

软土地区免支撑管道沟槽基底同步原位固化处理施工工法

1 前 言

随着信息化技术的不断发展，工程建设技术发展日新月异。在市政工程施工过程中，环境条件越来越复杂，周边影响越来越大，施工技术难度也越来越高。沟槽、基坑软土地基十分常见，处理难度较大，处理工艺复杂，周期长、成本高。

常规软土地区沟槽开挖方式需要大面积支撑，降水、排水，在施工条件有限的区域，不能放坡开挖，较为适应的方法有钢板桩插打支护，采用钢管支撑开挖。同时，在管道支护开挖之后，还需要进行地基基础处理，以达到沟槽地基承载能力要求。

由于常规施工耗费较长时间开挖支护，软基处理，同时在支护开挖过程中由于基坑变形较大，还可能存在局部挤压变形、垮塌风险等，施工成本较高。基于以上原因，我司在工程中采用了“软土地区免支撑管道沟槽基底同步原位固化处理施工技术”，该技术采用化学改良软土地基，将沟槽开挖区域固化，并同步进行沟槽基底固化处理，改善土力学特性，实现免支撑接近垂直开挖。该技术避免了常规施工工效低、费用高、周期长等特点，处理效果显著，一次解决开挖支护以及基底处理工作，大大提高了施工工效，降低了人工劳动强度，具有很好的推广应用价值。

2024 年 4 月 18 日经查新，未见与该工法综合关键技术相符的内容，在所检国家级、省级工法中也未见述及。该项技术成功应用到本公司施工的平炼路（丽水路-拱康路）景观大道工程（一期）、温州北

站交通枢纽金水路工程南段一期 II 标段等工程中，实践证明其核心技术成熟，效益显著，为推广该项技术，总结形成本工法。

2 工法特点

2.0.1 本工法采用化学浆液现场搅拌固化，采用化学改良思路在软土地基处理中较为常见，工艺成熟，该技术施工方便，以最简单方式解决了工程中施工实际问题。

2.0.2 本工法采用化学浆液，利用履带式行星搅喷机进行破土现场搅拌，每小时搅拌工程量可达到 $60\sim 100\text{m}^3$ 以上，沟槽基底一起搅拌处理。该技术大大缩短了工期进度，一般在搅拌完成 24 小时内即可进行开挖，免支护。

2.0.3 本工法避免采用大量钢板桩支护支撑系统施工以及在富水区域降水、排水费用，工期缩短，设备简单，成本显著降低。

2.0.4 本工法实现地基一次固化到位，避免二次管道沟槽地基处理工作。

3 适用范围

本工法适用于市政工程软土地区沟槽开挖及管道安装基础处理，低等级道路路基、承台基坑等开挖施工（本技术建议基坑/沟槽开挖深度 $H\leq 3\text{m}$ ，或经过专项计算论证）。

4 工艺原理

本工法工艺原理是采用化学浆液，利用履带式行星搅喷机进行破土现场搅拌，固化沟槽侧壁以及沟槽基础，从而达到避免在软土地区中开挖沟槽采用支撑系统以及在富水区域降水、排水施工的目的。

固化设备软基固化作业。利用专门的施工设备，可以解决普通搅拌桩或旋喷桩软弱基础设备施工困难的问题，能够提高施工效率。上部固化平台为建筑物的施工提供条件。通过对软基的固化形成施工平台，机械设备可直接在固化平台上进行施工作业，提高施工效率、降低成本。

