

高压旋喷注浆技术

苗国航

(冶金工业部地质勘察总局·北京·100711)

探讨了高压射流切割地层的机理,介绍了高压旋喷注浆技术的应用范围及其特点。特别对它的两个问题即冒浆和固结体强度进行了研究。

关键词 高压旋喷 注浆 机理 冒浆 固结体

地基处理



高压旋喷注浆技术是软地基处理的一种新方法,70年代初日本首次应用于工程上并取得成功,经历了由单管到双管直至今日三管的发展过程,单管旋喷法设备简单,成桩直径小,0.5~0.8m,依土质不同而异;双管旋喷法喷射的是水和浆的混和体,成桩直径可扩大到1m,并改进了桩基的性能。稍后出现了三重管法(高压旋喷注浆法),这种方法是采用高速水喷流,同时在水喷流外围包裹一层300~400km/cm²的压缩空气喷流,对土层进行切割破坏,其成桩直径可达2~3m,固结强度和防渗性能大大提高。

我国应用这一技术比较晚,70年代末应用单管法,80年代之后三重管法应用才被引入工程,如:三山岛金矿围幕灌浆、营口水电站地基处理、上海宝钢初轧厂基础处理、柳州铁路局隧道地基处理、北京地铁基础处理等。由于使用高压射流切割地层的机理是极其复杂的,施工方法有其独到之处,不仅大有发展前途,而且其特征值得探讨和研究。

1 高压旋喷注浆技术原理

如图1所示,射流在空气中喷射时,喷嘴出口压力 P_0 稳定的初期区为(A),扩散的主要区为(B),射流不连续而发生气蚀的终期

区为(C)。公式表示为:

$$\text{在空气中喷射时: } \frac{P_f}{P_i} = \frac{L_i}{L_f} (L_f \geq L_i)$$

$$\text{在水中喷射时: } \frac{P_f}{P_i} = \left(\frac{L_i}{L_f} \right)^2 (L_f \geq L_i) \quad (\text{参照图2实线部分})$$

由图3知:在水中喷射时,用200km/cm²的压力喷射在30cm以外,喷射压力几乎降到零。而在喷嘴周围同时喷射空气,就会增加有效的射程,原理是射流体内引入空气后,地层内形成空气气房,造成与空气中喷射大体相同的条件(参照图2及图3虚线部分)。另外实际应用中空气喷射速度超过1/2的音速,速度相当高,使用空气后扩大了切割范围,可利用其气升作用将切割的土排出地面。这种方法的使用使得改良体与地层之间有非常良好的密接性。随着高压旋喷管和提升,浆液与切割的土砂混合形成圆柱形固结体。

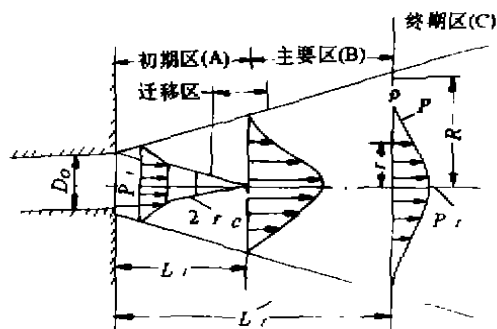


图1 射流基本结构图

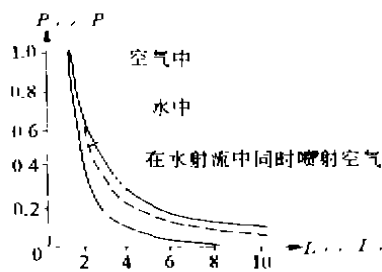


图2 水射流轴上的压力分布

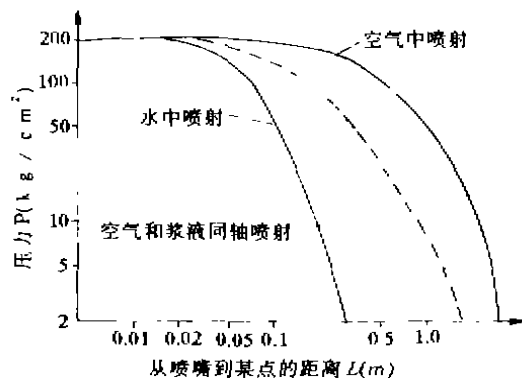


图3 喷射到达距离

高压射流切割地层作用机理可表述。

1.1 射流体的冲击作用

由水的冲击作用而产生的应力和射流在地层内形成的水滴群冲击地层时产生的压力。假定其作用力相同时，则单位质量的水所具有的能量可由下式表示：

$$E = C \cdot V$$

式中： C ——水中音速 (cm/s)； V ——射流速度 (cm/s)

