

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.02.009

燃气轮机排气缸不同支撑形式对比分析

詹长庚, 郑健生, 余沛垌, 徐希亮, 李祎曼, 谢健

(杭州汽轮动力集团股份有限公司, 浙江 杭州 310022)

摘要:为掌握不同载荷类型作用下不同支撑形式对燃气轮机转子中心位置和支撑板应力的差异性,对某型燃气轮机后轴承支撑结构进行建模,经简化得到径向支撑和切向支撑对比模型;根据燃气轮机实际运行工况对计算模型添加约束和载荷,得到转子中心位置和支撑板应力分布,通过对比计算结果得出两种支撑形式的差异;实测长期运行后某型燃气轮机后轴承座相关参数,并对结果进行分析。结果表明:径向支撑具有较好的支撑刚度,而切向支撑在热载作用下具有良好的对中性,且支撑板的应力水平较低。

关键词:排气缸;支撑;燃气轮机;支撑应力;对中性

中图分类号:TK472 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2024)02-0046-04

Comparative Analysis of GT Exhaust Cylinder in Different Supports

ZHAN Changgeng, ZHENG Jiansheng, YU Peijiong, XU Xiliang, LI Yiman, XIE Jian

(Hangzhou Steam Turbine Co., Ltd., Hangzhou 310022, China)

Abstract:In order to understand the difference of gas turbine rotor center and the stress of support plate under the different loads and different support forms, this paper models the gas turbine exhaust cylinder and simplifies it to gain radial support and tangential support models. Constraints and loads are added to the calculation model according to the actual operating conditions of the gas turbine, obtaining the center position of the rotor and the stress distribution of the support plate. The differences between the two support forms are clarified by comparing the calculated results. The parameters of exhaust cylinder bearing seat after long-term operation are measured and their results are analyzed. The results show that the radial support has good support stiffness, and the tangential support can ensure good alignment under thermal load with its plate having low level stress.

Keywords:exhaust cylinder;support;gas turbine;equivalent stress;center alignment

0 引言

在燃气轮机(gas turbine, GT)运行中由于转子高速旋转,其对中性对机组的运行安全影响较大。当转子出现不对中时会影响各轴瓦载荷分配并产生轴振^[1]。而转子支撑的变形是影响转子对中性的的重要因素之一^[2]。

燃气轮机有近 600 °C 排气温度,而后轴承座暴露在排气流道内。为减小排气缸内后轴承座受排气温度的影响,后轴承座均采用支撑板的结构,其结构以切向支撑和径向支撑两种方式最为典型。

文献[3]对某型燃气轮机支撑刚度进行研究,明确了动刚度的计算方法和对转子特性的影响。文献[4]对切向支撑进行结构设计优化,明确了切向支撑在特定工况下的实用性。文献[5]

阐述了排气缸在制造过程中的问题并提出了相关的改进方案。文献[6]从气动性能角度对支撑板外护罩的支撑型线进行了研究,明确了支撑板护罩对燃气轮机性能的重要影响。文献[7]则对出口漩涡结构进行分析,明确了漩涡产生机理和类型。然而鲜有对燃机排气缸两种典型支撑结构在不同类型载荷下应力和应变的研究,排气缸支撑的设计选型依据未明确。因此,对排气缸不同支撑形式的机理展开研究具有重要意义,可为后续排气缸后支撑结构设计提供依据。

1 排气缸结构

燃气轮机排气缸典型结构如图 1 所示,主要由外缸体、内流道和轴承座 3 大部分构成。外缸体和轴承座间由支撑板连接。

不同类型燃气轮机,其支撑板的布置形式存在

基金项目:浙江省“领雁”研发攻关计划项目(2022C01118)

第一作者简介:詹长庚(1990—),男,安徽休宁人,工程师,硕士研究生,研究方向为燃气轮机总体结构设计, zhangcg@htc.net.cn。

差异。西屋机组一般采用切向支撑的形式,而 GE 机组则习惯使用径向支撑,其结构如图 2 所示。

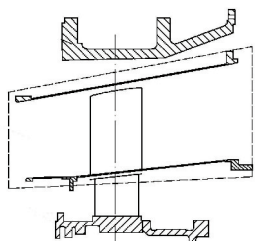


图 1 排气缸典型结构

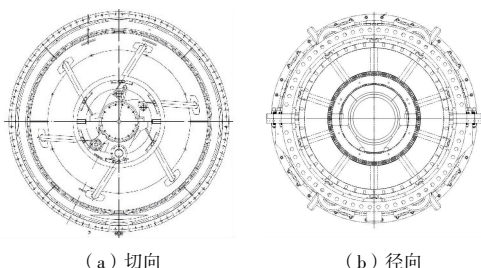


图 2 不同支撑结构型式

2 排气缸计算模型

本文以西屋公司某型燃机排气缸切向支撑结构为基础,按以下条件建立等效径向支撑模型:

