

# 基于飞机发电机测试的电负载控制系统

## Electricity Load Control System Based on Aircraft Power Generator Testing

中国飞行试验研究院 吴晓辉

西北工业大学自动化学院 范蟠果 闫少雄

**[摘要]** 针对某型发电机性能测试需要,采用现代计算机控制技术设计开发了电负载控制系统。根据飞机供电系统性能参数要求和实际设备,采用高速数据采集卡采集发电机电网参数并计算功率,由可编程控制器控制电负载单元,测试特定负载下发电机性能及其对发动机影响。运用多线程技术,提高了系统实时性。经验证,系统满足实际测试要求,运行稳定可靠,测量准确。

**关键词:** 发电机 电负载 数据采集 多线程

**[ABSTRACT]** Electricity load control system for aircraft power generator is designed to meet the actual testing needs. According to the requirements for aircraft power supply system and actual equipment performance parameters, high-speed data acquisition card is used to collect electric parameters and calculate the power, PLC is applied to control the electricity load and test influence of specific load on aeroengine performance. By using the multi-threading technology, the system realizes real-time. It is proved that the system meets to the practical test requirements, and runs stably and reliably.

**Keywords:** Power generator Electricity load Data acquisition Multi-thread

飞机发电机实际应用前,必须进行电气负载和电源容量测试,同时检测发电机过载对发动机影响<sup>[1]</sup>。系统采用特制电热丝作为电负载,测试过程中根据实际用电设备消耗,自动加载电负载,保证试验过程中发电机输出功率稳定。电负载吸收的能量用于加热液态水,水汽化后外排,实现能量消耗。系统既实现了负载的连续加载,又保证能量消耗不对发电机和发动机造成影响。

## 1 系统结构及工作原理

### 1.1 系统结构

系统由负载控制系统、电负载、功率计算系统、蒸发装置和补水排水装置等组成。系统结构如图1所示。

功率计算系统计算发电机输出的实时功率 $W_n$ ,当实时功率与设定功耗的差值 $e$ 超出允许范围时,负载控

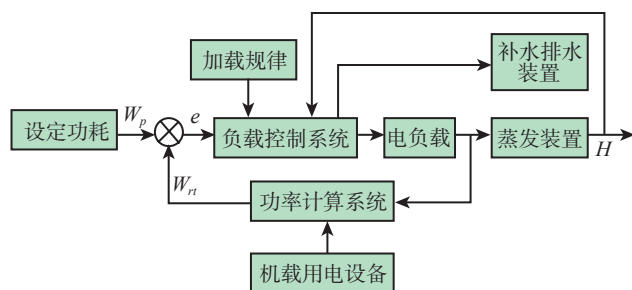


图1 系统结构图

Fig.1 System structure

制系统根据加载规律,加/减载相应数目的电负载,实现负载实时控制。

电负载加载后加热蒸发装置中的液态水,液态水吸收热量汽化外排,蒸发装置中水位下降,低于下限时,负载控制系统控制补水装置对蒸发装置补水。系统紧急时,负载全部卸载,负载控制系统控制排水装置紧急排水。

### 1.2 负载控制

#### 1.2.1 功率计算

系统中用电设备分为2类:机载用电设备和电负载。功率计算系统实时采集发电机输出的三相相电压、相电流,计算发电机输出三相电压有效值、电流有效值、有功功率、功率因数等参数。

为了保证三相电压、电流进行同时测量,采样通道不能少于6路,电压采样频率不低于20MHz,电流采样频率不低于6.67kHz<sup>[2]</sup>。

三相电压有效值计算公式如下所示:

$$U = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m U_j^2}, \quad (1)$$

$$U_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2}, \quad (2)$$

式中, $U$ 为单相平均电压有效值,单位V; $j$ 为采样周波数( $j=1 \sim m, m \geq 100$ ); $U_j$ 为每周波电压有效值,单位V;

$i$  为每周波采样点数 ( $i=1 \sim n, n \geq 50$ );  $U_i$  为每点的电压瞬时值, 单位 V。

三相电流有效值计算公式同上。有功功率计算如下:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u(k)i(k) \quad (3)$$

