

贵阳龙洞堡机场地形改变对气象要素的影响分析

赵丹丹, 曹 阳

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年8月15日; 录用日期: 2023年9月13日; 发布日期: 2023年9月20日

摘 要

西南地区地形地貌条件对当地气象特征的影响尤为突出, 致使机场扩建项目中气象要素对地形变化的响应规律不容小觑, 故依托贵阳龙洞堡机场三期扩建工程, 将2017年对应的地形要素视为原地形与现地形条件的时空分割节点, 然以2013~2022年时限内自动、人工所测得关键气象要素及重要天气记录为数据支撑, 后以两类数据对比分析为研究手段, 研讨该机场气象要素、重要天气对地形改变的响应特性。结果表明: 1) 重要天气对比发现, 除雾类外, 其余类别呈多发频发趋势; 2) 能见度出现次数对比发现, 现地形条件下低能见度次数显著减少; 3) 现地形条件下整点数据VRB和静风次数均较前者显著减少, 减幅6.63%, 而风向占比中北风显著增加, 增幅7.04%, 且东南风减少, 西南风增加; 4) 地形改变后, 月最低气温提前了一个月, 出现在本年的12月, 而月最高气温集中出现在夏季6、7、8月, 除9月外, 原地形下各月份温差较大。因此, 可以说明由机场扩建所致地形改变对气象要素影响较大, 该差异性对气象要素预报具有一定指导意义, 且对后期同类型地区机场扩建项目具有一定参考价值。

关键词

机场, 扩建工程, 地形, 气象要素

Analysis of the Impact of Landform Changes on Meteorological Elements at Guiyang Longdongbao Airport

Dandan Zhao, Yang Cao

Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 15th, 2023; accepted: Sep. 13th, 2023; published: Sep. 20th, 2023

Abstract

The influence of landform and geomorphological conditions in Southwest China on local meteorological characteristics is particularly prominent, which makes the response law of meteorological elements to landform changes in airport expansion projects not to be underestimated. Therefore, based on the third phase expansion project of Guiyang Longdongbao Airport, the corresponding landform elements in 2017 are regarded as the space-time segmentation nodes of original landform and current landform conditions. However, the key meteorological elements and important weather records measured automatically and manually within the time limit from 2013 to 2022 are used as data support, and then the comparative analysis of two types of data is used as the research method to study the response characteristics of meteorological elements and important weather of the airport to landform changes. The results show that: 1) The comparison of important weather shows that except for fog, the other show a trend of frequent occurrence; 2) By comparing the number of visibility occurrences, it is found that the number of low visibility occurrences under the current landform conditions is significantly reduced; 3) Under the current landform conditions, the VRB and the number of calm winds were significantly reduced compared with the former, with a decrease of 6.63%, while the proportion of wind direction in the north wind increased significantly, with an increase of 7.04%, and the southeast wind decreased and the southwest wind increased; 4) After the change of landform, the monthly minimum temperature is one month ahead of time, which appears in December of this year, while the monthly maximum temperature is concentrated in June, July and August of summer. Except for September, the temperature difference of each month under the original landform is larger. Therefore, it can be explained that landform changes caused by airport expansion have a significant impact on meteorological elements. This difference has certain guiding significance for meteorological element forecasting and has certain reference value for airport expansion projects in similar regions in the future.

Keywords

Airport, Expansion Project, Landform, Meteorological Elements

Copyright © 2023 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

我国海岸线绵长, 地形和地表特征复杂, 山地、丘陵和高原的面积约占全国总面积的 60% [1], 尤其对于地处崇山峻岭的西南地区, 高原、山脉、山脊等大尺度地形广泛分布其中, 促使地形要素对天气气候的控制效应较为显著 [2] [3], 除宏观层面上的大尺度地形影响, 还具有凸显的地方性特征, 即局地地形对天气的影响更是至关重要 [4]。故而, 除将气象要素形成和分布过程与天气条件因素直接关联外, 具有地方属性的地形要素对气象要素有着极其显著的影响 [5]。即使在较小范围的行政区划内, 假使天气条件相同, 不同山体垫面上气象要素的局地分布形式也尽显差异 [6], 据相关文献记载 [7] [8], 坐落在黔东南中部的雷公山, 作为珠江水系和江水系的分水岭, 复杂地形是黔东南大部分暴雨形成的直接诱因; 太白山背风坡处焚风效应更是温度场分布形态的“塑造者”。

