

# 海面大气和海洋条件变化引起的太阳辐照度高频变化分析\*

赵进平, 王维波, 矫玉田

(中国海洋大学极地海洋过程与全球海洋变化重点实验室, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 海洋光学考察时需要同步测量大气中的下行太阳辐照度,其测量采样频率比常规大气辐射观测高300倍,可记录到达海面太阳辐射的高频变化。利用2007年在白令海考察的数据,详细研究了辐照度高频变化的特征与原因,得出影响辐照度记录的主要因素有云层、海雾和海浪。结果表明,这3种因素的影响有明显的差别,使作者有可能在不确切知道现场情况的条件下,由数据本身判断辐照度变化的原因,并获取有关的参数。云层引起的辐照度变化具有低频率、大振幅的特征。海雾引起的辐照度变化最为复杂,变化幅度大,变化周期复杂,从几秒到上百秒,与云层效应相区别。晴空条件下,海浪调制的反射信号通过空气中的水汽散射影响辐照度计测量数值,形成周期短、振幅小的稳定振动信号,与云和雾的效应有明显区别。文中提供了云、雾和浪对辐照度影响的定性特征和定量分析结果,对理解海面辐照度记录,并正确处理数据有指导意义。

**关键词:** 下行辐照度; 海洋光学; 云; 雾; 海浪

**中图分类号:** P422.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-5174(2010)04-001-08

在北极地区开展的大气辐射观测计划(ARM)对北极进行了长时间的辐射观测<sup>[1]</sup>,研究云和雾对太阳辐射的影响。近年来,北极的云量减少导致到达海面的太阳辐射增加,是北极快速变化的主要原因之一<sup>[2]</sup>。下行辐照度是观测短波辐射强度的主要物理量,用 $E_{d0}$ 表示,单位为 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ <sup>[3]</sup>。下行辐照度的观测记录了穿过大气层的太阳辐射,反映了大气层内影响太阳辐射传输的各种物质的信息<sup>[4-5]</sup>。下行辐照度直接关系到进入海洋的太阳辐射,用以订正水下光学观测数据<sup>[6]</sup>。在海冰观测中,下行辐照度的观测涉及到海冰对太阳辐射能的吸收<sup>[7-8]</sup>。因此,对下行辐照度的测量是大气和海洋研究的重要手段<sup>[9]</sup>。

对太阳辐射的观测采用的时间间隔一般在1 min,体现辐射强度的较低频变化<sup>[10]</sup>。而几秒到几十秒时间尺度的高频变化往往被视为干扰或噪声,要在数据处理时予以滤除。在海洋光学观测中,通常要同步测量到达海面的辐照度,其变化将引起水下辐照度的同步变化,由于海洋光学观测时仪器在垂直方向上下移动,需要较高频率的测量采样才能体现下行辐照度随深度变化的信息,采样频率通常不低于5 Hz。因此,同步进行的太阳辐射观测也需要采用同样的采样频率,使我们得以获取高频率的太阳辐射数据,是常规辐射观测

采样频率的300倍。由于这些信息复杂多变,各种因素的影响掺杂在一起难以分离,通常被作为噪声予以滤除<sup>[11]</sup>。迄今作者还没有看到用辐照度高频变化的研究成果。

作者的观测表明,下行辐照度的高频变化信息至少有以下2个方面的重要价值:第一,下行辐照度的变化是海洋或大气条件变化的结果,成为对环境条件的1种特殊的遥感数据,可以反映大气云雾和颗粒性物质对辐照度的影响<sup>[12]</sup>,在海面观测还可以体现海面反射辐射的变化对大气散射光的影响<sup>[11]</sup>,成为了解海洋和大气状况的重要手段;第二,下行辐照度的高频变化有时并不能有效地滤除,会影响海水光学特性的计算;需要了解下行辐照度变化的原因,以保证对水下数据订正的可靠性。

上述2方面的价值都涉及对辐照度变化原因的认识。虽然在现场考察时尽量记录各种环境参数,但是,辐照度变化的原因往往不能被准确记录清楚,也难以被未到过现场的人准确了解,最好的办法是从数据本身来提取导致辐照度变化的因素。因此,在对辐照度高频变化观测时,同步观察导致高频变化的因素,先验地确立辐照度变化与大气海洋变化的关系,将为直接从观测数据解读下行太阳辐射的高频变化原因创造条件。

\* 基金项目:国家自然科学基金委员会重点项目(40631006)资助  
收稿日期:2009-09-30;修订日期:2009-12-03  
作者简介:赵进平(1954-),男,教授,博导。E-mail:jpzhaou@ouc.edu.cn