式中,  $P$  为有功功率;  $u(k)$  为稳态交流电压采样点;  $i(k)$  为稳态交流电流采样点;  $N$  为一个周波内采样点数。

视在功率计算如下:

$$S=UI \quad (4)$$

式中,  $S$  为有功功率;  $U$  为稳态交流电压有效值;  $I$  为稳态交流电流有效值。

功率因数计算如下:

$$\phi = \frac{P}{S} \quad (5)$$

### 1.2.2 负载不平衡

三相用电设备各相的负载和功率因数应尽量相等。在各相电压平衡的情况下, 用电设备负载不平衡应该限制在图 2 所示的极限内<sup>[3]</sup>。当总负载大于 30kVA (1kVA=0.8kW) 时, 用电设备负载不平衡应不大于其三

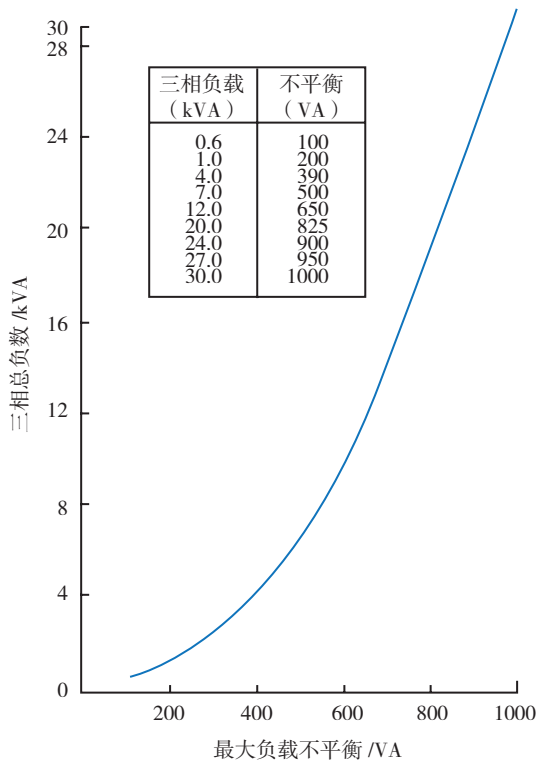


图2 三相用电设备负载不平衡极限

Fig.2 Imbalanced load limit of three-phase current collector

相总负载的 3.33%。当总负载小于 30kVA 时, 根据图中数据采用 Newton 插值计算负载不平衡极限值, 公式如下:

$$\Delta P_{\max} = f(P_0) + f[P_0, P_1] (P - P_0) (P - P_1) + \dots + f[P_0, P_1] \dots P_n (P - P_0) (P - P_1) \dots (P - P_n) \quad (6)$$

当负载不平衡功率  $\Delta P > \Delta P_{\max}$  时, 卸载全部电负载。

### 1.3 蒸发耗能及补水排水

电负载加载后, 由于长时间通过大电流, 产生大量的热量。系统采用电负载加热液态水, 液态水汽化后排出飞机的方式, 将电负载通电后产生的热量消耗, 保证电负载的长期稳定工作。

蒸发罐组补水排水装置如图 3 所示。电负载过程中, 随着水蒸气的外排, 蒸发罐水位下降, 当水位低于下限时, 补水箱通过补水泵向蒸发罐组补水<sup>[4]</sup>。

