

卫星测运控任务免校相策略研究

王羽 许云鹏 张朋强 杨晨光 王未阳

63761部队

DOI:10.12238/ems.v4i8.6025

[摘要] 本文通过对测运控任务中校相过程的原理及影响因子进行分析,证实了在部分测运控任务执行时免校相操作的可行性,然后通过测试温度对S、X、Ka三个频段校相结果的影响以及不同移相值偏移与交叉耦合对天线跟踪情况的影响情况,提出了部分测运控任务执行过程中的免校相策略,为卫星地面站任务流程的优化提供参考。

[关键词] 测运控任务; 天线跟踪; 免校相策略

中图分类号: TM937.5 **文献标识码:** A

Study of Phase-free Strategy for Satellite Measurement, Operation and Control Missions

Yu Wang Yunpeng Xu Pengqiang Zhang Chenguang Yang Weiyang Wang

Army 63761

[Abstract] This paper analyzes the principle and influence factors of the phase calibration process in the measurement, operation and control tasks, and confirms the feasibility of the phase-free operation in some of the measurement, operation and control tasks, and then proposes the phase-free strategy in some of the measurement, operation and control tasks by testing the influence of temperature on the phase calibration results of S, X and Ka bands and the influence of different phase shift value offset and cross-coupling on the antenna tracking situation. It provides a reference for the optimization of the mission process of satellite ground station.

[Key words] measurement, operation and control tasks; antenna tracking; phase-free strategy

引言

目前,卫星地面站执行卫星测运控任务时,为确保天线跟踪的稳定性,普遍采用先校相后跟踪的策略,且部分测站不具备标校塔,任务前无法对塔进行标校,只能进行对星校相,当卫星进站角度存在遮蔽物时,校相结果不一定能保证天线的稳定自跟踪,有一定概率引发天线飞车。另外,执行数传任务时,由于数传信号波束宽度普遍较窄,校相过程中的拉偏天线动作也有可能导致数传信号失锁,数据丢帧。如果可以跳过校相流程并能稳定完成天线自跟踪,任务完成的成功率将显著提高。

1 校相结果的影响因子分析

在双通道跟踪系统中,由于和路信号和差路信号经过的器件不同,线缆长度不一致,导致跟踪和路、差路之间存在相位差,该差值会随着温度的变化而发生变化,这也是跟踪之前进行校相的根本原因。而在不同时间、相同温度条件下的和路、差路相位差值应该是相同的,因此可以考虑将以往的校相结果和当时的温度数据保存下来,当后续需要执行相同的任务且设备组合等保持一致的情况下,在任务流程中采取免校相策略,经综合判断,将适宜的历史相值发送跟踪基带,实现天线稳定跟踪。

表1 S频段对塔移相值(方位)随温度变化的数据统计表

频点(MHz)	14℃	20℃	22℃	28℃
2200	180	181	181	180
2210	180	179	179	174
2220	168	170	172	165
2230	156	162	165	159
2240	156	154	154	159
2250	138	136	133	138
2260	132	130	122	120
2270	124	123	113	105
2280	114	110	104	111
2290	102	101	89	96
2300	90	81	80	78

2 校相结果影响因子分析

2.1 温度对不同频段目标校相结果的影响

2022年9月20日至10月20日之间利用某跟踪设备分别对目标塔进行了S、X、Ka频段校相的数据统计。结果如下:

2.1.1 S频段对塔校相结果随温度变化的试验。S频段对塔校相共进行了4次试验,每次测试11个频点,间隔在10天以内,温度差值在14℃,测试的记录如表1所示。

从上面的图表中可以看出,跟踪基带的校相结果变化均在13°以内。满足系统跟踪对交叉耦合的要求。

2.1.2 X频段对塔校相随温度变化的试验结果。X频段对塔校相共进行了8次,每次测试了6个频点,时间间隔在15天以内,温度差值在14℃。测试的记录如下表所示。

表2 X频段对塔移相值(方位)随温度变化的数据统计表

频点 (MHz)	14℃	16℃	20℃	21℃	22℃	24℃	27℃	28℃
7750	37.096	38.485	43.918	51.399	40.271	46.058	46.192	46.146
8000	91.876	91.302	85.991	95.114	83.917	91.553	87.688	89.22
8250	170.619	172.492	178.061	185.977	176.157	173.531	178.094	180.01
8500	249.249	251.641	260.951	252.714	256.327	259.937	259.007	263.916
8750	299.578	318.8	323.064	324.11	316.089	322.44	321.944	323.742
9000	332.079	333.817	344.261	348.388	336.647	346.904	344.028	346.046

