

某型压气机高压进气机匣的改进设计

陈 莹, 王世安, 邹积国, 钟胜军

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 为了降低某型压气机进气机匣的总压损失, 借鉴了作者在流道设计方面的经验, 及进气道设计典型结构和设计原则, 给出了 3 种改进的进气机匣结构设计方案, 应用 Fluent 软件, 对原方案和 3 种改进方案进行三维流场 CFD 计算, 对比分析几个方案计算结果, 得到了一个比较理想的改进方案, 使最终优化改进方案进气机匣的总压损失降低到原方案总压损失的 1/4 并提出了进气道设计改进的一些基本方法和有效措施。

关 键 词: 压气机; 进气机匣; 总压损失; 优化设计

中图分类号: TK474.8 文献标识码: A

1 引 言

对于一台压气机来说, 进排气机匣设计对压气机整机效率的影响是不能忽略的; 有时, 由于进排气机匣设计的不合理, 造成总压损失过大, 需要增加级数才能保证压气机的整机性能。合理的压气机进气机匣的设计, 应保证叶片入口处的流场均匀。从压气机入口到叶片入口应有一定的收敛度, 避免气流分离造成压气机第一级叶片排流场畸变。因此说, 优化设计进排气机匣是压气机设计中不容忽视的一项重要内容。

本文以某高温气冷堆设计氦气压气机过程为例, 通过对高压压气机进气机匣的几次改进, 优化设计了进气机匣的结构型式; 与原设计相比, 大大降低了进气总压损失。总结设计过程中的经验, 以期能对从事压气机设计的工程技术人员起到一定的指导作用。

2 进气机匣原设计情况

某型压气机原设计结构方案是由国外某研究单位提供, 高压压气机进气机匣结构设计型式见图 1, 其为环形对称流道结构。

从图 1 所给出的结构型式来看, 该高压压气机

进气道采用了等宽度流道设计方法, 似乎是流道截面变化最小, 气体会均匀流过进气道。分析认为, 该流道径向部分沿流程截面的变化是一快速收敛过程。以某一半径处的流通截面计算方法为例, 其计算公式如下:

$$F = 2\pi R \times B$$

式中: B —流道宽度; R —半径; F —流通截面面积。

当流道宽度 B 值不变时, 流通截面 F 仅与半径 R 成正比, 也就是说, 从流道入口处到流道转弯处, 半径直线降低, 流通截面呈线性缩小, 该段流道呈快速收敛过程。气流处于加速状态, 转弯处气体流速最高; 弯道是分离损失主要发生地, 此处的气流速度越高, 分离损失越大, 其占整个进气流道总压损失比例也就越大, 证明原结构设计方案给出的进气机匣流道设计不合理。经用 Fluent 软件详细三维流场核算后, 得到总压损失是比较大的。

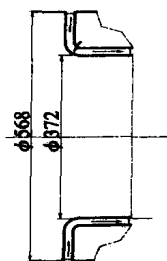


图 1 进气机匣

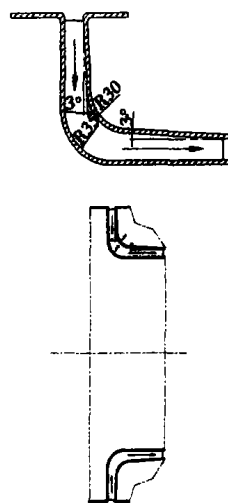


图 2 改进方案 I

3 改进设计方案

由于原高压进气机匣设计方案中存在的问题, 我们对该流道结构设计进行 3 次改进, 给出了下面

3种进气机匣的结构设计方案,见图2~图4,并对每次改造方案进行三维流场计算,对比3次改进方案得到的总压损失计算结果和流场速度矢量变化图,得到一个比较优化的设计方案。

改进方案I(见图2)是在原设计方案的流道进、出口尺寸不变的基础上,对进气道的径向部分,从入口到弯道,随着半径降低,流道宽度呈逐渐增加的趋势,设计过程中参照了离心压气机回流器设计方法,使流道两侧壁面呈 3° 扩张角;从弯道到进气道轴向出口部分流道,采用按 3° 收敛角的设计方式。同时增加转弯处的圆角半径分别到 $R30$ 和 $R35$ 。

