

乌鲁木齐国际机场降雪量与积雪深度相关性研究

张茜

民航新疆空管局培训中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年5月28日; 录用日期: 2025年7月22日; 发布日期: 2025年7月29日

摘要

利用常规探测资料、自动站数据及乌鲁木齐机场METAR报, 通过对2017~2021年乌鲁木齐机场积雪深度 ≥ 1 cm的降雪天气过程降雪量、新增积雪深度、气温、地温、降雪开始、结束时间以及天气形势进行了统计对比分析。发现西北气流下的降雪天气, 其新增积雪最难预测; 而低涡天气时可参考P值1~2预测新增积雪深度, 横槽天气可参考P值2~2.5预测新增积雪深度。11月出现的降雪天气, 其新增积雪深度最难预测; 1月份P值基本集中在1.5~2之间; 2月份的P值 ≥ 1.5 。在地温在 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$, 气温在 $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的时候, 新增积雪深度是最难预测的, 当气温或者地温 $< -11^{\circ}\text{C}$ 时预测积雪深度可参考P值1.5的下限。在出现小雪时, 新增积雪深度难预测; 当出现中量及以上降雪时, P值维持在1~3之间, 尤其是中雪天气(3.1~6 mm), 可参考P值1~2预测新增积雪深度。

关键词

降雪量, 积雪深度, 乌鲁木齐机场

A Study on the Correlation between Snowfall and Snow Depths at Urumqi International Airport

Qian Zhang

Training Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: May 28th, 2025; accepted: Jul. 22nd, 2025; published: Jul. 29th, 2025

Abstract

Based on routine observation data, automatic weather observation station data and the METAR

文章引用: 张茜. 乌鲁木齐国际机场降雪量与积雪深度相关性研究[J]. 自然科学, 2025, 13(4): 863-871.

DOI: 10.12677/ojns.2025.134091

reports of Urumqi Airport. This study analyzes the snowfall, new snow depths, temperature, ground temperature, start and end time of snowfall, and weather patterns of snowfall with a snow depth ≥ 1 cm at Urumqi Airport from 2017 to 2021. The results show that the new snow depth under the north-west airflow is the most difficult to predict. When under the background of vortex, the new snow depth can be predicted by referring to the P value of 1~2, and when a transverse trough occurs, the new snow depth can be predicted by referring to the P value of 2~2.5. The new snow depth in November is the most difficult to predict. The P value in January is basically concentrated between 1.5 and 2. The P value in February is ≥ 1.5 . When the ground temperature is between -1°C and -5°C and the air temperature is between -6°C and -10°C , the new snow depth is the most difficult to predict. When the air temperature or ground temperature is $<-11^{\circ}\text{C}$, the new snow depth can be predicted by referring to the lower limit of the P value of 1.5. When light snow occurs, the new snow depth is difficult to predict. When moderate or heavier snowfall occurs, the P value remains between 1 and 3, especially during moderate snowfall (3.1~6 mm), the new snow depth can be predicted by referring to the P value of 1~2.

