

计算机辅助激光合作目标的研制

卫丕昌

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 简要介绍了激光合作目标的研制过程及其取得的成果。对用户和后续的设计者们有参考价值。

关键词: 角反射器; 激光合作目标; 盲区; 可靠性设计; 激光雷达散射截面(LRCS); CAD

1 概 述

中国科学院长春光机所研制的激光合作目标与其研制的光电经纬仪的激光分系统构成的激光测量系统(光雷达)被用来完成各种型号导弹在超低空掠海飞行时的激光跟踪和激光测距任务,又实现单站、实时、精确的外弹道测量任务,最终达到精确控制导弹在规定海域内的飞行;一旦越轨,令其自毁,以确保附近海域内钻井平台的安全。

使用激光合作目标,不但将提高激光跟踪和激光测距的作用距离,提高外弹道光学测量的准确度、可靠性和实时性,还将加快导弹试验进度,从而获得巨大的经济效益。

研制的激光合作目标有多种型号,它们之间的差别仅在于壳体不同,以适应不同型号的导弹;而各种型号激光合作目标安装的棱镜组件是完全相同的。

激光合作目标的光测范围,在方位面内大于 120° ;在垂直弹轴的俯仰面内大于 40° 。

棱镜组件实际上是一种最基本的激光合作目标。本文所说的激光合作目标都由三个棱镜组件构成。将激光合作目标安装在飞机、火箭、战术导弹和战略导弹上,可以实现对上述飞行器的激光跟踪和激光测距等等。

棱镜组件由角反射器和隔圈等构成。三面直角反射及其原理,如图1所示^[1],当光入射到相互垂直的三个平面上时,它的反射光将沿原方向反射回去,具有定向反射性。以其为单元构成的阵列形式——激光合作目标,具有相同的定向反射性,它在激光测距、激光定位、光电自动控制 and 自动保护装置中具有广泛的用途。

激光合作目标在激光测量系统(光雷达)中的位置如图 2 所示^[2]。其工作原理是激光发射系统向 R 处的目标发射功率为 P_t 的激光,具有反射能量平均值为 γ 的目标,它反射激光到具有通光面积为 A_r 的接收系统,它接收到的平均激光功率为 P_r ,其关系式如下^[4]:

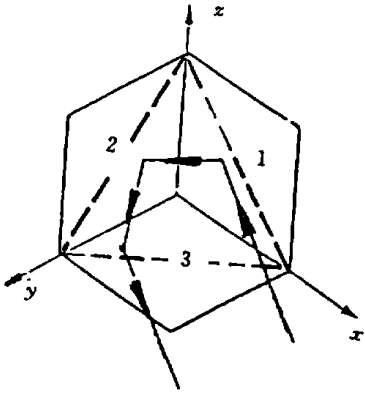


Fig. 1 Reflection principle

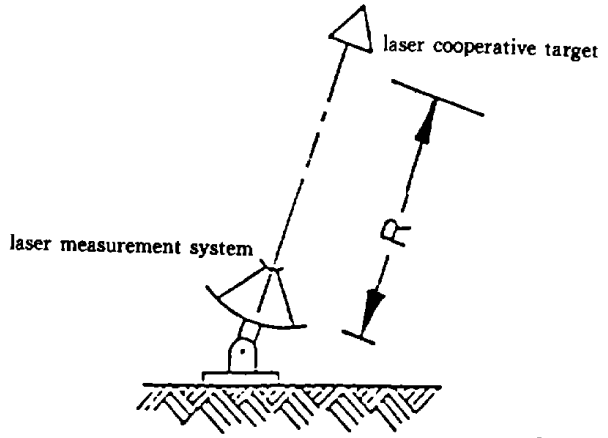


Fig. 2 Laser radar

$$P_r = P_t \tau^2 \rho \gamma A_r / R^2 \quad (1)$$

式中: τ —大气传输损耗

ρ —双向反射率分布函数。

2 主要技术参数^[5]

