

基于静止水色卫星的黄海日间海雾遥感分析

袁逸博

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335)

摘要:海雾遥感探测对海上风电的开发、运维等方面有着重要的科学意义和使用价值。文章以中国近海海雾发生最频繁的黄海为研究区域,基于多年GOCI(Geostationary ocean color imager)卫星遥感资料建立适用于黄海日间海雾的遥感反演提取算法。利用黄海沿海探空资料、浮标资料以及沿岸气象台站资料,对反演结果进行了验证,结果表明,遥感算法具有良好的稳定性以及对于动态监测的开发潜力;利用成山头气象站多年气象资料计算多种统计指标,对海雾算法进行了精度评估,准确率达72.2%。

关键词:GOCI; 黄海海雾; 遥感反演

中图分类号:P47 **文献标志码:**A

0 引言

海雾是由于海洋影响发生于近岸或岛屿上空,近海表空气中的水汽凝结成雾的天气现象^[1]。海雾发生时,会使得沿海地区的海上能见度明显降低。同时,由于海雾的出现,会降低或遮蔽海表接收的太阳辐射,影响海水的水下光场,从而影响养殖的虾、贝等生物生存状态,对近海水产养殖业造成重大经济损失。海雾也会在一定程度上造成近海城市的大气污染,如水汽含量较高的海雾与CO₂等混合物结合,容易催生酸雨和酸雾,直接危害沿岸人民的健康,甚至会引起死亡。此外,沿海输电线路和露天电气设备表面常常附着H₂S以及SO₂等酸性物质,海雾的出现会增加表面的电导率,影响其绝缘性,可能会酿成电路事故。另外,海雾对国防建设与军事行动也有着很大的影响。因此,对海雾的准确监测及预报,对保障人民的生产生活有着十分重要的意义和实用价值。

黄海是我国近海海雾发生频率最高的海区之一,特别是春季和夏季(4—7月),该时段为黄海的雾季^[2]。黄海海雾的影响范围广,有时会蔓延到内陆,在海雾发生时,大气水平能见度低于200 m的频率高达87%^[3]。同时,黄海不同区域形成海雾的天气气候条件也存在着一定的差异,黄海海雾的发生频率、持续时间等特征也存在着明显的年际和季节差异。因此,针对黄海海雾时空分布及其动态变化特征,开展相关研究对黄海海雾的准确数值预报具有重要的科学意义。

由于海上站点观测资料数据量十分有限,特别是

气象和水文同步的实地观测数据则更是少之又少^[4]。因此,基于传统方法对黄海海雾的研究还不够客观、全面,例如一些研究利用黄海沿岸站点观测数据来分析研究黄海海雾特征,这在空间上并不能客观地反映黄海海雾的真实时空分布^[5]。近年来,卫星遥感技术发展非常迅速,相比传统的站点观测方法,卫星遥感具备感测范围大、获取信息快以及动态监测等方面的优势,对海雾时空变化监测有巨大的潜力。目前已有不少基于极轨/静止轨道卫星数据开展的海雾研究,但多基于海雾个例分析,同时,部分研究仍受卫星数据时空分辨率的限制,其遥感探测精度仍有待提高,并不能满足人类日益增长的高精度探测需求。本文拟通过开发基于静止轨道卫星的黄海海雾遥感探测算法,从而为黄海海雾及海上能见度的准确数值预报提供重要的科学素材。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

黄海是整个东中国海范围内海雾发生频率最高的海区之一,特别是4—7月的黄海春夏雾季。黄海海雾的发生范围大,有时会蔓延到内陆,在海雾发生时,大气水平能见度低于200 m的频率高达87%。此外,黄海不同地区产生海雾的天气气候条件不同(见图1),黄海海雾的发生频率、日变化、持续时间等特征存在明显的季节、年际差异,因此针对黄海海雾时空分布及其动态变化特征,尤其是生消周期和持续时间等特征,开展相关研究对黄海海雾准确数值预报具有重要的科学意义。

基金项目:上海市科学技术委员会基金项目;项目名称:基于大数据的深远海域风电场全生命周期资源评估方法研究;项目编号:18DZ1202102。上海勘测设计研究院有限公司科标业;项目名称:基于多源卫星遥感数据的海上风电场海洋环境参数分析研究;项目编号:2021FD(8)-001。

作者简介:袁逸博(1990—),男,江苏海门人,工程师,博士;研究方向:海洋气象,海上风电。

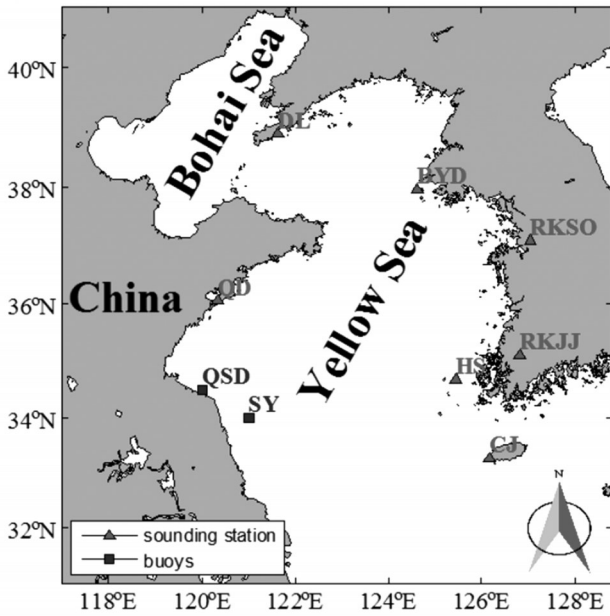


图1 研究区域、探空台站及浮标站分布
(三角为探空台站位置,方块为浮标位置)