Keywords

Snowfall, Snow Depth, Urumqi Airport

Copyright © 2025 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

强降雪是新疆冬季主要的灾害性天气之一，降雪和积雪是冬季影响乌鲁木齐机场正常运行的最重要的天气之一，强降雪往往会带来大面积的航班延误。在常规预报业务中，降雪量级、起止时间的预报是冬季天气预报的重中之重，相关研究非常多，其预报准确率也较高。而关于降雪量和积雪深度的关系以及积雪深度的预报，分析研究得较少。张远汀等[1]利用决策树模型与深度学习模型串接，建立了预测积雪深度的回归模型。杨成芳等[2]通过分析自动站、人工加密观测及常规观测资料发现积雪深度具有时效性，受近地面气象要素影响多，与降水相态、降雪量、降雪强度、气温、地温和风速均相关，故积雪深度的预报是比较困难的。马吉晖等[3]通过对通化地区降雪天气过程的研究，建立了不同天气系统下降雪量和积雪深度对应预报概念模型。杨琨等[4]利用冬季加密降雪资料并采用线性拟合方法，分析得出我国冬季积雪深度变化值和相应降雪量的比值大体为 $0.75 \text{ cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。该比值随气温上升呈明显减小趋势，且有明显的地区差异。新疆乌鲁木齐市气象局王健等[5]就冬季降水量和积雪深度做过相应研究，得出了一个关于积雪预报的线性方程，但乌鲁木齐特殊的地理位置、地形分布使得其降雪局地性特别突出，市区与机场降水量和积雪深度经常存在较大差距，其结论在乌鲁木齐机场的降雪预报中也不完全适用。近几年乌鲁木齐机场一直保持高位态势运行，而机场冬季强降雪所造成的道面积冰积雪对航空安全和航班正常性造成极大影响，对乌鲁木齐机场冬季运行来说，相较于降水量，机场除冰除雪，航司调配航班都大量使用和依据的是积雪深度值，因此对积雪深度的预报提出了更高的要求。故精细化预报中积雪深度和降水量的预报是同等重要的，降水量是常规预报要素，现有业务完全可以支撑其预报，目前亟需加强积雪深度预报的研究，为确保乌鲁木齐机场在强降雪天气下有效运行，研究乌鲁木齐机场冬季降水量和积雪深度相关性尤为重要。

本文拟通过开展强降雪天气下降水量与积雪深度的相关性研究，提高强降雪天气的精细化预报能力，不断满足强降雪天气下航空运行对气象服务的需求。

2. 资料与方法

本次研究收集了 2017~2021 年五年间的降雪天气,为了尽可能覆盖可能对运行造成影响的降雪天气,在收集天气个例过程中我们将积雪深度 ≥ 1 cm 的降雪个例全部统计进来,个例共计 47 个。我们在统计的过程中收集了 MICAPS 高低空及地面的天气形势数据、乌鲁木齐机场 METAR 报、自动站 AWOS 数据、微波辐射计数据以及 FNL1° * 1° 的再分析资料,对 47 个天气个例的降水量、新增积雪深度、气温、地温、降雪开始及结束时间、天气形势以及微波辐射计中的温度、相对湿度、液态水含量和综合水汽含量进行了统计对比分析。由于一共只有 47 个个例,样本量太少,利用统计学上的线性拟合效果不好,所以我们就通过箱线图对积雪深度与降水量的比值进行了分析,尝试为实际的新增积雪深度预报提出一些可行的指标。

3. 降雪量与积雪深度的关系

我们按照降水量级、气温、地温、天气形势以及月份分布将 47 个个例进行了分类,并将新增积雪深度与降水量的比值定为 P , $P = \text{积雪深度(cm)}/\text{降水量(mm)}$ 。

结合实际运行过程中对降雪强度的预报分级,我们将 3 mm 以下的降水定义为小雪(32 例), 3.1~6 mm 降水量的雪定义为中雪(9 例), 6.1~12 mm 降水量的雪定义为大雪(6 例)。

通过图 1 我们可以看到,小雪、中雪、大雪的积雪深度与降水量比值的数据分布整体来看,当降水量是小雪时比值 P 是最分散的,中雪时比值 P 是最集中的,其次可以看到,整体 P 值分布来看,小雪 P 值 $>$ 大雪 P 值 $>$ 中雪 P 值。大雪的 P 值相比中雪时要整体偏大一些,大雪 P 值基本为 1~3,中雪为 1~2。可以看到,在出现小雪天气时, P 值非常分散,甚至有两个异常值,所以当本场出现小雪(降水量在 3 mm 以下)时,新增积雪深度是很难预测的,当降水量达到中雪时(3.1~6 mm), P 值都集中在 1~2 之间,因此在预报有中雪天气时可参考 P 值 1~2 预测新增积雪深度。

