

孙丽,赵姝慧,张晋广,等. 基于相对湿度阈值法的沈阳地区云垂直分布特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(4): 619-625, [SUN Li, ZHAO Shuhui, ZHANG Jinguang, et al. Characteristics of Cloud Vertical Structure Based on Threshold Method of Relative Humidity in Shenyang[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(4): 619-625], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0619

基于相对湿度阈值法的沈阳地区 云垂直分布特征

孙丽¹, 赵姝慧¹, 张晋广¹, 袁健¹, 金博², 宋怀宇²,
秦鑫¹, 刘旻¹, 房彬¹

(1. 辽宁省人工影响天气办公室, 辽宁 沈阳 110166; 2. 辽宁省沈阳市浑南区气象局, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:利用2006—2015年辽宁沈阳站的L波段探空数据,探讨了相对湿度阈值法对沈阳地区云识别的可靠性,并基于该方法对云的垂直结构进行定量分析。结果表明:相对湿度阈值法识别沈阳地区云的正确率可达75%以上,与地面观测有较好的一致性。60.7%的探空曲线识别到云的存在,云的出现频率夏季最高,为75.7%,秋季最低,为52.6%。有云条件下,沈阳地区以单层云为主,只有夏季多层云的出现频率较单层云高,多层云的出现频率随层数增加而减小。云层的垂直分布随云层数目及季节变化差异显著。云层及云夹层的厚度主要在2 km以下,且随云层数目的增加而减小。

关键词:L波段探空;云识别;云垂直结构;云出现频率

文章编号:1006-7639(2017)-04-0619-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0619

中图分类号:P41, P426.5⁺4

文献标识码:A

引言

云的垂直结构不仅影响云的发展和大气环流,也会对大气和地表的辐射收支产生影响,对云垂直结构的准确描述是数值模式的难点,同时也是人工影响天气作业的前提^[1-4]。以往关于云垂直结构特征的分析多基于卫星观测资料,通常统计区域较大而观测时间相对较短^[5-8]。因此,有必要基于长时间的观测资料开展云垂直结构特征的研究。

探空作为气象部门一项长期业务化运行的观测手段,可以获取不同高度上气象要素的垂直廓线。目前,已有很多学者利用探空数据对云识别及其垂直特征展开研究。国外最先提出利用探空数据识别云的方法,常用的方法包括温度露点差法、相对湿度阈值法以及温度与相对湿度的二阶导数法^[9-11]。随着我国L波段高空探测系统的业务化布设,我国学者大多采用相对湿度阈值法开展基于探空资料分析云垂直结构特征的研究。周毓荃等^[8]利用我国

业务布网的L波段探空秒数据与CloudSat卫星云垂直结构数据,验证了利用相对湿度阈值法判断云垂直结构的可行性以及利用探空资料进行云结构分析的可用性。ZHANG等^[12]对相对湿度阈值法进行了改进,基于ARM观测计划安徽寿县的探空资料分析当地的云垂直结构特征,并利用激光雷达等资料验证该方法的可靠性。蔡森等^[13]利用中国东部31个站点的L波段探空资料及CloudSat卫星云观测资料,统计云内、云外相对湿度的累积频率分布,建立了适用于中国的相对湿度阈值法,并指出随高度变化的相对湿度阈值要比单一湿度阈值准确率高。

沈阳位于中国东北地区南部,是东北亚和环渤海经济圈的中心,多次举行大型活动和赛事,这就要求更好地做好气象服务保障和具备更强的人工影响天气作业能力。为了充分认识沈阳地区云系的垂直分布特征,有效地为数值模式和人影作业提供依据,本文利用沈阳站2006—2015年L波段探空秒数据,探讨蔡森等^[13]的相对湿度阈值法对沈阳地区云识

收稿日期:2016-10-26; 改回日期:2017-04-10

基金项目:辽宁省青年英才科研专项“辽宁省人工增雨作业云系性质和垂直结构特征研究”、辽宁省气象局科研项目“辽宁省云宏微观特征分析及其与降水的相关性研究”和“GPS/PWV资料在辽宁省强对流天气中的应用研究”共同资助

