

# Numerical Simulation of the Wind Field in the Tailrace Ventilation Tunnel of a Hydropower Station

Jian Wu<sup>1,2</sup> Lin Fang<sup>1,2</sup> Honggang Zhao<sup>1,2</sup>

1. Power China Huadong Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310013, China  
2. Power China Anhui Survey and Design Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

## Abstract

The cross section area of the surge chamber of the hydropower station is greatly different from that of the tailrace access tunnel and the ventilation and safety tunnel, which will cause a large wind speed in the tunnel. The wind speed is related to the use safety of the tail transfer traffic tunnel and ventilation and safety tunnel. In this paper, the mathematical model is used to simulate the flow field of bifurcated pipe structure of a hydropower station, and the distribution law of wind speed is analyzed: ① The unsteady flow can be simulated through the boundary with variable input; ② The flow velocity at the intersection between the tailrace traffic tunnel and the ventilation tunnel is the maximum, and the maximum wind velocity can be reduced by trimming the shape; ③ The speed variation law of each tunnel is consistent with the inflow and outflow law of surge chamber.

## Keywords

hydropower station; tail regulating ventilation tunnel; wind field; numerical simulation

## 某水电站尾调通气洞风场的数值模拟研究

吴建<sup>1,2</sup> 方林<sup>1,2</sup> 赵洪刚<sup>1,2</sup>

1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 310013  
2. 中电建安安徽勘测设计有限公司, 中国·安徽 合肥 230000

## 摘要

水电站调压室横截面面积与尾调交通洞、通风兼安全洞截面积相差较大, 将使洞内产生较大的风速。风速大小关系到尾调交通洞、通风兼安全洞的使用安全。论文采用数学模型模拟某水电站岔管结构水流流场, 分析风速分布规律等, 得出: ① 可以通过输入变化的边界模拟非恒定流; ② 尾调交通洞和通风洞之间交叉口处流速为最大, 可以通过修整体型, 降低最大风速; ③ 各个隧洞的速度变化规律与调压室涌浪进出流量规律一致。

## 关键词

水电站; 尾调通气洞; 风场; 数值模拟

## 1 引言

水电能源在中国能源结构中占据重要位置, 水电的发展对能源安全、地方经济发展等有着重要意义。中国水电建设发展已经走在了全球前列, 水电开发技术成熟。水电站调压室横截面面积与尾调交通洞、通风兼安全洞截面积相差较大, 将使洞内产生较大的风速。风速大小关系到尾调交通洞、通风兼安全洞的使用安全。论文采用数学模型模拟某水电站岔管结构水流流场, 分析风速分布规律等, 以期得出一定结论为同类项目提供参考。

## 2 工程概况

某水电站是河上规划开发 7 个梯级电站中的第三级。

电站总装机为 600 MW, 共装 6 台水轮发电机组, 单机容量为 100 MW, 水库正常蓄水位为 1030.00 m, 最低运行水位为 1028.00 m, 尾水出口水位约为 960 m, 电站额定水头约为 60 m, 单机引用流量为 188 m<sup>3</sup>/s, 多年平均利用小时约为 7000 多小时, 多年平均发电量约为 43 亿度。

引水系统由进水口、引水支洞、尾水支洞、尾水调压室、尾水隧洞及尾水出口组成。引水隧洞采用单机单洞布置形式, 隧洞衬后直径为 7.7 m, 采用平底马蹄形断面, 尾水支洞隧洞断面形式同引水支洞, 同样采用单机单洞布置形式, 尾水支洞到尾水调压室后三洞合一, 形成两条尾水主洞, 尾水主洞衬后直径约为 12.8 m, 断面形式同为平底马蹄形。尾水调压室采用两个水力单元, 单个调压室尺寸为 145 m × 21 m × 63 m (长 × 宽 × 高)。

## 3 水电站钢岔管概述

尾水调压室、尾调交通洞、通风兼安全洞、厂房及主

【作者简介】吴建(1985-), 男, 中国安徽庐江人, 硕士, 高级工程师, 从事水利水电研究。

变互相联通,在过渡过程中,机组启动、增负荷、减负荷、甩负荷等操作都将引起调压室内水位上下波动,由于调压室横截面面积与尾调交通洞、通风兼安全洞截面积相差较大,将使洞内产生较大的风速。部分水电站地下厂房受地理环境影响,常面临高湿度、高温度等问题,故厂房内部通风系统的设计规划与操作运行至关重要<sup>[1]</sup>。风速大小关系到尾调交通洞、通风兼安全洞的使用安全,因此需要对三维流场进行空气动力数值分析。

