

谏壁电厂“以大代小”改建工程取排水口水工布置

徐世凯¹, 朱进国²

(1. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029 2. 谏壁电厂, 江苏 镇江 212006)

摘要: 在谏壁电厂已有机组容量和取排水口布置的基础上, 通过物理模型试验对“以大代小”改建 4 × 330 MW 机组取排水口布置进行了论证. 试验结果表明: “以大代小”改建工程取排水口采用“深排浅取”的布置, 排水口蘑菇头采用半封堵且向下游北偏东 15°排放的结构, 对谏壁电厂现状总体水工布置而言是一个较优的方案.

关键词: 谏壁电厂; 取排水口水工布置; 温排水

中图分类号: TM621.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2007)05-0581-06

谏壁电厂位于苏南电网的中心, 是华东电网的主力电厂之一. 鉴于电厂分多期建设, 就取排水口水工布置而言至今仍存在不少问题. 1~5 期取水均采用明渠排水、明渠取水的方式, 实质上是浅排浅取的布置方式, 而且 4、5 期引水明渠紧邻排水明渠下游, 热回归现象突出. 谏壁电厂岸线较短, 取排水口及码头构筑物密集. 因此, 在“以大代小”改建 4 × 330 MW 机组工程取排水口布置论证时, 首先要确定取排水口平面位置、取排水方式以及取排水口的结构型式; 其次在“先建后拆”的基础上兼顾已建机组.

电厂各期取排水工程布置见图 1. 由图 1 可见, 电厂现状取排水口的布置有 3 个特点: (a) 中间排, 上、下游取, 1~3 期引水明渠位于排水明渠上游, 4、5 期引水明渠位于排水明渠下游; (b) 浅排浅取, 排水明渠和 2 条引水明渠口门及渠内高程一般在 -3~-4 m; (c) 排水明渠中心与 4、5 期取水明渠口门中心相距较近, 不足 200.0 m. 电厂现状取排水口的布置特点对 4、5 期取水温升的影响相对较大. 根据目前电厂取排水口布置的特点和沿岸建筑物的布置情况, 确定“以大代小”改建工程取排水口水工布置, 对谏壁电厂改建工程至关重要. 实际上, “以大代小”改建工程取排水口在平面上只能布置在 1~3 期引水明渠的口门附近与万吨码头之间, 受 2000 t、5000 t 码头限制已不可能再向上游布置, 而排水明渠和 4、5 期引水明渠也不能有大的变动, 因此, 有必要通过温排水物理模型试验对“以大代小”改建工程取排水口水工布置进行论证.

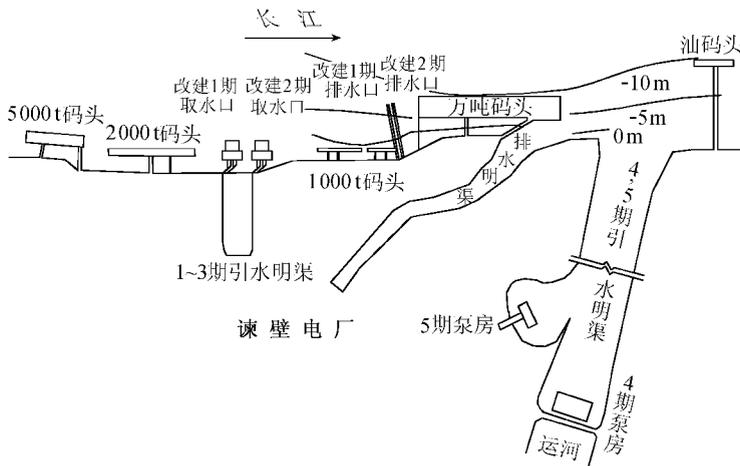


图 1 谏壁电厂各期取排水工程及码头平面布置

Fig. 1 Plan arrangement of docks and water intaking and discharge project for different stages of Jianbi Electric Power Plant