从上面的图表中可以看出,跟踪基带的校相结果变化均在18°以内。满足系统跟踪对交叉耦合的要求。

2.1.3 Ka频段对塔校相随温度变化的试验结果。Ka频段对塔校相共进行了5次,每次测试了6个频点,时间间隔在10天以内,温度差值在10℃。测试的记录如下表所示。

表3 Ka频段对塔移相值(方位)随温度变化的数据统计表

频点(MHz)	14℃	20℃	21℃	22℃	24℃
25000	273	273	294	279	267
25500	138	129	153	135	132
26000	357	363	357	342	363
26500	222	240	240	231	201
27000	111	111	120	117	97
27500	330	327	321	330	312

从上面的图表中可以看出,Ka校相结果的变化满足系统跟踪对交叉耦合的要求,校相结果变化均在39°以内,但在相同的温度变化范围内Ka频段移相值比S和X频段的移相值变化大,说明Ka校相对温度变化更加敏感。

2.2 移相值与交叉耦合的摸底试验

为了检查移相值偏移与交叉耦合的关系,及交叉耦合差变到什么程度会导致无法跟踪,我们对X频段和Ka频段分别选取两个频点进行了验证试验。试验方法为以固定频点对塔校相结果为基准,以5°为步进修改方位和俯仰相位值,尝试进行跟踪并

记录交叉耦合和跟踪结果。具体的试验数据处理如图1-图4所示,横轴为方位和俯仰相位值(单位:°),纵轴为交叉耦合系数的绝对值。

从图1-图4可以看出,交叉耦合的绝对值与相位差值基本成正相关。根据实际跟踪情况,在X和Ka频段校相得到的基准移相值±20°的范围内,天线均能稳定跟踪,一旦超过这个范围,则AGC电压有抖动或跟踪不稳定直至无法跟踪。

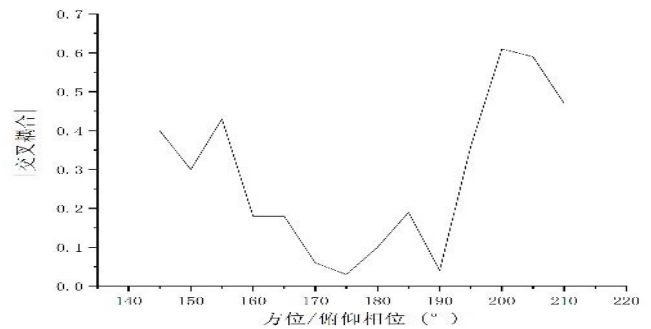


图1 方位/俯仰相位对|交叉耦合|的影响 (7750MHz, 基准相值175°)

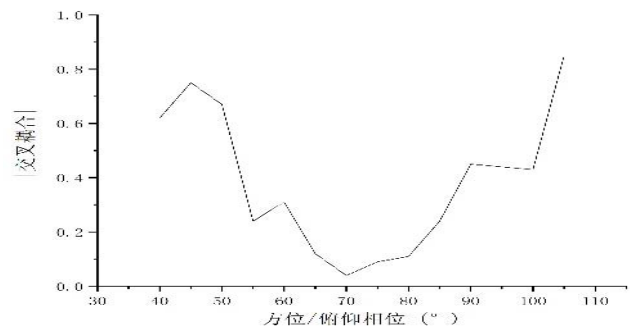


图2 方位/俯仰相位对|交叉耦合|的影响 (8500MHz, 基准相值70°)

