

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.04.016

藏中地区影响通电线路安全的气象环境的多尺度变化特征研究

刘琪¹, 肖天贵², 刘孙俊², 王瑞英²,
黄瑶², 加布¹, 丛鹏¹, 陈佟³

1. 国家电网公司西藏电力有限公司, 拉萨 850000; 2. 成都信息工程大学, 成都 610225;
3. 国家电网有限公司信息通信分公司, 北京 100761

摘要: 利用欧洲数值预报中心高分辨率(0.125°×0.125°)再分析气象资料, 采用统计方法分析了近 36 年间藏中地区气象因子的多时间尺度变化特征, 并讨论了低温和大风对藏中电网线路安全可能产生的影响, 为藏中地区电网设计和电网安全维护提供参考. 主要结论为: (1) 温度和风速都表现出明显的年代际、年际、季节和日变化特征; 1 月平均温度最低, 最容易引起电线覆冰; 风速则表现出冬春季大、夏秋季小的分布特征. (2) 低温日数多年来有减少的趋势, 并存在明显的季节变化; 大风日数与平均风速变化相近, 近 10 年来有明显的增加趋势, 也表现为冬春季多, 夏秋季少的分布特征, 并主要集中在 1—3 月之间.

关键词: 电网安全; 低温; 大风; 多时间尺度; 藏中地区

中图分类号: TM725⁺.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)04-0127-08

随着经济社会的快速发展, 农业、工业以及人类社会生活的各个领域对电力的需求日益增加. 电力生产的特点是一次性完成, 要求发电、变电、输电、配电、用电同时进行, 各个环节不可分割, 而联系这其中各个环节的正是电力线路^[1-3]. 电力线路又分为输电线路和配电线路, 其中输电线路的任务就是输送电能, 并联络各发电厂、变电站使之并列运行, 实现电力系统联网. 因此, 高压输电线路是电力工业的大动脉, 是电力系统的重要组成部分.

施工简便、费用低廉、检修维护方便的架空线路在我国得到广泛使用, 但由于其将线路导线架设在杆塔上, 因而使线路长期暴露在自然环境中, 易受各种气象条件如大风、覆冰、雨雪等的侵袭, 出现故障的几率较高. 气象条件对架空线路影响的重要因子为气温和风, 气温对架空线路的影响主要为热胀冷缩、线路阻抗的变化, 气温升高增大线路的电阻, 有功损耗增大; 而气温降低使线路阻抗减小, 有利于提高电能质量和经济效益, 但会使导线因温度降低而收缩, 增大架空线路的运行应力, 影响导线的机械

收稿日期: 2019-06-05

基金项目: 国家电网公司科技项目(SGLNDK00KJJS1700200); 国家自然科学基金项目(91337215, 41575066); 国家科技支撑计划项目(2015BAC03B05).

作者简介: 刘琪(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事电力信息通信研究.

通信作者: 肖天贵, 教授.

性能^[4-7]；同时过低的温度容易造成电线积冰，积冰可导致电线的舞动杆塔倾斜、倒塌、断线、绝缘子闪络、通讯不畅、停电断水，严重影响电力系统的正常运行，并给社会经济造成严重损失^[8-12]。此外，风表明空气的流动，依风速大小不同对架空线路影响不同。低速风可引起导线摇摆甚至舞动，易造成导线间的鞭击，可能损坏绝缘子和金具；大风将增大线路的风压比载，可能出现断线等重大事故^[13-15]。西藏所处的特殊地理位置和高原气象条件，常出现大风、暴雨、闪电、低温等灾害天气，都会对通电线路产生严重影响，甚至导致输电事故，不仅直接影响到国防与工农业生产、交通，造成人民生活紊乱，在某些情况下甚至会酿成极其严重的社会性灾难^[16-23]。因此，分析影响通电线安全的气象环境就显得尤为重要，并具有一定现实和理论意义。

1 资料与方法

本文利用 1981—2016 年一日 4 次气温和风速数据，数据来源于欧洲数值预报中心高分辨率($0.125^\circ \times 0.125^\circ$)再分析气象资料，主要研究区域选择藏中的 $29^\circ \sim 30^\circ \text{N}$ ， $85^\circ \sim 96^\circ \text{E}$ (图 1)；并采用统计方法分析了近 36 年藏中地区气温和风速的多时间尺度变化特征，探讨了低温和大风对藏中地区电网线路安全可能产生的影响，为藏中地区电网设计和电网安全维护提供参考。

