

昆明长水机场地区低温极值的估算

解明恩*, 戴敏#, 彭启洋, 向曦, 黎成超, 彭艳秋

云南省气象服务中心, 云南 昆明

收稿日期: 2022年4月17日; 录用日期: 2022年5月17日; 发布日期: 2022年5月24日

摘要

利用昆明长水机场周边的云南嵩明、呈贡2个国家级气象观测站长序列气温资料, 根据统计学原理, 采用耿贝尔概率分布模型对该区域低温极值进行了估算并进行了拟合优度检验, 以期提高对昆明长水机场可能潜在的低温强度认识。结果表明: 昆明长水机场及周边地区10年、20年、50年、100年、500年一遇的极端最低气温分别为 -7.9°C 、 -9.2°C 、 -10.9°C 、 -12.1°C 、 -15.1°C , 强度弱于1983年12月29日出现的罕见低温极值 -15.8°C , 该低温出现概率大致为500年一遇。

关键词

极端最低气温, 耿贝尔概率分布, K-S检验, 百年一遇, 昆明长水机场

The Estimation of Extreme Minimum Temperature Value at Kunming Changshui Airport Area

Ming'en Xie*, Min Dai#, Qiyang Peng, Xi Xiang, Chengchao Li, Yanqiu Peng

Yunnan Meteorological Service Center, Kunming Yunnan

Received: Apr. 17th, 2022; accepted: May 17th, 2022; published: May 24th, 2022

Abstract

Based on the long series temperature data of Songming and Chenggong national weather stations around Kunming Changshui airport in Yunnan Province, according to the statistical principle, the extreme minimum temperature values in this area is estimated by using Gumbel probability distribution and K-S inspection, in order to improve the understanding of the possible and potential

*第一作者。

#通讯作者。

low temperature intensity of Kunming Changshui airport. The results show that the extreme minimum temperatures of Kunming Changshui airport and its surrounding areas with 10, 20, 50, 100, 500 year return periods are -7.9°C , -9.2°C , -10.9°C , -12.1°C , -15.1°C respectively, and the intensity is weaker than the low temperature extreme value of -15.8°C occurred on December 29, 1983. The occurrence probability of this rare low temperature is 500 year return period roughly.

Keywords

Extreme Minimum Temperature, Gumbel Probability Distribution, K-S Inspection, Once in a Century, Kunming Changshui Airport

Copyright © 2022 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

气温是影响工程建设和交通安全的重要因素之一，极端低温与维持日数可极大地影响工程质量和交通安全。云南位于低纬高原地区，山地占全省面积的 94%，气候类型复杂多样。山地气温除受大气环流、太阳辐射影响外，还与海拔高度、坡向、下垫面等地形条件有关，导致云南山地气温分布复杂。与全国山地和平原地区相比，虽然云南冬季低温极值小，但滇西北和滇中以东高海拔山区的低温冰冻雪灾天气却较为突出[1] [2] [3]。

昆明长水国际机场是中国面向东南亚、南亚和连接欧亚的国家门户枢纽机场。它与乌鲁木齐地窝堡国际机场并列为我国两大国家门户枢纽机场，是中国继北京首都机场、上海浦东机场、广州白云机场之后第四家实现双跑道独立运营模式的机场，也是全球百强机场之一。昆明长水国际机场于 2012 年 6 月 28 日正式由原巫家坝机场转场运行，属国家一类机场，飞行区等级为 4F，可供波音 747、空客 A380 等机型起降。机场附近的天气气候状况对飞行安全有着重要影响，相关文献[4] [5] [6]对昆明长水国际机场选址及天气气候特征进行了分析。随着我国城市的快速发展，气象条件在机场选址和建设中的作用将会越来越重要[7] [8]。

对未来时段内可能出现的极端低温进行模型估算，对防灾减灾、工程建设等具有重要意义。从数学意义层面上，气象要素极值作为气候随机变量是不稳定的，但随着时间变化过程在概率上的表现却又是稳定的[9]。当极端低温或高温天气出现时，“几年一遇”常作为描述气温罕见程度的气象用语，如何计算该极端气温究竟是几年一遇呢？研究表明，气温属连续型变量，年极端气温一般服从耿贝尔(Gumbel)分布并适用频率分析法，可由统计样本得到准确的模型计算参数且影响因素小[10]-[16]。本文拟通过昆明长水机场周边嵩明、呈贡 2 个国家级气象观测站长序列气温资料，运用极值分布模型对该区域今后一段时间内可能出现的低温极值作出估计，以期提高对昆明长水机场地区潜在低温强度及危害的认识。

