

建筑地基处理技术丛书

高压喷射注浆法 处理地基

徐至钧 主编

徐至钧 全科政 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑地基处理技术丛书

高压喷射注浆法处理地基

徐至钧 主编

徐至钧 全科政 编著



机械工业出版社

《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)已由建设部2002年第64号文发布,自2003年1月1日起实施。为了便于有关单位的工程技术人员更好地学习和应用新规范,本书针对新规范中高压喷射注浆法处理地基的内容,深入介绍这种地基处理设计、施工经验和地基处理的应用范围、质量检验、测试及研究工作等,并收集了许多工程应用实例,以帮助读者加深对新规范的理解和应用。

本书可供设计施工工程技术人员在推广新技术中参考,也可供高等院校教师和研究生在工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压喷射注浆法处理地基/徐至钧,全科政编著. —北京:机械工业出版社,2004.1

(建筑地基处理技术丛书)

ISBN 7-111-13897-X

I. 高... I. ①徐... ②全... III. 水泥浆加固(地基)
N. TU472.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第005624号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何文军 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年3月第1版第1次印刷

890mm×1240mm A5·8.375印张·246千字

0 001—4 000册

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

前 言

《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)已由建设部2002年第64号文发布,自2003年1月1日起实施,为了便于有关单位的工程技术人员更好地掌握和应用新规范,徐至钧组织编写了“建筑地基处理技术丛书”,针对新规范主要内容,分成七个专题,深入地介绍各种地基处理的设计、施工经验和地基处理的应用范围等,并收集了大量工程应用实例,以帮助读者加深对新规范的理解和应用。

本书是丛书中的一本,主要介绍高压喷射注浆技术的发展、主要特征、适用范围、高压喷射注浆的种类及工程应用对象、加固地基的机理、水平旋喷、注浆材料及配方、设计与计算、主要施工机具及监测仪表、高压喷射注浆法的施工、质量检验等,并附有代表性的工程应用实例。高压喷射注浆具有设备简单、施工方便、速度快、节省材料、投资省,而且适用范围广等优点,是各种地基处理方法中应用很广的一种方法,建议今后推广应用。

本书可供设计施工工程技术人员在推广、应用地基处理技术中参考,也可供高等院校教师和研究生在工作中参考。

本书由研究员级高级工程师徐至钧主编,深圳岩土综合勘察设计有限公司(综合甲级)总工程师全科政协助编写。

在编写过程中还得到同济大学曹名葆教授的协助,另外,

深圳华云地基基础设施有限公司张亦农总经理以及郭晰娥、杨瑞清、吕会云、傅细泉、张勇、赵尧钟等参加了部分编写工作和提供一些工程实例等，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，本书难免有不妥和错误之处，敬请读者不吝赐教。

编著者
于深圳

目 录

前言

第一章 概论	1
一、高压喷射注浆法的概况	1
二、高压喷射注浆技术的发展	5
三、高压喷射注浆主要特征	13
四、高压喷射注浆法的适用范围	15
五、高压喷射注浆法的基本性状及工程应用对象	17
六、国外高压喷射注浆技术的近期发展	30
第二章 高压喷射注浆的定义及其种类	51
一、高压喷射注浆的定义	51
二、高压喷射注浆法的种类	52
第三章 高压喷射注浆加固地基基本原理	60
一、高压水喷射流的性质	60
二、高压喷射流的种类及其构造	62
三、加固地基的机理	68
四、加固土的基本性状	74
第四章 高压喷射注浆法的水平旋喷	77
一、水平旋喷概况	77
二、水平旋喷施工顺序及工艺	77
三、水平旋喷机具和浆料	80
四、国内外水平旋喷的发展	81
五、水平拱体设计计算方法	84
第五章 注浆材料及配方	88
一、浆液材料的分类及配方	88
二、注浆材料的使用数量	93
三、择用浆液的原则	94
第六章 高压喷射注浆法的设计与计算	96

