

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 145—2024

船用燃气轮机压气机气动性能试验方法

Test method of compressor aerodynamic performance
for marine gas turbine



2024-8-20 发布

2024-10-1 实施

中国船舶工业行业协会 发布

目次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验环境 1

5 试验设备及要求 1

 5.1 试验系统组成 1

 5.2 进气系统 2

 5.3 压气机试验件 3

 5.4 排气系统 3

 5.5 退喘系统 3

6 试验人员 3

7 试验对象与试验项目 3

 7.1 试验对象 4

 7.2 试验项目 4

8 试验原理 4

9 试验程序 4

 9.1 试验准备 4

 9.2 试运转 5

 9.3 性能试验 5

10 试验数据处理 10

 10.1 测量截面参数平均值的计算 10

 10.2 性能参数计算 10

 10.3 扩稳效果评判指标计算 13

 10.4 雷诺数对压气机性能影响的修正 14

 10.5 总性能参数的误差分析计算 14

 10.6 总性能参数随主要测量参数不确定度变化的敏感性分析计算 16

11 试验结果评定 16

 11.1 参数精度要求 16

 11.2 防喘措施扩稳效果的评定 17

12 试验报告 17

附录 A（资料性） 雷诺数对压气机性能影响的修正方法 18

附录 B（资料性） 船用燃气轮机压气机性能试验报告的格式及内容 24

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司第七〇三研究所、哈尔滨工程大学、中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院。

本文件主要起草人：王琦、张舟、洪青松、姜斌、万新超、于景磊、牛夕莹、李翔宇、潘宏伟、梁晨、李东明、殷涛、杨玉婷。



船用燃气轮机压气机气动性能试验方法

1 范围

本文件规定了船用燃气轮机压气机气动性能试验的试验环境、试验设备及要求、试验人员、试验对象与试验项目、试验原理、试验程序、试验数据处理、试验结果评定、试验报告等内容。

本文件适用于以空气为工质的船用燃气轮机单级与多级轴流式压气机、离心式压气机、轴流-离心混流式压气机开式试验件的气动性能台架试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本对应本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15135 燃气轮机词汇

3 术语和定义

GB/T 15135界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验环境

试验环境要求如下：

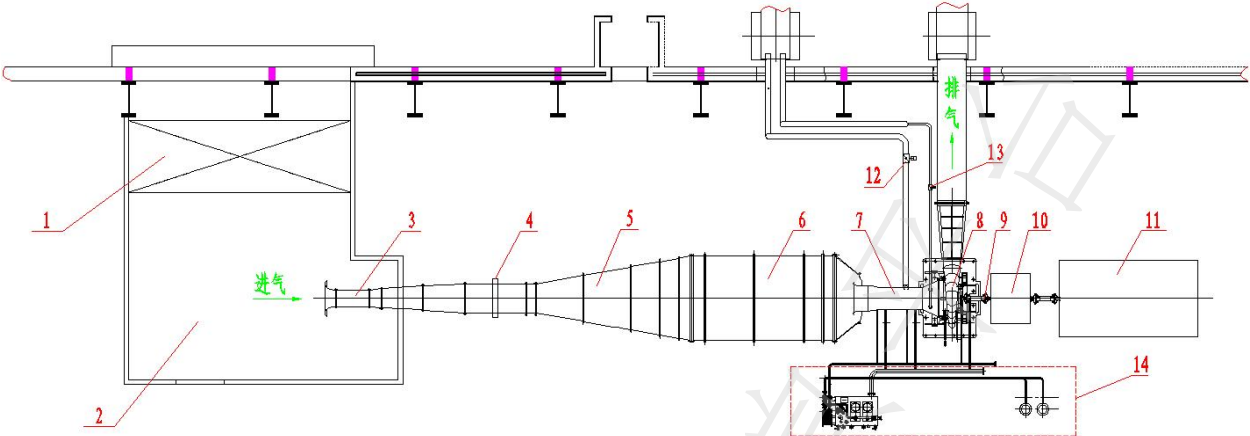
- a) 环境温度： $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：0%~85%。

5 试验设备及要求

5.1 试验系统组成

整体试验系统应至少包括如下系统：进气系统、压气机试验件、排气系统、中间放气系统、退喘系统、动力源系统、滑油系统等。

船用燃气轮机压气机气动性能试验应在专用的试验台架和设备上进行。试验台架平面布置示意图见图1。



- 标引序号说明：
- 1——进气滤清装置； 2——进气室；
 - 3——流量管； 4——进气节气阀门；
 - 5——扩压段； 6——稳压箱；
 - 7——压气机试验件； 8——排气系统；
 - 9——测扭仪； 10——齿轮箱；
 - 11——动力设备； 12——中间放气系统；
 - 13——退喘系统； 14——滑油系统。
- 注：稳压箱和压气机试验件之间通过软连接过渡。

图 1 船用燃气轮机压气机气动性能试验台架平面布置示意图

5.2 进气系统

5.2.1 进气系统组成

船用燃气轮机压气机试验设备的进气系统主要由进气滤清装置1、进气室2、流量管3、进气节气阀门4、扩压段5和稳压箱6等组成。

5.2.2 进气滤清装置

压气机试验装置的进口应设置空气滤清装置或防尘网，保证 $15\text{ }\mu\text{m}$ 的尘埃能被滤去75%以上。

5.2.3 流量管

5.2.3.1 流量管的进气喇叭口内壁应按双扭线式造型进行设计，型面加工精度应在7级以上，表面粗糙度 Ra 不大于 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 。

5.2.3.2 在流量管测量截面上，周向均布4个以上壁面静压测点，每点壁面静压用各自的压力传感器测量，静压不均匀度 $(\bar{d}_p)$ 不大于1%。

5.2.3.3 根据试验对象的流量范围选择相应组别的流量管进行流量测量。

5.2.4 稳压箱

5.2.4.1 空气流经稳压箱的速度应不大于 25 m/s ，稳压箱的长度与直径之比在 $1.7\sim 3.0$ 范围内。

5.2.4.2 稳压箱内应设置整流装置,保证试验对象压气机进口速度湍流度不大于 3%,总压不均匀度不大于 5%。

5.2.4.3 从流量管进口到稳压箱出口应具有良好的密封性,并定期进行密封性检查。做密封性检查时,在试验设备要求的最大真空度下保持 3 min,压力回升不大于 1 kPa。

5.3 压气机试验件

5.3.1 压气机试验件应具有进口测量平直段,用于试验对象压气机进口参数的测量,并且在进口测量平直段之前设置一段 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 的收敛段。试验件进口应装有集流器,如进气喇叭口。

5.3.2 压气机试验件应具有出口测量平直段,用于试验对象压气机出口参数的测量。

5.3.3 压气机试验件出口与排气系统之间应设计排气扩压器作为过渡结构。

5.3.4 排气扩压器机匣上应设置放气机构与退喘系统连接,用于实现试验对象压气机的快速退喘功能,可根据试验对象压气机的流量和压比情况,确定放气机构的放气流量与尺寸。

