

# 全流道模拟计算在太浦河泵站中的应用

胡建根, 黄毅

(水利部上海勘测设计研究院, 上海 200434)

**摘要:**对水泵装置的全流道进行模拟计算,能获得水流流场的压力和流速的大小及其方向、水压脉动和动态不平衡力等,了解有害旋涡等水流现象。以特低扬程的太浦河泵站计算机模拟计算为例,通过进出水流道的流速分布图分析了泵站流道型线的合理性。

**关键词:**流道;流场;三维流动;水力计算;太浦河泵站

**中图分类号:**TV136+.2

**文献标识码:**B

**文章编号:**1006-7647(2003)06-0045-02

水泵装置由进出水流道、泵本体(导叶、转轮等)以及动力机、传动机构等部分组成,其中泵本体、动力机、传动机构由设备制造厂进行专门设计,进出水流道型线通常由制造厂或设计单位根据以往的经验提供初步型式。在模型试验时,由于流道装置制作工期长,流道型线往往不进行修正,通过试验观察局部流道的流态,进行适量的修正后直接应用到工程中去。但由于水泵装置的流道型线在考虑进出水闸门布置、泵站淹没水深、水泵型式等工程布局时会直接影响泵站的工作性能,因此,通过三维流动水力计算研究流道内空间流场的变化规律是十分必要的。

## 1 流体机械的 CFD 计算

目前,流体机械的 CFD 三维流动水力计算主要在流动与传热模拟方面的商业软件基础上进行。此类商业软件能模拟传热、流动、反应、燃烧的全过程,能建立丰富的物理模型,具有先进的数值方法和先进的网格生成技术,可进行三维粘性的稳定和不定流动及多相流、空蚀流和分离流动的分析及动态显示。该软件除在水力机械上应用外,还广泛应用于航空航天、能源动力、船舶水利、暖通空调、建筑、海洋、石油化工、汽车、冶金、交通、核工程、环境工程等领域。其典型应用方式有:①对现有的设计过流部件进行流动分析计算,找出各部位损失,提供计算的预测特性曲线,为工程设计提供改进方案;②优化设计过流部件,通过充分的流场仿真实验方案比较,从多个方案中筛选出最优的符合要求的转轮、叶轮等过流部件,再进行试验验证;③对特定的电站、泵站等进行针对性的过流部件的优化设计,提出更有特色

的过流部件形状;④特殊要求的流动现象(如空蚀、流固耦合、不稳定流、多相流等)分析和产品优化。

## 2 太浦河泵站全流道模拟计算

近一些年来,随着南水北调、太湖流域综合治理等重大水利工程的兴建,人们已经意识到水泵进出水流道水力设计的重要性;同时,大量水电站的工程实践证明,采用直接求解三维雷诺平均 N-S 方程和标准  $k-\epsilon$  紊流模型方程组的方法模拟尾水管、蜗壳和叶轮内部的流动,进行水轮机的性能预测和优化设计是有效、可靠的,因此泵站的进出水流道三维数模计算逐渐被采纳<sup>[1]</sup>。

水流进入进水流道,通过叶轮做功、导叶回收能量,沿出水流道流入出水池的过程是流道各部件相互作用的过程<sup>[2]</sup>。以前受计算模型和计算机运行速度的限制,往往仅能分析单个部件的流动现象,而这种分析往往比较片面,得到的结论误差也比较大。目前已可以进行水泵装置整体流道的计算。水泵装置整体流道的流动仿真应包括从进水流道进口至出水流道出口(包括进水流道、进水锥管、转轮、导叶、出水锥管、出水流道等在内)的全流道整体流动。这样可以详细分析各部分流动的相互影响及综合的流动特性。

应用三维流动分析的理论,通过水泵装置全流道的计算机仿真计算,一方面可对水泵过流部件进行内外特性的流动分析,预测叶轮性能和改进性能;另一方面,不结合具体转轮,模拟全流道计算压力场和流速场,对水力损失、装置性能影响较大的型线部分进行优化,以最大限度地减小损失,提高效率。下

