

# 昆明长水机场气候特征分析

张序<sup>1, 2</sup>

(1 中国国际航空股份有限公司运行控制中心西南分控中心, 成都 610202;

2 中国民航飞行学院航空运行专业技术及人才培养研究所, 广汉 618307)

**摘要:** 利用昆明市1951—2010年逐日气象数据, 采用回归分析法和Mann-Kendall突变分析法进行分析和检验, 确定了昆明市极端降水和极端温度天气事件。在此基础上, 对昆明长水机场极端天气背景下大雾天气航班安全运行开展研究, 并在对比昆明长水机场与原巫家坝机场大雾特点的基础上, 制定出航班安全运行的应对措施。研究表明, 近几年昆明市极端温度和极端降水事件呈现增多趋势; 因地形原因, 长水机场出现大雾的频率远高于原巫家坝机场; 大雾造成的低能见度天气背景下, 航班的安全运行需要航空公司各部门的通力协作。

**关键词:** 航空气象, 极端天气事件, 显著性检验, 大雾天气, 航班运行延误

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.01.007

## Analysis of the Climatic Characteristics at Kunming Changshui Airport

Zhang Xu<sup>1,2</sup>

(1 Southwest Sub-control Center Operation Control Center Air China Limited, Chengdu 610202

2 Civil Aviation Flight University of China, Flight Operation Institute of Professional Technics and Personnel Training, Guanghan 618307)

**Abstract:** Using regression analysis and Mann-Kendall sudden-change analyses, this research identified the extreme temperature weather and precipitation events in Kunming city based on a collection of meteorological data records from 1951 and 2010 from Kunming's meteorological station. Then, we outlined safe flight operations in the extreme weather conditions, especially for days with heavy fog at the Kunming Changshui airport. Finally, we provided some solutions to improve flight safety operations at the Kunming Changshui airport by comparing with the fog characteristics at the Wujiaaba airport. This research showed that: 1) extreme precipitation and temperature events of Kunming Changshui airport have been increasing in recent years, 2) The frequency of fog occurrences in Changshui was much higher than in Wujiaaba due to the surrounding landforms, and 3) flight safety operations need co-operation among relevant departments of the Airlines.

**Keywords:** aviation meteorology, extreme weather events, significance test, heavy fog, flight delays

### 0 引言

昆明长水机场(以下简称“长水机场”)多次因大雾造成航班大面积不正常而引发旅客群体事件, 长水机场地理环境与大雾天气的联系成为众多学者研究的课题。徐海等<sup>[1]</sup>分析了大雾天气过程出现的天气背景和气象要素特征, 指出了昆明准静止锋影响下长水机场大雾天气特征。马艳等<sup>[2]</sup>分析长水机场大雾天气的特点, 从机场相关部门的角度对大雾天气下如何更好地进行机场运行提出了建议。普锐等<sup>[3]</sup>从地面观测资料特征、探空资料特征、天气形势入手, 提出了长水机场辐射雾观测工作中的应对方法和技巧。杨依莹<sup>[4]</sup>用WRF数值模式模拟机场2015年12月24—26日大

雾天气的整个过程, 为民航运行和机场选址中的应用提供了新的途径和思路。

本研究通过对较长时间段气象元素的统计, 开展天气事件研究, 分析、总结长水机场形成大雾的原因, 梳理出长水机场大雾天气情况下航班安全运行及应对措施, 有利于提升民航运输的效率和安全性。

### 1 数据与方法

使用1951—2010年昆明地面气象观测站温度、降水、能见度和风向风速的数据。考虑到昆明市基本地面气象观测站的天气代表性与昆明长水机场略有差异, 大雾造成的低能见度天气对民航航班运行影响方面的气象数据则来源于长水机场和原巫家坝机场的航空例行天气报告(METAR)及终端机场天气预报(TAF)。

本研究使用的统计方法主要为普通线性回归分

收稿日期: 2017年11月28日; 修回日期: 2018年4月21日  
作者: 张序(1982—), Email: zhangxulikeyou@126.com

