

光和激光遥感

[美] D. K. 凯林格 A. 穆拉迪 编

廖品霖 等译

乐时晓 审校

成都电讯工程学院出版社

光和激光遥感

[美] D.K. 凯林格 A. 穆拉迪 编

廖品霖 等译

乐时晓 审校

成都电讯工程学院出版社

• 1987 •

1P.7

内 容 提 要

本书根据美国D.K.凯林格和A.穆拉迪编的Springer-Verlag光学丛书第39卷《光和激光遥感》一书翻译而成。全书共分八章，是八十年代初国际上激光遥感的最新研究成果的论文汇编。主要包括：差分吸收光雷达的原理和技术；高级光谱技术；紫外荧光遥感；光源和检测；大气传播特性；激光遥感系统的分析及其应用。各章均在阐述各种激光遥感系统的原理之后，详尽地介绍技术细节、测量数据及发展前景。内容新颖，简明扼要，每章还列出主要的参考文献。

本书可供从事光谱、激光大气物理、气象、测污、光雷达、遥感、航天、天体物理等技术的科技工作者及大专院校有关专业的教师、研究生、高年级学生参考。

Optical and Laser Remote Sensing

光 和 激 光 遥 感

廖品霖 等译

成都电讯工程学院出版社出版

四川煤田地质公司印制厂印刷

四川省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 字数 534 千字

版次 1987年9月第一版 印次 1987年9月第一次印刷

印数 1—2,800册

中国标准书号 ISBN 7-81016-014-1/TN·9

统一书号 15452·24

定价 5.00元

前 言

近年来,激光遥感技术发展很快,这不仅是因为激光器、探测器和光学系统等方面的技术进展,也因激光遥感对各种大气测量有着潜在的应用能力。激光遥感能够进行单端测量,不是过去的探测技术所能做到的。早期的激光遥感测量还停留在实验室里研究,而近年来发展的实用系统,能对100km以外的浓度为 10^{-9} 的大气中各类分子和原子,实现远距离探测、测量和跟踪。

本书是论文汇编集,反映激光遥感技术的现状和发展概貌。涉及的题目包括紫外光、可见光和红外光谱区的无源和有源遥感技术;激光器和探测器技术;大气传播理论;系统分析研究。本书汇集的论文虽然没有包括这一领域中所有的卓越研究成果,但足以反映现有水平的概貌。我们期望,本书将对激光遥感工作者大有裨益。

美国麻省理工学院林肯实验室

D. K. 凯林格

A. 穆拉迪

写在前面

遥感技术是六十年代开始发展起来的一门新兴技术领域，首先是用于遥测天体物理和深空物体。几乎同时，近地轨道卫星的遥感技术也很快发展起来了，除军事目的外，广泛用于探测地球物理、地球资源、大气环流、大气污染和近地水文变异、作物预测等。遥感技术已经被广泛地应用，并取得了很大的成果。从波谱上来看，这一阶段的遥感，主要是微波遥感，辅以非相干红外遥感。

从八十年代起，激光光谱学和激光技术不断取得进展，遥感技术的波谱范围趋向光频区，相干光有源遥感技术也日臻完善，激光遥感已从实验室走向现场使用，从而将遥感技术发展到一个新的阶段。激光遥感不仅因其光谱分辨率比微波遥感要高几个数量级，而且能根据被测物质的光谱响应，准确测定痕量物质的原子或分子的组分和结构。现在，同遥感有关的激光技术日益工程化，例如，窄脉宽窄光束的瞄准和跟踪，差分吸收，整层大气光束传播特性，高灵敏度传感器件商品化，回波信息实时处理技术等等。因此，激光遥感技术也已进入工程应用阶段。

一九八三年九月，美国麻省理工学院林肯实验室的波传播研究室的负责人A. 穆拉迪教授应邀到成都电讯工程学院讲学，将其所编的、刚出版的《Optical and Laser Remote Sensing》赠送给我们，并就激光遥感进行了学术交流。鉴于激光遥感课题的重要性和该书的价值，我院廖品霖等同志将它译为中文，供有关专业人员和高校有关专业的教师、研究生、高年级大学生参考。

本书共分八章，包括六个方面的内容，即差分吸收光雷达的原理和技术，高级光谱技术，紫外荧光遥感，光源和检测，大气传播特性，激光遥感系统的分析及其应用。

差分吸收光雷达是以被测物质对某一光谱线的峰值吸收和峰谷吸收的差分原理为基础的，具有高接收灵敏度和高光谱分辨率的性能。虽然目前仍以二氧化碳激光辐射的 $9.12 \sim 11.28 \mu\text{m}$ 的光谱响应为主，但也适用于其它可调谐激光器（例如准分子激光器等）。在高级光谱技术方面，作者将激光光谱学同遥感技术有效地结合起来，能测定 100km 外浓度为 10^{-9} 的痕量物质的组分，大大地提高了远距离的探测灵敏度，为了解深空物理现象，提供了有效的遥测手段。紫外荧光遥感对测量地球臭氧层的定量变化有着重要的意义，它是利用太阳背景辐射，判别夫朗和费谱线畸变，对遥测臭氧和氢氧根有极高的灵敏度。由此制成的仪器轻巧实用，很可借鉴。激光器和检测器是激光遥感系统的关键部件，作者综述了激光遥感中常用的二氧化碳激光器、准分子激光器、染料激光器、固体激光器和红外探测器的最新进展与应用实例，是很值得推荐的。全书各章都在阐述基本原理之后，详尽地介绍了各种激光遥感系统的技术细节和测量数据，尤其侧重于市区和工厂区环境污染方面的实时遥测，这是很有现实意义的。

