

上海两机场低能见度天气过程统计分析及其原因探究

职 慧^[1] 王培星^[2]

(1. 民航山东空管分局, 山东 济南 250000;
2. 中国东方航空股份有限公司 西北运控分中心, 陕西 西安 710000)

摘 要 能见度是影响飞行安全的重要因素, 随着国内民航运输业的飞速发展, 对于机场能见度的研究也更加重要。研究上海两场的低能见度天气过程, 找出其低能见度天气过程的规律特征, 能够在一定程度上为上海两场的低能见度天气预报提供依据。虹桥与浦东是上海乃至华东地区的重要枢纽机场, 但由于地理位置、海陆分布、下垫面等因素的不同, 两个机场在同一时段天气状况也是不尽相同的, 个别时段甚至差别很大。因此选择一定时段, 对比分析两场低能见度天气过程的异同, 并从航班运行、天气形势等角度探讨可能的影响因子。

关键词 机场能见度 天气形势 航班运行

中图分类号: V32; P44

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)06-0055-10

1 绪论

1.1 研究背景和意义

上海是中国最大的城市、经济中心和交通枢纽, 2018年上海机场集团旗下浦东和虹桥两大机场年起降航班771957架次(浦东机场504972架次, 虹桥机场266985架次), 完成年旅客吞吐量11769.97万人次(浦东机场7405.42万人次, 虹桥机场4364.55万人次), 完成年货邮吞吐量416.94万吨(浦东机场376.19万吨, 虹桥机场40.75万吨), 客运量同比增长5.20%, 作为全国最大的航空枢纽港客流再创历史新高。

1.2 国内外研究进展

王楠等人利用1997年到2013年乌鲁木齐机场每年11月至次年3月的地面观测资料, 研究了乌鲁木齐机场跑道视程与低能见度天气对比的特征, 得到以下结论: 不同级别的能见度对应的跑道视程数值日变化特征不同; 每个月出现跑道视程小于或等于能见度这种情况的概率的变化规律基本一致, 日变化幅度极大。

赵建伟等人利用对2007年至2009年大理机场地面观测资料和大理站历年降水资料统计分析, 研究了影响大理机场低能见度天气过程气象要素特征, 得到下列结论: 连续的阴雨天降水过程是造成大理机场低能见度天气的主要因素, 雾是造成大理机场低能见度天气过程的次要因素。大理机场雾天的特征: 局地性强, 范围和厚度小, 变化较快。

陆方甲等人利用杭州萧山机场2001年到2006年的地面气象观测数据研究了萧山机场低能见度天气的规律和特点, 萧山机场低能见度主要由辐射雾、平流雾等冷却雾造成, 同时兼有雨雾, 低能见度是萧山机场的气候性天气, 逐年变化不明显, 年分布相对均匀, 总体上11—5月是低能见度频发月份, 也就是说冬春季节更容易产生低能见度天气过程。

鲁鹏飞利用湖北襄阳机场2001年到2017年的能见度资料, 分析了襄阳机场能见度的年际变化、季节变化和日变化特征及其对飞行的影响。结果表明: 季节变化上, 夏季和秋季的能见度好于冬季和春季, 日变化总体上中午和下午的能见度好于早晚。造成襄阳机场能见度<1km的天气现象主要是辐射雾和雨, 其中雾为主要因素, 降水为次要因素。

余星源等利用南京气象观测台逐小时的观测数据、中国环境保护部的大气质量检测数据、南京国家基准气候站的雨滴谱仪测量数据, 利用相关分析的方法, 做出了南京禄口机场低能见度天气的拟合预测模型, 结论如下: 相对湿度对能见度的相关关系最明显, 其次是风速, 气压以及温度和能见度相关关系较小。直接影响能见度大小的只有湿度和污染物, 风速间接影响能见度数值, 温度和气压对能见度的作用不明显。降水时能见度主要受降水强度影响, 降水强度和能见度呈幂函数关系, 通过曲线拟合得到了拟合效果较好的降水强度-能见度关系式:

$$VSB=13410r^{-0.66}$$

其中VSB为能见度, r为降水强度, 拟合方程的复相关系数 $R^2=0.96$, 拟合效果很好。

管翔等通过对1986年到1995年武宿机场雾天的各项气象要素进行统计分析, 找出造成武宿机场低能见度天气的主要原因并分析其低能见度天气过程, 结论如下: 雾是造成本场低能见度的最主要天气现象, 其次是烟和霾、扬尘、浮尘和降水。大雾产生之前低空的风场总有一段时期风向风速较为稳定没有什么大的变化。大雾前的北风分量的水平混合作用加速了水汽的凝结。低空有暖湿气流向本地输送。大雾产生的前一天本场温度露点差会有一个明显的突然降低的过程。

