



ZHUANGJI ZHIHU YU JIANGSHUI GONGCHENG

桩基支护 与 降水工程

王景军 著

黑龙江科学技术出版社

桩基支护与降水工程

王景军 著

黑龙江科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桩基支护与降水工程 / 王景军著. -- 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5388-7307-8

I. ①桩… II. ①王… III. ①桩基础—降水—工程施工 IV. ①TU473.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第177511号

桩基支护与降水工程

ZHUANGJI ZHIHU YU JIANGSHUI GONGCHENG

作 者 王景军

责任编辑 梁祥崇

封面设计 刘 洋

出 版 黑龙江科学技术出版社

地址: 哈尔滨市南岗区建设街41号 邮编: 150001

电话: (0451) 53642106 传真: (0451) 53642143

网址: www.lkcbs.cn www.lkpub.cn

发 行 全国新华书店

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 17.25

字 数 350 000

版 次 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5388-7307-8 / TU·681

定 价 60.00元

【版权所有, 请勿翻印、转载】

作者简介

王景军 现任黑龙江省桩基础工程公司副总经理，注册安全工程师，注册二级建造师。黑龙江省优秀青年企业家，黑龙江省优秀项目经理。黑龙江省地勘局十大经营能手，黑龙江省地勘局首届十大青年优秀科技工作者。

王景军1983年毕业于长春地质学校钻探专业，1988年毕业于长春地质学院探工系。2002年毕业于黑龙江省委党校经管系，2003年毕业于哈尔滨师范大学经管系研究生班。

参加工作后从事水文水井施工，工程地质勘察和地基与基础施工。发表过12篇论文，有一项科研成果“山体滑坡治理”获吉林省科技进步三等奖，主持施工过的项目有：地基基础加固及处理，山体滑坡地质灾害治理，建筑物纠偏，深基坑支护，桩基础施工项目600余项，施工的桩基础工程主体获四项鲁班奖。

王景军是黑龙江省安全生产监督管理局专家委员会专家，黑龙江省建设厅建设行业地基基础专家委员会、工程质量专家委员会专家，哈尔滨市深基坑支护专家委员会副主任，黑龙江省地基与基础专业学术后备带头人。

序 言

王景军二十多年来主持过数百项桩基础施工、深基坑支护及地基处理与加固等工程项目。他总结经验撰写论文、申报并取得发明和实用新型专利、编写有关地方标准，在本行业作出重要贡献。

王景军的“长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩”及“螺丝钉锚杆及使用螺丝钉锚杆的工艺方法”的发明专利均是很有实用价值的，如能获得大面积推广将会产生显著的社会效益、经济效益和环境效益。

王景军提出的深基坑降水工程方法对确保深基坑支护安全施工起着重要作用。

本书出版是王景军在“基坑支护与降水工程”领域中辛勤耕耘、不断探索、持续创新的结果。本书是一本能满足工程上迫切需要的专著。

本书的问世，无疑地将会进一步推动桩基及深基坑工程事业的进展，可喜可贺。

北京城建工程研究院

沈何清

2012年8月1日

目 录

第一章 桩基施工	1
第一节 钻孔压浆桩在沙层中承载力的提高系数	1
第二节 长螺旋钻孔压灌砼旋喷扩孔桩（简称WZ桩）	3
第三节 长螺旋钻孔压灌砼旋喷扩孔桩成桩法（技术讲座）	8
第二章 深基坑支护	21
第一节 水泥土重力式支挡结构设计施工	21
第二节 直立土钉墙在深基坑支护工程中的设计与施工方法	24
第三节 螺丝钉锚杆及施工方法	29
第四节 深基坑支护工程施工（技术讲座）	33
附件1：深基坑支护工程施工组织方案	86
附件2：突发事件应急预案	136
附件3：基坑支护工程越冬维护施工方案	141
第三章 深基坑降水工程（技术讲座）	149
第一节 降水的作用与降水方法	149
第二节 各种降水方法的比较	154
第三节 基坑降水须考虑的因素	155
第四节 基坑降水的影响及防护措施	156
第五节 降水前应调查或掌握的资料	157
第六节 抽水试验	158
第七节 水文地质参数	159
第八节 降水监测	160
第九节 设置回灌系统	161
第十节 降水井的布置	162
第十一节 井深的确定	163
第十二节 降水出水量计算	163
第十三节 施工程序	166
第十四节 验收规定	167

