

柯桥丹家冬季气象景观（雪凇、雾凇）形成气象条件分析

周弘媛，杨欣洁，周晓燕，包君俏

(浙江省绍兴市柯桥区气象局，浙江 绍兴 312000)

摘要：利用柯桥近五年区域站监测相关数据和丹家雪凇（雾凇）现象观测等资料，从气象条件、地形特点分析冬季气象景观形成的气象条件成因，结果表明，丹家冬季气象景观存在较大的年际变化和月际变化，且与气温、湿度、降水、风力等气象要素密切相关。（1）冬季气象景观的形成对气温的要求严苛，平均气温需低于 1℃、最低气温需低于-0.5℃，日最高气温需低于 5℃；（2）高湿度是冬季气象景观形成和维持的必备条件，形成阶段日平均相对湿度需超过 99%，且形成当日或前一日均有降水过程；维持阶段保持 95%以上的高湿度即可；（3）形成阶段静风微风条件（平均风力≤3 级，最大风力≤4 级）（4）并在分析形成条件时得出冬季气象景观消融的关键性指标。

关键词：雪凇（雾凇） 气象条件 地形影响

1 引言

随着旅游业的快速发展，冬季气象景观作为一种旅游资源，已受到广泛关注，2014 年吉林市开始开发雾凇开展旅游资源，一个不足 6 平方公里的雾凇岛，4 年间实现全域“农家乐”规模翻 3 倍，游客量扩大 3 倍，旅游增收近 4 倍，切实地将白雪变成了白银，打造了吉林市冰雪旅游经济新增长点。也有不少学者在雨雪冰冻灾害研究中，对雾凇形成气象条件进行了分析研究，王遵娅^[1]等分析了有利于冰冻（雨凇和雾凇）发生的气象条件，得出低气温、高相对湿度和弱风速是冰冻产生的重要条件，并利用日平均气温和天气现象构建的冰冻日判别模型；吴兑^[2]在对 2008 年南方低温雨雪冰冻天气分析中指出，当近地层出现过冷雾时，如果此时下垫面物体温度小于 0℃，就可以在物体上形成雾凇；顾光芹^[3]进行河北省雾凇和雨凇气象条件分析后，得出适宜雾凇出现的气象条件是雾日并且气温在-7.2~-3.1℃之间、相对湿度≥92%、风速≤1.2m/s。丁国香^[4]发现适宜雾凇出现的气象条件是雾日且日平均气温在-8~2℃之间、平均相对湿度≥80%、平均风速 2~9m/s。

2019 年初柯桥丹家独具丰韵、仪态万方的雪凇奇观，且维持时间较长，新晋成为网红打卡胜地，还频上搜狐、网易等头条，引起了当地政府、部门的关注，如何深挖丹家独特气象景观旅游资源，结合当地得天独厚的各类资源条件，打造成为集气象景观、文化体验、乡村休闲为一体的综合性旅游地，提升贫困村丹家的第三产业经济收入，已成为急需解决的问题。为全面提升区域旅游业影响度和知名度，助推柯桥全域化、精品化、品牌化的千亿级旅游产业集群的进程，本文拟研究柯桥区冬季气象景观出现成因，为准确开展丹家冬季气象景观预报服务提供技术支撑。

2 资料

本研究使用的资料包括：①柯桥区域自动气象站 2014 年 12 月—2019 年 2 月逐日温、湿、风等要素资料②丹家近五年雪凇（雾凇）现象观测资料。

3 气象条件分析

3.1 年际变化分析

表 1 近 5 年丹家冬季气象景观及气象特征

	冬季气象景观日数 (d)	平均气温 (°C)	低温日数 (d) Tmin<=0°C	高湿日数 (d) RH>=95%	微风日数 (d) V<=5.4m/s	偏北风日数(d) D<=90 或>=270	雨(雪)日 (d) R>0mm	小雨(雪)日数 (d) 10>R>0mm
2015 年冬季 2014.12-2015.2	6	3.91	35	23	71	58	31	24
2016 年冬季 2015.12-2016.2	10	3.94	36	30	72	51	40	28
2017 年冬季 2016.12-2017.2	2	5.35	32	19	72	48	30	29
2018 年冬季	12	2.88	39	33	78	56	37	30

