

某相控阵雷达天线液冷管网装配研究

金波

中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230011

[摘要] 随着雷达装备的不断升级换代, 液冷技术已广泛应用于相控阵雷达的冷却系统中。文章针对相控阵雷达液冷管网的安装中工艺方法、管网材料等进行相关分析研究, 根据有关试验数据分析液冷管网安装过程中的技术难点, 详细介绍了液冷管网安装过程中出现问题时的分析及解决方法。对类似液冷管网装配研究具有一定的借鉴意义。

[关键词] 相控阵雷达; 液冷管网; 装配

DOI: 10.33142/ec.v3i10.2727

中图分类号: TB65

文献标识码: A

Research on Assemble of Liquid Cooling Pipe Network for Antenna of Phased Array Radar

JIN Bo

The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei, Anhui, 230011, China

Abstract: With the continuous upgrading of radar equipment, liquid cooling technology has been widely used in the cooling system of phased array radar. In this paper, the relevant analysis and research are carried out on the process methods and pipe network materials in the installation of liquid cooling pipe network of phased array radar. According to the relevant test data, the technical difficulties in the installation process of liquid cooling pipe network are analyzed and the analysis and solution methods of problems in the installation process of liquid cooling pipe network are introduced in detail. It has a certain reference significance for similar liquid cooling pipe network assemble research.

Keywords: phased array radar; liquid cooling pipe network; assemble

引言

雷达的液冷系统具有结构复杂、功能器件多等特点。在液冷管网的安装过程中, 管网与管网之间, 管网与软管之间, 软管与管接头之间等等的装配, 工艺复杂且安装要求高, 其主要连接方式分为球接头和平面接头安装两种, 接头的连接螺纹又分为普通螺纹和管制螺纹两种。针对不同的连接方式和连接螺纹, 上万根管网系统需要操作者全部合格的装配完成, 因此液冷管网系统是相控阵雷达天线总装过程难点。液冷管网的装配质量严重制约雷达整机的生产周期。

1 液冷管网安装工艺流程

雷达液冷管网一般分为三级: 一级管网为液冷机组与雷达天线主输入输出水管, 二级管网为主水管到天线各分系统单元机箱; 三级管网为分系统单元机箱到数字阵面模块(DAM)之间的连接。其各级液冷管网安装工艺路程如图1。

2 液冷管网安装过程分析

2.1 装配问题统计

根据雷达液冷管网系统常见安装质量调查统计, 一般一、二级管网均采用采用 316L 不锈钢管, 而这些钢管管体在调查中均未出现破损漏水等现象。而管网的漏水点大多出现在管体相连接处, 即管网接头处。通过对某批次不合格的管接头(管网接头共 3655 个)进行

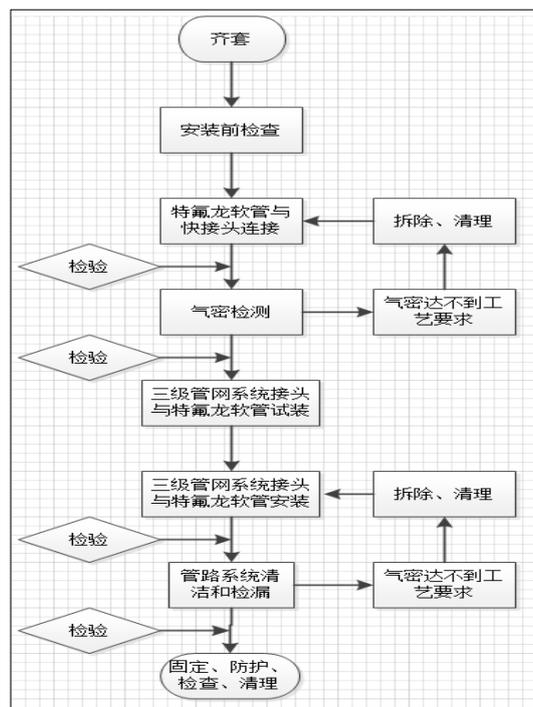


图1 液冷管网安装工艺流程图

统计，发现一二三级管网都出现返修情况，返修统计如下：

表 1 管网质量缺陷统计表

管网接头类别	总数 (个)	不合格数 (个)	不合格率
一级管网接头	58	2	0.34%
二级管网接头	125	5	0.85%
三级管网接头	3472	578	98.8%

从上表中可知，雷达液冷管网系统质量问题主要集中在三级管网管接头上。为了深入了解三级管网漏水现象的问题现状，根据液冷系统和实际装配过程中出现的不良情况，将出现问题的部位进行统计如下表：

表 2 三级管网返修情况统计表

返修部位	第一批次	第二批次	第三批次	第四批次	平均值	百分比
球面 60 度内锥管接头漏水	564	518	535	563	545	93.32%
软管外观损伤	18	15	35	16	21	3.60%
卡扣式快速接头漏水	6	6	11	5	7	1.20%
DAM 管道漏水	4	7	5	8	6	1.03%
其他	3	6	4	7	5	0.86%