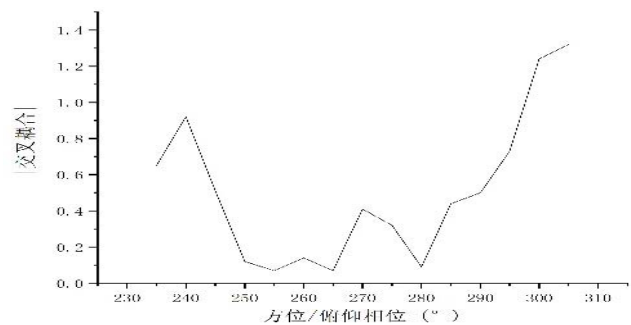


图3 方位/俯仰相位对|交叉耦合|的影响 (25000MHz, 基准相值275°)

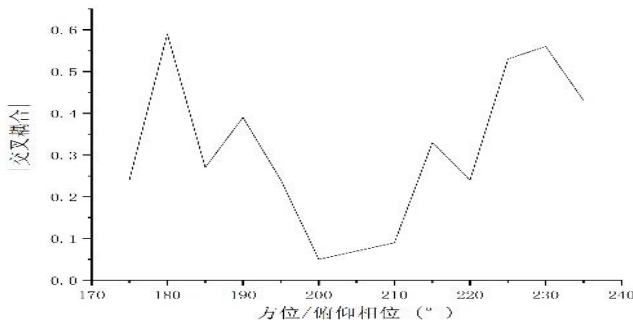


图4 方位/俯仰相位对|交叉耦合|的影响
(26500MHz, 基准相位205°)

3 任务流程免校相的处理措施

系统任务流程免校相需要系统监控保存历史校相数据, 保存的历史数据应包含以下要素: 校相时的中心体温度、设备组合、工作频率、任务频段等。每次任务前, 系统监控根据本次任务频段、工作频率及设备组合在数据库中筛选历史校相数据, 然后根据历史移相值选择策略选择一组最合适的数据, 随参数宏一起下发给跟踪基带, 然后再根据任务自动流程的免校相策略进行处理。

3.1 历史移相值取值策略

系统监控会在每次校相后保存校相结果, 包含校相时间、校相状态、频段、天线号、设备组合号、工作频点、任务标识、温度、方位移相值、俯仰移相值、方位增益、俯仰增益等相关参数。相关参数的主要作用如下:

校相时间: 记录校相时间主要有两个作用。第一, 当同一校相温度有多个历史移相值时, 需要根据校相的时间前后进行选择; 第二, 当系统执行双频段任务时, 两个频段的移相值是分成两行来保存, 且两个频段的设备组合号、温度等均相同, 需要根据校相时间的先后来判断移相值属于哪个频段。

校相状态: 校相状态是指校相正常或异常, 均被保存下来, 后续可根据情况, 选择是否把异常的数据去除。

频段: 如果是本圈次是双频段任务则需要在历史数据中找出双频段的移相数据; 如果是单频段则即可选择单频段的数据也可以选择双频段的数据。

设备组合号: 不同的组合号代表不同的设备组合, 即不同的设备组合号的移相值是不相同的, 因此在选择历史移相数据时, 一定要在相同设备组合号下的数据中进行选择。

工作频点: 工作频点不同, 则同一跟踪和差通道的相位差也不相同, 因此在选择历史移相数据中, 一定要在相同工作频点下的数据中进行选择。

温度: 在保证上述各参数条件下, 温度是影响跟踪链路移相值的最主要因素, 因此在选择历史移相值时需要选择与当前温度值最接近的数据。

温度的差值在多大能满足跟踪条件, 这个需要长期的试验积累, 根据之前进行的跟踪试验情况来看, 不管是S、X、Ka, 基本

上只要填写的移相值与校相得到的移相值的差值在±20度范围内即可保证稳定跟踪。再根据移相值偏离与跟踪的验证试验数据得到具体温度选择范围, 因只有X和Ka频段做了移相值偏离与跟踪的验证试验, 因此S频段暂时参考X频段的试验数据。具体的温度选择范围可参考表4。

表4 各频段温度选择范围建议表

项目	S 频段	X 频段	Ka 频段
温差(°C)	12	14	10
移相值变化	13	18	39
温差/移相变化	0.92	0.78	0.26
保跟踪移相值正偏范围	25	25	20
保跟踪移相值负偏范围	25	25	20
保跟踪可选温差正偏范围	23.1	19.4	5.1
保跟踪可选温差负偏范围	23.1	19.4	5.1