第十五节 降水维护	167
第十六节 工程降水管理	168
第十七节 降水施工方案编制	169
附件：基坑降水施工方案实例	171
第四章 倾斜泵站的纠偏施工技术	191
附录1：《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》	197
附录2：发明专利	204
附录3：钻孔压浆桩设计与施工技术规程,.....	228
附录4：黑龙江省住房和城乡建设厅关于发布地方标准《长螺旋钻孔压灌混凝土 旋喷扩孔桩基础设计与施工技术规程》的公告	245

第一章 桩基施工

第一节 钻孔压浆桩在沙层中承载力的提高系数

钻孔压浆桩是一种专利桩基施工工艺，可用于一般地质条件，尤其适用于地下水位以下的黏性土、粉土、沙土、流沙、淤泥、砾石、卵石、碎石土等易塌孔的地质条件及风化岩层。它具有施工速度快、成桩质量好、低噪音、无污染、单桩承载力高等优点。钻孔压浆桩的造价，以每立方米混凝土所提供的承载力值为单位计算，与其他桩型相比是比较低的。

黑龙江省桩基础工程公司自1988年引进该项专利工艺以来，已施工工程千余项（其中高层建筑70余座），设计桩径最大达0.8m，设计桩长最长达30m，最大单桩承载力可达9750kN。

一、钻孔压浆桩的工艺流程

采用长螺旋钻机钻孔，钻至设计孔底标高时，启动压力注浆泵向孔内高压灌注水泥浆。钻杆随浆面升高开始提升，至不塌孔的位置时停止注浆，提出钻具，安置钢筋笼和补浆管，灌注粗骨料。再通过多次补浆成桩。其工艺的核心是高压注浆和补浆。

二、钻孔压浆桩的承载力计算

当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定灌注桩单桩竖向极限承载力标准值时，可按式（1）计算：

$$Q_{uk}=Q_{sk}+Q_{pk}=u\sum q_{sik}L_i+q_{pk}A_p \quad (1)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

q_{sik} ——桩周第*i*层土的极限侧阻力标准值；

q_{pk} ——极限端阻力标准值；

u ——桩身周长；

L_i —桩穿越第*i*层土的厚度；

A_p —桩端面积。

q_{sik} 及 q_{pk} 如无当地经验值时，可按《建筑桩基技术规范》（JGJ94—94）中表5.2.8—1及5.2.8—2取值。

当使用钻孔压浆桩工艺施工时，由于水泥浆在高压作用下对桩端、桩周土的渗透、挤密、加固，桩的 q_{sik} 及 q_{pk} 值均有大幅度提高，所以在计算单桩竖向极限承载力标准值时，桩的 q_{sik} 及 q_{pk} 值均应乘以相应的提高系数，计算公式（2）如下：

