

强夯地基处理施工工艺与施工参数控制

邓燕华^{1, 2}

(1.江西中恒建设集团公司, 江西南昌 330200; 2.江西建设职业技术学院, 江西南昌 330200)

摘要:强夯法处理地基能最大限度地利用原土挤密作用增加地基土强度, 充分利用土体资源, 不用或少用水泥、钢材等高能耗建筑材料, 可节省大量能源, 所以采用强夯法处理软基及复杂地基是当前常用的方法。但由于强夯法施工工艺本身具有一定的复杂性, 且施工质量受现场土质及环境影响较大, 所以其适用范围具有一定的局限性。为提高施工质量, 从强夯加固地基机理出发, 重点讨论了施工工艺及施工参数的控制, 为今后施工操作提供科学依据, 并为设计人员提供借鉴。

关键词:安全距离; 夯击能; 贯入度

DOI:10.3969/j.issn.1674-5043.2010.03.006

中图分类号: TU753.3; TU431 文献标志码: A 文章编号: 1674-5043(2010)03-0019-04

1978年, 我国进行了动力固结法(又称强夯法)试验研究和工程试点施工, 取得了较好的加固效果。随后, 强夯法在全国各地推广应用。1997年强夯法已纳入国家标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91), 2002年9月国家建设部门又全面修订91版的《建筑地基处理技术规范》, 新的《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002)不仅保留和修订了原有强夯法的内容, 而且增加了强夯置换的内容。

但是, 由于强夯法本身具有一定的复杂性, 再加上工程岩土复杂性, 上述规范的出台比较缓慢, 至今还缺乏系统、有效的现场试验和必要的室内模拟试验的理论和分析依据。在具体施工运用中尚存在许多不定性的问题, 在不少的范围领域强夯法处理效果甚微, 甚至某些特殊情况强夯法是无法处理的。即使在其适用的范围内, 其施工质量的好坏受施工参数的影响较大。为提高施工效果与质量, 必须控制好施工参数。

1 工艺原理

强夯锤从高处落下对土产生冲击引发振动(在土中向地下传播)的振动波理论, 是强夯法处理地基的公认的原理。这种振动波可分为体波和面波两类: 体波包括压缩波(P波)和剪切波(S波), 可对土体起加固作用; 面波包括瑞利波(R波)和乐夫波(L波), 携带了约三分之二的能量(占总能量的67%), 以夯坑为中心沿地表向周围传播, 对地基土不起加固压密作用, 反而使表层(剪胀区)土体松动隆起。所以在施工中必须充分发挥利用瑞利波水平分量, 增加瑞利波的水平分量对土体的剪切破坏, 能大大提高柱锤对土体深层的加固作用, 提高其有效加固深度^[1], 同时也可以提高地基土的承载力, 拓宽强夯复合地基在工业和民用建筑的工程应用范围^[2-4]。

2 适用范围

强夯法适用于处理碎石土、砂性土、低饱和粘土(粉土)、湿陷性黄土、含水量低的素填土、以粗骨料为主的杂填土等, 尤其适用于大面积砂性(粘)土填方区域的地基处理工程。适用于不同厚度、成分各异的饱和杂填土、淤泥或淤泥质土、高饱和粘土和粉土等, 尤其适应于大面积低洼地(江、河、湖、海、塘)填方区域的地基处理及复合地基承载力特征值为 $f_{ak} < 350$ kPa的工程。