一、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)中的一般规定	96
二、工程勘察	97
三、室内配方与现场喷射试验	99
四、喷射参数的设计	101
五、布孔形式及孔距	101
六、设计与计算	103
七、高压喷射注浆孔设计	106
八、高压旋喷承重桩的设计	110
九、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)对设计的要求	110
第七章 主要施工机具及监测仪表	114
一、主要施工机具	114
二、监测仪表	124
第八章 高压喷射注浆法的施工	126
一、组织与准备工作	126
二、施工顺序与操作	126
三、施工质量管理	129
四、高压旋喷承重桩的施工	131
五、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)对施工的要求	133
六、高压旋喷法的施工特性	136
第九章 质量检验和施工监理	148
一、质量检验的主要内容、数量和质检方法	148
二、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)对质量检验的要求	152
三、高压旋喷桩施工和监理	153
四、旋喷桩复合地基静载试验分析	157
第十章 工程应用实例	163
工程实例一 武汉建设银行大厦深基坑高压喷射防渗帷幕技术的应用	164
工程实例二 高压喷射注浆工艺在处理厦门汇腾大厦地基中的应用	173
工程实例三 浙江大学第六教学大楼地基加固实例	188
工程实例四 威海卫大厦旋喷桩复合地基加固	193
工程实例五 广州新世纪酒店采用高压旋喷双液分喷法在地基加固中的应用	197
工程实例六 旋喷注浆技术在岩溶地基上的应用	199
工程实例七 北京蓝岛大厦深基坑防水帷幕墙施工	208

工程实例八	大连小龙口水库坝基采用综合灌浆技术构筑复合结构 防渗墙	211
工程实例九	军都山隧道坍方的整治	216
工程实例十	宝山钢铁公司初轧一号铁皮坑开挖的稳定	220
工程实例十一	岭澳核电站一期防渗工程设计与施工	227
工程实例十二	云南丽江机场跑道采用高压旋喷异径桩加固深层 软土	233
工程实例十三	防洪大堤挡土墙工程中高压喷射注浆技术的应用	239
工程实例十四	南京港 35 号煤码头采用高压旋喷注浆法加固已有建筑 物地基	243
工程实例十五	高压旋喷注浆在某工程补强加固中的应用	247
工程实例十六	高压喷射灌浆技术在污水管道围封中的应用	251
参考文献		258

第一章 概 论

在土木工程建设中,处理地基方法有多种多样,但是在施工场地狭窄净空低、上部土质坚硬下部软弱、施工时不能停止生产运营、不能中断行车、不能对周围环境产生公害和不能影响邻近建筑物、缺少钢材时,一般的处理方法往往不能完全适用。

在科学技术发展推动下,现代工业提供了大功率高压泵、钻机的硬质合金喷嘴等先进装备,水力采煤工作中高压水射流技术的发展与应用,为新的加固土体方法创造了新的物质条件与理论基础。于是在20世纪70年代初期别具一格的高压喷射注浆法便应运而生了。

高压喷射注浆法创始于日本,是在化学注浆法的基础上采用高压水射流切割技术而发展起来的。它彻底改变了化学注浆法的浆液配方和工艺措施的传统做法,以水泥为主要原料,加固土体的质量高、可靠性好,具有增加地基强度、提高地基承载力、止水防渗、减少支挡建筑物土压力、防止砂土液化和降低土的含水量等多种功能。自1972年以来,我国近几百项工程实践均取得了良好的社会效益和经济效果,高压旋喷地基处理技术已列入我国现行的《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)。

一、高压喷射注浆法的概况

所谓高压喷射注浆,就是利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻进至土层的预定位置后,以高压设备使浆液或水成为20MPa左右的高压流从喷嘴中喷射出来,冲击破坏土体。当能量大、速度快和呈脉动状的喷射流的动压超过土体结构强度时,土粒便从土体剥落下来。一部分细小的土粒随着浆液冒出水面,其余土粒在喷射流的冲击力、离心力和重力等作用下,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。浆液凝固后,便在土中形成一个固结体。固结体形状和喷射移动方向有关,一般分为旋转喷射(简称旋喷)和定向喷射

(简称定喷)两种注浆形式。旋喷时,喷嘴一面喷射一面旋转和提升,固结体呈圆柱状,如图 1-1 所示。旋喷主要用于加固地基、提高地基的抗剪强度、改善土的变形性质,使其在上部结构荷载直接作用下不产生破坏或过大的变形;也可以组成闭合的帷幕,用于截阻地下水流和治理流砂。定喷时,喷嘴一面喷射一面提升,喷射的方向固定不变,固结体形如壁状,通常用于基础防渗、改善地基土的水流性质和稳定边坡等工程。

