

经验交流：高压喷射注浆法加固地基的作用机理探讨岩土工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/616/2021\\_2022\\_\\_E7\\_BB\\_8F\\_E9\\_AA\\_8C\\_E4\\_BA\\_A4\\_E6\\_c63\\_616692.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/616/2021_2022__E7_BB_8F_E9_AA_8C_E4_BA_A4_E6_c63_616692.htm) 把岩土师站点加入收藏夹

**【摘要】**本文首先简介了旋喷桩加固地基的基本概念，旋喷桩在地基加固应用中的优点。进而探讨了旋喷浆液在土中的喷射形态、喷射流构造，以及高压旋喷成桩机理。详细的分析了旋喷浆液在土中的硬化机理。最后，对旋喷注浆法的可靠性进行了探讨。总之，使用优质的注浆材料和采用恰当喷射技术参数以及合理的设计方案，旋喷桩复合地基就能取得良好的加固地基的效果。

**【关键词】**注浆；复合地基；端阻力；摩阻力

1. 引言 高压喷射注浆法是在注浆法的基础上，应用高压喷射技术而发展起来的一项新的地基加固方法，于1970年始于日本。它是利用工程钻机钻孔作为导孔，将带有特殊喷嘴的喷射管插入设计处理深度后，用高压脉冲泵等高压发生装置，使浆液或水以20~40 MPa的高压流从喷嘴中喷出，冲击切割土体。当能量大、速度快、呈脉动状的喷射流的动压超过土体结构强度时，土粒便从土体上剥落下来。一部分细小的土粒被喷射的浆液所置换，随着液流被带到土面上(俗称冒浆)。其余的土粒与浆液搅拌混合，并按一定的浆土比例和质量大小有规律的重新排列。待浆液凝固后，便在土中形成一固结体，固结体的形状与喷射流移动方向有关。高压旋喷注浆法适用于处理淤泥、淤泥质粘土，粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土等地基。当土中含有较多的大粒径块石、坚硬粘性土、大量植物根茎或有过多的有机质时，应根据现场试验结果确定其使用程度。

2. 旋喷桩加固技

术的优点 (1) 由于将水泥土与原地基软土就地搅拌混合, 因而可最大限度地利用原土; (2) 对周围原有建筑的影响较小; (3) 可按照不同的地基土的性质及工程设计要求, 合理选择, 设计比较灵活; (4) 施工设备简单, 管理方便, 施工时无振动, 无污染, 可在密集的建筑群中进行施工, 而且料源广阔, 价格低廉; (5) 土体加固后重度变化不大, 粘性土固结体比原状土轻约10%, 但砂类土固结体可能比原状土重10%左右, 基本上轻于或接近原状土的容量, 较小的产生附加沉降; (6) 透气透水性差, 固结体内虽有一定的孔隙, 但这些孔隙并不贯通, 为封密型, 而且固结体有一层较致密的硬壳, 其渗透系数相当高, 具有一定的防渗功能; (7) 固结强度高, 单桩承载力较高; (8) 与钢筋混凝土桩基比, 节省了大量的钢材, 降低了造价; (9) 根据上部结构的需要, 可灵活采取垂直喷射或倾斜喷射或水平喷射, 使之形成柱状、壁状、块状等加固形式。

### 3. 水射流破土机理分析

#### 3.1 影响水射流破土效果的因素。

水气同轴喷射时, 高压水射流破碎土体的效果与水射流出口压力、喷射速度、喷嘴直径、喷嘴形状等因素有关; 与空气射流的速度、方向及流量大小等因素有关; 与被破碎土体的密度、颗粒大小及级配、抗剪强度等因素有关。随着喷射压力增加, 有效喷射距离增大, 但喷射流的流量对水射流压力有较大影响。水射流出口速度增加, 所携带的能量增大, 破土效果提高。空气射流的速度越大, 高压水射流速度的衰减越小, 空气射流的流量增加, 水射流的扩散减小, 射流有效距离增大, 可取得较好的破土效果, 因而成桩直径增大。

