QJ

中国航天工业总公司航天工业行业标准

QJ 2601－94

地面制导雷达相控阵天线通用技术条件

1994－03－26发布　　1994－09－26实施

中国航天工业总公司　发布

中国航天工业总公司航天工业行业标准

QJ 2601－94

地面制导雷达相控阵天线通用技术条件

1 主题内容与适用范围

本标准规定了地面制导雷达相控阵天线的技术要求、试验方法、检验规则以及产品的标志、包装、运输和贮存要求。

本标准适用于地面制导雷达相控阵天线的设计、生产和验收。

2 引用标准

GB 146.1 标准轨距铁路机车车辆限界

GB 191 包装储运图示标志

GB 1589 汽车外廓尺寸限界

GJB 74.5 军用地面雷达通用技术条件 设计制造要求

GJB 74.6 军用地面雷达通用技术条件 环境条件要求和试验方法

GJB 151.3 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求 星载和弹载设备和分系统（包括相应地面辅助设备）的要求（A2类）

GJB 152 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量

GJB 179 计数抽样检查程序及表

GJB 368 武器装备维修性通用规范

QJ 1729 天线测试方法

QJ 2155 地面雷达天线通用技术条件

QJ 2662 微波铁氧体波导移相器通用技术条件

3 技术要求

地面制导雷达相控阵天线一般由天线单元、移相器、驱动器、波控机、馈源、功率分配网络和天线罩组成。固态相控阵中的移相器，低噪声放大器，功率放大器和收发开关在一起组成收发（R/T）模块。

3.1 电气要求

天线的电气技术指标应在规定的频带宽度内满足专用技术条件要求，天线的相对频

中国航天工业总公司1994－03－26批准 1994－09－26 实施

带宽度一般不超过 10%。

3.1.1 方向图

3.1.1.1 非单脉冲相控阵天线图

a. 天线在水平平面、垂直平面和 45° 对角线平面的半功率宽度应满足专用技术条件要求，天线扫描时的波束宽度，一般随扫描角的增大而增宽，并符合 $\sec\theta$ 规律。

b. 天线在水平平面，垂直平面和 45° 对角线平面的旁瓣电平应满足专用技术条件要求，扫描时的旁瓣电平一般随扫描角增大而升高。

3.1.1.2 单脉冲相控阵天线方向图

单脉冲相控阵天线差方向图的旁瓣电平，零值深度均以和方向图的最大值为基准，其要求为:

a. 和波束宽度按 3.1.1.1 a 条要求;

b. 差波束旁瓣电平按 3.1.1.1 b 条要求;

c. 差方向图的零值深度一般为－29 ～ －38 dB;

d. 差方向图的分离角一般为和波束宽度的 1.2 ～ 1.5 倍;

