

# 桩底注浆对钻孔灌注桩竖向承载性能的影响

吴帅彬<sup>1</sup> 高飞<sup>2</sup>

(1. 中船勘察设计研究院, 上海 200063; 2. 上海岩土工程勘察设计研究院, 上海 200002)

**【摘要】** 依据某工程中采用桩底注浆和没有注浆的 2 根试桩的单桩竖向抗压静荷载试验结果, 通过对基桩的竖向极限承载力性状、桩身轴力传递特性以及桩侧阻力发挥特性和桩端阻力发挥特性的综合分析研究, 揭示了桩底注浆对基桩承载性状的影响情况。

**【关键词】** 钻孔灌注桩; 桩底注浆; 承载性状。

**【中图分类号】** TU 473.11

## Base-grouting Influence Upon the Vertical Bearing Capacity of Bored Piles

Wu Shuaibin Gao Fei

(1. China Shipbuilding Industry Institute of Engineering Investigation & Design, Shanghai 200063;

2 Shanghai Geotechnical Investigation & Design Institute Ltd., Shanghai 200002 China)

**【Abstract】** Based on the results of vertical static loading test of piles in the high-rise building, the influence of base-grouting on the bearing properties of pile is revealed by analyzing its properties of vertical limiting bearing capacity, axial load transmission and tip and shaft resistance of pile, load transfer performance and bearing mechanism is discussed in detail. In the end, a conclusion is deduced that the base-grouting is inevitable development trend of bored piles in Shanghai soft clay area.

**【Key Words】** bored pile; base-grouting pile; bearing performance

### 0 引言

在软土地区建造高层建筑及大跨度厂房、桥梁等普遍采用钻孔灌注桩基础。传统钻孔灌注桩难以彻底解决桩周泥皮和桩底沉渣之顽症, 承载能力难以得到充分发挥<sup>[1]</sup>。因此, 如何提高钻孔桩的侧阻与端阻是工程界迫切需要解决的课题。桩端注浆就是提高桩承载力的有力措施之一。

由于桩和土是不可分割的, 注浆后桩周土层的物理力学特性发生改变, 与之相互作用的桩的承载力也将发生明显的变化, 所以其承载性状与未注浆桩有所不同。本文针对上海地区某工程采用桩底注浆和没有注浆的 2 根试桩的测试结果进行分析, 通过对基桩的竖向极限承载力性状、桩身轴力传递特性以及桩侧阻力发挥特性和桩端阻力发挥特性的综

合分析, 揭示了桩底注浆对基桩承载性状的影响情况。

### 1 工程概况

该工程位于上海市西南部, 采用钻孔灌注桩基础, 试桩所处位置的土层分布及物理力学指标见表 1。

试桩桩长 48.5 m, 桩径 0.9m, 桩顶位于自然地面, 桩端进入第⑦<sub>2</sub> 层粉细砂层。桩体砼强度等级为水下 C35。1<sup>#</sup>试桩为未注浆桩, 2<sup>#</sup>试桩为桩底注浆。桩侧及桩底注浆量均不小于 2 000 kg 水泥, 注浆压力均不小于 2 MPa。

为研究后注浆对基桩的桩身轴力传递规律、桩侧摩阻力和端阻力发挥性状的影响, 在 2 根试桩桩身内的主筋上呈 120° 对称地埋设 3 只钢弦式钢筋应力计, 其埋设截面在各土层层底、桩头和桩端附近。

表 1 地基土的主要物理力学指标

层序	土名	层底埋深/m	比贯入阻力 $p_s$ /MPa	钻孔灌注桩	
				$f_s$ /kPa	$f_p$ /kPa
②	粘土	0.4	1.04	15	
③ <sub>2</sub>	砂质粉土	3.24	2.61	20	

续表

层序	土名	层底埋深/m	比贯入阻力 $p_s$ /MPa	钻孔灌注桩	
				$f_s$ /kPa	$f_{pV}$ /kPa
③ <sub>3</sub>	淤泥质粉质粘土	4.83	0.43	15	
④	淤泥质粘土	8.11	0.41	15	
⑤ <sub>1-1</sub>	淤泥质粉质粘土	11.60	1.02	40	
⑤ <sub>1-2</sub>	粘土夹粉质粘土	22.13	0.72	30	
⑥	粉质粘土	26.99	2.52	60	1 000
⑦ <sub>1</sub>	砂质粉土	31.77	8.80	70	2 000
⑦ <sub>2</sub>	粉细砂	66.02	16.68	80	3 000

