

EC301 压缩机扩容改造项目低压段 离心级试验设计

王大玮

(哈尔滨七〇三研究所)

〔摘要〕 在轴流压气机试验台上进行全尺寸三元流离心级的试验,需进行适台设计。本文详细阐述了适台设计思想及过程,并对三元流叶轮的级特性进行了分析,为压缩机的扩容改造提供了可靠的依据。

关键词 轴流试验台 离心级试验 适台设计 多功能级特性

分类号 TK474.8 TK477

0 前言

哈尔滨七〇三所承担了大庆石化总厂乙烯装置的关键设备—EC301 压缩机扩容改造工程。我们对 EC301 压缩机低压段第 I 级叶轮(即 4MDF3/3 第 I 级左、右旋叶轮)和中压段第 I 级叶轮(即 4M8—6 第 I 级叶轮)及其前后导向器进行了重新设计,并选择低压段第 I 级右旋叶轮及其前后导向器进行了性能试验。

为进行这项试验,真实再现 EC301 离心压缩机 4MDF3/3 第 I 级通流部分,如实反映新设计的三元流叶轮及导向器的气动特性,在现有轴流压气机试验台及试验室吊车限重(5 T)的条件下,按试验要求进行试验适台设计,即以试验件为核心,重新设计一台离心试验压缩机,并以此来进行试验,以验证扩容改造后的压缩机级性能。

本文着重介绍在轴流压气机试验台上进行离心级试验的适台设计及试验结论。

1 试验台系统

试验台系统详见图 1。

该系统的动力源功率为 7 355 千瓦的某型舰用蒸汽透平,试验采用转速为 4 700 r/min,相应最大出力约为 4 413 千瓦,经增速比为 1.83 的高速齿轮箱与试验机相匹配,这样试验机转速最高可达到 8 600 r/min。

在增速齿轮箱与试验机之间设置了气动平衡装置,用以平衡试验机的气动轴向力。

气动平衡装置和增速齿轮箱的设计使用功率为 4 413 千瓦。

进气系统由进气塔、流量管(流量管为具有双线型面,直径 $D=550$ mm),进气管道(长约为 $10D$ 的直管段)和稳流箱(直径 $D=2000$ mm,长度 $L=3500$ mm)组成,其内部设有消音器、过滤器、进气节流阀、消能板及稳流网等。

收稿日期 1995 09—20

本文联系人 王大玮 男 1962 年生 工程师 150030 哈尔滨 77 信箱

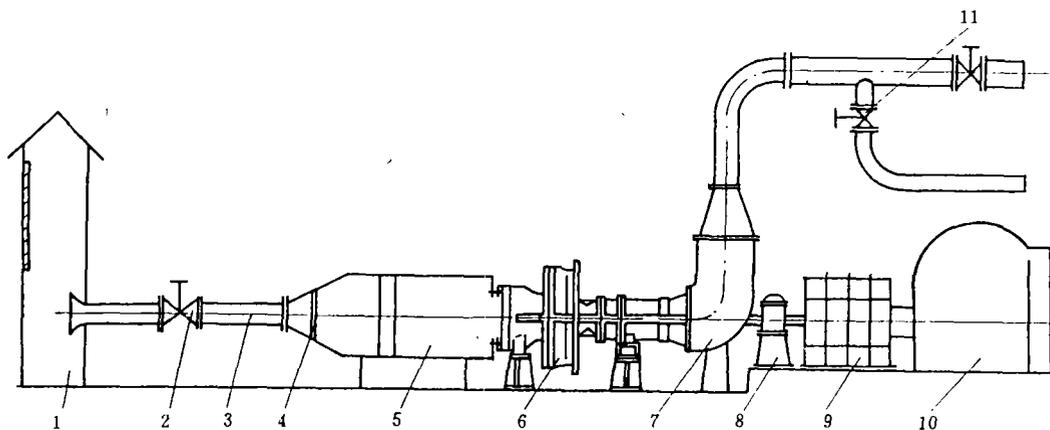


图1 试验台系统布置示意图

1. 进气塔 2. 进气调节阀 3. 进气管 4. 消能板 5. 稳流箱 6. 试验机组
7. 排气蜗壳 8. 气动平衡装置 9. 变速齿轮箱 10. 蒸汽透平 11. 排气节流阀