e. 天线规一化差斜率按 QJ 2155 中 3.1.10 条规定要求，一般为 1.3 ～ 1.8。

3.1.2 最大扫描角

天线的最大扫描角一般在 ±60° 以内。

3.1.3 增益

天线的增益应满足专用技术条件要求。扫描时的天线增益下降一般随扫描角 θ 成 $\cos\theta$ ～ $\cos 2\theta$ 规律变化。

差增益一般低于和增益的值一般不超过 3.5 dB。

3.1.4 极化

3.1.4.1 极化型式

天线的极化型式一般可为线极化、圆极化或变极化。

3.1.4.2 交叉极化隔离度

天线交叉极化隔离度，不扫描时一般应大于 28 dB，扫描时一般应大于 24 dB。

3.1.4.3 轴比

天线的圆极化轴比在波束最大方向上，不扫描时一般应为 0.5 ～ 1.5dB，扫描时一般为 1 ～ 2dB。

3.1.5 波束指向误差

波束指向误差一般为 1/30 ～ 1/60 波束宽度。

3.1.6 功率容量

天线所承受的峰值功率容量和平均功率容量应满足专用技术条件要求。

3.1.7 接口和输入电压驻波比

天线的输入输出接口一般为标准型同轴或波导连接器。天线的输入驻波比一般不大

于2。

3.1.8　和差通道隔离度

天线的和差通道隔离度一般不小于35dB。

3.1.9　电轴漂移

电轴方向随频率的变化其数学统计值应符合专用技术条件要求。

3.1.10　对主要部件要求

3.1.10.1　天线单元

在阵中天线单元的输入电压驻波比不大于2，其方向图的波束宽度应接近于扫描角范围。

3.1.10.2　馈源

馈源的和差方向图应满足天线口径上的照射电平分布要求，差方向图的零深一般不大于－35dB。馈源的输入电压驻波比和支路一般为1.1～1.5，差支路为1.3～1.7。

3.1.10.3　功率分配网络

用于强制馈电的功率分配网络，其输出端的幅度、相位及输出端之间隔离度应满足天线口径的幅度和相位分布要求。

3.1.10.4　移相器

移相器的主要技术指标：插入损耗、承受功率、驻波比、移相位数、移相精度、开关时间等应满足天线技术指标要求。

3.1.10.5　驱动器

驱动器的驱动功率等性能应满足移相器和天线的要求。

3.1.10.6　波控机

波控机可为单元控制或行列控制，波控速度一般为几十微秒到几毫秒，运算位数一般为12～14位。

3.1.10.7　天线罩

天线罩的功率传输系数，功率反射系数，天线罩引起的波束指向误差，方向图畸变和极化特性变化应满足专用技术条件要求。

3.1.10.8　收发（R/T）模块

收发（R/T）模块的输出功率、功率放大增益、低噪声放大器的增益、噪声系数、移相位数、移相精度、开关时间、插入损耗均应满足天线技术指标对它的要求。

3.2　结构要求

3.2.1　尺寸

3.2.1.1　天线尺寸除满足电气性能要求外，其运输状态的外形尺寸，铁路运输应符合GB 146.1规定，公路运输应符合GB 1589规定。

3.2.1.2　天线单元组件的外形尺寸应满足插拔和通风散热要求。

3.2.2　质量

天线的质量应满足专用技术条件要求。

3.2.3 结构精度

3.2.3.1 天线单元在阵中的尺寸偏差和形位公差应满足专用技术条件要求。

3.2.3.2 天线单元组件的外形尺寸偏差应满足安装和插拔要求。

3.2.4 结构强度

天线在正常运输和架设条件下不应产生永久性变形。

3.2.5 结构谐振频率

天线的结构谐振频率应满足专用技术条件要求。

3.2.6 耐热与空调

天线应能在移相器、驱动器、收发（R/T）模块发热和阵面受太阳辐射的条件下正常工作。采用强迫风冷时，天线阵面的发热量一般应小于 2kW/m²，空调后阵面内部单元间的温差应小于 10 ℃，最高温度应不大于 65 ℃。当环境温度低于 0 ℃ 时，阵面应能加热。