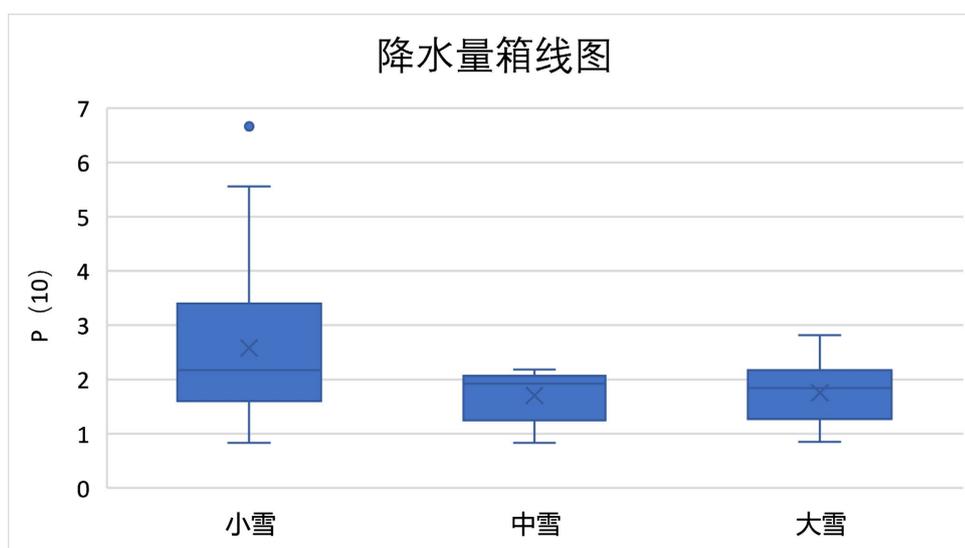


Figure 1. P value of snowfall
图 1. 不同降雪量级 P 值分布图

通过对降水量的细分,由图 2 我们可以看到,当降水量达到 2 mm 以上,降雪深度与降水量的比值 P 就基本上都是在 1~3 之间;降水量越小,积雪深度与降水量的比值 P 就越分散,当降水量 < 1 mm 时, P 值范围在 1~7 之间,当降水量在 1~2 mm 时, P 值在 1~4.5 之间,所以当出现 2 mm 以下的降雪时,新

