

苏通大桥主塔墩基础冲刷防护工程稳定性分析

杨程生, 高正荣

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 根据苏通大桥主塔墩基础冲刷防护工程区内的实测地形资料, 建立数字高程模型 (DEM). 分析结果表明, 南主墩冲刷防护工程于 2005 年 8 月 25 日后总体趋于稳定; 北主墩冲刷防护工程于 2005 年 10 月 16 日后总体趋于稳定, 且冲刷防护工程达到了预期的保护主塔墩的目的.

关 键 词: 主塔墩基础; 冲刷防护工程; 数字高程模型; 冲淤分析; 稳定性; 苏通大桥

中图分类号: U443.2.2:U442.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2007)03-0033-05

Stability analyses of the scour protection project of the main pylon pier of Sutong Bridge

YANG Cheng-sheng, GAO Zheng-rong

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on the field measured topographic data of the scour protection project of the main pylon pier of Sutong Bridge, a digital elevation model (DEM) is established. Analyses show that the riverbed around the south pier tended to be stable in general after August 25 in 2005, that the north one tended to be stable after October 16 in 2005, and that the scour protection project has achieved the protection aim for the main pylon pier.

Key words: foundation of the main pylon pier; scour protection project; digital elevation model; scouring and silting analysis; stability; Sutong Bridge

苏通大桥主塔墩冲刷防护工程是为了提高主墩基础安全、确保大桥顺利施工和大桥安全运营而进行的重大基础工程. 自 2003 年 7 月开始施工, 2004 年 7 月结束. 其中, 2003 年 7~8 月进行了主墩基础冲刷防护工程施工前的工艺试抛; 2003 年 8~9 月底进行了核心防护区的预防护; 2003 年 10 月至 2004 年 2 月进行了永久防护区的袋装沙抛投和级配碎石的抛投试验; 2004 年 2~6 月对防护区进行了级配碎石和护面块石的大规模抛投; 2004 年 7 月进行了局部补抛和工程验收.

苏通大桥主塔墩基础冲刷防护工程结束后, 关注的重点是其稳定性. 本文收集了 2003 年 8 月 11 日、2004 年 7 月 6 日、2004 年 9 月 25 日、2005 年 4 月 7 日、2005 年 10 月 16 日、2006 年 2 月 24 日和 2006 年 6 月 23 日的冲刷防护工程实施前后的南、北主墩防护区内的地形资料, 利用 GIS 技术, 建立南、北主墩防护区内不同时间的数字高程模型. 通过叠合分析不同时期的水下地形图, 得到防护区内不同时段相对冲淤分布图, 并进行冲淤计算, 从而判断冲刷防护工程的稳定性.

收稿日期: 2006-11-17

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (编号 2006BAG04B05)

作者简介: 杨程生 (1982-), 男, 安徽怀宁人, 助理工程师, 主要从事河流泥沙试验研究. E-mail: csyang04@163.com

1 冲刷防护工程简介^[1,2]

1.1 平面分区

冲刷防护包括一般冲刷防护和边界冲刷防护. 一般防护应能保护紧靠构筑物的河床, 边界防护应能确保在河床普遍下沉的情况下冲刷防护仍然稳定. 因此, 苏通大桥主塔墩基础冲刷防护采用护底抗冲措施, 将整个防护区域分为核心区、永久防护区和护坦区三个部分. 护坦结构用于边界防护. 南、北主塔墩防护区平面布置见图 1, 南、北主墩的防护区包括外围边坡的总面积分别为 111 598 m² 和 121 482 m².