蔡明骄等利用长春龙嘉机场2006~2017年以来的地面

观测资料,对龙嘉机场低能见度天气过程中的气象要素的特征进行了统计分析,结论如下:长春龙嘉机场低能见度天气集中发生在冬半年,其中1月是出现此种天气最频繁的月份,出现低能见度最低的月份是5月。影响长春龙嘉机场低能见度的天气主要是雾(包括轻雾和冻雾),其次为降水(降雨和降雪),其他天气(烟、尘、霾等)影响低能见度的天数最少。对低能见度天气过程中风速和风向特征的统计分析表明,低能见度天气下风速普遍较小。

郭新华等利用1986~1995年郑州机场的气象资料,分析了郑州机场低能见度的天气特征及成因。得到以下结论:郑州机场能见度受温度影响最大,温度低能见度差,温度高能见度好,湿度相同的前提下,冬季能见度最差。

吴波等通过对2018年3月30日浦东机场出现的一次较长时间的低云低能见度天气过程进行观察,研究了浦东机场低能见度天气形势变化和对机场运行的影响,得到如下结论:本次低云低能见度天气的发生主要是因为环流形势把海上的水汽输送到机场上空,其消散主要是因为风向的突转,使水汽的输送中断。

胡伯彦等利用上海虹桥机场1986年到2014年地面例行观测报告结果对机场低能见度天气下的多种气象要素特征进行了统计和分析。研究发现:虹桥机场低能见度天气下气温处于10℃到15℃之间的概率最高,低能见度天气下机场主导风向在近年来以偏北风和西南风为主。机场低能见度天气下相对湿度为90%到95%的出现比率最高。

徐元魁等通过对2016年12月12日至13日浦东机场出现的一次较长时间的低云低能见度天气过程进行观察分析,研究了浦东机场低能见度天气形势变化和对机场运行的影响,最终得到如下结论:2016年12月12日至13日,浦东机场先后出现了两次低云低能见度天气,第一次过程为受偏东气流与海上高湿区影响的平流雾天气,第二次过程为辐射冷却和辐合引起的辐射雾。

傅毅等通过对2018年5月1日浦东机场的一次低云低能见度天气过程进行观察分析,得到以下结论:平流低云低能见度天气的形成与水汽条件密切相关,同时还与大气环流场有关,环流场一旦发生变化,比如地面风速加大、风向改变等破坏了水汽的储存条件和输送条件,导致近地面层温度升高,迫使水汽抬升,云底高抬高,便会终止低云低能见度天气。

易军等通过对2004年1月1日至2014年12月31日十年间上海虹桥机场75个低能见度天气过程进行分析,得到以下结论:虹桥机场低能见度天气消散速度比生成速度更快;低能见度发生前静风会突然增多、气温逐步降低、气压振荡走低,低能见度消散的时候往往伴随风速增大、气温快速上升、气压升高,相对湿度与气温呈负相关走势,即温度与相对湿度变化方向相反,它们的消散过程比生成过程变化得要快。

吴妍等通过对比分析上海虹桥和浦东机场在2000年到

2012年之间的能见度变化特征发现:浦东机场能见度整体高于虹桥机场,两个机场的能见度变化季节特征明显且相似,均为夏季好,冬季差,而能见度日变化均为白天好,夜间差,且浦东机场每天能见度上升时间比虹桥机场更早。

刘东等通过对上海浦东机场2016年3月7日的一次低云低能见度天气过程的观察,利用浦东机场天气实况报文、江苏气象信息共享平台、华东地区民航数字预报系统和长江三角洲短时预报系统观测发布的气象数据,分析了此次低云低能见度天气过程中上述预报系统对浦东国际机场低云低能见度天气过程的预测能力,并建立了一套能够为浦东国际机场低云低能见度天气提供预警的模型。

2 资料来源与方法分析

2.1 数据来源

本文采用2018年3月1日00:00到2019年2月28日23:30一年内虹桥和浦东两个机场的Metar报文收集所需的气象数据,通过对两个机场气象要素的分析,研究上海两场低能见度天气过程的特征和规律。由于本文所选择的数据来自Metar报文,时间间隔为30分钟,所以可以研究两场低能见度天气的月变化、日变化和时变化的特征。

2.2 报文解析示例

201902282330METARZSPD282330Z05005MPS010V0708000NSC08/06Q1023NOSIG=

从报文中我们可以得到一个机场某一时刻的以下实况信息:

METAR: 日常航空天气报告识别码

ZSPD: 机场四字代码(浦东机场)

282330Z: 观测时间28日23:30(UTC)

05005MPS010V070: 风向50°, 风速5m/s, 风向变化范围为10°到70°之间

8000: 能见度8000m

NSC: 无重要云

08/06: 温度8℃, 露点温度6℃

Q1023: 修正海平面气压(QNH)为1023hPa

NOSIG: 无其他重要天气现象

2.3 数据处理方法

将每三十分钟一次的观测数据求平均得到每天、每月的平均数据,对比两场能见度等各项气象要素的日变化和月变化趋势,求出各项气象要素数值的相关系数,利用相关性检验的方法找出两场低能见度天气各种气象特征的异同,并对其进行显著性检验,同时统计低能见度天气出现的频次,分析低能见度天气出现时的气象特征,进而发现上海两场低能见度天气产生前后气象要素的变化规律。

2.3.1 散点图和折线图

排列在工作表的列或行中的数据可以绘制到散点图和折线图中。散点图和折线图可以显示一组或多组变量随另一组变量的变化而变化的过程,因此非常适用于显示一组

表1 相关关系与相关系数对应表

相关系数范围	$r=0$	$0< r \leq 0.3$	$0.3< r \leq 0.5$	$0.5< r \leq 0.8$	$0.8< r < 1$	$ r =1$
相关程度	无相关	微弱相关	低度相关	显著相关	高度相关	完全相关

表2 浦东机场与虹桥机场月平均能见度及其相关系数

能见度(米) 月份	机场		相关系数
	ZSPD	ZSSS	
2018年3月	7747	8898	0.27
2018年4月	8903	9201	0.16
2018年5月	8078	8504	0.64
2018年6月	9140	9308	0.67
2018年7月	9493	9768	0.15
2018年8月	9716	9817	0.34
2018年9月	9484	9625	0.86
2018年10月	9592	9551	0.60
2018年11月	8420	8316	0.85
2018年12月	8262	8486	0.91
2019年1月	8239	8364	0.87
2019年2月	8082	8436	0.88

或多组变量在某一自变量的相等数据间隔下变化的趋势。在散点图和折线图中,类别变量的数据沿水平轴(x轴)均匀分布,所有值变量的数据沿垂直轴(y轴)均匀分布。通过散点图和折线图可以较为直观的得出两组变量间的相关关系。但是不能定量分析变量间的相关性,还需要使用 Pearson 相关系数分析法来定量研究变量间的相关关系并进行显著性检验。

2.3.2 风向玫瑰图

风玫瑰图分为风向玫瑰图和风速玫瑰图两种。风向玫瑰图表示风向和风向的频率。风向频率是在一定时间内各种风向(已统计到16个风向)出现的次数占所有观察次数的百分比。根据各方向风的出现频率,以相应的比例长度(即极坐标系中的半径)表示,按风向从外向中心吹,描在用8个或16个方位(本文使用16个方位)所表示的极坐标图上,然后将各相邻方向的端点用直线连接起来,绘成一个形式宛如玫瑰的闭合折线,就是风向玫瑰图。

2.3.3 Pearson 相关系数分析法

通过上述折线图,我们大致可以得到变量之间相关性的强弱,但是无法得到确定的相关程度,为了能够精确地了解变量之间的相关程度,需要求出相关系数 r 。Pearson 相关性系数分析法可以求得一个准确的相关系数来反映变量间的相关性, Pearson 相关系数 r 的取值范围在-1到1之间,正负方向反映其相关方向,绝对值反映其相关程度,相关关系与相关性对应表如表1所示。

3 结果分析

3.1 年变化特征分析

先利用每半小时一次的数据求出日平均能见度,进一步求得月平均能见度如表2。

两个机场能见度均有明显的季节性变化特征,其原因可能是:上海地区受副热带高压气候和季风气候的影响,夏秋季节晴天较多、日照时间更长、降水量大一点,大气能见度较冬春季节更好,而冬春季节晴天较少、日照时间较短、降水量偏小一点,大气层结相对稳定,空气污染物较难清除,底层大气中的气溶胶颗粒容易富集,这些条件均有利于雾天和霾天气的形成,因此能见度会受到很大影响。浦东和虹桥两机场的能见度虽然变化趋势大致相同,但是也存在一些细微的差异,从每个月的日平均能见度相关系数上可以看到,2018年的3、4月份和7、8月份两机场的能见度相关系数很小,而2018年11月到2019年2月的相关系数很大。所以在研究两机场能见度差异时应当着重考虑3、4月份和7、8月份。

