

CFD 方法在灯泡式贯流泵流量与压差关系预测中的应用

于永海,仇春光,成 斌

(河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要 :以南水北调东线工程金湖灯泡式贯流泵为例,应用标准 $k-\epsilon$ 紊流模型和 SIMPLEC 算法对灯泡式贯流泵进水流道模型的水流流场进行 CFD 数值模拟,得到流量与进水流道上两测压点的压差数据,线性拟合后获得流量与压差的函数关系,与模型试验测得的结果相比两者差异很小,表明用 CFD 方法预测进水流道中流量与压差的关系精度较高。采用相同的 CFD 方法对模型放大 10.33 倍后得到的灯泡式贯流泵进水流道原型流场进行数值模拟,预测灯泡式贯流泵原型流量与压差的函数关系。结果表明,应用 CFD 方法预测大型灯泡式贯流泵的流量与进水流道上两测压点压差的关系是可行的,为低扬程水泵进水流道中流量与压差函数关系的确定提供了一条新途径。

关键词 灯泡式贯流泵;进水流道流场;流量与压差关系;CFD 方法;数值模拟

中图分类号:TV131.1;TV675

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2012)03-0032-03

Application of CFD method in prediction of relationship between discharge and differential pressure of inlet passage of bulb tubular pump/YU Yong-hai, QIU Chun-guang, CHENG Bin(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :The Jinhu Pumping Station, which is located in Jiangsu Province, was built for the Eastern route of the South-to-North Water Diversion Project. In the present study, the flow field within the inlet passage of its bulb tubular pump was numerically simulated with a standard $k-\epsilon$ turbulence model and SIMPLEC algorithm. A functional relationship between the discharge and the differential pressure, which is linearly fitted from the computed results, was found to agree with the one from the model tests. The comparison indicates that the CFD method is sufficiently accurate to predict the relationship between the discharge and differential pressure of the inlet passage. The relationship between the discharge and the differential pressure of the prototype pump, which is 10.33 times the model pump, is also numerically predicted with the same CFD method. The results indicate that it is feasible to predict the relationship between discharge and differential pressure of two measuring points in the inlet passage of a bulb tubular pump with the CFD method. The authors therefore present a new approach to determin the relationship between discharge and differential pressure of the inlet passage of low-lift pumps.

Key words :bulb tubular pump; flow field within inlet passage; relationship between the discharge and differential pressure; CFD method; numerical simulation

大型低扬程泵站流量大、装机功率大,在调水工程、农田灌溉排水、城市排水及排涝等方面发挥了重要作用,提高其运行经济性和可靠性意义重大。水泵流量是确定泵站装置效率与能源单耗的关键参数,它关系到能否科学准确地完成原型泵装置性能测试,进而检验大型泵装置的研究、设计和制造水平^[1]。大型低扬程泵站的进水流道短、断面不规则且为钢筋混凝土现浇而成,其现场流量测试一直是

个难题。大型低扬程泵站现场流量测试方法有流速仪法、盐水浓度法^[2]、五孔探针法^[3]、超声波流量计测量法^[4]、绕流法^[5]、进水流道压差法^[5-7]等,其中进水流道压差法是一个简便的测流方法,但它需要事先确定流量与压差间的函数关系,以便通过测得的压差获得对应的流量。常用的办法是通过泵站现场测试来率定流量与压差的关系,但这种率定方法的现场工作量大,限制条件多,花费时间多,误差也

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAD11B07)

作者简介:于永海(1968—),男,江苏扬中人,副教授,博士,主要从事泵站水力学研究。E-mail: yhyu@hhu.edu.cn

通讯作者:成斌(1986—),男,安徽滁州人,博士研究生,主要从事泵站水力学研究。E-mail: bluesky_df@163.com

比较大。

本文以在建的南水北调东线工程江苏境内金湖灯泡式贯流泵为例,应用 CFD 方法对其进水流道水流进行数值模拟,进而预测贯流泵流量与压差间的函数关系,以期代替进水流道压差法流量测试中通常采用的通过泵站现场测试进行流量与压差函数关系率定的方法。这里所指的压差是指进水流道上的 2 个测压点之间的压强水头差,而不是计算进水流道水头损失时采用的进水流道上 2 个断面平均压强水头差。测量 2 个点的压强水头差比应用均压环测量 2 个断面的平均压强水头差简便。

1 进水流道流场 CFD 计算模型

在金湖灯泡式贯流泵进水流道流场 CFD 数值模拟中,采用标准 $k-\epsilon$ 紊流模型来闭合 RANS 方程,计算区域在进水流道的进口和出口处沿流动方向都做了适当延伸。进口边界采用速度进口条件,给定速度的大小和方向,出口边界采用自由出流条件。进水流道前水面波动较小,在数值计算中按无应力边界处理自由水面,采用 SIMPLEC 算法进行计算求解^[8-10]。金湖灯泡式贯流泵进水流道流场数值计算模型如图 1 所示。

