

超高速部分流式切线泵的设计试验研究

严俊峰, 逯婉若

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 提出超高速部分流式切线泵的结构设计和理论计算方法, 探讨切线泵的流量系数与喉部面积的关系。最后, 通过应用实例总结相关的技术问题。

关键词: 超高速部分流式切线泵; 喉部面积; 流量系数

中图分类号: V434-33

文献标识码: A

文章编号: (2010) 05-0023-04

Design of ultra-high-speed partial flow tangent pump

YAN Jun-feng, LU Wan-ruo

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The structural design and theoretical calculation method for an ultra-high-speed partial flow tangent pump is presented. The relationship between the flow coefficient and the throat area is analyzed. The related technical problems are summarized by the aid of an actual example.

Keywords: ultra-high-speed partial flow tangent pump; throat area; flow coefficient

0 引言

随着航空航天、石油化工等行业的飞速发展, 对小流量、高扬程泵的需求不断增长。这种泵通常比转速都很低, 传统的设计方法是采用多级叶轮及复合叶轮^[1], 以提高扬程系数。由于其叶轮常设计成后弯叶片, 并带有前后盖板, 因此存在以下问题: 1) 随着扬程的增加, 叶轮级数增加, 复合叶轮叶片数增加, 结构复杂; 2) 由于叶片及涡壳流道较窄, 加工困难; 3) 对多级泵来说, 性能曲线较陡, 相对地, 泵的操作范围较窄^[2]。

基于这些原因, 最合理的方法是采用高速部

分流式切线泵来实现小流量、高扬程介质的输送。切线泵通常采用开式直叶片, 便于加工制造, 能够保证尺寸精度, 降低成本。由于泵轮采用开式结构, 没有前后盖板, 使泵几乎不产生轴向力^[3], 且泵的零部件也尽量地少。

目前对切线泵的研究大都集中在常规转速下的设计、仿真及试验等方面^[4-6], 部分学者对 15000 r/min 左右的切线泵进行了研究^[7-9], 对更高转速下切线泵的研究还很不充分。事实上, 切线泵的高速特性很好, 转速使用范围从 3000 r/min 到 30000 r/min^[2]。本文通过高速部分流式(拟)切线泵的设计实例, 讨论更高转速对切线泵性能的影响, 并对 60000 r/min 转速下切线泵的性能进行试验。

收稿日期: 2010-05-31; 修回日期: 2010-06-24

作者简介: 严俊峰 (1980—), 男, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机涡轮泵技术

1 结构设计

超高速切线泵采用如下结构设计:

1.1 超高速切线泵结构

为了减小结构尺寸,提高泵运行时的稳定性,采用斜向入口切向出口的单级单吸双支承结构,切线泵简图如图 1 所示。为了提高抗汽蚀性能,采用了等螺距诱导轮,如图 1 中序号 1 所示,其具体结构见图 2。叶轮(如图 1 中序号 2 所示)采用开式结构(见图 3),其叶片形状如图 4 所示。

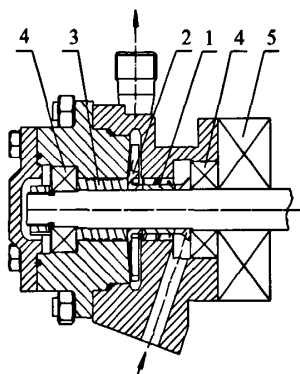


图 1 超高速切线泵简图

Fig. 1 Configuration of ultra-high-speed partial flow tangent pump



图 2 诱导轮
Fig. 2 Inducer



图 3 叶轮
Fig. 3 Impeller

1.2 轴承

采用双半内圈三点接触球轴承配对深沟球轴承形式的轻质化高速轴承(图 1 中序号 4)。

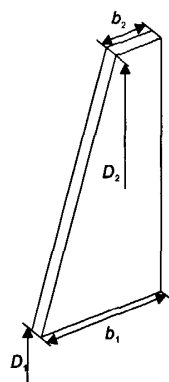


图 4 叶片形状图

Fig. 4 Blade shape

1.3 密封

由于泵采用开式叶轮,泵前密封可采用简单的迷宫密封结构,如图 1 中序号 3 所示。泵后采用端面密封(如图 1 中序号 5 所示),具有良好的高压和高速性能。

2 设计实例

2.1 概述

为了提高超高速切线泵的抗汽蚀性能,往往需要在泵前设置诱导轮。高速诱导轮的设计思路及方法与常规转速诱导轮的设计无异,这里不再进行详细阐述。

为了提高超高速泵的抗汽蚀性能,改善叶轮流道的扩散程度,采用了一种直叶片出口角小于 90°的拟切线泵。从作用原理来看,拟切线泵(以下简称切线泵)属于叶片式泵,符合动量矩原理。因此,高速部分流式切线泵的设计思路及方法与常规转速离心泵相似,以下逐一进行论述。