地形要素主要从动力及热力学方面对局地气象要素的形成、发展和分布规律发挥多维多尺度的耦合作用 [9], 与局部异常天气现象如影随形 [10], 因此开展气象要素成因相关研究时, 地形要素不可或缺 [11]。

但地形与大气相互作用下产生气象要素复杂多样, 并具有很强的空间变异性[12], 尤为突出的是地形起伏对风场的影响, 与流管内流体流动形态相似, 风贴近地面时, 受地形、地物、地貌影响受到各种阻碍, 且该阻碍作用随风场离地距离增高而减弱[13]; 地形强迫风的矢量特征发生改变, 稳定性下降, 进而产生湍流效应[14]。此外, 地形对气象要素的影响还主要涉及降水、温度以及气压分布等多个方面, 具体影响行为有: 1) 降水分布: 高地通常会导致气流上升, 引起冷却和凝结, 从而形成云和降水, 即“雨影效应”, 其中也伴随风向的主导作用; 2) 温度分布: 山地通常随海拔升高而温度下降, 即“温度递减率”, 但山脉可以阻挡暖空气流动, 致使背风坡相对较冷, 正面风向相对较暖; 3) 气压分布: 地形特征通过引导气压分布, 从而影响风的形成和运动规律, 譬如, 山谷和山脉周围可能形成不同的气压区域。

综上, 国内外的研究虽然认识到了地形在气象要素形成和发展中有着首当其冲的作用[15], 但地形影响气象要素局地分布的研究相对匮乏, 主要集中于大自然“鬼斧神工”的原生地地形, 缺乏人类文明进程中对地形“干预”的考量, 因此, 对于地形演变诱发的气象要素局地二次重分布规律值得一探究竟, 故本文依托贵阳龙洞堡机场扩建项目, 以地形更替为切入点, 以部分气象要素(风、温度、能见度及重要天气现象)的数据变化特征为着力点, 深入浅出地研判地形变化对气象要素影响特性, 进而夯实气象预报基础, 为民航贵州空管气象的质量建设发展奠定了一定基础, 更好地服务航空气象用户。

2. 龙洞堡机场概况

贵阳龙洞堡国际机场(后文简称贵阳机场)位于贵阳市东郊约 11 km 的龙洞堡地区南明河支流鱼梁河上游右岸小支流的分水岭地带, 距贵阳市公路距离约 14 km。贵阳龙洞堡机场距离城市较近, 飞机活动在场区东侧, 同时在机场西侧相距机场约 7 km、相对高差约 100 m 的图云关山梁、森林公园、市规划的 500 m 绿化带共同构建起一道天然抗噪音屏障。贵阳机场是我国西南地区的区域性枢纽机场, 承担着省内与国内其他枢纽及城市之间的航空运输服务, 为适应地方经济社会和民航运输发展的需要, 2016 年 7



Figure 1. Overview of landform before and after the expansion of Guiyang Longdongbao Airport
图 1. 贵阳龙洞堡机场扩建前后地貌概况图

月 29 日, 发改基础[2016] 1648 号《国家发展改革委关于贵阳龙洞堡机场三期扩建工程可行性研究报告的批复》, 为适应贵阳地区航空运输快速发展需要, 提高机场综合保障能力, 促进区域经济社会协调发展, 同意建设贵阳龙洞堡机场三期扩建工程。

贵阳龙洞堡机场地处喀斯特地貌, 建造在海拔高度 1130 m 的地势起伏、溶岩犬齿裸露、高山崎岖、高差 170 多米的山丘地貌环境中[16]。自 2017 年 5 月开始进行三期扩建工程, 削山填沟, 新建一条近距离跑道, 如图 1 所示(图片来源于星图地球数据云); 新建东跑道, 长度 4000 m, 原西跑道向北延长 400 m, 达到 3600 m, 新建 T3 航站楼, 总面积约 21 万平方米。