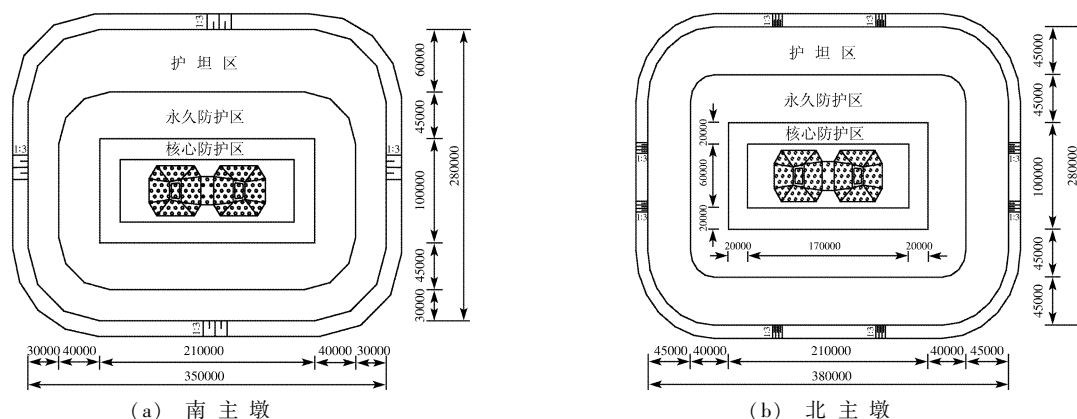


图 1 南、北主墩冲刷防护方案平面布置图(单位:mm)

Fig. 1 Layout of the scour protection project of the main pylon piers (unit: mm)

核心区: 局部冲深最大的区域, 也是冲刷防护的重点区域. 范围为群桩基础与施工临时平台桩基及周边 20 m. 根据群桩基础的施工要求, 核心区首先要进行袋装砂预防护. 这一措施可使河床得到防护且仍可穿过这种防护进行钻孔或打桩. 打桩结束后可用一层过滤层和至少两层护面块石构成最终防护.

永久防护区: 从核心区再向外延伸约 40 m, 其冲刷防护由一层过滤层和与核心区相同的块石护面构成.

护坦区: 为永久防护区外围. 当防护区周边产生局部冲刷时, 护坦区的护面块体将自然滚落, 逐步形成稳定的边坡, 起到保护永久防护区的作用.

1.2 结构设计

1.2.1 核心区结构 核心区首先需要满足钻孔灌注桩的钢护筒沉设的要求, 并使床面免遭冲刷. 因此, 先进行袋装砂预防护(砂袋尺寸采用 1.3 m×1.3 m×0.6 m), 级配碎石反滤和块石护面与钢护筒施工结合进行作业. 核心区结构分层厚度见表 1.

表 1 核心区分层厚度

Tab. 1 Layer thickness of the central area

(单位:m)

墩 位	床面高程	承台模板底标高	袋装砂预防护厚度	级配碎石厚度	块石厚度
北 主 墩	-25.1 ~ -29.0	-10.6	2.0	1.0	1.50
南 主 墩	-14.7 ~ -19.0	-10.6	1.5	1.0	1.50

1.2.2 永久防护区与护坦区结构 永久防护区和护坦区采用级配碎石(碎石粒径 3 ~ 25 cm, 其中粒径 3 ~ 10 cm、10 ~ 25 cm 的碎石各占 50%)作为反滤层. 永久防护区有 3 层块石护面. 护坦区外侧 5 层块石, 内侧 3 层块石, 块石层厚度结合块石的稳定重量确定. 按照冲刷发生后确保冲刷稳定边坡上有 2 层块石确定护坦区防护厚度. 永久防护区与护坦区分层厚度见表 2.

表2 永久防护区和护坦区分层厚度

Tab.2 Layer thickness of the permanent protection area and the falling apron area

(单位:m)

墩位	永久防护区		护坦区		
	级配石料厚度	块石厚度	级配石料厚度	内侧块石	外侧块石厚度/宽度
南主墩	1.0	1.5	1.0	1.89	3.15/20
北主墩	1.0	1.5	1.0	1.89	3.15(3.78)/15(20)

注:括号内为南主墩北侧数字。

2 防护区内数字高程模型(DEM)的建立

数字地面模型(DTM, Digital Terrain Model)是利用一个任意坐标场中大量选择的已知 X 、 Y 、 Z 的坐标点对连续地面的一个简单的统计表示,是对某一种或多种地面特性空间分布的数字描述.将高程作为地面特性来表示的数字地面模型就称为数字高程模型(DEM, Digital Elevation Model)^[3].

本文首先通过多次实测地形的等高线和高程点建立不规则的三角网(Triangulated Irregular Network,简称TIN),然后在TIN的基础上通过线性和双线性内插建立格网DEM.利用建立的数字高程模型可以进行空间分析、土方量的估算和提取各种地形因子.

