

# 通信设备在极端环境下的可靠性设计与测试

宋加兴

山东省邮电工程有限公司青岛分公司 山东 青岛 266000

**摘要:**在现代科技飞速发展的背景下,通信设备已成为现代社会不可或缺的基础设施。从深海的探测到高山的通讯,从极地的科考到沙漠的勘探,通信设备都扮演着举足轻重的角色,但是极端环境对通信设备的可靠性提出了严峻的挑战,需要在高温、低温、高湿、干燥、强辐射等恶劣条件下确保通信设备的稳定运行。因此,本文将对通信设备在极端环境下的可靠性设计与测试方面进行深入研究,以期能够对通信领域有所帮助。

**关键词:**通信设备;极端环境下;可靠性设计;测试

极端环境对通信设备具有多方面的影响,比如高温环境会导致设备内部电路过热,进而影响元器件的性能和寿命,而低温环境则会使设备内部的润滑油凝固,导致机械部件运转不灵,高湿环境可能引发设备内部的短路和腐蚀。为此,可靠性设计是确保通信设备在极端环境下稳定运行的基础,在设计阶段需要充分考虑设备可能面临的极端环境因素,如温度、湿度、辐射等,并采取相应的防护措施。测试是验证设计效果、发现潜在问题的关键环节,通过模拟极端环境条件下的测试,可以检验设备的性能是否达到预期,及时发现并解决设计中可能存在的问题。

## 1 极端环境对通信设备的影响分析

极端环境是指那些超出通信设备正常运行所能承受的环境条件范围的环境,包括高温、低温、高湿、干燥、强辐射等,环境因素会对通信设备的性能、稳定性和寿命产生不良影响,具体影响包括:(1)高温环境的影响。在高温环境下,通信设备的散热性能会受到挑战,如果散热不良,设备内部的温度会持续升高,进而影响元器件的性能和寿命,高温可能导致电路板的导电性能下降、电容器的电解液挥发加速、电阻器的阻值变化等,且高温还会加速设备的老化过程,缩短其使用寿命。(2)低温环境的影响。在低温环境下,通信设备内部的润滑油可能凝固,导致机械部件运转不灵,且电子元器件的性能会受到影响,如晶体管的放大倍数减小、电容器的容量下降等,从而导致设备工作不稳定或完全失效。同时,低温还会使设备的绝缘材料变硬变脆,增加了设备损坏的风险。(3)高湿环境的影响。在高湿环境下,通信设备容易受潮引发短路和腐蚀等问题,潮湿的空气会使设备的绝缘性能下降,增加触电风险,同时还会加速金属部件的腐蚀过程;高湿环境还会影响设备的散热性能,使设备更容易过热<sup>[1]</sup>。(4)干燥环境的

影响:在干燥环境下,通信设备的绝缘材料容易老化加速,主要是因为干燥的空气会使绝缘材料失去水分而变得脆弱易碎,还会使静电问题更加突出,对设备造成潜在威胁。静电可能击穿电路板的微小间隙或损坏敏感电子元器件,还可能干扰设备的正常信号传输导致性能下降。(5)强辐射环境的影响。在强辐射环境下,通信设备的电子元器件可能受到损伤,电磁辐射会干扰设备的正常信号传输导致性能下降,还会使电子元器件的参数发生变化或产生故障,长期暴露在强辐射环境下的设备可能会出现频繁故障或完全失效的情况。

## 2 通信设备在极端环境下的可靠性设计优化措施

### 2.1 高温环境下的可靠性设计

在通信设备的设计过程中,应优先选用耐高温的元器件和材料,耐高温元器件和材料能够在高温环境下保持良好的性能,从而确保设备的整体稳定性,比如可以选用具有高导热性能的金属材料来制作设备的散热片,以提高设备的散热效率;选用耐高温的电容器和电阻器,以确保其在高温环境下的性能稳定。散热设计是确保通信设备在高温环境下可靠运行的关键,优化散热设计可以有效地降低设备内部的温度,从而减轻高温对设备的不良影响,可以通过合理设计设备的结构和布局,增大散热面积,提高设备的散热效率,比如可以在设备的外壳上设置多个散热鳍片,以增加散热面积;采用高效的散热技术,如热管技术、液体冷却技术等,提高设备的散热效率,从而可以将设备内部产生的热量快速导出,并散发到周围环境中,从而确保设备内部的温度始终保持在安全范围内。高温环境通常伴随着沙尘、灰尘等污染物的增多,污染物会进入设备内部,影响设备的散热性能和电气性能,所以在通信设备的设计过程中,应加强设备的密封和防尘设计,可以通过合理设计外壳的结构和密封件,提高设备外壳的密封性能,防止沙

