

某型6 MW 燃气轮机 IGV 驱动机构改造

骆平平¹, 许铁岩¹, 劳新力², 陈 喆¹

(1. 中国船舶集团有限公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150078;

2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘 要: 针对某型6 MW 燃气轮机进口可转导叶(IGV)驱动机构经常卡涩且动作精度低的问题, 分析了IGV驱动机构中气动、液压驱动和电缸驱动三种方法的优劣。根据实际情况选用最合适的电动驱动机构实施改造, 采用电缸及相关控制系统, 将燃气轮机实际运行数据及出厂数据作为IGV动作的基本依据。对比改造前后IGV动作情况和燃气轮机实际运行数据, 电缸驱动IGV动作误差小于 0.5° , 改造后实际稳定运行超过2 100 h。

关 键 词: 燃气轮机; 进口可转导叶; 压气机; 电缸; 气缸

中图分类号: TK472 文献标识码: A DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2021.12.007

[引用本文格式] 骆平平, 许铁岩, 劳新力, 等. 某型6 MW 燃气轮机 IGV 驱动机构改造[J]. 热能动力工程, 2021, 36(12): 45-48. LUO Ping-ping, XU Tie-yan, LAO Xin-li, et al. Transformation of IGV driving mechanism of a certain 6 MW gas turbine[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2021, 36(12): 45-48.

Transformation of IGV Driving Mechanism of a Certain 6 MW Gas Turbine

LUO Ping-ping¹, XU Tie-yan¹, LAO Xin-li², CHEN Zhe¹

(1. No. 703 Research Institute of CSSC, Harbin, China, Post Code: 150078;

2. Zhanjiang Branch of CNOOC, Zhanjiang, China, Post Code: 524057)

Abstract: Aiming at the problem that the inlet guide vane (IGV) driving mechanism of a certain 6 MW gas turbine is often jammed with poor motion accuracy, the advantages and disadvantages of pneumatic, hydraulic and electric cylinder driving methods in IGV driving mechanism are analyzed. According to the actual situation of this type gas turbine, the most appropriate electric driving mechanism is selected for the transformation, by using the electric cylinder and related control system, the actual operation data and factory data of gas turbine are used as the fundamental basis of IGV operation. Comparing the IGV operation situations and the actual operation data of gas turbine before and after the transformation, it is confirmed that the IGV motion error driven by electric cylinder is less than 0.5° , and the actual stable operation time after the transformation is more than 2 100 hours.

Key words: gas turbine, inlet adjustable guide vane, compressor, electric cylinder, cylinder

引 言

燃气轮机进气流量直接影响其输出功率, 而影响进气流量的主要因素之一是压气机进口导向器或称为进口可转导叶(Inlet guide vane, IGV)的角度^[1]。改变IGV角度既可以调节进入压气机的气

流角度和流量以防止压气机喘振^[2], 又可以在联合循环部分负荷运行过程中降低进气量以提高排气温, 最终提高联合循环装置总热效率^[3]。

目前对燃气轮机IGV系统的研究主要集中在IGV对燃气轮机性能的影响^[4]、IGV角度对轴流压气机总压畸变的影响^[5], 以及关于燃气轮机整体性能的机械和控制等方面的理论建模^[6-7], 真正落实

到实际应用上较少。

本文分析了各种 IGV 驱动结构的优劣,针对某型 6 MW 级燃气轮机原有 IGV 驱动机构的缺点以及运行过程中发生的故障,进行一系列改造,并投入实用,以期解决原设计的缺陷,并验证新改造设计的 IGV 电动控制精度和稳定性。

1 IGV 驱动类型

1.1 气动驱动

1.1.1 气动驱动机构工作原理

该类型驱动结构采用气动动作筒(气缸)来驱动 IGV,在起动工况和运行工况改善压气机的工作。图 1、图 2 为某型 6 MW 燃气轮机低压压气机通流部分剖面图和 IGV 气动驱动机构图。IGV 由进口导向叶片和转动机构组成。

