

文章编号: 1673-9469 (2017) 03-0065-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.03.014

# 河床防护层对桥梁群桩基础承载性能影响的监测分析

丁迪, 陈志坚

(河海大学 地球科学与工程学院, 江苏南京 211100)

**摘要:** 基于苏通大桥北主墩运营期的实测数据, 对桩身轴力进行分析, 进而评价河床防护层对群桩基础承载性能的影响。通过监测数据发现, 桩身穿过河床防护层后的轴力及变化幅度均发生大幅衰减, 这表明苏通大桥所采用的河床防护层对于提高群桩基础的承载性能和整体稳定性, 控制沉降, 改善传力机理等方面具有十分重要的意义。

**关键词:** 承载性能; 河床防护; 河床冲刷; 群桩基础; 桩身轴力

**中图分类号:** TU473.1

**文献标识码:** A

## Monitoring analysis on the effects of bearing capacity of riverbed protective layer on pile group foundation of the bridge

DING Di, CHEN Zhijian

(School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing, 211100, China)

**Abstract:** Based on measured data of the Sutong Bridge's north main pier during operation period, the paper analyzes the axial force of pile body, and then evaluates the effect of bearing capacity of the pile group foundation on the riverbed protective layer. According to the monitoring data, both the axial force and its amplitude of variation weaken sharply after piles pass through the riverbed protective layer. It shows that the riverbed protective layer used by the Sutong Bridge is of great significance in improving bearing capacity and global stability of pile group foundation, controlling settlement and improving force transfer mechanism.

**Key words:** bearing capacity; riverbed protection; riverbed scouring; pile group foundation; axial force of pile body

大型桥梁工程中, 深水群桩基础由于其自身具有的诸多优势而被大规模地使用。深水群桩基础规模庞大, 对河流水沙条件的影响比较强烈, 尤其是对基桩为摩擦桩的群桩基础(如苏通大桥)而言, 承载性能和安全稳定性对河床条件非常敏感<sup>[1]</sup>。河床防护与桥梁建设息息相关, 当土性软弱时, 河床防护层对群桩基础承载性能的影响更是至关重要的, 具体的防护效果则需要根据实时跟踪监测得到的数据来进一步地进行分析验证。因此, 本文以苏通大桥北主墩运营期桩身轴力监测的实测数据为基础, 针对河床防护层对群桩基础承载性能和受力安全性的影响进行分析评价, 为桥梁深水群桩基础的安全运营提供了有效的保障。

## 1 工程概况

苏通长江公路大桥位于南通市和苏州(常熟)市之间, 主航道桥为主跨 1 088 m 的双塔双索面钢箱梁斜拉桥, 索塔高 300.40 m, 呈倒“Y”字型。桥位区处于长江下游潮汐河段, 邻近长江入海口, 水深流急, 水文和气象条件复杂。其主塔墩采用了在建时世界上规模最大的超大型深水群桩基础, 平面面积达到 5 603m<sup>2</sup>, 承台采用了变厚度梯形截面哑铃型承台。北主墩(主 4#墩)和南主墩(主 5#墩)均采用了 131 根上段直径 2.8 m、下段直径 2.5 m 的大直径、超长、变直径钻孔灌注桩基础, 呈梅花形布置<sup>[2]</sup>。横桥向共布置 9 排桩, 纵桥向每排布置

收稿日期: 2017-05-10

基金项目: 江苏省政策引导类计划项目(BY2015002-05)

作者简介: 丁迪(1991-), 男, 河南郑州人, 硕士, 从事地质体稳定与安全监测方面的研究。

12 ~ 17 根桩, 桩顶高程均为 -7.0 m, 桩底高程为 -124.0 m (主 4#墩) 和 -121.0 m (主 5#墩)。

北主墩处的河床上覆土层主要为深厚、松散的粉细砂, 从静止状态转为运动状态所需要的水流速度较小, 局部冲刷过程严重 [3]。基于保护河床免遭剧烈冲刷和提高主墩桩基安全性的考虑, 苏通大桥对其主墩范围内及附近区域的河床采取了结合预防与永久防护的防护措施。依据桩 - 土共同作用机理和群桩基础局部范围内的冲淤形态, 以承台区域为中心, 河床防护层在平面划分上由核心区、永久防护区和护坦区三部分组成。核心区为承台外围约 20 m 的区域, 局部冲刷最为严重; 核心区外围为永久防护区, 南北侧宽度约为 45 m, 上下游侧宽度约为 40 m, 桩 - 土共同作用较为活跃; 永久防护区外约 45 m 的范围即为最外围的护坦区, 为永久防护区提供缓冲和冲刷保护。

