

# 钻孔灌注桩桩底后注浆技术及其应用

罗兰英

(核工业工程勘察院, 河南郑州 450002)

**【摘要】** 泥浆护壁钻孔灌注桩有一定的缺陷, 桩底后注浆技术有效地弥补了这些缺陷, 并能大幅度提高承载力。通过工程实例阐述了后注浆工艺的作用机理及工艺流程, 指出了后注浆技术的发展前景。

**【关键词】** 桩底后注浆; 工艺流程; 承载力变化; 应用前景

**【Abstract】** The technology of grouting after pile driving at the bottom of pile makes up for some inherent defects caused by the bore cast-in-place pile protecting bore wall with mud and thereby it enhances the bearing capacity of pile greatly. Here the function mechanism and the technological process of grouting after pile driving technology are explained by engineering examples and the development prospect is pointed out.

**【Key words】** grouting after pile driving at the bottom of pile; technological process; bearing capacity change; application prospect

## 0 引言

钻孔灌注桩施工工艺及桩基与土相互作用机理, 急需不断创新和发展。泥浆护壁钻孔灌注桩最常见的缺陷是孔壁坍塌, 桩侧有泥皮, 孔底沉渣, 成孔过程中孔壁土体松动和软化。钻孔灌注桩桩底后注浆技术有效地弥补了上述缺陷。

### 1 桩底后注浆提高承载力的作用机理

利用预先埋设于桩体内的注浆系统, 通过高压注浆泵将高压浆液压入桩底, 浆液克服土粒之间抗渗阻力, 不断渗入桩底沉渣及桩底周围土体孔隙中, 排走孔隙中水份, 充填于孔隙中。由于浆液的充填胶结作用, 在桩底形成一个扩大头。另一方面, 随着注浆压力及注浆量的增加, 一部份浆液克服桩侧摩阻力及上覆土压力沿桩土界面不断向上泛浆, 高压浆液破坏泥皮, 渗入(挤入)桩侧土

体, 使桩周松动(软化)的土体得到挤密加强。浆液不断向上运动, 上覆土压力不断减小, 当浆液向上传递的反力大于桩侧摩阻力及上覆土压力时, 浆液将以管状流溢出地面(见图1)。因此, 控制一定的注浆压力和注浆量, 将使桩底土体及桩周土体均得到加固, 从而有效提高了桩端阻力和桩侧阻力, 达到大幅度提高承载力的目的。

### 2 桩底后注浆施工工艺

#### 2.1 注浆浆液的制备

注浆浆液的稠度和可灌性是注浆工艺的重要因素之一。根据注浆泵的特点及场地地层条件, 选择注浆液及注浆稠度。一般采用水泥浆, 水灰比(质量比)为0.5~0.6, 控制搅拌时间。

#### 2.2 注浆工艺流程

注浆管可采用钢管或PVC管, 注浆阀采

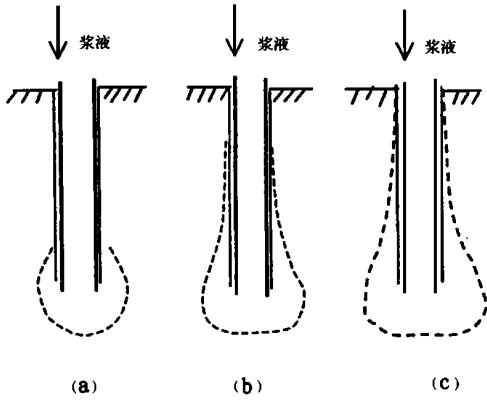


图1 桩底后注浆效应示意图

用优质橡胶材料制作的单向逆止阀。桩底后注浆工艺流程为：注浆管阀制作安装→桩身砼浇注→注浆设备安装→注水泥浆→注浆稳定→设备拆除。

### 3 桩底后注浆终止控制标准

桩底后注浆通过高压将浆液送至桩底，处理沉渣，挤密土体，改变桩端土、桩周土的力学性质从而达到提高承载力的目的。最大注浆压力由桩身结构（有效桩长、桩径、桩入土深度）、桩的抗拔能力、土质条件决定。注浆前可根据上述条件估算其最大注浆压力（也可采用试验确定），当注浆压力达到此压力并稳定一定时间后即可终止注浆；另一方面，也可根据地层条件及要求承载力提高幅度确定注浆量，当注浆量达到要求时也可终止注浆。也可通过试验，确定合理的注浆压力和注浆量，采用注浆压力和注浆量双控制。

### 4 静载试验及高应变动测试验成果分析

郑州市某高层建筑桩基设计，采用了桩底后注浆工艺，施工前选了3组工程桩作为试桩（即I、II、III）。桩的入土深度（有效桩长）25.5 m，地表下0~16.0 m为软塑（稍密、饱和）粘性土、粉土；16.0~28.0 m为粉细砂、中砂。持力层为中砂。桩径为φ600 mm。设计单桩极限承载力为2000 kN。试验在地面进行，作了4组静载荷试验，3组高应变动

