

永川火力发电厂三期工程取水口模型试验

韩 强¹, 余明富², 徐 薇³

(1. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013; 2. 南京水利科学研究院河流海岸研究所, 江苏 南京 210029;
3. 济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250101)

摘要 : 为确定永川火力发电厂三期工程的取水口位置, 通过物理模型试验对 3 个取水断面附近的流场分布和泥沙冲淤规律进行分析。试验结果表明, 3 个取水断面附近都是年内冲淤平衡的, 综合考虑工程投资和取水口对通航的影响, 采用取水断面 2 作为电厂的取水口。

关键词 : 电厂取水口; 流场分布; 泥沙冲淤规律; 物理模型试验; 永川火力发电厂

中图分类号 : TV671 **文献标志码** : A **文章编号** : 1006-7647(2012)04-0029-04

Model test for water intake of Yongchuan fossil fuel power plant phase III project // HAN Qiang¹, SHE Ming-fu², XU Wei³
(1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Ji 'nan 250013, China; 2. River Harbor Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Ji 'nan Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Ji 'nan 250101, China)

Abstract : In order to determine the location of water intake of Yongchuan fossil fuel power plant phase III project, the flow field distribution and the sediment deposit-erosion law around the three water intake sections were analyzed in this study. The experimental results show that the erosion and deposition of the three water intake sections is balanced over a year. Considering the project investment and the influence on navigation, the second water intake section is used as the water intake of the power plant.

Key words : water intake of power plant; flow field distribution; sediment deposit-erosion law; physical model test; Yongchuan fossil fuel power plant

21 世纪以来, 中国经济迅猛发展, 对电量的需求也越来越大, 为解决重庆地区发电量不足的问题, 重庆永川火力发电厂三期工程于 2005 年异地扩建, 新厂址位于永川市松溉镇。永川火力发电厂三期工程新建 2 × 135 MW 凝汽式发电机组, 夏季最大需水量为 797 m³/h, 以长江水作为电厂补充水源。取水口处设 2 个取水蘑菇头, 直径为 2 m, 用 2 条 DN400 的钢管引至岸边取水泵房。

长江取水河道多年平均含沙量为 1.14 kg/m³, 多年实测最大含沙量为 15.4 kg/m³, 多年平均悬移质输沙量约为 3.07 亿 t, 汛期 7—9 月悬沙来量占全年的 75% 以上。因此取水口的设置首先要考虑淤积问题, 另外由于长江是我国重要的航道, 取水口的设置不能影响航道的正常运行。本文通过永川火力发电厂三期工程的取水口物理模型试验, 对 3 个取水断面附近的流场分布和泥沙冲淤规律进行分析, 从而确定最经济合理的取水口位置, 为取水口及取水泵房的设计和施工提供依据。

1 模型设计

1.1 几何比尺

永川火力发电厂三期工程取水河道参与造床作用的泥沙主要为悬浮质泥沙, 模型设计水平比尺 $\lambda_l = 250$, 垂直比尺 $\lambda_h = 100$, 变率 $\eta = 2.5$ 。模型有效范围从上游朱沱水文站附近至下游的朱羊溪。模型制作采用断面法, 采用 1994 年施测的 1:5 000 航道图制模, 取水段局部采用 2003 年 5 月 1:2 000 地形图。为保证精度, 一些关键的局部微地形参照航道图和大比尺地形图采用等高线法仔细塑造。断面砌筑完毕后进行高程点核对, 要求断面上高程点绝对误差小于 2 mm。

1.2 水流运动相似

天然河道的水流一般均处于紊流状态, 保证水流相似的条件为重力相似、阻力相似和流量相似^[1-3] :

$$\text{重力相似} \quad \lambda_u = \lambda_v = \lambda_h^{1/2} \quad (1)$$

阻力相似
$$\lambda_n = \lambda_h^{1/6} \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_l} \right)^{1/2} \tag{2}$$

流量相似
$$\lambda_Q = \lambda_v \lambda_h \lambda_l \tag{3}$$

式中 λ_u 和 λ_v 为流速比尺 λ_n 为糙率比尺 λ_Q 为流量比尺。

为使模型的糙率系数满足设计要求 ,模型采用梅花形橡皮加糙方法 ,橡皮尺寸为 30 mm × 15 mm × 5 mm(长 × 宽 × 厚) ,间距为 50 mm。