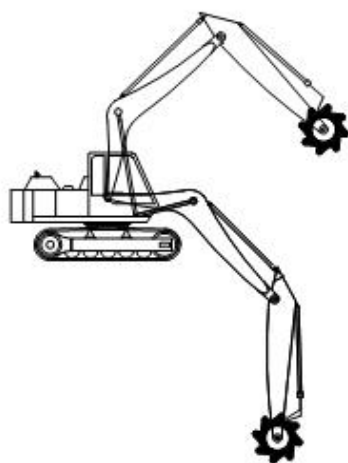


图 4.0.1 履带式行星搅喷机工作示意图

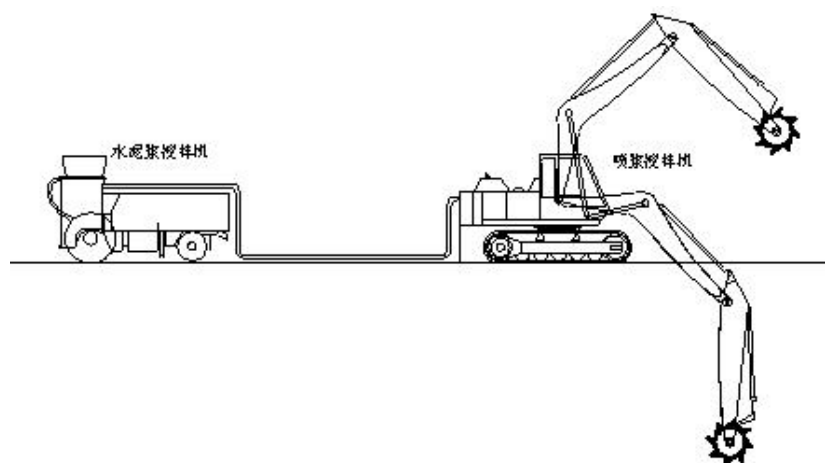


图 4.0.2 履带式行星搅喷机工作原理示意图

在软基处理未涉及区域（半圆体轴线陆侧 20m 范围），如地勘结果不利于工程实施，可采用“上部软土固化平台+下部搅拌桩”的基础结构可改善受力条件、适当减小沉降。普通的水泥搅拌桩（或高压旋喷桩）桩体离散分布，周围软土对其握裹力弱，整体性较差，抵抗

侧向滑动能力较差。引入上部固化平台可加强下部桩体的整体性，桩体受力更为均匀协调，减小局部桩体失稳破坏的风险，且改善受力后于控制沉降有利。

软土固化技术相对传统水泥搅拌桩（高压旋喷桩）可降低工程造价，固化深度 0.6-9m，满足常规软基处理深度要求。该工艺能够实现零排运，无需开挖工作，降低运输对环境的影响，做到资源的充分利用，节能环保。无需使用大量的置换材料，节约砂石资源用量，降低工程造价。该工艺施工速度快（无需挖掘和填埋，快速高效），可快速形成挡土墙。