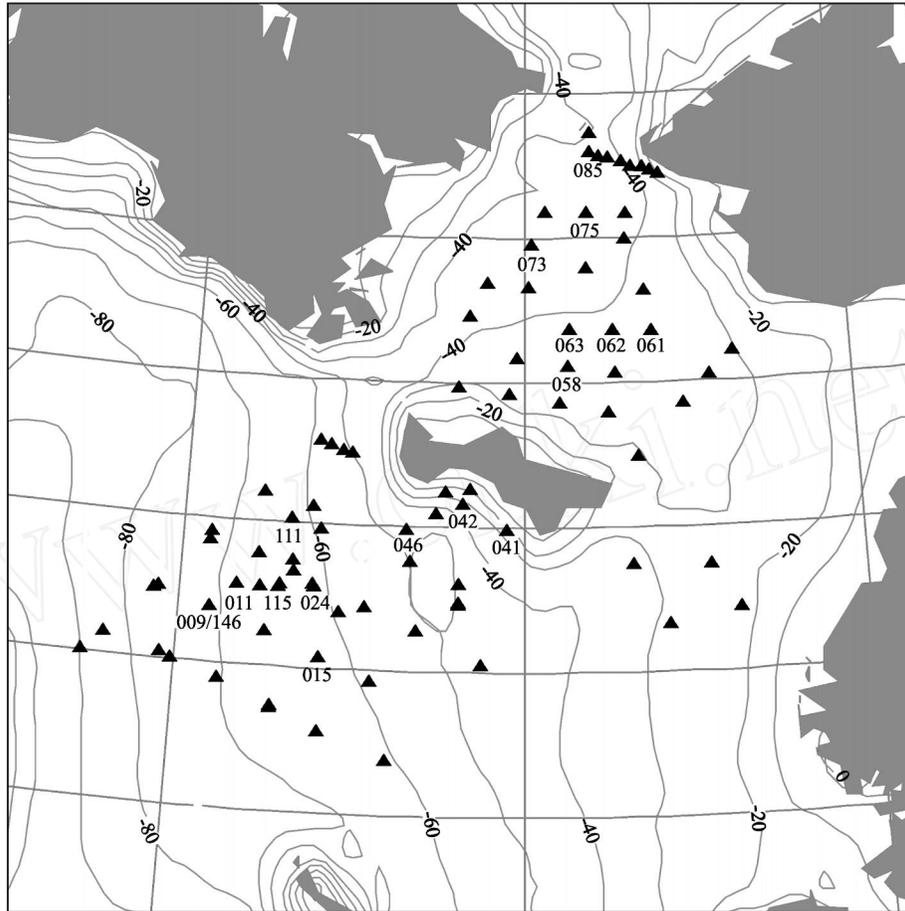


图1 2007年白令海考察站位图  
Fig.1 Stations for Bering Sea expedition in 2007

作者在2007年5月16日~6月18日参加了美国的白令海科学考察,同步进行了海洋光学观测和下行太阳辐射的观测,记录了观测期间太阳辐射的变化。考察期间同时详细观察了高云、低云、浓雾、湿度、波浪、海冰等各种大气与海洋状况,建立了下行太阳辐射度的变化与环境变化的对应关系。该航次考察站位如图1中三角符号所示,其中,大部分站位是晴空或有很厚的云层,没有特殊的表面辐射度信号。少部分站位观测到表面辐射度的高频变化,本文使用的站位数据在图中标明站号。

采用的仪器是美国BIO公司生产的PRR-800/810系统,仪器设定为每0.2s输出1个结果,记录了各种大气和海洋条件下行辐射度的高频变化。仪器为多光谱仪器,共有18个频段:313,340,412,443,465,490,510,532,555,565,589,625,665,683,710,765,780和875nm,覆盖了从紫外到红外的很宽的光谱范围。

本文应用考察获得的下行辐射度记录和详细的大气和海洋观测信息,分析了由云、雾、涌浪和其他原因引起的下行辐射度高频变化。观察结果有利于将下行辐射度变化与变化的原因建立联系,并从辐射度数据中确定这些原因导致辐射度变化的强度和周期。

### 1 云层厚度不均匀引起的 $E_{d0}$ 高频变化

晴空条件下太阳辐射强度的变化主要是太阳高度

变化引起的,在观测期间体现为递增或递减的倾斜变化趋势,图2是太阳高度逐渐变低时辐照度时间变化的基础形式。在实际观测中,这样规则的记录并不多,而较多的是以各种频率变化的辐照度。云层厚度是引起辐照度变化的原因之一。由于下行辐射度在各个频段都有相似的变化,本文在图中用412,555和875nm 3个波长来表达观测结果。

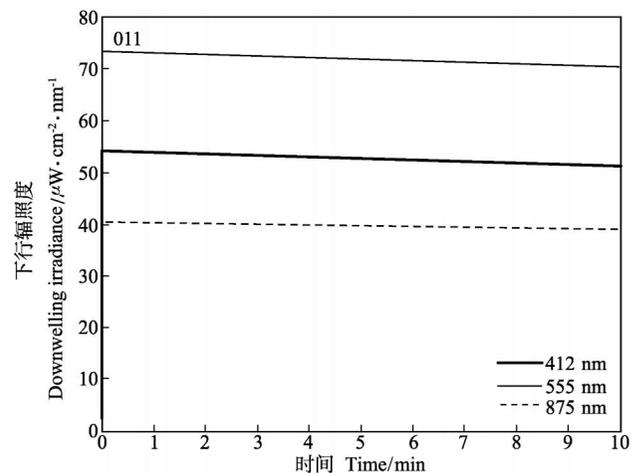


图2 晴空测站辐照度观测记录  
Fig.2 Irradiance record in general for clear sky

均匀厚度的云并不引起辐照度的变化,与晴空状况下相似。而薄云常常由于透过部分太阳辐射而导致太阳辐射量的变化。云层引起的辐照度变化取决于云层厚度的分布和漂移速度。由于云层高,掠过观测仪