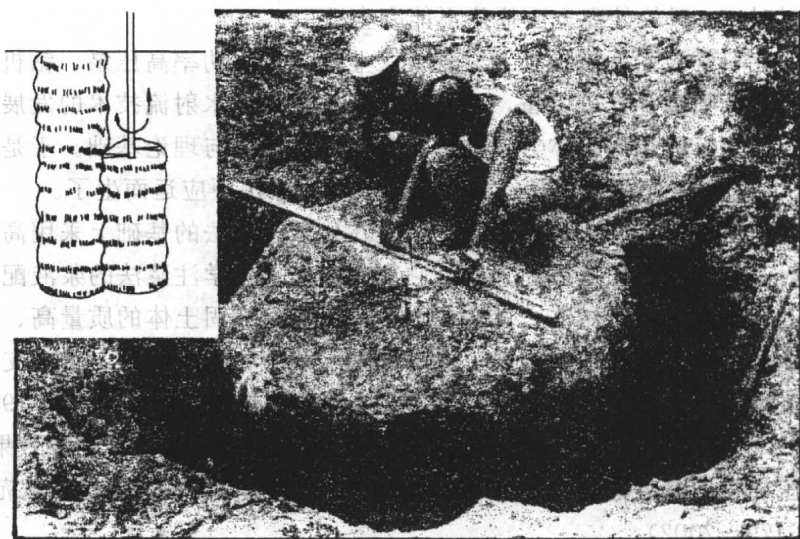


图 1-1 旋喷固结体

作为地基加固,通常采用旋喷注浆形式,使加固体在土中成为均匀的圆柱体或异形圆柱体。

当前,高压喷射注浆法的基本种类有:单管法、二重管法、三重管法和多重管法等四种方法。它们各有特点,可根据工程要求和土质条件选用。

1. 单管法

单管旋喷注浆是利用钻机等设备,把安装在注浆管(单管)底部侧面的特殊喷嘴,置入土层预定深度后,用高压泥浆泵等装置,以

20MPa 左右的压力，把浆液从喷嘴中喷射出去冲击破坏土体，同时借助注浆管的旋转和提升运动，使浆液与从土体上崩落下来的土搅拌混合，经过一定时间凝固，便在土中形成圆柱状的固结体，如图 1-2 所示。日本称之为 CCP 工作法。

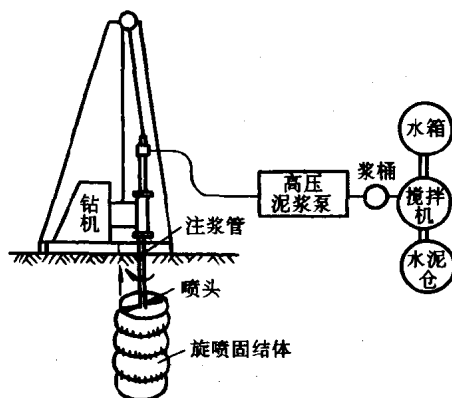


图 1-2 单管旋喷注浆示意图

2. 二重管法

使用双通道的二重注浆管。当二重注浆管钻进到土层的预定深度后，通过在管底部侧面的一个同轴双重喷嘴，同时喷射出高压浆液和空气两种介质的喷射流冲击破坏土体，即以高压泥浆泵等高压发生装置喷射出 20MPa 左右压力的浆液，从内喷嘴中高速喷出，并用 0.7MPa 左右压力把压缩空气从外喷嘴中喷出，在高压浆液流和它外圈环绕气流的作用下，破坏土体的能量显著增大，喷嘴一面喷射一面旋转和提升，最后在土中形成圆柱状固结体。固结体的直径明显增加，如图 1-3 所示。日本称这种方法为 JSG 工作法。

3. 三重管法

使用分别输送水、气、浆三种介质的三重注浆管。在以高压泵等高压发生装置产生 20MPa 左右的高压水喷射流的周围，环绕一股 0.7MPa 左右的圆筒状气流，进行高压水喷射流和气流同轴喷射冲切土体，形成较大的空隙，再另由泥浆泵注入压力为 2~5MPa 的浆液填充，喷嘴作旋转和提升运动，最后便在土中凝固为直径较大的圆柱状固结体，如图 1-4 所示。日本称这种方法为 CJP 工作法。