5.3.5 压气机试验件的防喘措施应针对试验台架及试验目的进行设计。

5.3.6 可根据不同的试验目的,对压气机试验件进行改造设计。

5.4 排气系统

5.4.1 船用燃气轮机压气机试验设备的排气系统 8 主要由排气收集器与排气节气阀门等组成。排气收集器通常采用排气蜗壳形式。

5.4.2 排气系统的设计应减少对试验对象压气机出口流场的影响,保证试验对象压气机出口测量截面总压不均匀度不大于 10%。

5.4.3 排气节气阀门的位置选定应使排气容腔尽可能小,且设有慢速逼喘(背压调节)装置。

5.4.4 排气节气阀门应具备快开功能作为后备的应急退喘装置,以防止退喘系统失效对压气机试验件造成损坏。

5.5 退喘系统

船用燃气轮机压气机试验设备的退喘系统 13 主要由退喘管路和快速退喘装置等组成。快速退喘装置可采用快开阀门,要求快开阀门从关闭到全开动作时间不超过 0.5s,以保证压气机试验件发生喘振时的快速退喘。

6 试验人员

在压气机气动性能试验中,对试验人员要求如下:

- a) 试验前应确定试验组织机构,明确试验负责人和现场总指挥;
- b) 试验人员在试验前应进行技术和质量意识、保密意识、安全教育等项目培训;
- c) 动力源试车员应持有燃气轮机司机证;
- d) 试验件性能采集人员应具备气体动力学专业知识。

7 试验对象与试验项目

7.1 试验对象

船用燃气轮机压气机气动性能试验对象可分为以下三类：

- a) 全尺寸压气机：试验对象压气机与设计尺寸完全一致；
- b) 模化压气机：试验对象压气机是全尺寸压气机设计尺寸的缩放模型；
- c) “研究性”压气机：试验对象是全尺寸压气机部分级的试验、进气条件非大气条件的试验、为实现某些特定研究目的进行适应性改造后的试验等。

7.2 试验项目

船用燃气轮机压气机气动性能试验主要包括：

- a) 压气机的总性能、部分级性能及基元级性能的稳态性能测试；
- b) 压气机喘振、初始失稳位置等动态性能测试；
- c) 压气机防喘措施扩稳性能测试，用于评估不同防喘措施的扩稳设计效果；
- d) 压气机性能调试与诊断等。

8 试验原理

船用燃气轮机压气机气动性能试验均应遵守相似准则。在进行试验时，由动力源系统驱动压气机试验件，空气经由进气系统被吸入压气机试验件，经过压缩后，通过排气系统排入大气。

9 试验程序

9.1 试验准备

9.1.1 文件准备

试验项目开始前，编制相应的图样及技术文件，主要包括：

- a) 试验台布置图、测点布置图、试验台系统图、测控系统原理图、测试系统仪器仪表鉴定证书、试验台安装文件、试验设备及系统合格证、试验前准备状态检查文件、试验大纲、试验实施细则等；
- b) 明确试验参试队伍岗位职责，编制试验组织机构文件，相应参试人员具备完成该试验任务要求的资质；
- c) 按照质量保证与安全保障要求，编制压气机试验相关的质量与安全文件；
- d) 每次试验前，编制每日试验卡片。

9.1.2 设备准备

按试验要求改装有关设备部件，完成必要的检查项目，并编制相应的记录表格及文件。若设备转动部件有重大改装，则应进行设备调试。

9.1.3 测控系统准备

按试验要求进行测压管路密封性检查、测压与测温系统的改装及压力和温度等测试仪器仪表的准备、控制系统的改装与调试。

9.1.4 压气机试验件准备

进行压气机试验件在试验台架上的安装和检查，并编制相应的记录表格及文件。

9.1.5 测量系统安装和校准

试验前应对测量系统进行校准，包括压力测量系统、温度测量系统（热电偶）、扭矩测量系统、探针和转速测量系统等。具体要求如下：

- a) 标准传感器和标准压力发生器应按计量规定时间定期标定；
- b) 试验前对不同批次的热电偶偶丝进行标定，应对每对偶丝进行单独标定；
- c) 定期对扭矩测量系统进行静校准和动校准；
- d) 探针应有规则的校准曲线，校准曲线内含压缩性等影响的修正。

9.1.6 数据采集系统和计算机软件的准备

应对数据采集系统及所需计算机软件进行安装和调试。

9.2 试运转

9.2.1 试验前检查

在每次试验前，按照要求对全部试验设备及系统状态进行试验前检查，并填写相应的记录表格。

9.2.2 静态调试

在每次试验前，对各系统进行静态调试，确保各系统正常稳定工作，并填写相应的记录表格。

9.2.3 动态调试

在正式试验开始前，进行整个试验系统的动态调试，包括：

a) 机械运转调试

在压气机低转速状态稳定运行20 min，检查压气机试验件运行状态以及各系统工作情况，初步检验压气机试验件的机械性能。

b) 压气机试运行

从压气机低转速状态缓慢升转速至设计转速，每个特征转速点（不少于6个）可停留10 min~15min，在此过程中，确认各转速状态下压气机试验件的运行状态，对测试系统进行联机检查与调试，对控制系统、监控系统、数据采集与处理系统等各系统进行联网检查。

9.3 性能试验

9.3.1 测量截面和测点布置

9.3.1.1 试验对象压气机的进口测量截面布置在压气机试验件的进口平直段上，该测量截面选在距第一排叶片前缘 $0.3b \sim 1.0b$ 处（ b 为对应叶片算术平均半径处叶片弦长的轴向投影尺寸），总压、静压测点位于同一截面上。

9.3.1.2 试验对象压气机的出口测量截面布置在压气机试验件的出口平直段上。具体要求如下：

- a) 在单级压气机试验中，出口总压和总温测量截面距末排静叶片尾缘为 $0.5b \sim 0.7b$ ；
- b) 在多级（全台）压气机试验中，该截面距末排静叶片尾缘为 $1.0b \sim 3.0b$ ；
- c) 出口静压、壁面静压和气流方向的测量截面在 $0.2b$ 处，静压与气流方向测点位于同一截面上；
- d) 若选用沿径向、周向移动的总压、总温、静压及气流方向组合探针，测量截面亦可以选在 $0.2b$ 处。

9.3.1.3 级间测量截面根据试验对象压气机的具体结构及试验要求确定。具体要求如下：

- a) 通常级间总压、总温的测量截面位于静叶片叶栅槽道内。各测量截面的探针面积之和与对应流道位置的面积比不超过1.5%；
- b) 对于多级（全台）压气机，由于级间测量截面较多，对气流的阻塞效应较强，根据具体情况对带有级间测量的总性能测试结果考虑修正；
- c) 在进行级间总压、总温的测量时，沿径向各测点位置尽量正对来流角度；
- d) 测量的总压根据所处静叶片的总压损失情况修正至该静叶片出口处。

9.3.1.4 动叶后的参数测量在保证测点位于叶片排间隙内的前提下，允许探针支杆置于静叶片槽道中。亦可以通过静叶片前缘敷设受感部的方式进行测量。

9.3.1.5 压气机试验件的进出口测量截面探针安装座周向不少于8个。径向测点在进口不少于5点，在出口不少于3点。

9.3.1.6 对于离心式压气机或轴流—离心混流式压气机，由于结构复杂、通道小、曲率变化大，测点布置有一定难度，在进行气动性能测试时测点布局可视情况而定，尽量保证测量截面位置的流动平缓、均匀。

