

应用故障树分析风云二号测距分系统常见故障

鲁文强 冯庆玉 贾耀红

(国家卫星气象中心 北京 100081)

摘要: 在风云二号静止气象卫星中,测距分系统是地面应用系统指令与数据接收站的重要组成部分,其运行成功率及准确率影响着卫星轨道的定位精度,进而影响卫星云图的精度,对业务造成影响。统计了2014年测距分系统出现的所有故障,并使用故障树分析法对其进行分类整理,得到引起故障发生因素的权重值,然后通过2015年出现的故障对该方法进行了验证;同时,针对各故障还提出了相应的解决措施,为日常运行维护以及故障的快速处理提供借鉴,以提高风云二号测距分系统业务运行成功率,同时为风云四号测距分系统的日后运行维护积累宝贵经验。

关键词: 风云二号测距分系统;故障树分析法;故障排查

中图分类号: TN927.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Analysis of FY-2 ranging subsystem failures based on failure tree analysis

Lu Wenqiang Feng Qingyu Jia Yaohong

(National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081, China)

Abstract: In FY-2 geostationary meteorological satellite, the ranging subsystem is an important part of the ground application system, whose success rate will affect the positioning accuracy of the satellite orbit and cause degradation of imagery resolution. This paper analyses all failures of ranging subsystem appeared in 2014, and Failure Tree Analysis was used to sort out the failures to get the failure factor weights, and then this method was verified through the failures appeared in 2015. Meanwhile, this paper also proposes corresponding solutions for each kind of failures to provide references to improve success rate of the FY-2 ranging subsystem and gain valuable experience for future operation and maintenance of the future FY-4 ranging subsystem.

Keywords: FY-2 ranging subsystem; failure tree analysis; troubleshooting

1 引言

风云二号系列卫星是我国重要的地球同步轨道气象卫星,测距分系统是其地面应用系统指令与数据接收站的重要组成部分^[1],其运行成功率及准确率影响着卫星轨道的定位精度,从而影响卫星云图产品的精度以及轨道位置保持的维护等,给业务造成较为严重的影响。

风云二号测距分系统工作如图1所示,目前有三颗卫星在轨业务运行,分别位于东经86.5度、105度以及112度。3点测距系统与之对应有3套:105度的卫星使用北京主站、澳大利亚副站以及乌鲁木齐副站;112度和86.5度的卫星的三点测距系统包括北京主站、广州副站和乌鲁木齐副站。

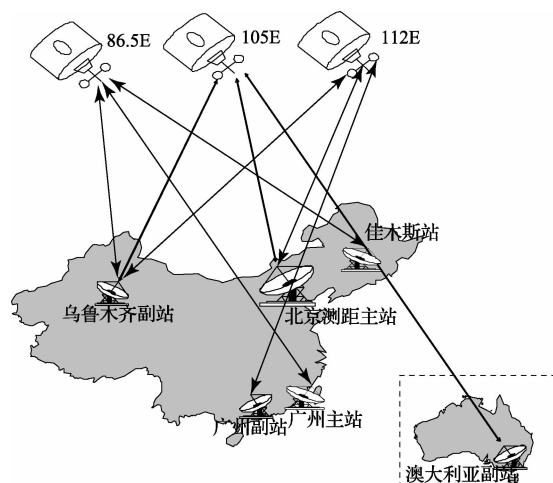


图1 测距分系统工作

收稿日期:2015-06

目前世界上发射同步气象卫星的国家,大多采用3点测距的方法进行定轨,也就是说只需要测出3个地面站到卫星的距离就可以定轨。由于地面站的经纬度坐标是已知的,三者可以做出三个半球面在空间交于一点,根据这一点就能唯一确定卫星在空间中的位置^[2-3]。具体方法如下:

1)主站发送测距上行信号,经卫星变频后向主站和副站转发,主站收到卫星转发的信号后即可测出测距信号从主站→卫星→主站的传输时延 T_0 ,扣除主站设备和卫星转发设备的固有时延,经计算可得主站到卫星的斜距 R_0 ;