从地图上我们可以看到,两机场距离很近,所以能见度变化趋势大致相同,产生这种细微差异的原因可能是两机场地理位置和周围环境的不同。浦东机场临海而建,并且远离市中心,而虹桥机场相对于浦东机场远离海边,距离上海市中心也更近,而且上海市中心介于虹桥机场和东海之间,市区的建筑物等障碍物在一定程度上阻挡了来自西太平洋高压西部的平流雾。

表3 浦东机场和虹桥机场每月能见度低于800米的次数统计

月份	ZSPDVIS<800	ZSSSVIS<800
3	33	0
4	2	0
6	1	0
8	1	0
11	14	1
12	4	13

表4 浦东机场和虹桥机场能见度低于800米在各时间段内出现的次数统计

时间段	ZSPDVIS<800	ZSSSVIS<800
0000-0530	7	2
0600-1130	2	0
1200-1730	2	0
1800-2330	45	12

3.2 季节变化特征分析

这一年内上海两场日平均能见度的变化趋势图,按季节分为四部分:

从日平均能见度变化曲线可以清楚的看到,夏季和秋季两机场能见度变化趋势基本相同,浦东机场能见度变化一般比虹桥机场稍早一点,两机场能见度的差别主要出现在3月22日到4月5日之间,这段时间也是虹桥机场低能见度天气集中出现的时间,其中3月31日浦东机场低能见度只有3098米,虹桥机场低能见度高达9582米。

3.3 低能见度时刻特征分析

由于I类精密进近能见度最低标准为800米,所以筛选出两机场能见度低于800米的时刻进行分析。

统计上海两场每个月出现低能见度天气的次数见表3。

(1)从表中我们可以清楚的看到浦东机场低能见度天气出现的频率远远大于虹桥机场,而且浦东机场低能见度天气主要出现在3月份,虹桥机场的低能见度天气主要出现在12月。

统计上海两场低能见度天气出现的主要时间段见表4。

(2)从表中我们可以看出上海两场低能见度天气主要出现在夜间。

(3)上海两场低能见度天气发生时的风向和风速统计:

通过Metar报文发现上海两场低能见度天气过程中发生风向变化不定和静风的情况几乎为0,可以忽略。将风向大致分为北(N, 348.76°-11.25°)、北东北(NNE, 11.26°-33.75°)、东北(NE, 33.76°-56.25°)、东东北(ENE, 56.26°-78.75°)、东(E, 78.76°-101.25°)、东东南(ESE, 101.26°-123.75°)、东南(SE, 123.76°-146.25°)、南东南(SSE, 146.26°-168.75°)、南(E, 168.76°-191.25°)、南西南(SSW, 191.26°-213.75°)、西南(SW, 213.76°-236.25°)、西西南(WSW, 236.26°-258.75°)、西(W, 258.76°-281.25°)、西西北(WNW, 281.26°-303.75°)、西北(NW, 303.76°-326.25°)、北西北(NNW, 326.26°-348.75°)共16个方向,对这16个风向的风进行统计,结果显示低能见

度天气过程中,浦东机场的风向主要为东南风、南东南风和东风,虹桥机场的风向主要为北西北风。浦东机场风向偏西北和虹桥机场风向偏东南时均很少出现低能见度天气。

浦东机场3月低能见度天气各风速出现次数见表5。

(4)上海两场低能见度天气现象过程中的相对湿度

空气中水汽含量不变且气压一定时,气温降低到使空气达到饱和时的温度,称为露点温度,简称露点,气压一定时,露点的高低只与空气中水汽含量多少有关,水汽含量越多,露点温度越高,露点温度的高低反映了空气中水汽含量的多少,当空气处于未饱和状态时,其露点温度低于气温,只有在空气达到饱和时,露点才和气温相等,所以可以用温度露点差来判断空气的饱和程度,温度露点差越小,空气越潮湿。通过计算发现两机场能见度小于800米时的温度露点差均小于2,如表6所示,空气接近饱和,湿度较大,满足雾的产生条件。

综上所述,3月进入春季,气温回升,暖湿空气与冷地表温差显著,风速集中在2m/s-7m/s范围内,暖湿空气相对湿度较大,这些均符合平流雾产生的条件,加上适宜的风向,西南风在适宜的风速下,将海面上的暖湿空气吹到陆地,与冷地表接触逐渐冷却形成平流雾,最终使浦东机场形成低能见度天气现象。12月进入冬季,气温降低,夜间或凌晨近地面水汽充沛,地表面辐射冷却强,近地面气温下降迅速,容易形成逆温层,有利于水汽的凝结,从而在虹桥机场形成辐射雾,使虹桥机场产生低能见度天气现象。