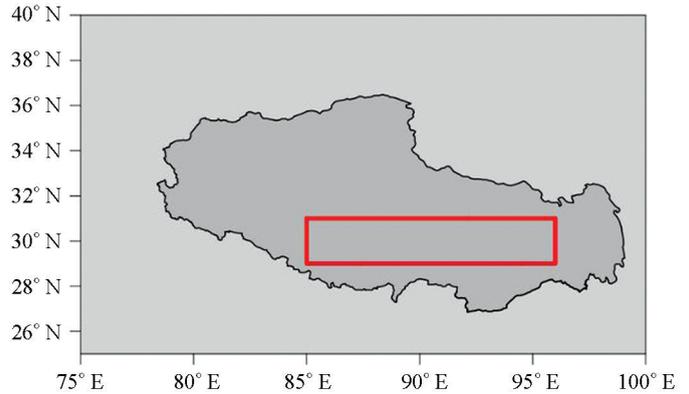


图 1 藏中地区研究区域取值范围示意图

2 气温的多时间尺度变化

2.1 气温年代际、年际变化

年平均气温作为一个衡量地区气候状态的物理量，其随时间的演变可直观地判断该地区的气候状态。从图 2 可以看出藏中年平均气温集中在 $1.16^\circ \text{C} \sim 3.3^\circ \text{C}$ 之间(气温保留 1 位小数)，对其进行线性拟合，近 30 年间，平均气温从 1.7°C 升至 2.9°C ，升温率为 $0.03^\circ \text{C}/\text{年}$ ，这种现象是高原地区对全球变暖的气候响应，而这一变化会加速高原冰雪消融，与太阳辐射形成正反馈机制，进一步导致高原增温，从而对当地电网系统产生影响。除长期变化趋势，气温还具有明显的年代际和年际变化特征。90

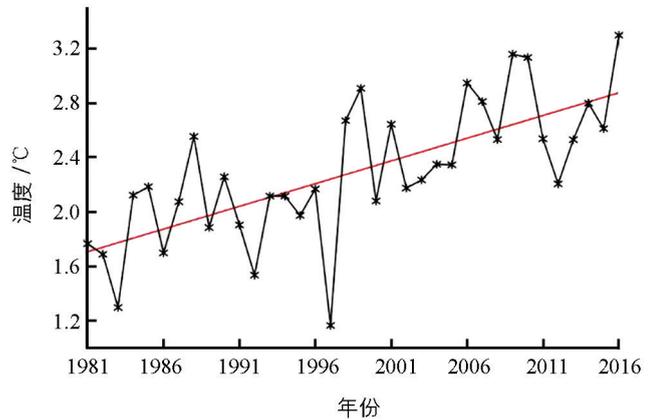


图 2 年平均气温时间序列(黑线)和线性拟合曲线(红线)(单位: $^\circ \text{C}$)

年代前几年气温偏低，1997 年气温在 36 年间达到最低，年平均气温只有 1.16°C ，1998 年气温急剧上升至 3°C 以上；进入 20 世纪后，气温开始持续偏高；未来西藏地区气温也有很大可能将继续上升，并在 2016 年之后出现下一个峰值。

2.2 气温月变化

将 36 年各月气温进行气候平均，如图 3 所示。气温遵循夏高冬低的分布，平均最高气温出现在 7 月，但区域平均仍然不超过 12°C ，因为地处高原，西藏地区夏季出现极端高温可能性较小，因此夏季高温对当

地电网系统产生的影响较小; 而低温冰冻灾害是该地最常发生的气象灾害, 一年中平均有 5 个月气温低于 0 °C, 其中 1 月平均气温最低. 西藏冬半年降雪和冻雨天气较多, 雨雪附着在电线上, 气温处于 0 °C 以下, 容易导致电线结冰, 当超过电线负重极限, 还会引起输电线断裂, 电线杆倒塌等灾害, 并且路线绝缘子也极易出现闪络故障现象^[10], 因此本文主要关注低温天气分布特征和可能给电网造成的影响, 尤其是 1 月藏中气温变化以及最低温阈值.