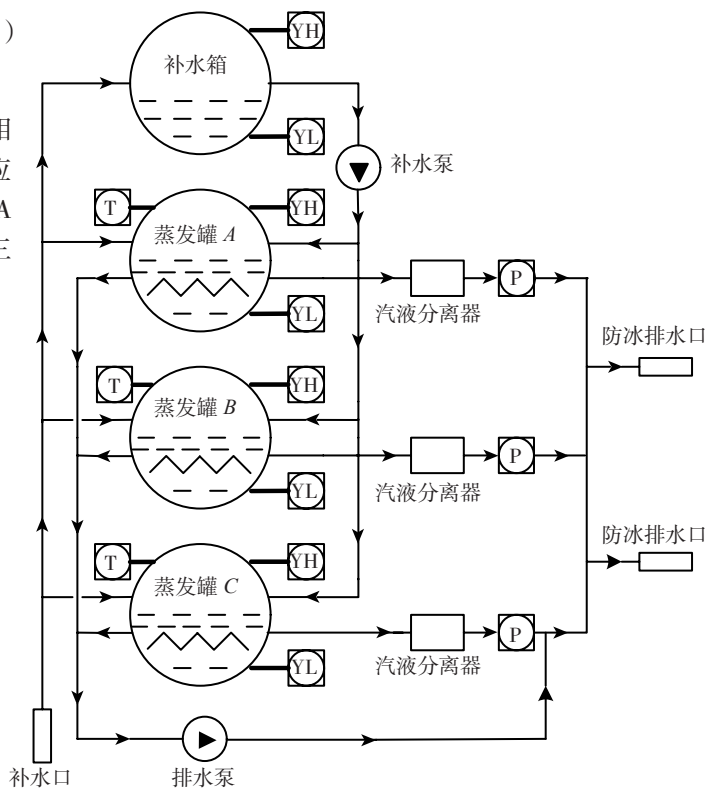


图3 蒸发罐组补水排水装置

Fig.3 Water make-up and drainage system of evaporation tank battery

## 2 硬件结构

系统主要由工业计算机、可编程控制器、PCI 数据采集卡、电流互感器、温度压力变送器、液位开关和补水泵、排水泵等组成。硬件结构如图 4 所示。

## 3 数据采集

采用 C++ Builder 编写上位机软件, 数据采集程序主要包括设置采集卡地址、选择采样通道、设置采样频

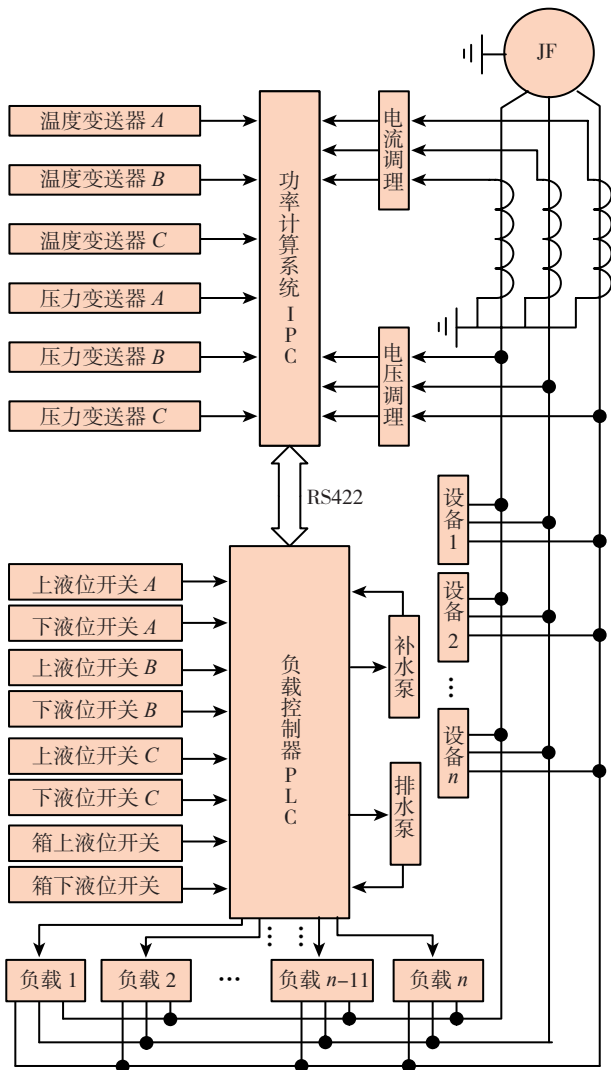


图4 System hardware structure

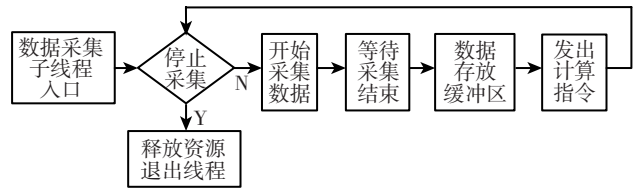


图5 数据采集模块流程图  
Fig.5 Flow chart of data acquisition module

向 PLC 发送命令格式如图 6 所示。

始	命令	首地址	位数	数据			终	和校验
STX	CMD	GROUP ADDRESS	BYTES	1ST DATA	2ND DATA	..... LAST DATA	ETX	SUM

图6 计算机向PLC发送命令格式  
Fig.6 Command transmission format form computer to PLC

PLC 返回 ACK=06H (PLC 给上位机返回值) 表示接受正确, 返回 NAK=15H (PLC 给上位机返回值) 表示接受错误。

利用 MSComm 控件实现上位机和 PLC 的通信。首先添加 MSComm 控件, 控件属性在程序中设置, 代码如下:

```

MSComm1->CommPort=1;// 设置串口号为 COM1;
MSComm1->InputMode=1;// 设置串口传入数据为二进制;
MSComm1->Settings="9600,E,7,1";// 设置串口参数;
MSComm1->InBufferSize=512;
MSComm1->OutBufferSize=1024.
    
```

