

# 轴流泵水力模型选择专用软件的开发

于永海, 姜晓明

(河海大学 现代农业工程系, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 为选择到合适的轴流泵水力模型, 基于轴流泵段性能与泵装置性能之间的关系, 确定水力模型选择的方法与步骤, 提高泵段模型与进、出水流道组成的泵装置效率。以南水北调工程水泵模型同台测试成果为主要的数据库, 采用 Matlab 结合 Visual C++ 语言开发了选择轴流泵水力模型的专用软件, 通过输入泵站扬程、流量数据, 计算出满足基本要求的水力模型、原型泵的转速与叶轮直径以及原型泵的综合特性曲线。计算结果表明, 该专用软件为比选水力模型建立了优秀的平台, 在轴流泵站设计水泵选型中具有较高的应用价值。

**关键词:** 轴流泵; 水力模型; 水泵选型; 软件

**中图分类号:** S277 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6254(2007)02-0030-03

## Special software development in selecting hydraulic model of axial flow pump

YU Yong-hai, JIANG Xiao-ming

(Department of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

**Abstract:** There exist some relationships between the pump and the pump system. The method and procedure of selection of hydraulic model pump are presented. According to the above method, the efficiency of pump system is increased. The special software to select hydraulic model pump has been developed with Matlab and Visual C++ based on the data from the results of the Tianjin test. When the parameters of pumping station, the suitable hydraulic model pump, the rotating speed and the diameter of impeller of prototype pump are inputted, the curves of comprehensive characteristic will be obtained. The software has high value in the selection of axial flow pump.

**Key words:** axial flow pump; hydraulic model pump; selection of pump; software

在大中型轴流泵站设计水泵选型工作中, 水力模型的选择是一项重要内容<sup>[1-6]</sup>。由于轴流泵工作扬程低, 泵段与进出水流道之间的水力联系与相互影响比高扬程离心泵的大得多, 从而检验和评价原型泵站的水力性能时总是把泵段与进出水流道组合在一起的水泵装置作为研究和考察对象, 而不能将泵段与流道分开。水泵装置中的进、出水流道的型式及型线与泵站的进出水池水位、站址地质等因素关系密切, 需要结合各个泵站的具体情况设计

与优化, 通过装置数值模拟、模型装置试验研究, 可以获得性能较好的水泵装置。不管是装置数值模拟还是模型装置试验, 首先要选择比较合适的泵水力模型(泵段)。2004年水利部组织开展的水泵模型同台测试工作(天津同台测试)为优先选用优秀水力模型创造了基础条件。

笔者以天津同台测试的轴流泵水力模型试验结果<sup>[1]</sup>为资料, 开发了选择轴流泵水力模型的专用软件。

收稿日期: 2006-10-01

基金项目: 水利部南水北调规划计划项目(2005175)

作者简介: 于永海(1968-), 男, 江苏扬中人, 副教授, 博士, 主要从事水泵站及水电站水力学研究。

姜晓明(1981-), 男, 河北海兴人, 硕士研究生, 主要从事泵站工程研究。

## 1 轴流泵水力模型选择方法与步骤

选择轴流泵水力模型的原则是使得泵装置效率尽可能高而不是泵段效率最高,那么如何根据轴流泵水力模型即泵段(模型泵)性能来达到好的装置性能呢?首先要分析清楚轴流泵段性能与泵装置性能之间的关系。汤方平<sup>[2]</sup>、关醒凡<sup>[3,4]</sup>、魏育添分析了这种关系,即泵装置最优效率点扬程与泵段最优效率点扬程接近;泵装置最优效率点叶片安放角比泵段最优效率点叶片安放角小 $4^\circ$ 左右;泵装置最优效率点流量比泵段最优效率点流量小约20%。