2. 研究区域及资料

昆明长水国际机场位于云南省昆明市东北方向的官渡区大板桥镇和嵩明县小哨乡境内(图 1)，距昆明主城区约 24.5 km，距嵩明县城约 26 km，距小哨乡约 8.5 km，东接宜良县、南邻呈贡区、北与嵩明县交界，西南、西北与西山区相连，总占地面积约 2104.5 hm^2 ，周围主要有宝象河及宝象河水库、杨官庄水库、八家村水库、花庄水库、对龙河等水体，有李白冲村、乌西村、长水村、新发村等自然村落以及果园、菜地和农田。西南方 30 km 有滇池，南方 60 km 有抚仙湖，东南方 20 km 有阳宗海等高原湖泊。长

水机场地处小哨和昆明两个盆地的盆沿交汇地带,其西北侧是标高 2100 m 以上的连续山体(最高 2833 m)。东侧为南~北向的五龙山脉(最高 2427 m),南端为山地。机场北端和南端是标高低于 2104 m 的谷底地带,标高在 1900~2000 m 之间。



Figure 1. The geographical environment of Kunming Changshui airport
图 1. 昆明长水机场地理环境图

昆明长水机场及周边地形条件如图 2 所示。昆明长水机场跑道基本呈西南-东北走向,其西南方向是“昆明盆地”,东北方向是“小哨盆地”。跑道西侧有连续山体,东侧山头密集。西北和东南两侧地形较机场高,东北和西南侧比机场海拔低,机场位于“地形鞍型场”的鞍部,大致处于嵩明县城与呈贡区新城连线的中间位置偏左侧。机场及周边地区属山地及丘陵地形,气候类型属北亚热带半湿润季风气候。据研究¹,冰冻、降雪、大雾、暴雨、雷暴、大风是影响昆明长水机场航空安全的 6 类重要天气,因长水机场海拔比昆明主城高约 209 m 左右,冬季气温和地温偏低,受静止锋天气影响易形成结冰和积雪天气。

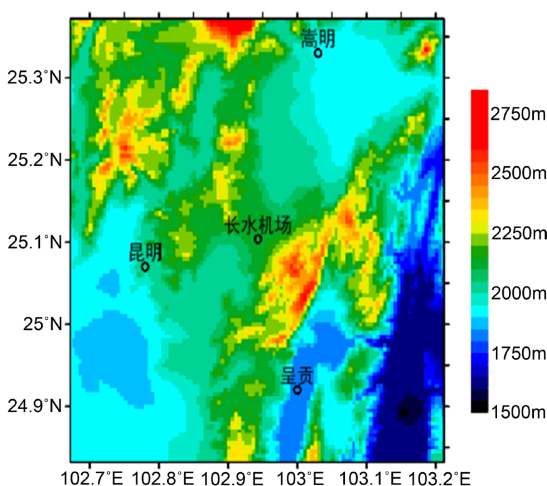


Figure 2. The topographic map within 30 km around Kunming Changshui airport
图 2. 昆明长水机场周边 30 km 范围内地形图

¹ 云南机场集团有限责任公司, 云南省气象科学研究所. 昆明长水国际机场重要天气特征、成因及人工影响可行性研究报告[R] (2015)。

目前在昆明长水机场周边 50 km 范围内共有 5 个国家级气象观测站(图 3), 依距机场的直线距离不同, 由近及远分别为嵩明、呈贡、昆明、太华山、宜良。2017 年后云南气象部门陆续在昆明长水机场周边 10 km 核心区范围内建成 12 个区域自动气象站(两要素), 分别是白汉场、乌西、花箐、秧草凹、复兴水库、长水机场、祭天山、沙沟、大板桥、宝象河水库、清水林场、一朵云。选取 2018~2020 年秧草凹、长水机场、沙沟 3 个区域代表站与 5 个国家级气象站的逐时气温作相关分析, 发现除太华山站(高山站)平均相关系数(0.85)稍低外, 其余 4 站的平均相关系数均在 0.91 以上, 其中嵩明站 0.98、呈贡站 0.97、昆明站 0.93、宜良站 0.91。根据各台站海拔高度、下垫面性质、气候区划、距离远近、相关系数大小的综合考虑, 嵩明站、呈贡站与昆明长水机场海拔相近, 地形相似, 距离较近, 相关系数高, 故选取嵩明站、呈贡站为参证气象站进行气候值估算。