根据上表可以看出：三级管网返修的主要不良情况是球面 60 度内锥管接头漏水占比。是影响液冷管网系统装配的主要原因。

2.2 原因分析

2.2.1 管接头接触面锥度误差大

管接头是球面 60 度内锥型管接头，它与三级管网连接面是球面锥形。管路锥形密封结构，是一种装拆方便，结构小巧，密封可靠性好且通用性良的密封结构。广泛应用于气液体的细径导管联接通路。

但是加工过程中由于现有技术工艺等原因可能会使球面锥度产生误差，当误差值较大时，会造成接触面接触面积变小，接触面存在缝隙等不良现象，这会让液冷系统管接头密封度差而产生漏水现象。因此在管接头安装前，特别是批次多的应进行接触面测量。其测量应借助三坐标测量仪，对测量数据进行分析。

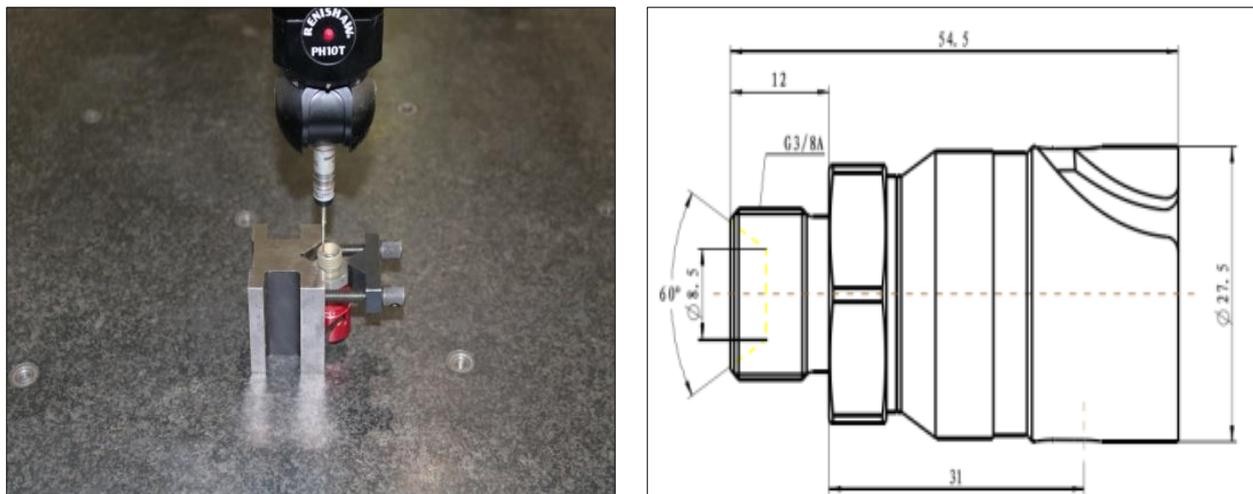


图 2 三坐标测量仪对管接头锥度进行测量

2.2.2 管接头接触面粗糙度大

在管接头锥面的表面结构中，表面粗糙度对其密封使用性能的影响很大。其粗糙度参数是有效控制管接头密封效果的主要因素之一。当两管接头接触表面相互接触，表面越粗糙，表面粗糙度越大，接触面就小，其密封间隙也越大，容易出现管接头渗漏。因此管接头在提相关技术指标时应明确其具体参数。同时也应对其进行抽样检测其锥面粗糙度。

2	管接头接触面粗糙度 $\leq 0.8 \mu\text{m}$
---	----------------------------------

图3 管接头接触面粗糙度要求

2.2.3 管接头螺纹未进行去毛刺处理

液冷管网系统管接头如果连接螺纹存在毛刺，则会造成三级管网接口和球面 60 度内锥型管接头无法装配到位，存在漏水间隙，就会造成渗漏现象。因此，在实际的安装工艺中也必须明确要求，管接头在安装前要进行去毛刺处理。

2.2.4 两种材料膨胀系数不同

冷却液在经过一体化发射组件 (DAM-T) 后温度会升高，经液冷机组交换后温度又降至低温，之后继续高低温不断循环工作。而目前该型雷达液冷管网系统有两种材料，三级管网为不锈钢材质，软管快速接头和组件插座为铝合金材料，两种材料的冷热膨胀系数不一样会造成伸缩不一致，有可能产生间隙，造成管接头漏水。根据目前管接头常用的两种材料的膨胀系数如下表：

表3 材料膨胀系数表

铝合金 7A09	2.28E-05
不锈钢	1.10E-05

同时查阅目前相控阵雷达常用的管接头口径大小，调查有效实验数据为基础，利用上述两个评价指标，对本次研究得出的可膨胀系数计算模型进行评价。

表4 管接头高低温膨胀间隙表 (单位: mm)

规格	材料	温度		间隙
		不锈钢	铝合金	
-45℃				
M14		5.99538	5.99386	0.00152
M20		9.99230	9.98810	0.00420
M24		14.98845	14.98215	0.00630
M30		19.98460	19.97620	0.00840
M36		24.98075	24.97025	0.01050
0℃				
		不锈钢	铝合金	间隙
M14		5.99835	5.99745	0.00090
M20		9.99725	9.99575	0.00150
M24		14.99588	14.99363	0.00225
M30		19.99450	19.99150	0.00300
M36		24.99313	24.98938	0.00375
25℃				
		不锈钢	铜	间隙

