

文章编号: 1002-0268 (2004) 05-0070-04

超长大直径桥桩的压浆效果研究

黄生根^{1,3}, 王 辉², 张晓炜², 龚维明¹, 慕红勋⁴

(1. 东南大学土木工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 河南省交通规划勘察设计院, 河南 郑州 450052;
3. 中国地质大学, 湖北 武汉 430030; 4. 河南省公路局, 河南 郑州 450000)

摘要: 新郑黄河公路特大桥 6 根试桩采用自平衡测试法进行静载荷试验。根据压浆前后及不同压浆方式得到的测试数据进行分析, 钻孔灌注桩经压浆后, 承载特性得到明显改善, 且桩端与桩侧压浆并不是独立作用的, 无论是桩侧压浆还是桩端压浆, 均会改善整个桩土体系的承载特性。分析时, 对无明显拐点的曲线采用双曲线函数进行拟合, 并取 $s = 15\text{mm}$ 进行比较, 进行侧压浆后, 上段桩的平均摩阻力提高 $100\% \sim 104\%$, 下段桩平均摩阻力采用等效的原桩身表面积进行计算, 提高幅度分别达 6.9 倍和 5.4 倍, 端阻力提高 $38\% \sim 45\%$ 。另外, 压浆量存在一个合理的数值。
关键词: 自平衡测试法; 后压浆; 摩阻力; 端阻力
中图分类号: TU473.1⁺1 **文献标识码:** A

Study on the Grouting Effects of Super Long Large Diameter Bridge Piles

HUANG Sheng-gen^{1,3}, WANG Hui², ZHANG Xiao-wei², GONG Wei-ming¹, MU Hong-xun⁴

(1 College of Civil Engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China;
2 Henan Provincial Communication Planning Surveying and Design Institute, Henan Zhengzhou 450052 China;
3. China University of Geosciences Hubei Wuhan 430074 China;
4. Henan Road Management Bureau, Henan Zhengzhou 450000 China)

Abstract: Static load tests were carried out with Osterberg method on six large diameter bored piles formed in Xin-zhen Yellow river bridge. In this paper, the test results from six piles were systematically processed in order to study the load transfer mechanism before and after grouting and the effects in different grouting methods. According to the analysis results, the bearing behavior were improved apparently despite base grouting or shaft grouted. In the process of analyzing the effect of grouting, hyperbolic models were fitted well with the τ - s curves, and displacement of 15mm was taken for comparison. According to the test results, after shaft grouting, the average skin friction of upper shafts was increased by $100\% \sim 104\%$, the average skin friction of lower shafts was increased by 5.4~6.9 times, and the base bearing increased by $38\% \sim 45\%$. In addition, the grouting quantity has a reasonable value.
Key words: Osterberg method; Post grouting; Skin friction; Base bearing

1 工程概况

新郑黄河公路特大桥桥长 9 848m, 是京珠国道主干线新乡至郑州段内一特大型桥梁。该桥主桥采用 $(11 \times 100\text{m})$ 下承式无风撑钢管混凝土土系杆拱结构型式, 引桥采用 35m 和 50m 跨预应力混凝土简支 T 型梁结构, 下部采用钻孔灌注桩基础。
试桩处于同一场地, 桩径 2.2m, 桩长 62m, 采

用后压浆技术。为检验后压浆在大直径桥梁桩基础中的实际应用效果, 6 根试桩分三批进行: 第一批试桩 Z2、Z3 (未压浆); 第二批试桩 Z1 (桩底、桩侧同时压浆) 和试桩 Z4 (桩底压浆); 第三批试桩 Z2、Z3 (桩侧压浆) 和试桩 Z5 (桩底压浆) 和试桩 Z6 (桩底、桩侧同时压浆), 以确定压浆前后及不同压浆方式的单桩极限承载力。
6 根试桩位于黄河特大桥 130[#]墩与 131[#]墩之间,