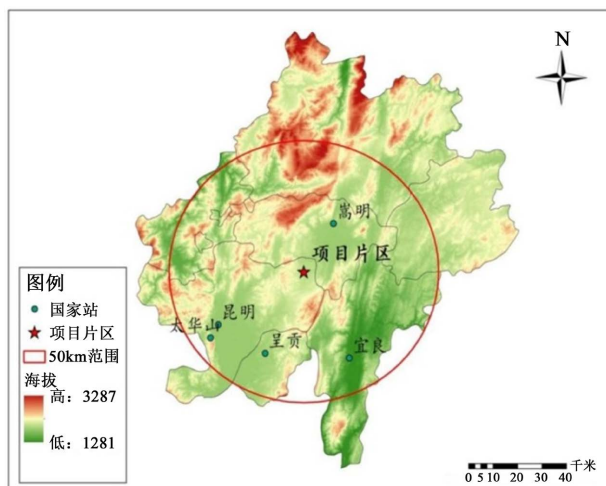


Figure 3. Distribution of national weather stations within 50 km around Kunming Changshui airport
图 3. 昆明长水机场周边 50 km 范围内国家级气象站分布

嵩明气象站(区站号 56785)始建于 1955 年, 位于昆明长水机场东北方向约 19.8 km, 属北亚热带半湿润气候区。1955 年建站后有 2 次迁站, 最近一次在 2013 年 1 月 1 日, 站址位于嵩明县城郊外, 海拔高度 1915.7 m, 探测环境良好。呈贡气象站(区站号 56882)始建于 1961 年, 位于昆明长水机场西南方向约 31.6 km, 属北亚热带半湿润气候区。1961 年建站后有 2 次迁站, 最近一次在 2012 年 1 月 1 日, 站址位于呈贡区雪犁山顶(丘陵地形), 海拔高度 1976.6 m, 探测环境良好。两站虽有迁站, 但海拔差异不大, 资料序列均一性较好。本文选取嵩明站 1955~2020 年极端低温和呈贡站 1961~2020 年极端低温作为分析资料序列, 同时将年均温、年平均最低气温作为佐证资料。

3. 分析方法

昆明长水机场地区极端低温估算依据国家标准《建筑结构荷载规范》(GB5009-2012) [17]和气象行业标准《气候可行性论证规范 极值概率统计分析》(QX/T529-2019) [18]、《气候可行性论证规范 机场工程气象参数统计》(QX/T424-2018) [19]的相关标准规范要求进行, 其基本思路和方法是: ① 建立参证站建站以来极端最低气温序列; ② 用耿贝尔概率分布模型计算得到多年一遇的极端最低气温; ③ 用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验法校核所选概率分布模型的合理性。

3.1. 极值概率分布

耿贝尔(Gumbel)极值分布又称为 Fisher-Tippetd 分布, 即极值 I 型, 最初由 Gumbel (1948)用于水文

学的洪水极值计算。由于自然界许多变量的分布都属于指数型，耿贝尔分布是我国相关业务标准优先推荐的极值理论分布[18][19][20]，故采用极值 I 型计算不同重现期的极端低温。

极值理论分布采用推荐的耿贝尔分布，即：

$$P_G(X_G) = \exp\{-\exp[-(X_G - \alpha)/\beta]\} \quad (1)$$

公式中 X_G 是变量， $P_G(X_G)$ 是 X_G 不被超过的概率； α 是位置参数， β 是等级参数。

按照以上方法作有序数据拟合，给出不同概率和对应再现间隔年极端的最佳估计值、估计值方差和标准差等参数，同时用极值概率图以拟合线的形式直观地显示计算结果。

3.2. 概率分布拟合优度检验(K-S 检验)