## 2 现场试验

试验采用慢速维持荷载法。采用锚桩横梁反力装置,将2台千斤顶并联,以保证其同步加载;用对称安装在桩顶的4只位移传感器量测桩顶沉降;

在每级荷载达到稳定标准时测读钢筋应力计频率值。2根试桩的  $Q-s$  曲线见图1。根据试验数据和现行基桩检测技术规程<sup>[2]</sup>判定的试验结果见表2。

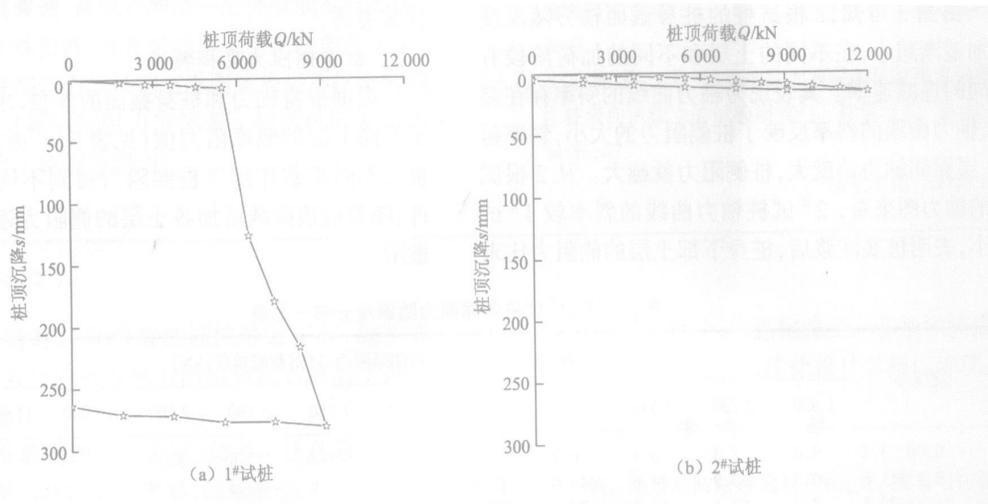


图1 桩顶荷载  $Q$ -沉降量  $s$  关系曲线

表2 试桩静载试验结果汇总表

桩号	最大加载量/kN	桩顶沉降 $s$ /mm	取极限承载力时			
			极限承载力/kN	$s_d$ /mm	端阻力/kN	$n$ /%
1#	9 100	281.79	5 460	7.81	54	1.0
2#	12 000	15.94	> 12 000	15.94	710	6.0

注:  $s_d$  为桩顶对应的沉降量;  $n$  为端阻力占极限荷载比

## 3 测试结果分析

### 3.1 单桩竖向承载力性状分析

由图1可看出,试桩1#  $Q-s$  曲线均具有较明显的拐点,曲线末端出现陡降段。2#试桩的承载力特性由于桩底注浆作用而发生改变,与未注浆的1#试桩相比,其  $Q-s$  曲线的变化趋于平缓。

由表2知,桩底注浆桩的极限承载力远高于没有注浆及桩侧注浆的桩。同没有注浆的1#试桩相比,2#试桩极限承载力由5 460 kN提高到

12 000 kN,增长率为120%。桩端阻力占极限承载力的比例明显增大。由此可知,对于长桩,桩底注浆后桩的承载力特别是端阻力得到较大幅度的提高,桩端阻力能够得到发挥并且占桩的承载力不可忽视的部分,桩的承载性状发生明显的改善。

