

岔管流动的数值模拟

董 壮¹, 罗龙洪², 郑福寿²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029)

摘要:应用 $k-\epsilon$ 模型和控制体积法建立了三维紊流数学模型, 根据工程需要对某抽水蓄能电站的引水岔管和尾水岔管的不同体型进行了流态、流速、压力分布的数值模拟研究, 在原方案计算结果的基础上提出了修改方案并进行了对比计算, 给出了不同工况的水流流态、流速分布和压力分布以及相应的水头损失系数。计算结果表明, 修改方案流态有明显改善, 水头损失系数明显减小。

关键词:岔管流动; 数值模拟; 控制体积法

中图分类号: TV134.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-198X(2007)01-0014-04

岔管是抽水蓄能电站常用的引水建筑物, 岔管体型是否合理, 对水头损失影响较大, 直接关系到电站的运行效率和长期效益^[1]。岔管处受发电、抽水双向水流作用, 水流流态较为复杂, 物理模型试验周期长、投资大, 不便于多种方案的比选。随着计算流体理论和计算机技术的不断发展, 数学模型将成为一种有效的研究手段^[2-5]。

某抽水蓄能电站输水系统按 2 洞 4 机方案布置, 地下厂房上游设有 2 个钢筋混凝土引水岔管, 将 2 条引水主管分为 4 条引水支管, 引水主管直径 6.5 m, 支管直径 3.8 m。地下厂房下游设有 2 个钢筋混凝土尾水岔管, 将 4 条尾水支管合并为 2 条尾水主管, 尾水支管直径 4.8 m, 主管直径 7.0 m。发电工况额定水头主管流量为 $80.2 \text{ m}^3/\text{s} \times 2 = 160.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 抽水工况最小扬程主管流量为 $72.4 \text{ m}^3/\text{s} \times 2 = 144.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。为寻求岔管承受双向水流时流态和结构受力均较佳的体型, 本文通过数学模拟计算对设计所选体型的合理性进行了验证。

1 数学模型的建立

1.1 模型控制方程

描述水流运动的控制方程是在连续性假定的基础上, 根据经典牛顿力学建立的连续性方程以及 Navier-Stokes 方程(N-S 方程)。目前常采用数值方法求解雷诺时均方程^[6], 以获得统计意义上的物理量时均值。雷诺时均方程包括连续性方程和动量方程。

计算中用 $k-\epsilon$ 模型来确定紊动应力。

1.2 边界条件^[7]

管道入流边界: 入流流量;

管道出流边界: 假定管道出口流动充分发展, 各物理量趋于稳定, 则有 $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$;

壁面边界: 采用无滑动边界条件, 近壁处用壁函数处理。

1.3 初始条件

初始条件采用冷启动, 各物理量初值均为 0。

2 计算区域与计算网格

考虑到计算效率与计算内容, 将计算区域确定为: 引水岔管 - 30 ~ 40 m; 尾水岔管 - 30 ~ 50 m。坐标原点为 2 支管轴线交点, 坐标方位如图 1 所示。

由于岔管分岔处体型曲面较为复杂, 采用贴合性较好的空间四面体非结构网格。为避免产生畸形网格, 选取了 20 cm 的网格尺度。所划分的引水岔管网格总数约为 150 万, 尾水岔管网格总数约为 250 万。图 1 给出了修改前后引水岔管的计算区域与分岔处的局部计算网格。尾水岔管的情况与之相似。

用控制体积法进行数值离散, SIMPLE 算法进行求解^[8].

