

外高桥电厂隔热导流堤模型试验研究

李晓慧¹, 黄伯平², 李晓东³

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 五矿建设有限公司, 江苏 南京 210012;
3. 辽宁省交通规划设计院, 辽宁 沈阳 110166)

摘要: 增设隔热导流堤是解决电厂取水口温升的常见措施。本文针对上海外高桥电厂取排水和码头工程河段进行泥沙物理模型试验, 重点研究电厂修建隔热导流堤后的泥沙淤积问题。试验结果表明: 码头后方水域泥沙淤积明显分成两个部分, 泥沙淤积厚度在隔热导流堤建成后的前两年显著增加, 在第三年及第四年后淤积缓慢, 滩地地形较为稳定。

关键词: 泥沙冲淤; 隔热导流堤; 物理模型

中图分类号: TV854 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2016) 10-0059-05

Model test study on insulation diversion dike of Waigaoqiao Power Plant

LI Xiaohui¹, HUANG Boping², LI Xiaodong³

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, Jiangsu; 2. Wukuang Construction Co., Ltd, Nanjing 210012, Jiangsu; 3. Liaoning Communications Planning and Design Institute, Shenyang 110166, Liaoning)

Abstract: Adding insulating dike is a common measure to solve temperature rise of water intake in power plant. In this paper, the sediment physical model test is carried out for the water intake and drainage of the Waigaoqiao Power Plant in Shanghai, and the siltation problem after the construction of the insulation diversion dike is mainly studied. The results show that the siltation in the rear waters of the wharf is clearly divided into two parts. The thickness of siltation is increased significantly in the first two years after the completion of the diversion dike, and the sedimentation is slow in the third and fourth years, with the terrain being relatively stable.

Key words: sediment erosion and deposition; insulation diversion dike; physical model

1 研究背景

目前我国电力事业迅猛发展, 随着经济的快速发展, 用电量飞速增长, 为了满足电力需求, 大量电厂在沿海地区迅速兴建。

火电、核电及生物质能等依靠热能发电的设备需要有冷却水提供热机冷源和冷却各种设备, 尤其是靠近江、河、湖、海采用直流冷却的热力发电厂需水量很大。由取水口引进低温冷却水, 经

过机组吸热, 水温升高, 再由排水口排放, 因此面临取水温升偏高的问题。此外, 大量泥沙、污物进入水体, 对电厂的取水与运行过程带来威胁和破坏, 由于水沙条件的变化, 取水口的淤积会降低引水效率, 增大引水渠道的淤积量, 加重清淤工作的难度^[1]。取水口要完全避免淤积是不可能的, 只能通过模型试验合理选择工程布置方案, 综合考虑附近水域和取排水口布置的水力、热力和泥沙冲淤特性及其相互影响, 才能保证电厂的

收稿日期: 2016-04-21

作者简介: 李晓慧 (1981-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水利水电研究工作。

安全经济运行。对电厂而言,必须解决泥沙淤积和取水温升偏高两个问题,而泥沙淤积和取水温升偏高又是互相联系的,泥沙的不断淤积必然会进一步增加取水温升。目前,改善电厂取水温升的工程措施是增设隔热导流堤。针对上述问题,本文通过物理模型试验,结合实际工程——上海外高桥电厂,对电厂取排水和码头工程河段进行泥沙试验,重点分析电厂修建隔热导流堤后,由于滩地的流速变化及排水口排出的含沙水体在滩地(码头后方)引起的泥沙淤积问题,以期对相关电厂的运行管理决策提供参考依据。

2 模型设计

2.1 模型试验范围

模型范围的选取既要保证水流运动的相似,还必须考虑泥沙运动相似。为了保证在各种方案条件下主要研究区域水流条件不受模型边界处水流影响,应使模型边界与工程研究水域有足够的距离。根据类似相关工程,选择边界的原则是:各种设计方案条件下,电厂涉水工程实施后,模型边界处水流流态与工程前基本一致,参考数学模型计算结果^[2],全面分析有关水文测验资料,最后确定模型模拟范围长度约15km,宽度约4km,模型从上游海警码头附近模拟到下游五号沟以下2.5km,模型布置如图1所示。

