

基于泵站流道流场数值计算的可视化方法研究

王业明^{1,2}, 谭建荣², 纪杨建²

(1. 扬州大学水利与建筑工程学院; 2. 浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室)

摘 要: 通过流场数值计算来优化泵站流道的水力设计是泵站流道设计的新途径和新方法。文中基于流场数值计算方法, 根据工程实际需要, 研究其相应的可视化实现方法, 主要内容包括各种函数关系曲线处理、流道出口及任意断面轴向流速可视化及三维计算网格再处理和图形显示等。在新一代软件 AutoCAD 开发环境 ARX 下, 实现了上述各项可视化功能。

关键词: 流道; 流场; 泵站; 数值计算; 可视化; 计算网格; 等值线

中图分类号: S277.1; TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)01-0031-04

泵站流道设计是整个泵站设计的关键部分。传统的设计方法是基于一维水力设计的方法, 即以断面平均流速的变化规律确定流道截面尺寸。具体的设计方法与步骤^[1]是几何作图及人工试算法。基于三维计算流场的泵站流道的优化水力设计, 使流道设计更科学、更合理, 还会大大减少模型试验的开支及流场实测的代价。作者为了使三维计算流场数值模拟优化设计泵站流道, 能动态实时的显示水力优化设计结果, 如各种变量和几何参数与目标函数的关系曲线、流道出口及任意断面流速分布, 判断出流道优化设计结果的优劣。基于解析法并在 AutoCAD 平台上实现其 CAD 软件系统功能^[2~4], 并在新一代 AutoCAD 开发环境 ARX 下, 实现并满足了基于泵站流道流场数值计算的可视化功能与要求。

1 泵站流道流场数值计算方法简介

通过流场数值计算来优化泵站流道的水力设计是计算流体力学方法在泵站工程中成功应用之一。目前采用的是直接求解三维雷诺平均 $N-S$ 方程和 $k-\epsilon$ 紊流模型方程组的方法, 模拟流道内水流的流动, 在流场数值模拟的基础上对流道进行优化水力计算。具体实现过程为: 在满足控制方程(连续方程、动量方程、紊动能方程及紊动能耗散率方程)和边界条件(流场进口、流场出口、固壁边界及自由表面)下, 通过流场的离散化对划分的计算网格采用有限体积法进行数值计算^[5]。数值计算的结果形成巨大的数据文件, 如反映流场剖分结果的每个网格节点的坐标数据文件, 每个计算单元上速度矢量数据文

件(U 、 V 、 W 方向)等。如本文引用的某一工程实例为斜式进水流道, 计算网格划分为 $61 \times 13 \times 13$, 共 10 309 节点, 8 640 个计算单元(见图 3)。网格剖分结果形成了按照每个节点坐标分量线性排列数据文件; 数值计算结果为每个网格单元中心点处的速度分量(U 、 V 、 W)线性排列的数据文件。通过上述流场数值计算, 即经过优化水力设计后得到的 30° 斜式进水流道的单线图如图 1 所示, 推荐的有关断面数据见表 1。表中数据按水泵叶轮直径 $D = 3\text{ m}$ 、叶轮室进口直径 $D_1 = 0.97D$ 、水泵叶轮中心至叶轮室进口的距离 $H = 0.167D$ 设计。单线图的坐标始点在立面图的左下角, 上边线的形状 $y_1 = y_1(x)$; 下边线的形状 $y_2 = y_2(x)$, 宽度变化规律 $B = B(x)$, 半径变化规律 $R = R(x)$, 表 1 中 H_i 为断面高度。

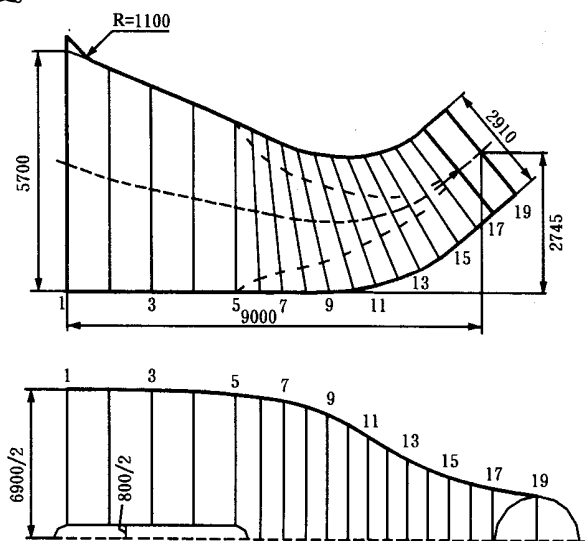


图 1 数值计算优化水力设计得到的
30 斜式进水流道的单线图

Fig 1 The 30° oblique intake conduit

with the numerical computations for optimization

收稿日期: 2001-04-03

基金项目: 江苏省水利科技重点推广项目(2001132)