施工工艺包括星型搅拌破土机现场化学浆液搅拌、沟槽无支撑开挖、管道基础检测等。

5 工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程

施工工艺流程如图 5.1.1 所示。

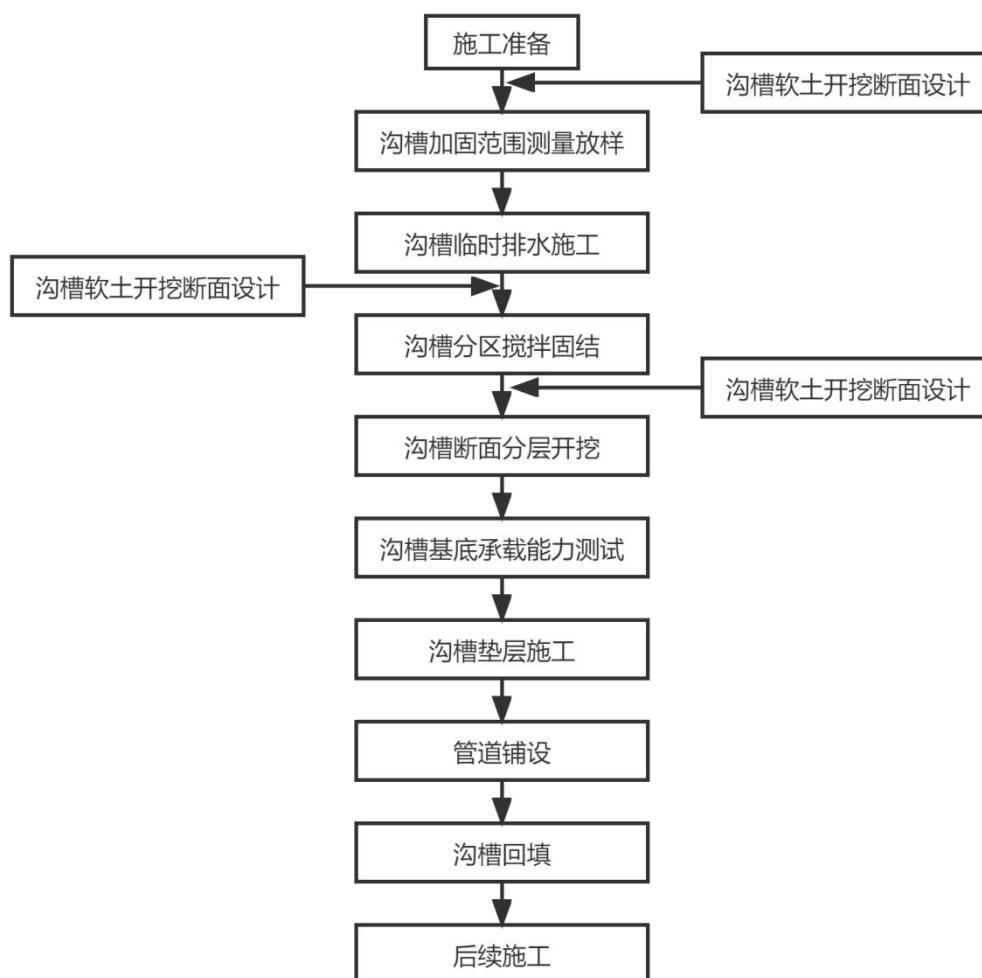


图 5.1.1 施工工艺流程图

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

- 1 准备本工程需用的施工验收规范及标准等技术要求文件以及地方相关行政主管部门管理文件、国家法律法规等，明确技术要求。
- 2 组织施工技术人员熟悉施工图，进行施工现场调查。
- 3 编制专项技术方案，对基坑边坡进行计算分析论证，并对关键工艺进行技术交底。
- 4 做好现场相关临时设施布置，以便于现场施工，便道，便道外侧设排水沟。现场施工用电和施工用水已经接通，做好了施工现场的

“三通一平”工作，能够保证必需施工条件。

5 准备好相应的人员、机械、材料计划及组织。

5.2.2 沟槽软土开挖断面设计

1 固化搅拌试验：沟槽开挖需在软土地基固结后进行，软土地基的固结质量、范围与开挖工作密切相关。固结一般可采用水泥搅拌处理方式，配合比设计需要根据试验确定，水泥是 32.5/42.5，水泥掺量的水灰比 0.5~0.55 掺入量 15%等进行设计，土体抗剪强度指标满足按照挡土墙模型稳定性、强度计算安全等。

2 坡率初步选择：

表 5.2.2 表明挖地基无支撑加固的坑壁的坡度选择：

表 5.2.2 沟槽地基无支撑加固条件下坑壁坡度

序号	坑壁土类	坡顶无荷载	坡顶有静荷载	坡顶有动荷载
1	砂类土	1:1	1:1.25	1:1.5
2	卵石、砾类土	1:0.75	1:1	1:1.25
3	粉质土、粘质土	1:0.33	1:0.5	1:0.75
4	极软岩	1:0.25	1:0.33	1:0.67
5	软质岩	1:0	1:0.1	1:0.25
6	硬质岩	1:0	1:0	1:0

3 土力学计算复核：土力学计算分析，将处理后固化结构模拟为挡墙，外侧软土侧向作用按照土压力作用在挡墙上。一般考虑为重力式挡护，固结挡护结构通过重力克服侧向土压力。

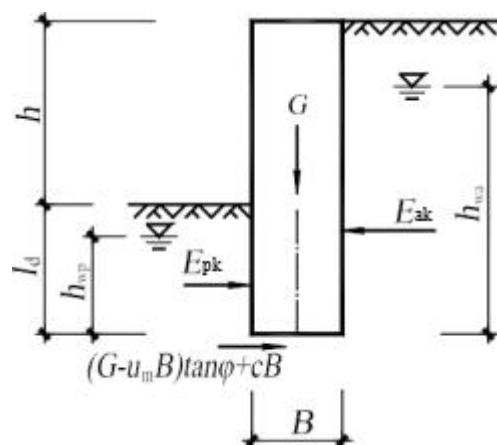


图 5.2.1 固化基坑计算简化模型图

高含水软土土体力学指标参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012，地下水位以下的粘性土、粘质粉土，采用土压力、水压力合算方法，土压力计算、土的滑动稳定性验算可采用总应力法；正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 ϕ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 ϕ_{cq} ；欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 ϕ_{uu} 。需要抽取沟槽范围内以及范围外软土分别进行测试。

计算分析荷载应考虑：基坑内外土的自重（包括地下水），基坑周边既有和在建的建（构）筑物荷载，基坑周边施工材料和设备荷载，基坑周边道路车辆荷载等。

抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性、圆弧滑动稳定性、坑底隆起稳定性、搅拌成型模拟挡土墙正截面应力、地下水渗透稳定性验算。

处理后的沟槽地基承载能力，需要将下覆软基土层作为软弱下卧层进行计算。

4 开挖现场验证：沟槽开挖断面应经过科学试验以及验证，确保安全生产，开挖深度一般控制在 3m 以内。

5.2.3 固化系统配置

1 供料系统可实时控制固化剂的添加量和配合比。固化剂由后台供料系统通过喷浆管进入喷嘴，利用搅拌头上螺旋分布的刀头立体切削土体和转动，使固化剂和土体均匀拌和。固化剂添加控制系统安装在后台供料系统中，能够实施电子控制固化剂的添加量，精确计量，减少材料浪费。主要技术参数：

