
方案论证报告

编制：

审核：

会签：

批准：

编号：

版本：

目 录

1 概述.....	1
1.1 甲方任务需求概述.....	1
1.2 报告内容概述.....	1
2 引用文件.....	1
3 主要技术指标要求.....	1
3.1 电性能指标.....	1
3.2 结构形式.....	1
3.3 表面处理.....	1
3.4 五性设计.....	1
3.5 环境适应性（设计保证）.....	2
4 技术方案.....	3
4.1 组成及原理图.....	3
4.2 关键因素、薄弱环节及相应措施.....	3
4.3 计算机软件.....	3
4.4 外壳设计.....	3
4.5 功耗估计.....	3
5 五性设计.....	3
5.1 五性设计包含：.....	3
5.2 该产品所采取的措施.....	4
6 环境适应性设计.....	9
6.1 耐高低温设计.....	9
6.2 抗振动和抗冲击设计.....	10
6.3 防腐蚀设计.....	10
6.4 防霉设计.....	11
7 标识、包装运输和储存.....	11
7.1 标识.....	11
7.2 包装.....	11
7.3 储存和运输.....	12
8 设计达到的产品性能.....	12
9 研制周期及进度计划.....	13
10 总结.....	13

1 概述

1.1 甲方任务需求概述

XXX 模块应用于军用通信设备，详细任务需求另见《XXX 模块技术协议》。

1.2 报告内容概述

本报告针对甲方任务需求进行方案设计，报告主要内容如下：

- 1) 主要功能性能要求；
- 2) 技术方案设计及指标论证；
- 3) 五性设计
- 4) 环境适应性设计；
- 5) 标识、包装运输和储存；
- 6) 设计达到的产品性能；
- 7) 研制周期及计划；
- 8) 总结。

2 引用文件

《XXX 模块技术协议》

GJB 150A-2009	军用装备实验室环境试验方法
GJB 360B-2009	电子及电气元件试验方法
GJB179A-1996	计数抽样检查程序及表
GJB939-90	外购器材的质量管理
GJB/Z 35-1993	元器件降额准则
GJB2102-94	合同中的质量保证要求
GJB/Z 299C-2006	电子设备可靠性预计手册

3 主要技术指标要求

3.1 电性能指标

3.2 结构形式

图 1 结构及尺寸

3.3 表面处理

表面镀层美观、光滑、不氧化发黑，符合三防（防盐雾、防湿热、防霉菌）要求。

标识

正面激光打标。打标内容包括：名称、型号、序号、厂家等信息。打标字样清晰。

3.4 质量特性设计

1) 可靠性要求

MTBF > 9600 小时（最低可接受值）。

2) 测试性要求

客户在整机使用时，考虑的是整机测试性。本器件为简单元器件，测试性对本器件不适用。

3) 维修性要求

客户在整机使用时，考虑的是整机测试性。本器件为简单元器件，测试性对本器件不适用。

4) 安全性要求

保障人身安全、环境安全、设备安全。

5) 保障性要求

具有所有功能、性能内场测试、验收、维修的保障条件。

3.5 环境适应性（设计保证）

1) 高温试验

模块应能承受以下高温环境，并确保模块结构、功能不受损坏：

存贮：+105℃，达到温度稳定后保持 48h，恢复至常温进行外观及性能测试；

工作：+85℃，在非工作状态下达到温度稳定并保持此温度 2h 后启动模块工作，设备持续工作直到达到热平衡，然后继续保持工作 2 小时。

2) 低温试验

模块应能承受以下低温环境，并确保模块结构、功能不受损坏：

存贮：-60℃，达到温度稳定后保持 24h，恢复至常温进行外观及性能测试；

工作：在-55℃非工作状态下达到温度稳定并保持此温度 2h 后启动设备工作。

3) 振动功能试验

(1) 随机振动功能试验

随机振动功能试验的频率范围为 10Hz~2000Hz，试验要求见表 1。

振动功能试验时，器件应处于正常工作状态，主要性能指标不应超标。功能振动试验时间为每轴向 1 小时。

航向对应器件 Z 方向；

侧向对应器件 Y 方向；

垂向对应器件 X 方向。

(2) 随机振动耐久试验

随机振动耐久试验的频率范围为 10Hz~2000Hz，试验要求见表 1。振动耐久试验时，器件可以不工作或工作性能超标耐久振动试验时间为每轴向 10 小时，试验过程中可中断、检查，试验时间累积有效，但每次试验持续时间不得小于 10 分钟。

