

合成孔径雷达柱面镜的研制

王宝林 付春宏 刘 录

摘要: 本文叙述了合成孔径雷达光学处理器中柱面镜的加工工艺方法, 提出了加工大口径、高精度、易腐蚀光学材料柱面镜的工艺要点与工艺实施方法。

一、前 言

柱面变倍望远镜系统是合成孔径雷达光学处理器的核心部件。柱面镜的精度直接关系到该仪器的成像质量。

一 该光学处理器柱面系统共由9块柱面镜组成。其特点是: 口径大, 最大口径为 188×123 的矩形; 精度要求高, 柱面母线要严格平行, 面形精度为 $N = 2$ 、 $\Delta N = 0.2$, 中心偏差为 0.005mm , 光洁度 P 为Ⅲ级。又柱面镜的材料均为易腐的 ZF_3 材料, 加工过程中极易腐蚀, 因此给柱面镜的制作带来了很大困难。

二、磨制工艺

在光学处理器的柱面镜系统的研制过程中, 涉及的工艺技术问题很多, 在此我们仅就几个关键性的工艺技术问题加以说明。

1. 粗成型工艺

柱面镜如图1。

粗成型阶段包括切割、粗磨两道工序。粗磨工序一般可按正常工序加工, 但着重要保证两侧面 A 、 B 对柱面母线的对称性。控制在 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 之间, 否则将给细磨工序带来麻烦。至于柱面半径的加工可采用机械开半径的方法, 也可采用手工开半径的方式。因其柱面镜口径大, 我们采用了后者。在开凹柱面半径时, 应注意凹块边缘要留有一定余量。这是因为, 一是细磨时还要磨几道砂, 边缘还要磨小, 二是凹块加工时易有小的破边产生。

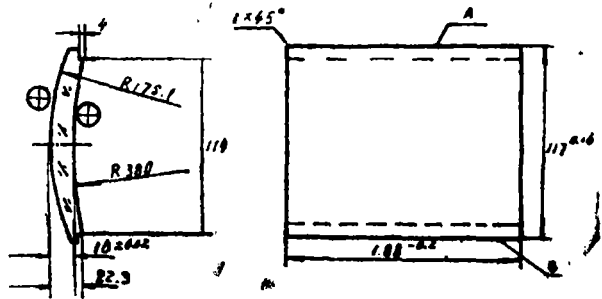


图1 SAR光学处理器柱面镜

2. 柱面中心偏差的控制与修正

对中心偏差要求相当严格, 精度在 0.005mm 以内。实际对应的等厚差, 即加工过程中所控制的等厚公差 Δd 为:

$$\Delta d = \frac{\Delta C \times D}{R}$$

$$= \frac{0.005 \times 117}{175.1}$$

$$= 0.003\text{mm}$$

对如此大口径柱面镜，特别是在凸凹柱面透镜的情况下，如何保证这一精度指标，是确保柱面镜质量的关键技术之一。

我们知道对于柱面镜的偏心与球面透镜的偏心有所不同。球面透镜的偏心总可以在留有足够余量的情况下，借助定心磨边这道工序获得同心度很高的透镜。而柱面镜由于其形状的特殊性，导致了其偏心的表现方式与球面透镜不同。因而其校正方法也不一样。

柱面透镜的偏心往往有如下三种情况：

- (1) 两面母线的平移（平行偏离）见图 2—1
- (2) 两面母线的交割见图 2—2
- (3) 母线方向的不等厚见图 2—3

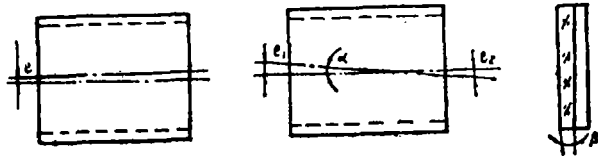


图2—3 为沿柱面镜母线方向的剖视图
图2—1 图2—2 图2—3

当然在加工过程中，可能只有一种偏差，也可能二种或三种同时存在。

我们的校正方法是，首先将粗磨成型好的柱面镜细磨好一基面 A，然后以此基面为准，磨另一面 B 见图 1。使其平行度允差控制在 0.001mm 之内，高于图纸的允差 0.01mm。

之后，再细磨柱面镜的半径，以 A、B 两基面为准控制柱面镜母线的平直性，母线的交割与母线的平移。在细改柱面镜的半径时应先磨小半径的一面。细改校正时的测量方法如下。

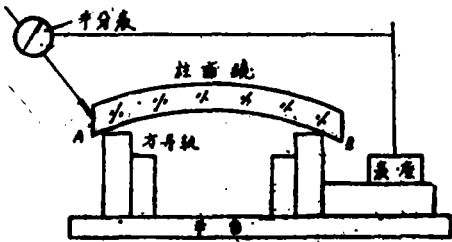


图 3 测试示意图

在细改小半径时，细改后将柱面镜如图 3 放置好，将千分表沿垂直纸面的方向移动，控制在 0.001mm 以内。然后再将柱面镜旋转 180° 测 B 面，如均在 0.001mm 以内。即表明此柱面母线没有倾斜，否则视误差大小将柱面母线倾斜现象改正过来。