3 南、北主墩冲刷防护工程稳定性分析

3.1 成型效果分析

南主墩位于主航道深槽南侧,其周边存在一层厚度为6.5~7.5 m的淤泥质亚粘土,抗冲性能较好.南主墩冲刷防护工程结束后,对工程前、后的实测地形进行了对比(见图2(a)).由图2(a)可见,南主墩冲刷防护工程成型量为198 358 m³,成型面积为96 016 m²(施工平台内除外),平均成型厚度为2.07 m.在施工平台东北侧永久防护区内,局部出现了最大为2.6 m的冲刷坑,范围较小.因此,南主墩冲刷防护工程有效地保护了桥墩周边地形,取得了预期的效果.另外,南主墩施工平台上游部分区域抛投厚度较大,再加上施工平台桩基的影响,在潮流作用下,可能引起附近的局部冲刷,应予以关注.

北主墩位于主航道深槽区北侧,靠近主泓.桥址河床地质勘探表明,北主墩区域以细粉沙为主,中值粒径为0.10~0.19 mm.北主墩冲刷防护工程结束后,工程前、后的实测地形比较见图2(b).可见,北主墩防护区内淤积面积占总面积(施工平台除外)的49%,成型较好的区域为桥墩上、下游侧和北侧,核心区内得到了有效防护.淤积区平均淤高2.53 m.因此,北主墩冲刷防护工程有效地保护了核心区,达到了保护桥墩的目的.

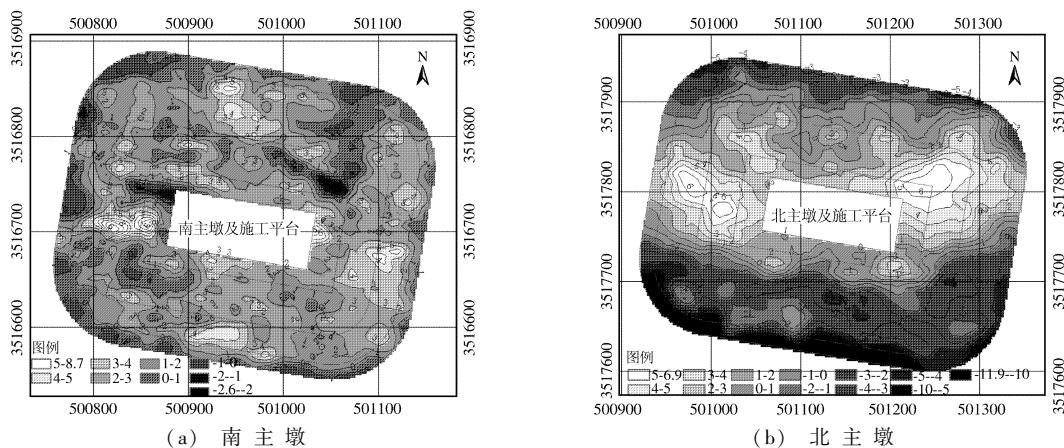


图2 南、北主墩区冲淤图(2003-08-11~2004-07-06)

Fig.2 Scouring and silting in the area of the main pylon piers

防护工程的实施,也引起了防护体周边的冲刷,最大冲刷深度达到了 11.9 m,主要的冲刷区域为北主墩南侧靠近主泓。

3.2 现状分析

2006 年 6 月 23 日实测的南、北主墩地形与工程前地形的比较见图 3(a)、(b)。可见,南主墩防护区淤积量有 $186\,387\text{ m}^3$,淤积面积为 $93\,336\text{ m}^2$ (施工平台内除外),平均淤积厚度为 2.00 m。同时,也出现了部分冲刷区域,个别冲刷坑的深度达 2.9 m,主要分布于施工平台东北侧永久防护区内和施工平台上游迎水面附近,范围较小。从淤积厚度看,防护工程结束后的 2 年里,南主墩冲刷防护工程没有发生较大的改变,稳定性较好,有效地保护了桥墩周边地形。

