



# 航天器环境工程

SPACECRAFT ENVIRONMENT ENGINEERING

—— 中文核心期刊 中国科技核心期刊

## 文昌发射场通信卫星塔架电缆设计方案及测试验证

戴萌 王涛 白颖利

### Design and test verification of communication satellite tower cable for Wenchang launch site

DAI Meng, WANG Tao, BAI Yingli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12126/see.2022105>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 通信卫星真空热试验测试电缆集中控温方法

Method for centralized temperature control of testing cables in thermal vacuum test for communication satellite

航天器环境工程. 2018, 35(3): 277–282 <https://doi.org/10.12126/see.2018.03.013>

#### 针对海南文昌发射场的载人航天器盐雾效应试验及防护方法

Salt spray test and protection for manned spacecrafts to be launched at Hainan Wenchang spaceport

航天器环境工程. 2017, 34(5): 538–542 <https://doi.org/10.12126/see.2017.05.015>

#### 大型GEO通信卫星平台转移轨道段热分析

Thermal analysis of large communication satellite platform in geostationary transfer orbit

航天器环境工程. 2021, 38(5): 495–502 <https://doi.org/10.12126/see.2021.05.001>

#### 星载转台活动电缆扭转阻力矩测试与分析

Testing and analysis of resistant moment of motional cable on satellite turntable

航天器环境工程. 2021, 38(6): 682–686 <https://doi.org/10.12126/see.2021.06.011>

#### 通信卫星系统级真空热试验技术风险分析及解决策略

Technical risk analysis and solution for system level thermal vacuum test of telecommunication satellite

航天器环境工程. 2018, 35(6): 606–611 <https://doi.org/10.12126/see.2018.06.016>

#### 海南发射场盐雾环境对航天器结构材料的影响

Effects of salt fog environment in Hainan launch site on spacecraft structural materials

航天器环境工程. 2019, 36(1): 61–68 <https://doi.org/10.12126/see.2019.01.010>

# 文昌发射场通信卫星塔架电缆 设计方案及测试验证

戴 萌, 王 涛, 白颖利

(中国空间技术研究院 通信与导航卫星总体部, 北京 100094)

**摘要:** 海南文昌发射场的高温、高湿、盐雾等环境问题给通信卫星塔架电缆设计提出挑战。为此, 文章在借鉴西昌发射场塔架电缆设计的基础上, 提出塔架电缆由 A1 段、A2 段和 B 段 3 个电缆分支组成; 继而针对文昌发射场环境特点详述了塔架电缆在设计、铺设和使用方面关键点; 最后对塔架电缆进行了测试验证, 给出了测试内容和注意事项。所设计的塔架电缆已在 3 颗通信卫星正样星上得到验证, 测试流程已基本固化, 并形成了相应的操作性文件。

**关键词:** 塔架电缆; 文昌发射场; 通信卫星; 电缆铺设; 电缆防护

中图分类号: V553.1<sup>+</sup>9

文献标志码: A

文章编号: 1673-1379(2023)01-0080-04

DOI: [10.12126/see.2022105](https://doi.org/10.12126/see.2022105)

## Design and test verification of communication satellite tower cable for Wenchang launch site

DAI Meng, WANG Tao, BAI Yingli

(Institute of Telecommunication and Navigation Satellites, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Environmental issues such as high temperature, high humidity and salt spray at Wenchang launch site in Hainan province pose challenges to the design of tower cables for communication satellites. Therefore, based on the design of tower cable at Xichang launch site, this paper proposed that the tower cable was composed of three cable branches: A1, A2, and B. Then, according to the environmental characteristics of Wenchang launch site, the key points in design, laying and use of tower cable were detailed. Finally, the tower cable was tested and verified, and the test contents and matters needing attention were given. The designed tower cable has been verified on three communication satellites, and the test process has been basically solidified with the corresponding operational documents formed.

**Keywords:** tower cable; Wenchang launch site; communication satellite; cable laying; cable protection

收稿日期: 2022-09-23; 修回日期: 2023-01-23

**引用格式:** 戴萌, 王涛, 白颖利. 文昌发射场通信卫星塔架电缆设计方案及测试验证[J]. 航天器环境工程, 2023, 40(1): 80-83  
DAI M, WANG T, BAI Y L. Design and test verification of communication satellite tower cable for Wenchang launch site[J].  
Spacecraft Environment Engineering, 2023, 40(1): 80-83