3 施工工艺流程及操作要点

施工工艺共分3个阶段。第一阶段为施工前的准备工作, 其主要工作如图1所示。

收稿日期: 2010-04-08

作者简介: 邓燕华(1975-), 男, 江西南昌人, 硕士, 工程师, 主要从事既有建筑鉴定加固与改造方面的研究。

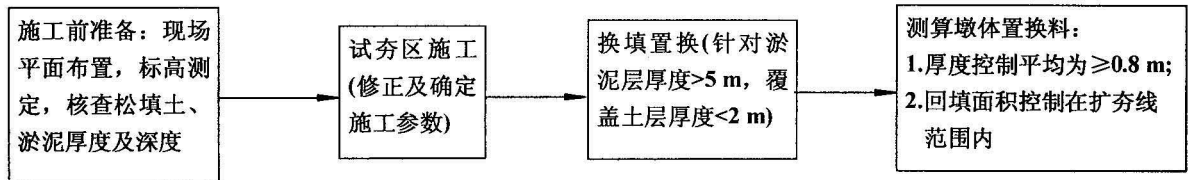


图1 施工准备工作示意图

第二阶段为正式施工阶段，分3道工序，其主要工作如下：

第一道工序：普通锤深层挤密，具体操作如图2所示。

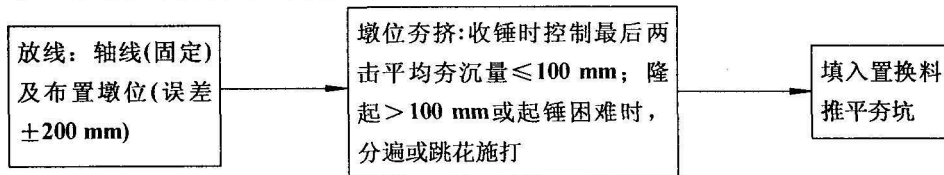


图2 第一道工序示意图

第二道工序：普通锤中层挤密，具体操作如图3所示。

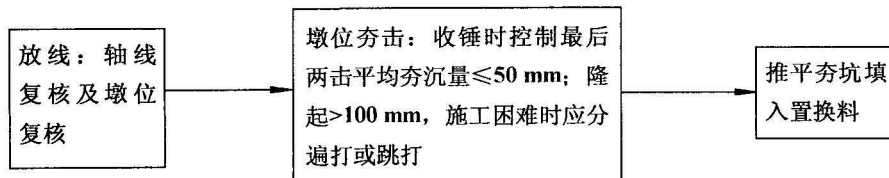


图3 第二道工序示意图

第三道工序：片锤满夯，具体操作如图4所示。

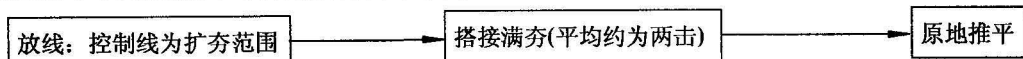


图4 第三道工序示意图

施工时第一工序锤底静压力值控制在120 kPa左右，夯坑深度宜控制在5.0 m以内；第二工序夯坑深度控制在2.0 m以内；第三工序夯锤搭接面积应在30%以内。具体操作如下：

- ① 起重机就位，使夯锤对准夯点位置。
- ② 将柱锤起吊到预定的高度，开启脱钩装置，待柱锤脱钩自由下落后，测量第一次夯击后柱锤顶高程，若发现因坑底倾斜而使夯锤歪斜时，应停夯并向夯坑内填场地填料或置换料使坑底平整。
- ③ 重复步骤②，向夯坑内回填场地填料或设计的墩体置换料，按试夯确定的夯击次数及控制标准，完成该夯点的夯击。夯击过程中，当发现柱锤顶高程两遍间夯沉量相差明显较大或其他异常时，需连续击数次测量柱锤顶高程并分析原因。如夯点周围软土挤出影响施工时，可随时清理并在夯点周围铺垫碎石，继续施工。
- ④ 按照由内到外顺序，移机至另一个夯点，重复步骤②~步骤③，完成第一遍全部夯点的夯击；然后用推土机将夯坑推填平整，并测量场地的高程。
- ⑤ 在规定的间隔时间后，按上述步骤完成第一、二工序全部夯击遍数；然后用推土机将场地填平；用普通片锤，进行低能量满夯1~2遍，将场地表层松土夯实，并测量夯后场地高程。