排气系统由排气蜗壳、主排气管道、排气塔组成,其内部有主排气阀、旁通阀、快速退喘阀、排气消音器等。此外,还设有试验机、气动平衡装置和增速齿轮箱的润滑油系统;滑油压力,温度监视仪表,轴承温度监视仪表,工业电视监视系统等。

2 试验件适台设计

单级试验机结构详见图2。

由于要在轴流压气机试验台进行离心级的试验,并加带此级的前后导向器。首先要解决的问题是如何使气流从稳流箱出来后,由轴向流动变为径向进气。因为台面轴向尺寸有限(从稳流箱出口法兰面至气动平衡装置输出轴端面距离为1906mm),在尽可能减小进气损失的前提下,将进气段设计为大小两个圆弧相包容的气流转弯段,并在转弯处设置第I测量截面,同时,前轴承的承力及整个试验机的前支承也由此段来承担。

在原机中,工作段是由壳体、导向器、转子及若干隔板等组成。在测绘了原机的工作段通

流部分尺寸后,在试验机上相应部分按实测尺寸,将其设计为三件分体组合结构的铸件,同时,还设计了进行双级叶轮试验的结构,三件之间采用定位销和螺栓联结,这样,由于工作段通流部分各工作表面均可通过机械加工来获得,保证了气流允许的表面粗糙度,降低了铸件表面工艺难度,降低了试验成本。

在此工作段设置了第Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ测量截面,并且,此段与导向器等配合止口尺寸,不仅适用于新设计的导向器、叶轮,还可以进行改造前的导向器、叶轮的安装试验。

在第Ⅰ级导向器后一个转接段,将气流重新转为轴向流动。在转接段加设了一道气封。之后设计了一个过渡段。此段拆卸后,再加装第Ⅰ级叶轮及壳体,即可进行双级叶轮及第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级导向器的试验。双级试验机结构详见图3。

过渡段后为测量段,此段设置了第Ⅵ测量截面,其测量参数用于校核、分析级特性。在此段还设计了后轴承承力及整个试验机的后支座。

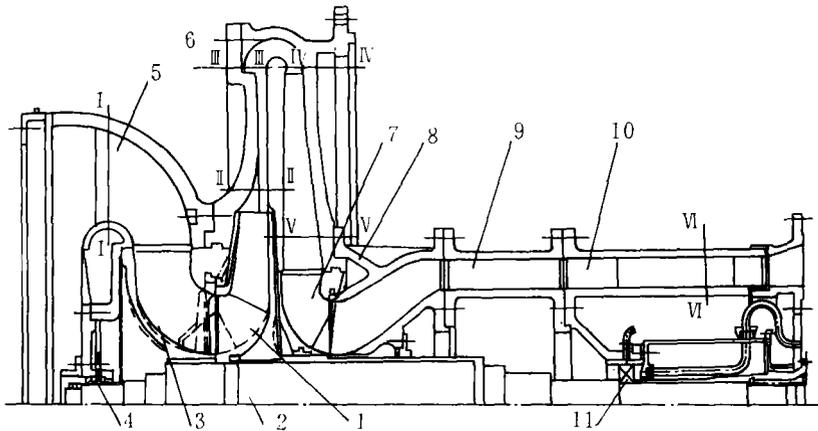


图2 单级试验压缩机结构图

- 1. 叶轮 2. 主轴 3. I级导向器 4. 前轴承 5. 进气段 6. I级工作段
- 7. II级导向器 8. 转接段 9. 过渡段 10. 测量段 11. 后轴承