作者简介:孙丽(1987—),女,工程师,主要从事人工影响天气研究。E-mail:sunli_2006_abc@126.com

通讯作者:赵姝慧(1982—),女,高级工程师,主要从事人工影响天气研究。E-mail:zhaoshuhui512@163.com

别的适用性,并基于该方法对沈阳地区云的垂直分布特征进行统计分析。

1 数据与方法

1.1 L 波段探空数据

L 波段高空气象探测系统是我国自行研制的具有独立知识产权的高空气象探测系统,能够连续自动测定从地表到 30 km 高空的气温、湿度、气压、风向和风速等气象要素,具有高分辨率和实时采集的能力^[14]。采样周期为 1.2 s,空间垂直分辨率约 8 m,释放时间为每日的 08:00 和 20:00(北京时,下同)。

使用沈阳站(123.52°E,41.73°N,海拔 49 m) 2006—2015 年共计 6 792 条 L 波段探空廓线对沈阳地区的云垂直结构进行分析。由于探空湿度传感器在低温条件下灵敏度下降^[14-15],故仅利用 15 km 以下的探空湿度数据进行云层识别。云的垂直结构参数包括云底高度、云顶高度和多层云中云层之间的距离(云夹层的厚度)等,它们是影响大气环流的重要因素,因此本文探讨以上参数特征。

1.2 云识别方法及可靠性检验

采用蔡森等^[13]提出的相对湿度阈值法进行云识别。其公式为:

$$RH_{th} = \begin{cases} 91, & (0 \leq h < 1) \\ -6.416h + 97, & (1 \leq h < 2) \\ -1.223h + 87, & (2 \leq h < 7.562) \\ -4.0h + 108, & (7.562 \leq h < 10) \\ 68, & (10 < h \leq 15) \end{cases} \quad (1)$$

其中, h 为高度(单位:km), RH_{th} 为不同高度范围的相对湿度阈值(单位:%)。值得注意的是,探空得到的相对湿度是相对水面的相对湿度,在云识别前需将低于 0 °C 的相对湿度转化为相对冰面的相对湿度^[16]。进行云层分析时,剔除云顶高度低于 500 m 的云;对于很薄的云夹层或云层,参考 ZHANG 等^[12]的方法,即当云夹层的厚度不足 300 m 时,若相对湿度 $RH > RH_{th} - 5$ 则判断为云层,而当云层厚度不足 80 m 时,若相对湿度 $RH < RH_{th} + 3$ 则判断为无云。

为验证此方法在沈阳地区的可靠性,结合 2006—2015 年沈阳站地面云观测数据,参考蔡森^[13]、刘世祥^[17]的方法,对云识别算法在沈阳地区的正确率、漏报率和空报率进行统计,方法如下:

$$\text{正确率} = (a + d) / (a + b + c + d) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{漏报率} = b / (a + b + c + d) \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{空报率} = c / (a + b + c + d) \times 100\% \quad (4)$$

其中, a 、 b 、 c 、 d 分别表示正确肯定、漏报、空报和正

确否定的次数。

经计算,基于此方法的沈阳地区云识别正确率在 75% 以上,尤其是夏季正确率可达 83% 以上,且不同季节的漏报率和空报率均低于 20%,平均为 11.97% 和 8.82% (表 1)。此外,还对比了地面观测与基于云识别方法的云底高度,发现两者的差异较小(表略)。因此,利用此方法对沈阳地区的云垂直结构进行分析是可靠的。

表 1 基于相对湿度阈值方法的云识别精度(单位:%)

Tab. 1 Accuracy of cloud recognition based on the threshold method of relative humidity (Unit:%)

评估指标	春季	夏季	秋季	冬季	整个时段
正确率	78.07	83.65	79.45	75.26	79.21
漏报率	14.55	13.24	12.21	7.64	11.97
空报率	7.38	3.11	8.34	17.10	8.82

