

## 辅助动力装置自动持久试车研究

刘丹宁 吴海浩

中国航发湖南动力机械研究所, 湖南 株洲 412002

[摘要] 针对某航空发动机辅助动力装置持久试车的技术要求, 详细介绍了试验车台电气系统自动控制的工作原理和实现方式。采用可编程逻辑控制器实现试验所需的各种功能, 可以有效地减少人为操作带来的故障, 解决各功能控制不同步问题, 提高试验质量和效率。

[关键词] 辅助动力装置; 电气系统; 自动控制

DOI: 10.33142/ec.v4i6.3856

中图分类号: TH132.46

文献标识码: A

### Research on Automatic Endurance Test of Auxiliary Power Plant

LIU Daning, WU Haihao

AECC Hunan Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, 412002, China

**Abstract:** According to the technical requirements of a certain aero-engine auxiliary power unit for long-term test, this paper introduces in detail the working principle and realization mode of the automatic control of the electrical system of the test bench. Using PLC to realize all kinds of functions required by the test can effectively reduce the faults caused by human operation, solve the problem of asynchronous control of various functions and improve the quality and efficiency of the test.

**Keywords:** auxiliary power unit; electrical system; automatic control

辅助动力装置(以下简称 APU)可为飞机环控系统和主发动系统提供压缩空气, 也可驱动交流发电机(飞机附件)为飞机提供交流电<sup>[1]</sup>。某所研制的某型 APU 在车台试车的电气系统控制主要分为电子控制器(ECB)指令、发电负载调节、引气阀调节、导叶角度(简称 IGV)调节等四部分内容。目前试车每个部分均须安排人员进行手动操作, 并监视各个系统的试验参数。这种手动试验的方式在试验过程中可能会出现人为操作不当造成发动机、设备损坏等情况。尤其是 150 小时、60 小时等持久试车中, 不仅需要大量的人员参与, 且对操作人员的技能要求高。为了减少人为因素造成发动机故障、车台设备损坏, 提高试验质量, 在车台电气控制系统中设计辅助动力装置自动试车功能有很大的意义。

#### 1 电气控制系统设计

电气控制系统采用 PROFINET 和 PROFIBUS 现场总线技术, 组成一个以西门子 S7-300 可编程逻辑控制器(以下简称 PLC)为一类系统主站, 工控机为二类系统主站、触摸屏为系统从站的 PLC 网络控制系统[2]。工控机采用 WINCC 控制软件作用户控制人机界面, 系统可以在工控机上更改 ECB 控制指令参数、交流发电加载负载参数、引气调节参数、IGV 角度调节参数。试验可以按预先编辑好的各控制曲线由 PLC 程序实现自动持久试车功能。同时系统具有控制发动机的起停、状态报警、安全保护停车等安全保护功能。可以为车台控制提供一套安全、可靠、方便的控制系统。

要实现 APU 自动试车程序, 电气系统需要完成 ECB 指令控制、发电负载调节、引气阀调节、导叶 IGV 调节、车台安全保护等控制功能, 如图 1 所示。

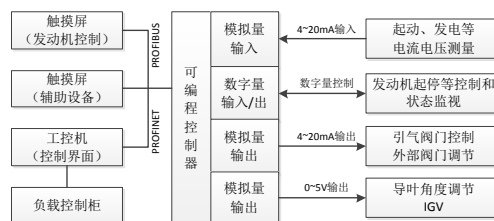


图 1 电气系统控制框图

#### 2 ECB 指令控制

某 APU 采用全权限数字式电子控制系统(FADEC), FADEC 系统由电子控制器(ECB)、燃油控制组件(FCU)、电气附

件等组成。根据车台发送的控制指令,执行相应的控制程序,完成对 APU 的起动、转速、载荷压气机导叶角度 (IGV)、停车电磁活门及防喘活门 (SCV) 等的控制。

ECB 与车台电气系统连接的控制指令如表 1 所示,控制指令可以用按钮或旋钮直接控制和 PLC 通过预设的控制曲线控制。两种控制方式可以在触摸屏上切换选择,当在选择自动控制时,手动控制的按钮、旋钮具有优先权,根据指令可以调节发动机的控制状态,且保证在应急情况下保护发动机安全。