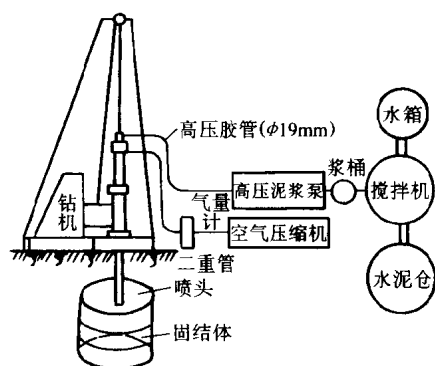


图 1-3 二重管旋喷注浆示意图

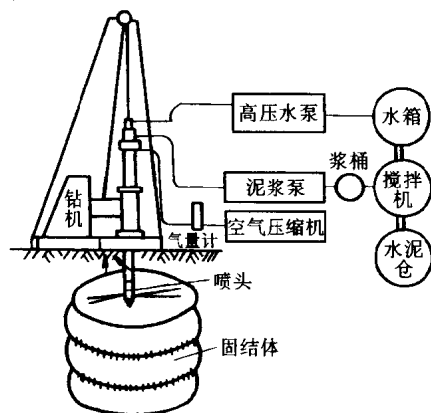


图 1-4 三重管旋喷注浆示意图

4. 多重管法

这种方法首先需要在地面钻一个导孔，然后置入多重管，用逐渐向下运动的旋转超高压水射流（压力约 40MPa）切削破坏四周的土体，经高压水冲击下来的土和石，随着泥浆立即用真空泵从多重管中抽出。如此反复的冲和抽，便在地层中形成一个较大的空间。装在喷嘴附近的超声波传感器及时测出空间的直径和形状，最后根据工程要求选用浆液、砂浆、砾石等材料填充之。于是在地层中形成一个大直径的柱状固结体，在砂性土中最大直径可达 4m，如图 1-5 所示。日本称之为 SSS—MAN 工作法。

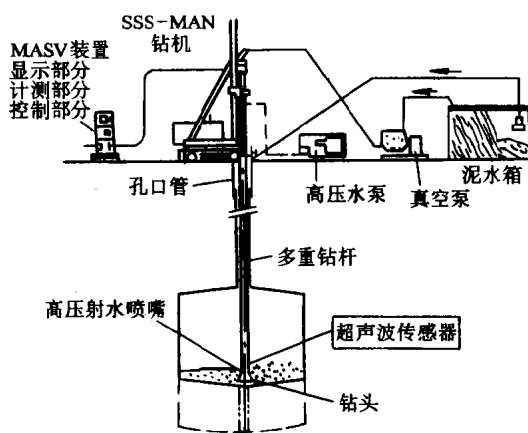


图 1-5 多重管旋喷示意图

以上四种高压喷射注浆法中，前三种属于半置换法，即高压水（浆）携带一部分土颗粒流出地面，余下的土和浆液搅拌混合凝固，成为置换状态；后一种属于全置换法，即高压水冲击下来的土全部被抽出地面而在地层中形成一个空洞（空间），以其他材料充填之，成为全置换状态。

高压喷射注浆固结体的形状及作用见表 1-1。

表 1-1 高压喷射注浆固结体形状及作用

高压喷射注浆方法	截水墙法（定喷）	垂直墙状——纵向截水墙
		水平板状——横向截水墙
	桩法（旋喷）	柱列状——截水墙、挡土墙
		群状——地基加固

二、高压喷射注浆技术的发展

（一）起源

高压喷射注浆（Jet Grouting）法是在静压注浆（Grouting）法的基础上，应用了高压水射流切割技术而发展起来的。

20 世纪 60 年代末，日本 N·I·T 公司（Nakanishi Institute Technology Co., LTD）在承建日本大阪地下铁道的开挖工程中，先

用冻结法因冻冰融化而改为静压注浆法,由于浆液多从土层交界而溢走,仍不能达到地基加固和止水目的,中西涉先生成功地将水力采煤技术原理应用到静压注浆中,以高压水泥浆喷射冲击土体把土打碎,浆液与土粒自行拌和,在土层中形成一圆柱状固结体,当联成群体后地基便具有了良好的加固和截水效果。虽然当时旋喷柱直径仅 $0.3 \sim 0.35\text{m}$,可它的意义重大,从此发明了高压喷射注浆法,定名为 CCP 工作法 (Chemical Churning Pile or Pattern 工作法,我国称单管法)。1973 年它得到在莫斯科召开的第八届国际土力学会议 (ISSMFE) 各国代表的注目与好评。