4 相关性分析

从前文所述我们发现浦东机场的低能见度天气主要出现在2018年的3月份,虹桥机场的低能见度天气主要出现在2018年的12月,所以选择浦东机场3月的一次低能见度天气过程和虹桥机场12月的一次低能见度天气过程,分析其能见度和风速、温度、露点温度、温度露点差的相关性。由于相关性分析所用到的变量来自于抽样,所以可能存在误差,还需进行显著性检验,利用SPSS软件进行相关性分析及显著性检验。

表5 浦东机场3月低能见度天气过程各风速出现的次数统计

风速 (m/s)	次数
0	0
1	0
2	1
3	21
4	15
5	12
6	1
7	1
8	0

表6 浦东机场3月低能见度天气各气象要素统计

日期	风向	风速	能见度	温度	露点温度	温度露点差	修正海压
2018/3/3010:30	90	3	300	19	18	1	1010
2018/3/309:30	90	6	600	12	11	1	1021
2018/3/302:00	80	05G11	600	12	11	1	1021
2018/3/301:30	90	5	600	13	13	0	1023
2018/3/301:00	90	5	400	13	13	0	1023
2018/3/300:30	70	4	400	13	12	1	1023
2018/3/300:00	60	5	400	13	13	0	1023
2018/3/2923:30	60	4	300	13	13	0	1022
2018/3/2923:00	50	5	300	13	13	0	1022
2018/3/2922:30	50	4	300	13	13	0	1021
2018/3/2922:00	60	2	300	13	12	1	1021
2018/3/2921:00	60	3	500	13	13	0	1021
2018/3/2920:30	80	4	500	13	12	1	1020
2018/3/2920:00	70	3	500	13	12	1	1020
2018/3/2823:30	80	3	700	13	12	1	1020
2018/3/2823:00	140	4	500	12	12	0	1018
2018/3/2822:30	130	04G09	500	12	11	1	1017
2018/3/2822:00	110	3	500	11	11	0	1017
2018/3/2821:30	130	02G07	300	11	11	0	1017
2018/3/2821:00	160	3	500	11	10	1	1017
2018/3/2820:30	140	3	700	11	10	1	1016
2018/3/2723:30	130	3	700	11	10	1	1016
2018/3/2723:00	160	3	600	11	11	0	1017
2018/3/2722:30	150	3	300	11	11	0	1017
2018/3/2722:00	150	3	300	11	11	0	1017
2018/3/2721:30	140	3	300	11	10	1	1016
2018/3/2721:00	140	3	300	11	10	1	1016
2018/3/322:30	130	3	300	11	10	1	1016
2018/3/322:00	140	3	500	12	12	0	1010
2018/3/321:30	140	3	500	13	12	1	1010
2018/3/321:00	150	4	500	13	13	0	1010
2018/3/320:30	160	3	500	13	12	1	1010
2018/3/320:00	180	4	500	13	12	1	1011
2018/3/319:30	180	3	500	13	12	1	1010

表7 浦东机场3月3日一次低能见度天气过程各项气象要素统计

时间	能见度	风速	温度	露点温度	温度露点差
2018/3/39:00	9999	5	12	11	1
2018/3/39:30	9999	4	12	11	1
2018/3/310:00	8000	4	12	11	1
2018/3/310:30	6000	5	12	11	1
2018/3/311:00	6000	4	12	11	1
2018/3/311:30	8000	3	12	11	1
2018/3/312:00	7000	4	12	11	1
2018/3/312:30	7000	5	12	11	1
2018/3/313:00	6000	5	12	11	1
2018/3/313:30	5000	5	12	11	1
2018/3/314:00	2000	5	12	11	1
2018/3/314:30	2000	5	12	11	1
2018/3/315:00	2200	5	12	11	1
2018/3/315:30	2000	7	12	12	0
2018/3/316:00	1200	7	12	11	1
2018/3/316:30	1200	5	12	11	1
2018/3/317:00	1200	5	12	12	0
2018/3/317:30	1200	4	12	12	0
2018/3/318:00	1200	5	12	12	0
2018/3/318:30	1200	5	12	12	0
2018/3/319:00	800	4	12	12	0
2018/3/319:30	700	4	13	12	1
2018/3/320:00	500	3	13	12	1
2018/3/320:30	500	4	13	12	1
2018/3/321:00	500	3	13	12	1
2018/3/321:30	500	4	13	13	0
2018/3/322:00	500	3	13	12	1
2018/3/322:30	500	3	12	12	0
2018/3/323:00	800	5	12	12	0
2018/3/323:30	1600	3	13	12	1
2018/3/40:00	1500	4	13	12	1
2018/3/40:30	3500	4	14	14	0
2018/3/41:00	7000	5	16	15	1
2018/3/41:30	9999	6	17	14	3
2018/3/42:00	9999	7	17	14	3