表 1 车台提供给 ECB 的开关量控制信号表

ECB 控制内容	车台实现方法
起动指令	按钮 (组合开关) 和 PLC 控制
停车指令	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
紧急停车	紧急停车按钮和 PLC 控制
主发起动指令	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
起动活门指令	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
空中/地面	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
飞机标识 1	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
飞机标识 2	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
载荷控制活门	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
禁止标识	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
滑油加热器自检使能信号	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
外部 ECB 复位	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
低燃油压力自检使能信号	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
防喘开关	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制
ECS 调节指令开关	两位置旋扭开关 (组合开关) 和 PLC 控制

车台电气系统与 ECB 连接在持久试车中所需的控制指令如表 2 所示。通过 PLC 程序控制指令和接通、断开时间,实现按预设定的控制曲线控制输出到 ECB 的指令时序,实现预先编辑好的持久试车曲线控制 ECB 的指令输入。

表 2 自动控制 ECB 控制指令

ECB 控制内容	控制内容
起动指令	接通起动指令
主发起动指令	T1~T10 控制接通、断开主发起动
载荷控制活门	T11~T20 控制接通、断开载荷控制活门
ECS 环控开关指令	T21~T30 控制接通、断开载荷控制活门
停车指令	T40 时间接通停车

### 3 发电负载箱控制

某 APU 的发电为交流发电,使用三相四线交流发电机为飞机提供交流电。交流发电机由发电控制盒 (GCU) 控制发电, GCU 具有电压自动调节、过压、过流、缺相等保护功能,可以保证发电机在正常情况下运行。发电机发电控制示意图如图 2 所示。

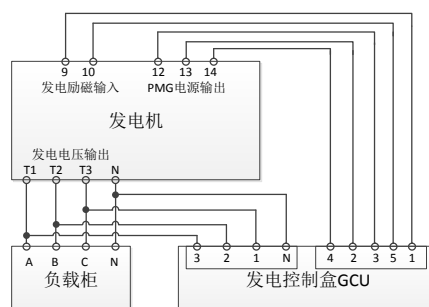


图 2 发电机发电控制示意图

负载加载控制采用准无极调节加载方式,控制精度 3%,调节分辨率为 0.1kVA。负载柜具有本地和远程两种加载方式,本地采用手动调节加载;远程采用与工控机以太网通讯控制加载。在工控机上安装控制软件,软件控制可以手动调节负载功率大小,也可以按用户编辑的负载时间曲线控制负载功率的大小。在软件上可以监视电压、电流、功率、频率等参数,通过在工控机中调用软件可以实现与其他各部分同步控制。

#### 4 引气控制

引气系统调节气动载荷,可以由外部引气阀门调节和 IGV 角度调节两种控制方式实现<sup>[3]</sup>。

IGV 角度调节

导叶角度调节控制气动载荷,对调节的控制要求如下:

直流电压 0~5V 可连续调节;

电压调节精度 0.3%。

采用西门子模拟量高精度电压输出模块控制,可以精确控制导叶角度,PLC 输出电压对应 IGV 的角度值,可实现根据相应试验规律参数来控制导叶角度调节。

外部引气阀门调节

外部引气阀门采用 4~20mA 模拟量控制,控制精度要求能达到 1%,控制采用自动调节和手动调节两种方式,如图 3 所示,自动调节可按用户预设的阀门开度时间参数自动调节。

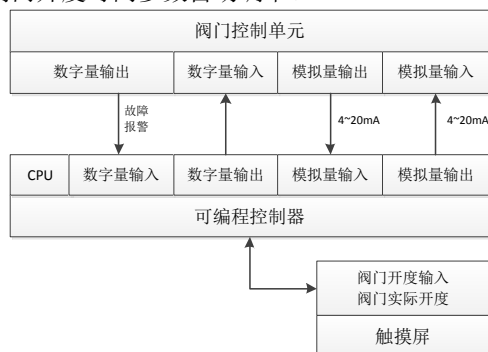


图 3 阀门控制原理图

手动控制通过触摸屏输入阀门需要的开度值,编辑 PLC 程序调节阀门,使阀门达到输入设定值的开度。在触摸屏控制界面上设置粗调、微调按钮,从而实现阀门的调节。

自动控制可以在工控机上根据预先输入的阀门开度时间曲线自动调节阀门开度。时间与阀门开度值可根据用户的需要在工控机的界面上设定参数。在工控机界面上设置微调按钮,可以修正开度曲线。

