

中国科学院大气物理研究所集刊

第 1 号

激光在气象探测中的应用

科学出版社

中国科学院大气物理研究所集刊

第 1 号

激光在气象探测中的应用

科学出版社

1973

内 容 简 介

本集刊主要是中国科学院大气物理研究所 1965 年以来关于激光在气象探测中应用研究的总结,共包括五篇论文。第一篇描述了该所自制的三种激光气象探测仪的基本特性及其工作性能;第二、三篇研究和介绍了激光测云以及测烟的基本原理与观测结果;第四、五篇中提出激光探测大气消光系数及透明度的基本原理,并且分析了北京地区大气消光系数与透明度垂直分布的观测资料,探讨了探测水平和垂直能见度的可能性。

本集刊可供气象研究工作者,激光应用研究工作者,特别是大气光学、大气探测的研究工作者,气象业务工作者和有关高等院校大气物理教学工作参考。

中国科学院大气物理研究所集刊

第 1 号

激光在气象探测中的应用

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1973 年 6 月第一次印刷 印张:3 5/8

印数:0001—6,700 字数:76,000

统一书号:13031·103

本社书号:212·13-15

定 价: 0.60 元

前 言

激光这门六十年代初发展起来的新技术引起了广大科学工作者极大的重视。近十几年来,它获得了迅速的发展,日益广泛地应用于工业、军事、通讯、医学、科研等许多领域。

由于激光具有单色性强、相干性好、方向性高以及功率大等特点,它给气象探测提供了新的途径。从1962年开始,世界上科学技术比较先进的国家相继研制激光气象雷达,试验观测对流层大气温度、水汽、风、湍流、透明度和云等气象要素的高度分布。同时,也应用于大气污染、烟团扩散以及80—100公里高层大气的温度和密度的探测研究,取得了有意义的结果。

在毛主席革命路线指引下,遵循“独立自主、自力更生”,“赶超世界先进水平”的伟大方针,自1965年以来,在无产阶级文化大革命的推动下,在有关兄弟单位的大力协助下,我所先后研制了激光气象探测仪I号、II号及III号,开展了激光测云、激光测烟团扩散以及激光测大气透明度的观测原理和方法的实验研究,初步取得了一些激光气象观测资料,并进行了分析研究。通过几年来的科学实验,我们认为,激光作为一种新工具,在大气探测以及大气物理某些问题的应用研究中是很有前途的。它除了能对云、烟团扩散和大气透明度进行观测外,经过进一步扎实而艰巨的工作,有可能利用激光来探测大气温度、水汽、气压以及风、湍流等气象要素的空间分布。然而,由于激光气象探测的发展涉及到激光、无线电电子学、信息处理、光谱学、超精密光学仪器、大气物理学等许多领域,要真正研制出能够探测多种气象要素并且性能稳定的激光气象雷达,广泛地应用于气象业务等有关部门,必须认真地执行“科研、生产、使用”三结合的方针,才有可能多、快、好、省地使激光气象探测为我国社会主义革命和建设事业服务。

这本文集是我们工作的部分小结,限于我们的实践经验和水平,难免存在不少缺点和错误,恳切希望同志们予以批评指正。

中国科学院大气物理研究所

1972年10月

目 录

一、激光气象探测仪	(1)
二、激光测云	(14)
三、激光测烟	(21)
四、激光测定大气消光系数及其在能见度探测上的可能 应用	(32)
五、北京夏季大气消光系数垂直分布的激光探测	(43)

一、激光气象探测仪

摘 要

本文介绍了红宝石激光气象探测仪 I 号、II 号与 III 号的基本性能。为了实现仪器小型化，研制了高铬离子浓度的小型红宝石激光器件。经过几年的观测实验，说明激光气象探测仪是有效而工作可靠的。

(一) 基本概况

随着我国激光技术的发展，根据我国气象业务以及科研工作的实际需要，在兄弟单位的大力协同下，我们研制了三种类型的红宝石激光气象探测仪。以下分别称之为：激光气象探测仪 I 号、II 号及 III 号。这三种激光仪的外形见图 1、2 及 3。

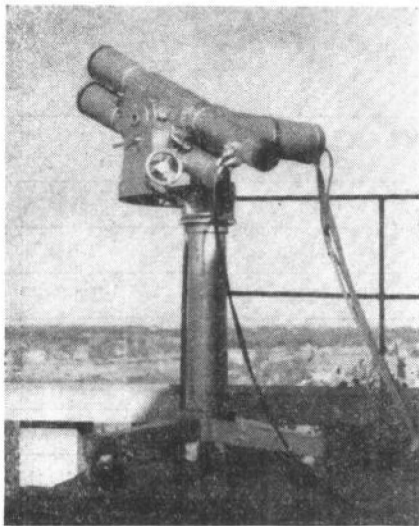


图 1 激光气象探测仪 I 号

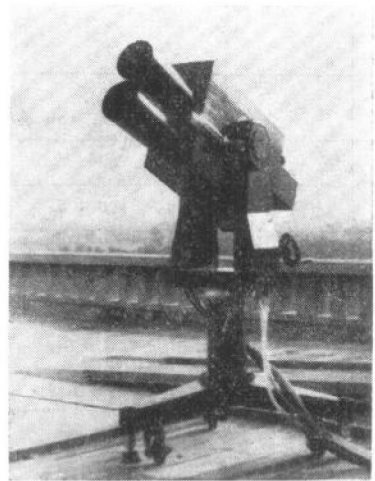


图 2 激光气象探测仪 II 号

它们的基本性能见表 1。

其中，激光气象探测仪 II 号的性能和 I 号基本相似，只是在机械结构以及光路设计上有所改进。而在激光气象探测仪 III 号中采用了高铬离子浓度的红宝石器件，并将此器件装入小型的激光测云仪主机之内，这样使发射功率和激光仪 I 号及 II 号相当，而体积与重量缩小近十倍，所需能源减小近四倍。