4.1 两机场低能见度天气过程分析

选择浦东机场2018年3月3日09:00到3月4日02:00的数据进行分析,这段时间内浦东机场的能见度经历了一次由好转差再转好的变化。

浦东机场此次低能见度天气过程各项气象要素统计如表7所示。

浦东机场2018年3月2日9点之前能见度大于10千米,9时30分开始降低,10时30分降低至6000米,持续大约

表 8 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	9999	3637.03	3390.084
风速	35	3	7	4.54	1.094
有效的 N (列表状态)	35				

表 9 相关性

相关性			
		能见度	风速
能见度	Pearson 相关性	1	.251
	显著性 (双侧)		.145
	N	35	35
风速	Pearson 相关性	.251	1
	显著性 (双侧)	.145	
	N	35	35

半小时, 11 时 30 分回升至 8000 米之后继续降低, 到下午 14 时整降低至 2000 米, 下午 19 时降低至 1000 米以下, 一直持续到晚上 23 时, 之后开始转好, 能见度小于 1000 米的过程持续了 4 个小时。

4.1.1 浦东机场能见度与风速的相关性分析

从散点图中几乎很难看出能见度与风速的关系, 所以要先假设低能见度天气过程中能见度和风速相关性较差。

表 8 和表 7 是通过 SPSS 软件利用 Pearson 相关性分析法得到的浦东机场 2018 年 3 月 3 日到 4 日一次低能见度天气过程能见度和风的相关性检验的描述统计量 (表 8) 和相关性分析 (表 9)。

从表 8 可以看出此次低能见度天气过程中能见度的样本容量为 35, 极小值为 500, 极大值为 9999, 均值为 3637, 标准差为 3390, 风速极小值为 3, 极大值为 7, 均值为 4.54, 标准差为 1.094。

从表 9 中可以看到, 显著性 (双侧) P 值为 0.145 > 0.01, 所以不拒绝零假设, 在置信度 99% 的水平上, 相关系数为 $r=0.251$, 由于 r 为正, 所以能见度和风速成正相关关系, $0 < 0.251 < 0.3$, 所以能见度和风速微弱相关, 综上所述, 浦东机场低能见度天气过程中能见度和风速相关性较差, 成正相关关系。

4.1.2 浦东机场能见度与温度的相关性分析

假设温度和能见度相关性较差。

使用 SPSS 利用 Pearson 相关性分析法得到浦东机场 2018 年 3 月 3 日到 4 日一次低能见度天气过程中温度与能见度的相关性检验如表 10 (描述统计量) 和表 11 (相关性分析) 所示。

从表 10 可以看出此次低能见度天气过程中温度极小值为 12, 极大值为 17, 均值为 12.69, 标准差为 1.345。

从表 11 中可以看到, 显著性 (双侧) P 值为 $0.04 < 0.05$, 所以拒绝零假设, 两变量极显著相关, 在置信度 95% 的水平上, 相关系数为 $r=0.348$, 由于 r 为正, 所以能见度和温

度成正相关关系, $0.3 < 0.348 < 0.5$, 所以能见度和风速低度相关, 综上所述, 浦东机场低能见度天气过程中能见度和温度低度相关, 成正相关关系。

4.1.3 浦东机场能见度与温度露点差的相关性分析

假设温度露点差和能见度相关性较强。

使用 SPSS 利用 Pearson 相关性分析法得到浦东机场 2018 年 3 月 3 日到 4 日一次低能见度天气过程中温度露点差与能见度的相关性检验如表 12 (描述统计量) 和表 13 (相关性分析) 所示。

从表 12 可以看出此次低能见度天气过程中温度露点差极小值为 0, 极大值为 3, 均值为 0.83, 标准差为 0.707。

从表 13 中可以看到, 显著性 (双侧) P 值为 $0.000 < 0.01$, 所以拒绝零假设, 在置信度 99% 的水平上显著相关, 相关系数为 $r=0.601$, 由于 r 为正, 所以能见度和温度露点差成正相关关系, $0.5 < 0.601 < 0.8$, 所以能见度和温度露点差显著相关, 综上所述, 浦东机场低能见度天气过程中能见度和温度露点差显著相关, 成正相关关系。