航向对应器件 Z 方向（高度方向）；

侧向对应器件 Y 方向（宽度方向）；

垂向对应器件 X 方向（长度方向）。

4) 冲击

模块的设计应能确保模块在下述冲击条件下，其结构、功能不受损坏：

测试条件：加速度 15g，脉冲宽度 $11 \pm 1\text{ms}$ 的半正弦波沿三个垂直轴的六个方向上，每个方向冲击 3 次，总共进行 18 次冲击，冲击后不损坏、外观无明显变形、引脚完好、且常温性能指标不下降；

测试步骤：a、试验前测试 A、B 组规定的项目，合格后进入下步骤；

b、将模块器刚性地紧固在试验台的夹具上（注整个试验过程中应始终刚性地紧固在试验台的夹具上）；

c、在加速度为 15g，脉冲宽度 $11 \pm 1\text{ms}$ 的半正弦波对三个互相垂直轴的六个方向上各施加 3 次冲击（共 18 次）；

5) 盐雾

模块应具有抗盐雾大气影响的能力，在下述条件下模块所用金属无明显发黑、变

暗，金属焊接处无严重腐蚀，金属防护层腐蚀面积占金属防护层面积的 30%以下：

氯化钠溶液浓度 5%；温度 35℃；pH 值：6.5～7.2；持续 24h 盐雾暴露和 24h 干燥为一个周期，循环 2 次；其他条件按 GJB 360B-2009.101 的规定。

6) 电磁兼容性要求

4 技术方案

4.1 组成及原理图

从以上指标看，难点有温度特性指标。因此产品设计从以下几点进行设计评估。

射频前端模块按照模拟和数字分块设计方案进行，其目的是为了防止模拟和数字之间存在串扰降低收发激励的信噪比而影响系统的正常工作。因此，在本模块将分别讨论模拟（射频）和数字部分的设计