由上式可知，在进行高压喷射时，射流速度大，则作用于地层的动压力也大，当达到地层破坏强度时，土颗粒即行分离。

1.2 气蚀作用

逐渐减少压力时流体呈现紊流状态，并出现水和空气混合状态，因而在流体中不断形成气洞，这就是气蚀作用。当射流冲击地层时，顺着土颗粒表面产生流动，由于粒径的差别产生压力差，在低压部分因气蚀作用而发

生空洞，为了破坏这些空洞的流体，用较大速度冲击即地层破碎。

1.3 水力劈裂作用

高速射流的反力而产生水力劈裂作用，对破坏地层也起一定的作用，根据地层的空隙性而能够具有一定压力。离喷嘴的距离越近，水力劈裂效果就越大。

1.4 疲劳破坏作用

射流对物体表面连续喷射时，其破坏因其物体性质而不同，但当物体的抗拉强度比压力低时即开始破坏，由此在喷射流体和被破坏物体之间有一定的力学关系。而且由于射流体使物体承受载荷，物体的残余应变，作为疲劳被积累起来因而产生破碎，这一原理是能够理解的。

2 高压旋喷注浆技术应用特点

2.1 此法选定的依据

按现场的条件考虑：适合在范围狭小的地方进行作业，工艺、设备简单，能在只留有 2m 的房子内不必停止房内工作的条件下，加固基础，改良范围的上部非改良部分只留有约 14cm 直径的孔洞，后用水泥充填即可。因此，适用于盾构工程的始发处、终点处、曲线地段和竖井底部以及原有建筑物的基础加固等。

按改良土体考虑：土的种类， N 值，地下水位、砾石含量、有机物的大致含量。改良体通常可当作水泥砂浆，因此一般不受物理化学方面影响，但如有废液及强酸地基时则要慎重研究。在地层改良中，要求达到的平均改良值较高（参照附表）。过去在盾构件施工中的防护采用化学灌浆，但达到的改良目标值 ($q_u = 2 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$) 很低，为了使地层在短期内即达到容许的自稳性，应使用高压旋喷注浆。从这方面考虑，适合用于增加地基承载力，防止侧向流动和防水等工程中，另外也可用于拉杆锚固，至于其抗震性能尚待研究。

附表 改良目标值

指标	砂质土	粘性土
单轴抗压强度	$q_u = 50 \text{ kg/cm}^2$	$q_u = 50 \text{ kg/cm}^2$
粘着力	$C' = 5 \text{ kg/cm}^2$	$C' = 3 \text{ kg/cm}^2$
内摩擦角	同天然地层	——
密度	同天然地层	同天然地层
弹性模数	5000 kg/cm^2	1000 kg/cm^2
泊松比	0.3	0.3
渗透系数	$10^{-5} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$	10^{-7} cm/s

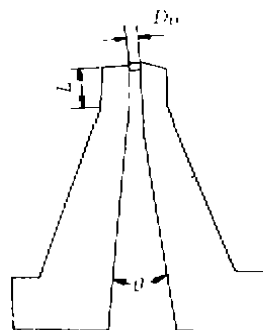
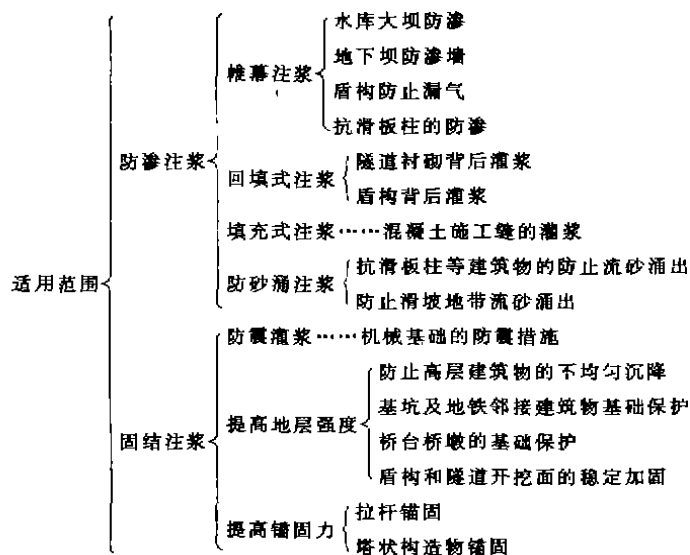