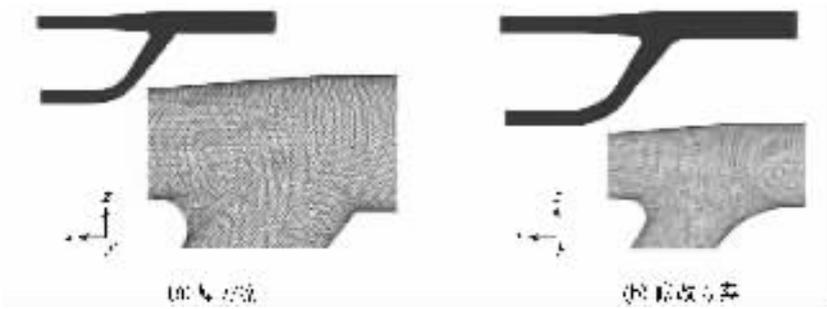


图 1 引水岔管计算区域与局部网格

Fig.1 Local grid for calculation region of intake bifurcated pipe

3 计算结果分析

本文计算了引水、尾水岔管修改前后双管运行和单管运行 24 种工况的流速与压力分布,几种典型工况下的管道水平中心平面的流速和压力分布如图 2~ 图 5 所示.

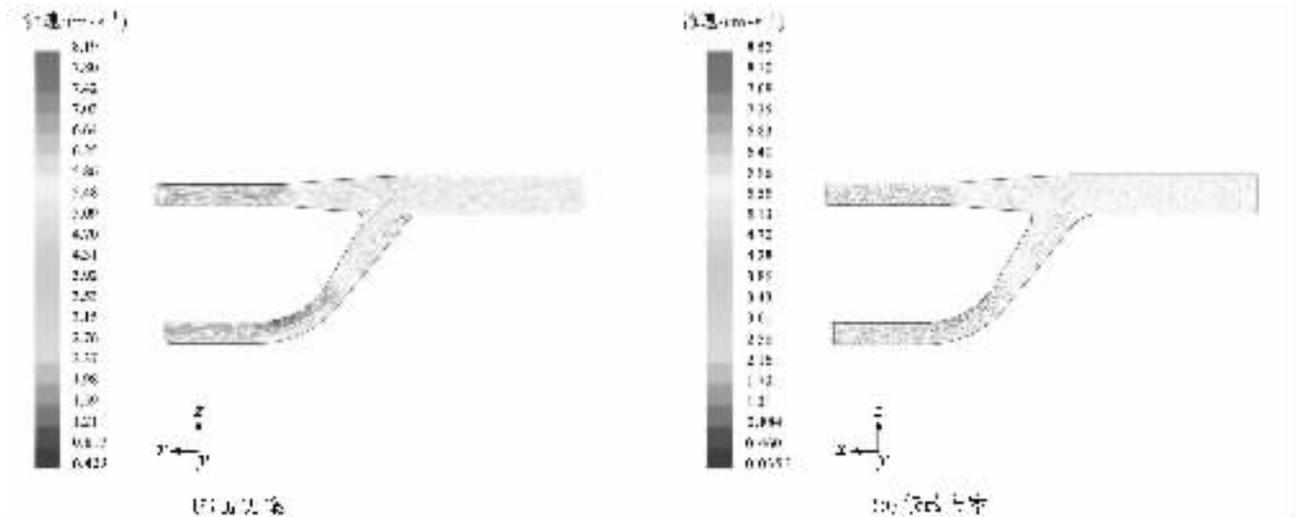


图 2 引水岔管双管发电工况轴线附近水平剖面流速分布

Fig.2 Flow velocity distribution in horizontal profile near the axis of intake bifurcated pipe under condition of power generation