## 0 引言

海南文昌发射场主要由总装测试厂房、加注扣罩厂房、垂直总装厂房、1#塔架发射工位和2#塔架发射工位组成<sup>[1]</sup>。作为我国首个低纬度滨海发射基地,其建成满足了中国航天发展的新需求。文昌发射场独特的地理优势不仅可使火箭在发射时能借助接近赤道的较大线速度以及惯性带来的离心力而大大减少燃料的消耗,并提升残骸坠落的安全性,亦可通过海运解决巨型航天器运输难题。但是与我国其他航天发射场相比,文昌发射场独有的沿海环境因素,如盐雾、高温高湿气候、多雨和台风天气等,也会给航天器发射带来不利影响。因此,在文昌发射场的建设和使用过程中,必须综合考虑环境因素的影响,优化发射场各部分的设计,使其满足航天器发射需求。

塔架电缆是为航天器在发射场进行地面测试及发射试验提供必要的供电及有线检测、控制通路的地面电缆。在发射场综合测试全过程中,塔架电缆主要在垂直总装厂房和塔架发射工位的测试中使用。不同类型的卫星因其运载不同故而所用塔架的结构和电缆也不同。在通信卫星地面测试全过程中,要求具备100 V稳压供电能力,因此地面配套使用的电缆在设计、研制、使用等各阶段中,都需要按照此要求开展工作,以满足电缆与地面设备、电缆与卫星接口的匹配要求。

文昌发射场通信卫星使用的塔架电缆是在西昌发射场传统塔架电缆的基础上,结合文昌发射场特殊的盐雾、高温和高湿环境而设计。本文给出该塔架电缆的最终设计方案及测试验证情况。

## 1 塔架电缆设计

### 1.1 塔架电缆组成

文昌发射场的塔架电缆设计既借鉴了西昌发射场塔架电缆的成熟技术,又充分考虑了文昌发射场发射塔架的构造,该塔架电缆由A、B段电缆,以及A、B界面转接箱组成(如图1所示)。A段电缆铺设于摆杆上,连接运载脱落插头与A界面转接箱。B段电缆铺设于塔架发射工位的竖井内,连接A界面转接箱和B界面转接箱。A界面转接箱放置在塔架发射工位的“卫星电缆间”内,分别与A段电缆和B段电缆连接。B界面转接箱放置在塔架

发射工位的“卫星测试间”内,分别与B段电缆和地面设备连接。

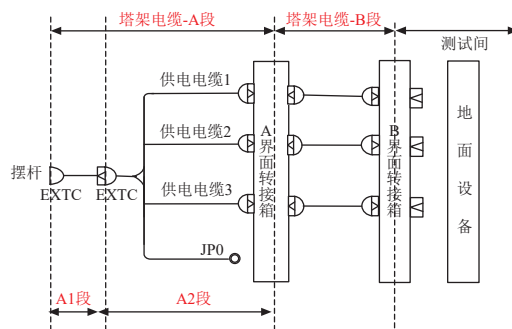


图1 文昌发射场塔架电缆组成

Fig. 1 Composition of tower cable at Wenchang launch site

### 1.2 塔架电缆设计方案

在对文昌发射场的使用场地环境进行全面了解,以及与发射场、运载火箭方相关人员的深入沟通后,最终确定了塔架电缆的设计方案,其中根据文昌发射场特点而有别于西昌发射场塔架电缆的设计主要有以下几方面:

1)由于通信卫星在文昌发射场使用的塔架发射工位结构与其在西昌发射场使用的不同,故设计文昌发射场塔架电缆总长度约150 m,短于西昌塔架电缆的总长度(约400 m),这样供电通路压降小,供电安全系数高。

2)在电缆分支的设计和铺设方面,考虑到电缆在垂直测试厂房、塔架发射工位使用过程中需具备铺设便利、快速测试的特点,故将A段电缆再设A1、A2两段分支。这样在垂直测试厂房的A1段电缆配合卫星进行测试的同时,完成塔架发射工位的A2段电缆的铺设和检查,从而可节省时间,提高工作效率。

3)在A1段、A2段和B段电缆的使用率方面,因A1段电缆处于火箭发射时的高温烧蚀环境,为确保后期使用安全,故定义其为一次性使用电缆,而A2段及B段电缆为可重复使用电缆。而西昌塔架电缆A段为可重复使用电缆,每次发射任务结束后将电缆收回,待下次继续使用。

4)卫星与火箭组合体从垂直测试厂房转运至塔架发射工位前,A1段电缆已铺设并固定在摆杆上,并保持此状态直至发射任务结束,因此在电缆铺设的同时要做好一系列保护措施:在电缆两端的接插件上盖防尘盖、包覆保鲜膜和气泡膜,以应对潮湿、高温和下雨天气,以及防止电缆在转运期间

