GDB-49 型光电倍增管在分米级 精度人卫激光测距系统中的应用

 苏锦源
 程妮萍
 张延林
 徐正卜
 徐德祺

 (中国科学院上海天文台)
 (北京核仪器厂)

本文主要介绍了人卫激光测距用光电倍增管的选择原则、使用考虑和实验室测试情况,最后叙述了国产光电倍增管的应用前景。

关键词:光电倍增管,卫星激光测距

为参加 1980 年 8—10 月的国际地球自转短期联测和对第二代系统的光电接 收 和控制 电子学部件进行预实验,上海天文台于 1980 年 7 月底建成了分米级精度的 人卫 激光测距 实验系统,在系统中首次采用了 GDB-49 型快响应光电倍增管来取代历来采用的进口管。 通过对 Geos-1,Geos-3 和 BE-C 等卫星 的 多次实测和大量的地靶校正测量,表明实 验系统的测程大于 2000 km,测距精度好于 30 cm,达到丁能以较好的精度参加国际联测与 对第二代系统预实验的两个目标。同时,也证明了国产 GDB-49 型光电倍 增 管的性能较 好地满足该系统的要求,这表明国产管在这方面的首次应用是成功的。因此,我们决定第 二代系统中正式采用 GDB-49 型光电倍增管。

一、 人卫激光测距用光电倍增管的选择

光电倍增管在人卫激光测距系统中作为对 0.53 μm 的微弱激光回波脉 冲 进行光电变 换和高增益放大的关键器件。它的量子效率、增益、定时特性和暗电流等特性直接关系到 测距系统的测程与测距精度。因此,正确选择光电倍增管是设计测距系统的重要内容。

根据人卫激光测距的特点与实验系统的性能要求,选择光电倍增管的原则是:

1. 人卫激光测距仪所能接收到的激光回波信号的平均光电子数 N 可由下式决定

$$N = \frac{1}{2\pi} \eta \cdot \frac{E_{\mathrm{T}} D^2_{\mathrm{R}} E_{\mathrm{ff}}}{\theta^2_{\mathrm{T}} h v} \cdot \frac{\sigma \alpha_{\mathrm{T}}}{R^4}$$
(1)

式中: η 为光电倍增管量子效率; B_{T} 为激光器输出能量; D_{R} 为接收望远镜口径; θ_{T} 为在 l/e 点处的发射光束的发散度; h 为普朗克常数; v 为激光频率; σ 为卫星有效面积(雷达截面); a_{T} 为双程大气传输; R 为目标距离; B_{ff} 为总的光学系统效率。

N 值的大小决定了测距系统的探测灵敏度。由式(1)可知,选择在工作波长上具有高量子效率的管子对提高系统探测灵敏度有着直接的好处。

鉴于实验系统用的激光器输出能量只有 80mJ, 而要求的测程约 2000km, 这就要求 管 子应具有尽可能高的量子效率, 这对于提高测程和测距精度都是有益的。此外, 实验系统中

光电倍增管后没有放大器,而是直接接到最小鉴别电平只有 80mV 的定比鉴别 器上,这 就要求光电倍增管还应具有较高的增益。

2. 为了与输出脉宽为 4ns 的激光器相匹配, 管子应具有相应的快时间响应特性。

3. 为达到 30-50cm 的测距精度, 应减少光电变换时引入的误差, 所以管子应具有 良好的定时特性。

4. 激光回波脉冲因受种种因素影响,其幅度变化范围可达干倍,所以管子应具有较大的线性工作范围。

5. 为减少噪声引起的测距误差,应选用暗电流小的管子。

6. 管子应具有好的稳定性并工作可靠。

根据以上考虑和当时的条件,我们选用了 GDB-49 型快响应光电倍增管。

二、使用光电倍增管的几个问题

GDB-49 型是一直径为 2 英寸、端窗、快速、低噪声光电倍增管。阴极为锑钾铯双 碱发射体, 倍增极为银镁合金, 倍增系统为 12 级线性聚焦结构。在 Nd: YAG 倍频激光 器工作波段(中心波长为 5320Å)处的量子效率约 12%。增益可达 3×10^7 ,这时的室温 暗电流一般为 4—5 nA, 暗噪声计数率一般为 600 cps $\left(\sum_{0.1e}^{10e}\right)$,其中幅度高于 单 电子 的暗计数率约 200 cps $\left(\sum_{1e}^{10e}\right)$.在生产厂给出的 B'分压器状态下,阳极脉冲上升时间 一般为 1.7 ns,半宽度为 3 ns, 渡越时间为 31 ns。由于统计特性,渡越时间分散(游动) 约 0.1 ns。所有这些特性,较好地满足了现阶段人卫激光测距的要求。

