

45 一 旋喷注浆破土机理研究及岩土工程应用

TU 753.8
TU 447

杜嘉鸿

李范山

王杰

(东北大学·沈阳·110006) (铁道部十三工程局·长春·130031) (沈阳建工学院·沈阳·110015)

施小博

郭文生

(东北大学·沈阳·110006) (地矿部第九普查勘探大队·榆次·030600)



第一作者学术简历 男,1923年生。东北大学教授。先后参加国防科委地下核爆井注浆封闭岩层裂隙水试验、三山岛金矿旋喷法凿井等科研任务 50 多项。“化学注浆过流砂层的研究”获 1978 年全国科学大会成果奖,“高喷法凿井”等多项获冶金部科技成果奖。在国内外刊物上发表论文 60 多篇,著作三部,主要论著有《地下建筑注浆工程简明手册》,“高压定喷注浆防渗技术”(岩石力学与工程学报)等。

摘要 通过实验室研究,提出了三重管高压喷射注浆时,喷射流轴心压力与被冲击土介质的物理力学参数之间的关系式,并将其成果

应用到某工程的污水池软基处理工程中,取得了预期的加固效果。

关键词 喷射注浆, 污水池, 水射流, 软基处理

软土地基, 岩土工程
破土机理,
1 水射流破土机理分析

高压喷射注浆技术是在化学注浆的基础上,采用高压水射流切割技术而发展起来的,它利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻进到预定深度后,利用高压发生设备使浆液或水以高压从喷嘴中喷出,切割、破坏土体。喷嘴边旋转边提升,使浆液被强制搅拌,浆液凝固后在土中形成柱状固结体,从而达到加固地基的目的。

现有的射流理论研究的是高压喷射流的种类及其构造、射流在水中及空气中压力衰减的规律,国内对水射流破土机理尚少有较深入的探讨,本文从实验室试验出发对水射流破土机理进行了分析,提出了水射流临界压力与土的物理力学性质指标之间的关系式,并把这一研究成果应用到丹东化纤公司污水均合池淤泥质软基处理工程中,取得了预期的加固效果。

1.1 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。

本文 1996 年 6 月收到,王梅编辑。

1.2 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,如图 1 所示。

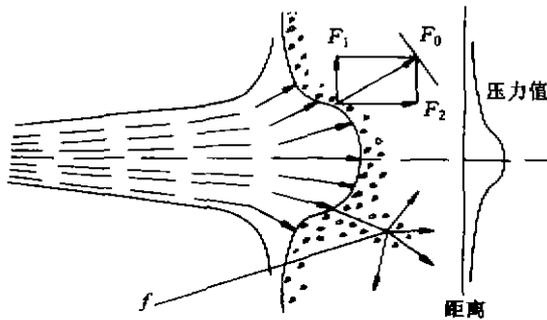


图 1 水射流破土示意图

F_0 —射流压力; F_1 —由压力分解的剪力; F_2 —挤压胀力; f —挤压胀力转化的拉伸力

射流作用在土体表面时,产生两种作用力:一是在距喷嘴较远处,射流作用面积很小且压力远远大于土体的自重应力,因而在土体中产生一个剪切力;二是在距喷嘴较远处,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

体中产生一个挤压力。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,如图 2 所示。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。

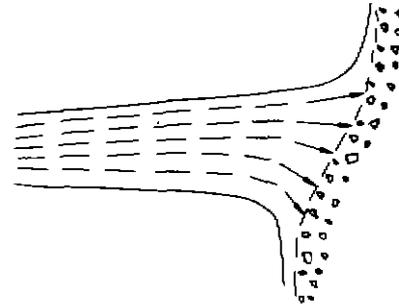


图 2 有自由面时的破坏情况

1.3 室内试验及测试结果

室内模拟试验是在实验池中进行,试验系统如图 3。

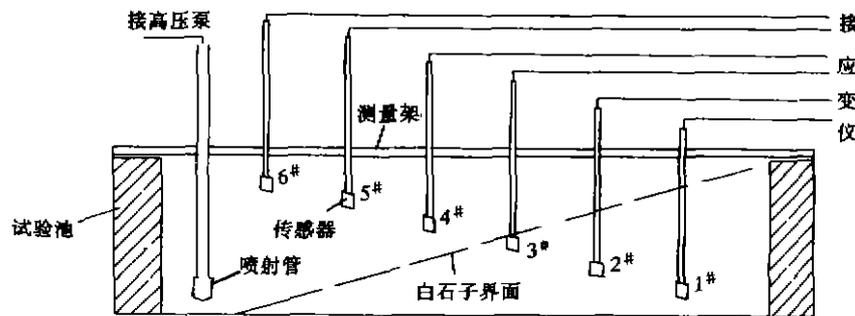


图 3 试验装置系统图

试验用土为淤泥质粘土和粗砂,人工夯实,其指标如下:

淤泥质粘土:

$\gamma=17.3\text{kN/m}^3$ $\omega=23.3\%$
 $d_s=2.68$ $\tau_f=9.8\text{kPa}$
 $d_{60}=2.36\times 10^{-5}\text{mm}$
 $k=6.74\times 10^{-10}\text{m/s}$

粗砂:

$\gamma=21.6\text{kN/m}^3$ $\omega=19.5\%$
 $d_s=2.72$ $\tau_f=54\text{kPa}$
 $d_{60}=1.46\text{mm}$ $k=6.038\times 10^{-7}\text{m/s}$

高压泵压力分别为 18MPa、20MPa、25MPa,各试验 3 次,水射流流量为 85l/m,水射流轴心压力与距离的关系如图 4。

从图中可以看出,水射流在上中喷射时,因射流与周围介质间存在较大的摩擦力,轴向压力衰减较快,特别是在距喷嘴较远处,压力衰减更加剧烈。界面摩擦力的大小与土的

密实程度及土颗粒大小等因素有关。土颗粒粒径愈大,土体愈密实,则所产生的摩擦力愈大。破碎土体所需的能量愈大。距喷嘴较远处,轴向压力衰减逐渐减弱。

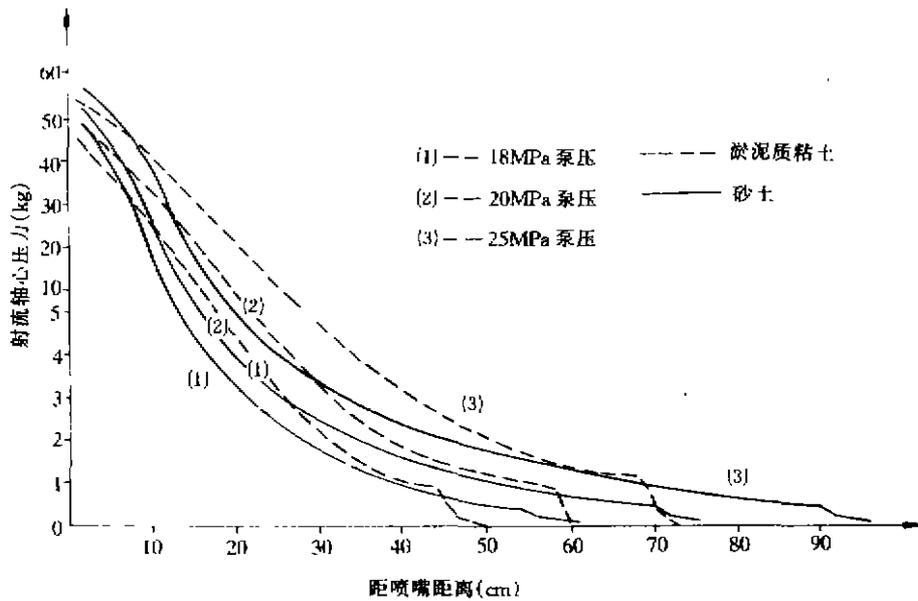


图1 喷射射流轴心压力曲线

水射流在砂土中的有效距离大于粘性土中的有效距离。这是由于砂土的孔隙大,高压水射流在孔隙中产生渗透压力,土颗粒在压力作用下沿射流轴向产生位移。粘性土由于颗粒小,具有粘聚力,因而土颗粒在射流轴向上的移动能力较弱,而且射流不能在粘性土中产生渗透压力,因而射流的有效距离较小。