- 1) 支撑板焊接位置在同一大小节圆上;
- 2) 支撑板截面变化在同一节圆保持一致;
- 3) 轴承座及相应载荷一致。

因内流道与外缸体挠性连接,对支撑结构无影响,故模型中未考虑内流道模型(图 3)。排气缸外缸体和轴承座均采用铸钢材料,支撑板采用不锈钢材料。排气缸运行工况约束包括:

- 1) 水平中分面处受竖直方向的位移约束;
- 2) 底部位置受切向位移约束;
- 3) 沿气流轴向前垂直法兰限制轴向位移。

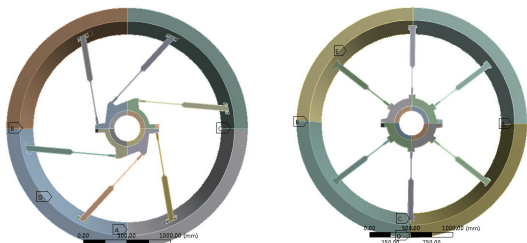


图 3 等效三维模型

本文主要从静载和热载两方面计算两种支撑结构的差异,其中静载为自身重力和转子载荷;热载为运行工况下缸体的温度载荷。

3 切向支撑结构

3.1 热载对支撑影响

不同支撑热载如图 4 所示。

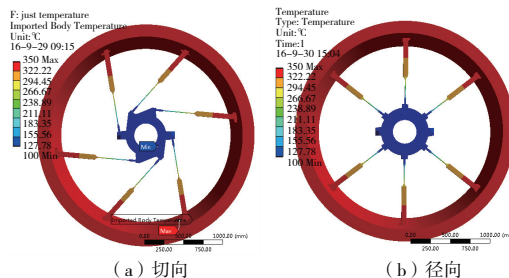


图 4 不同支撑热载分布

在给定热载条件下,切向各支撑板顶点位置的位移如表 1 所示。

表 1 切向支撑热载监测点位移 单位:mm

监测点	y	z	监测点	y	z
A	1.462	0.121	D	-1.460	-0.125
B	0.997	-1.075	E	-0.999	1.077
C	-0.251	-1.450	F	0.244	1.448

表 1 中 y 方向表示竖直方向,平均位移 $-2.33 \mu\text{m}$, z 方向为水平方向,平均位移 $-1.33 \mu\text{m}$ 。表中 A 点—F 点分别表示轴承座逆气流方向看最左开始顺时针 6 个点。从表 1 可以看出,在热载作用下,切向支撑 y/z 方向变形量在 $2 \mu\text{m}$ 左右,说明切向支撑在热载作用下自动调整中心能力较强。轴承座旋转角度大约为 0.24° ,旋转方向为逆气流方向看顺时针方向。

从图 5 中的等效应力和总变形可以看出,支撑板应力最大约为 110 MPa 。总变形中外缸受高温影响自身变形较大,而内轴承座整体变形小。

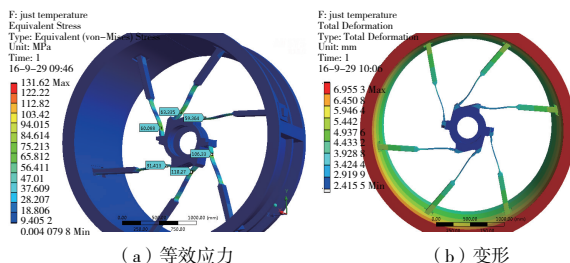


图 5 切向支撑热载缸体等效应力及变形

3.2 静载对支撑影响

根据实际工况,不同模型静载及约束如图 6 所示。

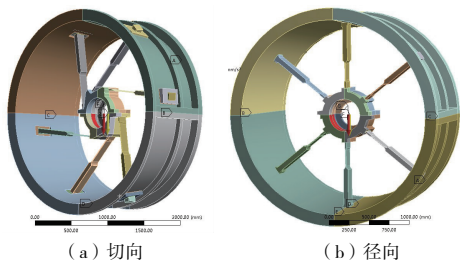


图 6 静载及约束

切向支撑计算得到的监测点位移数据如表 2 所示。

表 2 切向支撑静载监测点位移 单位:mm

监测点	y	z
A	-0.141	-5.42×10^{-2}
B	-0.147	-2.98×10^{-2}
C	-0.136	-2.97×10^{-2}
D	-0.143	-1.01×10^{-2}
E	-0.164	-3.69×10^{-2}
F	-0.176	-2.48×10^{-2}

