

# 某污水厂项目强夯地基处理施工质量控制分析

刘继龙 潘德安 陈臆

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

**摘要：**本文根据某污水厂项目强夯地基处理案例，较为详细的论述了强夯施工的工艺流程，全面总结了高填方强夯地基处理质量控制的要点，为同类型地基处理提供一定的借鉴。

**关键词：**强夯；地基处理；含水率；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.01.053

## 一、项目概况

该项目位于中部某省份远城区郊区，场区地形地貌属丘陵过渡地段，属于长江三级阶地，整体呈南高北低。根据设计平面布置，厂区红线用地面积88080.96m<sup>2</sup>，设计规模15万m<sup>3</sup>/d，含18个拟建建（构）筑物，项目投资估算约5.33亿元，工期2年整。根据勘探揭露和原位测试以及土工试验等资料分析，拟建场地地层由上而下主要为素填土层、第四系全新统冲积黏性土、第四系上更新统冲洪积黏性土、粉砂质泥岩。

厂区场地平整及地基处理拟进行大面积强夯工作，强夯主要针对厂区回填土层。按照设计地面标高，本厂区地基以填方为主，填筑高度范围1m~10m，平均填筑高度5m~6m，填方量约需50万立方，强夯处理深度、方量大；现状地貌高低起伏，回填深度不均匀，加之水池构筑物对裂缝控制要求高，对不均匀沉降控制要求高，这些条件都对强夯施工质量控制提出了较高的要求。因此必须重视强夯处理地基处理施工质量控制。

## 二、强夯地基加固机理

强夯加固地基是在很小时间间隔以内对地基施加一个很大的瞬时冲击能量，让回填土的力学性能发生一系列改善，如土体孔隙率的变化、加速排水固结等变化。这样的巨大冲击作用使得处理范围内的地基各项技术指标得到改善，满足设计要出，土壤孔隙被挤密，若为湿陷性黄土，对湿陷性的消除也有很好的作用。

强夯法加固特点是：使用工地常备简单设备；施工工艺、操作简单；适用土质范围广；处理效果明显，可在一定时间较低成本内获得比较高的地基承载力，通常处理后的地基强度能够增加1~4倍，地基变形及沉降值较小明显，土体压缩率可减小3~9倍，有效处理深度一般为5~9m；土壤颗粒孔隙率减小明显，土体的结构强度有较好的改善；施工效率比较高，工程处理进度较快（一般一台强夯机械每周可处理1200~2500m<sup>2</sup>地基），与垫层换填和各种桩基处理能加快一半的工期；而且强

夯回填料获取方便，减少胶凝材料使用；处理成本较低，能起到减少投资的作用；比各种预制桩处理相比课减少成本40%~60%，同砂石、碎石桩对比可减少成本35%~45%，而且投入的劳动力等资源也较少。

## 三、本项目强夯施工工艺流程

在各强夯区，按照图纸要求及顺序先完成点夯二遍，夯击次数为8~10次，每一次的夯击能按处理区域分依次设定为3000kN·m、2000kN·m、1000kN·m；再满夯一遍，夯击次数为3次，单次夯击能量为1000kN·m，根据现场试夯情况再行调整。主要施工过程：场地清淤完成→回填至底层起夯面→放线定位→第一遍点夯处理施工→场地填夯坑推土机平整→间隔期→放线定位→第二遍点夯处理施工→场地推土机平整→间隔期→第三遍满夯处理施工→场地平整→检测→合格后，交付土建施工，流程图如图1所示。

