

# 蓬莱电厂取水头物理模型试验

赵桂芳, 李毅男

(山东电力工程咨询院, 山东 济南 250013)

摘要: 在分析国电蓬莱电厂取水水源及海底水文地质资料的基础上, 建立了海水取水头物理模型, 通过测试取水头各部分构筑物在设计依据的不同水位、波浪作用下的稳定性, 验证并优化了设计方案。

关键词: 取水头, 物理模型试验, 结构优化, 蓬莱电厂

中图分类号: TK284.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2005)S2-0009-03

一般火力发电厂(包括核能发电厂)必须具备满足设计要求的循环冷却用水水源(河流、湖泊、海域等)。国电蓬莱发电厂拟建厂址位于蓬莱市西部西城临港工业区内北沟镇北王绪村的西侧, 电厂循环水系统以海水为水源, 采用直流供水系统。一期  $2 \times 300$  MW 机组夏季需要的最大海水冷却水量为  $20.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , 冷却循环水取水设计采用重力式暗管取水方案, 即直流循环的海水通过预制的圆形取水头、预制的双孔钢筋混凝土引水沟道, 自流至于位于陆地的循环水泵房前池内。

取水头采用预制的圆筒形沉箱结构。根据进水流条件及沉箱自身稳定和结构要求, 沉箱设计为内径 15 m, 外径为 16 m, 壁厚 0.50 m, 顶板厚 0.30 m, 底板厚约 1.0 m, 并设井字梁及柱, 以增加取水头的整体刚度。

试验在分析国电蓬莱电厂取水水源及海底水文地质资料的基础上, 建立了海水取水头物理模型, 通过测试取水头各部分构筑物在设计依据的不同水位和波浪作用下的稳定性, 验证设计方案并提出了改进措施。

## 1 取水头结构设计

### 1.1 取水头结构设计条件

a. 水位: 0.5% 高水位 + 2.31 m, 1% 高水位 + 2.15 m, 设计高水位 + 0.7 m, 设计低水位 - 0.69 m, 97% 低水位 - 1.19 m, 1% 低水位 - 2.23 m。

b. 波要素: 采用不同水位下 100 年一遇的取水口头部波要素值进行断面物理模型试验, 高水位波要素值见表 1, 低水位波要素均采用极限波。

表 1 波要素 ( $L_0 = 118.05 \text{ m}$ )

水位	$H_{1\%}/\text{m}$	$H_{4\%}/\text{m}$	$H_{5\%}/\text{m}$	$H_s/\text{m}$	$T_s/\text{s}$
0.5% 高水位	3.56	3.04	2.95	2.51	8.7
1% 高水位	3.40	2.91	2.83	2.4	8.7
设计高水位	2.95	2.52	2.45	2.08	8.7

### 1.2 设计取水头结构形式

取水头布置于海底标高 - 7.30 m 左右处, 根据水文条件采用取水窗口的上槛标高为 - 3.50 m (1985 黄海高程), 底槛标高 - 5.50 m, 在自然海底面以上 1.60 m 左右, 进水窗高度 2 m。圆形进水口沿圆周分 8 个窗口, 窗口之间用钢筋混凝土支柱相连, 进水窗口设铜合金拦污栅条, 四周设顶宽 2 m, 边坡为 1:1.5 的块石防护体, 抛石顶面标高高出自然海底地面标高约 0.50 m, 即 - 6.70 m 左右, 见图 1。

## 2 取水头模型试验设计

### 2.1 模型相似律和比尺的推导

模型试验结果要准确可靠地反映原型相应的物理参数和物理现象, 必须以量纲分析和相似理论为基础, 模型与原型之间应遵守一定的相似准则。本试验波浪与结构物之间的相互作用, 重力是主要作用力, 应按照重力相似律进行设计, 模型与原型之间满足 Froude 数相等, 即

$$Fr = \frac{L}{T^2 g} = \text{常数} \quad (1)$$

式中:  $L$  为长度;  $T$  为时间;  $g$  为重力加速度。

设定长度比尺为  $\lambda_L$ , 由式 (1) 可以导出:

$$\text{时间比尺} \quad \lambda_T = \lambda_L^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{速度比尺} \quad \lambda_v = \lambda_L^{1/2} \quad (3)$$

作者简介: 赵桂芳(1965—), 女, 山东德州人, 高级工程师, 从事水工结构设计研究。

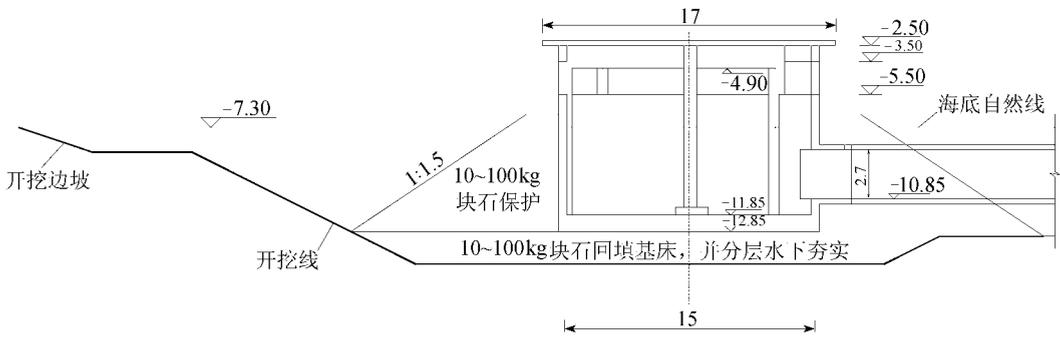


图1 取水头示意图(单位:m)