本书由廖品霖主持译稿，并译第二、第七两章。其余各章分别由陈长庚（第一章）、张

文芳（第三章）、曾广荣（第四章）、曾昭信（第五章）、李贤（第六章）、吕名正（第八章）等同志译出。全书由乐时晓校订。

译文中的错误或不妥之处，敬希读者指正。

乐时晓

一九八七年三月

于成都电讯工程学院

目 录

第一章 红外差分吸收光雷达技术 (DIAL)	(1)
1.1 脉冲CO ₂ 差分吸收光雷达 (DIAL) 系统的机载遥感测量	(1)
1.2 固定频率的红外和紫外激光的差分吸收测量	(10)
1.3 两支小型TEA CO ₂ 激光器的差分吸收光雷达 (DIAL) 系统遥感肼化合物	(15)
1.4 Hull相干差分吸收光雷达方案	(23)
1.5 激光吸收光谱仪遥测痕量气体	(29)
1.6 激光遥测大气物质和天然目标反射特性	(35)
1.7 监视区域性臭氧分布的机载CO ₂ 激光外差传感器	(39)
第二章 光谱测量技术	(43)
2.1 测量大气组分的可调谐激光外差光谱仪 (LHS)	(43)
2.2 大气组分的干涉测量	(60)
2.3 采用红外外差光谱学的遥感技术	(67)
2.4 采用高分辨率红外光谱仪探测痕量气体	(70)
2.5 气体相关光谱测量	(79)
2.6 采用长光程紫外—可见光差分吸收光谱仪测量大气痕量气体	(86)
2.7 采用长光程差分吸收光谱仪在洛杉矶盆地测量HONO, NO ₃ 和NO ₂	(94)
2.8 采用气体相关光谱辐射计的气体遥测	(101)
...	
第三章 紫外和可见光差分吸收光雷达技术	(104)
3.1 近红外差分吸收光雷达测量大气压强和温度分布	(104)
3.2 地面紫外差分吸收光雷达系统和测量	(111)
3.3 用机载差分吸收光雷达系统遥感测量对流层气体和气溶胶	(119)
3.4 用Nd:YAG 基本光雷达系统监测污染	(129)
第四章 大气传播和系统分析	(136)
4.1 混浊大气对红外辐射波传播的影响	(136)
4.2 目标斑纹、大气湍流和光束漂移对遥感测量误差的影响	(142)
4.3 测量大气组分的光雷达系统分析	(148)
4.4 测量大气痕量气体的CO ₂ 差分吸收光雷达系统灵敏度的研究	(152)
4.5 在外差和直接检测激光遥感测量中信号的平均限制	(160)

第五章 紫外荧光遥感	(166)
5.1 平流层和同温层的瑞利测量和共振测量	(166)
5.2 测量中间钠层的空间和时间结构的高分辨率光雷达系统	(172)
5.3 激光感应荧光技术和大气OH的遥感.....	(178)
5.4 利用夫琅和费鉴别器作为太阳激励物质发光的遥感	(185)
5.5 国家航空与航天局(NASA)戈达德气球载运光雷达系统.....	(194)
5.6 气球光雷达系统	(199)
第六章 激光源和激光探测器	(201)
6.1 小型遥感准分子激光器的发展	(201)
6.2 固体遥感激光源	(209)
6.3 遥感激光源的进展	(219)
6.4 挪威防务研究中心遥感计划的评述和高气压射频激励CO ₂ 波导激光器的发展.....	(225)
6.5 染料和准分子遥感激光源的进展	(229)
6.6 外差和直接检测红外探测器	(237)
第七章 高级光学技术	(247)
7.1 应用低损耗光纤网络系统的分子监测环境污染与报警的光学遥感技术	(247)
7.2 光热光谱学超痕量气体现场探测技术综述	(256)
7.3 激光诱发击穿光谱分析(LIBS)——一种新的光谱化学技术	(259)
7.4 高光谱分辨率光雷达.....	(265)
第八章 光雷达技术	(273)
8.1 光雷达对云层的测量.....	(273)
8.2 相干红外雷达技术	(280)
8.3 战术大气激光相干雷达技术	(291)
8.4 NOAA相干光雷达系统用于大气遥感	(295)
8.5 远程大气测量的CO ₂ 相干雷达系统	(304)
8.6 NIES大型光雷达系统测量大面积空气污染.....	(312)
8.7 ALPH-1 报警机载光雷达系统及其测量	(323)

第一章 红外差分吸收光雷达技术

1.1 脉冲CO₂差分吸收光雷达(DIAL)系统的机载遥感测量

Jack L. Bufton, Toshikazu Itabe, David A. Grolemond
(美国哥尔戈特飞行中心)

我们以红外波长上的小型脉冲CO₂激光器为基础,设计和研制了光雷达仪器,用作测量大气微量物质柱含量的机载遥感和差分吸收光雷达。差分吸收光雷达测量是利用海面 and 地面对激光脉冲能量的后向散射。现在,该仪器已在国家航空和航天管理局(NASA)沃罗普斯飞行中心的P₃型飞机上使用,取得了有关仪器性能、后向散射数据统计以及目标特征方面的成果。现将上述成果公诸于众,并讨论它对遥感的意义。

