

李海飞, 乐满, 杨飞跃, 等. 基于地基云雷达资料的淮南地区冬季云宏观特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 1011-1014. [LI Haifei, YUE Man, YANG Feiyue, et al. Analysis on Macroscopic Characteristics of Winter Cloud in Huainan Area of Anhui Based on Ground-based Cloud Radar Data[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 1011-1014], DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1011

基于地基云雷达资料的淮南地区 冬季云宏观特征

李海飞, 乐满, 杨飞跃, 王健, 张文煜

(兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用淮南气候环境综合试验站 2015 年 1 月云雷达观测资料, 对淮南地区冬季云的宏观特征进行了研究。结果表明: (1) 淮南地区冬季云云底高度在 0.21 ~ 11.0 km, 其中 0.5 km 和 2.0 km 高度云底出现频率最高, 分别占全部云系的 16.7% 和 11.3%; 云顶分布在 0.36 ~ 11.3 km, 其中 5.0 km 和 5.5 km 处云顶出现频率最高, 分别占全部云系的 9.25% 和 10.0%。云层厚度为 0.1 ~ 8.3 km, 73.4% 的云层厚度在 2.0 km 范围内。(2) 低云、中云、高云分别占全部云系的 44.0%、29.4% 和 26.6%, 平均厚度分别为 2.4 km、0.8 km 和 0.6 km。(3) 该地区冬季总云量较少, 为 13.7% ~ 21.8%。单层云出现频率占总云量的 45.2% ~ 77.8%, 多层云出现频率随着层数的增加而减小。

关键词: 淮南; 云雷达; 冬季云; 宏观特征

文章编号: 1006-7639(2017)06-1011-04 DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1011

中图分类号: P412

文献标志码: A

引言

云是影响和调节气候变化的重要因子之一, 对地气系统的辐射收支、热量平衡有重要作用^[1-2]。云宏观特征对云的辐射特性有显著影响^[3], 对其认知的匮乏会引起地气辐射的估计不正确^[4]。因此, 云宏观特征的观测和分析对深入研究地气系统辐射收支和云的气候特征有重要意义^[5]。

毫米波雷达技术的成熟, 使云参数的遥感探测有了根本性的改观^[6], 其波长更接近云粒子尺度, 可穿透云, 连续监测云的垂直剖面, 提供高时间分辨率的云参数, 为更好地获取云宏观特征提供了条件^[7-8]。UTTAL 等^[9]利用云雷达数据对美国大陆冬季云宏观特征进行了统计, 指出该地区云底高度主要分布在 2.5 km 和 7.5 km 处, 云层厚度通常为 2 km。INTRIERI 等^[10]利用云雷达和其他地基观测数据分析北冰洋地区的云宏观特征, 指出该地区 9 月云出现频率最高达 97%, 2 月云出现频率最低 (63%), 夏季云层数有增加的趋势。刘黎平等^[11]利

用第 3 次青藏高原大气科学试验中的云雷达探测资料, 对那曲地区夏季的云宏观特征进行研究, 发现该地区夏季云主要集中在 6 km 以上和 4 km 以下, 10:00 (北京时, 下同) 为云发展最弱时段, 20:00 云发展最为旺盛。邱玉珺等^[12]利用云雷达资料研究安徽寿县秋末冬初云的宏观特征, 指出该地区 54.0% 的观测时间有云覆盖, 中云和高云出现频率占全部云系的 76.7%。上述研究表明, 云宏观特征存在地域性和季节性差异^[13]。

淮南地处我国南北气候过渡带与暖温带和北亚热带的气候过渡区^[14], 受东亚季风影响, 属暖温带季风气候, 冷暖气团活动频繁。地形多为低山丘陵, 下垫面主要为农田。在这种区域背景下, 其云宏观特征值得探究。本文利用淮南气候环境综合观测试验站 2015 年 1 月的 HMB-KST 云雷达观测资料, 对淮南地区冬季云的云底及云顶高度、云厚、云层数进行统计分析, 并对云宏观特征的日变化进行研究, 以期更好地认识和了解淮南地区的云特征, 以期为地气系统辐射收支研究以及云对气候的影响研究提

