

文章编号:1671-6833(2006)03-0059-04

大流量三叶罗茨风机的全绝热效率及温度特性分析

熊滨生¹, 熊安然², 李秀明³, 陈江义¹

(1. 郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 中原工学院电子信息学院, 河南 郑州 450007; 3. 郑州大学学报编辑部, 河南 郑州 450002)

摘 要:介绍了大流量三叶罗茨风机的容积效率、机械效率、理想罗茨的绝热效率和全绝热效率 η_{ad} , 对风机的无逆流冷却和有逆流冷却的两种温度变化情况进行了比较分析. 结合生产实例说明, 罗茨风机容积效率随径距比的变化, 罗茨风机理想罗茨的绝热效率、全绝热效率 η_{ad} 随风机的压力 ϵ 比增加呈现的下降趋势, 排气温度随压力比 ϵ 增加呈现的上升趋势规律. 大流量三叶罗茨风机采用逆流冷却极大地降低排气温度、减小回流冲击噪声.

关键词:理想罗茨; 全绝热效率; 排气温度; 逆流冷却

中图分类号: TH 48

文献标识码: A

0 引言

渐开线叶型三叶罗茨风机是由国外引进的一种新型罗茨风机, 具有运转平稳, 气流脉动小、噪声低等特点. 在国内, 大流量三叶罗茨风机已经成为生产中的关键设备, 例如宝钢炼钢厂引进德国 KRUPP POLYSIUS 公司制造的投料系统 POLDOS 中的大流量三叶罗茨风机^[1]用于输送用气.

大流量三叶罗茨风机的容积效率较高、机械功率损失小. 其热力学指标全绝热效率、温升、排气温度等是评价风机性能的重要指标. J. B. Ritchie J Patterson 对影响全绝热效率的内泄漏进行研究^[2], 刘卉对采用逆流冷却进行了试验研究^[3], 笔者仅对容积效率、全绝热效率及风机的温度特性等与压力比之间的相互关系及变化趋势进行分析研究.

1 全绝热效率

风机的全绝热效率 η_{ad} 考虑了风机的三部分效率, 即容积效率 η_v 、机械效率 η_m 、理想罗茨的绝热效率 $\eta_{ad, th}$. 大流量罗茨风机的容积效率较高, 机械损失功率在轴功率中占的比例也小(特别是在升压较高时, 机械效率较高), 全绝热效率比中、小型风机的高. 以郑州某公司生产的 80 m³/min 三叶罗茨风机为例进行分析, JS116-6 电动机驱动, 额定功率 95 kW. 主、从动轴的固定端安装双列

调心滚子轴承、游动端安装圆柱滚子轴承. 同步齿轮采用 6 级精度硬齿面斜齿圆柱齿轮, 整体淬火后磨齿. 同步齿轮转速 975 r/min, 采用浸油润滑.

1.1 风机的容积效率

三叶罗茨风机的容积效率

$$\eta_v = Q_s / Q_{th} \quad (1)$$

式中: Q_s 为实际流量, m³/min; Q_{th} 为理论流量, m³/min.

三叶罗茨风机工作时, 在转速 n 和升压 ΔP 一定的情况下, 容积效率 η_v 与风机的多个设计参数有关. 容积效率 η_v 与径距比 R_m/a 的关系, 如图 1 所示. R_m/a 增大, 则容积效率 η_v 相应提高, 面积利用系数 λ 也相应增大^[4,5], 如图 2 所示.

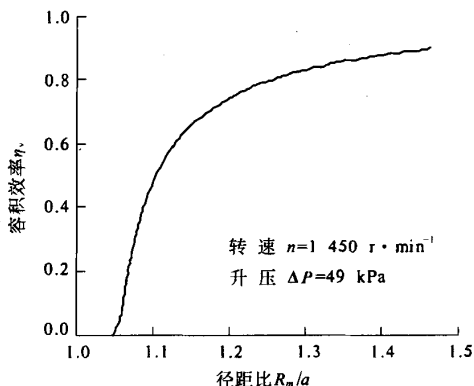


图 1 容积效率与径距比

Fig.1 Volume efficiency and radius-center distance ratio

收稿日期: 2006-02-20; 修订日期: 2006-05-08

作者简介: 熊滨生(1951-), 男, 河南郑州人, 郑州大学副教授, 主要从事机械设计理论、流体机械等方面的研究.