1.3 悬沙运动相似

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 :

沉降速度相似
$$\lambda_\omega = \lambda_v \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \tag{4}$$

挟沙能力相似
$$\lambda_S = \lambda_{S_s} \tag{5}$$

冲淤时间相似
$$\lambda_{t2} = \frac{\lambda_{\rho_0} \lambda_l}{\lambda_{S_s} \lambda_{v_0}} \tag{6}$$

悬移质挟沙能力相似^[4]
$$\lambda_{S_s} = \frac{\lambda_{\rho_s}}{\lambda_{\rho_s - \rho}} \tag{7}$$

式中 λ_ω 为泥沙沉降速度比尺 $\lambda_\omega = 4$; λ_S 为含沙量比尺 $\lambda_S = 0.22$; λ_{S_s} 为水流挟沙力比尺 λ_{t2} 为冲淤时间比尺 $\lambda_{t2} = 260$; λ_{ρ_0} 为淤积泥沙干密度比尺 $\lambda_{\rho_0} = 2.3$; λ_{v_0} 为起动流速比尺 $\lambda_{v_0} = 10$; λ_{ρ_s} 为模型沙密度比尺 $\lambda_{\rho_s - \rho}$ 为原型沙密度比尺。

根据上述相似条件结合取水河道泥沙特性 ,模型沙选用 60 ~ 100 目的木粉按粒径相似要求配比得 $d_{50} = 0.085$ mm 左右的模型沙 ,测得平均沉降速度约为 0.045 cm/s ,浸水饱和后木粉含沙量为 1.16 g/cm³ ,起动流速为 6 ~ 8 cm/s ,长江松溉河道平均水深一般在 8 ~ 15 m ,按窦国仁起动流速公式^[1]计算 ,原型起动流速在 62.0 ~ 80.4 cm/s 之间 ,起动流速比尺基本满足要求。模型的冲淤时间比尺等一般通过验证试验适当调整。

2 模型试验验证

2.1 清水试验

2.1.1 水面线验证

长江上游水文水资源勘测局在模型试验段内共设 4 个测点 ,清水水位验证采用 2005 年 10 月 13—14 日流量为 8 940 m³/s 时的实测中水瞬时水面线。调整模型糙率和关键部位地形 ,使模型水面线和原型水面线基本一致 ,各站水位的绝对误差均小于 0.001 m(相当于原型的 0.1 m) ,如表 1 所示 ,沿程水面线验证结果表明模型满足阻力相似要求。

表 1 2005 年 10 月 13—14 日沿程水面线验证结果 m

测 点	实测水位	模型水位	差值
缆子梁(L1)	198.84	198.87	0.03
毛子岩(L2)	198.12	198.13	0.01
鱼 石(L3)	197.53	197.53	0.00
茯苓窝(L4)	197.37	197.38	0.01

2.1.2 流速验证

以 2005 年 10 月 13—14 日实测流量 8 940 m³/s 为基准 ,测取 3 个断面垂线平均流速进行流速验证 ,验证结果见表 2。由表 2 可以看出 ,模型流速沿河宽分布与原型基本相似。

2.1.3 分流比验证

对永川火力发电厂厂址附近温中坝两侧分流比进行验证 ,其中断面 2 左汊天然流量为 3 340 m³/s ,占总流量的 37% ;右汊流量为 9 020 m³/s ,占总流量的 63%。模型左汊流量为 3 420 m³/s ,占总流量的 38.3% ;右汊流量为 5 520 m³/s ,占总流量的 61.7% ,表明分流比误差较小 ,与河道实际情况基本吻合。

清水试验验证结果表明模型和原型的水面线基本一致 ,模型流速沿河宽分布与原型基本相似 ,模型分流比误差较小 ,与原型基本吻合。

2.2 浑水试验

浑水试验的目的在于验证模型在两个水文年内

表 2 取水河道垂线平均流速沿河宽分布的验证结果

断面 1			断面 2			断面 3		
起点距/m	实测流速/ (m · s ⁻¹)	模型流速/ (m · s ⁻¹)	起点距/m	实测流速/ (m · s ⁻¹)	模型流速/ (m · s ⁻¹)	起点距/m	实测流速/ (m · s ⁻¹)	模型流速/ (m · s ⁻¹)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50.0	0.55	0.85	50.5	2.95	2.24	73.7	0.88	1.49
112.5	0.95	1.18	141.8	2.72	2.45	140.2	2.61	2.53
175.0	1.23	1.73	214.7	2.21	2.05	212.7	3.25	2.89
237.5	1.95	1.92	270.6	2.22	2.52	287.3	2.61	2.65
300.0	2.50	2.52	326.9	1.25	1.54	331.7	2.27	2.30
362.5	2.58	2.43	366.3	0	0.39	394.2	1.35	1.20
425.0	1.42	1.93	445.4	0	0	459.7	0	0
487.5	3.22	2.68						
537.5	0	0						