测试验。I、II桩采用桩底后注浆，III桩注浆前、后分别作了静载试验，静载试验采用快速加载法，3根试桩的Q-s曲线见图3。

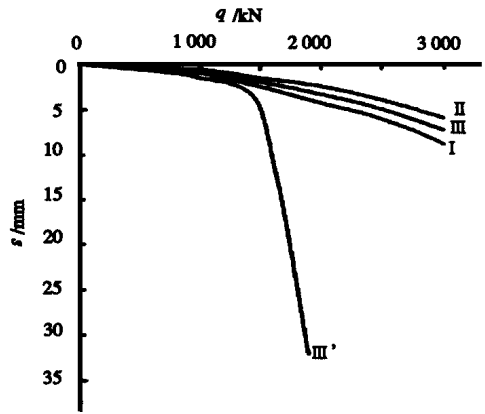


图3 试桩Q-s曲线图

由于试桩是采用工程桩作试桩，静载试验均未达到极限破坏，Q-s曲线呈缓变型。

表1列出了测桩单位提供的静载试验及高应变动测试验结果，试验结果说明：

#### (1) 端阻力与侧阻力的变化

根据高应变动测及静载试验结果，桩侧摩阻力全部桩身段平均提高24.3%~26.6%，桩端阻力提高94.1%~133.4%。桩底10 m以上为中砂、粉细砂层，侧壁摩擦力提高幅度大，往上逐渐减少至桩顶变为零。因此桩底后注浆不仅能提高桩端阻力，而且能使下部桩身一定范围内（8~15 m）的土体因浆液沿桩土界面上泛而增强，侧阻力得到显著提高。且桩的长径比 $l/d$ 愈大，侧阻力提高份额愈大。

#### (2) 单桩承载力的变化

由表1可看出，按静载试验确定的极限承载力，I、II桩较设计值提高63.5%，III桩注浆前、后承载力提高116%。因此采用桩底后注浆提高桩的承载力是非常显著的。

#### (3) 桩基沉降

静载试验表明，加压至3250 kN，采用后注浆的试桩最大沉降量仅为7.05~11.85

mm, 而注浆前的 III 桩加压至 2 000 kN, 最大沉降量为 42.32 mm。由此可知, 采用桩底后注浆, 桩基沉降量很小。

表 1 注浆前后试桩承载力结果表

试验方法	I		II		III(注浆后)		III(注浆前)	
	极限承载力	沉降量	极限承载力	沉降量	极限承载力	沉降量	极限承载力	沉降量
	$Q_{uk}/kN$	$s/mm$	$Q_{uk}/kN$	$s/mm$	$Q_{uk}/kN$	$s/mm$	$Q_{uk}/kN$	$s/mm$
静载法	3 250	11.85	$\geq 3 250$	7.05	$\geq 3 250$	9.08	1 500	42.32
高应变法	3 296		3 511		3 504			

该工程由于采用后注浆技术, 承载力大幅度提高, 工程桩设计减少桩数 20%, 取得了明显的经济效益。

### 5 关于桩底后注浆技术的几点认识

#### (1) 桩承载力的注浆增强效应

桩底后注浆不仅能大幅提高桩端阻力, 而且能提高下部桩身段的侧阻力, 从而使单桩极限承载力大幅提高, 桩底沉渣及土体, 桩周土体均得到加固且能有效弥补桩身缺陷。

#### (2) 注浆量的控制问题

桩底后注浆注浆量(水泥用量)的大小是由桩端、桩侧土类别与状态、桩径、桩长、承载力要求增幅等因素决定的。但注浆量的大小还没有成熟的公式可预先计算, 而是根据上述诸因素估计、经试验确定。笔者认为, 上述诸因素对其影响程度各不相同。承载力增幅要求, 地层条件(地层的可灌性)与桩长对其影响更显著。

#### (3) 桩体强度与最佳注浆时间

因后注浆是通过高压实现的, 这就要求桩身有一定的强度。在桩基设计中桩身砼强度等级比普通桩要高 1~2 个等级, 且不低于 20 MPa。桩底后注浆最佳注浆时间宜在成桩后 10~20 d 之间。因注浆过早, 将会因为桩体强度、桩侧阻力过低而导致浆液溢出地面造成注浆失败; 注浆过晚, 会因桩身泥皮硬化而影响浆液向上泛浆挤入桩周土体而导致浆液向远处流失达不到最佳注浆效果。

### 6 结 语

后注浆技术是近几年来发展的创新技术, 受到广大岩土工程界重视。随着该技术的不断推广应用、完善, 必将发展成为钻、冲、挖孔桩必备的配套技术。

由于地质条件, 成桩工艺的复杂多变, 后注浆技术仍有待进一步发展完善, 如后注浆施工技术, 工艺参数, 后注浆桩承载力估算, 后注浆桩基的优化设计等等。

收稿日期: 1999-01-21

### 《岩土工程技术》1999 年第 2 期勘误表

页	行	误	正
52	7	$A_3 = \frac{E_v}{\phi} n^{\mu_{vh}} (1 + \mu_{vh})$ (4)	$A_3 = \frac{E_v}{\phi} n^{\mu_{vh}} (1 + \mu_{vh})$ (4)
52	23	$\sigma_z = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} 2q_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R_0^2} \right) \dots$ (10)	$\sigma_z = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} 2q_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R_0^2} \right) \dots$ (10)
54	10	$\sigma_z = \int_0^B \frac{4}{3} q_0 \dots$ (19)	$\sigma_z = \int_0^B \frac{3}{4} q_0 \dots$ (19)