2)副站将收到的测距信号向卫星转发,经由卫星再次转发到主站,由此可分别测得主站→卫星→副站→卫星→主站的电波传播时延 T_1 和 T_2 ,扣除设备和卫星的固定时延后,计算得到主站→卫星→副站的距离,扣除 R_0 即可分别得到两个副站到卫星的斜距 R_1 和 R_2 ;

3)主站的监控计算机将测得的3个距离值送到数据处理中心,对测距数据进行处理后,确定卫星的轨道参数。

自业务运行以来,各站技术人员在故障定位与设备维修方面积累了大量经验。赛娅热·阿不都诺夫^[4]对乌鲁木齐副站设备出现的故障进行了总结,重点分析了乌鲁木齐测距副站高功放的维修、测试等问题;周海莺等人^[5]对广州副站跟踪不稳定的原因进行了分析,总结为设备、卫星、本地干扰、日凌等原因;陈静^[6]利用噪声依次排查了广州副站的中频及高频接收机、上变频器、高功放等设备,最终确定为馈源故障。

虽然测距分系统故障频繁发生,但目前并没有相关人员或文献对其进行系统的研究总结,也未形成一套科学、快速的故障排查方法。统计了2014年测距分系统出现的所有故障,运用故障树分析法归纳整理得到影响故障各因素的权值,为日常运行维护中的故障快速定位及排除提供借鉴。

2 测距异常

关于测距分系统出现的异常情况,中电54所以测距业务处理能力为依据将其分为测距业务处理能力全部丧失、部分丧失及其他;严华燕等人^[7]将测距异常分成测距数据为负值、测距数据不全及副站距离值异常3种,并对其进行了简单分析。

由于日常运行中发生故障需要快速定位故障原因以尽快修复,因此本文拟采用故障树分析法对测距分系统的故障进行梳理,找出影响业务运行的主要因素,以更加迅速与准确的定位故障原因并及时修复。

2.1 故障树分析法

故障树分析法^[8-9](failure tree analysis, FTA),是由美国贝尔电报公司的电话实验室首先提出的。它采用逻辑的方法,从系统到部件,再到零件,按“下降形”分析,特点是首先确定某个不希望系统发生事件(也称顶事件)作为问题的出发点,然后运用逻辑的推理分析引起这一顶事件发生的各种原因和影响关系,并画出它们之间的逻辑关系图,这种图形即所谓故障树。

因为故障树分析法使用的是逻辑图,因此,设计人员或维修人员都很容易掌握和运用,并且由它可派生出其他专门用途的“树”。例如,可以绘制出专用于研究维修问题的维修树,可以用于研究经济效益及方案比较的决策树等。

2.2 测距异常故障树建立

将测距异常作为故障树的顶事件,由于最终关心的是测距数据,因此以测距作业与否以及测距数据是否正常作为分类标准,将测距异常分为未作业、作业但中途中止、作业完成但数据异常3大类,每一大类又细分成若干小类,皆根据日常运行维护以及多位专家的经验得出,如图2所示。