9.3.2 参数测量

9.3.2.1 进口总压测量

用至少四支多点总压探针测量进口总压，用算术平均方法、面积加权平均方法或质量加权平均方法计算进口总压平均值。

9.3.2.2 出口总压测量

可采用多点总压探针、耙形探针等测量出口总压。

- a) 用多支多点总压探针测量出口总压时，总压探针数量不少于6支，沿周向布置考虑栅距方向的总压不均匀因素；
- b) 用一支沿径向移动测量出口总压时，耙形总压探针的周向测点宽度为1.2倍叶尖栅距，测点间距为3 mm~5 mm；
- c) 用位移机构或旋转机匣带动单点组合探针测量出口参数时，探针覆盖1.2倍栅距的扇形面内的总压；
- d) 用多支耙形总压探针测量出口总压时，每支耙形总压探针分别置于出口测量截面等环面的平均半径上；
- e) 用算术平均方法、面积加权平均方法或质量加权平均方法计算出口总压平均值。

9.3.2.3 壁面静压测量

通过在测量截面壁面上开孔测量静压。

- a) 在各测量截面的内、外壁开静压孔，孔径为0.5 mm~1.0 mm，孔深大于3倍孔径，孔的中心线垂直于气流方向，允许顺气流方向倾斜不大于30°，孔口保持锐边无毛刺；
- b) 进、出口测量截面的内、外壁静压孔不少于4个，级间壁面静压孔位于静叶槽道中心线上，与级间总压测量截面位于同一轴向位置；
- c) 若结构允许，在动叶片尾缘与静叶片前缘的中间截面上也设置静压孔。

9.3.2.4 进出口静压测量

用多点Γ形或单点径向移动静压探针测量静压的径向分布，近壁静压参考内、外壁静压值确定。

9.3.2.5 进口总温测量

进口总温可以用电阻温度计，也可以用热电偶测量。测量点设置在进气系统中气流速度最低的部位。

9.3.2.6 出口总温测量

可采用多点总温探针、耙形探针等测量出口总温。具体要求如下：

- a) 用多支多点总温探针测量出口总温时，总温探针数量不少于6支，沿周向布置考虑周向温度的不均匀性；
- b) 用耙形总温探针测量出口总温时参考出口总压测量的布置方式；
- c) 出口总温测量截面可根据情况适当稍后于压力测量截面，以减弱出口探针过多对所测流场的影响；
- d) 在进行总温测量时，各测量温度在计算过程中按总温探针形式选取相应的总温恢复系数对所测值进行修正。

9.3.2.7 气流方向测量

允许采用不同形式的气动探针测量气流方向，探针或位移机构应有定位基准。

9.3.2.8 动叶后参数测量

动叶后参数测量分为稳态测量和动态测量：

- a) 用五孔探针沿径向移动的稳态测量方法进行动叶后参数测量，或者采用静叶片前缘敷设受感部的方式进行测量；
- b) 用高频响压力探针和高速采集器组成的动态系统测量动叶后的动态参数。

9.3.2.9 扭矩测量

用测扭仪测量扭矩时，应对扭矩测量值做机械效率等影响的修正。通常采用的一种修正机械效率等影响因素的方法是在无压气机试验件的情况下进行扭轴动校准。

9.3.2.10 转速测量

转速传感器分别设置在动力源系统输出轴和压气机试验件的传动轴上。动力源的转速测量系统按其各自的特点选取。压气机试验件传动轴的转速可以用转矩转速测量仪测量，亦可以用音轮、磁电式传感器和频率计组成的系统测量。

9.3.2.11 稳定工作极限出口压力

通过测量稳定工作极限出口压力来确定压气机的稳定工作边界。具体要求如下：

- a) 采用多支多点总压探针测量出口总压，或采用沿周向置于不同半径位置的多支耙形总压探针测量出口总压时，在试验对象压气机到达该转速的稳定工作极限时，同时采集全部测点总压值；用算术平均方法、面积加权平均方法或质量加权平均方法计算出口总压，作为该状态点的出口总压值；
- b) 采用一支沿径向移动耙形总压探针测量出口总压时，在试验对象压气机到达该转速的稳定工

作极限时,该测点置于出口平均半径处,采集该测点总压值并进行周向和径向修正;若同时采用多支该类型探针采集周向各测点的总压值,则仅需进行径向修正即可;

- c) 如果需要单独录取某一转速的稳定工作极限参数,在录取接近喘振或失速状态的稳定试验状态参数后再进行。
- d) 以上a)、b)两种测量方法没有计入测压管路滞后效应带来的影响。两种可消除测压管路滞后效应影响的外插测量方法如下:
 - 1) 在直径为8 mm的管子上开直径为4mm的孔制成单点总压探针,在该探针顶部装有压力传感器,测压孔位于出口平均半径处,采集稳定工作极限出口压力;在试验对象压气机逼喘过程中,录取该单点总压探针的压力值,并用等转速线上各状态点的该点压力值和对应的出口总压平均值绘制出关系曲线;通过外插的方法得到稳定工作极限的出口总压平均值;
 - 2) 用各状态点的排气节气阀门角度值或其他与出口总压平均值有固定函数关系的任意参数,在试验对象压气机逼喘过程中,用等转速线上各状态点的该参数值和对应的出口总压平均值绘制出关系曲线;通过外插的方法得到稳定工作极限的出口总压平均值。

9.3.3 稳态性能测试

9.3.3.1 等转速特性测试

船用燃气轮机压气机等转速特性测试沿试验对象的等折合转速线进行,要求如下:

- a) 试验时按照进气温度及拟测试的折合转速计算出压气机的物理转速,利用动力源系统将压气机试验件带到该转速;
- b) 调节排气节气阀门的开度,改变压气机试验件的出口背压,达到改变试验状态点的目的;
- c) 在各试验状态点下,录取相应状态点下的性能参数,各个试验状态点下试验件的折合转速应保持一致;
- d) 根据不同的试验测试目的进行数据处理,得到压气机试验件在该折合转速下从最大流量试验状态到稳定工作极限之间数个试验状态点的总性能、级性能和基元级性能;
- e) 可根据不同的试验目的来布置测点数目,获得所需要的性能参数;
- f) 录取各等转速线上的各试验状态点性能参数时,完成一条等转速线性能参数录取之后,重复录取该等转速线上最大流量状态点的性能参数,以便验证各试验状态点性能参数录取的准确性与试验一致性。

9.3.3.2 节流特性测试

船用燃气轮机压气机节流特性测试沿试验对象的节流线进行,具体要求如下:

- a) 试验时保持压气机进、排气节气阀门处于某一固定开度;
- b) 动力源系统从能够达到的最低转速开始升速,将压气机试验件带到预期的最高转速;
- c) 通过动力源系统改变压气机试验件的运行转速,从而达到改变试验状态点的目的;
- d) 在各试验状态点下,录取相应状态点下的性能参数;
- e) 根据不同的试验测试目的进行数据处理,得到压气机试验件在该节气阀门开度下从最低转速到最高转速之间数个试验状态点的总性能、级性能和基元级性能;
- f) 可根据不同的试验目的来布置测点数目,获得所需要的性能参数。

9.3.4 动态性能测试

9.3.4.1 稳定工作极限测试

船用燃气轮机对于压气机的变工况性能要求较高,应精确的确定压气机在不同折合转速下的稳定工作边界。具体要求如下:

- a) 在试验时,按照等转速特性测试的方法,不断关小排气节气阀门的开度,提高压气机试验件的出口背压,直至压气机发生喘振或严重失速,该状态点的上一个稳定状态点视为稳定工作边界;
- b) 压气机喘振或严重失速状态的识别通过在压气机试验件的进口或出口位置布置高频响脉动压力测点来进行判断;
- c) 进行不同折合转速下稳定工作极限的测试时,可根据试验对象特征设置辨识准则,当特征信号时域与频域变化量均大于设定阈值时,则认为压气机进入喘振或严重失速状态。

9.3.4.2 初始失稳位置测试

进行不同折合转速下的稳定工作极限测试时,通过在压气机试验件的不同级间或叶片排位置布置高频响脉动压力测点来进行初始失稳位置测试。具体要求如下:

- a) 在试验时,按照等转速特性测试的方法,不断关小排气节气阀门的开度,提高压气机试验件的出口背压,直至压气机发生失稳;
- b) 利用压气机稳定工况与失稳工况下信号的差异性进行状态辨识,确定压气机内部率先出现的失稳位置。

9.3.5 防喘措施扩稳性能测试

9.3.5.1 不同可转导叶转角规律性能测试

船用燃气轮机压气机通常具有多列可转导叶/静叶,为了确定最佳的多列可转导叶/静叶转角规律组合方案,获得最优的扩稳效果,需要在不同的折合转速下,进行多种角度匹配方案的可转导叶转角规律性能测试。具体要求如下:

- a) 在试验时,各列可转导叶/静叶应具备单独调控的能力;
- b) 可根据需要结合初始失稳位置测试方法在压气机的可转导叶/静叶相应位置布置高频脉动压力测点,用以指导压气机可转导叶转角规律的调整;
- c) 按照等转速测试方法进行性能测量;
- d) 通过扩稳效果评判准则指标的对比,确定不同折合转速下的最佳多列可转导叶/静叶转角规律组合方案。

9.3.5.2 防喘处理机匣性能测试

船用燃气轮机压气机通常具有防喘处理机匣,为了确定最佳的防喘处理机匣方案,获得最优的扩稳效果,需要在不同的折合转速下,进行多种结构形式的防喘处理机匣性能测试。具体要求如下:

- a) 防喘处理机匣试验件应设计成便于台架拆卸及安装的结构形式;
- b) 在试验时,换装不同的防喘处理机匣,在要求的折合转速范围内进行不同方案的压气机等转速特性测试;
- c) 通过扩稳效果评判准则指标的对比,确定最佳的防喘处理机匣方案。

9.3.5.3 中间放气性能测试

船用燃气轮机压气机通常具有中间放气装置,为了确定最佳的中间放气方案,获得最优的扩稳效

果，需要在不同的折合转速下，进行多种方案的中间放气性能测试。具体要求如下：

- 压气机试验件的中间放气装置应具备流量调节与测量功能，可根据需要在压气机的不同部位设置放气装置；
- 在试验时，在要求的折合转速范围内进行不同方案的压气机等转速特性测试；
- 通过调整不同位置放气装置的放气流量，获得在不同放气位置、放气流量下的压气机性能；
- 根据扩稳效果评判准则指标的对比，确定最佳的中间放气方案。

10 试验数据处理

10.1 测量截面参数平均值的计算

测量截面参数平均值可按算术平均值、面积加权平均值及质量加权平均值三种方法计算。

10.2 性能参数计算

10.2.1 质量流量计算

质量流量的计算方法按公式（1）计算。

$$G = K_G m A \frac{P_0^*}{\sqrt{T_0}} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left(\frac{k+1}{k-1} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\left(\frac{P_0}{P_0^*} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_0}{P_0^*} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

G ——质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

K_G ——流量系数；

m ——系数，按公式（2）计算，单位为千克·开尔文每焦耳的0.5次方（ $(\text{kg} \cdot \text{K})^{0.5} / \text{J}^{0.5}$ ）；

A ——流量管测量截面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

P_0^* ——流量管测量截面总压，单位为帕（Pa）；

T_0 ——大气温度，单位为开尔文（K）；

k ——比热（容）比；

P_0 ——流量管测量截面静压，单位为帕（Pa）。

$$m = \sqrt{\frac{k}{R} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R ——气体常数，单位为焦耳每千克开尔文（ $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ ）。

对于空气而言，在常温下取 $k = 1.4$ ， $R = 287.06 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ ，则 $m = 0.0404$ ，按公式（3）计算。

$$G = 0.1561 K_G A \frac{P_0^*}{\sqrt{T_0}} \left[\left(\frac{P_0}{P_0^*} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_0}{P_0^*} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

10.2.2 折合流量计算

折合流量的计算方法按公式（4）计算。

$$G_{np} = G \cdot \frac{101325}{P_{in}^*} \cdot \sqrt{\frac{T_{in}^*}{288.15}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

G_{np} ——折合流量, 单位为千克每秒 (kg/s);

P_{in}^* ——压气机试验件进口截面总压, 单位为帕 (Pa);

T_{in}^* ——压气机试验件进口截面总温, 单位为开尔文 (K)。

10.2.3 总压比计算

总压比的计算方法按公式 (5) 计算。

$$\pi^* = \frac{P_{out}^*}{P_{in}^*} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

π^* ——总压比

P_{out}^* ——压气机试验件出口截面总压, 单位为帕 (Pa);

P_{in}^* ——压气机试验件进口截面总压, 单位为帕 (Pa)。

10.2.4 温升效率计算

温升效率的计算方法按公式 (6) 计算。

$$\eta_T = \frac{T_{in}^* (\pi^{*\frac{k-1}{k}} - 1)}{T_{out}^* - T_{in}^*} = \frac{\pi^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\theta - 1} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

η_T ——温升效率, 单位为百分比 (%);

T_{in}^* ——压气机试验件进口截面总温, 单位为开尔文 (K);

T_{out}^* ——压气机试验件出口截面总温, 单位为开尔文 (K);

θ ——总温比, $\theta = T_{out}^* / T_{in}^*$ 。

10.2.5 扭矩效率计算

扭矩效率的计算方法按公式 (7) 计算。

$$\eta_{tor} = 9.549 \frac{k}{k-1} R \frac{GT_{in}^* (\pi^{*\frac{k-1}{k}} - 1)}{M \cdot n} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

η_{tor} ——扭矩效率, 单位为百分比 (%);

M ——扭矩测量值, 单位为牛米 (N·m);

n ——物理转速, 单位为转每分钟 (r/min)。

10.2.6 折合转速计算

折合转速的计算方法按公式 (8) 计算。

$$n_{np} = n \cdot \sqrt{\frac{288.15}{T_{in}^*}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

n_{np} ——折合转速, 单位为转每分钟 (r/min);

n ——物理转速, 单位为转每分钟 (r/min)。

10.2.7 稳定工作裕度(喘振裕度)计算

喘振裕度的计算方法按公式(9)计算。

$$SM = \left[\frac{\pi_s^* / \pi_d^*}{G_{np,s} / G_{np,d}} - 1 \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

SM ——喘振裕度, 单位为百分比(%);

π_s^* ——稳定工作极限压比;

π_d^* ——参考工作点压比;

$G_{np,s}$ ——稳定工作极限的折合流量, 单位为千克每秒(kg/s);

$G_{np,d}$ ——参考工作点的折合流量, 单位为千克每秒(kg/s)。

10.2.8 级流量系数计算

级流量系数的计算方法按公式(10)计算。

$$\phi_z = \frac{C_{a,z}}{U_z} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ϕ_z ——级流量系数;

