

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2020.01.018

广汉机场冬季低能见度类型及气象要素对比分析^①

王 钦

中国民航飞行学院 广汉分院气象台, 四川 广汉 618307

摘要: 根据广汉机场 2011—2016 年冬季(12—次年 1 月)能见度以及气象要素的常规观测资料, 对低于 1 600 m 的低能见度事件进行分型, 并对比分析不同类型低能见度事件的变化特征, 以及能见度与气象要素之间的对应关系。结果表明: 辐射冷却是广汉机场冬季低能见度事件发生的主要机制, 其中晴空辐射型与阴天辐射—平流型发生频率累计达到 62%, 平均起始能见度均低于 800 m, 而阴天平流型与雨天蒸发型发生频率相对偏低, 且平均起始能见度均高于 1 000 m。低能见度日数的日变化特征: 晴空辐射型表现为“一高一低”, 其他为“两高一低”。相对湿度对低能见度的形成起关键作用, 低于 800 m 的低能见度事件对应相对湿度均大于 91%, 其中晴空辐射型的相对湿度最集中, 范围在 94%~97%, 阴天平流型的相对湿度最分散, 范围为 86%~97%。其他各气象要素在不同类型低能见度事件中所起的指示作用不同。基础能见度越低, 在夜间长波辐射冷却或者平流、蒸发作用下, 起始能见度低于 1 600 m 的概率就越大。

关键词: 低能见度; 分型; 气象条件; 广汉机场

中图分类号: P457.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)01-0113-09

能见度因为能够反映大气透明度, 所以成为航空飞行气象条件的重要标准之一, 同时也是机场开放与飞行任务执行的重要依据。通常将雾、霾、沙尘、降水等过程引起的水平能见度低于 1 000 m 的天气现象称为低能见度天气。统计显示^[1], 在所有的天气原因中, 低能见度天气不仅影响到飞机运行的正常性, 造成经济损失, 而且对起飞和着陆阶段的飞行安全有着显著影响。

在中国地区低能见度天气主要是由雾、霾以及降水引起^[2], 凡是有利于形成雾、霾以及降水的天气形势也有利于低能见度天气的形成^[3]。因此, 低能见度天气常见于高脊型、平直西风型、锋前型以及低槽型的环流背景下, 地面主要表现为均压场、弱高压或者无明显气压梯度的气压分布形势^[4-6]。虽然针对低能见度的环流型已有很多研究成果, 但低能见度天气的预报仍然是一个复杂的课题, 因为低能见度的形成与消散除了受到天气尺度气象条件的影响外^[7], 还取决于局地气象要素^[8]以及大气环境中颗粒物含量的变化^[9]。陈静等^[10]对广州地区进行研究发现, 该地区的低能见度天气发生于相对湿度 70%~90% 的范围内, 且发生时间有明显的日变化特征。胡迪^[11]、邵振平^[12]、慕熙昱等^[13]通过统计得出雾是引起武汉天河机场、河南郑州机场、南京禄口机场低能见度的主要原因, 其中慕熙昱等^[13]还分析了低能见度天气与局地各个气象要素的关系, 发现低能见度与相对湿度、气温、风速等并不是某种特定的线性关系, 这与 Fabbain 等^[14]的研究结论一致。由于不同地区之间、不同类型低能见度天气的特征、生消规律等具有明显的地域差异以及主导机制差异, 不能一概而论, 因此 Tardif 等^[15]、Haeffelin 等^[16-17]许多学者通过将雾分为辐射雾、平流雾、雨雾(或称为“锋面雾”)等多种类型来统计对应的气象要素阈值以及物理成因, 以此提高能见度的精细化预报要求。

从微观角度, 低能见度实际上是由大气中的悬浮物(包括水滴、冰晶以及其他气溶胶粒子)对光的吸收

① 收稿日期: 2019-04-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(91337215); 中国民航飞行学院重点项目(ZJ2014-02); 民航空管科技项目(MH FY2017181)。

作者简介: 王 钦(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事航空天气预测研究。

和散射造成的^[18],因此有不少研究利用大气颗粒物智能采样器^[19]、系留飞艇探测系统^[20]、前向散射仪器^[21]等高精度仪器探索低能见度天气形成微物理化学过程并得到了相关大气成分的精确阈值.随着我国通用航空业的快速发展,航班量的急剧增加,飞行对能见度的预报精细程度以及准确率要求更高,但目前我国很多中小机场或在建的通用机场没有配备相关的精密仪器,很多研究方法和成果不能直接应用于实际工作中.因此,本文利用广汉机场 2011—2016 年冬季的温、压、湿等常规气象资料以及 13 h 人工观测能见度资料,利用统计方法研究了机场低能见度天气发生以及持续时间的变化特征,并对其进行分类统计,给出不同类型低能见度天气对应的气象要素阈值,为今后低能见度的精细化预报提供有实际意义的参考.

1 资料与方法

本研究所用资料为 2011—2016 年冬季广汉机场自动气象观测资料,包括温度、相对湿度、露点温度、2 min 风向风速、10 min 风向风速、修正海平面气压等,每 5 min 1 个数据.逐小时的云况、天气现象以及能见度资料为人工观测,每日从 08 时到 20 时共 13 个样本.其中,广汉机场的湿度计采用的国产型号,相对湿度最高显示为 97%.由于统计时段内 12 月低能见度事件占整个冬季(12—次年 2 月)的 40%,1 月占 49.5%,而 2 月低能见度事件明显减少,仅占 10.5%,且 2 月中下旬由于是冬季与春季的过渡月,低能见度发生的气候背景明显有异于 12 月和 1 月,因此本文的冬季指 12 月和 1 月.