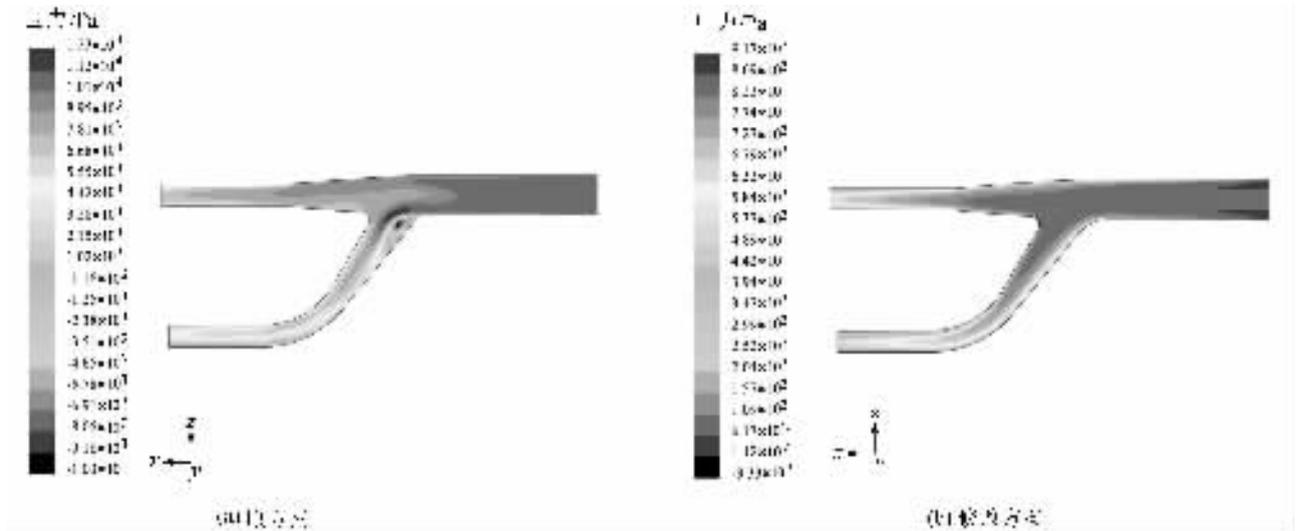


图 3 引水岔管双管发电工况轴线附近水平剖面总压力分布

Fig.3 Pressure distribution in horizontal profile near the axis of intake bifurcated pipe under condition of power generation

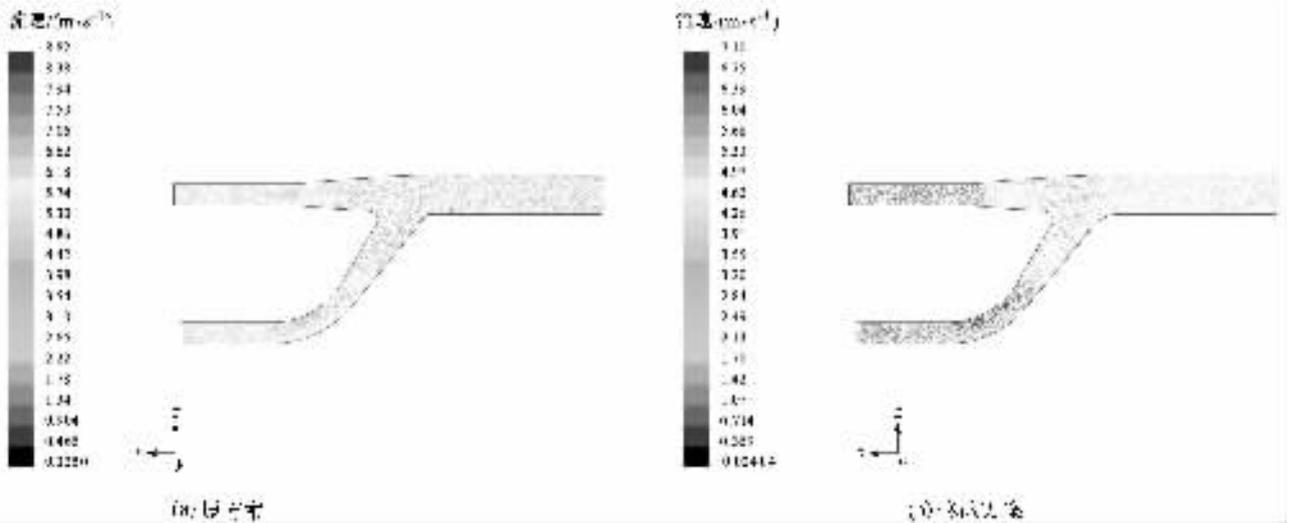


图 4 引水岔管双管抽水工况轴线附近水平剖面流速分布

Fig.4 Flow velocity distribution in horizontal profile near the axis of intake bifurcated pipe under condition of water pumping