4.2 关键因素、薄弱环节及相应措施

关键因素：

温度特性整批 100%达成。

4.3 计算机软件

采公司自制的自动化测试软件，仿真软件等。

4.4 外壳设计

外壳设计的结构示意图如图 2 所示。

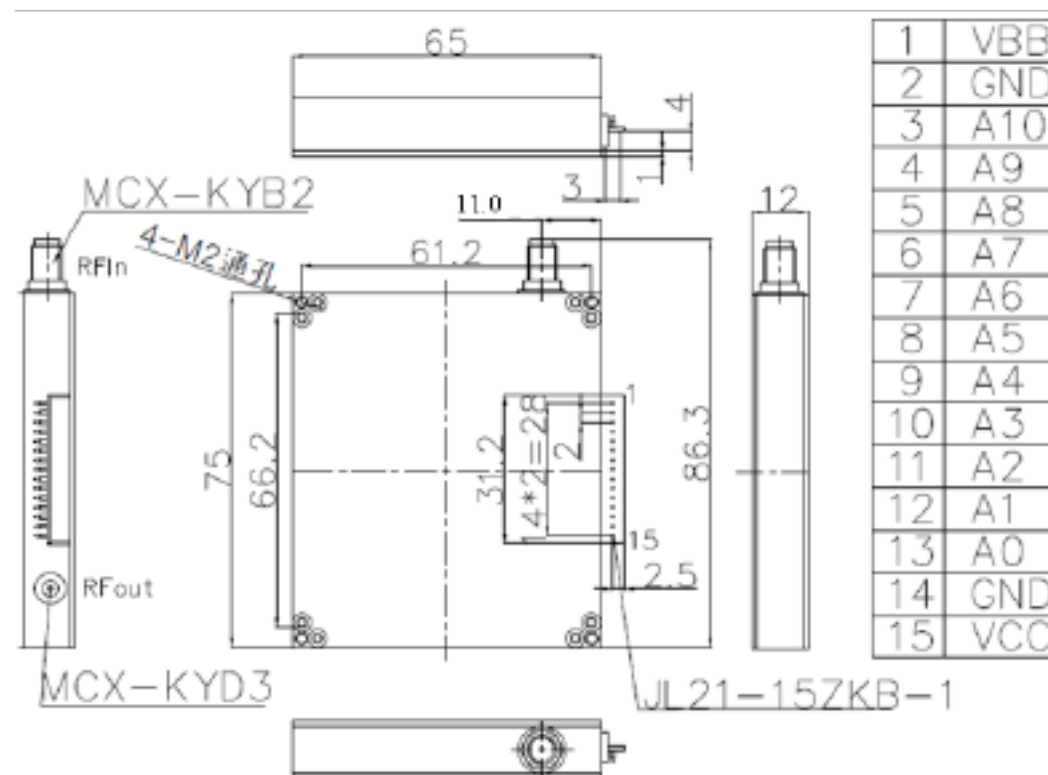


图 2 外壳的设计（结构示意图）

4.5 功耗估计

功耗的评估主要考虑+5V 供电电压的电流消耗情况，主要评估如下：

模块采用 10 路谐振电容通过数字控制实现电容的通断，从而得到不同谐振频率，每路的电流消耗为 $\leq 9\text{mA}$ ，10 路全开是为 $\leq 10 \times 9 = 90\text{mA}$ ；满足设计要求。

5 五性设计

5.1 五性设计包含：

- 1)可靠性设计（含可靠性论证）；
- 2)测试性设计；
- 3)维修性设计；

4)安全性设计；

5)保障性设计；

5.2 该产品所采取的措施

5.2.1 简化设计

(1)、本产品在研制过程中，对简化设计采取以下措施：

(2)、对产品功能进行分析权衡，合并相同或相似功能，消除不必要的功能；

(3)、在满足规定功能要求的条件下，使其设计简单，尽可能减少产品层次和组成单元的数量；

(4)、尽量减少执行同一或相近功能的零部件、元器件数量；

(5)、优先选用标准化程度高的零部件、紧固件与连接件、等；

(6)、最大限度地采用通用的组件、零部件、元器件，并尽量减少其品种；

(7)、必须使故障率高、容易损坏、关键性的单元具有良好的互换性和通用性；

(8)、采用不同工厂生产的相同型号成品件必须能安装互换和功能互换；

(9)、产品的修改，不应改变其安装和连接方式以及有关部位的尺寸，使新旧产品可以互换安装。

5.2.2 降额设计

在本产品的研制过程中，对所用元器件进行Ⅱ级降额等级降额，采取措施如下：

(1)、元器件的降额量值允许做适量调整，但对关键元器件要保证规定的降额量值；

(2)、不能过度降额，过度的降额会使效益下降，系统(设备)重量、体积和成本增加，有时还会使某些元器件工作不正常。如大功率晶体管在小电流下，会大大降低放大系数且参数稳定性降低；

(3)、不能采用降额补偿的方法解决低质量元器件的使用问题；

(4)、不能由于采用了高质量等级的元器件，而不进行降额设计。

元器件降额简表如下：

表 2 元器件降额简表

元器件	使用最大值/额定值×100%	额定参数
半导体	≤60	电压
二极管	≤40	功率
集成电路	≤50	功率
电感	≤60	电流
电阻	≤50	功率
电容器	≤60	电压