需要指出的是,广汉机场是主要以飞行训练为主的通用机场,初、中教机飞行训练的能见度标准为 1 600 m,高教机执行飞行训练的能见度标准为 800 m,因此定义当日有一个时次能见度低于 1 600 m,则视为一个低能见度日.中国气象局 2010 年发布的气象行业标准(QX/T113-2010),排除降水、沙尘暴等天气现象造成的视程障碍,将能见度低于 10 km 且相对湿度低于 80%的天气定义为霾,相对湿度在 95%以上为雾,在 80%~95%之间的根据大气成分进一步判别.由于机场仅包含自动观测和人工观测资料,无法获取大气成分的数据,因此本文定义的低能见度天气包含由雾引起的,同时也有雾霾混合引起的.定义在低能见度发生前 2h 平均的能见度作为基础能见度,如早上 08 时能见度低于 1 600 m,则将前一日 19 时和 20 时的平均能见度作为基础能见度,如下午 16 时能见度低于 1 600 m,则将 14 和 15 时的平均能见度作为基础能见度.本文定义起始能见度为低能见度发生的初始能见度.就气候平均而言,冬季广汉机场的最高温度往往出现在 15 时,但受到天气系统影响最高气温的出现时间将有所变化,因此本文将当日逐时次的温度与前一日最高温度的差值定义为气温日较差,用以反映冬季广汉机场夜间的长波辐射冷却强度.

本研究运用 SPSS 9.0 对温度、相对湿度、露点温度等气象要素与逐小时的能见度做 Pearson 相关分析,计算相关系数.其中温度、相对湿度、露点温度等气象要素为每 5 min 一次数据,而能见度为整点数据,因此各气象要素取与能见度对应的整点数据进行计算.

2 不同类型低能见度的统计特征

2.1 冬季低能见度分型

对统计时段内 12 月和 1 月发生的 158 次低能见度事件,逐个分析其发生、发展的过程,并根据 08 时的天空状况以及形成过程分为四种类型:晴空辐射型、阴天辐射—平流型、阴天平流型、雨天蒸发型. Haeffelin 等^[16]指出低能见度事件的发生往往不是一个机制,而是由几个机制共同作用,只是某一个机制占主导地位,因此在广汉机场发生的低能见度事件中,有的虽定义为辐射雾型,但也包含有平流冷却的影响,只是辐射冷却为主要形成机制.

如图 1 所示,广汉机场冬季出现频率最高的低能见度类型为晴空辐射型(占 42%),指由于强烈的长波辐射冷却作用使得地面温度降到露点温度,导致空气中水汽

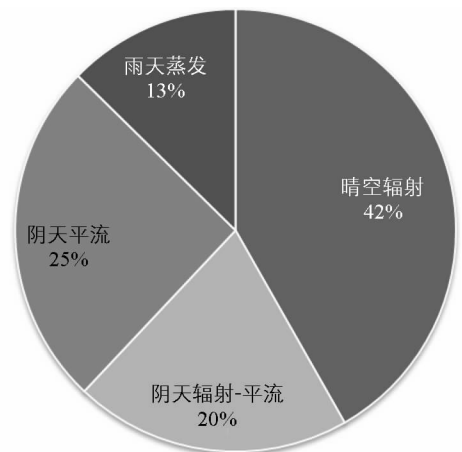


图 1 不同类型低能见度出现的百分比

含量增加, 受到水滴的散射作用以及消光作用, 08 时能见度低于 1 600 m 且观测到天空晴朗无云或者少云. 阴天辐射-平流型在广汉机场冬季出现的频率为 20%, 与晴空辐射型一样, 主要是受到长波辐射冷却作用使得 08 时能见度低于 1 600 m, 但对应天空状况为阴天. 这两种类型的雾所占比例高达 62%, 这说明广汉机场冬季低能见度主要是由辐射冷却造成的.

阴天平流型是广汉机场冬季出现频率(占比 25%)次高的类型, 指受到平流冷却作用 08 时能见度低于 1 600 m 且观测天空状况为阴天. 雨天蒸发型是广汉机场冬季出现最少的一种类型, 主要是指雨滴在下降到地面的过程中, 因蒸发使得近地层的空气达到饱和而使得能见度低于 1 600 m, 且雨强往往是毛毛雨或者小雨.

2.2 不同类型低能见度的特征

对不同类型低能见度事件的起始能见度进行统计分析, 其结果如图 2 所示. 4 种类型中, 晴空辐射型的平均起始能见度最低(平均值为 500 m), 其次为阴天辐射-平流型(800 m), 雨天蒸发型(1 000 m), 而阴天平流型的平均起始能见度最高(1 100 m). 通常箱线图的箱体表示数据的集中范围, 从图 2 可以看出, 晴空辐射型低能见度的起始能见度有 50% 集中在 100~800 m, 阴天辐射平流型集中在 600~1 200 m, 阴天平流型集中在 800~1 200 m, 雨天蒸发型的起始能见度主要为 900~1 200 m. 由于箱线图的上下竖线表示的是数据的上下延伸范围, 而阴天辐射平流型的起始能见度跨度大且能见度不集中, 为 4 种类型当中最难预报的低能见度事件类型.

