

# 能见度激光雷达在一次琼州海峡大雾中的应用

■ 陈燕 蔡亲波 徐文静 冼锦洪 李勋 张春花 陈红 林建兴

能见度激光雷达和前向散射能见度仪所获得的能见度变化趋势一致，数据结果合理，可为琼州海峡大雾监测预报预警提供了很好的科学依据，助力2019年春节期间琼州海峡航运通畅。能见度激光雷达与卫星云图进行互补观测，可取得更好的监测大雾动态效果，为海上交通安全提供更有保障。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.04.023

琼州海峡是海南岛通往中国大陆的重要通道，而大雾是影响海峡航运安全的重要因素之一，特别是连续性的大雾，直接影响海上和港口航运的安全。但是由于海上观测资料缺乏，海峡大雾天气很难预测。提高大雾监测准确性和预报预警服务的水平，将关系到全社会经济的发展、各行业和人民生活的安全，特别是琼州海峡的大雾预报预警。这首先要提高大气能见度监测能力。在我国，能见度监测最初一般是通过参照物用肉眼进行判断的，即人工目测。随着时代的进步，社会的发展，能见度观测逐步实现自动化。近几年，全国气象部门装设了前向散射型能见度仪，逐步实现了能见度观测自动化，但是该能见度仪主要采用点式监测，以点代面，受测量点局地环境影响大，代表性差、设备易受干扰，不能很好代表大范围真实能见度，尤其无法获取水平面上能见度分布情况。

综合考虑，2019年1月，3台新型能见度激光雷达分别在海口新海港、秀英港和广东徐闻北港建成使用，监测范围覆盖琼州海峡两岸港口的港池和航道，有效增强海南省气象部门对琼州海峡大雾的监测预报预警能力。这是全国首次投入业务运行的新型装备。通过安装在3个港口的激光雷达能实时获取海面上不同位置的能见度信息，实现了琼州海峡水平能见度有效探测，解决了传统能见度仪点式监测的局限性，为精细化琼州海峡气象监测预报预警服务提供科学依据。本文以琼州海峡2019年春节期间为例，分析能见度激光雷达在雾监测预报预警中的应用，以提高海南省大雾特别是海雾的气象服务水平，为建设海南国际旅游岛、海南自由贸易试验区和中国自由贸易港保驾护航。

收稿日期：2019年9月18日；修回日期：2020年6月13日  
第一作者：陈燕（1985—），Email: chandy@163.com  
资助信息：海南省气象局科研项目（HNQXXT201801；HNQXJS201613）

## 1 能见度激光雷达原理

能见度激光雷达采用激光雷达原理实现对能见度空间分布的测量。当能见度激光雷达发射的激光在大气传输时，大气中的各种组分会对激光产生吸收和散射，从而改变后向散射光的能量、光谱特性、偏振状态等信息。通过接收和分析后向散射光的光学特性，即可反演出相应的气体分子，气溶胶粒子的相关性质以及各种大气参数。能见度激光雷达系统结构（图1）分为发射单元子系统、接收单元子系统、控制与信号处理子系统、产品生成与显示子系统等，能见度激光雷达光电结构见图2。

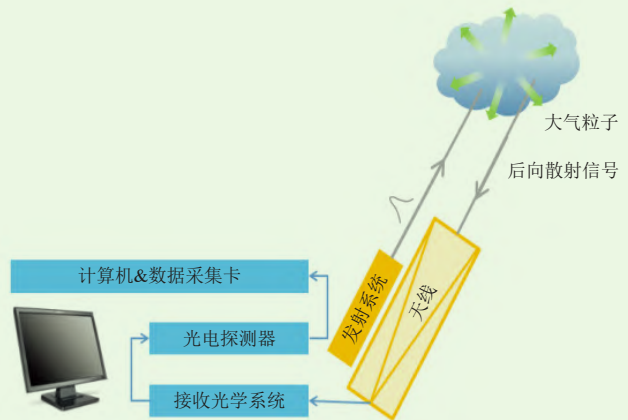


图1 能见度激光雷达基本原理

能见度激光雷达中激光器发射激光经过扩束镜之后射向大气，大气的回波信号通过透镜接收，由光纤传导信号至探测器，探测器的数据信号接入采集卡，采集卡的数据传输到嵌入式计算机中。嵌入式计算机控制整个系统的激光发射，信号采集探测，以及数据