析，以及利用Mann-Kendall检验法进行了突变检验。Mann-Kendall检验不需要数据遵从一定的分布规律，是一种非参数检验方法。

## 2 昆明市天气事件研究

### 2.1 昆明市降水事件研究

统计昆明市1951—2010年每年的降水事件发生频次，剔除为0的数据，得到23092条有效数据。经Excel统计得出降水事件发生频次的变化（图1），可以发现，在1951—2010年，降水最多的年份可达到1400 mm以上，最低时小于600 mm，年降水总量超过1200 mm的有13年，平均每4~5年会发生一次。

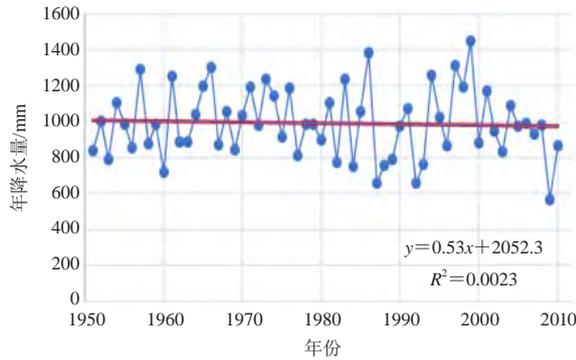


图1 昆明市1951—2010年年降水量统计

Fig. 1 Precipitation in Kunming between 1951 and 2010

图2为昆明市1951—2010年月平均降水量的分布，6—8月昆明市月平均降水量明显较多，这3个月集中了全年大部分降水。从9月开始呈下降趋势，表现出夏秋季降水丰富，冬春季降水少的季节性特点。

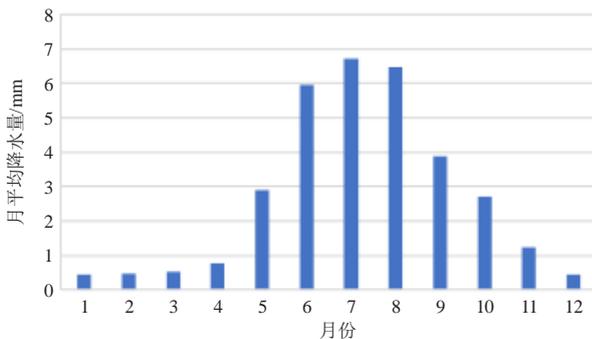


图2 昆明市1951—2010年月平均降水量分布

Fig. 2 The average precipitation in Kunming between 1951 and 2010

使用Mann-Kendall突变检验法对昆明市1951—2010年降水次数趋势进行了分析（图3），可以看出，1951—1987年呈现出一个缓慢上升的趋势，1987—2001年呈现出一个明显的下降趋势，并且通过了显著性检验，在1965，1967，1980和1986年多次达到显著水平，1995和1988年达到极显著水平。