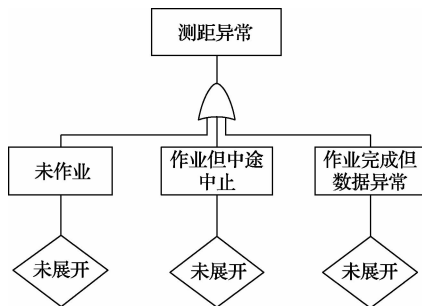


图2 测距异常故障树

随后将若干小类展开得到如图3~5所示故障树。

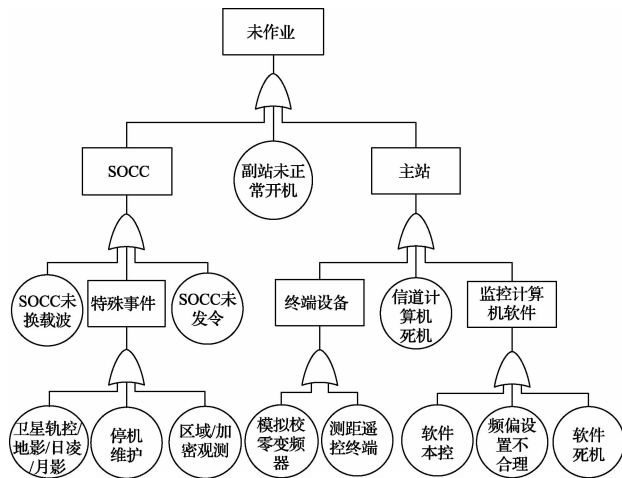


图3 测距未作业异常故障树

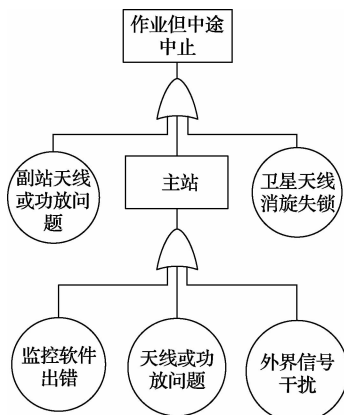


图4 测距中止异常故障树

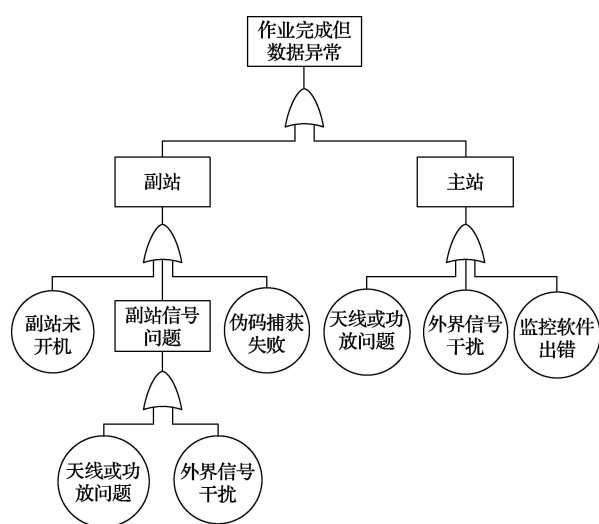


图5 测距数据异常故障树

其中停电、人员违章操作等意外因素并未包含在内。

3 测距故障树定性分析

上一节对测距异常用故障树的形式进行了分类,然而分析还需要得到各个基本事件对顶事件的影响权重,本节通过对在轨业务运行的卫星进行实例分析,以找到影响业务的主要因素。

对2014年FY2D、FY2E、FY2F三颗卫星的测距分系统运行故障进行了统计分析如图6所示。

从图6中,可以清晰的看到各类故障所占比例,进而我们可以得到导致测距故障各因素的影响权重值如表1所示。

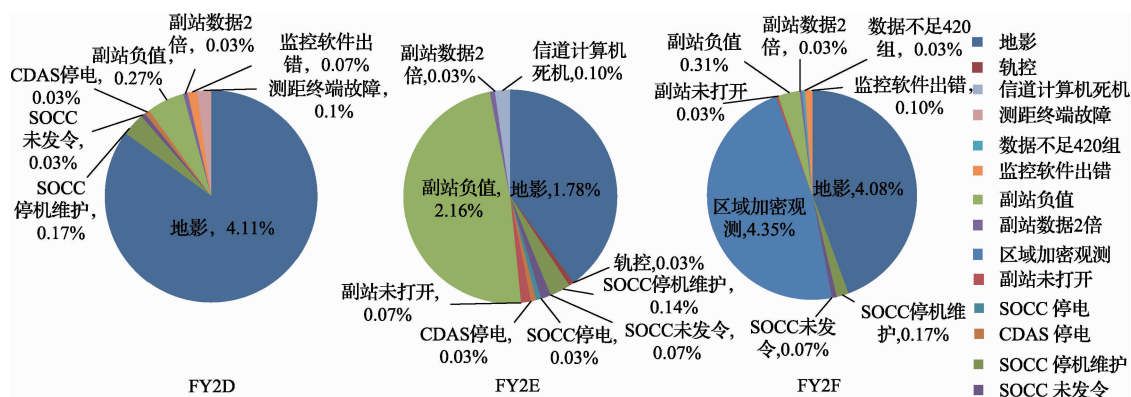


图6 2014年FY2D/2E/2F测距分系统故障统计

表1 测距故障影响权重

异常分类	具体异常	卫星		
		2D	2E	2F
未作业	地影	120	52	119
	区域加密观测	0	0	127
	SOCC 停机维护	5	4	6
	测距终端故障	3	0	0
	监控软件出错	2	0	3
	SOCC 未发令	1	2	2
	信道计算机死机	0	3	0
	轨控	0	1	0
	SOCC 停电	0	1	0
	CDAS 停电	1	1	0
	副站未打开	0	2	1
	副站负值	8	63	10
作业完成但数值异常	副站数据 2 倍	1	1	1
	数据不足 420 组	0	0	1

对于FY2D,测距故障的主要原因是地影,其次是副站负值、SOCC 停机维护和测距终端故障,然后是监控软件出错、SOCC 未发令及 CDAS 停电等其他因素;

对于FY2E,测距故障的主要原因是副站负值,其次是地影、SOCC 停机维护和信道计算机死机,然后是副站未打开、SOCC 未发令及 CDAS 停电等因素;

对于FY2F,测距故障的主要原因是地影以及区域加密观测,其次是副站负值、SOCC 停机维护和监控软件出错,然后是 SOCC 未发令及副站未打开等其他因素。