(续表)

规格	温度		
	-45℃		
材料	不锈钢	铝合金	间隙
M14	6.00015	6.00159	-0.00144
M20	10.00178	10.00355	-0.00177
M24	15.00226	15.00451	-0.00225
M30	20.00384	20.00652	-0.00268
M36	25.00451	25.00867	-0.00316
	60℃		
材料	不锈钢	铜	间隙
M14	6.00231	6.00357	-0.00126
M20	10.00385	10.00595	-0.00210
M24	15.00576	15.00893	-0.00317
M30	20.00770	20.01190	-0.00420
M36	25.00963	25.01488	-0.00525

2.2.5 管接头接触面清洗次数少

水管接头接触面是一个球形光滑的面，接触面不能有灰尘和颗粒物。如果两接触面有异物，水管连接时两接触面之间贴合度会很差，两者间会存在缝隙，由于水压很大，水会从缝隙中漏出。因此各级管网接口处应有塑料盖拧紧密封，软管和管接头从库房齐套领出都用塑料袋密封，同时在工艺卡中要求在装配管接头时都要用去酒精无尘布对三级管网接口和管接头进行3次以上的清洗步骤，检验合格后再装配。

2.2.6 拧紧力矩值范围大

液冷管网管接头在安装拧紧时应该控制好力矩，力矩过小，螺纹连接不紧密，造成漏水；力矩过大，会造成螺纹咬死，甚至烂牙等使管接头危害。对管接头的安装力矩进行试验分析，目前该雷达球面60°内锥管接头是G3/8-BWACK08T型流体连接器。根据德国工业标准，和G3/8管螺纹外径近似的M16的螺栓（4.8级，强度392MPa）的扭矩为98N·m，根据航空工业标准HB6586-1992《螺栓螺纹拧紧力矩》，强度为590MPa的螺栓拧紧力矩为81N·m。

表5 HB6586-1992《螺栓螺纹拧紧力矩》

螺栓强度等级	590MPa (min)		930MPa (min)	
	抗拉	抗剪	抗拉	抗剪
螺栓类型	螺栓拧紧力矩 N·cm			
螺栓螺纹规格	螺栓拧紧力矩 N·cm			
6×1	370±40	220±20	580±60	350±30
7×1	—	330±30	—	520±50
8×1	900±90	540±50	1400±140	850±80
8×1.25				
10×1.25	1900±190	1100±110	3000±300	1800±180
10×1.5				
12×1.5	3300±300	1900±190	5200±520	3100±310
14×1.5	5400±500	3200±300	8600±860	5200±520
16×1.5	8100±800	4900±490	13000±1300	7800±780

经调查,球面 60° 内锥管接头其壁厚最薄处为 1.6mm ,截面积为 64.8mm^2 ,7A09 材料的抗拉强度为 500MPa ,许用切应力 $[\tau]=140\text{MPa}$ 。计算结果插头壳体可以承受 32400N 的拉力,安装时产生的最大切应力 $\tau_{\max}=\frac{M_n}{W_n}$,其中 M_n 为安装力矩, W_n 为抗扭截面模量, $W_n=(D_4-d_4)$, $D=14.5\text{mm}$, $d=11.2\text{mm}$,计算结果 $\tau_{\max}=72.7\text{MPa}<[\tau]$ 。根据相关计算和其他产品管接头力矩调查,本产品安装力矩 $25\sim 31\text{N}\cdot\text{m}$ 。

综上所述六个方面基本为相控阵雷达天线阵面液冷管网装配质量的主要影响因素。因此在管网的过程安装中应充分从人机料法环测等综合全盘考虑,同时应做好《液冷管网工艺作业指导书》的编制和归档,才能稳定同批次液冷管网安装的可靠性和一致性。

3 结束语

雷达液冷管网装配技术是相控阵雷达液冷装配的关键。文中介绍的液冷管网装配问题分析及结论虽然不能覆盖全部,但是液冷管网的工艺技术探讨及装配方法有很强的扩展性,通过不同层级管网的划分,多级液冷管网可以转化为多维度复杂层级的液冷管网。因此文中介绍的相关方法仍然有很强的借鉴意义,特别是管网间的不同材料膨胀系数,液冷管网安装力矩确认等,可以直接应用到一般的雷达液冷管网安装。从而提高相关阵雷达的安装质量和效率。

[参考文献]

- [1]关宏山.某相控阵雷达液冷流量分配系统研究[J].电子机械工程,2011(08).
- [2]夏艳,钱吉裕.大型有源相控阵雷达阵面管网仿真及优化[J].电子机械工程,2011(26).
- [3]王建峰.大型地面固定式相控阵雷达液冷系统设计及实现[J].电子机械工程,2016(04).

作者简介:金波(1987.11-),男,毕业院校:合肥工业大学,学历:本科,所学专业:计算机科学与技术,当前工作单位:中国电子科技集团公司第三十八研究所,职务:班组长,及所在职务的年限:3年,职称级别:工程师。