

辽东湾冰季太阳辐射分析*

岳前进 季顺迎

(大连理工大学工业装备结构分析国家重点实验室 大连 116023)

苗文东 吴述礼

(渤海石油工程公司 天津塘沽 300450)

提要 利用渤海辽东湾 JZ20-2 石油平台上的气象和海冰观测数据,研究了冰季大气层和云层对太阳辐射的影响。结果表明,辽东湾冰季大气光学质量可取为 0.83,碧空、少云、多云、阴天、雾天和雨雪等不同天气条件下的云量系数可分别取为 0、3、6、8、9 和 10。分析了冰水混合情况下海面对太阳辐射的反射情况;讨论了太阳辐射对冰面长波辐射和对流传热的影响;利用冰面太阳辐射的实测值和计算结果,对整个冰季内太阳辐射的规律进行了分析,发现其对海冰厚度的变化趋势起到一定的控制作用。将冰季太阳辐射的计算方法引入到渤海海冰数值模式中,可提高海冰数值模拟和预测结果的精度。

关键词 海冰 太阳辐射 大气光学质量 云量系数

学科分类号 P731

我国结冰海域主要是渤海,并多集中在其北部的辽东湾。在冰区进行海上生产作业时,需要对该海域的冰情,如冰厚、密集度等进行模拟分析和预报。近几年开展的工程海冰数值模拟研究工作,对海冰生长和消融的计算精度提出了更高的要求,希望冰情预报的结果更加精确可靠¹⁾;另外,在渤海海冰设计参数的区划,也需要明确不同地理位置气象和水文条件的影响。要进行以上工作,一个重要的方面就是对海冰的热力因素进行详细的分析和计算,确定各热力项的计算方法和其中的经验参数。

太阳辐射随季节和纬度的变化规律决定了海冰的发生海域和冰期的变化趋势;另外,它在大气和云层作用下,还有一定的局域特性。因此,对冰区太阳辐射的研究是进行海冰数值模拟的基础,是进行冰期和冰厚预报的重要内容。

目前,对冰区太阳辐射的研究还比较少,有实测数据直接支持的有关分析和讨论更不多见。本文采用辽东湾 JZ20-2 平台上实测的气象和水文资料,其中包括太阳辐射值进行了观测²⁾,讨论了大气层和云层影响下辽东湾冰区太阳辐射计算方法,并计算了该海域冰季大气层的光学质量,确定了晴空、少云、多云、阴雾和雨雪天气下应选取的云量系数。

* 国家自然科学基金资助项目,59739170 号;中国海洋石油渤海公司重点资助项目。岳前进,男,出生于 1958 年 9 月 4 日,硕士,教授, E-mail: yueqj@dlut.edu.cn

1) 大连理工大学,1998. 小区域冰情预报原理及其在 JZ20 海域的应用研究

2) 国家海洋局第一海洋研究所,1994. 辽东湾 JZ20-2 油田海域冬季水文气象分析观测报告

收稿日期: 1998-07-14, 收修改稿日期: 1998-11-01

根据辽东湾的冰情特点, 讨论冰水相间海面太阳辐射的反射吸收状况, 并且归纳了冰区太阳辐射的特点。研究结果将对完善渤海海冰数值模式, 提高预报精度的研究提供依据。

1 冰面太阳辐射计算

大气层外界面和地面的太阳辐射有很大区别, 这主要是由于大气层和云层的反射、吸收和散射, 削弱了地面太阳辐射的强度, 其传播过程如图 1 所示。在冰区, 由于大气和海冰的相互作用, 使得冰区大气层和云层都有其独特的性质, 导致冰面太阳辐射强度与陆地及开阔海面都有所差别。这就需要对冰区太阳辐射计算中的一些参数, 尤其是大气层的光学系数和云量系数进行确定。