- a. 作用距离 $R = 5 \sim 45 \text{ km}$
- b. 光测范围
 - (1) 方位测量范围: 120°
 - (2) 俯仰测量范围: 40°
- c. 有效反射面积: $A_s = 20 \text{ cm}^2$
- d. 有效反射因子: $A_f = 1.40 \times 10^6 \text{ m}^2$
- e. 激光雷达散射截面: $\sigma_s = 9.14 \times 10^6 \text{ m}^2$
- f. 回波中心光斑密度: 回波中心光斑密度剖面无下凹
- g. 直角面反射率: $\gamma = 95\%$
- h. 增透膜双向透射率: $\tau = 98.6\%$
- i. 二面角直角误差: $\delta < 1$
- j. 表面不平度: $N < 0.2 \sim 1$ 光圈

3 角反射器的设计

角反射器的结构及其尺寸关系如图 3 所示;其中,圆的半径 $a = 25.5 \text{ mm}$ 、棱镜的高等于

$\bar{2}a = 36.06 \text{ mm}$, 等等。材料为 K9 光学玻璃, 通过外延法求得对 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 波长的折射率 $N = 1.506$ 。重量约 92 g。重心 C 在 10.93 mm 处。

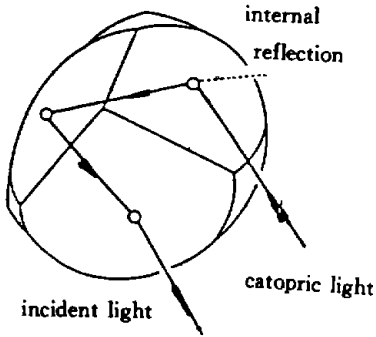


Fig. 3 Design value

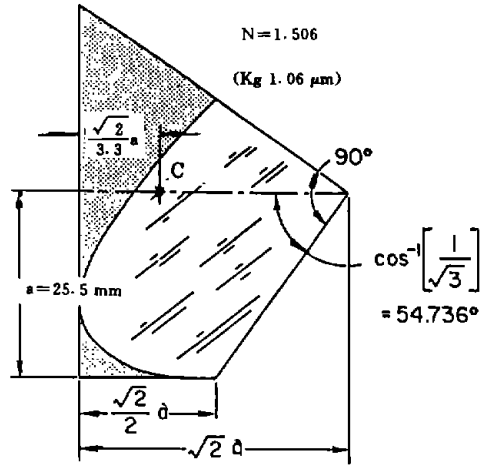


Fig. 4 Cubic reflection

光在角反射器中的三次反射如图 4 所示。入射光经三次内反射, 反射光平行于入射光。当角反射器存在直角误差时, 其反射光束通常分裂成六个更细的光束, 参见[1]的照片。这说明反射光束有发散。光束发散是衍射效应、材料质优劣和加工准确度等因素的综合作用。为控制光束发散角, 在加工方面应控制二面角的直角误差 δ 它与三面直角的立体角误差 Δ 的关系为:

$$\Delta \approx 3 \sqrt{2} \delta \quad (2)$$

而反射光束发散角的最大值为:

$$2\Phi_{\max} \approx 3.36\Delta = 9.78 \sqrt{2} \delta \quad (3)$$

由此可见, 为使发散角小、提高像面光斑的均匀性, 减小直角误差是关键环节之一。

当三个 90 两面角存在误差时, 对应在远处有六个光斑。为避免激光接收机处的衍射场中心出现盲区, 决定光束分离程度的两面角误差 δ 和影响光斑大小的折射面内切圆半径 a 之间应满足的关系式^[6]:

$$a \cdot \delta < \frac{0.46\lambda}{N} \quad (4)$$

将 2 和 3 节的相关数据代入上式, 可以证明, 本文所论述的角反射器在接收机处的衍射场中心不会出现盲区:

$$a \cdot \delta = 25.5 \times 4.85 \times 10^{-6} = 1.24 \times 10^{-4} (\text{mm})$$

$$\frac{0.46\lambda}{N} = \frac{0.46 \times 1.06 \times 10^{-3}}{1.506} = 3.24 \times 10^{-4} (\text{mm})$$

