

INDRA 二次雷达变频器运行故障研究分析

翟得龙

中国民用航空中南地区空中交通管理局深圳空管站 广东深圳 518100

摘要：随着民航业的不断发展，雷达管制已经成为改善空域和减少航班延误的重要空中交通管制手段。深圳求雨坛 INDRA S 模式航管二次雷达自 2013 年投运以来，已连续运行 92509.8 小时，为深圳塔台及周边管制用户提供重要监视数据。二次雷达天线系统是整套雷达设备的重要组成部分，深圳求雨坛雷达天线通过两台异步电机提供每 4 秒 1 圈的稳定转速，为保证两台驱动电机同步运行，同时有效避免电机启动时的电流冲击和机械振动，因此两台驱动电机均安装了启动变频器，以通过变频启动的方式来减少电机的损耗和维护成本，提高电机的使用寿命和效率。随着设备的不断老化，自 2023 年 1 月份以来，深圳求雨坛雷达天线电机 1 多次出现故障告警，技术人员检查发现电机 1 启动变频器无电压输出，导致电机 1 出现运行故障告警，本文针对该告警排除和故障器件维修展开论述。

关键词：二次雷达；异步电机；变频启动

1. 雷达变频器故障现象

深圳求雨坛雷达 SLG 监控界面显示电机 1 参数异常，雷达 PCB 天线控制箱面板“电机 1 故障告警灯”亮、“电机 1 运行指示灯”熄灭，如图 1 所示，变频器 1 屏幕显示“INF8”告警，如图 2 所示，但雷达 SLG 远程监控无告警提示。技术人员对雷达天线系统进行检查，发现变频器 1 无电压输出，初步判断变频器 1 故障，重启变频器 1 后，“INF8”告警消除，手动重启电机 1，电机恢复正常运行，所有告警消除，故障恢复。



图 1 雷达 PCB 天线控制箱告警指示灯



图 2 变频器告警信息

运行数日后，求雨坛雷达再次出现相同异常情况，技术人员对故障情况进行检查后重启变频器 1，故障无法恢复，电机 1 也无法手动重启，经过数次尝试，变频器 1 仍无电压输出。由于变频器 1 三相电输入正常，但无电压输出，可确定变频器 1 故障，为了保证雷达业务不受影响，技术人员暂将变频器 1 与雷达天线系统脱开，雷达天线由电机 2 单独驱动。

2. 故障排查及原因分析

2.1 求雨坛雷达天线控制驱动系统架构及基本原理

求雨坛雷达天线驱动与控制系统主要由轴承环、变速齿轮、鼠笼式异步感应电动机、启动变频器（施耐德 ATV71HU55N4Z）、滤波器、交流接触器、继电器、浪涌保护器等组成，结构如图 3 所示。

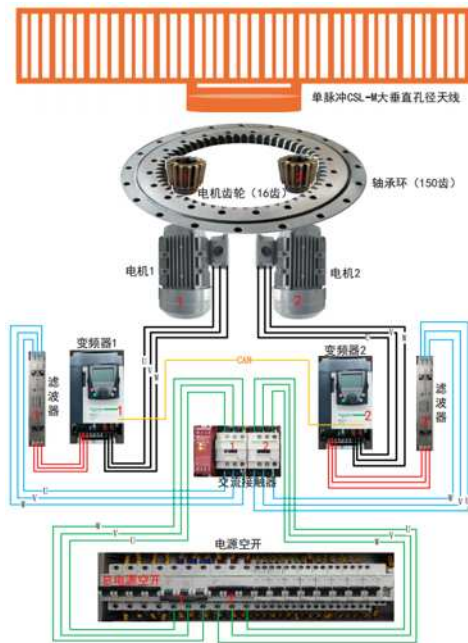


图 3 求雨坛雷达天线驱动系统架构

基座控制箱中安装有两个 5.5KW 的变频器，其功能是将交流变为直流，再将直流变为交流，直到频率达到设定值。通过对变频器的设置，可以改变马达的转动速度。变频器带有一个操作面板，该面板用于设定和显示变频器的相关参数。变频器具有多种马达控制方式，天线基座可以由马达 1 或马达 2 单独驱动，也可以由两个马达同时驱动。自由式的启动阶段加速和停止可以避免对传动系统的损坏，在有必要的情况下，可以停止某个马达的转动。本系统采用主 / 备配置设计，主变频器负责整个系统中两个马达转动的速度，并且保持它们有相同的扭矩，如果一个马达故障，则变频器控制另一个马达为整个转动系统提供动力。