器的速度较慢,引起辐照度的高频变化总是发生在较低的频率范围内。图3给出了云层引起下行辐照度变化的例子。

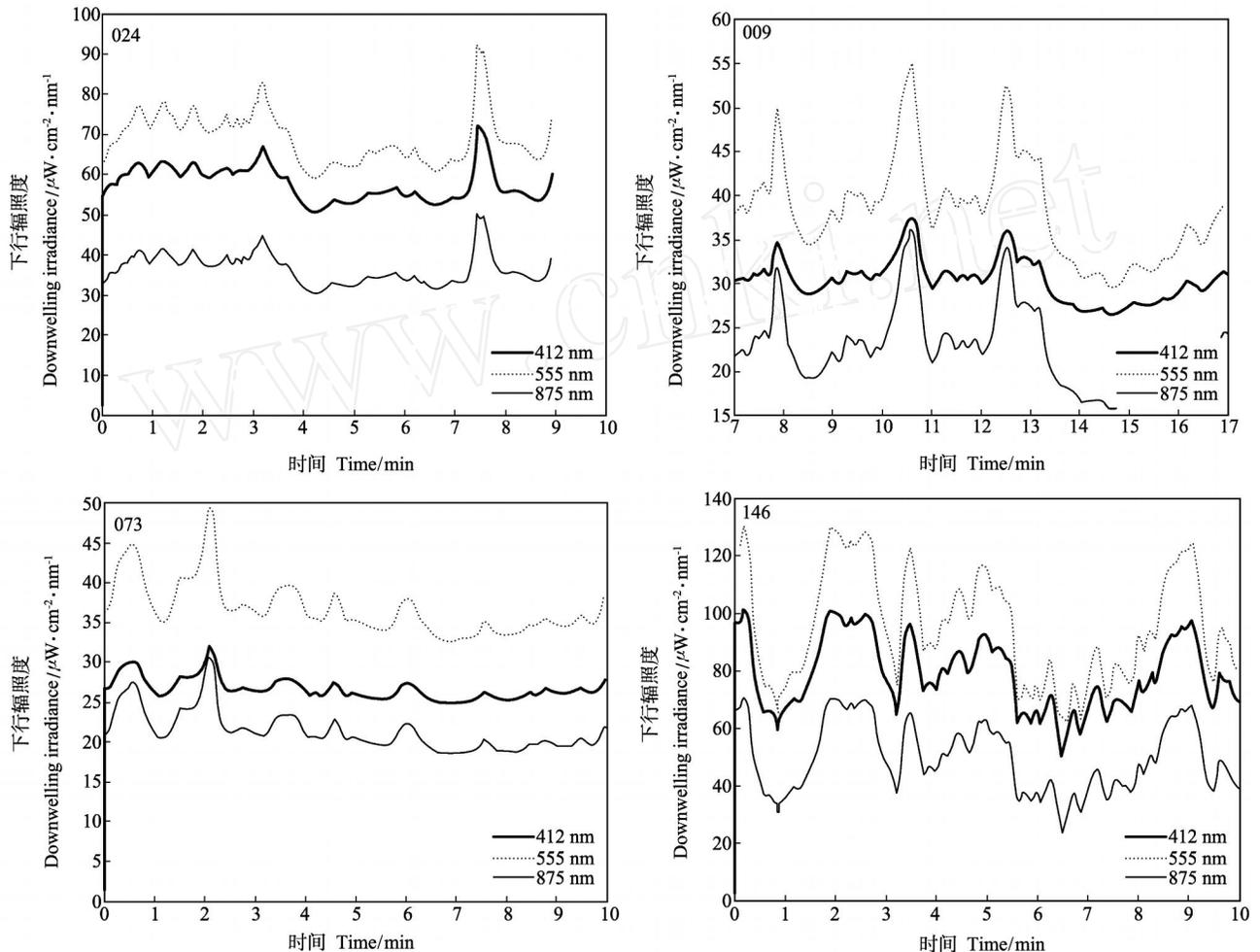


图3 云层对下行辐照度的影响

Fig. 3 Influence of cloud on the irradiance

云层引起的典型变化如图3的024站所示,这种情况经常被观测到。由于云层的厚度不均匀,引起的辐射量变化有较大的起伏。变化的频率取决于云的移动速度。由图3可以看出,各个频段的辐照度量值不同,但周期变化几乎相同,因此以555 nm频段的数据为代表,采用谱分析方法计算辐照度变化周期和振幅。云层引起的辐照度变化有多个周期,主要的是59,89和133 s,振幅在 $0.37 \sim 0.99 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,体现了云层引起变化的低频率、大振幅的特点。图3的009站是在晴空条件下观测时一片厚度不均匀的云遮挡了太阳,太阳辐射量发生了显著的不均匀变化,变化振幅达到 $0.23 \sim 0.41 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,主要变化周期有55,65,79和138 s。同时,伴随有云的不均匀性引起的小振幅的高频变化。图3的073站也是云层厚度不均匀引起的变化,主要变化周期有47和86 s,振幅在

$0.16 \sim 0.32 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 之间。图3的146站是晴空,观测期间有薄云经过,引起辐照度的剧烈变化。比较明显的周期分布在45~75 s和188~377 s范围内,变化幅度达到 $1.0 \sim 1.79 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 。

可见,云层的影响具有振幅大、周期长的特点,在数据处理中比较容易由数据本身识别。辐照度的变化体现了云层厚度的变化,是理解不同云层厚度特征的重要信息,通过标定可以与云层的厚度参数建立联系。

## 2 海雾引起的 $E_{d0}$ 高频变化

如果雾的浓度很大,以至于不能透过直射光,引起的光的变化幅度则很小。但是,当海雾有一定透光度,能隐约看到太阳的时候,海雾浓度的变化会引起太阳辐射量的大幅度高频变化。图4是各种海雾影响情况下的下行辐照度记录。