历史移相值取值策略流程如图5所示。

系统监控需要完成移相值历史数据的存储及取值, 单频段的取值和双频段的取值不同, 双频段的要复杂一些, 下面进行各自说明。

针对单频段的任务系统监控开始取值时, 首先根据设备组合号、任务频段、工作频点及校相状态等条件筛选出符合条件的数据。筛选完若没有符合条件的数据则系统监控将方位移相值和俯仰移相值置0, 将方位增益和俯仰增益置默认值, 当下参数宏时同时下发即可。若有符合条件的数据则再次根据规定的温度范围进行筛选, 筛选出来后如没有符合条件的值则同样将方位移相值和俯仰移相值置0, 将方位增益和俯仰增益置默认值, 若有符合条件的数据, 则将数据按照时间先后进行排序后优先选用时间最近的数据。

3.2 任务自动流程免校相策略

按照实际跟星情况, 归纳出来的免校相流程如图6所示。

每次收到中心计划后, 在任务准备时间点, 系统除了完成既有的系统监控向ACU下发计划、ACU向DTE索取轨道数据、天线转自动跟踪、宏参数下发等流程外, 还要完成历史校相数据的选取并下发给跟踪基带。

任务开始时间点, 系统监控向ACU下发程引命令, 天线转至等待点。系统监控读取设备管理-天线管理里面的校相选择状态, 若为校相状态, 则天线保持程引状态直至跟踪时间点T0, T0开始后, ACU判断卫星配置里面的校相选择状态, 若卫星配置内的校相状态为校相, 则系统监控给ACU下发包含快速校相的任务开始命令, 之后系统根据自动流程运行至任务结束; 若卫星配置内的校相状态为不校相, 则系统监控给ACU下发不包含快速校相的任务开始命令, 之后系统根据自动流程运行至任务结束, 岗位人员若发现系统在运行过程中自跟踪失败(即系统自动转至程引条件下运行)的情况, 则证明系统监控下发给跟踪基带的移相值不