2 结果与分析

2.1 单层云和多层云的出现频率

通过基于相对湿度阈值的云识别算法识别的云层最多 7 层,但由于 4 层以上的多层云出现频率较小(低于 1%),故对其不予研究。对 2006—2015 年沈阳站的探空廓线统计发现,约有 60.7% 的探空廓线识别到有云存在,其中云出现的频率夏季最高,为 75.7%,春季和冬季次之,分别为 56.9% 和 55.1%,秋季最低,仅为 52.6%。研究表明,夏季风为我国北方带来充足的水汽条件,加之“低空辐合、高空辐散”的环流配置,导致夏季云的出现概率最大^[18-19]。

表 2 给出 2006—2015 年沈阳地区有云条件下单层云和多层云的出现频率。可以看出,除夏季多层云出现频率大于单层云外,其他季节主要以单层云为主,尤其冬季单层云的出现频率最高,为 63.7%,

表 2 2006—2015 年沈阳地区有云条件下单层云和多层云的出现频率(单位:%)

Tab. 2 Occurrence frequencies of cloud with different layers under cloudy weather condition in Shenyang during 2006 - 2015 (Unit:%)

类型	春季	夏季	秋季	冬季	整个时段
单层云	60.7	41.3	60.0	63.7	54.9
双层云	27.0	32.7	27.8	26.5	28.9
三层云	9.5	17.3	9.5	8.3	11.8
四层云	2.8	8.7	2.7	1.5	4.4

夏季复杂的云层垂直结构可能是对流活动旺盛条件下高、中、低云更易同时出现所致^[6]。另外,随着云层数目的增加,其出现频率均逐渐减小,多层云中以双层云为主,尤其是夏季双层云的出现频率可达32.7%,而其他季节双层云的出现频率相差不大,在27.0%左右。

2.2 云层的分布特征

图1给出沈阳地区单层云和多层云的平均位置分布。对比各季节单层云的分布位置发现,夏季单层云的平均云顶高度最高,达7.03 km,春秋季节次之,分别为6.49 km和6.33 km,冬季最低,仅5.05 km;单层云的平均云底高度同云顶高度具有相同的季节变化特征,夏季最高,可达4.02 km,冬季最低,为2.56 km;单层云的平均厚度,夏季最大(3.01 km),冬季最小(2.49 km)。云层厚度的季节差异主要受季风影响,夏季强的上升运动和充沛的水汽条件可使云层发展得更厚^[6]。另外,对单层云的云层厚度统计发现,约有39.7%的单层云厚度在1 km以下,云层厚度低于2 km的可达55.9%,说明沈阳地区的单层云主要以薄云为主,这意味着数值模式需要更高的垂直分辨率才可能模拟出大多数薄云信息。

就多层云的云层季节分布而言,不同层数的云层位置季节变化规律不尽一致,但最高云层(即顶层云,相对单层云而言)的平均云顶高度基本随云层数目的增加而增加,而最低云层(即底层云,相对单层云而言)的平均云底高度基本随云层数目的增加而降低。其中,双层云及三层云中顶层云的云顶高度夏季最大,分别为9.24 km和10.27 km,四层云中顶层云的平均云顶高度春季最大,可达10.87 km,而平均云顶高度均在冬季最小,分别为6.72 km、7.44 km和8.99 km;多层云中底层云的云底高度在春季最大,且随层数的增加而降低,分别为2.64 km(双层云)、2.37 km(三层云)和2.20 km(四层云),而双层云、三层云中底层云云底高度在冬季最小,分别为1.91 km和1.60 km,四层云中底层云的云底高度夏季最小,为1.44 km。按照中纬度地区高云(云底高度>6 km)、中云(2.5 km<云底高度<6 km)、低云(云底高度<2.5 km)的划分方法^[20],对不同云层数下3类云统计发现,随着云层数目的增加,低云出现频率减少,而中云和高云的比例增加,如冬季,单层云中低、中、高云的比例分别为61.4%、30.6%和8.0%,而四层云中对应的比例分别为26.8%、50.0%和23.2%。由于春季四层云中高云出现比例最高(38.1%),夏季仅为35.9%,

而冬季以低云为主且云层较薄,致使其平均云顶高度春季最大。对比多层云的云层厚度可知,春、夏季多层云的平均厚度相对较大,分别为1.74 km和1.75 km,冬季最小,仅为1.40 km。相比单层云,多层云的云层厚度更薄,其中约有72.8%的云层厚度小于2 km。