地层分布见表 1，压浆量及侧压管布置见表 2。

2 静载荷试验

2.1 试验方法及原理

本次试桩采用自平衡测试法，自平衡测试法（即 Osterberg 法）是利用预埋在桩身的荷载箱进行钻孔桩

地层分布表

表 1

层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	岩性特征
①	83.80 ~86.57	4.20 ~6.50	4.20 ~6.50	亚砂土：黄色、黄褐色，硬塑。 地表为耕土。
②	72.77 ~72.80	17.50 ~18.00	11.00 ~13.80	亚粘土或粉砂： 黄-黄灰色，局部夹细砂薄层， 软塑或松散。
③	47.77 ~58.30	32.00 ~43.00	14.50 ~25.00	中砂：深灰色，局部含细砂、 砾石，层底为粗砂，中密-密实。
④	45.77 ~54.30	36.00 ~45.00	2.00 ~4.00	粘土或亚粘土： 黄褐色、杂灰绿，硬塑。
⑤	23.30 ~32.77	58.00 ~70.40	13.00 ~31.00	细砂或中砂：黄色-灰色， 局部夹中砂或细砂薄层，密实。
⑥	19.80 ~28.77	62.00 ~70.50	3.50 ~4.00	亚粘土：黄褐色、 杂灰绿色，硬塑。
⑦	19.80 ~28.77 以下	最大钻孔 深度 70.50	揭露层厚 0~8.50	细砂：褐黄色，密实。

压浆量及侧压管布置表					表 2	
桩号	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
压浆量	桩侧	2	4.4	4	0	0
(t)	桩端	3.2	0	0	3.5	5.2
侧压浆管离桩顶	25、37、	25、37、	25、37、			25、37、
距离(m)	49	49、61	49、61			49

静载试验的方法，可确定桩的承载力和划分桩侧摩阻力与桩端阻力。由于巧妙地利用所测桩自身的反力来平衡加载力，省去了传统静压试验方法中庞大笨重的加载装置，显著提高了测试技术的效率和精度。试验时，在地面通过液压泵对荷载箱内腔施加压力，将箱盖与箱底推开，从而调动桩周土的摩阻力与端阻力，直至破坏。其测试原理见图 1。