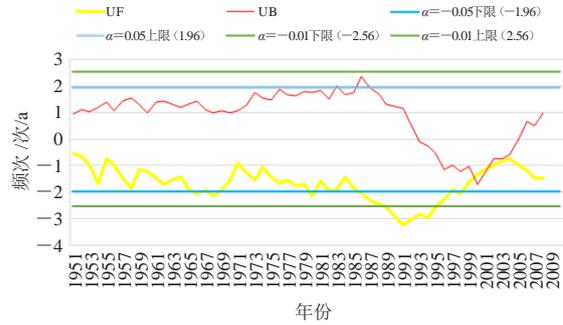


图3 昆明市1951—2010年发生降水次数Mann-Kendall统计量曲线图

Fig. 3 The frequency of precipitation in “Mann-Kendall” between 1951 and 2010

### 2.2 昆明市气温变化特征

昆明市1951—2010年的年平均气温呈现出一个上升的趋势，从时间段来看，在1990年以后上升趋势明显（图4）。

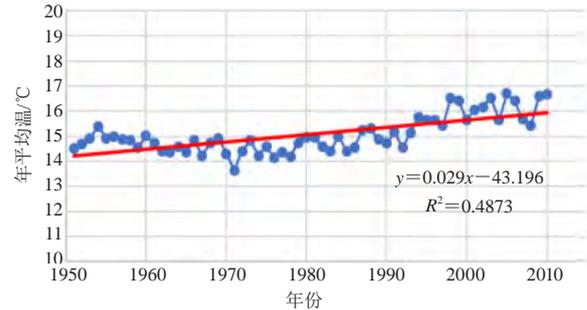


图4 昆明市1951—2010年年平均气温统计

Fig. 4 The average temperature in Kunming between 1951 and 2010

图5是使用Mann-Kendall法对昆明市1951—2010年年平均气温进行趋势分析和突变检验所绘得的曲线，可以看出，1951—1968年呈现下降趋势，并且通过了显著性检验，达到了极显著水平，1980—1985年又一次达到极显著水平，减小的趋势直到1991年结束，1992年开始出现上升趋势，在1997年达到显著水平，1999年达到极显著水平。

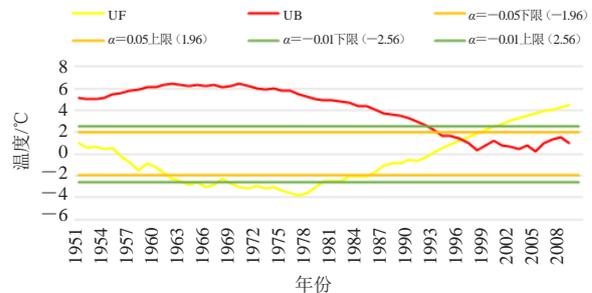


图5 昆明市1951—2010年年平均气温Mann-Kendall统计量曲线图

Fig. 5 The temperature in “Mann-Kendall” in Kunming between 1951 and 2010

### 3 昆明长水机场天气背景下大雾天气航班安全运行影响研究

大雾形成的低能见度天气一直是影响民航航班安全飞行的天气原因之一,从近15年的统计数据发现很多因大雾天气造成的空难,如:2003年1月8日土耳其航空公司634号班机在迪亚巴克尔机场失事就是因为机场区域浓雾造成的<sup>[5]</sup>;2010年4月10日波兰总统的专机在俄罗斯斯摩棱斯克北部一军用机场降落时失事,主要原因是航班在低能见度的恶劣天气条件下降落<sup>[6]</sup>;2010年8月24日发生的河南航空有限公司8387班机伊春坠机事故就是在能见度低于公司最低运行标准的情况下,仍然实施运行造成的<sup>[7]</sup>;2010年7月28日巴基斯坦蓝色航空202号班机在降落前坠毁于伊斯兰堡北部,大雨、多雾天气被认为是坠机发生的主要原因<sup>[8]</sup>;2014年7月23日傍晚复兴航空222号班机降落时坠毁<sup>[9]</sup>,事故报告证实失事飞机在下降过程中能见度突然变差,进近的轨迹偏离航道4°所导致的,所以关注大雾天气对航班安全飞行的意义非常重要。

#### 3.1 昆明长水机场在极端天气条件下大雾形成原因分析

雾按照形成原理分为辐射雾、平流雾、蒸汽雾、锋面雾、上坡雾、谷雾、冰雾、低雾等。结合出现大雾天气情况下的风向、风速、气温和露点温度进行分析,发现昆明长水机场14次大雾过程中,有12次地面为东北风(1~7 m/s),为冷空气影响,属于锋面雾;2次为西南风(4~7 m/s),为辐射雾(晴空或少云),出现在日出前后。可见,长水机场大雾主要是锋面雾,其次为辐射雾,风向和风速对雾的形成有很重要的作用。辐射雾是因辐射冷却空气达到过饱和而形成的,随着日出之后气温升高而逐渐消散。

从前面的分析可以看到,昆明市的降水事件近几年呈上升趋势,气温也呈现出上升趋势,这样容易造成区域空气湿度的增加。如果地面热量散失,温度下降,空气潮湿,当冷却到一定的程度时,空气中的一部分水汽就会凝结出来,变成很多的小水滴,悬浮在近地面的空气层中,容易形成雾。锋面雾是经常发生在冷暖空气交界的锋面附近,锋前雾是由于锋面上暖空气云层中的雨滴落入地面冷空气内,经蒸发使空气达到过饱和而凝结形成,而锋后雾则由暖湿空气移至原来被暖锋前冷空气占据过的地区,经冷却达到过饱和而形成的。