5.2.3 冗余设计

本产品在研制过程中的冗余设计采取以下措施：

(1)、当简化设计、降额设计及选用的高可靠性的零部件、元器件仍然不能满足任务可靠性要求时，则应采用冗余设计；

(2)、在重量、体积、成本允许的条件下，选用冗余设计比其它可靠性设计方法更能满足任务可靠性 要求；

(3)、 影响任务成功的关键部件如果具有单点故障模式，则应考虑采用冗余设计技术；

(4)、硬件的冗余设计一般在较低层次(设备、部件)使用，功能冗余设计一般在较高层次进行(分系统、系统)；

(5)、冗余设计中应重视冗余转换的设计。在进行切换冗余设计时，必须考虑切换

系统的故障概率对系统的影响，尽量选择高可靠的转换器件；

5.2.4 热设计

本产品在研制过程中，热设计采取以下措施：

- (1)、保证热流通道尽可能短，横截面要尽量大；
- (2)、尽量利用金属机箱或底盘散热；
- (3)、力求使所有的接触面都能传热，必要时，加一层导热硅胶提高传热性能。尽量加大热传导面积 和传导零件之间的接触面积，提高接触表面的加工精度、加大接触压力或垫入可展性导热材料；
- (4)、器件的方向及安装方式应保证最大热对流；
- (5)、将热敏部件装在热源下面，或将其隔离，或加上光滑的热屏蔽涂层；
- (6)、安装零件时，应充分考虑到周围零件辐射出的热，以使每一器件的温度都不超过其最大工作温度；
- (7)、尽量确保热源具有较好的散热性能；
- (8)、玻璃环氧树脂线路板是不良散热器，不能全靠自然冷却。若它不能充分散发所产生的热量，则应考虑加设散热网络和金属印制电路板；
- (9)、选用导热系数大的材料制造热传导零件。例如：银、紫铜、铜、氧化铍陶瓷及铝等。
- (10)、尽可能不将通风孔及排气孔开在机箱顶部或面板上。

5.2.5 稳定性设计

本产品在研制过程中，稳定性设计采取以下措施：

- (1)、电路设计时，要有一定功率裕量，通常应有 20~30%的裕量，重要地方可用 50~100%的裕量。要求稳定性、可靠性越高的地方裕量应越大；
- (2)、要避免电路的工作点处于临界状态；
- (3)、应对那些随温度变化其参数也随之变化的元器件进行温度补偿，使电路保持稳定；
- (4)、正确选用电参数稳定的元器件，避免电路产生漂移失效；
- (5)、应合理放宽对输入及输出信号临界值的要求；
- (6)、贮备设计应尽量采用功能冗余，当其中冗余部件失效时并不影响主要功能；
- (7)、信息传递不允许中断时，应采取工作贮备；
- (8)、冗余系统和主系统的元件不能通过同一个连接器；
- (9)、主系统和冗余系统的电路不得通过同一条电源干线供电；
- (10)、与冗余系统有关的电线和设备在机械上、电气上应与主系统的电线和设备隔开，以使其他系统中发生的故障不会影响冗余系统，反之亦然。对于冗余系统线路应单独接地；
- (11)、在进行非电产品可靠性设计过程中，应该运用稳健性设计方法，减少产品质量特性波动、提高产品抗干扰能力。采用正交表安排试验方案，通过对各种试验方案的统计分析，找出抗干扰能力强、调整性好、性能稳定、可靠的设计方案。

5.2.6 该产品所选取的器材

(1)、元器件选用质量等级应满足产品要求或达到分配的可靠性指标。国产元器件 GJB/Z 299C-2006 《电子设备可靠性预计手册》进行选择，进口元器件按照 MIL-HDBK-217F 《美国军用手册电子设备 可靠性预计》进行选择。

(2)、国产元器件质量等级必须选用企业军标级以上（含企业军标）产品；进口元器件优先选用军温级以上（含军温级）产品，不得低于工业级。

(3)、在不影响产品技术指标和功能的前提下，采用先进的大规模集成电路、专用集成电路，减少元器件的品种、规格和数量。依据质量要求，产品在设计输出后应进行元器件选型评审，做到定厂家、定型号、定渠道的原则，并按照所内器件优选目录优先选用在多种型号或产品上使用并验证过的器件或系列器材。

(4)、为了减小供货周期风险，采取提前采购的措施，争取按时到货。

(5)、进口电子元器件存在的问题、风险分析及解决措施：为了减小进口元器件可能存在的各种风险，在设计中采取选用常用的、不易停产、可持续生产进口器件，同时寻求国内可替代器件的厂家，以备器件的替换，及国产化设计。具体选材考虑如下：

