Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1169-1178
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156123

Hans汉斯

近14a宁波机场低云的统计特征分析

陶俞锋，吴福浪，虞本颖

中国民用航空宁波空中交通管理站气象台，浙江 宁波

收稿日期：2026年9月30日；录用日期：2026年10月28日；发布日期：2026年11月4日

摘 要

利用宁波机场2012年1月~2025年12月的低云观测资料，分析了机场低云量、云底高的日变化、年变化和年际变化特征。结果表明，宁波机场累年平均低云量为3.5/8，2012~2019年年平均低云量在其平均值上下波动，2019年开始呈下降趋势，2025年最明显；累年平均低云云底高为1034 m，近14年呈明显的上升趋势。夏季出现BKN量级低云最多，BKN低云量白天多于夜间，下午多于上午，夜间变化稳定，06时出现频率最高为17%，14时之后频率最低；冬季出现OVC量级的低云最多，OVC低云量出现频率与BKN低云量呈反位相，21~23时频率最高均为31%，05~08时频率最低为27%。机场对流云的累年平均频率为4%，最多出现在8月份，频率为15%；峰值为7~8月份的06~09时，频率 ≥ 30%；1月份从未出现过对流云。450 m低云(非对流云、云高低于450 m)的累年平均频率为9%，1~6月份是高发期，2月份为峰值，频率12%；7~10月份进入低发期，8月份为谷值；日变化表现为凌晨至上午出现频率高，午后至上半夜出现频率低。

关键词

宁波机场，低云，频率，特征分析

Statistical Characteristics Analysis of Low Clouds at Ningbo Airport over the Past 14 Years

Yufeng Tao, Fulang Wu, Benying Yu

Meteorological Observatory of Ningbo Air Traffic Management Station of CAAC, Ningbo Zhejiang

Received: September 30, 2026; accepted: October 28, 2026; published: November 4, 2026

Abstract

Using low cloud observation data from Ningbo Airport spanning January 2012 to December 2025,

文章引用: 陶俞锋, 吴福浪, 虞本颖. 近 14a 宁波机场低云的统计特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1169-1178.DOI: 10.12677/ccrl.2026.156123

this study analyzed the diudrnal, annual and interannual variations in low cloud cover and cloud base height. Results show that the long-term average low cloud cover at Ningbo Airport is 3.5/8, from 2012 to 2019, the annual mean low cloud amount fluctuated up and down, and since 2019 it has shown a decreasing trend, with the most pronounced decrease occurring in 2025. The long-term average cloud base height of low clouds is 1034m, showing a clear upward trend over the past 14 years. BKN-level low clouds occur most frequently during summer, with higher daytime than nighttime occurrence, more in the afternoon than morning; nighttime variation is stable, peaking at 06:00 with a frequency of 17%, and lowest after 14:00. OVC-level low clouds are most common in winter, occurring in opposite phases to BKN clouds-peaking between 21:00 and 23:00 at 31% each, and lowest between 05:00 and 08:00 at 27%. The long-term average frequency of convective clouds at the airport is 4%, peaking in August at 15%; the highest frequency occurs between 06:00 and 09:00 in July and August, reaching ≥ 30%; convective clouds have never been observed in January. Other low clouds (non-convective, cloud base below 450 m) have a long-term average frequency of 9%, with peak occurrence from January to June, reaching a maximum in February at 12%; they enter a low-frequency period from July to October, with the lowest frequency in August. Diurnally, these clouds appear frequently from early morning to mid-morning but less so from afternoon to late night.

Keywords

Ningbo Airport, Low Clouds, Frequency, Characteristics Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

云是影响飞行活动的重要气象要素之一，云中的上升气流、下击气流以及云的外围气流都可能导致飞机产生颠簸[1]。中国民用航空局(2012)业务规范规定，根据云底距离地面高度，可将云分为低、中、高三族，其中满足特定云的外貌特征且距离地面 2500 m 以下的云被定义为低云。其中低云对飞机的起降影响特别大，它会使飞行员有可能因看不清地标而迷航或者由于心理压力而产生云中错觉，引起操纵失误，从而引发飞行事故[2] [3]。对流云对飞行安全影响更大，由于云中有强烈的对流和大量过冷却水，容易造成飞机发生剧烈颠簸和严重积冰，积雨云中的雷暴和闪电还会损坏飞机机体和机载设备。

近些年，气象学者们对云进行了多方面研究，取得了一定的成果。韩韡等[4]、叶平等[5]分别对大连、北京机场低云的气候特征进行了统计，分析了当地低云形成的天气条件。杨瑜等[6]对影响上海浦东机场航空飞行的低云与降水分布特征进行了分析，并指出了两者之间存在的相关性。金耀廷等[7]研究了虹桥机场 6 月低云日数的年际变化，并对原因作了进一步探讨。目前由于资料缺乏等原因，针对特定机场观测到的台站资料的低云的研究还相对较少，低云的长期变化特征对飞机航路运行的选择以及管制区飞机起降安全保障具有重要的指导作用；而且在机场及附近，云底距离地面高度低于 450 m 的低云又对飞机的正常起降影响很大。因此，本文将以宁波栎社机场观测到的低云资料作为研究对象，研究宁波机场低云和强对流云的气候特点及变化规律，这对机场的航空运行规划，具有一定的参考价值。