1.2 研究数据

1.2.1 卫星遥感数据

GOCI是韩国于2010年6月发射的世界首颗地球同步轨道海洋水色卫星COMS(Communication, ocean and meteorological satellite)所携带的传感器之一,其监测范围是以朝鲜半岛为中心,中心经纬度为130°E、36°N,覆盖韩国、朝鲜、日本、俄罗斯及中国约为2 500 km×2 500 km范围的海洋环境,包括我国黄海、渤海及东海部分海域^[6]。GOCI的空间分辨率为500 m,时间分辨率为1 h,共设置有8个波段,其光谱范围包括400~900 nm,共含6个可见光波段以及2个近红外波段,具体的卫星参数及性能如表1所示。

表1 GOCI卫星的参数

主要指标	参数
传感器	CMOS
空间分辨率	500 m
覆盖范围	2 500 km×2 500 km
卫星经度	128.2°E
焦距	1 171 mm
高度	35 786 km
信噪比	> 1 000
波段数	8个(可见光为6个;近红外为2个)
光谱范围	400~900 nm
量化长度	≥12 bits

1.2.2 实测及共享数据

(1)海上实测资料。

台站观测:获取黄海海域沿岸各气象台站的资

料,包括能见度、露点温度、气温和低云高度等气象参数;在海雾识别的基础上,可以对相关气象参数进行统计分析,获取海雾发生时的气象参数统计结果,此外,利用多年台站资料与同时段卫星识别结果,可以对海雾遥感识别算法进行一定的精度验证。

浮标观测:利用江苏近岸的两个10 m浮标的能见度、相对湿度、气温、海表温度以及风速风向数据,获取长时间序列气象参数数据集,其中能见度的测量范围是0~20 km;通过浮标的能见度及相对湿度数据结合卫星遥感影像可以初步判定海雾的存在,在此基础上,可以统计海雾发生时的气温、海表温度以及风速风向等数据。

(2)气象共享资料。

探空资料:美国怀俄明大学整理并共享的射阳、青岛等环黄海水域的沿岸探空资料集,主要参数包括各层垂直方向气压、露点温度、气温、相对湿度等气象参数,每天观测两次,分别为08和20时观测(世界时)。在卫星遥感影像初步识别的基础上,可以结合探空资料站在不同高度的气象参数,获取海雾发生时在垂直方向上的相对湿度或温度变化特征,对海雾进行识别或验证。

2 黄海日间海雾识别算法建立

2.1 海雾实例的识别

2.1.1 海雾在遥感影像上的特征分析

GOCI卫星影像中包括多种下垫面信息,包括陆地、晴空海表、中/高云、低云和海雾等。在GOCI的遥感影像中,海雾相对于其他的云体,其亮度较暗且变化不明显,海雾的顶层纹理光滑均匀,且海雾的轮廓分明,与沿岸区域有较好的贴合。同时,海雾相对厚实,穿透性较差,而低云一般具有一定的透明性和透射性。对于中高云,在云图中亮度高,形状不规则且相对凌乱。此外,由于云体和海雾生消机制的不同,两者在遥感影像中的变化规律也不同。海雾一般为平行移动,在此过程中的轮廓基本维持不变,且移动相对缓慢。

基于上述海雾在遥感影像上的特征,通过遥感目视判别的原则,初步选取2014年5月1日00时16分(世界时)发生在黄海中部的云团为一次海雾事件(见图2)。

2.1.2 海雾的气象要素场

通过分析东北亚的地面图、500 hPa高空场资料以及济州岛同时刻的探空资料站数据,可以发现:朝鲜半岛西南侧海域底层大致上受到位于北方的低压区影响,主要吹偏西及偏南风;而根据图2中云团附近的探空资料显示,该区域从1 000 hPa以上开始显示出一条位于500 hPa日本海浅西风槽,其槽后受微弱下沉逆温的影响,因此中低层大气较为稳定干燥,温度露点线是随高度分开的,且偏西北风,都是槽后大气状态特征。因此,海面大气偏西南风且可能相当

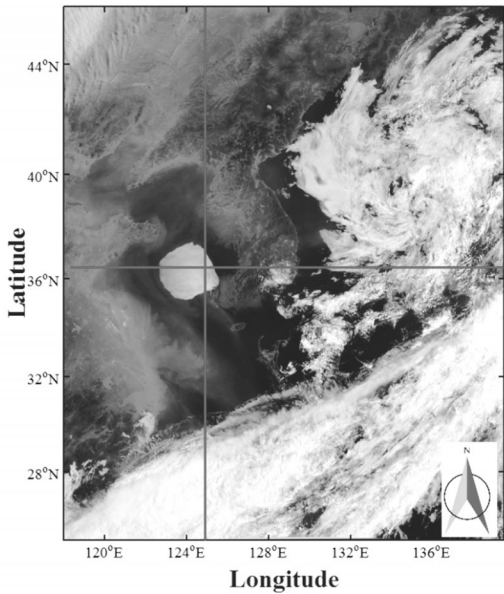


图2 GOCI 2014年5月1日00时16分(世界时) RGB影像,线条表示经纬向剖面

潮湿,风速较弱,中低层大气偏西北-北风有下沉逆温作用且较为稳定干燥。同时,对照黄海低海温以及前一日该区低层大气为偏较弱西至西南风有利于暖湿水汽输入的事实,可判定该区域为海雾发生区域。