作者简介: 王业明(1956-), 男, 副教授, 在职博士生, 江苏扬州市迎新路 31 号 扬州大学水利与建筑工程学院, 225009

Email: zdwym@263.net

表 1 推荐的 30 斜式进水流道各有关断面数据

Table 1 The related section data of 30 ° oblique intake conduit to recommend

No.	X_1	Y_1	X_2	Y_2	B_1	H_1	R_1
1	0	5 700	0	0	6 900	5 700	0
3	1 875	4 702	1 875	0	6 900	4 702	0
5	3 750	3 750	3 750	0	6 674	3 705	193
7	4 337	3 414	4 648	0	6 197	3 428	505
9	4 953	3 187	5 544	41	5 501	3 201	848
11	5 599	3 078	6 433	149	4 673	3 045	1 144
13	6 252	3 121	7 312	328	3 857	2 987	1 347
15	6 882	3 304	8 165	603	3 236	2 990	1 449
17	7 477	3 582	8 963	1 007	2 973	2 973	1 486
19	8 272	4 005	9 728	1 485	2 910	2 910	1 455

注: 图 1 及表 1 摘自文献[5]。

2 基于流场数值计算的可视化方法

根据工程实际需要, 选择什么样的可视化开发环境, 从巨大的数据文件中分离信息或将数据文件描述的内容进行再处理并用直观的图形方式表达出来, 将是实现诸多可视化功能首先要考虑的问题。

AutoCAD 系统的第 3 代(第 1 代为 AutoLISP, 第 2 代为 ADS)开发环境和工具包括 ObjectARX、VBA 及 VisualLISP 等。在 AutoCAD 高版本 R13、R14 及 AutoCAD 2000 中, 用户可以利用 ObjectARX 环境的支持, 采用面向对象的 C++ 语言开发 ARX (AutoCAD Runtime eXtension) 应用程序。ObjectARX 开发环境, 可以突破 AutoLISP 和 ADS 必须通过内部进程 (IPC) 和 AutoCAD 间接通讯框架限制, 与 AutoCAD 共享地址空间, 能够直接利用 AutoCAD 的内核代码, 直接访问 AutoCAD 的数据库、图形系统及几何造型核心, 实时扩展 AutoCAD 具有的类和功能, 建立 AutoCAD 新命令等。此外, ARX 应用程序还可充分利用 Windows 的资源, 微软的基本类库 MFC 和先进的 VisualVC++ 可视化编程语言和工具, 方便、高效地设计具有 Windows 风格的 CAD 应用程序, 能够较好地完成泵站流道数值计算可视化的一系列要求。

2.1 各种函数关系曲线处理

泵站流道水力优化计算结果可通过图或表的形式表达出来, 但通过图的形式表达更直观、更形象。如在肘形进水流道中, 影响目标函数的变量或几何参数有: 水泵叶轮中心高度、圆锥段锥角、圆锥段长度、直线段长度、流道进口断面尺寸高度与宽度及直线段底边上倾角等; 在钟形进水流道中, 影响目标函数的变量或几何参数有: 叶轮中心高度、直线段各几何参数(如流道宽度、长度、底边上倾角等)、吸水室各几何参数(如喇叭管及导水锥型线、喇叭管进口直

径及高度、吸水室高度及后壁距等。其它型式的进水流道及出水流道也有一系列影响目标函数的设计变量或几何参数。这些设计变量或几何参数对目标函数的影响可用一系列函数关系曲线图表示出来, 应用 ARX 处理二维曲线的程序比较容易, 主要用到的是复杂实体对象 AcDb2dPolyline 生成与编辑, 数据可从水力优化结果形成的数据文件中读取。