2. 资料的选取及说明

宁波栎社国际机场跑道两端 RWY13 和 RWY31 安装 VAISALA 公司的自动气象观测系统(AWOS)，对常规气象要素进行观测。自 2011 年 12 月 31 日 16 时(UTC，下同)起，民航宁波空管站气象台观测室每

一小时进行例行观测(特殊观测除外)，并将各气象要素记录在观测记录本中，记录本中云量、云状和云高是观测员根据观测员人工观测后得到的资料，而 AWOS 探测到的云高只作为参考，其它风速、气温及相对湿度的数据均为 AWOS 采集的实况数据。

中国民用航空局业务规范规定，根据云底距离地面高度，可将云分为低、中、高三族，其中满足特定云的外貌特征且距离地面 2500 m 以下的云被定义为低云。本文使用的低云资料是宁波机场近 14 年地面气象观测月总簿记录的天气资料，涉及的资料年限：2012 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日共 14 年，时次为 00-23UTC，以 16 时 00 分为日界。

3. 低云的年际变化和年变化

3.1. 低云云量的年际变化和年变化

宁波栎社机场位于东海之滨，杭州湾的南隅，常年受海洋性气候影响，水汽充沛，有利于云的生成。根据《民用航空气象地面观测规范》规定，云量是指云遮蔽天空视野的份数，采用八分量制，民航气象上把低云量分为四个不同量级，这里着重论述影响飞行的 BKN 及以上量级低云量的年变化特征。据统计，2012~2025 年年平均低云量为 3.5/8 (如图 1)，最高为 4.1/8 (2019 年)，其次 4/8 (2016 年)；最低为 2.5/8 (2025 年)，次低 3.1/8 (2013 年)。其中 2012~2019 年的年平均低云量为 3.7/8，各年的变化在平均值上下波动，2019 年达到峰值，2019~2025 年低云量开始呈下降趋势，到 2025 年跌至谷底。

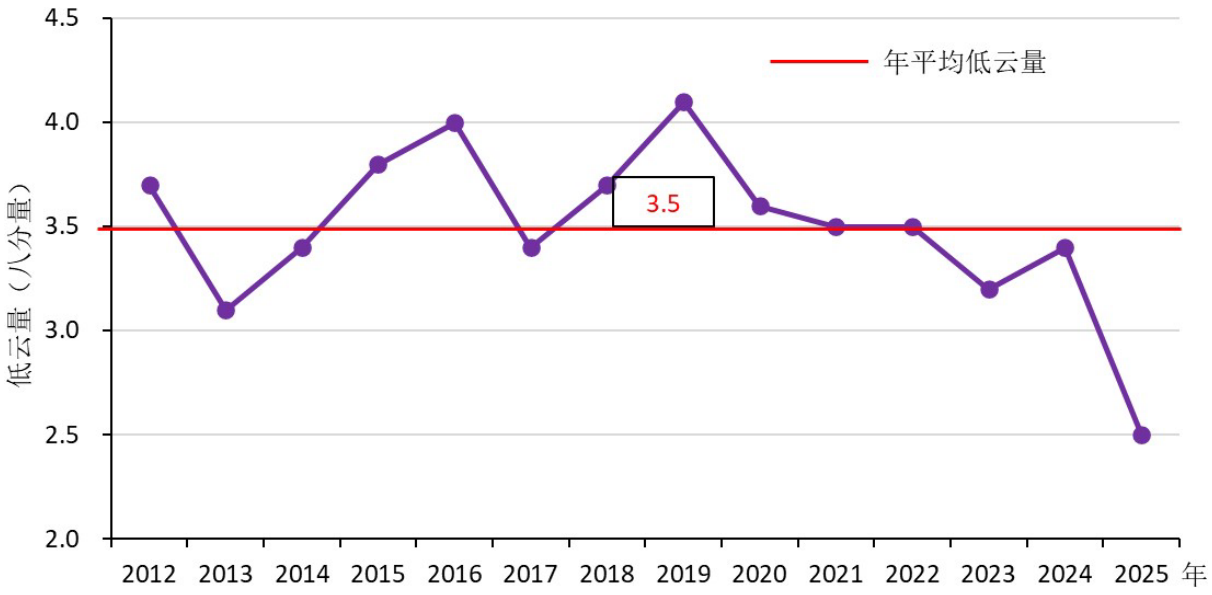


Figure 1. Interannual variation of low cloud cover (2012~2025)
图 1. 低云云量的年际变化(2012~2025 年)

