

离心式渣浆泵的汽蚀状态分析与计算

李平双

(石家庄职业技术学院, 河北 石家庄 050081)

摘要: 从理论上分析了泵内产生汽蚀的原因, 在对离心式渣浆泵与普通离心泵汽蚀特性比较的基础上, 分析了渣浆泵汽蚀余量与叶轮入口几何参数关系; 依据有关试验数据, 找出了渣浆泵汽蚀余量经验计算公式, 并给出了计算实例。给泵企业工程技术人员计算渣浆泵汽蚀余量提供参考。

关键词: 渣浆泵; 汽蚀余量; 试验曲线; 经验公式

中图分类号: TH311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6254(2006)01-0019-03

0 引言

泵内发生汽蚀, 不但使泵性能下降, 同时产生噪声和振动, 而且使泵的寿命缩短, 严重时泵因叶轮汽蚀破坏而无法工作。研究汽蚀过程的客观规律, 在设计阶段估算泵汽蚀余量, 历来是每个工程技术人员所面临的实际问题。目前常用于估算泵汽蚀余量的方法主要有两种^[1], 一种是Thomas汽蚀系数法, 另一种方法是通过汽蚀比转速 C 来计算。这些方法在计算汽蚀余量时, 皆与叶轮入口几何参数无关, 在计算渣浆泵汽蚀余量时不十分合理。

本文从理论上分析了泵内汽蚀发生状态, 并根据试验曲线, 推导出了渣浆泵汽蚀余量的计算方法, 并通过实例进行了验证。

1 汽蚀余量方程式

1.1 离心式渣浆泵与普通离心泵汽蚀特性比较

通常离心泵汽蚀余量方程式表示为

$$NPSH = \frac{p_1 - p_v}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$

该公式是叶轮入口水头超过液体饱和蒸汽压力水头的余量。离心式渣浆泵汽蚀特性与清水泵比较有一定的差别, 从图1可看出。

在图1上示出泵汽蚀特性曲线, 曲线a对于抽送均质液体的普通泵具有代表性, 曲线b对抽送磨蚀性固液混合物的泵具有代表性^[2], 这种泵叶片数少, 流道较宽。曲线上标出一些极限状态的汽蚀余量, 即 $NPSH_1$ 对应泵扬程或功率开始变

化的汽蚀余量, $NPSH_{II}$ 对应这些参数急剧变化的始点, $NPSH_{III}$ 对应汽蚀充分发展的汽蚀稳定状态(超汽蚀状态)。

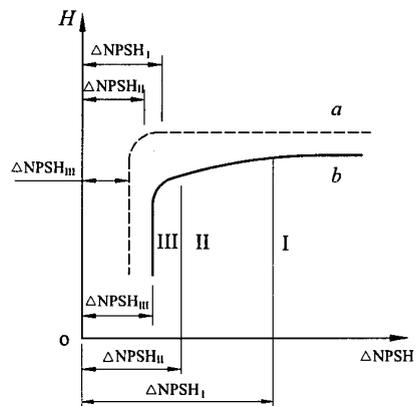


图1 泵汽蚀特性曲线

从该图上可知, 抽送磨蚀性固液混合物的泵上, 汽蚀区($NPSH_1 \sim NPSH_{II}$)占据 $NPSH$ 相当大的变化区。

泵汽蚀余量与叶轮叶片入口边绕流的液体运动学有关, 公式(1)可以写为

$$NPSH = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{w_1^2}{2g} \left[\left(\frac{w_1'}{w_1} \right)^2 - 1 \right] = \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_{kp} \frac{w_1^2}{2g} \quad (2)$$

式中, $\lambda_{kp} = \left[\left(\frac{w_1'}{w_1} \right)^2 - 1 \right]$, 临界汽蚀数, 代表汽蚀状态。

从公式(2)中可以看出, 泵的汽蚀余量与流量有关。研究相似泵就很容易确认, 对于相似状态, 即当

$$\frac{Q}{nD_2^3} = \text{常数时}, \quad \frac{NPSH}{(nD_2)^2} = \text{常数}.$$

状态 III 表示完全发展的脱流绕流, 对其进行简单的理论分析, 用 $u_1/2g$ 同时除公式(2)两边得到

$$\frac{2gNPSH}{u_1^2} = \frac{v_1^2}{u_1^2} + \lambda_{kp} \frac{w_1^2}{u_1^2} = \frac{(w_1')^2}{u_1^2} - 1 \quad (3)$$

