

苏通大桥二期试桩后压浆的施工及效果检测

徐家明¹, 李兆琴¹, 方宏²

(1. 江苏省地质工程有限公司, 江苏 南京 210018; 2. 江苏省地质工程勘察院, 江苏 南京 210012)

摘要:随着高层建筑和大型桥梁的兴建, 钻孔灌注桩在工程中已得到了极为广泛的应用。但是, 钻孔灌注桩的固有缺陷, 例如孔底沉渣、孔壁泥浆、端阻力、侧阻力发挥不同步等, 限制了其承载力的发挥并且沉降较大。由此, 钻孔灌注桩压力注浆技术应运而生, 并被逐渐应用于工程实践中。所以, 对桩的后压浆施工工艺、受力机理等技术问题进行研究是非常重要的。在国内外现有的理论研究和工程应用基础上, 通过对苏通大桥Ⅱ期的试桩工程施工, 详细阐述了桩端后压浆技术的具体应用。同时, 利用钻孔取心及 CT 检测技术分析后压浆的施工效果。

关键词:后压浆; 钻孔取心; CT 检测; 压浆管; 苏通大桥; 江苏

中图分类号: TU 473.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-3636(2010)01-0079-05

1 工程概述及工程地质条件

1.1 工程概述

苏通大桥主桥跨越长江口南通河段, 全长 2 088m, 采用主跨 1 088m 的斜拉桥, 实现了斜拉桥的千米跨越, 位居世界第一。苏通大桥二期试桩选在南岸与主塔地质条件相似的引桥 93 号墩附近, 共 3 根, 桩径 2.5m, 桩长 106m、125m, 分布在桥轴线的上游、下游两侧。首先进行 6 根工艺孔的研究, 并利用其中的 3 个工艺孔作压浆研究(2 根 U 管、1 根直管), 最后进行 3 根正式试桩的施工、压浆和自平衡试桩法试验, 同时选择 3 根桩做压浆效果检测。

1.2 工程地质条件

本次工程地质属第四系全新统冲海积层及上更新统冲积层。岩性以滨海相、河口相粘性土、砂土为主。依据地基土的地质年代、成因、岩性、分布规律和物理力学性质, 将地基土分为 22 个工程地质层、亚层。各层主要特征如下。

全新统(Q_4)分为 4 层(1 层~4 层): 1 层为北侧上部的粉砂或亚粘土夹粉砂, 又细分为 3 个亚层。2 层为南侧上部的亚粘土“硬壳层”。3 层为南侧上部的淤泥质亚粘土或粉砂夹层, 分 2 个亚层。4 层

为底部的亚粘土或亚粘土与粉砂互层。

上更新统(Q_3)分为 4 层(5 层~8 层): 5 层以粉砂为主, 局部为亚粘土, 分为 2 个亚层。6 层含砾粗砂, 局部为细砂, 又分为 2 个亚层。7 层为细砂、粉砂。8 层为含砾粗砂夹细砂, 且细砂夹透镜体状亚粘土, 分为 2 个亚层。

中更新统(Q_2)分为 7 层(9 层~15 层): 岩性为粉砂、细砂层及粘性土。

下更新统(Q_1)、上第三系(N)顶板埋深在 200m 以上, 粗略分为 7 个工程地质层(16 层~22 层): 16 层~22 层工程地质层为下更新统及上第三系沉积物, 下更新统以砂层为主, 局部夹粘性土; 上第三系为半胶结状粘土、砂土为主, 底部揭露玄武岩。

2 苏通大桥二期试桩工程桩端后压浆施工

在苏通大桥二期试桩工程中, 第一阶段在 3 根工艺桩上分别采用 U 型管和直管二种工艺, 对桩端压浆进行可行性研究, 为压浆施工设备的选择、泥浆配比方案、压浆配方、合理压浆量、压浆压力和施工工艺的改进提供重要依据。第二阶段是在 3 根工艺桩施工的基础上, 在 U 型管和直管二种注浆方法中选择一种简单易行又能保证质量的施工工艺, 并将