增积雪深度是非常难预测的。

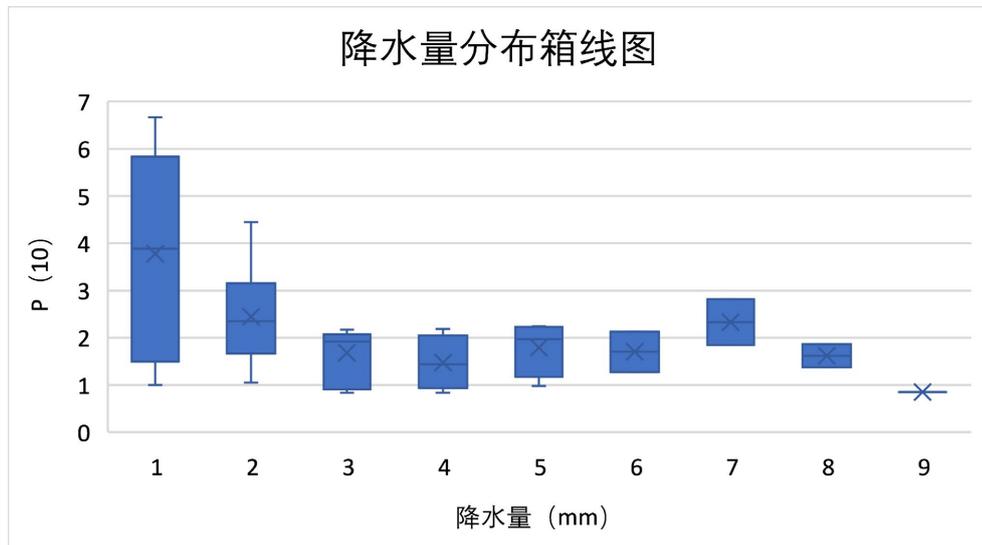


Figure 2. P value of snowfall
图 2. 不同降雪量 P 值分布图

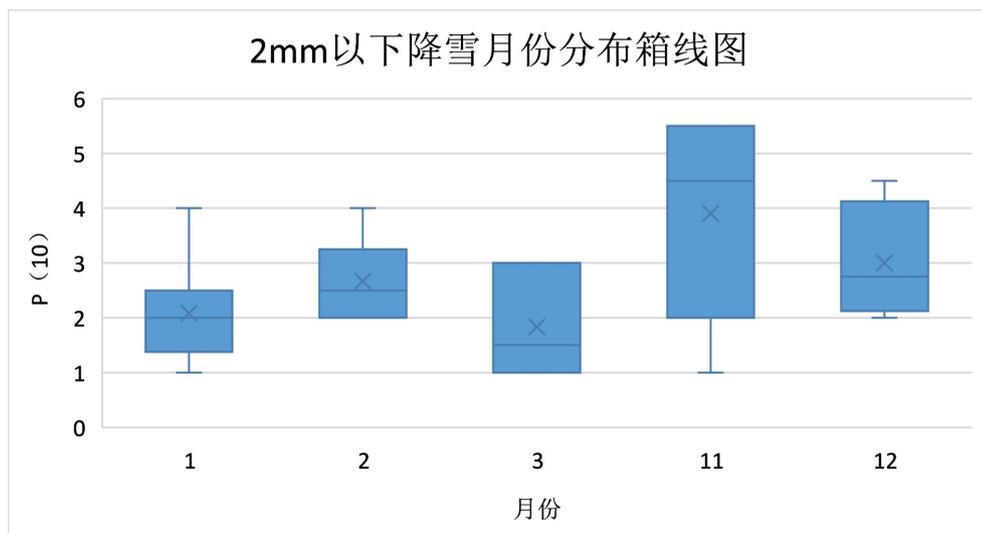


Figure 3. P value in month of snowfall below 2 mm
图 3. 2 mm 以下降雪量不同月份 P 值分布图

为了能够找到 2 mm 以下降雪的特征，我们对 2 mm 以下的降雪的月份进行的分类(见图 3)，发现一些特点，首先 2 mm 以下的降雪，在 11 月份的 P 值是最为分散的，这个月中对 2 mm 以下的新增积雪的预报是比较困难的，同时我们也可以看到，在 2 月和 12 月，2 mm 以下降雪的 P 值都是高于 2 的，在这两个月可以参考该 P 值下限预测新增积雪深度。

为了寻找 2 mm 以上降雪的预报指标，我们分析了 2 mm 以上降雪 P 值的温度分布图(图 4)，可以看到，当预报有 2 mm 以上降雪，当气温在 $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ 之间时，可以参考 P 值 1~2 预测新增积雪深度。

降水量与积雪深度的比值 $P \geq 4$ 的个例，降水量基本在 2 mm 以下，且主要出现在 11 月，所以在预报 2 mm 以下的降雪时，尤其是在秋冬转换的 11 月，对积雪深度的预报应当范围更大一些。