1 工程概述

谏壁电厂地处江苏省镇江市谏壁镇,位于镇扬河段和扬州南汊的南岸,距镇江市约 15 km,紧邻京杭大运河南入口的下游处。目前电厂共装机 10 台,总容量为 1 625 MW。1~3 期装机 6 台,容量为 425 MW,建于 20 世纪 60 年代;4、5 期各装机 2 台,容量为 2×300 MW,分别建于 20 世纪 70 和 80 年代。为适应该地区电力发展需求及谏壁电厂技术改造的要求,需要进行“以大代小”改建 1 期(2×330 MW)、2 期(2×330 MW)工程建设,即以 4×330 MW 容量代替 1~3 期 425 MW 容量机组,并要求先建后拆,分期建设,在改建 2 期 2×330 MW 时,才拆除老厂 425 MW 容量机组。电厂改建工程全部实施后,总装机容量为 2 520 MW。

电厂冷却水均取自长江,为直流供水系统。最大冷却水流量 1~3 期为 $25.0 \text{ m}^3/\text{s}$;4、5 期为 $30.0 \text{ m}^3/\text{s}$,改建 1、2 期为 $28.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。夏季排水温升为 9.0°C ,冬季排水温升为夏季的 90%。

电厂 1~3 期循环水取排水情况 (a) 通过引水明渠取水,该明渠在改建 1 期 2×330 MW 机组时将被填埋。(b) 通过排水明渠排水,该排水明渠系 1~5 期的公共排水明渠,因此,在改建期间仍保留该排水明渠。

电厂 4、5 期循环水取排水情况 (a) 通过新引河从长江引水,电厂 4、5 期取水口相距 230.0 m,新引河全长约 3.7 km。(b) 排水通过闸门控制分别排放至运河和长江,排向长江的部分流量按电厂 4、5 期总排水流量的 $2/5$ (最大为 $24.0 \text{ m}^3/\text{s}$) 计算,由排水明渠排出。

“以大代小”改建机组 1、2 期工程取排水口通过模型试验论证,最终确定为浅取深排方案。该方案循环水泵房建在 1~3 期引水明渠入口 $-4 \sim -5 \text{ m}$ (黄海 56 高程系统,下同) 等深线处,沿长江岸边布置,采用敞开式表层取水,排水头部设在万吨码头系船墩附近 $-7.0 \sim -10.0 \text{ m}$ 等深线处,经重力管排入离岸约 150.0 m 的长江深层水中。

2 模型设计^[1]

2.1 模型试验范围

电厂取排水工程区域位于和扬州南汊弯道顶冲段附近,具有弯道水流和潮汐水流的特征,因此模型上、下游段必须具有足够的长度,模型纵向范围以万吨码头中轴线为参考断面,上游取 2.6 km,下游取 2.7 km,共计 5.3 km。模型上游边界控制流量过程,下游边界控制潮位过程,边界条件由数学模型给出,并在试验过程中进行调整。南、北 2 条为固体边界,即和扬州右汊两岸边界。

2.2 模型相似比尺

根据取排水口布置特点^[2-5]及温排水模型试验的相似要求,模拟近区温差异重流宜采用正态模型^[6-8],几何比尺选用 $L_r = 120$ 。模型试验主要考虑以下相似条件^[9-11]。

2.2.1 水流相似

a. 重力相似

$$(F_r)_r = \left(\frac{u}{\sqrt{gh}} \right)_r = 1$$

b. 阻力相似

$$\lambda_n = (\lambda_l)^{1/6} = 2.22$$

模型做到阻力相似较为困难,如原体糙率取 $n_p = 0.017$,则要求模型糙率 $n_m = 0.008$ 。在制模过程中,用磨光的水泥面尽量使床面光滑,以接近阻力相似。

c. 雷诺数相似要求。为确保模型的紊动输运过程与原型相似,模型雷诺数应超过临界雷诺数,即 $R_{em} \geq R_{ek}$ 。以实测大潮为例,模型排水口射流和模型河道的 $R_{em} \geq 3 000$ 。

2.2.2 温差水流相似

a. 密度佛汝德数相似

$$(F_d)_r = \left(\frac{u}{\sqrt{(\rho_\infty - \rho_H/\rho_\infty)gh}} \right)_r = 1$$