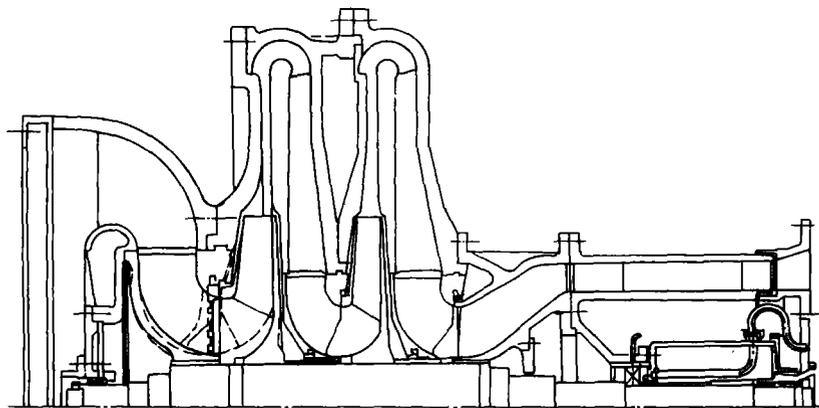


图3 双级试验压缩机结构图

试验机壳体材料为 QT400-18, 采用分段和整体水平中分的组合式铸件结构, 各段间采用定位止口及定位销方式定位, 各段上下半间采用定位销方式定位, 从而确保控制尺寸在所要求的范围内, 并且使单件最大重量小于 1 t, 最大吊起重量 3.2 t (整个下半壳

体), 远远小于试验室吊车吊重限度 (5 t); 同时, 拆装方便。

主轴安装叶轮部分的轴径为测绘实体尺寸, 按叶轮上键槽设置对称半圆键紧配合方式传扭 (定位)。材料 45 号钢, 整个转子经动平衡 ($n = 400 \text{ r/min}$, 剩余不平衡量为 200

g·mm)。前轴承为一对 SKF719ZZCD 精密轴承,使用二硫化钼润滑脂润滑;后轴承为 D17622Q1N10 航空轴承,采用 MK8 滑油润滑,其三个喷油嘴在轴承单侧,上半圆周内相间 90°分布;主轴与动力源采用试验台传统的从动齿套一球头法兰方式联接。

各个气封采用原机实物,压铅测量,最大气封间隙为 0.20 mm,完全满足使用要求。

在试验机前后支架上均设计了可用于调整机组前后、左右、上下位置的结构。试验机与稳流箱及试验台排气蜗壳的联接,均设计为柔性联接,用于吸收热膨胀。

3 测试系统

各测量截面探针都经吹风校核或标定,详见表 1。

表 1

测量截面	探针名称	数量
I - I	3 点总压探针	4
I - I	3 点‘眼镜蛇’式总压一方向复合探针	4
II - II	3 点‘眼镜蛇’式总压一方向复合探针	4
IV - IV	3 点‘眼镜蛇’式总压一方向复合探针	4
V - V	3 点总压探针	4
VI - VI	3 点总压探针	4
	3 点热电偶总温探针	4
	外壁静压	4
	内壁静压	4

测试系统由性能参数采集和安全运行监测两大部分组成,所有的性能参数都由 SJBZ4200 集中检测装置和 AMI386DX/33 微

机采集记录。

其中,流量测量的二次仪表是经标准压力源标定后的 DDZ - II 型差压变送器;流量测量除流量管总压和静压之外,其它全部压力测量均采用 MPX2050 型单点压力传感器;温度测量点在进气塔和稳流箱,各安装了两支铂电阻温度计,同时在稳流箱中还安装了两支热电偶总温探针,在出口第 VI 截面安装了四支 3 点热电偶探针,所有热电偶探针共用一个零点基准—电子冰点,并在其所测参数范围内经过严格标定;大气压力测量采用 BQY - 1B(A) 型无汞气压计测量;在试验机与气动平衡装置的联轴节处装有 60 点的测速齿轮,用感应磁头输出脉冲频率信号,应用 XJP - 10 转速数字显示仪测量转速,并与巡检和微机联机自动采集;所有测压元件采用正压或负压标准压力源标定,给出标定曲线,正压标准源是 FBF - AZC 型浮子式标准压力发生器,负压标准源是 SV - 5 型真空发生器;正常工况点采集时,微机只记录一次当前工况参数,喘振点采集时,微机连续记录当前工况参数,及其以前八个工况参数都被录取存盘,以备判别喘振点。

EC301 压缩机的介质是裂解气,而试验机试验时使用空气介质,二者之间需要进行相似换算,其改造后第 I 级设计点参数换算结果详见表 2。

表 2

名称	单位	裂解气	空气
压比		1.442	1.5686
等熵效率		0.8065	0.7933
转速	r/min	5071	307.53 $\sqrt{T_1}$
进口容积流量	m ³ /s	15.398 双吸结构、单侧流量	16.54 $\sqrt{T_1} / 313.73$

