

# 主动式注气加压软土快速固结施工工法

## 1 前言

真空预压工艺是将砂垫层作为水平排水通道、袋装砂井或排水带作为竖向排水通道、分散式的射流真空泵作为抽真空设备的一种施工方法，该工艺（后称该工艺为传统工艺）已慢慢不能够满足现代节能、环保和高效的要求，直排式真空预压工艺则是为了解决传统真空预压所存在的问题而研发的，虽然性能有了提升，但排水过程形成的“土柱”淤堵问题却难以得到解决，导致排水效果难以控制。

增压式真空预压工艺是为了解决这些淤堵及解决较深层排水问题而提出，也有一定成效，但相关理论尚不完整，技术及实际应用方法函待完善，依旧不是一个好的施工选择。待建的结构物落在处理后的地基上，将会大幅降低结构物的造价或增大建筑物的安全系数，例如基桩的侧摩阻力变大、几乎不再考虑负摩阻力的影响。

主动式注气加压软土快速固结施工技术是在前文所述各项技术的基础上，结合国内地基处理现状的背景下提出的，有效解决了传统真空预压工艺的高能耗、高成本和施工质量难控制等缺点。经技术查新机构检定，该工法技术先进，安全可靠，是具有推广应用价值的全新工艺。

## 2 工法特点

2.0.1 本软土快速固结施工工法是基于增压式真空预压技术而形成的一套组合技术，该工法主要包括局部土体增压式处理措施、以集中式水气分离技术为核心的抽真空系统的节能增效措施和场地适应性

好的密封措施。

2.0.2 相比较传统真空预压工艺的高能耗、高成本和施工质量难控制等缺点，本工法在施工工期上有明显优势，施工质量更稳定，整体造价有较大的降低，施工安全可靠。

2.0.3 通过合理排布各项措施保证了工程顺利推进，工法的施工顺序对施工效果有决定性影响。

### 3 适用范围

主动式注气加压软土快速固结施工工法适用范围：增压式真空预压是利用大气压进行加载的地基处理方法，可有效处理深度 15m 以内的大面积淤泥或淤泥质土。在一个标准大气压下，排水板间距 80cm、增压管长 5m、间距 2.4m、处理深度 10m 以内的软土，可以达到最佳经济技术指标。

### 4 工艺原理

#### 4.1 注气增压实现软土快速固结（关键技术）的基本原理

传统式真空预压、直排式真空预压在排水固结过程中，由于土体颗粒还是存在明显的散体结构，细小颗粒随渗流的水堆积在排水通道附近，形成“土柱”，这些土柱渗透系数更小，导致排水效果明显下降，宏观表现为即使不断抽至真空，通过排水板的水量也必然减少，无法达到设计的土体固结要求。

为了更好解决这个问题，采用了主动控制的增压式真空预压技术，前期抽真空形成的土柱和渗透系数很小的淤泥层可以采用增压措施破坏，使之形成较好的排水通道，更利于超静水压力的消散。

在真空预压过程中出现排水量明显下降后，进行注气增压，利用适当压差（1~4 个大气压）影响从地面至增压管（增压管长约 5m）底部以下 2~3m 内的软土，其影响范围（重构土）如图 4. 1. 1 所示，形成由增压管至排水板的连通性良好的空间网状排水通道，极大地增大了该范围土层的固结系数，达到快速固结的目的。

