

红层泥岩填料强夯地基的效果分析

杨泓¹, 董云², 赵国华², 王首智², 田华², 李萍², 冯瑞², 曹仕鹏²

¹核工业西南物理研究院, 四川 成都

²核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2023年6月3日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

强夯法是一种常规地基处理方法, 但强夯处理的效果的检测通常较为困难。本文通过工程实例研究, 在川西地区对红层泥岩填料强夯地基进行了密度试验、颗分试验、夯沉量观测、动力触探、载荷试验等多种手段的地基检, 评价了强夯地基的效果。结果表明动力触探数据检能够较为快速测出强夯作用影响的深度和范围, 评价场地地基的加固效果, 可作为强夯试验的检测主要手段之一。

关键词

强夯法, 地基检测, 圆锥动力触探, 平板载荷试验

Effect Analysis of Red Mudstone Filling Dynamic Compaction Foundation

Hong Yang¹, Yun Dong², Guohua Zhao², Shouzhi Wang², Hua Tian², Ping Li², Rui Feng², Shipeng Cao²

¹Nuclear Industry Southwest Institute of Physics, Chengdu Sichuan

²Nuclear Industry Southwest Survey and Design Institute Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Received: Jun. 3rd, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

The dynamic compaction method is a conventional foundation treatment method, but the effect of the dynamic compaction treatment is usually more difficult. In this paper, through engineering case studies, the foundation detection of the dynamic compaction foundation of red-bed mudstone filler was carried out in the western Sichuan area, such as density test, particle fraction test, ramming and sediment observation, dynamic penetration, load test, etc., and the effect of the dynamic compaction foundation was evaluated. The results show that the dynamic penetration data can

文章引用: 杨泓, 董云, 赵国华, 王首智, 田华, 李萍, 冯瑞, 曹仕鹏. 红层泥岩填料强夯地基的效果分析[J]. 土木工程, 2023, 12(6): 912-917. DOI: 10.12677/hjce.2023.126103

quickly measure the depth and scope of the influence of dynamic compaction and evaluate the reinforcement effect of the site foundation, which can be used as one of the main means for detecting the dynamic compaction test.

Keywords

Dynamic Compaction Method, Foundation Detection, Cone Dynamic Penetration, Plate Load Test

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国西南地区的工程建设多通过削山填谷来整平场地，常形成高填方的碎石土地基[1]。

对于深厚碎石土地基，强夯法是最为经济实用的地基处理方法，强夯法地基处理具有适用范围广泛、加固效果显著、有效加固深度深、施工机具简单等特点[2] [3]。目前，强夯以最后两击夯沉量结果确定停夯标准，参照夯击能级经验公式推定地基加固深度，工程实践中多以夯击前后现场检测作为地基加固效果评价方式，检测工作是贯穿于地基处理的一项重要工作[4] [5]。此外，工程区附近区域利用强夯法地基处理工程经验较少，且回填材料为西南地区的泥岩碎块石，具有明显的地域特性，对强夯后的人工地基进行检测显得尤为重要。

本文对试夯区的填料、夯前密实度及夯后密实度、承载力等进行检测，分析研究泥岩填料强夯地基的效果，并对检测手段进行分析评价。

2. 研究区工程地质条件

某研发基地位于川西浅丘地区，场地整体北高南低，中部分布有低洼地段。场地由于侵蚀作用及人类耕种活动，局部地形起伏较大，多呈多级台地状，台地之间分布有陡坎，陡坎由于地形走势高度 0.5~3.5 m 不等，坡度 40°~60°。试夯区位于场地南侧拟，整个场地较低处，地貌成阶梯状，海拔 497~499 m。清底后，地貌成阶梯状，海拔 496~498 m。回填厚度 6~8 m，回填后试夯区整体高程约 504 m。