#### 3.2 水射流对土体的破坏作用。

水射流破土效果, 随土介质的物理力学性质不同而变化

。当喷射初始时，被破坏土体处于三向受压状态，在水射流冲击点表面，土体被水射流冲压产生凹陷变形。射流作用在土体表面时，将产生两种作用力：一是在距喷嘴较近处，射流作用面积很小，压力远远大于土体的自重应力，因而在土体中少产生个剪切力；一是在距喷嘴较远处，射流压力不能使土体发生破坏，但可压密土体并将部分射流液体挤入土体中，因而在土体中产生个挤压力。对于无粘性土，渗透作用占主导地位；对于粘性土，压密起主要作用。当水射流移动进入土颗粒之间时，土体因被切割而破坏。由于土质的不均匀性，水射流首先进入大孔隙中产生侧向挤压力，以裂隙为边界大块土体被冲刷下来，翻滚到射流压力较小处而停止。因此该处射流压力较小土块不会再发生破坏，这就是喷射桩体内存在块状土的原因。

#### 4. 高压旋喷桩成桩机理

由于高压喷射流是高能高速集中和连续地作用于土体上，压应力和冲蚀等多种因素总是同时密集在压应力区域内发生效应。因此，喷射流具有冲击切割破坏土体并使浆液与土搅拌混合的功能。

单管喷射注浆使用浆液作为喷射流；一重管喷射注浆也以浆液作为喷射流，但在其外周裹着一圈空气流形成复合喷射流；三重管喷射法注浆，以水气为复合喷射流并注浆填充；多重管喷射注浆的高压水射流把土冲空以浆液填充。以上四种注浆法所使用的浆液都随时间增长而逐渐凝固硬化。固结体的形状与喷嘴移动的方向及持续喷射的时间有着密切的关系。当喷嘴一面旋转和提升时，便形成圆柱状或异型圆柱状固结体；当喷嘴一面喷射一面提升时，便形成壁状固结体。大砾石和腐硝土的旋喷固结机理有别于砂类土和粘性土。在大砾石中，喷射流因砾石的体大量重，不能切割颗粒或者使

其移动和重新排列，喷射流只能通过其空隙，充满周围的空间。鉴于喷嘴的旋转能使喷射流保持一定的方向性，浆液向四周挤压，其机理接近于所谓的渗透理论的机理，因而形成圆柱形加固的地基。对于腐硝土层，旋喷固结体的形状及它的性质，受植物纤维的粗细长短，含水量及土颗粒多少的影响很大。对纤维细短的腐硝土旋喷时，完全和在粘性土中的旋喷机理相同。然而对纤维粗长且数量多的腐硝土旋喷时，由于纤维质富有弹性，切削是困难的。但由于其孔隙较多，喷射流仍可穿过纤维体，形成圆柱形固结体。但在纤维质多而密的部位，浆液相对较少，固结体的均匀性较差。定喷时，高压喷射灌浆的喷嘴不旋转，只作水平的固定方向喷射，喷嘴逐渐向上提升，便在土中冲成一条沟槽，并把浆液灌进槽中。从土体上冲落下来的土粒，一部分随着水流与气流被带出地而，其余的颗粒与浆液搅拌混合，最后形成个板状固结体。固结体在砂质土中有一部分渗透层，但在粘性土则没有。

### 5. 旋喷浆液在土中的硬化机理

高压喷射所采用的硬化剂主要是水泥，并在其中增添防治沉淀或加速凝固的外加剂。旋喷固结体是一种特殊的水泥土骨架结构，水泥土的水反应要比纯水泥浆复杂的多。由于水泥土是一种空间不均匀材料，在高压旋喷搅拌过程中，水泥和土混合在一起，土颗粒间被水泥浆所填满。水泥水化后在土颗粒的周围形成各种水化物的结晶，它们不断生长，特别是钙矾石的针状结晶，很快的生长交织在一起，形成空间的网络结构，土体被分隔包围在这些水泥的骨架中。随着土体的不断被挤密，自由水也不断减少，甚至消失，形成了一种特殊的水泥土骨架结构。固结体强度随时间增长的机理可分别从水泥的水化硬化作用、

