

文章编号: 1673-5196(2007)03-0050-05

# 水轮机选型设计数据库的创建与管理

齐学义<sup>1</sup>, 凤尔桐<sup>1</sup>, 屠小娥<sup>2</sup>, 常一乐<sup>3</sup>, 阎小伟<sup>1</sup>

(1. 兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050; 3. 郑州机械研究院, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 针对目前水轮机选型设计工作繁琐、效率低且设计质量差的问题, 探讨水轮机选型设计软件包的开发, 详细阐述软件包开发中的数据处理和数据库的创建与管理. 根据选型所需数据特性和功能对数据库结构进行模块划分, 采用离散与回归拟合的方法对水轮机模型综合特性曲线进行数据处理, 从而在 Microsoft Access 环境下创建水轮机选型设计数据库. 实例计算验证该数据库完全满足水轮机选型设计软件的需要, 并大大提高了水轮机选型设计的速度与质量.

**关键词:** 水轮机; 选型设计; 数据处理; 数据库

**中图分类号:** TK730.2 **文献标识码:** A

## Creation and management of database for type selection design of hydraulic turbine

QI Xue yi<sup>1</sup>, FENG Er tong<sup>1</sup>, TU Xiao e<sup>2</sup>, CHANG Yi le<sup>3</sup>, YAN Xiao wei<sup>1</sup>

(1. College of Fluid Power and Control, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 3. Zhengzhou Academy of Machinery, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The process of type selection design of hydraulic turbine was much complicated with low efficiency, and unsatisfactory design quality. Aimed at these problems, the development of software package for type selection design of hydraulic turbine was investigated, where the data processing and the creation and management of database was expounded. According to the characteristics and functions of the data related to type selection design, the structure of database was created in the environment of Microsoft Access, where the module setting was conducted for the database, the data processing was performed with discretization and regressive curve fitting for the combined characteristic curves. It was verified by an illustrative computation that the database obtained would completely meet the need of the software package of the type selection design, and it could greatly enhance the speed and quality of the design.

**Key words:** hydraulic turbine; type selection design; data processing; database

水轮机选型设计是水电站规划设计中的最基本内容, 水轮机的型式与参数的选择是否合理, 不仅关系到水电站的厂房及水工建筑物的布局与结构等, 而且还关系到水电站的运行和经济效益. 水轮机选型设计的基本原理是相似理论, 主要的依据是模型转轮综合特性曲线或模型转轮型谱参数表<sup>[1]</sup>以及模型机的型式结构等. 目前, 水轮机选型设计大多仍是基于人工方式进行的. 因此, 设计师往往利用模型转轮综合特性曲线采用试凑的方法确定要采用的转轮

及其运行区域. 一般需经多次试凑才能找到一个较佳的工况点, 而用户要求至少提供6个以上的工况点, 有时对于一个给定设计水头有几个甚至十几个模型转轮可以适用, 要从中选定一个最合适的转轮, 就要重复几十遍甚至几百遍手工试凑的过程<sup>[2]</sup>. 因此不仅工作效率低、工期长, 更主要的是不能实现参数的最优化, 结果精度也差. 而计算机却非常适应于这种工作, 并具有突出的优势. 因而, 应用计算机来解决这种繁琐的工作过程, 不仅可以提高效率, 大大缩短设计周期, 而且还可以实现优化设计, 提高设计质量. 因此, 本文探索用计算机进行选型设计的软件包开发中的选型设计数据库的建立.

收稿日期: 2006-10-16

作者简介: 齐学义(1945-), 男, 辽宁台安人, 教授, 博导.

## 1 创建水轮机选型设计资料数据库的重要性

建立全面、高效而实用的数据库是决定应用软件实用价值的关键。没有较详尽数据库的应用软件将缺乏普遍性,不可能得到广泛的应用;没有质量保证的数据库将直接影响计算结果,使结果的可靠性大打折扣,甚至无可靠性可言。所以,水轮机选型设计应用软件所需的数据库不但要有一定的数量,而且还要有不断扩充及对型谱数据库进行有效性分析的功能。

## 2 水轮机选型设计资料数据库管理软件的选择

采用 Microsoft Access 数据库管理软件,建立已有优秀水轮机的原始资料数据库,便于数据的组织、管理与调用。选用 Access 数据库主要考虑以下原因<sup>[3]</sup>:

1) Microsoft Jet 数据引擎专门对 Access 数据库进行优化,使用它来访问 Access 数据库可获得更高的效率;