设计选材要满足武器装备在作战战场的使用要求，注重发挥轻质材料在结构设计中的作用，注重材料对各种严酷环境下装备可靠性的保证、注重材料改善人机环境的效能；

(6)、材料选用不仅要考虑满足各零、部件的性能要求即满足整机的各分功能要求，还应考虑各零、部件对整机性能或者其它零、部件分功能的影响；

(7)、设计选材应遵循标准化、通用化和系列化；

(8)、设计选材应首先择优选用已纳入国标、国军标的材料；

(9)、对于设计中可能遇到的国外牌号材料,应首先在国内牌号中进行筛选，尽量作好国内牌号材料的替代。对于不能替代的国外牌号材料，在设计选材时也应注意材料标准的转化；

(10)、根据零部件、元器件优选清单，选择成熟的零部件和元器件；

(11)、对零部件进行必要的筛选、磨合；

(12)、对元器件进行二次筛选，筛选要求根据甲方提出的协议进行；

(13)、选用的零部件应满足使用环境（防盐雾、防霉菌等）要求；

(14)、关键零部件应列出清单，严格控制公差精度；

(15)、元器件的质量等级必须满足军品要求。

5.2.7 可靠性预计分析

(1)元器件的选用

元器件应按照 GJB/Z299C-2006 《电子设备可靠性预计手册》进行选择。所选元器件的质量等级应满足产品要求或达到分配的可靠性指标。通用电子元器件的质量等级要求见表表 3。

表 3 通用元器件质量等级要求

序号	元器件类别	质量等级		备注
		国产	进口	
1	微电子器件	不应低于 B1 级	不应低于工业级	
2	半导体分立器件	不应低于 B1 级	不应低于工业级	
3	电阻器	不应低于 B1 级	不应低于工业级	
4	电容器	不应低于 B1 级	不应低于工业级	
5	感性元器件	不应低于 B1 级	不应低于工业级	
6	其它	不应低于 B1 级	有质量等级的选用军用级	

不允许选择已明令淘汰、停产的元器件；禁止使用国产塑封半导体器件、锗半导体器件、纸介电容器、金属化纸介电容器、非密封继电器、滑动开关、民用元器件。元器件禁止和限制使用要求、以及器件的筛选要求见甲方技术协议提及内容进行。

可靠性预计

按 GJB/Z 299C-2006 《电子设备可靠性预计手册》进行查阅，整机所用器件进行失效率计算具体如下：

电阻器

由于电阻选用的是生产的厚膜固定电阻器，参加手册 5.5.11 片式电阻器：

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \dots\dots\dots (1)$$

式中：

λ_P ：工作失效率， $10^{-6}/h$ ；

λ_b ：基本失效率， $10^{-6}/h$ ；

π_E ：环境系数；

π_Q ：质量系数；查得 B1，对应 π_Q 为 0.6；

π_R ：阻值系数；不同阻值的阻值系数参加手册 5.5.11-3。

电容器

使用的是 2 类瓷介电容器，其电容值通用工作失效预计模型为：

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{ch} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

λ_P ：工作失效率， $10^{-6}/h$ ；

λ_b ：基本失效率， $10^{-6}/h$ ；

π_E ：环境系数；

π_Q ：质量系数；

π_{CV} ：电容系数；

π_{ch} ：表面贴装系数；

电感器

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_K \pi_C \dots\dots\dots (3)$$

式中：

λ_P ：工作失效率， $10^{-6}/h$ ；

λ_b — — — 基本效率

π_E — — — 环境系数

π_Q — — — 基本效率

π_K — — — 种类系数

π_C — — — 结构系数

集成电路

使用集成电路的通用工作失效率预计模型：

$$\lambda_P = (C1\pi_T + C2\pi_E)\pi_O\pi_L \dots\dots\dots (4)$$

式子中：

- λ_p --- 器件失效率
- π_Q --- 器件质量数
- $C1$ --- 电路复杂度失效率
- $C2$ --- 封装复杂度失效率
- π_T --- 温度加速系数；取决于 工艺
- π_L --- 器件熟练系数

根据 GJB/Z-299C 《电子设备可靠性预计手册》 查阅情况采用计数法，可靠性预计如下。

表 4 可靠性预计

元器件种类/名称	$\lambda_G (10^{-6}/h)$	π_Q	数量	失效率 ($10^{-6}/h$)	单元失效率 ($10^{-6}/h$)	MTBF (10^6h)
贴片电阻	0.0364	1	90	3.276	22.57156	0.044304
贴片电容	0.01852	1	89	1.64828		
贴片电感	0.0198	1	20	0.396		
数字集成电路	0.0242	7	30	5.082		
晶体管	0.004	1	4	0.016		
印制板	1.69976	1	3	5.09928		
失效率 $10^{-6}h$ 和 MTBF (h)					22.57156	0.044304