1.2 汽蚀余量与叶轮入口参数关系推导

为了讨论包括三个值 β 、 v_1 和 u_1 在内的参数选择, 我们研究个别情况: 以速度 u_1 运动的直叶片组成的平面叶栅^[2], 绕叶栅的液流以轴向速度 v_1 运动, 如图 2 所示。

选择两个控制平面, 1-1' 为叶栅前, 2-2' 为叶栅出口和一个控制表面 abcdef。流线 ab 和 ef 对称, 因此可以采用沿着流线的压力为对称分布, 方向指向控制表面内。将作用在控制表面上的力投影到叶片叶型上, 由选定封闭线限定的液体表面上力的冲量为

$$(p_1 - p_v)t \cdot \sin \beta_1 = \rho \frac{w_2^2 - v_1^2 - u_1^2}{2} t \cdot \sin \beta_1$$

式中, t 为叶片间距, w_2 为叶栅出口相对速度。

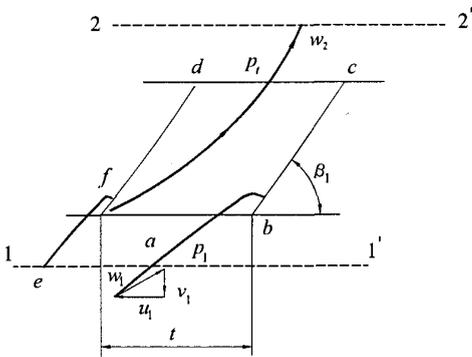


图2 汽蚀状态下平面叶栅绕流示意图

液体动量在断面 1-1' 和 2-2' 之间叶片叶型方向上投影变化等于

$$\rho v_1 t (w_2 - v_1 \cdot \sin \beta_1 - u_1 \cdot \cos \beta_1),$$

令力的冲量和动量变化表达式相等, 得到

$$w_2 = u_1 + v_1 \cdot \text{tg} \frac{\beta_1}{2},$$

液流相对速度与液流脱流后圆周速度之比为

$$\frac{w_2}{u_1} = 1 + \frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2},$$

汽蚀余量为

$$NPSH = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1 - p_v}{\rho g} = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \quad (4)$$

相对汽蚀余量为

$$\frac{2gNPSH}{u_1^2} = \frac{w_2^2}{u_1^2} - 1 = 2 \frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} + \left(\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} \right)^2 \quad (5)$$

从公式可看出, 离心式渣浆泵汽蚀余量与叶轮入口参数有关, 因此在估算汽蚀余量时应考虑叶轮入口几何参数。

2 渣浆泵汽蚀余量经验公式

在渣浆泵上, 作为允许汽蚀余量, 可用临界汽蚀余量 $NPSH_{II}$ 。

将固液混合物泵的汽蚀试验资料整理结果列举如下: 试验时叶轮入口叶片安放角 $\beta_1 = 15^\circ \sim 35^\circ$, $n_s = 70 \sim 200$, 叶片数 $Z = 2 \sim 4$, 同时采用既有轴向吸入又有侧向吸入液体的泵(砂泵), 试验资料结果^[2]如图 3 所示。

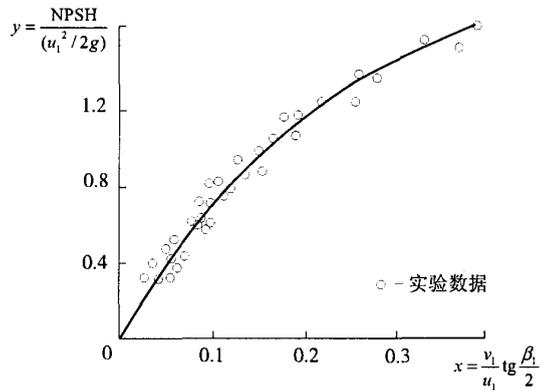


图3 相对汽蚀余量关系曲线

从图上查得相应数据见表 1。

表 1

$x = \frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2}$	0	0.1	0.2	0.3	0.391
$y = \frac{NPSH}{(u_1^2/2g)}$	0	0.688	1.168	1.148	1.60