2.2 模型比尺

本文试验主要考虑是修建隔热导流堤后,由于滩地的流速变化及排水口排出的含沙水体在

滩地(码头后方)引起的泥沙淤积情况,由于取排水口参与造床作用的主要是悬移质泥沙,因此本试验采用的是定床悬沙淤积模型。根据取、排水工程布置特点、模拟范围、模型试验相似要求,结合模型试验场地的大小,最终选择模型平面比尺 $\lambda_l=250$,垂直比尺 $\lambda_h=50$,模型变率 $\varepsilon=5$ 。物理模型采用2006年5月份实测1:10000地形制作,电厂附近局部范围采用2008年6月份实测1:1000地形制作。模型上游采用流量控制,下游采用翻板式尾门自动控制潮位过程。模型制作采用断面法制作,平面误差控制在1cm以内,高程误差控制在1mm以内。

物理模型的设计制作需满足水动力相似,主要包含重力相似、阻力相似、平面流态相似及水流运动相似,具体比尺如下。

重力相似:

$$\lambda_u = \lambda_v = \sqrt{\lambda_h} \quad (1)$$

阻力相似:

$$\lambda_n = \lambda_h^{2/3} \lambda_l^{-1/2} \quad (2)$$

水流运动相似:

$$\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_u} \quad (3)$$

式中:

λ_v —纵向、横向流速比尺;

λ_n —糙率比尺;

λ_n —水平比尺;

λ_n —垂直比尺;

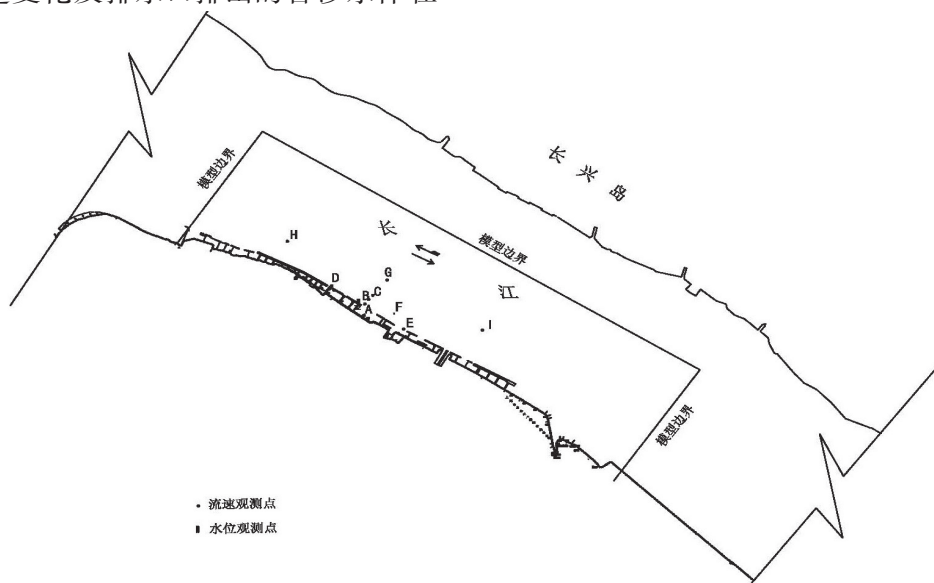


图1 模型布置示意图

λ_t —水流时间比尺。

本文模型涉及码头桩群模拟, 根据南京水科院码头水槽试验研究成果, 采用阻水面积相似模拟方法, 码头基本满足阻力相似要求。阻力相似和阻水面积相似方法计算后, 取较大值作为码头模拟的依据通过计算, 最终煤码头桩基模拟均采用阻水断面积相似。

本研究的模拟范围较大, 不同河段、不同水深处的糙率有所不同, 需要根据以往模型试验经验^[3-7]对主槽与滩地分别进行加糙。通过实测资料推算, 天然河道糙率系数 $n_p=0.017 \sim 0.022$ 。

模型除满足水动力相似条件外, 还需满足泥沙运动相似。由非恒定流悬沙运动方程和河床变形方程可以导出悬沙相似条件。

泥沙起动相似:

$$\lambda_{v_0} = \lambda_v$$

(4)