2.2 流道出口及任意断面轴向流速等速线图处理

泵站流道出口断面轴向等速线图, 反映出流道出口断面流速的分布及流道的设计性能, 是泵站流道流场可视化的重要内容之一。轴向流速可简化为二维标量场的等值线的抽取问题, 且为正规化计算网格下等值线抽取问题。根据等值线抽取时的网格单元处理次序, 等值线的抽取方法有两大类, 网格无关法和网格序列法^[6]。网格无关法适用于某一个值的等值线穿过整个网格单元中较少单元的情况, 以已知的若干等值线点为前提, 利用它们的局部几何性质, 求取等值线点的几何位置。主要有 3 种方法: 步进法、适应法和递归法。由于出口断面等速线不封闭, 等速线的起始点不知, 采用网格无关法需遍历整个网格寻找, 它不适合处理流道出口断面等速线的绘制, 因此选择网格序列法逐个处理每个单元, 寻找每一单元内是否存在等值线上的点。等值线抽取算法中还会碰到连线“二义性”问题, 可从邻近单元等值点位置来判别单元内等值线的走向, 从而快速有效地判别交点连线二义性问题。

采用网格序列法编制泵站流道出口的 ARX 等速线图处理的程序。程序主要包括下列几个模块:

1) 从三维计算流场中分离出口断面单元中的速度值并保存在数组中的模块。

2) 每个计算单元中是否存在等速线的判别模块。

设某一等速线的值为 F_i , 通过与 4 个角点速度值 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 比较, 可确定该单元中是否存在等速线。如果 F_i 皆大于或皆小于 4 个角点的值, 则该单元中无等速线通过; 否则存在等速线。

3) 单元中等速线插值模块。

如果判断出某单元中存在等速线, 则进一步判断单元的哪条边上存在等速点, 等速点的数值可通过线性插值的方法近似求得。

4) 二义性连线判别模块。

如果等速线插值模块中 4 条边上都存在等速点, 则要运行二义性连线判别模块, 确定该单元中等速线的走向。

5) 等速线绘制模块。

等速线的绘制有两种方式: 将各单元中符合某

一 F_i 的所有等速点用线段连接; 另一种方式生成光滑等速线, 数学模型可用插值或用逼近法, 如 AutoCAD 中提供的圆弧样条插值模型或 B 样条逼近模型。但泵站流道出口断面等速线图一般采用基于断面平均流速的相对流速表示, 表现出来的等速线之间间隔较小, 采用光滑等速线有时反而会出现等速线相交现象, 故等速线以第一种方式输出为宜。

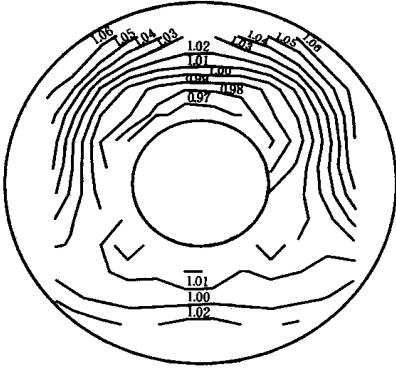


图 2 流道出口断面等速线图绘制实例
Fig 2 The example of contour for
outface velocity for passageways

工程实例为上面给出的斜式进水流道, 将流道各断面内均匀剖分成 12×12 个四节点单元。基于网格序列法等速线抽取算法和二义性连线判别方法及上述程序各模块绘制的工程实例见图 2。从输出的等速线图上可了解流道出口断面流速分布及变化趋势, 不合理时要调整设计参数重新设计, 直至满意为止。其它断面的可视化处理内容及过程与出口断面相类似。

2.3 三维计算网格的再处理和图形显示

三维计算网格, 在数值模拟计算前, 需要进行合理剖分(称之为前处理), AutoCAD ObjectARX 编程环境能够较为方便地进行处理。对剖分结果的计算网格, 用户经常需要以各种显示手段再现, 如变换视点、各种三维操作(平移、旋转、反射等)甚至渲染、着色等, 尤其要对三维计算网格再处理, 如抽取周边网格再现, 在周边网格的基础上再抽去顶面或前面以便能清楚地显示流道内部水流流动情况等。所有这些后处理功能, 尽管有些昂贵的商业化软件, 如 CFX 系列中的 TASCFLOW, 对有些功能也能实现, 但不及 CAD 专用软件中的三维操作功能, 也没有 AutoCAD 等具有的开放性的二次开发环境和工具。

三维网格的图形显示, 用户可以利用比较成熟的消隐算法, 编制程序加以解决。在 AutoCAD 环境下无需用户编制复杂的消隐程序, 只要利用 AutoCAD 已有的消隐命令 Hide, 用户将三维计算