2.3 气温日变化

将一日 4 个时刻(00:00, 06:00, 12:00, 18:00 世界时)的气温计算气候平均, 可以揭示一天各个时段的气温特征和其在年内的分布状态, 如图 4 和表 1 所示, 一天中气温从低到高依次出现在 00:00, 18:00, 12:00 和 06:00, 即早上气温最低, 其次是夜晚, 再次是傍晚, 气温最高出现在中午. 从各时刻超过 0 °C 参考线的分布, 发现 00:00 气温在 5 月 6 日之前和 10 月 15 日之后气温在 0 °C 以下, 低于 0 °C 的总天数为 204 天, 相当于一年的 55.89% 的日子在 00:00 气温低于 0 °C. 同理, 06:00 低于 0 °C 的日数在一年中所占比例为 18.36%, 12:00 为 32.33%, 18:00 为 49.86%. 由上分析可知, 西藏地区各时刻气温差异较大, 一年之中早上和半夜气温有将近一半的时间气温可达到 0 °C 以下, 意味着在整个冬半年都要密切关注这两个时次的气温对电网线路的影响, 而在中午则重点关注 1 月, 2 月和 12 月, 傍晚则除了这 3 个月以外, 3 月和 11 月也需引起注意.

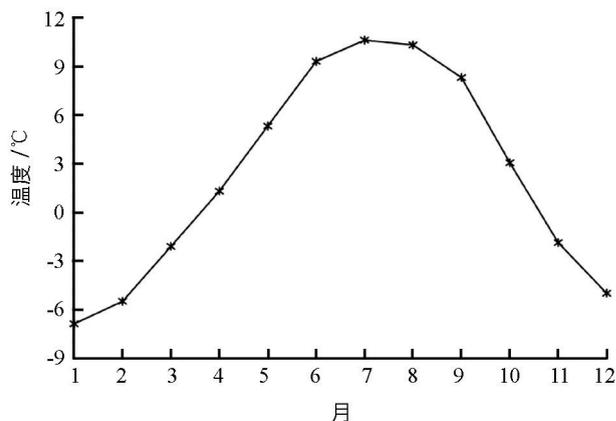


图 3 气候月平均气温变化

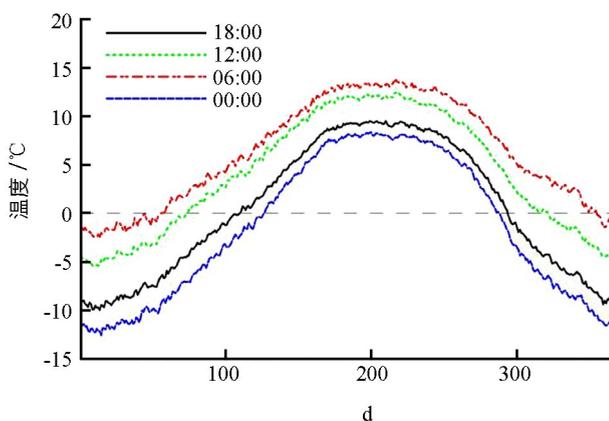


图 4 一日 4 个时刻气温的气候逐日变化

从不同时次逐年演变图中(图 5)可见: 00:00 多年平均气温为 -1.56 °C, 18 时平均气温稍有增加, 为 0.39 °C, 12 时平均气温为 4.08 °C, 06:00 最高, 为 6.24 °C, 昼夜最大温差在气候平均上达到 7.8 °C. 虽然昼夜温差大, 但不同时刻近 36 年演变趋势几乎一致, 并且倾斜率也比较接近, 都以近似 0.03 °C/年的速度升温.