2017.12-2018.2

2019年冬季 2018.12-2019.2	19	3.62	35	56	75	53	59	38
近5年平均 (以下简称同期)	9.8	3.94	35.4	32.2	73.6	53.2	39.4	29.8

统计近5年丹家冬季气象景观，发现每年均有该气象景观，但冬季气象景观日数具有较大的年际变化特征，年冬季气象景观日数最多的为2019年冬季（19天），是冬季气象景观最少日数的近10倍，冬季气象景观最少天数为2天（出现在2017年冬天），其他几年冬季气象景观天数相对持平，在10天左右。2019年冬季全浙江出现罕见的阴雨寡照天气，柯桥雨日为有记录以来历史同期（以下简称历史同期）最多，累计雨量为历史同期第3多，日照时数为历史同期最少（仅常年41.5%）；次多为2018年和2016年冬季，两个时段的1月下旬至2月初均有罕见、连续的雨雪冰冻天气，2016年初堪称世纪寒潮，丹家站日最低气温跌破-10℃，2018年初的降雪强度与2016年初相当，虽低温的极端性不及2016年初，但冰冻持续时间超过2016年；最少为2017年冬季，该时段我区平均气温8.53℃，较常年偏高2.67℃，为有记录以来的最暖冬季。

本文对表1近5年丹家冬季气象景观及气象特征开展对比分析，有如下结论：对比年冬季气象景观日数最多和最少的两年，分别从平均气温、湿度、风力和降水条件进行分析，2019年的平均气温比2017年低大概32%左右，低温日数也比2017年少3天，相比而言，2019年的低温条件相对较好；造成这两年冬季气象景观天数相差较大的另外一个原因是湿度条件，2017年的高湿天数仅仅只有19天，而2019年出现了56天，接近2017年冬天高湿天数的三倍；对比雨日天数，2019年的雨日也达到了2017年的两倍，在微风日数相对持平的条件下，可见冬季气象景观日数与低温条件和高湿度条件呈正相关。再对比2015年和2019年冬季发现，平均气温、低温日数、微风日数、偏北风日数相近的情况下，由于高湿日数2015年仅2019年的41%，雨（雪）日数2015年仅2019年53%，年冬季气象景观日数2015年仅2019年的32%，可见冬季气象景观日数与高湿日数、雨（雪）日数呈正相关。这几个气象条件都是需要同时符合的，单一存在都不能形成冬季气象景观。由上述分析发现冬季气象景观日数与平均气温为负相关，与高湿日数、雨（雪）日数为正相关，与低温日数、微风日数也存在一定的相关关系。

3.2 月际变化分析

表2 近5年丹家冬季逐月气象景观与气象要素的相关性分析

月份	平均气温 (°C)	低温日数 (d) T _{min} ≤0°C	高湿日数 (d) RH≥95%	微风日数 (d) V≤5.4m/s	小雨(雪)日数 (d) 10>R>0mm
12月	0.12	-0.50	-0.05	-0.19	0.95
1月	-0.96	-0.87	0.70	0.85	0.68
2月	-0.70	-0.58	-0.50	0.71	0.98
备注:	R>0.9 高度相关, 0.9>R>0.75 显著相关, 0.75>R>0.5 一般相关, 0.5>R 不相关				

统计发现近5年丹家冬季气象景观存在较大的月际变化，12月、1月和2月出现冬季气象景观的占比分别为16%、47%和37%。12月出现冬季气象景观的概率总体较小，月冬季气象景观日数普遍在0~1天，但2019年有6天出现冬季气象景观，检验发现，2018年12月多冬季气象景观日数主要因为上旬末、下旬末有两次雨雪天气，极端最低气温超过-7.4℃，为同期最低值，且低温日数偏多，为同期最少年份（2015年12月）的近2倍，较好的检验了冬季气象景观日数与小雨（雪）日数存在高度相关，与低温日数为一般相关；1月出现冬季气象景观的概率较大，除2017冬季（历史最暖冬季）外，其余年份冬季气象景观日数均超过4天，统计相关性发现，1月份冬季气象景观日数与温、湿、风、雨均存在相关（与平均气温高度相关、与低温日数和微风日数显著相关、与高湿日数、小雨（雪）日数一般相关）；2月出现冬季气象景观的概率仅次于1月，最少年份（2019年）为最少年份（2017年）的9倍，存在着较大的年际变化特征，很大程度因为其与小雨（雪）日数高度相关，与平均气温、低温日数、微风日数、高湿日数相关性一般。可见不同月份冬季气象景观日数与各气象要素的相关性不同。