$$\text{质量比尺} \quad \lambda_m = \lambda_L^3 \quad (4)$$

$$\text{力的比尺} \quad \lambda_F = \lambda_L^3 \quad (5)$$

根据《波浪模型试验规程》<sup>[1]</sup>的要求,波浪与直墙式结构物相互作用的建筑物模型设计,应满足与原型几何相似.与稳定性试验有关的结构物构件的模型设计,除应满足几何相似外,尚应满足质量相似、重心位置相似.

## 2.2 模型比尺的确定<sup>[1-5]</sup>

根据试验内容的要求,综合考虑试验条件和建筑物结构尺度、波浪等动力因素和试验仪器测量精度,确定取水头位置-7.30m处断面试验模型取:长度比尺 $\lambda_L = 30$ ,时间比尺 $\lambda_T = \lambda_L^{1/2} = \sqrt{30} = 5.48$ ,质量比尺 $\lambda_m = \lambda_L^3 = 30^3 = 27000$ .引水沟道模型取:长度比尺 $\lambda_L = 20$ ,时间比尺 $\lambda_T = \lambda_L^{1/2} = \sqrt{20} = 4.47$ ,质量比尺 $\lambda_m = \lambda_L^3 = 20^3 = 8000$ .

## 2.3 建筑物模型制作

建筑物模型制作中,取水头圆沉箱模型严格按照结构图纸模拟,控制几何尺度、质量及重心位置与原型相似,抛石基床块石和护底块石也按照比尺控制模拟质量,达到试验规程要求的制作精度.

## 2.4 试验设备和测量仪器

试验在长50.0m、宽1.2m、深1.1m的不规则波水槽中进行.水槽一端为低惯量直流式电机不规则造波机,另一端为消能设施.波高测量采用电阻式浪高仪.

## 3 试验工况

根据模型试验内容的要求,确定一个断面位置、6种水位、规则波及不规则波,共计10种试验工况,见表2及表3.水深均为-7.30m( $\lambda_L = 30$ ).

表2 率定原始波要素(不规则波)

工况	水位	$H_{1\%}/m$	$H_{10\%}/m$	$H_s/m$	$T_s/s$
1	0.5%高水位	3.93	3.27	2.61	8.8
2	1%高水位	3.63	3.06	2.46	8.6
3	设计高水位	2.83	2.46	2.07	8.8
4	设计低水位	3.75	3.09	2.64	8.8
5	97%低水位	3.09	2.61	2.1	8.7
6	1%低水位	2.73	2.25	1.83	9.0

表3 率定原始波要素(规则波)

工况	水位	$\bar{H}/m$	$\bar{T}/s$
24	0.5%高水位	3.54	8.7
25	设计高水位	2.90	8.7
26	设计低水位	3.23	8.7
27	1%低水位	2.33	8.7

## 4 试验方法及过程

首先在自然海底状况下进行波要素率定,按照给定波要素,以JONSWAP风浪谱为靶谱模拟造波,用浪高仪采集记录波浪数据,进行谱分析,与靶谱对照,调整造波机,直至试验波要素满足靶谱要求.这里需要说明的是,一部分断面波要素原水文条件中没有给出的,试验中均采用极限波高.获取试验波要素后,再按照设计要求开挖基槽,铺设基础块石并夯实.按照设计图纸安放模型,然后进行其在各种工况下的稳定性试验.

《波浪模型试验规程》<sup>[1]</sup>中规定,建筑物稳定性试验,波浪作用时间原型应不少于2h.按照本试验所确定的时间比尺,取水头位置进行沉箱、盖板及护底块石稳定性测试时,波浪作用时间应不少于22min.

## 5 试验结果与分析

### 5.1 取水头模型

模型完全按照图1制作,测试其各种工况波浪作用下的稳定性.试验结果中给出的数据均为原型值.

### 5.2 取水头(-7.30m)稳定性试验

取水头沉箱后安放30m长引水沟道两段,共计60m,加氯管盖板10块,加氯管支墩16个.

试验工况分别为1~6不规则波,波浪方向为顺向,与引水沟道轴线平行.

a. 0.5%高水位(工况1,随机波).由于取水头沉箱内波浪的顶托作用,而盖板直径大于沉箱外径,更加大了顶托的影响,使得3块盖板在波浪作用10min左右后,难以依靠其自重维持稳定,均被掀起发生较大位移,几乎从沉箱上掉下来,盖板发生失稳.

现象.取水头沉箱、引水沟道及加氯管盖板均稳定.