贵阳管制区飞行环境具有地理环境复杂和气候条件多变的特点。高原、山地多, 而平原少, 大风、大雾、低云、冰雹、雷雨、结冰、颠簸风切变等危及飞行安全的气象现象俱全。故可知, 贵阳机场三期扩建工程已对场区地形地貌作了重大调整, 诱发气象条件发生改变的可能性较大, 对后期气象预报影响较为坡远。

3. 重要天气及气象要素特征

3.1. 重要天气现象统计

资料选取 2013 年到 2022 年 10 年期间贵阳机场重要天气卡片中出现的严重影响机场运行的天气作为统计对象, 重要天气分别为雷暴、风切变、雾、雪、冻降水、低云。

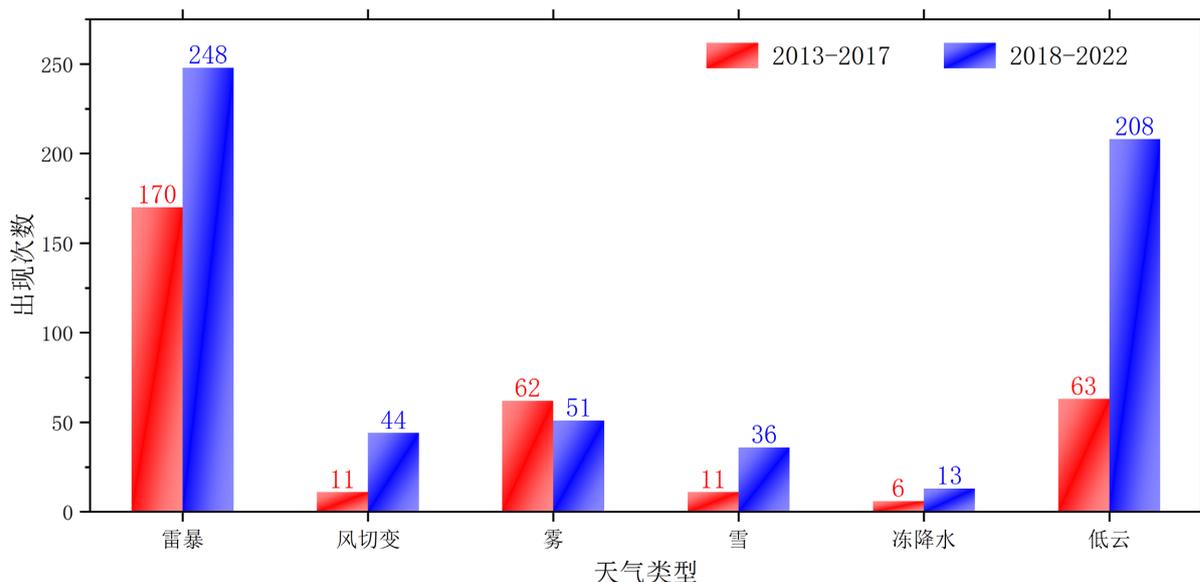


Figure 2. Statistical chart of important weather phenomena at Guiyang Airport in the past decade

图 2. 贵阳机场十年重要天气现象统计图

2013~2017 与 2018~2022 年前后五年贵阳机场重要天气出现次数对比如图 2 所示, 2018~2022 年重要天气发生频次显著增加, 约占十年总数的 65%, 2013~2017 年重要天气频次约占 34%。

因三期扩建, 向东南面新建一条近距离跑道, 机场南头、北头进行了削山填沟, 地形发生改变, 雷暴、风切变、雪、冻降水、低云天气显著增多, 分别增多约 19%、60%、53%、37%、54%, 大雾天气呈现减少趋势。总体来说, 2018 年以后的 5 年较之前 5 年, 除雾以外, 其余重要天气呈多发频发趋势。