(二) 国外现状

为了不断满足大直径、低成本和快施工的需求,在 20 世纪 70 年代中期,日本又开发出 JSJ 工作法 (Jumbo Special Grouting 工作法,我国现称二重管法),其旋喷柱直径 $0.5 \sim 1.0\text{m}$,继而又开发出 CJG 工作法 (Column Jet Grouting 工法,我国现称三重管法)。从 20 世纪 80 年代开始,开发出的都是较大直径旋喷柱或者能够控制桩形的 SSS—MAN 工作法、RJP 工作法、MJS (九重管) 工作法和有搅拌作用的喷射注浆的工作法,如 CCP—V 工作法、CCP—H 工作法和 JMM 工作法,形成了纯喷射注浆和搅拌注浆两大并列体系。其中,以 RJP 工作法技术先进且设备较少,易于操作。

日本始终保持着高压喷射注浆的世界领先地位,先后向欧美和亚洲许多国家作了技术输出,带动了意大利、法国、德国、美国、瑞典、俄罗斯、泰国、新加坡、韩国等国家高压喷射注浆技术的发展,虽然这些国家起步晚于我国,但发展较快在生产建设中效果很好。

(三) 国内现状

我国是在日本之后,研究开发和应用都较早的国家。1972 年开始试验研究,70 年代中期开始施工。

我国的绝大多数单位拥有 CJG 三重管的技术,拥有 CCP 单管和 JSJ 二重管的单位较少。高压喷射注浆在我国应用较广,解决了一批其他施工方法难以奏效的困难地基和复杂的工程问题,已成为我国常用的施工方法之一,列入了我国国家标准《地基与基础工程及验收规范》(CBJ202—1983) 和国家行业标准《建筑地基处理技术规范》。

(JGJ79—2002) 和部分省市的地基处理规范中。

由于种种原因, 当前我国的设备较陈旧、施工方法落后和工效较低, 已不能完全满足国内的建设要求, 更难于打入国际市场, 因此更新设备采用先进工法是势在必行的。据了解 RJP 工作法, 是当今世界最佳工作法之一。

(四) RJP 工作法

1. 一般情况

RJP (Rodin Jet Pile) 工作法主要是进行两次切削破坏土层: 第一次是上段的超高压水和空气的复合喷射流体切削破坏土层; 紧接着的第二次是下段的超高压液浆和空气的复合喷射流体, 在第一次切削土层的基础上再次对土体进行切削, 这样便增加了切削深度, 加大了固结直径, 如图 1-6 所示。

RJP 工作法固结体的直径大, 超过普通 CJG 三重管旋喷直径。

RJP 工作法固结体无侧限抗压强度, 在砂质土中达 $2 \sim 5 \text{MPa}$, 在粘性土中为 $0.5 \sim 2 \text{MPa}$ 。

RJP 工作法的主要喷射参数和浆液配方:

- (1) 浆液喷射压力为 $30 \sim 70 \text{MPa}$, 现阶段标准压力为 40MPa 。
- (2) 水喷射击压力为 $20 \sim 40 \text{MPa}$, 宜用 40MPa 。
- (3) 空气喷射压力为 0.7MPa 。
- (4) 流量: 浆液 100L/min , 水 100L/min 。
- (5) 浆液以水为主剂。

2. 固结体直径

固结体直径与地层土质条件、喷射压力、喷射时间 (喷射量) 等

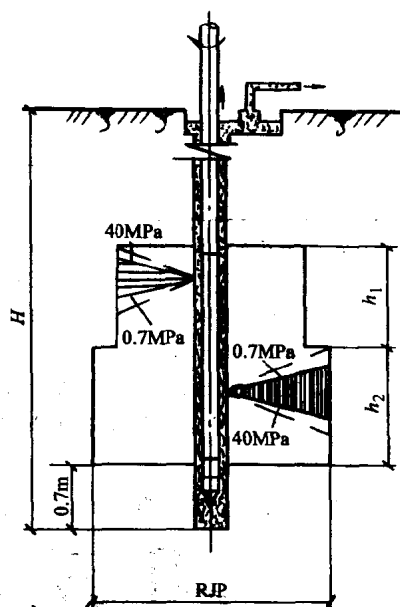


图 1-6 RJP 工作法切削固结土体模式图

因素有关。固结体直径与提升速度的关系见表 1-2, 必要时应进行现场试验确定。

表 1-2 RJP 固结体设计直径 (cm)