## 4 数值模型

西南交通大学的曾惜以白鹤滩水电站为研究对象,对不同施工阶段的水电站进行现场勘测,通过数值分析运算得到了各厂房系统间的影响关系,并得出风机位置对于整体厂房通风区域的影响<sup>[2]</sup>;重庆大学的谢东通过对特定工况下相似模型试验与CFD数值模拟结果的对比、验证分析,发现采用两种研究手段所得到的结论基本吻合,得到较为可靠的地下厂房气流组织CFD数值模拟方法<sup>[3]</sup>。

此水电站数值模型计算域包括:调压室、尾调交通洞和通风洞。整个计算域均采用六面体网格,网格划分见图。边界条件处理:支管的边界类型设为速度进口,主管设为自由出口,固壁处采用无滑移边界条件,紊流动能和耗散率可以采用经验公式估算。

采用三维k-ε紊流数学模型模拟岔管结构水流流场,模型所用的控制方程为:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \mu_t \right) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{K 方程: } \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + C_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\varepsilon \text{ 方程: } \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

式中:  $t$  为时间;  $u_i$ 、 $u_j$ 、 $x_i$ 、 $x_j$  分别为速度分量与坐标分量;  $\nu$ 、 $\nu_t$  分别为运动粘性系数与紊动粘性系数, 湍动粘度  $\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon$ ;  $p$  为修正压力;  $f_i$  为质量力;  $C_k$  为平均速度梯度引起的紊动能  $k$  的产生项,  $C_k = \mu_t \left[ \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]$ ; 经验常数  $C_u=0.09$ ,  $\sigma_k=1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.33$ ,  $C_{1\varepsilon}=1.44$ ,  $C_{2\varepsilon}=1.42$ 。

## 5 计算结果与分析

GK1 工况, 沿着尾调交通洞水平截面整体流速分布如图 1 所示。由图可知, 流速较大部位位于交叉口, 尾调与尾调交通洞交叉部位流速约 24 m/s; 尾调交通洞与通风兼安全洞交叉口流速约 32 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 20~24 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 14~16 m/s。可知, 该工况下尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较大。

GK2 工况, 沿着尾调交通洞水平截面整体流速分布如图 2 所示。由图可知, 流速较大部位位于交叉口, 尾调与尾

调交通洞交叉部位流速约 15 m/s; 调交通洞与通风兼安全洞交叉口流速约 13 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 10~15 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 5~10 m/s。可知, 该工况下尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较大。

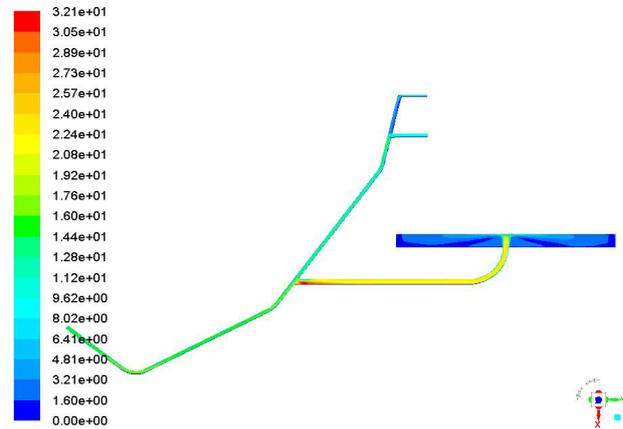


图 1 流速分布云图 (工况 1, 单位: m/s)

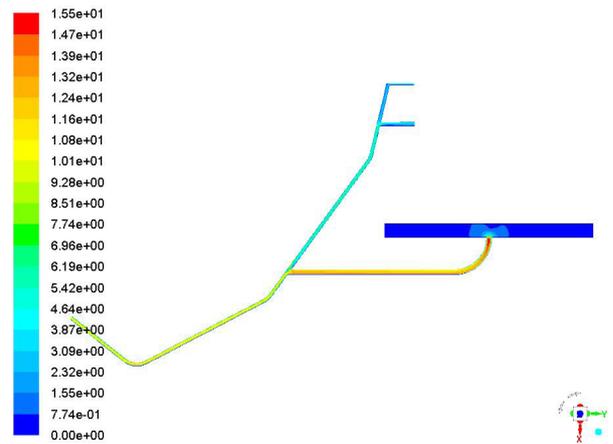


图 2 流速分布云图 (工况 2, 单位: m/s)

GK3 工况, 沿着尾调交通洞水平截面整体流速分布如图 3 所示。由图可知, 流速较大部位位于交叉口, 尾调交通洞与通风兼安全洞交叉口流速约 4.5 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 3 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 2~2.5 m/s。可知, 该工况下尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较小。

GK4 工况, 沿着尾调交通洞水平截面整体流速分布如图 4 所示。由图可知, 流速较大部位位于交叉口, 尾调交通洞与通风兼安全洞交叉口流速约 16 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 10~12 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 6~8 m/s。可知, 该工况下尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较大。