### 3.2 桩身轴力传递特征

根据应力计在各级荷载作用下的实测频率,结合其率定曲线,求取桩身各截面轴力值,绘制桩身截面轴力沿深度分布图(见图2)。

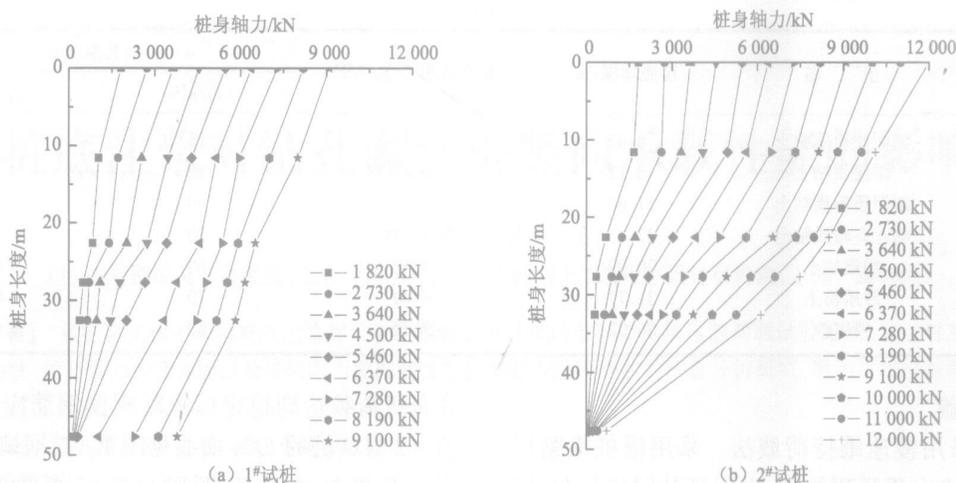


图2 1#、2#试桩桩身截面轴力分布图

由图2可知,2根试桩的桩身截面轴力随深度增加逐渐减小,在不同的土层和不同的加荷阶段有不同的递减速率。其表现为轴力曲线的斜率存在差异,轴力曲线的斜率反映了桩侧阻力的大小,斜率越小,层面间轴力差就大,桩侧阻力就越大。从2根试桩的轴力图来看,2#试桩轴力曲线的斜率较1#试桩小,表明桩底注浆后,桩身下部土层的侧阻力比未

注浆要高。

### 3.3 桩身侧阻力发挥特性

根据桩身轴力和桩身截面的参数,求得基桩位于不同土层的侧摩阻力值(见表3)。由表3可知,桩在不同荷载作用下桩侧阻力得到不同程度的发挥,随着桩顶荷载增加各土层的侧阻力逐渐发挥至极限。

表3 1#、2#试桩侧摩阻力随深度分布一览表

试桩号	埋深/m	各级荷载作用时的桩侧摩阻力/kPa(荷载单位:kN)											
		1 820	2 730	3 640	4 550	5 460	6 370	7 280	8 190	9 100	10 000	11 000	12 000
1#	0.00~3.4	9.0	7.3	6.4	6.2	9.0	12.2	45.2	53.8	52.0			
	3.4~11.6	30.0	40.9	44.6	44.6	47.0	47.7	38.6	28.6	25.9			
	11.6~22.6	7.0	10.1	17.0	23.4	28.1	18.6	19.0	35.1	47.7			
	22.6~27.7	23.2	49.0	64.9	66.5	52.7	55.0	39.2	25.8	24.7			
	27.7~32.6	8.0	4.0	8.5	23.5	46.6	32.7	24.2	26.7	23.8			
	32.6~47.6	6.0	11.0	18.0	28.0	40.0	54.0	51.0	48.0	48.0			
2#	0~11.23	156	106	323	462	509	761	812	864	951	1 200	1 372	1 876
	11.23~22.23	985	1 378	1 607	1 770	1 921	1 770	1 802	1 726	1 615	1 461	1 655	1 617
	22.23~27.13	339	365	554	658	858	1 043	1 255	1 516	1 623	1 586	1 361	1 021
	27.13~31.93	41	245	257	337	388	570	752	932	1 163	1 332	1 354	1 373
	31.93~39.30	187	400	550	818	1 074	1 256	1 430	1 615	1 933	2 215	2 546	2 899
	39.30~47.80	86	197	296	431	609	829	1 062	1 329	1 503	1 878	2 321	2 504

由表3可知,桩底注浆的影响显著,侧阻力有明显提高。

### 3.4 桩端阻力发挥特性

桩端阻力与桩端位移关系见表4。由表4可知,桩端阻力随桩端位移的变化形态大致相同。对于相同的桩端位移注浆桩的端阻力发挥值远大于未注浆,并且只需较小的桩端位移就能发挥较大的桩端阻力,桩顶荷载达到极限时2#试桩端承载力值远大于1#试桩。

表4 端阻力随桩端位移变化一览表

桩顶荷载/kN	1#试桩		2#试桩	
	桩端阻力/kN	桩端沉降/mm	桩端阻力/kN	桩端沉降/mm
1 820	10	0.17	27	0.03
2 730	10	0.29	40	0.05
3 640	10	0.46	53	0.17
4 550	10	0.73	74	0.22
5 460	54	1.29	100	0.29
6 370	770	115.51	140	0.40
7 280			167	0.51