3.2. 低能见度天气分等级统计特征

资料选取 2013 年到 2022 年 10 年期间自动观测数据、人工观测数据及贵阳机场重要天气卡片中出现

的影响机场运行的天气作为统计对象。

贵阳机场一年四季皆可能出现大雾天气,当能见度(VIS)人工观测记录小于1千米时,记录天气现象为雾,为表述方便统称低能见度。

结合飞行实际,由于能见度的大小对飞行有不同程度的影响,根据航空气象预报规范的能见度分级标准做了四个分级统计。即一级: $VIS \leq 150$ 米,二级: $150 < VIS \leq 350$ 米,三级: $350 < VIS \leq 600$ 米,四级: $600 < VIS \leq 800$ 米。

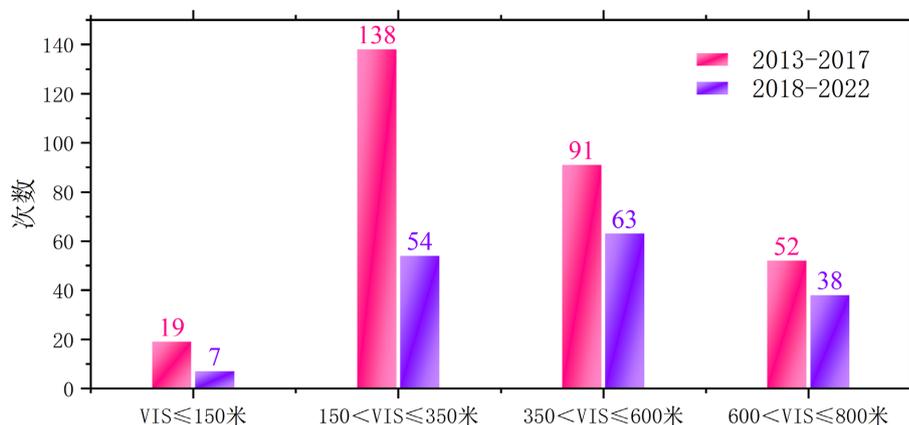


Figure 3. Statistical characteristics of low visibility weather classification

图 3. 低能见度天气分等级统计特征

2013~2017 与 2018~2022 年前后五年不同级别能见度出现次数对比如图 3 所示,根据图 3 表明 2013~2022 年十年间,出现低能见度天气总共有 113 个时次。2018~2022 年低能见度次数显著减少。2018~2022 年 4 个级别的能见度次数分别为 7 次、54 次、63 次、38 次,较 2013~2017 年分别减少了 46%、44%、0.18%、0.16%。特别是第二级,减少尤为明显。

3.3. 气象要素风的统计特征

资料选取 2013 年到 2022 年 10 年期间自动观调整点数据作为统计对象。风对于飞机飞行有着重大影响,所以对于风的统计至关重要。根据《民用航空气象地面观测规范》(AP-117-TM-2021-01R2),对于风向不定(VRB)、静风(C)有如下定义:

VRB (Variable): 由于预期风向多变而不可能预报一个盛行的地面风向时,例如在微风(2 米/秒以下)或雷暴的情况下,风向应当预报为风向不定。

C: 两分钟或十分钟时段内的风速平均 < 0.5 m/s 的风。

下文 S、N、东南风、西南风数据采集所选风向范围如表 1 所示。

Table 1. Wind direction category and range used in this article (Unit: °)

表 1. 本文所风向类别及采用风向范围(单位: °)

风向类别	风向范围
S (南风)	$90^\circ < S \leq 270^\circ$
N (北风)	$270^\circ < S \leq 90^\circ$
东南风	$90^\circ < \text{东南风} \leq 180^\circ$
西南风	$180^\circ < \text{西南风} < 270^\circ$