在钻孔平台搭设之前, 先通过开体驳定点抛投袋装沙进行预防, 便于级配碎石防护层的形成, 并通过仪器观测对不完善区域进行补抛; 钢护筒沉放至半程时, 对永久防护区的上游侧和护坦区抛投级配碎石, 沉放完成后对核心区定点吊抛级配碎石和护面块石; 待整个钻孔平台完工后, 开始对永久防护区的下游侧和护坦区抛投级配碎石, 并对上述两区域所属范围定位抛投护面块石 [4]。河床防护层的具体分层结构如表 1 所示, 由底部到顶部依次为袋装沙、级配碎石和护面块石。经验证, 所采用的袋装沙、级配碎石和护面块石均满足苏通大桥桥区河床的稳定性要求。

表 1 苏通大桥主墩河床防护层结构 (单位: m)  
Tab.1 The riverbed protective layer construction of Sutong Bridge's main pier (unit: m)

	袋装沙	级配碎石	护面块石
核心区	2.0	1.0	1.5
永久防护区	1.0	1.0	1.5
护坦区	1.0	1.0	1.89(内)+3.15(外)

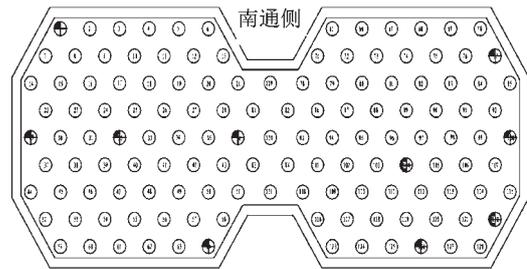


图 1 主 4#墩桩轴力监测系统桩位分布  
Fig.1 Piles distribution of the main 4# pier's foundation piles axial force monitoring system

### 2 监测桩位及监测断面的布置

根据设计方案, 主 4#墩桩轴力监测系统共包含 10 根桩: 承台上游侧边桩 (1#、29#、64#), 中心桩 (32#) 及近系梁区桩 (36#); 承台下游侧边桩 (77#、100#、122#、126#) 及中心桩 (104#)。每根桩均设置 8 个监测断面, 高程分别是 -12.0、-25.0、-30.0、-45.0、-55.0、-75.0、-95.0、及 -123.0 m, 为方便监测结果的分析与评价, 由高到低编号依次为 ①~⑧。每个断面各布置 2 套混凝土应变计, 第 ①、⑥、⑦断面各布置 2 套钢筋应力计, 第 ②、③、④、

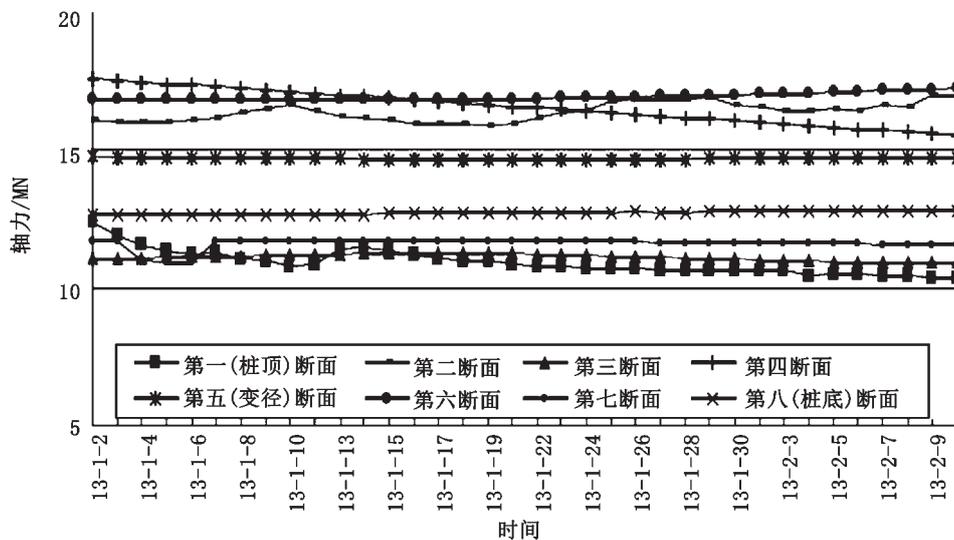


图 2 77# 桩各断面桩身轴力变化过程曲线  
Fig.2 Changing process curve of pile body axial force of 77# pile's each section