选择的确实可行的施工工艺应用到 3 根试桩上。下面阐述最终的试桩后压浆施工方案。

试桩除安装注浆器外,为了便于检测桩端压浆效果,在桩成孔后,随钢筋笼还要预留桩端压浆效果检测管。该检测管主要用于桩底水泥压浆实物检测和 CT 检测。试桩桩端压浆施工程序见图 1。

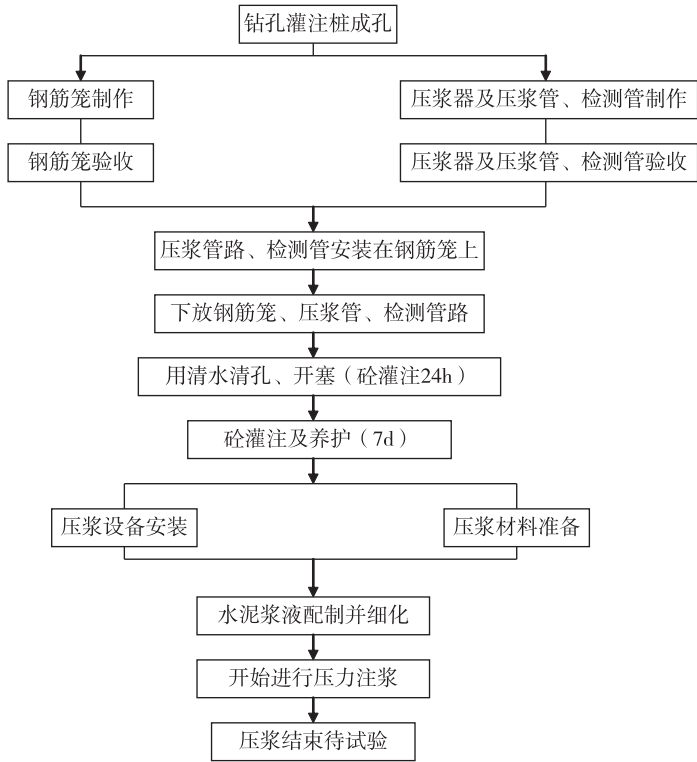


图 1 桩底压浆施工程序图

2.1 施工情况

根据工艺桩桩端压浆效果的对比与分析,本次试桩桩端压浆选用 U 形管施工,每根桩安装 4 组 U 形管注浆器。按照工艺桩桩端压浆工艺流程,其施工程序分成两部分,第一为注浆器、检测管的安装预埋;第二为桩底压浆。

2.1.1 注浆器、检测管预埋 本次试桩桩端压浆采用 U 形管,它由两根竖向的导浆管和下部的 U 形注浆器连接而成,材料均采用 $\phi 33.5 \times 6.5$ 钢管制作。每根桩安装 4 组,均匀分布(图 2)。与此同时还要安装 1 根检测管,检测管底部用铁板封死,材料采用 $\phi 127 \times 4$ 钢管制作。

在钻孔成孔后,注浆器和检测管同时随钢筋笼下入孔中。注浆器和检测管预先固定在钢筋笼上,节与节之间采用焊接。在安装导浆管时,每下一节在导浆管内注入清水检查焊接的密封性,若出现渗漏现象,应及时处理。