如图 2 所示，累年 BKN 量级低云出现的平均频率为 12%，8~10 月份出现频率最高为 16%，7 月份次之为 15%，2~4 月份出现频率最低，均为 8%。累年 OVC 低云跟 BKN 低云各月出现频率差异甚大，OVC 量级低云出现的平均频率为 29%，其中 2 月份出现频率最高为 47%，1 月份次之为 39%；8 月份最低为 10%，次低为 7 月份的 13%，是全年中 OVC 云量出现频率低于 BKN 云量出现频率的两月份。累年 BKN + OVC 低云出现频率和 OVC 低云的年变化基本一致，2 月份出现频率最高为 55%，其次是 6 月份的 49%，8 月份出现频率最低为 26%，7 月份次低为 28%。

综上，宁波栎社机场低云量季节分布特点：冬季出现 OVC 量级的低云最多，春季次之，夏季最少；而夏季是出现 BKN 量级低云最多的季节。

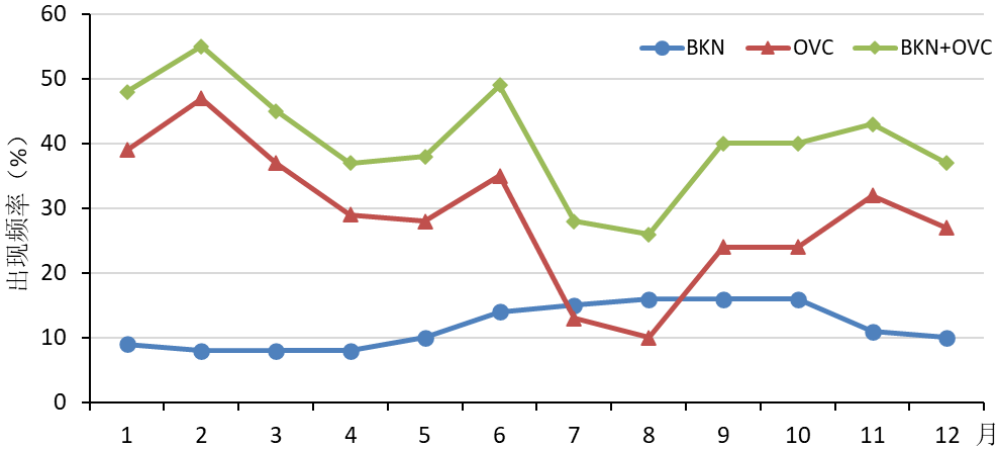


Figure 2. Frequency of low cloud cover (BKN/OVC) for each month over the years
图 2. 累年各月 BKN/OVC 低云量出现频率

3.2. 低云云高的年际变化和年变化

从图 3 来看，宁波机场累年低云平均云底高度为 1034 m，最高的是 1077 m (2025 年)，其次 1076 m (2020 年)；最低的是 964 m (2012 年)，次低 1011 m (2013 年)。2019 年之前宁波机场的低云云底高度基本在平均线之下，2016 年(1037 m)除外，2019 年(含)之后云底高度高于平均线，2024 年(1027 m)除外。从分析年际变化的线性趋势线走向来看，宁波栎社机场的低云云底高度是呈明显的上升趋势。

分析历年各月低云的平均云高(图略)，宁波机场除了夏季(6~8 月份)云底高度不超过 1000 m，其余各个月份均在 1000 m 之上。10 月份为最高，达 1106 m，次高为 12 月份的 1095 m；最低为 8 月份的 939 m，次低为 7 月份的 946 m。

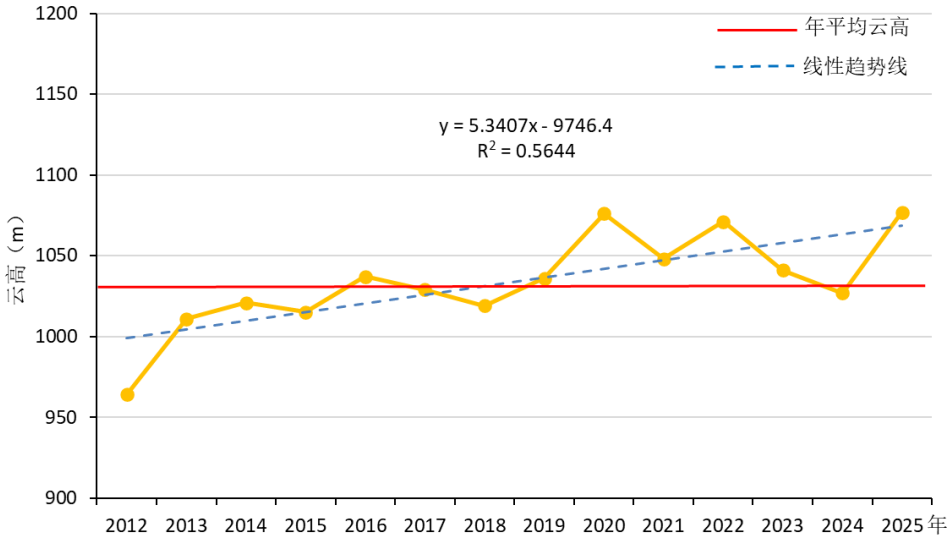


Figure 3. Interannual variations of low cloud base height (2012~2025)
图 3. 低云云高的年际变化(2012~2025 年)

