

膜片式气动逻辑元件特性试验研究

齐宏伟¹, 何 如², 陈 琳², 韦 炜²

(1. 哈尔滨工程大学 动力与能源工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 中国船舶重工集团公司 第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要:膜片式气动逻辑元件作为防喘保护装置是涡轮增压机组中执行压气机喘振保护和汽轮机超速保护功能的关键元件。阐述了防喘保护装置的结构和工作原理, 针对防喘保护装置的响应特性、工作特性、压差流量特性等试验项目, 给出了详细的试验原理、试验方法和试验结果。试验结果表明: 防喘保护装置的响应时间为 250 ms, 工作特性线与标准特性线一致, 实际阀口压差流量特性曲线与理论特性趋势一致, 所有特性试验具有良好的稳定性和重复性。

关 键 词:膜片式气动逻辑元件; 防喘保护装置; 特性试验;

中图分类号: U664.1 文献标识码: A

引 言

气动逻辑元件是有可动件的, 以气体为工作介质的元件, 膜片式气动逻辑元件是其中有代表性的一种, 它利用膜片把各腔室隔开, 借助于加在膜片受压面上的信号压力所产生的力使膜片沿轴向动作, 切换与之相连接的阀, 从而得到逻辑输出。

研究膜片式气动逻辑元件(统称防喘保护装置)作为防喘保护装置, 是涡轮增压机组中执行压气机喘振保护和附加汽轮机超速保护的关键元件, 其作用是当机组运行中接近压气机喘振边界, 或附加汽轮机转速超过保护值时, 通过改变伺服机内空气的压力来驱动空气旁通挡板打开, 实现机组喘振保护和超速保护功能。

涡轮增压机组防喘保护装置是四路测量、一路控制、结构复杂的膜片式气动逻辑元件, 目前仅见于沿袭前苏联采用蒸汽动力装置的水面船舶, 属于专用性强的非标气动元件。由于相关资料匮乏, 只有通过测绘摸清其结构原理, 通过试验研究获得其性能, 为评估机组监控保护系统和制定同类元件的技术条件提供技术依据。

1 工作原理和理论特性

1.1 结构和工作原理

图 1 为测绘的防喘保护装置结构图, 组成包括测量脉冲部分和控制部分。

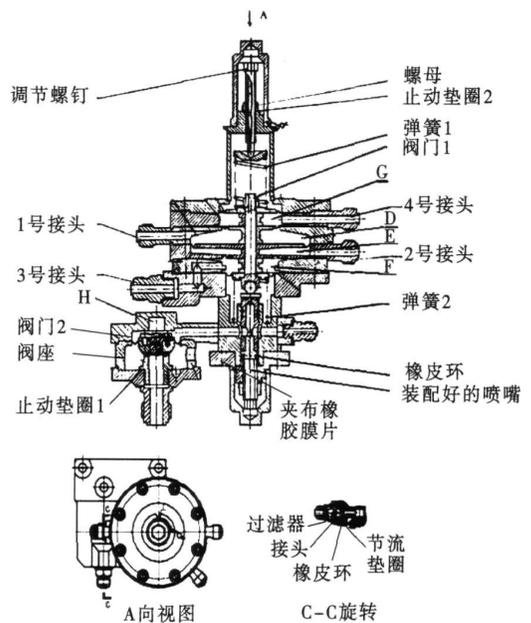


图 1 防喘保护装置结构

测量部分由具有各种不同直径的夹布橡胶膜片组成, 这些膜片组装在金属外部和内部转接隔板之间。结构设计保证膜片的受挤压面积最小, 以提高防喘保护装置的敏感性和稳定性。测量部分接受下列脉冲信号: (1) 1号接头和 D 腔测量压气机进气管入口的空气压力; (2) 2号接头和 E 腔测量压气机进口导向器前的空气压力; (3) 3号接头和 F 腔测量压气机出口的空气压力; (4) 7号接头和 G 腔测量机组超速保护限制器后的空气压力。

确定测量部分膜片的面积、弹簧 1 和弹簧 2 的拉力以及节流垫圈中孔径的原则是保证机组运行接近压气机喘振边界时打开阀门 1, 减小放大腔 H 内的压力, 促使阀门 2 打开, 从而降低空气旁通挡板伺服机右面腔室内的压力, 并打开空气旁通挡板。