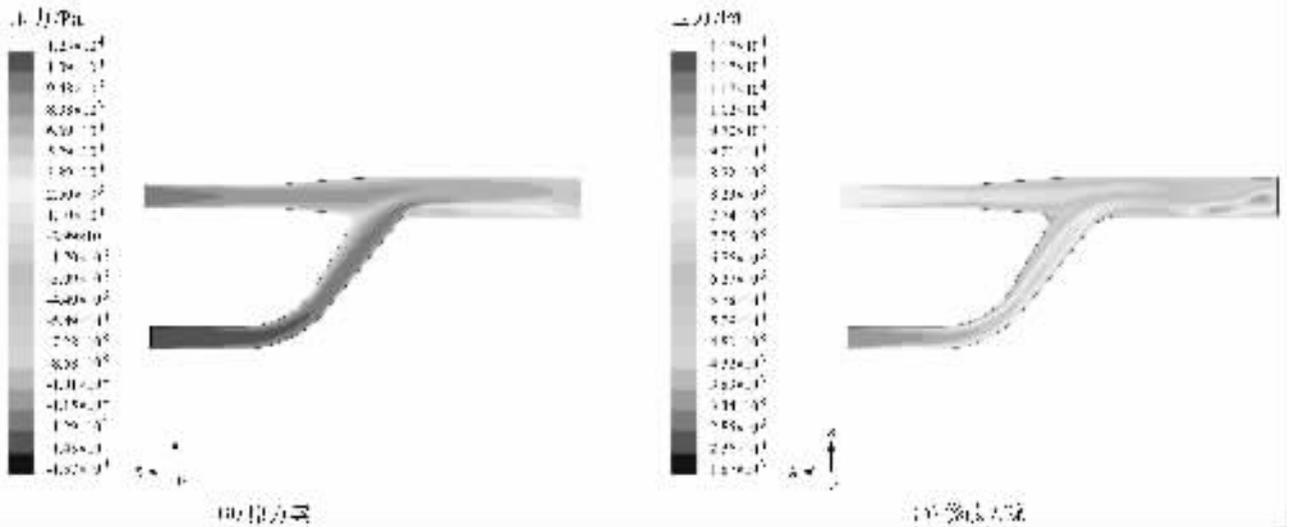


图 5 引水岔管双管抽水工况轴线附近水平剖面总压力分布

Fig.5 Pressure distribution in horizontal profile near the axis of intake bifurcated pipe under condition of water pumping

由流速分布及压力分布图可见,各工况计算流速分布和压力分布符合流体能量转化规律。

在原方案引水岔管发电工况下,双管运行(图 3(a))与弯管支管单独运行时,受管道体型的影响,弯管支管入口处均存在明显的回流区,由于双管运行时流速较大,双管运行时回流区的长度和宽度均大于弯管支管单独运行时回流区的长度和宽度。压力分布也表现出相同的变化规律,回流处存在一明显的低压区(图 3(a))。修改方案计算结果表明,调整模型体型,可以使弯管支管水流运动更为平顺,引水岔管发电工况弯管支管入口处回流区消失(图 3(b))、压力分布更为合理(图 3(b))。引水岔管发电工况直管支管流速压力分布较为理想,修改前后的变化不如弯管支管明显,但流速和压力分布均有所改善。

在原方案引水岔管抽水工况下,双管运行(图 4(a))与弯管支管单独运行时,受管道体型的影响,主管分岔处存在明显的偏流,主流偏向流向左侧,右侧(弯管支管入口侧)存在明显回流区和低压区,由于双管运行时存在直管来流的压迫作用,偏流程度较弯管支管单独运行时低,回流区的长度和宽度均比弯管支管单独运行时小。压力分布也表现出相同的变化规律(图 5(a))。修改方案,弯管支管水流运动更为平顺,引水岔管抽水工况主管入口处回流区消失,偏流现象明显改善(图 4(b))、压力分布更为合理(图 5(b))。引水岔管抽水工况下直管支管流速及压力分布较为理想,修改前后变化不明显,但流速和压力分布均有所改善。

