

基于 CCD 扫描技术探测降水现象的研究

何清芳¹, 王青梅², 郭利乐^{1,2}

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 北京航空气象研究所, 北京 100085)

摘要: CCD 图像扫描探测系统能够获取精确而全面的降水粒子信息, 具有结构简单、易探测、测量精度高等特点。文章简要介绍了系统的组成, 并详细阐述了结合一种具有代表性的图像扫描探测仪进行降水粒子的 CCD 图像扫描探测原理, 探讨了其在实际应用中可能产生的误差, 并就 CCD 图像扫描探测系统的关键技术进行了分析。

关键词: 降水现象; 探测方法; 光学成像; 线阵 CCD

中图分类号: P426.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-009X(2013)02-0026-04

Detecting precipitation phenomenon based on CCD scanning technology

He Qingfang¹, Wang Qingmei², Guo Lile^{1,2}

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044; 2. Beijing Institute of Aviation Meteorology, Beijing 100085)

Abstract: The CCD image scanning measuring system can obtain accurate and comprehensive precipitation particle information with features of simple structure, easy detection and high precision. The structure of this system is introduced briefly. Based on a typical image scanning detector, the theory of precipitation particle detection in this system is described in detail. Then, the potential errors in practical application are discussed. Meanwhile, the key technology of the CCD image scanning detection system is analyzed.

Key words: precipitation phenomenon; detection method; optical imaging; liner CCD

0 引言

降水现象是指液态和(或)固态降水的水汽凝结物或者冻结物从云中或空中降落到地面的现象, 包括: 雨、冻雨、阵雨、毛毛雨、冻毛毛雨、雪、阵雪、米雪、雨夹雪、阵性雨夹雪、冰粒、冰雹、小冰雹、冰针等^[1]。降水现象是一种重要的天气现象, 降水微观信息在气象、水文、农业、军事等领域都有着重要的应用。近年来随着光电传感技术和信息技术的飞速发展, 基于光学原理探测降水现象的方法在天气现象自动化观测中得到了广泛的应用。

光学技术探测降水现象的方法主要有光散射

法、光阴影法、光闪烁法、成像法等。光阴影法对光源的要求较高; 光散射法与光闪烁法采用单个探测器, 其测量精度有限, 限制了对小粒子的识别。只有基于图像扫描的成像法能够获取降水粒子全方位的信息, 对冰针、雪粒子等复杂结构都能够精确地测定。1969年美国大气研究中心 Knollenberg^[2]率先利用光电探测器阵列探测大气粒子的尺寸, 能够测量球形粒子的直径, 最小可达 5 μm , 但不能得到粒子的形状信息; 美国 Borrmann 和 Jaenicke 研制的 HODAR (holographic droplet and aerosol recording system)^[3]利用 CCD 三维全息成像技术, 可获取大气粒子的大小、形状、

速度以及在空间上的三维分布;加拿大 GENEQ 公司生产的 TPI-885 图像采集传感器利用相机或摄像机直接对天空或某一固定区域采集降水粒子的图像,然后利用图像处理技术获得降水粒子信息,但其光学镜头容易受到尘、露、霜等污染,对图像处理和识别造成较大影响;奥地利 Schonhuber^[4]等研制的 2-DVD(Two-Dimensional Video Disdrometer)探测系统通过线阵 CCD 图像扫描来获取降水粒子的速度和三维形状信息,然后用体积积分和谱分布分析的方法计算降水强度和降水类型,该仪器能够准确地获得降水粒子的形状和速度信息,比较具有代表性。

随着气象业务的发展和科学的进步,需要了解降水现象更全面、更精确的信息,以促进云物理学、人工影响天气、气象雷达定标等领域的研究。

实时高速的图像数据采集在这些领域的需求越来越大,因此基于 CCD 图像扫描的探测技术受到了人们的高度重视。

1 系统概述

线阵 CCD 降水现象探测系统主要包含 3 个部分,如图 1 所示。第一部分是光学成像单元,由光源、透镜系统及 CCD 传感器组成,其中光源主要起照明作用,突出检测目标与背景的对比度,CCD 完成粒子扫描;第二部分是信号处理单元,由传感器驱动电路、信号调整电路、ADC 模块、存储模块和数据采集模块组成,主要功能是驱动 CCD 运行,记录狭缝成像,并进行数据处理;第三部分是用户终端 PC 机,主要用于运行终端软件,分析传感器采集的数据,重构粒子形状。

