

基于航空运行需求的高高原机场温度特征分析

——以林芝机场为例

庞毅¹, 吴俊杰²

(1. 中国民用航空飞行学院空中交通管理学院, 四川 广汉 618307; 2. 中国民用航空飞行学院航空气象学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 高高原机场在地方经济发展中发挥着至关重要的作用,但温度异常会对运行效率和安全产生直接影响。对林芝机场 2006—2020 年温度数据进行统计分析,结果表明:机场全年 1—8 月升温慢,9—12 月降温快;机场夏季日较差最小,在 10℃左右,冬季最大,在 15℃左右;机场低温日(日最低温度 $<0^{\circ}\text{C}$)集中在 12 月和 1 月,高温日(日最高温度 $>20^{\circ}\text{C}$)集中在 6—9 月;机场平均温度呈现缓慢上升趋势,约为 $0.22^{\circ}\text{C}/15\text{a}$,夏季升温趋势为 $0.28^{\circ}\text{C}/15\text{a}$,冬季升温更达到了 $0.51^{\circ}\text{C}/15\text{a}$ 。

关键词: 高高原机场; 林芝机场; 温度; 特征分析

中图分类号: V351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)03-0269-04

截至 2021 年底,我国高高原运输机场数量已达 20 个,约占世界高高原机场总数的 43%,是世界上拥有高高原机场数量最多的国家。高高原机场的建成对方便当地人民出行、促进沟通交流、带动经济发展都发挥了重要作用。根据《全国民用运输机场布局规划》,预计到 2025 年我国还将在西南、西北地区布局新增高高原机场 13 个^[1]。不同于一般机场,高高原机场面临海拔高、空气稀薄、飞行气象条件恶劣多变的问题,运行环境极为复杂,受到航空公司的高度关注,其中气温对航空运行的影响最为直接和重要。高高原机场本身的低密度环境叠加高温天气后,使得空气密度进一步降低,造成飞机气动和动力性能衰减,当超过一定阈值后,飞机只能减载运行^[2],使航空公司蒙受经济损失。高原高温环境对飞机起降性能的影响对航班的安全运行也构成了潜在威胁。低温高湿环境则可能出现道面结冰、飞机积冰等问题^[3-4],可能影响航班的安全运行^[5-6]。因此,研究典型高高原机场的温度变化特征,对摸清机场气温变化规律、研究机场气温预报方法进而保障飞机安全高效运行都有重要的意义。

政府间气候变化委员会第六次评估报告^[7]指出,2011—2020 年全球表面平均温度比 1850—1900 年增加了 1.1°C ,预测 21 世纪全球表面温度升高幅度将超出 1.5°C 。张计深等^[8]研究发现,中国 2001—

2020 年温度以 $0.02\sim 0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率呈显著上升趋势,预计 2021—2100 年,年均温度会以 $0.02\sim 0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率继续上升。张冬峰和高学杰^[9]研究表明中国范围内平均地面气温将普遍升高,其中冬季(12 月至次年 2 月)的青藏高原和夏季(6—8 月)的西北干旱区升温幅度最大,相应的日最高气温最大值和日最低气温最小值也会升高。吴玉婷等^[10]基于 ERA5(欧洲中期天气预报中心对 1950 年 1 月至今全球气候的第五代大气再分析数据集)再分析数据研究了 1979—2019 年欧亚大陆不同区域夏季地表气温的变化特征,也证实了青藏高原在过去 40 年经历了显著的增温过程。段安民等^[11]、游庆龙等^[12]先后研究发现,青藏高原地表增温幅度高于同纬度地区,同时也高于中国及全球平均增暖水平,具有增暖放大现象。杨耀先等^[13]研究了青藏高原近 60 年气候变化的影响,研究了地表变暖的现象,研究表明青藏高原地表变暖早于北半球同纬度地区,年代际大气增湿引起的海拔依赖性变暖和晴空向下长波辐射的增加是青藏高原地表变暖的主要原因,表明近 10 年来地表温度的变化主要集中在年际尺度上。

从以上研究可以看到,近几十年及未来,青藏高原地表升温趋势明显,但相关研究都是从整个高原气温变化进行研究,针对高原机场的气温变化特征研究相对较少。因此,现从航空公司运行保障需

收稿日期: 2023-11-15

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFB2601701);民航飞行技术与飞行安全科研项目(FZ2020ZZ03;F2018KF05)

作者简介: 庞毅(1998—),男,四川达州人,硕士研究生,研究方向为机场温度分布特征及预报;通信作者吴俊杰(1981—),男,甘肃静宁人,副教授,博士,研究方向为大气科学。

