

矩形调压室连接型式的研究

胡 明¹, 蔡付林¹, 曹 青²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 青海大学水电系, 青海西宁 810016)

摘要 针对 3 台机组合用 1 条有压尾水隧洞的矩形阻抗式尾水调压室底部流道的体型进行了优化试验研究. 研究了 3 种典型的底部流道体型的水头损失, 以及机组负荷变化情况下不同的底部流道体型的水头损失与分流比的关系. 结果表明, 尾水调压室阻抗隔板下设曲线形分岔方案的流态较好, 与常规无分岔的方案相比, 减少水头损失约 50%, 可显著提高发电效益.

关键词 调压室 体型优化 水头损失 分流比 分岔
中图分类号 TV732.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2000)02-0092-04

对于装机台数较多的地下厂房, 为了节省开挖量和减少尾水管处的水锤压力值, 在尾水隧洞较长时, 往往几台机组合用 1 条尾水隧洞, 并在尾水管与尾水隧洞的结合部建造一个尾水调压室.

尾水调压室的几何形状与水头损失是密切相关的, 减少尾水调压室的水头损失是优化尾水系统设计的重要内容之一. 为了便于布置, 多数地下厂房的水电站都采用矩形水平截面的尾水调压室. 水工模型试验表明, 若尾水调压室底部亦为矩形则流态较差, 水头损失较大^[1]. 本文结合我国一待建巨型水电站工程, 对 3 台机组合用 1 条有压尾水隧洞的矩形阻抗式尾水调压室的底部流道体型进行了试验研究.

1 试验模型及试验方案

图 1 为试验装置的布置图, 模型比尺为 1:60. 矩形阻抗式尾水调压室上游侧分别为 3 台机组尾水管的连接管, 其断面形式为城门洞型, 有压尾水隧洞断面也呈城门洞型. 尾水调压室底部阻抗隔板下不设分岔.

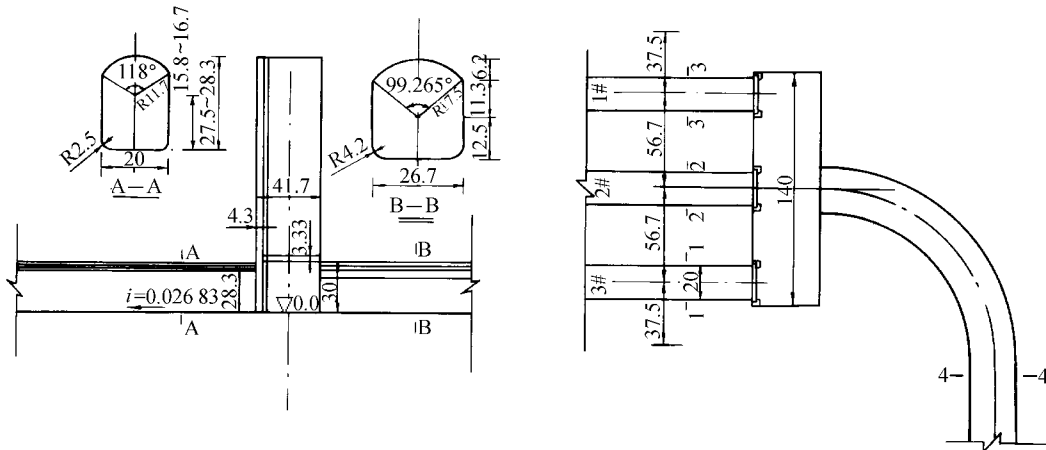


图 1 试验装置布置示意图

Fig.1 Sketch of test installation

为了量测调压室水位下降(即合流)、调压室水位上升(即分流)情况时尾水调压室底部水头损失系数和阻抗孔的损失系数, 不但在调压室的阻抗孔口上部布置了测压断面, 而且在尾水连接管中部布置了测压断面 $i-i$ ($i=1, 2, 3$), 而尾水隧洞转弯后布置了测压断面 4-4, 见图 1. 每个测压断面设 4 个测压孔, 经环形管均

压后连接到测压管上.由断面 1—1,2—2,3—3 的测压管水头与断面 4—4 的测压管水头之差计算尾水调压室底部流道的水头损失系数.测压管的量测精度为 $\pm 1\text{ mm}$.