在重力相似模型中,可简化为

$$\left(\frac{\rho_{\infty} - \rho_H}{\rho_{\infty}} \right)_r = 1$$

式中： F_d ——密度佛汝德数； u ——流速； h ——水深； g ——重力加速度； ρ_H ——热水密度； ρ_{∞} ——自然水体密度。

b. 紊动热扩散相似。紊动是由黏性和惯性相互作用引起的，因而由雷诺数来表征。正态模型中模型雷诺数较原型雷诺数小，但只要模型流动及排水口出口的雷诺数超过临界雷诺数，就能够较为准确地模拟紊动的输运过程，热紊动相似便自然得到满足。

2.3 测控仪器

a. 潮汐控制发生系统。上游边界由多泵自动控制单宽流量过程，下游边界由尾门自动控制潮位过程，上下游边界条件在数学模型计算的基础上结合流速(向)验证给出。

b. 控温采温系统。控温采温系统由微机、控温采温柜、控温箱、取排水流量控制设备、温度传感器、温度自动控制及采集的配套软件、水位自动跟踪测架等组成。控温、采温精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。表层温度场采温传感器固定在水位自动跟踪测架上，随着水位的变化自动升降，跟踪水面的精度为 0.1 mm。

c. 流速潮位采集系统。潮位测量采用自计式水位仪，测量误差 0.1 mm；流速测量采用旋浆式流速仪，起动流速为 1.5 cm/s。流速潮位采集系统可同时采集 8 点水位及 24 点流速。

d. 数据自动处理系统。试验结果均由计算机自动处理，分别以屏幕显示、表格、图像和动态显示的形式输出。

3 验证试验

3.1 潮流验证

模型对实测大、小潮的水文资料进行了验证，包括 3 点潮位 (Z_1, Z_3 位于模型上、下游边界， Z_2 位于万吨码头前沿)，7 点垂线流速、流向 ($v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7$)，见图 2。其中， Z_1, Z_3 潮位过程由数学模型提供， Z_2 为实测潮位过程； $v_1 \sim v_7$ 点流速(向)为实测流速(向)。潮位验证结果(以实测大潮 Z_2 为例)见图 3，流速(向)验证结果(以实测大潮 v_2 流速验证为例)见图 4。

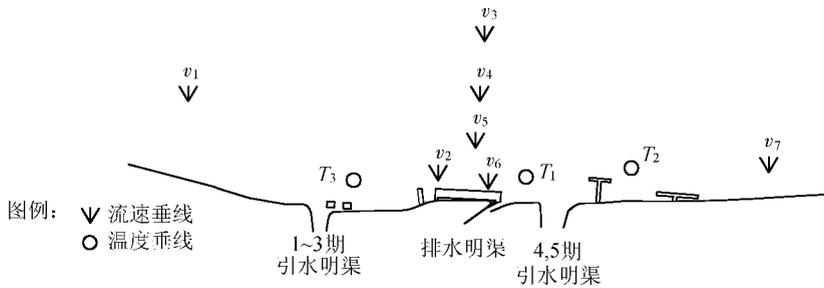


图 2 流速、温度测量垂线布置

Fig.2 Vertical arrangement for flow velocity and temperature measurement

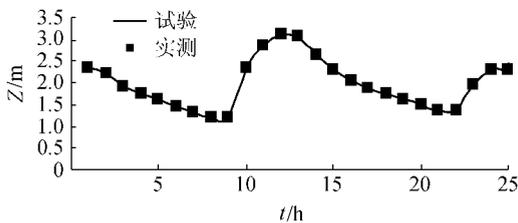


图 3 实测大潮潮位 (Z_2) 验证

Fig.3 Verification of measured data of tidal level during the process of high-tide