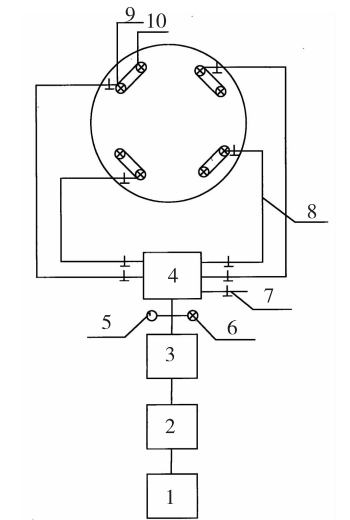


图 2 压浆管路设置平面示意图

- 1-搅拌机;2-储浆桶;3-注浆泵;
4-分浆器;5-压力表;6-溢流阀;7-球阀;
8-高压胶管;9-进浆管;10-回浆管

在安装过程中,不得强行扭转、墩放,确保了注浆管路和检测管不被人为损坏。

2.1.2 桩端压浆 桩端压浆分两步进行,第一步是开塞,第二步是压浆。

① 开塞:开塞是在桩砼浇筑完成后 24h ~ 48h 进行的。开塞是用清水压注,在清水压注过程中,压力突然下降,说明注浆器已打开。

② 压浆:A. 水泥浆配制方法:本次试桩和工艺桩一样定为:水:水泥:减水剂:膨胀剂:膨润土 = 1:0.5:0.006:0.02:0.05,水泥浆液性能指标见表 1。

表 1 水泥浆液性能指标

设计强度	R7≥7MPa
稠度	17s ~ 18s
泌水率	<2%
膨胀率	<10%

现场水泥浆配制程序:先放水,再加外加剂搅均,最后加水泥。每盘浆搅拌时间大约在 2min 以上,使浆液保持良好的流动性。在浆液进储浆桶时,经过 16 目网布 2 次过滤,主要是防止杂物堵塞注浆器而影响压浆。

B. 桩端压浆:桩端压浆在桩灌注混凝土完成 3d ~ 7d 以后进行,根据以往经验,此时混凝土强度已达到 75%。也可根据实际情况,待桩的声测工作结束后进行。

压浆控制:本次试桩压浆试验实行注浆量和压力双控制。基本以注浆量控制为主,注浆压力控制为辅。本次试桩注浆量均达到 8t 以上,注浆压力在 6MPa 左右。

注浆方式和注浆量分配:注浆分 3 次循环,每一循环采用均匀间隔跳压。

第一次循环注浆量水泥用量控制在 3t 左右,第

二次循环注浆量水泥用量仍控制在 3t 左右,第三次循环注浆量水泥用量控制在 2t 左右。

压浆等待时间:每根压浆管压完浆后,用清水清洗压浆管管路,等待下次压浆(最后一次压完浆后不需清洗)。第二次循环与第一次循环之间等待时间 3h 左右;第三次循环与第二次循环之间等待时间 4h 左右。

2.2 施工总结

① 通过工艺桩试验到试桩施工,在超大直径(桩径 2.5m)、超长桩(桩长 125m)的情况下,水泥浆液都能在压浆泵的作用下,通过导浆管、注浆器顺利压入桩底沉渣和地层中,这说明该方法可应用于桥桩施工。

② 通过试验证明桩底压浆使用设备少,施工工艺简单、易行,可推广应用。

③ 桩底压浆建议:在工程桩施工时要认真记录好压浆起止时间、注入的浆量、注浆压力以及测量桩上抬量,以保证压浆质量。由于桩底压浆是在高压状态下完成的,要注意施工安全,严格按设计要求施工。

3 桩端后压浆效果检测

3.1 取心检测

选择以钻探为主,并配合室内岩土测试和标准贯入实验,了解桩体压浆后水泥浆体的空间分布状况及其相关物理力学指标。在压浆 28d 后,通过钻探来检测各试桩不同位置检测孔中水泥浆的入侵深度,本次检测每根桩布置了 5 个检测钻孔,其中 1 个预留孔。另外,为检测桩周不同半径范围内水泥浆注浆效果,在距桩周 0.5m、1.0m、2.0m、4.0m 处各布置了 1 个钻孔,检测结果详见表 2。从表 2 中可以看出,各桩相同范围内水泥浆侵入的深度差异是比较大的。