分析长水机场2013年1月3日发生的长时间的大雾过程发现,从当天的重要天气图和高空风预报图上得出在昆明长水机场附近的区域内,高空500~700 hPa

为南支槽前西南暖湿气流控制的形势,地面受静止锋影响,冷空气自东向西逐渐控制本场。在3日11—23时,长水机场区域维持在一个由高空西南气流和低层弱冷空气配合控制中,所以此次大雾的形成过程是高空槽、静止锋、冷空气共同影响的结果。在日常的签派放行工作中需要关注静止锋、高空槽和冷空气预报,静止锋预报需要注意对静止锋生消、加强或减弱、维持或移动的预报;高空槽的预报重点关注高空槽的维持或过境,是水汽和低云维持的标志,当高空槽过境时,低云往往消失,大雾消散;冷空气的预报主要关注冷空气过境的情况,这个是水蒸气凝结的重要因素之一。

另外,长水机场所处的独特地理位置对大雾天气的形成有促进作用,一是机场选址在半山腰,按照冷空气爬升在半山腰会出现雾天的规律,长水机场选址半山腰,当然机场附近是出现大雾天气最合适不过的地方。其二,长水机场处在一个小洼地,机场比附近地势相对又较低,被周边起伏的山峦包围着,机场西部、西北部的最高点海拔约2200 m,东部、东南部海拔达到2500 m。在冬季晴朗的夜晚,辐射冷却较强,加上新机场北侧的海拔较低,从而在潮湿的盆地内容易形成冷气团。不断积累的冷空气团平流到新机场北侧的山坡并爬升,从而导致机场跑道附近上空形成多云状况。随着此云层向南飘移,新机场逐渐被雾所覆盖。这就像是给机场上空盖上了一层“被子”,形成了一层保护膜,不利于空气的流动,导致雾气难以散去。而当冷空气入侵且相对稳定时,大雾短时间就不容易散去。最后就是长水机场位于云南冷空气的入口,又是昆明准静止锋常影响的区域,所以一旦有西南暖湿气流配合,大雾天气相对巫家坝机场多。

#### 3.2 昆明长水机场与原巫家坝机场大雾天气特点对比分析

统计昆明机场近10年出现大雾天气的年频次(图6),发现2012年是发生突变的转折点,这个转折点源于航班运行由原巫家坝机场转场到长水机场后地理环境变

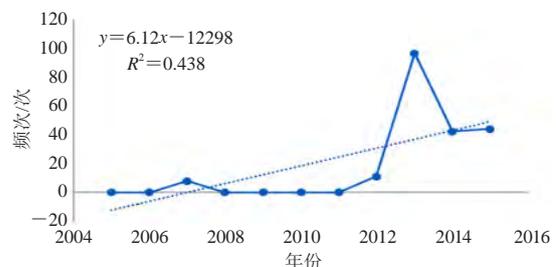


图6 昆明机场低能见度天气发生频次统计图  
Fig. 6 The frequency of low visibility at the Kunming Airport

化所导致。在2011年之前极少出现大雾天气，从2012年开始大雾天气发生频率开始增大，在2013年达到一个频次近百次的峰值，之后大雾天气频次虽然有所下降，依旧是远高于原巫家坝机场的态势。

图7是一个日历年内长水机场和原巫家坝机场每月出现大雾天气的对比，分析得到长水机场出现雾的天气主要从7月开始递增，到10月达到峰值（约180次）。11月一次年1月同样处于多发季节，2—6月处于低值，变化不大，稳定在40次上下，这与降水天气事件和温度天气事件发生的趋势吻合。

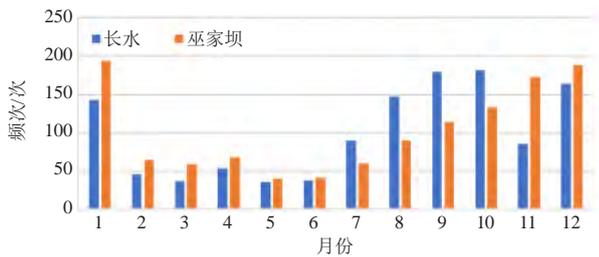


图7 长水机场和原巫家坝机场出现雾天气对比图  
Fig. 7 The comparison of foggy conditions at the Changshui Airport and the Wujiaaba Airport