$$Q_{uk}=Q_{sk}+Q_{pk}=u \sum q_{sik} L_i t_{si} + q_{pk} A_p t_p \tag{2}$$

式中： t_{si} ——桩周第*i*层土受高压水泥浆渗透、加固作用后的承载力提高系数；

t_p ——桩端受高压水泥浆渗透、加固作用后的承载力提高系数。 t_{si} 及 t_p 可按表1取值。

表1 t_{si} 、 t_p 取值

土的名称	t_{si}	t_p
粉沙	1.3	1.5
细沙	1.4	1.6
中沙	1.6	1.8
粗沙	1.8	2.0
砾沙	2.0	2.2

三、钻孔压浆桩承载力在沙层中的提高系数

钻孔压浆桩承载力在沙层中的提高系数，是通过十几年、几百项工程施工的实践总结出来的。

现列举几项代表工程的有关资料，不确定钻孔压浆桩承载力在沙层中的提高系数。

通过以上对比可以看出，钻孔压浆桩承载力的提高系数在中沙层可达到1.75，在粗沙层可以达到1.95，在砾沙层可以达到2.1。

施工实践证明，钻孔压浆桩的桩身进入沙层一定深度，尤其桩端持力层为中粗沙以上的地质条件时，水泥浆的渗透、挤密、加固作用发挥得更为明显，单桩承载力也随之大幅度提高。

表2 8项工程中钻孔压浆桩承载力的提高系数

工程名称	砼强度	桩径 /mm	桩长 /mm	桩端持力 层	理论 Q_{uk}/kN	试验确定 Q_{uk}/kN	提高系 数
哈尔滨东方明珠大厦	C20	400	11.7	粗沙	770	1550	2.0
哈尔滨报业大厦	C25	600	16.0	中沙	1830	3300	1.8
尚志市腾飞建安公司商住楼	C20	600	8.0	砾沙	1795	3950	2.2
佳木斯市世纪广场	C25	800	7.0	砾沙	4640	9750	2.1
哈尔滨龙电花园G栋	C20	600	17.0	粗沙	2050	3900	1.9
哈尔滨马迭尔宾馆二期工程	C25	600	27.0	粗沙	2410	4700	1.95
齐齐哈尔市财政大厦	C25	700	16.5	砾沙	2710	5830	2.15
哈尔滨地德里小区303"楼	C25	600	200.	中沙	2910	5100	1.75

注：表中理论单桩竖向极限承载力标准值根据公式（1）按《岩土工程勘察报告》给定的 q_{sik} 及 q_{pk} 值计算得出。

第二节 长螺旋钻孔压灌砼旋喷扩孔桩（简称WZ桩）

目前桩基础施工的工法主要有：泥浆护壁钻孔灌注桩、预应力静压管桩、长螺旋中心压灌砼桩、钻孔压浆桩、夯扩桩、DX桩等，每一种桩都有每一种桩适应的地质条件、特性及优缺点。那么有没有一种桩型既能适应的地质条件广泛，操作性强，又能具备较高的承载力值，同时又能环保，节省工程造价的桩型哪？WZ桩就满足了上述要求。

为了提高基桩承载力值，多年来我们一直在探索，最近几年来相继出现了夯扩桩、DX桩、桩端、桩侧后压浆桩、静压管桩等等，如何使桩身能够提供较大的承载力值哪？主要就是增加桩长，增大桩径，改变桩的形状，挤土或压浆来增加桩身的侧壁磨擦系数，及桩端的 Q_{pk} 值。

WZ桩是一种磨擦加端承桩，它有效地解决了桩端的虚土问题，同时通过水泥浆在桩端桩侧射流旋喷的渗透更使得桩的承载力得了到极大的提高，从试桩的曲线上可以看到的

是一个缓抛物线，拐点特征非常不明显，证明桩端发挥了作用。在大庆的黏性土质到哈尔滨、齐齐哈尔、佳木斯的沙性土质中的四十多例工程可以验证，该桩以其较小的吨量得到了较大的承载力值，节省了资金，因该桩的吨强度高，所以WZ桩具有极强的推广和实用价值。

一、WZ桩特点

- (1) 适应地层广泛，可适用于含水层、粘性土层、沙层、砾石层、卵石层。
- (2) 桩端无虚土，承载力值极高。
- (3) 成桩速度快，成桩质量好，无朔径断桩现象。
- (4) 施工工艺简单，可操作性好。
- (5) 绿色环保，无泥浆污染，现场干净。
- (6) 工程造价低，降低成本（照比其他桩型可降低30%左右），可给业主节省大量资金。

二、桩基计算

1. 单桩竖向承载力特征值 R_a 应按式(1)确定：

$$R_a = Q_{uk} / K \quad (1)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

K ——安全系数，取 $K=2$ 。

2. 设计采用的单桩竖向极限承载力标准值应符合下列规定：

- (1) 设计等级为甲级的建筑桩基，应通过单桩静载试验确定；
- (2) 设计等级为乙级的建筑桩基，当地质条件简单时，可参照地质条件相同的试桩资料，结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定；其余均应通过单桩静载试验确定；
- (3) 设计等级为丙级的建筑桩基，可根据原位测试和经验参数确定；
- (4) 设计时，单桩竖向极限承载力标准值可按式(2)估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i t_{si} + \psi_p q_{pk} A_p t_p \quad (2)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

Q_{sk} 、 Q_{pk} ——分别为总极限侧阻力标准值和总极限端阻力标准值；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，由《岩土工程勘察报告》给定；

q_{pk} ——极限端阻力标准值，由《岩土工程勘察报告》给定；

A_p ——旋喷扩底后的桩底端横截面面积；

u ——桩身周长；

l_i ——桩周第*i*层土的厚度；
 t_{si} ——桩侧第*i*层土的侧阻力提高系数，可按表1取值；
 ψ_p ——扩底直径 $\geq 800\text{mm}$ 时的端阻尺寸效应系数，可按表2取值。