统计 08—20 时逐小时能见度低于 1 600 m 的累积日数不仅可以直观的看出不同类型低能见度发生的日变化特征, 还可以分析出低能见度持续时间的特征. 如图 3 所示, 晴空辐射型低能见度的日变化呈现出“一高一低”近似线性的变化特征, 08 时往往能见度最低, 随着日出温度的升高, 能见度逐渐好转. 低于 800 m 的能见度最长可持续至 13 时, 低于 1 600 m 的能见度基本持续至 14 时, 受雾霾混合物的影响, 极少数会持续至下午, 因此晴空辐射型低能见度的持续时间大部分是在 2~4 h. 阴天平流型、阴天辐射-平流型以及雨天蒸发型的日变化特征均呈现出“两高一低”的抛物线特征, 即低于 1 600 m 的能见度可出现在一天之中的任何时刻, 但在早上以及傍晚出现的概率偏大, 中午前后出现的概率最低. 其中阴天平流型低能见度事件中, 低于 800 m 的能见度主要出现在 08—10 时以及 13 时, 且 08 时—10 时连续逐渐减少, 说明持续时间在 1~3 h 左右. 阴天辐射-平流型低能见度时间低于 800 m 的能见度特征与晴空辐射型一致, 而 800~1 600 m 能见度的变化特征与阴天平流型一致, 但阴天辐射平流型事件中低于 800 m 的能见度不如在晴空辐射中所占比例大. 虽然在雨天蒸发型中, 低于 1 600 m 的能见度主要是伴随降水出现或者在降水后 6 h 内出现, 但从图 3d 可以看出, 仍然是在早上以及傍晚出现居多, 这说明了低能见度事件的局地性特征很明显.

3 气象要素的对比分析

3.1 不同类型低能见度与各气象要素的关系

通过对 4 种低能见度事件中的能见度与各气象要素做相关分析, 发现在晴空辐射型、阴天辐射-平流型、阴天平流型这 3 类低能见度事件中, 相对湿度与能见度的相关性最高, 负相关关系均有统计学意义(均通过 99% 的显著检验), 这表明相对湿度对广汉机场低能见度的形成起关键作用, 相对湿度越大, 越有利于起始能见度的降低. 其他各气象要素在不同类型的低能见度事件中与能见度的相关程度也不同. 在晴空辐射型事件中, 温度、风速以及气温日较差与能见度都有较高的正相关关系, 即温度越低、风速越小、气温日较差越小, 则起始能见度越小. 在阴天辐射平流型事件中, 除相对湿度与能见度的相关系数高达-0.68

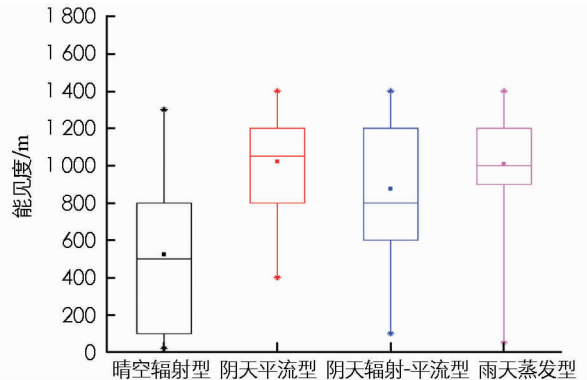


图 2 不同类型低能见度事件中起始能见度的统计特征

之外,其他各气象要素与能见度的相关性同晴空辐射型,不同的是气温日较差、露点温度以及风速的影响相对较大.在阴天平流型事件中,除相对湿度外,露点温度与能见度的相关性最大,其次是风速、气温日较差.与其他 3 种类型显著不同的是雨雾型,在此类低能见度天气中气温日较差与能见度的相关系数是最高的,其次是温度、相对湿度,而风速与能见度无明显相关.