基于以上关系,可以提出选择轴流泵水力模型的方法与步骤,如图1所示。

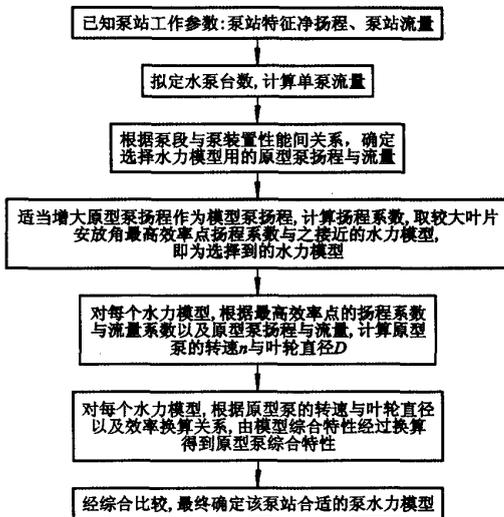


图1 轴流泵水力模型选择步骤框图

水泵选型时已知的是泵站工作参数,包括最大净扬程、平均净扬程、设计净扬程、最小净扬程与泵站流量。

首先拟定泵站水泵台数。分别设台数 $i = 1, 2, 3, \dots$ ,单泵流量为 $Q_i = Q_{\text{站}}/i$ ,对应的叶轮直径大约为 $D_i = \sqrt{Q_i/\pi}$ 。叶轮直径小,设备成熟完善、使用经验丰富,但台数多,费用高;叶轮直径太大,设备使用经验少、专用部件多、对运行管理的要求高,但台数少,单位流量投资和运行费用较少,因此要经过综合分析比较确定水泵台数。一般大型泵站装机台数以3~5台为宜,叶轮直径最大以3.0 m左右为宜。根据泵站流量与装机台数,即可拟定单泵流量。

根据模型泵段性能与泵装置性能关系,为了使得泵装置效率比较高,因此取泵扬程为净扬程,泵流

量为要求的单泵流量的120%。净扬程一般取设计净扬程,根据泵站参数特点也可以取平均净扬程、设计净扬程加权后的净扬程。确定出泵扬程 $H$ 、泵流量 $Q$ 后,就可以选择水力模型、确定原型泵转速 $n$ 和直径 $D$ 了。

(1) 考虑到原型泵的 $nD$ 值一般比模型泵的标准 $nD = 435$ 小,将泵扬程 $H$ 增大一些得到对应的扬程数值,在轴流泵水力模型性能数据库中选择较大叶片安放角下最优效率点扬程与之接近的一个或几个水力模型。

(2) 对每一个水力模型,根据其最优点的流量系数 $K_Q(K_Q = 60Q/nD^3)$ 与扬程系数 $K_H(K_H = 3600H/n^2D^2)$ ,可以求得原型泵的转速 $n$ 与叶轮直径 $D$ 。即

$$n = \sqrt[4]{\left(\frac{3600H}{K_H}\right)^3 / \left(\frac{60Q}{K_Q}\right)^2} \quad (1)$$

然后根据电动机同步转速系列确定水泵转速;

确定了转速后,根据 $K_Q = \frac{60Q}{nD^3}$ 或 $K_H = \frac{3600H}{n^2D^2}$ 计算求得叶轮直径 $D$ 。

(3) 根据求得的原型泵转速 $n$ 与叶轮直径 $D$ ,可将泵模型综合特性换算得到原型泵综合特性。

(4) 根据泵站工作参数和要求,综合比较确定较合适的轴流泵水力模型及其原型泵主要参数。

## 2 专用软件开发

采用高级编程语言进行轴流泵水力模型选择专用软件的开发。本软件需要计算的部分采用 Matlab 软件编程,采用 Visual C++和 Matlab 软件自带的 GUI 工具进行界面的设计,并利用相关计算机技术实现界面 Visual C++和 Matlab 软件的结合和数据的传输。Visual C++和 Matlab 的混合编程是开发该软件的一个关键,两者的结合能最大限度地发挥它们的优势,既可以发挥 Matlab 在数学计算和数据图形绘制等方面的优势又可以提高代码执行速度。

本软件要求用户输入扬程、单泵流量,系统就会按照选择轴流泵水力模型的方法从轴流泵水力模型数据资料库中选出最多8个可比选的水泵模型,并分别计算出对应原型水泵叶轮直径 $D$ 和转速 $n$ ,进而可以根据模型泵段综合特性换算得到原型泵段综合特性,主要界面如图2和图3。泵综合特性曲线可以打印。除了上述按程序自动获得水力模型选择结果外,用户也可以根据自己的需要选择水力模型

输入转速和叶轮直径以人工干预方式获得对应的泵综合特性。原模型效率换算提供了多种方法供选择,包括等效率换算、Ackeret公式、IEC 995(1991)换算公式、严登丰公式、《泵站安装及验收规范》推荐公式。