2.2 光谱特性分析

基于大气辐射理论^[7]以及前人大量的海雾实例研究分析,可以发现:在可见光及近红外波段,云雾像元的反射率大小与其光学厚度成正比,而云雾的光学厚度又与它的几何厚度和液态水含量密切相关,厚度越大,液态水含水量则越大,因此云雾的反射率也越大,卫星影像中的云雾亮度也就越大。基于Mie氏散射理论^[8],由于云体和海雾具有明显的散射作用,云雾的可见光反射率要显著大于海表、陆地等地物信息(冰面情况除外)。当出现冰雪情况的海表,其反射率较大,给近岸的海雾遥感监测造成一定难度,本文暂不考虑黄海北部冬季海冰的情况。同时由于海雾和低云的物理性质极其相似,下文初步将低云和海雾放在一起分析^[9]。

为了分析不同目标物所表现的光谱差异,在上述海雾实例中选取经过不同地物的经、纬向剖面,其分别通过陆地、海洋水体、低云/雾区和中高云,并可以

直观地了解这两条剖面在可见光、近红外波段上的瑞利校正反射率 R_{rc} 沿着剖线的变化,经过对该光谱定量分析,发现以下特征。

(1)陆地: R_{rc} 随波段中心波长增大而增大,且大小一般在0.1~0.3之间变化。

(2)无云晴空海表:晴空无云海表的 R_{rc} 一般稳定在0.1左右,基本无变化。

(3)海雾/低云:海雾/低云的 R_{rc} 明显大于无云海表和陆地, R_{rc} 随波段中心波长增大而增大,且变化范围在0.3~0.6,海雾/低云像元数值变化不明显,相对均匀。

(4)中高云:中高云的 R_{rc} 要高于海雾/低云, R_{rc} 的值一般都大于0.6,但其波动范围较大;同时数值大小与海雾/低云有部分重合。

本文选择3种类型区域(海雾/低云、无云海表、中/高云)的412 nm光谱数值进行统计分析(见图3),结果表明:这3种区域412 nm处的瑞利校正反射率(R_{rc})大小范围分别对应0.18~0.47、0.04~0.12以及0.57~0.83,晴空无云海表像元的 R_{rc} 值集中在0.1左右,而对于海雾/低云像元,其 R_{rc} 的变化相对均匀,小于中高云像元对应的 R_{rc} 值。上述结果证明了可以通过指数阈值的方法来提取不同地物信息的可能性。

2.3 中高云与低云/海雾分离指数

Zhang等^[4]研究发现:中高云相对于低云/海雾,在可见光波段表现出更高的反射率。因此,建立中高云与低云/海雾分离指数MCDI(Middle/high level cloud deduction index, M_{CDI})来对两者进行分离,具体的表达式为:

$$M_{CDI} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{rc_Band(i)} \quad (1)$$

图4为MCDI指数的空间分布图,结合图1的GOCI影像,可以发现:图中位于黄海中东部,朝鲜半岛西侧的海雾/低云像元的MCDI值在0.3~0.55之间,而位于图像底部(东海至日本群岛的狭长云系)的中高云的MCDI值在0.6~0.8之间变化,因此可以通过MCDI指数,并设定相关阈值将两者进行有效分离。