收稿日期: 2017-07-13; 改回日期: 2017-09-28

基金项目: 国家自然科学基金委重点项目 (41630421) 和中央高校基本科研业务费专项资金 (lzujbky-2017-ii24) 共同资助

作者简介: 李海飞 (1991-), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 研究方向为大气探测与大气物理。E-mail: lih2015@lzu.edu.cn。

通信作者: 张文煜 (1964-), 男, 甘肃陇南人, 教授, 博士生导师, 研究方向为大气探测与大气物理。E-mail: yuzhang@lzu.edu.cn。

供一定的依据。

1 资料和方法

中国科学院大气物理研究所淮南气候环境综合试验站位于安徽省淮南上窑(117.14°E、32.74°N),试验站观测中使用了 HMB-KST 云雷达。该云雷达为双极化 Ka 波段多普勒雷达,工作频率为 33.4 GHz(波长 8.97 mm),峰值功率 200 W,天线直径 1.5 m,波束宽度 0.4°,垂直分辨率为 30 m,时间分辨率约为 0.8 s。雷达采用垂直指向的观测方式,能够获取反射率因子 Z 、径向速度 V_r 、径向速度谱宽 S_w 和退偏振比 L_{DR} 的连续垂直廓线变化,仪器具体运行参数见表 1。气象学上常将 1 月作为冬季的代表月份,本文选取的资料时间段为 2015 年 1 月 1—31 日,除 2015 年 1 月 11 日观测不完整外,共有 30 个有效观测日资料。通过对雷达探测数据剔除噪声和干扰回波进行质量控制。

将云雷达测量的上下边界分别作为云底和云顶,分别计算平均的云底和云顶高度等参量,根据云底高度,将云分为低云、中云、高云,对应的云底高度分别为低于 3 km、3~6 km、高于 6 km^[12]。

表 1 HMB-KST 云雷达运行参数

Tab. 1 The operational parameters of HMB-KST radar

参数	参数值
频率/GHz	33.4
波长/mm	8.97
峰值功率/W	200
脉冲重复频率 PRF/Hz	4 166.7
脉冲宽度/ μ s	0.2~12
距离库长/m	30
距离分辨率/m	30
最小探测距离/m	120, 1 800
最大探测距离/km	30
天线直径/m	1.5
波束宽度/(°)	0.4
多普勒速度分辨率/($m \cdot s^{-1}$)	0.1
时间分辨率/s	0.8

2 结果分析

图 1 是 2015 年 1 月 1—31 日云底高、云顶高和云层厚度随高度的分布及其日变化特征。云底、云顶

高度主要分布在 0.21~11.0 km 和 0.36~11.3 km,云层厚度介于 0.1~8.3 km。云底在距地面 0.5 km 和 2.0 km 处出现频率最大,分别为 16.7% 和 11.3%。云顶在距地面 5.0 km 和 5.5 km 处出现频率最大,分别为 9.25% 和 10.0%。云层厚度分布频率随厚度增加而降低,其中 73.4% 的云层厚度在 2.0 km 范围内。小时平均云底高度在 3.1~4.1 km 之间变化,平均云顶高度维持在 4.4~5.6 km;云底、云顶高度日出至日落都略有升高,日落后云底、云顶高度缓慢降低。云层厚度分布在 1.1~1.8 km,云层厚度的日变化波动较小。

图 2 为低云、中云、高云的出现频率和厚度分布以及出现频率的日变化特征。可以看出,低云出现频率最高,占有所有云的 44.0%,中云和高云的出现频率相差不大,分别为 29.4% 和 26.6%。低云的平均厚度远超中云和高云的平均厚度,达 2.4 km,中云、高云平均厚度依次降低,分别为 0.8 km 和 0.6 km。从出现频率的日变化特征来看,白天和夜间低云的出现频率均呈现先逐渐增加后减小的变化趋势,且分别在正午和凌晨达到最大值;中云出现频率从夜间到正午呈波动式逐渐减小,午后出现频率逐渐增加;高云出现频率白天逐渐增加,日落后出现频率则逐渐减小。