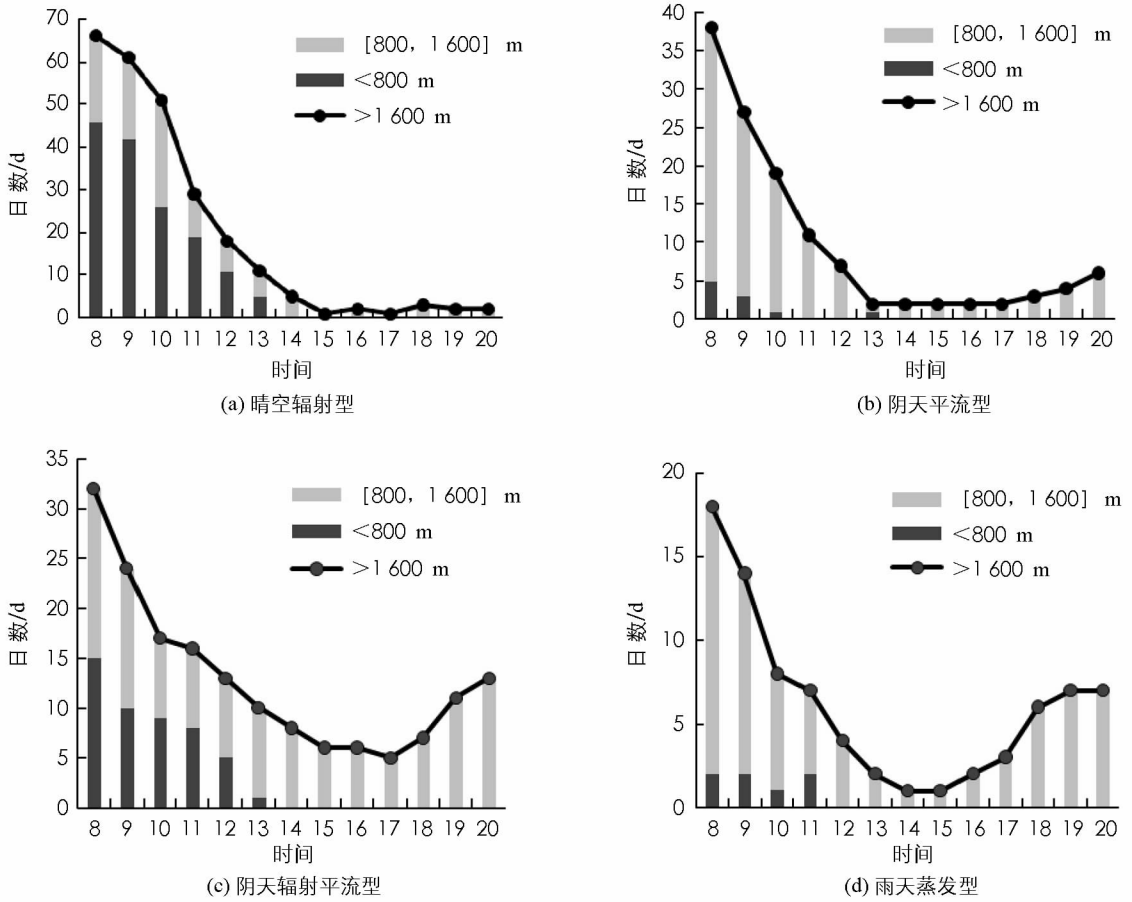


图 3 不同类型低能见度日数的日变化特征

表 1 低能见度日起始能见度与各气象要素的 pearson 相关系数

气象要素	晴空辐射型 ($n=843$)	阴天辐射平流型 ($n=414$)	阴天平流型 ($n=531$)	雨雾型 ($n=258$)
温度	0.62*	0.32*	0.39*	0.53*
露点温度	-0.57**	-0.34**	-0.55**	-0.17**
相对湿度	-0.82**	-0.68**	-0.78**	-0.42**
风速	0.60*	0.34*	0.53*	0.09
修正海平面气压	-0.30*	-0.18*	-0.39*	-0.23*
气温日较差	0.63*	0.37*	0.43*	0.63*

注: * 表示在 0.05 的水平有统计学意义, ** 表示在 0.01 的水平有统计学意义.

鉴于以上分析,本文主要选取相对湿度、温度、气温日较差以及风向风速这 4 个气象要素作为研究对象,用基础能见度作为各种大气成分的综合反映,分析各气象要素以及基础能见度对不同类型低能见度事件的影响以及阈值,以期能为低能见度的预报提供参考.

3.2 相对湿度

由于广汉机场的低能见度事件基本都是由雾引起的,而相对湿度是表征空气中水汽含量多少的物理量,相对湿度越大,表明空气中的水汽含量越高,就越有利于由雾引起的低能见度形成.图 4 给出了不同类型低能见度事件中能见度与相对湿度的气泡图,从图中可以看出,不同类型低能见度事件,相对湿度的范围也不同.

在晴空辐射型事件中(图 4a), 相对湿度范围为 92%~97%, 其中 85% 的事件相对湿度都在 97%. 此外, 不同等级能见度, 相对湿度范围也明显不同. 能见度 800 m 以下, 相对湿度均在 94% 以上; 800 m 以上, 相对湿度在 92% 以上. 在阴天辐射—平流型事件中(图 4b), 相对湿度的范围在 88%~97%, 其中 75% 的事件相对湿度为 97%, 能见度 800 m 以下, 相对湿度在 94% 以上; 800 m 以上, 相对湿度在 88% 以上, 且随着相对湿度越低, 起始能见度越高.

在阴天平流型事件中(图 4c), 相对湿度的范围在 86%~97%, 其中 80% 的事件相对湿度为 97%, 且能见度 800 m 以下, 相对湿度在 91% 以上, 800 m 以上相对湿度在 86% 以上. 在雨天蒸发型事件中, 相对湿度的范围在 88%~97%, 其中 60% 的事件相对湿度为 97%, 且 800 m 以下相对湿度在 91% 以上, 800 m 以上相对湿度在 88% 以上.