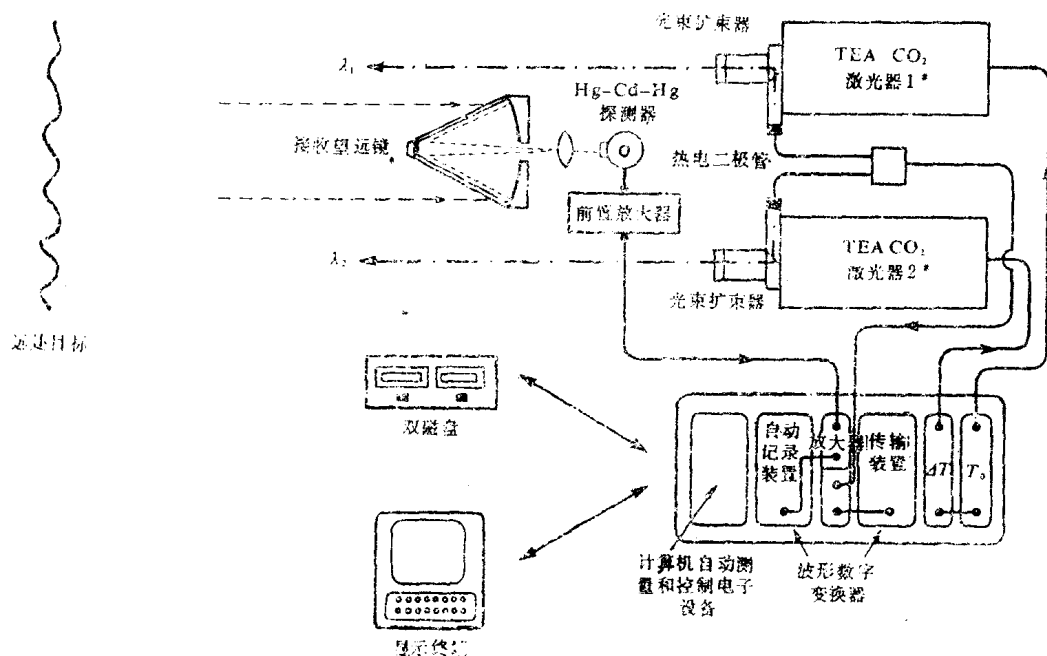


图 1.1.1 机载脉冲CO₂光雷达系统

图1.1.1是光雷达仪器的光电系统略图。激光发射子系统由两支横向激励大气压(TEA)CO₂激光器组成。在9~11μm波长区间和100ns脉冲时间内,激光器额定输出为100mJ。每支激光器均有一个0.75m长的折叠式谐振腔,腔端装有一对铜电极,而在每个谐振腔支架内装有一个闪光板。紫外线预电离及一个火花隙触发放电,使激光器脉冲输出达到每秒10次。激光器的工作气体在横过光轴的封闭腔内循环。为了增大激光器输出能量,故我们不采用封

离式的，而让气体流动。激光器和高压电源密封在加压充氮气的箱子内，以防止在 1 km 以上高度时高压端出现电晕和弧光放电。在工作中，利用光栅把每支激光器调谐到差分吸收测量所需要的波长。在一支激光器被触发 25~50 μ s 之后，另一支激光器就被触发，以便提供近乎同时的双波长测量。测量系统仅需要一个探测器和一组放大器，以及数字交换电子设备。热电光电二极管监视激光器输出能量。用两个光束扩展望远镜，将光束发散角降低到大约 1 mrad。我们把两支激光器水平地安装在 P₃ 型飞机上，用可调镜使激光器输出光束射向天底。飞行构造如图 1.1.2。值得注意的是光雷达仪器放在机舱板的下面，而把电子设备安装在上面的机架上。这是一个坚固而灵活的安装方法，通过用相同的飞机作几次不同的实验而证实这种安装是协调的。可调镜调整每支激光器光束，使它对准接收机视场的中心，接收望远镜的直径为 0.18 m。在光敏面为 1 (mm)² 的光导 HgCdTe 二极管探测器的前面，有一个焦距为 25 mm 的场透镜，其接收视场大约 3.7 mrad，探测率大约 $5 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{\frac{1}{2}}/\text{W}$ ，探测器和放大器带宽都是 1 MHz。这台飞行仪器占空间约 1 m³，一系列电子设备总重量为 350 kg。