收稿日期: 2008-06-23; 修订日期: 2008-12-03

作者简介: 齐宏伟(1966—), 男, 河南偃师人, 哈尔滨工程大学博士研究生, 现中国船舶重工集团公司第七〇三研究所高级工程师。

防喘保护装置控制部分的夹布橡胶膜片, 安装方式与测量部分的膜片类似。

放大腔前装有过滤器, 利用接头把过滤器压紧在节流垫圈上。接头的密封件是橡皮环。

机组正常运行时, 放大腔内空气压力把阀门 2 压紧在阀座上, 阀座安装在止动垫圈 1 上。

调整防喘保护装置时利用调节螺钉来改变弹簧 1 的预紧力, 螺钉由螺母和止动垫圈 2 止动。此外, 通过移动装配好的喷嘴可调整防喘保护装置特性曲线的斜率, 喷嘴一端是阀门 1 的阀座。装配好的喷嘴用于从放大腔排出空气, 橡皮环是其密封件。

1.2 理论特性

防喘保护装置的阀口为喷嘴挡板阀结构, 其压差流量特性可用下式表示^[1]:

$$Q = c_d(\pi d X) \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

式中: c_d —流量系数 (0.6~0.8); d —节流孔直径, m; X —间隙宽度, m; ρ —气体密度, kg/m^3 ; Δp —压差, MPa; Q —流量, m^3/h 。

2 试验装置

防喘保护装置的功能是当涡轮增压机组运行接近喘振边界或转速超过保护值时实施停机保护^[3]。从机组监控保护的角度分析, 设置的性能试验项目应能测试防喘保护装置的工作特性和响应特性、阀口压差流量特性、开启特性、关闭特性、气密性、密封性和耐压性等性能数据, 通过对搜集到的资料 and 标准研究后制定了防喘保护装置的试验细则^[2~9], 于 2008 年 4 月在吉林大学对防喘保护装置按照所列项目逐项进行了试验, 获得了详实的试验数据。因限于篇幅, 本文仅对防喘保护装置的响应特性、工作特性和阀口压差流量特性试验进行详细介绍。

2.1 试验原理

指令控制装置试验原理如图 2 所示。

2.2 试验台架

防喘保护装置的专用试验台架主要包括气源、计算机数据采集系统、执行阀门、真空生成和测量设备。气源包括空压机、气罐、冷却器、油雾器、分水滤气器和减压阀。减压阀的功能是调整试验所需的空气压力。计算机数据采集系统包括工控机、数据采集卡、压力传感器、流量传感器、外部电路和一套独立开发的测试软件, 其功能是采集处理试验数据。执行阀门包括电磁阀、精密减压阀、单向节流阀和手

动调节阀。真空生成和测量设备包括真空泵、U 型管测压计和真空度保持夹钳。

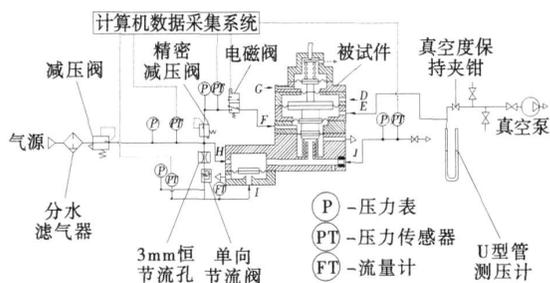


图 2 防喘保护装置试验原理图

3 试验及结果分析

3.1 试验

试验分两个阶段, 第一阶段测试防喘保护装置的响应特性; 第二阶段测试其工作特性和阀口压差流量特性。为验证测试数据的重复性和可靠性, 所有特性试验重复作两次。

3.1.1 响应特性试验

响应特性试验用于测试防喘保护装置从接收控制信号到主阀口打开动作完成时的时间间隔。根据图 2, 调整减压阀, 模拟机组运行情况, 使防喘保护装置 H、I 腔的表压为 0.3 MPa, 用真空泵在 E 腔建立 9.604 kPa 真空。给电磁阀通电, 调整精密减压阀, 改变 F 腔压力使防喘保护装置先导阀打开, 直至主阀阀口全部打开。给电磁阀断电, 然后由计算机控制给电磁阀通电使之快速打开, 用数据采集系统记录下主阀开启全过程中 I、F、H、J 腔的压力随时间的变化过程。

3.1.2 工作特性试验

工作特性试验是利用试验台设备模拟涡轮增压机组压气机接近喘振的条件下进行的, 目的是获取压气机接近喘振, 防喘保护装置动作时通过压气机的空气流量和压气机压比对应的相关参数。