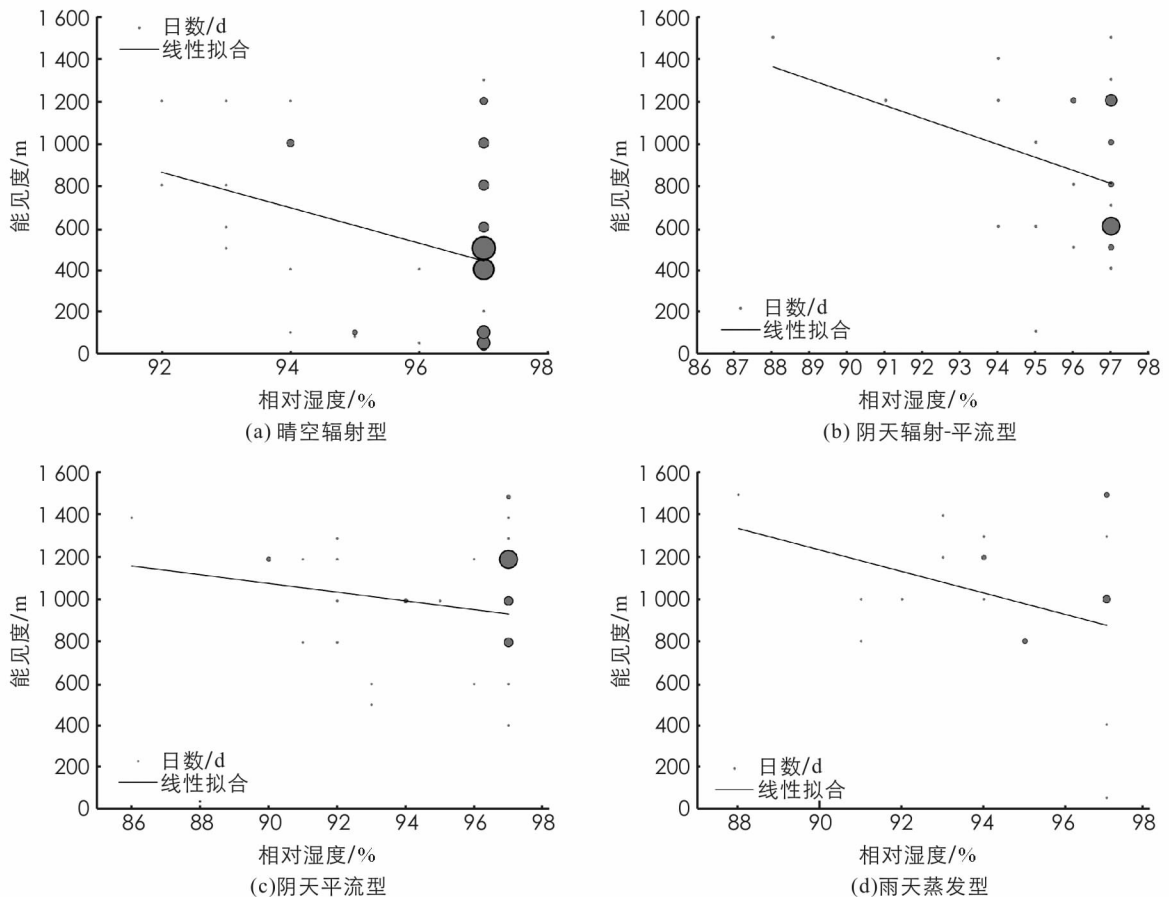


图 4 不同类型低能见度事件中能见度与相对湿度的关系

3.3 温度以及气温日较差

虽然前面的相关分析表明, 广汉机场低能见度事件中的起始能见度与温度都具有一定统计意义的正相关关系, 但在实际应用过程中发现, 由于温度具有明显的年变化、月变化以及日变化特征, 因此低能见度事件中的温度范围分布较广, 有很多研究也并不单独统计温度, 而是将温度与其他物理量联合使用^[22-24]. 由于广汉机场的低能见度基本是由雾引起的, 且辐射冷却作用占主导地位, 因此本文给出了温度和气温日较差的特征.

从图 5 给出的起始能见度与温度以及气温日较差的三维统计图可以看出, 晴空辐射型温度范围在 -3°C ~ 7.2°C , 且气温日较差在 -15.5°C ~ -5.8°C . 在这一类型中, 强低能见度事件温度主要集中在 0°C ~ 4°C , 气温日较差主要集中在 -16°C ~ -10°C 之间. 在阴天辐射—平流型事件中(图 5b), 温度范围在 -1°C ~ 8.3°C , 气温日较差范围在 -13.2°C ~ -4.7°C , 这一类型事件中温度并无明显统计特征, 气温日较差的绝对值则比晴空辐射型偏低, 主要集中在 -8°C ~ -4°C .