由上表可得，整个模块的 MTBF 为 50.0947 万小时，大于 100 万小时的要求。

安全性设计

器件及构成器件的原材料均用电处理通信信号，最大工作电压为 6V，工作电流为 8mA，内部采用稳压管和电流保护二极管进行过压过流保护，当器件的使用条件超过一定额定值时，将会无输出，不会造成人员伤害，也不会对输入输出外围电路造成影响。；

所有器件未采用辐射源和放射源，外壳全密封信号辐射极小，器件在生产和使用过程中不会造成任何污染和职业病。

人身安全保护：所有使用人员能接触到的设备、可接触件均不带电。要求设备开盖后外露的元件不应带电。设备在其技术条件允许的高温环境中连续工作规定的时间，应无安全范围内损伤，其密封和浸渍材料不至流淌而使其防电性能消失；

(2)保障性设计

- 保障性设计采取以下措施：
- 结合可靠性设计、维修性设计进行；
- 使用的辅助测试仪器应进行仪器检验，贴有检验标签，并在有效期内使用；
- 图文物的一致性保障（加工、装配图纸、元器件清单、实物等的一致）；

编写产品检验验收细则（大纲），指导产品的验收；
 配备辅助的测试夹具，确保产品在调试、测试、试验、验收等阶段的使用。
 结论：通过以上对五性的设计考虑，本模块的设计满足技术协议的相应要求。

6 环境适应性设计

本产品在研制过程中对环境适应性设计采取以下措施：

减缓影响产品的环境应力、增强产品自身耐环境应力的能力。

(1)、环境适应性设计首先综合考虑所设计产品可能经受到的各种环境因素及其应力，采用减缓环境应力的措施、增强自身耐环境应力的能力，即用有效的防护设计、材料、工艺等来达到所设计产品的环境适应性要求。

(2)、逐级明确防护对象和防护等级。

(3)、按从大到小的顺序，即从系统、整机、单元、零部件、模块、元器件到材料逐级明确防护对象和防护等级。

(4)、建立有效、合理的防护体系。

(5)、环境适应性设计应从多方面入手：采用合理的结构设计，正确选择材料，严格进行计算并确定使用应力，选用稳定的加工、装联工艺，建立有效、合理的防护体系。

综合考虑环境因素的不良影响。

一种环境因素可能产生多种不良影响；一种不良影响往往是多种环境因素协同作用的结果，设计时进行考虑。

6.1 耐高低温设计

为提高产品的耐高低温性能，产品的耐高低温设计从下列三方面进行：

(1)、采用合理的结构

合理的结构是产品耐高低温最为重要的保证：

产品的结构应综合考虑机箱的功率密度、总功耗、热源分布、热敏感性、热环境等因素，以此来确定电子产品最佳的冷却方法；

电子元器件、模块的最大结温的减额准则应符合有关规定；单个电子器件（如集成器件、分立式半导体器件、大功率器件）应根据温升限值，设置散热器或独立的冷却装置；热敏器件的安置应远离热源；对关键器件、模块的冷却装置应采取冗余设计；互连用的导线、线缆、器材等应考虑温度引起的膨胀、收缩造成的故障；

对于印制板组件：其板上的功率器件，应采取有效的措施降低器件与散热器界面的接触电阻；带导热条的印制板，其夹紧装置、导轨及机箱（或插箱）壁之间应保证有足够的压力和接触面积；采用空气自然对流冷却的印制板，其板之间的间距、板上的最高元器件与插箱壁之间的间距应符合有关规定；