根据勘察资料及现场开挖情况，试夯区原地层从上至下依次为：① 耕土：灰褐色，可塑，主要以粉质粘土为主，顶部含大量植物根系，厚度约 0.5~1.1 m，广泛分布于场区地表范围。② 粘土：褐黄色、灰白色，可塑，局部硬塑，主要由粘粒组成，含灰白色粘土团块，局部裂隙较为发育，呈不规则网状纹，裂隙的走向是随机的，长度一般 0.1~0.5 m。充填铁锰质物，切面光滑，干强度高，韧性高。层厚 0.5~2.0 m。③ 粘土夹卵石：青灰色~褐黄色，稍湿~湿，整体呈稍密状态，局部松散，粒径一般 2~10 cm，成分以火成岩为主，呈次圆状，局部扁平状，分选性较差，卵石含量约为 20%~45%，充填物为粘土和少量圆砾，卵石最大粒径大于 15 cm。该层在场区内呈层状及透镜体状分布。④ 覆盖层下基岩由白垩系上统灌口组(K₂g)组成，岩性以中薄层状泥岩和细砂岩为主，中等风化，泥岩、细砂岩以不等厚互层状产出。

试夯区地下水类型主要为埋藏于耕土层及粉质粘土层中的上层滞水、少量粘土中的裂隙水、粘土夹卵石层中孔隙潜水及基岩中的基岩裂隙水，拟建场地地下水富水量少，但分布较复杂，埋深不统一(水位高程为 490.94~493.25 m)，主要补给来源为大气降雨。川西地区丰水期为 7、8、9 月份，地下水位埋藏相对较浅。枯水期为 12、1、2 月份，地下水位埋藏相对较深。其余月份为平水期。场地内粘土夹卵石层为主要含水层，渗透性一般，粘土夹卵石层的渗透系数取 0.50~2 m/d。

3. 试夯区强夯方案及施工

试夯区位于工程场地西南角,面积约 705 m^2 ($26.05\text{ m} \times 27.10\text{ m}$)。回填料主要为泥岩填料,粒径不大于 30 cm 。试夯范围天然地面标高约 497.00 m ,清理表土深度约 1.00 m ,回填及场地平整至标高约 504.00 m ,点夯单击夯击能采用 $6000\text{ kN}\cdot\text{m}$,满夯单击夯击能采用 $2000\text{ kN}\cdot\text{m}$;强夯后场地标高约 503.00 m 。夯击次数二遍点夯,二遍满夯;夯点间距第一遍 $5.5 \times 5.5\text{ m}$ 正方形布置,第二遍夯击点位于第一遍夯击点之间按 $5.5 \times 5.5\text{ m}$ 正方形布置(按正式施工间距),满夯按 $1/3$ 锤印搭接,不得留有空印;夯击数第一、二遍点夯预计 $12\sim 15$ 击控制,第三、四遍满夯预计 $4\sim 6$ 击控制。收锤标准:① 最后两击的平均夯沉量不大 100 mm ;② 达到了经现场试验或强夯确定的夯击击数。收锤标准以夯沉量为主,夯击击数为辅。

4. 试夯区填筑体工程地质特征

4.1. 填筑体特征

回填料主要为砖红色碎块石为主,母岩主要以粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,局部为细砂岩,松散状,局部稍密,粒径一般 $2\sim 40\text{ cm}$,局部最大粒径达 1.0 m ,透水性强,填筑方式主要多为分层填筑及抛填(见图 1,图 2)。



Figure 1. Photos of backfill construction in the test compaction area
图 1. 试夯区回填施工照片



Figure 2. Backfill particle size measurement
图 2. 回填料粒径测量

4.2. 填筑体密度试验

通过灌水法、室内含水率试验,检测得到人工填土平均密度 1.94 g/cm^3 ,含水率平均值 13.6% ,计算得到人工填土干密度取 1.74 g/cm^3 ,试验结果见表 1。