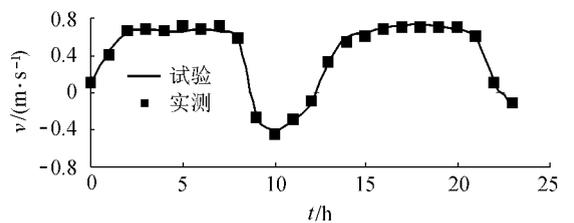


图 4 实测大潮流速 (v_2) 验证

Fig.4 Verification of measured data of flow velocity during the process of high-tide

由图 3 和图 4 可见，潮位验证及流速验证结果良好，说明模型能较好地模拟原体水流动态，并在此基础上进行温排水及方案试验研究。

3.2 温度验证

通过原体实测大潮期间垂线温度观测($T_1 \sim T_3$)及取水泵房温度观测,对模型进行温度验证,测温垂线布置见图2.图5为大潮落潮流时刻 T_1, T_2 垂线温升验证结果.由图5可见,模型温升沿水深分布与原体吻合良好,表层温升略有差别,分析其原因主要是由于原体、模型气象条件的差异及表面散热不相似等造成的.可以认为,模型按正态设计,能较好地模拟近区三维温度场的分布规律.

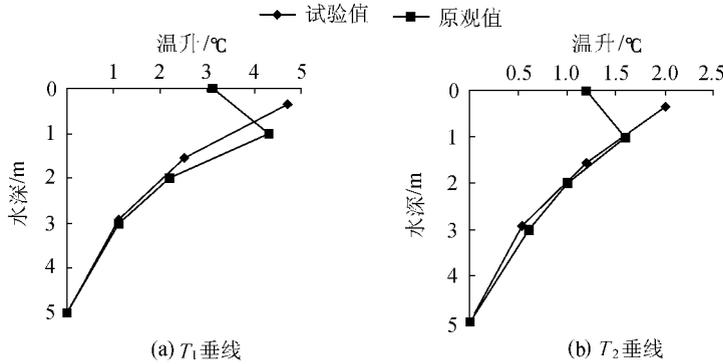


图5 温升分布验证

Fig.5 Verification of temperature rise distribution

实测大潮期间,谏壁电厂提供的取水泵房平均取水温度1~3期为 11.08°C ,4,5期为 11.94°C ,相应原体自然平均水温约为 11.0°C .从潮汐特征及现状取排水口平面布置来看,4,5期取水温升较高,1~3期取水温升较低.模型试验取水温升与实测取水温升比较见表1.通过垂线温升分布及取水温升验证,说明模型具有较好的模拟取排水工程水域三维温度场的能力.

表1 模型试验取水温升与实测取水温升对比

Table 1 Comparison of field data of temperature rise at water intakes with those from model test during the process of high-tide $^\circ\text{C}$

取水口	模型最高温升	模型最低温升	模型平均温升	原体泵房温升
1~3期	0.28	0	0.07	0.08
4期	1.13	0.33	0.76	0.94

由于长江自然水温在观测期间是一个非稳定的过程,而试验期间模型自然水温基本不变,加上原体测量误差等因素,致使取水温升试验值与电厂提供的资料略有不同.

4 方案试验及优化

4.1 模型试验工况

模型试验水文条件包括实测大潮、实测小潮、10%保证率最小径流量夏季大潮、夏季平均潮型、冬季最大潮差相应的潮型以及97%低潮位相应的潮型.已建和“以大代小”机组取排水流量均按最大设计流量考虑.

4.2 设计方案试验成果

“以大代小”工程排水口为多点蘑菇头式,蘑菇头排水窗上缘顶高程为 -5.5m ,下缘顶高程为 -8.5m ,高度 3.0m .蘑菇头出水为四周径向排水方式,见图6.实测大、小潮各期取水温升见表2.

