

机载激光海洋测深技术综述*

SURVEY OF AIRBORNE LIDAR FOR BATHYMETRIC MEASUREMENT

昌彦君 朱光喜 彭复员 朱耀庭

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

机载激光海洋测深是利用机载激光发射和接收设备,通过发射大功率脉冲激光,进行海洋水底探测的先进技术。该技术基于海水中存在一个类似于大气的透光窗口(即海水对 $0.47 \sim 0.58 \mu\text{m}$ 之间波长范围内的蓝绿光的衰减系数最小),通过从飞机上由激光雷达向下发射高功率、窄脉冲激光(典型值: $2 \sim 5 \text{ MW}$, $5 \sim 10 \text{ ns}$, 波长为 $0.532 \mu\text{m}$ 蓝绿光激光和波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 红外激光),同时测量水面反射光(主要是红外激光)与海

底反射光的走时差,并结合蓝绿光的入射角度、海水的折射率等因素进行综合计算,获得被测点的水深值。再与定位信号、飞行姿态信息、潮汐数据等综合,确定出特定坐标点的水深。

由于激光雷达测深系统借助机载,并辅之激光扫描和 GPS 全球定位技术,可以满足大面积、高速度、高精度和低成本的现代海洋测深的需要,因此,近些年来发展很快。

自 60 年代末 70 年代初第一

个机载激光海洋测深系统问世以来,世界上已有美国、加拿大、瑞典、澳大利亚、俄国、法国、荷兰等^[3,4]近 10 个国家,先后开展了机载激光海洋测深系统的研究和开发工作。经过不断地试验和改进,现

* 国防科技预研基金资助项目。
第一作者:昌彦君,出生于 1964 年,副教授,现在华中科技大学博士后流动站从事激光雷达海洋探测方面的研究。

E-mail: yjchang@263.net

收稿日期:2001-03-22;

修回日期:2001-05-28



已进入实用阶段。总的来看,美国、加拿大、瑞典、澳大利亚四国,开展研究的时间比较长,技术水平一直处于领先地位,基本上代表了机载激光海洋测深或海底地貌测绘的发展水平和发展方向。

1 机载激光海洋测深技术的发展概述

用激光雷达进行海洋测深的思想源于60年代。1963年,Sullivan和Duntely等人发现海水也存在一个类似于大气的透光窗口,即海水对 $0.47 \sim 0.58 \mu\text{m}$ 之间波长范围内的蓝绿光的衰减系数最小,而其它波段的光在水中的衰减则较大。这一重要的发现为人们打开了利用光电技术进行水下探测的大门。1963~1967年美国海军委托Ohio大学进行了利用蓝绿光探测水下目标的可行性论证。1968年,Hickman和Hogg首次论证了利用蓝绿激光探测水下目标的机载系统的可行性。随后,于1971年美国海军研制出了一套名为PLADS(Pulsed Light Airborne Depth Sounder)的机载系统,并在直升飞机上对海洋进行了实测,这是最早的成型系统和机载探测试验。之后,ALB、AOL系统(美国),MK-1系统(加拿大),WRELADS-I系统(澳大利亚),HOSS系统(瑞典)等在70年代相继问世,并成功地进行了试验,这个时期,即60年代末至70年代末,主要是进行激光测深技术机理性研究,其次是进行海水深度的测量试验,可称为机载激光海洋测深技术发展的第一个阶段。这个阶段,以美国、加拿大和澳大利亚为首成功地研制出了第一代机载激光海洋测深系统,其特点是:大都没有扫描和高速数据记录功能(除了

AOL系统外)的简单探测系统。澳大利亚的WRELADS-I是这一代系统的代表。

如果把第一个阶段看成是机载激光海洋测深技术的形成阶段,那么80年代的发展水平就可称为是机载激光海洋测深技术的发展和成熟阶段。在第一代技术的基础上,美国(ABS NORDA, OWL, SHOALS等系统)、加拿大(LARSEN-500系统)、澳大利亚(WRELADS-II系统)、瑞典(FLASH, HAWK EYE系统)、俄国(Chaika, Mäkräl-II系统)等国分别研制出了第二代的机载激光海洋测深系统^[5]。这一时期,有较多系统问世。与第一代相比,这一代系统普遍增加了扫描、定位、高速数据记录等功能,使机载激光测量海水深度系统向机载激光测绘海底地貌系统转化。其中,以澳大利亚WRELADS-II、加拿大的LARSEN500、美国的SHOALS为这一时期的代表系统。