求出发,研究林芝机场的温度变化特征,以便为高原机场气温预报技术和高原机场异常温度条件下的放行方法研究做好铺垫。

1 资料与方法

林芝机场位于中国西藏自治区林芝市米林县的雅鲁藏布江河谷,海拔高度 2 948.9 m,机场跑道方向为近东北-西南方向,跑道编号 05/23。机场四周被海拔 4 000 m 多的高山环绕,地理环境集高原、山地、峡谷、河谷于一身,属于典型的山地高原机场。由于复杂的地理、气候环境,林芝机场是国内唯一一个飞机起降必须全部实施 RNP(required navigation performance, 导航性能要求)程序飞行的机场,因此林芝机场是国内起降和航班正点保障难度最高的机场,也是世界上最难飞行的机场之一。

机场跑道两端及中部布设有 3 部自动观测设备,观测要素包括温度、气压、湿度、风向、风速、降水等,其中温度采样频率为 1 次/min,本研究使用了主降方向 23 跑道自动观测站的温度数据,时间为 2006—2020 年。统计分析前对数据进行质量控制,剔除了记录错误数据。研究中计算日平均、日最高、日最低温度时,取世界时的 00:00—24:00 为一天,即北京时的早 8 时至次日 8 时,日较差为一日中的最高气温与最低气温的差值。根据运行标准,将 0℃和 20℃分别定义为低温阈值和高温阈值。低温日即一日中出现一次低于 0℃的时刻即为低温日,高温日类似。

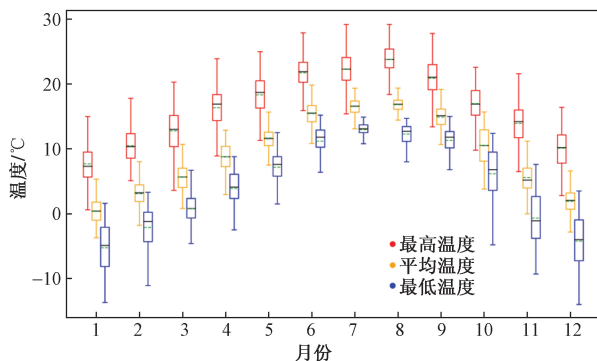
利用一元线性回归方程拟合年平均温度变化趋势^[14],分析获得林芝机场年际变化趋势。气象要素的气候倾向率可用一次线性方程表示,即

$$Y = aX + b \quad (1)$$

式中:Y 为气象要素;X 为时间;b 为常数项;a 为斜率,即气象要素的气候倾向率。

2 气温年变化特征

根据林芝机场的观测数据统计,15 年来,林芝记录到的最高温度为 29.3℃,发生于 2018 年 7 月 6 日 15 时,最低温度为 -14℃,出现在 2011 年 1 月 15 日 8 时。从月平均温度来看(图 1),1 月平均温度最低,为 0℃左右,8 月平均温度最高,为 17℃左右。总体来看,1—8 月升温缓慢,9 月后气温迅速降低。从日最低温度来看,1 月日最低温度约 95%是低于 0℃的,4—10 月日最低温度 95%都达到了 0℃以上。10 月开始,最低气温低于 0℃的时刻明显增加。11 月 50%以上的最低温度低于 0℃,12 月的情况与 1 月的情况类似。值得注意的是,冬季日最低气温波动范围显著高于夏季。综合来看,10 月至次年 3 月要注意低



红色箱子表示日最高温度箱型图;黄色箱子表示日平均温度箱型图;蓝色表示日最低温度箱型图;箱子上边表示数据顺序 75%位置的数,下边表示数据顺序 25%位置的数;箱子内绿色虚线表示平均值,黑色实线表示中位数

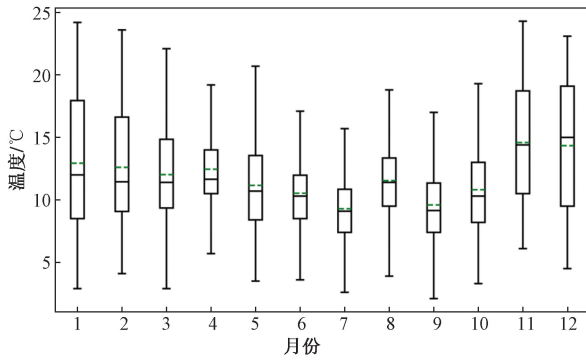
图1 林芝机场温度月变化特征

温造成的道面结霜结冰事件的发生。从日最高温度来看,4 月起,林芝机场已开始出现气温高于 20℃的高温日,5 月出现高温日的频率已达 25%以上,6—9 月高温日出现频率均高于 50%,其中 8 月高温日发生频率在 75%以上,10 月以后极少有高温日的出现,3—5 月气温波动范围略高于其他月份。由此可见,林芝机场 6—9 月需重视高温造成的减载。