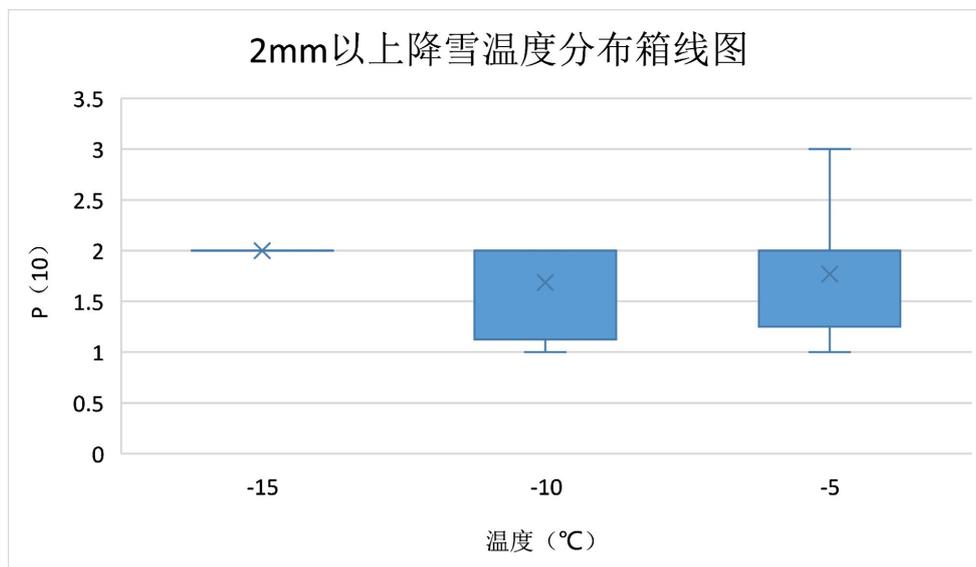


Figure 4. P value in temperature of snowfall above 2 mm

图 4. 2 mm 以上降雪量不同温度 P 值分布图

3.1. 地面温度

我们将地面温度分成了五组，分别是：0°C以上(11例)，0~5°C(23例)，-6~10°C(10例)，-11°C以下(3例)，由图5可以看到，根据四组的分布情况来看，无论地面温度处于哪个温度区间，P值都是比较分散的，但是在地温温度低于-11°C时P值最小在1.5以上，所以当地温低于-11°C时，参考该P值下限预测新增积雪深度。

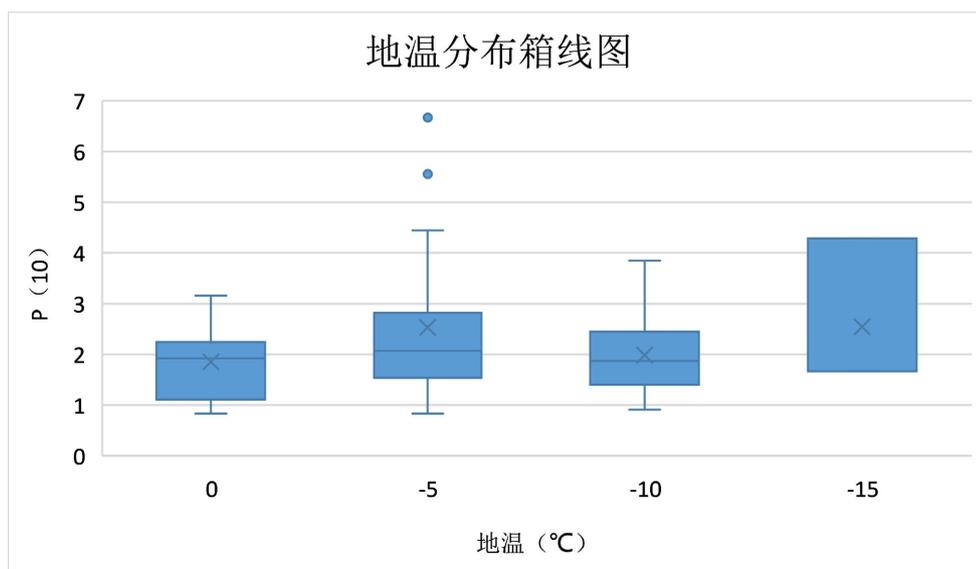


Figure 5. P value of ground temperature intervals

图 5. 不同地温区间 P 值分布图

3.2. 气温

我们将地面温度分成了五组，分别是：0°C以上(2例)，0~5°C(20例)，-6~10°C(17例)，-11~15°C(7)，

-16℃(1例)以下。由图6可以看到,根据五组的P值分布状况来看,无论地面温度处于哪个温度区间,P值都是比较分散的,相对而言,气温处于-6~10℃之间时P值最为集中,50%的P值都分布在1.5~2.5之间,除此之外,在气温温度低于-11℃时P值最小在1.5以上,所以当气温低于-11℃时,参考该P值下限预测新增积雪深度。