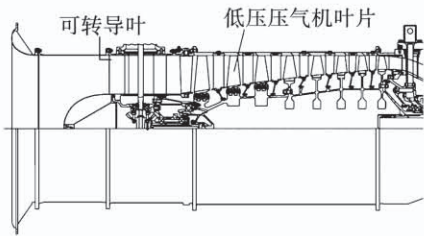


图 1 某型 6 MW 燃气轮机低压压气机通流部分剖面图

Fig. 1 Sectional view of low passage section of a certain 6 MW gas turbine low pressure compressor

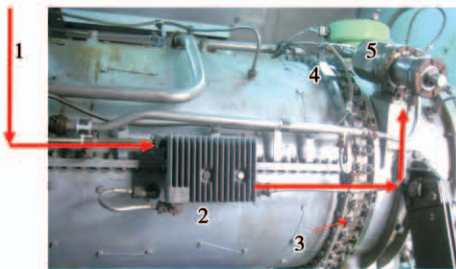


图 2 IGV 气动控制机构

Fig. 2 IGV pneumatic control mechanism

图 2 中,1 为气体从高压压气机入口引至高压压气机出口,2 为净化冷却组件,3 为转动机构,4 为角度指示器,5 为气动动作筒。

进口导向叶片的转动机构被高压压气机引出的气体(冷却后)驱动,同时将所有的进口导向叶片转

动到必要的角度。通过高压压气机出口压力变化来控制 IGV 的动作角度,转动角度由指示器进行监测。净化冷却组件用于净化和冷却从高压压气机进入 IGV 气动作筒的空气。

1.1.2 气动驱动优缺点

优点:结构简单,无须额外供电设备,无需专门的控制程序,涉及其他机械设备很少,可靠性较高。

缺点:气缸寿命较短,且内部易积水,容易出现卡涩,在升降工况时 IGV 动作角度存在 1°~2° 偏差。尤其使用时间较长后,偏差更大,可能会影响燃气轮机工况正常升降。

1.2 液压驱动

1.2.1 液压驱动机构工作原理

液压驱动原理是利用液压缸推动 IGV 连杆机构,从而改变导叶的角度。利用伺服阀等部件控制液压缸的运动,其控制策略为简单的带有角度或行程反馈的 PID 控制^[7]。

1.2.2 液压驱动优缺点

优点:液压驱动技术成熟,控制压力稳定,不存在气动动作筒水汽影响驱动压力的问题。

缺点:液压油系统较为复杂,系统设备多,可靠性降低;且多数液压驱动系统须配备单独的液压油油箱,体积较大,难于布置在燃气轮机箱体内部。

1.3 电缸驱动

1.3.1 电缸驱动机构工作原理

电缸驱动 IGV 原理是使用厂用电为电缸供电,根据编制的程序控制电缸推动 IGV 连杆机构,进而改变 IGV 角度,满足燃气轮机各工况运行需求。

1.3.2 电缸驱动优缺点

优点:电缸一般采用丝杠结构,体积小推力大,控制简便,无气缸卡涩问题,相较液压驱动设备少,系统更为简单可靠。

缺点:电缸驱动相对气缸驱动需事先编制控制程序,软件更为复杂,且设备较气缸多,需额外耗电,使用成本相对较高。

2 IGV 驱动的电动改造案例

2.1 某型燃气轮机运行故障概况

中海油某终端厂使用的某型 6 MW 燃气轮机发

电机组带载约 3 000 kW(实际可带载约 4 500 kW)出现机组低压压气机转速接近限制转速,导致机组输出功率剧烈波动,影响电网稳定,最终只能降工况运行。检查发现该机燃气轮机 IGV 动作不到位,停机后检查发现 IGV 驱动气缸卡涩。

另外,该型燃气轮机运行中多次发生工况升降限制问题,均因 IGV 驱动装置气缸卡涩导致 IGV 动作不到位引起。

虽然根据运行规程对气动动作筒进行清理后,起机测试 IGV 可正常动作,燃气轮机可正常加载、减载,但运行一段时间后仍会出现类似卡涩问题,且该气缸存在使用损耗,运行一个大修周期后气缸稳定性明显变差。因此,对 IGV 驱动机构进行改造是非常必要的。

2.2 IGV 驱动针对性改造

根据三种 IGV 驱动结构优缺点,充分考虑原 IGV 驱动的气缸结构易卡涩,升降工况偏差大的问题,最终选择对其进行电动驱动改造。本改造依据原气动动作筒的工作原理和方式,使用电缸来实现 IGV 角度在各工况的变化,以保证燃气轮机在各工况正常运行。