3.3. 各类低云云高的年变化

宁波机场各类低云的云底高度年变化中除了 Fc、St 和 Ns 三类云变化幅度比较大之外，其它几类低云高度相对平稳(图 4)。Fn 年均云底高度最低，其次为 Fs，最高是 Sc。积状云(Cb、Tcu、Cu)和层状云(Sc)的云底高度在 800~1000 m 之间；而 Fc、St 和 Ns 云底高度变化较大，一般在 200~900 m 之间波动。影响飞行的低云主要是云底高 ＜450 m，包括 Fs 和 Fn，这两类低云高度在 200 m 附近。

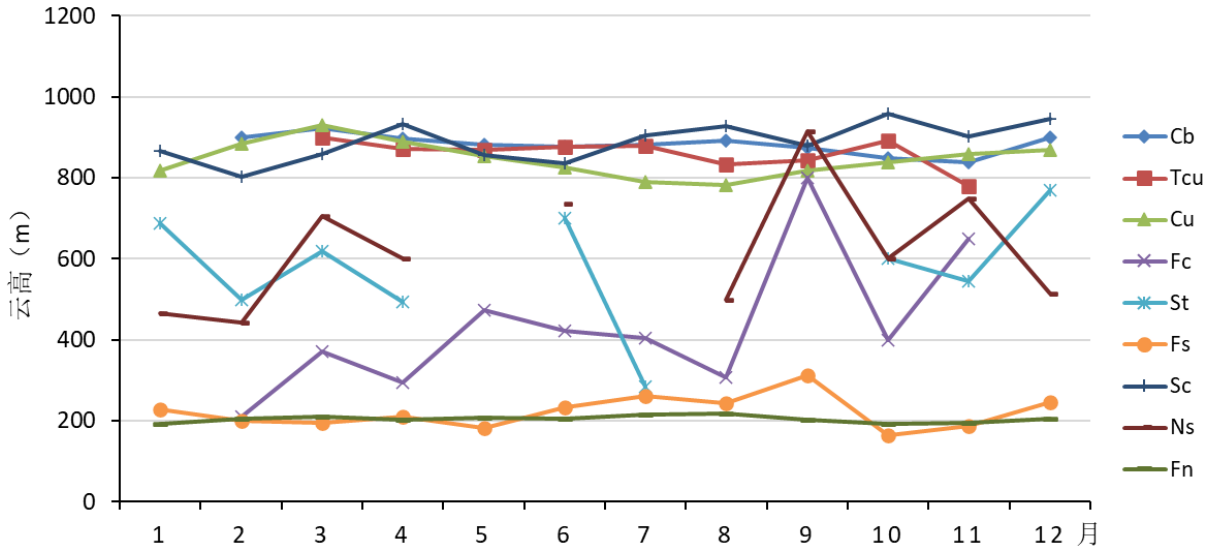


Figure 4. Average monthly cloud base height of various types of low clouds over years
图 4. 累年逐月各类低云平均云底高度

4. 低云的日变化

4.1. 低云量的日变化

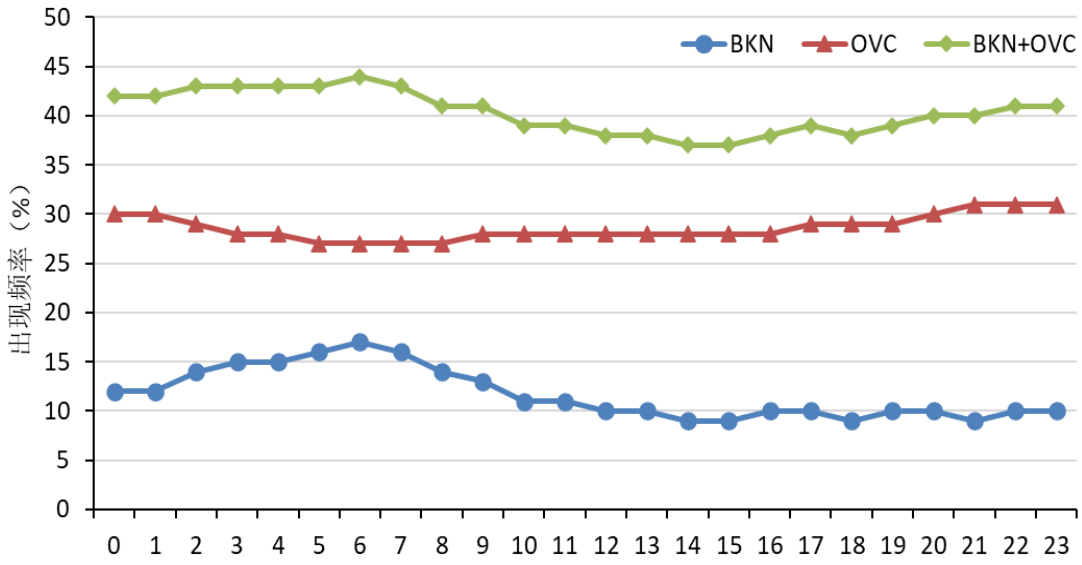


Figure 5. Frequency of BKN/OVC low cloud cover occurrence on an hourly basis over the years
图 5. 累年逐时 BKN/OVC 低云量出现频率