考虑到气象目标不同于一般固体目标，云、烟及大气对激光散射回波有其本身的特点，因此，在激光气象探测仪 I 号与 II 号中，我们采用了示波管显示激光回波波形。而在激光仪 III 号中，我们采用了示波管显示与字码显示相结合使用的方案。

利用上述激光气象探测仪(主要是 I 号及 II 号)分别在 1969—1972 年间，在东北、北

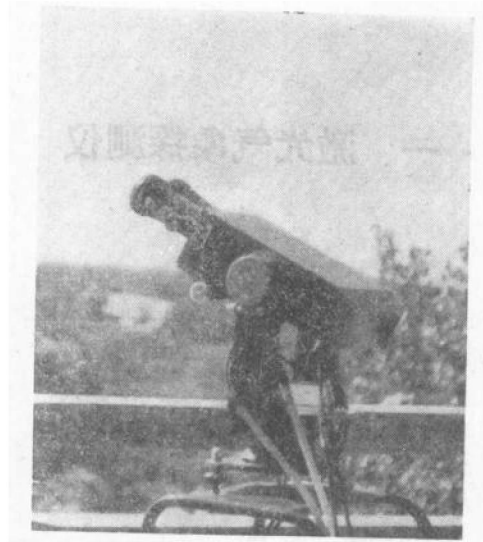


图3 激光气象探测仪 III 号

表1 激光气象探测仪基本性能

类别 性能	I 号	II 号	III 号
工作物质	红宝石(直径: 14 毫米, 长: 190 毫米)	红宝石(直径: 14 毫米, 长: 190 毫米)	红宝石(直径: 6.5 毫米, 长: 85 毫米)
激光波长	6943 埃	6943 埃	6943 埃
发射能量	1.0 焦耳	1.0 焦耳	0.9 焦耳
激发能源	4000 焦耳	4000 焦耳	1000 焦耳
激光脉宽	25 毫微秒	25 毫微秒	20 毫微秒
调 Q 方式	隐花菁溶液	隐花菁溶液	隐花菁溶液
冷却方式	循环水冷	循环水冷	循环水冷
重复频率	4 次/分	4 次/分	4 次/分
发射角	1.7 毫弧度	1.3 毫弧度	1.5 毫弧度
接受孔径	100 毫米	100 毫米	60 毫米
接收角	2.3 毫弧度	1.2 毫弧度	1.5 毫弧度
干涉滤光片	中心波长: 6943 埃 带 宽: 60 埃	中心波长: 6943 埃 带 宽: 80 埃	中心波长: 6943 埃 带 宽: 30 埃
光电倍增管	EMI9558B	EMI9558B	GDB-23

京、四川及湖北地区,进行了多次测云、测烟团扩散以及测大气透明度的观测试验,验证了探测原理与方法,取得和分析了一部份观测资料(详见本集中其他文章)。观测实践证明,仪器性能基本上是可靠而稳定的,而取得的资料在大气探测及大气物理研究中都具有一定的意义。

(二) 激光器及发射接收光路

1. 激光气象探测仪 I 号及 II 号中红宝石激光器件的研制

在研制红宝石激光器的工作中,主要解决了三个问题:(1)染料调Q的输出能量及工作电压的稳定性问题;(2)研制单级红宝石激光器,达到输出单脉冲能量 1.5 焦耳左右;(3)利用玻璃平晶组作为输出端(以后又改为单平晶),基本解决了在此条件下的工作稳定性问题,并将单级输出能量进一步提高到 3—8 焦耳(脉冲宽度 20—30 毫微秒)。除此以外,我们还初步研究了输出能量与染料浓度、宝石温度的关系、染料的寿命等。

这种类型激光器的光路示意图及元件尺寸见图 4。

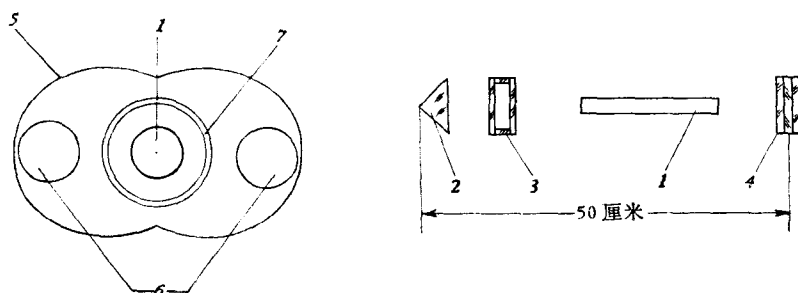


图 4 激光器光路示意图

1. 红宝石,直径 10—12×160—180 毫米 2. 全反射直角稜镜 3. 染料盒
4. 玻璃平晶组输出端 5. 双椭圆聚光器(银皮) 6. 氙灯(直径约 14×165 毫米,两灯串连放电,各置于聚光器焦线之外) 7. 硬质玻璃水冷套

在解决染料调Q稳定性问题时,参照 *Potenza* 和 *Sona* 的工作结果^[1],我们认为,要使染料调Q器件有稳定的输出首先必须稳定红宝石的温度。由于染料调Q的被动性,在巨脉冲出现之前先有微弱的前期静态激光,其强度逐渐增强以至将染料漂白,而此前期静态激光的阈值(即染料调Q的动态阈值)对应的粒子数反转值 $\Delta N_0 = N_2 - N_1$ 满足

$$2L\sigma_0\Delta N_0 = \nu \quad (1)$$

而

$$\nu = -\ln(RT^2) \quad (2)$$

其中 L 是宝石的有效长度, σ_0 是红宝石 R_1 线的峰值吸收截面, N_2 和 N_1 分别是亚稳态和基态的粒子数密度, R 是输出端的反射率, T 是弱光下染料在 6943 埃的透过率。