荷载箱位置：①试桩 Z1、Z6 的荷载箱离桩底距离 14.5m；②试桩 Z2、Z3、Z4、Z5 的荷载箱离桩底距离 10m。

试验采用慢速维持荷载法，每级加载值为极限承载力的 1/15，第一级按 2 倍荷载分级加载。

2.2 试验结果

(1) 压浆前的静载荷试验结果

试桩 2 及试桩 3 进行了压浆前的静载荷试验，试验结果见图 2，图中纵坐标的上部代表荷载箱向上的位移，下部代表荷载箱向下的位移。

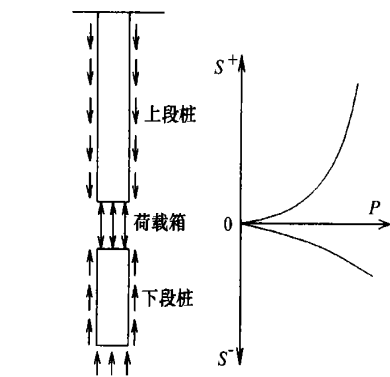


图 1 测试原理图

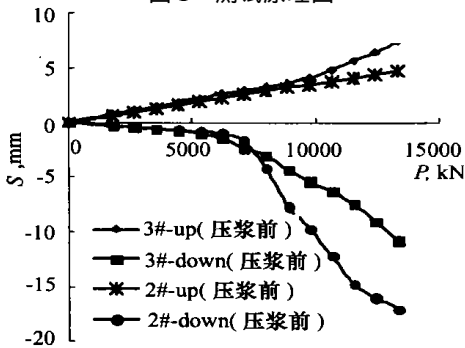


图 2 压浆前的自平衡静载试验曲线

(2) 压浆后的静载荷试验结果

由自平衡测试法得到的上段桩荷载-位移曲线及下段桩的荷载-位移曲线见图 3。

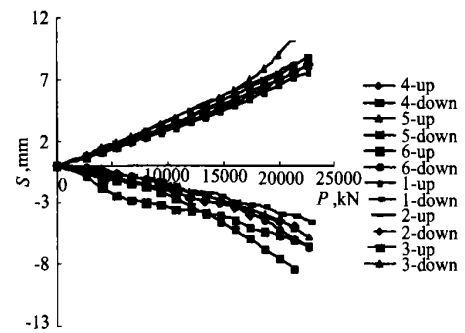


图 3 压浆后的自平衡静载试验曲线

(3) 自平衡静载试验的转换曲线

根据图 3，经转换得到桩顶荷载-沉降关系曲线^[1,2]，见图 4。

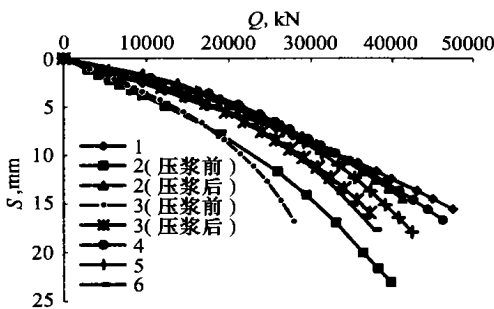


图 4 桩顶荷载-沉降关系曲线

3 压浆效果分析

3.1 压浆前后桩的承载特性

自平衡测试中, 荷载箱对上段桩施加一向上的荷载, 上部桩身产生向上的位移, 使桩周土产生向下的侧摩阻力(负摩阻力)。荷载箱对下段桩施加一向下的荷载, 使下段桩产生向下的位移, 从而使下段桩的桩周土产生向上的侧阻力、桩端产生向上的端阻力。为比较压浆前后桩的承载特性, 对上段桩, 取平均摩阻力与平均桩土位移的关系进行分析, 见图 5。对下段桩, 结合桩身埋设的钢筋计的测试结果, 分别得出桩端阻力与位移关系及桩侧摩阻力与平均位移关系, 见图 6。

由图 5, 取 $S=15\text{mm}$ 进行比较, Z2 压浆前后桩的平均摩阻力分别为 57kPa 、 114kPa , 提高幅度为 100% ; Z3 压浆前后桩的平均摩阻力分别为 51kPa 、 104kPa , 提高幅度为 104% 。说明进行侧压浆后, 上段桩的平均摩阻力提高明显, 且离散性小。

由图 6 (a), 压浆前下段桩平均摩阻力极限值分别为 55.6kPa 、 53.09kPa , 压浆后下段桩平均摩阻力极限值 ($S=15\text{mm}$) 分别为 437kPa 、 342kPa , 提高幅度分别达 6.9 倍和 5.4 倍。实际上, 该数值并不表示桩土间的真实摩阻力, 由于 Z2、Z3 桩下端 10m 基本处于中细砂中, 土层具有较好的渗透性, 形成的结石体强度高, 大大提高了桩侧的作用表面积和桩土间的结合强度, 由于无法确定实际桩侧的作用表面积的大小, 只能采用等效的原桩身表面积进行计算, 导致其摩阻力达到很高的数值。

由图 6 (b), Z2 桩压浆前后桩端阻力分别为 2046kPa 、 2958.58kPa , 提高幅度为 45% , Z3 桩压浆前后桩端极限值分别为 2088kPa 、 2873.56kPa , 提高幅度为 38% 。由于 Z2、Z3 最下一根侧压管离桩端仅 1m , 桩端的强度亦受到明显影响。

3.2 不同压浆方式的效果对比

图 7 为实测的上段桩摩阻力-平均位移曲线及其双曲线拟合曲线, 图 8 为下段桩摩阻力-平均位移曲线、端阻力-位移曲线及其拟合曲线。为便于分析, 近似取 $S=15\text{mm}$ 对应的摩阻力作为摩阻力极限值, 取 $S=15\text{mm}$ 对应的端阻力作为桩端阻力的比较值。