可以发现,对于三颗星来说,地影的权重较大。对于F星,区域加密观测也占据较大权重。然而由于两者具有不可抗性,因此将其去除后,发现副站负值对三颗星的影响最大,尤其是对FY2E,其次是SOCC 停机维护,然后就是一些相应的其他因素。从上述分析中,可以得到,影响三颗卫星正常运行的因素主要是副站负值,其次是SOCC 停机维护。这样,如果出现故障,首先从主要因素开始排除,以此类推,这样不仅大大节省了维护时间,提高了工作

效率,而且为后续的工作提供了依据。

4 测距故障排除

前面通过故障树将测距故障进行了分类以及定性分析,本节将着重于故障的定位与修复。

4.1 未作业故障定位与修复

测距系统未作业的原因较多,通过上述分析得知,有如下7种。

1)地影、区域加密观测、SOCC 停机维护、轨控:这些都属于不可抗因素,可以通过提前得到的通知进行排查。

2)SOCC 未发令

①SOCC 未换测距载波:查看信道计算机是否为 MRS 载波,确定故障后与 SOCC 沟通;

②SOCC 未发令:查看测距计算机是否发令,确定故障后与 SOCC 沟通。

3)信道计算机死机:将信道计算机重启。

4)测距终端故障

①变频器锁定指示灯不亮:变频器没有锁定,检查单元模块以及 SMA 接头;

②监控软件通道亮红灯:重启测距终端,检查测距、监控单元。

5)监控软件出错

①主站软件为本控:切换为远控;

②频偏设置错误:调整频偏;

③监控软件出错:未作业时重启。

6)副站未打开:从频谱仪上可以看到副站频谱不正常,与副站沟通。

7)SOCC 停电、CDAS 停电:均为意外因素,目前已经通过 UPS 系统解决该问题,因此后续处理中不再考虑该因素。

4.2 作业但数据异常故障定位与修复

通过上述分析得知,测距系统作业但数据异常有如下3种。

1)副站负值

①副站未开机;

②主站或副站的天线或功放有问题;

③外界信号干扰。

2)副站数据2倍

①伪码捕获错误;

②副站的天线或功放出现问题;

③外界信号干扰。

3)数据不足420组

①主站监控软件出错;

②作业中主站或副站的天线或功放出现问题;

③外界信号干扰。

4.3 已作业但中途中止故障定位与修复

虽然在2014年全年统计中未出现该故障,但是根据往年的信息对其进行了分析,主要表现在信号方面,比如:

1)信号突然降低:最有可能是天线消旋失锁;

2)信号减弱或消失:主副站都有可能出现问题,需要检查天线信道确认;

3)信号干扰:属于外界因素,无有效对策。

总体来说这些均属于信号因素,可以通过查看频谱仪快速定位故障原因。

5 测距故障排除实例及总结

首先从2015年发生的故障精选了多例具有代表性的故障,通过本文应用的故障树方法可以迅速定位故障。

5.1 测距数据异常实例1

故障现象:2015年FY2E测距分系统监控计算机多次报警测距数据异常。

依据故障树分析法,按照权重依次排查,首先估计故障有可能为副站负值,通过频谱仪与测距监控计算机查看,如图7和8所示。

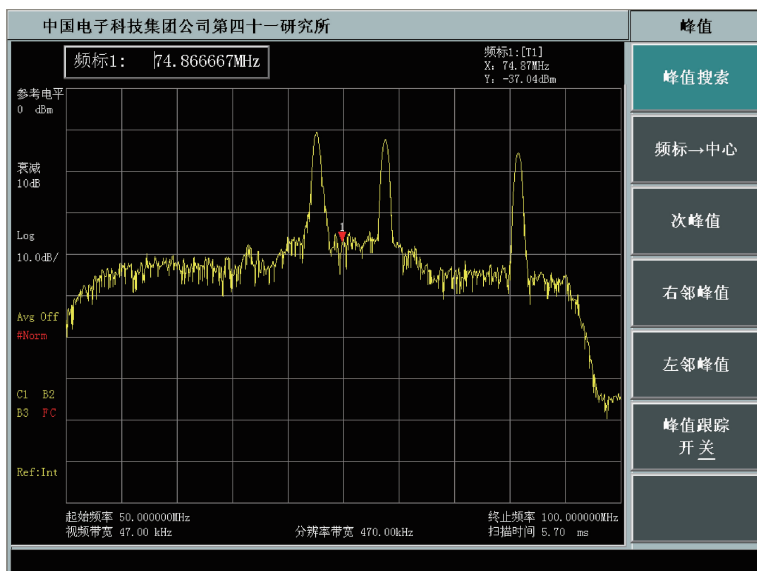


图7 测距频谱

-风云2号三点测距系统基带监控应用软件				
检测命令 遥控命令 测距命令 校零命令 设置命令 控制方式				
星号	FY2E	主站	副站1	副站2
系统状态	工作态	北京	澳站	乌鲁木齐3
短码		载波锁定	载波锁定	载波锁定
中长码		伪码锁定	伪码锁定	伪码锁定
长码		距离有效	距离有效	距离有效
测距机A	在线	频偏 -1205	0	-1026
测距机B	备份	距离 37989115.95	-37989115.95	37549968.59

图8 测距监控计算机

从频谱仪上可以看出澳站信号很弱,随后查看测距监控计算机发现澳站负值,故障一次性定位完成,大大提高了定位速度。

经了解,当前 FY2E 卫星轨道倾角较大,由于澳站是固定天线,不具备自跟踪功能,所以在卫星轨道倾角比较大时,每天会有几个小时无法跟踪到卫星,导致无法完成相应时次的测距作业。

相应的解决办法是将卫星的轨道倾角维持在较小水平,然而这将增加卫星的燃料消耗,降低卫星的使用寿命。

因此可以考虑切换副站进行测距作业。目前已由澳站切换为广州站进行测距作业。

5.2 测距数据异常实例2

故障现象:世界时间 2015 年 4 月 20 日 FY2E 报警测距数据异常。

依据故障树分析法,依据权重进行依次排查,首先估计故障有可能为副站负值,通过测距监控计算机发现乌站负值,如图 9 所示,故障定位完成。通过与副站沟通,得知乌站设备出现问题,经紧急抢修后恢复正常。