在 L 、 T 、 R 等参数固定后阈值时的 ΔN_0 依赖于 σ_0 , 而由于红宝石 R_1 线线宽随温度变化, σ_0 也是温度的函数, 而且铬离子浓度愈淡, 温度影响相对愈显著。于是由 ΔN_0 决定的动态阈值将受 σ_0 所左右。如果不稳定宝石温度, 则工作电压无法稳定, 其他问题也无从研究。因此, 一开始我们就对宝石采用了水冷装置以便控制温度、提高重复频率并便于选择有利于大气传输的波长(避开水汽吸收线)。

至于输出能量的稳定性, 我们发现在输出端为介质膜反射镜时, 基本上只依赖于染料浓度。以 6943 埃的吸收率为指标, 当吸收率低于 50% 时, 单脉冲能量很小, 功率起伏很大, 平均可高达 40% 以上, 单脉冲区域(指输入能量的范围)也很窄。浓度到 60% 以上

时,能量起伏的平均值 $\leq 30\%$ 。单脉冲能量在一定的范围内随浓度的加大而提高,单脉冲区域也随浓度而加宽,约几百焦耳。

输出端用玻璃平晶组或单片平晶时,动态输出能量在同样的条件下可增大很多。但情况比较复杂。要获得稳定的输出必须对光路作仔细的调节,在多次实验中寻找最佳参数。我们过去所用的平晶,平行度 $< 6''$,两平行平面间多次反射光干涉的结果,导致反射率随波长的周期性变化,对输出有很大影响。在三平晶组合时,必须使各平晶之间有 $1'-2'$ 的楔角,才能有稳定的输出。用一平晶时,则平晶与宝石端面要有 $4'-7'$ 的偏角。对不同的宝石,最佳偏角也不一样。在最佳偏角 $\pm 2'$ 范围内,可以有大而稳定的能量输出,能量稳定度在 $\pm 10\%$ 以内,个别脉冲的能量可超过或小于平均值的 25% 以上,但出现的概率很小,约在 5% 以下。

考虑到测云的实际需要,上述激光器每台输出能量调到 $2.5-3.5$ 焦耳左右,脉冲功率在 100 兆瓦以上。输入能量约 4000 焦耳左右,氙灯放电迴路中用 6 个并联的 500 微法耐压 2000 伏电容,串联 100 微亨电感。

用上述激光器先后制成了激光气象探测仪 I 号及 II 号。激光气象探测仪 I 号的总光路示意图见图 5。

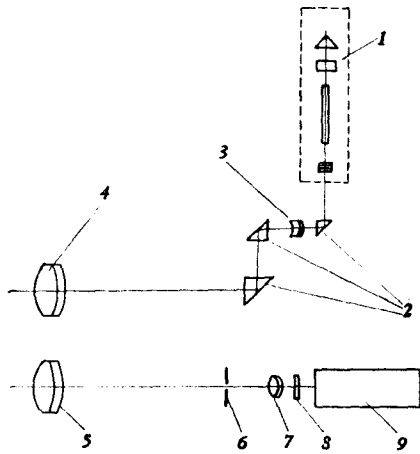


图 5 激光气象探测仪 I 号光学系统示意图

1. 光激光器
2. 转向直角稜镜
3. 发射负目镜 ($f=10$ 厘米, $D=1$ 厘米)
4. 发射物镜 ($f=100$ 厘米, $D=10$ 厘米)
5. 接收物镜 ($f=50$ 厘米, $D=10$ 厘米)
6. 小孔光阑 ($D=0.5-1$ 毫米)
7. 接收目镜 ($f=7.5$ 厘米, $D=1.5$ 厘米)
8. 干涉滤光片 (6943 埃, 带宽约 60 埃)
9. 光电倍增管 (EMI9558B)

在发射望远镜光路中用了三块转向稜镜,其目的是一是缩短镜筒的机械长度,二是为了使望远镜系统俯仰时激光器只绕自身的光轴转动(因而物镜光轴要与激光器光轴垂直)。由于零件较多,反射吸收损失了一部分激光能量。但主要的能量损失是由于发射负目镜的有效孔径小于宝石的直径,加上激光器距负目镜太远以致激光光束到达负目镜时直径已达 1.5 厘米左右,远超过负目镜的有效通光孔径 (1 厘米)。由于发射望远镜光路中的损失,实际发射的激光能量仅有 1 焦耳左右,损失了 $2/3$ 。

在激光气象探测仪 II 号中,对机械总体和发射接收光路作了一些改动。虽然使输出端很靠近负目镜并减去一块转向稜镜,但因宝石直径大,约 13 毫米,总损仍有 50% 左右。

2. 激光气象探测仪 III 号小型红宝石激光器的研制

激光气象探测仪 I 号及 II 号在野外使用时都显得过于笨重,仅激光仪主机本身就重一百多公斤,6 个电容器共重 600 公斤。因此提出了研制高效率的小型红宝石器件的任务,即要求宝石尺寸约直径为 $6-7 \times 80$ 毫米、输入能量约 1000 焦耳时可获得 1.5 焦耳左右的动态输出,使得通过发射望远镜后的能量接近或等于激光气象探测仪 I 号及 II 号的水平。