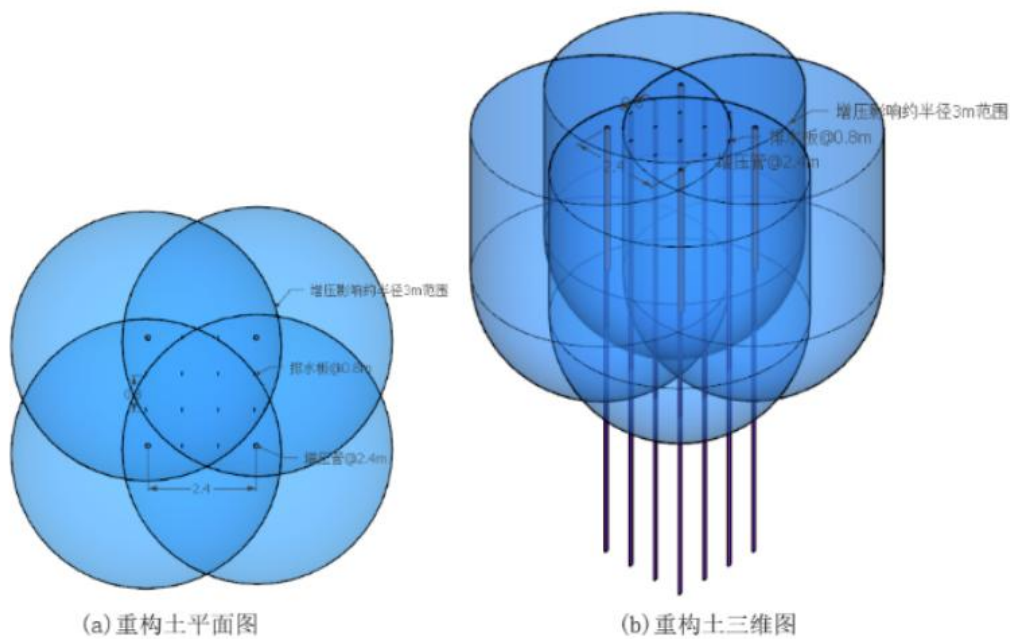


图 4. 1. 1 重构土范围示意

根据实际情况主动附加的增压式处理软土，可以使影响范围土体平均固结系数增大 10 倍以上，这是软土快速排水固结的模型重要计算参数，也是对该技术的化繁为简的整体表现。

## 4.2 减阻节能增效原理

### 1. 真空管道减阻节能原理

采用  $\Phi 25$ PVC 螺旋钢丝软管支管和  $\Phi 50$ PVC 螺旋钢丝主管取代传统工艺的砂垫层及滤管，主支管均设于膜下，具有一定的柔度和刚度，一个大气压作用下变形较小，其柔度更好的管道更能适应平整度不

好的场地，也起到方便施工的作用，相比于砂垫层进行真空度传递，其沿程损失大幅减少，确保远端也能达到 80kPa 以上的真空度。

采用的防淤堵排水板是整体式排水板，排水板由于采用刚度较大、不易弯折的材料且光洁度较高，其沿程损失相比于袋装砂井也较小，约为 2KPa。

## 2. 水气分离设备和集中抽真空节能减阻原理

传统工艺需设置分散布置的多个射流泵，大量布设电缆和开关等，水气同时进入单个射流泵，工效较低且许多射流泵淹没在水下，易损坏，且不易被发现，该工艺总体能耗大。

水气分离抽真空系统的主要构成是水气分离装置，能将地基中抽出的水 and 气分离开来，如图 4.2 所示。采用水环式真空泵专门抽气，潜水泵等到水位达到一定高度开始工作抽水，每 6000~8000m<sup>2</sup> 布置一个装置，效率较高。

水由水气分离罐就近落在罐底，分离后的气体通过主管连接至机房，气体的较长距离输送，其能耗较水气混合输送大幅降低，分离后也可减少水分进入抽真空机械，造成机械效率低及降低机械使用寿命，符合减阻节能原理。

采用集中式抽真空取代分散式的射流真空泵，其中经过水气分离罐分离后的空气通过  $\Phi 75$ PVC 抽真空主管（该管基本是传送空气的，水气分离之后，水就近落在水气分离罐下部）连接水气分离罐与水环式真空泵，通过膜上栈桥式连接，弯道少，直径稍大、内表面光洁度较高的材料可以大幅降低真空度的损失。