从宁波机场低云量的日变化分析知道(图 5)，BKN 低云量出现频率的日变化特点：白天多于夜间，下午多于上午，夜间变化稳定。下午 06 时出现频率最高为 17%，其次 05、07 时均为 16%；夜间 14 时后出现频率最低，基本在 10% (含)以下。

OVC 低云量出现频率的日变化特点与 BKN 低云量呈反位相。夜间多于白天，日出前后较多，上午多于下午，后半夜多于前半夜。清晨 21~23 时出现频率最高均为 31%，其次 20、00~01 时为 30%；下午 05-08 时出现频率最低均为 27%。

BKN + OVC 低云量出现频率的日变化整体来说，白天多于夜间，后半夜多于前半夜，06 时出现频率最高为 44%，其次 02~05 时均为 43%；前半夜 14~15 时出现频率最低为 37%。

4.2. 累年各月逐时不同量级低云出现频率

BKN 量级低云出现频率的日变化季节差异较大。如图 6(a)所示，其出现频率规律表现为：白天高于夜间，中午前后频率最高，凌晨左右频率最低。全年各月逐时频率的大值区(≥20%)出现在盛夏至仲秋(7~10 月份)的 03~08 时，峰值出现在 8 月份的 06 时，达 29%。

OVC 量级低云变化特征与 BKN 量级不同。如图 6(b)所示，其特点主要表现为：各月逐时的变化差异不大，但逐月的差异很明显。1~2 月份和 3 月份的后半夜至清晨是全年中出现频率的大值区(≥40%)，其中峰值为 50%，出现在 2 月份的 19-21 时；而低值区(≤20%)出现在盛夏 7~8 月份，其中谷值为 8%，出现在 8 月份的 06~07 时。

由于低云量 BKN 和 OVC 的频率分布接近呈反位相，且低云量 OVC 的频率明显高于 BKN，故 BKN + OVC 量级频率的日变化比较接近于 OVC。全年出现频率的大值区仍分布在冬季 1~2 月份，最高出现在 2 月份 17、19 和 21 时的 57%；低值区仍出现在盛夏，最低为 18%，出现在 8 月份的 15 时。

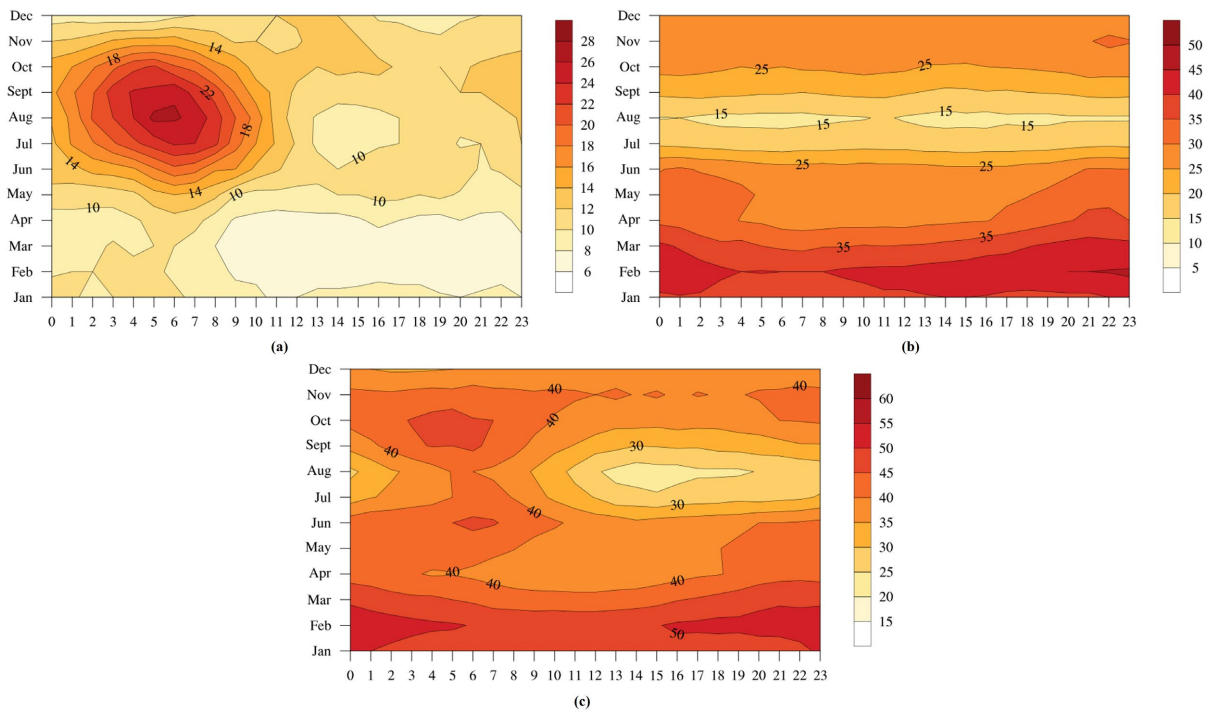


Figure 6. Average occurrence frequency of low clouds with different cloud masses every hour in each month over the years, (a) Low cloud cover BKN; (b) Low cloud cover OVC; (c) Low cloud cover BKN + OVC