从表 2 可以看出,重力场及转转载荷作用下,轴承座中心在该方向发生了 0.3 mm 的变形,水平方向发生了 62 μm 的变形。

从图 7 等效应力可以看出,支撑板应力最大在 40 MPa 左右。总变形外缸变形较小,内轴承座受转转载荷变形较大。

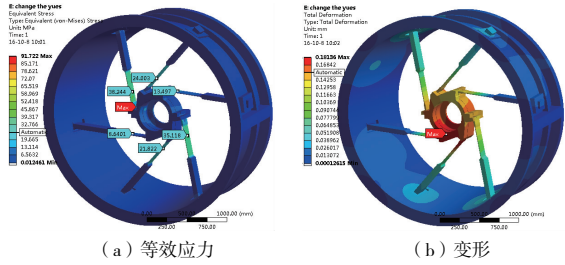


图 7 切向支撑静载缸体等效应力及变形

4 径向支撑结构

4.1 热载对支撑影响

径向热载作用下(图 4)径向支撑结构经计算得到的监测点位移数据如表 3 所示。

表 3 径向支撑热载监测点位移 单位:mm

监测点	y	z	监测点	y	z
A	-0.381	0.189	D	0.364	-0.183
B	-0.082	0.431	E	0.080	-0.434
C	0.257	0.313	F	-0.278	-0.316

从表 3 可以看出,在热载作用下,轴承座在 y 方向变形为 13.5 μm,比切向支撑大 5 倍。

从图 8 可以看出,支撑板整体应力较大,应力值约 400~600 MPa。总变形外缸较大,内轴承座变形较小。

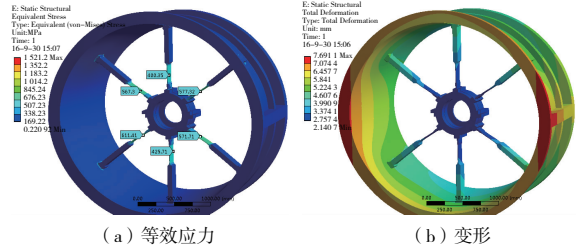


图 8 径向支撑热载缸体等效应力及变形

4.2 静载对支撑影响

根据轴承座的实际工况(径向受载如图 6 所示),径向支撑结构的监测点位移数据如表 4 所示。

表 4 径向支撑静载监测点位移 单位:mm

监测点	y	z
A	-9.74×10^{-2}	8.20×10^{-4}
B	-8.06×10^{-2}	1.27×10^{-4}
C	-9.75×10^{-2}	4.07×10^{-4}
D	-9.66×10^{-2}	-5.71×10^{-3}
E	-11.7×10^{-2}	-9.00×10^{-5}
F	-9.63×10^{-2}	5.89×10^{-4}

从表 4 可以看出,在静载作用下缸体主要是沿着 y 方向发生变形,静载作用下轴承座中心在该方向发生了 195 μm 的变形。

从图 9 可以看出,支撑板应力较小,在 40 MPa 内,总变形外缸变形较小,内轴承座由于受载荷变形较大。

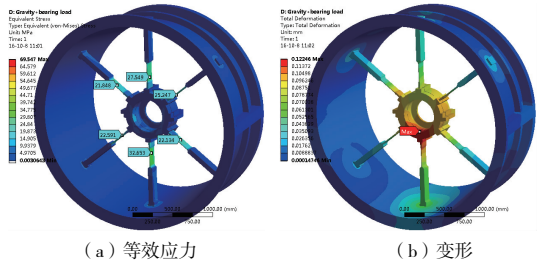


图 9 径向支撑静载缸体等效应力及变形

5 后轴承座实测数据

西屋公司某款燃气轮机长时间运行后,现场排气缸如图 10 所示。



图 10 长期运行的排气缸

为测量轴承座相对缸体发生的变形情况,在立式机床上以进气法兰端面(A基准)找平,通过排气缸水平中分面(B基准)作为零平面,测量排气缸轴承座两侧变形,其中沿气流方向左侧为P,右侧为Q,如图11所示。