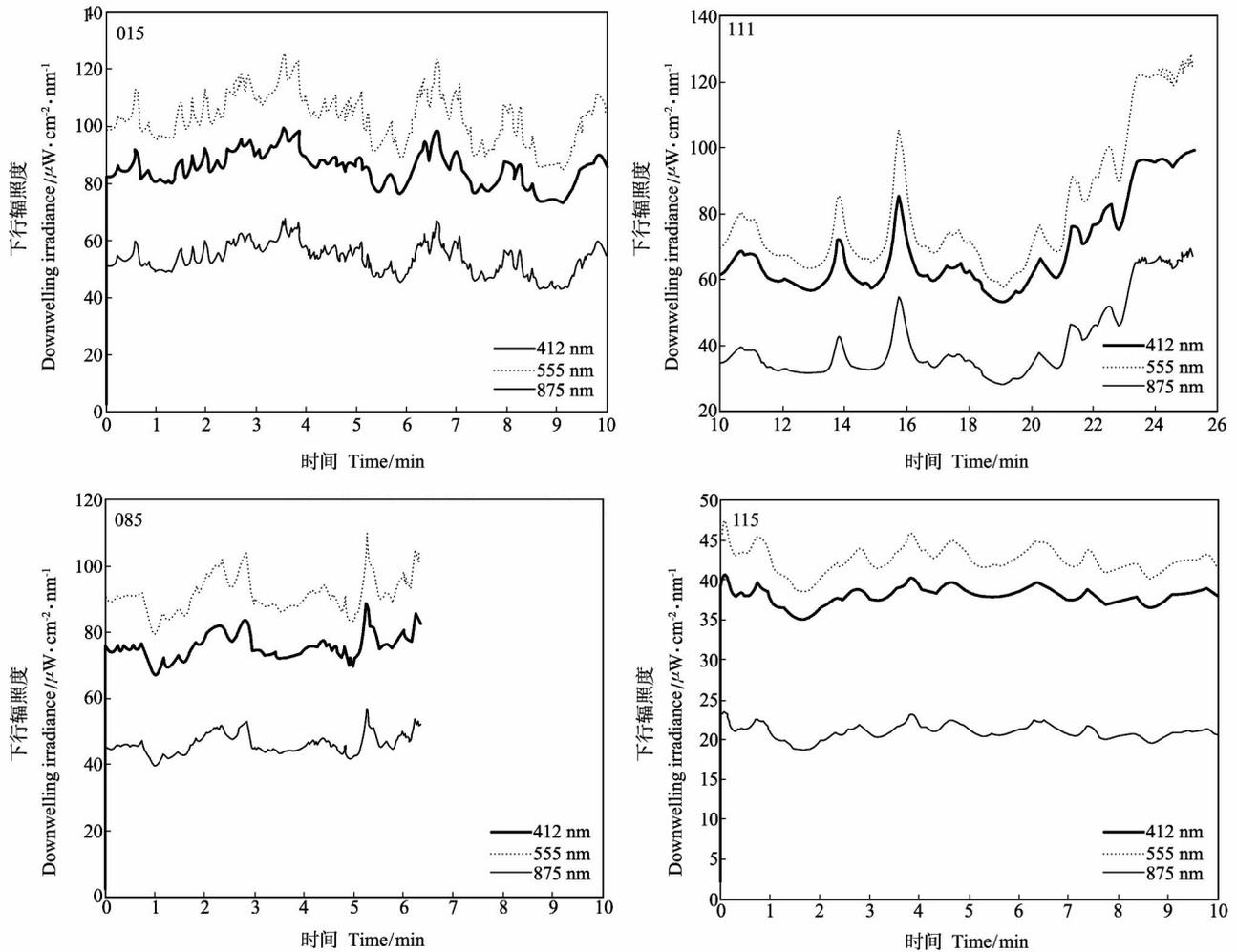


图4 海雾引起的下行辐照度的变化

Fig. 4 Influence of fog on the irradiance

图4的015站观测时是可见日光的有雾天气,辐照度出现高频变化,变化周期主要是46和87 s,还有更高频的变化。变化的振幅在 $0.16 \sim 0.32 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 之间。这种海雾是低雾,掠过仪器的速度比高云快得多,引起的辐照度变化具有明显的高频特性。而且由于雾有很大的不均匀性,可以引起的辐照度振幅的明显变化。图4的111站也是低雾,刚开始时雾浓度很大,在观测期间随着雾团移动,雾的浓度迅速减小。浓雾阶段变化频率较低,后期出现了高频变化,主要变化周期在56,76,95 s之间,高频部分振幅在 $0.38 \sim 0.55 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 之间。图4的085站观测期间雾浓度没有明显变化,振幅在 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 之间,主要变化周期有19,29,50和126 s,以及更高频率的振荡。图4的115站是太阳在相对稳定的雾中忽隐忽现的情形,由于其变化是由雾浓度变化引起的,因而周期较长,显著周期在68和117 s,变化幅度为 $0.11 \sim 0.20 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 。

由上述例子可见,雾对光场的影响最为显著,变化的幅度很大,经常可以达到 $1 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 以上;雾的变化周期范围也很大,从几秒到100 s。雾引起的高频、多频和大振幅变化特性是与云层的影响相区别的主要特征。然而,有时云和雾引起的辐照度变化是难以区分的,尤其是有雾时辐照度以比较低的频率发生变化时与低云的情况接近<sup>[13]</sup>。