图 6. 累年各月逐时不同云量的低云平均出现频率，(a) 低云量 BKN；(b) 低云量 OVC；(c) 低云量 BKN + OVC

5. 对流云和 450 m 低云的年变化及日变化

民航气象上将云分为三族，十四类，表 1 所示，宁波栎社国际机场高云族中以 Ci 为主，年均出现频率约为 10.5%，Cs、Cc 很少出现；中云族中几乎全是 Ac，年均出现频率约为 27.3%，As 极为罕见；低云族中以 Sc 最为常见，年均出现频率约为 50.6%，其次 Fn 出现频率约为 13.2%，Cu 约为 8.4%，而 Fc 最为少见，其它低碎云和对流云大都在 4%以下。由于中、高云一般对航空飞行影响不大，在低云族中，对宁波机场飞行影响较大的主要有对流云和云底距离地面高度小于 450 m 的低云简称为 450 m 低云。所以主要分析这两类云的日变化和年变化。

Table 1. Frequency of occurrence of various cloud-like patterns over the years (%)
表 1. 累年各类云状的出现频率(%)

高云族			中云族		低云族								
Ci	Cs	Cc	Ac	As	Sc	Cu	Tcu	Cb	Fn	Fs	Fc	Ns	St
10.5	0.0	0.0	27.3	0.0	50.6	8.4	1.2	3.2	13.2	0.5	0.0	0.2	0.1

5.1. 对流云的年变化和日变化

宁波栎社机场出现对流云的累年平均频率为 4%，出现最多的月份是 8 月，频率为 15%，7 月份次之，频率为 13%；12 月~次年 2 月出现频率不足 1%，其中 1 月份宁波机场从未出现过对流云。从季节分布来看，夏季出现对流云频率最高为 35%；秋季次之为 9%，但主要出现在初秋时节；冬季最少。

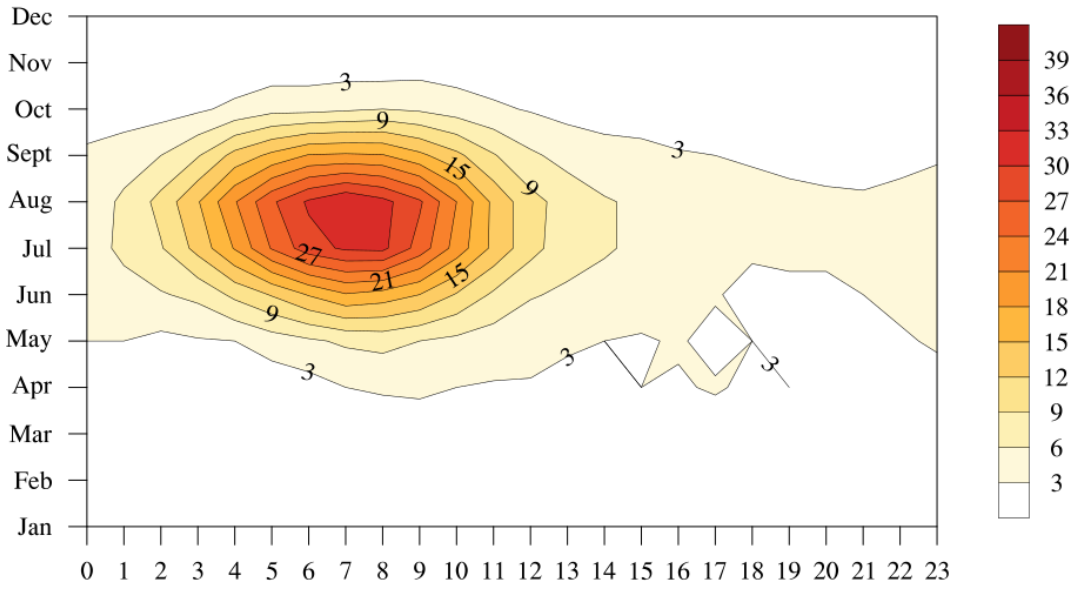


Figure 7. Frequency of hourly convective clouds in each month over the years
图 7. 累年各月逐时对流云出现频率

各月对流云的日变化不尽相同，如图 7 所示，对流云出现频率分布规律为：夏季频率高，其它季节低；午后至傍晚频率高，清晨至中午次之，后半夜最低。发生频率大值区出现在夏季的午后至傍晚，其中 7~8 月份的 06~09 时，出现频率 30%以上，峰值为 8 月份的 07 时，高达 40%，这主要原因是宁波盛夏午后气温高，容易产生热力性条件不稳定，触发对流云的发生发展；另外海陆的较大温差也极易在午

后生成海陆风，从而促使对流云的形成。初秋 9 月份是仅次于夏季后出现对流云频率高的月份，发生在07~08 时，频率最高为 17%。而其它月份出现对流云频率基本在 5%以下，其中 1 月份宁波机场尚未出现过对流云。