K-S 检验是柯尔莫哥洛夫 - 斯米诺夫(Kolmogorov-Smirnov)检验的简称，是以俄罗斯数学家柯尔莫洛夫和斯米诺夫的名字命名的一种非参数检验方法。该方法是根据样本数据推断其来自的总体是否服从某一特定理论分布，是一种拟合优度检验方法。计算 K-S 正态检验统计量 D 值和检验统计量概率 F 值，并根据概率 F 值是否大于显著性水平(0.05)决定是否接受或拒绝零假设。一般采用柯尔莫哥洛夫 - 斯米诺夫检验法(K-S 检验)来校核所选用概率分布模型的合理性。柯尔莫哥洛夫 - 斯米诺夫统计量式如下：

$$D_n = \max(|F(x_i) - F_w(x_i)|) \quad (2)$$

式中， n 为样本容量， D_n 表示在所有各点上，假设理论分布与经验概率分布之差的最大值。 $F(x_i)$ 为概率分布函数在 x_i 处的概率值， $F_w(x_i)$ 为有序序列在 x_i 处的概率值：

$$F_w(x_i) = \frac{i}{n+1} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

柯尔莫哥洛夫 - 斯米诺夫拟合适度检验指标为：

$$K_f = D_n \sqrt{n} \quad (4)$$

对于不同显著性水平取信度为 0.05，查表得只要 $K_f < 1.358$ ，则认为样本序列服从该型概率分布。

4. 结果分析

4.1. 极端最低气温年际变化

从嵩明气象站有完整观测资料以来(1956~2020 年)极端最低气温序列的年际演变曲线看(图 4)，年极端最低气温呈波动性变化，正常年份在 -8.9°C ~ -0.8°C 之间变化，呈略微的上升趋势，上升速率约 $0.5^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。1983 年 12 月 29 日出现了罕见极端低温，数值为 -15.8°C 。昆明同日最低气温达 -7.8°C ，两者均创历史低温记录。嵩明站低温次低值为 -8.9°C (1982 年 12 月 26 日)，昆明站为 -6.8°C (1982 年 12 月 27 日)。近 10 年来，嵩明站低温极小值为 -7.7°C (2013 年 12 月 17 日)，昆明站低温极小值为 -4.5°C (2016 年 1 月 24 日)。

从呈贡气象站有完整观测资料以来(1961~2020 年)极端最低气温序列的年际演变曲线看(图 5)，年极端最低气温呈波动性变化，正常年份在 -8.1°C ~ -0.3°C 之间变化，上升趋势不明显。同样在 1983 年 12 月 29 日出现了罕见极端低温 -8.1°C (破历史记录)，呈贡站低温次低值为 -7.9°C (1982 年 12 月 27 日)。近 10 年来，呈贡站低温极小值为 -5.9°C (2016 年 1 月 24 日)。

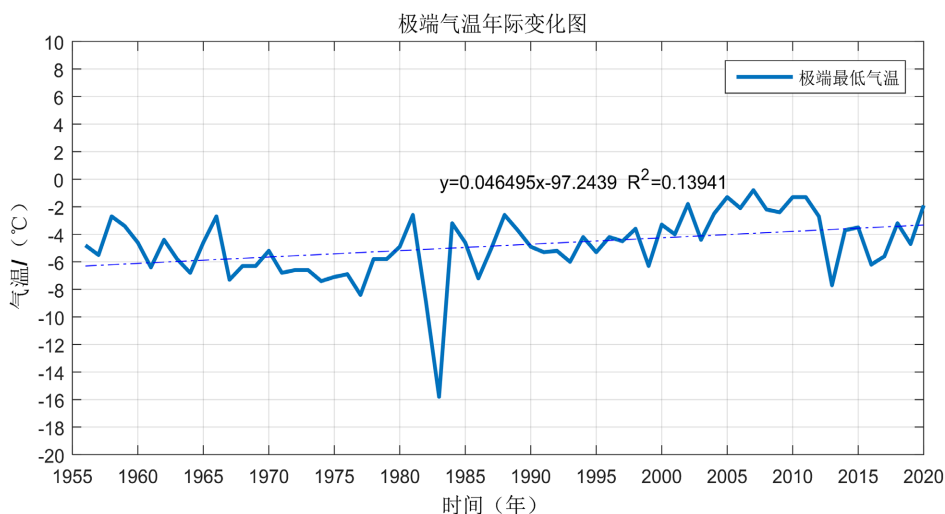


Figure 4. Interannual variation of extreme minimum temperature at Songming weather station
图 4. 嵩明站极端最低气温年际变化