1.1 大气层对太阳辐射的影响

太阳辐射照射到大气层上, 一部分被大气中的一些气体分子物质吸收, 一部分被悬浮的气溶胶粒子所散射, 剩余部分才直接照射到地球表面。详细的计算模式考虑了大气层对各种波长的散射和吸收作用(翟盘茂, 1991; 刘长盛等, 1990)。而在实际工作中, 可用下式进行简化计算¹⁾:

$$Q_0 = Q_{s0} a^m \quad (1)$$

式中, Q_0 为考虑大气层影响时地面的太阳辐射强度; Q_{s0} 为大气层外的太阳辐照度; a^m 为大气层的透射率, a 为大气层的透光度, m 为大气层的光学质量。由于地球绕太阳的公转和本身的自转, 使日地距离和太阳辐射方向与地球水平面的夹角都随季节和时间的不同而发生变化, 从而致使水平面上太阳辐射强度也呈周期性的规律变化(张鹤飞, 1990), 即:

$$Q_{s0} = Q_s (\sin \beta \sin \delta + \cos \beta \cos \delta \cos H) \quad (2)$$

这里: $Q_s = I_0 \left[1 + 0.033 \times \cos \left(2\pi \cdot \frac{D}{365} \right) \right]$, 为大气层外界面上一年中第 D 天的太阳辐照度; α 为太阳高度角; β 为地理纬度; δ 为太阳赤纬角; H 为当地太阳时角; I_0 为太阳辐射常数。

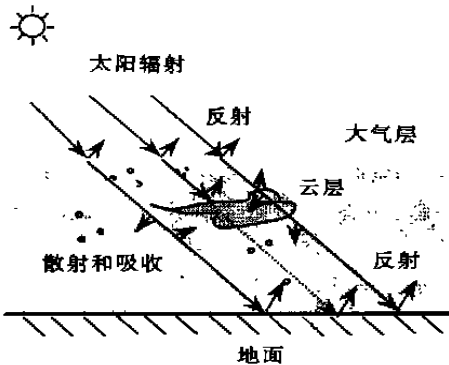


图 1 太阳辐射传播示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the solar radiation

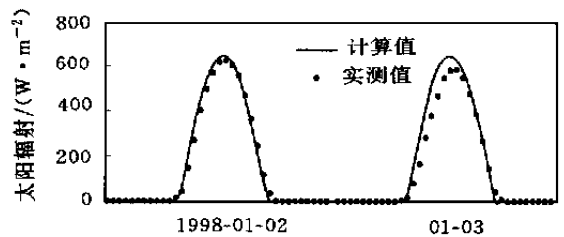


图 2 实测和计算的太阳辐射值

Fig. 2 Measured and simulated patterns of solar radiation

1) George D A, 1986. River and lake ice engineering, BookCraflers, Inc. Chelseas Michigan, USA

Threlkeld 等(1957)认为由于地理纬度的不同, a^m 在 0.73—0.88 间取值。Glover 等(1958)假设大气层的透光度 a 为定值, 并给出:

$$a^m = 0.99 - 0.17m \tag{3}$$

利用在 JZ20 海域实测的晴空条件下太阳辐射来确定该海域的大气光学系数 m 。计算表明, 在渤海 JZ20 海域冬季冰期内, m 值一般在 0.58—1.0 之间。这里, 取常值 $m = 0.83$, 利用上述方法对晴好天气下的冰面太阳辐射进行了计算, 并与实测值进行了对比(图 2), 可以发现该方法在计算晴空下冰面太阳辐射是理想的。

1.2 云层对太阳辐射的影响

天空云层对太阳辐射具有明显的吸收和散射作用, 而云层本身的一些基本特征, 如云高、云量、云状以及云的内部含水量、结晶状况等, 给辐射计算增加了难度。这时可将实际大气中复杂云况的所有参数归结为一个参数, 即有效云量, 并用 C 表示。当云量超过 7 成时太阳辐射的减少速率要比小云量时快得多(翟盘茂, 1991)。Wunderlich(1972)¹⁾建立了太阳辐射和云量的经验关系式, 即:

$$Q_{sc} = (1 - 0.0065C^2) Q_{s0} \tag{4}$$

式中, Q_{sc} 为考虑云量后的有效太阳辐射; C 为云量系数, 在 1—10 之间取值。实际工作中, 如何有效地确定不同天气条件下的云量系数往往是准确计算冰面太阳辐射的关键。