$C_{a,z}$ ——第 z 级进口轴向速度, 按公式(11)计算, 单位为米每秒(m/s);

U_z ——第 z 级进口动叶叶顶圆周速度, 按公式(12)计算, 单位为米每秒(m/s)。

$$C_{a,z} = \frac{G_z}{A_z \frac{P_z^*}{RT_z^*} \varepsilon(\lambda_z)} = \frac{G_z}{\pi(R_{t,z}^2 - R_{h,z}^2) \frac{P_z^*}{RT_z^*} \varepsilon(\lambda_z)} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

G_z ——第 z 级进口流量, 单位为kg/s;

A_z ——第 z 级进口通流环面面积, 单位为 m^2 ;

P_z^* ——第 z 级进口总压平均值, 单位为Pa;

T_z^* ——第 z 级进口总温平均值, 单位为K;

$R_{t,z}$ ——第 z 级进口环面外径, 单位为m;

$R_{h,z}$ ——第 z 级进口环面内径, 单位为m;

$\varepsilon(\lambda_z)$ ——第 z 级进口的气动函数, 可根据 P_z/P_z^* 从气动函数表查得。

$$U_z = \frac{2\pi R_{t,z} n}{60} \dots\dots\dots (3)$$

10.2.9 级载荷系数计算

级载荷系数的计算方法按公式（13）计算。

$$\psi_z = \frac{\frac{k_{z+1}}{k_{z+1}-1}RT_{z+1}^* - \frac{k_z}{k_z-1}RT_z^*}{U_z^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 ψ_z ——级载荷系数；
 k_z 、 k_{z+1} ——第 z 级、第 $z+1$ 级进口比热（容）比；
 T_z^* 、 T_{z+1}^* ——第 z 级、第 $z+1$ 级进口总温平均值，单位为开尔文（K）。

10.2.10 进口节流比计算

进口节流比的计算方法按公式（14）计算。

$$K = \frac{P_{in}^*}{P_{amb}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 K ——进口节流比；
 P_{in}^* ——压气机试验件进口截面总压，单位为Pa；
 P_{amb} ——当地大气压力，单位为Pa。

10.2.11 比热（容）比计算

比热（容）比 k 是温度的函数，在空气温度为242K—1000K的范围内，其计算方法按公式（15）计算。

$$k = \frac{B_1 + 2B_2T + 3B_3T^2 + 4B_4T^3 + 5B_5T^4}{B_1 - 1.98726 + 2B_2T + 3B_3T^2 + 4B_4T^3 + 5B_5T^4} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 k ——比热（容）比；
 T ——总温，对于温升效率，其为压气机试验件或压气机级进出口总温的算术平均值；对于测量截面，其为测量截面各测点总温平均值，单位为开尔文（K）；
 B ——气体热力性质温度多项式的系数，其值见表1。

表1 气体热力性质温度多项式系数

符号	系数值
B_1	0.72806730×10^1
B_2	$-0.14341481 \times 10^{-2}$
B_3	$0.23482926 \times 10^{-5}$
B_4	$-0.10484129 \times 10^{-8}$
B_5	$0.12429040 \times 10^{-12}$

10.3 扩稳效果评判指标计算

10.3.1 综合稳定裕度改进量

综合稳定裕度改进量的计算方法按公式（16）计算。

$$\overline{m} = \left[\left(\pi_{os}^* / \pi_{bs}^* \right) \times (M_{bs} / M_{os}) - 1 \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\overline{m}$ ——综合稳定裕度改进量，单位为百分比（%）；

π_{os}^* ——带防喘措施的稳定工作极限压比；

π_{bs}^* ——无防喘措施的稳定工作极限压比；

M_{os} ——带防喘措施的稳定工作极限的折合流量，单位为千克每秒（kg/s）；

M_{bs} ——无防喘措施的稳定工作极限的折合流量，单位为千克每秒（kg/s）。

10.3.2 流量裕度改进量

流量裕度改进量的计算方法按公式（17）计算。

$$\overline{M} = \left[1 - (M_{os} / M_{bs}) \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\overline{M}$ ——流量裕度改进量，单位为百分比（%）；

10.3.3 峰值效率改进量

峰值效率改进量的计算方法按公式（18）计算。

$$\overline{\eta_p} = \left[\left(\eta_{op}^* / \eta_{bp}^* \right) - 1 \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\overline{\eta_p}$ ——峰值效率改进量，单位为百分比（%）；

η_{op}^* ——带防喘措施的压气机峰值效率；

η_{bp}^* ——无防喘措施的压气机峰值效率。

10.4 雷诺数对压气机性能影响的修正

因进口节流、缩型和进气条件的改变造成试验对象压气机的雷诺数变化，对试验对象压气机的性能将产生一定的影响，应对压气机性能参数进行雷诺数变化的影响修正。雷诺数对压气机性能影响的修正方法采用附录A的方法进行。

10.5 总性能参数的误差分析计算

10.5.1 质量流量的相对误差

质量流量的相对误差计算方法按公式（19）计算。

$$\delta_G = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta T_0}{T_0} \right)^2 + (1-C)^2 \left(\frac{\Delta p_0^*}{p_0^*} \right)^2 + C^2 \left(\frac{\Delta p_0}{p_0} \right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

δ_G ——质量流量的相对误差；

ΔA ——流量管测量截面面积绝对误差，单位为平方米（ m^2 ）；

ΔT_0 ——大气温度绝对误差，单位为开尔文（K）；

Δp_0^* ——流量管测量截面总压绝对误差，单位为帕（Pa）；

Δp_0 ——流量管测量截面静压绝对误差，单位为帕（Pa）。

C——系数，值按公式（20）进行计算。

$$C = \frac{\frac{2}{k} \left(\frac{p_0}{p_0^*} \right)^{\frac{2}{k}} - \frac{k+1}{k} \left(\frac{p_0}{p_0^*} \right)^{\frac{k+1}{k}}}{2 \left[\left(\frac{p_0}{p_0^*} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_0^*} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \dots\dots\dots (2)$$

10.5.2 折合流量的相对误差

折合流量的相对误差计算方法按公式（21）计算。

$$\delta_{G_{np}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A} \right)^2 + \left(-\frac{\Delta p_{in}^*}{p_{in}^*} \right)^2 + (1-C)^2 \left(\frac{\Delta p_0^*}{p_0^*} \right)^2 + C^2 \left(\frac{\Delta p_0}{p_0} \right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\delta_{G_{np}}$ ——折合流量的相对误差；

Δp_{in}^* ——压气机试验件进口截面总压绝对误差，单位为帕（Pa）。

10.5.3 总压比的相对误差

总压比的相对误差计算方法按公式（22）计算。

$$\delta_{\pi^*} = \sqrt{\left(\frac{\Delta p_{out}^*}{p_{out}^*} \right)^2 + \left(\frac{\Delta p_{in}^*}{p_{in}^*} \right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

δ_{π^*} ——总压比的相对误差；

Δp_{out}^* ——压气机试验件出口截面总压绝对误差，单位为帕（Pa）。

10.5.4 温升效率的相对误差

温升效率的相对误差计算方法按公式（23）计算。

$$\delta_{\eta_r} = \sqrt{\left(\frac{k-1}{k} \frac{\pi^{*\frac{k-1}{k}}}{\pi^{*\frac{k-1}{k}} - 1} \right)^2 \left(\frac{\Delta \pi^*}{\pi^*} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{\theta-1} \right)^2 \left(\frac{\Delta T_{in}^*}{T_{in}^*} \right)^2 + \left(-\frac{\theta}{\theta-1} \right)^2 \left(\frac{\Delta T_{out}^*}{T_{out}^*} \right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