### 3 海浪引起的 $E_{d0}$ 高频变化

一般情况下,下行太阳辐射不受地表因素的影响,或者即使受到影响也难以区分。但是,由于海面存在快速变化的海浪,太阳直射的光线照射到海面上发生反射,反射的光线受到海浪的调制,返回空气中后受到空气中粒子的散射,在辐照度观测仪器的信号中得到反映。图5中给出了几个测站的海浪信号情况。

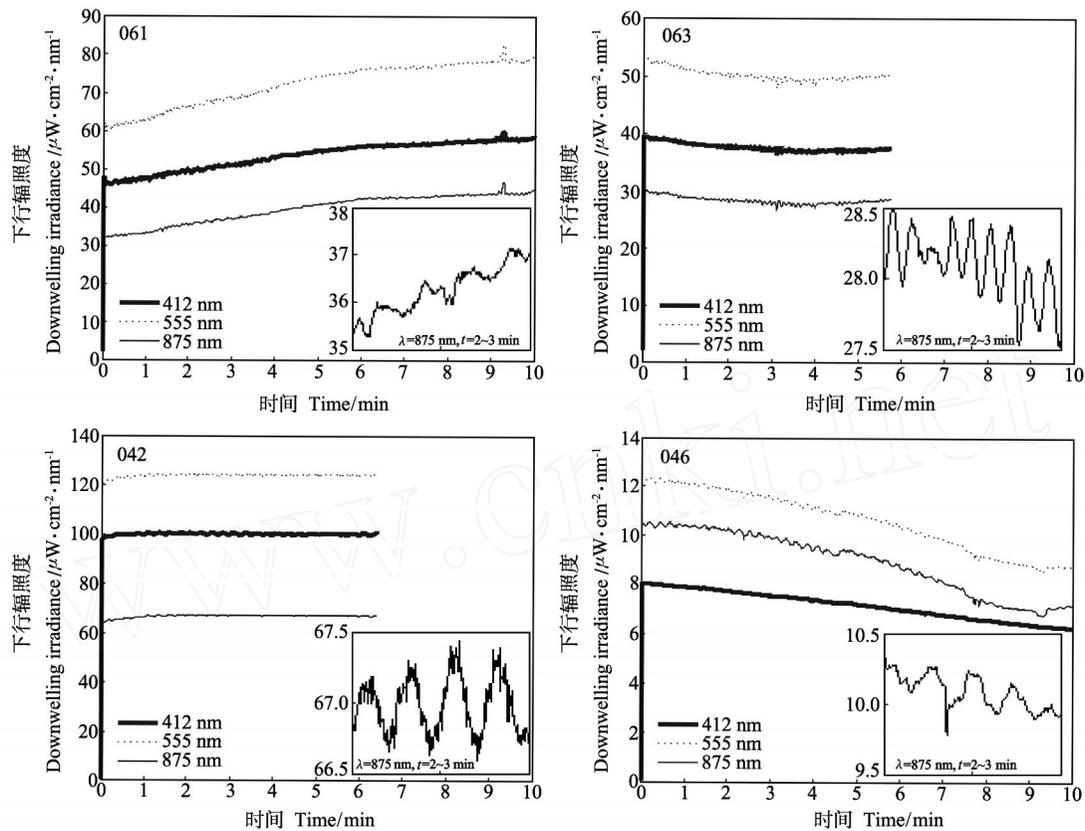


图 5 海浪引起的辐照度微小振动信号

Fig. 5 Vibration of the irradiance caused by ocean waves

图 5 的 061 站辐射量发生微小变化,变化的幅度很小,只有  $0.03 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,周期为  $5.8 \sim 6.7 \text{ s}$ ,以及  $15 \sim 30 \text{ s}$ 。当时天空中没有云雾,光线很好,但海面粗糙,海况达到 4 级,风速  $16 \text{ m/s}$ 。本文观察了海浪的周期,平均周期与辐射量扰动的周期吻合,可以确信是涌浪引起的光场扰动。图 5 的 063 站也是涌浪引起的微小扰动,波动均匀,振幅只有  $0.02 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,周期为  $6.5 \text{ s}$ 。当时的风速  $15 \text{ m/s}$ ,海况 3 级。图 5 的 042 和 046 也是晴空条件,主要周期很单纯,分别为 14 和 16 s 存在涌浪引起的高频扰动。

浮标监测数据表明,在波高不大的时候,白令海的海浪周期在  $6.1 \text{ s}$  左右<sup>[14]</sup>。在高风速的情况下可以达到  $16.7 \text{ s}$ <sup>[15]</sup>。作者观测的辐照度变化周期与白令海海浪的观测数据很好地一致<sup>[16]</sup>。由于本文主要研究下行辐照度中的海浪信号,因此不对海浪的时空特性展开研究。

虽然作者在多个测站获得海浪对辐照度影响的记

录,但是,海浪并不一定对辐照度产生影响,海浪引起的光场扰动要在特定的条件下才能观测到:需要晴空,光线良好,而且要面向光线观测。还有一个很重要的因素是大气中的水汽含量。大气对短波辐射是透明的,即使从海浪反射的太阳辐射包含海浪的调制信息,反射回大气后将直接返回太空。大气中能够散射这种反射辐射的主要因素是水汽。从表 1 可见,发生海浪对辐照度影响的站位都具有“晴空 + 高湿度”的特征。因此,水汽含量是产生海浪效应的重要媒质。