网格在 AutoCAD 环境下显示即可。显示有间接法和直接法两种。以四节点单元为例, 能够一次连接四节点单元的 AutoCAD 命令有 3DFACE、3DMESH 和 PFACE 等。间接的方法是生成这些命令的 DXF 文件, 如生成 3DFACE 命令的 DXF 文件, 在 AutoCAD 系统下用 DXFN 命令装入; 直接的方法是在 ARX 应用程序中直接调用 3DMESH、3DFACE、或 PFACE 命令绘制。一般运用 3DMESH 命令较多, 因为它能保证四节点单元无论是否共面都能进行消隐。

以上述斜式进水流道为例, 如要实现周边网格图形显示的可视化功能, 其主要过程为:

1) 重新组织计算网格坐标数据文件, 增加每个节点的编号, 并使之形成以每个节点坐标, 而不是以坐标分量形式的数据文件。

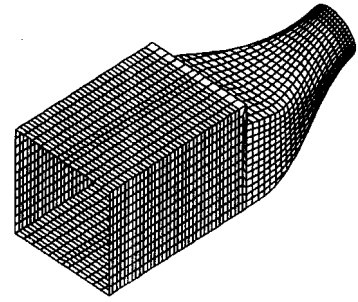


图 3 流道周边网格的显示
Fig 3 The display of perimeter grids for passageways

2) 根据实现周边网格图形显示可视化功能, 从总的坐标数据文件中分离及组织新的数据文件。如图 3 所示的周边网格的图形显示, 要求沿水流方向将邻近单元数据的进行组织, 数据文件中共有 2 928 个节点(61 个断面, 每个断面中有 48 个节点); 而且还要形成一个反映 3DMESH 四节点连接规则(如逆时针)的数据文件, 本例文件中共有 2 880 个(48 \times 60)四节点单元。

3) 编制 ARX 应用程序读取两个数据文件中数据, 绘制出周边网格图形。输出的图形结果见图 3。

3 结 语

要系统地显示整个流道内部流速的分布, 即显示流道整体流场的情况, 还应研究数值计算结果整体可视化方法。矢量场的研究是目前可视化研究领域难点之一。传统的方法有基于矢量线(即流线)的生长算法、基于流函数构造矢量线的方法及质点跟踪轨迹的方法^[7]等。这些模型虽然可用来显示流道内部流场, 但每个模型都有不足之处, 如基于流线的生长算法, 对如何控制误差源、选取插值形式、数值积分方法、步长的取法及网格的映射等需要进一

步研究; 基于流函数构造矢量线方法需求解复杂的方程组; 基于质点跟踪轨迹法, 对如何选取质点形状才能较好地符合人们视觉的感知模式方面也需作进一步探讨。此外, 能否突破上述基于传统的实验型流场可视化模式, 从人们的感知与习惯及水体运动特性出发, 运用先进的三维动画等多媒体技术, 寻找更好的可视化方法有待进一步研究与探讨。

致谢: 感谢扬州大学水利与建筑工程学院陆林广教授为本文提供的流场数值计算数据。

[参 考 文 献]

[1] 中华人民共和国水利电力部 泵站技术规范设计分册 (SD 204-86) [M] 北京: 水利电力出版社, 1987.
[2] 王业明, 丁宇明 大泵肘形进水流道机辅设计软件的研

制[J] 江苏农学院学报, 1993, (1): 75~ 80
[3] 王业明等 钟形进水流道 CAD 软件的研制[J] 水利水电技术, 1993, (1): 53~ 56
[4] 王业明 大泵出水流道计算机辅助设计[J] 农田水利与小水电, 1995, (9): 30~ 33
[5] 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.
[6] 石教英, 蔡文立 科学计算可视化算法与系统[M] 北京: 科学出版社, 1996
[7] 唐泽圣等 三维数据场可视化[M] 北京: 清华大学出版社, 1997.
[8] 王福军等 AutoCAD 2000 环境下 C/Visual C++ 程序开教程[M] 北京: 希望电子出版社, 2000
[9] 李世国 AutoCAD 高级开发技术[M] 北京: 机械工业出版社, 1999.

