

参数化选型方法在泗阳二站水泵选型中的应用

戴 景¹, 戴启璠², 郭赞赞², 梁豪杰², 王闻通², 孟小敏²

(1. 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013;
2. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要: 为了提高泵站水机选型的效率与精度, 利用 Visual Basic 6.0 对 AUTO CAD 2008 进行二次开发, 设计出一套多用途的参数化水泵选型程序。结合泗阳二站水泵选型的工程实践, 选择了两副适合的水力模型, 并利用 ANSYS-CFX 对选择的两副水力模型进行全流场三维数值计算。结果表明, 通过水泵选型程序选择的水力模型能够满足泗阳二站的工程需求, 通过 CFD 数值模拟进一步确定了泗阳二站选用的水力模型。

关键词: 二次开发; 参数化; 选型; 数值模拟; 水泵

中图分类号: TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 08-0029-05

Application of parametric selection method in pump selection of Siyang second station

DAI Jing¹, DAI Qifan², GUO Zanzan², LIANG Haojie², WANG Wentong², MENG Xiaomin²

(1. *Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang*
212013, *Jiangsu*; 2. *Main Irrigation Channel Management Division of Jiangsu Province, Huaian*
223200, *Jiangsu*)

Abstract: In order to improve the efficiency and accuracy of pump selection, the Visual Basic 6.0 was used to develop the AUTO CAD 2008 for secondary development, which designed a multipurpose parametric pump selection program. Combined with the engineering practice of pump selection in Siyang second station, two hydraulic models were selected, using ANSYS-CFX to do the three-dimension numerical calculation of the whole flow field. The results showed that the hydraulic model selected by pump selection program can meet the engineering requirements of Siyang second station. The hydraulic model was further confirmed by CFD numerical simulation.

Key words: secondary development; parameterization; type selection; numerical simulation; pump

0 引言

大型电力抽水站是防汛抗旱的重要水利工程, 水泵是泵站中能量转化的重要部件, 水泵的选型是泵站初步设计时的第一个环节^[1]。目前泵

站选型还主要是通过已有试验数据的相似换算, 然后在 CAD 等绘图软件中绘制综合特性曲线来实现的^[2-6], 这种选型方法沿用多年, 技术上较为成熟。同时, 也存在着效率较低、精度不高的不足; 而目前的 CAD 二次开发方面的研究主要集中在泵

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 江苏省水利厅科技项目 (2016043)

作者简介: 戴景 (1992-), 硕士研究生, 研究方向为泵站优化设计。

CAD 的开发上^[7-10], 而对水泵选型的二次开发研究较少。本文以泗阳二站水泵选型实践为研究背景, 开发出一套多功能的水泵选型程序。为今后的泵站选型提供一定的参考。

1 工程概况

1.1 泵站概况

泗阳第二抽水站位于江苏省泗阳县, 与南水北调东线泗阳一站、泗阳节制闸、泗阳复线船闸共同组成中运河泗阳水利枢纽工程。工程于 1995 年 2 月 17 日动工, 1996 年 12 月 5 日投入抽水试运行。1997 年 3 月 8 日正式投入抽水运行。作为江苏省淮水北调第一梯级, 江水北调第四梯级站, 该站的主要作用是抽引由二河闸下泄的淮水或淮阴站转送的江水, 以满足泗阳以北徐淮区工农业生产、生活及中运河航运用水之需要。泵站装设 2.8ZLQK-7.0 液压全调节轴流泵, 配套 TL2800-40/3250 立式同步电动机 2 台套, 单机流量 $33 \text{ m}^3/\text{s}$, 设计扬程 6.3 m, 总装机容量 5600 kW。

1.2 泵站特征水位参数

泗阳二站改造工程拟采用 2 台套立式全调节轴流泵, 单机设计流量 $33.00 \text{ m}^3/\text{s}$, 总装机流量 $66.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 。泗阳二站改造工程特征参数如表 1 所示。

表 1 泗阳二站改造工程特征水位参数

| | | | |
|-----|----|---|-----|
| 净扬程 | 设计 | m | 6.3 |
| | 最小 | m | 2.8 |
| | 最大 | m | 7.0 |