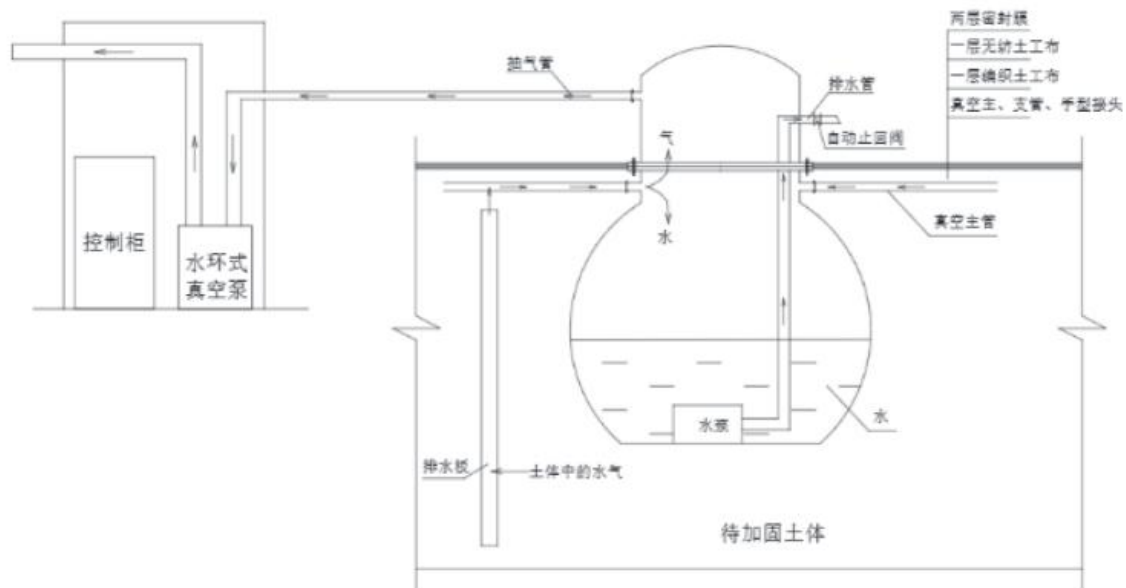


图 4.2.1 水气分离及集中抽真空示意

#### 4.3 场地适应性强的密封原理

##### 1. 场地适应性强的土工布、密封膜的选用原理

插入排水板完成后，地表存在：

- 1) 针刺状硬物、树根、尖锐石块等；
- 2) 有些局部曲面较大的土块、凹陷地段；
- 3) PVC 钢丝软管难免交叉，出现局部堆叠的现象，形成一个较小的高差。

如果按一般的平整度标准，则采用砂垫层等调平，按现行规范要求，传统工艺砂垫层上铺 3 层密封膜（上层膜易受环境影响，中层膜是最安全最起作用的，下层膜易刺破），但这会耗费较大量的人力。

由于本工艺立足快速固结的目标，其 2 个月左右的真空作业，可以省掉砂垫层及一层密封膜，根据现场的特点，密封膜有一定的适应变形能力。较厚实的编织土工布与短纤针刺土工布，外加 2 层聚氯乙烯密封膜，该组合可以广泛应用于不大于 25cm 局部高差的施工现场，