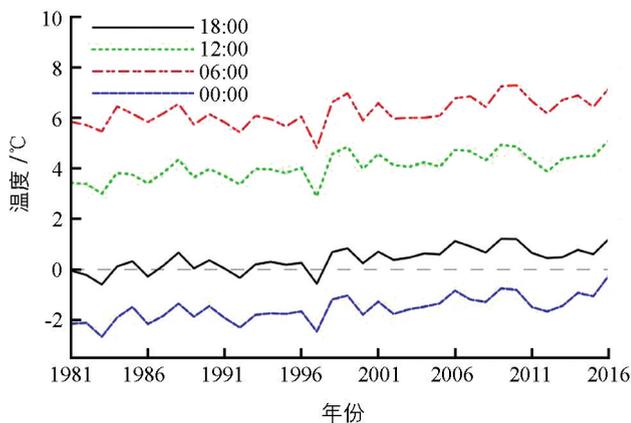


图 5 一日 4 个时刻温度的年变化(单位: °C)

表 1 各时刻气温低于 0 °C 天数及所占比例

时间	00:00	06:00	12:00	18:00
天数	204	67	118	182
比例/%	55.89	18.36	32.33	49.86

3 风速的多时间尺度变化

3.1 风的年代际、年际变化

近地层大风容易造成架空线路的非绝缘导线之间发生短路放电现象或者发生闪络进而造成电网线路熔断。除此之外在西藏这个特定的区域,农业活动多是大棚蔬菜,大风可能将大棚顶破坏,将其吹到电网线路上造成电网系统故障^[22],因此了解藏中地区大风多时间尺度变化十分有必要,可对电网线路设计及预防电网线路故障提供参考。

年平均风速在近 36 年的变化图中(图 6),平均风速同样表现出明显的年代际和年际变化,20

世纪 80 年代风速偏大,90 年代风速偏小,基本处于平均值以下;进入 21 世纪以后,前 5 年风速仍然较小,最低点为 2002 年,为 2.13 m/s,直到 2005 年风速再次大幅度增加并持续维持。从近几十年线性拟合来看,风速以 0.002 m/s 的速度增加,但增幅较小,未通过显著性检验。

3.2 风速月变化

如图 7 所示,月平均风速变化曲线中,总体上表现为冬春季大,夏秋季小的分布特征。多年月平均风速集中在 1.9~2.7 m/s 之间,最大风速出现在 3 月,为 2.66 m/s,其次是 2 月,为 2.62 m/s,1 月和 4 月风速极为相近,在 2.45 m/s 左右,风速在 3 月之后表现为持续减小,直到 8 月减为最小值,为 1.91 m/s,从 9 月进入秋季之后风速再缓慢上升,12 月进入冬季,上升速度增加,直到次年 3 月完成一个循环。由此可见,风速对电网的影响在 1—4 月最显著,期间均值大于 2.5 m/s,直接对电网线路造成影响。

3.3 风速日变化

图 8 揭示了风速的日变化特征,可以看出一天不同时刻风速差异较大,00:00 平均风速最小,变化幅度也最小,最小值与最大值之间仅相差 0.6 m/s,全年平均风速在 1.56 m/s 左右;18:00 风速相比 00:00 有所增大,变化趋势同样平稳,年平均风速在 1.84 m/s 左右;12:00 相比前两个时刻风速增加较多,年平均风速达到 2.43 m/s;到了 06:00,平均风速最大,年平均风速达到 3.20 m/s,同时年际变化也最显著,变化趋势与年均值类似,大风速期出现在 1—3 月,最高值可达 4.35 m/s。由上分析可知风速在一天之中分布极不均匀,早上和半夜风速较小,随季节变化幅度也小,中午风速最大,且表现出明显的冬春季大,夏秋季小的季节特征,傍晚风速变化特征与中午相似,只是风速较中午更小。

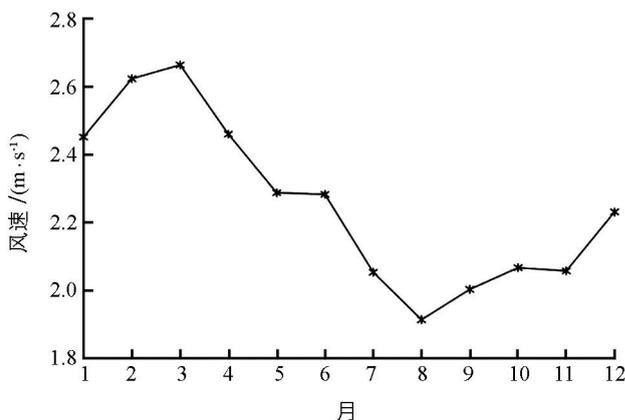


图 7 气候月平均风速变化(单位: m/s)

