级。

[收稿日期] 2000-04-06

[作者简介] 张伯平(1945—), 男, 副教授。

1.2 强夯处理方法

该场地地基强夯处理是由陕西省机械化施工综合工程公司于 1996-03-10~1996-03-15 施工进行的。

强夯前挖去场地表面杂填土约 0.5~1.0 m, 然后整平进行强夯处理。处理分 3 次实施, 第 1 次按夯锤质量 10 t, 落距 10 m, 10 击点夯, 总面积为 1 732.24 m²; 第 2 次按夯锤质量 6 t, 落距为 10 m, 功能拍夯 2 击, 总面积为 1 732.24 m²; 第 3 次按夯锤质量 10 t, 落距 10 m, 对基础部位加点夯 6 击, 总面积为 270 m²。2 次点夯每点最后 2 击平均沉降量小于 5 cm。

1.3 强夯后地基土层构造变化及土性试验

强夯前后分别在基坑东西两头各挖探井 2 个, 夯前每个探井深 9 m, 夯后每个探井深 6 m, 探测强夯前后土层构造变化, 并分别在每个探井中从 1.5 m 深度开始每隔 1 m 取土样, 在西北农林科技大学水建学院土工室进行土性试验, 试验按“土工试验操作规程 SD128-84”条文中有关条款进行, 探井位置均选在避开第 3 遍点夯过的基础部位, 使土样不受到第 3 遍点夯 6 击的直接影响。

根据水准观测结果, 强夯后基坑表面高程约为 487 m, 比强夯前平均降低 1 m 左右, 探井剖面显示, 地基各土层厚度均程度不同地变小, 其中上层湿陷性黄土土层和中层湿陷性土层均约减少近 0.5 m, 下层黄土土层未探到层底, 不作评价。

2 结果与分析

2.1 试验结果

从基坑 2 个探井分别取土进行土性试验, 结果(表 1)表明, 强夯处理后的湿陷性黄土地基大大改善了土体物理力学性质, 特别是上部 1.5 m 深度范围内土体, 其干密度达到 1.6 t/m³ 以上, 孔隙比降到 0.64~0.70, 土体压缩系数 $a_{1-2} \leq 0.0017$ cm²/kg, 湿陷系数及自重湿陷系数均为零, 黄土湿陷性完全消失; 下部土体各种土性指标也有明显改善, 土体干密度达到 1.47~1.57 t/m³, 孔隙比为 0.73~0.84, 压缩系数为 0.009~0.002 cm²/kg, 湿陷系数 $\delta_{p-2}=0.0021\sim0.007$, 自重湿陷系数均为零, 黄土湿陷性消失。

表 1 强夯后地基土体分层土性试验结果

土层序号	土名代号	取土深度/m	含水量/(g·kg ⁻¹)	土体密度/(t·m ⁻³)	干密度/(t·m ⁻³)	孔隙比	压缩系数/(cm ² ·kg ⁻¹)	湿陷系数(δ_{p-2})
I	Q ₄ ⁻¹	1.5	208	2.02	1.67	0.65	0.0017	0.000
II	Q ₄ ⁻²	2.5	236	1.94	1.57	0.74	0.0015	0.003
III	Q ₄ ⁻³	3.5	212	1.80	1.48	0.84	0.0090	0.007
IV	Q ₄ ⁻⁴	4.5	200	1.85	1.54	0.76	0.0021	0.002

2.2 结果分析

将地基土体强夯前后的土性试验结果进行同类土同深度比较分析, 由此(表 2)可以定量分析强夯法处理湿陷性黄土地基的工程效果。

表2 强夯前后地基土体土性试验指标比较

土层 序号	土名 代号	上层埋深/ m		干密度/ ($t \cdot m^{-3}$)		孔隙比		压缩系数/ ($cm^2 \cdot kg^{-1}$)		湿陷系数 (δ_{ps})		自重湿陷系数	
		夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后
I	Q_{41}^{-1}	0.5~2.5	2.5	1.35	1.67	1.01	0.65	0.055	0.0017	0.047	0.00	0.011	0
II	Q_{41}^{-2}	2~3.5	3.5	1.29	1.57	1.10	0.74	0.053	0.0015	0.052	0.003	0.021	0
III	Q_{41}^{-3}	3~4.5	4.5	1.29	1.48	1.10	0.84	0.053	0.009	0.052	0.007	0.015	0
IV	Q_{41}^{-4}	4~9	5.5	1.45	1.54	0.87	0.76	0.022	0.0021	0.019	0.002	0.001	0

注:土层埋深从原基坑面算起。

根据表2试验指标,可以用图(图1,2,3)分别表示强夯前后土体密度、压缩系数、湿陷系数沿土层深度的变化趋势。由图1~3可清楚看出,强夯处理湿陷性黄土地基对土体土性指标的影响规律和工程效果。

