

[电源系统]

某型直升机电源系统常见故障及检测排除

文/张 宇

武警第二机动总队直升机支队

随着直升机在军事方面的广泛运用，在实战中取得了飞跃的发展，直升机的电源系统常见故障及检测排除尤为重要。通过对某型直升机电源系统中直流电和交流电所涉及的故障进行分析，通过数据检测、文献分析得到蓄电池、发动机在运行前、运行中的诊断策略，从而使某型直升机在正常运作时得到更可靠的保障。

某型直升机是一种具有典型性、特殊性的多电飞行器，其机载电源系统的典型特征为交直流混合供电。机载电源系统主要包括应急电源、直流起动发电机及其控制器（直流GCU）、配电设备、二次电源、交流发电机及其控制保护设备等部分。电源系统中任一模块、组件的故障都可能对直升机的飞行安全造成极坏的负面影响，例如机上发电机过电流时出现发电机脱网的情况，对开展正常作业的直升机影响颇大。因此及时排除有关故障，定期开展电源系统全方位维护尤为重要。

目前某型直升机电源系统由主供电系统和辅助供电系统组成。中主供电系统是直流起动发电机的27 V直流供电系统；辅助供电系统是由交流发电机的三相115 V/400 Hz的交流电、应急电源（蓄电池）的27 V直流电和辅助电源（APU）的三相115 V/400 Hz交流电组成的系统。直流发电机、交流发电机提供所有负载的能源；应急电源（蓄电池）作为独立的电源设备，能够在直升机主电源失效时向机上重要设备供电；辅助电源是发电机不运转时可以用于供电的一套装置；发电机控制器作为电源系统必不可少的重要部件，在发电品质（频率、电压）出现问题时，能够断开发电机和电网的连接，保护发电机并隔离故障。

某型直升机机载电源系统故障分类

某型直升机电源系统故障可分为两个方面：直流供电故障和交流供电故障。直流电提供机上所有负载的能源，当直流供电出现故障时，几乎所有用电设备都失去功能，容易影响飞行安全；交流电是给部分导航、通信设备提供能源，当交流供电出现问题时，导致对外通联不顺畅、导航不准的情况发生。供电故障一般对外表现为无输出电流、过电压、欠电压、过电频、欠电频、反极性、相位紊乱、缺少某相电源及相序异常跳变等等。因电源系统较为繁杂，本文开展对电源系统几种常见故障的分析及排除方法研究。

1. 直流电源

直升机上的直流电源系统包括高品质可充电GNC28-(2)航空镉镍蓄电池电源系统、QF-12N直流起动发电机电源系统。

蓄电池系统包括蓄电池组、蓄电池开关、蓄电池接触器、蓄电池辅助继电器及难熔熔断器。直流起动发电机电源系统包括起动发电机、发电机控制器、直流接触器及分流器。

2. 交流电源

某型直升机上的交流电源系统包括交流发电机电源系统、APU辅助交流电源系统。

交流电源系统包括交流发电机、发电机控制器、交流配电盒、电流互感器及交流断路器盒。

APU辅助交流电源系统包括APU交流发电机、APU交流GCU及电流互感器。

直升机电源系统故障诊断策略

1. 蓄电池供电系统

蓄电池供电系统的主要故障是无法接入直升机上电网，出现输出欠电压、输出电流不稳等情况。当蓄电池无法接入机上电网时，首先检查可充电电池的电压，并检查其电量，另外应检查系统工作时直流配电盒内相关继电器和接触器的功能是否正常。

整体的充电态蓄电池组开路电压应不低于25.5 V，单模块蓄电池开路电压应不低于1.27 V。当电压达不到额定值、电量不足及输出电流不稳时，应该检测单体蓄电池的电压是否符合标准。蓄电池是一种在充电时将电能转变为化学能，而在放电时将化学能转变为电能的装置。充放电时正极负极上发生氧化还原反应，并在充电后期或放电时伴随着部分水的电解产生氢气和氧气。

因此，蓄电池在使用过程中，一定量的水耗导致单体蓄电池在充电时达不到额定容量或超出额定容量，导致整体蓄电池电压不符合规范，造成输出电流不稳。此时应该按照相关技术手册，对单体蓄电池组补充电解液或更替单体蓄电池组，排除故障。

当蓄电池组电压符合规范却无法接入时，需要检测蓄电池配电线路上的相关接触器、继电器、熔断器及馈线完好情况，一般采取万用表检测是否导通，检测相关零部件的电子特性是否完好，排除相关零部件出现问题所带来的影响。

2. 直流起动发电机供电系统

起动发电机供电系统的主要故障是无法接入直升机上电网。对起动发电机供电系统进行故障诊断，首先对故障成因进行分析，可采用“电流+转矩”的诊断模式，即在发电机电源线上串联电流传感器测量电流，结合从伺服电动机控制器读取到的转矩值开展对伺服电动机的故障状况诊断，分析详情见表1。

1) 发电机一般性检查：①检查各部件防护层的

破损情况；②各部件有无裂纹、断口和压抗，检查磨损摩擦；③螺纹或者花键齿的磨损情况。

表1 直流伺服电机故障分析表

电流传感器输出值	转矩读数	故障类型
大于标准值	大于标准值	过电流且过载
大于标准值	正常或小于标准值	内部短路或控制器出错造成过电流
正常或小于标准值	小于标准值	退磁、接触不良或控制器出错造成转矩减小故障