尘、灰尘等污染物进入设备内部，还可以在设备的进风口和出风口处设置防尘滤网，以阻挡沙尘、灰尘等污染物进入设备内部。除此之外，为了进一步提高通信设备在高温环境下的可靠性，可以采取热隔离和热保护措施，将发热量较大的元器件与其他元器件进行隔离，以减少之间的热干扰，比如可以将发热量较大的功率放大器单独放置在散热良好的区域内，并与其他电路板进行隔离；可以设置过热保护机制，当设备内部温度达到安全限制时，自动启动保护措施，关闭部分功能、降低功率输出等，以防止设备因过热而损坏，并设置温度监测和报警系统，实时监测设备内部的温度变化，并在温度异常时及时发出报警信号<sup>[2]</sup>。

### 2.2 低温环境下的可靠性设计

在低温条件下，电子元件的参数如电阻、电容等可能会发生变化，导致设备的性能不稳定，且许多材料在低温下会变脆，如塑料、橡胶等，材料脆化会导致设备结构损坏、密封失效等问题。因此，在低温环境下，应优先选择具有良好低温韧性和抗冲击性能的材料，对于设备的外壳和结构件，可以采用耐低温的合金或工程塑料，电缆和连接器可以选择能够在低温下保持良好柔韧性和导电性能的材料；结构设计应考虑到低温环境下的应力集中和热应力问题，通过合理的结构布局和减震设计，可以降低设备在低温条件下的振动和冲击，且设备的密封性能也需要得到加强，以防止低温环境下的湿气、凝露等侵入设备内部。热设计是确保通信设备在低温环境下正常工作的关键。通过合理的热布局 and 热隔离技术，可以防止设备内部产生过大的温差，从而避免热应力对设备造成的损害，并应考虑到设备的加热和保温措施，如采用加热元件、保温材料等，以确保设备在低温启动时能够快速达到正常工作温度；电源是通信设备的核心部分，其稳定性直接关系到设备的可靠性，低温环境下电源的容量和效率都会受到影响，所以在电源设计中应采用宽温范围的电源模块，并考虑到电源的冗余和备份，以确保在低温条件下电源的连续供应。

### 2.3 高湿环境下的可靠性设计

水分是导致金属腐蚀的主要因素之一，高湿环境中水分会渗透进设备的防护壳，直接接触到电气元件的金属部分，如接线端子和电路板上的金属导体，还能通过空气中的盐分、污染物等介质加速金属的电化学腐蚀过程，所以为了提升通信设备可靠性，则必须加强其耐高湿环境设计。在通信设备材料方面，优先选用具有高耐湿性和抗腐蚀性能的材料，如不锈钢、钛合金等金属材料以及聚四氟乙烯、尼龙等工程塑料，并对金属材料

进行表面处理，如电镀、喷涂防腐涂层等，以进一步提高其抗腐蚀能力，同时选用吸水率低、绝缘性能好的材料作为电气元件的绝缘体和支撑结构。在密封与防水结构设计方面，采用多层密封结构，确保设备外壳具有优异的防水性能，使用橡胶密封圈、防水胶条等密封件，并对其进行定期检查和更换，并对设备外壳进行防水测试，确保其能在高湿环境下长时间正常工作而不发生渗水或漏气现象。在内部环境控制方面，可以在设备内部设置湿度传感器和除湿装置，实时监测并控制内部湿度水平，根据湿度变化自动调节除湿装置的工作状态，以维持相对干燥的内部环境，还可以使用吸湿性好的干燥剂或电子除湿器，并设置自动更换或再生机制，以保证持续有效的除湿效果<sup>[3]</sup>。

### 2.4 干燥环境下的可靠性设计

沙漠等干燥地区日照时间长，温度高，通信设备易受高温影响，导致电气元件性能下降，散热困难，甚至引发故障，且干燥环境中空气湿度极低，容易导致设备内部静电积累，造成电气元件击穿或损坏。干燥环境通常伴随着高温，所以针对干燥环境，应优化设备的散热结构，如增大散热面积、设计合理的通风道等，还可以采用液体冷却、热管技术等先进散热技术，确保设备在高温下仍能有效散热；在设备内部设置防静电装置，如接地线、静电消除器等，以减少静电积累，并对设备外壳进行防静电处理，如喷涂防静电涂层，防止静电对设备造成损害；针对强风环境，应增强设备的结构强度，如加厚设备外壳、增加支撑结构等。在通信设备设计时，可以采用模块化设计理念，将设备划分为多个独立模块，每个模块都具有独立的散热、防尘等功能，便于在极端环境下进行快速维修和更换，还可以提高设备的可扩展性和灵活性。