- 1) 输送泵理论输送方量：3-28t/h；
- 2) 输送泵输送压力：10.5MPa；
- 3) 水平输送距离：1000m；
- 4) 输送泵功能：3-6 种物料混合及搅拌
- 5) 配料室：电控输送固化剂方量：4-8t/h；
- 6) 固化剂输送泵：固化剂输送量：4-22t/h；

2 固化剂输送

输送设备主要用于固化剂成品输送，将固化剂输送至强制搅拌头，直接注入软基固化区域。其主要技术参数为：

- 1) 设备输送压力：12.5MPa；
- 2) 输送距离：0-2000m；
- 3) 输送泵理论输送方量：50-110m³/h；
- 4) 设备总功率：32Kwh；

3 专业搅拌装置

双轮铣搅拌装置是一种自有专利专业型的立体搅拌设备，利用挖机液压驱动，2 个搅拌头按合理的角度对称分布在连接杆和喷嘴的两

侧，其主要参数为：

1) 搅拌头按不同规格，其横向投影长度尺寸为 1300-1800mm，宽度尺寸为 800-1000mm，竖向高度为 800-1000mm，单次搅拌面积不小于 1 m²；

2) 上部连接杆分为 3 节，单节的长度不小于 2 米，并根据加固深度要求可调整单节长度与节数，使最大处理深度可达 7 米。

3) 液压控制：31.5Mpa；

4) 搅拌效率：50-80m³ /小时。

4 普通挖掘机

挖掘机用于软基施工的配套设备。一般采用型号不少于 250 或更大动力挖掘机。其主要技术参数为：

1) 最大牵引力：195kgf；

2) 作业效率：100-150m³ /h；

3) 陆地行走速度：3.4-5.2km/h。

5.2.4 沟槽加固范围测量放样

利用已复核和加密的导线点、高程点，测量人员按施工设计图，进行搅拌区域位、原地面标高、平台标高等有关测量放样工作，放样记录和布桩图报请监理工程师检查验收。计算复核工程数量，准备材料计划。

5.2.5 沟槽临时排水施工

排水沟处理前，对地表水进行有组织排水，沟槽开挖范围地表位置建议高出周边 300m，并形成排水沟渠，减小沟槽内地表水流入。

5.2.6 沟槽分区搅拌固结

原位固化区域，根据图纸设定好固化区域后，提前用挖机进行固化区域翻挖，了解原位固化区域现场情况和方便原位固化作业，提高固化土一次成型效果。

在固化复杂区域，需清理出原有土质中的表层塘渣，保证固化区域的均匀度。

必要时，采取整体固化处理，将固化区域内原装土挖出，筛出原状土中的杂质，邻近位置搅拌均匀后，回填至固化区域即可。

沟槽软土搅拌固结采用履带式行星搅喷机，搅拌机由常规挖掘机改造而成，将挖掘机挖斗改造成为旋转切削行星型式搅喷头。

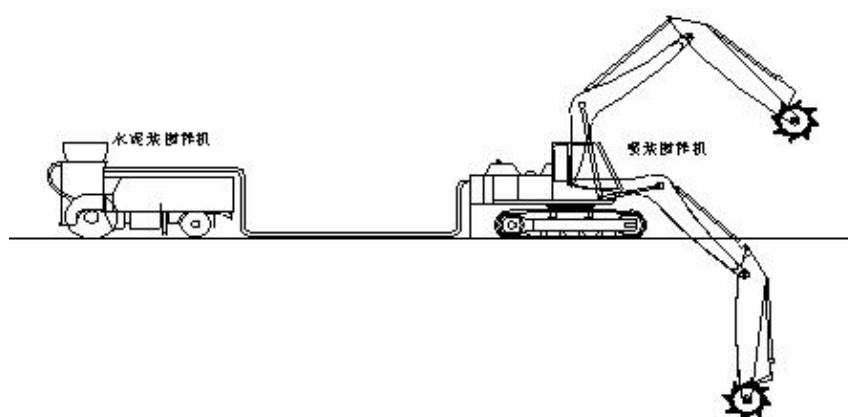


图 5.2.6-1 履带式行星搅喷机施工机械配置示意图



图 5.2.6-2 履带式行星搅喷机浆液搅拌输送系统示意图

行星型式机在软土地基承载能力十分低的条件下，在搅拌行走通道前，采用 1cm 厚钢板铺垫，以便设备不陷入软土中。或进行改造，采用带有浮箱的设备。



图 5. 2. 6-3 浮箱式行星搅喷机工作示意图

固化处理施工时，首先打开切削刀头，利用搅拌桩机的自重，以 500mm/min 的速度进行下层，刀具边旋转、边切土、下沉直至加固深度。下沉速度可由电机的电流监测表控制，工作电流不应大于 40A。按照试验段确定的配合比拌制水泥浆。搅拌机预搅下沉同时，后台拌制固化浆液，拌好待用的浆液倒入集料桶中。