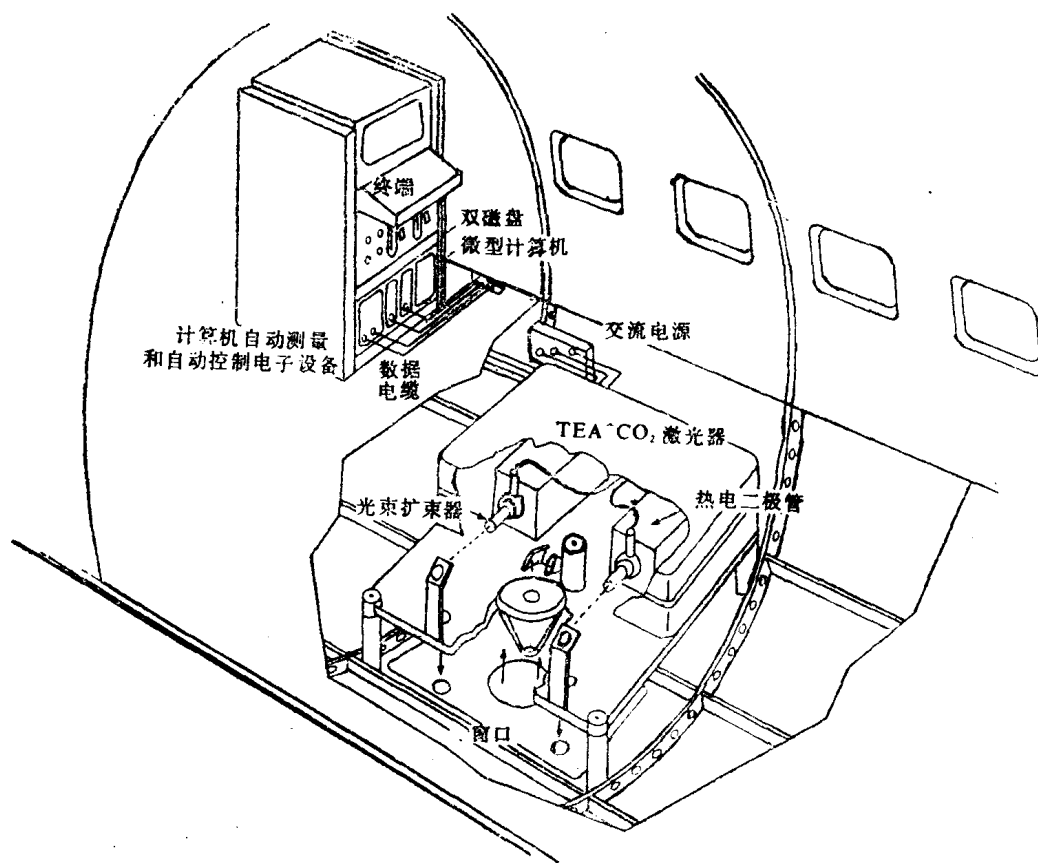


图 1.1.2 沃罗普斯飞行中心 P₃ 飞机上的机载红外光雷达系

在飞行试验中，数据采集电子设备发展成为两台 10 MHz 数字变换器，对 1 MHz 带宽的发射和接收波形进行连续采样。计算机自动测量和自动控制电子设备中，有一台微处理机 (LSI11/23)，用来控制波形数字变换器和存储数据的磁盘，并对结果进行统计分析。必须校正两个接收脉冲的能量，作为数字变换器的基准，并用发射脉冲能量对两个接收脉冲进行

归一化。数字变换器分辨率为8 bit,采样脉冲时间间隔为100ns。为了计算脉冲能量,采样脉冲在每个接收脉冲前后总共有大于5 μ s的门限间隔。要统计发射脉冲能量与接收脉冲能量的平均偏差和标准偏差,在每组数据运算中,都要计算这两个波长的后向散射的相关性与每对脉冲的差分吸收比。

在1981年7月与1982年5月之间,我们执行了八次飞行任务,全部仪器运转时间大约11小时。在这段时间内,仪器在海洋和陆地上空1 km到3 km高度运转,在9.5 μ m附近的波长时收集了许多差分吸收数据,大多数数据是在2 km上空获得的。在2 km高度上,测量脉冲能量的直接检测的S/N至少是60dB。数据质量不是由S/N所限制,而是由后向散射的易变性所限制,而后向散射尤其会随大动态范围的地面目标而变化。由于把放大器的增益调到峰值后向散射的信号电平上,因而对低后向散射信号而言,量化噪声和探测器噪声变成一个重要的考虑因素。对于地面和海面后向散射数据,我们分别测量了20dB和9 dB的典型的动态范围,并估计在最坏情况下能量测量误差为5%,这是第一组数据。在每次飞行之前,在横过跑道的树木边界与飞机之间的1 km水平路径上,先测好了地面试验的差分吸收数据。这些第二组数据是最稳定的,量化噪声和探测器噪声的误差都小于已知脉冲能量的百分之一。开始飞行时,就测得了近乎同时发射的双波长激光的后向散射,这是第三组数据。以往几次飞行中也对双波长后向散射做过连续测量。

我们发现天底的最大后向散射来自海洋表面,这个结果同人们预期的菲涅耳反射系数和典型手册中草木地面反射系数都是相反的。我们把这个结果推测为接收垂直入射角的自然光在天然水面上的反射特性。这种反射是由激光照射范围内的水面小尺度波浪结构引起的。最小的波浪称为界面波,就象陈列反射镜那样。把后向散射的激光辐射限制在20°到40°的锥体内。波浪斜率的分布主要是风速的函数,地面反射率与反射角较均匀的后向散射图样有关,并且常常把地面反射近似为朗伯反射。在垂直入射角附近,水面反射光呈现出显著的定向增益。我们测量了从天底点偏离至15°时,海面的角后向散射图形,第一次和第二次飞行试验所得的数据表示在图1.1.3中。图中每个点表示发射几百个脉冲的平均后向散射脉冲能量,平均后向散射脉冲能量以天底点的测量值进行归一化。误差栏表明,每个数据组预期的平均标准偏差来自测量的标准偏差,并假定脉冲能量是独立的高斯分布。第二次飞行数据组的归一化的标准偏差(σ)也被描绘成曲线,偏差(σ)几乎是随偏离天底点的角度增大而线性增加。请注意,这些偏差值是平均后向散射中可观的部分。