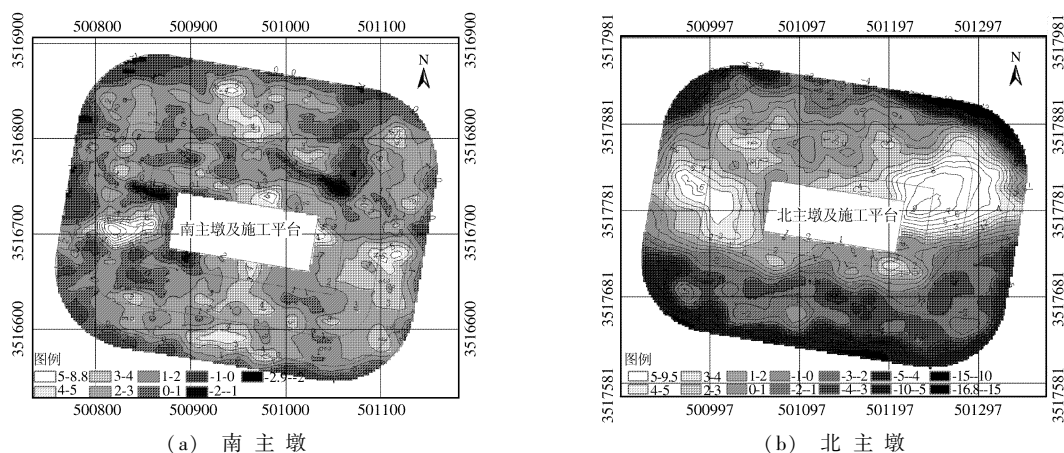


图 3 2003-08-11 ~ 2006-06-23 冲淤对比图

Fig. 3 Scouring and silting in the area of the main pylon piers

根据图 3(b) 计算可见,北主墩防护区内淤积面积占总面积(施工平台除外)的 46%,与工程前相比没有发生较大改变,核心区得到了有效防护,淤积区平均淤高 2.88 m,淤厚有所增加。因此,在防护工程结束后的 2 年里,北主墩冲刷防护工程并没有发生较大改变,稳定性较好,有效地保护了核心区地形。

3.3 动态变化分析

3.3.1 整体变化 冲刷防护工程结束后,共进行了 6 次地形监测。将每次的监测地形与工程前进行对比计算,计算结果见表 3。可见,2004 年 7 月 6 日至 2005 年 8 月 25 日南主墩冲刷防护工程的冲淤变化较大,2005 年 8 月 25 日以后,南主墩防护区内冲淤总量基本平衡。2004 年 9 月 25 日至 2005 年 10 月 16 日,北主墩防护区内冲淤变化较大,2005 年 10 月 16 日以后,北主墩防护区内冲淤变化较小。

表 3 南、北主墩冲刷防护工程整体冲淤

Tab. 3 Calculated total scouring and silting quantities of the protection project

时 段	冲刷量/ m^3	淤积量/ m^3	冲淤总量/ m^3	冲刷面积/ m^2	淤积面积/ m^2
2003-08-11 ~ 2004-07-06	3 144/164 329	198 358/139 381	195 214/-24 948	6 608/57 412	96 016/55 072
2003-08-11 ~ 2004-09-25	6 396/168 728	185 132/144 455	178 736/-24 273	9 812/56 964	92 812/55 520
2003-08-11 ~ 2005-04-07	8 426/213 134	161 903/116 681	153 477/-96 454	12 344/62 556	90 280/49 928
2003-08-11 ~ 2005-08-25	3 944/217 842	199 984/144 053	196 040/-73 789	7 592/63 160	95 032/49 324
2003-08-11 ~ 2005-10-16	5 713/192 555	186 243/161 595	180 530/-30 960	8 672/58 420	93 952/54 064
2003-08-11 ~ 2006-02-24	5 695/206 873	184 018/153 381	178 323/-53 492	9 676/59 352	92 948/53 132
2003-08-11 ~ 2006-06-23	5 120/213 276	186 387/150 390	181 267/-62 886	9 288/60 336	93 336/52 148