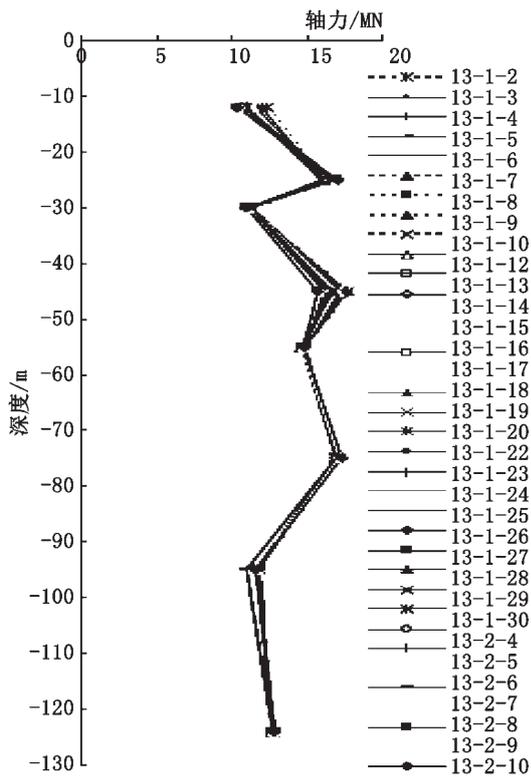


图3 77# 桩各时段桩身轴力沿深度分布全量图  
Fig.3 Depth distribution full dose figure of pile body axial force of 77# pile's each period

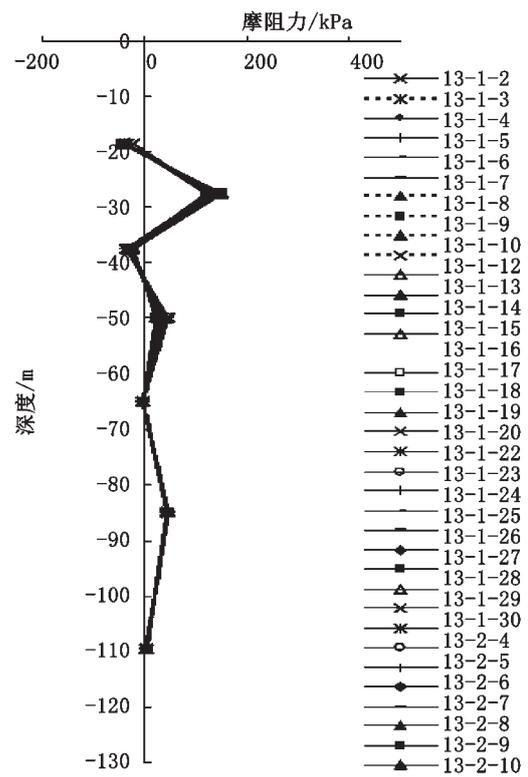


图5 77# 桩桩周摩阻力沿深度分布图  
Fig.5 Depth distribution figure of friction resistance around pile of 77# pile

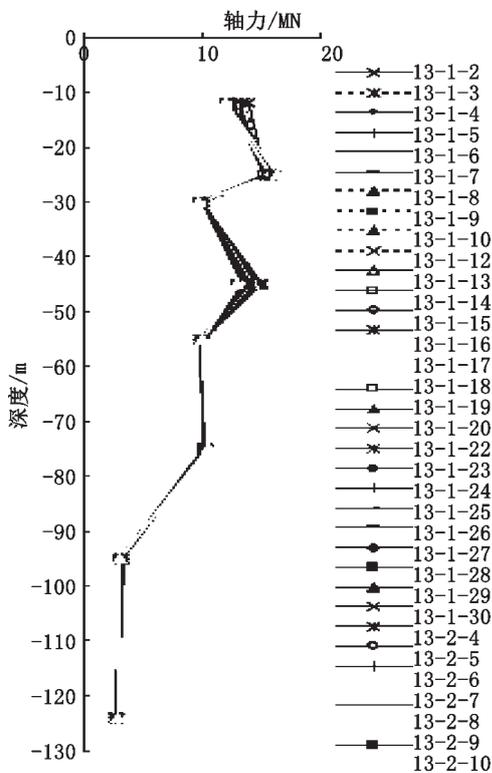


图4 77# 桩各时段桩身轴力沿深度分布增量图  
Fig.4 Depth distribution increment figure of pile body axial force of 77# pile's each period

⑤断面各布置4套钢筋应力计。与此同时，在高程-124.5 m处布置2套顶出式压力盒。具体的桩位分布如图1所示。

### 3 监测结果分析

由于桩身混凝土在浇注之前，基桩钢筋笼的受力情况十分复杂，且同时受到混凝土水化热的影响较为强烈，因此选择桩身混凝土浇注完成一段时间之后的监测数据作为初值，并叠加基桩自重应力。据此，本文以苏通大桥主4#墩为研究对象，选取了苏通大桥通车运营过程中2013年1月2日至2013年2月10日的监测数据进行分析。