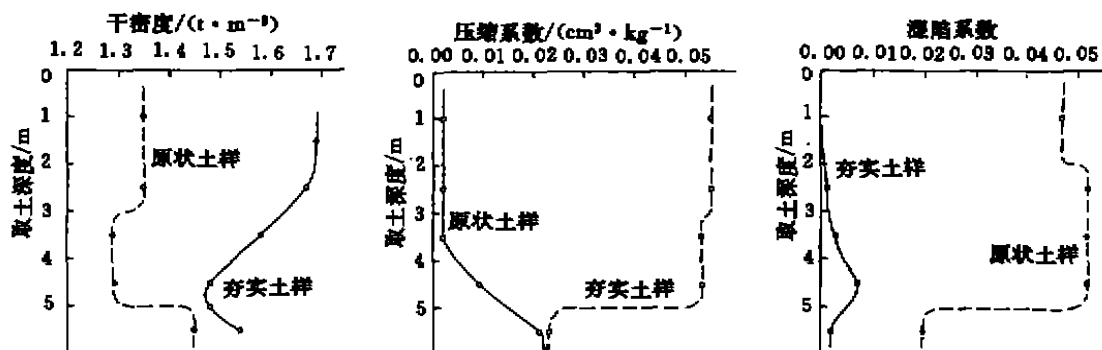


图1 土体干密度随深度的变化趋势 图2 压缩系数随深度的变化趋势 图3 湿陷系数随深度的变化趋势

2.3 影响深度评价和评价方法探讨

从强夯前后土体干密度沿土层深度的变化曲线,可直观看出来夯影响深度从原基坑表面算起为5.0 m;从压缩系数沿深度变化规律可看出影响深度也为5.0 m;从湿陷系数沿深度变化规律可看出影响深度为5.5 m以下。

1)按照 Menard 公司的公式^[3],强夯加固影响深度 $D = \alpha \sqrt{MH}$ (M 为夯锤质量(t), H 为落距(m)),系数 $\alpha = 0.5 \sim 1.0$,计算该地基土体强夯处理影响深度为

$$D = (0.5 \sim 1.0) \sqrt{10 \times 10} = 5.0 \sim 10.0(m)$$

汪文善^[3]认为,给 Menard 公式应乘 0.24~0.4 倍,即

$$D = (0.24 \sim 0.4)(5 \sim 10.0) = 2.0 \sim 4.0(m)$$

2)按照太原工学院经验公式^[3], $D = 5.102 2 + 0.008 9WH + 0.009 361E$ (E 为单位面积夯击能),计算该地基强夯处理影响深度为

$$D = 5.102 2 + 0.008 9 \times 100 \times 10 + 0.009 361 E = 6.992 2 + 0.009 361 E$$

也就是说,即便单位面积夯击能等于零,而强夯影响深度也达 $6.992 2 \approx 7.0(m)$ 。

3)按照范维恒等总结的经验公式^[3],强夯处理影响深度 $D = K \sqrt{(WH)/10}$,式中 K 为系数,对软土取 $K = 0.5$,黄土取 $K = 0.34 \sim 0.5$,计算该地基强夯影响深度为

$$D = (0.34 \sim 0.5) \sqrt{\frac{100 \times 10}{10}} = 3.4 \sim 5.0(m)$$

4) 根据国内多种教科书介绍的公式, 强夯处理地基影响深度 $D = a \sqrt{WH}$, 式中 a 为系数, 按地基土的性质取值, 对黄土 $a = 0.28 \sim 0.66$, 则强夯处理该地基影响深度为

$$D = (0.28 \sim 0.66) \sqrt{10 \times 10} = 2.8 \sim 6.6(\text{m})$$

5) 根据我国的实践, 一般土层加固的深度 $Z = (0.45 \sim 0.85) \sqrt{QH}$, 式中, Q 为夯锤质量(t), H 为落距(m)^[1], 计算该地基强夯处理影响深度为

$$Z = (0.45 \sim 0.85) \sqrt{QH} = (0.45 \sim 0.85) \times 10 = 4.5 \sim 8.5(\text{m})$$