2.4 海雾与低云分离指数

低云和海雾在各通道的物理特征十分接近。因此,目前进行海雾遥感提取的重心集中在如何将低云和海雾进行有效的识别分离。李子华^[10]研究发现各

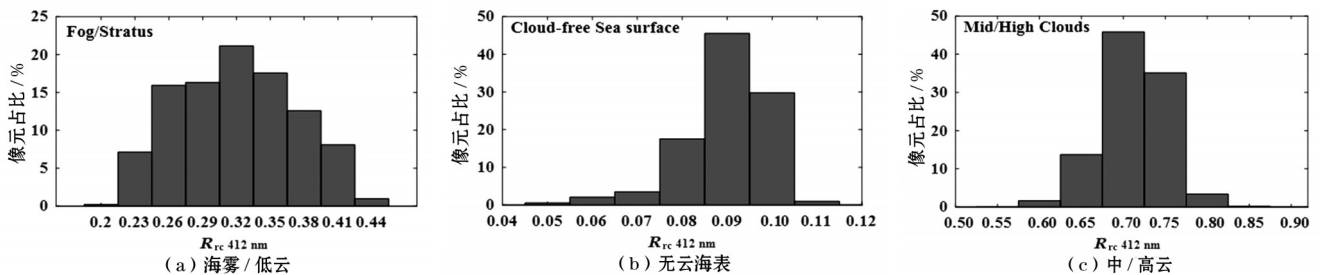


图3 $R_{rc}(412\text{ nm})$ 直方图

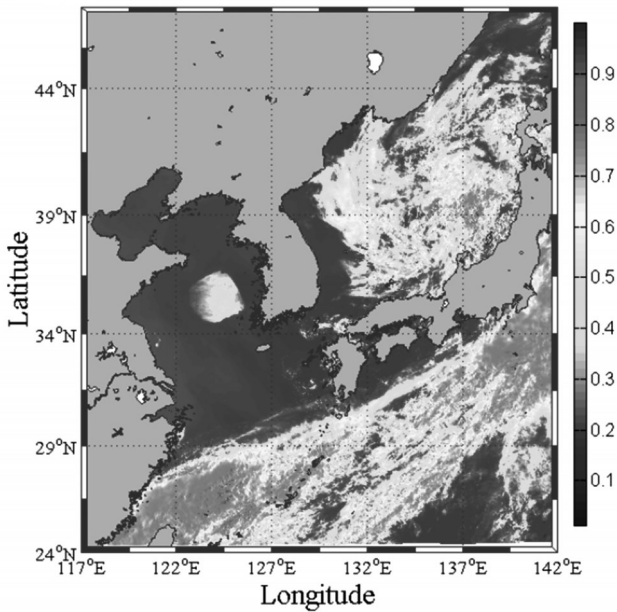


图4 MCDI指数空间分布

地雾的液态水含量都在 $0.1\sim 0.5\text{ g/m}^3$ 之间,而盛裴轩^[11]指出层云的液态水含量数量级在 $0.01\sim 0.10\text{ g/m}^3$ 之间。同时,基于遥感辐射原理,水汽在 745 nm 波段的吸收强于在 680 nm 波段(见表2)。

表2 一些水汽吸收波段

波长间隔/nm	0.70~0.74	0.79~0.84	0.926~0.978	1.095~1.165
中心波长/nm	0.718	0.810	0.935	1.130

因此,得到相关的不等式:

$$a_{\text{fog}}(745) - a_{\text{stratus}}(745) > a_{\text{fog}}(680) - a_{\text{stratus}}(680) \quad (2)$$

式中, $a_{\text{fog/stratus}}(\lambda)$ 表示海雾/低云像元在特定波段的水汽吸收。通过公式转换可以得到:

$$R_{\text{re_stratus}}(745) - R_{\text{re_stratus}}(680) > R_{\text{re_fog}}(745) - R_{\text{re_fog}}(680) \quad (3)$$

式中, $R_{\text{re_fog/stratus}}(\lambda)$ 表示海雾/低云像元在特定波段的瑞利校正反射率。基于上述存在的物理性质差异,建立了波段斜率指数(Band slope index, B_{SI})用于海雾和低云的分离,具体的表达式为:

$$B_{\text{SI}} = [R_{\text{re}}(745) - R_{\text{re}}(680)] / (745 - 680) \times 10 \times e^4 \quad (4)$$

相似的,选择了BSI的经纬向剖面来进行光谱分析(见图5)。可以发现:在低云像元的BSI指数波动剧烈,而海雾像元的BSI值一般稳定在0左右,因此可以利用BSI指数进行海雾和低云的分离。

2.5 高浑浊水体识别指数

由于我国近海水体环境复杂多变,海水浑浊度分布不均匀^[12],即使是无云遮挡的晴空海表, R_{re} 的取值仍存在很大的差异,且不同水体各波段的光谱特征也存在一定差异^[13]。如果仅使用上述两种指数进行海雾信息提取,会将部分高浑浊水体误判为海雾,对遥

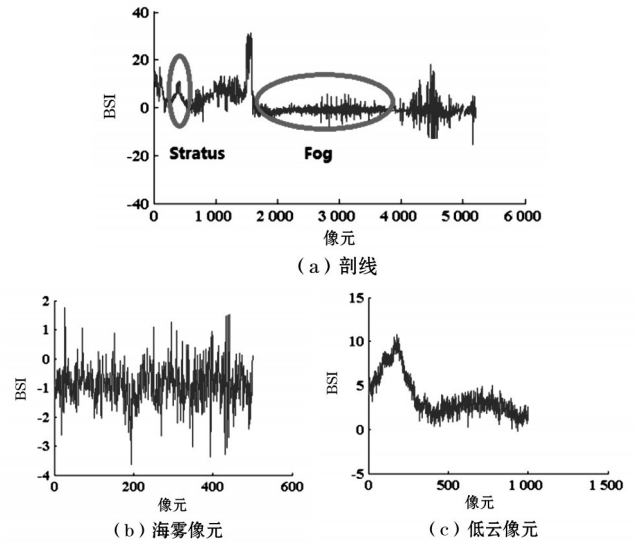


图5 波段斜率指数光谱图(680 nm和745 nm两个波段)

感反演算法造成影响。图6显示的是不同地物的光谱特征统计结果图,结果发现晴空海表的变化范围在 $0.02\sim 0.07$,且在 490 nm 波段处存在峰值,而高浑浊水体的 R_{re} 在 $0.12\sim 0.22$ 之间变化,峰值存在于 555 nm 波段处,两者光谱特征存在一定差异。对比海雾的光谱