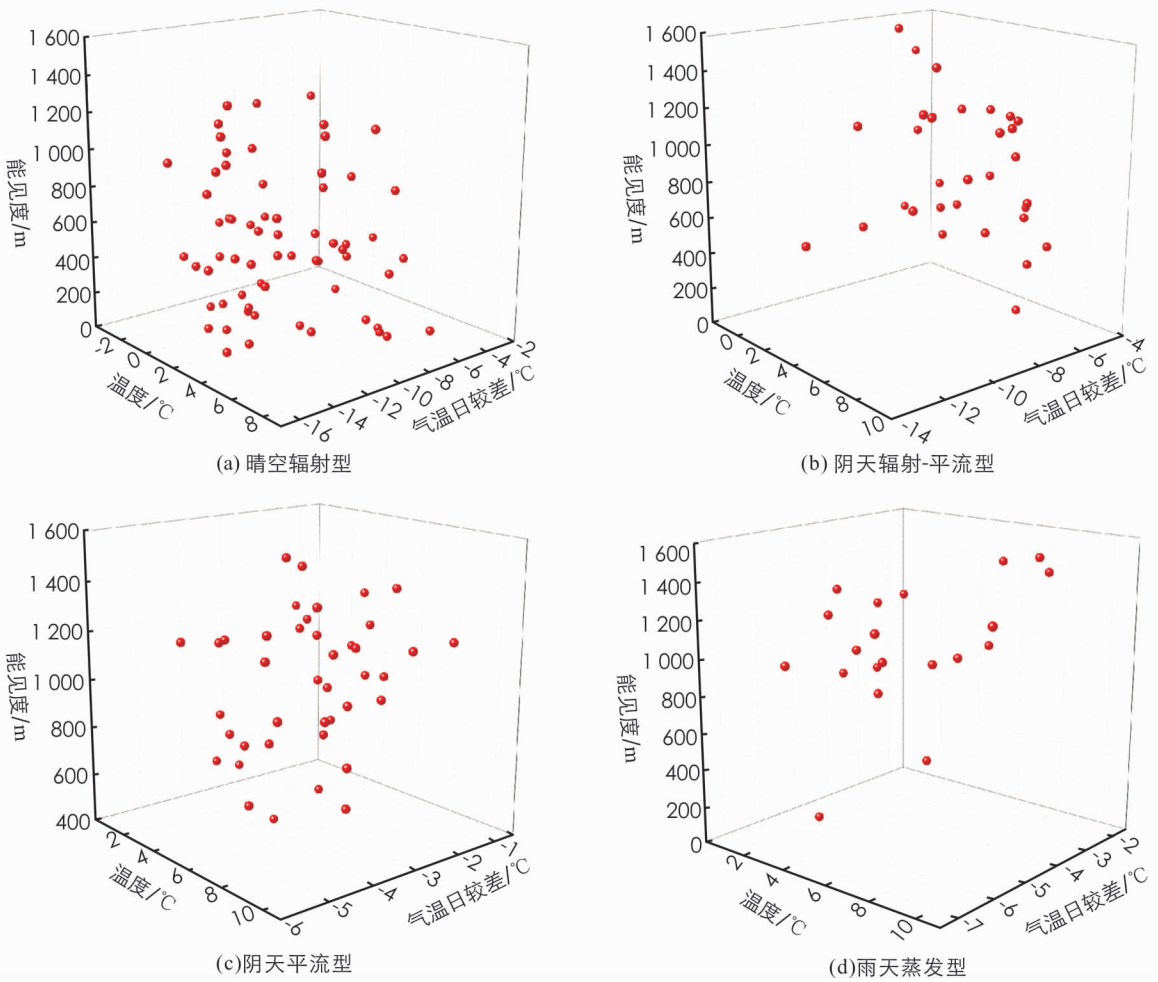


图 5 不同类型低能见度事件中能见度与温度以及气温日较差的关系

与图 5a 和 b 所示的辐射冷却占主导地位的低能见度事件相比, 阴天平流型与雨天蒸发型的温度偏高, 气温日较差绝对值偏小。其中, 阴天平流型温度范围在 $1.4^{\circ}\text{C} \sim 9.6^{\circ}\text{C}$, 气温日较差范围在 $-5.2^{\circ}\text{C} \sim -1.3^{\circ}\text{C}$, 雨天蒸发型温度范围在 $1.6^{\circ}\text{C} \sim 10.1^{\circ}\text{C}$, 气温日较差范围在 $-6.8^{\circ}\text{C} \sim -1.9^{\circ}\text{C}$, 这也进一步说明在后两者事件中低能见度的形成机制为其他物理过程。

3.4 风向和风速

地面风向、风速往往反映了近地面层乱流混合的状况, 一般而言, 风速越大, 空气中混合越强, 越不利于低能见度的形成。

利用低能见度事件中的起始能见度与同时刻的风向、风速进行统计, 其结果如图 6 所示。从图中可以看出, 4 种类型低能见度事件的主导风向均为 N 风, 这也是广汉机场冬季的盛行风向。不同的是, 晴空辐射型与阴天辐射-平流型低能见度事件除 N 风外, NNW 以及 NW 风的出现频率也较高。针对阴天平流型, 除 W 以及 WSW 风没有出现以外, 其它各个风向的风均有出现过, 但以 N 风、S 风、SE 风以及 ESE 风出现频率相对较高。雨天蒸发型除 N 风出现频率最高外, 则以 NNW 以及 ESE 风出现频率相对较高。总的来说, 晴空辐射型以及阴天辐射-平流型事件以偏北风和西北风为主, 而阴天平流型以及雨天蒸发型则主要以偏北风和东南风为主。总的来说, 风向对于低能见度事件的影响并不是决定性的, 但仍有一定的规律, 针对实际预报工作还是具有一定的参考意义。

图 6 中的阴影表示的是风速大小, 阴影面积的大小表示该风速段出现的频率大小, 从图中可以看出, 在统计时段内晴空辐射型以及阴天辐射-平流型的风速比阴天平流型以及雨天蒸发型偏大, 这与许多研究成果^[4,6,9-10]有差异。晴空辐射型以及阴天辐射-平流型的风速最大有超过 2 m/s , 但以 $1 \sim 2\text{ m/s}$ 出现的频率最高, 两者之间的差异在于晴空辐射型在 $0.5 \sim 1\text{ m/s}$ 的风出现累积频率相对较高, 但风向比较分散。阴

天平流型与雨天蒸发型对应的风速均在 1.5 m/s 以下，其中阴天平流型对应的风速以 0.5~1.5 m/s 出现频率最多，而雨天蒸发型则以 1.5~2 m/s 出现的频率最多，虽然 0.5~1 m/s 风速段的累积频率也较高，但风向不如 1.5~2 m/s 风速段集中。