1.4 水射流破土临界压力 F_{cr} 与土的物理力学性质指标之间的关系

高压水射流冲击破坏土体时,不同的土类所需的射流破坏压力是不同的,当射流喷射压力大于土颗粒间的抗剪强度时,土体被破坏,土颗粒被剥离。试验证明,土体在喷射压力作用下是否破坏还与土的渗透性、土颗粒粒径的大小及土的密度等因素有关。

$$\text{即: } F_{cr} = f\left(\tau_f, \frac{d_m}{k}, \gamma_d\right) \quad (1)$$

采用雷利法求解后得:

$$F_{cr} = \alpha \tau_f^2 \left(\frac{d_m}{k}\right)^{-2} \gamma_d^{-1}$$

式中 F_{cr} —土体破坏面上射流临界压力, (kN); α —修正系数,经试验测定 $\alpha = 1.8 \times 10^{10}$; τ_f —土的抗剪强度, (kPa); d_m —土颗粒限定粒径, (mm); γ_d —干土重度, (kN/m³); k —土的渗透系数, (m/s); $\frac{d_m}{k}$ —土的抗冲蚀强度。

2 工程实例

根据上述试验结果,经现场模拟试喷,应用到丹东化纤公司污水均合池淤泥软基处理的工程实践中,并取得了预期的加固目的。

2.1 工程概况

该工程位于丹东化纤公司东南,东面濒邻鸭绿江,日处理污水 2500t,场地土层自上而下依次为:人工填土,可塑粉质粘土,高压缩性流塑状态淤泥质粘土,粗砂,角砾等。淤泥厚 600mm。由于某种原因均合池随江水水位的升降而浮沉,池底挤入淤泥、石块而产生

不均匀沉降,经初步处理,均合池已不再下沉,为使均合池不再出现浮沉现象,需对池底淤泥上进行加固,经不同方法试验与加固方案的比较,最后决定采用喷射注浆加固方案。

2.2 现场模拟试验

经现场室内浆液配方试验,以理论研究成果为依据,进行了现场5根桩的喷射注浆试验得到喷射参数如下表。

喷射注浆参数表

水		气		浆液			抗压强度 (MPa)	成桩直径 (m)
压力 (MPa)	流量 (l/min)	压力 (MPa)	流量 (l/min)	压力 (MPa)	流量 (l/min)	水灰比		
22~27	75~85	0.6~0.65	0.7~0.8	1.0~1.5	9~120	0.75:1~1:1	13.5~14.7	1.4~1.6

2.3 喷射注浆设计

2.3.1 设计要求

经加固后平均地基承载力设计值达200kPa,均合池不再产生不均匀沉降,均匀沉降不大于200mm。

2.3.2 设计

在1008m²的均合池底面上均匀布置了

100个喷射注浆孔,如图5所示。柱下布置较密,总进尺84.4延m,注入水泥约110t,还有85个静压注浆孔,均匀布置。注入水泥57t。喷射注浆时发现均合池底板下空洞较多,南池更为严重,为保证喷射注浆质量,约三分之一注浆孔每孔填入砂约100~300kg,共约10t。

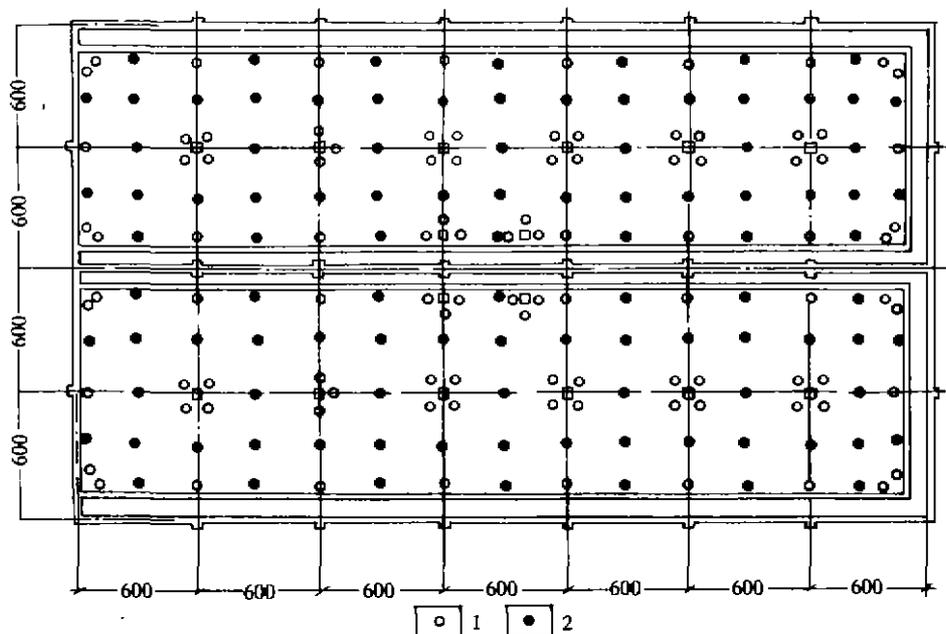


图5 旋喷注浆孔及静压注浆孔布孔平面图

(1)一旋喷注浆孔;(2)一静压注浆孔

2.3.3 单桩承载力验算

需加固土层为淤泥质土,厚600mm,软~流塑状态,在未做单桩静载荷试验的情况下,根据开挖取试块及中国科学院武汉岩土

力学研究所的测试结果确定其抗压强度为13.5~14.5MPa,取其最低值8.0MPa,其值偏高,分析原因是静压注浆提高了旋喷桩及桩间土的承载力,综合安全系数取2.0,则其