提升速度 / (min/m)	土质	设计 N 值 (标准贯入值)		
	砂质土	$0 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$30 < N \leq 50$
	粘性土	$0 < N \leq 1$	$1 < N \leq 3$	$3 < N \leq 5$
30		280	260	240
40		300	280	260
50		310	290	270
60		320	300	280

注: 1. 本表为深度 30m 内的有效直径;

2. 深度超过 30m 时表列标准高在直径减去 30cm;

3. 砂砾的有效直径, 当 $N \leq 50$ 时为砂质土的 90% 有效直径; 当 $N > 50$ 时应进行现场试验确定有效直径;

4. 施工深度超过 25m 应采取套管跟进法钻孔方法;

5. 粘性土 $N \leq 5$ 粘聚力在 50kPa 以上, 应现场试验确定。

3. 施工

(1) RJP 工作法施工顺序, 如图 1-7 所示。

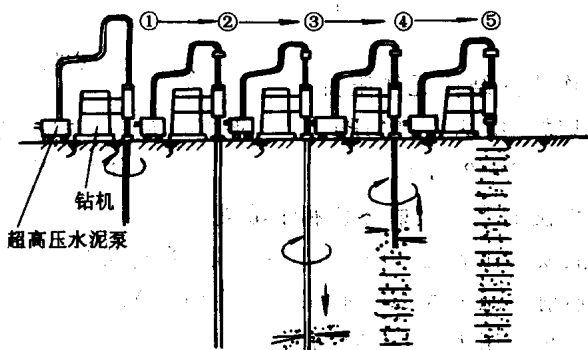


图 1-7 RJP 工作法施工顺序示意图

①—钻机就位 ②—钻孔 ③—自上而下开始旋喷 ④—喷至设计高度 ⑤—结束

(2) RJP 工作法使用的主要机械如表 1-3 所示。

表 1-3 RJP 工作法使用机械

机械名称	型号规格	形状/m (宽×长×高)	重量 /kg	动力 /kW
RJP 钻机	自动装卸全油压式	1.55×2.4×1.7	2200	11
超高压水泵	200kgf/cm ² (20MPa) 75L/min (常用)	1.35×2.45×1.10	2100	55
超高压泥浆泵	400kgf/cm ² (40MPa) 100L/min (常用)	2.1×3.5×1.8	5000	110
浆液搅拌机	1000~2000L 2000L/min	1.6×4.0×2.63	2000	15
散装水泥仓	30t 横式装计量器	2.5×5.0×5.5	5000	15
三重管 (全套)	外径 90mm			

4. 北京现场试验 (1996 年 5 月)

(1) 地质情况 试验场地在北京通县的北京控矿机械厂院内, 地质情况为:

第一层杂填土层: 深度 0.0~0.6m, 以房渣土为主内含有煤渣, 稍湿, $N_{10}=23$;

第二层重粉质粘土层: 深度 -0.6~-2.2m, 棕黄色, 可塑, 很湿, -1.6m 以下有少量小姜石 $N_{10}=240$;

第三层砂质粉土层: 深度 -2.2~-3.6m, 褐黄色, 硬塑, 很湿, 含多量云母、氧化铁, -3.5m 以下含粘土团, $N_{10}=48$;

第四层质粘土层: 深度 -3.6~-4.2m, 棕黄色, 可塑, 土质不均, 在 -3.70~-3.85m 外有一细砂层, $N_{10}=85$ 。

旋喷试验在第二、三、四层中进行, 无地下水。

(2) 主要机具 试验所用的主要机具: GD—2 型旋喷钻机、PP—120 型 40MPa 高压泥浆泵、PP—30 型 30MPa 泥浆泵 (北京探矿机械厂)、3D₂—S 型高压水泵 (天津通用机械厂) 和 $\phi 89\text{mm}$ RJP 三重管