2) 兼容性好,即使是对于其他如 dBase、Fox-Pro、Paradox 等非 Access 格式的数据库文件,也可轻易转化为 Access 格式,不影响程序的运行;

3) Microsoft Office 系列几乎成了 PC 的必备工具,Access 数据库操作简单,易于程序推广。

## 3 水轮机选型设计资料数据库的功能与组成

### 3.1 水轮机选型设计资料数据库的功能

水轮机选型设计资料数据库应设计成一个简单而典型的关系数据库<sup>[4]</sup>。首先,要将转轮直径标准系列和发电机同步转速标准系列数据,以及模型转轮的几何参数、工作参数、水轮机的流道参数等数据按转轮型号的顺序全部保存在一个数据库文件中(可以将该数据库称为基本数据管理数据库)。其次,将综合特性曲线数据保存在另外的文件(也可以将该数据库称为模型综合特性曲线数据库)中,按照一个转轮一个文件的方式保存,水轮机的选型设计资料数据库中只保存该文件的文件名称。这样,就可以在必要时才将综合特性曲线调入内存,起到减少内存使用和加快软件运行速度的作用。

在所建立的水轮机选型设计资料数据库的管理模块中实现了如下功能:浏览、修改、添加和删除等。

### 3.2 水轮机选型设计资料数据库的结构组成

水轮机选型设计资料数据库分为两大部分:

1) 基本数据管理数据库。它主要包括工况参数输入与管理、转轮参数管理、转轮直径标准系列和发电机转速标准系列等。

2) 模型综合特性曲线数据库。它主要包括等效率曲线数据库、等开度曲线数据库、等汽蚀系数曲线数据库、功率限制线数据库、工作范围曲线数据库等,如图 1 所示。

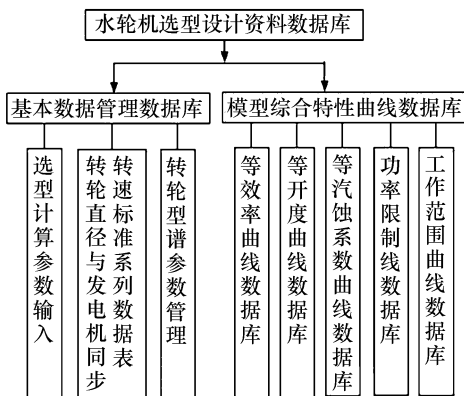


图 1 水轮机选型设计资料数据库组成

Fig. 1 Database structure for type selection design of hydraulic turbine

## 4 基本数据管理数据库的创建与管理

### 4.1 水轮机选型设计计算参数输入表

水轮机选型设计计算参数的输入包括:电站名称、最大水头、最小水头、加权平均水头、设计水头、总装机容量、电站高程、水轮机效率修正值、空化安全系数、最大装机台数和最小装机台数以及水轮机型式的选择和发电机效率,如图 2 所示。

水轮机选型设计计算参数以表的方式输入并可实现数据的读入、存盘、计算和取消等功能。

图 2 水轮机选型设计计算参数的输入

Fig. 2 Input of calculation parameters for type selection design of hydraulic turbine

### 4.2 转轮直径和发电机同步转速标准系列数据表

转轮直径和发电机同步转速标准系列数据表的结构见表 1. 其中 ID 为序号,  $D_h$ 、 $D_k$  和  $n$  分别为混流式和轴流式水轮机转轮标准直径、发电机标准同步转速.

表 1 转轮直径和发电机同步转速标准系列数据表

Tab. 1 Standard series of runner diameters and synchronous rotary speeds of generator

ID	$D_h/c\text{m}$	$D_k/c\text{m}$	$n/(r \cdot \text{min}^{-1})$
1	25	25	1 000.0
2	30	30	750.0
3	35	35	600.0
4	42	40	500.0
5	50	50	428.6
6	60	60	375.0
...	...	...	...

表 1 的用途为:

1) 用来对计算所得的转轮直径进行圆整, 通常选用大一点的标准转轮直径作为选用的转轮直径;

2) 用来对计算所得水轮机的转轮转速与发电机同步转速比较, 取最接近的略大于计算值的发电机同步转速作为选用的额定转速.