图 4 喷嘴形状

高压旋喷注浆应用范围如下：



2.2 喷嘴的功效

用射流破碎地基结构的机能取决于射流轴上的动水压力,动水压力随距离的增大而衰减,为了减少衰减率,要注意喷嘴形状及喷嘴内部的光洁度,并改善喷嘴导流部分的整流装置。如图 4 所示,在确定各部尺寸时如属超高压范围(即压力在 200 kg/cm^2 以上),应按 Shavlooskey 型式则图 5、6 的关系式成立。由此得知喷嘴出口处的直线部分 L 与喷嘴直径 D_0 的关系是 $L=4D_0$ 。喷嘴的最佳整流角为 $\theta=13\sim14^\circ$,空气压力达到 $300\sim400 \text{ kg/cm}^2$,送气量应达到相当于音速的 $1/2$

以上的标准,其控制方法,是用风量计及空气压力计测出。

2.3 若干因素对成桩直径与强度的影响

(1)土质对固结体的影响,在砂质土中强度高达 $30\sim50 \text{ kg/cm}^2$,直径可达 3.5 m ;在粘性土中强度 $13\sim40 \text{ kg/cm}^2$,直径在 2 m 以下。

(2)高速水喷流的排出压力和排量越大,固结体的直径也就越大。其增加比率,若排出压力分别为 200 kg/cm^2 和 400 kg/cm^2 时,后者较前者其直径可增加 60% 。注入浆液的排出压力,在砂质土中成桩时,排出压力对直径

无明显影响。但在粘性土中排出压力越高,直径越大。若排出压力分别为 0 与 30kg/cm^2 时,后者直径可增加 40%~50%,浆液注入量以满足填充犁松后土的孔隙为度。

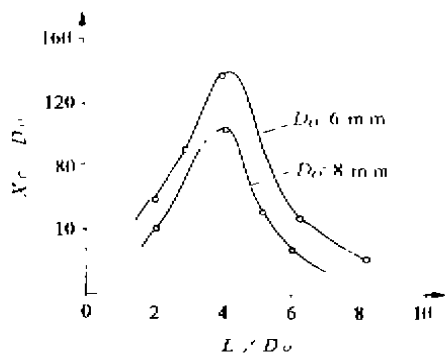


图 5 射流最大长度 X_c 和喷嘴长度 L 及口径 D_0 关系曲线图

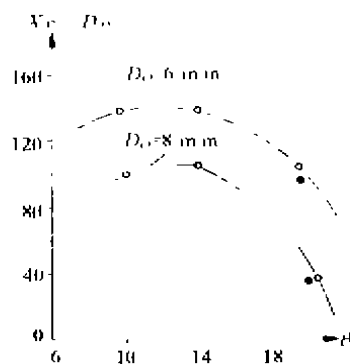


图 6 射流最大长度 X_c 和喷嘴直径 D_0 及喷嘴内壁倾角 θ 的关系曲线

(3) 旋喷管回转速度越慢,直径越大。在砂质土中 5r/min 与 10r/min,前者较后者直径可增大 15%。

(4) 旋喷管的提升速度,不论在砂质土中或粘性土中对成桩直径的影响都大。在砂质土中提升速度由 5cm/min 提高到 10cm/min 时,直径可减少 10~30%。

2.4 改良效果及判定方法

改良效果主要看改良体的形状、强度、渗透性等。

(1) 形状,最好通过开挖使改良体形状完全暴露在外面,但不可能。因此,通常在设计改良体的周边钻眼进行岩芯取样。目前正在研制一种利用超声波法。

(2) 强度特性,为检查抗压强度可钻取 $5\text{cm} \times 10\text{cm}$ 岩芯样,但这并不是最好的方法,因为岩芯样中各个部分的强度会有很大差异。在粘土的改良体中一般含有 $\phi 5\text{cm}$ 左右的土块,因此岩芯样在试验机上所得的结果往往低于实际的抗压强度。最理想的是进行荷载试验,但是做不到的或难以做到。现场上用压力仪在钻孔内实施荷载试验,但这种情况如何处理 K 值值得探讨。

(3) 渗透性,取出岩芯样,在室内做渗透试验,但在现场做最为可靠,这并不需特殊方法。

3 二个值得探讨问题

3.1 冒浆

冒浆是高压旋喷注浆中的一大问题,据营口水电站旋喷报告提供数据表明,冒浆中水泥含量约占总用水泥量的 20%~30%。

解决冒浆问题有以下 3 个途径。

(1) 准确计算旋喷体的水泥耗用量,控制进浆速度。

(2) 改进旋喷管的构造,并加可转动性止浆塞。

(3) 改进旋喷工艺,可搞二次成桩。

3.2 提高固结体强度

一般而论,旋喷法在饱和土中成桩,其强度偏低且增长较慢,原因是水泥制品的强度与其水灰比大小成反比,水灰比越大强度越低。提高桩的强度,无疑应从水量上采取措施:一是采用化学添加剂——减水剂,通常采用造纸工业的纸浆废液,目前多用木质素磺酸钙,为 M 型减水剂,加入水泥后,对水泥颗粒起扩散作用,使水泥浆的聚体结构破坏,成为一种分散性的结构,从而把水泥凝聚体中被水泥颗粒所包围的游离释放出来,发挥其