图 3 为总云量、单层云、双层云、三层云和四层及以上云出现频率的日变化,云雷达探测的云量定义为有云的廓线数与雷达观测的总廓线数的比值^[12]。可以看出淮南地区冬季总云量较少,为 13.7%~21.8%。09:00 以前,总云量稍有增加但变化较小;10:00—11:00 总云量最低;从 11:00 开始,随着地表辐射加热的增强,云量呈缓慢增加趋势;23:00 云量达到最高值 21.8%。在总云量中,单层云出现频率最高,为 45.2%~77.8%,随着云层数的增加,两层及以上云的出现频率逐渐降低。二层云、三层云、四层云及以上出现频率分别占总云量的 17.4%~33.0%、4.2%~17.2%、0.6%~12.2%。各云层出现频率有明显的日变化:05:00—17:00 单层云出现频率总体呈下降趋势,17:00 至次日 05:00 单层云出现频率逐渐增大;多层云出现频率日变化与之相反,这是由于白天对流活动相对旺盛,更容易出现复杂的云层垂直分布。单层云出现频率在 05:00 达到最大值,为 78.0%,而多层云出现频率达到最小值,这是由于夜间辐射降温,大气边界层易形成逆温层,大气层结趋于稳定,尤其到清晨 05:00 左右大气层结达到最稳定,使得该时段单层云最多,多层云最少。

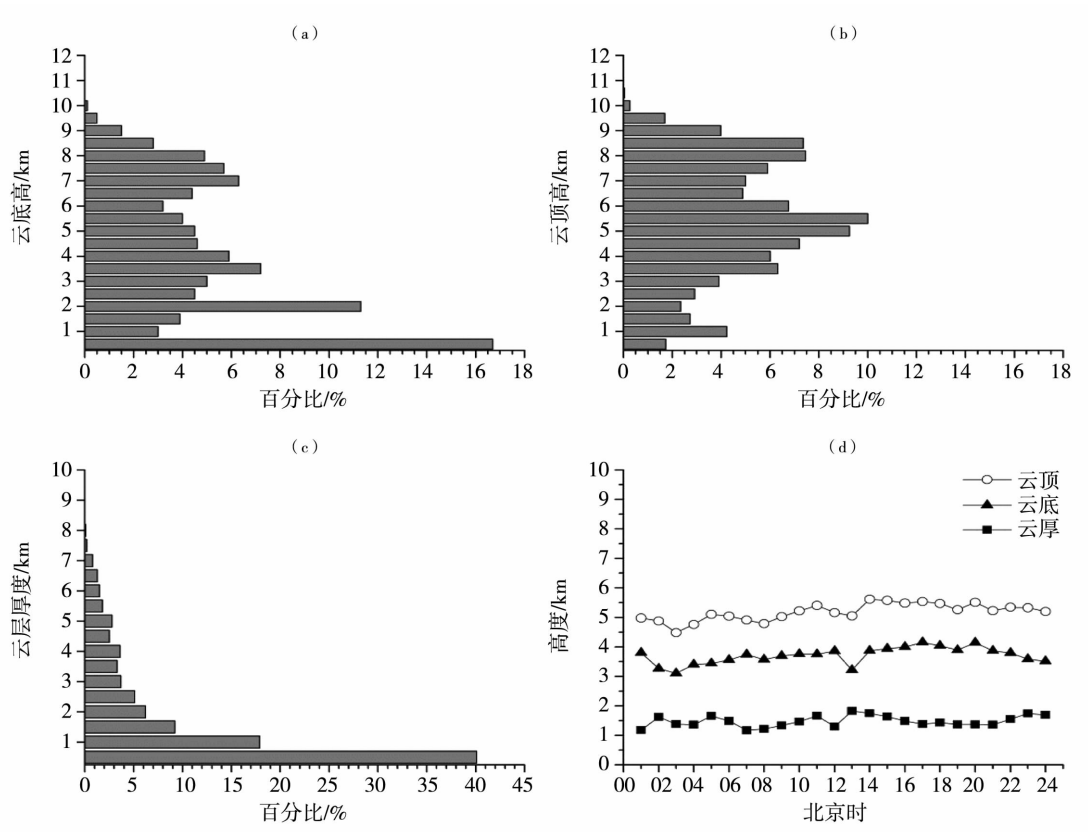


图 1 云底(a)、云顶(b)高度和云层厚度(c)的分布及其日变化特征(d)

Fig. 1 The distribution of cloud base (a), cloud top (b), cloud thickness (c) and their diurnal variations (d)