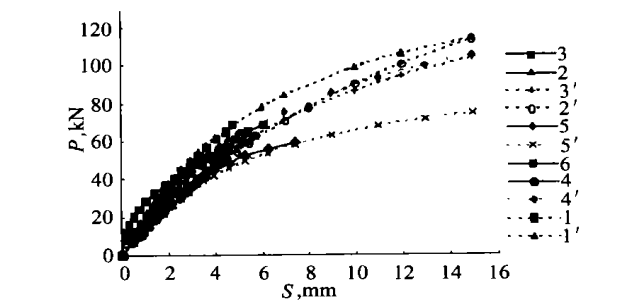


图 7 不同压浆方式桩侧摩阻力与平均位移关系对比 (上段桩)

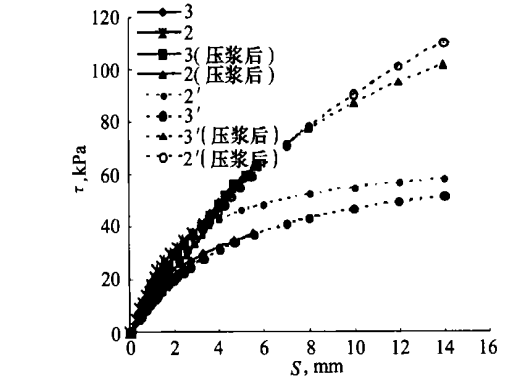
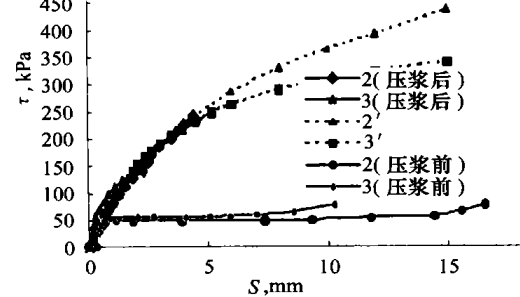
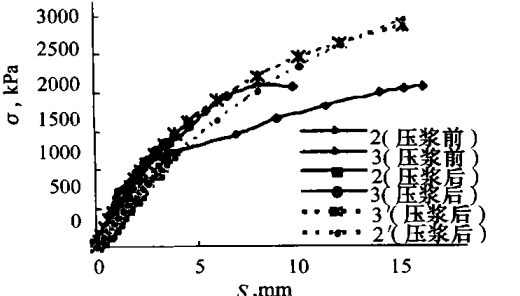


图 5 上段桩平均摩阻力与平均桩土位移的关系



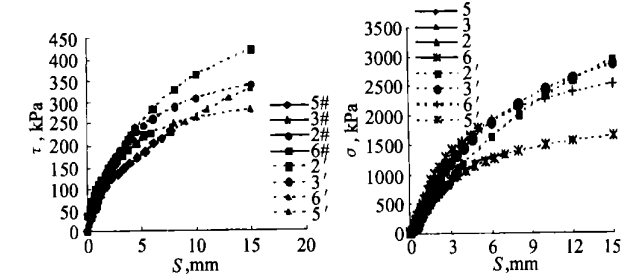
(a) 下段桩平均摩阻力与平均桩土位移关系曲线



(b) 桩端阻力与位移关系曲线

图 6 下段桩的承载特性曲线

由于各桩上下桩段的相对位移差别较大且大部分未达到极限, 为便于分析, 对无明显拐点的曲线, 采用双曲线函数进行拟合, 见图 5、图 6, 并近似取 $S=15\text{mm}$ 对应的摩阻力作为摩阻力极限值。



(a) 桩侧摩阻力与平均位移关系曲线 (b) 桩端阻力与位移关系曲线

图 8 不同压浆方式的承载特性曲线 (下段桩)

由图 7、图 8，各桩的桩侧摩阻力及端阻力（ $S=15\text{mm}$ ）见表 3。

各桩的桩侧摩阻力及端阻力 表 3						
桩号	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
摩阻力 上段桩	114.5	114	104	105	74	105
(kPa) 下段桩		437.3	342		333	284.7
桩端阻力 (kPa)		2958.58	2873.56		1657.46	2533.78