通过分析, y 和 x 之间的关系, 可以采用指数方程的形式 $y = ax^b$, 将 $Y = \ln y$, $X = \ln x$, $A = \ln a$, 将指数方程转换为线性方程 $Y = A + bX$, 采用一般线性回归方程进行计算^[3], 最后得到下

列回归方程

$$\text{NPSH} = 2.98 \left(\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} \right)^{0.62} \cdot \left(\frac{u_1^2}{2g} \right) \quad (6)$$

式中, r 为相关系数^[4] $0 < |r| < 1$, $r = 0.99183$

从图3上可看出, 当 $\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2}$ 减小时, 汽蚀余量下降, 改善了泵的吸入性能。

3 举例计算

一台砂泵, $Q = 3\ 600 \text{ m}^3/\text{h}$, $n = 480 \text{ r/min}$, 入口宽度 $b_1 = 0.3 \text{ m}$, 叶片入口直径, 前盖板处 $D_{o1} = 0.5 \text{ m}$, 后盖板处 $D_{o3} = 0.375 \text{ m}$, 叶片数 $Z = 4$, 叶片厚度 $\delta = 0.05 \text{ m}$, 叶片入口安放角 $\beta_1 = 35^\circ$ 确定该泵的允许汽蚀余量。

计算步骤:

1) 计算圆周速度

$$u_1 = \frac{\pi D_{o1} n}{60} = 12.57 \text{ m/s}$$

2) 计算叶轮入口排挤系数

首先计算叶片间距

$$t_1 = \frac{\pi(D_{o1} + D_{o3})}{2Z} = 0.344 \text{ m}$$

计算排挤系数

$$\varphi_1 = 1 - \frac{\delta}{\sin \beta_1 \cdot t_1} = 0.746$$

3) 计算叶轮入口平均速度

$$v_1 = \frac{2q}{\pi(D_{o1} + D_{o3})\varphi_1 b_1} = 3.13 \text{ m/s}$$

4) 计算参数

$$\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} = 0.0785 \approx 0.08$$

5) 计算允许汽蚀余量

$$\text{NPSH} = 2.98 \left(\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} \right)^{0.62} \cdot \left(\frac{u_1^2}{2g} \right) = 4.93 \text{ m}$$

从图上查得, 当 $\frac{v_1}{u_1} \text{tg} \frac{\beta_1}{2} = 0.08$ 时,

$$\frac{\text{NPSH}}{(u_1^2/2g)} = 0.6, \text{NPSH} \approx 4.83 \text{ m}, \text{计算值与试验}$$

数据图上值基本一致。

4 结论

本文给出的汽蚀余量估算公式充分考虑了渣浆泵相对汽蚀余量与叶轮入口参数间的关系, 通过回归计算方法, 建立了基于叶轮入口几何参数 b_1 、 D_1 、 δ 、 β_1 、 Z 等的汽蚀计算关系式(式5), 为泵企业工程技术人员估算渣浆泵汽蚀余量提供了一种参考方法。

参考文献:

- [1] 中国农业机械化科学研究院主编. 叶片泵设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983, 262~263.
- [2] В. БЩецель. Оптимальные параметры, определяющие кавитационные качества центробежных насосов [M]. Трубы ВИГМ/ВИГМ, 1958, вып. XXII с. 30~48.
- [3] 何希杰. 离心泵系数法设计中的新的统计曲线和公式[J]. 水泵技术, 1997(5): 30~37.
- [4] 中国科学院数学研究所统计组编. 常用数理统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1979.

Analysis and Calculation of Cavitation for Centrifugal Slurry Pump

LI Ping-shuang

(Shijiazhuang Vocational Technology Institute, Shijiazhuang, Hebei 050081, China)

Abstract: In order to make suggestions for engineers and researchers who work in pump industry to calculate NPSH, the causation of cavitation occurred in a slurry pump theoretically is analyzed. The relationship between NPSH and inlet geometry parameters of impeller is analyzed. The cavitation characteristic between the slurry pump and normal pump is compared. The empirical formula that used to calculate NPSH is deduced base on test datas and the example for calculating NPSH is validated.

Key words: Slurry pump; NPSH; Test curve; Empirical equation