δ_{η_r} ——温升效率的相对误差；

$\Delta \pi^*$ ——压气机试验件总压比绝对误差，通过总压比相对误差求得；

ΔT_{in}^* ——压气机试验件进口截面总温绝对误差，单位为开尔文（K）；

ΔT_{out}^* ——压气机试验件出口截面总温绝对误差，单位为开尔文（K）。

10.5.5 扭矩效率的相对误差

扭矩效率的相对误差计算方法按公式（24）计算。

$$\delta_{\eta_{tor}}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{in}^*}{T_{in}^*}\right)^2 + \left(\frac{k-1}{k} \frac{\pi^{*\frac{k-1}{k}}}{\pi^{*\frac{k-1}{k}} - 1}\right)^2 \left(\frac{\Delta \pi^*}{\pi^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 $\delta_{\eta_{tor}}^*$ ——扭矩效率的相对误差；
 ΔG ——压气机试验件质量流量绝对误差，通过质量流量相对误差求得，单位为千克每秒（kg/s）；
 ΔM ——压气机试验件扭矩绝对误差，单位为牛米（N·m）；
 Δn ——压气机试验件物理转速绝对误差，单位为转每分钟（r/min）。

10.6 总性能参数随主要测量参数不确定度变化的敏感性分析计算

船用燃气轮机压气机在气动性能试验中的主要测量参数及其敏感性分析计算中不确定度的建议取值见表2。

表 2 主要测量参数不确定度取值

主要测量参数名称	不确定度
大气温度	±0.5K
流量管测量截面总压	±0.5kPa
流量管测量截面静压	±0.5kPa
流量管测量截面直径	±1.0mm
流量管流量系数	±1.0%
进口总压	±0.5kPa
进口总温	±0.5K
出口总压	±1.0kPa
出口总温	±1.0K

11 试验结果评定

11.1 参数精度要求

11.1.1 测量参数的精度要求

船用燃气轮机压气机气动性能试验的测量结果精度要求见表3。

表 3 测量参数精度要求

参数名称	精度
大气压力	±0.05%
压力	±0.2%
进口温度	±0.5K
出口温度	±1.0K
气流方向角	±1.0°
转速	±0.2%
扭矩	±0.5%
注：以上测量参数精度要求针对的是试验进气条件为大气条件的压气机试验项目，对于进气条件非大气条件的压气机试验，应根据试验具体要求进一步明确测量参数精度等级。	

11.1.2 性能参数的精度要求

船用燃气轮机压气机气动性能试验的性能参数精度要求见表4。

表 4 性能参数精度要求

参数名称	精度
质量流量	±0.5%
压比	±0.3%
温升效率	±1.5%
扭矩效率	±1.0%

11.1.3 按试验需要测定流场，进行截面流量检查。压气机试验件进、出口测量截面计算流量与流量管所测得的流量偏差分别不大于 2%和 5%。

11.2 防喘措施扩稳效果的评定

11.2.1 最佳转角规律组合方案的选取

对于低转速区域，选取原则是稳定工作裕度满足设计要求，同时兼顾压气机效率；对于高转速区域，选取原则是在稳定工作裕度和流量满足设计要求的前提下获得最高效率。

11.2.2 最佳防喘处理机匣方案的选取

对于低转速区域，选取原则是稳定工作裕度满足设计要求，同时兼顾压气机效率；对于高转速区域，选取原则是在稳定工作裕度和流量满足设计要求的前提下获得最高效率。

11.2.3 最佳中间放气方案的选取

选取原则是稳定工作裕度满足设计要求的同时保证压气机具有最高的效率。

12 试验报告

按照各单位的报告格式要求，编写试验报告。试验报告的内容参考附录B填写。

附录 A

(资料性)

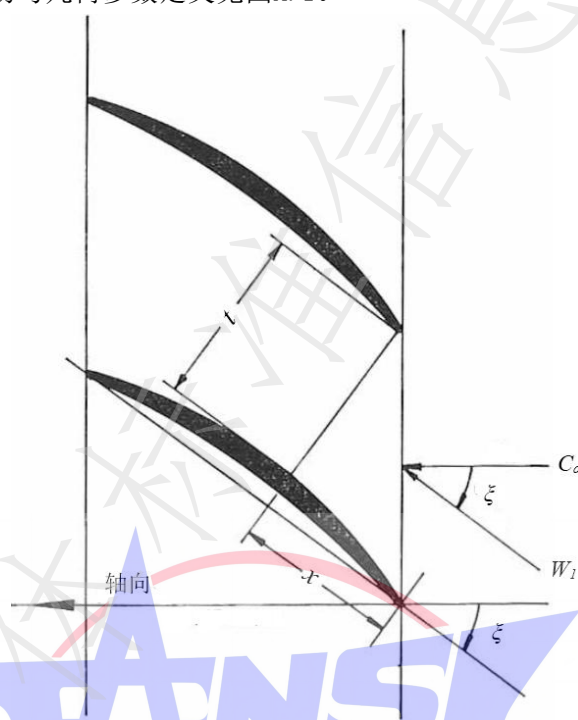
雷诺数对压气机性能影响的修正方法

本附录中所列的雷诺数对压气机性能影响的修正方法来自于 (A. B. Wassell, Reynolds Number Effects in Axial Compressors, Journal of Engineering for Power, Transactions of the ASME, 1968.)

A.1 效率修正

A.1.1 气动与几何参数定义

用于雷诺数修正的气动与几何参数定义见图A.1。



图A.1用于雷诺数修正的气动与几何参数定义

多变效率 (η_p) 的修正关系式见公式 (A.1) 和公式 (A.2)。

$$1 - \eta_p = K Re_1^{-n} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$n = p \cdot q \dots\dots\dots (A.2)$$

A.1.2 Re_1 的确定

用于效率修正的雷诺数 Re_1 按公式 (A.3) 计算:

$$Re_1 = \frac{W_1 b \rho_1}{\mu_1} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

W_1 ——第一级动叶中径处进口气流相对速度, 单位为m/s;

b ——第一级动叶中径处叶片弦长, 单位为m;

ρ_1 ——第一级动叶中径处进口气流密度，单位为 kg/m^3 ；

μ_1 ——第一级动叶中径处进口气流动力粘性系数，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

A.1.3 p值的确定

p值由图A.2中 $p = f\left[\left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_{av}\right]$ 关系曲线确定，它反映了马赫数的影响。其中 $\left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_{av}$ 其中按公式 (A.4) 计算：

$$\left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_{av} = \left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_M \frac{U}{U_{dp}} \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中：

$\left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_M$ ——按公式 (A.5) 计算：

$$\left(\frac{W}{\sqrt{T^*}}\right)_M = \frac{C_{a,M}^2 + \left[\frac{U_M}{2} \left(1 + \frac{c_p \Delta T^*}{U_M Z}\right)\right]}{T_1^* + \frac{\Delta T^*}{2}} \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