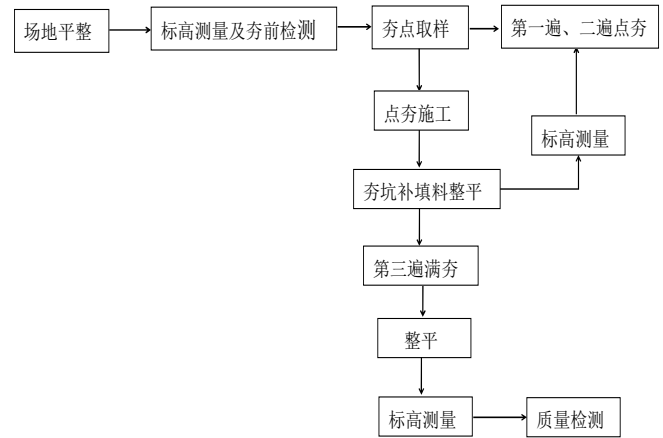


图1 强夯施工工艺流程图

为充分扩散、降低超孔隙水压力，强夯施工时要求每遍强夯应有一定的时间间隔。夯击处理顺序由中间向周边，间隔一行进行跳打的方式进行施工。强夯的加固影响深度必须到现状土体表面，夯击能及点位控制要均匀、可靠度强强，对部门区域回填深度大于5米的，要采取分层强夯处理。确保施工过程中的质监监督及验收，及时反馈过程中的工艺参数及异常情况，进而为后续强夯提供合理的施工参数及避免大面积返工，保证强夯质量。

## 四、本项目强夯地基施工质量控制关键要素

### 1. 严格控制回填料性能参数

#### (1) 土质及粒径要求

要求原地面以上的填料应采用挖方区开挖的粉质黏

土、碎石土、粉土、石和石块等粗细骨料混合回填，粗骨料比例不应小于30%，填料中石块的最大粒径宜控制在500mm以下，粒径大于400mm的含量不宜超过10%。回填时要求作适当的推平碾压工作。回填层中，不得将较大粒径的石块集中堆填，并不得出现石块架空现象。应将大小粒径的填料搭配铺填，并应用良好的级配。不得使用淤泥、耕土及有机质大于5%的土。

(2) 土质含水率要求

回填土含水率也是必须重要控制的一项指标，回填料含水率不能过高，不宜超过25%，过高时需要晾晒后方能分层回填压实。受工期及天气影响，本工程会在雨季进行，需避开雨水天气进行施工，严禁采用纯黏性土作为回填料；强夯施工之前回填土表层要通过机械碾压封层，有效免除雨水深入土体内，把雨水对后续强夯施工的不利影响降低到最低；具体为下雨之前，对现场回填土采用压路机碾压场地 5 遍，做封场处理，防治雨水深层渗透。

回填料严格按照设计要求执行。考虑到现场回填土可能有多个土源，对不同土源的物理力学性能指标严格按照最优含水率及最大干密度严格控制。根据试夯期间取土样进行的土工试验检测，现场土源的最优含水率约为 18.0%；现场大面积进土将严格按之前程序继续进行严格控制。

2. 合理设置排水及截水措施

由于场地较为低洼，强夯施工前，沿应强夯区域边缘修筑临时截水沟，防止施工期间周围的水汇集到强夯区域。场区西侧设置隔震土沟一道，截面尺寸 1.0×1.0m，长度约 327m。场区东侧一二期相接处均须设置隔震土沟一道，截面尺寸 1.0×1.0m，长度约 151m。雨季填土区强夯，应在场地四周设排水沟、截洪沟，防止雨水流入场内；填土应使中间稍高；回填料含水率必须在要求范围内；严格按照分层回填、分层推平碾压，控制分层厚度，同时保证推平后的土体表层要有一定的排水坡度；当天回填的土料应当天推平碾；降雨结束后及时抽排积水，推掉表面稀泥和软土铲除土体表面的稀泥土及较软的回填料，再进行推平碾压作业；夯坑应及时推平碾压，并使标高高于周边。及时设置，并根据回填强夯进展调整场区内的临时排水系统，确保做到降雨无大面积积水，降水能够顺畅排出，另外，场区周边采取拦、截、堵、疏的措施，尽量减少雨水汇流至施工区域。

3. 选择合适强夯机械

采用强夯法进行抵触处理，施工机械的选择是否合适也对强夯的质量影响重大，本项目选择的强夯机械技术参数要求主要有夯锤及落距，夯击能及处理土体深度

关键的参数是强夯机械的锤重及落距。夯锤重量一般应大于等于8t，实际施工用的比较多的有10t、12t、15t、18t、25t。强夯落距通常大于6m，实际施工用的比较多的有7m、9m、12m、15m、18m、20m、25m不等。本项目根据强夯处理深度及土质性能参数，选择 16.5T 重的夯锤，用铸铁制作组合而成，夯锤底部为圆形，锤底直径为 2.52m。夯锤中设置有贯穿式的排气孔，孔的直径大小约为500mm，可以有效减小夯锤底部与土表之间由于真空形成的比较强的吸附力和夯锤夯击落下过程中受到的空气阻力。夯击过程中不断检查排气孔是否被土体堵塞，确保排气通畅。