-风云2号三点测距系统基带监控应用软件				
检测命令 遥控命令 测距命令 校零命令 设置命令 控制方式				
星号	FY2E	主站	副站1	副站2
系统状态	工作态	北京	澳站	乌鲁木齐3
短码		载波锁定	载波锁定	载波锁定
中长码		伪码锁定	伪码锁定	伪码锁定
长码		距离有效	距离有效	距离有效
测距机A	在线	频偏 1607	1.517	-28180
测距机B	备份	距离 37317754.65	38092818.75	-37127637.45

图9 测距监控计算机

5.3 测距未做实例

故障现象:世界时间 2015 年 2 月 9 日 16 点, FY2F 测距分系统未作业。

依据故障树分析法,根据权重值依次排查,首先确定当前时间无地影、区域加密观测、SOCC 停机维护等事件,随后查看测距计算机及终端排除了测距终端故障、监控软件出错、SOCC 未发令等因素,最终确定为信道计算机死机故障,将信道计算机备机换上解决。

5.4 故障树分析法应用效果

首先从上面 3 个例子可以看出,故障树分析法能够大大提高故障定位的速度以及准确性。

随后对 3 颗卫星 2015 年 1~5 月份的部分测距故障进行了统计如表 2 所示。

表2 应用故障树法定位测距故障统计

异常分类	故障次数	定位次数					成功率 (%)
		1	2	3	4	5	
未作业	213	196	9	5	2	1	100
作业完成但数值异常	37	36	1	0	0	0	100

从表中可以看出,应用故障树分析法,1 次或 2 次定位就能,最多 5 次就可以定位全部故障,大大提高了定位

速度以及准确度。

6 结 论

提出了一种利用故障树分析法对测距分系统发生的故障进行快速定位的方法。首先通过对 2014 年发生的所有测距故障进行整理,使用故障树分析法对故障进行分类,并进而确定影响测距各因素的权重值,以便故障的快速定位;随后进一步分析了各种故障的应对措施,为日常维护以及故障的快速处理提供借鉴;最后通过对 2015 年发生的测距故障进行了分析,有效的证明了故障树分析法在定位故障过程中发挥的显著作用。

然而故障树分析法仍然存在一些不足,比如高度依赖现有经验,若出现从未发生的事件将无法处理,下一步的研究方向是将故障树分析理论与计算机技术以及其他故障诊断方法相结合^[10],形成故障诊断专家系统^[11],能够对测距故障进行更加有效的分析和解决。

参 考 文 献

- [1] 冯小虎,夏景林,张志清. FY-2C 星地面应用分系统指令与数据获取站[J]. 上海航天, 2005, 22(增刊 1): 111-116.
- [2] 李志刚,杨旭海,施浒立,等. 转发器式卫星轨道测定新方法[J]. 中国科学, 2008, 38(12): 1711-1722.
- [3] 朱振华,冯阳凯,郭润全. GEO 卫星测距系统设计[J]. 信息技术, 2010(12): 94-98.

- [4] 赛娅热·阿不都诺夫. 乌鲁木齐测距副站高功放的维修、测试总结[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011(5): 77-79.
- [5] 周海莺,黄锦渊,祝春萌,等. 静止气象卫星测距系统跟踪不稳定相关因素分析[J]. 卫星与网络, 2011(6): 74-76.
- [6] 陈静. 利用噪声分析排查 FY-2E 测距副站故障[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010: 134-136.
- [7] 严华燕,董华,吴强. 三点测距的常见故障分析[C]. 国家卫星气象中心业务运行与气象服务技术交流会, 2011.
- [8] 潘红兵,蔡云龙. 基于故障树及 LabVIEW 的雷达设备故障诊断[J]. 电子测量技术, 2013, 36(9): 115-118.
- [9] 陈雷. 基于故障树的供水监控诊断系统的仿真[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(12): 35-39.
- [10] 金鑫,任献彬,周亮. 智能故障诊断技术研究综述[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(7): 30-32.
- [11] DUAN J ZH, HUA-CONG L I. Based on fault tree's failure diagnosis expert system research[J]. Science Technology & Engineering, 2009.

作 者 简 介

鲁文强, 1987 年出生, 工学硕士, 助理工程师, 主要研究方向为卫星通信、定轨等。
E-mail: 523496837@qq.com