3.3 日际变化分析

统计近 5 年丹家冬季气象景观观测资料发现，81%的景观现象为雪凇，因此以下重点分析雪凇形成的气象条件。

3.3.1 气温条件

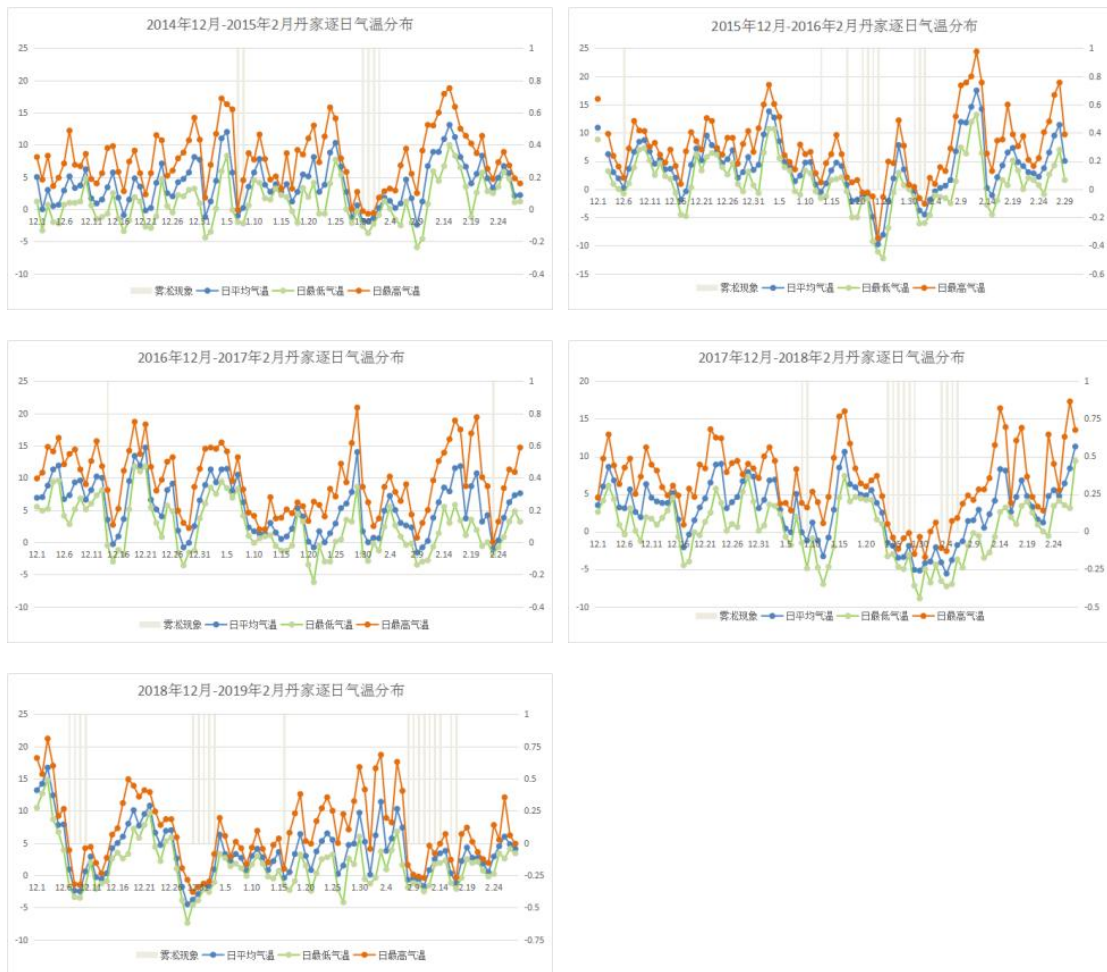


图1 近 5 年丹家冬季（12-次年 2 月）气温逐日分布图

分析发现，冬季气象景观均于在冷空气过后气温低迷阶段形成，气温回暖初期消融。冬季气象景观形成时段的平均气温普遍在 1℃ 以下（除 2016 年 12 月 14 日 3.5℃），日最低气温普遍在 -0.5℃ 以下，日最高气温普遍在 5℃ 以下（除 2016 年 12 月 14 日 8.1℃），分析发现，前一日（13 日）中午前后受较强冷空气影响，气温呈持续下降趋势，14 日的最高气温实际出现在 13 日 20 时，故致使 14 日日平均气温和最高气温的数值偏高，因此上述温度指标在冬季气象景观形成时段仍成立，可见气温较低是一个重要因素，但是在 2016 年-2017 年的 12、1、2 月，最低气温满足条件的情况下，依旧没有冬季气象景观出现，可见，除气温外，还有其他气象要素对冬季气象景观的形成起重大影响。

冬季气象景观消融时段的平均气温、最高气温、最低气温的跨度很大，平均气温跨度为 -8.9℃（2016 年 1 月 25 日）-6.3℃（2019 年 1 月 4 日），最高气温跨度为 -1.4℃（2016 年 1 月 25 日）-8.9℃（2019 年 1 月 14 日），最低气温跨度为 -12.3（2016 年 1 月 25 日）-3.3（2019 年 1 月 4 日）。