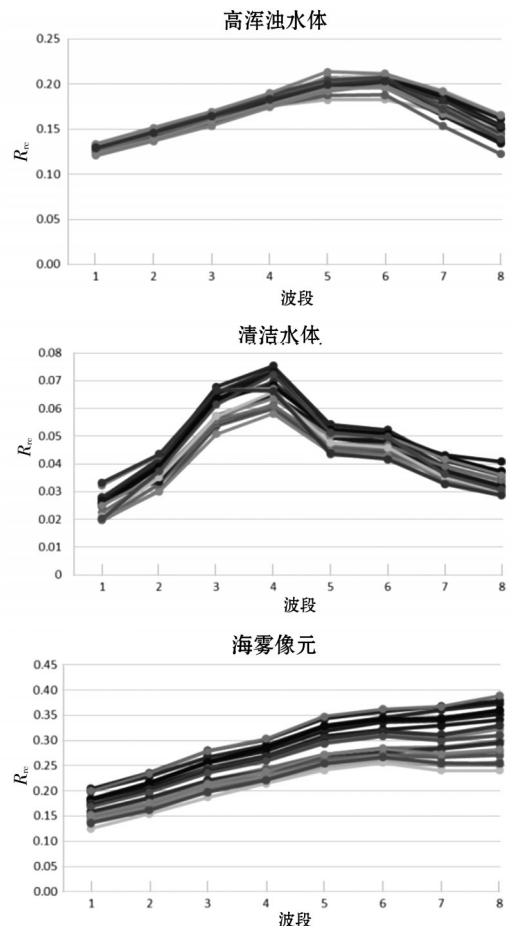


图6 不同地物的各波段光谱曲线

特征,发现高浑浊水体在 745~865 nm 波段呈现递减的趋势,而海雾像元是递增的或变化趋势较为平缓,同时在 865 nm 存在明显数值差异($R_{rc}=0.02$)。

为了更好地展示高浑浊水体区域的光谱特性,在进行去云处理后,建立了苏北浅滩高浑浊水体区域 218 景无云晴空海表的光谱数据集(见图 7)。其中,在光谱数据集中,水体的光谱曲线明显分为两类,与图 2~5 中的高浑浊水体和晴空海表光谱趋势一致。

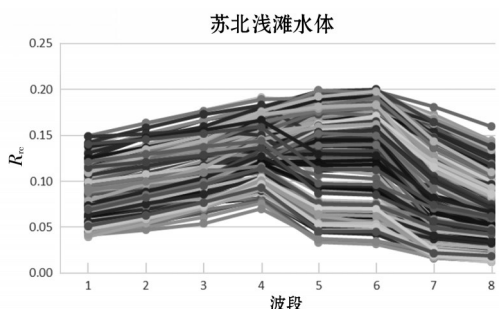


图 7 苏北浅滩高浑浊水体区域晴空光谱数据集(218组)

因此,建立的高浑浊水体识别指数 HTWI(High turbidity water index, H_{TWI}),具体表达式如下:

$$H_{TWI} = R_{rc}(865) - R_{rc}(745) < 0 \& R_{rc}(865) \quad (5)$$

综上所述,基于 GOCI 的 L2C 瑞利校正反射率数据,建立了海雾遥感提取算法,其中包括 MCDI、BSI 以及 HTWI 指数,并设定相关的阈值,将中高云、晴空无云海表、低云以及海雾进行分离,从而提取海雾信息,最后得到黄海的海雾反演结果。

3 算法个例验证及应用

为了更好地验证海雾遥感提取算法的精度,本文结合 2014 年 5 月 23 日 08 时地面图以及 GOCI 的 RGB 图像(见图 8),可以发现:朝鲜半岛西南侧海域底层位于高压底部,盛行偏南风,为该区域带来大量的暖湿气流,且通过分析黄海西部的地面测站可以发现该区域海表温度低于周边海表温度,南侧的暖湿

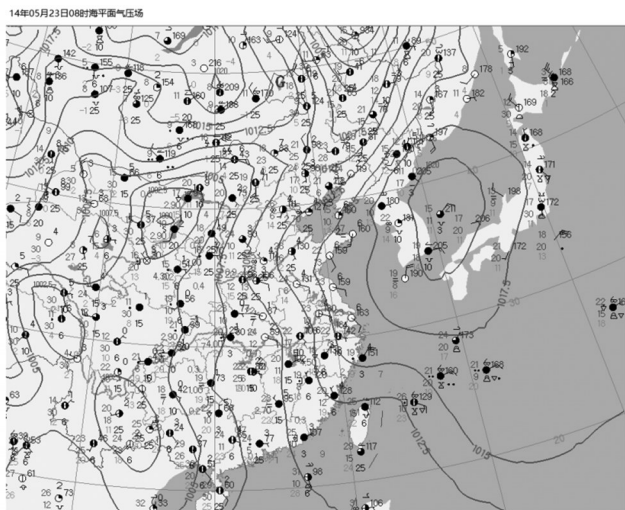
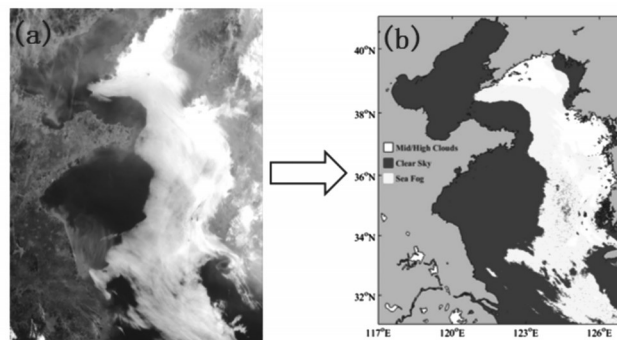