调整减压阀, 在防喘保护装置 H、I 腔建立表压 0.3 MPa。用真空泵在 E 腔依次建立 0、1.96、3.92、5.88、7.84、8.82、9.8 kPa 真空 (对应 0、200、400、600、800、900、1 000 mmH₂O 真空), 夹紧真空度保持夹钳, 针对每点真空, 分别调整精密减压阀, 改变 F 腔压力使防喘保护装置先导阀和主阀阀口全部打开, 当 J 腔压力下降到 0.02 MPa 时, 记录 F 腔压力和 U 型管测压计读数, 根据记录的数据拟合出防喘保护装置工作特性线。

3.1.3 阀口压差流量特性试验

调整减压阀, 在防喘保护装置 H、I 腔内建立表压 0.3 MPa。调整精密减压阀, 改变 F 腔压力使防喘保护装置先导阀和主阀阀口全部打开。依次调整单向节流阀改变主阀口进出口压差, 用计算机数据采集系统记录 I 腔的压力和流过 I 腔的空气流量。

3.2 试验结果

3.2.1 响应特性试验结果

两次试验, 防喘保护装置的响应时间均为 250 ms, 典型的响应特性曲线如图 3 所示。

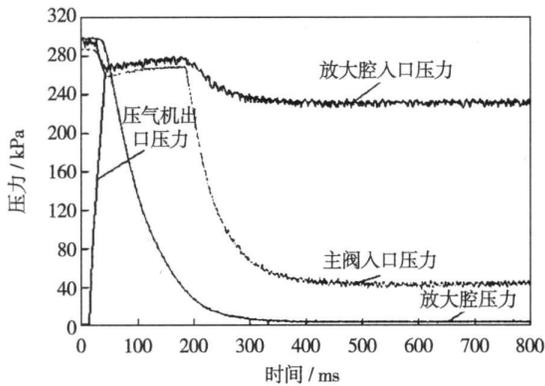


图 3 防喘保护装置响应特性试验曲线

试验条件, E 腔真空度 9.604 kPa, 模拟压气机出口压力 295 kPa。

3.2.2 工作特性试验结果

两次防喘保护装置工作特性试验数据和试验曲线如表 1 和图 4 所示, 根据试验曲线得到的算术平均值标准差如表 2 所示。

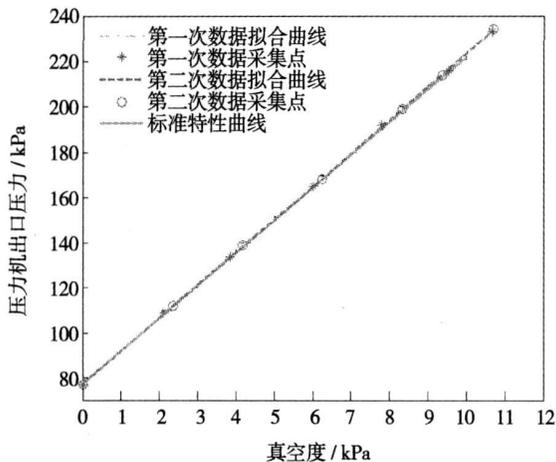


图 4 防喘保护装置工作特性试验曲线

表 1 防喘保护装置工作特性试验数据 (kPa)

第一次试验数据		第二次试验数据	
F 腔压力	真空度	F 腔压力	真空度
77	0	77	0
112	2.312	108	2.074
139	4.082	133	3.781
168	6.107	165	5.905
199	8.167	192	7.640
214	9.188	217	9.350
234	10.493	233	10.439

表 2 防喘保护装置工作特性试验数据误差 (kPa)

	F 腔压力					
	77	100	140	180	220	230
第一次真空度	0	1.519	4.204	6.899	9.575	10.241
第二次真空度	0	1.548	4.243	6.879	9.555	10.231
真空度平均值	0	1.533 5	4.223 5	6.889	9.565	10.236
算术平均值标准差	0	0.014 5	0.019 5	0.01	0.01	0.005