2.2.1 机械部分改造

将图 2 中气动动作筒(气缸)驱动改为电缸驱动,如图 3 所示,1 为编码器,2 为电缸,3 为限位开关。

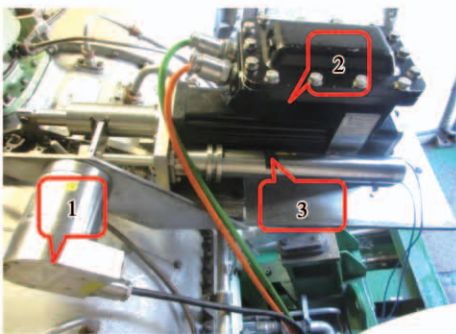


图 3 某型 6 MW 燃气轮机 IGV 驱动装置电动改造实物图

Fig. 3 Real picture of IGV driving mechanism electric transformation of a certain 6 MW gas turbine

其中,机旁电缸机械执行机构主要包括:滚柱丝杠和直流无刷电机等。其主要功能是根据就地控制

箱发出的功率、电流信号驱动电机旋转,电机旋转驱动丝杠伸缩运动,而丝杠前端与推杆连接,推杆的随动伸缩,进而推动 IGV 旋转到预期角度。

电缸动作精度远高于气缸,目前所选用电缸实际动作与指令之间的误差小于 0.1 mm,可避免升降工况时出现 IGV 角度偏差大的问题。

2.2.2 电控系统改造

燃气轮机 IGV 电控系统以电动缸为最终执行机构,根据燃气轮机的运行状态控制 IGV 的角度。IGV 控制系统的改造主要包括增加就地控制箱和对原控制系统软硬件的改造。新改造的 IGV 电控系统均接入 UPS 不间断电源系统,可避免在厂用电系统故障时无法控制 IGV 角度的问题,保证实现对 IGV 的实时无间断控制。

就地控制箱主要包括隔离栅、电源、电机驱动器和散热风扇等。其主要作用是接收从燃气轮机控制系统发出的进气导叶角度命令,并将该命令转换成驱动直流无刷电机的功率电流信号。

原燃气轮机控制系统软硬件改造包括:上位机增加 IGV 相关的数据显示、报警及数据记录等功能;

可编程控制器程序中,增加根据燃气轮机进气温度、低压压气机转速和高压压气机出口压力等信号计算 IGV 的期望角度程序;并增加控制系统与就地控制箱交互信号输出输入处理、报警信号处理等功能;根据交互信号对隔离栅、继电器及 IO 模块等进行硬件改造。

因缺乏该型燃气轮机压气机特性曲线,无法根据曲线确定 IGV 角度变化规律,此次改造从实际运行数据和原 IGV 气动动作筒变化规律总结 IGV 角度的变化曲线。将该曲线写入控制程序,以期燃气轮机运行过程中 IGV 角度按该曲线动作。

3 改造后运行情况

改造后 IGV 角度随功率变化的数据如表 1 所示。新改造的电缸驱动可根据不同工况推动 IGV 动作,其角度反馈值和实际值均与指令角度基本一致,且偏差小于 0.5° ,远低于气缸驱动误差,完全满足实际使用要求。

表 1 IGV 角度随功率的变化

Tab. 1 Variations of IGV angles with the power

输出功 率/MW	IGV 指令角 度/(°)	IGV 反馈角 度/(°)	IGV 实际角 度/(°)
1.5	-9	-9.48	-9
2.0	-5.41	-5.93	-5.5
2.5	-1.68	-1.94	-2
3.0	1.92	1.89	2
3.3	3.82	3.94	3.5
3.6	5.76	6.01	5.5
3.9	7.44	7.78	7
4.1	8.5	8.76	8.5
4.3	9.44	9.8	9.5
4.5	10.68	11.12	10.5
4.6	11.11	11.47	11
4.3	9.36	9.68	9
4.1	8.25	8.5	8.5
3.9	7	7.25	7
3.6	5.18	5.31	5
3.3	3.54	3.59	3
3.0	1.64	1.63	1.5
2.5	-1.76	-1.98	-2
2.0	-5.29	-5.78	-5.5