2) 发电机的特殊性检测：①使用兆欧表检查定子对壳体的绝缘电阻，换向器和轴之间的绝缘电阻检测结果应不低于20 MΩ；②使用万用表检测并激励绕组（发电机接线板上的“A”“E-”之间）的电阻必须为20.15 Ω；③使用万用表检测换向极绕组D、E两端的连通性（正常情况下应导通）；④检查换向器片间是否短路，绕组是否短路或断路。

3) 检测直流GCU、直流接触器及电流互感器的工作状态，因直升机上有三台起动发电机并配套有三套控制保护装置，故一般采取互串的方式判断是否为某个直流GCU、接触器及互感器的故障。

3. 交流配电故障现象及诊断策略

交流供电系统日常维护中容易出现不发电、输出电压低、三相电压不平衡及运行有异常响声等故障现象。在某型直升机上安装的交流发电机和APU辅助电源系统的发电机都为JF-40B，所以这里统一对其故障现象进行分析。

JF-40B发电机为典型的三级无刷交流发电机，由主发电机、励磁机、永磁机、旋转整流器、插座、电流互感器组件及有关结构件等组成。当发电机转子被驱动旋转工作时，永磁机转子随之一起旋转，形成旋转磁场，在永磁机电枢绕组中感应出三相交流电。三相通过电连接器提供给控制器，将交流电整流成直流电提供给励磁机励磁绕组，建立一个磁场随发电机转子一起旋转的励磁机电枢中感应出三相交流电，该三相交流电通过三相半波整流装置整流成直流电并提供给主发电机转子的励磁绕组，在主发电机转子中产生旋转磁场，主发电机电枢绕组感应出三相交流电，供给机上电网。

交流供电系统出现不供电的故障现象时，首先对交流发电机进行检查。

1) 进行一般性检查。①检查发电机表面无机械损伤，锈蚀，漆层皱裂及其他缺陷；②检查所有紧

固件应拧紧保险应正确；③检查转子转动应灵活。

2) 发电机的特殊性检查。①用万用表测试插针AD、BD及CD之间的电枢绕组应为 $(0.02 \pm 0.002) \Omega$ ；②检查插针EF之间的励磁绕组应为 $(6 \pm 0.6) \Omega$ ；③检查插针GH、HJ、GJ之间的电枢绕组应为 $(0.129 \pm 0.013) \Omega$ ；④检查主发电机定子各相绕组、励磁机定子绕组、永磁机各相绕组对壳体之间的绝缘电阻应不低于200 M Ω 。

3) 检测交流GCU、接触器及电流互感器的工作状态，一般采取互串的方式判断是否为某个交流GCU、接触器及互感器的故障。

插针位置及定义见表2。

表2 插针定义

插针	定义
A	电流互感器A相
B	电流互感器B相
C	电流互感器C相
D	电流互感器中线
E	励磁机励磁绕组输入+
F	励磁机励磁绕组输入-
G	永磁机输出A相
H	永磁机输出B相
J	永磁机输出C相

结束语

直升机在军事、农业等各个领域得到越来越广泛的应用，保障直升机的飞行安全，确保正常发挥使用价值，保障飞行人员的安全。作为直升机机载平台中核心关键系统之一，机载电源系统的故障排除要求快速而准确，形成一套行之有效的排故策略是保障直升机快速出动的必然要求。EA

(收稿日期：2022-10-31)

参考文献

[1] 刘伟东, 王佳颖, 赵莹, 等. 直升机电力作业技术研究[J]. 电气时代, 2018, 443(8): 68-70.
[2] 邢志伟, 宋俊达, 文涛, 等. 直升机电力巡检

过程效能评估方法[J]. 计算机仿真, 2021, 38(8): 53-58.
[3] 陈勇刚, 张天来, 孙新, 等. 直升机电力巡检安全提升策略探讨[J]. 民航学报, 2021, 5(3): 20-23.
[4] 彭向阳, 易琳, 钱金菊, 等. 大型无人直升机电力线路巡检系统实用化[J]. 高电压技术, 2020, 46(2): 384-396.
[5] 翟瑞聪, 汪勇, 林俊省. 直升机电力线路自动巡检系统及其应用[J]. 自动化技术与应用, 2019, 38(5): 135-140.
[6] Ngoc Anh Vu, Duy Khang Dang, Tuan Le Dinh. Electric propulsion system sizing methodology for an agriculture multicopter[J]. Aerospace Science and Technology, 2019, 90: 314-326.
[7] 敖文翔, 刘搏, 余荣良, 等. 直升机直流电源转电方法研究[J]. 电子制作, 2021(9): 98-100, 134.
[8] 曹晨媛, 董晓宇, 赖耀祖. 直升机交流发电系统掉电不并网故障分析[J]. 电子技术与软件工程, 2021(4): 213-214.
[9] 罗慕成. 直升机飞控系统供电故障分析[J]. 中国科技信息, 2022(20): 38-40.
[10] 马静宇, 熊俊卿. 某直升机专用电源系统供电特性研究[J]. 通信电源技术, 2019, 36(5): 113-115.
[11] 黎玮, 易芳, 白雪. 一种直升机旋翼测试设备供电系统设计[J]. 中国科技信息, 2019(8): 39-40.
[12] 潘凯岩, 隋向阳, 赵瑞锋. 考虑运行风险的主配协同转供电方法研究与应用[J]. 电气应用, 2020, 39(2): 42-46.
[13] 林星齐, 王彦文, 韩晋阳, 等. 有变频器的低压供电系统漏电闭锁技术[J]. 电气应用, 2021, 40(9): 88-92.