从林芝机场温度日较差可以得到(图 2),全年平均日较差与平均气温变化反位相。总体来看,1—9 月日较差小幅波动减小,10—12 月则迅速增加。1 月 50%的温度日较差大于 13℃,约 25%的温度日较差可达 17℃。而在 7 月的温度日较差约 50%高于 8℃,25%高于 10℃。从日较差的波动来看,11 月至次年 3 月的逐日温度波动十分明显,而在盛夏季节,气温日较差波动不大,这与当地秋冬季节多晴天且冷空气频繁,而夏季多云及降水的高原季风天气有关。因此,需要高度关注秋冬季节温度强烈变化对运行安全的影响。

3 气温日变化特征

林芝机场低温($\leq 0^\circ\text{C}$)集中出现在 12 月至次年 2 月的 00:00—10:00[图 3(a)],其他月份低温出现的频率极低。1 月是低温出现频率最高的月份,时间集中在 23:00 至次日 10:00,00:00—04:00 的出现频率约为 75%,05:00—10:00 出现频率约为 87%以上,08:00—09:00 低温出现频率高达 90%,为全年最高。2 月低温日发生时刻集中在 03:00—09:00,出现频率约为 55%。3—10 月,未出现过低温情况。至 11 月,低温发生频率再次增加,集中在 04:00—10:00,发生频率约为 50%。12 月为低温日出现的高频月份,00:00—04:00 发生频率约为 60%,05:00—10:00 发生



箱子上边表示数据顺序 75%位置的数,下边表示数据顺序 25%位置的数;箱子内绿色虚线表示平均值,黑色实线表示中位数

图2 林芝机场温度日较差变化

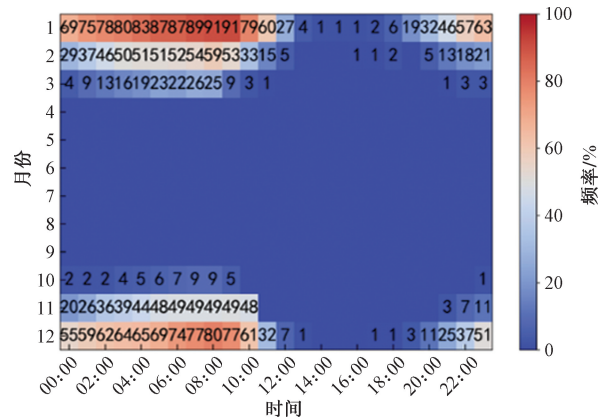
频率约为 75%。由此可见,林芝机场 11 月—次年 2 月要重点关注 08:00—10:00 低温对飞行造成的影响。

林芝机场高温($\geq 20^{\circ}\text{C}$)的出现集中在 6—9 月的 12:00—17:00[图 3(b)]。1—4 月,高温的出现频率基本为 0。5 月的 12:00—16:00 容易出现高温,出现频率在 25%左右,其他的时间出现频率极低。6—8 月高温的发生频率大幅增加,6 月出现集中在 12:00—16:00,发生频率约为 65%。7 月集中出现在 11:00—17:00,发生频率约为 65%。8 月高温的出现频率为全年最高,集中在 11:00—17:00,频率约为 75%,其中 14:00 发生频率为全年最高,为 94%左右。9 月 12:00—15:00 高温出现频率约为 45%。10—12 月,高温日的发生频次、频率几乎为零。可见 6—9 月是高温出现的高峰月份,这几个月的 14:00 前后为高发时刻。