由以往的经验,我们认为提高红宝石中铬离子的浓度是提高器件效率的关键所在。

表 2 大激光器部分宝石测试数据

红宝石编号	浓度分类	红宝石尺寸(毫米)	静态阈值 (焦耳)	静态曲线斜率	染料浓度	动态阈值 (焦耳)	动态能量 (焦耳)	动态效率 (%)	动静比	备 注
III-112, II-B	淡红	$\phi 8 \times 173(90^\circ)$	2200	6.7×10^{-3}	78%	3260	0.77	0.024	1:9	
I-118-A ₂	淡红	$\phi 8 \times 168(90^\circ)$	2700	4.7×10^{-3}	74%	3500	0.2	0.006	1:21	
I-120 _{II} -A ₁	淡红	$\phi 8 \times 178(90^\circ)$	2800	4.6×10^{-3}	74%	4470	0.3	0.007	1:16	
I-118-B ₂	较红	$\phi 7.9 \times 169(90^\circ)$	2900	3.6×10^{-3}	74%	4330	1.5	0.035	1:3	
无 号	较红	$\phi 10 \times 176(90^\circ)$	2600	1.12×10^{-2}	64%	5780	3.2	0.055	1:11	
7041	较红	$\phi 12 \times 177(87^\circ)$	3400	1.22×10^{-2}	70%	5080	2.3	0.045	1:7	
70064	较红	$\phi 12 \times 182(68^\circ)$	- 3600	1.27×10^{-2}	70%	4800	1.0	0.021	1:9	
无 号	红	$\phi 12 \times 160(90^\circ)$	—	$> 1.23 \times 10^{-2}$	60%	3300	3.0	0.091	—	测静态曲线时激光器已旧,故不可靠
104-2	红	$\phi 13 \times 167(72^\circ)$	2740	1.01×10^{-2}	71%	3960	2.5	0.063	1:2	光程未修正好,星点象很大
2-14	红	$\phi 13 \times 185(72^\circ)$	2940	1.36×10^{-2}	70%	3700	2.8	0.075	1:3	
2-23	红	$\phi 13.5 \times 189(72^\circ)$	2780	1.47×10^{-2}	70%	4250	2.8	0.066	1:3	
2-16-2	红	$\phi 13.5 \times 179(72^\circ)$	2800	1.35×10^{-2}	71%	4330	3.0	0.069	1:3	
2-16-1	红	$\phi 13.5 \times 158(72^\circ)$	3360	1.15×10^{-2}	71%	4750	2.0	0.042	1:4	未修正光程
2-60	红	$\phi 13 \times 180(72^\circ)$	3400	1.18×10^{-2}	70%	4750	3.4	0.072	1:3	晶体内有許多肉眼能见的太散射颗粒
70-4-3(28)	红	$\phi 10 \times 150(72^\circ)$	3800	8.5×10^{-3}	60%	4700	3.0	0.064	1:3	晶体色带多而深

宝石有效工作长度: 144—150 毫米
冷却水温度 ~ 30°C

在研制 I 号、II 号探测激光器, 进行染料调 Q 实验和为激光器挑选宝石时, 我们发现, 铬离子浓度偏大一些的红宝石(以宝石颜色深浅作定性判断)可以得到比较满意的结果: 动态输出能量大, 动静比高(约 1:2—1:3), 动态阈值低(约 4000 焦耳), 且阈值随温度变化小。其静态特性是阈值稍高一些, 但静态能量曲线斜率大(约 $1—1.5 \times 10^{-2}$)。而浓度较低的红宝石, 虽然静态阈值稍低, 但动态能量小, 达不到要求(有的虽可达到所需的动态能量, 但动态阈值很高, 超过 6000 焦耳), 动静比一般都很小(约 1:10 左右)。我们先后测量过国内及瑞士生产的约二十多支红宝石(其中现有数据的有十五支, 详见表 2)。虽然由于生长和加工工艺等问题, 每支红宝石的光学质量都很不相同, 输出特性各有差异, 在测试过程中可能有些误差, 但上述总的倾向是明显的。因此我得出一个看法: 至少在我们的染料调 Q 器件中, 浓度大的红宝石动态效率是高的。既然如此, 能否把铬离子浓度再提高一些, 在比较小的宝石器件中获得足够大的能量输出, 实现仪器小型化呢?

对于提高铬离子浓度问题有两种否定的意见: 一是浓度太大了要形成铬离子对, 影响光谱特性; 二是浓度大了阈值要提高。一般认为铬离子浓度在 0.1% 以上即能产生足够的铬离子对以致影响光谱特性, 因此这是提高浓度的上限。浓度大了阈值要提高, 这是根据红宝石三能级结构推出的结论, 也是输出端反射率高时很多静态实验所证明了的。但是如果考虑到另外一面, 即浓度大的红宝石吸收光泵能量的本领也大(这也是一种使阈值降低的因素), 那么可以预计存在着一个浓度范围, 在这浓度范围内静态阈值有极小值, 阈值随浓度的变化是不明显的。再考虑到浓度增加时动态能量增加, 动态阈值降低的实验事实, 则可以进一步预计, 在这个范围内增加浓度可以显著地提高器件的效率。

在作了一些粗略的估算后, 初步确定: 在输出端反射率约为 20% 或更小时, 静态阈值的极小值出现在铬离子浓度为 0.05% 左右, 浓度从 0.04% 增加到 0.07% 时阈值变化很小。而浓度为 0.06—0.07% 的小宝石(比一般的宝石浓一倍左右)有可能达到我们所需要的动态输出。在有关单位的协助下, 将配料浓度从 0.15% 提高到 0.24%, 生长并加工了几根铬离子浓度大的小宝石(据分析, 约在 0.07% 左右, 比一般的宝石浓度约大一倍)。经静态测试及染料调 Q 实验后, 即初步制成能满足预定要求的小型器件(测试数据见表 3)。输入能量在 1000 焦耳左右时单脉冲能量达 1.2—2.1 焦耳, 脉冲宽度——20 毫微秒, 峰值功率 60—100 兆瓦, 动态效率比大器件提高 60% 到三倍。

表 3 小宝石激光器器件测试数据

红宝石编号	浓度分类	红宝石尺寸(毫米)	静态阈值(焦耳)	静态曲线斜率	染料浓度	动态阈值(焦耳)	动态能量(焦耳)	动态效率(%)	备注
70-19-1(40) _A	很红	$\phi 6.3 \times 88(72^\circ)$	—	1.3×10^{-2}	66%	850	1.2	0.14	因测静态能量时的全反射镜及氙灯等都不同于测动态时, 故动静比无法计算
70-19-1(40) _B	很红	$\phi 7 \times 83(72^\circ)$	610	1.2×10^{-2}	60%	1050	1.6	0.15	
70-15-2(35)	很红	$\phi 7 \times 85(72^\circ)$	600	1.1×10^{-2}	66%	980	2.1	0.21	
70-17-1(37)	很红	$\phi 6.8 \times 78(72^\circ)$	650	1.6×10^{-2}	—	—	—	—	