表 2 水泥浆入侵厚度

影响范围	工艺桩	试桩(SZ3)	工艺桩	试桩(SZ2)	工艺桩	试桩(SZ4)
桩内孔	3.90	8.59	3.90	4.40	4.50	5.60
桩周 0.5m 孔	3.20	9.72		7.20	9.38	
桩周 1.0m 孔	4.00	11.65		3.70	3.94	
桩周 2.0m 孔	9.80	11.65		5.10	7.50	
桩周 4.0m 孔	1.60			1.80	6.70	

注:单位 m

3.2 CT 检测

3.2.1 电磁波 CT 层析成像技术 高频电磁波在介质中传播时,其能量将产生衰减。介质物性不同,其对高频电磁波的吸收也不一样,不同介质对高频电磁波的吸收强弱可用介质的吸收系数表示,因为介质的吸收系数反映了介质的物性。电磁波 CT 层析成像是采用电磁波传播路径中介质吸收系数或电压衰减系数作为物探的参量,采用井间跨孔观测方式,通过计算分析介质吸收系数的大小来描述不同物性介质的空间分布情况。因为电磁波工作频率高,能反映小尺度的介质异常,所以通常采用探测精细结构。但其能量的衰减快,传播距离短。在钢管中存在电磁波的屏蔽,无法探测。

3.2.2 超声波 CT 层析成像技术 根据波动理论,描述介质的物理参数如泊松比、弹性参量、密度等,可以通过测试其纵波速度、横波速度计算出来,即速度是一个能反映介质物理性质的重要参量。工程勘察中对岩体的测试,通常是利用声波测试,即通过测试超声波在岩体中的传播速度来分析岩体的完整程度、进行岩体分类等。超声波 CT 层析成像是采用超声波在介质中传播速度作为参量,采用井间跨孔观测,通过计算分析超声波速度的空间分布结构来描述介质的空间分布特征。相对来讲,超声波 CT 层析成像能反映较大距离范围内较小尺度的异

常体。
苏通大桥二期试桩压浆效果 CT 检测共实现 4 根桩的电磁波和超声波 CT 层析成像测试。通过检测可以得出以下结论。

- ① 大部分剖面显示,水泥浆可达桩底一般 2m ~ 5m,外扩 1m ~ 3m,形成不规则扩大头。
- ② 检测的几根试桩注浆效果较为理想,总体形成自桩底向下 2m ~ 5m,向外扩 1m ~ 3m 的水泥扩大头。
- ③ U 型管压浆效果优于直管。U 管压浆可控性好,可自由控制压浆间隔时间,实现多次循环压浆,有效控制浆液扩散范围,提高了浆液的效用,浆液在桩端附近更集中。直管压浆一次压完,浆液扩散不均匀。
- ④ 在中粗砂或含砾中粗砂中容易压浆并固结,而在粉质细砂土及亚粘土层中难以压浆固结。
- ⑤ 浆液沿桩侧上返至桩端上 10m ~ 15m 高度,固化桩侧泥皮。

3.3 采用自平衡试桩静载试验法

本次试桩通过改进施工工艺,实现了消除孔底沉渣的目标。3 根试桩采用 U 形管和直管两种方案,取得了很好的效果。静载试验采用自平衡试桩法,取得了完整的试验数据(表 3)。

表 3 桩顶承载力及提高幅度

桩号	压浆量/t	压浆前桩顶荷载预估值/kN	压浆前桩顶荷载实测值/kN	压浆后桩顶荷载/kN	提高值/kN	提高比例/%
SZ2	8.6	66 767		100 274	29 714	50.18
SZ3	11.0	61 789		99 858	34 957	61.60
SZ4	9.0		59 638	87 690	28 052	47.00

压浆后,端阻力大幅提高。压浆后桩端阻力测试值是未压浆桩端阻力测试值的 2.39 倍 ~ 3.46 倍。桩端阻力在总荷载中所占比例明显提高,由 2.46% ~ 14.00%、23% 提高到 15.19% ~ 33.34%。桩端压浆后桩的受力特性由摩擦桩变为端承摩擦桩。