主4#墩基桩轴力监测系统共由10根监测桩组成，本文仅选择具有代表性的承台下游侧边桩77#桩开展研究。

根据前述监测断面的布置情况，第①断面位于封底混凝土内，第②断面位于河床面之上桩身自由段，第③断面已经穿过河床防护层，第④、⑤断面分别位于钢护筒的下部和底部。77#桩在所选监测时段内各断面的桩身轴力变化过程曲线如图2所示，

77# 桩各时段桩身轴力沿深度分布的全量图如图 3 所示,沿深度分布的增量图(起算时间为 2005 年 2 月 17 日)如图 4 所示,桩周摩阻力沿深度的分布如图 5 所示,具体数值是由各高程断面的轴力监测结果再通过计算得出的。

在数据处理的过程当中,采用小波分层消噪技术,并剔除数据中的异常值<sup>[5]</sup>,最后通过数据融合得到全过程的有效数据。现场的实测数据表明,桩身在穿过河床防护层以后,桩身轴力及其变化的幅度都出现了较大幅度的衰减,值明显小于上级监测断面。由此不难看出,河床防护层对于提高群桩基础整体的承载性能具有显著的效果。

#### 4 承载性能影响的机理与评价

在对苏通大桥主 4# 墩和主 5# 墩桩轴力监测系统中所涵盖的所有桩轴力监测结果进行整理后发现,各基桩在穿过河床防护层之后,桩身轴力均发生了明显的衰减。苏通大桥桥位区邻近长江入海口,水深流急,河床底质松软,冲刷现象相对剧烈。与此同时,规模庞大的群桩基础势必会造成水流在其周边范围内的加速流动,从而在一定程度上加剧了河床的冲刷程度,危及群桩基础的安全稳定性<sup>[6]</sup>。因此,苏通大桥主墩群桩基础采用了袋装沙+级配碎石+护面块石的河床冲刷防护措施,并采取了袋装沙预防的创新手段。在基桩钢护筒插打之前先进行袋装沙的抛投,同时施工期主 4# 墩基桩钻孔钻机钻进至 -36 m 高程时,从吸出的泥浆中仍然可以观察到土工布碎片残留。这就意味着沙袋在钢护筒插打的过程当中被比较深地挤入到河床底质层中,保证了其良好的着床效果,结果表明该措施在河床冲刷防护上起到了显著的效果。

此外,该措施还大幅度提高了群桩基础的整体性和基桩的承载力,减轻了群桩效应的不利影响。河床防护层覆盖面广,对地基土大范围的整体压盖作用使得应力扩散角变大<sup>[7]</sup>。桩穿过防护层后桩身轴力骤减,由此计算得到的防护层摩阻力要远大于松散体极限摩阻力。大量的沙袋碎片在钢护筒插打的过程中被机械挤入河床底质层,导致桩周土层的挤密作用明显增强,且选用的沙袋材料透水性能良

好,可以加速地基土的排水固结,增强桩周土的承载性能,进而提高群桩基础的承载性能<sup>[8]</sup>。

#### 5 结论

1) 苏通大桥群桩基础河床防护工程运营期大量的监测数据结果表明,群桩基础各基桩桩身在穿过河床防护层之后,桩身轴力及轴力的变化幅度会出现明显的衰减。

2) 对于易冲河床,苏通大桥所采取的预防与永久防护相结合的河床防护层措施对于提高深水群桩基础的承载性能是非常有效的,确保了大桥的运营安全,也为其他深水基础工程的设计与施工提供了参考。

3) 河床防护层可以有效地提升群桩基础的整体性和承载性能的安全储备,控制群桩基础的沉降和不均匀沉降,并在克服群桩效应所带来的负面影响,改善群桩基础的传力机理等诸多方面都具有十分重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] 刘大伟.超大型深水群桩基础受力分析与安全监控模型研究[D].南京:河海大学,2006.
- [2] 游庆仲,董学武,吴寿昌.苏通大桥基础工程的挑战与创新[J].中国工程科学,2007,9(6):22-26.
- [3] 卢中一,高正荣.大型涉水群桩桥基局部冲刷特性试验研究[J].海洋工程,2009,27(1):70-76.
- [4] 何平,管义军,张雄文,等.苏通大桥索塔深水群桩基础冲刷防护工程的设计与施工[J].中国工程科学,2009,11(3):44-50.
- [5] 陈志坚,陈松,董学武,等.岩土工程安全监测异常值属性的识别方法[J].水电自动化与大坝监测,2004,28(1):40-44.
- [6] MELVILLE B W, SUTHERLAND A J. Design method for local scour at bridge piers[J]. Hydraulic Engineering, 1988, 114(10): 1210-1226.
- [7] 薛涛,刘文淑,姚宇阆.苏通大桥群桩基础应力扩散角反演分析[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(1):76-79.
- [8] 周伟,李小青,范薇.地基土体排水固结沉降的 ADINA 分析[J].交通科技,2006(6):34-36.