预搅下沉至设计深度后，开动灰浆泵座浆 30 秒，把水泥浆压入软土层中，以 300~500mm/min 的均匀速度，边提升、边搅拌、边喷浆，使水泥浆与土体充分拌合。为保证水泥搅拌地基基础下、侧面水泥挡墙质量，第一次提钻时应在地基基础下、侧面水泥挡墙部停留 30 秒。为使软土层与水泥浆搅拌均匀，用同样的方法，进行第二次搅拌下沉、提升喷浆，即浆搅拌桩钻杆重复搅拌下沉、提升喷浆，施工要求同第一次。

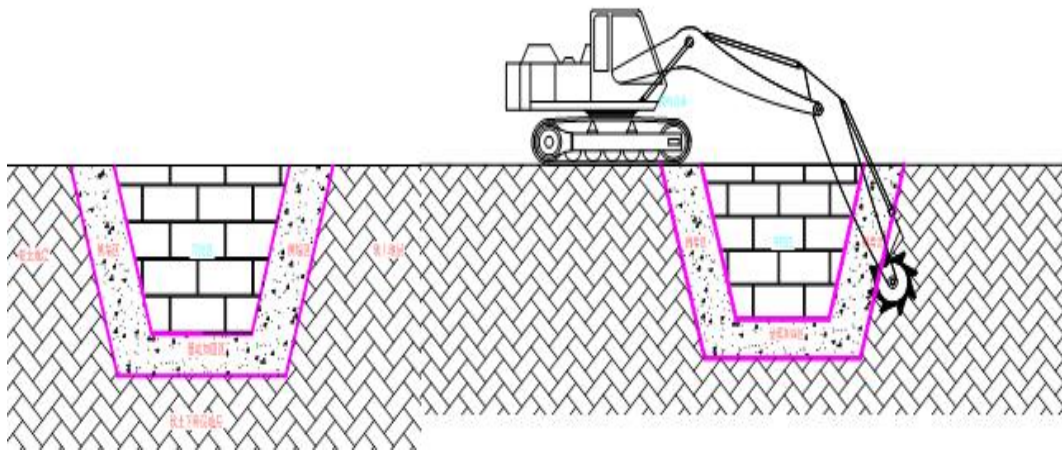


图 5.2.6-4 沟槽搅喷固结分区示意图

在沟槽搅喷固结时，需要特别注意搅拌位置分区，以便后阶段开挖施工方便，同时减少水泥浆用量。一般情况将搅喷工艺分为 3 区，第一区为需要开挖的区域，在满足搅喷设备同行的条件下，可以尽量减少水泥浆用量；第二区为水泥土侧墙区域，该部分区域承担未改良软土层侧向土压力，在土力学上，需要满足抗剪、稳定等要求，该区域应搅喷工艺中特别注意控制质量的区域；第三区为基底加固处理区域，在后续阶段需要承担沟槽以及上覆土、设备走行荷载，需要根据设计计算的地基承载力进行加固处理，类似换土垫层施工工法。

以上 3 区施工前，应在地面采用石灰洒线，标记处理范围。同时在底板深度控制上，应在履带式行星搅喷机的臂上标记 2 个明显深度记号进行控制。



图 5.2.6-5 沟槽搅喷固结分区施工标记线示意图



图 5.2.6-6 沟槽搅喷固结分区施工示意图

分区搅喷厚度应大于设计厚度/宽度至少单侧 500mm 以上，以为开挖过程中偏差留足富余量。

固化土质量控制，选择固结后强度较好的固化配合比，缩短固结时间，同时控制固化土均匀性 90%以上，在压实功的作业下，使固化土密实固结成整体；

根据设计标高、泥质情况等不同，选定不同配方比，及时调整固化剂配方比和掺量，确保后期作业区固化土质量。为保证固化区域一次成型率符合设计要求，每次作业段衔接处不小于 20cm。拐角处重复施工 2-3 次。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/368032060122006140>