

北冰洋春夏季海洋大气边界层特征的初步研究^{*}

范绍佳¹, WANG Qing², 邓茂芝¹, 汪华莉¹

(1 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275; 2 Naval Postgraduate School, CA 93940, USA)

摘要: 采用1998年北冰洋表面热量平衡(SHEBA)试验的飞机探测资料, 分析北冰洋春、夏季海洋大气边界层(MABL)的特征。结果表明: 春季北冰洋MABL基本为近中性层结, 夏季为弱稳定层结; 春季边界层高度高于夏季。MABL垂直结构可分为近地层、云下混合层、云层和逆温层; MABL顶的层积云呈块状分布, 云层内湍流输送活跃; 通量输送水平不均匀, 动量、感热通量多向下输送, 潜热通量向上输送; 春季湍流强度随高度呈现双峰型分布。

关键词: 海洋大气边界层; 湍流结构; 北冰洋

中图分类号: P458 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2002)01-0091-04

海洋大气边界层(简称MABL)特征研究是大气边界层研究的前沿课题之一。北冰洋终年积冰, 对全球气候有重要影响。由于北冰洋下垫面特征及热力、动力状况的特殊性, 北冰洋MABL结构将不同于中低纬地区。了解北冰洋MABL结构, 不仅可以丰富边界层理论, 并有助于提高全球气候模拟(GCMs)的准确性和精度。

在美国科学基金(NSF)、海军研究局(ONR)、国家宇航局(NASA)等支持下, 美国华盛顿大学等研究机构1995年起开展国际合作, 进行北冰洋表面热量平衡综合性试验(Surface Heat Budget of the Arctic Ocean, 简称SHEBA试验), 研究大气—海洋—冰层系统热力耦合作用。本文根据1998年春、夏季SHEBA外场飞机观测试验资料, 分析北冰洋MABL的一般特征。

1 资料概况

SHEBA试验的外场实验区域位于 76°N , 165°W 附近。飞机观测主要在白天进行, 包括边界层内的水平飞行、边界层垂直探测、穿云观测和层积云内的水平飞行。

1998年春夏季的飞机探测资料包括春季(5月4—27日)、夏季(7月8—29日)共16 d的资料。飞机水平飞行速度为 100 m/s , 采样频率为 25 Hz 。春季观测期间下垫面平均温度为 -9.4°C , 夏季平均温度为 -1.1°C ; 两季平均温差 8.3°C 。

2 主要结果分析

2.1 北冰洋边界层基本特征

图1给出1998年春夏季SHEBA实验飞机探测虚位温和液态水含量廓线, 图2、3给出湍流特征。北冰洋MABL垂直结构区可分为近地层、云下混合层、云层和逆温层4层:

(1) 近地层: 表面到 $20\sim 50\text{ m}$ 高度, 为飞机观测盲点。

(2) 云下混合层: 此层中水汽含量随高度略有减小。春季多为近中性层结, 夏季多为弱稳定层结; 夏季云下混合层厚度比春季要小得多。

(3) 云层: 由海面上充沛的水汽上升至抬升凝结高度形成层积云, 液态含水量迅速增加。北冰洋层积云厚度通常为几十至一、两百米, 春季层积云出现高度高于夏季。

(4) 逆温层: 紧接云顶出现逆温层。该层虚位温随高度增加, 湿度急剧下降。

由图1可知:

(1) 北冰洋春季逆温层以下虚位温分布在 $255\sim 270\text{ K}$, 明显分成约 256 K (F01和F02)、 265 K (F03~F07)和 271 K (F08)3组, 时间跨度对应5月4日(F01)、5月11日(F03)到5月27日(F08), 廓线有明显的过渡性特征(从 -17°C 很快过渡到 -2°C), 反映北冰洋从春季向夏季过渡是很快的。

^{*} 收稿日期: 2001-04-25;

作者简介: 范绍佳(1962—), 男, 副教授; E-mail: cesfsj@zsu.edu.cn

- (2) 春季 400 m 以下虚位温随高度变化不大, 400 m 左右开始出现逆温。
- (3) 夏季逆温层以下虚位温分布在 270 ~ 280 K, 没有明显的分组现象。
- (4) 春季云底高度变化较大, 在 200 ~ 400 m 之间, 夏季云底高度约 200 ~ 250 m。