(2)、材料的选择

材料的选择遵循以下原则：

选择对温度变化不敏感的材料，采用经优选、认证或经多年实践证明可靠的金属和非金属材料；

选择的材料在温度变化范围内，不应发生机械故障或破坏完整性，如机件变形、破裂、强度降低等级、材料发硬变脆、局部尺寸改变等；

选择膨胀系数不一的材料时，应确定其在温度变化范围内不粘结或相互咬死。

(3)、采用稳定的加工、装联工艺

在标准的制造和装配环境下进行产品的加工、装联；

对于电子产品机箱内各个组件，采取合适的热安装技术；而对于印制板组件，其板上的电子元器件同样采取正确的热安装技术；

采用新型的、经验证的或典型的、可靠的天线、机箱及印制板涂装工艺、金属电镀工艺等，以确保其工艺涂镀层在温度变化范围内不出现不符合标准的保护性及装饰性评价。

6.2 抗振动和抗冲击设计

1) 模块及组件要求

模块及组件固有频率不应低于同轴向插箱的 1.5~2 倍；

安装在插箱（分机、单元）上的模块及组件的连接刚度，应保证三轴向的固有频率不应低于同轴向插箱（分机、单元）固有频率的 1.5~2 倍；

采用较高固有频率的元器件；

2) 印制板模块必须采取加固措施

印制板模块必须采取加固措施。在插箱中的多块印制板模块之间应有限制基频共振振幅的限位措施。

3) 印制板应采取限位、夹紧装置

印制板应采取限位、夹紧装置，限制印制板电连接边受振、受冲击后产生的相对位移和变形。

4) 紧固件的使用。

5) 动态载荷

在电子系统中，将使用许多不同形式的紧固件，它们对电子设备的可靠性起着重要作用。由于在振动与冲击的动态环境下使用，所以设计时应考虑：

以动态载荷（如冲击载荷 $15g \times 1.78 = 26.7g$ 、线性加速度 12g）和结构的几何形状为基础，选择正确的紧固件尺寸和固定位置；

按动态载荷选择紧固件的锁紧装置；

根据动态载荷的要求，选择装配方法，例如螺钉应该用扭矩装置旋紧，该装置可预调到要求的扭矩值。扭矩值应该是扭断螺丝头所需扭矩值的 60~80%。

加固考虑

内部的印制板、体积大的零部件等必须用紧固件紧固，以提高抗冲击与抗振动的能力。

6.3 防腐蚀设计

电子设备防腐蚀设计的基本要求是应根据产品的使用地区和安装平台的不同而不同：例如机载电子设备在有盐雾的大气环境中应能完全正常地工作，其外观评价满足保护性和装饰性的有关要求。

为了提高电子设备环境适应能力，必须采用有效的防腐蚀设计。在设备总体设计阶段，必须同步编制防腐蚀设计大纲，并在设计，制造、贮存、运输、使用等各个阶段予以实施。

电子设备具体的防腐蚀设计主要从以下方面进行：

6.3.1 结构设计

结构设计考虑：

采用密封式结构。密封设计优先顺序为：模块单元进行单独密封；插箱、分机局部密封；机箱或插箱整体密封。

外壳顶部不允许采用凹陷结构，避免积水导致腐蚀；外壳结构应优选无缝隙结构，在采用其它结构时，要确保其密封性和电接触性能；外壳与开关、电缆插头座等部件的连接部位应采取密封措施；

减少积水积污的间隙、死角和空间，易积水的部位应设置足够的排水孔。将内腔和盲孔设计成通孔，便于排水和排除湿气；

避免采用不同类型金属接触，以防电偶腐蚀。必需由两种金属接触时，应选用电位接近的金属。不同金属组成的构件，应设计为阳极面积大于阴极面积，并采用下列一种或几种防护措施：

选用与两者都允许接触的金属或镀层进行调整过渡；

活动部位涂润滑油，不活动部位涂漆；

用惰性材料绝缘；

密封。

在贮存或运输过程中，保证可靠的包装形式和包装材料。

6.3.2 材料选择

(1)、正确地选择材料，是电子设备防腐蚀设计的必要保证。在材料选择时，应选用经过鉴定、认证并经过实际使用可靠的金属和非金属材料，不得使用未经入库检验的材料。非标准件及材料的选用必须经订购方认可和质检方鉴定。