图 4 天线驱动系统供电流程

求雨坛雷达天线由两台鼠笼式异步感应电动机通过驱动轴承环（也称天线大盘）来转动，天线每 4 秒 1 转。两台电机由同一个三相电源供电，总电源一分为二，分别经过对应交流接触器到电源滤波器，电源滤波结束后进入相应启动变频器，变频器处理后分别送到各自驱动电机，电机上电后通过齿轮驱动轴承环来拖动天线旋转，系统驱动流程如图 4 所示。

2.2 雷达驱动电机运行特性分析

感应电动机特性分析：

$$E_a = C_e \cdot n \cdot \Phi \quad (1)$$

$$T_e = C_T \cdot \Phi \cdot I_a \quad (2)$$

（ E_a 表示电枢感应电动势， C_e 表示电动势常数， C_T 转矩常数， T_e 表示电磁转矩， n 表示电机转速， Φ 表示每极磁通量， R_a 表示电机绕组内阻。）

$$U = E_a + I_a \cdot R_a \quad (3)$$

当电机启动时，电机转速为 0，由①式可知感应电动势为 0，则根据③式可知 $U = I_a \cdot R_a$ ，由于电机转子绕组内阻特别小，则启动时流过绕组的电流 I_a 会非常大，对电机造成很大的电流冲击，容易烧坏电机。

$$\text{感应电动势频率：} (\rho \text{ 表示电机极数}) \quad (4)$$

由④式可知 $\propto n$ ，因此可通过控制电源频率对电机进行变频启动，以有效保护电机。深圳求雨坛 INDRA 雷达天线电机就采用了变频启动的方式，通过安装两台施耐德 ATV71HU55N4Z 变频器将 50HZ 三相交流电转换为可调频率的交流电，从而控制电机的转速和运行状态，使电机启动平稳，运行稳定。

2.3 故障原因分析

结合对雷达天线控制驱动系统整体架构和信号流程的了解，技术人员对比变频器 1 和变频器 2 各项配置参数，并使用万用表对天线系统各个供电节点的电压进行了测量，发现变频器 1 前端各节点电压均正常，但变频器 1 后端接口处无电压输出，由此可判断出变频器 1 出现了故障，导致该不正常事件发生。

3. 变频器原理简介与故障维修

3.1 雷达天线电机启动变频器简介

求雨坛雷达天线电机使用施耐德 ATV71HU55N4Z 交 - 直 - 交变频器（ATV71 系列，5.5KW），是由法国施耐德电气集团研发、制造和销售的知名品牌变频器，如图 5 所示，

该变频器目前已停产，且深圳雷达设备管理室无备件。



图 5 施耐德 ATV71HU55N4Z 变频器

3.2 变频器组成模块

施耐德 ATV71HU55N4Z 变频器由主板（开关电源、IGBT 驱动电路、整流电路、逆变电路、母线电压检测电路、电流检测电路）、主板 CPU 控制板、控制端子接口板、显示面板、风扇单元等模块组成，如图 6 所示。



图 6 变频器组成模块

3.3 变频器电路结构及功能

“交 - 直 - 交”变频器也称为间接变频器，主要由整流电路（交流变直流）、滤波电路、逆变电路（直流变交流）、制动电路、驱动单元、检测单元及微处理等单元组成，如图 7 所示。