图 8 2014 年 5 月 23 日 08 时(北京时)的地面形势

气流流经较冷的海表受冷凝结成雾。平流冷却雾一般覆盖范围大且持续时间长,对照当天的卫星遥感影像,可初步判定,在该时刻黄海西部大片海域有海雾天气现象发生。

图 9(a)展示了当天上午 00 时 16 分(世界时)的 GOCI RGB 影像,基于上述提出的海雾反演算法,将无云海表、中高云、海雾以及低云进行分离,反演得到相对应的海雾结果。



(a) 2014 年 5 月 23 日 00 时 16 分 GOCI 的 RGB 影像

(b) 反演结果

图 9 RGB 影像及反演(2014)

此次海雾事件几乎覆盖了整个黄海海域,其中探空资料站包括大连(DL)、白翎岛(BYD)(见表 3)。王以琳等^[14]利用探空资料研究发现,黄海雾层的垂直方向存在准饱和的状态,即气温与露点温度的差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 。目前暂未有学者提出海雾形成的必要温差条件,故本文沿用陆地研究的云雾物理特性对探空基站的相应数据进行分析,从而判断云雾的分布情况。

可以发现:在大连站,125 m 高度气温与露点温度差为 0.5°C ,表明了准饱和状态的存在,同时该层的相对湿度为 91%,以上数据表明水汽凝结成雾,可以证明雾的存在。基于白翎岛的探空数据可以发现,158 m 附近的底层大气,大气温度与露点温度差为 0.5°C ,为准饱和层,同时该高度的相对湿度为 97%,满足了水汽凝结而成雾的标准,因此可以判定该处有雾发生。同样的,位于黑山岛的探空资料表明,在该站的 69~168 m 附近高度的大气中有海雾的存在。

此外,本文引入海上浮标大气水平能见度数据来验证海雾反演结果的准确性,海上的 10 m 大浮标位于江苏沿岸($121^\circ\text{E}, 34^\circ\text{N}$),其提供了逐时的大气水平能见度数据,其中在 1 月 10 日 10 时(北京时),浮标的大气水平能见度仅为 91 m,结合该时刻的 GOCI 遥感影像,可以发现位于浮标位置(即苏北浅滩海域)该时刻有海雾的出现。在海雾反演结果中,反演结果与 RGB 图像中雾区分布基本一致,且浮标处于雾区中(见图 10)。

为了进一步验证海雾遥感反演算法的稳定性,上述算法被应用于 8 h 长时间序列的反演实验。基于浮

表3 2014年5月23日00时(世界时)大连/白翎岛/黑山岛探空资料

站点	参数	每层数据						
		97	125	798	1 531	3 154	5 830	7 500
大连	高度/m	97	125	798	1 531	3 154	5 830	7 500
	气温/°C	13.6	13.4	25.0	18.8	5.6	-10.5	-22.9
	露点温度/°C	11.8	12.0	-3.0	2.8	-13.4	-33.5	-42.9
	相对湿度/%	89	91	15	34	24	13	14
白翎岛	高度/m	158	320	363	416	460	487	505
	气温/°C	13.6	14.2	14.4	18.4	19.8	20.6	21.1
	露点温度/°C	13.1	11.7	9.8	10.4	10.4	10.4	10.4
	相对湿度/%	97	85	74	60	55	52	50

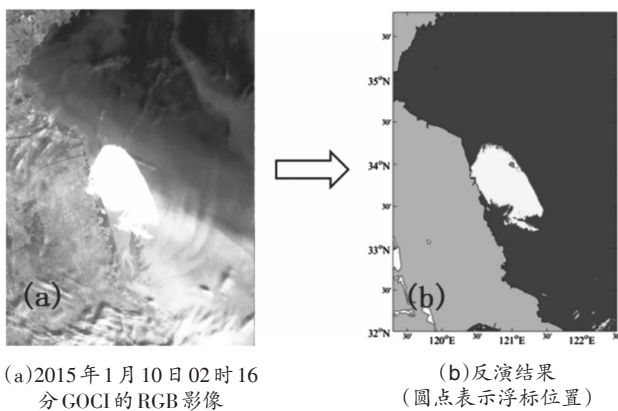


图10 RGB影像及反演(2015)

标能见度 and 相对湿度数据(见表4)以及射阳站探空资料,证实在2015年1月10日在我国江苏省的苏北浅滩附近有一次海雾事件,其完全覆盖GOCI常规运行时间范围。基于上述海雾遥感反演算法,得到了8 h海雾反演结果(见图11)。

结果表明,海雾反演结果与RGB图像中海雾范围有很好的—致性,其中08与09时浮标处于雾区的东北侧,未进入雾区,其能见度保持在4 km左右。而自10时,雾区覆盖浮标所在位置,浮标的能见度数据骤减为91 m,从侧面验证了GOCI反演算法的高精度。同时,GOCI的海雾反演结果能够很好地监测雾区的形状变化以及位置信息变化,说明GOCI在海雾实时监测方面具备潜力。