(2)、在容易产生腐蚀和不容易维护的部位（如天线、管系等设备），应优选钛合金、不锈钢等高耐蚀性能材料；

(3)、选择腐蚀倾向小的材料；

(4)、选择杂质含量低的材料：金属材料中杂质的存在，直接影响其抗均匀腐蚀、应力腐蚀的能力，其中高强度钢、铝合金、镁合金等材料的这种倾向尤为严重；

(5)、不同金属材料相互接触时，选用电化偶相容材料，在腐蚀介质中的电偶最大电位差不得超过 0.25V；

(6)、印制板应优选高绝缘、耐燃、无毒、不易变形、刚度高的环氧玻璃布覆铜板（印制板选择 FR-4 型）；

(7)、避免使用放气剧烈的材料如聚乙烯、多硫化合物、酚基塑料、纸、木材等；避免使用不相容的材料，如铜、锰与橡胶、纸与铜或银等。

6.4 防霉设计

防霉设计与上节的防腐蚀设计应在贴装后的印制板进行三防处理，其考虑如下：

(1)、金属、陶瓷、石棉等材料不利于霉菌生长，但应经适当的表面处理，以防止其表面污染上霉菌的营养物质；

(2)、高分子材料（如塑料、合成橡胶、胶粘剂、涂料等）中的填料、增塑剂的选择，应尽量选用防霉的无机填料及其它耐霉助剂；

(3)、热固性塑料应完全固化，以提高其防霉性；

(4)、非耐霉材料如天然纤维材料及其制品应避免使用，若难以避免，则必须经过防霉处理之后才能使用。

结论：通过以上对环境适应性的设计考虑，本模块的设计满足技术协议的相应要求。

7 标识、包装运输和储存

7.1 标识

根据 GJB1443-1992 《产品包装、装卸、运输、贮存的质量管理要求》，进行产品标识。

7.2 包装

内包装

所有波导、同轴接口应具有保护功能的封盖。成品应逐个用防潮材料进行内包装，然后放入能定位和防振的泡沫塑料盒或硬纸盒内，可直接把组件装入能防潮、防震和定位的塑料盒内。对静电敏感的组件应用防静电材料包装，盒内应装有组件使用说明书、质量信息反馈单、保修单和合格证。

外包装

装有产品的盒子应放入防潮、防霉的干燥包装箱内，并采取措施固定牢靠。箱内应放有装箱单。

包装标志

包装标志应清晰并符合 GB/T 191 的规定，对静电敏感的组件的内包装上印有防静电标志。

7.3 储存和运输

储存

产品储存在温度为-40℃~40℃和相对湿度不大于 80%的干燥、通风、无腐蚀性气体的环境中，带磁性元件的组件禁止存放在靠近铁磁性物质的环境中。对静电敏感的组件应注意存放在合适的环境中。

运输

组件应有牢固的包装箱，装有组件的包装箱可利用通常运输工具运输。运输中应避免雨、雪淋袭和剧烈机械撞击。

8 设计达到的产品性能

通过对前面功能性能指标分析，五性设计考虑、环境适应性设计，本产品功能和性能符合性统计如下。

模块功能符合性统计表，如表 5 所示：

表 5 指标符合性统计

检验项目	指标要求
工作频段	
载波频率	
插入损耗	
选择性	
远端抑制	
驻波比	
3dB 带宽	
输入射频功率	
中心频率漂移	
跳频速率	
电源电压及电流	

除本表列出的其他指标通过前面章节的分析，满足指标要求。
结论：通过以上设计及统计，本方案设计满足甲方所有功能性能技术指标要求。

9 研制周期及进度计划

数字模块的研制周期和进度计划如表所示。

表 6 研制周期及进度计划

序号	阶 段	预计完成时间	备注
1	技术方案		技术方案完成评审
2	原理图、器件采购		
3	PCB 设计		
4	PCB 加工		
5	PCB 装配		
6	硬件调试		
7	算法调试及功能性能指标自测		确定硬件后根据任务需求先进行仿真测试等工作。
8	完成验收		

10 总结

综合以上分析可得到：
主要功能及技术指标满足技术协议要求；
通过方案中对各功能及指标的论证，方案切实可行，按照本方案研制，采用成熟技术以及预先仿真手段进行指标评估，预计能满足产品各项技术指标要求。