2.2 参数计算

2.2.1 进口管及出口管直径

超高速切线泵的进口管直径 D_{in} 按下式计算:

$$D_{in} = \sqrt{\frac{4Q_m}{\rho\pi V_{in}}} \quad (1)$$

式中: Q_m 为泵质量流量; ρ 为介质密度; V_{in} 为进口轴面速度,其常规取值为 0.8~2.5 m/s。

出口管直径 D_{out} 可取为

$$D_{out} = (0.7 \sim 1.0) D_{in} \tag{2}$$

2.2.2 叶片进出口外径

超高速切线泵叶片进口直径 D_1 的计算公式如下:

$$D_1 = \sqrt{D_0^2 + d_h^2} \tag{3a}$$

式中 D_0 和 d_h 分别为进口当量直径和轮毂直径。

$$D_0 = K_0 \sqrt[3]{\frac{Q_m}{\rho \eta_v n}} \tag{3b}$$

式中: K_0 是一个与汽蚀性能有关的参数, 在考虑汽蚀性能的情况下, $K_0 = 5.0 \sim 5.5$; n 为泵转速; η_v 为容积效率。

因为开式叶轮泵的泄漏量较闭式叶轮泵的大, 而且考虑到从泵出口引出进入冷却流路对端面密封及轴承进行冷却的那一部分介质, 因此 η_v 较低。针对该超高速切线泵流量小的特点, 计算时 η_v 可取为 $0.2 \sim 0.4$ 。

开式叶轮叶片出口直径 D_2 是一个对泵性能很关键的重要参数, 计算时可按下进行:

$$D_2 = \frac{60}{\pi n} \sqrt{\frac{Hg}{\psi}} \tag{4}$$

式中: H 和 ψ 分别是设计扬程和扬程系数。

为了提高叶轮扬程系数, 加工时应使叶轮叶片出口边保持方楔角, 这种型式叶轮的扬程系数较高, 设计时可取为 $0.5 \sim 0.6$ 。

2.2.3 叶片进出口宽度

叶片进口宽度 b_1 计算如下:

$$b_1 = \frac{Q_m}{\rho \eta_v \pi D_1 V_{m1}} \tag{5}$$

式中: V_{m1} 为叶轮入口轴面流速。

在一定质量流量 Q_m 和进口直径 D_1 下, 增加叶片进口宽度 b_1 可降低叶轮的入口轴面流速 V_{m1} , 从而可以提高汽蚀性能, 但过大的 b_1 会使效率下降, 因此计算时应综合考虑效率和汽蚀性能, V_{m1} 可取为 $1 \sim 4 \text{ m/s}$ 。

叶片出口宽度 b_2 可根据如下经验公式计算:

$$b_2 = (0.7 \sim 1.0) b_1 \tag{6}$$

2.2.4 涡壳喉部面积

因为切线泵叶片出口角 β_2 很大, 所以理论扬程-流量特性曲线近似为一直线, 其喉部面积 A_1 对泵的性能有重要影响。正是由于切线泵的喉部面积远小于叶轮出口面积, 因此切线泵又被称为部分流泵^[9]。

喉部面积可以由喉部流速 V_1 来确定。

$$A_1 = \frac{Q_m}{\rho V_1} \tag{7}$$

而喉部流速可根据切线泵的流量系数 Φ 来确定。

$$\Phi = \frac{V_1}{u_2} \tag{8}$$

式中 u_2 为叶轮的圆周速度。

流量系数一般可取为 $0.7 \sim 0.8$ ^[3,7], 超高速切线泵的流量系数相对较小。

2.3 计算结果

采用上述方法设计的超高速切线泵, 其主要设计参数如表 1 所示。

表 1 超高速切线泵主要设计参数
Tab. 1 Design parameters of ultra-high-speed tangent pump

参 数	数 值
设计比转速 n_s	8
拟切线泵叶片出口角 $\beta_A(^{\circ})$	70
拟切线泵叶片数 z	7
叶轮进口相对直径 D_1/D_2	0.4
集液器相对内径 D_3/D_4	1.05