最小负压位于与厂房主变交界处, 约 -2.1 Pa, 除此除外, 尾调交通洞大范围负压约为 -170~190 Pa, 通气兼安全洞大

范围负压约为 -40~60 Pa。

面5)平均流速。监测断面布置如图5所示。

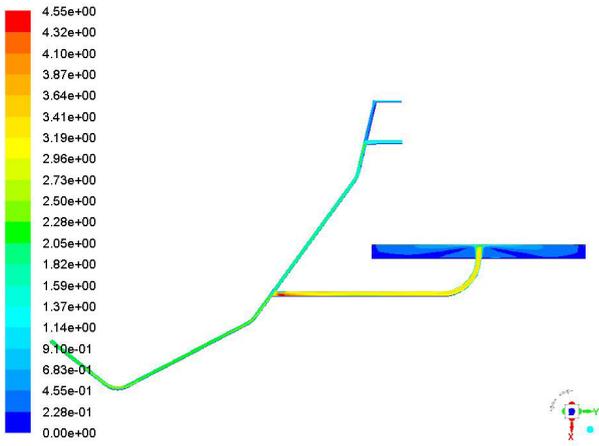


图3 流速分布云图(工况3, 单位: m/s)

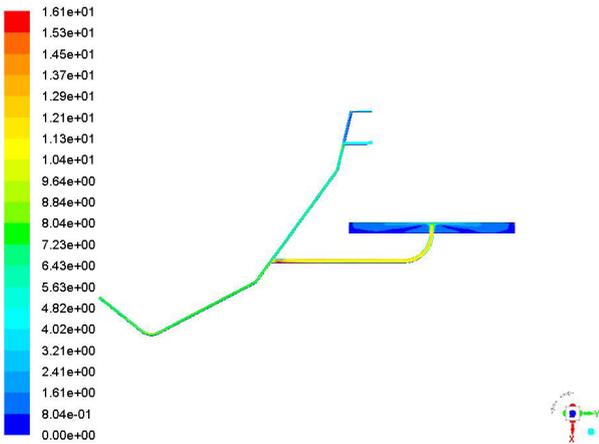


图4 流速分布云图(工况4, 单位: m/s)

GK5 工况, 该工况计算采用非恒定算法, 根据过渡过程计算提供的数据, 速度进口的速度采用 UDF (自定义函数) 加载进口流速, 该流速随时间变化。计算过程监测尾调交通洞、通风兼安全洞出口及其与厂房主变连接处断面平均流速, 断面命名为: 截面 1~4。同时监测尾调入口断面(截

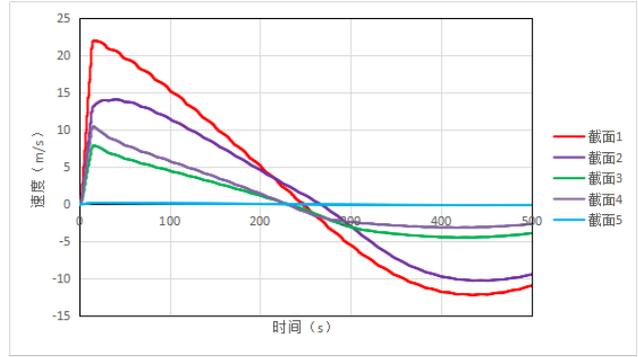


图5 各监测断面平均流速曲线6 结论

t=16 s 时, 流速较大部位位于交叉口, 尾调与尾调交通洞交叉部位流速约 24 m/s; 尾调交通洞与通风兼安全洞交叉口流速约 34 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 22~24 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 12~14 m/s。可知, t=16 s 时尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较大。

t=416 s 时, 流速较大部位位于交叉口, 尾调与尾调交通洞交叉部位流速约 15 m/s。除交叉口外, 尾调交通洞大范围风速约为 10~15 m/s; 通气兼安全洞大范围风速约为 6~10 m/s。可知, t=616 s 时尾调交通洞及通气兼安全洞内风速较大。

通过数值模拟分析风速分布规律等, 得出以下结论:

- ①可以通过输入变化的边界模拟非恒定流。
- ②尾调交通洞和通风洞之间交叉口处流速为最大, 可以通过修整体型, 降低最大风速。
- ③各个隧洞的速度变化规律与调压室涌浪进出流量规律一致。

参考文献

[1] 周俊杰,杨建东,王煌.采用CFD方法探讨尾水洞通气系统的作用机理[J].中国农村水利水电,2012(7):171-173+175.  
 [2] 曾惜.大型水电站地下洞室群施工期通风研究[D].成都:西南交通大学,2014.  
 [3] 谢东.地下水电站厂房气流组织CFD数值模拟方法研究[D].重庆:重庆大学,2015.