

高压叶片泵的三种类型叶片受力分析

李少年, 那焱青, 王峥嵘, 那成烈, 梁金梅

(兰州理工大学流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:针对叶片泵的各种类型叶片受力特性不同的问题,以无厚叶片、顶部为圆弧的单面后倾叶片及对中圆弧叶片三种类型为例,对吸油区的叶片受力进行分析建模,仿真得到一系列叶片所受接触反力的变化曲线。结果表明:忽略叶片厚度得到的结果与实际情况有很大的差异,顶部有圆弧的叶片比单面后倾叶片受力状况要好。

关键词:叶片泵;压力角;无厚叶片;单面后倾;

中图分类号:TH137.51

文献标识码:A

0 引言

液压泵是液压系统中重要的动力源,而叶片泵具有尺寸小、重量轻和流量均匀等优点,已经被广泛用于工农业等多个领域,近年来随着液压技术的不断发展,叶片泵正逐渐向高压方向迈进,从叶片泵力学特性方面研究和分析,对改善叶片泵的性能有着深远的意义。大多数论文在研究子母叶片泵的力学特性的过程中,当涉及到叶片受力时常常将叶片形状及厚度的影响忽略掉,这样对计算结果势必产生一定的误差。对于中高压叶片泵,其结构和配流原理更为复杂,将产生更大的影响^[1]。本文作者以工作压力为17.5 MPa、转速为1800 r/min的威格士系列子母叶片泵作为研究对象,对三种类型叶片在吸油区叶片的受力进行分析、求解。

子母叶片泵主要由定子、转子、一组嵌在转子槽中的叶片以及在转子和定子两侧的配流侧板等组成,定子曲线由两段大半径圆弧、两段小半径圆弧及四段过渡曲线组成。图1为子母叶片组和转子的结构图。

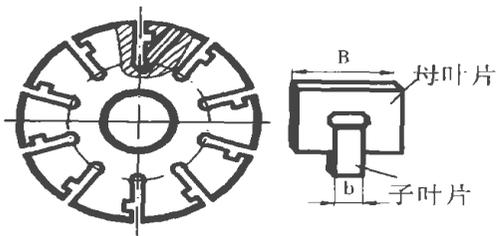


图1 子母叶片泵转子和叶片结构图

叶片可以在叶片槽内滑动,母叶片下部中段嵌有活动的子叶片,对于VQ35叶片泵, $B=40.7\text{ mm}$ 、 $b=8.42\text{ mm}$ 。在母叶片中间有一个由子叶片与母叶片围成的卵形压力油室,该油室作用着排油腔油液的压力,而母叶片顶部和根部油液压力则随着转子的位置不同而不同^[1]。

在吸油区,子母叶片泵的母叶片主要受到作用力有:液压力 F_p 、运动惯性力 F_c 、 F_k 、 F_g ,定子、转子对其施加的接触反力 N_1 、 N_2 、 N_3 和摩擦力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,具体如图2所示^[2]。

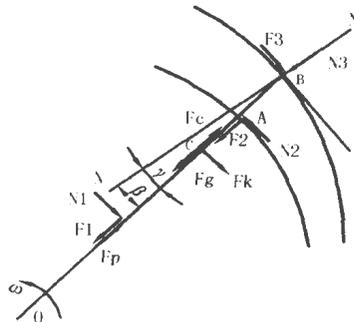


图2 无厚叶片受力示意图

1 无厚叶片的受力求解

不考虑叶片形状及厚度影响时,叶片和定子曲线的接触点与转子中心的连线 OB 即为极径 ρ ,并且该接触点在叶片上为一定点, $N-N$ 线是接触点 B 的内法线,则 OB 与 $N-N$ 之间的夹角 β 为向心线的压力角,叶片与法线 $N-N$ 之间的夹角 γ 为叶

收稿日期:2005-09-10

基金项目:兰州理工大学科研发展基金资助项目(SB06200411)

作者简介:李少年(1977-),男,安徽省泗县人,兰州理工大学教师,硕士,主要从事可压缩流体工作介质下的叶片泵配流及力学特性的研究。

片在过渡曲线上的压力角, 如图 2 所示, 有 $\gamma = \beta^{[3]}$ 。

根据图 2, 列出力以及力矩平衡方程为:

$$\begin{cases} N_3 \cos \gamma + N_1 f + N_2 f + F_g - F_c + N_3 f \sin \gamma - F_p = 0 \\ N_2 - N_1 - F_k - N_3 f \cos \gamma + N_3 \sin \gamma = 0 \\ N_2 AB - N_1 h - d E_k = 0 \end{cases} \quad (1)$$