注 起点距表示与起点的距离。

冲淤范围和淤积量与原型的相似程度。本次模型验证限于 2003 年 5 月测图范围。

2.2.1 来水来沙过程概化

根据 2003—2005 年天然取水河道实测资料及河道冲淤特点分析,2003 年 5 月至 2005 年 10 月河道稍有淤积,但淤积量不大,基本为汛期未冲刷完的淤沙。验证试验 2003 年 5 月开始,2005 年 10 月 14 日结束。

模型试验的入口水沙条件按朱沱水文站相应水文资料控制。尾门控制水位通过朱沱水文站水位~流量关系按比降换算到尾门控制站,并利用朱沱水文站水位进行水位校核。

各流量级的底沙加沙量均按宾国仁推移质公式^[1]计算:

$$q_{sb} = a \frac{0.01 \rho_s \rho}{C_0^2 (\rho_s - \rho)} \left(v - v_k \right) \frac{v^3}{g \omega} \quad (8)$$

其中 $C_0 = \frac{\frac{1}{6} h}{n \sqrt{g}}$

式中: q_{sb} 为单宽输沙率; a 为河床补给系数; ρ_s 为泥沙颗粒的密度; ρ 为水的密度; C_0 为无量纲的谢才系数; v 为垂线平均流速; v_k 为起动流速(个别泥沙起动,其他泥沙不动); g 为重力加速度; ω 为沉降速度; h 为水深; n 为曼宁糙率系数。

2.2.2 取水河道冲淤量验证

从试验过程的监测情况来看,河道年内冲淤过程基本分为两个阶段:第 1 阶段从 5 月下旬到 9 月,基本为淤积过程,9 月淤积量达到最大;第 2 阶段从 9 月到 12 月中旬,皆为冲刷过程。2005 年 10 月原型和模型的剩余淤积量分别为 26.2 万 m^3 和 30.43 万 m^3 ,可见冲刷后的剩余淤积量比较接近。图 1 给出了 2003—2005 年模型和原型淤积分布的

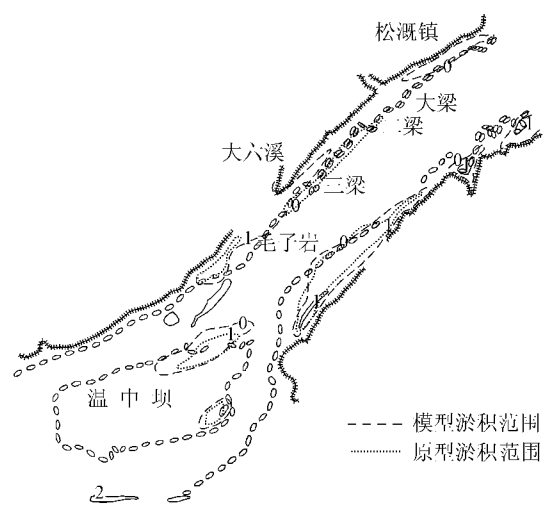


图 1 2003—2005 年模型与原型淤积分布对比(单位: m)

对比,由图 1 可以看出,模型验证淤积范围和原型淤积范围基本一致,冲刷后剩余淤积范围也基本一致,表明模型与原型冲淤过程及冲淤分布是相似的。根据试验过程的监测分析,取水河道汛期淤积的泥沙到次年年初基本冲刷完毕。