表1.1.1给出了海面后向散射对地面后向散射的比值,包括平均后向散射、归一化标准偏差及差分反射率的比值,这些比值仅仅是数据组之比。在测量这些数据组时,无论对水面目标和地面目标、飞机高度、电子系统增益以及激光瞄准都保持稳定不变。我们收集了9.5 μ m附近的、从P(14)到P(24)各个CO₂激光器支线的数据。从天底方向入射到海面时,各波长的平均反射比地面的反射大2~5倍。地面目标主要是草木,也有树梢、田野和庄稼,偶尔也有路面、房顶和村庄,而几乎没有光秃秃的土地。 σ 比值表明,地面后向散射的变化程度是海面后向散射的2~3倍,这是由地面目标特性的迅速变化所致。标准数据包括100个脉冲对的测量处理,处理速率大约为每秒2~3个脉冲。对于100m/s的典型飞行速度,这样的数据处理速率将可观测大约4 km范围,并可预料反射系数的显著变化。

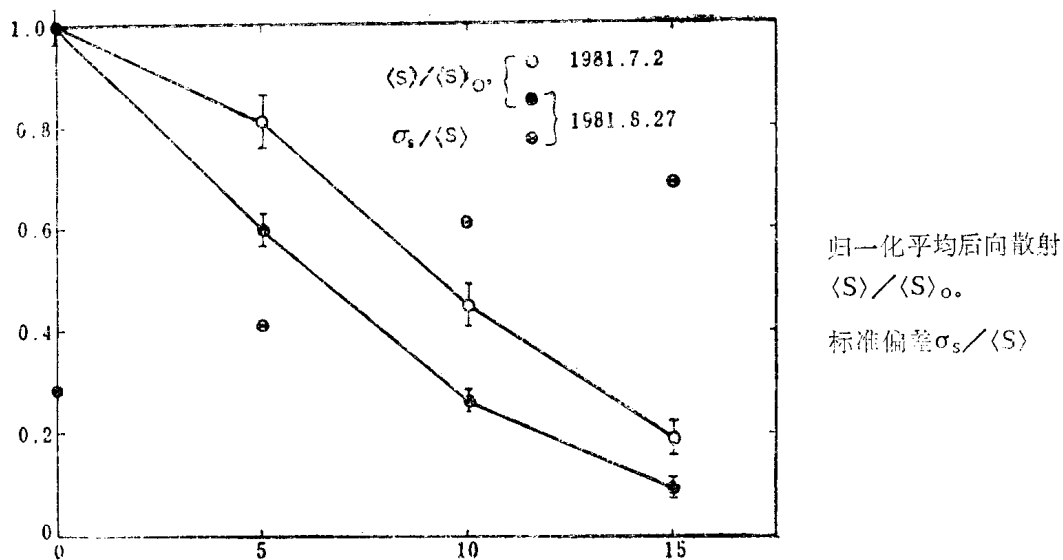


图 1.1.3 9.5 μm 的海洋表面后向散射统计

表 1.1.1 海洋后向散射与地面后向散射的比值
9.2 μm

		海洋/地面比值			
平均后向散射	激光支线	81.7.2	81.8.27	81.10.14	82.3.11
	p (14)		4.65(± 0.06)		3.00(± 0.01)
	p (16)			3.22 (± 0.09)	
	p (22)	2.87 (± 0.09)			
	p (24)		3.48(± 0.05)	2.89(± 0.06)	2.71(± 0.01)
归一化标准偏差	P (14)		0.28		0.39
	P (16)			0.24	
	P (22)	0.42			
	P (24)		0.36	0.43	0.36
差分反射系数	P(14)/P(24)		1.34(± 0.08)		1.103(± 0.001)
	P(16)/P(24)			1.29(± 0.03)	

在第二次和第四次飞行期间, 分别获得了P (14) /P (24) 和P (16) /P (24) 波长对的差分反射系数。这些数据的海面/地面的比值, 在两类目标的差分吸收方面, 同样显现出30%的变化。当海面数据除以地面数据时, 第六次飞行的P (14) /P (24) 的数据仅有10%差异, 这是因为陆地目标没草木的原因。Shumate等人^[1]报道了机载CO₂光雷达系统的野外实验, 并以地面物质及反射系数的分析为基础, 论述了9.5 μm 附近的差分反射效应。Boscher和Lehmann^[2]认为, 在实验室测量中, 沙滩目标相对于水面目标的P (14) /P (24)

比值增加了35%。Petheram⁽³⁾补充说明了水面相对于陆地的差分反射系统的变化。他的分析表明,当相对湿度从30%变到96%时, $P(14)/P(24)$ 的气溶胶后向散射系数比值增加达10%之多。根据本文报道的数据和分析结果可知,9.5 μm 附近的差分吸收光雷达是测量目标种类的一个强有力的工具。在估算微量物质浓度时会产生显著的误差,若目标反射系数是时间的速变函数,那么机载测量中的这个误差尤其成立。Petheram的分析表明,使用9~10 μm 的气溶胶后向散射光雷达系统,必须考虑这种误差的影响。用功率更大的类似于机载系统的陆基 CO_2 光雷达,也能获得有限数量的有关 $P(14)$ 和 $P(24)$ 波长的气溶胶后向散射数据。这些结果表明了在气溶胶、气溶胶层及云层结构中,差分吸收有显著变化。