求解方程组(1), 求解可以得到:

$$\begin{cases} N_1 = \frac{N_3 AB (f \cos \gamma - \sin \gamma) + (AB - d) F_k}{h - AB} \\ N_2 = \frac{N_3 h (f \cos \gamma - \sin \gamma) + (h - d) F_k}{h - AB} \\ N_3 = \frac{(F_p + F_c - F_g)(h - AB) - (AB + h - 2d) f F_k}{[(f^2 + 1)h + (f^2 - 1)AB] \cos \gamma - 2AB f \sin \gamma} \end{cases} \quad (2)$$

式中, h 为叶片沿半径方向的高度; AB 为叶片伸出叶片槽外部的长度, $AB = \rho - r_p$; d 为从叶片质心到叶片顶端的长度。 f 为摩擦系数, 通常使用的石油基液压油 $f = 0.13$ 。

联立以上各式, 通过计算、仿真可以得到, 在吸油区, 母叶片所受的主要接触反力 N_1 、 N_2 、 N_3 随转角 φ 变化的曲线, 如图 3 所示。

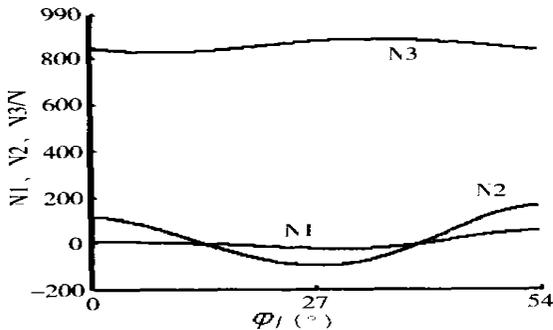


图 3 无厚叶片所受的接触反力 N_1 、 N_2 、 N_3 随转子转角的变化曲线

2 顶部为圆弧形的单面后倾叶片受力求解

普通低压叶片泵采用单面后倾形叶片, 该叶片在刚使用时, 叶片与定子曲线之间为线接触, 接触点在叶片上是一定点, 但是随着工作时间的增长, 叶片与定子之间不可避免地存在摩擦, 结果使得叶片尖部磨出小圆弧状顶端, 接触点的位置随着转子的转动也在叶片顶端小圆弧上移动。美国威格士公司做出改进, 在其生产的一系列中高压子母叶片泵中, 将叶片的形状改为带有圆弧顶端的单面后倾形叶片^[4]。

如图 4 所示, β 为向心线的压力角, γ 为叶片在过渡曲线上的压力角, 从图上知 $\gamma = \beta - \theta_1$, O_1 为叶片顶端小圆弧的圆心, 可以求出在转子运动的过程

中, 过渡曲线压力角的变化情况, 与无厚叶片相比 γ 的值变小了。

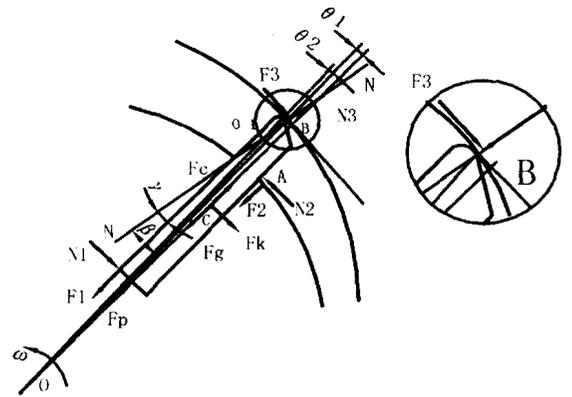


图 4 顶部为圆弧形的单面后倾叶片受力示意图

同样对叶片列出力以及力矩平衡方程:

$$\begin{cases} N_3 \cos \gamma + N_3 f \sin \gamma + (N_1 + N_2) f + F_p + F_g - F_c = 0 \\ N_2 - N_1 - F_k + N_3 \sin \gamma - N_3 f \cos \gamma = 0 \\ N_2 M + (F_g - F_c - F_p) \rho \sin \theta_1 - F_k d + N_2 f (s - r_0 - r_0 \sin(\beta - \theta_1)) - N_1 f (r_0 + r_0 \sin(\beta - \theta_1)) - N_1 [h - r_0 + r_0 \cos(\beta - \theta_1)] = 0 \end{cases} \quad (3)$$