水泥-土空间结构的形成、以及水泥与土之间的长期物理化学变化等方面加以解释。水泥中四种基本矿物熟料分别与水发生化学反应，生成一系列结晶，随时间增长结晶过程不断趋于完整，这些结晶是水泥强度的主要来源。水泥的加入已从根本上改变了土体结构，水泥包裹在土颗粒表面，并把它们粘在一起形成整体。在短时间内，土粒周围充满了水泥凝胶体。随时间增长，水泥凝胶体结晶，并逐渐充满土体的空隙，土体与水泥形成特殊的水泥-土骨架结构，土的强度也随之得以改善。水泥凝胶体的结晶过程是较缓慢的，因此，固结体的强度会在较长时间内持续增长。由水泥的各种成分所生成的胶质膜逐渐发展连接成胶质体，即表现为水泥的初凝状态，随着水化过程的不断发展，凝胶体吸收水分并不断扩大，产生结晶体。结晶体与胶质体相互包围渗透，并达到一种稳定状态，这就是硬化的开始。水泥的水化过程是一个长久的过程，水化作用不断的深入到水泥的微粒中，直到水分完全被吸收，胶质体凝固结晶充满为止。在这个过程中，固结体的强度将不断提高。

## 6. 旋喷注浆法的可靠性

高压喷射注浆用高达20~40MPa压力，其冲击破坏土体的能量十分巨大，对粘性土和砂土都能冲切破坏。凡是高压水射流能冲动土粒的土，都能进行高压喷射注浆加固，只要按照正确的顺序施工、使用优质水泥等注浆材料和采用恰当喷射技术参数以及合理的设计，即可获得优良的加固地基和防渗帷幕墙。

### 6.1 固结体的可靠性高。

高压喷射注浆是以高压喷射流强力破坏土体，有效破坏的距离较大，待水泥浆与土粒硬化后，即形成一个固结体。固结体的直径(长度)受土层影响外表呈凸凹不规则状，硬土的固结直径(长度)要小一些，高压喷射注浆的

整体性、均匀性都要高于一般的静压灌浆。此外，固结体在良好的(对混凝土无侵蚀)环境中，强度不断增加，强度增加率延续至10年以上。经实测10年可增加1.5倍乃至更高。因此，只要在对混凝土无侵蚀的地下水和不受冻(即冻结温度不低于负200C)的条件下，固结体的质量可靠，可作为永久性地基和防渗帷幕。

### 6.2 高压喷射注浆构筑物的可靠性强

高压喷射注浆构造的旋喷排桩、复合地基、地下防渗帷幕等形式的构筑物的质量较好。

#### 6.2.1 旋喷排桩及防渗帷幕整体的连接质量优良

旋喷排桩系由多个旋喷单桩连接而成，防渗帷幕亦是由多个定喷、摆喷或旋喷的单体组成。它们不是同时喷成，但是不存在新老连接不好的问题。防渗帷幕的稳定性较好。因为高压喷射流的能量巨大，只要新老固结体能相连接，新固结体的喷射流能把老固结体表面冲击的非常干净，硬化后新老固结体连为一体。

#### 6.2.2 旋喷复合地基的质量有保证。

旋喷复合地基由多个不相连的旋喷桩组成。旋喷时其主体为有一定直径和体形的旋喷桩，还有一部分连在旋喷桩外面的支体，支体是因土的裂缝造成，其数量、粗细(厚薄)和长短与土的裂隙状况及喷射技术参数有关。也就是说，旋喷复合地基不但有旋喷桩，在桩之间的土中还有若干支体固结体，它们在一定程度上改善了桩间土的物理力学性能，从而加大了复合地基的承载力，减小了地基的沉降量。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)