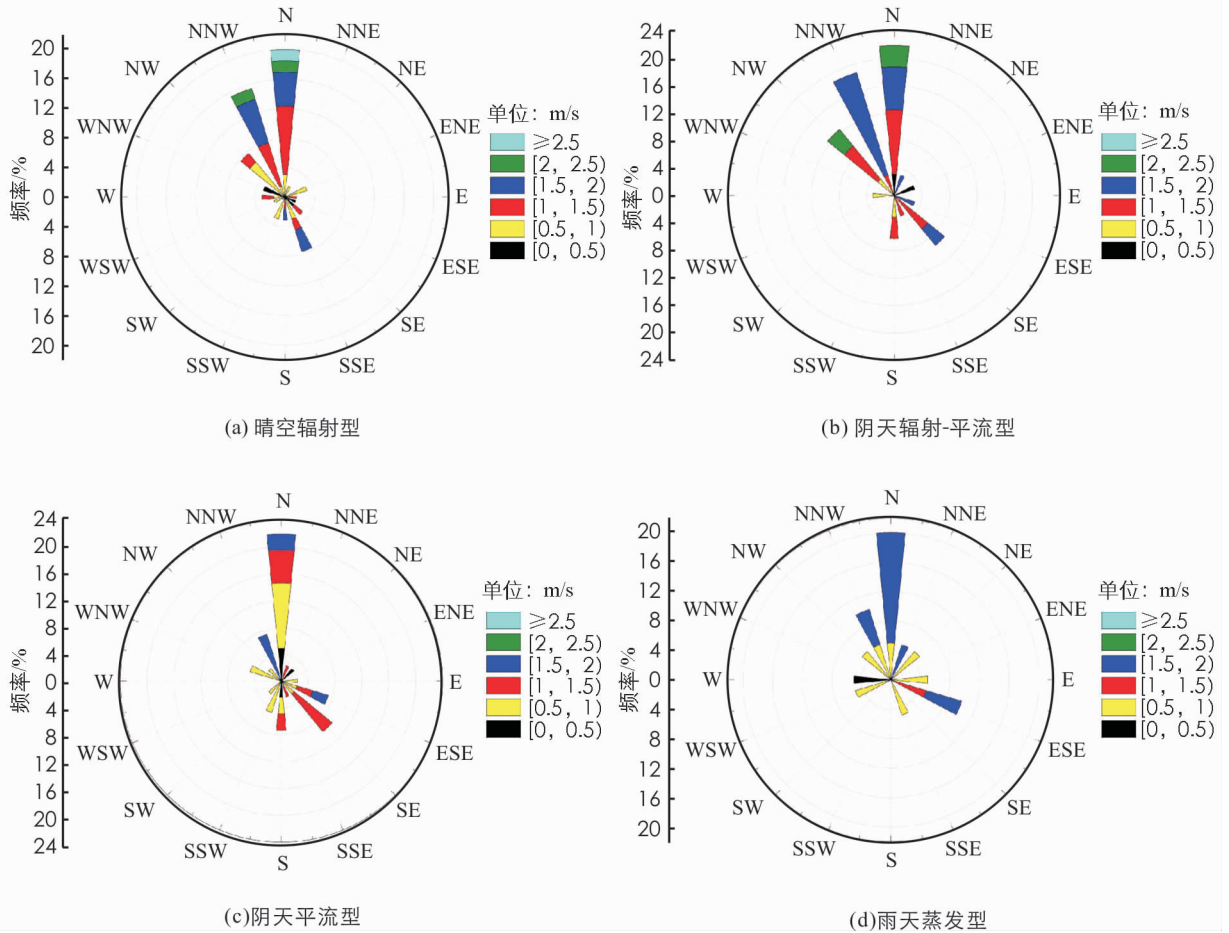


图 6 不同类型低能见度事件中风向、风速的玫瑰图

3.5 基础能见度

限于大气成分资料的获取，本文定义低能见度发生前 2 h 的平均能见度为基础能见度。在稳定的天气形势下，前一日的能见度对第二日的能见度具有一定的影响，这主要是考虑空气当中颗粒物的累积效应，即随着不利于颗粒物扩散的气象条件稳定持续，空气中的水汽、污染物将不断的累积，含量将随之不断升高，造成能见度逐日降低，如果夜间无明显天气系统（如冷空气）或者天气现象影响（如短时强降水、大风），那么受到日变化影响，次日早晨的能见度将会在前一日的的基础上继续下降。因此，统计基础能见度与起始能见度之间的关系，对起始能见度大小的预报具有一定的指导意义。

通过统计低能见度事件中基础能见度与起始能见度的关系（表 2），发现基础能见度越低，起始能见度低于 1 600 m 的概率越大，从而影响机场飞行训练任务的正常执行。从表 2 可以看到，在基础能见度低于 2 500 m 的情况下，受到长波辐射冷却或者平流、蒸发作用，起始能见度有 91% 都将低于 1 600 m，且随着基础能见度的增加，低能见度事件显著减少。

表 2 基础能见度与起始能见度的统计关系

起始能见度	基础能见度		
	≤2 500 m	(2 500, 5 000) m	≥5 000 m
800 m ≤ VIS < 1 600 m	44	25	18
VIS < 800 m	41	20	10
占比/%	91	75	65

4 结 论

根据低能见度发生、发展以及形成过程,将 2011—2016 年冬季(12—次年 1 月)发生的 158 次低能见度事件分为晴空辐射型、阴天辐射—平流型、阴天平流型、雨天蒸发型,并对比分析了这 4 种低能见度事件之间变化特征以及气象条件的差异,得到如下结论:

(1) 辐射冷却是广汉机场冬季低能见度事件发生的主要机制,其中晴空辐射型以及阴天辐射—平流型低能见度事件的发生频率累计达到 62%,且平均起始能见度均低于 800 m. 阴天平流型以及雨天蒸发型发生频率相对偏低,且平均起始能见度均高于 1 000 m.

(2) 晴空辐射型低能见度日数的日变化特征为“一高一低”,其余 3 种类型为“两高一低”的日变化特征. 低于 800 m 以及 800~1 600 m 这两个等级的低能见度事件的持续时间特征差异较大,低于 800 m 的低能见度主要出现在上午,而 800~1 600 m 则可以出现在一天的任何时刻.

(3) 相对湿度对广汉机场低能见度的形成起关键作用,低于 800 m 的低能见度天气对应相对湿度均大于 91%,其中晴空辐射型的相对湿度最集中,范围在 94%~97%,阴天平流型的相对湿度最分散,范围跨度 86%~97%.

(4) 其他各气象要素在不同类型低能见度事件中所起的指示作用也不同. 气温日较差在晴空辐射型、阴天辐射—平流型事件中就具有很好的指示意义,分别集中在 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以及 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围;晴空辐射型以及阴天辐射—平流型事件以偏北风和西北风为主,风速以 1~2 m/s 出现频率最高,而阴天平流型以及雨天蒸发型则主要以偏北风和东南风为主,风速以 0.5~1.5 m/s 出现频率最高.

(5) 统计发现,基础能见度越低,在夜间长波辐射冷却或者平流、蒸发作用下,起始能见度低于 1 600 m 的概率就越大.

需要指出的是,虽然本研究对广汉机场 2011—2016 年冬季的低能见度事件进行了分型并对比分析了与各气象要素之间的关系,给出了不同类型低能见度天气对应的气象要素阈值,但是这只能从气象条件方面为当地低能见度的精细化预报提供一些预报指标. 如果能够进一步结合大气成分等环境数据进行统计分析,将有助于进一步提高对低能见度事件形成的认识和预报,这有待于下一步工作.