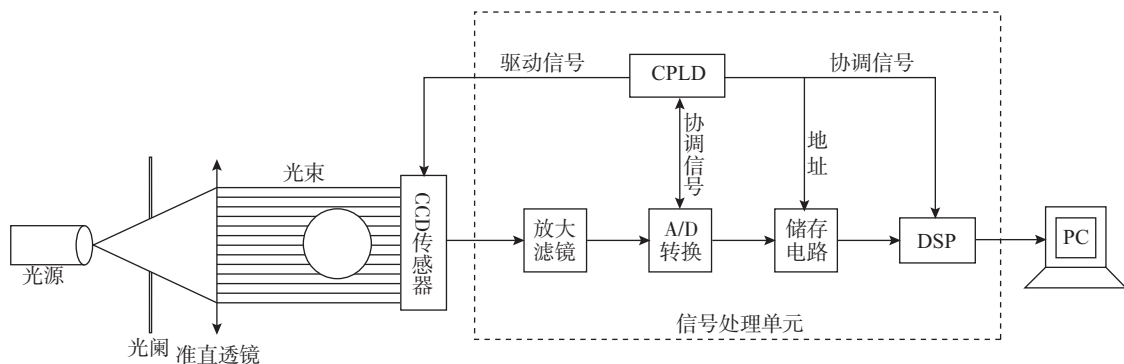


图 1 系统组成

2 探测原理

CCD 扫描技术是基于数字光学的一种扫描技术,是近几年发展起来的新型检测技术,能够实现实时在线非接触式测量。本文以奥地利的 Schonhuber^[5]等研制的 2-DVD 探测系统为例,介绍基于 CCD 图像扫描的降水现象探测系统的技术原理及其性能特点。

2.1 CCD 扫描技术

CCD 按其像元排列形式分为:面阵 CCD 和线阵 CCD。面阵 CCD 像元成二维排列,工作时,图像经物镜成像到光敏面后,光学成像转换成电荷包图像进行存储,然后由水平读出寄存器,并在时钟脉冲控制下一帧一帧地连续读出信息。面阵 CCD 可对静止的实物进行图像采集。线阵 CCD 对图像信号读取是逐行进行的,其运行时先进行主扫描,然后进行副扫描。主扫描是对被测物体水平方向的一行进行扫描,主扫描时通过 CCD 器件的光敏管将光像横向一行同时分割成多个像

素,1 个光敏元对应 1 个像素;副扫描是当被测物体做垂直运动时,线阵 CCD 进行逐行扫描,直到被测物体完全离开 CCD 所在平面,形成按时间先后顺序的电信号序列。

与面阵 CCD 相比,线阵 CCD 具有如下优点:

(1) 线阵 CCD 扫描的图像仅包含运动目标,不存在复杂背景目标,避免了复杂背景的干扰;

(2) 线阵 CCD 分辨率及采样速度较高,提高了检测精度;

(3) 线阵 CCD 灵敏度高,动态范围大,不会有图像拖尾的问题。

2.2 成像探测仪 2-DVD 系统

2-DVD 发射端有 2 个光源,分别通过准直扩束产生片状光,两片片状光呈正交,上下垂直间距为 6.2 mm,分别入射于接收端的两个线阵扫描 CCD,其交叠部分即为采样区(10 cm×10 cm),如图 2(a)所示。当有降水粒子落入采样空间,其影像即被投射到 CCD 光敏面上,由于粒子影像区与背景光在光强上强烈变化,使线阵 CCD 输出的信

号电平在被粒子遮挡的阴影区和非阴影区不同,低电平的阴影区代表了粒子被扫描的横截面。线阵 CCD 每次扫描降水粒子一部分图像,当下一个扫描脉冲到来时,降水粒子也相应向下运动一段距离,则可以扫描降水粒子下一部分图像,当降水粒子完全离开 CCD 光敏面时,粒子的整个图像扫描完成,如图 2(b)所示。粒子遮挡的像元总数为 n ,每个像元尺寸为 a ,则第 k 次扫描的粒子横向切片尺寸 L_k 为:

$$L_k = na,$$

被检测目标的实际尺寸为:

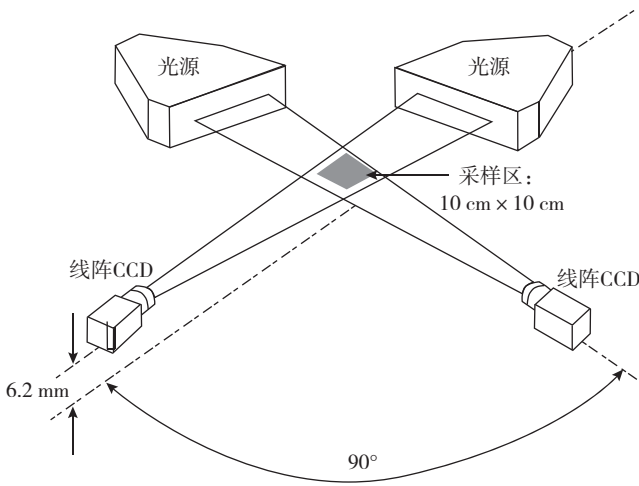
$$l_k = \frac{na}{\beta},$$

式中: $\beta = 2y'/2y$ 为成像光学系统的放大率; $2y'$ 为物体在 CCD 传感面上的成像尺寸; $2y$ 为被检测的目标尺寸。同一粒子多次扫描过程中,最大尺寸 l_{\max} 即为粒子直径。

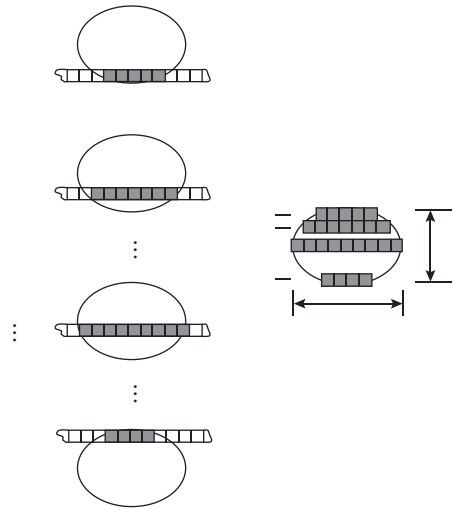
降水粒子的末速度 v_t 为:

$$v_t = \beta = \frac{h}{m \times t_{int}}$$

式中: m 为粒子下落过程中被扫描的总行数; t_{int} 为 CCD 光积分时间; h 为降水粒子高度。



(a) 光学成像系统



(b) CCD扫描降水粒子过程示意图

图 2 光学成像系统及其 CCD 扫描降水粒子过程示意图

2.3 性能分析

2-DVD 成像探测仪能够探测粒子的尺寸、速度、形状方位角等全方位信息,它在图像扫描降水现象的探测仪器中,比较具有代表性,从生产使用至今,已有十多年,相关研究机构进行了深入研究并不断改进。其误差和缺陷主要表现在以下几个方面:

(1) 粒子重叠

2-DVD 探测系统是基于单个粒子对光的散射原理而采集粒子的信息,当多个降水粒子落入采样区发生重叠时,系统会将多个粒子判断成单个大粒子,造成测量误差,随着粒子浓度的增大误差也会增大。但是通过分辨率高的 CCD 可以根据形状来区分重叠的多个粒子。

(2) 风的影响

降水粒子在下降的过程中受到风的影响,其速度和形状都会发生很大变化。粒子形状产生形变,而其速度变化反映为增加一个水平速度,造成粒子下降路径倾斜,CCD 对粒子的行扫描会产生

水平位移,在粒子图像重建时造成误差。

(3) 其他因素

系统运行过程中,大粒子拍打在仪器外壳上,分解成多个小粒子飞溅入采样区,导致错误识别;室外温度过高时,会造成电子元件过热,而引起时间漂移,当两个摄像机运行不同步,就会导致测量误差产生;另外异物对光路的遮挡也会对测量产生影响,如昆虫、蜘蛛网、落叶、灰尘颗粒等。

3 关键技术分析

3.1 系统的校准

气象仪器光学系统的校准,往往非常困难且耗费时间。目标对象的尺寸测量是依据 CCD 传感器采集的图像进行计算,降水量、降水强度等的计算都是基于与粒子尺寸的高倍率关系,粒子尺寸测量的一个很小的绝对误差就会造成其他测量值相当大的相对误差。因此对于粒子结构的复杂性,需要通过大量的实验和计算机仿真不断地对理论模型进行修正,以提高仪器的测量精度^[6-10]。