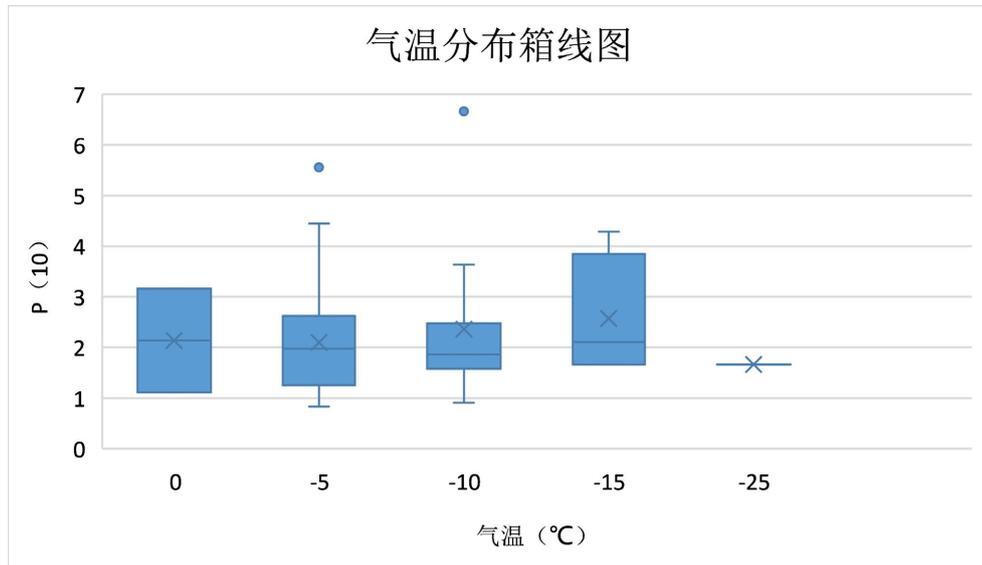


Figure 6. P value of air temperature intervals

图6. 不同气温区间P值分布图

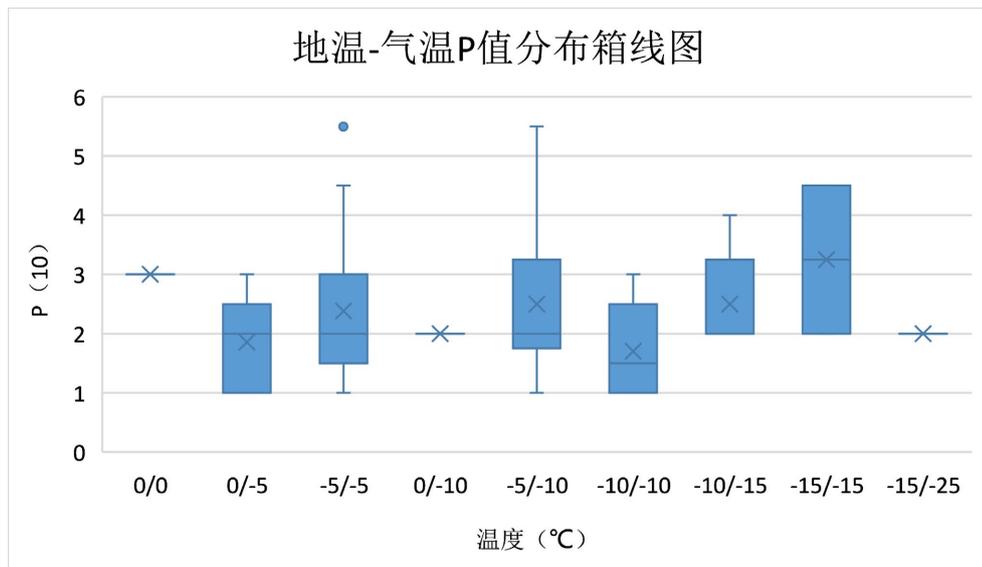


Figure 7. P value of combination of ground temperature and air temperature

图7. 不同地温气温组合P值分布图

为了分析分析地温和气温相关性对P值得影响,我们将地温和气温进行组合分类,分成以下九组:0/0℃(2例)、0/-5℃(7例)、0/-10℃(2例)、-5/-5℃(13例)-5/-10℃(10例)、-10/-10℃(5例)、-10/-15℃(5例)、-15/-15℃(2例)、-15/-25℃(1例)通过对温度的细致划分(见图7),可以看到整体P值都是比较分散的,P值最分散的还是地温在-1~-5℃之间,尤其是在地温在-1~-5℃,气温在-6~-10℃的时候,新增