4 算法精度检验

上述算法验证过程中,仅选取黄海海雾个例并结合当时的探空资料及浮标气象数据逐个进行验

证,结果表明海雾算法结果能够很好地与GOCI遥感影像吻合,但只能定性验证海雾算法的准确性,对于海雾算法的具体精度将在本节进行讨论。

由于在遥感海雾反演的结果验证过程中,很难取得该时间的海上实测资料(大气水平能见度、相对湿度等),而常规的手段为利用沿海测站相近时间的观测资料替代,因此本文选择黄海海域的沿岸气象台站气象资料作为海上实测资料进行算法验证。本文采用MICAPS数据集中成山头2011—2016年的气象数据,使用到的气象参数包括水平能见度、气温和露点温度等。

在MICAPS数据中,每3 h观测一次,因此通过与GOCI可匹配的时间为08、11和14时(北京时),GOCI所有反演结果共计16 400余景,经过与MICAPS匹配后共得到有效数据3 807组。

在《地面气象观测规范》中有具体的规定,水平能见度小于1.0 km时,且相对湿度大于90%的,判定为雾;当水平能见度为1.0~10 km,且相对湿度大于80%时,为轻雾。目前,针对遥感雾监测常用的评价有多个评判指数,主要包括可能成功率POD(Probability of detection, P_{OD})、误判率FAR(False alarm rate, F_{AR})、关键成功率CSI(Critical success index, C_{SI})以及漏判率MDR(Missed detection ratio, M_{DR})等^[15],具体的公式表达为:

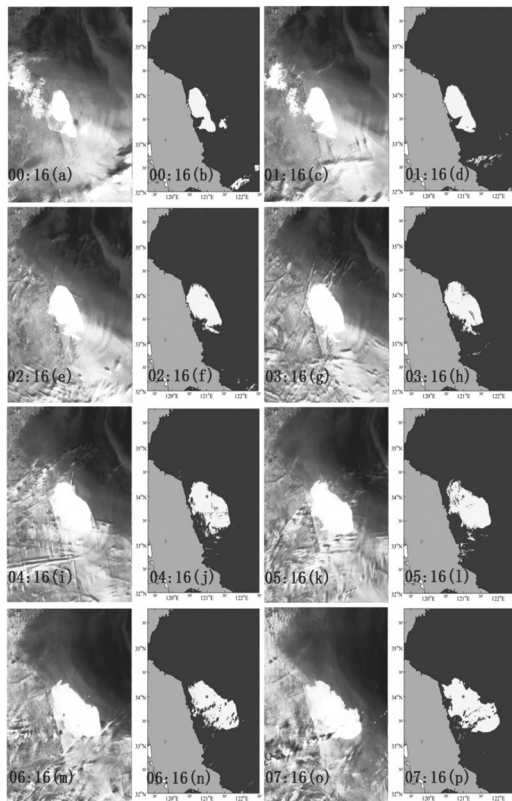
$$P_{OD} = \frac{H}{H + M} \quad (6)$$

$$F_{AR} = \frac{F}{F + H} \quad (7)$$

$$C_{SI} = \frac{H}{H + M + F} \quad (8)$$

表4 2015年1月10日SY浮标能见度数据(北京时)

时间	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
能见度/m	4 625	4 417	91	64	63	59	59	52	47
相对湿度/%	65	67	96	98	99	99	99	99	100



注:圆点表示浮标所在位置。

图11 海雾RGB图像(左)和海雾反演结果(右)

$$M_{DR} = \frac{M}{H+M} \quad (9)$$

式中: H 表示反演结果有雾且地面站有雾(正确数); M 表示反演结果无雾但地面站有雾(漏判数); F 表示反演结果有雾但地面站无雾(错判数),各字母具体的意义如表5所示。

表5 算法与地面检测结果

海雾(算法反演结果)	地面气象站观测结果	
	有雾	无雾
有雾	H (398)	F (104)
无雾	M (153)	Z (3 152)

最终,根据表5内各项统计结果,可以计算得到各项指标数值如下: $P_{00}=72.2\%$, $F_{AR}=20.7\%$, $C_{SI}=60.8\%$, $M_{DR}=27.8\%$ 。误判的情况为地面站无雾而卫星识别成雾,这种情况可能是由于在地面气象站识别为云,但在海表的确是有雾的存在,海雾在延伸到陆地后可能会受地形抬升作用而成为低云。针对漏判的问题在于气象站有雾而卫星识别为晴空,这种情况可能是由于雾的浓度相对较低,卫星可以直接穿透海雾接收到地/海表的反射,或者是由于成山头的海拔高度为47 m,海上的低云到了气象站被判断为雾,而造成漏判。