宝石有效工作长度 70—75 毫米, 冷却水温 20°—30°C; 宝石均未修光程, 但在星点仪中焦距位移很小。

在最初制作的小宝石器件中, 除宝石及光泵尺寸缩小、腔长略短(约 35 厘米)外, 其他元件均与大器件相同。在这样的器件中虽能得到很大的静态能量输出, 但进行染料调 Q 动态实验时却遇到了意外的困难: 很难获得较大的能量输出, 最大不超过 1 焦耳, 而且很不稳定。静态和动态的近场花样都很不均匀, 而且动态花样上有局部区域很明显是未经

调 Q 的。既然除宝石和光泵外所有元件都与大器件相同,调节过程也一样,为什么动态输出却如此不同呢?

经过实验分析并与大器件对比,既然唯一的区别在于宝石的大小不同,就应从这一点出发,分析它对于器件的影响。考虑到决定谐振腔衍射损失的费涅耳带数 $K \sim \frac{a^2}{L\lambda}$ (其中 a 是宝石的半径, L 是谐振腔的有效腔长, λ 是激光的波长), 由于宝石直径减小了一半, 腔长只缩短了 30%, K 值将是大器件的 1/3 左右, 高次横模的衍射损失必然增加不少, 在整个宝石端面上强度分布的均匀性就很差, 如果直角棱镜的稜边不通过宝石中心, 则在小宝石的情况下上述影响更大。因此估计在染料调 Q 时, 当强度大的区域已将染料漂白从而出现巨脉冲时, 强度小的区域仍处于一种准静态的状态。所以, 要使小器件染料调 Q 成功, 首先要改善静态近场花样的均匀性, 而要达到这个目的就必须增加谐振腔的费涅耳带数。考虑到用全反射直角棱镜时, 其光路等效于一个折腔(见图 6), 它的等效腔长为几何

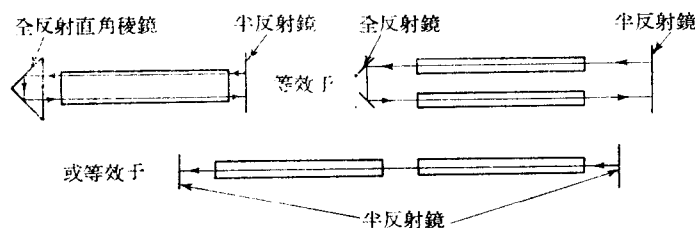


图 6 全反射直角棱镜谐振腔等效光路

长度的两倍, 而等效孔径只有实际孔径的一半。因此全反射棱镜换成全反射介质膜镜后, 费涅耳带数 K 将增加 8 倍(比大器件的 K 值还高)。如果这个分析是正确的话, 换了全反射镜必能解决动态输出问题。实验证实了以上分析。换了全反射介质膜后, 我们很容易地使各根小宝石的动态输出达 1.2—2.1 焦耳, 最大曾到 2.5—2.7 焦耳, 能量稳定度在最佳条件下可调到 $\pm 10\%$ 以内。不过, 输出能量到 2.5—2.7 焦耳时, 峰值功率密度已高达 300 兆瓦/厘米²左右, 经检查发现宝石两端出现了气泡状破坏。考虑到只要从发射望远镜输出的能量 ~ 1 焦耳即可, 因此后来我们的器件输出能量都控制在 1.2—1.5 焦耳, 经过望远镜系统后尚有 0.9—1 焦耳, 达到预定指标。

在实验中我们发现提高光泵效率也是一个重要的问题。在小器件中采用了直径 10×80 毫米的氙灯(充气压 280—300 毫米汞柱), 这种灯比我们过去使用的同类型氙灯(充气压 150 毫米汞柱)的发光效率高、着火电压低。但发射的光谱成分中紫外部分较强, 聚光器银皮易氧化, 常使用 50—60 次即发黑, 阈值升高, 效率降低。为了解决这个问题, 在聚光器内壁镀一氧化硅膜并经紫外处理以提高其短波长的透过率, 这样在使用数百次后阈值才略有上升。

将上述小型激光器件置于上海所产激光测云仪的机壳中, 利用其现成的望远镜系统(见图 7), 仅改装了激光器和接收装置制成了激光气象探测仪 III 号。在总调过程中发现: 发射系统设计的有效通光孔径为 6 毫米, 但由于负目镜镜框的几何尺寸的限制, 实际有效通光口径只有 5 毫米左右, 而我们使用的小宝石直径在 6.3—7.1 毫米, 激光能量被负目镜镜框挡掉不少, 损失约 40%, 后加大其尺寸后即解决了这个问题。

激光气象探测仪 III 号将充电电容从原来的 6 个减为两个(而且这两个电容器的容量

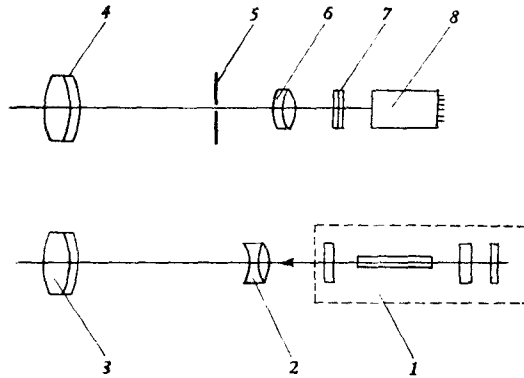


图7 激光气象探测仪 III 号光学系统示意图

1. 激光器 2. 发射负目镜 ($f=1.7$ 厘米)
 3. 发射物镜 ($f=17$ 厘米, $D=6$ 厘米)
 4. 接收物镜 ($f=17$ 厘米, $D=6$ 厘米)
 5. 小孔光阑 ($D \approx 0.2$ 毫米)
 6. 接收目镜 7. 6943 埃干涉滤光片 (带宽约 30 埃)
 8. GDB-23 光电倍增管