表2 设计方案各取水口取水温升

Table 2 Temperature rise at different intakes in design scheme

试验潮型	取水口	最高温升/ $^\circ\text{C}$	最低温升/ $^\circ\text{C}$	平均温升/ $^\circ\text{C}$
实测大潮	改建1期	2.57	0.10	1.81
	改建2期	2.70	0.10	2.05
	4期	1.53	0.38	0.69
实测小潮	5期	1.43	0.27	0.54
	改建1期	1.40	0.43	1.19
	改建2期	1.60	0.60	1.29
实测大潮	4期	0.93	0.10	0.82
	5期	0.83	0	0.75

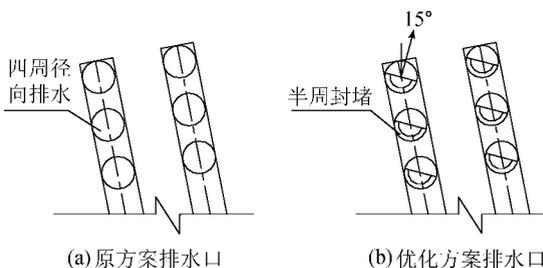


图6 “以大代小”工程排水口布置

Fig.6 Water discharge outlet arrangement in rebuilding project

由表1和表2可以看出,“以大代小”工程排水对4,5期取水温升影响不大,略小于1~3期排水对4,5期

取水温升的影响。“以大代小”取水温升主要受自身排水的影响,不论是涨潮流还是落潮流,都会有不同程度的热水回归现象。落潮流时,由于“以大代小”工程排水口周向排水和取排水口之间贴岸回流的影响,在取排水口之间形成一顺时针贴岸回流区,从而产生热水回归现象。

4.3 优化方案试验成果

优化方案的主要目的是消除落潮流时形成的贴岸回流,同时兼顾“以大代小”工程排水对自身和4、5期取水温升的影响。显然,排水窗出流方向在 $90^\circ \sim 270^\circ$ 之间不合适(正北为 0° ,顺时针旋转为正),只能在 $270^\circ \sim 360^\circ$ 和 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围沿离岸方向排放。

模型试验采用恒定流(落潮流)的方法,在不同水位和不同流速组合情况下,利用示踪剂(颜色水)和漂浮物(纸花)进行观测,发现在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围沿离岸方向排放,落潮时贴岸回流消失。考虑对4、5期工程的影响以及万吨码头航运的要求,经论证将排水窗排水方向确定为北偏东 15° ,见图6。在各种不同试验工况下,码头前沿横向流速不超过 0.30 m/s ,各期工程取水温升均有明显减小,见表3。

表3 优化方案取水口取水温升

Table 3 Temperature rise at different intakes in optimized scheme

试验潮型	取水口	最高温升/ $^\circ\text{C}$	最低温升/ $^\circ\text{C}$	平均温升/ $^\circ\text{C}$	试验潮型	取水口	最高温升/ $^\circ\text{C}$	最低温升/ $^\circ\text{C}$	平均温升/ $^\circ\text{C}$
实测大潮	改建1期	1.30	0	0.26	10%保证率 最小径流 夏季大潮	改建1期	0	0	0
	改建2期	1.50	0	0.31		改建2期	0	0	0
	4期	0.77	0	0.62		4期	1.27	0.29	1.08
	5期	0.67	0	0.51		5期	1.20	0.23	0.99
实测小潮	改建1期	0	0	0	夏季平均 潮型	改建1期	0	0	0
	改建2期	0	0	0		改建2期	0	0	0
	4期	0.70	0.31	0.65		4期	1.00	0.83	0.93
	5期	0.66	0.27	0.61		5期	0.90	0.70	0.83

为便于说明,将现状运行、原方案、优化方案各取水口取水温升列于表4。从表4可以看出,优化方案各取水口取水温升均低于现状和设计方案的取水温升。

表4 各取水口温升比较

Table 4 Comparison of temperature rise at different water intakes

试验潮型	方案	改建1期取水温升/ $^\circ\text{C}$		改建2期取水温升/ $^\circ\text{C}$		4期取水温升/ $^\circ\text{C}$		5期取水温升/ $^\circ\text{C}$	
		最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均
实测大潮	现状					1.13	0.76	0.93	0.60
	原方案	2.57	1.81	2.70	2.05	1.53	0.69	1.43	0.54
	优化方案	1.30	0.26	1.50	0.31	0.77	0.62	0.67	0.51
实测小潮	原方案	1.40	1.19	1.60	1.29	0.93	0.82	0.83	0.75
	优化方案	0	0	0	0	0.70	0.65	0.66	0.61