矩形尾水调压室的底部流道体型是造成尾水调压室水头损失的主要因素.合理的流道形式有利于减小水流通过调压室底部时的水头损失,有助于减小调压室的边墙高度和工程量,因此在矩形断面形式的基础上,对其进行体型优化(图 1),又选取了一个在阻抗隔板下设折线形分岔(图 2(a))和阻抗隔板下设曲线形分岔的体型方案(图 2(b)).

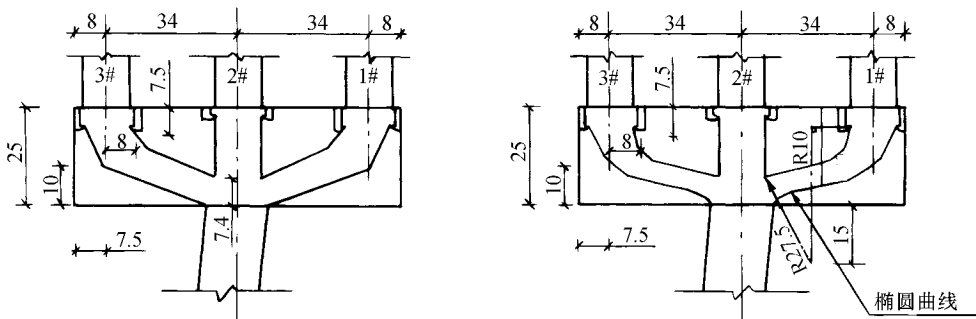


图 2 调压室底部流道体型方案

Fig.2 Schemes of the bottom shape of the surge tank

为了研究水电站各种可能的运行工况下各种尾水调压室底部流道体型所造成的水头损失,对水电站所有可能的运行工况进行了试验.

2 试验成果及分析

2.1 水头损失和水头损失系数

局部水头损失是由于几何边界条件改变而引起的水流的能量损失,其定义为

$$\Delta h_{ij} = H_i - H_j = (Z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i V_i^2}{2g}) - (Z_j + \frac{p_j}{\gamma} + \frac{\alpha_j V_j^2}{2g}) \tag{1}$$

式中 i, j ——两个量测断面的编号; H_i, H_j ——断面总水头.由于量测断面均选在流速分布比较均匀的位置,故可近似地认为动能修正系数 $\alpha_i = \alpha_j = 1$,因而式(1)可表示为

$$\Delta h_{ij} = (Z_i + \frac{p_i}{\gamma}) - (Z_j + \frac{p_j}{\gamma}) + \frac{V_i^2 - V_j^2}{2g} = \xi_{ij} \frac{V^2}{2g} \tag{2}$$

式中 ξ_{ij} 为两断面间的水头损失系数.试验中 $(Z_i + p_i/\gamma), (Z_j + p_j/\gamma)$ 由测压管量测,断面平均流速 V_i, V_j 按所测得的流量除以断面面积求得.流量由孔板流量计进行量测.

由于机组增减负荷后,尾水调压室中的水位产生波动,流入和流出尾水调压室的流量在不断变化,相应进入尾水隧洞的流量也在不断变化,因而底部流道的水头损失系数也随进入尾水隧洞流量的变化而变化,并且也与水流进出调压室的状态密切相关.流经调压室底部的水流呈分流状态(部分水流进入调压室,即调压室水位上升时的状态)和合流状态(部分水流从调压室流出,即调压室水位下降时的状态)^[2].

在分流情况下,

$$\Delta h_{i4} = \xi_{i4} \frac{V_i^2}{2g} \tag{3}$$

在合流情况下,

$$\Delta h_{i4} = \xi_{i4} \frac{V_4^2}{2g} \tag{4}$$

式(3),(4)中,下标 $i = 1, 2, 3$ 分别为 3 个尾水连接管量测断面的编号.尾水调压室水位上升和下降即分流和合流时用不同的流速水头是为了避免流速水头为零的情况.

2.2 机组正常运行情况下调压室底部的水头损失

表 1 为机组正常发电工况下每台机组尾水连接管水流流经调压室底部所产生的水头损失实测值.每台机组的过流量都为额定流量.

