

文章编号 1004-924X(2002)06-0644-06

# 一种对空间突发性强闪光目标的测角方法

钟 平, 续志军

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要: 在空间发生的突发性强闪光事件, 如低空随机发生的强烈爆炸等, 具有很强的时间和位置的随机性, 且持续时间短。提出了一种对空间突发性强闪光目标的光电测角方法。该方法可完成对强闪光目标中心位置的方位角和俯仰角的测量。介绍了该测角装置的基本构成和测角原理, 对装置的关键部件也作了简单阐述。用该测角装置与经纬仪对太阳进行了测角对比试验, 给出了其测量数据, 分析了其测量精度。由于该装置采用变增益放大器和柱面形光电接收器, 它具有对目标探测的动态范围大和实现对目标全方位测量等特点。

关键词: 光电探测器; 二维角度测量; 突发性强闪光事件

中图分类号: TH712 文献标识码: A

## 1 引言

对空间随机发生的强闪光事件的实时定位, 如测出在空中随机发生爆炸点的中心位置等, 必须首先实现对其炸点中心的水平投影点和其高度的测量, 即对强闪光目标中心位置的方位角和俯仰角的测量。由于空中强闪光事件发生的随机性和瞬时性, 要求测角仪器具有很强的实时性和全方位的探测能力。本文提出一种利用光电技术和电子计算机应用技术相结合的测试方法。由该方法设计的探测装置能在外传感器的触发下, 迅

速地完成对空间突发性强闪光事件中心位置的测量。该装置探测光谱范围为  $0.4 \sim 1.06 \mu\text{m}$ , 光电灵敏度为  $0.08 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ , 监测范围为: 方位角  $0 \sim 360^\circ$ , 俯仰角  $-4^\circ \sim 25^\circ$ , 测角的准确度优于 2 密位, 整个测角过程在 0.5s 内完成。

## 2 装置的组成与测角原理

### 2.1 测角装置的组成

测角装置包括刻有狭缝的扫描探头、柱面硅光伏接收器、绝对式光电轴角编码器和数据处理器等组成, 原理框图如图 1 所示。

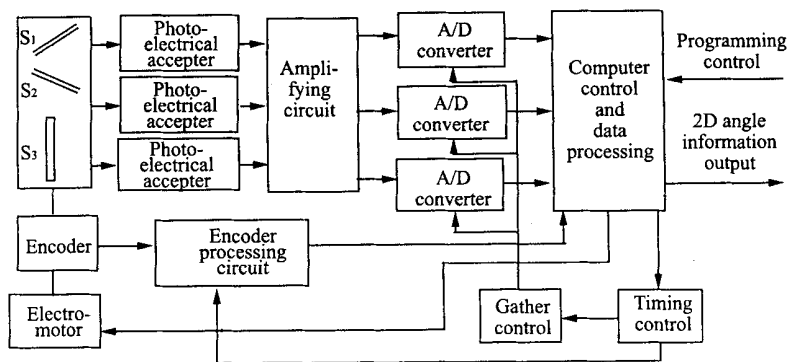


图 1 装置的结构原理图

Fig. 1 Principle diagram of the system.

收稿日期: 2002-01-08; 修订日期: 2002-07-20

基金项目: 中国科学院青年创新基金项目 (No. Q01R07)

在外传感器的触发下, 测角装置由计算机控制迅速起动测角探头, 按严格几何尺寸刻有扫描狭缝的探头和绝对式编码器在力矩电机的驱动下以 4.5 转/s 的速度同轴旋转, 对被测目标进行扫描, 在扫描狭缝后安装三个固定不转动的柱面硅光伏接收器, 通过扫描狭缝接收的目标光信号经光伏接收器转换成相应的电信号, 经过变增益信号放大器处理后, 把信号最大值和对应的角度数据一起输入数据处理器, 按给定的数据处理模型, 实时地计算出空间球形光源的中心方位角和俯仰角, 从而实现空间目标方位角和俯仰角的测量。

### 2.2 测角装置探头的外形设计

探头的几何形状是依交汇测角原理和光的直线传播原理设计的。在扫描头的两层圆柱薄壁筒的筒壁上, 按照一定的几何尺寸加工出起准直作用的通光狭缝, 并按一定的几何尺寸组合而成。因为在一个测角器件上既要能测方位角, 又要同时测俯仰角, 因而在内外筒壁上, 分别按一定的几何尺寸要求开有正反两条倾斜狭缝 ①和 ②, 水平分度角为  $\alpha$ , 倾斜角为  $\varphi$ 。狭缝 ③是居于两倾斜狭缝中间的无倾角直狭缝, 如图 2 所示。狭缝的外表面到光电池之间装有一定光程的光阑, 长度为 35mm, 正对准光电池, 狭缝宽为 0.2mm, 只有被测目标正对准硅光电池时, 接受的信号最大。图 3 显示了其中一组狭缝的结构图。在设计中采用  $\alpha = 180^\circ$ , 倾角  $\varphi = 45^\circ$ 。并且根据测角要求, 严格保持  $\theta$  角、 $\omega$  角、和  $\varphi$  角之间的  $\tan \theta = \omega \cdot \tan \varphi$  的数学关系。