90年代以后,机载激光海洋测深技术进入了第三个发展阶段,即逐步实用化阶段。在第二代系统的基础上,90年代的系统普遍增加了GPS定位和定高功能,并且系统与自动导航仪接口,实现自动的航线和飞行高度控制(或者由人工操作显示航线和高度误差),从而使机载激光测绘近海海底地貌进入实用化。其中,少数先进的系统,为了提高探测精度,一方面增加了第三个光通道(利用647nm的红光的喇曼后向散射进行海面检测和海面、陆地的区分),另一方面极大地提高了采样频率,使得新一代的系统进一步地完善。美国、澳大利亚和瑞典都报道了自己的实用型机载激光海洋探测系统^[6]。其中,瑞典的HAWK EYE系统更具有代表性,其典

型的改进方面有:10 bit、1 GHz采样频率;具有全部波形的实时存储能力;高精度的GPS定位;绿光检测用APD代替PMT,回波提取能力加强;扫描精度提高;系统体积减小、重量减轻,更易于机上安装。

我国从80年代末开始,开展了机载激光海洋探测系统的研制工作。以华中科技大学为主,成功地研制出了我国第一套机载激光海洋探测试验系统。系统具有扫描功能和高速数据存储和记录功能。1996年5月在海上进行了机载探测试验,成功地探测到了水深80~90m海底回波信号。

2 发射部分和接收部分的关键技术

2.1 高重复频率的激光器

在机载激光探测系统的发射部分中,激光器是最关键的技术。根据已经存在的系统可知,对机载激光器基本要求是:输出蓝绿光的波长 $0.52 \sim 0.55 \mu\text{m}$,脉冲宽度不大于10ns,脉冲峰值功率大于2MW,脉冲频率大于60Hz;为适宜机载,同时要求激光器的体积小、重量轻。应同时满足这些要求的需要,调Q倍频Nd:YAG激光器成为当前应用于这一领域的主流激光器,其重复频率达到200Hz左右。

提高重复频率主要是为了提高分辨率,同时可提高搜索效率。作为近些年来发展迅速的半导体激光器,不仅重复频率高(已达到400Hz甚至更高),而且体积小、重量轻,出光效率高,将成为机载探测系统发射部分的理想激光器。

2.2 大动态范围的微光检测技术

由于激光的主要传输路径是海水这一特殊的光学介质,海水的的光学衰减效应、空间效应使得激光测深的海底回波信号非常微弱,并且

其动态范围往往超过探测系统的动态范围;而不同海域、不同深度的海水的光传输特性有很大差异,这些因素使得对系统的检测性能和适应能力提出了很高的要求。

目前,在信号接收时,大都采用雪崩光电二极管接收红外回波、光电倍增管接收蓝绿光回波、以及偏振滤光片压制海表红外回波中的绿光表面回波的技术。同时采用门控技术、增益可控技术与偏振检测方法相配合,达到压缩回波信号的动态范围。新兴的光学计数技术,将会在大动态范围的微光检测方面发挥作用。

3 发展趋势

由于机载激光海洋测深(或海底地貌测绘)具有快速大面积测量的特点,以及能够对舰船不宜到达的海域进行探测的优势,海洋大国广泛用其开展近海或沿岸大陆架海底地形测量,因此,机载激光测深技术必将得到进一步地发展。该项技术的发展将以进一步提高探测精度、提高探测能力、提高识别能力和提高作业效率四个方面为方向,目前的发展趋势有以下几个方面^[1]:

(1) 采用 1~2 kHz 高重复频率的半导体泵浦 Nd:YAG 固体激光器。提高重复频率是为了适应高搜索效率、高分辨率的需要;采用半导体泵浦固体激光器,是因为它出光效率高(从而可以提高探测能力)、体积小、重量轻,更适合于机载。

