

文章编号: 1008—2786(2000)增—0065—04

强夯垫层作用及其相关因素

——以浦东机场场道工程地基强夯处理为例

卢小兵¹, 张偉元¹, 李 强²

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059;
2. 中国民航机场规划设计研究院, 北京 100101))

摘 要: 在大型强夯试验研究的基础上, 指出强夯处理中垫层虽具有防止粘锤现象和抑制表面振动波的松动作用的优点, 但它毕竟要消耗一部分夯击能, 这是它的负作用, 消耗夯击能的大小主要与其级配相关。级配较好的垫层消耗夯击能较小, 反之, 消耗夯击能则较大。因此, 在采用垫层的强夯处理中, 必须要考虑垫层的级配情况, 否则将浪费较大的夯击能或使地基处理失败。

关键词: 强夯; 强夯垫层; 级配; 夯击能; 负作用

中图分类号: TU472. 31, TU521. 1 **文献标识码:** A

强夯法处理地基能提高地基土的强度并降低其压缩性, 经过几十年的发展, 它已适用于加固从砾石到粘性土的各类地基。但由于该方法极其复杂, 其设计和对加固机理的认识还不成熟, 对于强夯垫层缺乏深入研究就是其中的一方面。目前, 工程界对于强夯垫层的认识主要集中在其优点防止粘锤现象和抑制表面振动波的松动作用, 而对强夯垫层通常会消耗夯击能的负作用缺乏认识, 因而在采用强夯垫层时往往对材料的特性和颗粒组成情况不加考虑, 其后果轻者会造成夯击能的损失, 重者会造成地基处理的失败。

1 强夯垫层的优点

1.1 垫层抑制表面振动波的松动作用及其机制

强夯处理时, 夯锤从高处落下, 强大的夯锤势能转化为夯锤动能, 夯锤动能大部分转化为冲击能(以波的形式传播)。冲击波由面波(包括乐甫波和瑞利波)和体波(包括纵波和横波)组成。纵波、横波、瑞利波占冲击波的份量分别为 7 %、26 %、67 % (Miller, 1954)^[1]。可见, R 波占全部能量的 2/3, 这是体波无法比拟的。由于面波是沿地表滚动或水平前进, 根据目前的强夯理论, 从波动法的角度一般认为体波中的压缩波起主要的加固作用, 而面波几乎不起作用, 甚至认为只有坏作用(造成地基表面松动)^[2], 因此在强夯法应用之初, 如何有效地抑制面波的松动作用是一大难题, 但经过试验及工程人员的研究, 采用在地基表面加垫层的方法成功地解决了这一难题。其机制主要在于三方面: 1. 强夯垫层多为粗粒土, 在强大的冲击波作用下垫层颗粒有向地基土中挤填置换的作用, 使地基土表面密实, 面波对地表的松动作用大大减弱; 2. 强夯垫层施加后, 造成新的更高的地表, 使原来的地表埋于地下, 面波的松动作用大部分只能在垫层中起作用; 3. 施加强夯垫层相当于在地表施加了一定的覆盖层荷载, 使地基土表面的松动作用一定程度上得到了抑制。

收稿日期: 1999—11—15
作者简介: 卢小兵(1969—), 男(汉族), 四川人, 讲师。1998 年获该学院水文地质与工程地质硕士

1.2 防止粘锤现象

强夯施工每夯点常要夯十击左右,而平均每击的夯沉量约 10 cm,因此每个夯点的累积夯沉量一般有 1 m 左右。拔锤时常由于真空吸附作用对夯锤有很大的拉力,特别是处理软土地基时,由于坑壁土对夯锤的粘滞作用,使拔锤极其困难。但加粗粒土强夯垫层后,夯坑的真空吸附及坑壁土的粘滞皆不易产生作用。因此,在强夯特别是处理软土地基时通常要加强夯垫层。

2 强夯垫层的负作用及相关因素

强夯垫层虽有上述两方面的优点,但由于夯击能在传递过程中毕竟有一部分将消耗于垫层中,这就是强夯垫层的负作用。下面以浦东机场强夯处理试验为例,说明强夯垫层的负作用。

浦东机场跑道修建之前,为解决场区存在的主要工程地质问题和确定地基处理方案,在场区西侧进行了强夯试验,分为 T_{1-1} 、 T_{1-2} 、 T_{1-3} 和 T_{1-4} 四个小区进行(见图 1)^[3]。