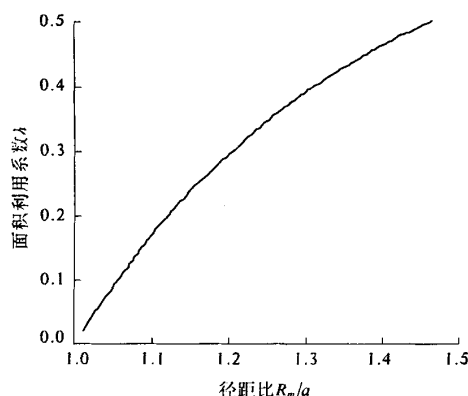


图2 面积利用系数与径距比

Fig.2 Used area factor and radius - center distance ratio

在不发生齿形干涉的前提下,采用较大的径距比 R_m/a 、较大的面积利用系数,能够有效提高罗茨风机的容积效率 η_v 。适当提高叶轮与机壳的加工精度,减小转子间隙通流面积 f_i 也可以提高容积效率 η_v 。同一规格的大容量风机,往往有两种电动机转速供用户选择,叶轮转速较高则容积效率也较高。

1.2 理论功率与机械效率

三叶罗茨风机的理论功率 N_{th} 与升压值 ΔP 、理论流量 Q_{th} 有关。理论功率 N_{th} 加上同步齿轮的啮合功率损耗、主动轴、从动轴的轴承功率损耗 N_m , 便得到轴功率 N_{sh} 。

风机的理论功率 N_{th} 与轴功率 N_{sh} 随压力比 ϵ 、转速 n 的升高呈线性增长。三叶罗茨风机的机械效率主要考虑主、从动轴的轴承效率、齿轮的啮合效率以及搅油损失。机械效率

$$\eta_m = N_{th} / N_{sh} \quad (2)$$

1.3 理想罗茨的绝热效率

三叶罗茨风机的基圆容积与排气口接通的瞬时,排气口的高压气体迅速向基圆容积回流,使其内部压力从 P_i 突然升高至 P_d , 然后气体从排气口排出。罗茨风机的压缩为定容压缩,即气体为不可压缩流体,理想罗茨的功率为风机的理论功率 N_{th} 。气体压缩过程的气体状态变化为等熵绝热过程,其理论绝热压缩功率为 $N_{ad,th}$ 。理想罗茨的绝热效率 $\eta_{ad,th}$ 随压力比 ϵ 增加呈下降趋势,如图3所示。

$$\eta_{ad,th} = N_{ad,th} / N_{th} \quad (3)$$

1.4 全绝热效率

三叶罗茨风机的全绝热效率 η_{ad} 为容积效率 η_v 、机械效率 η_m 、理想罗茨的绝热效率 $\eta_{ad,th}$ 乘

积。

$$\eta_{ad} = \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_{ad,th} \quad (4)$$

衡量风机的综合指标全绝热效率 η_{ad} 随压力比 ϵ 的变化,如图4所示。

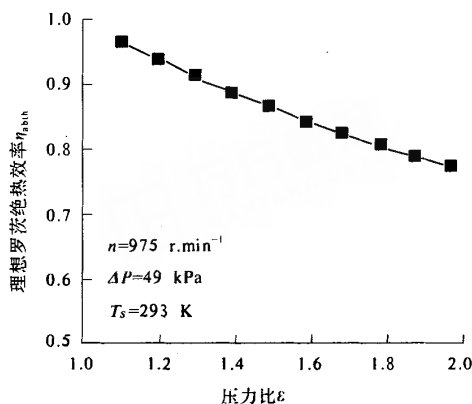


图3 理想罗茨的绝热效率与压力比

Fig.3 Ideal Roots insulating efficiency and pressure ratio

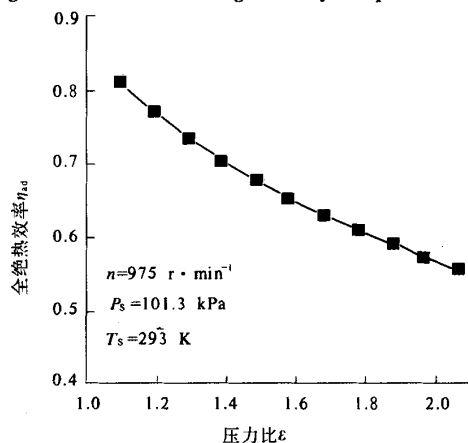


图4 全绝热效率与压力比

Fig.4 Full insulating efficiency and pressure ratio

随着压力比 ϵ 增大,风机的全绝热效率 η_{ad} 随之下降。当压力比 $\epsilon \geq 1.7$ 时, η_{ad} 低于 0.65, 不宜选用。此种情况下,可以考虑选用双级压缩罗茨风机。