3.3.1. S、N、C 及 VRB 的占比特征

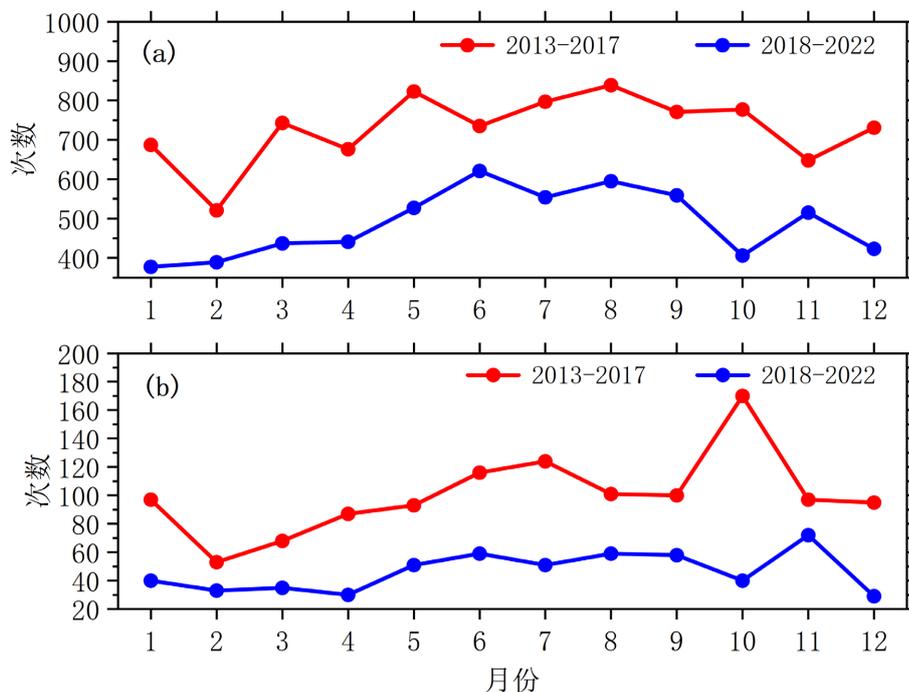


Figure 4. Statistical characteristics of VRB times and C times
图 4. VRB 次数和 C 次数统计特征

VRB 次数和 C 次数如图 4(a)、图 4(b)所示。图 4(a)表明, 2018~2022 年 5 年累计每月发生风向不定的次数较 2013~2017 年少。其中, 2018~2022 年发生风向不定的次数基本在 600 次以下, 6 月最多, 为 621 次, 1 月最少, 为 377 次; 2013~2017 年风向不定次数除 2 月外(521 次), 其余月份均在 600 次以上, 8 月最多, 为 839 次。如图 4(b)所示, 2018~2022 年 5 年累计每月发生静风次数较 2013~2017 年少。其中, 2018~2022 年发生静风次数基本在 60 次以下, 11 月最多, 为 72 次, 12 月最少, 为 29 次; 2013~2017 年静风次数除 2 月外(53 次), 其余月份均在 60 次以上, 10 月最多, 为 170 次。总的来说, 2018~2022 年与 2013~2017 相比, 贵阳龙洞堡机场整点数据 VRB 和静风次数均显著减少。

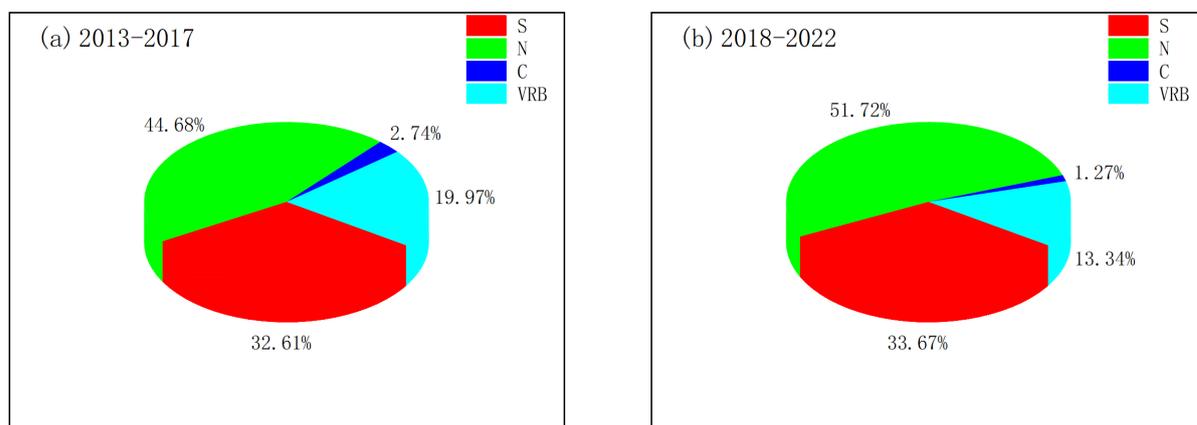


Figure 5. Statistical characteristics of S, N, C, and VRB times
图 5. S、N、C 及 VRB 次数统计特征