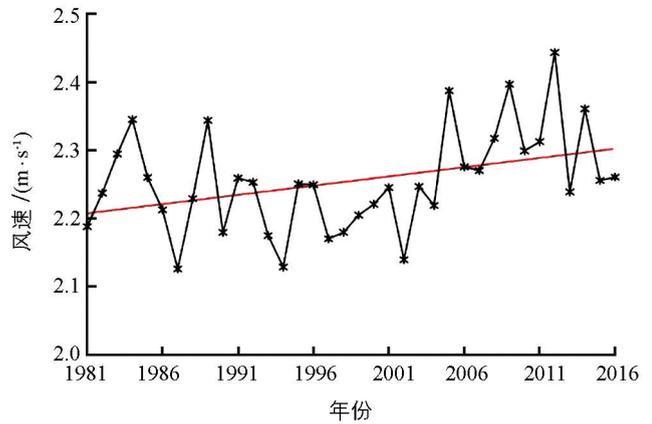


图 6 年平均风速时间序列(黑线)和线性拟合曲线(红线)

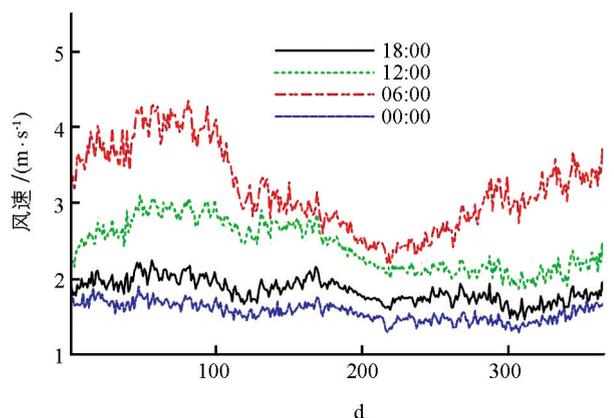


图 8 一日 4 个时刻风速的气候逐日变化(单位: m/s)

4 低温日数多时间尺度变化

4.1 低温日数的年际变化

由上文分析得知西藏地区气温对电网线路安全的影响主要取决于低温天气,在气温低于 0°C 时,容易导致电线积冰、倾斜和倒塌,因此本文进一步统计气温低于 0°C 的低温日,以确定电力线路安装和维护过程中需要警惕低温灾害的时间。

如图9所示,可以发现低温日数在36年间变化区间在182~220天之间,有4个明显的小值年,依次是1984年、1996年、1999年和2010年,低温日数分别为194天、192天、185天和182天,都对应于图2中平均气温高值年。除此之外有3个低温天数大值年,分别是1982年、1997年和2012年,对应低温天数219天、220天和212天,与图2中平均气温低值年对应得很好。将多年低温日数做线性拟合,发现低温日数随时间有减少的趋势,与平均气温相反,在气候变暖的影响下,平均气温增加的同时,低温日数不断减少,但未通过显著性检验,因而低温仍然是目前影响电网的重要气象因素之一。

4.2 低温日数的月分布

低温日数除了明显的年际变化外,还存在明显的季节变化,36年各月累计低温日数分布如图10所示,低温天数在夏季7月和8月都为0,6月和9月低温天数同样屈指可数,从10月起进入低温时期,低温天数达到630天,11月至次年3月低温日累计日数均在1000日以上,其中12月和1月低温天数最多,同为1116日,其次是3月,仅比1月少两天,4月开始逐渐升温,低温日数逐渐减少,5月跳跃式减少至250天,进入6月后几乎很少存在日平均气温小于 0°C 的情况。与平均气温月分布相似,平均气温最低的月份低温天数自然越多,对电网造成危害的可能性越大,但值得注意的是初夏和初秋两个时段,虽然月平均气温并不低,但还是会出现日平均气温低于 0°C 的情况,所以除了冬春季要注意低温灾害,在初夏和初秋也偶尔会有低温日出现。