3 试验分析

典型试验中的转速及压力(扬程)曲线如图 5 和图 6 所示。

从图中还可以看出, 该泵取得了理想的性能指标。

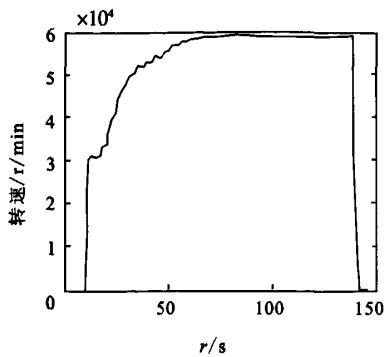


图 5 转速曲线

Fig. 5 Rotation speed curve

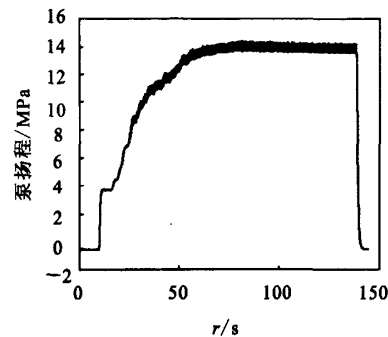


图 6 扬程曲线

Fig. 6 Head curve

此外为了研究不同转速对超高速切线泵性能的影响，在除转速外，其余参数不变的情况下进行了对比试验，结果如表 2 所示。

表 2 不同试验转速下泵的性能

Tab. 2 Pump performance at different rotation speed

试验转速 $n(r/min)$	比转速 $/n_s$	扬程系数 $/\psi$	流量系数 $/\Phi$	效率 η $/\%$
39900	11.8	0.575	0.202	6.02
49500	11.7	0.578	0.199	6.01
58500	11.8	0.577	0.199	6.08

从表 2 可以看出：

1) 泵的单位扬程及单位流量近似保持为一常数。这表明：转速改变时，超高速切线泵的流量及扬程的变化遵守叶片泵的相似准则；

2) 常规转速切线系的流量系数为 0.7~0.8^[7]，

而超高速切线泵的流量系数较小；

3) 常规转速切线泵的扬程系数为 0.6~0.8^[7]，而超高速切线泵的扬程系数小于 0.6，处于常规转速切线泵扬程系数的下限；

4) 转速改变不显著影响超高速切线泵的扬程系数、流量系数及效率等性能参数。

4 结 论

通过设计实例及设计经验，得出以下结论：

1) 本文提出的超高速切线泵设计方法是合理可行的；

2) 超高速切线泵的流量系数小于常规转速切线系的流量系数，扬程系数较常规转速切线泵的偏小；

3) 转速改变时，超高速切线泵的流量及扬程的变化遵守叶片泵的相似准则；

4) 转速改变不显著影响超高速切线泵的扬程系数、流量系数及效率等性能参数；

5) 为了深入研究超高速切线泵的性能，需研究不同转速对抗汽蚀性能的影响。

参考文献：

[1] 严俊峰, 陈炜. 基于遗传算法的低比转速高速泵优化设计[J]. 火箭推进, 2006, 32(3): 1-7.

[2] 吴玉珍. 部分流式切线泵在高效率条件下扬程系数的确定[J]. 化工设备与管道, 2000, 37(3): 37-39.

[3] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1995: 383-387.

[4] 朱祖超, 黄敦回, 赖存阳. 小流量切线增压泵设计[J]. 水泵技术, 1996 (1): 9-12.

[5] 李新宏, 黄淑娟. 切线泵流动特征的整流场数值模拟[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 77-80.

[6] 范宗霖, 王革田. 切线泵的试验研究[J]. 水泵技术, 2002 (1): 3-8.

[7] 徐岩, 朱晓东. 高速切线泵过载原因分析及改造[J]. 水泵技术, 2002 (3): 31-34.

[8] 方传波, 夏智勋, 胡建新, 等. 基于主动射流控制[J]. 固体火箭技术, 2010, 33(3): 280-284.

(编辑: 王建喜)