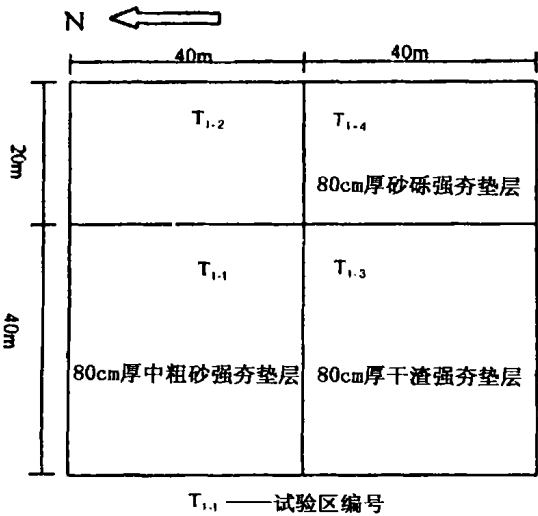


图 1 强夯试验区平面图

Fig. 1 The plane map of dynamic consolidation test region

间,故两小区垫层的综合级配皆较好; T_{1-3} 小区的干渣垫层属卵石粒组,粒径在 60 mm ~ 100 mm 间,因此,垫层的不均匀系数极小,远远小于粒径均匀与否的界限值 5,该小区垫层的综合级配较差。

表 1 强夯垫层密实度检测(平均值)

Table 1 The density detection of cushion for DC

统计阶段 小区编号	夯 前			夯 后		
	含水率 $w(\%)$	湿重度 $\gamma(\text{KN/m}^3)$	干重度 $\gamma_d(\text{KN/m}^3)$	含水率 $w(\%)$	湿重度 $\gamma(\text{KN/m}^3)$	干重度 $\gamma_d(\text{KN/m}^3)$
T_{1-1}	5.86	15.67	14.80	5.70	17.19	16.29
T_{1-3}	2.86	15.99	15.55	5.86	21.24	20.08
T_{1-4}	3.50	19.07	18.43	11.40	22.85	20.51

由表可知,强夯后,各小区垫层的密实度、级配皆有所变化:

1. 各小区垫层密实度:干重度较夯前有所提高,其中 T_{1-3} 小区的提高幅度最大。
2. 各小区垫层级配变化情况如下: T_{1-1} 小区垫层,夯后各粒组含量、级配无明显的改善; T_{1-4} 小区垫层,夯后粒径 > 60 mm 的粒组含量略有降低,而粒径为 60 mm ~ 40 mm 的粒组含量略有增加,粒径为

40 mm~10 mm 间的粒组含量有一定的降低, 因此该小区垫层夯后级配有一定的改善。T₁₋₃小区强夯前、后干渣垫层中各粒组含量发生了明显变化。夯前干渣几乎全由粒径大于 20 mm 的渣块所组成(粒径 60 mm~100 mm 的干渣块占 58.9 %~75.1 %), 夯后垫层中粒径 60 mm~100 mm 的渣块含量明显减少, 粒径<40 mm 的各粒组含量有不同程度的增加, 说明强夯对干渣块(特别是粒径>60 mm 的)破碎较为彻底; 因此, 强夯前后干渣的级配有明显的变化。

表 2 强夯垫层级配检测

Table 2 The composition of cushion for DC

小区编号		粒组百分含量(粒径单位为 mm)								Cu	C _e
T ₁₋₁	粒径	< 10	< 5	< 2	< 0.5	< 0.25	< 0.074				
	夯前	100	95.1	86.6	63.4	23.4	2.3			4.10	1.39
	夯后	100	94.1	83.3	57.3	20.2	1.0			4.00	1.32
T ₁₋₃	粒径	< 100	< 60	< 40	< 20	< 10	< 5				
	夯前	100	33.7	4.4	0	0	0			1.60	1.30
	夯后	100	73.5	51.3	27.3	16.8	10.0			14.8	3.25
T ₁₋₄	粒径	< 100	< 60	< 40	< 20	< 10	< 5	< 0.25	< 0.074		
	夯前	100	93.53	88.03	67.88	54.05	49.03	15.30	0.93	38.85	1.19
	夯后	100	94.7	88.1	75.58	66.5	60.55	9.10	0.45	23.75	0.74

1); Cu 指不均匀系数; C_e 指曲率系数。

上述三个小区夯后垫层的干重度和级配皆有一定的改善, 说明采用垫层必消耗夯击能; 其中 T₁₋₃小区垫层的干重度和级配改善较大, 说明 T₁₋₃小区垫层消耗的夯击能较前两小区的大。与夯前垫层的测试指标相比较, 其消耗夯击能的差异与垫层材料的级配差异一致, 即综合级配较差, 且粗颗粒含量较高的垫层消耗夯击能较高, 而综合级配较好的垫层消耗夯击能较低。