5.2. 450 m 低云的年变化和日变化

在民航中，飞机起降落阶段，除了对流云外，450 m 以下的低云影响十分突出，它是机场气象部门发布特殊天气报告、修订预报的标准之一。宁波机场 450 m 低云累年平均频率为 9%，与对流云不同，年变化明显。1~6 月份是 450 m 低云的多发期，平均出现频率为 10.3%，其中 2 月份为全年的峰值，频率为12%；7~10 月份开始进入少发期，平均出现频率为 5.5%，盛夏 8 月份为全年的谷值，频率为 4%；10 月份之后又开始呈上升趋势。宁波机场 450 m 低云主要是以 Fn 为主，因此其出现与降水关系十分密切，年变化规律与降水现象日数的年变化相关性较好。

机场出现 450 m 低云的日变化如图 8 所示，与对流云相反，主要表现为凌晨至上午出现频率高，午后至上半夜出现频率低，但变化幅度不明显。春季的日变化幅度大，其他季节变化幅度小；2 月份是宁波机场全年中 450 m 低云出现频率较高的月份，最高为 13%，出现在 05~11 时和 17~21 时；次之为 6 月份；而频率最小的为盛夏 8 月份，最低为 3%，出现在 05~06 时；次之为 7 月份。

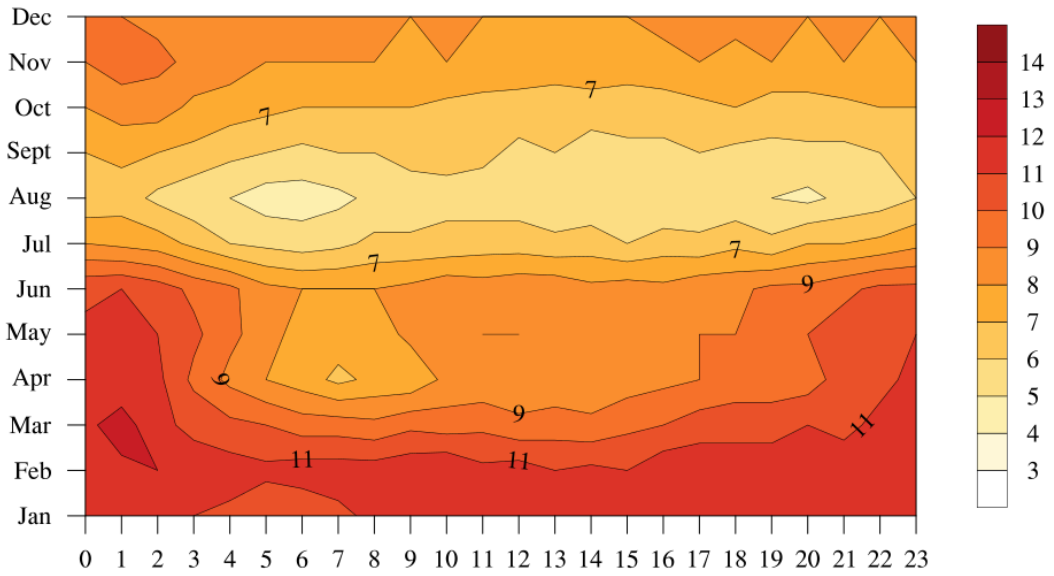


Figure 8. Hourly occurrence frequency of other low clouds in each month over the years
图 8. 累年各月逐时 450 m 低云出现频率

6. 低于机场开放条件云高的变化特征

如图 9 所示，据统计宁波栎社机场尚未出现过低云量 ＞4/8 且云高 ＜60 m 的现象；云量 ＞4/8 且云高 ＜ 90 m 的低云非常罕见，偶见于 11~次年 1 月份；云量 ＞4/8 且云高 ＜ 150 m 的低云除了 5、7~8 和 10 月份未出现，其余月份均有出现过，其中 1 月份出现的频率最高，为 1%；云量 ＞4/8 且云高 ＜300 m、＜ 450 m 的低云除了盛夏 8 月份未出现，其余月份均有出现过，其中云高 ＜ 300 m 的低云 1 月份出现频率最高为 1%，其余月份均为 0%，云高 ＜450 m 的低云 1~2、7 月份出现频率为 1%，其余月份均为 0%。综上，宁波机场云高低于各规定值且云量 ＞ 4/8 的情况较为少见，查询气候资料发现，本场云高低于各项规定值的天气很多，但同时满足云量 ＞4/8 的现象却很少见。