2 参数化程序设计

AutoCAD 软件是一款自动计算机辅助设计软件, 经过数十年的发展已经成为国际上最为流行的工程绘图工具。正是由于 CAD 强大的通用性使得它在专业性上稍显不足。因此, 工程上需要根据不同的任务需求对 CAD 进行二次开发以提高它的专业性。现已经有多种计算机编程程序可以实现对 CAD 的二次开发, 利用二次开发将泵站水机选型设计、分析等多目标融为一体, 提高了泵站水机选型的效率。本文采用 Visual Basic 6.0 对 CAD 2008 进行二次开发。

2.1 算法思想与技术路线

本次程序设计采用分治的算法思想, 利用程序代码从事先建立的数据库中调取相应的文件, 并绘制出用户希望的综合特性曲线。图 1 为本程序设计所采用的技术路线。

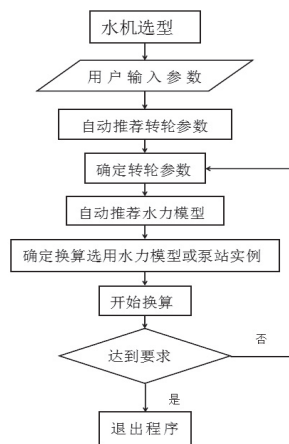


图 1 参数化程序设计技术路线

2.2 建立关联

在 VB 不同的控件事件 (Form_Load、Command_Click 等) 中添加相应的代码, 实现 VB 与 CAD 之间的通讯, 添加的代码如图 2 所示。

```

Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
Set acadapp = GetObject("Autocad.Application")
If Err Then
Err.Clear
Set acadapp = CreateObject("Autocad.Application")
If Err Then
MsgBox ("不能运行")
Exit Sub
End If
End If
acadapp.Visible = True
End Sub
  
```

图 2 VB 与 CAD 之间的关联

通过在不同的控件事件中添加上述代码即可利用 VB 打开 CAD。

2.3 关键代码

在 CAD 中绘图时, 始终离不开点、线、文字等元素。VB 将这些元素定义为变量, 通过对变量的声明, 就可以很方便的用代码来控制绘图了。图 3 为部分变量的声明。

```

Private Sub Command1_Click()
Dim pline As AcadLWPolyline '定义直线变量
Dim point As AcadPoint '定义点变量
Dim text As AcadText '定义文字变量
  
```

图 3 部分变量的声明

2.4 转轮转速与直径的自动推荐

对于一个新建的泵站,需要确定转轮的直径与转速,这也是泵站水机选型设计中很重要的一步,本程序基于水力机械相似定律实现转轮转速与直径的自动推荐。公式如下:

$$Q_P = Q_M \left(\frac{n_P}{n_M} \right) \left(\frac{D_P}{D_M} \right)^3$$

式中: Q_M 为模型泵的流量,同台测试泵的设计流量均为 350 L/s 左右; D_M 为模型泵转轮直径,同台测试值为 300 mm; n_M 为模型泵转速,同台测试值为 1450 r/min; Q_P 为用户给定原型泵装置的流量; $n_P D_P$ 为原型泵装置的 nD 值(同台测试值为 435,后续需要调整)^[11]。即可算出原型泵转轮直径 D_P 。之前假设了 nD 值为 435,故可以立即求出转速 n_P 的值,但此时的 n_P 值并不是最终的值,水泵的转速应为一个标准值(直联、工频),最终确定的 n_P 值应为小于 3000 除以磁极对数(磁极对数为偶数)的第一个值, n_P 值取小一些有利于降低 nD 值。