计算说明不等式(4)成立, 即衍射场中心无盲区。

4 激光合作目标的设计

1. 根据导弹型号的不同要求设计了如表 1 所列的四种型号的激光合作目标。

Tab. 1 External structure of laser cooperative target

type	round form		quadratic from			weight	franchise
	length	diameter	length	breadth	height		
JGHM-1	264.5	63	216	58	55.35	1160	± 20
JGHM-1-A	235					1250	
JGHM-1-B	264.4					1350	
FGHM-						1030	

2. 激光合作目标(JGHM-)的原型(初样),如照片所示,它是 CAD 给出的实体模型。

3. 为保证激光合作目标的使用性能,进行了可靠性设计、各种性能测试、故障分析及其改进措施试验。

1) 可靠性设计^[7]。在可靠性设计中,采用了预防故障设计、贮备设计和耐环境设计等可靠性设计方法。

(1) 预防故障设计。预防故障设计是由经验积累形成的设计方法。

a. 采用成熟的经验或试验验证了的方案,为此检索到国内外 20 多篇文献。在激光合作目标初样的设计中,借鉴了美国“Laser Ranging Retroreflector”(N 71-30965)的成功经验。这种结构经阿波罗 11、14 和 15 运载,安置在月球上。经受了火箭起飞、在月球着陆和月球极恶劣环境的考验。

初样经航天总公司三院三部的五项力学环境试验,证明可靠性较高,顺利地转入正样研制阶段。

b. 尽量简化结构、减少零部件的数量和种类

每种型号的激光合作目标有五种零件,共十六个零件(含贮备件三个)。

c. 尽量采用通用的标准化零件。

五种零件中有两种标准件,占 40%。

d. 重视关键件的选材和可靠性等。

(2) 贮备设计。贮备设计是对完成同一规定功能的部分,设置重复的结构,以备局部发生故障时,整机仍不致丧失功能的设计方法:用两只紧定螺钉、并涂胶防松等。

(3) 耐温设计。从选材上使之耐环境温度;从表面处理选择上和光学件敏感部位的保护上实现耐温要求。

(4) 耐湿设计。塑料和硅橡胶耐水性极强,贮存时,放在密闭瓷器中,并加干燥剂防湿。

2) 各种性能测试及其报告。

(1) 温度冲击试验。激光合作目标经吉林省光学机械商品质量监督检验站的质检中心检测结果如下:

a. 检测项目 温度冲击试验

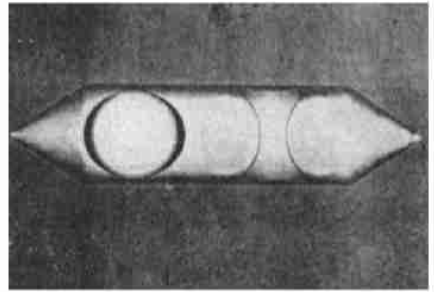


Fig. 5 Full-scale mock-up

b. 标准要求 QJ11843- 87 温冲试验 2. 3; 2. 4; 3; 4; 5; 6

c. 测试结果 -35 ± 2 ; $+55 \pm 2$ 各保持 1. 5 h; 转换时间 4 min; 循环次数 3 次; 预处理后, 经初步检测。进行三次循环试验, 恢复至试件温度稳定, 最后进行全面检查: 性能正常。

(2) 激光合作目标力学环境试验结论。

长春光机所提供的两种结构型式的激光合作目标, 按《710 弹上安控设备使用、保管环境条件》(8710DAK-JT-1) 技术文件规定, 进行了五项力学环境试验, 经试验前后结构完好性检测, 对比分析证明, 都能满足 8710 工程装弹成件力学环境条件要求。