Table 1. Filling body density test statistics table

表 1. 填筑体密度试验统计表

编号	位置	体积($\times 10^{-3} \text{ m}^3$)	固体重量(kg)	密度(g/cm^3)	含水率 $\omega(\%)$	干密度(g/cm^3)
1	TK1	99.26	201.62	2.03	11.4	1.78
2	TK2	88.56	169.88	1.92	12.2	1.68
3	TK3	81.76	171.08	2.09	11.7	1.84
4	TK4	159.22	312.24	1.96	15.0	1.72
5	TK5	139.58	276.11	1.98	15.2	1.74
6	TK6	116.83	232.77	1.99	14.9	1.75
7	TK7	80.7	156.05	1.93	14.6	1.70
		平均值		1.94	13.6	1.74

4.3. 填筑体颗分试验

通过 7 组颗分试验试验,5 组为级配良好碎石,1 组为级配不良角砾,1 组为级配不良碎石,试验结果见表 2。不良级配处主要回填土母岩为细砂岩,其强度低,极易破碎。

Table 2. Particle analysis test results of artificial fill soil in the test ramming area

表 2. 试夯区人工填土颗粒分析试验结果

序号	TK1	TK2	TK3	TK4	TK5	TK6	TK7
不均匀系数 C_u	158.6	62.94	160	85.71	100.00	125.93	42.63
曲率系数 C_c	1.65	6.00	5.85	2.48	2.33	2.05	2.11
填料命名	级配良好 碎石	级配不良 角砾	级配不良 碎石	级配良好 碎石	级配良好 碎石	级配良好 碎石	级配良好 碎石

4.4. 填筑体超重型动力触探试验

试夯前在试夯区进行了 10 组超重型触探法(N_{120}),填筑体动探击数为 2.7 击/10 cm,总体处于松散状态。其下的粘土夹卵石层动探击数为 3.9 击/10 cm,试验结果见表 3。

Table 3. Statistical table of extra-heavy dynamic penetration testing

表 3. 超重型动力触探试验统计表

土层名称	指标值	统计频数	最大值 (击/10 cm)	最小值 (击/10 cm)	平均值 (击/10 cm)	标准值 (击/10 cm)
人工填土层		635	20.2	0.9	3.0	2.7
粘土夹卵石层		31	6.2	2.9	4.2	3.9

5. 强夯地基测试成果

5.1. 单点夯沉量监测

采用水准仪按所有夯点每夯一次沉降量进行测量，成果见图 3。其中第一遍点夯为 25 个夯点，第二遍点夯为 14 个夯点。数据显示第一遍点夯每个夯点一般在 8 击左右可满足停夯标准(最后两击平均值小于 100 mm)，第二遍点夯每个夯点一般在 6~7 击左右可满足停夯标准。

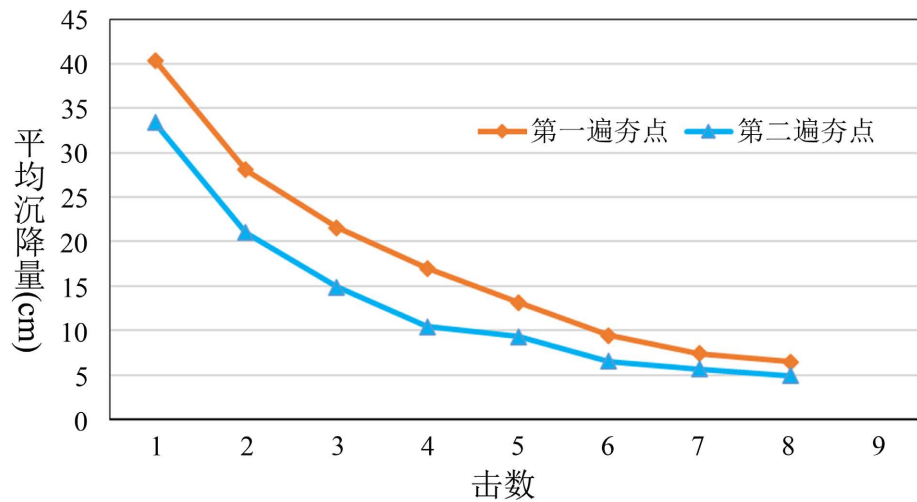


Figure 3. Single-point average tamping weight statistics and hammering number curve
图 3. 单点平均夯沉量统计与锤击数曲线图