通信参数为波特率 9600b/s, 7 位数据位, 1 位停止位, 偶校验, 站号 0。PLC 程序设置如图 7 所示。

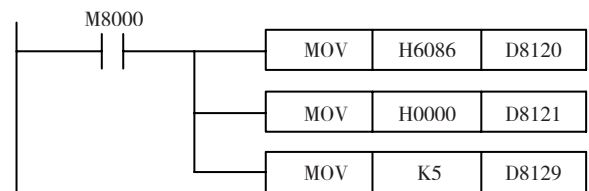


图7 PLC程序设置  
Fig.7 PLC procedure

率、采样方式选择、数据增益等, 系统采样 DMA 方式进行数据传送。

具体实现过程如下: 调用 P1202\_DriverInit、P1202\_ActiveBoard、P1202\_SetChannelConfig 等函数完成采集卡采样通道、采样频率和采样方式等设置, 采集卡进入待机状态, 当操作人员发出采集命令后, 数据采集、功率计算线程创建并启动, 数据采集子线程调用 P1202\_Adspolling 函数, 读取采样结果, 一轮采集完成后调用 Set Event 函数向功率计算子线程发出指令, 并开始下一轮的采集, 数据采集模块流程如图 5 所示。

#### 4 通信

系统中上位机 IPC 和下位机 PLC 通过 PLC 的编程口进行通信。向 PLC 的 D 存储器写入数据时, 计算机

上位机程序在 Timer1 组件 OnTimer 事件的消息相应函数 Timer1Timer ( ) 中实现数据的连续发送和接收。根据命令格式, 实现上位机和 PLC 通信。

#### 5 PLC 加载控制

负载采用级联递进式加载, 避免电网冲击过大。为

了保证加载实时性,采用条件式控制,各组负载单独控制,满足条件自动加载<sup>[5]</sup>。

当负载超过 100% 时,加载时间受限,从满足 100% 的那组负载开始进行时间监控,当时间超限时,紧急卸载所有负载,并报告时间超限错误超载时间的控制变化如图 8 所示<sup>[6]</sup>。

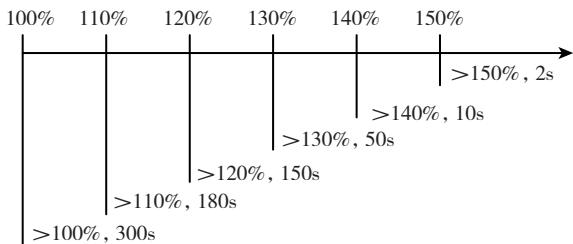


图8 超载时间控制  
Fig.8 Overload timing control

## 6 结论

选取不同的设定功率,根据实际条件进行试验,验证系统设计。图 9 为发电机输出功率为额定功率 80% 时的负载曲线。分析负载曲线可知,试验过程中,发电机实际输出功率始终在设定功率要求范围内,满足实际要求。