表1 WZ桩侧阻力、端阻力提高系数

土的名称	t_{si}	t_p
淤泥、淤泥质土	1.05~1.10	
黏性土	1.05~1.10	1.10
粉土	1.10~1.20	1.20
粉沙	1.15~1.25	1.25
细沙	1.20~1.30	1.40
中沙	1.30~1.40	1.60
粗沙	1.40~1.50	1.80
砾沙、砾石	1.40~1.50	1.80

表2 端阻尺寸效应系数 ψ_p

土类别	黏性土、粉土	沙土、碎石类土
ψ_p	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/4}$	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/3}$

3. 扩头尺寸可按设计需要选定，扩头直径可比桩身直径增大200~600mm，扩大端高度（*h*）应 $\geq 1.0\text{m}$ ，底部扩大端侧面的斜率宜为45°（见图1）。扩底尺寸与工艺参数的选定见表3。

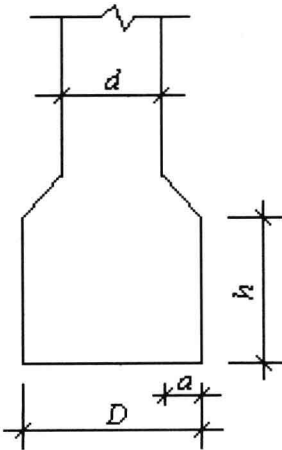


图1

表3 扩底尺寸与工艺参数对照表

土类别	扩底尺寸a (mm)	钻机转数 (r/min)	提升（下降） 速度（cm/min）	旋喷压力 (MPa)	喷嘴直径 (mm)
黏	100	20~40	45~60	8~10	2.5~3
	150		45~60	10~12	
	200		45~60	12~15	
	300		45~60（复喷1次）	12~15	
粉土、 沙土	100	20~40	45~60	3~4	3~5
	150			4~5	
	200			5~7	
碎石土	100	20~40	45~60	4~5	3~5
	150			5~6	
	200			6~8	

注：碎石土包括卵石、碎石、圆砾和角砾。

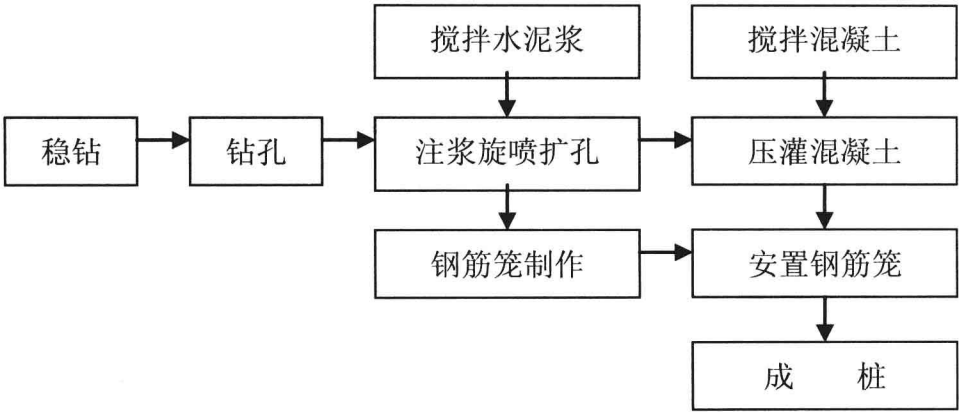
三、执行标准

该桩于2005年列为建设部科技发展促进中心“建设系统新技术与新产品推广选用手册”。中心于2006年组织有关专家通过WZ桩技术论证并于2007年列为《建设事业“十一五”技术公告》技术与产品选用手册。黑龙江省技术监督局、黑龙江省住房和城乡建设厅于2008年9月联合发布了黑龙江省地方标准《长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩基础设计与施工技术规程》DB23/T1320-2008。

四、施工工艺

用长螺旋机钻至设计深度，在旋转和提升钻具时从钻头上设置的喷嘴中以高压喷射出预先配制好的水泥浆。具有高能量的水泥浆喷射切割破坏土层使钻孔底部或某一段扩大，形成扩大头。水泥浆一般采用普通硅酸岩水泥浆，水灰比为0.6~1.2，水泥为强度等级为PC（32.5~52.5）普通硅酸盐水泥。水泥浆的注浆压力根据施工地点的地质条件不同而选定在（3~15）MPa之间，钻具提升速度应保证高压水泥浆切割土层的效果，提升速度一般在（45~100）cm/min范围，当扩大头形成达到设计指标后下放钻具，用砼输送泵以一定压力通过中空的钻杆由钻具底部的出料口向孔内压灌混凝土，使扩大头的部分充满砼。提升钻具时灌注混凝土至桩头标高或孔口。混凝土泵送量应保证充盈系数不小于1.0，最后将钢筋笼插入灌满混凝土的孔中即可成桩。