如图 4.3.1 所示整幅密封膜可以加快施工进度，减少接口，这些细节多为该快速技术创造条件。



图 4.3.1 适应 25cm 局部高差的密封体系实景

## 2 特殊部位密封性原理

压膜沟是待处理范围外一定范围内开挖的沟槽，槽底深入不透气层不少于 0.5m，并把组合式密封膜延伸至坑外，之后覆水处理，如图 4.3.2 所示。

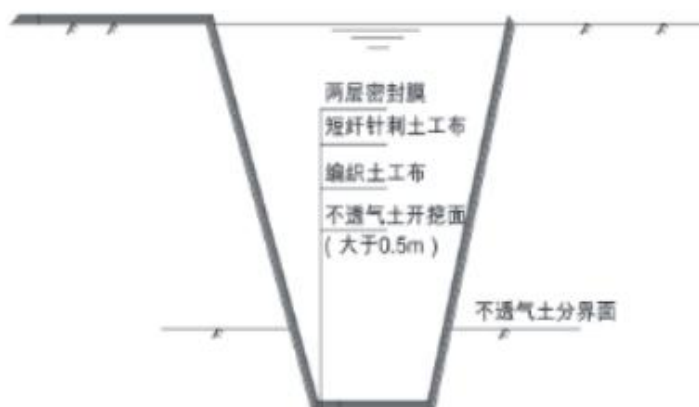


图 4.3.2 密封沟处理细节

尽量把接头、管道等藏在密封膜下，减少出膜接头数量，主要利用水

气分离罐下部作为真空主管的集中连接部位，水气分离罐与膜下真空管关系见图 4.3.3，此步骤为特殊部位控制的关键。



图 4.3.3 水气分离罐与膜下真空管关系

其他装置包括膜下真空度监测仪、地下水监测等有关仪器设备，采用出膜装置连接，减少对密封膜开孔的影响，如图 4.6 所示，出膜装置主要采用法兰式连接。

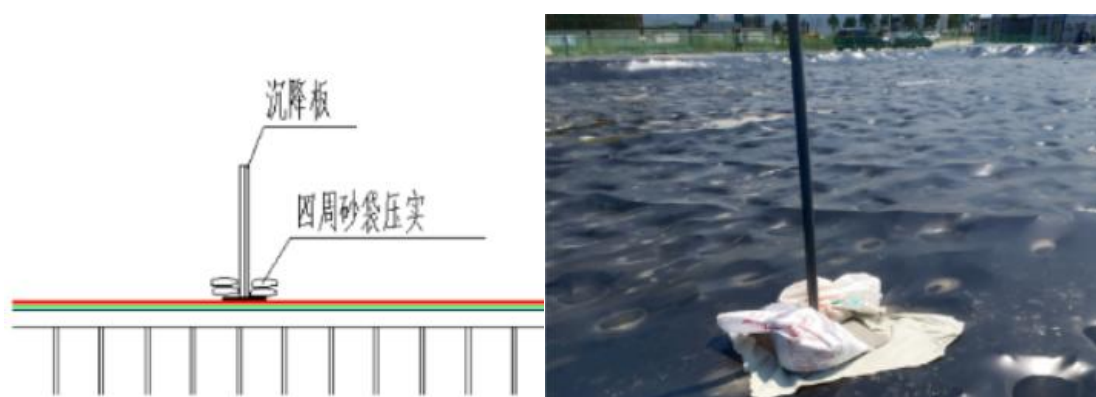


图 4.3.4 沉降板不出膜示意及实景

## 5 施工工艺流程及操作要点

### 5.1 施工工艺流程

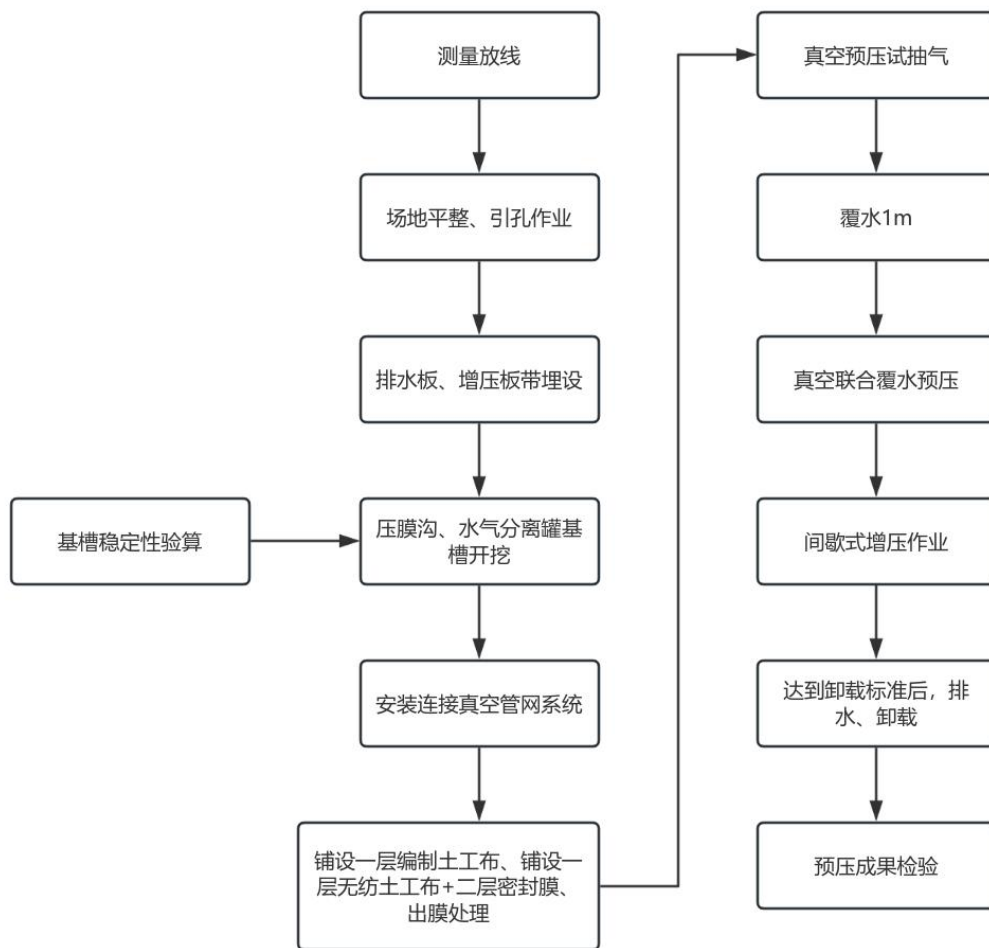


图 5.1.1 施工工艺流程图

## 5.2 操作要点

本工法操作要点主要是：1、整体式塑料排水板设；2、连接真空管网及增压管网；3、密封膜施工；4、常规抽真空；5、间歇式增压施工。

### 5.2.1 测量放线

在施工前严格按照设计单位提供的导线点和水准点进行导线和水准的复测工作，施工放样时选择的控制点即为在复测时布置的加密点。放样点用全站仪进行测设，并做好标记。具体包括塑料排水板控制点、增压式真空预压区边界点、土工织布铺设范围，并用白石灰撒出边线。