求解上面的方程组得:

$$\begin{cases} N_1 = [N_3 m_1 (f \cos \gamma - \sin \gamma) + (F_g - F_c - F_p) \rho \sin \theta_1 + F_k (m_1 - d)] / (m_2 - m_1) \\ N_2 = [N_3 m_2 (f \cos \gamma - \sin \gamma) + F_k (m_2 - d) + (F_g + F_p - F_c) \rho \sin \theta_1] / (m_2 - m_1) \\ N_3 = [(F_p + F_c - F_g) m_3 - F_k f (m_1 - m_2 - 2d)] / \{ [f^2 + 1] m_2 + (f^2 - 1) m_1 \} \cos \gamma - 2f m_1 \sin \gamma \} \end{cases} \quad (4)$$

式中, r_0 为顶端小圆弧半径; s 为叶片的厚度;

参数 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 分别为:

$$\begin{aligned} m_1 &= M + f(s - r_0 - r_0 \sin(\beta - \theta_1)) \\ m_2 &= h - r_0 + r_0 \cos(\beta - \theta_1) + f(r_0 + r_0 \sin(\beta - \theta_1)) \\ m_3 &= m_1 - m_2 - 2f \rho \sin \theta_1 \\ m_4 &= f(m_1 + m_2 - 2d) \end{aligned}$$

联立以上各式, 取 $r_0 = s/10$ 代入, 计算、仿真得到在吸油区叶片所受的主要接触反力 N_1 、 N_2 、 N_3 随转子转角 φ 的变化曲线, 如图 5、图 6 所示, 为了便于比较, 将无厚叶片计算结果放入同一个图中。

从图 5 与图 6 可以得到: 与不考虑叶片厚度时相比较, 考虑叶片形状及厚度时, 接触反力 N_3 变

小, N_1 、 N_2 的绝对值变大。通常选取叶片中心线为转子转角的基准, 当不考虑叶片形状与厚度时, 叶片中心线与极径重合, 考虑叶片形状与厚度时, 因为叶片与定子接触点与转子中心的连线才是极径, 所以这时极径与叶片中心线有一个变化的夹角。叶片形状为带有圆弧顶端的单面后倾叶片, 在转子运转时, 产生接触点的偏移, 这些就是产生误差的主要原因。

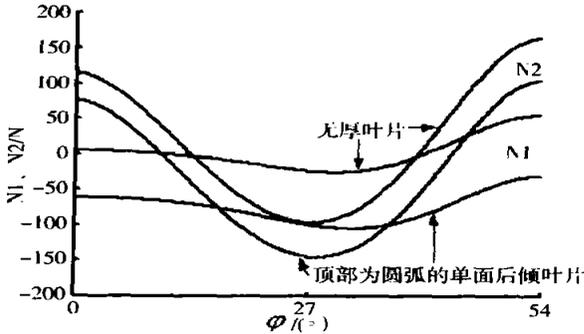


图5 顶部为圆弧的单面后倾叶片所受接触反力 N_1 、 N_2 随转子角的变化曲线

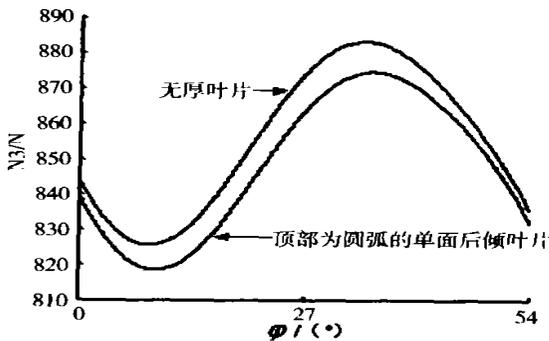


图6 顶部为圆弧的单面后倾叶片所受接触反力 N_3 随转子角的变化曲线

取一系列叶片顶端小圆弧半径 r_0 值带入计算、仿真。结果知道, 在 r_0 由小变大的过程中, N_3 由大变小, N_1 、 N_2 绝对值也变小, 所以单从受力方面考虑, 圆弧顶叶片的受力状况比单面后倾叶片要好, 这对于吸油区叶片有利, 因为叶片向外滑动时受到的接触反力变小, 从而摩擦力也变小, 叶片可以自由伸缩^[5]。