我们在实验中采用的 *015、*131 光电倍增管的分类指标见表 1。

管 号	阴极光照灵敏度,μA/m		阳极光照灵敏度			
			200A/lm		2000 A/lm	
	自光	蓝 光	电压、V	暗电流,nA	电压, V	暗电流.8A
#015	75	13	1420	0.3	1730	2
#131	84	14	1480	0.6	1860	6

表 1 #015、#131 光电倍增管的分类指标

1. 分压器的设计

分压器的设计是根据不同要求确定的。比较常用的分压器结构有 A 型和 B' 型两种 (图 1)。A 型是一种高灵敏度设计,除前几级为保证电子束聚焦而采用特殊设计外,倍 增系统其余各级为均压分布,在同样工作电压下,可提供较高的整管增益和较低的噪声, *015 管子采用这种分压器。B' 型是一种快响应和较大动态范围的设计,因为第一级 K-D₁ 间的电压较高,阴极表面电场较强,因而有快的时间响应和较小的渡越时间游动,末几级

电压逐级增加,以克服空间电荷 效应,保证能从阳极支取较大的 线性电流。例如,要求最小阳极 输出幅度为 60mV. 输出电阻为 50Ω, 脉宽为 4ns, 这时的阳极 脉冲电流为 0.2 mA。采用 B' 型分压器时,输出线性电流一般 可达 200mA 以上。#131 管子 采用这种分压器,它的脉冲响应 特性、暗计数和动态范围等均获 得了比较满意的结果。



2. 供电方式的考虑

图 1 A 型(上)和 B'型(下)分压器结构

光电倍增管的供电方式一般有负高压和正高压两种。前者阳极可直接耦合输出,对地 的分布参数小,脉冲波形畸变小。但由于阴极处于高电位,它与作为光屏蔽或电磁屏蔽的 金属筒间存在一个较强的电场,这样由于漏电、荧光、电晕等效应,易增加噪声,除非金 属筒离管子有足够大的距离。后者供电方式时,阳极必须通过耐高压的隔直电容输出。虽 然这时增加了分布参数、输出脉冲形状易畸变,但是由于阴极处于与屏蔽金属筒同样的低 电位, 故噪声低、工作稳定。基于对降低噪声的要求, 我们采用后一种供电方式, 并对后 接电路元件采取保护措施、以免开关高压时受冲击损坏。

3. 屏蔽的考虑

人卫激光测距仪中光电倍增管的屏蔽包括光屏蔽和电磁屏蔽两种。如前所述、激光回 波能量是很弱的,而激光发射时的后向散射光、观测室及其周围的灯光、月光等杂散背景 光都相当强。因此,我们不仅在管子前面加了窄带干涉滤光片。而且还设计了较好的光密 封结构。在所有屏蔽筒的连接处用"O"形橡皮圈压紧密封。这不仅有效地防止了背景光 的漏入,而且使光电倍增管与大气隔开,防止由于潮气进入而引起光电倍增管管针间的漏 电。

电磁屏蔽系统由坡莫合金和硬铝双层结构组成。磁屏蔽筒伸出管子光阴极面外15 mm。 静电屏蔽筒置于磁屏蔽筒之外,整个电磁屏蔽系统与阴极同处于地电位。



4. 高压电源及其稳定性考虑

为保证足够的测距精度,装置各部分的时间游动 应尽量小。对光电倍增管来说,除了结构因素外,时 间游动很大程度上取决于分压器状态、供电电压及其 稳定度。渡越时间分散近似地与管子的极间电压平方 根成反比,工作电压的提高有助于渡越时间的减小(图 2)。但是工作电压的提高是有限度的,在一定阈值下, 图 2 GDB-49 型时间特性与工作电压关系 有一段合适的工作区,这时信噪比最佳。通常这一工

作区处在较低电压下,即计数特性曲线中坪的起始部分。但为了获得较好时间特性,工作 区应选在坪区中间为好。这时,工作电压较高,有良好时间特性且能保持较好信噪比。在 我们的应用中,设计的阈值为 60mV,要求处在相当于 5 个电子的幅度处,则所需的最小 增益约为 6×10⁶,相当于阳极灵敏度为 400A/Im 时的工作电压。通常,GDB-49 型 在此电压下有较好的信噪比。过高的工作电压是不适宜的,会使噪声增大,工作不稳定。