也只用了一半),激光仪主机总重量也只有二十公斤左右,大大减轻了仪器的重量,而输出能量与激光气象探测仪 I 号与 II 号差不多。但因接收面积小及 GDB-23 光电倍增管在 6943 埃的灵敏度比 EMI9558B 低,测距能力稍差。同时聚光器发黑等问题还有待进一步解决。

(三) 激光探测仪回波显示系统

激光探测仪的回波显示系统(A型显示器)基本上是一个具有延时扫描装置、高亮度显示、并可供单次扫描照相的普通示波器。所不同的地方有:(1)为使显示器上激光回波能和激光探测路径上的各点相对应,须附加一些辅助控制符合电码,以保证激光参考信号同步延时扫描(B扫描)装置,作为激光回波的扫描起点;(2)根据激光气象探测的不同目的,Y轴垂直放大器亦略有差异。显示系统的逻辑方框图和相应的波形以及技术指标,请参看图8、图9,现简述如下:

激光探测仪的控制部份将根据高压储能电容器的充电、氙灯点燃放电、激光参考信号同步X轴水平扫描以及激光回波的照相等方面的要求而设计的。整个过程可以分“自动”和“手动”两种方式。“手动”方式时,储能电容器的充电和氙灯点燃触发是由观测者自行按钮控制的。“自动”方式是由“主控”单结管所产生的尖脉冲来同步“总控双稳”工作的,每分钟1—5次,重复频率可调。“总控双稳”被同步工作时其输出脉冲控制单结管,使单结管送出一列频率为1000周/秒的尖脉冲至交流开关器的可控硅栅极,开启可控硅,于是变压器初级和220伏交流电源导通。变压器次级的升压电压经二极管整流后通过限流电阻R对高压储能电容器C充电。当充电电压达到预先调整好的比较电压 V_0 (即激光器的单脉冲区工作电压值)时,“自停充控制”即送出比较信号,使“总控双稳”返回,停止充电。同时,“自停充控制”送出的比较信号,一路至“相机B门控制”,使相机B门产生1秒的开启,以等待拍摄激光回波(图9₍₂₎);一路至“延时氙灯触发”,使停止充电后0.5秒,氙灯始被点燃(图9₍₃₎),从而保证了在激光发射前,相机B门能够充分开启。