从所有的有效数据中整理出长水机场和原巫家坝机场24 h内出现大雾天气的对比情况（图8），分析得出长水机场出现雾的时间多在夜间20时一次日02时。从03时开始处于较低水平，在中午12时出现雾的次数相对较多。通过对比两机场24 h出现雾次数，从总数来看，长水机场出现雾的次数远远高于原巫家坝机场。

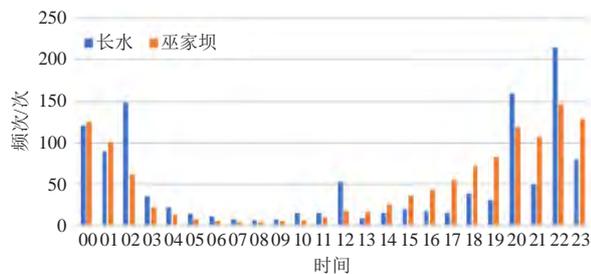


图8 长水机场和原巫家坝机场24 h出现雾天气次数对比图  
Fig. 8 A comparison of the fog weather occurrence within 24 hours between the Changshui Airport and the Wujiaaba Airport

### 3.3 昆明长水机场大雾天气对航班运行影响研究

从整体航班量占比来看，长水机场运行的飞机以C类和D类飞机为主，由长水机场起降过程主用的21/22号跑道对外公布并使用的标准仪表进近图、II类飞行进近图和机场图得到长水机场的起降标准（表1）。

基于2012年6月27日机场搬迁前后长水机场和原

巫家坝机场能见度不满足运行标准的对比，发现在不满足精密进近的次数、非精密进近次数、目视盘旋次数和各类飞机起飞的次数上，长水机场远远高于原巫家坝机场，特别是不满足起飞标准情况出现的概率，长水机场为1.39%，远高于原巫家坝机场的0.015%，其他几项都高于5倍以上。能见度运行的情况，原巫家坝满足运行标准占98.5%，长水占统计量的88%。

由于大气的不断运动变化，产生了各种天气现象和天气变化，如颠簸、风切变、雷雨、积冰、低云、低能见度等危险天气，对飞行安全均构成极大威胁。在近13年国际民航事故气象原因分类表中，与低能见度有关的飞行事故占到了17%。大雾这类低能见度天气对飞行的影响具体表现在低空空域时常会存在明显的低能见度天气，且机场跑道由于跑道视程受到影响，会在地面对航空器的起飞或者落地安全造成重要的影响。多年来各机场因大雾所造成的航空器返航备降、机场关闭等情况时有发生，造成了很大的经济损失。同时飞机在低能见度条件下着陆时，容易造成飞机偏离跑道、在跑道外接地，甚至可能发生轮胎破裂和起落架折断等事故。

从能见度对航班安全顺畅运行的影响来看，原巫家坝机场的能见度条件优于昆明长水机场。受到长水机场独特地形的影响，大雾造成的低能见度天气在长水机场更明显，11月一次年1月的早晨到中午经常出现大雾天气，对进港航班的安全飞行有显著的影响。

## 4 昆明长水机场大雾条件下航班运行保障的措施和建议

针对大雾等天气造成的低能见度天气下的安全运行，本研究认为需要航空公司各部门的通力协作，在长期航班保障的经验基础上，对昆明长水机场大雾条件下航班运行保障的提出以下3点措施和建议：

1) 做好昆明长水机场进港航班备份燃油和可靠备降场的选择。在昆明长水机场附近可作为备降场使用的机场包括贵阳、成都、重庆、南宁、西安、绵阳、兰州，在签派放行飞往昆明长水机场航班的过程中应该合理地选择备降场，充分考虑备降场的保证能力，避免备降场集中选择的情况出现，充分考虑航班空中等待的时间增加，适当增加航班空中飞行的备份燃油，避免低油量落地情况的发生。

2) 推进低能见度情况下起飞和着陆过程中先进技术的使用。II类飞行、低能见度起飞程序的投入使用，使昆明长水机场在保证安全的情况下可以采用更低的能见度标准起飞、落地，针对低能见度起飞中国民用航空局近期还引入了平视显示器（HUD）的概