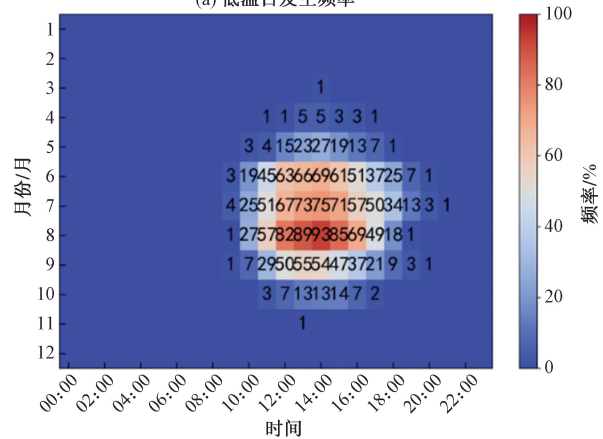
由图 4 可以看出,林芝机场 12 个月的日最低温度发生时间集中在早晨 06:00—08:00,日最低温度发生时间 1—2 月最晚,发生在 08:00。3 月、4 月日最低温度发生时间提前约 1 h。5—7 月发生时间最早,提前到 06:00。到了 8—12 月,最低气温又开始逐渐推后。11 月至次年 12 月的最低气温平均值均小于 0°C ,其中 1 月最小为 -4.9°C 。7 月的日最低气温最高,为 13.1°C 。林芝机场 12 个月的日最高温度发生时间变化不大,基本都在 14:00—15:00。6—9 月的日最高气温平均值都在 20°C 以上。8 月最高位 23.1°C 。1 月的日最高平均气温最小,为 7.5°C 。

4 15 年温度的变化趋势

作为全球变暖趋势最为明显的地区,气温变化会对未来机场运行产生直接影响。由图 5 可见,2006—2020 年,林芝机场平均温度为 9.3°C ,2008 年平均温度最低,为 8.9°C ,2009 年最高,为 9.7°C 。年平均温度呈现缓慢升高趋势,线性增强趋势为



(a) 低温日发生频率

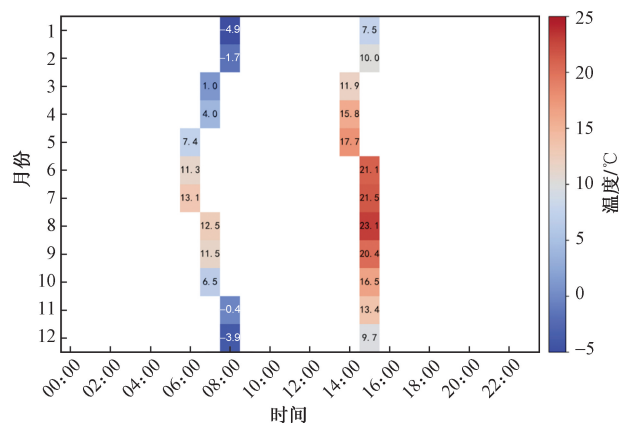


(b) 高温日发生频率

从蓝色到红色,颜色越深代表出现频率越高;

无数据位置表示发生频率为 0

图3 12 个月低温、高温日发生频率



数据表示 2006—2020 年相同月份在相同时刻的最低、最高温度平均值

图4 12 个月最高、最低温度发生时刻

$0.22^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$ 。分季节来看,夏季平均温度为 16.3°C ,2015 年最低,为 15.6°C ,2018 年最高,为 17°C 。夏季平均气温增强趋势为 $0.28^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$ 。冬季平均温度为 1.3°C ,2011 年最低,为 -1.5°C ,2017 年最高,为 2.7°C 。冬季平均气温线性增强趋势为 $0.51^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$ 。两个季节气温上升趋势均高于年平均升温趋势,冬季升温趋势更为明显,接近夏季的 2 倍。

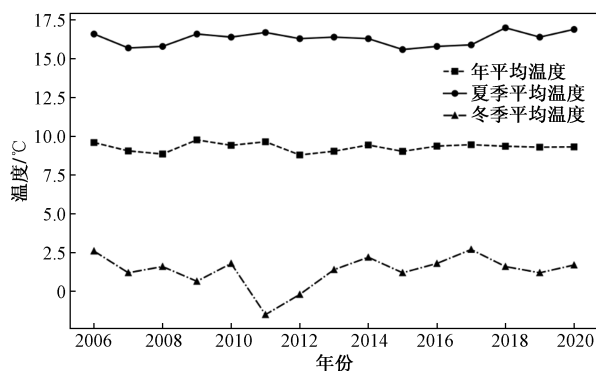


图5 2006—2020年温度变化趋势

5 结论

(1)林芝机场最低温度为 -15°C ,最高温度可到 30°C ,机场全年1—8月温度会缓慢升高,9—12月快速下降。

(2)机场全年温度日较差为 $7\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。夏季温度高,85%的时间为高温日,日较差在 10°C 左右;冬季温度低,90%的时间为低温日,日较差在 15°C 左右。机场日最低温发生时刻会随着季节变化先提前再延后,从1月的08:00提前到7月的06:00,再到12月缓慢延后到08:00,日最高温度的发生时间也会随着季节变化先提前再延后的特点,从1月的15:00到5月的14:00,6—12月延迟到15:00发生。