### 4.3 转轮型谱参数表

转轮型谱参数表保存了每个转轮的型谱参数数据, 见表 2. 包括如下参数:

1) 基本参数

① 使用水头范围包括最大水头  $H_{\max}$ 、最小水头  $H_{\min}$ 、加权平均水头  $H_p$  和设计水头  $H_d$  等;

② 力特性参数包括水推力系数  $K$  和单位飞逸转速  $n_{11R}$  等;

③ 试验条件包括能量试验水头  $H_n$  和空化试验水头  $H_k$  等.

表 2 转轮型谱参数表

Tab. 2 Parameters of runner models

转轮型号	$H_{\min}/\text{m}$	$H_{\max}/\text{m}$	$H_p/\text{m}$	$H_d/\text{m}$	$K$	$n_{11R}/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$H_n/\text{m}$	$H_k/\text{m}$	$n_{110}/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$q_{V110}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta_h/\%$
HL 240	20	45			0.41	159.0	4		72	1.10	91.0
HL 260/A 244	35	60			0.41	158.7	3	20	80	1.08	91.7
ZZ 560	12	22			0.85	370.0	3	6	140	1.08	88.3
ZZ 560h	6	15				370.0	3	8	140	1.06	89.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

转轮型号	$n_{s0}/(\text{m} \cdot \text{kW})$	$\sigma_0$	$q_{V11k}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	$n_{sx}/(\text{m} \cdot \text{kW})$	$\alpha$	转轮进口高度 $h_j$ 及上冠、下环拟合方程	$D_{1m}/\text{m}$	$Z_1$	$d_B$	$\alpha$
HL 240	225	0.20	1.240	90.4	240	0.20		0.46	14		
HL 260/A 244	249	0.12	1.275	86.5	263	0.15		0.35	13		0.780
ZZ 560	428	0.35	1.900	84.0	554	0.71		0.46	4	0.35	0.416
ZZ 560h	426	0.45	2.000	84.2	569	0.83		0.46	4	0.33	0.393
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

转轮型号	$\varphi_0/(\text{°})$	断面尺寸位置	导叶型线	$\overline{b_0}$	$\overline{D_0}$	$Z_0$	尾水管形式	$\xi_h$	$\xi_l$	压力管道参数
HL 240	345		正曲率	0.365	1.15	24	15 号肘管	2.54	3.26	
HL 260/A 244	345		正曲率	0.315	1.16	24	4 号肘管	2.60	4.50	
ZZ 560	180		对称型	0.400	1.16	32	自行设计	2.40	4.50	
ZZ 560h	180		对称型	0.400	1.16	32	自行设计	2.60	4.75	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

2) 工作参数:

① 最优工况下的参数包括最优单位流量  $q_{V110}$ 、最优单位转速  $n_{110}$ 、最优效率  $\eta_h$ 、比转速  $n_{s0}$  和空化系数  $\sigma_0$  等;

② 限制工况参数包括限制单位流量  $q_{V1k}$ 、效率  $\eta$ 、比转速  $n_{sx}$  和空化系数  $\alpha$  等;

3) 流道参数:

① 转轮几何参数包括模型转轮直径  $D_{1m}$ 、进口高度  $h_j$ 、上冠、下环拟合方程、转轮叶片数  $Z_1$  和轮毂比  $d_B$  等;

② 蜗壳参数包括蜗壳形式、包角  $\varphi_0$ 、流速系数  $\alpha$ 、断面尺寸及位置等;

③ 导叶参数包括导叶形式、导叶分布圆相对直径  $\overline{D_0}$ 、导叶个数  $Z_0$  和导叶相对高度  $\overline{b_0}$  等;

④ 尾水管参数包括尾水管形式、长度系数  $\xi_l$  和高度系数  $\xi_h$  等.

⑤ 压力管道参数包括引水形式、管道断面形状和尺寸等.

以上数据要求能被浏览、读取、调用和存盘.

## 5 模型综合特性曲线数据库的创建与管理

综合特性曲线数据库的创建与管理是水轮机选型设计资料数据库的创建与管理的关键内容<sup>[5]</sup>. 它

要能实现综合特性曲线的计算机处理,包括对曲线的输入、修改、离散和删除,以及拟合和绘制等功能;还要能实现对每一工况点的效率进行插值计算.据此,水轮机选型设计应用软件才可以计算出真机的工作范围和换算出运转特性曲线.综合特性曲线的离散可更方便地进行插值计算,而应用曲线的拟合方法更有利于计算机实现特性曲线的绘制,所以采用离散与拟合的方法来建立模型综合特性曲线数据库.

### 5.1 模型综合特性曲线的离散

综合特性曲线中各种曲线的离散由人工实现.