积雪深度是最难预测的。

3.3. 天气形势

将所有天气个例的天气形势总结分类，最终分成以下四类：高空槽型(27)、低涡型(7)、横槽型(6)以及西北气流型(7)。由图8可以看出高空槽、低涡以及横槽的P值分布基本一致，西北气流的P值较为分散，所以当在西北气流天气形势下出现降雪，新增积雪深度的预报更为困难，其次是高空槽形势，相对较为分散且有异常值，低涡形势下的P值的分布相对较为集中，超过75%的P值分布在1.5~2之间。横槽天气形势下超过75%的P值分布在1.5~2.5之间。当出现低涡和横槽天气时，可以参考P值预测新增积雪深度。

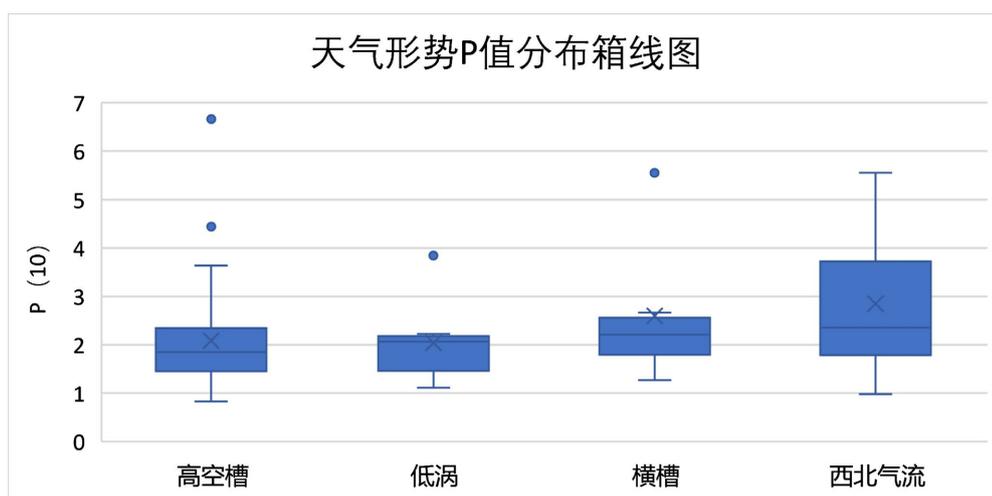


Figure 8. P value of synoptic situation

图8. 不同天气形势 P 值分布图

3.4. 月份

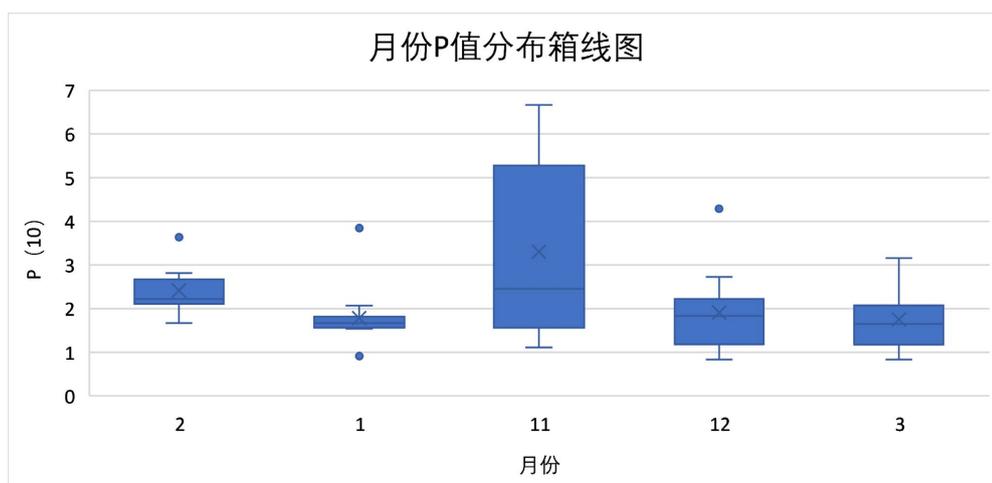


Figure 9. P value of month

图9. 不同月份 P 值分布图

乌鲁木齐机场降雪基本出现在每年的11月至次年3月，1月(10例)，2月(9例)，3月(6例)，11月

(10例), 12月(12例)根据其分布可以看到(见图9), P值得分布月份之间有着较大差异, 11月的P值分布最为分散, 所以出现在11月的降雪其积雪深度的预测最为困难, 这与11月处于秋冬转换, 温度变化大有关, 容易出现雨雪交加的情况给新增积雪深度的预报带来难度。而进入隆冬的1月P值分布就非常集中, 基本P值维持在1.5~2之间, 所以在1月预报新增积雪深度时, 可参考P值在1.5~2预测新增积雪深度。其次我们还发现在2月时, P值整体是高于其他几个月份, 2月份的P值 ≥ 1.5 , 2月份在预测积雪深度时可参考P值下限。