第三阶段为竣工验收阶段。处理后的地基应进行静载试验、原位测试、土工试验，经试验合格方能进行竣工验收。

4 施工工艺参数

4.1 单点间距

单点间距一般为 $1.5D \sim 2.5D$ (D 为锤底直径)，呈正方形、梅花形或等边三角形布置。按建筑面积均匀

布点时,以最外围基础中心线或外边线算起,增加一排夯点,且应大于加固土层厚度一半;按基础位置相应布点时,应按基础持力层厚度一半扩出。为避免区域交界处出现漏夯,各施工分区强夯时向边界外扩大1~2排夯点,使各强夯区域形成一定的搭接宽度。

4.2 安全距离

强夯振动对建筑物的影响类似工程爆破,其影响与能级和场地类别有关。为确保周围建筑物的安全,8 000 kN·m能级加固区强夯点和建筑物的最小安全距离为45 m,6 000 kN·m能级强夯试夯区强夯点和建筑物的最小安全距离为36 m,2 000 kN·m能级强夯区强夯点和建筑物的最小安全距离为18 m,低于此能级时按线性内插法确定。无法满足上述要求时应设置隔振沟,隔振沟的最小深度应在1.25~1.5个R波(即面波中瑞利波)波长。当R波波长不清楚时,其深度应大于相邻建筑物基础埋深,隔振沟的宽度对隔振效果没有实质影响。

4.3 夯击数

单点的夯击数,除坚硬土和粒料土外,一般都有孔隙水压力的消散和土体恢复问题。这两个因素是控制强夯遍数的主要因素,一般含水量大的遍数较多。对在夯击过程中有填料要求的饱和软土的遍数也较多。夯坑过深,需在坑内填满料,再在原地夯击,这种情况也增加了遍数。总之,应使土体竖向压缩量最大而侧向移动最小,或最后两击沉降量之差小于试夯确定的数值为准,一般软土控制的瞬时沉降量为5~8 cm;每个夯击点的击数一般为3~10击,开始两遍夯击数宜多些,随后各遍的击数逐渐减少,最后一遍只夯1~2击。

4.4 贯入度控制

当采用贯入度控制时,夯到最后一击或最后三击的平均贯入度,应满足下列要求:较硬土、湿陷性黄土、砂性土为3~5 cm,软弱土为5~10 cm;对于饱和软粘土、淤泥质土以及大能级强夯而相应的锤底面积小的情况下,贯入度达20~30 cm。

4.5 夯击遍数

夯击遍数一般为2~5遍,前2~3遍为“间夯”,最后一遍以低能量(为前几遍能量的1/4~1/5)进行“满夯”(即锤印彼此搭接),以加固前几遍夯点之间的粘土和松动的表层土。

4.6 间隔时间

通常待超孔隙水压力大部分消散、地基稳定后再夯下一遍,两遍之间的间隔时间一般为1~4周,粘土通常为3周,但对含水量较低的碎石类土、或透水性强的砂性土,可采取间隔1~2 d或在前一遍夯完后,将土推平接着随即连续夯击而不需要间歇。

5 施工中应注意的问题

1) 正式施工前应根据设计指标和地质报告,参照有效影响深度公式,结合实际经验,确定试夯能级,然后选择不同的锤底面积、布点间距、施工顺序、夯击遍数、单点夯击数等。夯后经过测试,得出满足设计要求的最佳数据,确定施工工艺和参数。

2) 夯法的加固顺序是先深后浅,即先加固深层土,再加固中层土,最后加固表层土。最后一遍夯完后,再以低能量满夯一遍,有条件的话采用小夯锤击为佳。

3) 开夯前应收集夯前各层地基土的原位检测和土工试验等数据,并检查夯锤质量、锤底面积和落距,以确保单击夯击能及静、动压力指标符合设计和试夯的要求;开工时,应确保场地无积水出现,做好边沿排水措施;清理夯坑填土杂物,尤其是垃圾、杂草、树桩等有机物;进行满夯施工前夯底以上的松填土厚度不宜大于1.5 m。