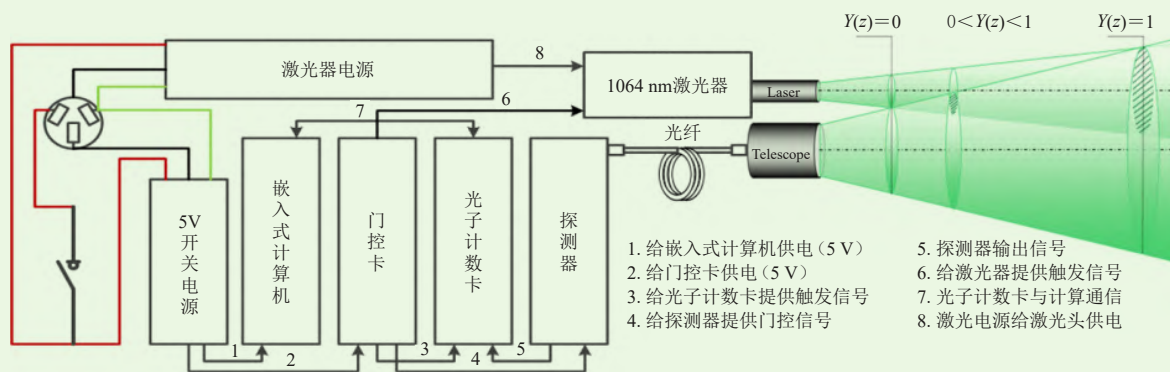


图2 能见度仪光电结构图

处理和能见度的反演。

能见度激光雷达具有高质量、高精度、高分辨率和远探测距离的特点，空间分辨率最低可达15 m，时间分辨率5 s~10 min（可调），可对半径15 km范围内的大气360°发射水平激光束，获取并分析扫描区域内颗粒物、水汽等粒子的后向散射数据，实现对不均匀大气能见度的准确测量，测量结果不受团雾、烟尘等条件的影响，是大气透过率仪和前向散射仪等其他仪器无法实现的。能见度激光雷达为户外型全固化、模块化结构，便于维护、操作简单、应用广泛，无需合作目标。客户端全中文界面，可显示实时能见度分布廓线，消光系数廓线，距离校准信号廓线，还可进行历史数据回放，自动分析运算大气参数立体分布数据，运行状态实时监控、自动记录、自动报警，具有断电自动恢复能力及历史数据回放功能。

## 2 性能分析

### 2.1 环境适用性

通过连续运行查验，该能见度激光雷达适合在-25~50℃的温度，1%~100%无冷凝湿度，单相交流：220 V±22 V、频率：50 Hz±3 Hz环境下运行，并且具有耐高湿、高温和高盐的特点，在强降水条件下运行正常。

### 2.2 对比分析

为对比分析能见度激光雷达的可用性和可靠性，结合邻近区域安装的观海台前向散射能见度仪（目前应用于能见度业务自动观测的仪器）进行对比分析。数据时间段为2019年2月1—15日。

图3为能见度激光雷达和前向散射能见度仪的安装地点，箭头代表前向散射能见度仪，其中西海岸观海台处的前向散射式能见度仪与秀英港能见度激光雷达安装点距离3.4 km，选择能见度激光雷达270°方向上扫描的能见度，与前向散射能见度进行对比，观测

结果如图4所示。新海港能见度激光雷达与前散安装点接近，观测结果如图5所示。比对数据表现出良好的一致性。



图3 能见度观测设备安装位置图

## 3 琼州海峡2019年春节大雾天气

### 3.1 概况

2019年春节期间（2月2—10日），琼州海峡主要受弱冷空气、西南低压槽等天气系统影响，琼州海峡大雾天气过程出现于2月2—7日，期间共发布琼州海峡海上大雾橙色预警信号6次，琼州海峡海上大雾黄色预警信号2次；累计停航时间最长约24 h，其中一次持续停航时间最长为6日近8 h外，其余时间停航时间较短，在多项措施和天气保障相结合的情况下，2019年琼州海峡航运未出现拥堵和滞留现象。

### 3.2 能见度激光雷达应用情况

琼州海峡地处大陆与海南岛之间，海况和天气复杂，台风、暴雨、海雾、雷暴等灾害性天气出现概率高，直接影响海上交通的安全和航运的效率。因此，提高对海雾的监测、预报和预警能力是十分必要和迫切的。2019年1月底，在海口新海港、秀英港和徐闻海安新港安装3个能见度激光雷达（图6），2019年春节假日（2月2—10日）的首日即2月2日便捕捉到琼州