3.2.3 阀口压差流量特性

两次防喘保护装置阀口压差流量特性试验结果和试验曲线如表 3 和图 5 所示, 根据试验曲线得到的算术平均值标准差如表 4 所示。

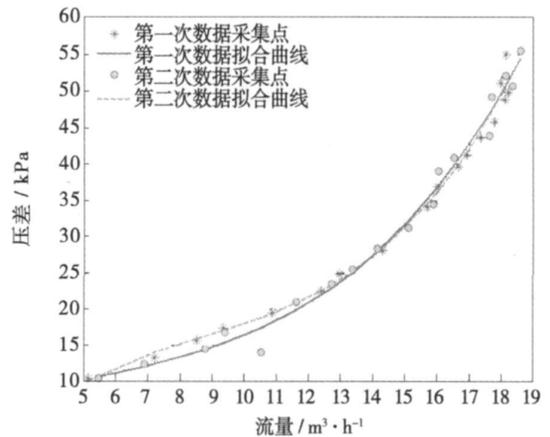


图 5 防喘保护装置阀口压差流量特性试验曲线

3.3 试验结果分析

(1) 由图 3 可以看出, 防喘保护装置响应时间约为 250 ms;

(2) 表 1 和图 4 的工作特性测试结果表明, 当涡轮增压机组压气机空气流量(对应真空度)和出口压力落在工作特性线或其上的区域内, 防喘保护装置动作, 驱动相关执行机构动作, 实现机组停机保护

功能。从图 4 还可以看出, 防喘保护装置工作特性线与标准特性线一致;

(3) 由图 5 可以看出, 防喘保护装置实际阀口压差流量特性与理论特性趋势一致;

(4) 防喘保护装置特性试验具有良好的稳定性和重复性, 工作特性测量算术平均值标准差 ≤ 0.0195 kPa, 进出口压差流量测量算术平均值标准差 ≤ 0.17 m³/h。

表 3 防喘保护装置进出口压差流量试验数据

第一次试验数据				第二次试验数据			
进口压力	出口压力	压差	流量	进口压力	出口压力	压差	流量
/kPa	/kPa	/kPa	/m ³ ·h ⁻¹	/kPa	/kPa	/kPa	/m ³ ·h ⁻¹
10.31	0	10.31	5.14	10.31	0	10.31	5.48
13.25	0	13.25	7.22	12.30	0	12.30	6.88
15.51	0	15.51	8.53	14.49	0	14.49	8.80
17.36	0	17.36	9.35	16.74	0	16.74	9.40
19.48	0	19.48	10.88	13.90	0	13.9	10.54
22.42	0	22.42	12.4	20.92	0	20.92	11.63
24.82	0	24.82	12.97	23.38	0	23.38	12.72
28.03	0	28.03	14.31	25.43	0	25.43	13.36
34.12	0	34.12	15.71	28.30	0	28.30	14.14
36.92	0	36.92	16.01	31.18	0	31.18	15.11
39.73	0	39.73	16.66	34.39	0	34.39	15.88
41.37	0	41.37	16.92	39.11	0	39.11	16.05
43.63	0	43.63	17.36	40.89	0	40.89	16.53
45.75	0	45.75	17.8	43.97	0	43.97	17.62
48.76	0	48.76	18.1	49.24	0	49.24	17.71
49.85	0	49.85	18.23	50.74	0	50.74	18.36
51.08	0	51.08	17.99	52.04	0	52.04	18.14
54.92	0	54.92	18.14	55.39	0	55.39	18.60

表 4 防喘保护装置进出口压差流量试验数据误差

	压差/kPa					
	10.31	20	30	40	50	54
第一次流量						
测量值/m ³ ·h ⁻¹	5.14	11.19	14.69	16.67	18.07	18.3
第二次流量						
测量值/m ³ ·h ⁻¹	5.48	11.37	14.5	16.55	18.11	18.38
流量平均值						
/m ³ ·h ⁻¹	5.31	11.28	14.595	16.61	18.09	18.34
算术平均值						
标准差/m ³ ·h ⁻¹	0.17	0.09	0.095	0.06	0.02	0.04

4 结 论

(1) 针对本文研究的专用性很强的多腔室膜片式气动逻辑元件建设的试验台架, 采用计算机数据采集系统, 经过多次的试验摸索研究, 规定了时间和相关参数的测量基准, 最终试验结果表明, 防喘保护装置的响应特性、工作特性和压差流量特性试验具有良好的稳定性和重复性; 试验获得的防喘保护装置响应时间是 250 ms, 可供评估机组监控系统喘振

保护动作的响应时间指标时参考。

(2) 本文给出的试验数据和限于篇幅未曾列出的其它数据为国内首次通过试验获得的比较全面的涡轮增压机组防喘保护装置性能数据, 与后期引进的同型号防喘保护装置性能数据一致, 并在机组台架试验中得到了验证, 防喘保护装置的试验项目、试验方法以及试验数据可用于支持编制同类元件的技术条件, 为验收科研样机或修复提供参照数据。