可见，除气温外，还有其他气象要素对冬季气象景观消融起重大影响（2016 年 1 月 25 日的具体分析详见湿度条件分析）。

3.3.2 湿度（降水）条件

分析发现，高湿度是冬季气象景观形成和维持的必备条件，但是冬季气象景观的形成、维持、消融对湿度（降水）条件具有不同的要求。冬季气象景观形成阶段日平均相对湿度普遍超过 99%（2018 年 2 月 3 日 83%，12 月 30 日 87%），形成当日或前一日均有降水过程（2018 年 2 月 3 日，12 月 30 日无雨量），分析两日天气发现，高空曲率补充（槽切东移），引导冷空气补充，仍有零星降水（无雨量）；冬季气象

景观的维持阶段保持 95%以上的高湿度即可；2016 年 1 月 25 日，气温（日平均气温-8.1℃、日最低气温-12.3℃、日最高气温-1.4℃）均符合冬季气象景观形成和维持的气温条件，无冬季气象景观现象，分析发现当日平均相对湿度仅 57%，最小相对湿度 33%，且最大风向和极大风向均为偏南风，可见，湿度的降低是导致冬季气象景观消融的原因之一，但其对雾凇和雪凇的消融的影响程度不一致，当相对湿度低于 80%时，雾凇多会消融不见，而相对湿度低于 50%时仍有雪凇现象的存在（与雪凇的结构、尺寸密切相关）。