单级试验级特性详见图 4。

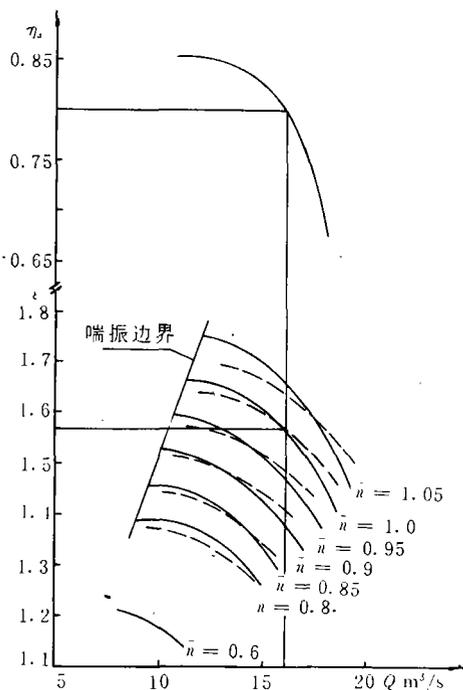


图 4 EC-301 压缩机扩容改造
低压段第 I 级空气试验特性

介质:空气 分子量:28.96 绝热指数:1.402
压缩性系数:1.0 换算压比:1.5686(设计点)

换算流量: $16.54 \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}$ (设计点)

换算转速: $5393.4 \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}$ (设计点)

裂解气进口温度 $T_0 = 313.73 \text{ K}$

试验进口温度 $T_1 = 293.54 \text{ K}$

— · — · — · — 计算值

————— 试验值

4 结 论

1 EC301 压缩机扩容改造工程的全尺寸离心试验压缩机设计,根据轴流压气机试验台的特点,采用分段—整体中分结构,既很好地解决了在轴流台上做离心级试验的问题,并克服了实验室一些客观条件的限制,又能满足试验要求,获得客观真实的结论,并且使试验成本降到最低程度。

2 试验机的设计兼顾了新、旧叶轮的单级试验及双级试验等多功能,同时,对于机组在试验室内的装拆、调整的灵活性给予了充分考虑,不失为今后进行试验件适台设计的新开端。

3 试验数据表明,对空气介质来说,在设计转速和设计流量下达到了设计级压比 1.5686,级等熵效率达到了 0.8,通过相似换算裂解气介质的级压比可达到 1.442,级等熵效率达到 0.8065,超过了设计指标。

4 级特性稳定运行范围较宽广,按照等转速线计算,设计点的喘振裕度是 56%,阻塞裕度是 27%,高效率区的范围较大,超过设计效率的区域占 2/3。最高效率达到 0.86 (空气介质)。

5 经过 8 次累计 14 小时的运转试验(其中 5 550 r/min 的 1.05 工况超速试验进行了半小时),叶轮转子的强度振动及机组的强度振动,轴承温升,动静配合间隙都经受了考验,经开缸检查各部件完好如初,即对装到 EC301 压缩机上去的叶轮、导向器及气封等关键部件的可靠性在试验台架上得到了验证。

赵友生、徐立民、周业忠、杨成毅、王宇珊、余洪等同志参与了此项设计试验工作,在此一并表示谢意。

(渠源 编辑)

three types of absorbers. **Key Words:** solar energy, absorber, thermal efficiency

壳侧气液两相流沿水平方向横掠水平管束截面含气率的预测 = Prediction of Void Fraction of a Shell-side Gas-liquid Two-phase Flow along a Horizontal Direction Transverse Horizontal Tube Bundle [刊, 中]/Li Wei (Jiangsu Petrochemical Institute), Wang Qijie (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -278~281

On the basis of experimental investigation coupled with the research findings of veteran engineers the authors have duly modified a theoretical model for predicting average void fraction in tubes and proposed their own theoretical model for the prediction of the void fraction of shell-side gas-liquid dual-phase flow of a segmentally baffled shell-and-tube heat exchanger along horizontal direction transverse horizontal tube bank. It has been shown that the proposed model is able to make a quite accurate prediction of the average void fraction of different-matter dual-phase flow in shell-side in-line and staggered horizontal tube banks. **Key words:** shell-and-tube heat exchanger, gas-liquid two-phase flow, void fraction

斯特林热机的性能优化分析 = Optimal Analysis of a Stirling Heat Engine Performance [刊, 中]/Yuan Duqi, Liu Zongxiu (Baoji College of Arts & Science) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -282~284

Taking into account the nonreversibility of thermal resistance in a Stirling heat engine working process, the finite time character of constant volume regenerative process and regeneration loss, the authors have conducted an optimal analysis of the Stirling heat engine performance under the Newton heat transfer law by employing finite time thermodynamics theory, and obtained some conclusions helpful for the optimal design and the selection of optimal working parameters. **Key words:** Stirling heat engine, heat transfer law, performance optimization, finite time thermodynamics.