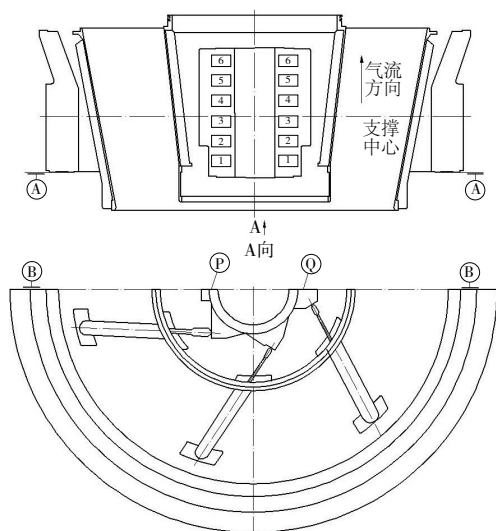


图 11 下半排气缸检测图

机床测量数值如表5所示。数据整体呈现为:

1) 基于位置3数据,轴承座中心下沉量为0.18 mm,切向支撑受静载作用时计算数值为0.3 mm,长期运行后轴承座中心变形在计算数值范围内;

2) 沿气流方向,位置4—位置6变形左侧较右侧大出约50 μm ,呈现沿气流方向左低右高的状态,说明轴承座出现了顺气流方向逆时针旋转的趋势,与理论分析结果一致。

表 5 轴承座中分面相对位移 单位:mm

侧向	位置					
	1	2	3	4	5	6
P	-0.25	-0.21	-0.18	-0.14	-0.08	-0.03
Q	-0.29	-0.22	-0.17	-0.10	-0.04	+0.02

6 结语

经上述分析,两种支撑结构特性总结如下:

1) 在热载作用下,两种支撑形式对轴承座的中心影响都在微米级,但切向支撑使得轴承座可以绕着中心旋转,大大降低了支撑板的应力,其应力仅为径向支撑的20%;

2) 在静载作用下,因切向支撑数值方向刚度差,切向支撑径向位移比径向支撑大约50%,两种形式支撑板最大应力基本一致;

3) 在燃气轮机运行条件下,静载引起的支撑板应力在40 MPa左右,热载带来的应力水平是静载的3~15倍;

4) 径向支撑在长期运行后,其轴承座水平中分面呈现出与计算趋势一致的变形,即轴承座呈现沿气流方向左低右高的状态,且出现中心下沉。

综上,切向支撑在降低热载作用下支撑板应力和调整轴承座对中性有较大优势,但受刚度影响对静载变形抵抗力较弱。径向支撑则相反,对静载变形抵抗力较强,但受热载时不能保证轴承对中性,且支撑板应力水平偏高。因此,燃气轮机排气缸支撑设计时,应平衡支撑对中性及支撑板应力水平,选择最为合理的支撑形式。

参考文献:

- [1] NELSON H D, MCVAUGH J M. The dynamics of rotor-bearing systems using finite elements [J]. Journal of Engineering for Industry, 1976, 98(2): 593-600.
- [2] GHENI M, LIU W B, YU L. Study on dynamic response and the effect to center level height of periodic symmetric struts support [J]. Key Engineering Materials, 2011, 462/463: 1013-1018.
- [3] 汤茂森,荆建平,周惠文,等. 重型燃气轮机支撑结构动刚度计算分析方法[J]. 噪声与振动控制, 2016, 36(3): 38-41, 189.
- [4] 陈开银,买买提明·艾尼. 旋转对称支承板机座参数化设计与结构优化[J]. 汽轮机技术, 2011, 53(6): 419-421.
- [5] 郑红波,买买提明·艾尼,买歌菲热提. 基于S-FEM对局部支撑板机座的表面裂纹分析[J]. 机械制造, 2012, 50(9): 56-59.
- [6] 陈金铨,杨晓平,袁浩,等. 某型燃气轮机排气段支撑型线优化设计研究[J]. 热力透平, 2019, 48(2): 134-138.
- [7] 黄旭,雷雨冰. 航空发动机中介机匣旋涡结构分析[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(3): 213-216.

收稿日期:2022-10-17