3.3.3 风力条件

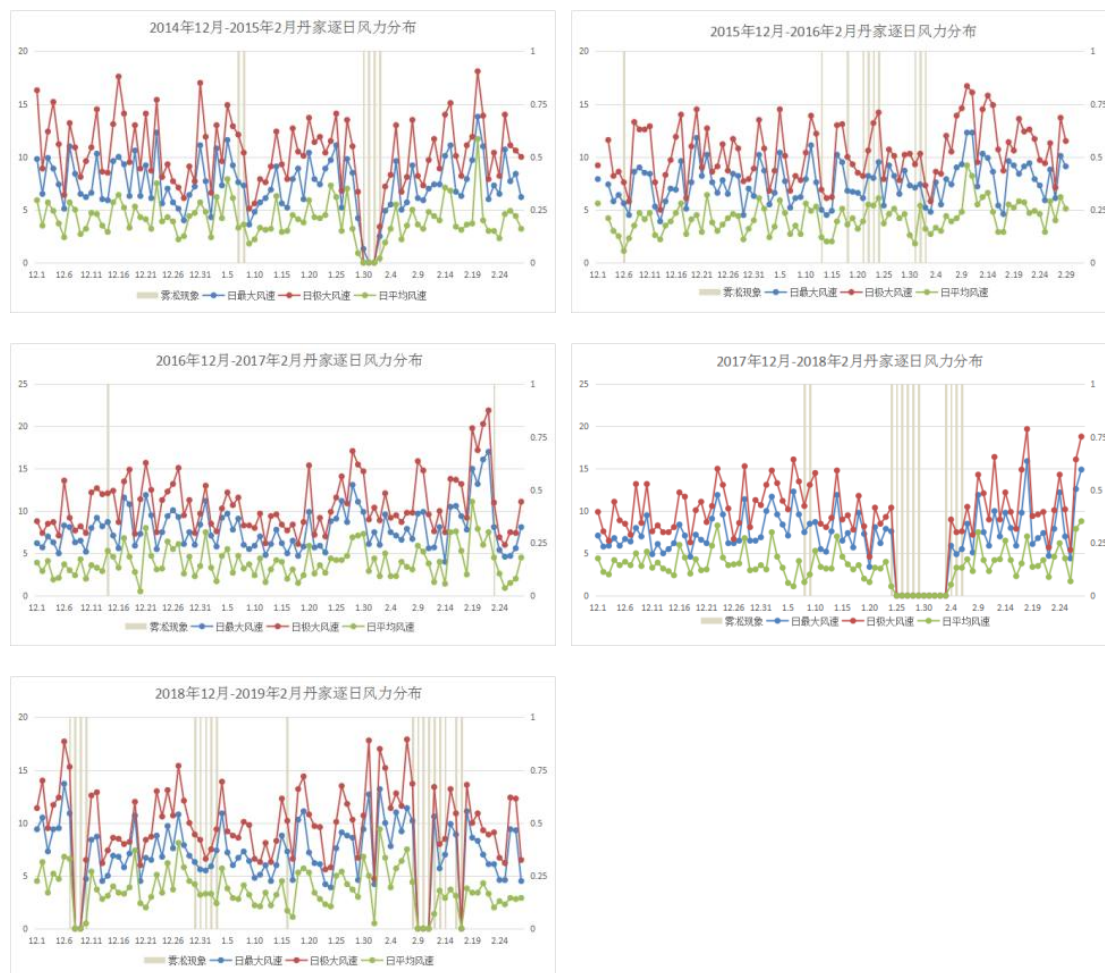


图2 近5年丹家冬季（12-次年2月）风力逐日分布图

分析发现，近五年丹家冬季气象景观出现期间，平均风速 2.2m/s，最大风速 4.9m/s，极大风速 6.8m/s，93%的冬季气象景观形成时静风微风条件（平均风力<=3级，最大风力<=4级）；2018年12月11日温度、湿度条件（平均气温仍维持在 2.9℃、最低气温 2℃、最高气温 4℃、平均相对湿度 100%）仍满足的情况下，平均风速增加至 5.5 m/s，最大风速增加至 8.4 m/s，极大风速增加至 12.6m/s 时，雪凇消融不见；2019年2月18日温度、湿度条件（平均气温仍维持在 2.2℃、最低气温-0.4℃、平均相对湿度 100%）仍满足的情况下，最大风速增加至 11.1 m/s，极大风速增加至 13.6 m/s，风向转为偏南风时，雪凇消融不见；在分析风力条件对雪凇形成的同时，发现偏北风转为偏南风、平均风力>=4级、最大风力>=5级均是冬季气象景观消融的关键性指标。

4 地形（环境）条件分析

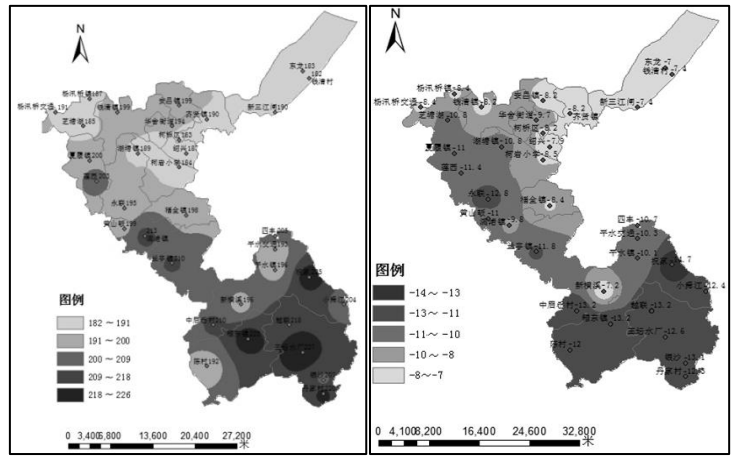


图3 分布图 (a. 近五年柯桥区冬季累计雨日 b. 近五年柯桥区极端最低气温)