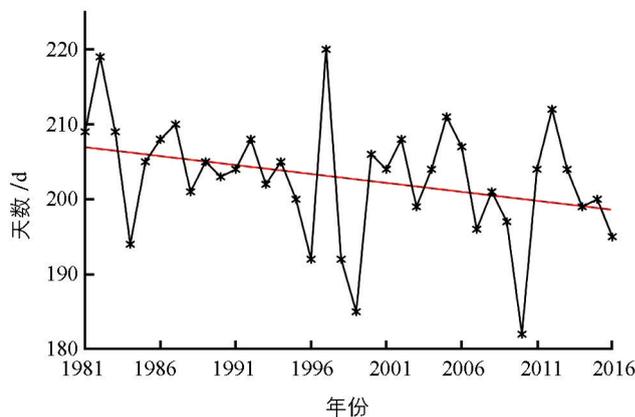


图9 低温日数的时间序列(黑线)和线性拟合曲线(红线)

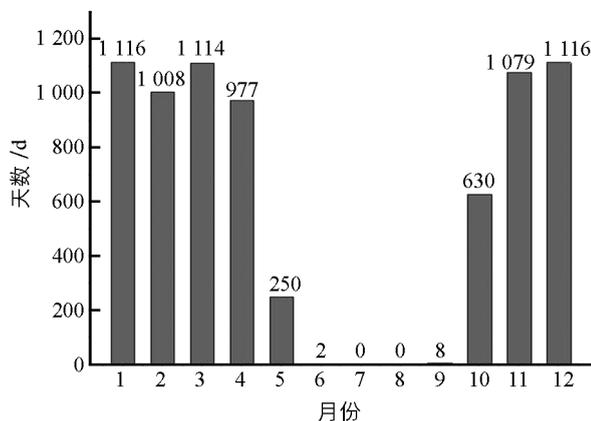


图10 36年间低温日数每月累计分布

5 大风日数多时间尺度变化

5.1 大风日数的年际变化

根据对藏中地区每日平均风速计算结果显示最大平均风速不超过 8 m/s ,而在局部地区则有 8 m/s 甚至更大的风速出现,本文将局部地区(超过 5×5 个格点范围)出现平均风速超过 8 m/s 的日期算做大风日,研究大风日数的年际分布特征和季节分布特征。

如图 11 所示,大风日数在 36 年间大风日数集中在 45~107 天范围内,平均每年约 76 天会出现大风。大风日数在 1990 年之前波动范围较大,最少日数 45 天,最多达到 99 天,2006 年之后,大风日数呈明显的上升趋势,最近 10 年间平均每年大风日数在 88 天以上。并且从 36 年间大风日数的线性拟合趋势来看,表现为 0.55 天/年的上升速度,可见大风日数的增加对年平均风速的增加有较大影响,并且大风对电网的影响也日益突出。

5.2 大风日数的月分布

在近年大风日数不断增加的背景下,大风月分布状况的研究也十分有必要,了解大风的月分布情况可以更好地对电网线路安全做好防御措施。如图 12 所示,大风日数表现为冬春季多,夏秋季少。在 1~3 月最为集中,3 月大风日最多,达到 541 天,其次是 2 月,为 478 天,再次是 1 月,为 452 天。同平均风速一样 4 月大风日数开始减少,5 月大幅度减少,6 月减少至 21 天,7 月没有出现大风现象,8 月出现过一次,从 9 月开始伴随平均风速的增加,大风日数随之逐渐增加进入冬季大风期。由此看来大风对电网安全的影响主要集中在 1~3 月期间,尤其是 3 月,平均风速最大且出现次数最多,是最容易大风造成电路故障的时间段。

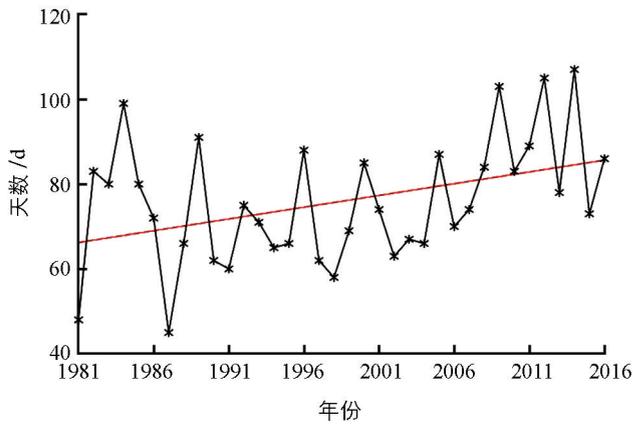


图 11 大风日数的时间序列(黑线)和线性拟合曲线(红线)