从整个时段云层平均分布看出,单层云、双层云、三层云及四层云中顶层云的云顶高度分别平均为6.21 km、8.24 km、9.40 km和10.20 km,而对应的底层云的云底高度平均分别为3.41 km、2.31 km、1.79 km和1.58 km,这与各季节的顶层云的云顶高度及底层云的云底高度随云层数目的变化规律一致。对比单层云与多层云的云层厚度看出,多层云中单一云层的平均厚度为0.70~2.50 km,低于单层云的厚度(2.81 km),且多层云中顶层云的云层厚度(>2 km)大于下部云层的厚度(<2 km),这可能是由于上层云的出现削弱了下层云顶上部的长波辐射冷却所致^[21-22]。

2.3 不同高度云频率分布及季节变化

为了解沈阳地区不同高度上云的分布状况,对不同层数云中各层云的出现频率随高度的变化进行计算,公式为:

$$F_{n,Li}(h) = N_{n,Li}(h) / \sum_h N_{n,Li}(h) \times 100\% \quad (5)$$

其中: $F_{n,Li}(h)$ 为 $n(n=1,2,3,4)$ 层云中第 i 层云 Li ($i=1,2,\dots,n$)在不同高度层出现的频率; $N_{n,Li}(h)$ 为 n 层云中第 i 层云 Li 在 $h \pm 0.5$ km高度层内出现的次数, h 取值分别为1 km,2 km, \dots 15 km。

图2给出沈阳地区不同层数的云层出现频率随高度变化。可看出,8 km以下单层云出现的频率相差不大,在8%~10%之间,而8 km以上,单层云的出现频率随高度升高而逐渐降低。多层云中,L1主要出现在6 km以下,随高度增加L1出现频率迅速降低,且云层数目越多,L1在低层出现的频率越高;L2、L3、L4的出现频率与L1有明显区别,出现频率随高度呈现先增后降的趋势,且随着层数的增加,相同层次频率分布的谱宽逐渐减小,峰值左移。其中,双层云、三层云及四层云中L2出现频率的峰值所在高度分别为9 km、4 km和4 km,而L3频率峰值所在高度分别为9 km和5 km,四层云中L4出现频率的峰值高度为9 km。同时,对所有云整体的出现频率随高度变化进行分析(图略),发现所有云的出现频率随高度的变化特征与单层云相似,8 km以下云出现频率较单层云略小,9~12 km之间较单层云稍大。