光场受到海浪扰动的这个特性有潜在的应用价值,表明光学测量信息有可能成为海浪的遥感数据,用来提取海浪周期分布,并且根据海浪谱计算海浪的有效波高等其他海浪参数。近年来,卫星遥感可以准确获取海浪的有效波高<sup>[17]</sup>,但是,对海浪的周期还不能准确观测到。如果光学观测能够观测到海浪的周期,将成为 1 种简便、易行的观测手段。

表1 本文所用辐照度变化观测的主要参数

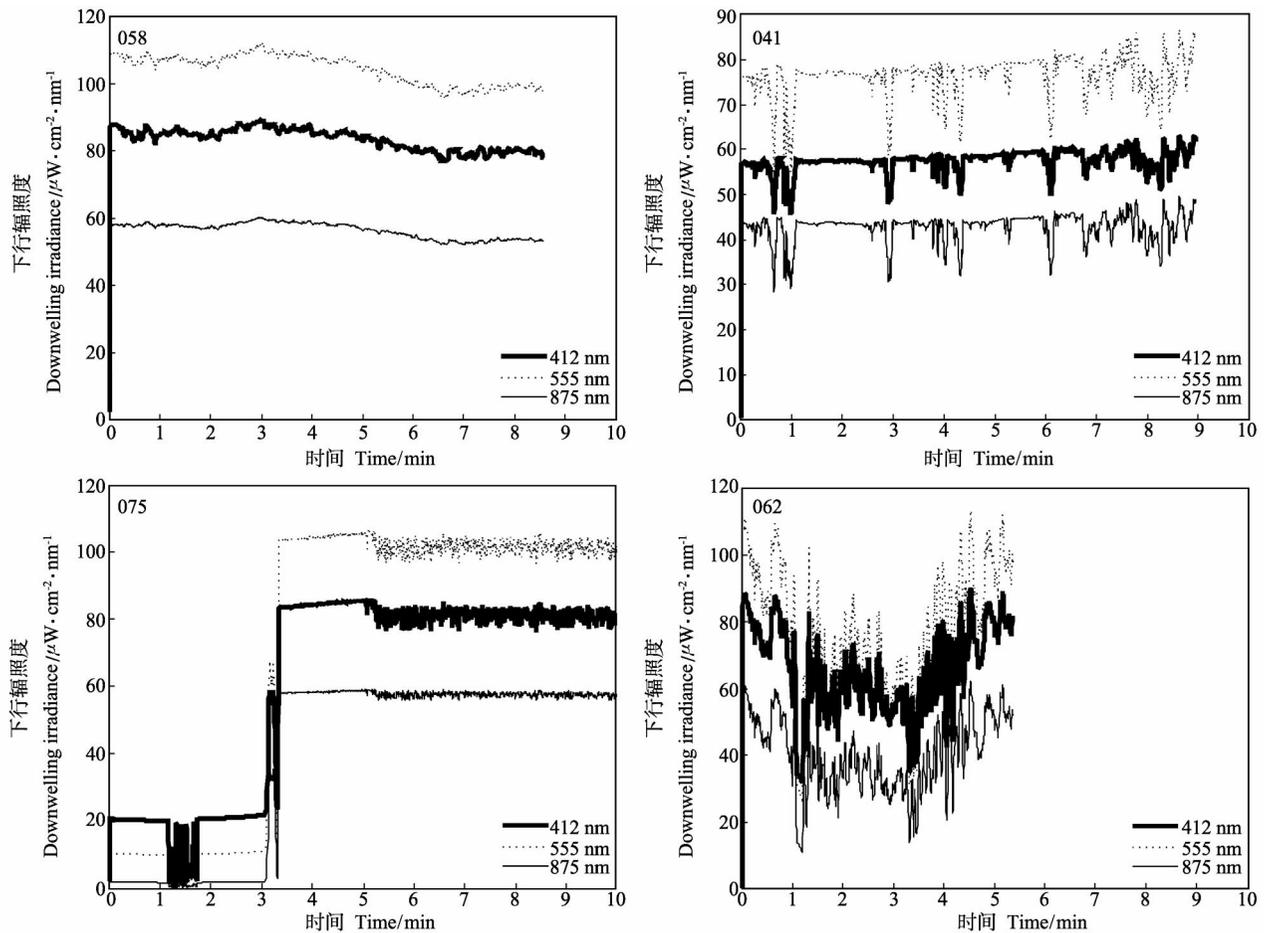
Table 1 Main variation parameters of the irradiance quoted in this paper