吸附和润滑作用,达到减少用水的目的,M型减水剂的适宜掺量为水泥的0.25%,减水率为10%~15%,节约水泥率10%,抗压强度提高10%~15。目前我国应用并不广泛。二是采用人工降低水位,如果工程量较大且

工程处于地下水位以下时,一般土方开挖时采用人工降低地下水位的方法,这种情况下的旋喷工程,降水是有利的,应结合起来加以利用。

On Application of High—Pressure Chemical Churning to Ground Improvement

Miao Guohang

In this paper the author presents a detailed description of technical principle, characteristics and application scope of high—pressure chemical churning technique. Two key problems, namely treatment of emitting slurry and enhancing strength of consolidated body, are also discussed.

Key word: high—pressure chemical churning process, ground improvement, emitting slurry, consolidated body

泵吸收反循环在深桩施工中的体会

1993年我处承揽了郑州市金博大城裙楼桩(孔深65m,桩长56m,桩径 $\phi 1000$)及主楼桩(孔深79m,桩长62.80m,桩径 $\phi 1000$)施工任务,为保证工程质量,采用了泵吸反循环钻进工艺。

1 设备情况及地层概况

钻机:ZJ-150型;砂石泵:6BS砂石泵;泥浆泵:3PNL;钻杆 $\phi 168$ (法兰连接)。

该地层主要为亚粘土层,伴有层位、层厚不等的姜结石层。

2 泵吸反循环施工注意的几个问题

2.1 泥浆坑及沉淀池

正规泥浆坑及沉淀池要大于钻孔理论方量的1~2倍,由于施工场地的局限性,故采用一个不泥浆池,但排渣管管口的位置选择在排渣方便,且距泥浆泵较远的位置,要及时排渣、排浆,泥浆比重应保持在1.2以下,才能发挥反循环特长。

2.2 水接头(或水笼头)密封方式

水接头有两种密封方式:挤压式盘根密封和水密封,挤压式盘根密封由于需要随时紧固压紧螺母,最易造成盘根损坏,既浪费时间,又浪费资金。

水密封则是采用把方钻杆内的芯管加长,方钻杆下头用草帽型胶垫密封,并在芯管与方钻杆环状间隙加注清水,值得注意的是,若把芯管下端加草帽垫的位置加工成活短节,短节磨损后,更换短节即可。

2.3 砂石泵

启动砂石泵前,泥浆泵用正循环排除空气,同时

用小清水泵把清水注入填料环与叶轮背部的环状间隙,形成水压密封;若盘根密封部位漏水,应紧固压紧盘;泵体若发生振动现象,说明管道内有空气,可以适当关闭6英寸阀门,排除空气,尔后再开大阀门。

2.4 钻杆及胶管

钻杆法兰若出现定位销及螺丝眼因使用时间过长变成椭圆,最易造成钻杆连接处漏水,也易堵钻,开不起反循环。钻杆上的“O”型密封圈要勤检查,勤更换,使之保持良好状态。吸水胶管要选择帆布层质量好的,在使用中发现,即使有微小的渗漏,反循环都无法使用,若胶管内层与主层脱胶,反循环更无法使用,应详细检查。

2.5 控制钻进时效

按 $\phi 1000$ 直径的桩孔,每米理论方量原状土为 0.78m^3 ,水泵泵量 $3\text{m}^3/\text{min}$,考虑电机功耗,故按 $2.5\text{m}^3/\text{min}$ 计,每立方米原状土加水变成1.2比重的泥浆约为 $5\sim 6\text{m}^3$,即每米方量均为 5m^3 按理论计算:时效应在 $0.5\text{m}/\text{min}$,但由于孔内地层较复杂,缩径或超径现象严重,故实际应控制在 $0.2\text{m}/\text{min}$ 。

2.6 翼片钻头制做

反循环施工之所以钻进效率高,还取决于钻头的制做,钻头好坏取决于排出的渣块大小,渣块适中($5\sim 15\text{mm}$,也和地层有很大关系),证明钻头切削量好,翼板既要有旋转角度,又要有前倾角度,刀头伸出翼板 100mm 左右为宜。

(第三地质勘查局311队工程处 贾科峰)