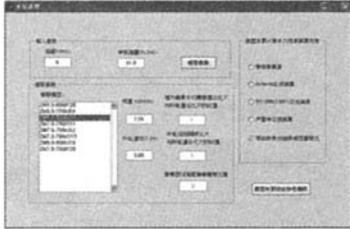


图2 水泵选型设计界面

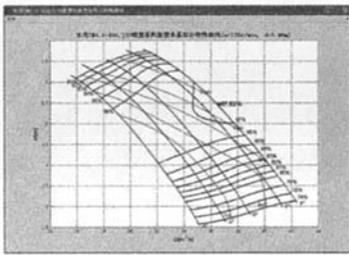


图3 水泵选型中原型泵综合特性曲线绘图界面

### 3 应用举例

以南水北调东线一期工程中刘山泵站为例,泵站主要参数如表1所示。

表1 刘山泵站参数

设计流量 $Q_s/(m^3/s)$	特征净扬程/m				装机 台数	备注
	最大 $H_{Smax}$	设计 $H_{sd}$	平均 $H_s$	最小 $H_{Smin}$		
125	6.50	5.73	3.67	2.50	5	1台备用

由于设计净扬程与平均净扬程相差比较大,因此利用设计净扬程与平均净扬程加权值来作为泵的扬程比较合适,取设计净扬程与平均净扬程的各自权重分别为0.4和0.6得到泵扬程 $H$ 为4.494 m。将泵扬程 $H$ 乘以1.15后的扬程数值,在水力模型系列数据库中选择最优效率点扬程与之接近的5个水力模型,如表2所示。

取流量 $Q$ 为单泵流量的120%,即 $37.8 m^3/s$ 。按式(1)分别求原型泵的转速 $n$ ;根据电动机同步转速系列确定水泵转速;然后再求水泵直径 $D$ 。分别根据模型综合特性换算得到原型综合特性,经比较确定选择ZM4.5-1000/J06模型,原型泵转速为

136.4 r/min,叶轮直径2.94 m。采用Ackeret效率换算公式得到的原型泵综合特性曲线如图4所示。

表2 与模型最优效率点扬程最接近的水力模型表

模型型号	叶片 安放角/ $(^\circ)$	最优 点 $K_H$	最优 点 $K_Q$	最优 效率/ $\%$
ZM4.5-1000/J06	2	0.097 0	0.641 8	85.88
ZM5.5-900/Y21	4	0.100 9	0.521 9	84.23
ZM6.0-850/Y12	2	0.107 4	0.564 8	84.01
ZM5.0-1000/Y22	-2	0.086 7	0.488 6	83.66
ZM4.5-1000/W15	-4	0.082 3	0.470 5	83.23

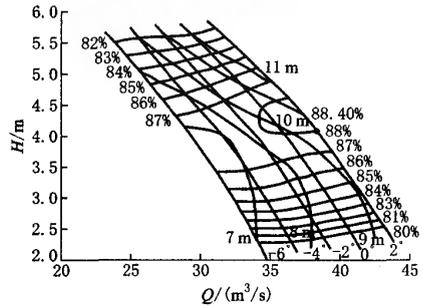


图4 采用Ackeret公式效率换算的原型泵综合特性曲线

### 4 结论

基于模型泵段性能与模型泵装置性能之间关系选择轴流泵水力模型,可以使模型泵装置效率最优。应该说明的是要使该轴流泵水力模型选择专用软件具有较高的应用价值,需要不断丰富完善轴流泵水力模型数据库资料,使得模型性能优、模型系列不存档。目前在有些情况特别是特低扬程条件下可能选不到合适的性能优秀的水力模型时,可以选择比转数较小、性能较优的水力模型采用降低转速增大直径的办法来满足泵站水泵选型要求。

### 参考文献 (References)

- [1] 刘宁,汪易森,张纲. 南水北调工程水泵模型同台测试[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 汤方平,刘超,成立,等. 低扬程水泵选型新方法[J]. 水利水电科技进展,2001,21(4):41-43.
- [3] 关醒凡,伍杰,朱泉容. 南水北调东线已招标泵站水泵模型装置试验成果及分析[J]. 排灌机械,2006,24(1):7-13.
- [4] 陈松山,颜红勤,陈玉明. 大型泵装置系统性能预测理论探讨[J]. 排灌机械,1998,16(3):23-30.
- [5] 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(4):119-127.
- [6] 张林,于永海,姜晓明. 基于B样条的水泵效率特性曲线拟合方法[J]. 排灌机械,2006,24(3):13-15.

(责任编辑 贾国方)