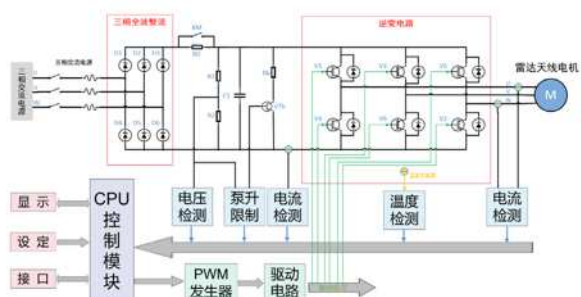


图 7 “交 - 直 - 交”变频器电路结构

整流电路：整流电路为二极管三相桥式全波整流电路，

将三相 50HZ、220V 工频交流电整流成直流电。

滤波电路：中间滤波环节是用电容器对整流后的电流进行滤波。

逆变电路：逆变电路的作用与整流正好相反，逆变电路中开关器件受控制电路中 SPWM 信号的控制，将滤波后的直流通过三相逆变桥逆变为频率和电压均可变化的三相交流电，其中逆变桥的主要组成器件为 IGBT。

控制电路：这部分主要由运算电路、检测电路、驱动电路、保护电路等组成，集成度较高。

变频器实现变频主要通过内部的电力电子器件 IGBT 的开断来调整输出电源的频率和电压，根据电机的实际需要来提供频率和电压均可控的交流电，进而达到节能调速的目的，另外，变频器还有很多的保护功能，如过流、过压力、过载保护等。

3.4 变频器故障检查

考虑到该变频器使用近 10 年，技术人员首先拆机查找是否有明显损坏模块，拆机后发现各模块电子器件均完好，无明显损坏痕迹，并对内部插线端子进行重新插拔、清洁，重新导入配置文件等操作，上机后故障仍未消除，之后查找变频器相关资料，通过操作终端进行故障诊断，查询故障信息，以找到故障部件，诊断操作如图 8 所示。



图 8 故障诊断

技术人员对故障代码“INF8”展开深入研究，如图 9 所示，并在各类网站查询相应故障，锁定变频器主板控制板故障。

故障代码	故障描述	故障原因	故障处理
INF 1	[额定功率错误]	功率卡与存储的卡不同。	检查功率卡的额定值。
INF 2	[不兼容的电源板]	功率卡与控制卡不兼容。	检查功率卡的规格及其兼容性。
INF 3	[内部串行连接]	内部卡之间出现通信故障。	检查内部连接。
INF 4	[Internal-mtg zone]	内部数据不一致。	重新标定变频器（由施耐德电气产品技术支持人员执行）。
INF 5	[选项卡故障]	不能识别安装在变频器上的选项。	检查选项的额定值与兼容性。
INF 7	[Internal-board unit]	变频器的初始化未完成。	关闭变频器并复位。
INF 8	[内部控制电源故障]	控制电源不正确。	检查控制电源。
INF 9	[内部电流测量故障]	电流测量值不正确。	更改电流传感器或功率卡。
INF 10	[内部输入电源故障]	输入电源不能正确运行。	通过 [1.10 诊断] 菜单执行诊断测试。

图 9 故障代码

3.5 变频器故障维修

雷达技术人员根据上述分析和判断，自主研究摸索，

对变频器主板控制模块进行了拆卸和更换，并导入原变频器 1 的配置参数，接电测试发现故障代码消除，如图 10 所示。然后将变频器整机接入雷达天线系统，雷达启动正常，雷达天线 PCB 控制箱面板“电机 1 运行指示灯”亮，“电机 1 故障告警灯”熄灭，雷达天线电机 1 和电机 2 电流恢复正常值，如图 11 所示，系统运行正常，故障成功解决。



图 10 变频器恢复正常运行



图 11 雷达 SLG 监控电机恢复正常运行

参考文献:

- [1]INDRA IRS-20MP/L Mode-S 二次监视雷达设备手册,2018 年.
- [2] 汤蕴璆.《电机学(第五版)》.机械工业出版社,2020 年.
- [3] 张尉、何康.《空管二次雷达》.国防工业出版社,2017.5.
- [4] 黄成芳、李琨.《二次雷达原理与设计》.电子工业出版社,2012.01.

作者简介:

翟得龙,(1996-2-2)男,甘肃庆阳人,职称:助理工程师,大学本科,研究方向:民航空管二次雷达监视探测系统及甚高频地空通信系统