- (5) 北冰洋春季 MABL 高度为 400 ~ 500 m, 夏季为 200 ~ 250 m, 比中低纬度地区的混合层高度要低。北冰洋春季边界层高度高于夏季, 这与其他纬度或下垫面的结论相反。
- (6) 北冰洋 MABL 顶层一般都覆盖有逆温层, 逆温层出现高度在云层顶部。

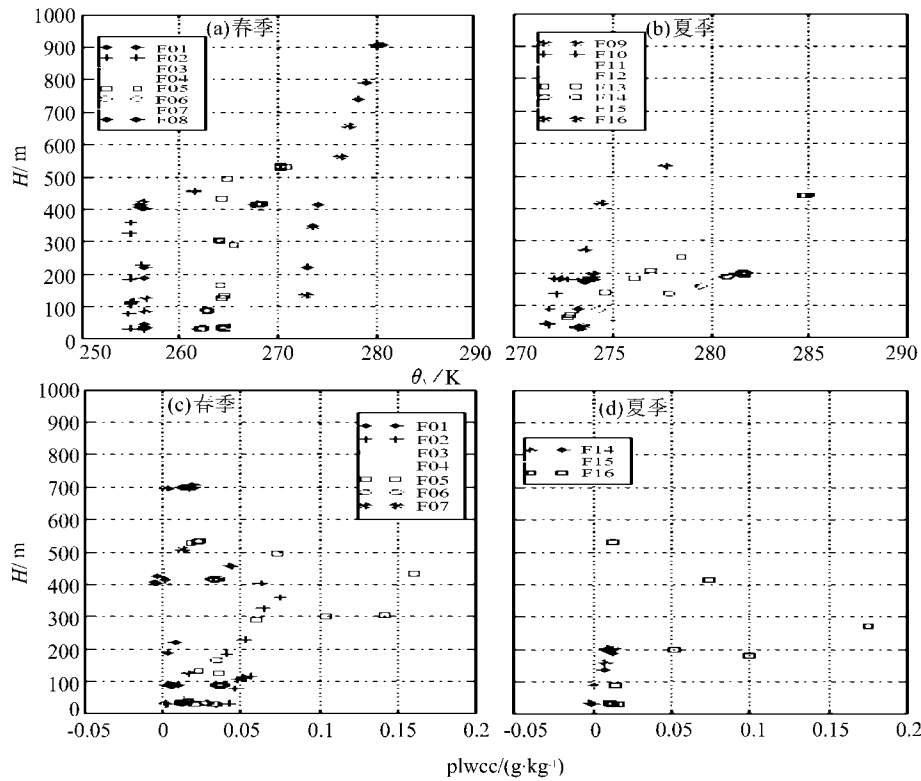


图 1 F01 至 F16 飞行实验得到的春夏季 SHEBA 实验虚位温 θ_v (a, b) 和液态水含量 $plwcc$ (c, d) 廓线

Fig 1 Vertical profiles of virtual potential temperature θ_v (a, b) and liquid water content $plwcc$ (c, d) during spring and summer in SHEBA. The symbols denote different flights.

2.2 湍流垂直结构特征

湍流对边界层中动量、热量、水汽以及气溶胶粒子产生混合和扩散, 直接影响边界层大气的动力、热力结构。图 2、3 给出春夏季部分特征量方差、湍流通量的分布特征。

2.2.1 方差特征 图 2 为春夏季速度 (u 、 v 、 w 分量)、液态水含量 (q_l)、位温 (θ) 方差随高度的分布。由图 2 可知:

- (1) 春、夏季北冰洋 MABL 脉动速度方差具有明显不同的特征: 春季随高度呈双峰型分布; 夏季随高度线性递减且方差离散。春季峰值分别出现在近地层上部和约 400 m 高度, 第一峰值形成原因是近地面机械湍流, 第二峰值是云层的上升下沉气流和云顶夹卷; 夏季方差离散主要为热泡作用。

- (2) 春季液态水含量在 100 m 和 500 m 高度附近较大, 夏季在 200 m 较大, 海洋层积云呈块状分布。

- (3) 分析表明, 液态水含量方差极大值出现在云底, 而位温方差极大值出现在云顶。

2.2.2 湍流通量特征 图 3 给出春、夏季北冰洋动量通量、感热通量和潜热通量的一般特征。

由图 3 可知:

- (1) 春季云下层通量多为正值 (向上输送); 夏季正负出现频率较大, 向上向下输送活跃。动量和感热通量多为负值 (向下输送), 潜热通量多为正值 (向上输送)。
- (2) 潜热通量基本取正值, 向上输送明显。该地区 MABL 易抬升成云, 层积云不会迅速消散。

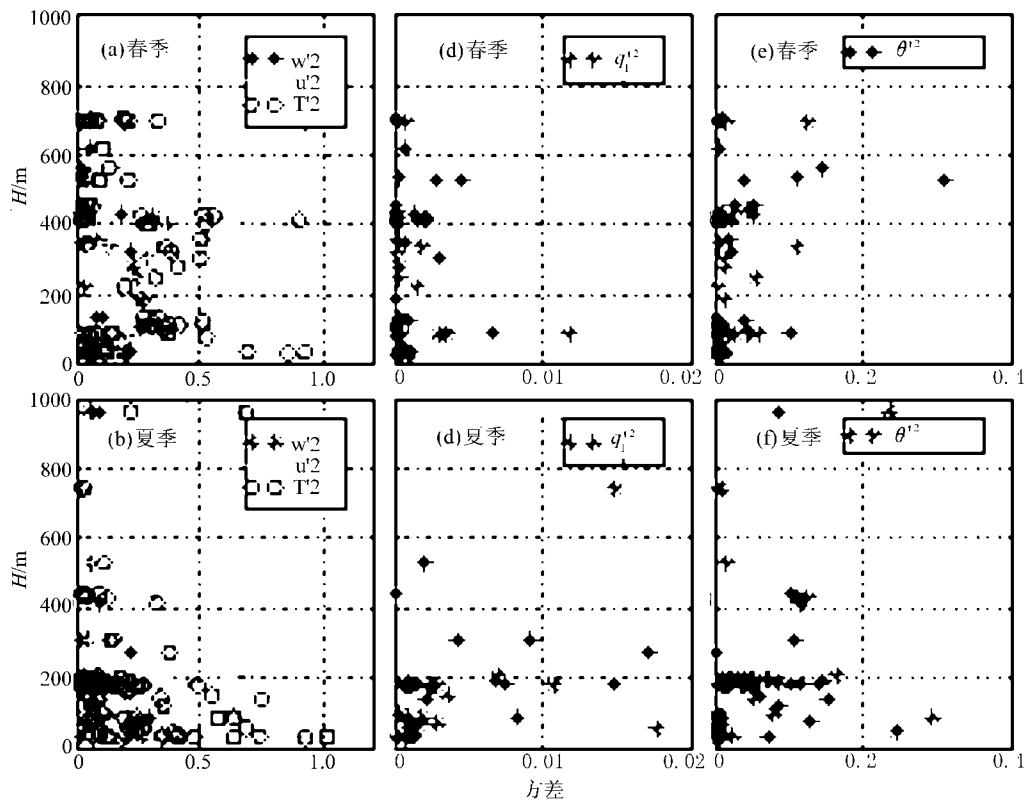


图 2 北冰洋 MABL 春季夏季速度 (a, b)、液态水含量 (c, d)、位温 (e, f) 方差分布
Fig. 2 Vertical profiles of variances during spring (a, c, e) and summer (b, d, f) in SHEBA