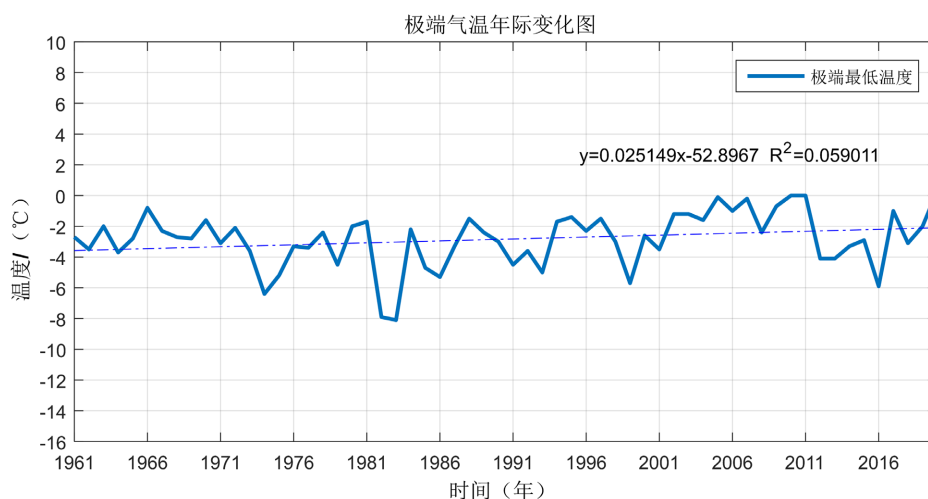


Figure 5. Interannual variation of extreme minimum temperature at Chenggong weather station
图 5. 呈贡站极端最低气温年际变化

4.2. 极端最低气温推算

表 1 给出嵩明站极端最低气温的耿贝尔分布函数拟合计算结果, 其中包括概率函数值和对应的再现间隔及对应的最低气温极值。与表 1 数据相对应, 极端最低气温的累积频率见图 6。图中纵坐标是计算极端最低气温所用序列的年极值, 横坐标是以耿贝尔分布函数作两次对数变换后的线性尺度, 在图形上下的横坐标分别标以再现间隔年数和概率值。

Table 1. The estimated values of extreme minimum temperature at Songming weather station
表 1. 嵩明站极端最低气温估算值

再现间隔(年)	保证率	极端最低气温(°C)	方差	标准差	有效系数
2	0.5	-4.4	0.0	0.1	1.0
5	0.8	-6.5	0.1	0.4	0.9

Continued

10	0.9	-7.9	0.3	0.5	0.9
20	0.95	-9.2	0.4	0.7	0.9
50	0.98	-10.9	0.7	0.8	0.8
100	0.99	-12.1	1.0	1.0	0.8
200	0.995	-13.4	1.3	1.1	0.8
500	0.998	-15.1	1.8	1.3	0.8
1000	0.999	-16.3	2.2	1.5	0.8

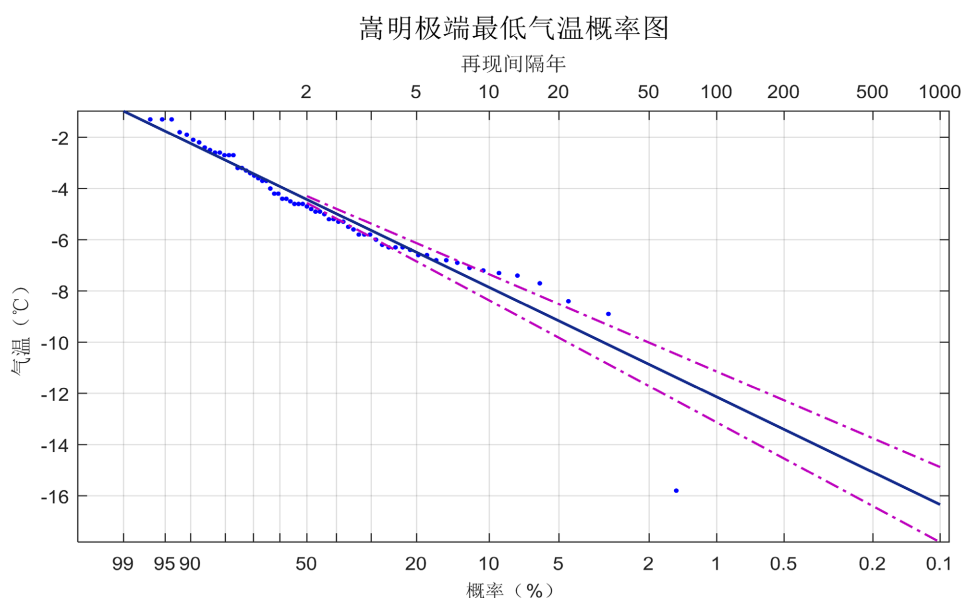


Figure 6. Probability diagram of extreme minimum temperature at Songming weather station
图 6. 嵩明站极端最低气温概率