曲线离散时采用“网格法”,如图 3 所示.即用密集的单位转速线和单位流量线覆盖整个模型综合特性曲线图,由人工将每一条曲线上的离散点坐标(单位流量、单位转速)和该点的效率、开度、空化系数数值等输入计算机即可.离散取点时要尽量选取曲线变化趋势明显、有代表性的点.在条件许可的情况下,可采用数字化仪由人工将曲线通过 AutoCAD 的数字化仪功能逐点输入到 AutoCAD 软件中,再由专门的程序将数据转换成文本数据,在选型设计应用软件中直接将该文本文件读入即可<sup>[4,6,7]</sup>.

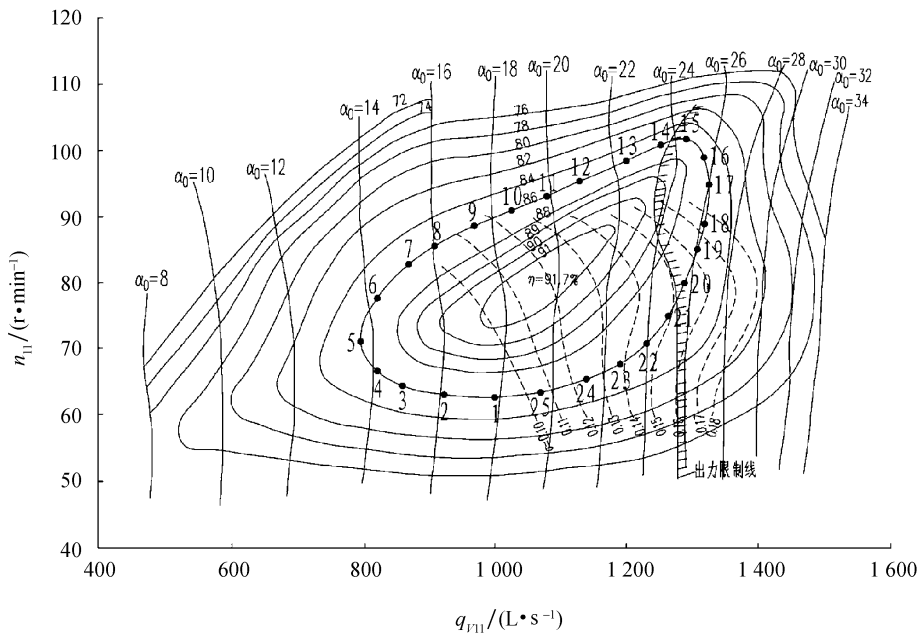


图 3 HLA244 模型转轮综合特性曲线中某条特性曲线的离散示意图

Fig. 3 Schematic diagram of discretization of a characteristic curve among combined characteristic curves of model HLA244

### 5.2 模型综合特性曲线的拟合

模型综合特性曲线的拟合本文采用最小二乘法对各曲线进行分段多项式拟合.在模型综合特性曲线的每一条曲线上任意读取三个能代表曲线变化趋势的点,则有

$$y_1 = k_1 x_1^2 + k_2 x_1 + k_3 \quad (1)$$

$$y_2 = k_1 x_2^2 + k_2 x_2 + k_3 \quad (2)$$

$$y_3 = k_1 x_3^2 + k_2 x_3 + k_3 \quad (3)$$

$$k_1 = \frac{x_1 y_3 + x_2 y_1 + x_3 y_2 - y_3 x_2 - y_2 x_1 - y_1 x_3}{x_1^2 x_2 + x_2^2 x_3 + x_3^2 x_1 - x_3^2 x_2 - x_2^2 x_1 - x_1^2 x_3} \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{x_1^2 y_2 + x_2^2 y_3 + x_3^2 y_1 - x_3^2 y_2 - x_2^2 y_1 - x_1^2 y_3}{x_1^2 x_2 + x_2^2 x_3 + x_3^2 x_1 - x_3^2 x_2 - x_2^2 x_1 - x_1^2 x_3} \quad (5)$$

$$k_3 = (x_1^2 x_2 y_3 + x_2^2 x_3 y_1 + x_3^2 x_1 y_2 - x_3^2 x_2 y_1 - x_2^2 x_1 y_3 - x_1^2 x_3 y_2) / (x_1^2 x_2 + x_2^2 x_3 + x_3^2 x_1 - x_3^2 x_2 - x_2^2 x_1 - x_1^2 x_3) \quad (6)$$

因此得到三点范围内的拟合公式:

$$y = k_1 x^2 + k_2 x + k_3 \quad (7)$$

上述方程可以很方便地通过计算机获取拟合公式的系数和对曲线进行拟合.