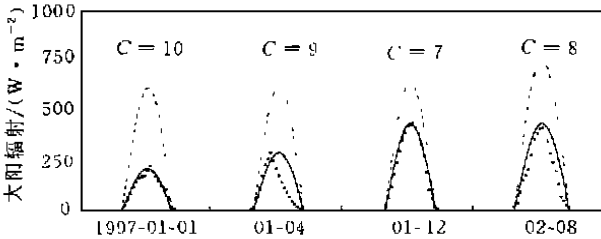


图 3 不同天气状况下太阳辐射的实测值与计算值

Fig. 3 Measured and simulated solar radiation patterns under different weather condition

——考虑云层的计算值;晴空下的计算值; •••••实测值

在辽东湾冰期太阳辐射计算中, 将云况按以下 6 个等级来划分, 即碧空、少云、多云、阴天、雾天和雨雪, 相应的云量系数分别取 0、3、6、8、9 和 10, 计算结果也是非常理想的²⁾。对 JZ20 海域冰期不同天气(云量)情况下的太阳辐射进行了计算, 并同实测值进行了比较。图 3 列出了 1997—1998 年度冰期 4 种不同天气条件下(雨雪、阴、多云和雾天), 云量系数分别取 10、9、8 和 7 时的计

算值和实测值。同时将不考虑云层影响的计算值也列于图 3, 以对比了解云量对冰面太阳辐射的作用效果。可以发现, 计算的辽东湾冰期太阳辐射与实际值是非常吻合的。

2 冰区对太阳辐射的反射和吸收

太阳辐射到达海冰表面时将分成三部分: 反射、吸收和透射, 如图 4 所示。不同冰期, 由于海冰的类型、颜色、杂质含量和冰面粗糙度等因素的不同, 海冰的反射率也有很大的差别, 可在 0.4—0.5 范围内变化³⁾。

1) Wunderlich, W O, 1972. Heat and Mass Transfer Between a Water Surface and the Atmosphere. Tennessee Valley Authority Engineering Laboratory, Norris, Tenn., Report No. 14

2) 大连理工大学, 1998. 小区域冰情预报原理及其在 JZ20 海域的应用研究

3) Lu Qian-ming, 1987. On mesoscale modeling of the dynamics and thermodynamics of sea ice

海冰对太阳辐射的吸收和衰减与其波长有密切的关系,所以在描述太阳辐射在冰盖内的吸收时,应把它的波谱分成几段(假设为 n 段)来考虑,并在每一波段内衰减系数取为常数(多罗宁, 1970)。这样,冰面下深度 z 处的太阳辐射通量为:

$$Q_{si}(z) = \sum_{j=1}^n Q_{se} \exp(-\lambda_j z) \quad (5)$$

式中, λ_j 为海水对太阳辐射第 j 波段的衰减系数。

另外,由于冰内杂质和气泡的存在,使得太阳辐射在冰盖内还被散射。在实际工作中,为方便起见,将自然条件下海冰的衰减系数取为一个常数,而不再分段考虑。若取海冰的衰减系数为 1.6(程斌, 1996),那么,厚度为 50cm 的冰盖就可以将冰面太阳辐射 40%—50% 的能量吸收。

在辽东湾海域,由于海冰在风浪和海流等动力作用下的破坏和漂移,海面上多是冰水相间状态。由于海面对太阳辐射的反射率在 0.07 和 0.12 之间,远远低于冰面反射率(多罗宁, 1970; 张一夫, 1990)。这就使得在研究冰期太阳辐射对海洋水体的作用效果时,需要对它们进行综合处理。假设海冰的密集度为 A ,则单位面积海面对太阳辐射的反射率:

$$a_s = A a_i + (1 - A) a_w \quad (6)$$

式中, a_s 、 a_i 和 a_w 分别为冰水混合海面、冰面和水面对太阳辐射的反射率。

利用上式计算冰区对太阳辐射的反射和吸收有着特殊的意义。它适应于辽东湾冰情特点,在分析水温变化、海冰热力处理和海冰数值模拟中起着重要作用。

3 太阳辐射对辽东湾海域海冰生消趋势的影响

在 1997—1998 年度,对渤海辽东湾海域冰情进行了模拟和预报,其中一个重要工作

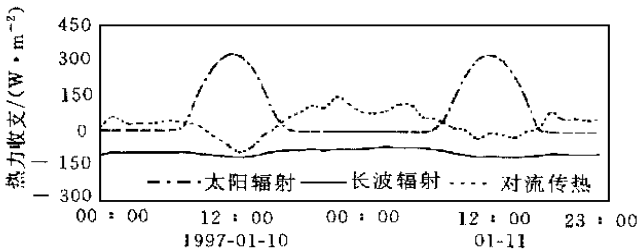


图5 冰面太阳辐射对长波辐射和对流传热的影响

Fig. 5 Influence of solar radiation on long wave radiation and convective heat transfer on the ice surface

正值表示冰盖吸收热量; 负值表示向外界散失热量

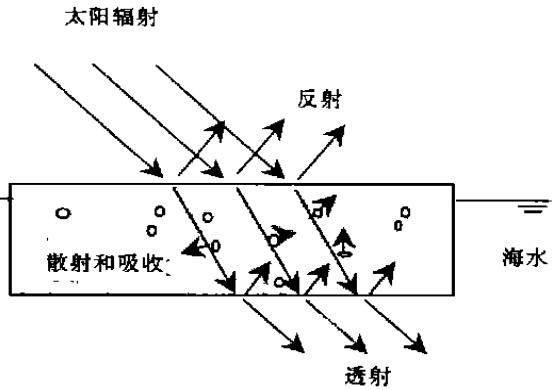


图4 海冰对太阳辐射的反射和吸收

Fig. 4 Reflection and absorption of solar radiation by the ice layer

○ 冰内杂质

就是对影响海冰生消的热力要素进行了详细计算。在对冰面太阳辐射进行计算时,考虑了云量、大雾、雨雪、相对湿度以及海冰类型、厚度和冰面粗糙度的影响。

在一个日变化周期内,太阳辐射呈理想的正弦变化曲线。这使得在正常天气条件下,海冰温度白天升高,夜间降低,且变化速率要高于气温。这样冰体向外界的对流传热和长波辐射都要增

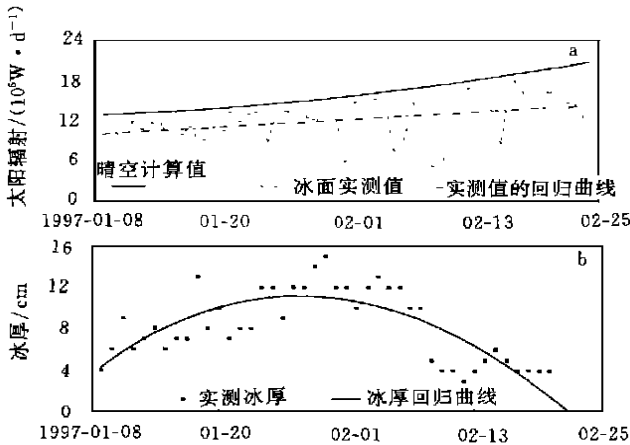


图6 1997—1998年度JZ20海域冰期太阳辐射(a)及对应的冰厚变化(b)

Fig. 6 Soar radiation (a) and ice thickness (b) of the JZ20 area in the winter of 1997—1998

加, 导致冰盖内热力平衡重新调整。图5显示了晴好天气下的冰面太阳辐射变化及其对其它热力因素的影响。

气象和水文条件决定了海冰的生消情况, 但冰期的长短和冰厚的变化趋势是由太阳辐射量来控制的, 也就是说, 太阳辐射的年周期变化决定了海冰的产生、增长和消融。例如在1997—1998年度辽东湾JZ20海域的冰期从1月8日开始, 到2月19日结束, 共持续了42天。在该冰期内, 海冰生消以及厚度变化趋势在很大程度上是由太阳辐射的变化规律及其影响下的

的气温变化规律所决定的。图6给出了冰厚的平均日变化曲线和对应的太阳日辐射总量在冰期内的变化趋势。

4 结语

本文讨论了冰季太阳辐射的计算方法, 并根据辽东湾JZ20海域的实测值初步确定了大气的光学系数和不同天气情况下的云量系数; 分析了冰水共存条件下, 海面对太阳辐射的反射和吸收。通过对冰区太阳辐射的讨论, 明确了其对海冰生消的影响, 完善海冰数值模式。在以往的工作中发现, 辽东湾冰期太阳辐射有以下几个显著特点。