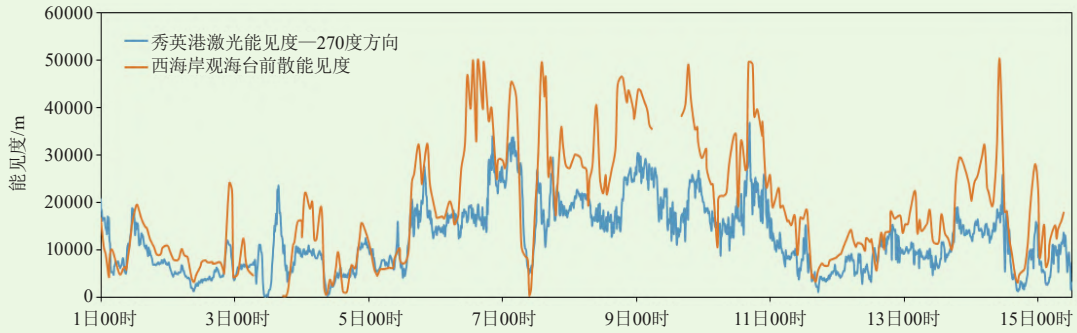


图4 2019年2月1—15日秀英港能见度激光雷达与西海岸观海台前散观测结果对比图

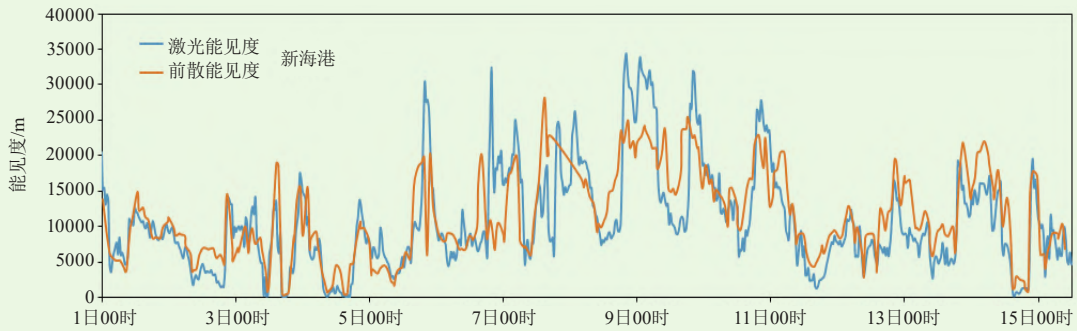


图5 2019年2月1—15日新海港能见度激光雷达与新海港前散观测结果对比图

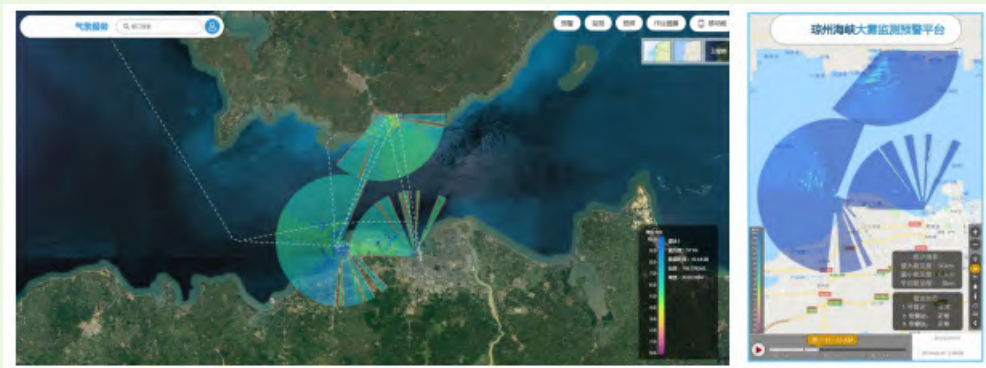


图6 激光雷达测量综合展示图

海峡中间出现的大雾实况，为海南省气象部门及时发布大雾精细预警打响了第一炮。

海雾能使能见度降低，影响船舶运输、捕捞作业石油开采以及海上军事活动。由于海雾发生具有偶然性，前向散射能见度测量设备只能获取监测点位数据，海上船舶观测范围小，因此关于海雾的海上观测记录较少。能见度激光雷达通过扫描观测，可有效获取海面能见度分布情况，准确识别海雾，并观测其产生、移动和消散过程，准确及时对外发布大雾预警信号和灾害性天气信息等气象服务产品。因此，春运期间能见度激光雷达观测海峡上的大雾发挥了巨大的作用，随时将海上观测到的能见度传输到天气预报员手里，天气预报员第一时间对能见度演变规律、移动路径进行研判，及时向有关部门和民众发送大雾预警信