通过离散的方法将这些特性曲线分成曲线上的单个点来处理,每个曲线上的点代表一个工况;再通过拟合式(7)就可以计算出该特性曲线上的所有工况点.而对于曲线区域之外的点作为无效工况点,中断处理;对于两条相邻的同类曲线之间的工况点采用线性插值来计算.

## 6 数据库的检验、修改及扩充与安全保护

当数据库建好后,必须经过检验,合格后才能登录到 `turbin.mdb` 数据库中.检查数据正确性的方法很简单,只需将采集的数据用计算机绘出“模型综合特性曲线图”,再与原图进行比较,如果所绘图形能与原图较好地吻合,那么该数据库是可用的,否则要对曲线离散与拟合进行修正,得到更典型的离散点和符合曲线变化趋势的拟合公式,直至绘出与原图较好吻合的“模型综合特性曲线图”为止.用户可以直接修改数据库中的任何数据,也可以使用工具栏的拟合工具进行数据拟合,并方便地把所做的修改加入到数据库中.而用户在删除任一数据文件时都要求再次确认.

## 7 基于该数据库的水轮机选型设计计算实例

该数据库应用在某水电站参数下水轮机选型模型的结果如下:

最大水头:47.52 m;设计水头:36.0 m;最小水头:35.53 m;加权平均水头:37.71 m;电站高程:1 428.2 m;总装机容量:51 MW;发电机效率:0.955;空化安全系数:1.10;装机台数:2~3 台;水轮机形式:立式.

水轮机选型方案之一:

水轮机型号:HLA 551-LH-275;装机台数:3 台;额定转速:187.5 r/min;单位转速:85.94 r/min;额定流量:54.06 m<sup>3</sup>/s;单位流量:1.191 m<sup>3</sup>/s;效率:0.932 8;空化系数:0.100 4;最大单位转速:86.50 r/min;最小单位转速:74.80 r/min;最大单位流量:1.217 9 m<sup>3</sup>/s;最小单位流量:0.820 9 m<sup>3</sup>/s;飞逸转速:373.3 r/min;效率修正值:0.010 4;允许吸出高度:4.355 m;安装高程:1 432.973;水轮机

总质量:127.75 t.其他参数和水轮机工作范围及运转特性曲线略.

## 8 结论

水轮机选型设计是水电站水能利用设计的一项主要内容,而水轮机的形式与参数的选择是否合理,对于水电站的动能经济指标及运行稳定性和可靠性都有重要的影响.本文就该软件开发中的数据处理及数据库的创建与管理方法进行了尝试,并建立了水轮机选型设计应用软件所需的数据库.实例计算表明,该数据库完全满足水轮机选型设计软件的需要,并且大大提高了水轮机选型设计的速度、设计精度与质量.但模型综合特性曲线的人工离散方式与如何更好地实现计算机程序还需进一步设计改进.

### 参考文献:

- [1] 孟繁中.混流式水轮机选型设计及特性曲线绘制软件的开发与研究[D].兰州:兰州理工大学,2003.
- [2] 钟诗胜,李福军,王知行,等.大型水轮机选型设计系统的研究[J].计算机集成制造系统 CIMS,2000,6(2):70-74.
- [3] 叶浩亮,闵经书.水轮机选型 CAD 程序设计[J].电脑开发与应用,2001,14(12):11-13.
- [4] 彭贵川.中小型水电站水轮机选型设计软件包的开发研究[J].四川水力发电,1998,17(3):60-63.
- [5] 钟诗胜,李福军,王知行,等.大型水轮机综合特性曲线处理的研究[J].计算机应用与软件,2001,18(4):22-27.
- [6] 宋文武,彭贵川.水轮机选型设计软件包的开发研究[J].大电机技术,1999(6):61-65.
- [7] 唐列,王晓龙,周普会,等.基于 object ARX 的水轮机选型软件[J].水利水电科技进展,2005,25(1):53-55.
- [8] 哈尔滨大电机研究所.水轮机设计手册:水轮发电机组设计手册第一部分[M].北京:机械工业出版社,1976.
- [9] 曹鹏,姚志民.水轮机原理及水力设计[M].北京:清华大学出版社,1991.
- [10] 刘大恺.水轮机[M].北京:中国水利水电出版社,1997.