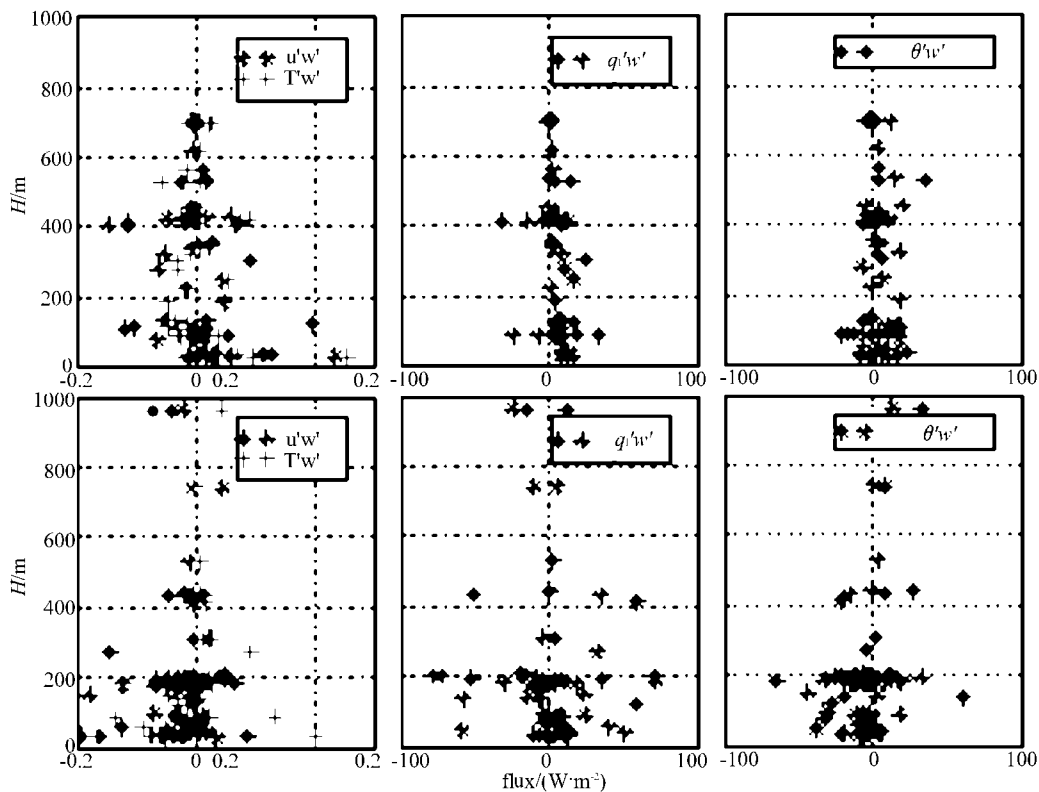


图 3 北冰洋 MABL 春季夏季动量通量 (a, b)、潜热通量 (c, d) 和感热通量 (e, f) 特征
Fig. 3 Vertical profiles of fluxes during spring and summer in SHEBA

3 小 结

综合分析, 北冰洋 MABL 具有下述基本特征:

- (1) 北冰洋 MABL 春季基本为近中性层结, 夏季多为弱稳定层结。
- (2) 北冰洋 MABL 可大致分成近地层、云下混合层、云层和逆温层。
- (3) 北冰洋 MABL 春季边界层高约 400~500m, 夏季节约 200~250m, 春季高于夏季。
- (4) 北冰洋 MABL 易抬升成层积云。层积云成块状分布, 云中湍流活跃。
- (5) 北冰洋 MABL 春季湍流强度随高度呈现双

峰型分布, 夏季湍流强度随高度线性递减。

- (6) 北冰洋春季云下层通量多为向上输送; 夏季上下输送活跃。动量和感热通量多向下输送, 潜热通量多为向上输送。

参考文献:

- [1] STULL R B. An introduction to boundary layer meteorology [M]. Kluwer Dordrecht, 1988: 666.
- [2] MORITZ R E, PEROVICH D K. Surface heat budget of the Arctic Ocean Science Plan, ARCSS/OAII Report Number 5 [M]. Seattle: University of Washington, 1996: 64.

Study of the Structure of Spring and Summer Arctic Marine Atmospheric Boundary Layer

FAN Shao jia¹, WANG Qing², DENG Mao zhi¹, WANG Hua ti¹

- (1. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China;
2. Naval Postgraduate School, CA93940, USA)

Abstract: Based on the aircraft sounding data of the SHEBA (Surface Heat Budget of the Arctic Ocean) experiment in 1998, this paper analyzed the character and turbulent structure of MABL (Marine Atmospheric Boundary Layer) over the Arctic Ocean during spring and summer. The results show that the MABL in the Arctic Ocean is prominently different from other areas. The MABL in spring is close to near neutral stratification, but close to weak stable stratification in summer. The MABL height in spring is higher than in summer. The MABL can be divided into four layers: the surface layer, the mixing layer under cloud, the cloud layer and the inversion layer. In spring, the intensity of turbulence has two maximum as the height rises, but decreases in summer. The momentum flux and sensible heat flux transport downward, but the latent heat flux transports upward.

Key words: MABL; turbulent structure; the Arctic Ocean