3 取水河道泥沙冲淤试验

泥沙冲淤试验主要考虑了两种情况:一是相对较长的年际间的冲淤变化;二是年内的冲淤过程^[5-7]。根据不同时期测图的比较,该河道没有明显的冲淤趋势,长期来说是稳定的,因此本次年际间冲淤变化主要考虑年际间水沙变化较大的年份组合(共 5 a),代表水沙采用 1996—2000 年朱沱水文站资料,其中包括暴发大洪水的特殊年份 1998 年,测取每年年末的河道地形作为取水河道年际间地形变化的参考。年内冲淤试验选用 1998 年水沙过程作为代表水沙组合,试验结果是偏安全的。

3.1 取水河道泥沙淤积分布

图 2(a)给出了取水河道在电厂运行 5 a 后的淤积分布,可见淤积主要分布于温中坝碛尾、弯道凸岸等部位,一般淤积厚度在 2 m 以内,局部如温中坝碛尾淤积达 3~4 m,全河道淤积总量为 119.6 万 m^3 。电厂取水河道北岸淤积强度及淤积量均较小。由图 2(a)可以看出,取水断面 1 附近基本无淤积,淤积主要分布于大六溪河口边滩及深槽,靠近取水断面 2 和取水断面 3。

3.2 取水河道年内冲淤过程

根据泥沙淤积试验的观测结果,取水河道年内冲淤变化比较明显。一般规律是汛期淤积汛后冲刷,年内基本平衡。为研究河床年内的冲淤过程,利用 1998 年水沙资料进行河床年内冲淤过程的模拟,测取汛末最大淤积量,并对重点关注的断面进行冲淤过程的监测。

图 2(b)给出了 1998 年汛末取水河道淤积分布,可以看出,汛末淤积部位与图 2(a)是类似的,但淤积强度和范围明显大于图 2(a)。淤积强度一般在 4 m 以内,全河道淤积总量达 244.5 万 m^3 。从图 2(b)可以看出 3 个取水断面附近的冲淤变化,其淤积主要位于大六溪河口边滩及深槽。

图 3 给出了 3 个取水断面的年内冲淤过程,图 3 表明汛期河道内是淤积的,9 月淤积强度达到最大,随后河道开始冲刷,淤积厚度逐渐减小,到年末保持河道的相对平衡。

试验结果表明取水断面 1 附近泥沙淤积较少,取水断面 2 附近最大淤积厚度小于 3.5 m,取水断面 3 附近最大淤积厚度小于 3.0 m,可见目前河道满足

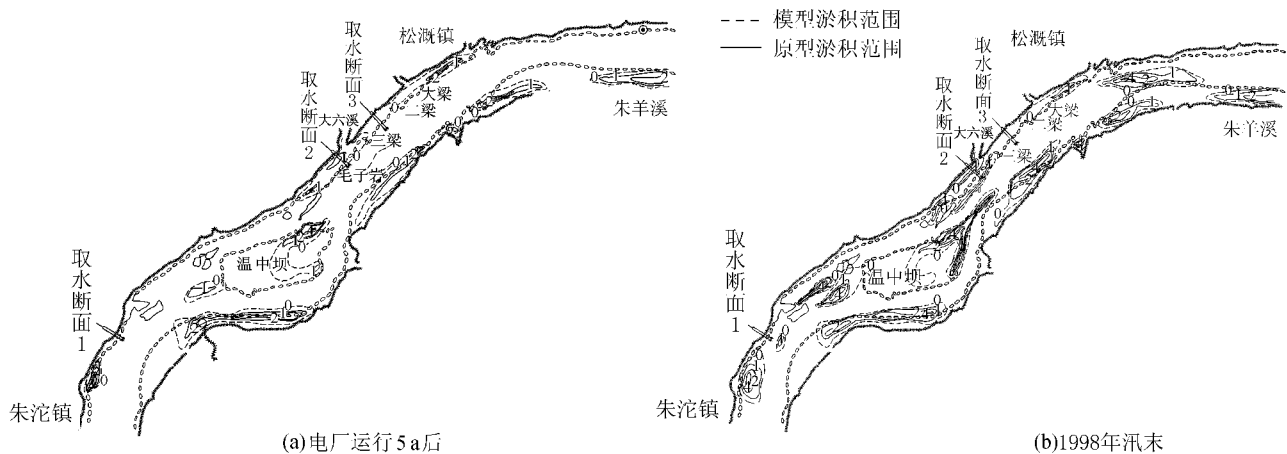


图2 取水河道淤积分布(单位:m)