为了分析系统的性能,对4~8次飞行测量的双波长后向散射数据做了相关分析,如双波长互相关系数 ρ 、第四次飞行的 $P(16)$ 支和 $P(24)$ 支的数据、第六次飞行的 $P(14)$ 支和 $P(24)$ 支的数据,它们的归一化标准偏差 σ 的函数形式在图1.1.4中用曲线描绘出来。很显然,飞行数据,尤其是陆地后向散射数据,具有很好的相关性($\rho \approx 1$),而且这些飞行数据与强调制有关($\sigma = 0.5 \sim 1.0$)。海面后向散射的 σ 值较低,其相关性稍差一点。测试数据几乎不相关,而且 ρ 值最低。地面测试数据主要由非相关噪声分量所决定,而在飞行数据中,海面与地面后向散射变化率很高,往往掩盖了非相关噪声分量,并使 ρ 接近一致。这些双波长数据完全与Killinger和Menyuk⁽⁴⁾所报道的结果完全相符。测试用的设备是相同的TEA CO_2 激光系统,从水平路径上空的反射目标测得了后向散射。我们分析认为,附加的非相关噪声分量在所有数据中都是存在的。根据定义,这个分量为 $\sigma_u^2 = \sigma^2 - C_{xy}$,这里 $\sigma^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_x^2}{X^2} + \frac{\sigma_y^2}{Y^2} \right]$,这是对激光的 X 和 Y 而言的。 C_{xy} 是两个激光器的正交协方差,而 $\rho = C_{xy}/\sigma_x\sigma_y$ 是相关系数。全部变量和标准偏差是以平均后向散射为标准进行归一化的。由于双波长激光脉冲的延迟,故我们引用正交协方差。在第四次飞行中,脉冲延迟调在50 μs ,而在第五到第八次飞行中,脉冲延迟降到25 μs 。

上面的方程与我们的数据相符,计算了地面试验和飞行试验的 σ_u^2 的最小二乘方的数值。在图1.1.5中,以 C_{xy} 对 σ^2 的曲线的形式绘出这些结果,并把起始段附近放大,以显现沿 σ^2 轴引起的偏差。就散射目标和反射目标而言,第四次飞行测得的0.09和0.21的 σ_u 值非常接近于Killinger和Menyuk测得的0.104和0.193的数值。采用一个散射目标,我们获得了地面试验数据,且飞行数据是镜象型的。第六次飞行的 σ_u 的两个降低因子可能是由于在第四次飞行之后,在接收光学系统作了一些改进所致。在0.18m的收集望远镜的焦平面内,放了一探测器聚焦透镜,这样就使物镜的视场增加到3.7mrad,并在激光器准直灵敏度方面有所减小(瞄准角增减)。从各次的飞行获得的全部试验数据来看,有两个因素使 σ_u 进一步降低,这或许是在由大气湍流引起的地面试验的 σ 那一部分中,存在较好的时间相关性的原因。每个波长的典型地面试验 σ 值在0.03到0.12的范围内。白天,就直径为0.18m的收集器而言。在1km水平路径上,大气湍流引起9.5 μm 的闪烁,估计在0.01到0.03的范围内。某些观测到的 σ 值或许是湍流的结果。当横越地面试光程的风速较低为几米时,预计至少有1ms的相关时间。在双波长脉冲之间,25 μs 到50 μs 的间隔将会使闪烁图有效地稳定,并将对双脉冲产生近似统一的闪烁关系。因此闪烁将对 C_{xy} 产生影响,而对 σ_u 不产生影响。然而在机载数据中,由于飞机速度产生风速为100m/s的横向风,它将会使相关时间降低到100 μs 量级,这个量级与用于分离双波长

脉冲的50μs的最初值相差不大,因而闪烁效应或许会包含在机载的 σ_u 值中。

(双波长相关系数对后向散射标准偏差)