表1 长水机场常用跑道起降标准

Table 1 The standard of runway of departure and arrival in Kunming Changshui Airport

跑道号	运行方式	使用航图	飞机类别	标准/m
21	ILS/DME	仪表进近图	C类/D类	跑道视程 (RVR)/能见度 (VIS): 550/800; 决断高 (DH): 60 VIS: 1800; 最低下降高 (MDH): 137
	GP INOP	仪表进近图	C类/D类	
	ILS/DME	仪表进近图	C类/D类	RVR/VIS: 550/800; DH: 60
	GP INOP	仪表进近图	C类/D类	VIS: 1700; MDH: 133
	CAT-II	仪表进近图	C类	RVR: 300; DH: 30
22	CAT-II	仪表进近图	D类	RVR: 350; DH: 30
	跑道边灯	机场图	C类/D类	RVR: 400
21	无灯 (白天)	机场图	C类/D类	RVR: 500
	低能见度	机场图	C类	RVR: 200
	低能见度	机场图	D类	RVR: 250
	跑道边灯	机场图	C类/D类	RVR: 400
	无灯 (白天)	机场图	C类/D类	RVR: 500
22	低能见度	机场图	C类	RVR: 200
	低能见度	机场图	D类	RVR: 250

念, 飞行员在使用时会感觉到精确度大大提高, 对航班运行的顺畅作用显著, 提升在复杂天气条件下低能见度起飞的能力。

3) 引入并完善系统决策系统 (CDM)。通过空管、气象、航空公司三方协同决策的方式, 加强气象信息与空管、航空公司运行信息的融合, 提高昆明长水机场低能见度天气条件下的运行效率。启用CDM系统后, 长水机场出港航班进入了西南区域统放航班放行排序, 通过CDM系统能及时得到航班出港时间, 组织旅客登机, 旅客在机上等待时间大大减少, 提升旅客在机场的航空出行体验。

#### 参考文献

- [1] 徐海, 周立, 张潇. 一次准静止锋影响下的昆明长水机场大雾过程分析. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 76-81, 96.
- [2] 马艳, 黄俊齐. 昆明长水国际机场的选址与雾天气分析. 交通科技与经济, 2015, 17(4): 13-15.
- [3] 普锐, 窦体正, 吕金峰. 昆明长水机场一次经典辐射雾的分析讨论. 科技视界, 2017(4): 313-314.
- [4] 杨依莹. 地形对昆明机场一次典型大雾天气的影响研究. 中国民航大学, 2017.
- [5] 张恒俊. “黑色八月”震惊世界 中国民航“借锤敲钟”——国际民航“八月空难”阴影下的飞行安全大走笔(之三). 中国民用航空, 2006(1): 65-66.
- [6] 姜凯, 刘继新. 危机事件应急管理. 江苏航空, 2014(3): 59-62.
- [7] 肖玮. 伊春空难再引航空安全反思. 北京商报, 2010-08-26(002).
- [8] 韩新营. 基于多米诺骨牌模型的蓝色航空7-28事故分析. 科技视界, 2017(11): 84.
- [9] 付毅飞. 台湾客机迫降失败坠毁. 科技日报, 2014-07-24(001).

## 《气象学报》推出“第三次青藏高原大气科学试验”专刊

张萌



《气象学报》  
2018年第6期封面

由于青藏高原是影响中国极端天气和气候事件的关键区, 对天气、气候预报有重要影响。因此, 中国气象局、国家自然科学基金委员会、中国科学院共同推动了“第三次青藏高原大气科学试验 (TIPEX-III)”工作。《气象学报》于2018年第6期推出了“第三次青藏高原大气科学试验”专刊, 共刊载16篇文

章。赵平等介绍了TIPEX-III的总体目标、外场观测布局、研究内容、特色以及所取得的阶段性进展。他指出, TIPEX-III带动了地面和高空常规观测、天气业务雷达和风廓线雷达等观测数据加工处理业务技术的发展, 提升了中国国家级土壤湿度、水汽含量等遥感产品和高分辨率多源降水融合产品的质量, 促进了气象监测、预报和数据共享业务的发展。其他文章则围绕以上内容分别进行了详细阐述。

(作者单位: 中国气象局气象干部培训学院)