2.5 水力模型的自动推荐

在相似定律的基础上,如果泵之间的比转速相等,那么这些泵是几何相似和运动相似的^[12]。比转速的计算公式如下:

$$n_s = \frac{3.65 \times n \times \sqrt{Q}}{H^{0.75}}$$

因此,程序可以根据用户给定的设计参数计算得到泵的比转速,然后在某一范围内推荐出一个或几个合适的备选水力模型。

3 水泵选型

本程序设计采用等效率换算的选型方法^[13],图 4 为水泵选型程序的用户操作界面(GUI)。



图4 水泵选型程序 GUI

如图 4 所示,输入“流量”与“扬程”,点击自动推荐,程序即会根据用户给定的参数自动推荐

转轮转速与直径的参考值;然后确定转轮的转速与直径并确定机组是立式轴流泵还是卧式轴流泵,单击确定按钮之后,程序即会自动推荐某个或某几个合适的水力模型;单击绘制泵段还是泵装置综合特性曲线按钮即可在 CAD 中绘制出换算后的综合特性曲线。

图 5 为程序换算后的泵段综合特性曲线。

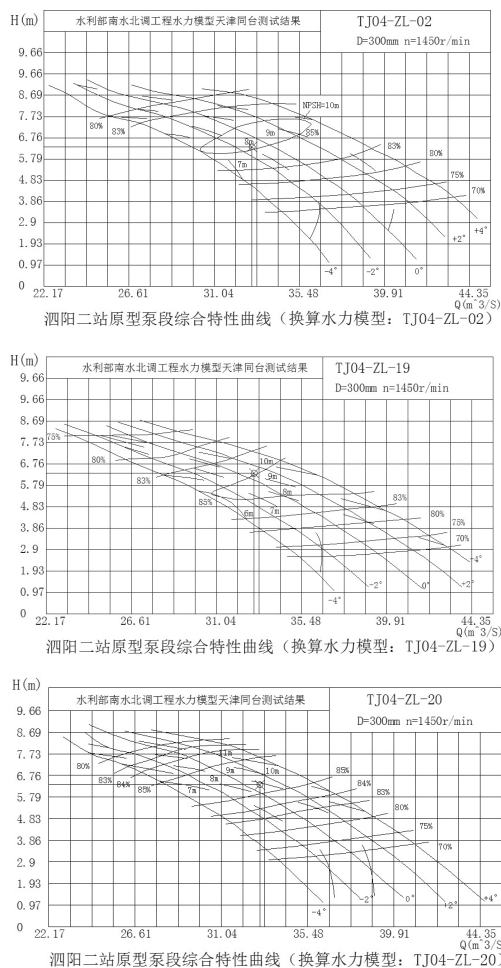


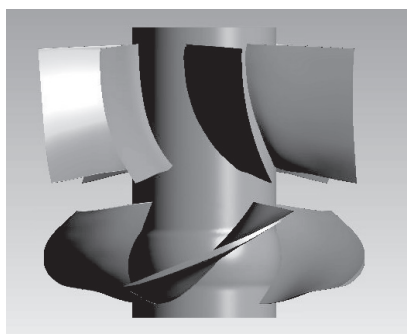
图5 泵段综合特性曲线

从图 5 中可以发现:三副水力模型均能满足泗阳二站改造工程的设计要求;根据南水北调东线泵站的工程实践,泵段与泵装置的综合特性曲线之间相差约 2 个叶片角度,从泵段综合特性曲线上可以看出,对于原型泵装置 TJ04-ZL-02 叶片安放角约为 0°, TJ04-ZL-19 与 TJ04-ZL-20 叶片安放角约为 +3° ~ +4°; TJ04-ZL-20 设计工况点的效率略高于 TJ04-ZL-19, TJ04-ZL-20 相比于 TJ04-ZL-19 更加合适。综合对比分析拟选择 TJ04-ZL-02 与 TJ04-ZL-20 水力模型作为泗阳二站泵装置备选水力模型。

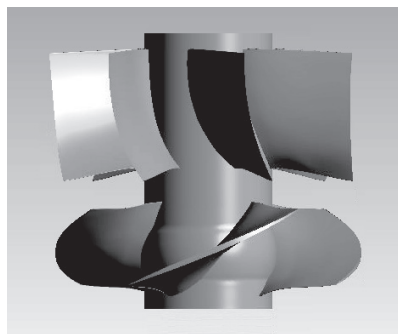
4 CFD 数值计算

4.1 三维建模与网格划分

泗阳二站泵装置分为肘型进水流道、导水帽、转轮、导叶、出水流道 5 个计算域。其中转轮与导叶在 ANSYS-TurboGrid 中进行三维建模与网格划分, 两副水力模型三维图如图 6 所示。