#### 4 自动持久试车

##### 4.1 APU 试验状态定义

最大载荷

主发启动状态 (MES 状态) 下同时发出 85%电功率,试验时引气调节阀处于全开位置。

最大连续载荷 (额定功率)

环境控制状态 (ECS 状态) 下同时发出 100%电功率,试验时引气调节阀处于全开位置。

空载

既不输出压缩空气也不输出电功率的状态。

中间载荷

输出以最大连续载荷为基数,引气当量功率和电功率载荷同时以相同比例递减。试验时引气调节阀处于全开位置,以导叶角度调节气动载荷。

##### 4.2 自动持久试车实现

根据试验技术要求,操作人员所需要的控制包括输入 ECB 的控制指令、交流发电加载控制、引气阀门控制、IGV 导叶角度调节控制四部分。手动操作会导致控制不同步,且操作复杂,由 PLC 统一控制的控制方式可以很好的解决控

制时间不同步的问题。

以某一试验技术要求为例：

在最大连续载荷状态工作 5min；

在空载状态下工作 5min；

在最大连续载荷状态和最大状态各持续工作 30min；

在空载状态下工作 5min。

根据试验技术要求，在上位机软件中编辑各类设备的控制曲线，如图 4 所示。

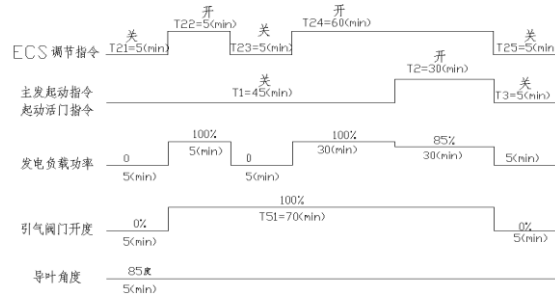


图 4 阀门控制曲线图

按起动按钮开始试验，根据表一 ECB 控制指令，程序按设定的参数自动控制输入 ECB 的发动机控制指令，调节当前试验所需的 IGV 角度，引气阀门的开度，发电加载功率值，完成自动持久试车功能。

## 5 车台保护功能

车台电气系统配置故障保护功能，所有故障通过 PLC 程序锁定，未经复位操作，将不能被消除。系统通过自动或手动控制发动机的停车电磁活门，实现对发动机的保护停车。同时，PLC 由不间断电源（UPS）供电，使系统具有停电保护停车功能。

以下是车台电气系统的主要故障保护功能：

发动机 T4.5 超温保护

试验过程中发动机 T4.5 超温，电气控制系统对发动机进行自动保护停车，操纵台上有相应的指示；

发动机超转保护

试验过程中发动机超转，电气控制系统对发动机进行自动保护停车，操纵台上有相应的指示；

停电保护

试验过程中电网突然停电，电气控制系统对发动机进行自动保护停车，操纵台上有相应的指示；

紧急停车

试验过程中发动机或车台设备出现不可预计的异常情况，操作员可按下台面上的紧急停车按钮，保护发动机停车，操纵台上有相应的指示。

## 6 结论

在某航空发动机辅助动力装置试验中采用自动持久试车，可使发动机控制与试验控制参数同步，并可根据不同的试验技术要求编辑不同的控制曲线，便捷地更改控制参数，减少人为操作所造成的故障，并降低试验的人力成本，提高试验的效率。这种自动控制方法也可运用到其他辅助动力装置发动机试车台上。

### 【参考文献】

[1] 李东杰. 辅助动力装置的应用现状和发展趋势 [J]. 航空科学技术, 2012(6): 7-9.

[2] 李梅. 电气控制与 PLC 应用技术的分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2018(1): 119-119.

[3] 赵祥成, 黄向华. 辅助动力装置导叶调节规律及对性能影响研究 [J]. 推进技术, 2015, 36(4): 540-546.

作者简介：刘丹宁(1989, 12-), 女, 大连理工大学, 电工理论与新技术, 中国航发湖南动力机械研究所, 主管设计师, 工程师；吴海浩(1979, 2-), 男, 湖南工业大学, 电气自动化, 中国航发湖南动力机械研究所, 主任设计师, 高级工程师。