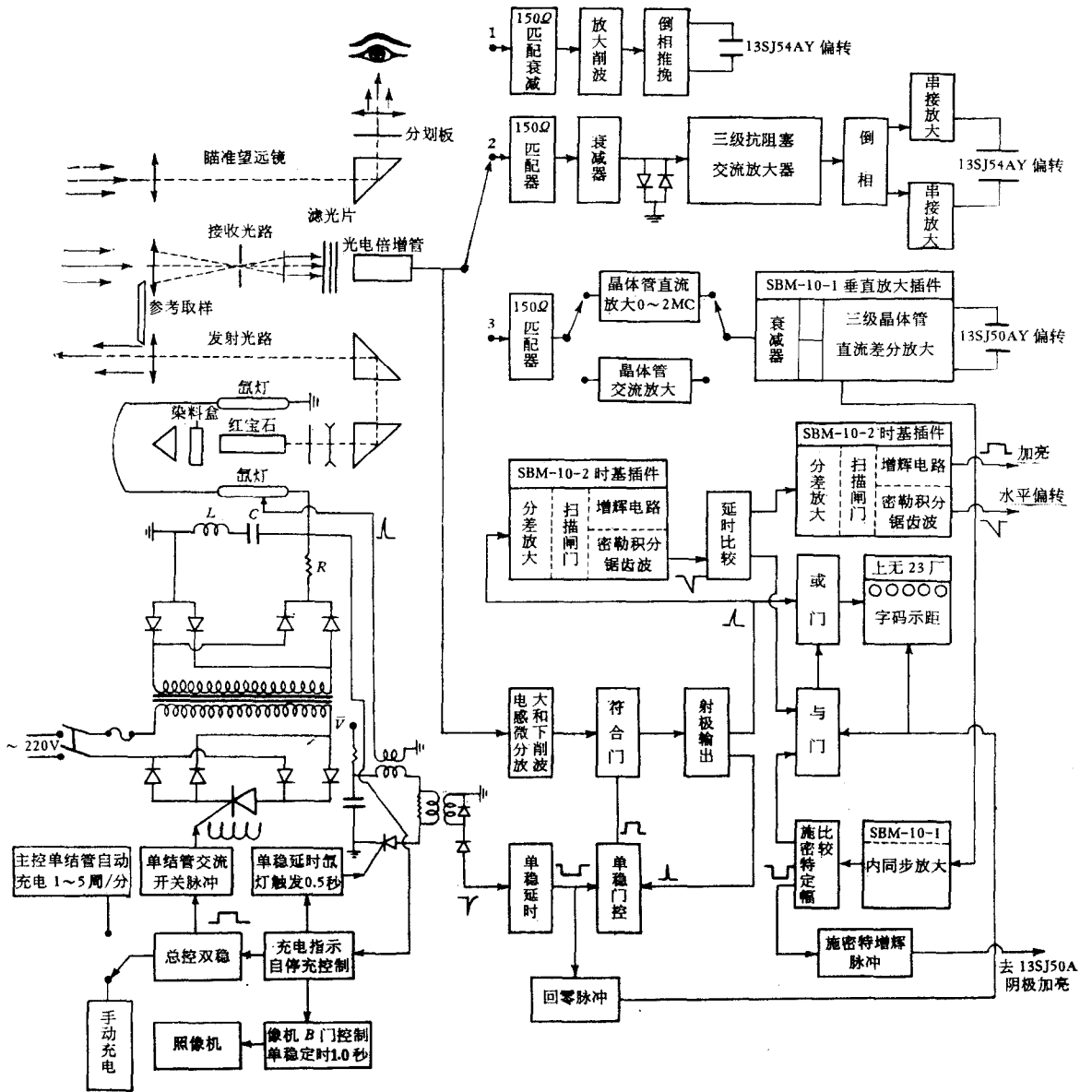


图 8 激光仪显示系统方框图

为了使激光参考信号能够较可靠的同步 X 轴的延时扫描起点, 须要避开储能电容器的充电、停充和大电流放电、氙灯触发高压, 以及其他一些随机干扰(包括自光电倍增管来的背景光的噪音), 我们根据这些干扰和信号的时间顺序和幅度差异(图 9(a)), 采用了时间符合门控制: 当氙灯被触发电燃的同时, 送出一脉冲使“单稳延时”触发, 用其延时了的后跳沿 (I、II 号激光仪延时 0.8 毫秒, III 号激光仪延时 0.45 毫秒) 去触发“单稳门控”, 使“符合门”打开一定的时间 (I、II 号激光仪为 1.0 毫秒, III 号激光仪为 0.6 毫秒), 以等待激光参考信号的到来 (I、II 号激光仪自氙灯触发后约 1.2 毫秒发射激光, III 号激光仪自氙灯触发后约 0.65 毫秒发射激光) (图 9(b))。因此, 储能电容器的充电、停充和大电流放电及

氙灯触发等强干扰,均发生在“符合门”打开之前,这样一来,它们对激光参考信号同步 X 轴延时扫描的起点不致为害。当激光参考信号通过“符合门”后,一路去 X 轴触发延时扫描(B 扫描)工作,因而使 B 扫描起点对应于激光的发射时刻;一路则将激光参考信号反馈至“单稳门控”使之提前返回而立即将“符合门”关闭。为除去在“符合门”开启的时间里,来自光电倍增管背景的噪音及其他干扰的影响,我们采用小时间常数(100 毫微秒)的

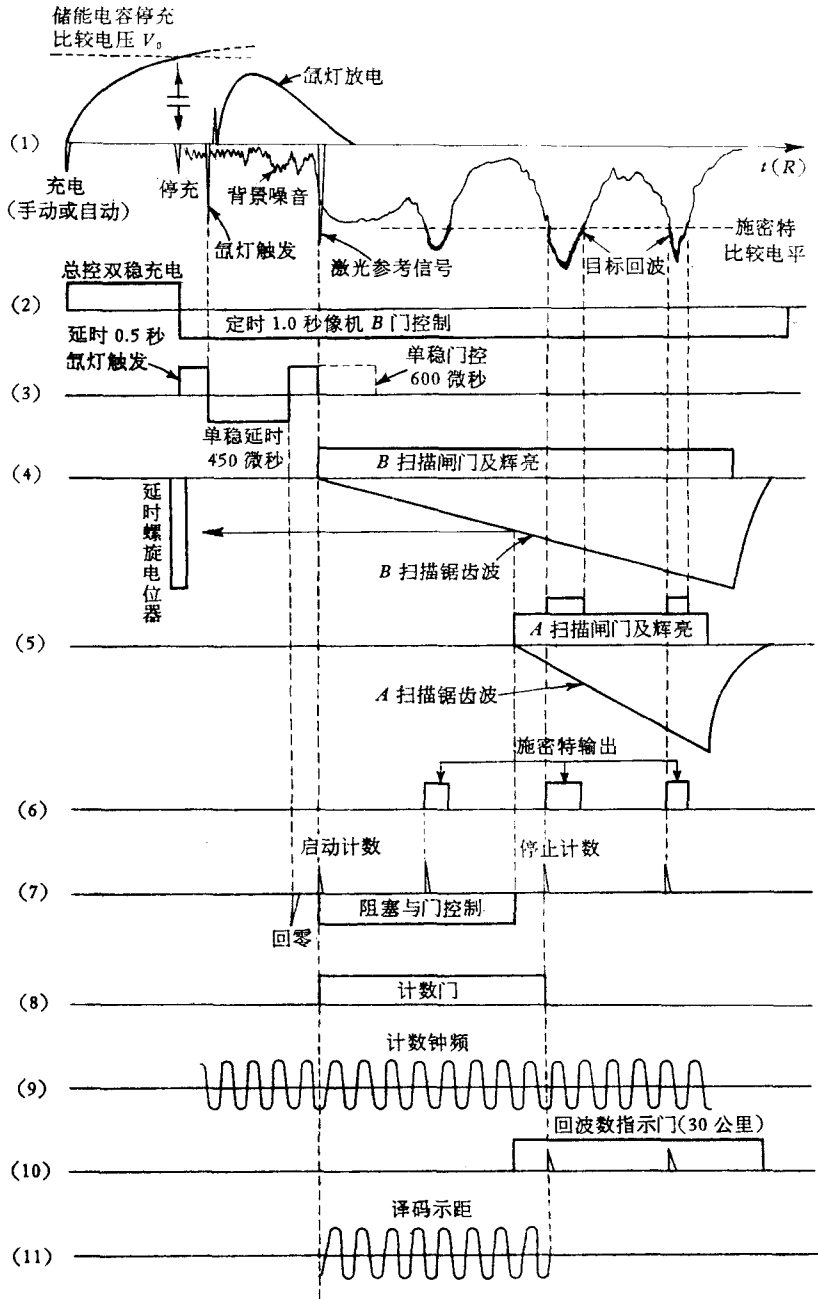


图 9 激光仪显示系统各单元相应的波形

阻容耦合输入和电感微分放大以及微分放大后的下削波电路,这可以使相对于激光参考信号频率为低的干扰信号的强度大为削弱,而能突出激光参考信号使较可靠的同步 X 轴工作。当激光参考信号使 B 扫描延时至我们预先调节的数值(相当于一定的空间距离)时, A 扫描就开始工作,将激光回波波形精细展开,并由相机拍摄。其原理同一般示波器(图 9₍₄₎₍₅₎)不再赘述。