4. 设置合理的强夯技术参数

强夯施工前应根据现场条件、选用机械及设计要求科学确定强夯每击次数、夯点布置级、夯击能大小。

(1) 强夯每击次数

根据本工程填土处理深度、填料的性质、单击夯击能，每夯点的夯击次数宜采用8~10次。实际强夯作业每强夯点位的夯击次数，要根据施工前试夯确定的次数和夯沉量之间的关系函数曲线来取值，且要具备以下要求：

- ①最后两次连续两次夯击的平均夯沉量应小于 5cm;
- ②每个夯坑周边地表不能产生较大的隆起高度;
- ③夯坑深度较大时亦不能出现提锤困难的情况。

(2) 夯点布置

夯点布置严格按照图纸布设，夯点采用等边三角形布置，第二遍在第一遍夯结束后插挡进行，布置如下

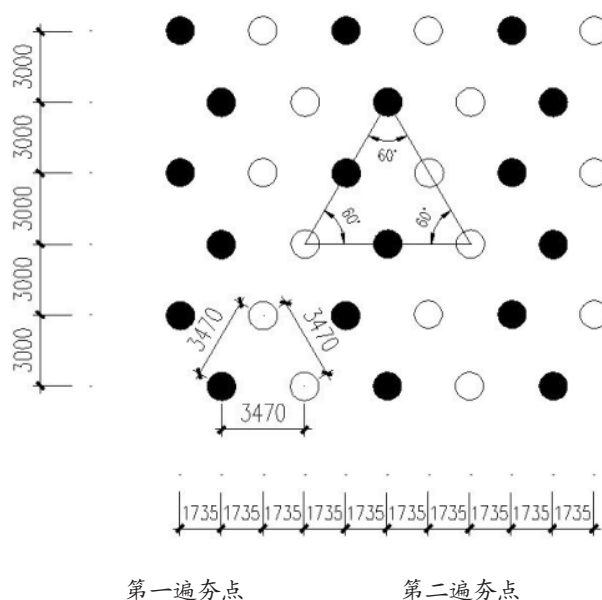


图2 第一遍点和第二遍点夯夯点平面布置 (单位: mm)

图 2, 施工顺序如下图 3。每层夯击遍数采用 3 遍, 第 1、2 遍按夯点平面布置图插档布点夯击, 第 3 遍应采用比较小的能量进行满夯施工。相邻两遍夯击时间间隔不宜少于 7 天。每遍强夯前应检测夯面土层含水量及孔隙水压力, 满足要求后再强夯。第一遍点和第二遍点夯全部完成场地整平后进行满夯, 满夯夯印平面搭接 1/4 锤径, 确保夯击质量。

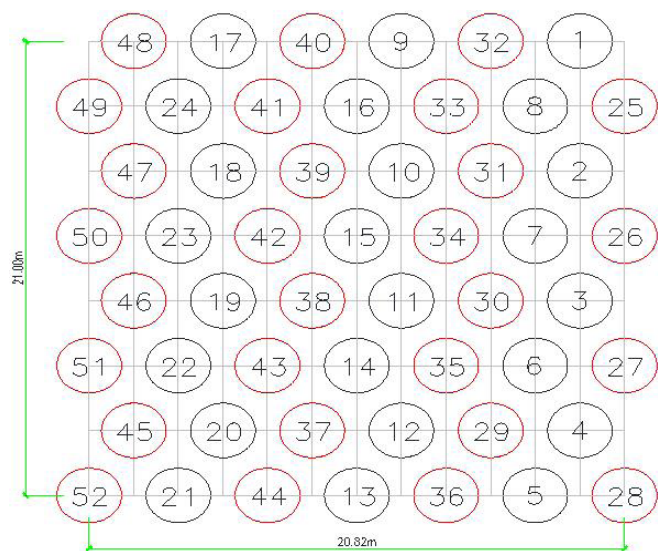


图3 夯点施工顺序平面布置图 (单位: m)