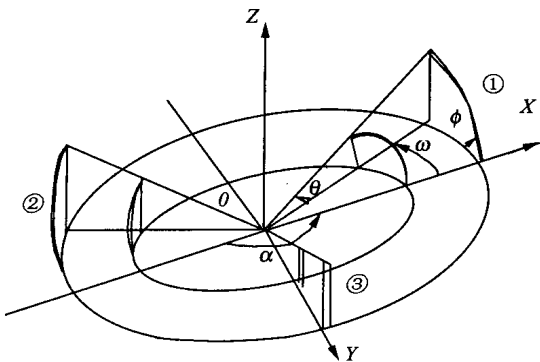


图 2 扫描狭缝结构图

Fig. 2 Structure of the scanning slot.

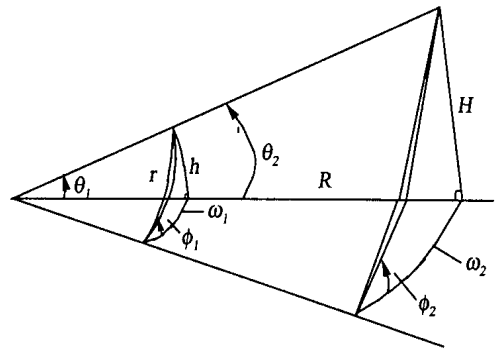


图 3 一组扫描狭缝结构

Fig. 3 Structure of a set of scanning slots.

### 2.3 方位角和俯仰角的测量原理

在力矩电机的驱动下, 主轴带动码盘和扫描头上的两组倾斜狭缝旋转, 对目标的方位角和俯仰角进行扫描测量。在测量之前, 扫描头“0”位与已知方位(北)严格对准, 扫描头水平位置“0”严格保持水平。此时, 扫描头两倾斜狭缝相对空间的几何位置已确定。实际上, 扫描头在停机时, 位置是不确定的, 即扫描头“0”位在停机时, 位置是随机的。但此时编码器总能显示扫描头“0”位所在的位置, 即与方位角(北)的差数。

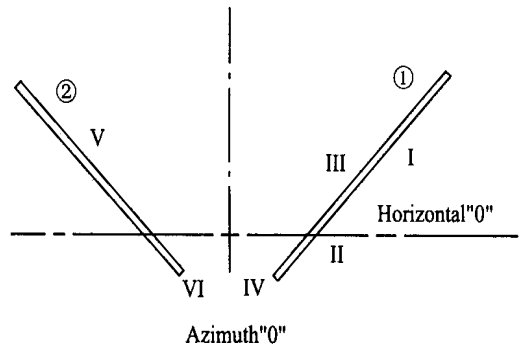


图 4 探测物体所在的六个区

Fig. 4 Six spatial areas of the detected object.

设扫描头“0”位与编码器的“0”位和已知方位(北)对准, 那么, 扫描头的两倾斜狭缝把空间划分为 I、II、III、IV、V、VI 六个区域, 如图 4 所示, 下面以 I 区为例, 根据几何关系推导求其方位角和俯仰角的计算公式<sup>[1]</sup>。其中, 图 5 和图 6 分别为立体测量图和测量展开图。

设两组倾斜狭缝的倾斜角相等, 即:  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ 。两组倾斜狭缝水平分度为  $\alpha$  角, 方位“0”位



根据测角装置的特点和测量原理, 光伏接收器的外型做成柱面结构有益于提高接收效率。由于所要探测的目标位置是不可预知的, 把探测器设计成圆柱面形接收器, 能实现全方位无盲区的探测。采用圆柱面形接收器其测角范围可达: 方位角  $0^\circ \sim 360^\circ$ , 俯仰角为  $-4^\circ \sim 25^\circ$

### 3.2 前置放大电路

对于不可预知强度的普通的光目标(球或点)信号, 经过扫描狭缝转变为电信号后, 反映到放大器入口具有如下的特点: 信号波形类似于锤形的单脉冲, 大小不可预测, 动态范围很大。如何能使该探头具有更强的适用范围, 前置放大电路的设计是一关键环节。它必须满足具有增益自动变换的功能。自动连续快速变化增益的放大器, 能够真实地反映探头测量空间不同照度处的信号大小, 准确地计算出光源目标的中心位置。

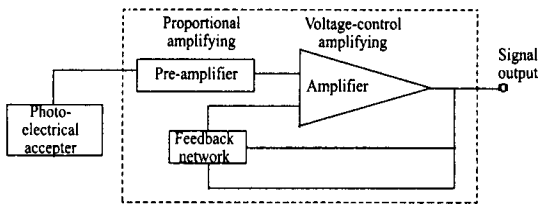


图 8 前置放大电路原理图

Fig. 8 Block diagram for the principle of the amplifying circuit.