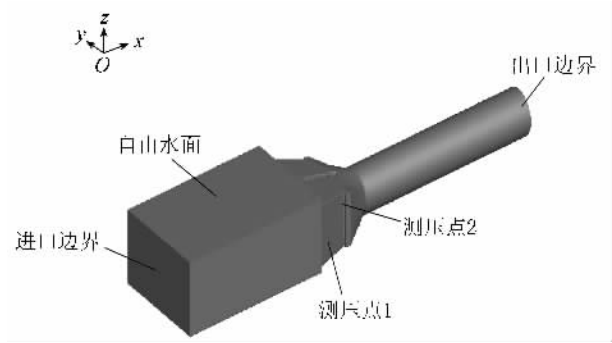


图 1 金湖灯泡式贯流泵进水流道流场数值计算模型

2 进水流道模型数值计算结果与模型试验结果的比较

金湖灯泡式贯流泵进水流道装置模型试验在日本某水泵试验台上完成,在试验中测量了进水流道模型中流量与 2 个测压点(测点位置由笔者拟定并提供给试验人员)间的压差数据。在尚未获得装置模型试验结果前,笔者应用 CFD 方法对不同流量下进水流道模型内的水流流动进行了数值计算,获得了不同流量下的 2 个测压点(与装置模型试验测点位置相同)间的压差,见表 1。图 2 给出了进水流道模型在流量为 $0.3315\text{ m}^3/\text{s}$ 时数值模拟获得的流道内流场的矢量分布。

表 1 进水流道模型 2 个测压点间的压差

流量 $Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	模型试验 压差 $\Delta h_t/\text{m}$	数值模拟			误差 $\frac{ \Delta h_n - \Delta h_t }{\Delta h_t}/\%$
		测压点 1	测压点 2	压差	
		压强/Pa	压强/Pa	$\Delta h_n/\text{m}$	
0.2653	0.3180	-245.61	-3372.45	0.3188	0.27
0.2657	0.3140	-245.34	-3385.01	0.3202	1.96
0.2982	0.4000	-311.34	-4258.48	0.4025	0.62
0.2987	0.4000	-311.01	-4272.65	0.4040	0.99
0.2995	0.3970	-312.96	-4294.60	0.4060	2.27
0.3315	0.4960	-385.71	-5255.35	0.4966	0.11
0.3320	0.4900	-383.46	-5269.95	0.4983	1.69
0.3322	0.4940	-385.79	-5278.17	0.4989	0.99
0.3647	0.6020	-463.48	-6355.96	0.6009	0.19
0.3648	0.5910	-459.25	-6358.25	0.6015	1.78
0.3652	0.6120	-462.52	-6368.19	0.6022	1.60
0.3950	0.7050	-538.66	-7445.90	0.7043	0.09
0.3967	0.7140	-546.07	-7508.09	0.7099	0.57

注 压差以水头表示。

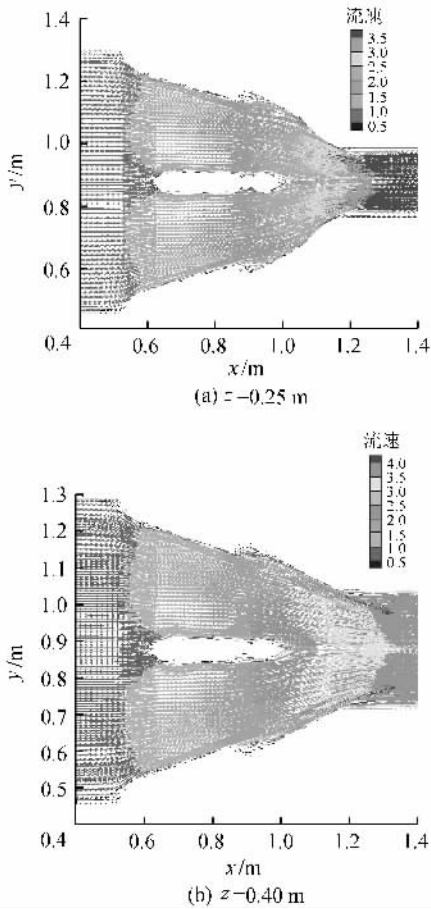


图 2 进水流道模型流场矢量分布(单位: m/s)

根据表 1 中流量与进水流道装置模型试验测得的 2 个测压点之间压差的系列数据,采用最小二乘法进行数据拟合,设模型试验测得的流量与进水流道模型中 2 个测压点之间压差的函数关系为

$$q = 0.4714 \sqrt{\Delta h_t} \quad (1)$$

同样地,对表 1 中流量与数值计算得出的进水流道模型 2 个测压点之间压差的系列数据也采用相同方式进行数据拟合,获得 CFD 方法预测的流量与进水

流道模型 2 个测压点之间压差的函数关系为

$$q = 0.4704 \sqrt{\Delta h_n} \tag{2}$$

对比式(1)式(2)可知,采用 CFD 方法得到的模型流量与压差的函数关系与模型试验测得的流量与压差的函数关系差异很小,表明 CFD 方法预测进水流道流量与压差关系精度较高。