尾水岔管体型与引水岔管较为相似,尾水岔管发电工况与引水岔管抽水工况的流速分布和压力分布较为相似,尾水岔管抽水工况与引水岔管发电工况的流速分布和压力分布较为相似,修改前后的变化规律也较

为相似。

水头损失系数(水头损失除以主管流速水头)计算结果如表 1 和表 2 所示。由计算结果可知,双管运行情况下的水头损失系数均小于各支管单独运行情况下的水头损失系数,引水岔管发电工况与抽水工况的水头损失系数变化不大,尾水岔管发电工况的水头损失系数小于抽水工况的水头损失系数。与原设计方案相比,修改方案各相应工况水头损失系数明显减小。

表 1 引水岔管水头损失系数

Table 1 Head loss factor of intake bifurcated pipe

工 况	水头损失系数			
	原方案		修改方案	
	支一	支二	支一	支二
发电	1 号机运行	0.74	0.60	
	2 号机运行		1.76	1.23
	双机运行	0.25	0.61	0.14 0.32
抽水	1 号机运行	0.79	0.64	
	2 号机运行		1.75	1.42
	双机运行	0.30	0.60	0.11 0.37

表 2 尾水岔管水头损失系数

Table 2 Head loss factor of tail bifurcated pipe

工 况	水头损失系数			
	原方案		修改方案	
	支一	支二	支一	支二
发电	1 号机运行	0.54	0.51	
	2 号机运行		1.00	0.93
	双机运行	0.23	0.31	0.06 0.20
抽水	1 号机运行	0.32	0.32	
	2 号机运行		0.85	0.69
	双机运行	0.14	0.60	0.07 0.19

4 结 语

本文在岔管体型较复杂的情况下生成了非结构计算网格,并采用紊流数学模型模拟了多种运行工况,得到了符合流体能量转化规律的流速与压力分布。计算结果表明,修改后的方案各工况水力条件与压力分布均有所改善,其中引水岔管的抽水工况和尾水岔管的发电工况在双管和弯管运行时改善尤为明显,各工况的水头损失系数也明显减小。

参考文献:

- [1] 陆佑楣,潘家铮.抽水蓄能电站[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [2] 李玲,李玉梁,黄继汤,等.三岔管内水流流动的数值模拟与实验研究[J].水利学报,2001(3):49-52.
- [3] 李玉梁,李玲,陈嘉范,等.抽水蓄能电站对称岔管的流动阻力特性[J].清华大学学报:自然科学版,2001,43(2):270-272.
- [4] 刘沛清,屈秋林,王志国,等.内加强月牙肋三岔管水力特性数值模拟[J].水利学报,2001(3):42-47.
- [5] 杨效礼.三岔管水流数值模拟及水力特性研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2004.
- [6] 章梓雄,董曾南.黏性流体力学[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 王福军.计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,1989.

Numerical simulation of flow in bifurcated pipes

DONG Zhuang¹, LUO Long-hong², ZHENG Fu-shou²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract A 3-D turbulence numerical model was developed by use of the $k-\epsilon$ model and FVM. It was used for simulating the flow pattern, the velocity field and pressure distribution in different types of intake bifurcated pipes and tail bifurcated pipes at a pumped storage power station. The initial design scheme was modified, and a comparative calculation was performed. Then, the flow pattern, the velocity field, and the pressure distribution under different operation conditions as well as corresponding factors of head losses were obtained. The result of simulation shows that, by adoption of the modified scheme, the flow pattern is obviously improved, and the head loss factor is greatly decreased.

Key words flow in bifurcated pipe; numerical simulation; FVM