4.2 虹桥机场一次低能见度天气过程分析

选择虹桥机场 2018 年 12 月 2 日 15:00 到 12 月 3 日 05:00 的数据进行分析, 这段时间内虹桥机场的能见度经历了一次由好转差再转好的变化。

上海虹桥机场 2018 年 12 月 2 日 14:30 之前的能见度为 7000 米, 从 14:30 开始降低, 15:00 降低至 5000 米, 持续两个小时后, 17:00 开始继续降低, 20:30 降低至最低 500 米之后开始转好, 22:00 到达 6000 米, 随后再次下降, 23:00 降至 5000 米后开始转好, 于次日 00:00 达到 7000 米, 能见度低于 1000 米的过程持续了 1 小时左右。

虹桥机场此次低能见度天气过程各气象要素统计如表 14 所示。

4.2.1 虹桥机场能见度与风速的关系

先假设能见度与风速相关性较差。

通过 SPSS 软件利用 Pearson 相关性分析法得到的虹桥机场

表 10 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	9999	3637.03	3390.084
温度	35	12	17	12.69	1.345
有效的 N (列表状态)	35				

表 11 相关性

相关性			
		能见度	温度
能见度	Pearson 相关性	1	.348*
	显著性 (双侧)		.040
	N	35	35
温度	Pearson 相关性	.348*	1
	显著性 (双侧)	.040	
	N	35	35

*. 在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

表 12 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	9999	3637.03	3390.084
温度露点差	35	0	3	.83	.707
有效的 N (列表状态)	35				

表 13 相关性

相关性			
		能见度	温度露点差
能见度	Pearson 相关性	1	.601**
	显著性 (双侧)		.000
	N	35	35
温度露点差	Pearson 相关性	.601**	1
	显著性 (双侧)	.000	
	N	35	35

** 在 .01 水平 (双侧) 上显著相关。

2018年12月2日到3日一次低能见度天气过程能见度和风的相关性检验的描述统计量(表15)和相关性分析(表16)。

从表15可以看出此次低能见度天气过程中能见度的样本容量为35,极小值为500,极大值为8000,均值为5382.86,标准差2303.895,风速极小值为0,极大值为4,均值为1.86,标准差为0.879。

从表16中可以看到,显著性(双侧)P值为0.081>0.01,所以不拒绝零假设,在置信度99%的水平上,相关系数为 $r=0.299$,由于 r 为正,所以能见度和风速成正相关关系, $0<0.299<0.3$,所以能见度和风速微弱相关。综上所述,虹桥机场低能见度天气过程中能见度和风速相关性较差,成正相关关系。

4.2.2 虹桥机场能见度与温度的相关性分析

先假设能见度与温度不相关。

使用SPSS利用Pearson相关性分析法得到虹桥机场2018年12月2日到3日一次低能见度天气过程中温度与能

见度的相关性检验如表17(描述统计量)和表18(相关性分析)所示:

从表17可以看出此次低能见度天气过程中温度极小值为17,极大值为20,均值为17.60,标准差为0.976。

从表18中可以看到,显著性(双侧)P值为 $0.005<0.01$,所以拒绝零假设,两变量极显著相关,在置信度99%的水平上,相关系数为 $r=0.468$,由于 r 为正,所以能见度和温度成正相关关系, $0.3<0.468<0.5$,所以能见度和风速低度相关,综上所述,浦东机场低能见度天气过程中能见度和温度低度相关,成正相关关系。