2013~2017年和2018~2022年S、N、C及VRB占比图分别为图5(a)、图5(b)所示。由图可知,2013~2017年S、N、C、VRB分别为32.6%、44.68%、2.7%、19.97%;2018~2022年S、N、C、VRB分别为33.67%、51.72%、1.27%、13.34%;可以看出,贵阳机场风向占比北风显著增加,增加了7.04%,VRB显著减少,减少了6.63%。

3.3.2. 贵阳机场东南风、西南风次数统计特征

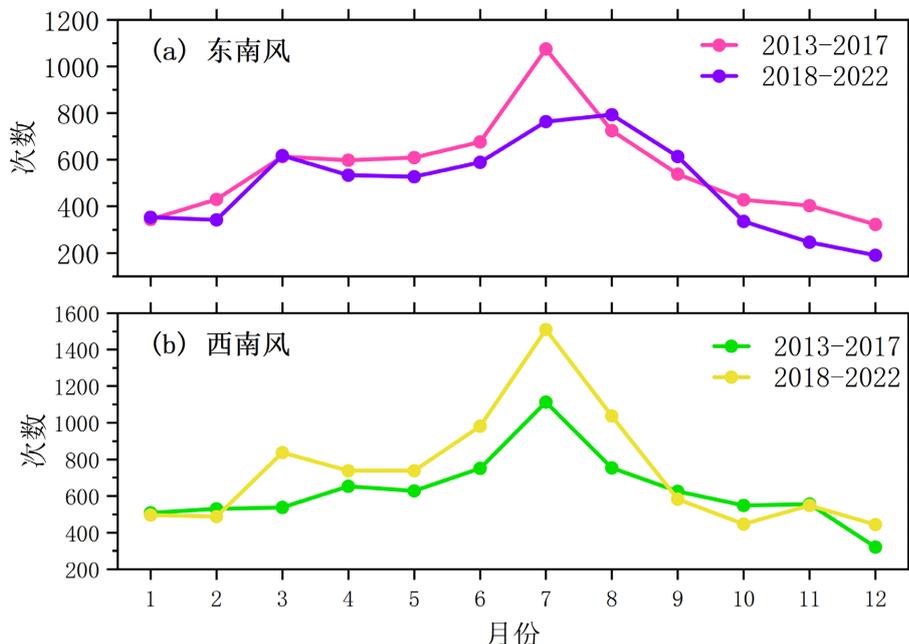


Figure 6. Statistical characteristics of the number of southeast winds (a) and southwest winds (b) at Guiyang Airport

图6. 贵阳机场东南风(a)、西南风(b)次数统计特征

2013~2017与2018~2022贵阳机场东南风(a)、西南风(b)如图6所示,2013~2017年贵阳机场东南风较2018~2022年多,其中7月最多,为1075次12月最少,为322次;2018~2022年西南风显著增加,其中,7月最多,为1510次,12月最少,为444次。总的来说,2018年后5年,东南风减少,西南风增加。

3.4. 气象要素温度的统计特征

温度对于飞机发动机功率、空气动力特性有着重大影响,温度对于飞行意义至关重要。资料选取2013年到2022年10年期间自动观测整点数据作为统计对象,本文主要统计了温度极值机它们的差值分布。

月平均最低温(Tmin):取每天的最低温做月平均;月平均最高温(Tmax):取每天的最高温做月平均;温差 = 月平均最高温(Tmax) - 月平均最低温(Tmin)。