### 2.5 强辐射环境下的可靠性设计

在对通信设备强辐射环境下的可靠性设计时，可以采用电磁屏蔽技术，对通信设备进行电磁屏蔽处理，通过设计合理的屏蔽结构和使用高性能的屏蔽材料，减少电磁辐射对设备的影响，并对设备的接口和连接线进行屏蔽处理，防止电磁干扰通过接口和连接线进入设备内部；可以在关键部位采用冗余设计，如设置备份电源、备份通信通道等，当主设备因辐射损伤而失效时，备份设备能够及时接管，确保通信系统的连续性和稳定性。对通信设备的结构进行加固设计，如增加设备外壳的厚度、使用高强度材料等，通过加固结构设计能够提高设备的机械强度和抗辐射能力，减少辐射对设备结构的损伤；或采用辐射防护技术，如使用辐射防护涂料、辐射

防护板等,对通信设备进行辐射防护处理,防护材料能够吸收或反射辐射能量,减少辐射对设备的损伤<sup>[4]</sup>。

### 3 通信设备在极端环境下的可靠性测试

以低温极端环境为例,低温极端环境,如极地、高山等地区,对通信设备的可靠性提出了严峻的挑战。为了确保通信设备在低温极端环境下能够正常工作,需要进行全面的可靠性测试。为此,本文提出一种具体的测试方案,如下所示:

#### 3.1 测试目的

评估通信设备在低温环境下的启动性能;测试通信设备在低温环境下的连续工作能力;检验通信设备在低温环境下的数据传输稳定性和准确性;考察通信设备在低温环境下的结构强度和密封性能。

#### 3.2 测试环境

温度范围:  $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ; 湿度范围:  $\leq 30\%\text{RH}$ ; 模拟风雪、冰冻等极端气候条件。

#### 3.3 测试设备

低温试验箱:用于模拟低温环境;数据采集与分析系统:用于收集测试过程中的数据并进行分析;电源及负载设备:为通信设备提供稳定的电源和负载;测试工具:包括万用表、示波器、频谱分析仪等。

#### 3.4 测试内容及方法

在低温启动测试中,将通信设备放入低温试验箱,设定温度为 $-40^{\circ}\text{C}$ ;保持2小时后,尝试启动通信设备;记录启动过程中的时间、电流、电压等关键参数;分析启动过程中的异常情况。

在连续工作能力测试中,通信设备成功启动后,保持其在 $-40^{\circ}\text{C}$ 环境下连续工作24小时;监测通信设备的运行状态,记录关键参数的变化;检查设备是否有异常发热、噪音等现象。

在数据传输稳定性与准确性测试中,通信设备连续工作过程中,进行数据传输测试;发送一定量的测试数据,记录发送和接收的数据量、传输时间、误码率等参数;分析数据传输的稳定性和准确性。

在结构强度与密封性能测试中,将通信设备从低温试验箱中取出,检查设备外观是否有裂纹、变形等现象;对设备的接口、缝隙等部位进行密封性检查;使用专用设备对设备的结构强度进行测试。

#### 3.5 测试注意事项

在测试前,选择适用于低温环境的通信设备,并确保其规格、型号与测试要求相符,检查设备的完整性,确保无损坏或缺陷;确保低温试验箱能够准确模拟所需的低温环境,包括温度范围、湿度和可能的风雪条件,并定期校准试验箱,以确保其准确性。在测试过程中,严格控制低温试验箱内的温度,确保其在设定的范围内波动,避免温度的快速变化,以减少对通信设备的热冲击。遵循设备的操作手册和测试流程,确保每一步操作都准确无误,避免误操作导致的设备损坏或测试数据失真,并详细记录测试过程中的所有数据,包括设备状态、环境参数和操作步骤。确保数据的完整性和可追溯性。在测试后的处理环节中,对测试数据进行整理和分析,提取关键信息,如设备的性能变化、故障点等,并将测试结果与预期结果进行对比,评估通信设备在低温环境下的可靠性,分析差异的原因,提出改进措施,最后撰写详细的测试报告,包括测试目的、过程、结果和分析,确保报告的准确性和客观性,为后续的设备改进提供依据<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

综上所述,在现代通信设备设计中,需要根据其主要应用场景,充分考虑极端环境下的可靠性,采用科学的设计方案,提升其整体可靠性,并做好测试工作,从而能够提高通信设备运行稳定性,对于通信领域发展具有重要意义。

#### 参考文献

- [1]郑小英.电力系统通信设备设计分析[J].光源与照明,2022(9):111-113.
- [2]孙永全,钱湘伟,方晓彤,等.电磁环境下数据链通信设备可靠性建模方法[J].哈尔滨理工大学学报,2023,28(3):80-87.
- [3]李悻臻,孙一丁,邹金孜,等.面向5G通信基站管理系统性能评估的测试用例分布规律研究[J].西安交通大学学报,2023,57(3):193-201.
- [4]王美玲,孙国良,李子义.通信设备定时截尾可靠性试验方法研究[J].环境技术,2022,40(6):191-195.
- [5]杨钰涵,王仁彪,张文广.基于5G通信技术的加密网络接入设备设计[J].信息科学与工程研究,2023,4(2)3-4.