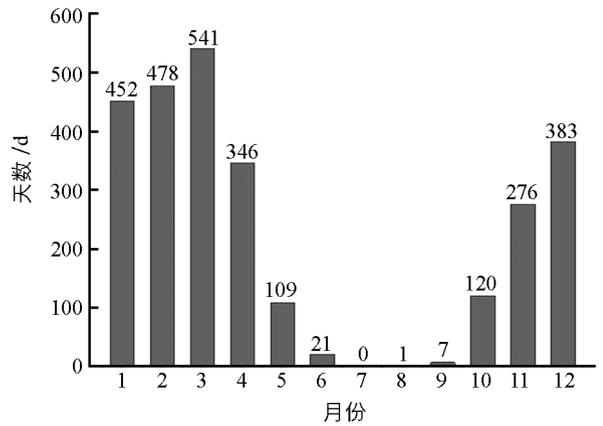


图 12 36 年大风日数每月累计分布

6 结 论

本文利用欧洲数值预报中心高分辨率($0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$)再分析气象资料,主要采用统计方法分析了近 36 年间藏中地区气温和风速的多时间尺度变化特征,从年代际和年际变化,季节变化和日变化多个尺度特征着手全面了解了藏中地区气候特征,并筛选出近几十年低温日数和大风日数,从而讨论了低温和大风对藏中地区电网线路安全可能产生的影响,主要得到以下结论:

1) 气温表现出明显的年代际和年际变化特征,并以 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 的速度升温,在 1 月平均气温达到最低,最容易引起电线覆冰现象,一日之中不同时刻气温从低到高依次出现在早上、半夜、傍晚和中午,一年之中早上和半夜气温有将近一半的时间气温可达到 0°C 以下,并且各个时刻气温的年际变化表现出一致性增温。

2) 风速也表现出逐年增加的趋势,并在近 10 年风速增加显著,季节差异较大,表现出冬春季大,夏秋季小的分布特征。一日不同时刻风速从小到大大同气温一样依次出现在早上、半夜、傍晚和中午,中午时刻风速随季节变化也最突出,对风速气候变率影响最大。

3) 在全球气候变暖背景下,低温日数随时间有减少的趋势,但目前每年仍有超过一半的时间平均气温低于 0°C ,低温仍然是影响电网的重要气象因素之一。低温日数存在明显的季节变化,表现为冬春低温日数多,夏秋季少,初夏和初秋两个时段偶尔也会出现低温现象。

4) 大风日数与平均风速变化相近,随时间大风日数不断增加,并在近10年增加最明显,由此推论大风对电网的影响也会日益突出。大风日数与气温低温日数都表现为冬春季多,夏秋季少的特征,且主要集中在1—3月之间,1—3月是影响高原电网安全最重要的时间段。

参考文献:

- [1] 杜刘平. 浅析电力线路施工安全管理的原则和措施 [J]. 科技风, 2012(18): 252.
- [2] 潘晓春, 王作民. 架空输电线路气象条件设计标准刍议 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(S1): 50-56.
- [3] 刘足健, 付德安. 电力线路设计的相关问题分析 [J]. 广东科技, 2008, 17(16): 168-169.
- [4] 康健, 刘建红. 温度对导线覆冰的影响试验研究 [J]. 国网技术学院学报, 2018, 21(2): 5-8.
- [5] 郭永辉. 温湿度效应对伊犁地区局域电网过电压的影响 [D]. 伊宁: 伊犁师范学院, 2016.
- [6] 张鸣, 阮班义, 杨敏, 等. 对流散热对架空导线温度影响的实验研究 [J]. 广东电力, 2013, 26(9): 21-25.
- [7] 李守文, 周志军, 周丽, 等. 极端冰灾天气架空线路荷载风险模型建立探讨 [J]. 甘肃电力技术, 2013(1): 39-43.
- [8] 张忠瑞, 王飞, 张巍. 辽宁电网输电线路舞动的气象影响分析 [J]. 东北电力技术, 2012, 33(4): 26-31.
- [9] 王如荣, 解朝真, 张树林. 南岭覆冰气象站观测资料分析与高压输电线路建设的探讨 [J]. 山西气象, 1997, 41(4): 16-18.
- [10] 孙羽, 王秀丽. 冰灾天气下架空线路倒塔断线风险评估 [J]. 东北电力技术, 2013, 34(11): 1-6.
- [11] 徐建国, 赵立清, 李金萍, 等. 通辽地区电线积冰对输电线路影响的气象条件分析 [J]. 内蒙古气象, 2006(Z1): 38-39, 48.
- [12] 彭向阳, 林一峰. 环境风速对架空输电线路载流及温升影响试验研究 [J]. 广东电力, 2012, 25(3): 20-25.
- [13] 江全才, 朱博云, 吴金辉, 等. 风速对架空输电线路导线脱冰跳跃的影响 [J]. 广东电力, 2015, 28(9): 127-130.
- [14] 赵付湘. 对架空输电线路在微地形微气象点风速影响的控制 [C] //2011年云南电力技术论坛集. 昆明, 2011: 198-204.
- [15] 缪晓宇. 浅析架空输电线路气象条件设计标准 [J]. 建筑工程技术与设计, 2017(15): 23-26.
- [16] 王景亮, 李崇浩, 娄山. 顾及系统运行风险的电气气象预警 [J]. 南方电网技术, 2014, 8(2): 38-40.
- [17] 王建, 熊小伏, 梁允, 等. 地理气象相关的输电线路风险差异评价方法及指标 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(5): 1252-1259.
- [18] 杨帆, 代锋, 罗汉武, 等. 雾霾天气下的直流输电线路离子流场分布特性及其影响因素 [J]. 电工技术学报, 2016, 31(12): 49-57.
- [19] 王建, 熊小伏, 李哲, 等. 气象环境相关的输电线路故障时间分布特征及模拟 [J]. 电力自动化设备, 2016, 36(3): 109-114.
- [20] 熊小伏, 王尉军, 于洋, 等. 多气象因素组合的输电线路风险分析 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(6): 11-15.
- [21] 朱伊, 范广洲, 华维, 等. 1981-2015年青藏高原地表温度的时空变化特征分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(11): 127-140.
- [22] 刘贞, 沙道风, 汤雪松, 等. 基于专家评价方法的配电网运行状态层次分析评价模型及应用 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2019, 33(1): 154-161.
- [23] 次珍. 西藏高原环境下电网常见故障及其原因分析 [J]. 中国科技博览, 2012(7): 1.

Study on Multi-scale Variation Characteristics of Meteorological Environment Affecting Safety of Electrical Lines in Central Tibet

LIU Qi¹, XIAO Tian-gui², LIU Sun-jun², WANG Rui-ying²,
HUANG Yao², JIA Bu¹, CONG Peng¹, CHEN Tong³

1. State Grid Corporation Tibet Power Co. , Ltd. , Lhasa 850000, China ;

2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China ;

3. State Grid Corporation Information and Communication Branch, Beijing 100761, China

Abstract: In this paper, using the high-resolution ($0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$) reanalysis data of European Center, the multiple time scale variation characteristics of meteorological factors in thermal fluid activity in the recent 36 years in Central Tibet are analyzed with statistical methods, and the effects of low temperatures and strong winds on power network security are investigated so as to provide reference for the design of regional power grids and their security maintenance. The following conclusions are obtained. (1) Temperature and wind speed show obvious characteristics of interdecadal, interannual, seasonal and diurnal changes. The average temperature is the lowest in January, and wire icing is likely to occur in this month. Wind speed is large in winter and spring and small in summer and autumn. (2) Low-temperature days tend to decrease over the years and show an obvious seasonal change. The change in number of days of strong wind is similar to that of average wind speed and showed an obvious increasing trend in the past 10 years. More days of heavy wind occur in winter and spring (mostly in January to March) than in summer and autumn.

Key words: power grid security; low temperature; high wind; multi-time scale; central Tibet

责任编辑 汤振金