3 进水流道原型流量与压差关系的预测

应用 CFD 方法对金湖灯泡式贯流泵进水流道原型流量与压差关系进行预测。进水流道原型与模型的比尺为 10.33。在进水流道原型水流流场的数值计算中,采用与进水流道模型数值计算中相同的紊流模型来闭合 RANS 方程,并采用相同的边界条件以及离散格式进行计算模拟,原型数值计算结果如表 2 所示。

表 2 原型数值计算得到的 2 个测压点间的压差

流量 $Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	测压点 1 压强/ Pa	测压点 2 压强/ Pa	压差 $\Delta h/\text{m}$
26	-123.33	-2558.11	0.2483
29	-154.26	-3192.81	0.3098
33	-200.53	-4167.67	0.4045
35	-226.43	-4693.68	0.4555
36	-238.44	-4976.82	0.4832
38	-265.25	-5553.95	0.5393
39	-281.28	-5885.55	0.5715
40	-286.07	-6174.12	0.6004
42	-321.24	-6826.08	0.6633

根据表 2 中数据进行曲线拟合,获得灯泡式贯流泵原型流量与进水流道上 2 个测压点之间压差的关系如图 3 所示,其函数表达式为

$$Q = 51.77 \sqrt{\Delta h} \tag{3}$$

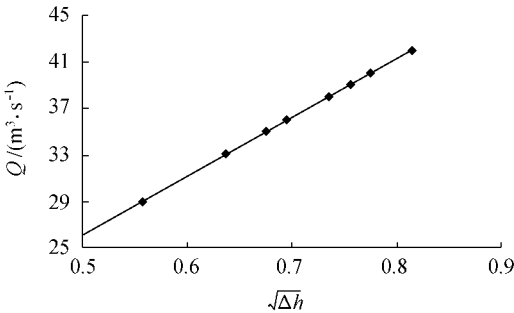


图 3 灯泡式贯流泵原型流量与压差的关系

4 结 论

a. 通过对典型灯泡式贯流泵站——金湖泵站进水流道装置模型的试验成果和 CFD 数值计算成果的对比如可知,2 种方法得到的灯泡式贯流泵模型流量与进水流道上 2 个测压点之间压差的函数关系差异很小,表明本文 CFD 方法中紊流模型和边界条

件的选取是合适的。

b. 采用与进水流道模型水流流场数值模拟中相同的紊流模型和边界条件,对金湖灯泡式贯流泵进水流道原型进行数值模拟,预测了原型的流量与压差关系,其与进水流道模型的流量与压差关系具有相同的变化趋势。

c. 通过对金湖灯泡式贯流泵进水流道原、模型流量与压差关系的研究成果表明,应用 CFD 方法预测灯泡式贯流泵的流量与压差关系是可行的,为低扬程水泵进水流道压差法现场流量测试中流量与压差关系的率定提供了一条新的途径。

致谢:江苏省水利勘测设计研究院有限公司张仁田博士提供了金湖灯泡式贯流泵装置模型试验的数据资料,在此表示感谢。

参考文献:

[1] 周济人,杨华,成立,等.超声波流量计测试大型低扬程泵站流量的模型试验[J].排灌机械,2009,27(1):51-54.

[2] SD140—1985 泵站现场测试规程[S].

[3] 仇宝云,刘超.探针测定大型水泵流量研究[J].农业机械学报,2004,35(4):66-69.

[4] 郑源,赵宗引,须伦根.低扬程大流量泵站单机流量测量[J].南水北调与水利科技,2006,4(5):14-19.

[5] 严登丰.推荐采用绕流管法测定泵站流量[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):140-142.

[6] 郑源,李贤庆,张新珊,等.利用蜗壳压差测流做原型水轮机效率试验[J].河海大学学报:自然科学版,1997,25(3):101-104.

[7] 郑源,张强,李贤庆,等.水轮发电机组运行参数在线监测系统开发[J].水利水电科技进展,2003,23(6):30-32.

[8] CONSTANTINESCU G S, PATEL V C. Numerical model for simulation of pump-intake flow and vortices[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1998, 124(2):123-134.

[9] CONSTANTINESCU G S, PATEL V C. Role of turbulence model in prediction of pump-bay vortices[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2000, 126(5):387-391.

[10] 王福军,黎耀军,王文娥,等.水泵 CFD 应用中的若干问题与思考[J].排灌机械,2005,23(5):1-10.

(收稿日期:2011-11-25 编辑:骆超)