3.4.1. 贵阳机场月平均最低温、月平均最高温统计

温度极值时间序列图如图7所示,由图可知,2018~2022年中,最低气温最小值均出现在12月,最低气温最大值出现在7月;最高气温最小值2018、2019、2021年均出现在1月,2020、2022年出现在12月,最高气温最大值出现在5、7、8月,其中8月出现3次,5、7月各出现一次。2013~2017年中,最低气温最小值均出现在1月,最低气温最大值出现在6、7、8月;最高气温最小值均出现在1月,最

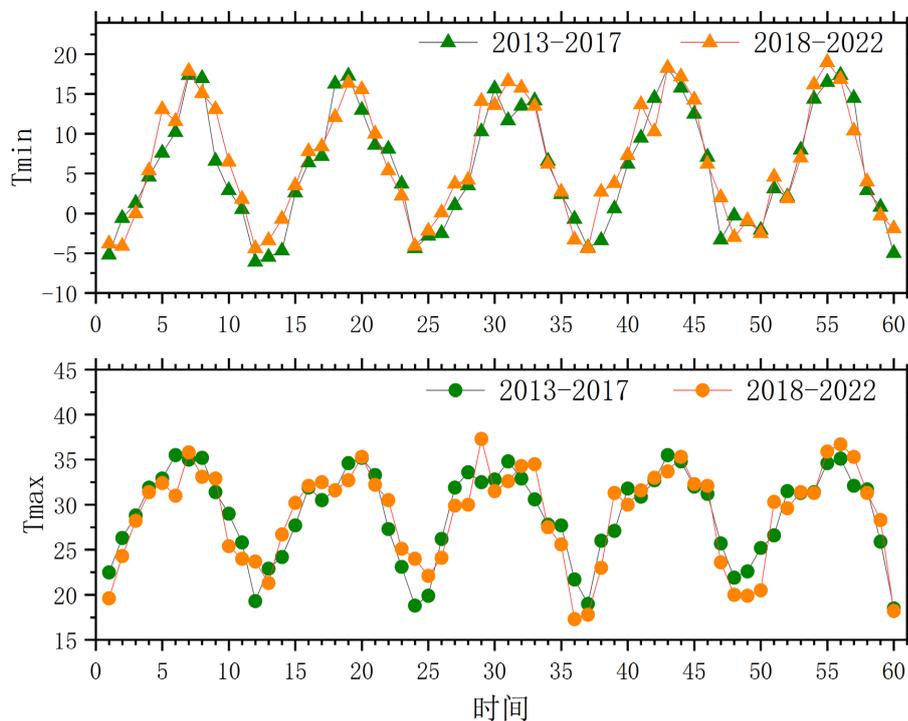


Figure 7. Statistical chart of monthly average minimum temperature (Tmin) and monthly average maximum temperature (Tmax) at Guiyang Airport
图 7. 贵阳机场月平均最低温(Tmin)、月平均最高温(Tmax)统计图

高气温最大值出现在 6、7、8 月。综上, 2018 年后 5 年中, 月最低气温提前了一个月, 出现在本年的 12 月, 而月最高气温集中出现在夏季(6、7、8 月)。

3.4.2. 贵阳机场月平均最高温与月平均最低温温差统计

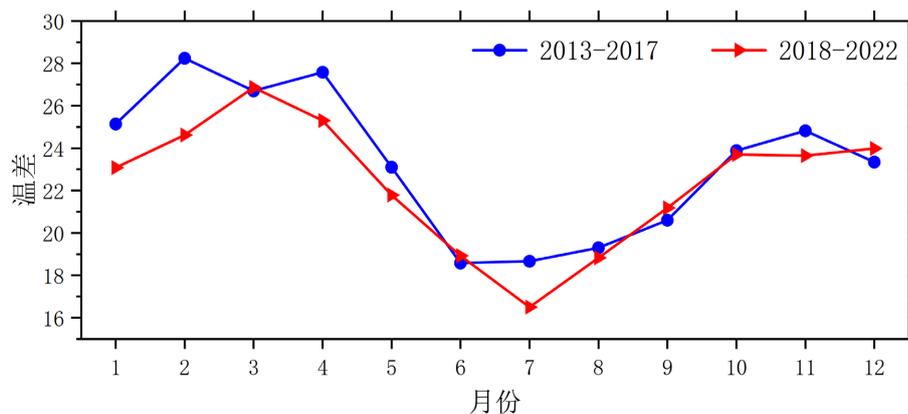


Figure 8. Temperature difference between monthly average maximum temperature and monthly average minimum temperature at Guiyang Airport
图 8. 贵阳机场月平均最高温与月平均最低温的温差图