表 1 各种工况下机组正常发电运行时的水头损失系数实测值
Table 1 Measured head losses under different operation conditions

机组运行 工况		断面 位置	不设分岔方案 阻力系数 ξ_{ij}	折线形分岔方案 阻力系数 ξ_{ij}	曲线形分岔方案 阻力系数 ξ_{ij}
3 台机 运行	1 # , 2 # , 3 #	1—4	5.23	4.79	2.92
		2—4	4.52	4.06	2.18
		3—4	4.83	4.49	2.81
	1 # , 2 #	1—4	3.11	2.97	1.87
		2—4	2.50	1.77	1.00
		2—4	2.47	1.72	0.91
2 台机 运行	2 # , 3 #	3—4	2.74	2.46	1.55
		1—4	4.00	3.41	1.83
		3—4	3.53	3.12	1.69
1 台机 运行	1 #	1—4	2.15	2.00	1.36
		2—4	0.34	0.31	0.23
		3—4	2.01	2.02	1.32

3 台机组同时运行情况下不同的尾水调压室底部体型水流流经其底部所产生的水头损失是不同的,曲线形分岔方案的水头损失最小,与矩形(无分岔)方案相比,其水头损失只是它的 54.6%,而折线形分岔方案与矩形(无分岔)方案相比,水头损失系数减少的幅度并不明显。

两台机运行时,由于 1 # , 2 # , 3 # 机组中任意两台的组合在尾水调压室底部所产生的水流现象不同,因而所产生的水头损失差异也较大。1 # , 2 # 两机运行时在尾水调压室底部所产生的水流现象与 2 # , 3 # 两机运行时所产生的水流现象相近,但 1 # , 2 # 两机运行时所产生的水头损失略大于 2 # , 3 # 两机运行时所产生的水头损失,原因是所量测的水头损失包括了尾水调压室下游尾水隧洞的转弯段的损失,即转弯方向的影响造成了两种情况下水头损失的差异。1 # , 3 # 两机运行时的水头损失较前两种情况都要大,主要是因为 1 # 尾水连接管的水流与 3 # 尾水连接管的水流在进入尾水调压室的底部流道后产生对撞,消耗了部分能量所致。

对各流道方案两台机运行情况下的水头损失进行比较后可以看出 矩形(无分岔)方案所产生的水头损失最大,折线形分岔方案次之,曲线形分岔方案所产生的水头损失最小,只相当于矩形(无分岔)方案的 48% 左右。

1 台机单独运行时,各方案的水头损失相比,矩形(无分岔)方案所产生的水头损失最大,曲线形分岔方案水头损失最小,后者相当于前者的 64% 左右。

2.3 机组负荷变化时调压室底部的水头损失

图 3、图 4 分别为两台机组正常运行、改变第 3 台机组流量时,在分流(对应调压室水位上升)和合流(对应调压室水位下降)情况下,调压室不同的底部流道形式的水头损失系数与分流比的关系。

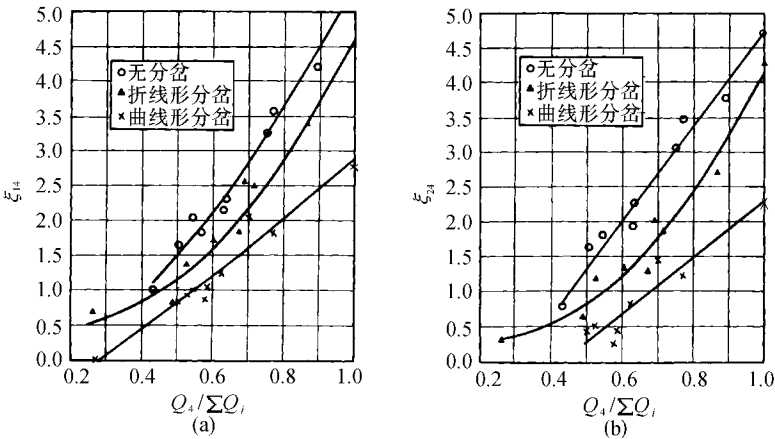


图 3 分流情况下不同的底部流道形式的水头损失系数与分流比的关系

Fig.3 Relation between head loss and discharge ratio for different bottom shapes under flow separation