U ——动叶中径处叶片圆周速度，单位为 m/s ；

U_{dp} ——动叶中径处叶片设计圆周速度，单位为 m/s ；

$C_{a,M}$ ——平均轴向速度，从 $Q_{a,M}$ 导出获得，单位为 m/s ；

c_p ——定压比热，单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；

U_M ——中间级动叶中径处的叶片圆周速度，单位为 m/s ；

ΔT^* ——压气机总温升，单位为 K ；

Z ——压气机级数；

T_1^* ——压气机进口总温， K ；

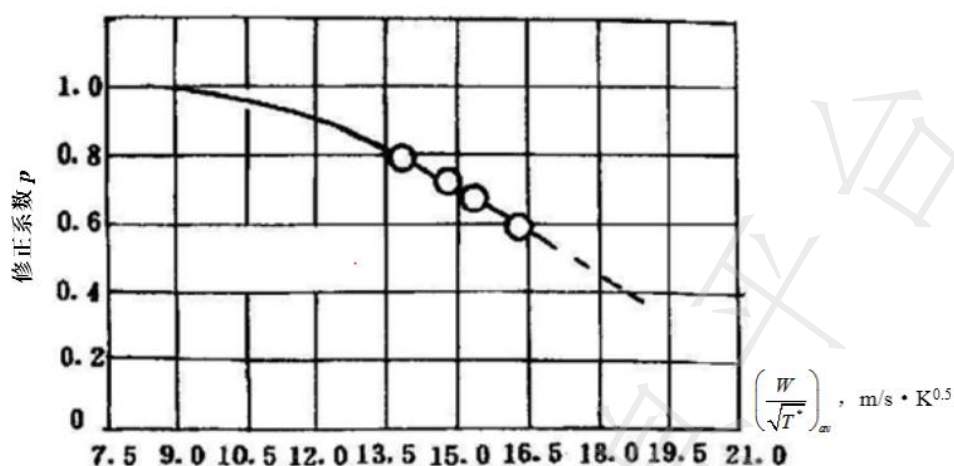
$Q_{a,M}$ ——第一级和最后一级动叶进口处的 $\frac{G\sqrt{T^*}}{p^* \cdot A}$ 的平均值；

G ——质量流量，单位为 kg/s ；

A ——环形通道面积，单位为 m^2 ；

p^* ——总压，单位为 Pa ；

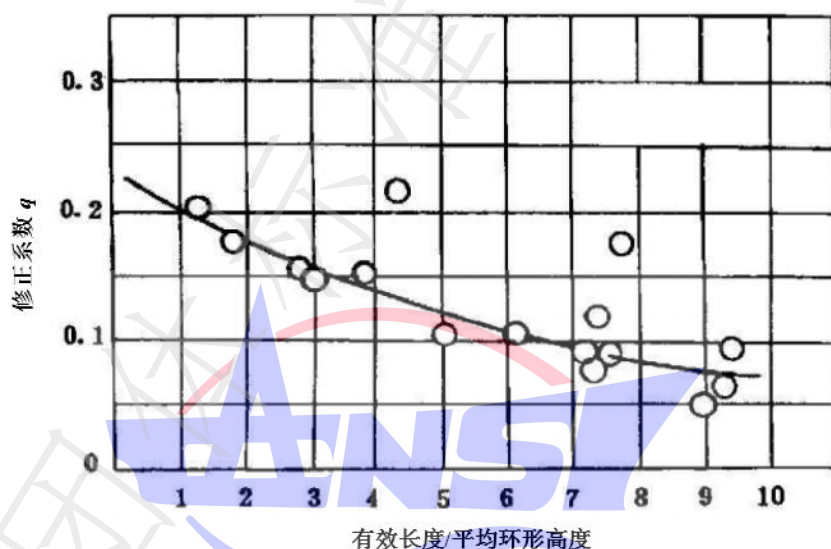
T^* ——总温，单位为 K 。



图A. 2用于雷诺数修正的系数p值关系曲线

A. 1. 4 q值的确定

q值由有效长度、平均环形高度等几何参数来确定，其关系曲线见图A. 3，它反映了压气机几何形状的影响。



图A. 3用于雷诺数修正的系数q值关系曲线

其中，平均环形高度是指第一级动叶进口环形高度与最后一级动叶进口环形高度的平均值；有效长度为第一级动叶进口到最后一级动叶出口长度的 $\left(\frac{Z}{Z-0.5}\right)$ 倍。

A. 1. 5 K值的确定

对应于某一试验状态点，从测得的等熵效率值 η_s 及该试验条件下的 Re_1 ，按照以下公式 (A. 6) 求出多变效率，再按照公式 (A. 7) 确定K值。

$$\eta_s = \frac{\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\pi^{\frac{k-1}{k} \cdot \frac{1}{\eta_p}} - 1} \dots\dots\dots (A. 6)$$

$$K = \frac{1-\eta_p}{Re_1^{-n}} \dots\dots\dots (A.7)$$

A.2 质量流量修正

在第一级发生流量堵塞的条件下，质量流量修正关系式见公式（A.8）：

$$\left(\frac{t}{x}\right) \frac{Q_A - Q_A^*}{Q_A^*} = f(Re_2) \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

t ——叶片槽道喉部宽度（图A.1），m；

x ——从叶片前缘到喉部距离（图A.1），m；

Q_A^* —— Re_2 为 10^5 的轴向质量流量函数；

Q_A ——轴向质量流量函数，按下式计算：

$$Q_A = \frac{G\sqrt{T_1^*}}{A \cdot p_1^*} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

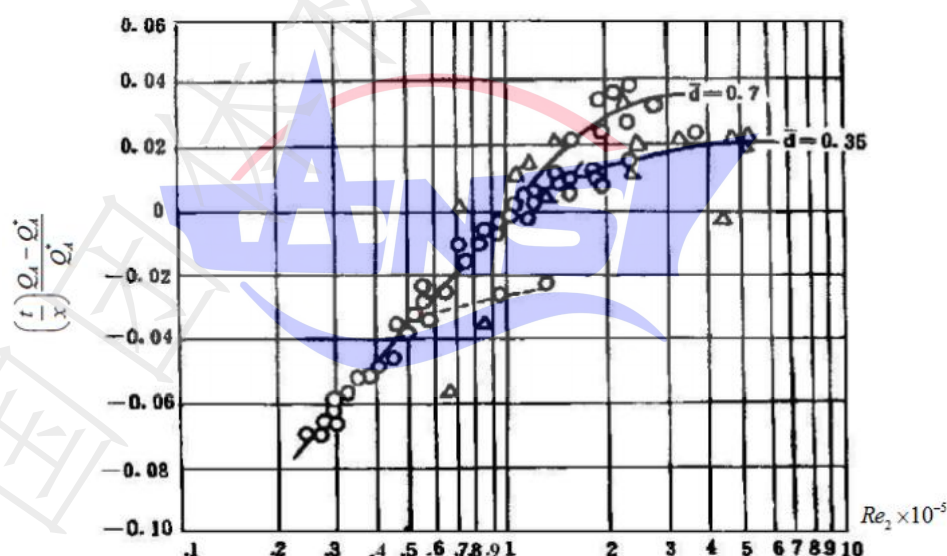
G ——质量流量，单位为kg/s；

A ——环形通道面积，单位为 m^2 ；

p_1^* ——压气机进口总压，单位为Pa；

T_1^* ——压气机进口总温，单位为K。

质量流量修正曲线见图A.4。



图A.4用于雷诺数修正的质量流量修正关系曲线

用于质量流量修正的雷诺数 Re_2 按公式（A.10）计算：

$$Re_2 = \frac{W_1 X \rho_1}{\mu_1} = Re_1 \left(\frac{x}{b}\right) \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