由上述数据，可知如下规律：（1）与压浆前的数据相比，各种压浆方式的桩身上段、下段的摩阻力均有不同程度的提高。（2）不同压浆方式对整个桩身的影响并未表现出明显差异。说明无论是桩侧压浆、桩端压浆还是桩侧压浆桩端联合压浆，均对整个桩长范围的摩阻力具有增强效应。图 7 中，Z5 的上段桩极限摩阻力低于其它桩，但同样采用桩端压浆的 Z4 桩，其摩阻力却与 Z1、Z2、Z3、Z6 相当；桩侧、桩端压浆的 Z1 桩，其上段桩的极限摩阻力为最大，而下段桩的极限摩阻力却最低。（3）桩端压浆对整个桩身摩阻力的影响明显。（4）压浆量存在一个合理的数值，并不是越大越好。Z6 桩压浆量最大，其承载特性却并不比压浆量最小的 Z4 桩好。（5）从承载特性比较，桩侧压浆的总体效果较好，离散性相对要好。

综上所述，桩端与桩侧压浆并不是独立作用的，无论是桩侧压浆还是桩端压浆，均会改善整个桩土体系的承载特性，这与文献 [3] 中的结论是一致的。其原因目前尚不清楚，可能与水泥浆对桩土体系的改善有关。由于本区域地层可灌性较差，桩端压浆时，扩散距离有限，而桩土界面附着的泥皮由于强度低，成为水泥浆液扩散的通道，一部分浆液往上渗透，在向上运动的过程中破坏泥皮结构，充填于桩土界面并

有一定的挤密作用，从而改善桩土界面及桩周一定范围内土的性质，提高了桩侧摩阻力。另外，根据有关试验和研究成果，桩端土层的应力状态对桩周摩阻力的发挥会产生较大的影响^[4,5]，桩端土层强度越高，桩侧摩阻力的数值相应越大。

4 结论

（1）钻孔灌注桩经压浆后，承载特性得到明显改善。进行侧压浆后，取 $S=15\text{mm}$ 进行比较，上段桩的平均摩阻力提高 $100\% \sim 104\%$ ，后下段桩平均摩阻力采用等效的原桩身表面积进行计算，提高幅度分别达 6.9 倍和 5.4 倍。

（2）不同压浆方式对整个桩身的影响并未表现出明显差异。

（3）桩端与桩侧压浆并不是独立作用的，无论是桩侧压浆还是桩端压浆，均会改善整个桩土体系的承载特性。

（4）压浆量存在一个合理的数值，并不是越大越好。

参考文献:

[1] 龚维明, 戴国亮, 蒋永生, 等. 桩自平衡测试理论与实践 [J]. 建筑结构学报, 2002 (1).

[2] 东南大学土木工程学院. 新郑黄河公路特大桥自平衡静荷载试验测试报告 [R]. 2001.

[3] 黄生根, 曹辉. 后压浆技术对钻孔灌注桩承载特性的影响 [J]. 建筑技术, 2002, 33 (3).

[4] 刘俊龙. 桩底沉渣对超长直径钻孔灌注桩承载力影响的试验研究 [J]. 工程勘察, 2000 (3).

[5] 施峰. 人工挖孔扩底桩承载力研究 [J]. 工程勘察, 1999 (3).

(上接第 66 页)

3 结论

（1）通过实验验证，用变分法分析预应力钢-混凝土组合梁的剪力滞是可靠的。

（2）笔者计算了图 2 所示结构 T 梁混凝土翼缘的有效宽度为 70cm，施加预应力后为 68cm，根据 EC. 4Part2 (1997)^[4] 有效宽度计算公式 $b = b_0 + \sum b_{ei}$ 计算的有效宽度为 58cm，施加预应力后虽然有效宽度略微减小，但仍不超过 EC. 4Part2 的计算结果。

（3）对于钢-混凝土组合简支梁或预应力钢-混凝土简支梁，当利用弯矩曲率法进行计算时，应计及剪力滞效应的影响，可以按照 EC. 4Part2 计算有效宽度。

参考文献:

[1] 张士铎, 邓小华, 王文州. 箱形薄壁梁剪力滞效应 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[2] 范立础. 桥梁工程 (上) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[3] 郭金琼. 箱形梁设计理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.

[4] 房贞政. 无粘结与部分预应力结构 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.