同理，得到呈贡站极端最低气温的耿贝尔分布函数拟合计算结果(表 2)和极端最低气温的累积频率(图 7)。

Table 2. The estimated values of extreme minimum temperature at Chenggong weather station

表 2. 呈贡站极端最低气温估算值

再现间隔(年)	保证率	极端最低气温(°C)	方差	标准差	有效系数
2	0.5	-2.5	0.0	0.2	1.0
5	0.8	-4.1	0.1	0.3	0.9
10	0.9	-5.2	0.2	0.4	0.9
20	0.95	-6.2	0.3	0.5	0.9
50	0.98	-7.5	0.5	0.7	0.8
100	0.99	-8.5	0.6	0.8	0.8
200	0.995	-9.4	0.8	0.9	0.8

Continued

500	0.998	-10.7	1.1	1.1	0.8
1000	0.999	-11.7	1.4	1.2	0.8

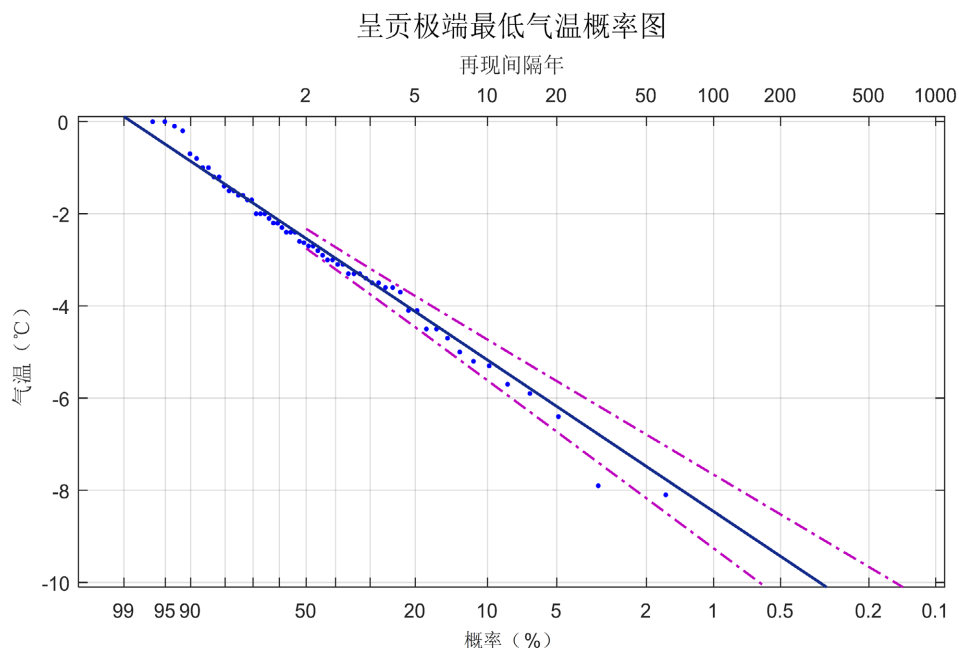


Figure 7. Probability diagram of extreme minimum temperature at Chenggong weather station
图 7. 呈贡站极端最低气温概率

气温推算结果表明,嵩明站极端最低气温 10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇、100 年一遇、500 年一遇的极值分别为 -7.9°C 、 -9.2°C 、 -10.9°C 、 -12.1°C 、 -15.1°C ;呈贡站极端最低气温 10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇、100 年一遇、500 年一遇的极值分别为 -5.2°C 、 -6.2°C 、 -7.5°C 、 -8.5°C 、 -10.7°C ;2 个站的极端低温均低于 -5.0°C ,嵩明站低温极值明显低于呈贡站,10 年、20 年、50 年、100 年再现间隔内,2 站之间分别相差 2.7°C 、 3.0°C 、 3.4°C 、 3.6°C ;嵩明站的低温程度强于呈贡站,这与 30 年平均的气象观测事实是相符的。资料统计表明,日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的年平均低温日数,嵩明站 27.3 天,呈贡站 10.5 天,嵩明站多于呈贡站 2.6 倍;年平均结冰日数,嵩明站 22.2 天,呈贡站 6.4 天,嵩明站多于呈贡站 3.5 倍;年平均积雪日数,嵩明站 1.7 天,呈贡站 0.9 天,嵩明站多于呈贡站 1.9 倍;冬季(12~2 月)嵩明站平均温度 7.4°C ,呈贡站 8.6°C ,嵩明站低于呈贡站 1.2°C 。