4.2.3 虹桥机场能见度与温度露点差的相关性分析

能见度与温度露点差成正相关关系,相关性较好。

使用SPSS利用Pearson相关性分析法得到虹桥机场2018年12月2日到3日一次低能见度天气过程中温度露点差与能见度的相关性检验如表19(描述统计量)所示。

从表19可以看出此次低能见度天气过程中温度露点差

表 14 虹桥机场 12 月 2 日一次低能见度天气过程中各气象要素统计

时间	能见度	风速	温度	露点温度	温度露点差
2018/12/212:00	7000	3	17	17	0
2018/12/212:30	7000	4	17	17	0
2018/12/213:00	7000	3	17	17	0
2018/12/213:30	7000	2	18	17	1
2018/12/214:00	7000	3	18	17	1
2018/12/214:30	7000	2	17	17	0
2018/12/215:00	7000	1	17	17	0
2018/12/215:30	5000	1	17	17	0
2018/12/216:00	5000	1	17	17	0
2018/12/216:30	5000	0	17	17	0
2018/12/217:00	5000	1	17	17	0
2018/12/217:30	3000	1	18	17	1
2018/12/218:00	2000	0	17	17	0
2018/12/218:30	2000	1	17	17	0
2018/12/219:00	1800	1	18	18	0
2018/12/219:30	1000	2	17	17	0
2018/12/220:00	600	2	17	17	0
2018/12/220:30	500	3	17	17	0
2018/12/221:00	3500	2	17	17	0
2018/12/221:30	4500	2	17	17	0
2018/12/222:00	6000	1	17	17	0
2018/12/222:30	5000	2	17	17	0
2018/12/223:00	3500	2	17	16	1
2018/12/223:30	5000	2	17	16	1
2018/12/30:00	7000	2	17	16	1
2018/12/30:30	7000	1	17	17	0
2018/12/31:00	7000	2	17	16	1
2018/12/31:30	7000	2	18	17	1
2018/12/32:00	7000	3	18	17	1
2018/12/32:30	7000	3	19	17	2
2018/12/33:00	7000	2	19	17	2
2018/12/33:30	8000	2	20	17	3
2018/12/34:00	8000	2	20	17	3
2018/12/34:30	8000	2	19	17	2
2018/12/35:00	8000	2	20	17	3

极小值为 0, 极大值为 3, 均值为 0.69, 标准差为 0.963。

显著性 (双侧) P 值为 $0.001 < 0.01$, 所以拒绝零假设, 在置信度 99% 的水平上显著相关, 相关系数为 $r=0.534$, 由于 r 为正, 所以能见度和温度露点差成正相关关系, $0.5 < 0.534 < 0.8$, 所以能见度和温度露点差显著相关, 综上所述, 虹桥机场低能见度天气过程中能见度和温度露点差显著相关, 成正相关关系。

4.3 小结

通过对浦东机场和虹桥机场各自的一次低能见度天气过程中能见度和各气象要素的相关性分析, 我们可以发现,

两机场能见度和风速、温度的相关性类似, 能见度与风速微弱相关, 与温度低度相关, 且都为正相关, 两机场低能见度天气过程中能见度与温度露点差显著相关成正相关关系, 所以上海两场低能见度天气主要受到空气湿度影响, 能见度与温度露点差成正相关, 即温度露点差越大, 空气湿度越低, 能见度越好, 反之, 温度露点差越小, 空气越饱和, 能见度越差。

5 总论

本文通过参考大量国内外关于机场低能见度天气的文献, 使用作图和 Pearson 相关系数分析法等多种方法, 对上

表 15 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	8000	5382.86	2303.895
风速	35	0	4	1.86	.879
有效的 N (列表状态)	35				

表 16 相关性

相关性			
		能见度	风速
能见度	Pearson 相关性	1	.299
	显著性 (双侧)		.081
	N	35	35
风速	Pearson 相关性	.299	1
	显著性 (双侧)	.081	
	N	35	35

表 17 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	8000	5382.86	2303.895
温度	35	17	20	17.60	.976
有效的 N (列表状态)	35				

表 18 相关性

相关性			
		能见度	温度
能见度	Pearson 相关性	1	.468**
	显著性 (双侧)		.005
	N	35	35
温度	Pearson 相关性	.468**	1
	显著性 (双侧)	.005	
	N	35	35

** .在 .01 水平 (双侧) 上显著相关。

表 19 描述统计量

描述统计量					
	N	极小值	极大值	均值	标准差
能见度	35	500	8000	5382.86	2303.895
温度露点差	35	0	3	.69	.963
有效的 N (列表状态)	35				

海两场 2018 年 3 月 1 日 00:00 起到 2019 年 2 月 28 日 23:30 这一年的能见度和风向、风速、温度、露点温度、温度露点差之间的关系进行了分析,并着重对两场低能见度天气过程中能见度和风速、温度之间分别进行了 Pearson 相关性分析。

通过上述分析,最终得到如下结论:虹桥和浦东机场能见度均表现出明显的季节变化特征,夏季能见度最佳,冬季最差,这与上海地区的副热带高压气候和季风气候的特征有关,且两场的低能见度天气大多由雾造成,浦东机

场的雾主要是因东南风从海上带来的平流雾,虹桥机场的雾则是来自内陆的辐射雾。两机场低能见度天气多发生于夜晚和凌晨,因为这段时间内最容易满足雾的产生条件,如适宜的风速风向、暖湿空气适宜的相对湿度、暖湿空气与冷地表显著的温差等等。通过对比虹桥和浦东机场能见度的日变化特征,能够发现两个机场在能见度上升时间上的细微差别,浦东机场比虹桥机场的能见度早一个时次开始上升,这对机场能见度的预报具有重要的指示意义。