影响要素	站号	日期	主周期/s	振幅/ $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	湿度	纬度	经度
Effecting factor	Station	Time	Primary period	Amplitude	Wind speed	Humidity	Latitude	Longitude
云层 Cloud	024	5~23	59~133	0.37~0.99	10.5	55	62°34.80' N	173°05.190' W
	009	5~20	55~138	0.23~0.41	9.5	7	62°23.26' N	174°33.21' W
	073	6~02	47~86	0.16~0.32	0.7	85	64°57.25' N	169°53.42' W
	146	6~12	45~137	1.0~1.79	15.6	7	62°22.94' N	174°32.19' W
海雾 Sea fog	015	5~21	46~87	0.16~0.32	5.9	59	62°05.00' N	172°56.52' W
	111	6~06	56~95	0.38~0.55	6.9	88	63°01.56' N	173°26.49' W
	085	6~03	19~126	0.21~0.51	9.4	82	65°35.74' N	168°57.04' W
海浪 Sea wave	115	6~07	68~117	0.11~0.21	11.4	91	62°33.60' N	173°34.67' W
	061	5~30	15~30	0.03	16.0	-	64°21.77' N	168°01.97' W
	063	5~30	6.5	0.02	15.1	92	64°23.41' N	169°17.77' W
	042	5~27	14.0	0.04	4.2	74	63°10.31' N	170°54.64' W
	046	5~27	16.0	0.01	4.1	72	62°59.26' N	171°43.69' W
其他 Others	058	5~29	11~73	0.12	1.4	73	64°07.58' N	169°20.69' W
	041	5~27		10.0	20.5	97	62°59.72' N	170°15.61' W
	075	6~02		3~5	8.9	70	65°10.42' N	169°02.07' W
	062	5~30		3~5	21.4	68	64°21.60' N	168°39.35' W

4 其他因素引起的  $E_{d0}$  高频变化

除了云层、海雾和波浪可能引起辐照度的高频变

化之外,还有一些其他因素也可能引起辐照度的变化。下面给出若干例子,以体现相关的辐照度特征,便于在数据分析时加以判别。



((a) 日晕 + 海浪引起的变化; (b) 太阳耀斑引起的变化; (c) 和 (d) 船只蒸汽引起的变化。)

图6 其他因素引起的辐照度高频变化

Fig. 6 The high-frequency variation of the irradiance caused by (a) the solar halo and sea wave; (b) flare on the sea surface; (c) and (d) the steam from the ship

图 6 的 058 站为少见的晴空,光线非常好,但是太阳发生日晕,产生环绕太阳的光环。当时海面平静,只有微小缓慢的起伏,日晕在平静的海面上形成投影。辐照度高频变化的幅度为  $0.12 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,周期为 11, 19 和 73 s。这个记录反映了 2 方面的信息,其中低频变化部分是日晕所致,高频变化部分是海上微小的涌浪所致。

图 6 的 041 站是典型的海面太阳耀斑形成的扰动。当时阳光明亮,没有云雾因素,大风骤起,风浪还没有形成,光滑的海面处于混乱的起伏状况,形成大量闪烁的太阳耀斑。这种耀斑状的反射信号反射回大气,强烈地影响到辐照度计接收的信号,信号变化的幅度为  $10 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$  左右,在 8 min 的观测时间里,有 10 余个低谷值。从图中可见,耀斑的强反射并没有增加辐照度,而是导致了许多的辐照度的低谷,其物理机制还不清楚。

图 6 的 075 站的辐照度高频变化很特殊。当时是晴空,船只正在转向以面对光线。在船只转向一段时间后发生非常高频的变化,变化幅度在  $3 \sim 5 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$  范围内,与云、雾和浪的影响显著不同。当时的光向约  $210^\circ$ ,船首向  $120^\circ$ ,而风向为  $120^\circ$ ,作者估计,是船上发动机排出的烟气所致,烟气飘向辐照度计的上方,会引起辐照度的高频变化。图 6 的 062 站的情况类似,表面仪器处于船舶蒸汽的下游,导致辐照度的显著高频变化。这种情况需要我们在观测中留意并尽量避免发生。

按照观测规范的要求,这几种条件下记录的海洋数据是不能使用的。但是,空气中的辐照度计记录了下行辐照度变化,成为 1 种重要的信息源,使人们了解辐照度发生的变化,避免在数据分析中产生错误。

## 5 结果与讨论

在海洋光学考察中,需要使用辐照度计观测海表面的下行辐照度。由于海洋观测时进行的辐照度观测采样频率比大气辐射观测采样频率高 300 倍,可以记录到达海面太阳辐射的高频变化。本项研究利用 2007 年 5~6 月在白令海的现场考察数据,详细研究了在定点站位观测时观测到的辐照度变化状况,与现场环境记录进行对比,得出引起辐照度高频变化的主要因素有云、海雾和海浪,并通过谱分析方法对下行辐照度的变化特征进行了定量计算(见表 1)。由于这 3 种因素引起的辐照度变化有明显的差别,使作者有可能在不确切知道现场情况的条件下判断引起辐照度变化的原因,以利于对观测结果的正确理解和对数据的可靠处理。

云层引起的辐照度变化主要发生在云层稀薄和浓

度不均匀情形。由于云层较高,移动的速度较慢,其特征是低频率、大振幅。虽然有时云层也会形成急剧的变化,但通过谱分析仍然可以看到其以较低频率为主的特征。观测记录的辐照度幅度变化可以用来了解云层厚度的差异。

海雾引起的辐照度变化发生在雾比较稀薄的情况下。由于海雾高度低,有时甚至围绕着船,导致的辐照度变化特征是变化幅度大,变化周期复杂,从几秒到上百秒。雾的影响往往比云的影响包含更为复杂的周期成分,据此可以试图区分云或雾的影响。有时云和雾引起的辐照度变化仅从数据本身是难以区分的。

在晴空下,海浪也是影响辐照度观测结果的主要因素。太阳直接辐射在海面反射,受到海浪的调制,反射回的信号会散射到辐照度计中,形成微小的、稳定的振动信号,具有周期短、振幅小的变化特征,与云和雾的效应有明显区别。研究表明,海浪效应与近海面大气的湿度有很大的关系,只有空气比较潮湿的条件下辐照度计才会接收到海面散射引起的海浪信号。有云的时候天空中只有散射光,不产生辐照度的海浪效应。