的磕碰及颠簸;在摆杆上加盖防雨布,保护电缆;在对电缆进行铺设固定的过程中,须使用铁丝等防火材料工具进行绑扎固定,严禁使用全棉人字带,以防止电缆自燃等情况发生。

5)考虑到文昌发射场地处滨海地区,塔架电缆在研制过程中需特别关注对电缆、电连接器及转接箱的防潮、防盐雾、防霉菌(“三防”)<sup>[2]</sup>。

①电缆

文昌发射场塔架电缆选用的电缆类型与西昌发射场的一致,为交联聚乙烯绝缘金属膜一体化屏

蔽控制电缆<sup>[2]</sup>。电缆的技术指标满足综合测试和文昌发射场环境的需求,详见表 1。

②电连接器

塔架电缆使用的电连接器主要包括 JF5 脱落电连接器(主要用于与卫星的接口)、J599 系列电连接器(主要用于与电缆转接箱的接口)。每个电连接器配置独立的保护插头,在空置时期起到保护作用;配置独立的保护袋,保护袋中放置干燥剂,用于在空置时期的防潮保护。电连接器的技术指标满足综合测试和文昌发射场环境的需求,详见表 2。

表 1 选用的电缆型号及主要技术指标

Table 1 Types of the selected cables and their main technical indexes

| 电缆名称                       | 电缆型号                                | 主要技术指标                                                                       |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 交联聚乙烯绝缘金属膜一体化屏蔽控制电缆        | KYVR 55 mm×0.5 mm/<br>70 mm×0.5 mm  | 使用温度: -40~70 ℃<br>电缆绝缘电阻: 20 ℃时应≥2000 MΩ·km<br>电缆每根金属膜屏蔽层20 ℃时的直流电阻应≤0.5 Ω/m |
| 交联聚乙烯绝缘金属膜一体化屏蔽金属编织内屏蔽控制电缆 | KYVRP 55 mm×0.5 mm/<br>24 mm×0.5 mm | 电缆耐压试验: 应经受50 Hz、1000 V、1 min电压试验而不击穿                                        |

表 2 选用的电连接器型号及主要技术指标

Table 2 Types of the selected connectors and their main technical indexes

| 名称         | 型号              | 主要技术指标                                                                                                   |
|------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JF5脱落电连接器  | JF5-231Z1       | 壳体: 铝合金; 接触件: 铜合金镀金<br>温度范围: -40~85 ℃; 盐雾: 48 h; 相对湿度: 90%~95%((40±2) ℃时)<br>插座插合面可耐瞬时2000 ℃高温火焰         |
|            | JF5-231TD-1     |                                                                                                          |
| J599系列电连接器 | J599I/26KJ61SHN | 该系列电连接器具有高温下抗高强度振动特性<br>壳体: 铝合金; 接触件: 铜合金镀金; 表面处理: 可选择不锈钢钝化<br>温度范围(不锈钢钝化): -65~200 ℃; 盐雾: 500 h盐雾加速试验指标 |
|            | J599I/26KH55SHN |                                                                                                          |

③转接箱

电缆转接箱采用奥氏体不锈钢(钝化处理)材质<sup>[3]</sup>,并喷涂三防涂料,以确保其箱体在盐雾环境下不会受到腐蚀。转接箱内部采用密封结构,电连接器固定在电缆转接箱内部,在非测试期间所有扣盖挡板全部安装的情况下电连接器与外部环境隔绝。转接箱使用的金属构件、紧固件全部采用不锈钢件(钝化处理),对暴露在外的结构件,特别是螺钉、铆钉连接处和部件贴面闭合处,紧固后需点硅橡胶处理,以清除缝隙和隔绝外部环境<sup>[3]</sup>,防止因积水、灰尘和盐雾的侵蚀造成缝隙处的腐蚀。

2 塔架电缆测试验证

西昌发射场塔架电缆测试是一次性完成,因为西昌发射场发射区厂房只有一个,测试时将所有电缆连成完整通路就可以完成所有检查内容。而文昌发射场则不同,它将原概念的发射区厂房分成了两个有联系的厂房,即垂直总装厂房和塔架发射工位。在垂直总装厂房测试完成后,卫星与火箭组合

体将整体随脐带塔一起转运至塔架发射工位。因此为了保证检查项目全面覆盖又节省时间提高效率,在塔架发射工位分两次开展塔架电缆测试。

2.1 塔架电缆第 1 次测试

一般在卫星加注期间,最晚在地面设备转场到垂直总装厂房前对塔架电缆全部分支进行第 1 次测试。首先确认电缆状态,即在插接前对电连接器表面有无损伤、有无歪针、有无缩针缩孔、有无多余物、尾罩有无松动进行检查确认;然后进行电缆连接,此过程中须确保插接正确以及受力情况满足要求;电缆连接后导通检查;最后是绝缘检查,要求满足≥20 MΩ的判据要求。

第 1 次测试完成后,将 A1 段电缆转场至垂直总装厂房,参与垂直总装厂房的系统联调工作。对留存在塔架发射工位的其余分支电缆做好防护,以防止空闲时期环境、天气变化对塔架电缆的影响;首先将 A2 段电缆放置在电缆竖井中,接插件包覆保鲜膜和气泡膜,电缆整体覆盖防雨布;其次将电