影响三叶罗茨风机全绝热效率 η_{ad} 的主要因素是容积效率 η_v 和理想罗茨的绝热效率 $\eta_{ad,th}$, 合理选择三叶罗茨风机设计参数径距比 R_m/a 和面积利用系数 λ , $(R_m/a)_{max} = 1.464$, $\lambda_{max} = 0.519$, 以获得较高的容积效率 η_v 和全绝热效率 η_{ad} , 改善风机的热力学性能指标。

2 排气温度及逆流冷却

2.1 排气温度

三叶罗茨风机工作时,排气腔的高压、高温气

体向进气腔泄漏对进气口的气体有加热作用。气体流入进气腔后的温度 T_{s0} 高于进气温度 T_s , 其温升 $\Delta t_{s0} = T_{s0} - T_s$ 。

三叶罗茨风机的气体压缩过程中, 仅考虑压缩过程中排气口的高压气体回流^[6], 排气温度主要决定于容积效率 η_v 、工作压力比 ϵ 、气体绝热指数 k (介质为空气时 $k=1.4$)、进气温度 T_s (K 氏温度)。考虑到风机工作时通过机壳散去部分热量, 风机的实际排气温度 T_{s0} 为排气温度 T_d (K 氏温度) 减去散热引起的温度偏差 τ 。

2.2 逆流冷却

采用逆流冷却可以降低三叶罗茨风机的压缩终温, 减小排气口的回流冲击、噪声。将罗茨风机排气端的部分高压气体冷却后, 再次导入基元容积。当三叶叶轮转过逆流导入口位置, 冷却气体开始向基元容积流入。随着叶轮的转动, 冷却气体继续向基元容积流入, 使其内部压力逐渐升高。当基元容积与排气口接通时, 气体以等压等温状态排出。

2.2.1 无逆流冷却的排气温度

在风机出厂前的性能试验中, 在排气口处用温度计测量排气温度, 记录下不同排气压力下的排气温度值。矩形排气口三叶罗茨风机的排气温度随工作压力比 ϵ 的变化, 如图 5 所示。

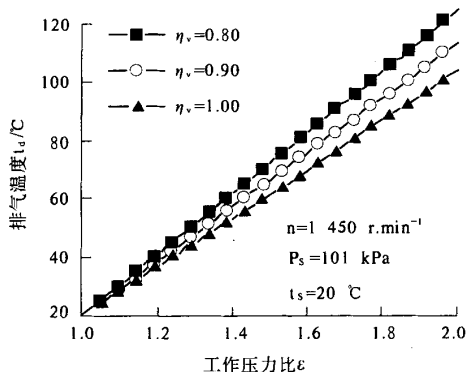


图 5 无逆流冷却排气温度与压力比

Fig.5 With Non-reversed current cooling, exhaust temperature and pressure ratio

2.2.2 采用逆流冷却的排气温度

对于大流量的三叶罗茨风机, 如果要求控制排气温度, 需要采取冷却措施。通常用逆流冷却或注水冷却的方法。

采用逆流冷却时风机的排气温度与冷却气体流量 m_c 和进气气体流量 m_s 的比值有关, 与风机进气腔压力 P_{s0} 、冷却气体进入机壳时的温度 T_c (K 氏温度) 有关, 可以认为进气腔压力 P_{s0} 约等