3.2.7 天线罩

天线罩应密封防雨，并能承受 20kPa 充气压力。在环境温度低于 4 ℃ 时，充热空气防止口面上结冰。

3.2.8 机械轴基准

天线阵面应设机械轴基准，其精度应满足专用技术条件要求。

3.2.9 材料及元器件

材料和元器件按优选目录选用。

3.2.10 电镀与涂覆

电镀与涂覆应满足电气性能和环境条件要求。外观要求镀（涂）层均匀，颜色纯真，无漏底，无气泡，无脱落。

3.3 环境要求

3.3.1 温度

工作环境温度为－40 ～ 50 ℃。

3.3.2 湿度

正常工作的相对湿度为（95 ～ 98)% (30 ℃)。

承受条件的相对湿度为（95 ～ 98)% (35 ℃)。

3.3.3 低气压

天线在海拔 3000 m 高度下应能正常工作，其常温低气压为 76.5 ± 1kPa。

3.3.4 抗风

天线正常工作的最大平稳风速（无冰）不大于 20 m/s。

天线承受的最大平稳风速（无冰）不大于 30 m/s。

3.3.5 淋雨

淋雨环境条件要求应符合 GJB 74.6 中第 14.1 条规定。

3.3.6 太阳辐射

在太阳辐射为 1120±112W/m²时天线应能正常工作。

3.3.7 霉菌

天线抗霉菌能力应符合 GJB 74.6 中第 11.1 条规定。

3.3.8 盐雾

天线抗盐雾能力应符合 GJB 74.6 中第 12.1 条规定。

3.3.9 碰撞

碰撞环境条件要求应符合 GJB 74.6 中第 8.1.3 条规定，严酷等级按专用技术条件选取。

3.3.10 振动

振动环境条件要求应符合 GJB 74.6 中第 9.1 条规定，严酷等级按专用技术条件选取。

3.3.11 跑车

跑车环境条件要求应符合 GJB 74.6 中第 10.1.2 条规定。

3.4 电磁兼容性

天线应能在电磁环境下正常工作，其电磁发射和敏感度应符合 GJB 151.3 规定。

3.5 可靠性

天线的可靠性要求应符合专用技术条件规定。

3.6 维修性

天线单元组件应具有互换性便于更换，其备份量应不小于 10%，其它易于损坏的零、部件也应有备份件，安装位置应便于维修，单个零、部件的维修时间一般应小于 30min。

3.7 安全性

天线的电气和机械的安全性应符合 GJB 74.5 中第 1.9 条规定。

4 试验方法

4.1 电气指标测试

按要求调定信号源的中心频率，最低频率和最高频率，在此频带内选择若干频率点（一般为 3 ～ 7 个点）进行下列各技术指标的测试。

4.1.1 方向图

方向图测试按 QJ 1729 中第 2，7，16 章规定进行，在测得的方向图上直接读出波束宽度，旁瓣电平，零值深度和分离角。归一化差斜率的测试按 QJ 2155 中第 4.1.10.6 条进行。

4.1.2 最大扫描角

最大扫描角的测试是用波控机对移相器配相，使扫描角扫到最大角度，按 QJ 1729 的规定进行扫描方向图的测试，方向图主瓣最大值所指的方向与阵面法线之间的夹角即为最大扫描角。

4.1.3 增益

天线的和增益及差增益的测试按 QJ 1729 中第 10 章规定进行。

4.1.4 极化

极化测试按 QJ 1729 中第 9 章规定进行。

4.1.5 波束指向误差

波束指向误差测试按 QJ 2155 中第 4.1.11 条规定进行。

4.1.6 功率容量

功率容量的测试按 QJ 2155 中第 4.1.6 条规定进行。

4.1.7 输入电压驻波比

输入电压驻波比的测试按 QJ 2155 中第 4.1.8 条进行。

4.1.8 和差通道隔离度

和差通道隔离度的测试按 QJ 2155 中第 4.1.10.4 条规定进行。

4.1.9 电轴漂移

电轴漂移测试按 QJ 2155 中第 4.1.10.6 条规定进行。

4.1.10 主要部件

4.1.10.1 天线单元

阵中天线单元输入电压驻波比和方向图可采用小阵法和模拟器法测试，测试细则按专用技术条件规定。

4.1.10.2 馈源

和差方向图测试按 QJ 1729 规定进行。

和支路及差支路输入电压驻波比测试按 QJ 2155 中第 4.1.8 条规定进行。

4.1.10.3 功率分配网络

采用矢量网络分析仪，由功率分配网络的输入端输入信号，由功率分配网络的一个输出端输出信号（其余输出端接负载）首先标定出输入信号的幅度和相位，然后逐个测试出各输出端输出信号的幅度和相位，即得到功率分配网络的输出端幅度和相位分布。