鉴于昆明长水机场处于嵩明站与呈贡站对角连线之间并偏于嵩明一侧,地形处于“鞍型场”的鞍部,是冬春季冷空气和寒潮由小哨盆地(杨林盆地)进入昆明盆地的主要通道;加之长水机场地势开阔,利于高原夜间辐射冷却降温,会加剧霜冻和冰冻的发生;相对于昆明主城区而言,昆明长水机场附近准静止锋活跃,冰冻、雨雪、低温天气较多,其平均气候态及极值更倾向于与嵩明站相似;从低温及气象灾害危害的极端性考虑,取数值较大(低温较重)者最为稳妥。经综合考虑,最终取嵩明站的气温推算值代表昆明长水机场的极端最低温度估算值,而非嵩明站和呈贡站的加权平均值。即昆明长水机场及周边地区 10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇、100 年一遇、500 年一遇的最低气温极值分别为 -7.9°C 、 -9.2°C 、 -10.9°C 、 -12.1°C 、 -15.1°C ,强度均弱于 1983 年 12 月 29 日的低温极值(-15.8°C),该罕见低温出现概率大致为 500 年一遇。

4.3. 拟合优度检验

本文采用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验法(K-S 检验)校核所选用概率分布模型的合理性。对于不同显著性水平取信度为 0.05, 查表得只要 $K_f < 1.358$, 则认为样本序列服从该型概率分布。图 8 和图 9 分别给出了嵩明气象站和呈贡气象站年极端最低气温经验概率分布与耿贝尔分布概率分布图。

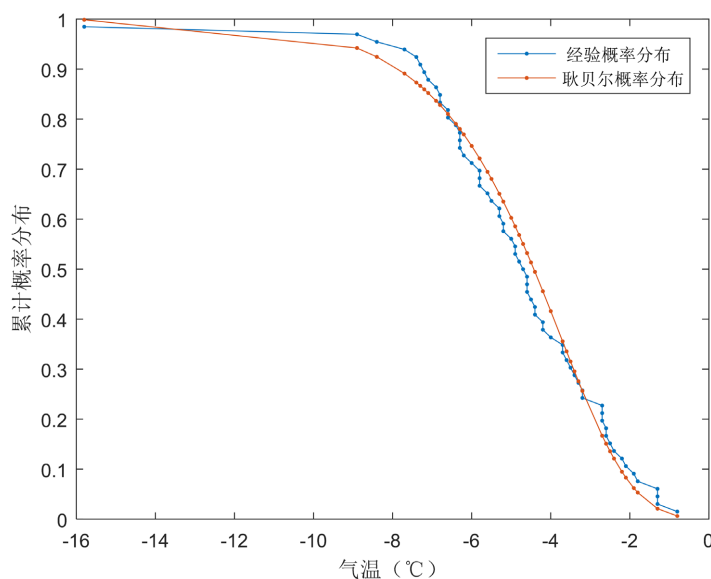


Figure 8. Comparison of probability fitting distribution of extreme minimum temperature at Songming weather station
图 8. 嵩明站极端最低气温概率拟合分布对比

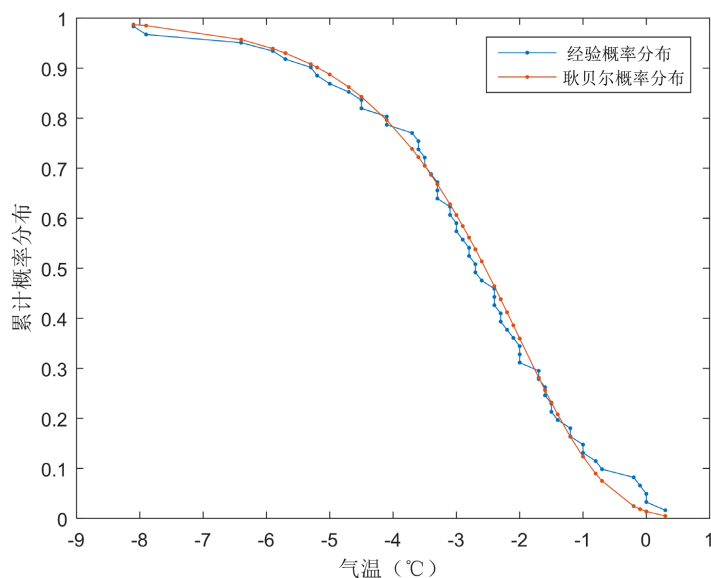


Figure 9. Comparison of probability fitting distribution of extreme minimum temperature at Chenggong weather station
图 9. 呈贡站极端最低气温概率拟合分布对比