缩放喷管内两相流动的数值模拟及喷管设计 = The Numerical Simulation of Two-phase Flow in a Convergent-divergent Nozzle and the Design of Such Nozzles [刊, 中]/Lu Zehua, Cao Renfeng (Tsinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -285~291
Described in this paper is a dual-fluid split-phase flow mechanism model with dual-phase relative drift and flow pattern transformation during non-equilibrium state phase transformation being taken into account. A numerical simulation was performed of the steam/liquid dual-phase flash evaporation critical flow within the convergent-divergent nozzle. A computation program has been worked out. The calculation results are in good agreement with experimental data. The nozzle design method has been successfully employed in the modification work of an energy-saving system of Yueyang Changling Refinery in Hunan Province. **Key words:** convergent-divergent nozzle, two-phase flow, flash evaporation, numerical simulation

EC301 压缩机扩容改造项目低压段离心级试验设计 = Test and Design of a Low-pressure Section Centrifugal Stage in Connection with EC 301 Compressor Uprating-oriented Modification Project [刊, 中]/Wang Dawei (Harbin 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -292~296

The full-scale three-dimensional flow centrifugal stage test conducted on an axial compressor test rig

necessitates a test rig compatibility design. This paper gives a detailed description of the said design philosophy and process, and analyses the stage characteristics of the three-dimensional flow blade wheel, which provides a reliable basis for the uprating-oriented modification of the compressor. **Key words:** axial-flow test rig, centrifugal stage test, test rig compatibility test, multi-function stage characteristics.

电站锅炉汽温问题的现状及应采取的对策 = The Present Status of Utility Boiler Steam Temperature Problems and Some Countermeasures [刊, 中]/Liu Linhua, Yu Qizheng, et al. (Harbin Institute of Technology), Xu Wanli (Harbin University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -297~300

Some existing problems relating to utility boiler steam temperature are reviewed and the present status of steam temperature research in China presented with the future main direction of experimental research in this field being proposed. **Key words:** boiler, steam temperature, present status, countermeasures

宽调节比燃烧器空气动力场的数值模拟 = Numerical Simulation of the Aerodynamic Field of Wide-range Burners [刊, 中]/Liu Guisu, Chen Shiyong, et al. (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -301~304

A numerical calculation was performed of the aerodynamic field of a wide-range burner through the use of $k-\epsilon$ model. Obtained were the axial speed in the flow field, turbulent kinetic energy and the dissipation rate distribution of the said energy. The difference between the wide-range burner and a conventional one was compared and analyzed with calculation results being used to analyze the location of the wide-range burner bluff body and the effect of bluff body side width on the burner flow field structure. **Key words:** burner, numerical simulation

供热系统“单耗分析”模型 = “Unit Consumption” Model for a Heat Supply System [刊, 中]/Song Zhiping (North China Electrical Engineering University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, -1996, 11(5). -305~310

Starting with a simple outline of the “unit consumption analysis” theory and method proposed by the author a generalized model was set up for a modern heat supply system. With regard to this model the fuel unit consumption for boiler heat supply, electric heat supply and heat pump heat supply was calculated with a calculation formula for heat supply cost being given, which is readily applicable for specific engineering cases. **Key words:** heat supply, unit consumption, cogeneration, exergy saving, exergy

风水共冷式冷渣器的换热计算 = Heat-transfer Calculation of a Slag Cooler Cooled by Air and Water [刊, 中]/Zhao Guangbo, Zhu Qunyi, et al. (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -311

水泥窑余热锅炉窄点温差 = Heat Recovery Boilers for Cement Kilns and Their Pinch Temperature [刊, 中]/Yu Zhimin, Gao Jiguo (Harbin Boiler Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -312~314

Key words: cement kiln heat recovery boiler, pinch point temperature