基于放大电路后接 A/D 变换器的要求, 必须使小目标信号经放大达到一定的幅值, 即放大器在小信号输入时有较大的放大倍数, 而在大目标信号输入时, 放大器输出又不能饱和, 所以放大电路的放大倍数应随输入信号的大小而变化。针对被测信号的特点, 前置放大电路采用两级放大, 第一级采用比例放大电路, 而第二级采用压控放大电路。第二级放大电路的反馈网络采用场效应晶体管, 利用其源漏电阻受栅结电压控制的特点, 使放大器反馈量随信号大小变化而改变。前置放大电路原理框图如图 8 所示。

### 3.3 光电编码器

角度的测量使用绝对式编码器, 它可以将轴的角度位置以数字代码形式实时地输出, 其代码只与轴的位置有关, 即使在断电的状态下, 旋转任意角度也不影响通电后所获代码的正确性, 具有很强的抗干扰能力<sup>[4,5]</sup>。另外采用长轴形式, 码

盘直接安装在扫描头的旋转轴上, 省去了联轴节, 可提高可靠性和稳定性, 减小传递误差, 提高仪器的精度。

## 4 测角装置和经纬仪对目标实时测量的对比实验

为了检测测角装置的测量准确度, 用经纬仪(精度为  $0.6''$ )与之进行实验对比。由于太阳是球形光源, 并且可看成离地球为无穷远, 对测角装

表 1 经纬仪和测角装置测量太阳角度的数据比较

Table 1 Comparison of data of the sun 2D angle measured by transit and by the measuring device

No	Transit		Measuring device		Measuring error	
	azimuth	elevation	azimuth	elevation	azimuth	elevation
1	150° 37'	6° 5'	150° 40'	6° 8'	3'	3'
2	151° 8'	6° 37'	151° 8'	6° 40'	0'	3'
3	151° 36'	7° 5'	151° 36'	7° 4'	0'	-1'
4	152° 24'	7° 49'	152° 27'	7° 49'	3'	0'
5	152° 59'	8° 31'	153° 1'	8° 32'	2'	1'
6	153° 41'	9° 14'	153° 42'	9° 16'	1'	2'
7	154° 23'	9° 57'	154° 24'	9° 58'	1'	1'
8	154° 56'	10° 30'	154° 55'	10° 31'	-1'	1'
9	155° 59'	11° 35'	155° 59'	11° 35'	0'	0'
10	156° 31'	12° 6'	156° 31'	12° 9'	0'	3'
11	157° 13'	12° 50'	157° 13'	12° 50'	0'	0'
12	157° 56'	13° 32'	157° 55'	13° 33'	-1'	1'
13	158° 39'	14° 16'	158° 39'	14° 15'	0'	-1'
14	159° 11'	14° 47'	159° 11'	14° 48'	0'	-1'
15	160° 7'	15° 40'	160° 6'	15° 42'	-1'	2'
16	160° 38'	16° 13'	160° 42'	16° 12'	4'	-1'
17	161° 21'	16° 55'	161° 24'	16° 55'	3'	0'
18	162° 5'	17° 37'	162° 7'	17° 38'	2'	1'
19	162° 49'	18° 19'	162° 52'	18° 19'	3'	0'
20	164° 8'	19° 33'	164° 9'	19° 37'	1'	4'
21	165° 59'	21° 18'	166° 3'	21° 20'	4'	2'
22	167° 9'	22° 19'	167° 15'	22° 20'	6'	1'
23	167° 31'	22° 41'	167° 34'	22° 41'	3'	0'
24	168° 8'	23° 11'	168° 12'	23° 13'	4'	2'
25	169° 6'	24° 4'	169° 8'	24° 5'	2'	1'
26	169° 54'	24° 45'	169° 58'	24° 44'	4'	-1'
27	170° 43'	25° 25'	170° 44'	25° 26'	1'	1'
28	171° 32'	26° 5'	171° 35'	26° 7'	3'	2'
29	172° 9'	26° 35'	172° 13'	26° 36'	4'	1'
30	172° 58'	27° 16'	173° 3'	27° 17'	5'	1'