TJ04-ZL-02 (叶片安放角)



TJ04-ZL-20 (叶片安放角)

图 6 水力模型三维图

进水流道、导水帽、出水流道在 Creo3.0 中进行三维建模; 在 ICEM-CFD 中对进水流道与出水流道进行六面体核心非结构网格划分, 导水帽在 ICEM-CFD 中进行六面体结构网格划分。经过网格无关性分析最终确定整个计算域网格总数为 9887930 (TJ04-ZL-02)、9630378 (TJ04-ZL-20)。泗阳二站泵装置三维图如图 7 所示。

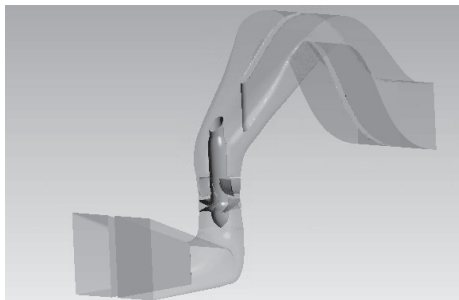


图 7 泗阳二站泵装置三维图

4.2 泵装置能量特性对比分析

图 8 为使用两种不同水力模型, 对泗阳二站泵装置能量特性进行对比。

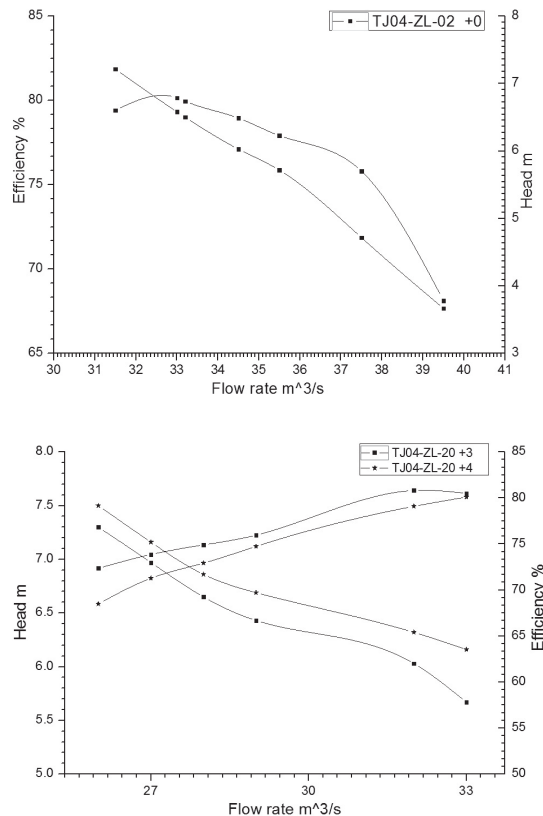


图 8 不同水力模型泵装置能量特性对比

从图 8 中可以发现: 两副水力模型均可以满足工程设计要求; 两者在设计工况点的效率差别不大; 为了满足设计工况点的要求, TJ04-ZL-20 叶片安放角达到了 $+4^\circ$ 左右, 而叶片安放角向正角度偏转过大后将使得转轮的空化性能明显下降; TJ04-ZL-20 的流量—扬程曲线上可以看出, 在最大扬程附近时, 泵装置处于马鞍区附近, 极易引发强烈的水力激振; TJ04-ZL-02 的流量—扬程曲线在最大扬程附近时, 曲线走势平缓, 未见马鞍区曲线的特征; 在设计工况点时, TJ04-ZL-02 的叶片安放角约为 0° , 在需要加大流量时, 可以有很充足的正角度调节余量。综合对比分析, 拟选择 TJ04-ZL-02 水力模型作为泗阳二站改造工程的水力模型 (本文下述的数值计算分析均以 TJ04-ZL-02 为研究对象)。