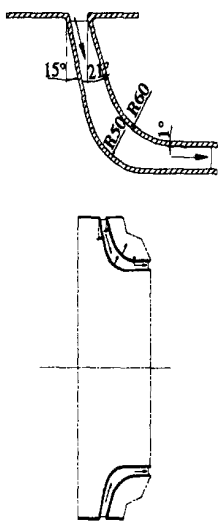


图3 改进方案II

改进方案II(见图3)在方案I基础上,进一步缩短气路流程,使径向流道的两侧壁分别与径向平面呈 15° 和 21° 夹角,同时增加转弯半径到 $R60$ 和 $R50$,弯道到出口保证有 1° 收敛角。

改进方案III(见图4)摒弃了方案I和方案II的束缚,从进气道入口着手,借鉴压气机进气流道设计典型结构型式和设计原则,使进气道入口面积与出口面积之比大于4.0($A_{in}/A_{out} \geq 4.0$),并进一步加大转弯半径,分别取为 $R65$ 和 $R80$;从进口到出口光滑过渡,流道呈逐渐收缩结构型式。

4 三维流场计算情况

计算采用了商业化的CFD软件Fluent,分别对原设计方案和3种改进设计方案流动情况进行三维流场分析计算,计算的基本参数条件如下:

质量流量 4.72 kg/s
进口总压 1 025 300 Pa
进口总温 308.65 K;
工质 氦气

几何条件:进气道结构分别参见上面给出的各方案图尺寸规定,同时,在每种方案中都设计了6个等厚度(10 mm)的流道支板,支板前缘和尾缘导圆为5 mm;

求解模型:三维湍流 Navier-Stokes 方程组;

流动类型:定常流动;

边界条件:进口给定总压和总温,出口给定初始背压,通过调整出口背压,进气流量发生变化,直到整个环形流道进气流量达到设计参数4.72 kg/s为止;

湍流模型: $k-\epsilon$ 模型;

数值方法:一阶精度、中心差分格式;

收敛准则:全场残差/进出口流量恒定值,收敛量级 $1.e-5$ 。

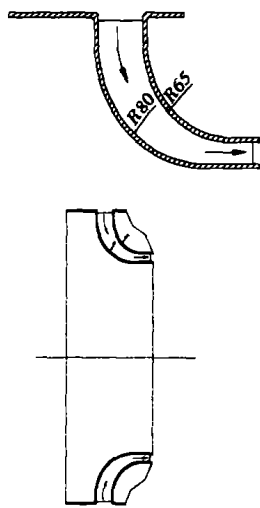


图4 改进方案III

5 三维流场计算结果对比分析

图5给出了原始方案和3种改进方案的三维空间速度矢量图,颜色的变化体现了速度的变化;从原方案图5(a)明显可以看到,在流道转弯处气流速度偏高;图5(b)和图5(c)显示的改进方案I和方案II速度场可以看到,气体从入口到弯道处速度变缓,改进方案II从入口到出口气流道速度是一个逐渐加速过程。

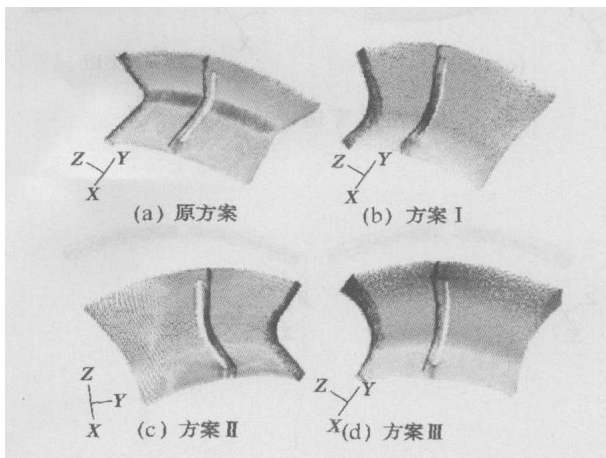


图5 各方案三维空间速度矢量图

从图6和图7显示的子午面流场速度及弯道局部放大速度云图变化可以看到,改进方案I和方案II弯道局部流场结构明显得到改善。主要是因为这两个方案改变通流截面沿流程变化,弯道前流道不