施工工艺流程：长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩施工由稳钻、钻孔、旋喷扩孔、泵灌混凝土、安放钢筋笼等主要工序以及混凝土制备、水泥浆制备和钢筋笼制作辅助工序组成。



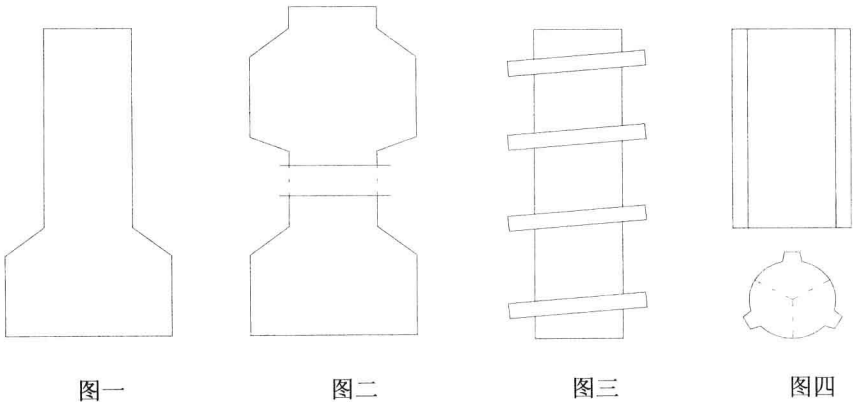
长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩工艺流程图

本工艺选用的混凝土塌落度根据地层不同可选择在（18~25）cm，它是由普通硅酸盐水泥，粒径5~20mm的石子，中粗沙和水组成，可加入粉煤灰或外加剂。

（一）本工艺选用的设备

长螺旋钻机、高压注浆泵、混凝土输送泵、旋喷装置。

（二）所形成的桩型如下（附图）：



（1）在孔底进行旋喷形成桩端扩大头（图一）。

（2）按设计要求在钻具提升至某一高度实施喷扩使钻孔变成似糖葫芦状型桩（图二）。

（3）钻机在旋转匀速提升状态下进行旋喷切割使孔壁形成螺旋线型槽的罗丝型桩，

(图三)。

(4)在钻具不旋转只提升情况下由钻头上的几个喷嘴同时喷射高压水泥浆把钻孔侧表面开出几个长槽。使钻孔变成带1~4个侧翼的异型桩(图四)。

第三节 长螺旋钻孔压灌砼旋喷扩孔桩成桩法(技术讲座)

一、技术背景

目前桩基础施工主要有以下几种方法:泥浆护壁成孔灌注桩、长螺旋钻孔压灌桩、干作业成孔灌注桩、静压管桩、钻孔压浆桩等,这几种施工方法分别适用于不同的地层,各有各的特点。