5 结语

本文旨在基于GOCI的瑞利校正反射率(R_{rc})数据建立适用于黄海的海雾遥感反演提取算法。首先结合海雾的卫星遥感影像特征以及相应的气象参数,确定发生于黄海的海雾个例,初步对不同下垫面(晴空无云海表、中高云、低云和海雾)在 R_{rc} 中表现出的光谱差异进行分析,发现不同的地物表现出不同的光谱特性;其次,收集不同地物的光谱数据集,进行统计归纳,进而尝试不同的波段组合形式建立相关指数并进行阈值设定,得到海雾遥感反演算法,从而将海雾、低云和中高云进行分离,得到提取海雾信息;随后,利用黄海沿岸探空资料数据以及浮标大气能见度数据对反演结果进行验证,结果表明,反演算法能够有效地提取海雾信息;为了验证海雾算法的稳定性,算法被应用到海雾的实时监测实验,结果表明遥感算法的精确性以及对于动态监测的开发潜力;最后,利用成山头气象站多年气象资料计算多种统计指标,对海雾算法进行精度评估。本算法仍存在的不足,包括由于无法穿透中高云,不能识别中高云覆盖下的海面信息,同时对于高浑浊水体的误判仍有待改善,对于海雾区域的边缘处理需要解决。以上不足,为改进算法并提高海雾监测精度提供了后续研究方向。

参考文献

- [1]王彬华.海雾[M].北京:海洋出版社,1983.
- [2]王鑫.黄海海雾形成的气候特征以及能见度分析[D].青岛:中国海洋大学,2004.
- [3]曲平,解以扬,刘丽丽,等.1988—2010年渤海湾海雾特征分析[J].高原气象,2014(1):285-293.
- [4]ZHANG S P, YI L. A comprehensive dynamic threshold algorithm for daytime sea fog retrieval over the Chinese adjacent seas[J]. Pure and Applied Geophysics, 2013(11):1931-1944.
- [5]孙安健.海雾概论[M].北京:气象出版社,1985.
- [6]RYU J H, HAN H J, CHO S, et al. Overview of geostationary ocean color imager (GOCI) and GOCI data processing system (GDPS)[J].Ocean Science Journal, 2012(3):223-233.
- [7]LIU K N.大气辐射导论[M].郭彩丽,周诗健,译.北京:气象出版社,2004.
- [8]MIE G.Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen[J].Annalen Der Physik, 1908(3):377-445.
- [9]陈林,牛生杰,仲凌志.MODIS监测雾的方法及分析[J].南京气象学院学报,2006(4):448-454.
- [10]李子华.中国近40年来雾的研究[J].气象学报,2001(5):616-624.
- [11]盛裴轩.大气物理学[M].北京:北京大学出版社,2003.

(下转第42页)

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《教育信息化“十三五”规划》的通知[EB/OL]. (2016-06-17)[2021-03-17]. https://www.ict.edu.cn/laws/new/n20160617_34574.shtml.
- [2] 曾明星, 周清平, 蔡国民, 等. 基于MOOC的翻转课堂教学模式研究[J]. 中国电化教育, 2015(4): 102-108.

- [3] 王玉生, 宋晓燕, 张天杰. 线上线下结合的教学模式探索[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2019(3): 39-42.
- [4] 虞满华, 祁国凤, 孙丽. 基于“翻转课堂”的混合式教学模式在思政课中的应用[J]. 鸡西大学学报, 2015(11): 7-10.

(编辑 姚鑫)

Teaching reform practice of “Graphic Design” under mixed teaching mode

Huang Wanlin

(Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China)

Abstract: Education informationization has promoted the reform of higher vocational education idea. Project teaching is to penetrate the course content into the relatively independent teaching projects so that students can master the basic knowledge of the course in the process of practice, and find out problems. The main purpose of the inversion class is to make teachers answer students' questions and solve their puzzles. This paper explores the teaching reform of “Graphic Design” under the mixed teaching mode by combining the above two factors with the help of the network platform of You Massive Open Online Courses.

Key words: project teaching; inversion class; “Graphic Design”; mixed teaching mode

(上接第35页)

- [12] 胡静雯, 陈树果, 张亭禄, 等. 利用MODIS卫星遥感数据监测东中国海浊度的时空分布[J]. 海洋环境科学, 2015(4): 564-569.
- [13] QIU Z F, ZHENG L F, ZHOU Y, et al. Innovative GOCI algorithm to derive turbidity in highly turbid waters: a case study in the Zhejiang coastal area [J]. Optics Express, 2015(19): A1179-A1193.
- [14] 王以琳, 王俊, 龚佃利. 江淮气旋和冷锋相结合天

气过程的宏、微观结构分析[J]. 应用气象学报, 2001(z1): 30-38.

[15] PAVOLONIS M. GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) algorithm theoretical basis document for volcanic ash (detection and height) [R]. Center for Satellite Applications and Research, College Park, MD, 2010.

(编辑 傅金睿)

Remote sensing analysis of daytime sea fog in the Yellow Sea based on geostationary aquatic satellite

Yuan Yibo

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: Sea fog remote sensing detection has important scientific significance and application value in the development, operation and maintenance of offshore wind power. Based on GOCI (Geostationary ocean color imager) satellite remote sensing data, a remote sensing retrieval algorithm for daytime sea fog in the Yellow Sea is established. The inversion results are verified by using sounding data, buoy data and coastal meteorological data. The results show that the remote sensing algorithm has good stability and development potential for dynamic monitoring. Using the meteorological data of Chengshantou meteorological station for many years to calculate various statistical indices, the accuracy of sea fog algorithm is evaluated, and the accuracy is 72.2%.

Key words: GOCI; sea fog of the Yellow Sea; remote sensing inversion