号，决策部门和相关人员采取相应措施，保障海上航运安全和民众生命财产安全。

2月3—7日，将能见度激光雷达测量结果与海事局停航，复航通知的时间进行比对，如图7所示，能见度激光雷达观测到能见度低于1000 m的情况下，各港口停航。该时间段内，共发生6次停航，均与能见度激光雷达测量的低能见度区相吻合。

2月2—7日，海南省气象部门共发布琼州海峡海上大雾预警信号8次（其中6次大雾橙色预警信号、2次大雾黄色预警信号），预警信号发布时段与海峡停航时段基本吻合（图8）。

2019年春节期间，经过气象部门与政府多部门同心协力，能见度激光雷达和其他常规观测手段相结合，密切监测琼州海峡天气状况，及时发布海峡天气



图7 徐闻海安新港能见度激光雷达测量结果

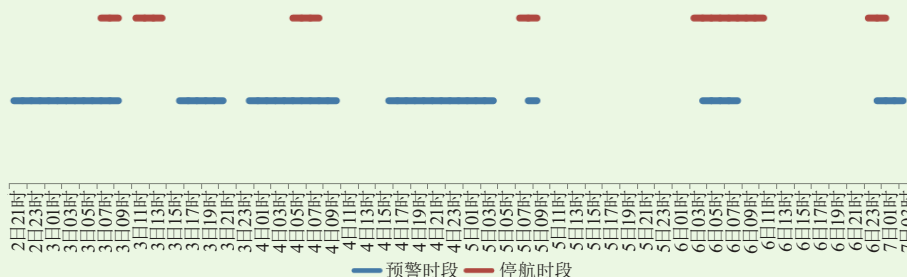


图8 预警信号发布时段和琼州海峡停航时段对应图

信息，准确发布海峡大雾预警信号，政府部门根据气象部门发布的天气信息多举措保证海峡安全通行，琼州海峡未出现拥堵和滞留现象。此次春节期间的春运过程，能见度激光雷达在海峡通航保障中发挥了至关重要的作用。

### 3.3 能见度激光雷达与卫星云图的综合应用

根据Himawari-8可见光卫星云图，大体判断琼州海峡能见度的变化，再结合能见度激光雷达监测海峡具体的能见度数据，及时发布海上大雾预警信号，提醒海上作业船只和港口的相关单位做好防范工作。

由于可见光云图只能白天可见，因此选取了2月4日11:00（北京时，下同）、13:30的Himawari-8可见光卫星云图和能见度激光雷达图对比分析，观察海峡能见度逐渐好转时段的变化情况。从图9可以看出，11时可见光卫星云图上的海峡的水汽（云）慢慢散去，至13时几乎无多少水汽（云）漂浮于海峡上；对应的能见度激光雷达也能认知这一点，并且观测更清晰、更准确，即11时海峡大部分能见度为600 m左右，至13时能见度已上升至800 m，可见，此时段内琼州海峡的能见度逐渐好转，可视物逐渐清晰。可

见，在业务运用中，能见度激光雷达结合卫星云图进行综合监测，海峡能见度监测更全面、更细致，不容易遗漏海峡大雾的预报预警。但是，卫星云图在低云覆盖或夜间时很难观测到雾天气。

## 4 小结

能见度激光雷达具有高质量、高精度、高分辨率和远探测距离的特点，以及便于维护，操作简单、应用广泛，无需合作目标，测量不受困雾、烟尘等条件的影响。能见度激光雷达和前向散射能见度仪所获得的能见度变化趋势一致，数据结果合理。

能见度激光雷达为琼州海峡大雾监测预报预警提供了很好的科学依据，保证了2019年春节期间琼州海峡未出现拥堵和滞留现象。能见度激光雷达与卫星云图进行互补观测，取得更好的监测大雾动态效果，为海上交通安全提供更有保障。

一直以来，由于海上能见度观测设备较少，因此做好海雾预报预警是一项难点工作，今后将充分分析运用现代先进观测设备（雷达、卫星）等，提前发布海雾预报预警信息，促使进一步降低由于海雾造成的损失，保障民众出行安全。