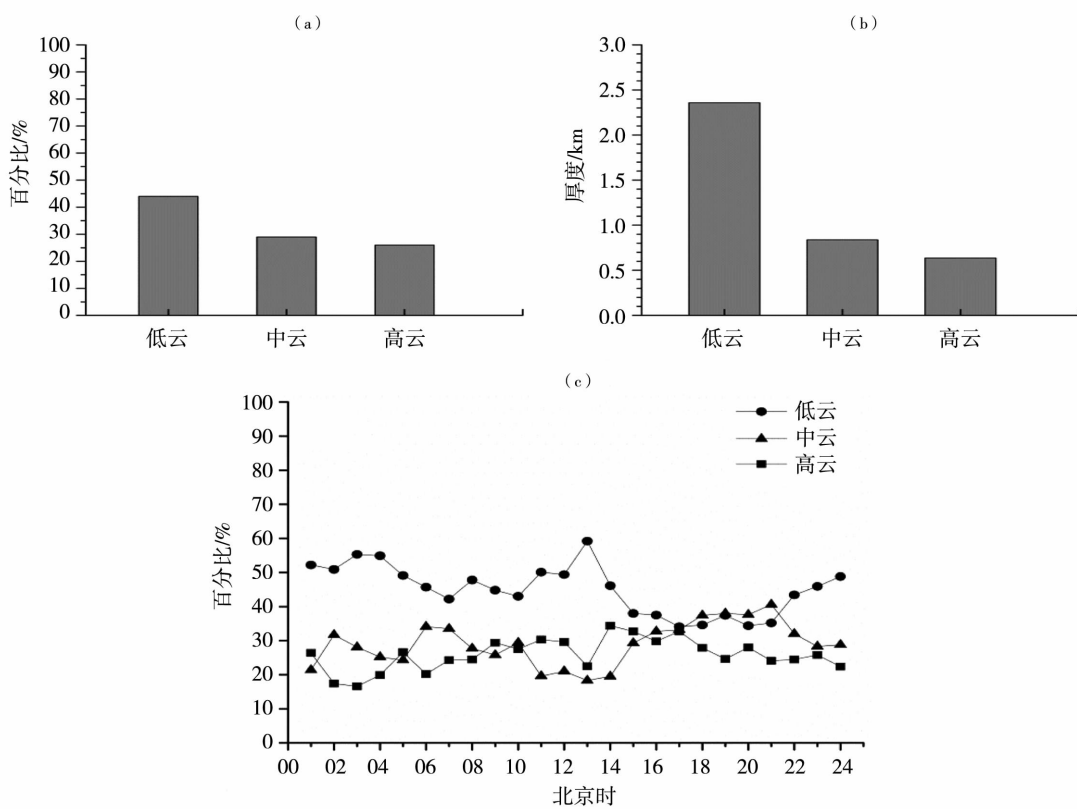


图 2 低云、中云、高云的出现频率(a)与厚度(b)及其出现频率的日变化特征(c)

Fig. 2 The occurrence frequency (a) and mean thickness (b) of low cloud, middle cloud and high cloud, and diurnal variation of occurrence frequency of them (c)

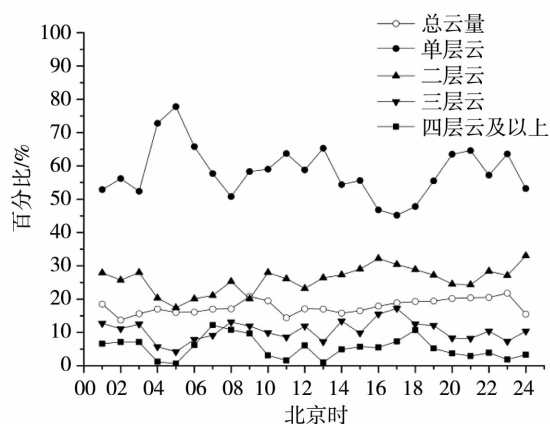


图3 总云量和不同层数云出现频率的日变化
Fig.3 Diurnal change of occurrence frequency of the total cloud and cloud with different layers