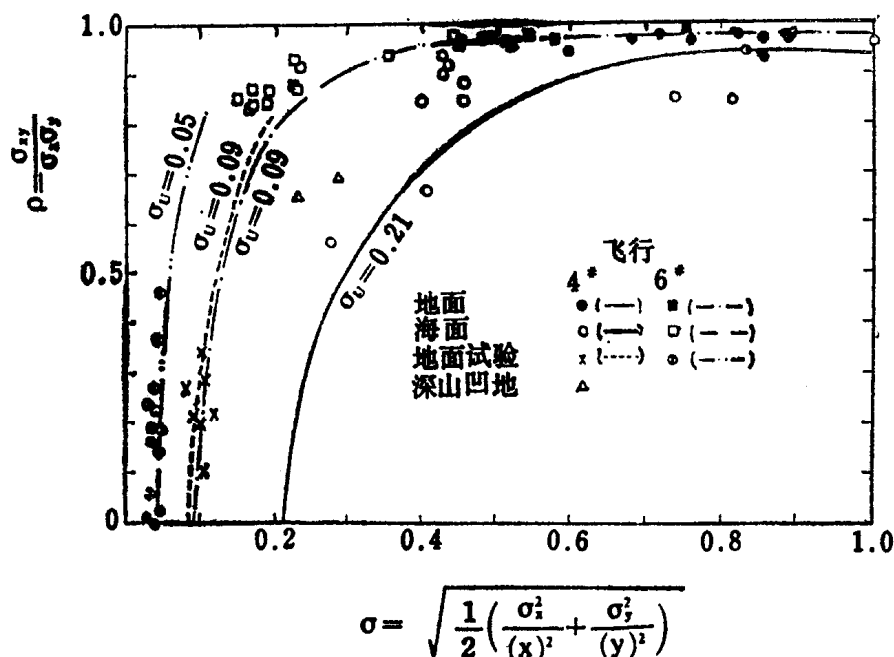


图 1.1.4 归一化标准偏差

在激光后向散射中,起伏的另一来源是目标诱发的斑点,这是目标诱发反射系数起伏的一个单独过程。而反射系数起伏,在激光脉冲之间的十分之几秒内,是由飞机运动引起的。在地面试验数据中,反射系数变化可能是由脉冲到脉冲的瞄准角度起伏变化或模式形态变化引起的。斑点起因于后向散射接收机上的相关组合,而后向散射来自于目标粗糙表面上激光“足印”的各个部分。因为“足印”的每一部分距离接收机有一小段不同距离,有显著的光程差,它在接收机平面内产生一个干扰(即斑点)。在激光“足印”中,最大径向间距在接收平面上现出最小斑点结构。对CO₂激光雷达系统和地面试验以及飞行传播路径的评价表明,在接收望远镜小孔内的空间平均数,以及在短期(ns)TEA激光器瞬时起伏的激光脉冲宽度中的时间平均数,在每个激光脉冲内,都使斑点降低到很低的 σ 值(0.01或更小)。由于斑点效应,任何残余斑点会对 σ_u^2 产生影响,与闪烁效应相反,完全与激光波长间距无关。

通过把第五、六、七次飞行的地面试验数据以 $\sigma^2 - C_{xy}$ 对 $1/s^2$ 的形式绘成曲线,如图1.1.6所示。我们进一步对数据中的 σ_u^2 的来源进行研究,这里 $\frac{1}{s^2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{X^2} + \frac{1}{Y^2} \right]$, $\frac{1}{s^2}$ 是平均后向散射平方的倒数。我们采用 $\sigma_u^2 = 7.9 \times 10^{-4} + 5.9 \times 10^{-5}/s^2$ 这个结果,使最小二乘方曲线与这些数据相符。这表明最低的 σ_u^2 值为 7.9×10^{-4} ,较高的 σ_u^2 与较低的平均后向散射相关。激光器的瞄准偏差和斑点产生的 σ_u 与后向散射信号强度无关。在低信号电平时,探测器噪声和量化噪声开始处于支配地位, σ_u^2 增加是以牺牲 C_{xy} 为代价。差分吸收激光雷达系统的S/N性能与 σ_u^{-1} 成比例,最大的S/N性能是在大信号电平时获得的(也就是工作在图1.1.6中

的起始段的附近区域)。最低的探测 S/N 与第七次飞行的地面试验数据有关,而这些数据具有最高的 σ_u^2 值。

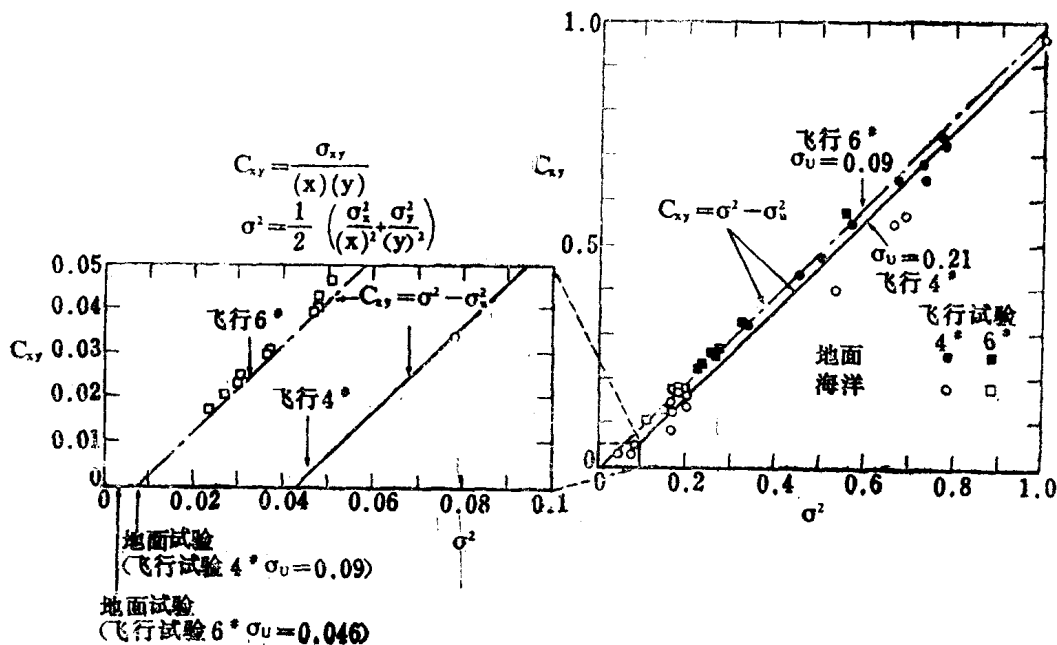


图 1.1.5 双波长正交协方差对后向散射变量曲线

从相关分析产生的 CO_2 TEA激光器差分吸收光雷达系统,其要点是:在差分吸收数据中, σ_u 大约等于0.025的非相关噪声电平是可获取的最低电平,这个噪声电平不考虑探测器 S/N 电平,或除去所有的相关调制。我们赞同Killinger和Menyuk的观点,即 σ_u 很可能是由于在TEA激光器瞄准和模式结构中,脉冲到脉冲产生变化的结果。在闪烁抗相关飞行数据中,25 μs 延迟时间就会对 σ_u 产生影响。非相关噪声将要求对连续激光脉冲进行时间平均,以使差分吸收光雷达系统测量精度达到1%。由于微量物质的差分吸收通常只有平均后向散射能量的几分之一,这就要求更适中的微量物质测量精度。在大多数情况下,远远多于一个脉冲对的平均数是可能的,并且可以依据空间分辨率和激光脉冲重复频率,折衷选择脉冲对平均数。在TEA激光差分吸收光雷达测量中,鉴别非相关噪声来源的附加工作是合乎需要的,然而在应用激光系统测量大气微量物质时,我们认为地面目标、水面目标以及气溶胶目标的差分漫反射系数效应是有限的因子。