5.2. 动力触探试验

通过强夯前后 10 个点的超重型(N_{120})动力触探对比分析：0~0.50 m 回填层由于扰动较严重，动探击数提高不大，处理前为 1.1 击/10 cm，处理后为 1.2~1.4 击/10 cm；0.50~1.0 m 回填层处理前 2.1 击/10 cm，处理后 4.2~5.4 击/10 cm；1.0~4.0 m 回填层处理前 2.9 击/10 cm，处理后 9.1~10.6 击/10 cm；4.0 m~回填层底部处理前 3.1 击/10 cm，处理后 7.4~7.9 击/10 cm；粘土夹卵石层(原老土层)处理前 3.9 击/10 cm，处理后 5.4~5.6 击/10 cm。说明试夯区 0.5 m~粘土夹卵石层强夯均具有加固效果，其中 1.0~4.0 m 深度处加固效果最好。试验结果见表 4。

Table 4. Dynamic penetration test results before and after ramming in the test ramming area

表 4. 试夯区夯前夯后动探试验结果

处理状态	各地层平均锤击数(击/10 cm)				
	0~0.50 m回填层	0.50~1.0 m回填层	1.0 m~4.0 m回填层	4.0~回填层底部	粘土夹卵石层
处理前	1.1	2.1	2.9	3.1	3.9
处理后夯点上(击)	1.4	5.4	10.6	7.9	5.6
处理后夯点间(击)	1.2	4.2	9.1	7.4	5.4

5.3. 平板载荷试验

通过 3 组平板载荷试验，强夯后地基承载力大于 151~191 kPa，变形模量为 8.97~13.95 Mpa，压缩模量为 11.21~17.44 Mpa，试验结果见表 5。

Table 5. Plate load test results in the test ramming area
表 5. 试夯区载荷试验

试验点位	试验设计最大荷载 (Kpa)	试验最大加载荷载 (Kpa)	承载力特征值 (Kpa)	变形模量 E_0 (MP)	压缩模量 E_s (MP)
强夯点间 (1#点, 深度1.2 m)	300	377	191	13.95	17.44
强夯后点下(2#点)	300	377	151	11.78	14.72
强夯点间(3#点)	300	377	151	8.97	11.21

6. 结论

综上所述,在川西地区红层填料强夯填土地采用多种检测方法,强夯后地基承载力为 151~191 kPa,变形模量为 8.97~13.95 Mpa。将超重型动力触探夯前夯后数据进行对比,强夯对 0~0.50 m 回填层由于扰动较严重,加固效果较差;0.5 m~粘土夹卵石层(6~8 m)强夯均具有加固效果,其中 1.0~4.0 m 深度处加固效果最好。通过超重型动力触探与载荷试验、夯沉量观测、密度试验等数据进行对比,结果表明动力触探可以检测出强夯作用影响的深度和范围,能够较为快速、经济地评价场地地基的加固效果,但应结合平板载荷试验等多种检测方法共同使用。

参考文献

- [1] 陈晨,冯爱国,王春艳,等.某厂区红层软岩碎石土填方高能级强夯现场试验研究[J].工程勘察,2023(5):22-27.
- [2] 安明,叶观宝.强夯施工技术与工程实践[J].岩土力学,2018,39(S2):61.
- [3] 黄昌乾,张建青,陈昌彦.人工填土的勘察与评价[J].工程勘察,2010(S1):187-191.
- [4] 梁永辉,王卫东,冯世进,等.高填方机场湿陷性粉土地基处理现场试验研究[J].岩土工程学报,2022,44(6):1027-1035.
- [5] 闫楠,白晓宇,水伟厚,等.陆域与海域深厚碎石回填地基高能级强夯有效加固深度对比试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(7):1891-1900.