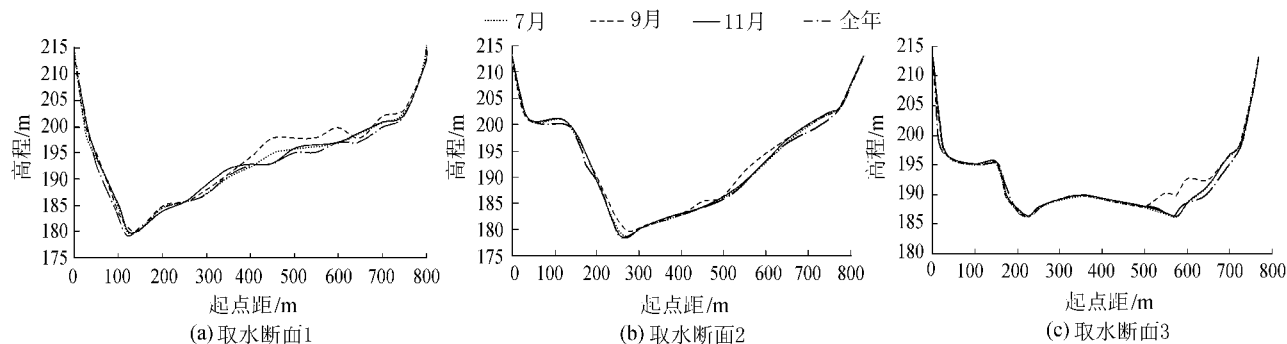


图3 3个取水断面的年内冲淤过程

电厂扩建的取水要求,一般无需疏浚维护。另外由于取水断面1距厂址较远,工程投资较大,取水断面2水流比较平顺,可以避开主航线;取水断面3淤积较少,工程投资节省,但取水口位于主航道附近,枯水季节可能对通航产生影响。经过综合比较,最终将取水口设在取水断面2。

4 结 语

永川火力发电厂厂址不同时期的地形资料对比表明,取水河道岸线稳定,左岸深槽及各取水断面位置基本没有累积性冲淤,河床冲淤幅度较小。模型清、浑水验证试验结果表明,模型与原型阻力相似,流速分布与实测结果吻合,淤积范围及淤积量与原型基本接近,表明模型采用的各项水流比尺选择合理,可以达到与原型的相似,可用于电厂取水能力试验。取水河道泥沙冲淤试验结果表明,取水河道泥沙洪水淤积,枯水冲刷。淤积主要分布于温中坝碛尾、弯道凸岸等部位,1998年汛末淤积厚度一般在4m以内,全河道淤积总量为244.5万 m^3 ,汛后泥沙冲刷,年际间保持相对平衡。3个取水断面的淤积厚度均不大,目前河道满足电厂扩建的取水要求,一般无需疏浚维护。由于取水断面1距厂址较远,工程投资较大,取水断面2水流比较平顺,可以避开主航线,取水断面3工程投资节省,但取水口位于主航

道附近,枯水季节可能对通航产生影响。经过综合比较,最终将取水口设在取水断面2。

永川火力发电厂三期工程于2005年开工建设,运行至今状态良好,在电厂运行过程中没有发生因长江水位起伏和流量变化造成的取水口淤积,且取水口对长江航道也没有产生影响,为电厂的连续运行提供了有力的保障,这表明永川火力发电厂三期工程取水口物理模型试验的结论是正确的,取水口的设置经过了实践的检验。

参考文献:

- [1] 窦国仁,万声淦,陆长石,等.长江三峡工程回水变动区长河段泥沙模型验证试验报告[R].南京:南京水利科学研究院,1990.
- [2] 窦国仁,万声淦.三峡变动回水区泥沙问题的试验研究[R].南京:南京水利科学研究院,1990.
- [3] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.
- [4] 谢鉴衡.河流模拟[M].北京:水利水电出版社,1993.
- [5] 王兆印,徐永年,苏晓波.挟沙水流的冲刷率及河床惯性的研究[J].泥沙研究,1998(2):4-7.
- [6] 张鹤,郭维东,王智.哈尔滨第一热电厂取水口模型试验研究[J].水利水电科技进展,2007,27(1):53-56.
- [7] 熊绍隆,曾剑,韩海寰.潮汐河口泥沙物理模型若干问题探讨[J].水利水电科技进展,2010,30(1):19-24.

(收稿日期:2011-12-12 编辑:骆超)