W_1 ——第一级动叶中径处进口气流相对速度，单位为m/s；

ρ_1 ——第一级动叶中径处进口气流密度，单位为kg/m³；

μ_1 ——第一级动叶中径处进口气流动力粘性系数，单位为Pa·s；

x ——第一级动叶中径处从叶片前缘到喉部距离（图A.1），单位为m；

b ——第一级动叶中径处叶片弦长，单位为m。

由于压气机中气体的实际流动为三维流动，所以进口轮毂比（ $\bar{d}$ ）对图A.4中的修正曲线有影响，当 Re_2 大于10⁵以后，对应不同的进口轮毂比（ $\bar{d}$ ），其修正曲线不同。

A.3 压比修正

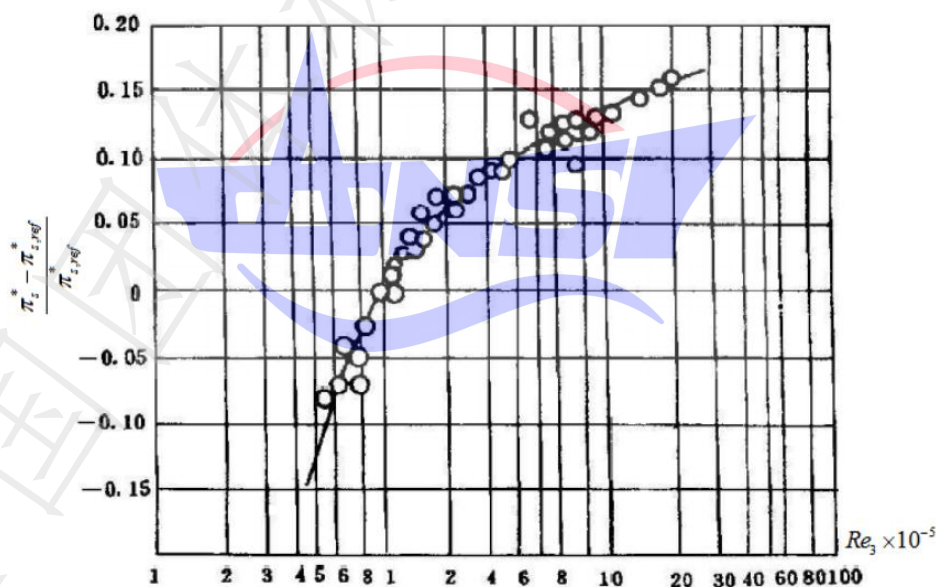
设点a是自模区内某转速下的状态点，点b是非自模区内同一转速下的相似状态点，当雷诺数由 $(Re)_a$ 下降到 $(Re)_b$ 时，在新的折合流量和管道阻力不变条件下，相似点a和b的压气机加功量是相等的，见公式（A.11）：

$$c_p \frac{\Delta T^*}{T_1^*} = \left(\frac{\pi^{*k} - 1}{\eta_s} \right)_a = \left(\frac{\pi^{*k} - 1}{\eta_s} \right)_b \dots\dots\dots (A.11)$$

由点a的等熵效率 η_s 、总压比 π^* 可求出加功常数 $c_p \frac{\Delta T^*}{T_1^*}$ ，进而由 c_p 及点b的等熵效率 η_s 求出点b的总压比 π^* 。

A.4 稳定工作极限压比修正

用图A.5的关系曲线修正雷诺数对稳定工作极限压比的影响。



图A.5用于雷诺数修正的稳定工作极限压比修正关系曲线

图A.5中， π_s^* 为 Re_3 对应的稳定工作极限压比， $\pi_{s,ref}^*$ 为 $Re_3=1 \times 10^5$ 条件下的稳定工作极限压比， Re_3 按公式（A.12）计算：

$$Re_3 = \frac{C_a h \rho_1}{\mu_1} = Re_2 \left(\frac{h}{x} \right) \cos \xi \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

C_a ——压气机进口平均轴向速度 (图A.1), 单位为m/s;

ρ_1 ——第一级动叶中径处进口气流密度, 单位为kg/m³;

μ_1 ——第一级动叶中径处进口气流动力粘性系数, 单位为Pa·s;

h ——第一级动叶进口环形高度 (进口叶高), 单位为m;

x ——第一级动叶中径处从叶片前缘到喉部距离 (图A.1), 单位为m;

ξ ——第一级动叶中径处叶片安装角 (图A.1), 单位为°。



附录 B

(资料性)

船用燃气轮机压气机性能试验报告的格式及内容

B.1 概述/前言

B.1.1 试验任务来源

描述试验任务来源、试验项目背景、试验阶段、合同/研制要求/其他输入条件等。

B.1.2 试验地点、时间、试验器/试验台名称

描述试验地点、时间、试验器/试验台名称等。

B.1.3 试验依据

描述本试验报告的试验依据，包括试验大纲、试验细则、试验方法、试验规程、数据处理的方法、相应的标准及规范、图纸等文件名称及代号。

B.1.4 试验目的及内容

描述试验目的及试验内容。

B.2 试验设备及试验状态

B.2.1 试验设备

描述试验设备结构简图及说明、主要性能参数、简单工作原理、安装状态、明确参试设备与陪试设备等。

B.2.2 试验对象

描述试验对象压气机的结构和气动性能的简要说明（如试验对象压气机是在原型机改进后进行的试验，应描述在设计上的改进前后的主要差异）。

描述试验对象压气机的性能指标及参数等。

B.2.3 试验状态（模化或模拟试验）

针对部件模化或模拟试验，简要描述部件模化、模拟准则，简要描述原型压气机的实际工作状态和压气机试验件模化/模拟试验状态的说明。

B.3 测量系统及数据采集

B.3.1 测量系统

叙述内容包括：测量系统图、用简图或表格说明测点布置、参数测量方法。

B.3.2 数据采集

叙述内容包括：数据采集方法、校准方法、参数测量精度。

B.4 试验过程

简要描述试验对象的总装完成时间、上台架时间、调试时间等。

简要描述每日或每阶段的试验内容、试验情况，可采用表格形式简单记录。

B.5 调试运行

B.5.1 试验前检查、静态调试及动态调试

简要描述测试系统、监控系统及试验设备的试验前检查结果、静态调试结果及动态调试结果。

B.5.2 试运行

描述测试系统、监控系统及试验设备的试运行检查情况。

B.6 试验数据处理与结果分析

B.6.1 试验数据整理

描述内容包括：

- a) 测量参数平均方法；
- b) 性能参数计算公式；
- c) 误差分析。

试验报告中有关参数平均方法、性能参数计算公式和误差分析计算公式，如采用较常规、成熟的或标准规定的方法/公式，可不必给出具体公式。当采用不同于标准规定、新设计的试验方法时，在试验报告中阐明。

B.6.2 试验结果与分析

按试验项目分类给出（折算至规定条件下的）有关性能数据，并绘制各项试验性能曲线及图表；提出对试验结果的分析意见和需要进一步验证的问题和现象。

B.7 结论

描述试验结果与指标/设计参数等的达标情况，给出结论，并对试验对象压气机的性能提出技术评估和改进意见等。

B.8 参考文献

参考文献的书写格式符合GB 7714的规定。

B.9 附件

详细数据或曲线。