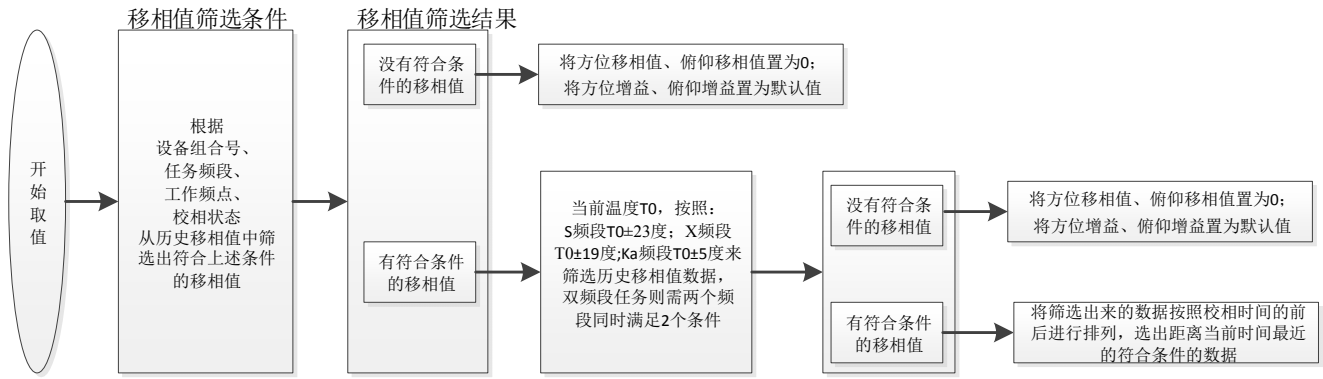


图5 历史移相值取值策略

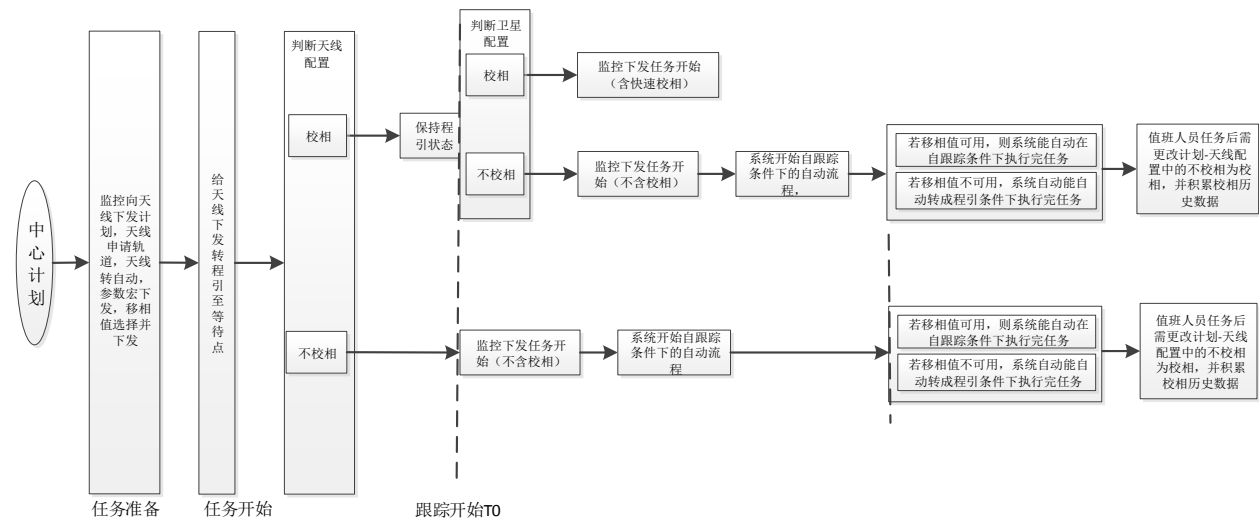


图6 流程中免校相的策略

可用,在该卫星后续的圈次中需要在卫星配置中将不校相设置为校相,以重新积累历史移相值数据。

任务开始时间点,若系统监控读取设备管理-天线管理里面的校相选择状态为不校相,则天线保持程引状态直至跟踪时间点 T_0 , T_0 开始后,系统监控给ACU下发不包含快速校相的任务开始命令,之后系统根据自动流程运行至任务结束,若岗位人员发现系统在运行过程中自跟踪失败(即系统自动转至程引条件下运行),则该卫星后续圈次中需要在卫星配置中将不校相设置为校相,重新积累历史移相值数据。

3.3 其它情况下的应对策略

历史移相值的数据维护。数据库中的数据会有些校相不正常的数据,或组合号不对等原因导致数据无效,岗位人员需要对数据库进行维护,将有问题的数据及时从数据库中删除。有时即便系统监控判断出数据有效,但在实际跟星时可能无法完成自跟踪,这些数据都需要岗位人员剔除。跟踪链路设备更换后,有可能会造成原有的数据不可使用,尤其是Ka频段的影响较大,更换后需要对原有的移相值进行验证,及时将无效的数据剔除。

4 结束语

本文通过分析影响校相结果的因素,进一步试验了温度对S、

X、Ka目标校相结果的影响、移相值对交叉耦合和天线跟踪的影响,又根据我国航天地面测控站执行不同频段任务的实际,提出了任务自动流程免校相策略,并证明了该策略具体可行,对航天地面站简化任务流程、提升任务执行成功率有较强的参考意义。

【参考文献】

[1]刘嘉兴.飞行器测控通信工程[M].北京:国防工业出版社,2010.
 [2]席文君.深空地面站G/T值测试方法探讨[C]//2005年航天测控技术研讨会论文集.成都:中国电子科技集团公司第十研究所,2005.
 [3]汪远玲,邱三山,汪晓燕.深空系统低信噪比任意信号角跟踪接收机[J].电讯技术,2009,49(4):45-48.
 [4]李蝉,刘敏,于益农.口面天线无塔校相方法[J].电讯技术,2009,49(8):73-75.
 [5]杨萍,郭军海,孙刚.天测控系统卫星鉴定技术研究[J].航天控制,2008,26(1):65-69.

作者简介:

王羽(1990-),男,汉族,甘肃天水人,本科,测控技师,从事航天测量控制。