紧急停机过程中 IGV 角度反馈曲线如图 4、图 5 所示。其中:IGVFB 为可转导叶指令角度,IGVREF 为可转导叶反馈角度,GQ010 为机组输出功率。在高工况(3.5 MW)紧急停机甩负荷过程中,IGV 可迅速回归 -9° 初始位置,满足机组甩负荷 IGV 动作要求。

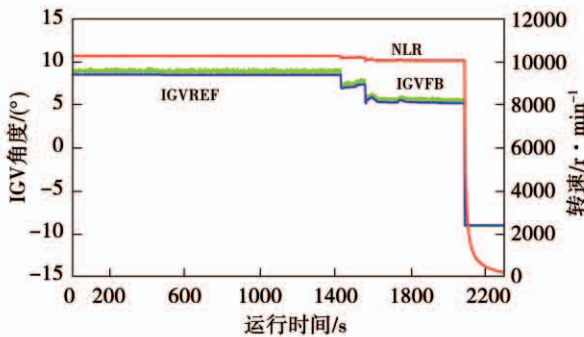


图 4 紧急停机过程 IGV 随低压转子转速的变化
Fig. 4 Variations of IGV angles with low pressure rotor speeds during emergency shut down

截止 2020 年 4 月 28 日,改造后该型燃气轮机已实际运行超过 2 100 小时,IGV 动作精确度未发

生变化,可稳定运行。

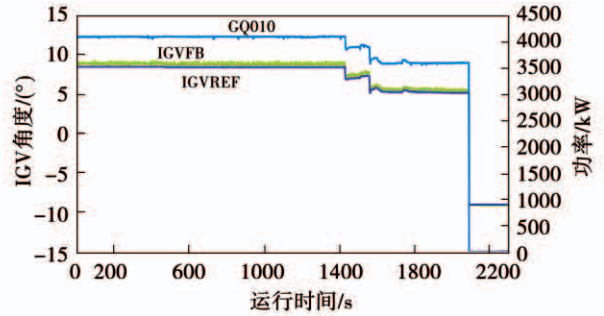


图 5 紧急停机过程 IGV 随功率的变化
Fig. 5 Variations of IGV angles with the power during ESD

4 结 论

- (1) IGV 动作角度在全工况范围内及工况升降过程中均更加精准,不存在卡涩情况;
- (2) 可实现高工况紧急停机时 IGV 迅速动作,无卡涩;
- (3) 现场运行情况验证了 IGV 电动改造可长时间稳定运行,满足实际运行需求。

该型燃气轮机 IGV 驱动电动改造是国内首次在国产集成配套燃机上的成功应用,为后续其他机型的 IGV 驱动机构电动改造提供经验和参考。

参考文献:

[1] 高沃鲁哈 A. B. T71108222 PЭ 发动机 ДТ71ПБ. 1 运行手册 [M]. 乌克兰:曙光-机械设计 国有企业燃气轮机制造科研生产联合体,2011.
GOVORUHA A. B. T71108222 PЭ engine ДТ 71 П 3.1 operation manual [M]. Ukraine: Zorya-Mashproekt Gas Turbine Research and Development Complex, 2011.

[2] 林 瑛. MS6001 燃气轮机机组进口导叶的控制 [J]. 发电设备, 2007, 2: 113 - 115.
LIN Ying. Control of inlet guide vane of MS6001 gas turbine unit [J]. Power Generation Equipment, 2007, 2: 113 - 115.

[3] 张 亮,王炳栋,李文刚,等. 燃气轮机压机机可调进口导叶技术浅析 [J]. 化肥设计, 2011, 49(6): 21 - 22.
ZHANG Liang, WANG Bing-dong, LI Wen-gang, et al. Analysis on the technology of gas turbine compressor adjustable inlet guide vane [J]. Chemical Fertilizer Design, 2011, 49(6): 21 - 22.

[4] 朱 伟,莫广明,罗国康. 进口导叶片温度控制对机组运行的影响 [J]. 广东电力, 2011, 24(4): 90 - 92.
ZHU Wei, MO Guang-ming, LUO Guo-kang. Influence of inlet guide vane temperature control on unit operation [J]. Guangdong Electric Power, 2011, 24(4): 90 - 92.