图 8 为每月最高温与最低温的温差图, 2013~2017 年 5 年累计温差中, 6 月温差最小, 为 18.58℃, 2 月温差最大, 为 27.52℃; 2018~2022 年, 7 月温差最小, 为 16.5℃, 12 月温差最大, 为 23.98℃。总的来说, 除 9 月外, 2013~2017 年各个月份温差较 2018~2022 年大。

4. 结论与讨论

本文以贵阳龙洞堡国际机场扩建工程为项目依托, 主要依据 2013~2022 年自动观测、人工观测、机场重要天气记录的气象要素数据及重要天气变化特征, 着力从地形演变对气象要素影响的角度进行了研究, 得到如下结论:

- 1) 地形改变前后, 除雾以外, 其余重要天气呈多发频发趋势;
- 2) 不同级别能见度出现次数为显性指标, 地形改变后年低能见度次数显著减少;
- 3) 现地形条件下, 机场整点数据 VRB 和静风次数较前者均显著减少, 减少 6.63%, 北风风向占比显著增加, 增加 7.04%, 东南风减少, 西南风增加;
- 4) 地形削减后, 月最低气温提前一个月, 出现在本年的 12 月, 而月最高气温集中出现在夏季 6、7、8 月, 除 9 月外, 原地形条件下各月份温差较后者大。

本文主要是从数理角度出发, 未对影响各气象要素变化的其他因素进行分析, 如海拔高度、环流背景等。由此, 利用地形变化并结合影响气象要素变化的其他因素进行综合分析将是下一步的重点。

参考文献

- [1] 李爱贞, 刘厚凤. 气象学与气候学基础[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [2] Zhou, X.S., Yang, C.F. and Zhang, S.L. (2011) Study on Possible Mechanism of Terrain Influence on Cold—Flow Snowstorm. *Meteorological and Environmental Research*, 2, 48-51, 85.
- [3] 赵松乔. 我国山地环境的自然特点及开发利用[J]. 山地学报, 1983, 1(3): 3-11.
- [4] 赵庆云, 张武, 陈晓燕, 等. 一次六盘山两侧强对流暴雨中尺度对流系统的传播特征[J]. 高原气象, 2018, 37(3): 767-776.
- [5] 廖菲, 洪延超, 郑国光. 地形对降水的影响研究概述[J]. 气象科技, 2007, 35(3): 309-316.
- [6] 章淹. 地形对降水的作用[J]. 气象, 1983, 24(2): 9-13.
- [7] 池再香, 白慧, 黄红. 夏季黔东南州局地暴雨与西太副高环流的关系[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 176-183.
- [8] 何云玲, 张一平. 纵向岭谷区“通道—阻隔”作用下气温和降雨的空间分布特征[J]. 山地学报, 2007, 25(2): 169-176.
- [9] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [10] 刘裕禄, 黄勇. 黄山山脉地形对暴雨降水增幅条件研究[J]. 高原气象, 2013, 32(2): 608-615.
- [11] 李子良. 地形降水试验和背风回流降水机制[J]. 气象, 2006, 32(5): 10-15.
- [12] Smith, R.B., 曾晓梅. 地形降水机制[J]. 四川气象, 1990, 10(2): 47-50.
- [13] Stringer, M.A. (2000) Separation of Air Flow over Hills. Ph.D. Thesis, University of Reading, Reading.
- [14] 斯塔尔. 边界层气象学导论[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991.
- [15] Alpert, P., 邵明轩. 高山地区地形降水分布的中尺度指标[J]. 气象科技, 1988, 16(2): 31-40.
- [16] 罗德启, 王政. 山地空港——贵阳龙洞堡机场建筑设计[J]. 时代建筑, 1998, 13(1): 39-41.