注:主墩施工平台(150 m×60 m)范围除外;“/”后数字为北主墩;“-”表示冲刷。

将 2006 年 6 月 23 日实测的地形与冲刷防护工程刚结束后(2004 年 7 月 6 日)的地形比较后表明,这

2年间南主墩防护区冲刷量为 $25\,031\text{ m}^3$,冲刷面积为 $67\,060\text{ m}^2$,淤积量为 $11\,084\text{ m}^3$,淤积面积为 $35\,564\text{ m}^2$,总体呈微冲状态(冲刷量为 $13\,947\text{ m}^3$),平均冲深 0.21 m ,最大局部冲深 3.50 m ,位于施工平台上游迎水面南侧.北主墩防护区在这2年间冲刷量为 $64\,894\text{ m}^3$,冲刷面积为 $74\,792\text{ m}^2$,淤积量为 $26\,957\text{ m}^3$,淤积面积为 $37\,692\text{ m}^2$,总体呈冲刷状态(冲刷量为 $37\,937\text{ m}^3$).主要冲刷区位于防护工程的东北角护坦边坡处.由于受涨潮流的影响,形成了一条涨潮冲刷沟,最大冲深为 14.3 m ,影响范围仅为护坦的边坡.另外,施工平台上游迎水面处有深 $2\sim 3\text{ m}$ 的局部冲刷,施工平台下游东北角区域普遍淤积,最大淤高 4.7 m .北主墩南侧的永久防护区和护坦区冲淤不大,说明防护工程完成后该区域正趋于冲淤平衡状态.

3.3.2 时段变化 将6次测量分成5个时段,分析各时段的冲淤变化,计算结果见表4.

表4 南、北主墩防护区各时段冲淤计算

Tab.4 Calculated scouring and silting quantities of the protection project at different intervals

时段	冲刷量/ m^3	淤积量/ m^3	冲淤总量/ m^3	冲刷面积/ m^2	淤积面积/ m^2
2004-07-06~2004-09-25	30 954/20 603	14 476/21 278	-16 477/675	61 732/54 676	40 892/57 808
2004-09-25~2005-04-07	46 534/75 656	21 275/3 475	-25 259/-72 180	69 000/97 704	33 624/14 780
2005-04-07~2005-10-16	11 199/14 389	38 252/79 883	27 053/65 494	33 724/16 616	68 900/95 868
2005-10-16~2006-02-24	19 179/37 614	16 972/15 083	-2 207/-22 531	57 920/70 624	44 704/41 860
2006-02-24~2006-06-23	16 386/24 829	19 329/15 435	2 943/-9 394	46 228/62 796	56 396/49 688

注:主墩施工平台($150\text{ m}\times 60\text{ m}$)范围除外,“-”表示冲刷;“/”后数字为北主墩.

由表4可见,南主墩防护区第1、2时段处于不稳定期,两个时段都表现为冲刷且逐渐增大;第3时段总体表现为淤积;第4、5时段冲淤基本平衡.比较各时段冲淤图可以发现,第1时段最大局部冲深为 4.1 m ,发生在施工平台周边;第2时段最大局部冲深为 5.2 m ,发生在施工平台迎水面和施工平台正下游护坦区附近;第3时段主要淤积部位在施工平台正下游护坦区附近(第2时段的冲刷区);在第4、第5时段内施工平台上游迎水面南侧附近产生了局部冲刷.另外,防护区内呈洪淤枯冲现象.

由表4可见,北主墩防护区前4个时段表现为淤积-冲刷-淤积-冲刷,对应的时期为洪季-枯季-洪季-枯季,与南主墩防护区内冲淤规律基本相同.

比较各时段冲淤图可见,北主墩防护区东北角的冲刷沟发展过程为:第1时段至第3时段,冲刷深度逐渐增大.其中,第1时段内最大冲深 4 m ,第2时段内最大冲深 7 m ,第3时段内最大冲深 6.6 m ,第4时段(2005年10月16日)以后基本保持稳定,最终冲刷深度达 14.3 m .说明北主墩河床易冲,实施桥墩冲刷防护工程是非常必要的.

4 结 语

(1)南主墩冲刷防护工程取得了较好的成型效果,达到了预期的防护目的.2005年8月25日后,南主墩防护区内冲淤基本平衡,冲刷防护工程总体上趋于稳定.由于抛投厚度不均匀,导致局部冲刷.在以后的监测中需要注意周边的地形变化.

(2)北主墩冲刷防护工程有效地保护了核心区的稳定,达到了保护桥墩基础的目的.2005年10月16日后,北主墩防护区内冲淤较小,且防护区东北角的冲刷沟没有进一步发展,防护工程总体上趋于稳定.在以后的监测中需要注意施工平台上游迎水面附近的地形变化.

参 考 文 献:

[1] 高正荣,黄建维,卢中一,等.苏通大桥主塔墩冲刷防护工程技术总结报告[R].南京:南京水利科学研究院,2005.
[2] 高正荣,卢中一.苏通长江公路大桥桥墩局部冲刷模型试验报告[R].南京:南京水利科学研究院,2002.
[3] 邬伦.地理信息系统——原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.