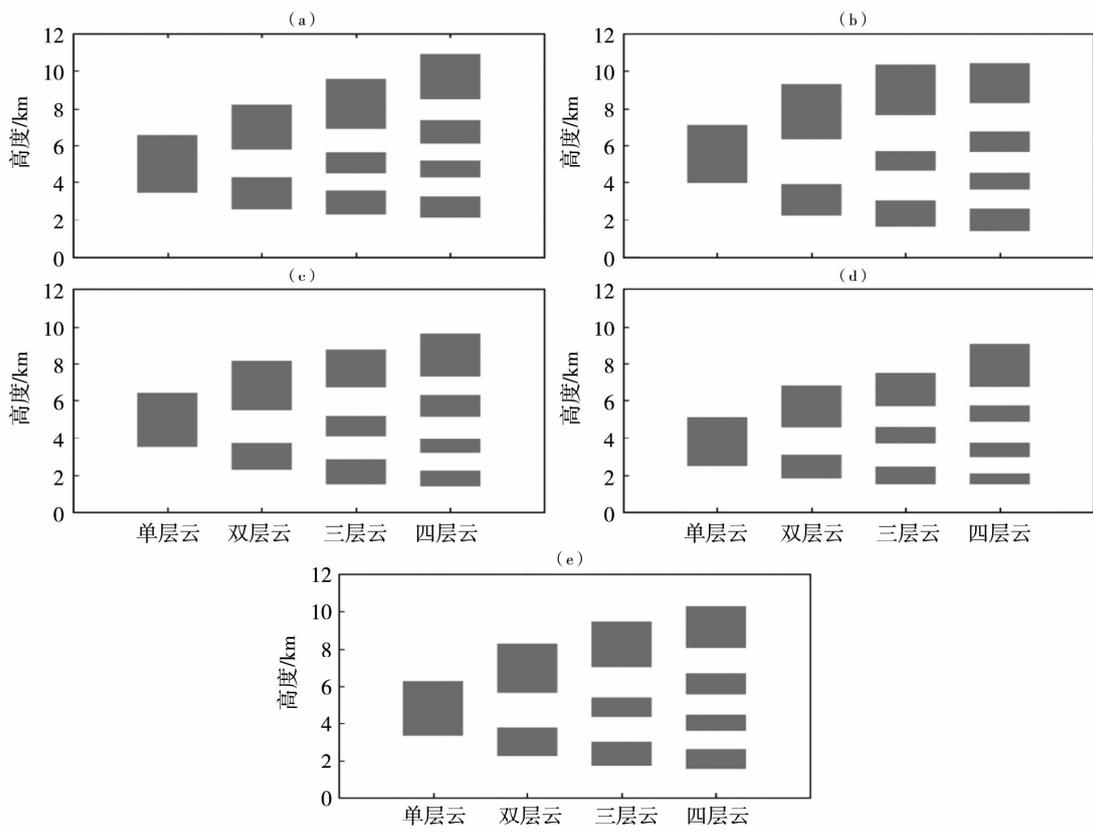


图 1 2006—2015 年沈阳地区不同季节云层的平均位置
 (a) 春季, (b) 夏季, (c) 秋季, (d) 冬季, (e) 整个时段

Fig. 1 The average locations of cloud layers in different seasons in Shenyang during 2006 - 2015
 (a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter, (e) overall records

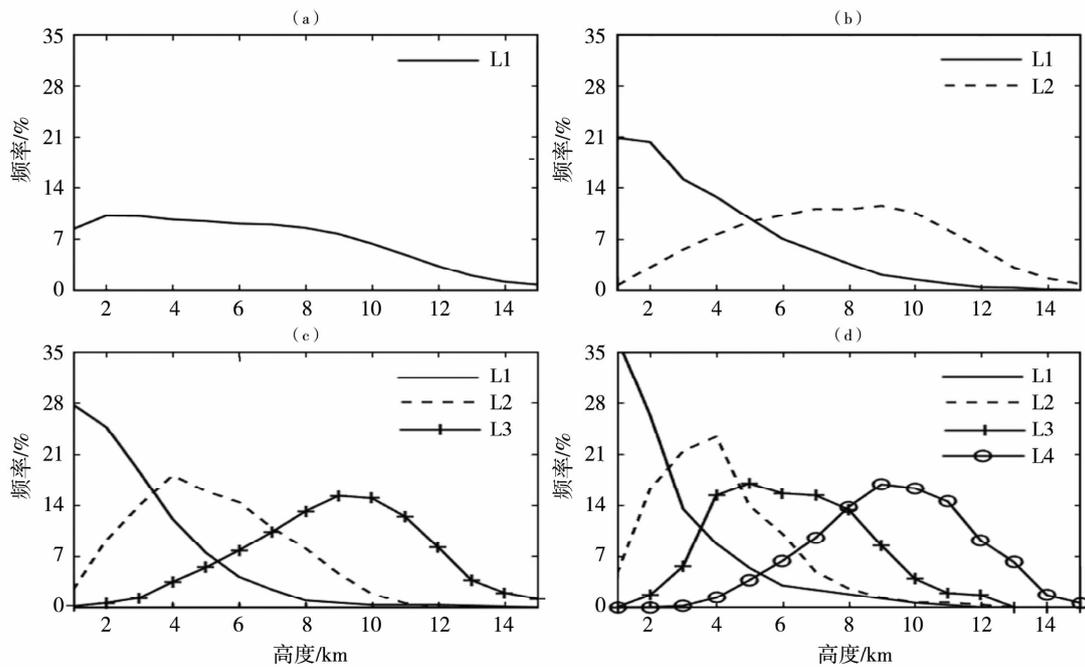


图 2 沈阳地区不同层数云的垂直分布

(a) 单层云, (b) 双层云, (c) 三层云, (d) 四层云

Fig. 2 The vertical distributions of cloud with different layers in Shenyang

(a) single - layer cloud, (b) double - layer cloud, (c) three - layer cloud, (d) four - layer cloud