4.3 泵装置内流场

图 9 为泗阳二站泵装置的三维流线图。

从图 9 中可以发现: 不同工况下, 肘型进水流

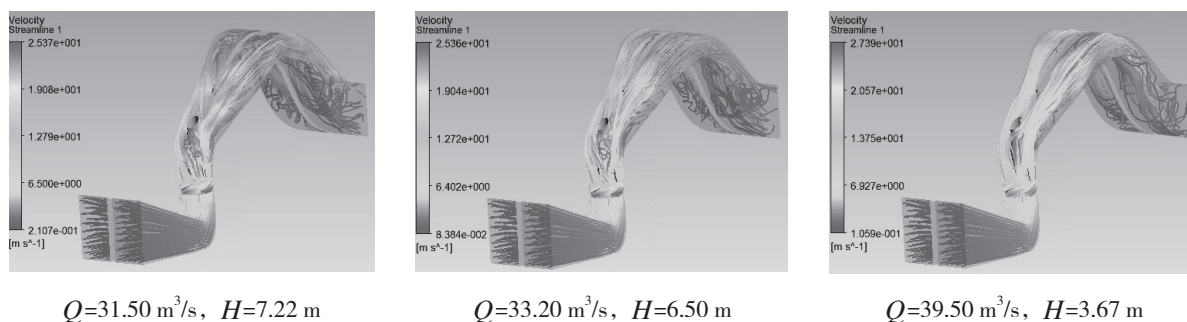


图 9 泗阳二站泵装置流线图

道内的流线分布基本一致;随着流量的增加,泵装置内流场的流速也在增加;3种不同工况泵装置的内流场中,均在弯管与主轴处发生了漩涡、回流等不良流态,这主要是由于主轴对水流阻碍造成的,随着流量的增加这种不良流态有所改善;不同工况泵装置出水流动内流态较为紊乱,这主要是由于导叶出口剩余环量与隔板共同作用的结果,但未见漩涡、回流等不良流态。

5 结论

(1) 利用 VB 对 CAD 进行二次开发,编写出参数水泵选型程序,程序能够自动推荐水泵转速、转轮直径、适合的水力模型。实践表明通过改变不同的参数,得到不同的水泵综合特性曲线,用户通过该程序换算的特性曲线能够高效、快捷的选出合适的水力模型。

(2) 通过水泵选型程序换算的综合特性曲线,缩小了水泵选型范围,为后续的数值模拟提供了更为准确的水力模型方案。

(3) 通过 ANSYS-CFX 数值模拟,对比 TJ04-ZL-02 与 TJ04-ZL-20 两种方案泵装置的外特性, TJ04-ZL-02 更适合于泗阳二站改造工程的实际需求。

参考文献:

- [1] 戴启璠,郑在洲.大型泵站运行与维护[M].南京:河海大学出版社,2006.
- [2] 张仁田.南水北调工程中大型泵站泵型选择的若干问题[J].水力发电学报,2003,83(4):120-127.
- [3] 关醒凡,黄道见,等.南水北调工程大型轴流泵选型中值得注意的几个问题[J].水泵技术,2002(2):13-16.
- [4] 周伟,丁军.遥观南枢纽泵站工程水泵机组选型[J].南水北调与水利科技,2014,12(4):107-110.
- [5] 陆林广.高性能大型低扬程泵装置优化水力设计[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [6] 汤方平,刘超,等.低扬程水泵选型新方法[J].水利水电科技进展,2001(4):41-43,70.
- [7] 钟丽莉.混流泵水力设计 CAD 系统的研究[D].北京:中国农业大学,2000.
- [8] 许旭东.高比转速混流泵叶轮水力设计 CAD 系统的研究[D].扬州:扬州大学,2009.
- [9] 董亮,刘厚林.叶片泵 CFD 数值计算实例详解[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [10] 潘中永,关醒凡.泵 CAD 现状及其发展趋势[J].水泵技术,1999:39-41,44.
- [11] 刘宁,汪易森,等.南水北调工程水泵同台测试[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [12] 关醒凡.现代泵理论与设计[M].北京:中国宇航出版社,2011.
- [13] SL140-2006.水泵模型及装置模型验收试验规程[S].

(责任编辑:王宏伟)