3 对中圆弧形叶片的受力求解

上面已经分析出带有圆弧顶端的单面后倾叶片受力状况比单面后倾的要好。国内几家公司, 在生产叶片泵产品中, 叶片形状都采用对中圆弧形叶片。

如图7所示, 叶片顶端为圆弧时, 叶片与定子的接触点, 在叶片上随着转子的转动在不停的移动, 定子圆弧内法线经过小圆弧的圆心, 这时的压力角: $\gamma = \beta + \theta_1$ 。受力分析也有差异, 列出力以及力矩平衡方程,

$$\begin{cases} N_3 \cos \gamma + N_3 f \sin \gamma + N_1 f + N_2 f - F_p - F_c + F_g = 0 \\ N_2 - N_1 - F_k + N_3 \sin \gamma - N_3 f \cos \gamma = 0 \\ N_2 M - N_1 [h - r_0(1 - \cos \gamma)] - F_k [d - r_0(1 - \cos \gamma)] + F_c r_0 \sin \gamma - N_1 f (\frac{s}{2} + r_0 \sin \gamma) + N_2 f (\frac{s}{2} - r_0 \sin \gamma) + F_p r_0 \sin \gamma - F_g r_0 \sin \gamma = 0 \end{cases} \quad (5)$$

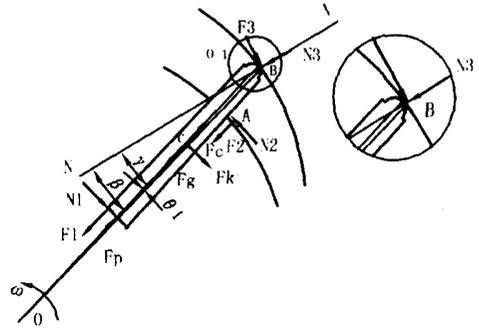


图7 对中圆弧形叶片受力分析示意图

求解上面方程组得到:

$$\begin{cases} N_1 = [m_2 N_3 (f \cos \gamma - \sin \gamma) + (F_c + F_p - F_g) r_0 \sin \gamma + F_k (m_2 - m_3)] / (m_1 - m_2) \\ N_2 = [N_3 m_1 (f \cos \gamma - \sin \gamma) + (F_c + F_p - F_g) r_0 \sin \gamma + F_k (m_1 - m_3)] / (m_1 - m_2) \\ N_3 = [(F_c + F_p - F_g) (m_1 - m_2 - 2f r_0 \sin \gamma) - F_k f (m_1 + m_2 - 2m_3)] / \{ [(f^2 + 1) m_1 + (f^2 - 1) m_2] \cos \gamma - 2f m_2 \sin \gamma \} \end{cases} \quad (6)$$

式中:

$$m_1 = h - r_0 + r_0 \cos \gamma + f (\frac{s}{2} + r_0 \sin \gamma)$$

$$m_2 = M + f (\frac{s}{2} - r_0 \sin \gamma)$$

$$m_3 = d - r_0 + r_0 \cos \gamma$$

取一系列小圆弧半径 r_0 的值代入上式, 仿真得

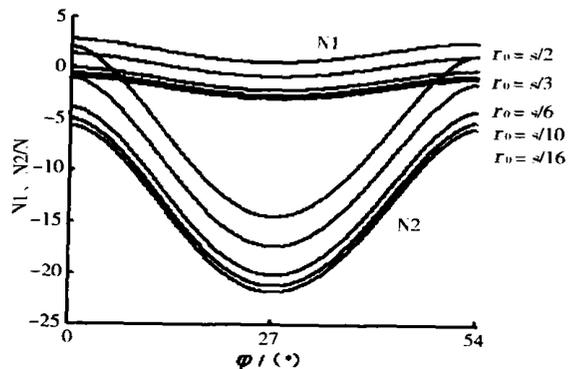


图8 对中圆弧形叶片所受接触反力随圆弧半径的变化曲线

到如图8所示的接触反力变化曲线,由于 N_3 几乎不变,所以在此将其忽略。可以看出:在小圆弧半径 r_0 从 $s/2$ 到 $s/16$ 的变化过程中, N_2 绝对值变大, N_1 的绝对值变小,但是力 N_1 的方向发生了变化。比较得知,单从受力方面分析,在 $r_0=s/10$ 左右,对中圆弧叶片受力状况较好。