3 结论

(1) 淮南地区冬季云底、云顶高度主要分布在 0.21 ~ 11.0 km 和 0.36 ~ 11.3 km, 云层厚度介于 0.1 ~ 8.3 km。云底在距地面 0.5 km 和 2.0 km 处出现频率最大, 分别为 16.7% 和 11.3%。云顶在距地面 5.0 km 和 5.5 km 处出现频率最大, 分别为 9.25% 和 10.0%。云层厚度分布在 1.1 ~ 1.8 km, 分布频率随厚度增加而降低, 其中 73.4% 的云层厚度在 2.0 km 范围内。

(2) 低云出现频率最高, 占 44.0%, 中云和高云的出现频率分别占 29.4% 和 26.6%。低云、中云、高云平均厚度依次降低, 分别为 2.4 km、0.8 km 和 0.6 km。白天和夜间低云的出现频率均呈先逐渐增加后减小的变化趋势, 中云出现频率在夜间到正午呈波动式逐渐减小, 午后逐渐增加。高云出现频率在白天逐渐增加, 夜间逐渐减小。

(3) 该地区冬季总云量较少, 为 13.7% ~ 21.8%。总云量 10:00—11:00 最低, 随着午后地表加热增强, 云量缓慢增加。单层云出现频率最高, 占总云量的 45.2% ~ 77.8%, 随着云层数的增加, 两层及以上云的出现频率逐渐降低。白天单层云出现频率随时间逐渐降低, 多层云出现频率逐渐升高, 说明白天

对流活动相对旺盛, 更容易出现复杂的云层垂直分布。

致谢: 感谢中国科学院大气物理研究所淮南气候环境综合观测试验站提供 HMB - KST 固态毫米波云雷达观测资料。

参考文献:

- [1] STEPHENS G L, TSAY S C, STACKHOUSE Jr P W, et al. The relevance of the microphysical and radiative properties of cirrus clouds to climate and climatic feedback[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1990, 47(14): 1742 - 1754.
- [2] 张小军, 马学谦, 田建兵. 1961—2015 年青海省总云量时空变化特征及影响因子[J]. *干旱气象*, 2017, 35(4): 622 - 633.
- [3] 张华, 彭杰, 荆现文, 等. 东亚地区云的垂直重叠特性及其对云辐射强迫的影响[J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(4): 523 - 535.
- [4] 宗蓉, 郭伟, 仲凌志. 毫米波雷达和激光雷达探测云边界的对比分析[J]. *激光技术*, 2016, 40(2): 171 - 177.
- [5] 朱泽恩, 郑创, 葛颢铭, 等. 利用 KAZR 云雷达对 SACOL 站云宏观特性的研究[J]. *科学通报*, 2017(8): 824 - 835.
- [6] 樊雅文, 黄兴友, 李锋. 毫米波雷达测云个例研究[J]. *大气科学学报*, 2013, 36(5): 554 - 559.
- [7] 王德旺, 曲明星, 黄宁立, 等. 基于云雷达反射率因子的云宏观参量反演[J]. *干旱气象*, 2016, 34(6): 1071 - 1077.
- [8] 谢丽萍, 王德旺, 黄宁立, 等. 基于云雷达的大气 0 °C 层亮带识别[J]. *干旱气象*, 2016, 34(3): 472 - 480.
- [9] UTTAL T, INTRIERI J M, EBERHARD W L, et al. Cloud boundary statistics during FIRE II[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1995, 52(23): 4276 - 4284.
- [10] INTRIERI J M, SHUPE M D, UTTAL T, et al. An annual cycle of Arctic cloud characteristics observed by radar and lidar at SHEBA[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2002, 107(C10): 5 - 15.
- [11] 刘黎平, 郑佳锋, 阮征, 等. 2014 年青藏高原云和降水多种雷达综合观测试验及云特征初步分析结果[J]. *气象学报*, 2015, 73(4): 635 - 647.
- [12] 邱玉璐, 杨会文, 倪婷, 等. 基于美国 AMF 寿县观测的云特性研究[J]. *大气科学学报*, 2012, 35(1): 80 - 86.
- [13] 彭杰, 张华, 沈新勇. 东亚地区云垂直结构的 CloudSat 卫星观测研究[J]. *大气科学*, 2013, 37(1): 91 - 100.
- [14] 叶金印, 黄勇, 张春莉, 等. 近 50 年淮河流域气候变化时空特征分析[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(1): 84 - 91.

(下转至 1035 页)