泥沙沉降相似:

$$\lambda_\omega = \frac{\lambda_v \lambda_h}{\lambda_t}$$

(5)

挟沙能力相似:

$$\lambda_S = \lambda_{S^*}$$

(6)

冲淤时间相似:

$$\lambda_{t_2} = \lambda_{t_0} \frac{\lambda_t}{\lambda_S \cdot \lambda_v}$$

(7)

式中:

- λ_{v_0} —泥沙起动流速比尺;
- λ_{v_0} —泥沙沉降流速比尺;
- λ_S, λ_{S^*} —悬沙挟沙量和挟沙能力比尺;
- λ_{t_0} —泥沙干容重比尺;
- λ_{t_2} —河床冲淤变化时间比尺。

根据以上相似关系, 可得各相似比尺(表 1)。含沙量比尺及冲淤时间比尺在泥沙验证试验中进行调整。

2.3 模型沙的选择

由多年观测资料统计, 厂址河段悬沙主要由粉沙和粘土组成, 属粘性颗粒泥沙。悬沙粒径组成分析, 0.005 ~ 0.05mm 粒径颗粒占总量的 60% 左右, 中值粒径约 0.007 ~ 0.022mm; 边滩悬沙泥沙中值粒径约 0.009mm, 主流区悬沙中值粒径较边滩悬沙中值粒径大。考虑到河段该粒径较细, 在海水中细颗粒泥沙之间有絮凝作用, 一般絮凝后悬移质中值粒径取为 0.03mm。

表 1 物理模型比尺情况

名 称	符 号	计算值	实 际 值
水平比尺	λ_l	250	250
垂直比尺	λ_h	50	50
水流时间比尺	λ_t	35.35	35.35
流速比尺	λ_v	7.07	7.07
流量比尺	λ_Q	88388	88388
糙率比尺	λ_n	0.86	0.86
沉降单元动水沉速比尺	λ_ω	1.41	1.41
含沙浓度比尺	λ_{s^*}	0.21	0.20
回淤时间比尺	λ_{t_2}	352	400

根据泥沙模型试验经验, 用电木粉、煤或木屑均可较好地模拟细颗粒泥沙沉降运动。经综合比较, 本次试验选用经特殊处理的木粉, 这种木粉由木材直接粉碎, 然后加入化学物品以调节木粉比重及防腐处理。处理后颗粒间透水性和圆度好, 和天然沙运动有较好的相似性。其木粉模型沙的颗粒密实容重为 1.15t/m³, 淤积干容重为 0.7 t/m³。

根据以上相似关系, 可得各相似比尺(表 2)。含沙量比尺及冲淤时间比尺将在泥沙验证试验中进行调整。

表 2 取排水口码头区整体物理模型比尺情况

名 称	符 号	计算值	实 际 值
水平比尺	λ_l	250	250
垂直比尺	λ_h	50	50
水流时间比尺	λ_t	35.35	35.35
流速比尺	λ_v	7.07	7.07
流量比尺	λ_Q	88388	88388
糙率比尺	λ_n	0.86	0.86
沉降单元动水沉速比尺	λ_ω	1.41	1.41
含沙浓度比尺 *	λ_{c_s}	0.21	0.20
回淤时间比尺 *	λ_{t_1}	352	400