表4 修改设计方案试验结果(取水头)

b. 高水位(工况2 随机波).将模型重新安放至设计位置后继续试验.由于1%高水位比0.5%高水位降低了0.16m,波浪对结构的影响会稍偏大些,但有效波高 $H_s$ 减小了0.15m,所以沉箱盖板失稳现象与工况1情况相近.取水头沉箱、引水沟道及加氯管盖板均稳定.

c. 设计高水位(工况3 随机波).沉箱盖板在波浪作用下,仍有被掀动现象而发生位移,位移后3块盖板间形成较大空隙,卸掉了沉箱内波浪产生的大部分浮托力,因此,在波浪作用1h左右后,盖板即基本不动,没发生新的位移.取水头沉箱、引水沟道及加氯管盖板均稳定.

d. 设计低水位(工况4 随机波).按照模型试验的要求,该水位应按极限波进行试验,所以率定的原始波要素值较大,有效波高甚至超过了工况1,另由于水位较低,波浪力对沉箱结构的影响更大,因此盖板在波浪作用16min后即严重失稳,其中一块被从沉箱上掀掉.取水头沉箱、引水沟道及加氯管盖板均稳定.

e. 97%低水位(工况5 随机波).试验现象与工况4相近,沉箱盖板失稳,其余结构均稳定.

f. 1%低水位(工况6 随机波).水位降低后波高减小,波浪力亦随之减小,盖板在工况6波浪作用下的失稳情况明显减轻,3块盖板在浮托力作用下发生一定位移后,形成的空隙卸掉了沉箱内大部分压力,逐渐稳定住不再继续位移.取水头沉箱、引水沟道及加氯管盖板均稳定.

## 6 设计方案修改

根据初步试验结果,原设计方案中取水头沉箱盖板在波浪作用下失稳,因此,调整盖板结构的尺寸如下:取水头沉箱盖板厚度由原来的300mm调整为650mm,直径由17m改为15m,沉箱盖板由安放在沉箱上部改为安放至沉箱内部,由十字横梁承载,并在每个1/3扇面上均匀开设直径为300mm的卸压孔6个.

设计方案修改后试验结果见表4.

## 7 试验结论与建议

a. 水深-7.30m处取水头沉箱、10~100kg基床块石、引水沟道及加氯管盖板,在试验所采用的各水位100年一遇顺向波浪作用下,均稳定.

b. 取水头沉箱盖板在各种试验工况波浪作用下,均处于失稳状态.建议增加盖板厚度,减小其直径并开设卸压孔,以增加自重并减小波浪顶托的影响.

水位	工况	结构稳定性					试验现象
		沉箱 箱	沉箱 盖板	引水 沟道	加 氯管 盖板	10~ 100kg 块石	
0.5% 高水位	1	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	波列中小波浪作用时,沉箱盖板不动,大浪时,3块盖板中的一块上下掀动,幅度较大,约0.7m,后又卡住不能复位.
1% 高水位	2	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	沉箱盖板失稳程度较工况1有所减轻,只是偶有掀动.
设计 高水位	3	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	沉箱盖板失稳程度较工况2进一步减轻,只是微微掀动,幅度3~5cm.
设计 低水位	4	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	3块沉箱盖板同步从中间向上掀起,较频繁,但幅度不大.
97% 低水位	5	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	现象同工况4,程度较工况4进一步减轻.
1% 低水位	6	稳 定	临 界	稳 定	稳 定	稳 定	沉箱盖板微微掀动,几乎看不出.
0.5% 高水位	24	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	其中一块盖板频繁上下掀动,掀动程度与工况1相近,由于沉箱的限制,未被掀出来.
设计 高水位	25	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	其中一块盖板频繁上下掀动,但幅度较小.
设计 低水位	26	稳 定	失 稳	稳 定	稳 定	稳 定	同工况4.
1% 低水位	27	稳 定	临 界	稳 定	稳 定	稳 定	同工况6.

## 8 设计应用

根据上述试验结论,设计中采取了如下改进措施:

a. 取水头沉箱盖板板厚由原来的300mm加厚至700mm,以增加自重.

b. 盖板边缘设置凹槽,放置位置由取水头沉箱的顶部改为与取水头顶部齐平,使盖板卡置在取水头和顶部支撑梁之间,从而限制盖板的水平位移.

c. 在取水头沉箱盖板上开设直径200mm卸压孔,每块盖板上共设26个,以减小波浪顶托的影响.

本工程通过断面物理模型试验,得出了取水头结构改进优化措施.随着经济发展,海边、江边电厂越来越多,取水条件也越来越复杂,对取水型式及结构的要求越来越高,进行物理模型试验对取水结构进行改进、优化是十分必要的.如结合工艺专业布置进行整体物理模型试验,结论将更有针对性,更符合运行工况.

### 参考文献:

- [1] JTJ/T234 波浪模型试验规程[S].
- [2] SL155-95 水工(常规)模型试验规程[S].
- [3] SL156-165-95 水工(专题)模型试验规程[S].
- [4] 吴宋仁,陈永宽.港口及航道工程模型试验[M].北京:人民交通出版社,1993.
- [5] JT213-98 海港水文规范[S].

(收稿日期 2005-09-27 编辑 熊水斌)