3.2 线阵 CCD 扫描

目前,大部分仪器所使用的扫描仪都是基于高速线阵扫描相机,其通过特定的摄像头采集图像然后传输到信号处理系统对数据进行采集。近年来,市场上出现了 CCD 智能型线扫描相机,高度集成化,由图像采集单元、图像处理单元、图像处理软件、网络通信装置等构成,有嵌入算法和软件功能的能力。智能相机可以对采集的数据应用阴影法,然后通过阈值检测,最后进行编码发送至用户终端。

3.3 图像处理与分析

CCD 图像扫描探测是以粒子通过光束后的投影为基础,根据初始设定的遮挡像素的阈值来确定粒子成像。基于获取的离散图像,结合图像处理技术提取粒子的相关参数。

阈值的设定影响着粒子成像的质量^[11],不同的阈值条件下得到的粒子形态信息、测量精度也不同,因此需要在不同阈值等级下获取粒子形态信息,并对获取的图像进行修正。目前探测中,需依靠人工判别,而如何能够实现计算机自动识别粒子图形,将是今后图像处理与分析的努力方向。

3.4 数据量大

线阵 CCD 扫描过程中,产生的数据量非常大,处理过程复杂。系统工作时数据量大,容易发生信号“拥堵”,导致处理速度慢,利用普通微机处理器很难做到实时处理,无法满足高速读取数据的需要。因此形成可靠产品的难度较大。

4 结束语

线阵 CCD 扫描探测降雨现象与其他几种光学降水现象探测方法相比,有系统简单、易探测、测量精度高、功能强大等优点。可以获得粒子的丰富信息,包含粒子尺寸的读数没有上限、粒子的下落速度、复杂结构、方位角等^[12,13]。但仍需要开展更多的工作:一是需要建立更精确的数学模型;二是利用图像处理技术,消除风和粒子重叠造成的误差;三是节约制造成本。该探测技术无论在理论上还是实际上都存在着巨大的发展潜力,相信不久的将来,基于图像扫描技术的降水现象

自动观测仪必将投入气象业务的实际运行中。

参考文献:

- [1] 周建华. 航空气象业务[M]. 北京:气象出版社, 2011.
- [2] KNOLLENBERG R G. The optical array: An alternative to scattering or extinction for airborne particle size determination[J]. Journal of Applied Meteorology, 1970, 9(1): 86-103.
- [3] BORRMANN S, JAENICKE R. Application of microholography for ground-based in situ measurements in stratus cloud layers: A case study[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1993, 10(3): 277-293.
- [4] KRUGER A, KRAJEWSKI W F. Two-dimensional video disdrometer: A description[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2002, 19(5): 602-617.
- [5] SCHONHUBER M, LAMMER G, RANDEU W L. One decade of imaging precipitation measurement by 2D-video-distrometer [J]. Advances in Geosciences, 2007, 10:85-90.
- [6] 孙海洋, 江志东, 刘涛. 浅谈降水类型的光学识别技术[J]. 气象水文海洋仪器, 2010, 27(4): 23-27.
- [7] MARSHALL J S, PALMER W K. The distribution of raindrops with size[J]. Journal of Meteorology, 1948, 5(4): 165-166.
- [8] GUNN R, KINZER G D. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air[J]. Journal of Meteorology, 1949, 6(4): 243-248.
- [9] 王青梅, 杨艳玲, 谢邦力. 利用雨的光闪烁效应测量降水强度[J]. 量子电子学, 1994, 11(3): 198-203.
- [10] 王庆有. 光电传感技术应用研究[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [11] 岑家生, 王青梅, 罗晖, 等. 降水粒子的成像探测技术及仪器初探[J]. 大气与环境光学报, 2011, 6(6): 415-422.
- [12] 李江昊. 线阵 CCD 信号采集与处理系统研究[J]. 微处理机, 2008, 4(2): 138-143.
- [13] 高太长, 刘西川, 刘磊, 等. 基于光学方法测量降水的关键技术研究[C]. 北京:中国科学技术协会, 2010.