然后再细磨大半径一面 D，并测其等厚性

见图 4。柱面镜的摆放位置如图所示。测量时将千分表沿垂直纸面的方向移动，如有超过 0.001mm 的等厚性偏差，即进行修正。同样也要旋转 180° 测之。

此步是相当关键的，必须严格控制，当然也包括测试工装本身的加工精度与其合理性的问题。

3. 抛光工艺

柱面镜因其口径大、精度高、又是易腐材料，在抛光中曾遇到不少问题。我们认为应引起重视的是：(1) 要

正确地选择抛光胶、视季节、温度、湿度状况选用合适的胶号。(2) 抛光中因柱面镜口径

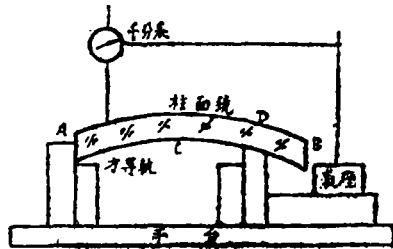


图 4 等厚测量示意图

大、母线及柱面面形控制都比较困难，特别是柱面镜的四角更难控制，为此在抛光中必须采用机器磨制和手工局部修磨相结合的方式。(3) 抛光辅料在最后阶段，应采用细粒度的氧化铍以利于面形的修正和提高表面光洁度。

修正面形的方法与通常加工柱面的方法大致相同，用修削抛光盘表面和调正摆幅与主轴及摆轴的速度大小来控制。

4. 腐蚀的预防

合成孔径雷达柱面镜所用的材料均是极易腐蚀的 ZF_3 材料。在加工与放置过程中都易产生腐蚀现象，给加工带来了很大困难，特别是在加工好一面后，再行加工另外一面时往往发生腐蚀。即使是镀好一面后，再抛光另外一面时。由于粘接上盘，下盘后在胶印处膜层也会发生腐蚀。我们开始也采取了相应措施。如改用不同粘接用胶及将胶点改用为橡皮泥粘接并涂相应的保护胶等，但均效果不佳。为此一块柱面镜往往要反复多次才能勉强过关。这样不仅加长了磨制周期，镜面表面的质量也很难保持，如稍有疏忽，中心厚度还容易超差、导致造成废品或次品。为此我们经反复试验采取了必要的工艺措施。(1) 改进了胶接方式，不用胶点进行胶接。(2) 尽量缩短抛光周期，将两面同时细改后，一起抛光，后转镀膜。(3) 工序之间及时周转、要配合及时，抛光一结束，立即镀膜。(4) 适当控制加工间的环境。

三、检 测

面形精度的检测，在加工中是以平面、球面样板和柱面样板相结合的方式进行的。在初始阶段是以平面、球面样板测柱面的母线。如果凹了，母线箭头向中间指，有几个箭头就是几个光圈，如果凸了就向外指（即向两边指），条纹最佳时为一条白线。之后再以柱面样板观察其整个面形的好坏、检测时可以看到母线方向和半径方向光圈的高低。当低头时条纹向内跑，则两个方向光圈低，条纹向外跑则光圈高。

对柱面样板我们是采用了两种形式。一种是与零件口径相当的整体样板，一种是采用了零件口径 $2/3$ 的柱面样板。我们之所以采用 $2/3$ 口径样板，出发点是，口径缩小后，样板加工周期短，精度也可相应提高，成本随之降低。再之样板重量明显减小，在检测时不易压伤零件表面。这些都是优于整体样板之处。当然由于 $2/3$ 口径样板在检测时，不能复盖零件的全部表面，给准确判断整个表面面形带来一定困难，特别是柱面镜四角的面形，不能一次从干涉图中反映出来。这样就需要加工者具有一定的经验才能适应。为此我们也做了一部分口径与零件口径相当的整体样板，以补偿此一缺欠。

柱面镜的测试结果：

面形精度 $N = 2$, $\Delta N = 0.2$

光洁度 $P = \text{III} \sim \text{IV}$

中心偏差 $C = \pm 0.005$

均满足了设计要求。

参与此项工作的还有姚国安和朱秋昌同志。

Development of Cylindrical Lenses for the Synthetic -Aperture Radar

Wang Baolin, Fu Chunhong, Liu Lu

Abstract

The development of cylindrical lenses used in the optical processor for the composite aperture radar, as well as the key points of the methods and operation for processing large aperture, high precision cylindrical lenses made of erodible optical materials are described in this paper.

概 述

随着合成孔径雷达技术的发展，对光学处理器的要求越来越高。光学处理器中的圆柱透镜，其加工精度和表面质量对成像质量有着至关重要的影响。本文主要介绍圆柱透镜的加工方法和操作要点。

圆柱透镜的加工方法主要有两种：一种是传统的机械加工，另一种是电火花加工。电火花加工具有加工精度高、表面质量好等优点，特别适用于加工高硬度、高熔点材料。在加工过程中，需要严格控制加工参数，如进给速度、电流大小等，以保证加工精度和表面质量。

此外，本文还介绍了圆柱透镜的检验方法和操作要点。在检验过程中，需要使用高精度的测量仪器，如干涉仪、轮廓仪等，对透镜的曲率半径、表面粗糙度等进行精确测量。在操作过程中，需要注意安全事项，如佩戴防护眼镜、避免直接接触加工液等。

1.0 - 3.0 μm $\lambda = 0.5 - 1.0 \mu m$

$R = 100 \mu m$

2000 ± 0.1

本表仅供参考