据了解，柯桥境内仅王坛丹家有冬季气象景观现象，大家普遍认为由于丹家独特的地理条件而形成的柯桥独有冬季气象景观。本节将结合其地理、气候等条件探寻丹家冬季气象景观现象的形成原因。柯桥位于浙江中北部，背靠会稽，北濒海，总体呈西南高、东北低的阶梯形地势；丹家地处绍兴市柯桥区王坛镇东南南部 18 公里处，海拔 665 米，是柯桥区海拔最高的行政村，四面环山，有著名的雄鹅峰、雌鹅峰和五百岗，是一个农业资源较为丰富和自然生态很好的村落。分析柯桥区南部气象站数据发现，年最低气温普遍在 0℃ 以下（极端最低-14.7~-7.2℃），0℃ 以下低温时长差异较大，最大丹家站 84.7 小时，比陈村站（第二多）多 31 小时，是平水镇站（最少站）的 2.8 倍，可见山区的气温条件均能够满足冬季气象景观的形成，但是丹家海拔高，有利于冬季冷暖空气在此处交汇，四面环山，更利于冷空气下沉堆积，较长时间的处于 0℃ 以下低温状态，较长的低温时长更有利于冬季气象景观现象的出现和维持。图 4 近五年柯桥区雨日分布图显示，南部山区的雨日多余北部地区，很大程度是因为南部山区多中小型水库，其中丹家北侧 9 公里处为绍兴汤浦水库（流域面积 460 平方公里，总库容 2.35 亿立方米），西北侧 18 公里处为平水江水库（流域面积 70 平方公里，总库容 5457 万立方米），以及山区茂密的植被，提供了充沛的水汽条件，这也是丹家等高山地区冬季多云雾天气和降水的成因。由此可见独特的地理环境和水文条件为丹家冬季气象景观的形成孕育了基础条件。

5 结论

(1) 丹家由于海拔较高、四周环山、水资源丰富等独特的地理特点，形成柯桥独有的冬季气象景观，雾凇、雪凇这类气象景观的形成、维持和消融与气温、湿度、降水、风力等气象要素密切相关，年冬季气象景观日数存在较大的年际变化和月际变化。

(2) 冬季气象景观的形成对气温有着严苛要求，平均气温需低于 1℃、最低气温需低于-0.5℃，日最高气温需低于 5℃。

(3) 高湿度是冬季气象景观形成和维持的必备条件，但是冬季气象景观的形成和维持对湿度（降水）条件具有不同的要求。冬季气象景观形成阶段日平均相对湿度需超过 99%，且形成当日或前一日均有降水过程；而维持阶段保持 95%以上的高湿度即可。

(4) 冬季气象景观形成阶段静风微风条件（平均风力≤3 级，最大风力≤4 级）。

(5) 气温、湿度、降水、风力等气象因子均是引起冬季气象景观消融的成因，但其对冬季气象景观消融的影响程度不一致，其中偏北风转为偏南风、平均风力>4 级、最大风力>5 级均是冬季气象景观消融的关键性指标。

(6) 由于技术水平和气象资料有限，有关丹家冬季气象景观的形成气象条件的分析还有待进一步深入，未来可基于天气现象开展冬季气象景观预报服务。

参考文献：

- [1] 王遵娅, 赵珊珊, 张强. 我国冰冻日出现的气象条件分析及其判别模型 [J]. 高原气象, 2011, 30 (1) : 158-163.
- [2] 吴兑. 关于冻雨和雨淞、雾淞之我见 [J]. 广东气象, 2008, 30 (1) : 12-14.
- [3] 顾光芹, 田国强, 梁秀慧, 等. 河北省雾淞和雨淞气候特征及气象条件分析 [J]. 气象, 2012, 38 (5) :561-568.
- [4] 丁国香, 刘安平, 杨彬, 姚叶青. 基于逐时资料的黄山雾淞特征及气象条件分析 [J]. 气象科技, 2018, 46 (6) : 1287-1290.