1. 泥浆护壁成孔灌注桩

(1)适用于含水的土层及沙层。

(2)优点:适用范围广、桩径大、桩长有优势。

(3)缺点:施工速度慢、单桩承载力值低、桩端有虚土、易断桩缩径、施工程序复杂、施工现场脏、泥浆需外排、不环保、工程造价高。

2. 长螺旋钻孔压灌桩

(1)适用于含水的土层及沙层。

(2)优点:适用范围广、施工速度快、环保。

(3)缺点:单桩承载力值低。

3. 干作业成孔灌注桩

(1)适用于不含水的土层。

(2)优点:施工速度快、环保。

(3)缺点:适用范围小、桩端有虚土、单桩承载力值低、施工程序复杂、工程造价高。

4. 静压管桩

(1)适用于含水或不含水的的土层。

(2)优点:施工速度快、环保。

(3) 缺点：适用范围小、易在接头处断桩、设计桩间距大、承台大、抗震差。

5. 钻孔压浆桩

(1) 适用于含水的土层及砂层。

(2) 优点：适用范围广、施工速度快、单桩承载力值高。

(3) 缺点：由于是无沙混凝土故桩身混凝土强度低，施工时需注浆、下钢筋笼、灌注碎石、多次补浆等，程序复杂、施工现场脏乱。

6. 单管旋喷桩

(1) 适用于含水或不含水的土层地基处理工程。

(2) 优点：作业面要求不高、钻孔直径小但成桩直径大。

(3) 缺点：桩身强度差、单桩承载力值低、施工速度慢。

二、长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩（简称WZ桩）

WZ桩是依据上述桩型，特别是长螺旋钻孔压灌桩、钻孔压浆桩、单管旋喷桩并经多年施工经验总结取其优点，研发出的一种全新的桩基础施工工法。目前已完成70余项工程，混凝土灌注量85000m³，经检测质量全部达到设计标准。

1. 长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩（WZ桩）特点

(1) 适应地层广泛，可适用于含水层、粘性土层、砂层、砾石层、卵石层。

(2) 桩端无虚土，承载力值极高。

(3) 成桩速度快，成桩质量好，无断桩现象。

(4) 施工工艺简单，可操作性好。

(5) 绿色环保，无泥浆污染。

(6) 工程造价低，降低成本（照比其他桩型可降低30%），可给业主节省大量资金。

三、设计与施工标准

2008年9月4日经黑龙江省质量技术监督局和黑龙江省住房和城乡建设厅联合发布，并于2008年10月1日实施：黑龙江省地方标准DB23/T1320-2008《长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩基础设计与施工技术规程》

四、工艺原理

1. 用带有特殊装置的长螺旋钻机钻至距孔底（或距设计扩头高度1米），在钻机旋转

并提升（下降）钻具时，从钻头特制的喷咀中以高压喷射出预先配置好的水泥浆，具有高能量的水泥浆喷射切割破坏土层使钻孔底部一段桩径扩大，形成扩大头。水泥浆一般采用普通硅酸岩水泥浆，水灰比为0.7~1.0。

2. 水泥为强度等级为P0（32.5~52.5）普通硅酸盐水泥。水泥浆的注浆压力根据施工地点的地质条件不同而选定在（3~15）MPa之间，钻具下降（提升）速度应保证高压水泥浆切割土层的效果，一般控制在（45~60）cm/min范围。

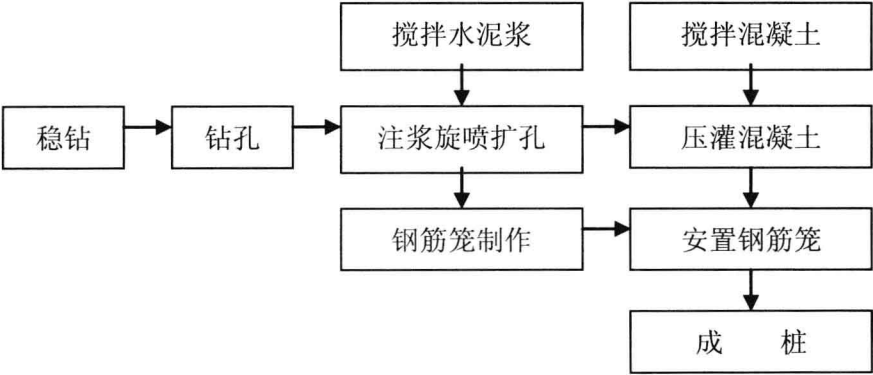
3. 当扩大头形成达到设计指标后提升（下放）钻具，用砼输送泵以一定压力通过中空的钻杆由钻头底部的出料口向孔内压灌混凝土，此时应保持钻头在孔底停留一段时间，以保证扩大头内的水泥浆与被旋喷切割下来的浆体混合物让压灌至孔底的混凝土充分置换，形成混凝土扩大头。

4. 提升钻具时灌注混凝土至桩头标高或孔口，混凝土泵送量应保证充盈系数不小于1.0。最后将钢筋笼插入灌满混凝土的孔中即可一次成桩。

5. 本工艺选用的混凝土塌落度根据地质不同可选择在（18~25）cm，它是由普通硅酸盐水泥，粒径5~15mm的石子，中粗沙和水组成，可加入粉煤灰或外加剂，或商品混凝土。

6. 水泥浆旋喷扩孔使钻孔底部和上部周围土体渗入水泥浆，经泵送混凝土的挤压密实，从而增大了土体的端阻力和侧摩阻力，大大提高了桩基的承载能力。

五、施工工艺流程



长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩工艺流程图