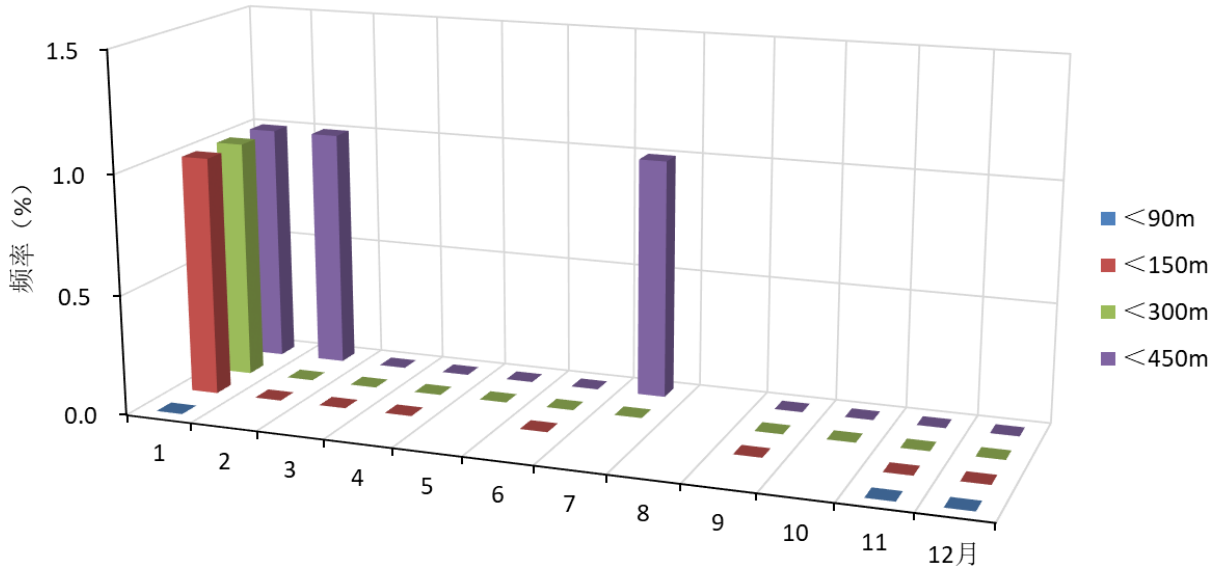


Figure 9. Frequency of monthly cloud height below the specified value and cloud cover > 4/8 over the years
图 9. 累年各月云高低于规定值且云量 > 4/8 的频率

7. 结论

利用宁波机场近 14 年的低云资料，讨论了机场低云的气候特征、变化规律和地方性特点，得到以下结论：

(1) 宁波机场累年平均低云量为 3.5/8，2012~2019 年年平均低云量在平均值附近波动，2019 年后总体呈波动下降趋势，2025 年降至 2.5/8，为近 14 年最低。低云量季节差异显著：冬季以 OVC 量级低云为主，夏季以 BKN 量级低云为主，反映出不同季节影响飞行的高影响低云类型存在明显差异。

(2) 宁波机场累年低云平均云底高为 1034 m，近 14 年呈明显的上升趋势。10 月份最高，8 月份最低。出现 BKN 低云量白天多于夜间，下午多于上午，夜间变化稳定，下午 06 时出现频率最高为 17%，夜间 14 时后出现频率最低；OVC 低云量出现频率与 BKN 低云量呈反位相，清晨 21~23 时频率最高均为 31%，午后 05~08 时频率最低均为 27%。

(3) 宁波机场对流云的累年平均频率为 4%，最多出现在 8 月份，频率为 15%；峰值为 7~8 月份的 06~09 时，频率 ≥ 30%；1 月份从未出现过对流云。450 m 低云的累年平均频率为 9%，1~6 月份是高发期，其中 2 月份为峰值，频率 12%；7~10 月份进入低发期，8 月份为谷值；日变化表现为凌晨至上午出现频率高，午后至上半夜出现频率低。

(4) 宁波机场夏季应重点加强对流云和 BKN 低云的监测与短时预警，冬季和春季应重点关注 OVC 低云及 450 m 以下低云对起降条件的影响；同时，2025 年低云量异常偏少和云底高长期上升的趋势，也值得在气候背景变化和机场长期运行规划中进一步关注。

参考文献

[1] Trier, S.B., Sharman, R.D. and Lane, T.P. (2012) Influences of Moist Convection on a Cold-Season Outbreak of Clear-Air Turbulence (CAT). *Monthly Weather Review*, **140**, 2477-2496. https://doi.org/10.1175/mwr-d-11-00353.1

[2] 张荣智, 杨瑜, 卫晓东, 等. 浦东机场 II 类运行情况下气象要素特征分析[J]. 民航学报, 2019, 3(4): 44-48.

[3] 王锡东, 曾喜, 王俞萱. 海口美兰机场低云低能见度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(S2): 121-122.

[4] 韩韡, 于佳松. 大连机场影响飞行的天气特点[J]. 民航管理, 2014(4): 63-67.

[5] 叶平, 左全. 北京机场灾害性低云的气候特征及影响因子分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2012, 29(1): 117-120.

[6] 杨瑜, 傅毅. 2000-2019 年浦东机场低云与降水的变化特征及相关性[J]. 民航学报, 2021, 5(3): 64-66.

[7] 金耀廷, 刘海文, 杜梦醒, 等. 1986-2015 年 6 月上海虹桥机场低云日数的年际变化及原因分析[J]. 大气科学学报, 2018, 41(3): 395-403.