置和经纬仪来说,两种设备对太阳的中心位置的视角差可近似为零。在测量过程中,根据太阳的升起轨迹先由经纬仪对准其方位角,当太阳进入经纬仪的视场中心时,在目标光电信号的控制下,则立刻启动测角装置对太阳进行角度测量,计算机采集测角探头的光电信号和编码器的角度数据,经过计算机处理后,得到所测太阳的中心方位角和俯仰角。我们在不同的地方进行了上百次这样的实验,每隔一定的时间对太阳进行一次测量,下表是这两种设备在相同的时间对太阳测角的一组数据。

以经纬仪的测角数据为标准值,对于方位角有:  $\sum \Delta x = 56$ ,  $\sum \Delta x^2 = 214$ , 由标准偏差公式可求得:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{方}} &= \sqrt{[\sum \Delta x^2 - (\sum \Delta x)^2/n]/n} \\ &= \sqrt{(214 - 56^2/30)/30} = 1.91' \\ 3\sigma_{\text{方}} &= 5.73'\end{aligned}$$

同样,对于俯仰角有:  $\sum \Delta y = 30$ ,  $\sum \Delta y^2 = 78$ ,

则:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{仰}} &= \sqrt{[\sum \Delta y^2 - (\sum \Delta y)^2/n]/n} \\ &= \sqrt{(78 - 30^2/30)/30} = 1.26' \\ 3\sigma_{\text{仰}} &= 3.78'\end{aligned}$$

对大量实验数据用同样的方法进行统计,其  $3\sigma$  均能优于 2 密位(1 密位等于  $3.6'$ )。

## 5 结 束 语

采用光电技术和计算机应用技术相结合的方法,设计对空间突发性闪光目标的测角装置,可实时捕获闪光目标,自动地完成对目标的角度测量。若在某一区域的适当的位置布设三台此测角装置,即可实现对突发性闪光事件的目标定位。利用该方法设计的测角装置具有结构简单,实时性强,测量准确等特点,其精度优于 2 密位,该测角装置已在工程项目中得到应用并获中科院科技进步二等奖。

## 参考文献:

- [1] 罗伊特 F, 李世铨, 莫重玉, 等. 画法几何学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [2] 朱小松. 光电探测器对光谱灵敏度自动测量装置[J]. 光学仪器, 1991, 13(6): 29\_34.
- [3] Li R, Schaub J D, Csutak S M, *et al.* A High-Speed Monolithic Silicon Photoreceiver Fabricated on SOI[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2000, 12(8): 1046\_1048.
- [4] 董莉莉, 熊经武, 万秋华. 光电轴角编码器的发展动态[J]. 光学精密工程, 2000, 8(2): 198\_202.
- [5] 贝治发, 赫辉. 绝对式智能圈编码器[J]. 光学精密工程, 1995, 3(4): 32\_36.

## Method for measuring the angle of burst strong flashing object in space

ZHONG Ping, XU Zhi\_jun

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

**Abstract:** The burst strongly flashing event taking place in space such as strong explosion in low air is random in time and position, and its duration time is very short. The photoelectric measuring method for measuring the angle of a burst strongly flashing object appearing randomly in space is presented. It can complete the measurement of 2D information, the azimuth angle and pitching angle of the center position of a spatial flashing object. The measuring angle principle and basic structure of the measuring angle device are introduced. The critical parts of the device are briefly described. A comparison of measuring the sun's 2D angle

by the measuring angle device and by transit was made, giving the measured results and accuracy analysis. This device has the characteristics of detecting object dynamic range and realizing omnibearing angle measurement, due to being equipped with changeable gain amplifiers and three silicon photoelectric accepters with cylinder surfaces.

**Key words:** photoelectric detector; 2D angle measurement; burst strong flashing event

作者简介: 钟平(1963-),男,江西省南康市人,1996年毕业于吉林工业大学计算机系,获工学学士学位,现为中国科学院长春光机所博士研究生,主要从事计算机图像处理、光电信号检测等方面的研究。

## 《发光学报》(双月刊)

——物理学类;无线电电子学、电信技术类核心期刊

《发光学报》是中国物理学会发光分学会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分学会学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年,1996年和2000年连续三次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年始;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)自2000年始已定期收录检索该刊论文。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”,首批进入“中国期刊方阵”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊,大16开本,100页,国内外公开发行。2003年国内定价:12.00元,全年72元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

地址: 长春市人民大街140号  
《发光学报》编辑部  
邮编: 130022  
电话: (0431)5684692-2534  
E-mail: fgxb@ciomp.ac.cn

国内统一刊号: CN-1116/04  
国际标准刊号: ISSN 1000-7032  
国内邮发代号: 8-173  
国外发行代号: 4863Q  
<http://www.ciomp.ac.cn>