1998~ 2000 年《农业工程学报》检索指标

《中国科技期刊引证报告》(CJCR) 及其本刊检索数据
《中国科技期刊引证报告》(CJCR) 是由中国科技信息研究所, 选择多种期刊评价指标, 以一定的中国科技论文统计源期刊(2000 年为 1406 种期刊) 引用的数据为依据, 对科技期刊论文进行统计分析, 进而按照客观数据对期刊进行评价排序。

该报告每年一版, 为中国广大科技工作者, 期刊编辑部和科研管理部门科学评价期刊, 客观准确地选择和利用期刊提供了权威参考依据。
统计数据表明(见表 1), 本刊最近 3 年的影响在逐步扩大。
统计数据表明: 本刊在农业工程类期刊中位居榜首, 与农业类名牌期刊尚有较大差距。

表 1 1998~ 2000 年《农业工程学报》检索指标
(中国科技信息研究所:《中国科技期刊引证报告》)

年度	总被引频次*	影响因子*	即年指标	地区分布数	基金和资助论文比例	海外作者论文数	备注:
1998	183	0.132	0.070	24	0.38	—	“*”为较重要指标; 本刊海外论文薄弱
1999	234	0.189	0.078	22	0.49	6	
2000	287	0.238	0.073	23	0.51	0	

were increased but not so high when the concentration of sodium polymer was raised pH value was almost not affected Ions with two positive charges, such as $[Ca^{2+}]$ and $[Mg^{2+}]$ have a negative impact on drinking water characteristic of sodium polymer markedly, which is stronger than that of one positive or negative charge, such as Na^+ and $H_2PO_4^-$. It does not influence the drinking water of sodium polymer for different concentrations of urea When soil is added with sodium polymer, the water holding capacity is raised, the aggregate of the soil is increased, this feature on sandy soil is more remarkable than that on clay soil, especially when there is 0.005% to 0.01% sodium polymer in soil The test indicated that over 90% water holding by the sodium polymer can be used by plant Based on the current results, it can be concluded that there are four aspects for action of sodium polymer, (1) conserving water by itself, (2) raising water holding by improving soil structure, (3) enhancing growth of plant and raising fertilizer use efficiency, (4) and reducing soil evaporation The field test result showed that using sodium polymer by hole method at 15 kg/hm^2 , the yields of corn and potato were increased by 22% and 16%, and the ratios of investment to benefit were 1:3.5 and 1:4.2, respectively. When sodium polymer was mixed with urea or with urea and phosphorus fertilizer, the urea and phosphorus fertilizer use efficiencies were increased by 18.7% and 27.1%, respectively.

Key words: aquasorb (sodium polymer); ion reaction; soil improvement; soil and water conservation; corn (*Zea mays* L.); potato (*Solanum tuberosum* L.) yield; fertilizer use efficiency

Model Application of Water Flow and Solute Transport During Non-steady Diffusion From Subsurface Emittter Source (27)

Xu Di, Cheng Xianjun (National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research Beijing, Beijing 100044, China)

Abstract: A model developed by the authors is used to describe flow of soil water and transport of solute during subsurface drip irrigation and fertigation Impacts on flow of water and transport of solute of factors such as soil texture and structure, discharge rate of emitters, depth of laterals and time lasted in a single irrigation are simulated Results show that for a specific soil, discharge rate of emitter and depth of lateral are, among others, two potential factors that have more powerful impacts on the performance of SDI system. To improve fertigation efficiency, appropriate strategy of fertigation should be adopted Changing the fertigation strategy for coarse-textured soils to involve application of nutrients at the beginning of an irrigation cycle can help maintain larger amounts of solute close to and above the emitter thereby making them less susceptible to leaching losses

Key words: subsurface drip irrigation; soil texture and structure; discharge rate; depth of laterals; fertigation

Visualization Methods Based on Flow Field Numerical Computation of Pumping Stations (31)

Wang Yeming^{1,2}, Tan Jianrong², Ji Yangjian² (1. College of Water Conservancy & Architecture Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2 State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: It is a new way and method to design passageways of pumping stations by flow field numerical computation in order to optimize their hydraulic designs Based on flow field computation method, their realized methods were studied according to engineering requirements, including processing all kinds of functional curves, visualization of axial velocity for outlet section and other sections as well as reprocessing and display of 3D computation grids Using ARX of AutoCAD, all kinds of visualization functions above can be realized

Key words: passageways; flow field; pumping station; numerical calculation; visualization; computation grids; contour line

· Soil and Water Engineering ·

Adaptability of Surge Flow Irrigation Applying on Farmland (35)