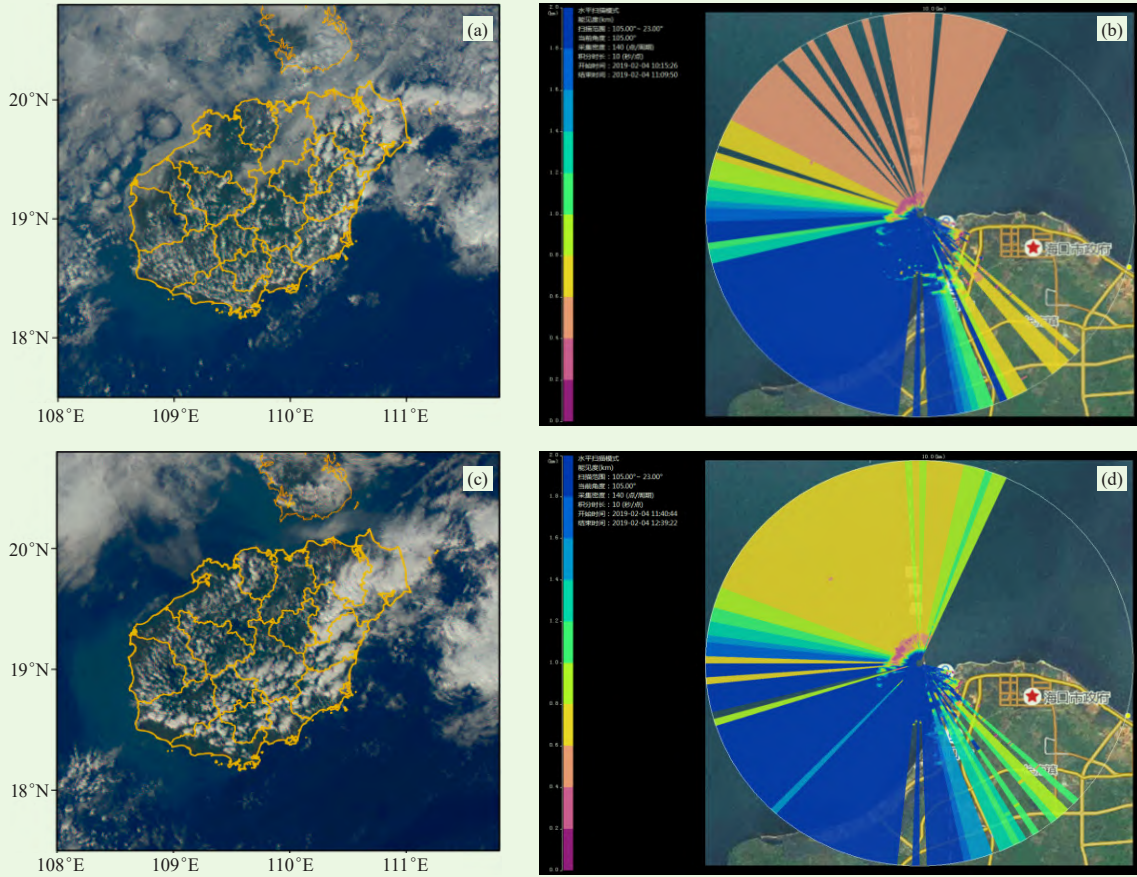


图9 2月4日11:00、13:30的Himawari-8可见光卫星云图(a,c)、能见度激光雷达(b,d)的对比图

深入阅读

Huang K, Zhuang G, Lin Y, et al, 2012. Typical types and formation mechanisms of haze in an Eastern Asia megacity, Shanghai. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12: 105-124.

蔡亲波, 2014. 海南省天气预报技术手册. 北京: 气象出版社, 2014.

刘斌, 张军, 鲁敏, 等, 2015. 激光雷达应用技术研究进展. *激光与红外*, 45(2): 117-122.

吕立慧, 刘文清, 张天舒, 等, 2014. 新型微脉冲激光雷达测量大气水平能见度. *中国激光*, 41(9): 218-222.

王春乙, 2014. 海南气候. 北京: 气象出版社.

张振振, 刘统玉, 南钢洋, 等, 2015. 激光雷达在大气探测中的应用研究进展. *山东科学*, 28(6): 73-79.

赵一鸣, 李艳华, 商雅楠, 等, 2014. 激光雷达的应用及发展趋势. *遥测遥控*, 35(5): 4-19.

(作者单位: 陈燕, 海南省突发事件预警信息发布中心/海南省南海气象防灾减灾重点实验室; 蔡亲波, 海南省气象局/海南省南海气象防灾减灾重点实验室; 徐文静、冼锦洪, 深圳大舜激光技术有限公司、海南省南海气象防灾减灾重点实验室; 李勋、张春花、陈红、林建兴, 海南省气象台/海南省南海气象防灾减灾重点实验室)