从图 3 中可以看出,分流情况下 ξ_{14}, ξ_{24} 随分流比 $Q_4/\sum Q_i$ 的增大而增大. 由于随着进入调压室的流

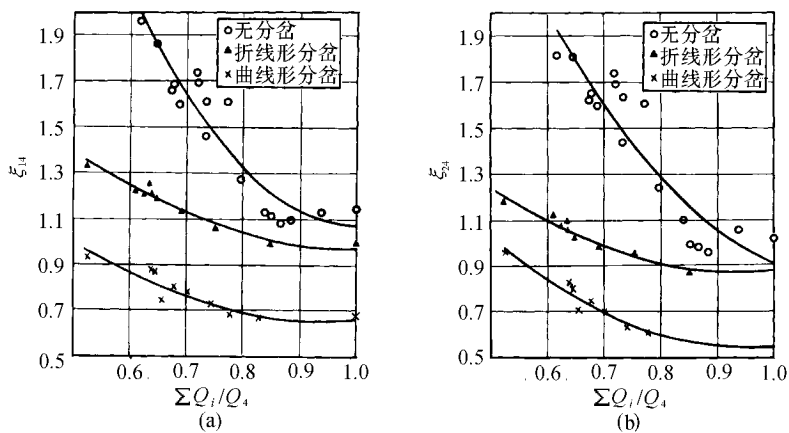


图 4 合流情况下不同的底部流道形式的水头损失系数与分流比的关系

Fig.4 Relation between head loss and discharge ratio for different bottom shapes under confluence

量减小,经过尾水调压室底部进入尾水隧洞的流量增加,导致调压室底部的水流紊动加剧,所产生的水头损失就增加.当分流比为 1 时,即表示尾水调压室处于正常运行工况.图 4 表示合流情况下 ξ_{14} , ξ_{24} 随分流比 $\sum Q_i/Q_4$ 的增大而减小, ξ_{34} 与 ξ_{14} 相近.比较不同底部流道形式的水头损失系数变化规律可以发现,相同试验条件下阻抗隔板下设曲线形分岔方案的水头损失系数明显低于其他方案.从结构角度来说,阻抗隔板下设分岔体型方案与不设分岔体型方案相比,可减小调压室底部流道的跨度以及阻抗隔板的尺寸.这有助于减小调压室边墙的高度,从而可提高尾水调压室边墙的稳定性的.

3 结 论

- a. 尾水连接管、尾水调压室和尾水隧洞的连接方式,即尾水调压室底部的流道形式,对调压室底部的流态有很大的影响.阻抗隔板下设曲线形分岔方案的局部流态较好,水头损失相对最小.
- b. 在电站正常运行工况下,阻抗隔板下设曲线形分岔方案与不设分岔方案相比,尾水调压室底部水头损失减少约 50% .
- c. 阻抗隔板下设分岔体型方案与不设分岔体型方案相比,可减小调压室底部流道的跨度以及阻抗隔板的尺寸,有助于减小调压室边墙的高度,从而提高尾水调压室边墙的稳定性的.

参考文献：

[1] 胡明. 矩形汇流室水流性态模型试验研究[J]. 河海大学学报, 1994, 22(4) : 54 ~ 59.
[2] 蔡付林, 刘启钊. 两机共用的尾水调压室水力特性试验研究[J]. 河海大学学报, 1996, 24(6) : 66 ~ 71.

Model for Optimization of Bottom Shape of Rectangular Orifice Tail Surge Tank

HU Ming¹, CAI Fu-lin¹, CAO Qing²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Dept. of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Qinghai Univ., Xining 810016, China)

Abstract A model for optimization of the bottom shape of the rectangular orifice surge tank in the tail tunnel used by three units is studied in this paper. Measured are the head losses for three types of bottom shape and the changes of head loss under different loads. The results demonstrate that the curve bifurcation model is the best and its head loss is 50% less than that of the non-bifurcation model. The bottom shape recommended can increase the efficiency of power generation significantly.

Key words surge tank ; optimization model ; head loss ; discharge rate ; bifurcation