在我们用国产 SBM-10 型示波器显示激光回波时,为它对激光回波有较亮的显示,并易于拍摄起见,我们将其示波管换为 13SJ50A 短余辉示波管,将加速高压电源 10 千伏增高至 15 千伏,将加亮脉冲由原 25 伏增至 70 伏。采取这些措施后,显示亮度基本能够达到拍摄快速扫描激光回波波形的目的。

为精确地测知信号回波(如烟、云、固体目标)的距离,我们用上海制造的“激光测云仪”的“字码示距”单元,并附加一定的信号处理和联接,与示波管显示并联,则能直接指示出目标物的距离数(示距误差为 ± 10 米)。它的原理简述如下:自氙灯触发经单稳延时 0.45 毫秒后(即激光发射前约 0.2 毫秒)送出“回零脉冲”至“字码示距”单元,使之回零,同时将回波脉冲送至“与门”,使“与门”关闭。当激光参考信号经“符合门”由“射极输出”去同步 X 轴 B 扫描时,此参考信号另一路通过“或门”去启动“字码示距”单元,使其开始计数。当 B 扫描达到延时比较点时即送出比较信号:一路至 A 扫描使它在荧光屏上展开激光回波;同时另一路去开启“与门”。当在 A 扫描示波的时间里(烟、云、固体)目标回波到达时,则经示波器“内同步放大器”放大,并由“施米特定幅比较”甄别,其输出前沿正跳通过已被开启的“与门”,再经过“或门”送到“字码示距”单元,使之停止计数并自锁。所以“字码示距”单元仅指示 A 扫描期间第一个达到“施米特定幅比较”电压的回波的距离。施米特比较电压对应于示波屏上的一定回波幅度(厘米)事先已校准好,并将施米特比较电路工作时的跳变脉冲送至示波管的阴极作示波附加增辉,使达到比较电压值的回波部分加亮,以示鉴别(图 9₍₁₎₍₅₎₍₆₎₍₇₎₍₈₎)。

我们先后使用了三种显示器,其性能指标列于表 4。

Y 轴垂直放大系统根据使用的目的要求而有所不同,所用三种放大器的性能略述如下:第一种为测定高云云高用,为了增加探测距离提高灵敏度、压低噪音,所以选用通频带仅为 250 千周的窄带放大;为消除天空背景光噪音和大气气溶胶粒子回波的干扰,从而突出云的回波以利观测,我们使用了下削波电路(削波电平可调)。因 Y 轴放大器是非线性的,所以不能作定量分析的气象探测。其后为了达到利用激光仪定量测定烟团浓度的目的,根据当时所提出的种种具体要求,第二种 Y 轴垂直放大器选用通频带为 100 周/秒—5 兆周/秒的交流线性放大器,因激光回波为单向信号,且回波强度随被测目标物距离的远近变化很大,所以放大器必须是抗阻塞的。这方面虽作了些努力,基本满足要求,并且还用于大气消光系数的探测方面,但总感到不及直流放大器好。加之为了适应激光仪的小型化,电子显示控制系统亦由电子管改为晶体管。第三种利用 SBM-10 示波器,外附前置放大器及附加控制线路,改成晶体管直流线性显示器。而且和“字码示距”单元相结合,以期兼有 A 型显示器信息量丰富和“字码示距”准确、直观两方面的优点,这样虽对测距精度有所提高,但并没有质的变化。

对于三种显示器的 X 轴水平扫描测距系统,它们的方框图基本上是一样的。使用中,对克服干扰、保证激光参考信号同步触发计时测距等方面,尚能满足要求。

表 4 三个 A 型显示器的主要性能

性能指标 仪器序号	光电转换部分		信号		通道		时基单元		示波管	备注
	光电倍增管	等效阳极负载电阻	频响	垂直偏转部分		延时部分	水平扫描部分			
				偏转因数	衰减器的输入阻抗		扫描全量程距	误差		
一	FMI9558B	150 欧姆	100 赫至 250 千赫	0.2 毫伏/厘米至 0.2 伏/厘米, 分十档, 按 1, 2, 5 顺序	150 欧姆	0 至 20 公里, 分十档, 等间隔 2 公里	误差 3%	扫描全量程距 1, 3, 5, 10, 20 公里, 分五档	13SJ54A (国产)	有噪声削波装置
二	同上	同上	10 赫至 5 兆赫	1 毫伏/厘米至 1 伏/厘米, 分七档, 按 1, 3, 10 顺序	同上	0 至 5 公里, 分十档, 等间隔 0.5 公里	误差 3%	同上	同上	抗阻塞放大器
三	GDB23 (国产)	同上	(1) 直流至 30 兆赫 (2) 直流至 12 兆赫 (3) 直流至 2 兆赫	50 毫伏/厘米至 20 伏/厘米, 分九档, 按 1, 2, 5 顺序 10 毫伏/厘米至 4 伏/厘米, 分九档, 按 1, 2, 5 顺序	1 兆欧姆, 但外接信号电缆的 150 欧姆匹配器	0 至 30 公里连续可调	误差 ±5%	0 至 30 公里连续可调	13SJ50A (国产)	(1) 这是一个实际的实验装置。用北京的 SBM-10 多用示波器两台, 和上海的激光测云雷达的字码示距部分改装而成。 (2) 测距精度由字码示距部分确定(约 ±10 米)。 (3) 垂直偏转部由三种状态, 可用手控开关任选。