压浆桩发挥端阻所需位移相对于未压浆桩发挥端阻所需位移有所减少,对超长桩,由于桩端埋深大,侧向超载大,其桩端沉降主要为桩端土的压缩和

侧向变形。
桩端压浆对桩侧摩阻力有较大影响,且发挥摩阻力所需位移明显减小。压浆后整个桩侧摩阻力提高 12.39% ~ 31.23%。压浆后桩顶荷载提高 47.00% ~ 61.00%。

4 结 语

笔者详细探讨了苏通大桥二期试桩后压浆施工

方案,并利用钻孔取心和 CT 检测技术详细分析了注浆效果,并最终通过静载试验(自平衡试桩法)结果获得最终验证。

① 大部分钻取出的岩心中水泥浆体未固结,有少量成半固结状态,未固结或半固结的含有水泥浆的岩心在取出后放入岩心箱内 12h ~ 24h 后逐渐固结。颗粒越粗,孔隙率越大的层位水泥浆越容易侵入,粉细砂层中水泥浆含量比其下层的砾砂层水泥浆含量明显减少。一般在桩体周围 2m 范围内水泥浆含量较高,在三维空间分布上,相同条件下水泥浆向下的渗透能力强,向上渗透能力差,而侧向渗透能力介于两者之间。

② 从两种检测技术分析可知,当桩施工完成后,以前影响桩承载力最大因素的桩底沉渣无法解决,现在采用桩体预留管对桩底部采用压密注浆的方法,可使桩底部及周边土体结构发生改变,当水泥浆完全固结后,在桩底部形成一个扩大头,增大了桩体与地层的接触面积,从而大幅度提高了单桩极限承载力。

③ 后压浆桩检测以静载试验(自平衡试桩法)为主,辅以钻孔取心和 CT 检测,既可以测出桩的承载力,又可以探明浆液在桩端土层中的扩散情况。

不同方法达到不同的目的,做到各有分工,几种检测手段综合应用是检测后压浆桩压浆效果的有效方法。

参考文献:

- [1] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工程出版社,1999.
- [2] 张宏. 灌注桩检测与处理[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 张忠苗,章公锋. 不同持力层钻孔桩桩底后压浆应用效果分析[J]. 建筑结构学报,2002,23(6):85-94.
- [4] 张忠苗,吴世明,包风. 钻孔灌注桩桩底后压浆机理与应用研究[J]. 岩土工程学报 1999,21(6):681-686.
- [5] 张忠苗,唐朝文. 关于钻孔桩桩底后注浆的技术要点[J]. 岩土力学与工程学报,2002,21(11):1740-1743.
- [6] 江苏省地震工程研究院. 苏通大桥二期试桩压浆效果 CT 检测报告[R]. 2003.
- [7] 东南大学土木工程学院. 苏通大桥二期试桩工程总报告[R]. 2003.
- [8] 江苏省地质工程有限公司. 苏通大桥二期试桩压浆效果钻探检测报告[R]. 2003.

On construction and effect detection of post grouting of second phase trial piles Sutong Yangtze River Bridge

XU Jia-ming¹, LI Zhao-qin¹, FANG Hong²

(1. Geological Engineering Company Limited of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China; 2. Geological and Engineering Exploration Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210012, China)

Abstract: The bored piling technology was widely used in the construction of high buildings and bridges. The original limitations of the bored piles like bottom sediments, slurry on the hole wall, and non-synchronized exertion of end and side resistances restricted its play of bearing capacity. So, the bored pile pressure grouting technology was evolved and put into practice, and the studies on the post grouting technique and force mechanism became very important. On the bases of the available theories and engineering applications both home and abroad, the second phase trial pile construction of Sutong Yangtze River Bridge, the authors depicted the detailed application of post grouting technology, hole coring usage and CT detection technology.

Keywords: Post grouting; Drilling core; CT detection; Grouting pipe; Sutong Yangtze River Bridge; Jiangsu