计算得到嵩明站极端最低气温耿贝尔概率分布下 $D_n = 0.0855$, $K_f = 0.6891$, 通过显著性水平 0.05 的 K-S 检验, 因此样本序列服从耿贝尔概率分布。同理, 呈贡站极端最低气温耿贝尔概率分布下 $D_n = 0.0574$, $K_f = 0.4447$, 通过显著性水平 0.05 的 K-S 检验, 样本序列同样服从耿贝尔概率分布。

5. 结论

通过对耿贝尔分布概率拟合和 K-S 拟合优劣度检验, 耿贝尔分布法对昆明长水机场年极端最低气温的拟合效果较好, 利用耿贝尔分布法推算低纬高原机场多年一遇的极端低温是可行的, 估算结果可信度高。经模型推算, 昆明长水机场及周边地区 10 年、20 年、50 年、100 年、500 年一遇的极端最低气温分别为 -7.9°C 、 -9.2°C 、 -10.9°C 、 -12.1°C 、 -15.1°C , 强度弱于 1983 年 12 月 29 日的低温极值 -15.8°C , 该罕见低温出现概率大致为 500 年一遇。

基金项目

本研究得到“云南省昆明空港经济区气候可行性论证评估项目”(DFZ20201116)资助。

参考文献

- [1] 王宇. 云南山地气候[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006: 14-32.
- [2] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 107-116.
- [3] 成都区域气象中心. 2008 年西南地区东部持续低温雨雪冰冻灾害机理研究和服务评估分析[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 3-28.
- [4] 张序. 昆明长水机场气候特征分析[J]. 气象科技进展, 2019, 9(1): 41-45.
- [5] 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[J]. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 76-81, 96.
- [6] 马艳, 黄俊齐. 昆明长水国际机场的选址与雾天气分析[J]. 交通科技与经济, 2015, 17(4): 13-15.
- [7] 肇启锋, 刘鹏. 气象条件对机场选址和建设的作用[J]. 民航科技, 2006(1): 49-50.
- [8] 崔洋, 常倬林, 左河疆, 孙银川. 西北通用机场选址气候论证关键评估指标研究[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 727-732, 743.
- [9] 丁裕国. 探讨灾害规律的理论基础 - 极端气候事件概率[J]. 气象与减灾研究, 2006, 29(1): 44-49.
- [10] 马开玉, 张耀存, 陈星, 等. 现代应用统计学[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 55-73.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 78-95.
- [12] 苏志, 李艳兰, 涂方旭. 广西冬季极端最低气温的概率分布模型选择及其极值和重现期计算[J]. 广西科学, 2002, 9(1): 73-77.
- [13] 胥珈珈, 刘娜, 王鑫. 白山市低温极值和重现期的计算方法与比较[J]. 气象灾害防御, 2018, 25(1): 21-24.
- [14] 高晓丹, 陈彦, 李汉箐. 近 58a 福州市极端气温变化趋势及重现期特征分析[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(3): 41-42.
- [15] 张心令. 鹤壁市最高气温分布拟合及理论极值推算[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(4): 1654-1656+1659.
- [16] 邓伟, 陈海波, 张永涛, 田宏伟, 申占营, 王伟. 孟津地区气象要素的耿贝尔分布及参数估计[C]//中国气象学会学术年会(杭州)论文集. 北京: 气象出版社, 2009: 151-157.
- [17] 王建, 王国砚, 冯远, 朱丹, 贡金鑫, 李霆, 等. GB50009-2012. 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 1-15.
- [18] 汪宏宇, 贡强, 黄浩辉. QX/T529-2019. 气候可行性论证规范 极值概率统计分析[S]. 北京: 气象出版社, 2019: 1-20.
- [19] 崔洋, 孙银川, 常倬林, 王素艳, 左河疆, 桑建仁, 等. QX/T424-2018. 气候可行性论证规范机场工程气象参数统计[S]. 北京: 气象出版社, 2018: 1-18.
- [20] 中国气象局预报与网络司. 区域性气候可行性论证技术指南[Z]. 北京: 中国气象局, 2019: 1-45.