### 5.2.2 场地平整、引孔作业

对交付的场地做最基本的整平，便于后期的施工。

由于场地淤泥层上部填土层较厚，且含有大量石块，在插打排水板之前需进行引孔施工，以保证排水板能打设至设计深度，且防止塑料排水板在施工过程中损坏。

根据打设板位标记进行引孔施工，引孔采用引孔机排障，施工时注意垂直度控制；



图 5.2.2.1 引孔排障施工

### 5.2.3 整体式塑料排水板打设

塑料排水板采用后退式施工，以保证打设完成的排水板不受碾压；打设前根据板位标记进行插板机定位并进行机座整平，打板机定位时，管靴与板位标记偏差应控制在 $\pm 70\text{mm}$ 范围内，机座整平后要用仪器进行检测。

打设塑料排水板采用套管式打设法，套管形状为扁形。将塑料排水板穿过插板机的套管，从套管下端穿出，与专用管靴连接。

调整垂直度：调整插板机套管的垂直度，保证打设过程中偏差不

大于 1.5cm/m。

将插板机套管、管靴、塑料排水板插入地层，当排水板插入到设计深度后，拔出插板机套管，利用管靴将排水板固定于孔底；施工时严格控制回带长度及回带率，回带率不大于 5%；在施工过程中应经常抽查，尽可能减少回带长度。

排水板打设完成后，拔出插板机套管，剪断排水板。



图 5.2.3.1 塑料排水板打设施工

#### 5.2.4 增压管（板带）埋设

增压管（板带）以 2.4m 间距正方形布置，长 5m，间距 2.4m、埋深不小于 1m（即增压管打设深度为不小于 5m），防止注气增压时，气体逃逸到真空膜下。增压管（板带）与增压系统直接连接均通过气罐相连于膜下。经过引孔后，该工艺采用人工插入的方式插入。