再是急速收敛的流道,而是一点点微量扩张,气流速度到达弯道时,速度微量降低,进而又加大转弯半径,使分离损失得到有效抑制。

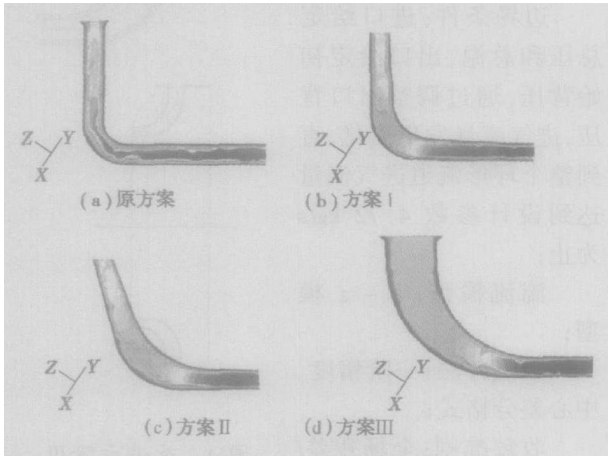


图 6 各方案子午速度云图

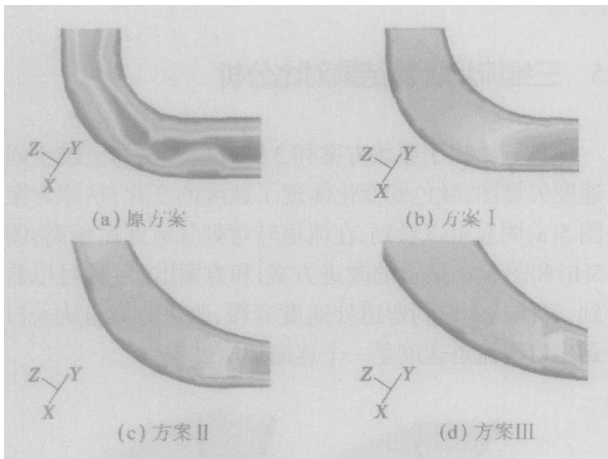


图 7 各方案弯道局部速度云图

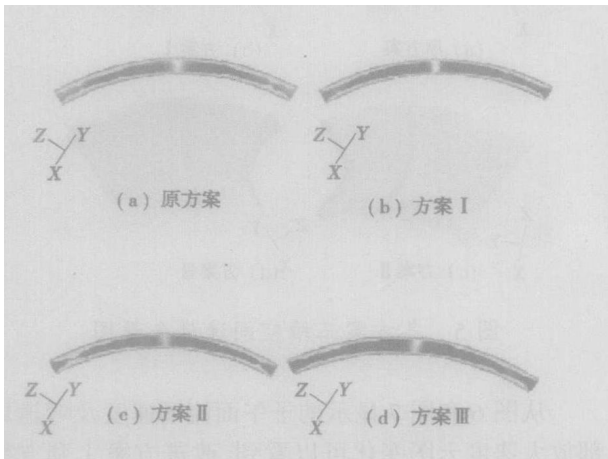


图 8 各方案出口速度云图

方案 III 呈现了进口到出口气流逐渐加速的过程,通流截面渐渐收缩,渐缩通道内气流不会分离,一个逐渐收敛的流道,会使气流组织更好,流场变得更均匀。从图 6(d)、图 7(d)和图 8(d)给出的子午速度云图和机匣出口平面速度云图,可以明显发现方案 III 速度场呈逐渐加速变化,出口速度场较其它方案更均匀。

各改进方案进气道流场计算结果如表 1 所示。由表中显示的总压损失计算结果不难看出,随着方案的不断改进,进气机匣的总压损失逐步降低。改进方案 III 总压损失为 2 563 Pa,与原方案总压损失 9 957 Pa 相比,降低了 7 394 Pa,相当于原方案 1/4。效果明显,设计更合理,把方案 III 作为优化改进的最终方案是最佳的选择。

表 1 进气道机匣流场计算结果

	原方案	方案 I	方案 II	方案 III
网格数	45 435	58 424	56 842	72 346
进口总压/ Pa	1 025 300	1 025 300	1 025 300	1 025 300
出口总压/ Pa	1 015 343	1 021 308	1 021 985	1 022 737
流量/ kg·s ⁻¹	4.72	4.72	4.72	4.72
进口温度/ K	308.65	308.65	308.65	308.65
总压损失/ Pa	9 957	3 992	3 315	2 563
总压降低百分数/ %	100	40.1	33.2	25.7

6 结 论

根据几次改进设计的计算情况,不难得出改进设计方案 III 为最优设计,与原设计方案相比,总压损失降低幅度最大,降幅达到 74.3%。总结几次改进设计的思路和方法,及对流场计算结果的分析,得出设计压气机进气道机匣的基本结论:

- (1) 增加转弯处的圆角半径;
- (2) 缩短气流流程;
- (3) 降低进口气流速度;
- (4) 保证气流从进口到出口沿流程均匀收敛。

注:本文第二作者王世安为哈尔滨°第七〇三研究所军事代表室军代表。

参考文献:

[1] 里 斯. 离心压缩机械[M] . 朱报祯, 译, 北京: 机械工业出版社, 1986.