另外,对不同季节云出现频率的垂直分布进行统计(图3)发现,除夏季外,云的出现频率随高度呈单峰分布。春季,云出现频率峰值所在高度为5 km,频率峰值约为11.17%;秋季,8 km以下,云的出现频率差别不大,在8%~10%之间波动,此后随高度快速下降;冬季,云出现频率峰值所在高度在2 km,峰值可达13.4%,远高于其他季节,这可能因冬季较多的层积云所致^[23];夏季,4 km以下云层的出现频率在8%~9%之间,4~6 km范围云的出现频率随高度增加有所下降,6 km以上随高度增加而增加,至9 km再次出现峰值,频率为9.51%,此后随高度快速降低,这可能与夏季卷云的出现频率较高有关^[24]。对比不同季节低、中、高云的比例发现,春、夏、秋、冬季的低云比例依次上升,春季低云比例约为33.2%,冬季约为49.7%;中云的比例春季最高(43.6%),夏季最低(28.1%);高云夏季的比例最高(34.6%),冬季最低(11.5%)。

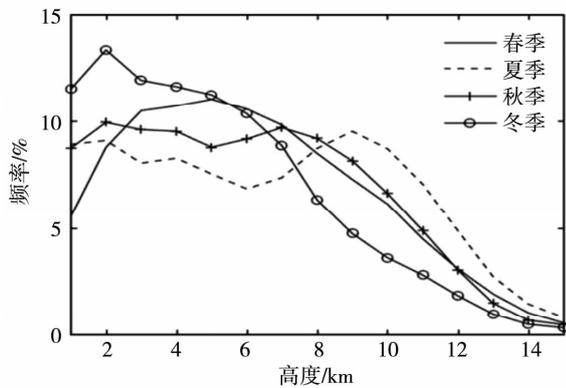


图3 沈阳地区不同季节云的垂直分布
Fig.3 The vertical distribution of cloud in different seasons in Shenyang

2.4 云夹层的分布特征

介于两层云之间的无云区域定义为云夹层。由于云夹层内相对湿度较低,会导致降落下来的雨滴或冰晶在云夹层中蒸发或升华^[20],因此云夹层的厚度也是人工增雨作业必须考虑的关键因素。表3列出不同季节沈阳地区不同云层间云夹层的平均厚度。可看出,沈阳地区整体云夹层的平均厚度为1.80 km,66.1%的云夹层厚度在2 km以下。就季节变化而言,夏季云夹层平均厚度最大(2.08 km),冬季最小(1.46 km)。对比不同云层数目的云夹层厚度看出,云夹层厚度一般随云层数目的增加而减小,这与不同层次间峰值高度的差异随云层数目的增加而减小一致。对云夹层的出现频率随高度的变化分析发现(图略),除夏季6~8 km范围内云夹层

出现频率较高外,其他季节云夹层出现频率的高值区主要集中在3~5 km。

表3 沈阳地区不同云层间云夹层的平均厚度(单位: km)

Tab.3 The mean thickness of cloud interlayer between different cloud layers in Shenyang (Unit:km)

类型	云夹层	春季	夏季	秋季	冬季	整个时段
双层云	L2-L1	1.75	2.76	2.00	1.63	2.14
	L2-L1	1.13	1.83	1.52	1.37	1.57
三层云	L3-L2	1.39	2.06	1.64	1.22	1.72
	L2-L1	1.13	1.28	1.07	0.99	1.20
四层云	L3-L2	1.04	1.30	1.33	1.28	1.26
	L4-L3	1.28	1.69	1.16	1.10	1.51
所有云		1.48	2.08	1.73	1.46	1.80

3 结 论

(1)基于蔡森等^[13]建立的相对湿度阈值法在沈阳地区识别云的正确性可达75%以上,与地面观测有较好的一致性。沈阳地区云层出现的频率夏季最高,冬季最低,且云层主要以单层云为主,多层云主要以双层云为主。除夏季外,其他季节以单层云为主,其中冬季单层云所占比例最高;夏季多层云出现频率最大,且不同层数云的出现频率高于其他季节。