在未来的应用中,可保留有效的TEA CO_2 激光源的优点,减小差分漫反射系数的变化。若把微量物质的测量波段从9~11 μm 移到4~6 μm ,非线性红外晶体可望有倍频及和频振荡的能力。在参考文献^[5]中,Byer报道了晶体特性频移法,并且Byer正在培育晶体材料选择物。Menyuk等人^[6]已论证了倍频TEA CO_2 激光遥感系统。在10 μm 附近,差分漫反射系数变化的一个主要原因是水面和地面物质对此波长辐射强吸收。在5 μm 附近,吸收作用被减弱了,不易随波长变化。在气溶胶消光研究中,Sheltl和Fenn^[7]论证了这个问题。据他们报道,10 μm 附近的散射较5 μm 附近的吸收明显大约10倍,而这些过程与10 μm 附近的影响是可以比较的。他们的成果是以气溶胶模式和相对湿度函数形式提出来的。我

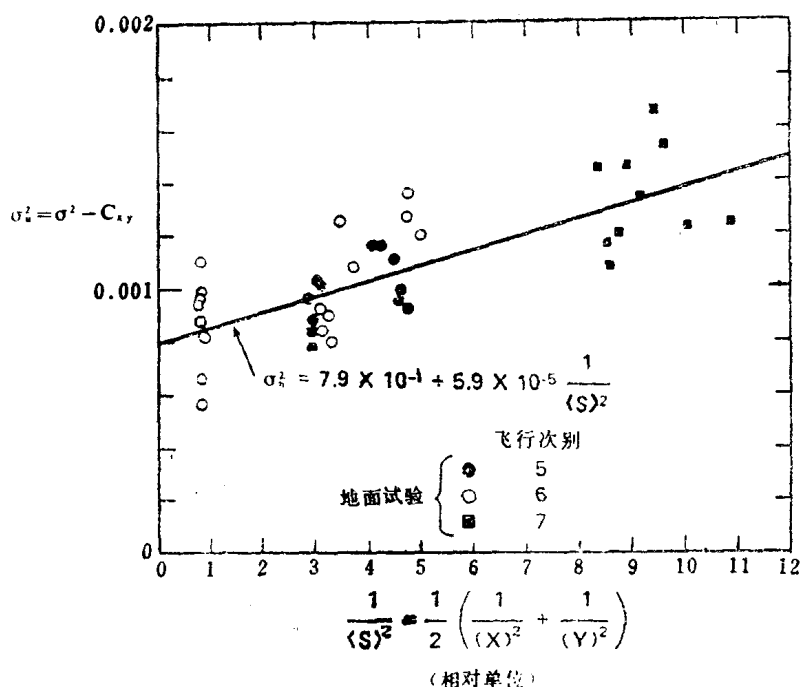


图 1.1.6 平均后向散射信号的非相干噪声变量的关系曲线

们认为, 对合适的示踪物质而言, 如果存在合乎需要的吸收谱线的话, 那么CO₂差分吸收光雷达测量精度在4~6 μm波长区域的可能会提高。

参 考 文 献

- [1] M. S. Shumate, R. T. Menzies, W. B. Grant, and D. S. McDougal, "Laser Absorption Spectrometer; Remote Measurement of Tropospheric Ozone," *Applied Optics*, 20, pp. 545-553, 15 Feb. 1981.
- [2] J. Boscher and F. Lehmann, "Experimentelle Untersuchungen der Physikalischen Grundlagen zur Fernmessung von Boden und Vegetationsfeuchte durch aktive Infrarot-Reflexionsspektroskopie mit Hilfe der CO₂-Lasertechnik," Report # BMFT-FB-W 80-037, Battelle Institute, Frankfurt, Germany, Dec. 1980.
- [3] J. C. Petheram, "Differential Backscatter from the Atmospheric Aerosol: The Implication for IR Differential Absorption Lidar," *Applied Optics*, 20, pp. 3941-3946, 15 Nov. 1981.
- [4] D. K. Killinger and N. Menyuk, "Remote Probing of the Atmosphere Using a CO₂ DIAL System," *IEEE J. of Quantum Electronics*, QE-17, pp. 1917-1929, Sept. 1981.
- [5] R. L. Byer and R. L. Herbst, "Parametric Oscillation and Mixing," Chpt. 3 in *Nonlinear Infrared Generation, Topics in Applied physics*, Vol. 16, Springer-Verlag, New York, 1977.

- [6] N.Menyuk, D.K.Killinger.and W.E.DeFeo, "Remote Sensing of NO Using a Differential Absorption Lidar, " Applied Optics, 19 pp. 3282-3286, Oct. 1980.
- [7] E.P.Shettle and R.W.Fenn, "Models of Aerosols of the Lower Atmosphere and the Effects of Humidity Variations on Their Optical Properties, " Report AFGL-TR-79-0214, Air Force Geophysics Lab., Hanscom AFB, Mass., 20 Sept. 1979.