功率分配网络的输入电压驻波比测试按 QJ 2155 中第 4.1.8 条规定，进行。

4.1.10.4 移相器

移相器的各项技术指标的测试按 QJ 2662 规定进行。

4.1.10.5 驱动器

驱动器的各项技术指标的测试按 QJ 2662 规定进行。

4.1.10.6 波控机

通过检查波控信号，检查波控机对移相器的相位控制的有效性。也可通过测试天线

的扫描方向图，来检查波控机对移相器相位控制的有效性。

4.1.10.7 天线罩

天线罩的各项技术指标的测试按QJ 1729中第17章规定进行。

4.1.10.8 收发（R/T）模块

收发（R/T）模块主要技术指标的测试按专用技术条件规定进行。

4.2 结构指标检查与测量

4.2.1 外观及尺寸检查

用目视进行外观检查，用量具进行外形尺寸和关键尺寸测量。

4.2.2 质量测量

用衡器进行天线和天线单元组件等器件的质量测量。

4.2.3 结构精度测量

4.2.3.1 天线单元位置精度测量

用量具和辅助工装测量阵面天线单元位置的精度。

4.2.3.2 天线单元插拔检查

任选0.5%～1%的天线单元组件，在阵面上进行插拔试验，检查天线单元组件安装的互换性。

4.2.4 结构强度检查

结构强度一般通过运输和使用来考核，检查结构精度是否降低或产生永久性变形。

4.2.5 结构谐振频率测量

天线安装后用结构动态分析仪，加速度传感器，加外力激振后进行测量，也可用模态试验分析方法进行测量，其测量细则按专用技术条件规定。

4.2.6 耐热与空调检验

利用温度传感器和温度巡回检测仪测量阵面内部温度分布，其测量细则按专用技术条件规定。

4.2.7 天线罩检查

天线罩的密封防雨能力按4.3.5条淋雨试验检查。

天线罩承受充气压力的检查可用样件代替，样件的固定方法应与产品一致，样件尺寸及检查细则按专用技术条件规定。

4.2.8 机械轴基准检查

机械轴基准检查用量具平行光管和辅助工装进行检查，检查细则按专用技术条件规定。

4.2.9 材料和元器件检查

材料和元器件应有出厂合格证，关键件应进行复检。

4.2.10 电镀与涂覆检查

电镀和涂覆检查，生产过程中按工艺要求进行，产品用目视方法进行。

4.3 环境试验

4.3.1 高低温试验

天线单元组件的高低温试验按 GJB 74.6 中第 4.7 章规定进行，整个相控阵天线一般只在实际工作中进行高低温考核。

4.3.2 恒定湿热试验

天线单元组件、馈源和馈线元件按 GJB 74.6 中第 6 章规定进行，整个相控阵天线一般只在实际工作环境中进行高温湿热考核。

4.3.3 低气压试验

天线单元组件、馈源和馈线元件的低气压试验按 GJB 74.6 中第 5 章规定进行。整个相控阵天线一般只在实际工作环境中进行低气压考核。

4.3.4 抗风试验

天线的抗风试验按 GJB 74.6 中第 16 章规定进行，无试验条件时，一般可在实际工作环境中进行抗风能力的考核。

4.3.5 淋雨试验

天线的淋雨试验按 GJB 74.6 中第 14 章规定进行，试验后，对有密封防雨要求的部件进行检查，检查是否有水滴渗入。无试验条件时，一般可在实际工作的环境中进行防雨能力的考核。

4.3.6 太阳辐射试验

在高温使用环境下，太阳照射后温度为 55～65 ℃，连续工作 4h，检查天线是否能正常工作。

4.3.7 霉菌试验

天线的抗霉菌试验方法按 GJB 74.6 中第 11.2 条规定进行。

4.3.8 盐雾试验

天线的抗盐雾试验按 GJB 74.6 中第 12.2 条规定进行。

4.3.9 碰撞试验

天线单元组件、馈源和馈线元件的碰撞试验按 GJB 74.6 中第 8 章规定进行，整个相控阵天线一般只在运输和使用中进行考核。

4.3.10 振动试验

天线单元组件、馈源和馈线元件的振动试验按 GJB 74.6 中第 9 章规定进行，整个相控阵天线只在运输和使用中进行考核。

4.3.11 跑车试验

跑车试验按 GJB 74.6 中第 10 章规定进行。跑车路程：土路，碎石路不少于 200km，柏油马路不少于 300km；跑车后检查结构的完好性，在电气性能上检查天线驻波比。

4.4 电磁兼容性试验

电磁兼容性试验按 GJB 152 规定进行。

4.5 可靠性试验

可靠性试验按专用技术条件规定进行。

4.6 维修性试验

天线单元组件和风机等易损零部件失效时，应有故障显示，并便于更换。整个天线维修性检查按 GJB 368 规定进行。

4.7 安全性检查

安全性检查按 GJB 74.5 中第 1.9 条规定进行。

5 检验规则

5.1 检验分类及项目

天线产品检验分出厂检验（交收检验）和型式检验（例行检验）。

5.1.1 出厂检验

a. 凡天线产品出厂前应 100% 进行出厂检验；

b. 出厂检验的项目见表 1：

表 1

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
1	方向图	3.1.1	4.1.1	✓	✓
2	最大扫描角	3.1.2	4.1.2	✓	✓
3	增益	3.1.3	4.1.3	✓	✓
4	极化	3.1.4	4.1.4	✓	✓
5	波束指向误差	3.1.5	4.1.5	✓	✓
6	输入电压驻波比	3.1.8	4.1.8	✓	✓
7	和差通用隔离度	3.1.8	4.1.8	✓	✓
8	电轴漂移	3.1.9	4.1.9	✓	✓
9	外观及尺寸	3.2.1	4.2.1	✓	✓
10	质量	3.2.2	4.2.2	✓	✓
11	结构精度	3.2.3	4.2.3	✓	✓
12	机械轴	3.2.8	4.2.8	✓	✓