(2)单层云夏季的云顶高度最高,云层最厚,而冬季云顶高度最低,云层最薄。多层云中不同层数的云层位置季节变化规律不尽一致,但夏季多层云的平均厚度最大,冬季最小;随云层数目的增加,顶层云的云顶高度升高,而底层云的云底高度降低,但云层厚度变小,且底层云的厚度一般大于中间云层的厚度而低于顶层云的厚度。

(3)不同高度上云出现的频率随云层数和季节变化显著。对单层云而言,8 km以下云出现的频率相差不大,而8 km以上则随高度增加而减小。多层云中,L1的出现频率随高度的增加而减小,且随云层数的增加,其出现频率峰值增大;L2、L3、L4的出现频率随高度的增加先升后降,且相同层次云层的频率峰值所在高度随云层数的增加而降低。除夏季外,云的出现频率随高度基本呈单峰分布。

(4)沈阳地区云夹层的厚度主要在2 km以下,其中夏季云夹层的厚度最大,秋季次之,而春季和冬季相差不大。整体而言,云夹层的厚度随云层数目的增加而减小。

本文仅讨论了不同季节云垂直分布的差异,而对云类型、性质的季节变化及其对云垂直结构的影响较少涉及,今后需要综合地面观测和卫星遥感资料进行进一步分析。

参考文献

- [1] WANG J, ROSSOW W B. Effects of cloud vertical structure on atmospheric circulation in the GISS GCM [J]. *Journal of Climate*, 1998, 11(11):3010-3029.
- [2] 周天, 黄忠伟, 黄建平, 等. 黄土高原地区云垂直结构的激光雷达遥感研究[J]. *干旱气象*, 2013, 31(2):246-253, DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0246.
- [3] 张华, 荆现文. 气候模式中云的垂直重叠及其辐射传输问题研究进展[J]. *气象学报*, 2016, 74(1):103-113.
- [4] 郭学良, 付丹红, 胡朝霞. 云降水物理与人工影响天气研究进展(2008~2012年)[J]. *大气科学*, 2013, 37(2):351-363.
- [5] 李积明, 黄建平, 衣育红, 等. 利用星载激光雷达资料研究东亚地区云垂直分布的统计特征[J]. *大气科学*, 2009, 34(4):698-707.
- [6] 汪会, 罗亚丽, 张人禾. 用 CloudSat/CALIPSO 资料分析亚洲季风区和青藏高原地区云的季节变化特征[J]. *大气科学*, 2011, 35(6):1117-1131.
- [7] 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.
- [8] 周毓荃, 欧建军. 利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究[J]. *气象*, 2010, 36(11):50-58.
- [9] POORE K D, WANG J, ROSSOW W B. Cloud layer thicknesses from a combination of surface and upper-air observations[J]. *Journal of Climate*, 1995, 8(3):550-568.
- [10] WANG J, ROSSOW W B. Determination of cloud vertical structure from upper-air observations[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1995, 34:2243-2258.
- [11] CHERNYKH I V, ESKRIDGE R E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1996, 35:1362-1369.
- [12] ZHANG J, CHEN H, BIAN J, et al. Development of cloud detection methods using CFH, GTS1, and RS80 radiosondes[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(2):236-248.
- [13] 蔡森, 欧建军, 周毓荃, 等. L 波段探空判别云区方法的研究[J]. *大气科学*, 2014, 38(2):213-222.
- [14] 李伟, 邢毅, 马舒庆. 国产 GTS1 探空仪与 VAISALA 公司 RS92 探空仪对比分析[J]. *气象*, 2009, 35(10):97-102.
- [15] NAUD C, MULLER J P, CLOTHIAUX E E. Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(D4). DOI:10.1029/2002JD002887.
- [16] ALDUCHOV O A, ESKRIDGE R E. Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1996, 35:601-609.
- [17] 刘世祥, 陶健红, 张铁军, 等. 西北区秋季短期气象要素客观预报检验评估[J]. *干旱气象*, 2010, 28(3):346-351.
- [18] LI Y Y, YU R C, XU Y Y, et al. Spatial distribution and seasonal variation of cloud over China based on ISCCP data and surface observations[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2004, 82(2):761-773.
- [19] 吴伟, 王式功, 邓莲堂, 等. 中国北方云量的四季分布与降水[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(3):32-40.
- [20] 赵姝慧, 班显秀, 袁健, 等. 8、9月沈阳地区卫星观测云垂直结构的气候特征分析[J]. *高原气象*, 2014, 33(6):1640-1647.
- [21] CHEN C, COTTON W R. The physics of the marine stratocumulus-capped mixed layer[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1987, 44:2951-2977.
- [22] WANG J. Determination of cloud vertical structure from upper air observations and its effects on atmospheric circulation in a GCM[D]. New York:Columbia University, 1997:233.
- [23] 王帅辉, 韩志刚, 姚志刚, 等. 基于 CloudSat 资料的中国及周边地区云垂直结构统计分析[J]. *高原气象*, 2011, 30(1):38-52.
- [24] 闵敏, 王普才, 宗雪梅. 中国地区卷云分布特征的星载激光雷达遥感[J]. *气候与环境研究*, 2011, 16(3):301-309.