在此次统计中, 一共出现了6场连续两天出现明显降雪的天气过程, 对比这6场共12天的降雪发现, 除了一场天气两天都没有明显的降温之外, 另外五场天气都是第一天有明显降温, 第二天温度维持的情况, 没有明显降温的降雪天气两天的P值都是10, 其他有降温的降雪天气第一天的降雪降水量与积雪深度的比值P基本维持20, 而第二天的降雪的比值P则维持在10或者20, 这也可以在今年冬天的时候进行一个验证试验。

4. 结论与讨论

4.1. 天气形势分布情况

西北气流下的降雪天气, 积雪深度与降水量的比值P最分散, 其次是高空槽, 低涡和横槽天气形势下的降雪天气P较集中。因此西北气流下的降雪天气, 其新增积雪最难预测; 而低涡天气时可参考P值1~2预测新增积雪深度, 横槽天气可参考P值2~2.5预测新增积雪深度。

4.2. 月份分布情况

11月的积雪深度与降水量的比值P最分散, 1月的P值最集中。因此11月出现的降雪天气, 其新增积雪深度最难预测; 1月份P值基本集中在1.5~2之间, 1月出现的降雪天气可参考P值1.5~2预测新增积雪深度; 2月份的P值 ≥ 1.5 , 2月份在预测积雪深度时可参考P值下限。

4.3. 温度分布情况

- (1) 气温和地温的P值在各个温度区间都很分散, 在任何温度区间都没有合适的P值可以参考;
- (2) 在气温或地温在 -11°C 以下时, P值都在1.5以上, 因此当气温或者地温 $< -11^{\circ}\text{C}$ 时预测积雪深度可参考P值1.5的下限;
- (3) 在地温在 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$, 气温在 $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的时候, 新增积雪深度是最难预测的。

4.4. 降水量的分布情况

- (1) 当出现小雪天气时($\leq 3\text{ mm}$)P值很分散, 因此在出现小雪时, 新增积雪深度难以预测; 当出现中量及以上降雪时, P值维持在1~3之间, 尤其是中雪天气($3.1\sim 6\text{ mm}$), 可参考P值1~2预测新增积雪深度;
- (2) 小雪天气时, 尤其以降水量1 mm及以下降雪P值最为分散, P值在1~7之间, 新增积雪深度最难预测, 其次是降水量1.1~2 mm, P值也很分散在1~4.5之间, 其新增积雪深度也很难预测, 当降水量达到2.1 mm以上时, P值集中, 因此2 mm以下的降雪的新增积雪深度难预测;
- (3) 2 mm以下P值在各类分型下都很分散, 在2月及12月, 其P值 ≥ 2 , 因此在2月及12月可参考该P值下限预测新增积雪深度;
- (4) 2 mm以上降雪, 当气温在 $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ 之间时, 可以参考P值1~2预测新增积雪深度。

参考文献

- [1] 张远汀, 龚伟伟, 叶钰, 等. 应用机器学习技术预测强雨雪天气过程中的积雪[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(15):

58-69.

- [2] 杨成芳, 刘畅. 一次江淮气旋暴雪的积雪特征及气象影响因子分析[J]. 气象, 45(2): 191-202.
- [3] 马吉晖, 李玉香. 通化地区积雪深度预报方法研究及服务对策[J]. 吉林气象, 2012, 12(4): 29-33.
- [4] 杨琨, 薛建军. 使用加密降雪资料分析降雪量和积雪深度关系[J]. 应用气象学报, 2013, 24(3): 349-355.
- [5] 王健, 张月华, 谭艳梅. 乌鲁木齐冬季清雪预报服务研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(1): 82-85.