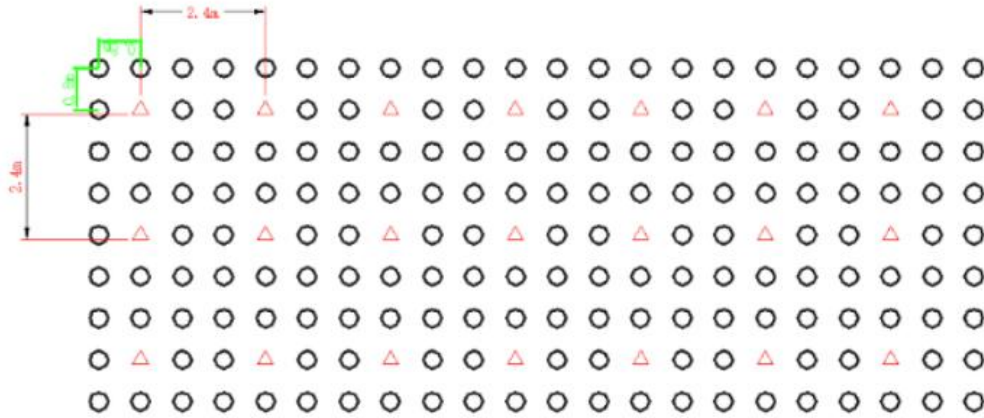


图 5.2.4.1 排水板及增压管平面布置



图 5.2.4.2 插设增压管

#### 5.2.5 压膜沟、水气分离罐基座开挖及安装

压膜深度应进入不透水层深度至少 50cm，压膜沟开挖宽深按现场实际情况而定，开挖过程中，加强对软土沟槽的边坡稳定性监测。



图 5.2.5.1 压膜沟开挖

水气分离罐的沟槽开挖与设计罐体的大小有关，主要考虑该部位土体回填要做好夯实，确保罐体运转后振动过大不影响连接管的气密性。水气分离罐分上下结构安装，下部留有接头 8 根真空主管相连，罐底安放潜水泵，安装过程确保气密性。



图 5.2.5.2 水气分离罐内景

#### 5.2.6 铺设真空管

排水板施工结束后，用手型接头将两根排水板连接在一起，依次将所有排水板连接好，然后用  $\Phi 25\text{mm}$  PVC 钢丝软管按照设计图纸将手型接头连接在一起作为真空支管，每条真空支管通过专用小四通汇集到真空主管，真空主管在适当位置设置  $\Phi 50\text{mm}$  的正三通分别与相应的抽真空主管相连接，最终组成抽真空系统（主管采用  $\Phi 50\text{mm}$  PVC 钢丝软管，支管采用  $\Phi 25\text{mm}$  PVC 钢丝软管）。

根据现场场地情况布设水气分离装置，每套水气分离装置控制面积约  $6000\text{m}^2$ 。在布设水气分离装置的同时埋设膜下监测探头，真空探头布设在真空支管内，按场地形状均匀布置，按约  $5000\text{m}^2$  一个点

均布。

增压式真空预压处理的各区主管布设间距不宜大于 25m，真空主管通过水气分离罐与机械真空泵连接，出膜位置的连接必须牢固，密封性可靠安全，连接好后，开启真空泵测试连接部位是否有漏气现象。



图 5.2.6.1 真空管路连接

#### 5.2.7 铺设土工布、密封膜

施打排水板前，尽量把针刺状硬物、树根、尖锐石块等易刺破密封膜的杂物清理掉，然后对场地进行整平，要求场地的小范围局部高差控制在 25cm 以内，能提供一个平滑的过渡曲面，最大限度地防止密封膜的突变，刺破或过度拉伸破坏，导致漏气降低膜下真空度，大面积破坏，甚至导致预压失败。

先铺设一层编织土工布和一层无纺土工布（铺设方法同编织布），再铺设密封膜，密封膜采用两层聚氯乙烯薄膜。密封膜要求在工厂一次热成型，当真空加固区面积较大，可先在工厂拼成若干块，然后在现场粘接，搭接宽度不得小于 2.0m。

铺设密封膜：密封膜单层厚度为 0.12—0.16mm，共铺设 2 层，采用聚乙烯或聚氯乙烯薄膜，分单层压入压膜沟沟底 50cm 以上。密封膜要求在工厂一次热合成型，施工采用多人力进行快速施工。

在加工密封膜时，膜的大小应考虑埋入压膜沟部分，并根据实际情况预留足够的地基不均匀沉降变形富余量，防止密封膜拉裂。

铺膜过程中，随铺随用砂袋进行压膜，防止起风将铺好的膜卷走或撕裂，在铺膜完成的同时安装少量的抽真空泵将膜吸住。

压膜深度应进入不透水层深度至少 50cm，压膜沟开挖宽 2m，深度按实际情况考虑，超一定深度按深基坑有关要求实施，后用粘土填压或覆水密封。



图 5.2.7.1 铺设编织土工布

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/786241212013010241>