缆转接箱摆放在专用转接箱支架上,绑扎固定牢靠,未使用的插座插接保护插头;最后张贴警示标识,提醒无关人员勿动、勿碰。

## 2.2 塔架电缆第2次测试

在卫星与火箭组合体转场至塔架发射工位前,对除A1段的其他塔架电缆分支进行第2次测试。首先确认电缆状态,此时电缆与转接箱应处于插接状态,要对电缆表面有无磕碰、电缆受力情况进行检查确认;同时要检查整段电缆上是否有凝结水珠的情况,如果存在则表明电缆处于高潮湿环境条件,需要采取补救措施<sup>[4]</sup>;然后进行导通检查,电缆阻值应小于第1次电缆检查时的阻值,要将两次导通测试数据进行比对;最后是绝缘检查,此时距离第1次检查已间隔一段时间,所以对电缆绝缘性要进行重点关注,绝缘应满足 $\geq 20\text{ M}\Omega$ 的判据要求,不满足要求的接点要重新检查。第2次测试时需注意以下事项:

1)第2次测试对于电缆的绝缘性要求比较严格。绝缘性是衡量电连接器电气性能的一个重要指标,若绝缘电阻值低,则表示泄漏电流大,过大的泄漏电流将会产生大量的热和直流电解,最终造成绝缘性能的破坏或使电连接器的电性能变差<sup>[5]</sup>。

2)卫星与火箭组合体转场至塔架发射工位后,塔架电缆A1段与A2段连接前,需对两段电缆的接插件状态进行检查(电连接器表面有无损伤、有无歪针、有无缩针缩孔、有无多余物、尾罩有无松动),检查完毕后方可进行插接。

3)插接完成后,A1段与A2段连接处要包覆保鲜膜和气泡膜,并尽量放置在平台角落及其他不影响他人工作的位置,电缆要绑扎固定好。此状态将保持至卫星发射后,因此电缆通路的各环节均需进行确认,并拍照留存记录。

4)对电缆检查的同时,还需检查摆放设备房间内的温、湿度,以保证综合测试设备运行正常。温度要求为 $16\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度要求为 $40\%\sim 70\%$ 。

## 3 结束语

本文提出的塔架电缆设计方案是在充分继承西昌发射场塔架电缆研制经验的基础上,结合文昌

发射场特有的盐雾、高温高湿环境以及天气情况进行了相应的改进。目前,1#塔架发射工位塔架电缆的设计、测试和使用已在3颗通信卫星正样星上得到验证,测试流程已基本固化,并形成了相应的操作性文件;2#塔架发射工位的塔架电缆在设计上无继承性,但充分借鉴了1#塔架发射工位的塔架电缆状态和遥感卫星在2#塔架发射工位的塔架电缆状态,最终确定了最优设计方案,达到了优化设计的目的。2#塔架发射工位的塔架电缆已完成研制,目前处于测试、使用的验证阶段。

### 参考文献 (References)

- [1] 霍佳婧,雷剑宇,刘元. 针对海南文昌发射场的载人航天器盐雾效应试验及防护方法[J]. 航天器环境工程, 2017, 34(5): 538-542  
HUO J J, LEI J Y, LIU Y. Salt spray test and protection for manned spacecrafts to be launched at Hainan Wenchang spaceport[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2017, 34(5): 538-542
- [2] 于峰,张福生,孟宪会. 海洋环境下载人航天器电子设备防护技术[J]. 航天器环境工程, 2017, 34(3): 330-335  
YU F, ZHANG F S, MENG X H. Protection technology for electronic equipment used on manned spacecraft in coastal areas[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2017, 34(3): 330-335
- [3] 刘育民. 电子设备机箱防护设计初探[J]. 电子产品世界, 2019, 26(2): 74-77  
LIU Y M. Protective material of electronic equipment explore in marine environment[J]. Outlook of Electronic Technology, 2019, 26(2): 74-77
- [4] 杜道忠,陈新,王志勇,等. 高潮湿环境下电力设备绝缘材料劣化分析[J]. 电工技术, 2021(3): 149-150  
DU D Z, CHEN X, WANG Z Y, et al. Analysis of insulating materials deterioration of electric power equipment in high humidity environment[J]. Electric Engineering, 2021(3): 149-150
- [5] 谭晓明,张丹峰,王德,等. 海洋环境下航空电连接器腐蚀行为规律研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(2): 56-60  
TAN X M, ZHANG D F, WANG D, et al. Corrosion behavior of aviation electrical connector in marine environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(2): 56-60

(编辑:王 洋)

一作简介: 戴 萌(1984—),女,主要研究方向为通信卫星综合测试。E-mail: 278100966@qq.com。