众所周知,假定光电倍增管各极间电压均匀分布、Ag Mg 合金为倍增极材料,则增益 G 与工作电压 V 的关系是 G= (V/40)[™],式中 n 为倍增极级数。对 GDB-49 型管子, n=12。由该关系式可知,当电压变化 10%时,增益的变化将超过 1 倍。稳定增益的前提 是稳定高压电源。根据系统要求,我们选用稳定度为 0.01% 的高压电源。

5. 阳极负载电阻的考虑

光电倍增管的负载电阻一般由应用要求决定。就快响应窄脉冲来说,必须考虑阳极电路时间常数对脉冲特性的影响。GDB-49型的阳极对地分布电容约 6pF,考虑隔直电容以后,总的分布电容约 10pF。由于系统中光电倍增管的后接电路(定比鉴别器或宽带前置放大器)的输入阻抗为 50Ω。考虑到接收的激光脉冲宽度对阳极电路时间常数的限制,以及为了阻抗匹配,我们取阳极电阻为 50Ω。这时的时间常数约为 0.5 ns。假如阳极输出为阶跃脉冲,则引起的前沿上升时间约 1.1 ns,完全在接收激光脉冲允许的范围之内。

三、 系统性能的实测结果

用国产 GDB-49 型光电倍增管构成的光电接收分系统的性能,已在整机联调前利用 现有设备在实验室进行了测量。整个测距系统的性能主要通过地面靶测量来估计,而对卫 星的实测结果则是系统性能的最终反映,现将有关测量情况简述如下。



图 4 整个接收系统时间游动典型值

按图 3 所示的方框图测试了分系统时间游动和长、短期稳定性。部分测试结 果 示 于 图 4 和图 5。从图中可知,系统时间游动的典型值为 $\sigma_{\tau} \approx 0.2$ ns (相当于距离变 化 丁

3cm),长、短期稳定性均好于30.2ns,这 与凹外第二代系统接收机的性能相近。

地面靶的测量结果为:当信号强度变化 100 倍时,系统校正的平均值变化约 0.31 ns,系统短期稳定度约 0.26 ns。这样,可估算出人卫激光测距实验系统的单次测距误差的均方值约为 ± 20 cm。

实试系统建成后,在半年多时间里对 Geos-1,Geos-3和BE-C等卫星进行了 多次疾测,表明系统的测程大于2000km, 测距精度优于 30cm。



四、 国产光电倍增管在人卫激光测距中的应用前景

国产 GDB-19 型快响应光电倍增管在分米级人卫激光测距实验系统中的成功应用, 促使我们在第二代人卫激光测距系统中正式使用这种管子。用该管构成的第二代系统的光 电接收部分已初步建成,实验室测试工作已基本完成,性能基本达到了设计要求。但从人 卫激光测距应用角度来看,进一步提高国产管的量子效率,同时减小有效阴极面以进一步 减少管子的暗噪声是必要的。此外,建立第三代人卫激光测距系统已提到议事日程,因此 发展更快速的管子也是迫切希望的。

对于读志祥、石效良、李振宇和商明磊等同志所给予的支持、帮助表示衷心感谢。 (1983 年 6 月 7 日 收到)

Application of Model GDB-49 Photomultiplier in System of Laser Range Finding of Satellite with High Precision

Su Jinyuan Cheng Niping Chang Yanlin (Shanghai Astronomical Observatory, Acdemia Sinica)

Xu Zhengpu Xu Deqi

(Beijing Nuclear Instrument Factory)

ABSTRACT

Laser range finding of satellite possesses a predominant property of high precision. It is a powerful means of researching on both geodynamics and geodesy. By using the laser range finding system equipped with fast response photomultiplier Model GDB-49, we succeeded in measuring the rangeheight of satellite Geos-1 and Geos-3, and etc. The rance finding precision is better than 30cm.

This paper briefly describes the principle of laser range finding and the composition of its experimental system. The stress is put on the rule of choosing photomultipliers, its operation conditions and test results in laboratory. The application prospect of photomultipliers is also pointed out.

(Key Words: Photomultiplier, Laser Range Finding of Satellite)