于进气口压力 P_s 。

采用逆流冷却后, 可以使排气温度降低很多。排气温度降低的幅度决定于逆流冷却气体的温度和流量, 排气温度 t_d 随工作压力比 ϵ 的变化, 如图 6 所示。

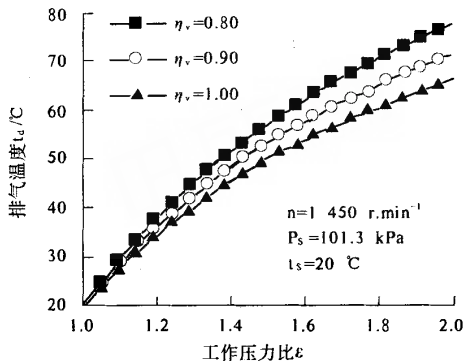


图 6 采用逆流冷却的排气温度与压力比

Fig.6 With reversed current cooling, exhaust temperature and pressure ratio

采用逆流冷却的方法, 可以减小回流噪声。逆流冷却过程中, 向基元容积导入冷却气体同时也使基元容积内的压力逐渐升高, 起到减小回流冲击的作用。

3 应用实例

济南润原化工公司氯碱系统氢气处理工序使用使用 1.63LD 大容量三叶罗茨风机输送氢气, 采用从排气端直接回流逆流冷却。氢气进口温度 41 °C, 进口压力 0.34 kPa, 短时间试车氢气出口温度 89 °C, 出口压力 23 kPa。但是风机运行 30 min 后, 氢气出口温度高达 120 °C。采用二级喷淋塔对回流气体冷却, 降低逆流冷却气体的温度, 最终将风机出口温度控制在 70 °C。

4 结论

(1) 合理选择风机的设计参数径距比 R_m/a , 能够获得较高的容积效率。渐开线叶型三叶罗茨风机的最大径距比 $(R_m/a)_{\max} = 1.4638$, 一般应取 $R_m/a \geq 1.35$ 。容积效率 η_v 、工作压力比 ϵ 对风机的排气温度 t_d 有很大影响, 对排气温度 t_d 要求较高的风机, 应使容积效率 $\eta_v > 88\% \sim 90\%$ 。

(2) 逆流冷却的效果与冷却气体的流量 m_c 和进入机壳时的温度 T_c (K 氏温度) 有关。逆流冷却气体温度对排气温度影响很大, 如果生产线要求风机排气温度较低时, 逆流冷却气体导入机壳前应该采取水冷措施。矩型排气口三叶罗茨风机

的冷却气体的导入口位置,选在从进气口边缘起叶轮转过 150° 左右,而异型排气口三叶罗茨风机的冷却气体的入口位置,选在从排气口的末端算起转过 150° 处。

提高三叶罗茨风机的热力学指标,如内泄漏量、全绝热效率、排气温度、噪声等,可以极大提高风机质量。

参考文献:

- [1] 李冬梅. POLDOS 及其现场应用分析[J]. 工业计量. 2004, 14(1): 40 ~ 42.
- [2] RITCHIE J. B, PATTERSON J. Geometry and leakage aspects of involute rotors for the roots blower[J]. The Institution of Mechanical Engineers Proceedings. 1968 ~ 1969, 183 (36): 707 ~ 724.
- [3] 刘 卉. 采用逆流冷却的负高压罗茨鼓风机试验研究[J]. 风机技术, 1999(4): 10 ~ 12.
- [4] 熊滨生, 陈江义, 熊安然, 等. 三叶罗茨风机的流量特性研究[J]. 流体机械. 2005, 33(12): 27 ~ 29.
- [5] 熊安然, 熊滨生, 杨国良, 等. 大流量三叶罗茨风机的流量特性及噪声分析[J]. 中原工学院学报. 2006, 17(2): 35 ~ 38.
- [6] 熊滨生, 冯 力, 熊安然, 等. 矩形排气口罗茨风机的回流分析[J]. 矿山机械. 2005, 34(5): 38 ~ 39.
- [7] 孟 强. 罗茨风机鼓风机在氢气输送中的应用[J]. 中国氯碱. 2004, (1): 23 ~ 24.

Analysis of Full Insulating Efficiency and Temperature Character of Three Leaves Roots Blowers with Large Flow

XIONG Bin - sheng¹, XIONG An - ran², LI Xiu - ming³, CHEN Jiang - yi¹

(1. School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. School of Electric and Information Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China; 3. Editorial Board of Journal of Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Volume efficiency, mechanical efficiency, insulating efficiency η_{ad} of ideal Roots and full insulating efficiency of three leaves Roots blowers with large flow are researched in this paper. Two cooling status are compared between non - reversed current cooling Roots blowers and Roots blowers with reversed current cooling. By citing examples in practice, the relationship between volume efficiency and radius - center distance ratio is discussed. Those status are illustrated (insulating efficiency of ideal Roots, full insulating efficiency η_{ad} of three leaves Roots blowers is decreased as pressure ratio insreasing. Exhaust temperature is insreased as pressure ratio ϵ decreasing). Exhaust temperature is decreased and back - flow impact and noise are reduced greatly for three leaves Roots blowers with large flow using reversed current cooling.

Key words: ideal roots; full insulating efficiency; exhaust temperature; reversed current cooling