(2) 采用先进的计算机和高速信号处理硬件,使得信号检测、存储和显示都可以在 1~2 kHz 高脉冲重复频率下实时完成。做到飞机飞过之处,海底地形就可实时显示出来。

(3) 使用带宽更窄的滤波器,通过空间滤波、偏振滤波等技术,抑制海水后向散射,提高系统的测深能力;尤其是,采用多种手段联

合或探索新的测量方法和技术进一步消除或抑制背景噪声,提高系统白天的测深能力。

(4) 用点阵扫描与成像探测相结合的探测技术,在提高探测能力和提高识别能力方面进行优势互补。点阵扫描虽然探测深度较大,但是由于点阵密度不高,不足以显示目标的轮廓,而又无法根据目标的回波特性来区分不同目标,识别能力较差。90年代发展起来的成像探测却可以显示水下目标的轮廓,有利于较好地识别目标,但其探测深度较浅。若把两者相结合、有机地配合起来,则可能达到更好的效果。当然,由于探测深度的优势和技术的成熟,点阵扫描方式在未来的一段时间内仍将是机载激光探测测深的主要手段。

此外,进一步减小系统的体积、重量和能源耗费,提高整个系统的机动性,以及完善自动导航仪与系统的接口,开发简便的系统软件界面,使系统操作简单化、自动化等也是机载激光海洋探测系统的发展趋势。

4 结束语

机载激光海洋测深技术是集光、机、电为一体的系统,它涉及大气光学、海洋光学、激光技术、信息检测技术、计算机技术等诸多领域。机载激光测深具有速度快、覆盖率高、灵活性强等优点,可作常规海道测量、海底地貌测绘之用,这也是研制机载激光测深系统的始动力。

当然,机载激光测深并不能取代现代舰船海洋声学探测,因为海水对激光吸收和散射十分严重,因此机载激光测深系统的测量深度有限,但其发挥的作用不可低估。因为在全世界的海岸附近,约有 86% 的海洋为大于 10 m 的透明度深度;在全世界的海洋中,约有近 690 万 km² 的深度在 30 m 以内。据

估算,勘探上述水域的 10%,如用舰船勘探的话,要花几百年的时间,而用机载激光探测系统的话,仅需 27 年就够了。我国的黄海、东海大陆架大部分水深不超过 70 m,最深处不超过 100 m;在南海也有 13 万 km² 的水深在 2~50 m 范围内。我国沿海海域水深在 2~50 m 范围内的面积大约有 50 万 km²,如果考虑南海各岛周围海域以及放宽对最大探测深度的限制,我国可以进行机载激光测深的海域面积会更大^[2]。

除了常规的海底地形测量外,机载激光测深的高覆盖率决定了它还能提高探测航行障碍物的探测率,以及发现水下运动目标(如潜艇)的发现概率。对无深度信息的登陆场,机载激光测深可迅速、安全地获取信息,从而提高快速反应部队的作战能力。

参考文献

- 1 陈文革、黄铁侠、卢益民. 机载海洋激光雷达发展综述, 激光技术, 1998, 22(3): 147~152
- 2 陈烽. 近海机载激光海洋测深技术, 应用光学, 1999, 20(2): 18~23
- 3 Steinvall O., Koppari K. and Karlsson U.. Experimental evaluation of an airborne depth sounding lidar, Proc. SPIE Lidar for Remote Sensing, 1998, 1714: 108~126
- 4 Lillycrop W. J., Parson L. E., Irish J. L.. Development and operation of the SHOALS airborne lidar hydrographic survey system, SPIE, 1998, 2964: 26~37
- 5 Sinclair M.. Australians get on board with new laser airborne depth sounder, Sea Technology, 1998, 6: 19~25
- 6 Steinvall O. K., Koppari K. R.. Depth sounding lidar: an overview of Swedish activities and future prospects, SPIE, 1998, 2964: 2~25

(本文编辑: 张培新)