4) 夯击时应按试验确定的强夯参数进行,落锤应保持平衡,夯位应准确,夯击坑内积水应及时排除。夯击地段遇上含水量过大时,可铺砂石后再进行夯击。在每一遍夯击之后,要用新土或周围的土将

夯击坑填平, 再进行下一遍夯击。

5) 严格控制回填土含水量在最优含水量范围内, 如低于最优含水量, 可钻孔灌水或洒水浸渗。

6) 检查地基处理施工过程中的各项测试数据和施工记录, 不符合设计要求时应及时补夯或采取其他有效措施。对有填料要求的强夯, 需记录各夯坑的填料数量。每一遍夯击前, 应对施夯夯点放线复核, 夯完后检查夯坑位置正确与否, 发现偏差或漏夯应及时纠正; 夯击过程中出现局部地面隆起过大(≥ 150 mm)时, 应会同有关设计人员共同研究, 及时采取相应措施或有针对性地修正技术参数。

7) 严格控制工序质量: 控制点夯测放, 允许偏差为 ± 5 cm; 夯锤就位, 允许偏差为 ± 15 cm; 场地平整不大于 ± 10 cm; 最后2击平均夯沉量不大于5 cm; 严格控制夯击能; 当拔锤困难且达不到停夯标准时, 应向夯坑填料进行二次复打, 直至满足停夯标准要求为止。强夯中若发现地面变化较大时, 需作沉降观测; 施工中如发现偏锤, 应重新对点; 如遇夯锤的通气孔堵塞, 应立即开通。

8) 强夯后应进行地基加固质量检验, 且检验时需在施工结束后间隔一段时间才能进行。对碎石土和砂土地基的间隔时间可取1~2周, 对于低饱和粉土和粘性土地基可取3~4周, 可采取标准贯入、静力触探及瑞利波和静载试验以确定地基承载力、夯实均匀性及强夯加固深度, 也可通过钻孔取样进行室内土工试验。抽检数量对于简单场地上的一般建筑物, 每个建筑物地基的检验点不应少于3处; 对于复杂场地或重要建筑物地基应增加检验点数, 检验深度应不小于设计处理的深度。

9) 强夯机须站在可持力层上进行施工, 50 m范围内严禁闲人靠近; 风力在5级以上时, 不得进行强夯作业; 机械的检查保养和排除故障, 应在停止作业后进行, 禁止在运行中检修。

强夯法处理地基施工质量与施工效果取决于施工工艺及施工参数的控制, 所以施工中应重点做好施工工艺与施工参数的控制。

参考文献:

- [1] 张忠苗.打桩振动机理与监测防治[J].物探与化探,1993(1):57-70.
- [2] 胡钧,李昊.强夯振动监测与分析[J].工程勘察,2000(6):1-4.
- [3] 方磊,经绯,刘松玉.强夯振动影响与构筑物安全距离研究[J].东南大学学报,2001,31(3):29-32.
- [4] 陆伟东,韩晓健,杨放.强夯施工环境影响的评价方法[J].南京工业大学学报,2002,24(5):65-68.

Dynamic Consolidation Foundation Treatment Technology and the Construction Parameter Control

DENG Yan-hua^{1,2}

(1.Jiangxi ZhongHeng Construction Corporation, Nanchang 330200, China;

2.Jiangxi Institute of Architectural Technology, Nanchang 330200, China)

Abstract: As the dynamic consolidation foundation treatment is able to fully utilize the original soil compacting function to increase the foundation soil strength, make full use of soil resources, and use less or no cement, steel and high-energy consumption of building materials which saves a lot of energy resources, the use of dynamic compaction treatment on the soft ground and the complex foundation currently is the most commonly used method. However, the construction of dynamic compaction process itself has a certain degree of complexity, and the quality of construction is greatly influenced by the on-site soil and environment, so its scope of application has certain limitations. In order to improve the construction quality, this mechanism starts from the foundation of dynamic consolidation, focusing on the construction process and construction parameters control, which provides a scientific basis for future construction operations and a reference for designers.

Key words: safe distance; tamping energy; penetration