综合分析, 以上各种计算模式除太原工学院经验公式对湿陷性黄土计算差异较大外, 其余公式计算的影响深度范围均包括着该地基实际勘察影响深度, 只是范围值太大或有一定偏差, 影响实际量化分析和工程设计。根据陕西省水电工程局一处对华县冶金技校楼地基强夯处理湿陷性黄土地基所得结论^[4], “百吨米强夯对地基加固深度一般在 4~6 m”, 与本试验结果接近。所以笔者认为, 对于百吨米强夯处理湿陷性黄土地基影响深度计算公式应为

$$Z = a \sqrt{WH}$$

式中, W 为夯锤质量(t); H 为落距(m); a 为系数, 对湿陷性黄土应取 $a = 0.45 \sim 0.60$ 。

该公式是对点夯击数为 10 击时的计算公式, 对于不同击数的影响可以根据陕西省建筑科学研究所强夯试验专题研究报告的试验结果进行分析(如图 4)。

从图 4 可以看出, 强夯击数和落距也对强夯影响深度有着显著的影响, 特别是 10 m 落距, 击数小于 6 击时, 影响更为敏感, 当击数为 9 击时, 夯沉量接近终值, 即对于强夯锤质量 10 t, 落距 10 m, 则夯实极点亦多在击数为 6 击左右出现, 实际施工中考虑某些参数波动的影响, 建议击数 ≥ 9 击; 对于 8 m 落距和 6 m 落距夯实极点分别为 5 击和 4 击, 建议实际击数 ≥ 8 击。

3 结论与讨论

1) 强夯处理非饱和湿陷性黄土地基具有明显的工程效果, 能大大提高土体密度, 改善土体工程性能, 消除黄土的湿陷性, 提高地基承载力。

2) 强夯处理湿陷性黄土地基影响深度应按经验公式 $Z = a \sqrt{WH}$ 计算, 系数 a 取值为 0.45~0.60 更合理, 对于百吨米强夯击数应 ≥ 9 击。

3) 从计算资料分析, 强夯处理结构性较强的地基(例如低含水黄土地基), 在一定深度范围可能会出现程度不等的振散层, 该层土体原始结构破坏, 结构强度降低, 对工程可能带来不利影响, 应谨慎应用。

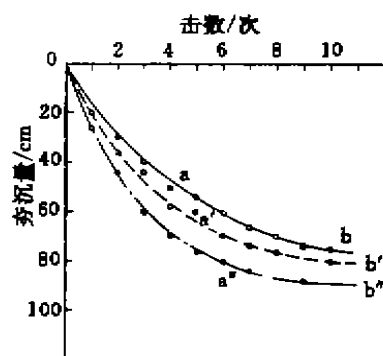


图 4 夯沉量随击数变化曲线

a, a', a'', 强夯夯实极点;

b, b', b'', 强夯夯实终点

[参考文献]

- [1] 关文章. 湿陷性黄土工程性能新篇[M]. 西安:西安交通大学出版社,1992. 270—298.
- [2] 郑颖人,陆新,李学志,等. 强夯加固软粘土地基的理论与工艺研究[J]. 岩土工程学报,2000,(1):18—22.
- [3] 裴章勤,刘卫东. 湿陷性黄土地基处理[M]. 北京:中国铁道出版社,1992. 39—41.
- [4] 田西乡. 强夯在加固工程地基上的应用[J]. 陕西水利,1990,(5):33—34.

The project effect of DCM improving loess foundation in the western region of Guanzhong

ZHANG Bo-ping¹, XI Ding-min¹, ZHANG Yu-xiang², FEI Bing-sheng²

(1 College of Water Conservation and Architectural Engineering, Northwest Science and
Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the test results of dynamic consolidation for the foundation of actual project, the influence of dynamic consolidation on soil's density, compressibility, collapsibility and so on is analyzed, and the project effect of dynamic consolidation on collapsible loess foundation is approached. At the same time, the effective influence depth is researched. Lastly, the common calculation formuluses of influence depth at home and abroad are assessed, and the quantitative range of influence coefficient for loess area in the western region of Guanzhong is given.

Key words: dynamic consolidation; loess foundation; collapsibility; project effect

欢迎订阅 2001 年《西南农业学报》

《西南农业学报》是四川、云南、贵州、广西、重庆和西藏六省市农科院(所)合办的综合性农业学术期刊,也是我国农学类的核心期刊。本刊刊登农牧各学科应用基础理论、应用技术、区域综合开发和软科学等方面的研究报告、研究简报、专题论文、学科进展和述评等文章,是广大农业科学工作者选读高质量文献和发表自己研究成果、学术见解的重要刊物。本刊所刊登的论文现为联合国粮农组织 Agris 数据库、中国科学引文索引、中国农林文献数据库所收集。同时还参加了《中国学术期刊(光盘版)》和中国万方数据库。

本刊为季刊,季末出版,16开,每期128页,国内外公开发行。国内订价每册10元,全年订价40.00元。由本刊编辑部发行。热忱欢迎广大农牧业科研、教学和科技管理人员投稿和订阅。

订费请汇至:成都市静居寺路20号四川省农科院情报所内《西南农业学报》编辑部。邮编:610066。电话:(028)4504192。银行汇款请汇至:市内及郊县:成都市南郊联社望江分部,帐号:201020656;异地:农行成都光华支行转市农信望江分部,帐号:201020656;户名:《西南农业学报编辑部》。