* 含沙浓度比尺与回淤时间比尺由验证试验确定。

3 模型试验验证

3.1 水动力条件验证

水动力验证主要进行潮位和流速的验证,模型验证点如图1所示,共包含A、B、C、D四个流速验证点及一个潮位验证点。由于篇幅所限,本文仅列出大潮流速验证如图2所示。

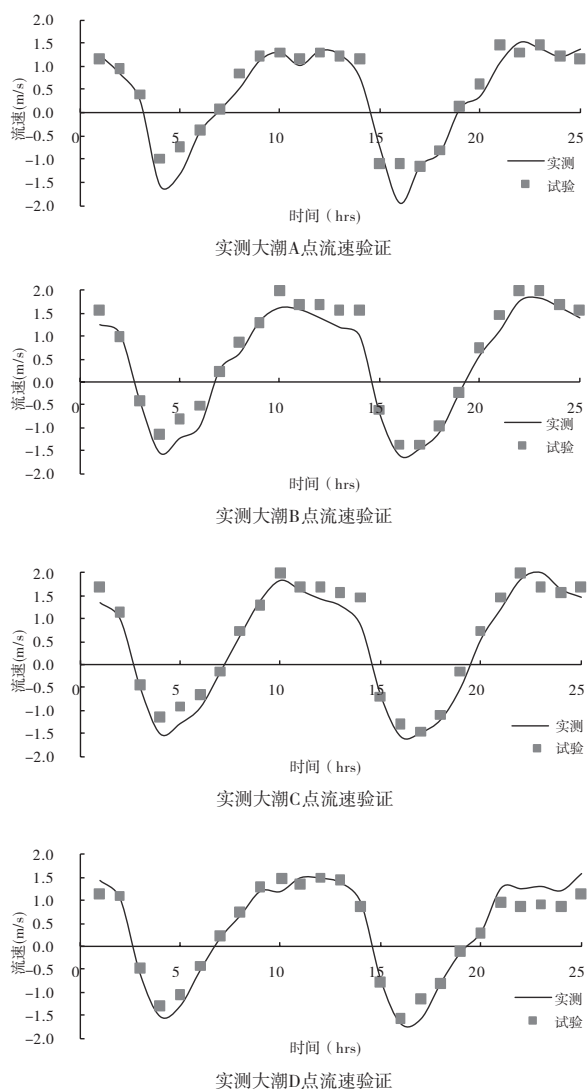


图2 实测大潮流速验证

电厂所在河段潮汐为非正规半日浅海潮,且日潮不等,潮位每日两涨两落,由于受长江径流的影响,涨潮历时稍短,落潮历时长。在实测大潮及实测小潮水文条件下的潮流场均为往复流动。试验观测到,在电厂附近江段主槽的落潮流速较大;此后,随着潮位的升高,落潮流逐渐减弱,涨潮流逐渐增强,在涨极瞬时,涨潮流速达到最大,电厂附近水域均为涨潮流;随着潮位的继续抬高,涨潮流速逐渐减小,落潮流速逐渐增大,当到达高平潮,此时电厂附近河道主槽仍为弱的涨潮流。电厂码头后方水流由于受到码头群及电厂排水口

水流的影响,流态较为复杂。从电厂附近江段的流场变化可以看出:一方面,电厂附近江段主槽与边滩的潮流变化不同步,主槽的潮流变化一般滞后于边滩的变化;另一方面,潮位与潮流的变化也不同步,潮流的变化一般滞后于潮位的变化。

综上所述,模型较好地复演了天然水流运动情况,模型水流与天然水流具有较好的相似性。

3.2 泥沙淤积验证

泥沙淤积验证采用2008年6月实测地形为起始地形,2008年9月实测地形为模型验证地形。模型验证区域主要集中在电厂码头工程后方到岸边的水域,由于外高桥水域电厂群的建设,降低了码头后方水域的流速,此外排水口含沙水体在码头后方岸边排放,增加了滩地泥沙来源,双重因素的影响使码头后方水域处于常年淤积状态。模型验证采用实测大潮与典型中潮进行组合,含沙量采用多年平均含沙量。在模型冲淤验证过程中,先根据模型相似理论初步确定含沙量及冲淤时间比尺,经多次放水试验,当模型淤积情况和天然河道淤积基本相似时,最后确定模型加沙量、时间比尺。

4 试验结果分析

本次模型试验给出的淤积厚度及淤积范围图均以2008年9月地形为基础,共进行了4个淤积年的试验研究,并对每年的淤积情况进行了测量。

4.1 码头后方泥沙淤积成果分析

由试验可知:

(1) 隔热导流堤建成后,码头后方水域的淤积明显分成两个部分,一部分为码头与隔热导流堤之间水域(A水域),另一部分为隔热导流堤与岸边之间的水域(B水域)。A水域虽然受到码头桩基及导流墙的影响,但由于隔热导流堤与码头不平行,水流流速降低并不明显,含沙水体在该区域内仍处于淤积状态,淤积速率没有明显变化,基本为0.5m/a。B水域泥沙淤积基本分为三个区域:第一个淤积区域为一期排水口上游水域,一年最大淤积厚度约0.7m;第二个淤积区域为一期排水口正前方水域,一年最大淤积厚度约0.8m;第三个淤积区域在一期排水口与二、三期排水口靠近岸边的水域,淤积厚度较大,一年最