方形的激光合作目标, 安装在模拟舱段上进行了振动、冲击和颠簸试验, 证明在装弹条件下, 也能满足 8710 工程力学环境条件要求。

圆形的激光合作目标, 满足 8710 工程装弹力学环境条件要求。

为检测激光合作目标结构完好性, 专门研制了一台激光合作目标检测仪, 包括双棱镜自准支架和自准平行光管。将另外详细介绍, 以供参考。

激光雷达散射截面与入射角关系的实测结果的曲线。图 6 和图 7 的横坐标为入射角 $0^\circ \sim \pm 64^\circ$; 纵坐标为散射截面从 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^2$ 至 $1.0 \times 10^8 \text{ m}^2$:

a. 激光合作目标的激光雷达散射截面与激光入射角的关系曲线如图 6 所示^[3], 此时的激光入射高角为 0° ; 为最佳测量状态。

b. 当激光入射高角为 23° 时, 为最不利测量状态, 激光雷达散射截面与激光入射角的关系曲线如图 7 所示。

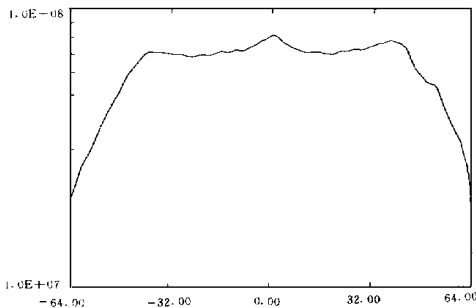


Fig. 6 Incident angle(deg.)

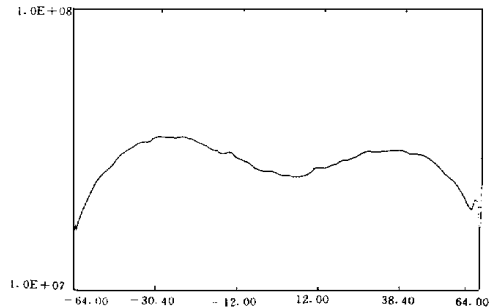


Fig. 7 Incident angle(deg.)

5 验收意见

1995 年 3 月, 在长春召开了 8710 工程激光合作目标验收会。与会代表有航天总公司三院三部、海军试验基地技术部、海军 8710 工程指挥部及长春光机所三方代表。

经会议三方代表讨论、评审组一致认为: 激光合作目标反射面积大(3 个 20 cm^2 的角反射棱镜)、精确度高(小于 1), 有效反射因子高($A_r = 1.4 \times 10^6 \text{ m}^2$), 目前处于国内领先地位。

检测小组检测了 13 项指标均达到或超过检测大纲要求。检测组认为图纸资料齐全, 文、图、物一致。会议代表一致认为该产品达到了合同的技术协议书要求, 可以交付使用。

致谢: 在几年的研制过程中得到上述三方专家的指导与帮助, 在此致以衷心的感谢。还得到所内外其他同志的协助, 亦在此致以敬意。

参 考 文 献

- [1] 王书铨等, 三面直角反射装置的直角误差对反射光束的影响. 哈尔滨科学技术大学学报, 1988(3): 76- 79
- [2] P. O. Minott, Design of the Retrodirector Arrays for Laser Ranging of Satellites. NASA-T-M-X-70657, 1974
- [3] 江荣熙等, 1 级四面体组合作目标激光雷达散射截面实验与理论研究. 激光技术, 1994(3): 173- 177
- [4] 福山译, 激光雷达测距方程研究. 激光与红外, 1973(4): 1- 15
- [5] 虞孝舜, 激光测距用角反射器的设计. 激光, 1978(5- 6): 158- 159

Computer Aided Develop of Laser Cooperative Targets

Wei Pichang

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper presents the course of develop of laser cooperative targets and acquired achievements in relative works briefly. There is consultation value to consumers and follow-up designers.

Key words: Corner reflector, Laser cooperative targets, Blind area, Reliability design, Laser radar cross section, CAD

卫丕昌 男, 1936年11月生, 1963年长春光机学院应用光学系毕业。副研究员。先后从事动态光学观测仪器、遥感光学仪器、光电对抗光学仪器 and 空间光学仪器的研制。曾多次获得中科院科技进步奖。现主要从事空间光学仪器的研制。