本文的结果利用的是白令海的观测数据,在其他海域的适用性还需要更多的观测来证实。本文采用下行辐照度的数据并不是研究太阳辐射的强度本身,而是研究大气和海洋的环境因素,包括云、雾和海浪对辐照度记录的影响,从而提取这些因素的定性分析和定量计算结果,对理解海面辐照度变化的机理,并正确处理数据有指导意义。同时,需要进一步开展与云、雾和浪的同步观测,使辐照度的高频记录与环境参数建立直接的定量关系。

致谢:感谢美国马里兰州立大学 Jackie Grabmiere 博士支持我们参加白令海考察,感谢美国 Healy 号破冰船船长和全体船员的支持与协助。

## 参考文献:

- [1] Stokes G M, Schwartz S E. The atmospheric radiation measurement (ARM) program: Programmatic background and design of the cloud and radiation test bed [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1994, 75(7): 1201-1221.
- [2] Kay J E, Ecuyer T L, Gettelman A, et al. The contribution of cloud and radiation anomalies to the 2007 Arctic sea ice extent minimum [J]. *Geophys Res Lett*, 2008, 35: L08503.
- [3] Mobley C D. *Light and water: Radiative transfer in natural waters* [R]. San Diego: Academic Press, 1994: 592.
- [4] Delene D J, Ogren J A. Variability of aerosol optical properties at four North American surface monitoring Sites [J]. *J Atmos Sci*, 2002: 59, 1135-1150.
- [5] Waggoner A P, Weiss R E, Ahlquist N C, et al. Optical characteristics of atmospheric aerosols [J]. *Atmospheric Environment*,

- 1981, 15(10-11): 1891-1909.
- [6] Mueller J L, Fargion G S. Ocean optics protocols for SeaWiFS validation, revision 4. NASA/TM-2003-21621 [M]. Greenbelt, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center, 2003: 308.
- [7] 赵进平, 李涛, 张树刚, 等. 北冰洋中央密集冰区海冰对太阳短波辐射能吸收的观测研究 [J]. 地球科学进展, 2009, 24(1): 34-42.
- [8] 曲平, 赵进平, 李淑江, 等. 渤海海冰中太阳辐射的光谱特征观测研究 [J]. 海洋学报, 2009, 31(1): 37-43.
- [9] Bond N A, Adams J M. Atmospheric forcing of the southeast Bering Sea Shelf during 1995-99 in the context of a 40-year historical record [J]. Deep-Sea Research, 2002, 49: 5869-5887.
- [10] 卞林根, 陆龙骅, 张占海, 等. 北冰洋浮冰站大气边界层结构的观测研究 [J]. 极地研究, 2006, 18(2): 87-97.
- [11] Børgesen S, Ehn J, Babin M. Impact of sea ice on the retrieval of water-leaving reflectance, chlorophyll a concentration and inherent optical properties from satellite ocean color data [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 111: 51-68.
- [12] Cess R D, Zhang M H, Minnis P, et al. Absorption of solar radiation by clouds: Observations versus models [J]. Science, 1995, 267(5197): 496-499.
- [13] Dickson D R, Hales J V. Computation of visual range in fog and low clouds [J]. Journal of Applied Meteorology, 1963, 2(2): 281-285.
- [14] <http://www.wunderground.com/MAR/buoy/46035.html>
- [15] Hsu S A, Blanchard B W. Characteristics of wind-wave interaction during an intense extratropical cyclogenesis [J]. Journal of Coastal Research, 2007, 23(5): 1287-1291.
- [16] Jin D J, Herrin E. Surface wave studies of the Bering Sea and Alaska area [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1980, 70(6): 2117-2144.
- [17] Heron S F, Heron M L. A comparison of algorithms for extracting significant wave height from HF radar ocean backscatter spectra [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1998, 15(5): 1157-1163.

## Analysis for the High-Frequency Variation of the Downwelling Irradiance Caused by Different Atmosphere and Sea Surface Condition

ZHAO Jin-Ping, WANG Wei-Bo, JIAO Yu-Tian

(Key Lab for Polar Oceanography and Global Ocean Chang, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** The downwelling irradiance at the sea surface and some factors are simultaneously measured during the marine optical observation with much higher sampling rate of 0.2 s, which is benefit to study the high-frequency variation in the irradiance record. The data obtained by the authors in Bering Sea of 2007 spring is used to analyze main factors causing the high-frequency variation of the irradiance. The influences of cloud, fog, and sea wave on the irradiance are distinguishable from our data itself. It thus is possible for us to judge and calculate the impact from different factors without detailed *in situ* information. The variations of irradiance by the cloud are usually with lower frequency and higher amplitude. Whereas those caused by fog express complex variation with higher amplitude and varying periods from several to a hundred seconds. The complexity is useful to distinguish fog influence from that of cloud. Under the clear sky condition, the steady incident solar radiation is reflected at the sea surface, modulated by the wave oscillation, and then scattered from the particles in the air to the collector of the instrument. So the sea wave signal appears in the irradiance record with short period and low amplitude, clearly different from the influence of cloud and fog. In this study, the influence of cloud, fog, and wave on irradiance is analyzed and calculated, which is valuable for understanding the irradiance and the corresponding variation in the under water record.

**Key words:** downwelling irradiance; marine optical; cloud; fog; ocean wave

责任编辑 庞 旻