总体而言,“以大代小”工程取排水口布置方案有“浅排深取”方案和“深排浅取”方案2种。对于“浅排深取”方案,排水口仅能布置在1~3期取排水明渠之间(如取排水口交换位置)。模型试验结果表明,“以大代小”工程排水对自身取水温升的影响较小,而对4、5期的影响较大。以实测小潮为例,落潮流时4、5期平均取水温升比现状运行高约 0.6°C 。而“深排浅取”方案通过方案优化后对4、5期取水温升的影响比现状运行小,对自身也不会产生影响。因此,谏壁电厂在狭窄的岸线内布置“以大代小”工程取排水口,经试验优化后的“深排浅取”方案是可行的。

5 结 语

a. 采用正态模型能较好地模拟取排水工程水域三维温度场效应,取水温升和垂线温升分布与原体吻合良好。

b. 考虑工程现状取排水口布置特点及水流运动特征,采用半封堵蘑菇头深层排水、岸边泵房取水的“深排浅取”方案对谏壁电厂“以大代小”改建工程是一较优的方案,该方案不但对自身取水温升影响较小,还可以有效地减小已建机组的取水温升。

c. 优化方案排水口采用多点蘑菇头半封堵型式,可供类似工程借鉴.

参考文献:

- [1] 徐世凯,常十军. 谏壁电厂“以大代小”工程温排水模型试验[R]. 南京:南京水利科学研究所, 2002.
- [2] 江洧,林佑金,陆耀辉. 惠州 LNG 电厂循环冷却水工程模型试验研究[J]. 人民珠江, 2001(4):9-12.
- [3] 安金英,高铭山. 沙角发电基地取排水口工程布置浅析[J]. 广东电力, 2002, 15(3):58-60.
- [4] 李瑞生,刘长贵. 盐淡水交汇水域电厂温排水及航道取水的试验研究[J]. 水动力学研究与进展:A辑, 1996, 11(6):661-671.
- [5] 李瑞生. 沙角电厂冷却水工程模型试验研究及其特色[J]. 水利学报, 1997, 28(1):31-38.
- [6] 时桂萱. 温差异重流散热研讨[J]. 华北工学院学报, 1998, 19(3):207-210.
- [7] 岳钧堂. 差位式理论及工程应用——感潮水域冷却水运动及工程布置研究[J]. 水利学报, 1993, 24(12):10-16.
- [8] 李振海,李贵宝,姜爱春,等. 鸭河口电厂重叠式取排水口运行特性调查、观测与研究[J]. 水利水电技术, 2003, 34(9):59-62.
- [9] HELMNT K. 水力模拟[M]. 北京:清华大学出版社, 1988.
- [10] XU Shi-kai, LI Rong-hui, WU Fu-sheng, et al. Experimental investigation on sedimentation near hydraulic of a thermo-plant[C]// Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation. Beijing:Tsinghua University Press, 2004:807-811.
- [11] 张书农. 环境水力学[M]. 南京:河海大学出版社, 1998.

Hydraulic arrangement of water intakes and discharge outlets in rebuilding project of Jianbi Electric Power Plant by enlargement of capacity of generating units

XU Shi-kai¹, ZHU Jin-guo²

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*
2. *Jianbi Electric Power Plant, Zhenjiang 212006, China*)

Abstract: Based on the former capacity of generating units and arrangement of water intakes and discharge outlets at Jianbi Electric Power Plant, physical model experiments were performed to test the rationality of the water intake and discharge outlet arrangement in the rebuilding project, in which the generating units with the capacity 4×330 MW were adopted. The result shows that the arrangement of water intakes and discharge outlets to realize deep layer discharge and shallow layer water intaking and the structure of semi-closed discharge outlets with water discharging toward downstream in the direction 15° north by east is an optimal scheme for overall hydraulic arrangement in the rebuilding project.

Key words: Jianbi Electric Power Plant; hydraulic arrangement of water intake and discharge outlet; thermal discharge