续表 1

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
13	电镀与涂覆	3.2.10	4.2.10	✓	✓
14	功率容量	3.1.6	4.1.6		✓
15	结构强度	3.2.4	4.2.4		✓
16	结构谐振频率	3.2.5	4.2.5		✓
17	耐热与空调	3.2.6	4.2.6		✓
18	天线罩	3.2.7	4.2.7		✓
19	高低温	3.3.1	4.3.1		✓
20	恒定温热	3.3.2	4.3.2		✓
21	低气压	3.3.3	4.3.3		✓
22	抗　风	3.3.4	4.3.4		✓
23	淋　雨	3.3.5	4.3.5		✓
24	太阳辐射	3.3.6	4.3.6		✓
25	霉　菌	3.3.7	4.3.7		✓
26	盐　雾	3.3.8	4.3.8		✓
27	碰　撞	3.3.9	4.3.9		✓
28	振　动	3.3.10	4.3.10		✓
29	跑　车	3.3.11	4.3.11		✓
30	电磁兼容性	3.4	4.4		✓
31	可靠性	3.5	4.5		✓
32	维修性	3.6	4.6		✓
33	安全性	3.7	4.7		✓

5.1.2 型式检验

5.1.2.1 凡具有下述情况之一时应进行型式检验:

a. 新产品鉴定;

b. 小批量试生产的产品;

c. 老产品转厂后生产的首批产品;

d. 已定型，但结构，材料，工艺有较大改变后生产的首批产品。

5.1.2.2 型式检验项目见表1:

5.1.2.3 型式检验的样品数量及判定规则按专用技术条件进行。检验的样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取。

5.2 检验设备

检验用仪表，设备，应具有国家二级以上计量部门的合格证，并在有效期内。

5.3 检验职责

5.3.1 出厂和型式检验

出厂检验和型式检验由质量检验部门（用户可派人参加）负责进行本标准所规定项目的检验，并提供产品合格证。

5.3.2 产品鉴定

产品鉴定一般由设计单位，生产单位，使用单位和有关部门共同进行。

5.4 合格判定

5.4.1 经出厂检验，型式检验，天线的技术指标达到要求，判定产品合格。

5.4.2 经出厂检验，型式检验，天线的技术指标达不到要求，应暂停检验，查找原因，采取措施，重新进行检验，技术指标达到了要求，仍判定产品合格。

5.4.3 出厂检验，经反复三次检验仍达不到要求，判定该产品不合格。型式检验，经反复三次检验仍达不到要求，判定该批产品不合格。

6 标志、包装、运输和贮存

6.1 标志

6.1.1 产品标志

产品应有标牌，标牌上应标明产品代号、生产单位、出厂编号及出厂日期。标牌应清晰、醒目、牢固。

6.1.2 包装标志

包装箱外面应标明箱内产品的产品代号、生产单位、装箱日期。要求防潮、防震、防倒置，并设防潮、防震、防倒置标志。其标志方法按GB 191进行。

6.2 包装

6.2.1 产品装箱之前应先用油纸或多泡塑料进行软包装。

6.2.2 产品装入箱内，应用硬泡沫塑料进行固定。

6.2.3　包装箱内应装有《产品合格证》、《产品证明书》和《装箱清单》。

6.3　运输

6.3.1　产品一般装箱后运输。

6.3.2　大型产品，没有包装箱的，装车后应采取固定和防雨措施方可运输。

6.3.3　对天线型面精度要求高时，应采取特殊保护措施，并设有明显标志，运输和装卸时防止磕碰。

6.4　贮存

6.4.1　贮存条件:

a. 温度为－10～40℃；

b. 湿度为不大于70%；

c. 贮存处应通风，无有害气体。

6.4.2　贮存期:

从出厂之日起，有效期为五年。

附加说明:

本标准由中国航天工业总公司七〇八所提出。

本标准由中国航天工业总公司二十三所负责起草。