4 结论

(1)忽略叶片形状及厚度时,叶片所受的内法线方向接触反力比实际受力大得多、侧向接触反力比实际受力小。

(2)顶端为圆弧的单面后倾叶片,叶片的过渡曲线压力角小,从受力方面分析,圆弧顶叶片比单面后倾叶片的受力状况好。

(3)对中圆弧叶片顶端圆弧半径的变化几乎不影响内法线接触反力的大小,在其从大到小变化过程中,叶片根部侧向力绝对值变小且方向改变,叶片

中部侧向力的绝对值变大。叶片顶端圆弧半径的取值,要从受力状况和叶片结构及运动几个方面综合考虑。

综上,在研究或设计叶片泵时,要考虑到叶片厚度对叶片受力的影响,了解每种类型叶片的受力特点,以便设计出性能优、寿命长的高压子母叶片泵。

参 考 文 献

- [1]何存兴. 液压元件[M]. 北京:机械工业出版社, 1982.
- [2]那焱青, 李少年. 关于子母叶片泵叶片的受力分析[J]. 兰州理工大学学报, 2004, 30(4): 61-63.
- [3]史维祥. 关于定量叶片泵叶片倾角的探讨[J]. 机床与液压, 1984, (2): 12-15.
- [4]黎光英. 叶片式液压泵和马达[M]. 北京:机械工业出版社, 1993.
- [5]雷天觉. 液压工程手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1990.

(责任编辑:夏书林)

(上接 45 页)

$$\left\{ \begin{array}{ll} k_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + k_2 \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} = 0 & \text{in } \Omega \\ q = 0 & \text{on } \Gamma_1 \\ u = 0 & \text{on } \Gamma_2 \\ q = 0 & \text{on } \Gamma_3 \\ u = 300 & \text{on } \Gamma_4 \end{array} \right.$$

表2 结果和误差估计值

内点坐标	水头	解析解	相对误差 ϵ
(2, 2)	200.28	200.00	0.001400
(2, 4)	99.74	100.00	0.002600
(4, 2)	99.74	100.00	0.002600
(4, 4)	200.28	200.00	0.001400
(3, 3)	150.00	150.00	0.000000

从表中可以看出,用直接边界元常单元法求解误差最大也不超过6%,最小为0,其误差仅来自边界离散化的处理,数值上的近似计算也是因为边界上无法求闭合积分而引起的,可见,这种方法是有效可行的。

4 结论

边界元法需要准备的数据比较少,具有降维、可以解决奇异性问题特别适合解无限域问题以及远场计算精度高等特点,用边界元法求地下水头的分布

前人已证明是合适的,在研究渗流边界积分方程方面得到了广泛应用。用边界元法求解流体力学问题,因为不需要在内部剖分单元,程序处理一般比有限元法容易,地下水流动的计算域常是半无限域,本文边界元法由于特别适用于无限域,因而用于求解这类渗流问题是极为有效的。因此,采用边界元法,一旦求得了边界值,则可以由积分表达式解析地求出域内解,且处处连续,精度较高。

参 考 文 献

- [1]钱孝星. 水文地质计算[M]. 北京:水利电力出版社, 1995.
- [2]张有天, 王 镭, 陈 平. 边界元方法及其在工程中的应用[M]. 北京:水利水电出版社, 1989.
- [3]C. A. Brebbia. the Boundary Element Method for Engineers [M]. London: Pentech Press, 1978.
- [4]祝家麟. 椭圆边值问题的边界元分析[M]. 北京:科学出版社, 1991.
- [5]李爱兵. 边坡中地下水渗流的边界元分析[J]. 矿业研究与发展, 1994, (3): 29-35.
- [6]曹峻升, 祝家麟. 正交各项异性非正常渗流边界元解法计算[J]. 重庆建筑大学学报, 1998, 12.
- [7]刘青山, 等. 用边界元法分析油藏不稳定渗流问题[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, (4).