(3) 夯击能控制

锤重与落距的乘积称为夯击能。夯击能应考虑回填料种类、性能参数、荷载参数和强夯加固深度等因素, 同时在夯前进行试夯确定。通常对于粗颗粒土夯击能的取值为 $1000\sim 3000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ ; 细颗粒土的取值为 $1500\sim 4000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ 。夯击能选择太小, 处理效果不理想; 夯击能选择较大, 浪费能源和增加成本, 且, 若为饱和黏性土有可能对土体结构造成不可恢复的破坏, 形成“橡皮土”, 造成土体结构强度降低。根据以往强夯处理效果较好的经验数据, 单击夯击能确定应小余 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ , 具有比较合适的技术与经济效益。本项目最大夯击能设定为 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ , 第一、二遍点夯, 分区能量分别为  $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $2000\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ , 夯击数不小于 8 次, 第三遍为满夯, 夯击次数 3 次。要求强夯后该区域范围内承载力特征值  $f_{ak}\geq 160\text{kPa}$ , 压缩模量  $E_s\geq 15\text{MPa}$ 。现场 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$  强夯锤重 $16.5\text{t}$ , 直径  $2.52\text{m}$ , 夯锤高度为:  $H=3000\text{kN}\cdot\text{m}/165\text{kN}=18.20\text{m}$ ; 现场  $2000\text{kN}\cdot\text{m}$  强夯锤重  $16.5\text{t}$ , 直径  $2.52\text{m}$ , 夯锤高度为:  $H=2000\text{kN}\cdot\text{m}/165\text{kN}=12.20\text{m}$ ; 现场  $1000\text{kN}\cdot\text{m}$  强夯锤重  $16.5\text{t}$ , 直径  $2.52\text{m}$ , 夯锤高度为:  $H=1000\text{kN}\cdot\text{m}/165\text{kN}=6.10\text{m}$ ; 现场

$1000\text{kN}\cdot\text{m}$  满夯锤重 $165\text{t}$ , 直径  $2.52\text{m}$ , 夯锤高度为:  $H=1000\text{kN}\cdot\text{m}/165\text{kN}=6.10\text{m}$ 。

5. 严格监督强夯质量检测

强夯质量检测是最后一道保证强夯施工质量的程序, 是对强夯各种工艺、技术参数验证的重要手段, 作为现在监督管理单位必须严守这道底线和原则。

本项目除试夯区需进行检验外, 强夯施工完成后, 均对强夯结果进行检验。检验方法应采用原位静载试验和动力触探试验, 并辅以室内土工试验, 室内土工试验应检测各土层土的比重、固体体积率、含水量、密度、压缩系数、压缩模量、变形模量等物理力学性质指标。夯前、试验夯及夯后均严格按照检测要求进行试验检测检测; 检测抽查具体位置由建设、监理、EPC、质检、施工、设计等单位根据现场情况确定。试验完成后试验结果均要求报当地质检部门、业主、监理以及设计院审查备案。原位静载试验和动力触探试验要求检测夯填层的地基承载力特征值、压缩模量  $E_s$ 和强夯有效加固深度。

本项目过程中委托两家第三方检测单位对强夯地基施工质量进行检测, 除因土质原因压缩模量不能满足原设计要求外, 其余指标基本都能很好满足设计要求。后经现场组织专家研讨会, 根据实际填土性能参数、强夯施工工艺, 结合专家经验并补充检测, 认为压缩模量大于 $5\text{MPa}$ 基本能满足不均匀沉降要求。

五、结束语

本文通过对该项目现状及强夯处理地基技术的介绍, 认为该项目选择强夯处理地基方法经济合理。在项目实施过程中, 通过严格控制回填料性能参数, 合理设置排水及截水措施, 选择合适强夯机械, 设置合理的强夯技术参数, 建立准确的施工控制点及高程, 落实质量保证措施并严格监督强夯质量检测, 为地基处理达到较为理想的结果提供了保障, 也为类似高填方强夯地基处理工程提供了参考。

参考文献

[1]王宜民, 裘永祺. 地基处理及强夯施工质量控制[J]. 电力与能源, 2013, 34 (5):550-552.  
 [2]柳军. 强夯地基基础处理技术与施工质量控制研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 47 (10):153-154.  
 [3]王晓璜. 采用强夯法对填土区进行地基处理的施工控制[J]. 工程建设与设计, 2003, 3:69-70.  
 [4]杨洪锸. 强夯法在湿陷性黄土地基中的应用[J]. 广东工业大学学报, 2012, 29 (1):15-18.  
 [5]黄健新. 地基强夯处理施工质量控制[J]. 施工技术, 2009, 2:68-69.