抗压强度设计值取 4.0MPa。固结体直径用公式(1)分析如下:

$k = 6.7 \times 10^{-10} \text{ m/s}$, $d_m = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$, $\tau_c = 9.8 \text{ kPa}$, $\gamma_s = 12.3 \text{ kN/m}^3$, 则:

$$F_{cs} = 1.8 \times 10^{10} \cdot 9.8 \left[\frac{2.0 \times 10^{-3}}{6.7 \times 10^{-10}} \right]^2 \cdot 12.3^{-1} = 0.0158 \text{ kN} (1.58 \text{ kg})$$

由图4淤泥土曲线(3)可知,距喷嘴距离700mm,即成桩直径约1.4m,经开挖检查证实成桩直径为1.4~1.6m,计算值与实测值相吻合,取最低值1.4m计算,则每根桩有效承压面积为1.54m²。单桩承载力设计值为:

$$R = f \cdot A = 4 \times 1.54 = 6140 \text{ kN} \quad (2)$$

单桩所受荷载为池自重(75000kN)及日处理污水重(250000kN)除以总桩数,即:

$$Q = \frac{75000 + 250000}{100} = 3250 \text{ kN} < R = 6140 \text{ kN}$$

单桩承载力满足设计要求。

2.3.4 静压注浆

静压注浆采用的浆液与喷射注浆的浆液相同。在均合池四周水流较大处采用水泥-水玻璃双液浆,水灰比0.75:1~1:1,水泥浆与水玻璃体积比为1:0.7~1:0.9,注浆压力0.2~0.5MPa,浆液流量70~120l/min,注浆终压为0.5MPa,并稳定1.0min。

2.3.5 效果及评价

用喷射注浆及静压注浆加固均合池地基效果是明显的。单桩承载力满足设计要求,静压注浆后均合池底板下空洞全部被充填,池北渗水井的水都是绕池周而入。当池外水位

上升至天然水位(高于池底3.5m左右)时,池底无漏水现象(原裂隙被封闭)。从均合池各点的沉降观测结果来看,自7月3日至9月20日,约80多天,沉降已经停止发展,且无不均匀沉降,在池中注水或池外水位变化期间,均合池不再上浮或下沉,经近十年的沉降观测,均合池标高没有发生变化,运行正常,地基加固取得了良好的效果,实践证明采用喷射注浆加固淤泥地基是可行和有效的。

3 结论

通过室内试验和现场模拟试验,提出了水射流临界破坏压力与土的物理力学性质之间的关系,证明水射流破土作用主要是冲蚀作用。

采用测量土体中水射流的临界压力可以有效地检查喷射注浆效果。把这一研究成果应用于工程实践中取得了良好效果。

为保证喷射注浆的质量,在施工中采用了复喷工艺,并在复喷时采用的是纯水泥浆。在喷射桩的顶部和底部不提升旋喷5min,喷射注浆后,每孔补浆数次,在均合池底板下有空洞的位置,填砂后才喷射注浆,从而保证了喷射桩身与池底及持力层之间形成一整体。

丹东化纤公司污水均合池地基处理工程中,沈阳药学院张学文副教授、袁忠本高工,中国科学院武汉岩土力学研究所宋大卫、黄理兴副研究员均全部或部分参加了工作,谨一并致谢。

A STUDY ON SOIL BREAKING MECHANISM OF ROTARY JET GROUTING AND APPLICATION OF GEOTECHNICAL ENGINEERING

Du Jiahong, Li Fanshan, Wang Jie

Shi Xiaoho, Guo Wensheng

Abstract Through lab research, the relationship between the axial-center pressure of jet flow and physical-mechanical parameter of impacted soil medium at high pressure jet grouting is advanced. It has been applied in soft foundation consolidation and expected results have been achieved.

key words jet grouting, soft foundation consolidation