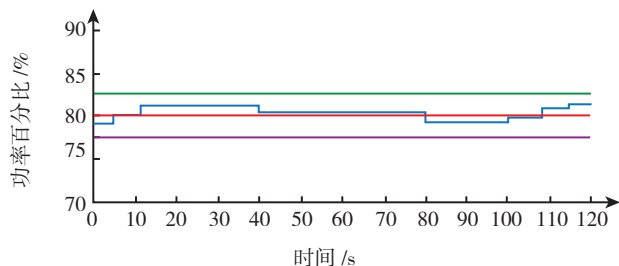


图9 额定功率80%时负载曲线  
Fig.9 Load curve at rated power 80%

## 参考文献

- [1] 楼仁熊. 飞机电气负载和电源容量分析. 民用飞机设计与研究, 2002(1):27-30.
- [2] 飞机供电系统性能参数的数字测试. HB6448-1990, 中华人民共和国航空航天工业部航空工业标准.
- [3] 飞机供电特性. GJB181A-2003, 中华人民共和国国家军用标准.
- [4] 李晖, 范蟠果, 徐建设. 飞机重心自动控制系统设计. 计算机测量与控制, 2006.14(11):1483-1484.
- [5] 曹卫彬等. C/C++ 串口通信典型应用实例编程实践. 北京: 电子工业出版社. 2009.
- [6] 荆涛, 范蟠果, 徐建设. 基于 PLC 的机载发电机试验负载控制系统. 测控技术, 2005,24(5):61-63.

(责编 小城)

(上接第 68 页) 严格区别, 单点相连, 防止地线相互干扰; 并对电源设计成宽电压输入, 增加滤波及瞬间抑制等保护电路。系统采用自诊断技术, 通过硬件的配置和软件技术, 及时发现故障, 实现故障隔离。

## 5.3 环境可靠性验证

控制盒设计完成后, 按照系统及国军标要求, 严格进行了如下环境试验: 环境应力筛选、高温试验、低温试验、寿命试验、振动试验、冲击试验、温度-高度、加速度、盐雾、沙尘、湿热、电磁兼容性等。控制盒的各项性能指标均满足本身技术及系统要求。

## 6 结束语

可靠性分配与预计是电子设备可靠性设计的重要环节, 本课题通过对控制盒的可靠性分析、分配, 使用元器件可靠性预测法对控制盒及各部件进行了预计, 并从质量保证、抗干扰技术、环境试验等方面来提高控制盒整体可靠性。

通过分析及验证, 该型号控制盒的可靠性设计合理、运行稳定, 满足系统及主机的要求, 可以可靠地投入使用。

## 参考文献

- [1] GJBZ299C-2006. 《电子设备可靠性预计手册》. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2007.

(责编 小颖)

(上接第 80 页)

## 5 结束语

本系统通过 VB6.0 编程和调用 CATIA API 函数, 完成了渐开线直齿轮的参数化三维造型, 避免了手工造型的复杂性, 保证渐开线齿轮造型的精确性和快速性, 减轻设计工作量, 提高设计效率, 具有一定的实用价值。同时, 对输入的不合理参数进行错误提示, 提高了齿轮设计的准确度。在后续的工作中, 我们还将针对齿根圆参数的引入进行进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 尤春风. CATIA V5 机械设计. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 杨昌明. 基于 AutoCAD 的齿轮造型方法研究. 工程图学学报, 2005(1):104-106.
- [3] 孙桓, 陈作模. 机械原理. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] 胡挺. CATIA 二次开发技术基础. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] 罗朝胜. Visual Basic 6.0 程序设计教程. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

(责编 侧卫)