(责任编辑:夏书林)

software, the authors make use of the dominance of VB and Fortran language in programming. The application of engineering calculation is discussed in detail with some examples in which a DLL(dynamic link library) between VB and Fortran is established by using Visual Basic 6.0 and Fortran PowerStation 4.0. A friendly interface can be visualized for better use and take full advantages of VB and Fortran.

Key words: VB; Fortran; mixed-language programming; dynamic link library; engineering calculation

Research of GPRS Remote Data Acquisition Method Based on Socket

WANG Zhi-wei (Chengdu Xing Dong Investment CO., LID. Chengdu 610021 China), SHEN Jie-feng, et al. JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY. v. 25, no. 1. PP. 37-39, 1/2006. (ISSN 1673-159X; In Chinese)

Abstract: The MIS systems of C/S mode are often carried out in LAN, in which the IP address of the servers and client are immobile. The data can be transmitted at the base of the implementation of ODBC and the protocol of TCP/IP. The authors empolder the software of remote data acquisition whose IP is variable. On the foundation of the analysis of GPRS network and the theory of Windows Socket, the system structure of dynamic IP link is established. At the end the way of remote data acquisition using Delphi is discussed.

Key words: Client/server mode; socket; data acquisition; GPRS

Similar Structure of Pressure Distribution in the Fractal Dual Porosity Reservoir

LI Shun-chu (Institute of Applied Mathematics, Xihua University, Chengdu 610039 China), ZHANG Jian-jun. JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY. v. 25, no. 1. PP. 40-43, 1/2006. (ISSN 1673-159X; In Chinese)

Abstract: This paper proposes a mathematic model for well test analysis of perfectly describing the fractal dual porosity reservoir with the bottom-hole storage and the skin effects and the three kinds of outer boundary conditions (infinite boundary, constant pressure outer boundary and closed boundary). By using the Laplace transform method, the solution to the dimensionless pressure and dimensionless bottom-hole pressure in Laplace space is attained. The similar structure of the solution's form in the three kinds of outer boundary conditions is found through deep analyses of its characteristics. Further discussion is taken. The research is convenient for developing well test analysis program, and has a profound significance in flow theory for fluids in porous media.

Key words: fractal dual porosity reservoir; bottom-hole storage; skin effects; outer boundary conditions; solution; of

Laplace space; similar structure

Boundary Element Method and Its Application in Seepage of Groundwater Problem

TIAN Ling-ling (Chongqing University, Chongqing 400044 China), JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY. v. 25, no. 1. PP. 44-45, 1/2006. (ISSN 1673-159X; In Chinese)

Abstract: Seepage problem is an important field and interesting topic in hydrodynamics. This kind of problem can deduce Laplace equation or Poisson equation. In this paper the author solves Groundwater Seepage Problem using Boundary Element Method with program in Fortran language. Several numerical examples are presented and some useful conclusions are drawn.

Key words: groundwater seepage; boundary element method; anisotropy

Kinetic Research of Three Types Vane in High Pressure Vane Pump

LI Shao-nian (College of Fluid Power and Control, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050 China), NA Yan-qing, et al. JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY. v. 25, no. 1. PP. 46-49, 1/2006. (ISSN 1673-159X; In Chinese)

Abstract: Aimed at the problem that dynamic characteristics is different to all kinds of vane in vane pumps, a dynamic force model is established for three types of vane i.e. thick-less vane, circular single-side backward vane and vane with circular skeleton line, and then a series of variation curves of contacting reactional force are obtained by simulation. The results show that there will be many differences if the vane's thickness is ignored, the force's action of the vane with arc top is better than single-side backward vane. The conclusions of the paper will provide helpful reference for studying and designing a high-pressure vane pump with high performance.

Key words: vane pump; pressure angle; thick-less vane; single-side backward vane;

Dynamic Measuring of Hydraulic Turbine Cavitations Coefficient

LU Chi (School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039), YANG Chang-ming, et al. JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY. v. 25, no. 1. PP. 50-51, 1/2006. (ISSN 1673-159X; In Chinese)

Abstract: The cavitation damage of hydraulic turbine's vanes causes frequent examining and repairing of the waterpower station. This thesis uses the computational fluid dynamics software-Fluent to simulate the design mode of the HL240 turbine. The cavitation coefficient obtained from the simulation results is consistent with the model test. A numerical simulation of the turbine's operating mode at regular intervals is conducted.