作者简介:胡建根(1969—),男,浙江海宁人,工程师,从事水力机械设计。

面以太浦河泵站的全流道模拟计算为例进行分析。

太浦河泵站工程是一个特低扬程、大流量泵站，设计净扬程 1.39 m，安装叶轮直径 4.1 m，单泵流量  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  的 6 台斜  $15^\circ$  轴伸泵组，其水泵具有扬程特低、单泵流量大、叶轮直径大、水泵转速低的特点。斜  $15^\circ$  轴伸泵流道基本顺直。流道由弯肘形进水流道、进水锥管、叶轮室、导叶体、出水弯管以及延长段、扩散形出水流道组成。进水锥管、转轮室及导叶体的轴线与水平面成一个斜  $15^\circ$  的小倾角；在导叶体出口后为弯管，弯管兼有圆变方和扩散功能；为便于弯管与出水混凝土流道相连，在弯管的矩形断面后有钢制的延长段，型线与流道吻合。其流道型线见图 1，流道流动仿真计算模型见图 2。

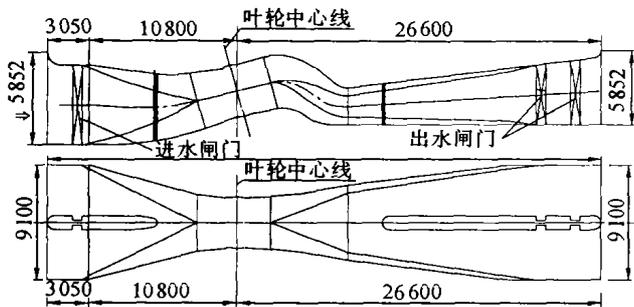


图 1 水泵流道型线(单位:mm)



图 2 流道流动仿真计算模型

对特低扬程的泵站来说，水力损失对泵站的装置效率影响较大；对斜轴伸泵来说，进出水流道根据倾斜角度均有不同程度的弯曲。从水力学角度来说，流道长、转弯半径大，则流速均匀、流态好，有利于减小阻力损失；水泵淹没深度大，有利于水泵的空蚀性能。但从工程角度来看，为了节省投资，流道不宜长，水泵淹没不能深。

对于流道进口顶板转弯半径，其转弯半径越大，收缩越平缓，相应流道内的水流加速越平稳，且大量的水力学试验表明，转弯半径的大小对局部水力损失系数影响是明显的，转弯半径越大损失系数越小，但转弯半径的选取受流道长度及流道进水口淹没深度的制约。通过分析计算，进水流道流速分布见图 3。

对于出水流道来说，由于斜  $15^\circ$  流道特点，出水流道的弯曲部分流动比较复杂，既有弯曲又有扩散，

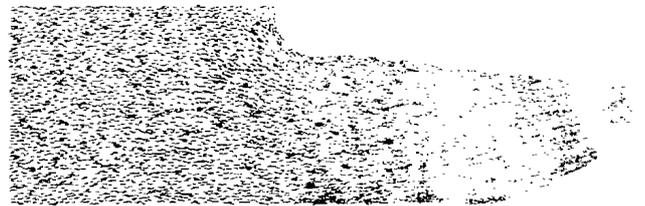


图 3 进水流道流速分布

流态不很好。叶轮出口流道弯曲，加上管道上表面明显扩张，弯曲后造成了较大的逆压梯度，出现了一定的流动分离。另外，由于水体重力影响，沿水深方向压力变化明显。由于水泵的叶轮直径 4.1 m，上下高差很大，叶轮上缘是水泵的最低压力点，中间部分流速高，上下左右流速低，致使出口流速分布不均匀。因此，出水流道的扩散角宜小、扩散长度宜长。出水流道流速分布见图 4。



图 4 出水流道流速分布

根据数模计算结果，太浦河泵站对进出水流道的型线进行了优化，并结合制造厂提供的转轮、导叶进行了流道动态力计算，计算了叶轮受到水推力和径向力随时间的变化规律，为轴承和主轴的设计提供了数据。

### 3 结 语

根据工程建设周期，数模计算宜在前期进行。通过内部流道的计算机仿真计算，建立数学模型，了解全流道各断面水流流场的压力和流速的大小及其方向、水力损失及其有害旋涡等水流现象，计算水泵装置的空蚀情况以及水压脉动和动态不平衡力，分析各几何参数对水泵装置性能的影响，进行改进后再计算，并借助试验验证数模计算的结果，减少试验工作量，缩短研究周期，提高整体研究水平，从而更好地预测产品性能及改进产品性能，为水泵制造提供必要的技术数据。

### 参考文献：

- [1] 陆林广, 张仁田. 泵站进水流道优化水力设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 1~10.
- [2] 武汉水利电力学院. 水泵及水泵站[M]. 北京: 水利出版社, 1981. 230~250.

(收稿日期: 2003-02-18 编辑: 傅伟群)