(1) 在明确了云量对太阳辐射影响的计算方法后, 如何准确地确定不同天气条件下的云量系数是计算冰面有效太阳辐射量的关键。

(2) 不同地点和不同季节大气层对太阳辐射的衰减效果是不同的。用晴空条件下的计算值和实测值进行拟合回归, 可以确定出被模拟海域大气层的透射率。

(3) 海冰对太阳辐射的反射和吸收率, 在很大程度上取决于海冰的类型、厚度、色泽和冰面的粗糙度, 同时与太阳辐射的入射角也有密切的关系。

(4) 海水和冰盖对太阳辐射的反射和吸收有很大的差别。因此, 冰水共存条件下, 太阳辐射计算的准确程度直接影响到海冰生消的模拟结果。

致谢 在JZ20海域现场观测中, 得到渤海石油检测公司大力支持, 也得到JZ20-2石油平台上全体工作人员的积极配合, 与朱朝辉同志进行了有益讨论, 谨致谢忱。

参 考 文 献

刘长盛, 刘文保. 1990. 大气辐射学. 南京: 南京大学出版社, 53—56

张一夫. 1990. 关于海面反照率的初步探讨. 海洋学报, 12(1): 24—30

张鹤飞, 1990. 太阳能热利用原理与计算机模拟. 西安: 西北工业大学出版社, 11—20

程 斌, 1996. 一维海冰热力模型的守恒型差分格式和数值模拟. 海洋通报, 15(4): 8—15

翟盘茂, 1991. 海洋表面辐射计算方法. 海洋通报, 10(6): 79—90

多罗宁 IO, 1970. 王宗山, 徐伯昌译, 1991. 海洋和大气的相互作用. 北京: 海洋出版社, 70—90

Glover J, McCulloch J S G, 1958. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society of London, 84(5): 54—65

Threlkeld P, Jordan, D R, 1957. Direct solar radiation available on clear days. Heating, Piping and Air Conditioning, 29(12): 134—145

SOLAR RADIATION ON SEA ICE IN LIAODONG BAY

YUE Qian-jin, JI Shun-ying

(State Key Laboratory of Structural Analysis of Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian, 116023)

MIAO Wen-dong, WU Shu-li

(Bohai Oil Engineering Corporation, Tianjin Tanggu, 300450)

Abstract It is necessary to determine the parameters of thermodynamics and dynamics in sea ice numerical model precisely for accurate forecasting sea ice. The solar radiation plays a key role in thermal processes as well affects other thermal factors such as the long wave radiation and convective heat flux. Based on the field observations on the JZ20-2 platform in Liaodong Bay, the influences of atmosphere and cloud cover on solar radiation during freezing periods in this area are discussed. The optical air mass is 0.83 in the winter of Liaodong Bay, and the cloud coefficients can be selected as 0, 3, 6, 8, 9 and 10 under the weather conditions of clear sky, partly cloudy, cloudy, overcast sky, fog and rain respectively. The reflection of solar radiation on mixed ice-water region is also discussed. The analysis of thermodynamic calculation shows that the solar radiation influences the long wave radiation and sensitive heat of the ice surface, and it is the controlling factor during the growth and melting of sea ice. The precision of sea ice simulation and forecast can be improved if the computational methods of solar radiation in the ice season are adopted in the sea ice numerical model of the Bohai Sea.

Key words Sea ice Solar radiation Optical air mass Cloud coefficient

Subject classification number P731

本刊加入万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,我刊现已入网“万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据资源系统(ChinaInfo),进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群是国家“九五”重点科技攻关项目,截止1999年底已有1000种期刊全文上网(网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>)。本刊全文内容按照统一格式制作编入万方数据资源系统(ChinaInfo),读者可上因特网进入万方数据资源系统(ChinaInfo)免费(一年后开始酌情收费)查询浏览本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据资源系统(ChinaInfo)向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《海洋与湖沼》编辑部

二〇〇〇年三月