参考文献:

- [1] 李 健,王澄海. 郑州机场 2004—2012 年能见度的变化特征 [J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 733-737.
- [2] 王 威,王喜全,王自发,等. 中国能见度长期变化及区域特征分析 [J]. 大气与环境光学学报, 2016, 11(4): 249-257.
- [3] NIU S J, LU C S, YU H Y, et al. Fog Research in China: An Overview [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2010, 27(3): 639-662.
- [4] 石春娥,邓学良,余金龙,等. 安徽省雾、霾、晴空天气的气象条件对比分析 [J]. 气候与环境研究, 2017, 22(2): 242-252.
- [5] 白莹莹,张德军,杨世琦,等. 川渝地区雾霾时空分布特征及影响因子分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(11): 112-119.
- [6] 卿清涛,徐金霞,马振峰,等. 四川盆地雾霾灾害风险区划初探 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(9): 145-152.
- [7] 张人禾,李 强,张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014(1): 27-36.
- [8] 胡伯彦,陈志豪,冯 雷. 上海虹桥机场低能见度天气过程中的气象要素特征分析 [J]. 中国民航飞行学院学报, 2017, 28(2): 49-54.
- [9] 蒋 燕,王 斌,罗 彬. $\text{PM}_{2.5}$ 及其组分对成都大气能见度的影响分析 [J]. 环境科学与技术, 2017, 40(S2): 211-215.
- [10] 陈 静,吴 兑,刘敬汉. 广州地区低能见度事件变化特征分析 [J]. 热带气象学报, 2010, 26(2): 156-164.
- [11] 胡 迪. 武汉天河机场低能见度现象的气候特征分析 [J]. 陕西气象, 2006(3): 18-20.
- [12] 邵振平. 郑州机场能见度变化特征及雾的成因分析 [J]. 气象与环境科学, 2014, 37(1): 75-82.
- [13] 慕熙昱,徐 琪,周林义,等. 基于 AWOS 数据的南京禄口机场低能见度特征统计研究 [J]. 高原气象, 2018, 37(4):

1129-1142.

- [14] FABBIAN D, DE DEAR R, LELLYETT S. Application of Artificial Neural Network Forecasts to Predict Fog at Canberra International Airport [J]. *Weather and Forecasting*, 2007, 22(2): 372-381.
- [15] TARDIF R, RASMUSSEN R M. Event-Based Climatology and Typology of Fog in the New York City Region [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2007, 46(8): 1141-1168.
- [16] HAEFFELIN M, BERGOT T, ELIAS T, et al. Parisfog [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2010, 91(6): 767-783.
- [17] HAEFFELIN M, DUPONT J C, BOYOUK N, et al. A Comparative Study of Radiation Fog and Quasi-Fog Formation Processes during the ParisFog Field Experiment 2007 [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2013, 170(12): 2283-2303.
- [18] 李子华. 南京市冬季雾的物理化学特征 [J]. *气象学报*, 2011, 69(4): 706-718.
- [19] 王开燕, 王蓓蕾, 王春林, 等. 广州南沙颗粒物质量浓度变化及其对能见度的影响 [J]. *广东气象*, 2018, 40(2): 27-30.
- [20] 濮梅娟, 严文莲, 商兆堂, 等. 南京冬季雾爆发性增强的物理特征研究 [J]. *高原气象*, 2008, 27(5): 1111-1118.
- [21] 王 丹, 高红燕, 白庆梅, 等. 西安咸阳国际机场专用高速公路雾的特征及影响因子 [J]. *陕西气象*, 2018(2): 16-20.
- [22] 周斌斌, 蒋 乐, 杜 钧. 航空气象要素以及基于数值模式的低能见度和雾的预报 [J]. *气象科技进展*, 2016, 6(2): 29-41.
- [23] DUYNKERKE P G. Turbulence, Radiation and Fog in Dutch Stable Boundary Layers [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 1999, 90(3): 447-477.
- [24] 于 超, 张 蕾. 南京北郊大气能见度影响因子研究 [J]. *三峡生态环境监测*, 2019, 4(1): 56-60.

On Comparison Analysis of Meteorological Conditions in Different Types of Low Visibility at Guanghan Airport in Winter

WANG Qin

Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China

Abstract: According to the hourly visibility and meteorological observation data of Guanghan Airport from December 2011 to January 2016, the low visibility events with the visibility below 1600m have been classified, and the variation characteristics of different types of low visibility events been compared and analyzed, also the corresponding relationship between different types of low visibility and meteorological factors been explored. The results show that radiation cooling is the main mechanism of low visibility events in Guanghan Airport in winter. The cumulative frequency of radiation-advection events in clear sky and cloudy day is 62%, and the average initial visibility is lower than 800 m. The frequency of advection events in cloudy day and evaporation events in rainy day is relatively low, and the average initial visibility is higher than 1000 m. The diurnal variation characteristics of sunny radiation low visibility days are “one high and one low”, which are obviously different from the diurnal variation characteristics of overcast radiation advection, overcast advection and rainy evaporation. Relative humidity plays a key role in the formation of low visibility at Guanghan Airport. The corresponding relative humidity of low visibility weather below 800m is greater than 91%. The relative humidity of clear radiation type is the most concentrated, ranging from 94% to 97%, and that of cloudy advection type is the most dispersed, ranging from 86% to 97%. Other meteorological elements also play different indicative roles in different types of low visibility events. The lower the basic visibility is, the greater the probability that the initial visibility is less than 1600m under the action of long-wave radiation cooling or advection and evaporation at night.

Key words: low visibility; classification; meteorological condition; Guanghan Airport

责任编辑 包 颖