大淤积厚度约 1m。

(2) 隔热导流堤建成后第二年, 泥沙淤积形态与第一年泥沙淤积形态基本一致, 只是淤积厚度有所增加。淤积形态仍为三个基本区域: 第一个淤积区域为一期排水口上游水域, 最大淤积厚度约 1.0m; 第二个淤积区域为一期排水口正前方水域, 最大淤积厚度约 1.2m; 第三个淤积在一期排水口与二、三期排水口靠近岸边的水域淤积厚度较大, 约 1.4m。同样, 在二、三期排水口下游偏前方水域, 由于受到落潮流及二、三期排水口排出水流的影响, 落潮流速加大, 泥沙在该区域内落淤较少。

(3) 隔热导流堤建成后第三年, 泥沙淤积形态与隔热导流堤建成后第二年泥沙淤积形态基本一致, 只是淤积速度较缓。

(4) 隔热导流堤建成后第四年, 泥沙淤积更为缓慢, 部分淤积区域的最高淤积高程基本到达 2.5m, 排水通道更为明显, 淤积后滩地地形较为稳定。

4.2 取水头附近泥沙淤积分析

一期取水口位于一、二期码头之间后方水域, 取水口距码头前沿线最近距离约 65m, 水流受到码头的掩护作用, 泥沙淤积较为明显, 试验中发现在一期工程取水头前方形成明显的淤积, 最大淤积超过 3m, 取水口基本呈漏斗状分布; 二、三期工程取水头与码头齐平, 取水口前同样形成淤积, 但由于电厂一直运行, 泥沙淤积并不影响电厂正常取水。

5 结论

本文针对电厂的泥沙淤积和取水温升偏高问题, 通过物理模型试验, 结合上海外高桥电厂实际工程, 对电厂取排水和码头工程河段进行泥沙试验, 主要结论如下:

(1) 模型经 2008 年 6 月至 2008 年 9 月实测地形资料验证, 表明天然和模型淤积量和淤积部

位基本相似, 在此基础上进行工程方案试验是可行的。

(2) 在电厂取排水口之间采用隔热导流堤后, 码头后方水域泥沙淤积明显分成两个部分: 一部分为码头与隔热导流堤之间水域(A 水域), 另一部分为隔热导流堤与岸边之间的水域(B 水域), 该水域可进一步分为三个淤积区域。

(3) 隔热导流堤建成后第二年泥沙淤积形态与隔热导流堤建成后第一年泥沙淤积形态基本一致, 只是淤积厚度有所增加, 第三、四年泥沙淤积更为缓慢。部分淤积区域的最高淤积高程基本到达 2.5m, 排水通道更为明显, 淤积后滩地地形较为稳定。

(4) 一期取水口泥沙淤积较为明显, 最大淤积厚度超过 3m, 取水口基本呈漏斗状分布, 二、三期工程取水口与码头齐平, 取水口前同样形成淤积, 但由于电厂一直运行, 泥沙淤积并不影响电厂正常取水。

参考文献:

- [1] 电厂取水防沙防杂物防污情况调研分析总结报告[R]. 中国电力建设工程咨询公司, 2003.
- [2] 蒋星科, 罗肇森. 外高桥电厂二期工程二维潮流泥沙数学模型计算分析研究[R]. 南京水利科学研究院, 2000.
- [3] 徐啸. 细颗粒粘性泥沙沉降率的探讨[J]. 水利水运科学研究, 1989(4).
- [4] 徐啸. 淤泥质海岸河口悬沙回淤模型试验相似率探讨[J]. 河海大学学报, 1994(3).
- [5] 江苏华电句容发电厂码头及取排水工程泥沙模型试验报告[R]. 长江水利委员会, 2007.
- [6] 武汉水利电力学院. 河流泥沙工程学[M]. 水利电力出版社, 1982.
- [7] 罗肇森. 潮汐河口悬沙淤积和局部动床冲淤模型试验[J]. 水利水运科技情报, 1977(3).

(责任编辑: 徐丽娜)