这是从垫层本身的测试得出的结论, 为进一步证实结论的正确性, 将强夯试验、地基土检验及地基沉降观测和计算的有关结果分析于后。

3.2 单点夯击试验测试

为确定强夯施工参数, 强夯试验时首先进行了单点试夯试验。从该试验中对夯沉量的测试结果来看, 各小区各夯点的第一次夯击的夯沉量皆是各次夯击中最大的, 其中 T₁₋₁和 T₁₋₄两小区的比较接近, 皆在 0.200 m 左右, T₁₋₃小区的夯沉量在 0.300 m 左右, 由于第一次夯击下地基土的情况是一致的, 因此第一夯的夯沉量差异就是由各小区强夯垫层与夯击能差异引起。单击夯击能 T₁₋₁、T₁₋₃两小区皆为 2 000 KN·m, T₁₋₄小区为 1 500 KN·m, 故可以认为 T₁₋₃小区的第一次夯击夯沉量较大, 是因为垫层材料级配较差, 孔隙较多, 夯击能比其它两小区有较多部分消耗于强夯垫层, 故垫层本身的压缩量比其它两小区大^[1]。

3 强夯垫层负作用及其与级配相关的机理

由上述可知, 强夯垫层要消耗一部分夯击能, 且消耗夯击能的大小主要与级配相关, 级配好的垫层消耗夯击能较小, 级配差的垫层消耗夯击能较大。

由于强夯垫层一般是散粒体, 具有较大的孔隙比, 在瞬间受到强夯极大的冲击荷载作用时, 颗粒密实, 孔隙比将减小, 因此强夯垫层必将消耗一部分夯击能。这就是其负作用发生的机理。

级配不一样的强夯垫层, 颗粒组成情况也不一样。级配好的垫层, 颗粒分布范围宽, 大颗粒骨架间的孔隙往往被小颗粒充填, 因此, 这种垫层孔隙比较级配差的垫层的小, 另一方面颗粒的接触点大大增加。冲击荷载的能量是依靠颗粒的接触传递的, 接触点数多的垫层利于能量的传递(不难想象其极端情况, 当颗粒与颗粒整个表面积上充分接触时, 比如岩石或钢材, 其弹性波速度最大), 因此级配好的垫层

消耗夯击能相对级配差的垫层要小。级配差的垫层孔隙比较大,在最初几击夯击时,夯沉量往往很大,夯击能较大部分消耗于垫层,数次夯击后,垫层中大颗粒被破碎,颗粒级配转好,夯击效果明显提高。

可见,在采用强夯垫层时,最好选取级配较好的垫层,否则将造成夯击能的浪费,甚至因为对机理的不了解,造成对强夯法处理效果的误解,转而采取其它经济需求高、处理效果不好的方法。

5 结 论

1. 强夯处理时采用垫层既有优点也有负作用。其优点在于垫层可以防止粘锤现象和抑制表面振动波的松动作用;负作用是垫层本身消耗一部分夯击能。

2. 强夯垫层消耗夯击能的大小主要与垫层的级配相关。级配好的垫层消耗夯击能较小,级配差的垫层消耗夯击能较大。

3. 采用强夯垫层时,最好选取级配较好特别是大孔隙较少的垫层。

参考文献:

- [1] 孔令伟,袁建新. R波在强夯加固软弱地基中的作用探讨[J]. 工程勘察. 1996, (5)
- [2] 左名麒. 振动波与强夯法机理[J]. 岩土工程学报. 1986, 3(3). 35
- [3] 卢小兵. 浦东机场强夯试验及强夯地基变形效应初步研究[D]. 成都理工学院硕士论文. 1998. 26. 35~38.
- [4] 孔德坊. 工程岩土学[M]. 北京:地质出版社, 1986. 36

THE STUDY ON THE EFFECTS OF CUSHION FOR DC AND ITS INTERACTION ELEMENTS

LU Xiao-bing¹, ZHANG Zhuo-yuan¹, LI Qiang²

(1. National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059;

2. Airport Design Institute, CAAC, Beijing 100101)

Abstract: The effect on DC's dealing with foundation causes very great reaction in internal and abroad engineering boundary, but the design for DC and the knowledge of DC treatment are not mature, the one hand is poorly study on cushion for DC. In this paper, the study result by senior have been summarized, on the basis of the large study test of DC, it has been pointed out that cushion is able to prevent hammer and soil from being stick together and restrain the loose action of surface wave, but it has bad action which will consume some tamping energy. The quantity of consumed tamping energy is controlled by composition of cushion. The better composition, the smaller the quantity of consumed tamping energy. So, taking cushion for DC treatment, the composition of cushion must be examined, or, the large quantity of the energy will be consumed, even foundation treatment will be fail.

Key words: dynamic consolidation (for short DC); cushion for DC; composition; tamping energy; bad action