[2] 李根深, 陈乃兴, 强国芳. 船用燃气轮机轴流式叶轮机机械气动热力学[M] . 北京: 国防工业出版社, 1980.

[3] 航空发动机设计手册总编委会. 航空发动机设计手册, (第 14 分册)[M] . 北京: 航空工业出版社, 2000.

(丹 编辑)

Feng-zhong, HUANG Xin-yuan (Energy Source and Power Engineering College under the Shandong University, Jinan, Shandong Province, China, Post Code: 250061), DING Xing-wu (Shandong Yunhe Power Station, Jining, Shandong, China, Post Code: 272003)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2006, 21(3). — 311 ~ 313

With a waste heat recovery and utilization system involving water cooled slag being discharged from a 400 t/h CFB (Circulating Fluidized Bed) boiler serving as a prototype, various schemes were analyzed, which are based on the extraction of a portion of condensate water from a recuperation system for feeding into a slag cooler to absorb the waste heat of high temperature slag and then reintroducing the condensate into the recuperation system. By employing an equivalent heat-drop method, analyzed were the economic benefits gained by transferring the waste heat of high-temperature slag to the recuperation system. Moreover, a comparison was also made of the cost-effectiveness achieved in the case of a rated operation regime and 75% operation regime. The calculation results show that by transferring the heat quantity in the discharged slag to either No. 2 LP heater or No. 3 LP heater it is possible to recover a large amount of waste heat. Moreover, the authors have concluded that the latter version (to No. 3 LP header) represents an optimum mode of waste heat utilization. **Key words:** CFB boiler, slag cooler, equivalent heat-drop, waste heat recovery system, economic benefit

某型压气机高压进气机匣的改进设计= An Improved Design of a HP Air Inlet Casing of a Certain Compressor [刊, 汉] / CHEN Ying, WANG Shi-an, ZOU Ji-guo, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2006, 21(3). — 314 ~ 316

To lower the total-pressure loss of the inlet casing of a certain compressor, three kinds of improved scheme of inlet casing structure design are given after drawing on the authors' experience in designing flow passages and on the basis of inlet design typical structure and relevant design principles. By making use of software Fluent three-dimensional flow field CFD (Computational Fluid Dynamics) calculations are conducted of the original scheme and three improved ones. A comparatively ideal improved scheme was obtained after the calculation results of these schemes have been compared and analyzed. As a result, the optimized improved scheme has finally lowered its inlet casing total-pressure loss to 1/4 of that of the original scheme. Some basic methods and effective measures for improving inlet passage design are summarized and proposed. **Key words:** air inlet turbine casing, total-pressure loss, optimized design

丙烯腈装置焚烧炉余热回收利用的分析= An Analysis of the Recovery and Utilization of Waste Heat from a Acrylonitrile Plant Incinerator [刊, 汉] / CHENG Xian-biao (Biochemical Workshop of Polymer No. 1 Factory under the Daqing Oil Refining and Chemical Co. Daqing, Heilongjiang, China, Post Code: 163411)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2006, 21(3). — 317 ~ 319

An analysis is conducted of the irrational factors concerning the utilization of waste heat energy produced after the wastewater is burned by using an old acrylonitrile plant incinerator. A scheme is proposed to additionally install a horizontal incinerator and to use heat-conduction oil as a heat carrier to recover and utilize the waste heat produced after the incineration of waste water. Expounded are such problems as the corrosion of heat conduction oil furnace-tubes during the operation of the waste heat recovery system and scale deposit formed on furnace tubes and their underlying causes. The furnace tube corrosion problem has been solved through a change in waste water incineration flow path and the implementation of separate incineration of different flows of waste water. The problem of scale deposit formation on furnace tubes was solved by additionally installing soot blowers on the new incinerators, thus attaining the aim of rationally utilizing the waste heat produced by the incinerators. **Key words:** acrylonitrile, incinerator, recovery of waste heat, heat-conduction oil furnace tube