续表

桩顶荷载 /kN	1 <sup>#</sup> 试桩		2 <sup>#</sup> 试桩	
	桩端阻力 /kN	桩端沉降 /mm	桩端阻力 /kN	桩端沉降 /mm
8 190	2 792	197. 81	207	0. 64
9 100	3 449	259. 34	311	0. 75
10 000			328	0. 91
11 000			392	1. 47
12 000			710	2. 31

#### 4 桩底注浆对基桩承载性状的影响分析

当采用桩底后注浆后,一方面,水泥浆挤入沉渣,产生劈裂和挤密效应,提高沉渣的强度和变形模量;另一方面,在注浆压力作用下,桩端土体结构产生破坏和扰动,使土体中原有的裂隙或孔隙张开,水泥浆液沿其渗透,使原来的单一土体变成复合土体,提高桩端土体密度,并在桩端形成树根状的扩大头,从而提高桩端阻力。桩端支承刚度提高不仅影响端阻力值,而且影响侧阻力发挥值。桩端极限阻力的提高幅度大于桩侧摩阻力<sup>[3]</sup>。

(上接第 289 页)

体,在其关键部位采用微型桩抗滑键工程,施工方便,可以有效地防治五峰山滑坡和泥石流对下部居民区的威胁。

整个滑坡治理设计方案,体现了优化设计的思路。根据最后防治的效果看,效果颇佳。

#### 4 结 论

长江三峡及其沿岸城镇因地理位置特殊而使其边坡治理呈现复杂特性。在长期的临空卸荷和地下水的影响下,软岩边坡和滑坡在此大量分布,对于它们的治理,必须因地制宜,采取不同的措施,或几种措施兼用,以求达到最佳效果。一般来说,对于小规模的堆积滑坡,宜采用墙高不是很大的挡土墙处理,施工时只要做好排水措施,效果就不错;而对于大中型的滑坡,特别是岩质滑坡,采用抗滑桩或预应力锚索抗滑桩等处理措施效果就比较好;对那些地形复杂、坡度陡缓不一、新老滑坡共存、规模巨大的组合滑坡体,则应综合治理。总之,滑坡优化设计应做到以下几点<sup>[8]</sup>:①正确认识滑坡,分析滑坡的滑动机理,以预防为主、及时治理为原则。②全面规划,分期综合治理。③技术可行,经济合理,科学管理。

#### 5 结 论

1) 未注浆桩的竖向极限承载力明显低于桩底注浆桩,这说明对于钻孔灌注桩不能因为在设计荷载作用下端阻力所占份额极小而放宽对桩端沉渣的控制标准和对桩端持力层的要求。

2) 通过桩底后注浆,桩侧摩阻力及端承载力均有较明显的提高,改善了基桩的承载性状,桩顶沉降明显减小。作为高层建筑物和复杂地质条件下的基础,具有较高的推广应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 季沧江. 上海地区钻孔灌注桩的未来[J]. 上海地质, 1999, 20(2): 19-21.
- [2] 中华人民共和国建设部. JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 沈晓梅, 高 飞. 软土地区大直径超长后注浆钻孔灌注桩竖向承载力的试验研究[J]. 建筑结构, 2006(4): 34-36; 67.

收稿日期: 2006-09-20

④动态设计、优化设计, 信息化施工。⑤加强抗滑措施的后期维护。做好这些, 优化设计才得以体现。

#### 参 考 文 献

- [1] 邓 钦. 滑坡的防治理论与实践[J]. 灾害与防治工程, 2006(1): 50-54.
- [2] 陈 戈. 预应力锚索桩和地梁的内力计算方法及其工程应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2003.
- [3] 刘新荣, 梁宁慧. 抗滑桩在边坡工程中的研究进展及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006(1): 56-61.
- [4] 戴自航, 沈蒲生. 抗滑桩内力计算悬臂桩法的改进[J]. 湖南大学学报, 2003(3): 81-85.
- [5] 何思明, 田金昌. 预应力锚索抗滑挡墙设计理论研究[J]. 四川大学学报, 2005(3): 10-14.
- [6] 张世领, 金世泽. 预应力锚索桩在治理滑坡应用中的几个力学问题[J]. 路基工程, 2003(6): 9-11.
- [7] 殷跃平, 康宏达. 三峡库区云阳五峰山滑坡防治工程方案研究[J]. 水文地质工程地质, 2003(6): 25-29.
- [8] 王恭先. 滑坡防治中的关键技术及其处理方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 11(21): 3818-3827.

收稿日期: 2006-08-25