Characteristics of Cloud Vertical Structure Based on Threshold Method of Relative Humidity in Shenyang

SUN Li¹, ZHAO Shuhui¹, ZHANG Jinguang¹, YUAN Jian¹, JIN Bo²,

SONG Huaiyu², QIN Xin¹, LIU Yang¹, FANG Bin¹

(1. *Weather Modification Office of Liaoning Province, Shenyang 110166, China;*
2. *Hunnan Meteorological Station of Liaoning Province, Shenyang 110168 China*)

Abstract: Based on L-band sounding data and cloud ground observation data at Shenyang station from 2006 to 2015, the reliability of using threshold method of relative humidity to recognize cloud in Shenyang region was discussed, and then the vertical structure of cloud parameters including the location and thickness of cloud layers, cloud-top height, cloud-base height, etc, was quantitatively analyzed based on this method. The results show that the accuracy of cloud identification in Shenyang region based on the threshold method of relative humidity was above 75%, which was consistent well with the observation. About 60.7% sounding profiles could identify the cloud in Shenyang, and the frequency of cloud occurrence was the highest in summer (75.7%) and the lowest in autumn (52.6%). In general, the single-layer clouds were dominant under the cloudy condition, but the occurrence frequency of multi-layer clouds was higher than that of single-layer clouds in summer, and the frequency of multi-layer clouds decreased with the increase of cloud layer number. The differences of cloud vertical structure were significant with the change of seasons and number of cloud layers. Moreover, the thickness of clouds and their interlayer was below 2 km, which decreased with the increase of cloud layers number.

Key words: L-band sounding; cloud identification; cloud vertical structure; cloud occurrence frequency

(上接第 618 页)

Characteristics of Hot Weather and Its Influence Factors from 1951 to 2015 in Hangzhou of Zhejiang Province

WANG Ying, LIU Danni, ZHANG Weiwei

(*Meteorological Service Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310017, China*)

Abstract: Based on daily meteorological data during 1951–2015 and global solar radiation observations during 1993–2014 in Hangzhou of Zhejiang Province, three indicators including high temperature, warming night and heat index, were calculated to study the characteristics of hot weather in recent 65 years. A simple hot weather forecasting model was established based on 08:00 BST data such as solar radiation, air temperature and relative humidity. The results are as follows: (1) The occurring days of high temperature, warming night and hot weather increased gradually from 1951 to 2015, and the increasing rate changed considerably after the year 2000. High temperature weather occurred mainly in July and August with the frequency of 86.8%. The heat index showed the impact of humidity on human body, and air temperature corresponding to heat threshold descended with increase of relative humidity. (2) Air temperature, relative humidity and global solar radiation at 08:00 BST presented a significant correlation with high temperature weather. And high temperature weather tended to occur when air temperature was more than 28.0 °C, relative humidity was less than 70.0% and global solar radiation was more than 0.8 MJ · m⁻². (3) The hot weather forecasting model was established based on three associated factors using Logic regression, and the accuracy rate of historical forecast reached 87.0%.

Key words: Hangzhou; high temperature weather; variation characteristics; meteorological factors