(3)机场全年的低温日集中在12月—次年2月,时间在00:00—10:00。其中1月低温日出现频率最高,在85%左右,2月低温日出现频率在55%左右,到了11月出现概率为50%左右,12月低温日出现频率在70%左右。机场高温日的出现集中在6—8月,时间在12:00—17:00。6月高温日出现频率在65%左右;7月高温日出现频率在65%左右;8月高温日出现频率达到了85%左右,为全年之最。

(4)机场2006—2020年年平均温度呈现缓慢上升的趋势,约为 $0.22^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$,夏季温度升温趋势 $0.28^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$,冬季升温趋势 $0.51^{\circ}\text{C}/15\text{ a}$ 。

参考文献

- [1] 王坤. 高高原机场的选址条件浅析[J]. 民航学报, 2022, 6(4): 22-24.
- [2] 邵斌, 李柯, 黄文广, 等. 高原机场飞机减载使用分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(6): 2525-2532.
- [3] 倪洪波, 李佰平, 李静, 等. 国内飞机自然结冰潜势的时空分布状况研究[J]. 气动研究与实验, 2023(1): 89-101.
- [4] 吴俊杰, 杨传军, 薛蓉蓉, 等. 基于 Cloudsat 资料的四川盆地飞机积冰特征分析[J]. 航空计算技术, 2023, 53(1): 24-28.
- [5] 王岩. 湿滑道面飞机偏出跑道姿态分析及防护措施研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
- [6] 孙艳辉, 张波, 刘伟, 等. 高空冷涡背景下飞机积冰特征和机制的探测研究[J]. 气象, 2023, 49(8): 972-984.
- [7] Call for Expert Reviewers To Submit Comments on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Sixth Assessment Synthesis Report[J]. The Federal Register / FIND, 2022, 87: 16.
- [8] 张计深, 陈笑蝶, 彭守璋. 2001—2100年中国温度变化趋势及时空差异研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(12): 112-124.
- [9] 张冬峰, 高学杰. 中国21世纪气候变化的RegCM4多模拟集合预估[J]. 科学通报, 2020, 65(23): 2516-2526.
- [10] 吴玉婷, 杨崧, 胡晓明, 等. 青藏高原与周边地区近四十年区域夏季地表气温变化趋势的异同及归因分析[J]. 大气科学, 2022, 46(5): 1253-1266.
- [11] 段安民, 肖志祥, 吴国雄. 1979—2014年全球变暖背景下青藏高原气候变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 374-381.
- [12] 游庆龙, 康世昌, 李剑东, 等. 青藏高原气候变化若干前沿科学问题[J]. 冰川冻土, 2021, 43(3): 885-901.
- [13] 杨耀先, 胡泽勇, 路富全, 等. 青藏高原近60年来气候变化及其环境影响研究进展[J]. 高原气象, 2022, 41(1): 1-10.
- [14] 金相皓, 李鹏, 李霞, 等. 基于CHELSA的1980—2018年南亚-东南亚气候变化特征与趋势分析[J]. 地理科学进展, 2023, 42(7): 1365-1379.

Temperature Characteristics Analysis of High-altitude Airport Based on Aviation Operation Requirements: Taking Nyingchi Airport as an Example

PANG Yi¹, WU Junjie²

(1. Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China;

2. Aeronautical Meteorology College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

Abstract: High-altitude airports are vital to local economic development, but temperature anomalies has a direct impact on operational efficiency and safety. The statistical analysis of the temperature data of Nyingchi Airport from 2006 to 2020 shows that the temperature rise is slow from January to August, and the temperature drop is fast from September to December. The daily range of the airport is the smallest in summer, about 10°C , and the largest in winter, about 15°C . Airport low temperature days (daily minimum temperature $< 0^{\circ}\text{C}$) are concentrated in December and January. High temperature days (maximum daily temperature $> 20^{\circ}\text{C}$) are concentrated in June to September. The average temperature of the airport showed a slow rising trend, about $0.22^{\circ}\text{C}/15\text{ years}$, $0.28^{\circ}\text{C}/15\text{ years}$ in summer, and $0.51^{\circ}\text{C}/15\text{ years}$ in winter.

Keywords: high plateau airport; Nyingchi Airport; temperature; feature analysis