参考文献:

- [1] 日本液压气动协会. 液压气动手册[M]. 《液压气动手册翻译组》. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [2] 李 章, 张 宁, 刘祥源, 等. 船用增压锅炉装置[M]. 北京: 海潮出版社, 2000.
- [3] 齐宏伟, 杨嘉栋, 刘 锐. 烟气涡轮增压机组调控技术研究[R]. CK-11485 哈尔滨: 第七〇三研究所, 2005.
- [4] GB/T 7932-2003 气动系统通用技术条件[S].
- [5] GB/T 14513-1993 气动元件流量特性的测定[S].
- [6] JB/T 6378-1992 气动换向阀技术条件[S].

(编辑 辉)

电容法测量蒸汽湿度的可行性研究= **Feasibility Study of the Capacitance Method for Measuring Steam Wetness**[刊, 汉]/NING De-liang, LIU Xin-quan, GAO Lei (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)LIANG Yi (Equipment Tools Subsidiary, Harbin Measuring and Cutting Tools Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150040)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. —2009, 24(3). —300~304

By combining dielectric theory with water and water steam properties, the variation tendency of the static relative permittivity of water and water steam with the change of pressure and temperature was studied and the causes of the change of water and water steam permittivity were analyzed. The research results show that the influence of temperature on water permittivity is far greater than that of the pressure while the influence of pressure on steam permittivity is stronger than that of the temperature. As the permittivity of water differs very greatly from that of steam, on the basis of the capacitance-method measurement theory, a wetness measurement experiment was performed by using a self-designed cylindrical capacitance transducer. The test results indicate that the capacitance method for measuring saturated wet steam wetness is feasible. **Key words:** permittivity, water, water steam, capacitance method

燃气轮机拉杆转子有限元模型研究及临界转速计算= **A Study of a Finite Element Model for a Gas Turbine Tie-rod Rotor and its Critical Speed Calculation**[刊, 汉]/GAO Rui, YUAN Qi, GAO Jin (College of Energy Source and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. —2009, 24(3). —305~308

Modern gas turbine rotors mainly consist of tie-rod ones, and their forms can be classified as either central single tie rod type or circumferential multiple tie rod ones. No matter what form they assume, the tie-rod rotors are no longer of a continuous structure and the contacting surface between the wheel disks will influence the kinetic characteristics of rotors. The authors first analyzed the force bearing condition of the tie rod rotor, and then considered the influence of the contact surface rigidity on rotor kinetic characteristics. The traditional finite element method has been improved, and a corresponding calculation program, prepared. Finally, a bare shaft, a pair of contacting disk sample and the critical speed of the tie rod rotor of a certain type gas turbine were calculated. The calculation results were compared respectively with those obtained from the traditional and three-dimensional finite element method as well as the measured results, thus verifying the correctness and validity of the improved finite-element model. **Key words:** gas turbine tie-rod rotor, tie-rod rotor, critical speed, normal contact stiffness, finite element method

膜片式气动逻辑元件特性试验研究= **Experimental Study of the Characteristics of Membrane Type Pneumatic Logic Elements**[刊, 汉]/QI Hong-wei (Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), HE Ru, CHEN Lin, WEI Wei (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. —2009, 24(3). —309~312

The membrane-type pneumatic logic element under discussion is a key item in a turbocharged unit for compressor surge control and steam turbine overspeed protection. The authors have described the structure and working principle of the surge protection device. Regarding various test items, such as the response characteristics, working characteristics and pressure difference flow characteristics of the surge protection device, a detailed description was given of the test principles, methods and processes. The test results show that the response time of the surge protection device is 250 ms, the working characteristic curves agree well with the standard ones, and the actual pressure-difference flow characteristic curves at the outlet of the valve assume a variation tendency identical with that of the theoretical ones. All the characteristic tests display a good stability and repeatability. **Key words:** membrane type pneumatic logic element, surge protection device, characteristic test

燃气轮机变工况对 IGCC 系统性能的影响= **Influence of Gas Turbine Off-design Operating Conditions on the Performance of an IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) System**[刊, 汉]/CHEN Lei, ZHANG Zhong-xiao, XIE Hao (College of Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), LI Zhen-zhong (National Research Center of Power Plant Combustion Engineering Technology, Shenyang,