

文章编号: 2096-1618(2019)02-0180-06

新疆雷暴气候特征及其与地闪密度关系分析

王延慧¹, 张建涛², 何清², 韩雪云³, 于晓晶², 焦阳¹, 钱勇¹

(1. 新疆维吾尔自治区气象灾害防御技术中心, 新疆乌鲁木齐 830002; 2. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆乌鲁木齐 830002; 3. 新疆维吾尔自治区气候中心, 新疆乌鲁木齐 830002)

摘要:针对新疆长时间尺度近 63 a 雷暴日气候特征及其与地闪密度关系的研究相对缺乏的问题, 结合新疆人工观测雷暴日和 ADTD 获取的地闪资料, 采用气候趋势法、小波分析和 Mann-Kendall 突变检验等方法, 分析得出了: 新疆年均雷暴日数由南向北逐渐增多, 西部多于东部。新疆年均雷暴日数整体上表现出递减变化, 每 10 a 减少约 0.3 d, 同时存在着 2~8 a, 10~20 a, 24~30 a 的 3 类尺度的周期变化规律。新疆月均雷暴日变化呈明显的单峰型, 一年中 99.8% 的雷暴日发生在 4~10 月, 7 月达到峰值。雷暴的开始和结束时间大多发生在 14:00~20:00, 持续时间在 10~20 min 的最多, 约占总数的 39.5%。新疆地闪密度与雷暴日的幂模型拟合关系通过了 0.05 显著性水平检验。

关键词:雷电科学与技术; 雷电预警预报; 雷暴; 气候特征; 地闪密度; 新疆

中图分类号: P427.32⁺1

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2019.02.012

0 引言

雷暴是中国夏季常见的一种伴有多种天气现象的中小尺度天气过程, 是伴有雷击和闪电的局地对流性天气, 它是大气不稳定状况的产物。它的发生通常伴有大风、暴雨、冰雹、龙卷风等, 是一种严重的灾害性天气, 造成人员和牲畜伤亡, 击毁房屋、电力和通信系统, 引起森林大火, 造成计算机信息系统中断、油田燃烧甚至爆炸, 使人民的财产和人身安全受到了危害。同时, 雷电灾害被联合国有关组织列为“最严重的 10 种自然灾害之一”, 并被 IEC(国际电工委员会)确定为“电子化时代的一大公害”^[1], 因此研究雷暴气候特征及其变化, 对进一步完善防雷安全生产监管体系建设, 提高雷电灾害防御能力, 最大限度地减少雷电灾害损失, 有着非常重要的意义, 具有显著的社会和经济效益。

近年来中国已有不少学者对雷暴的活动进行了不同程度的研究。巩崇水等^[2]将近 30 a 年平均雷暴日的空间分为东南、西南高发区, 东北次高区和西北低发区, 并指出中国北方地区的雷暴总体表现为减少趋势, 但南方却是先减少后增多。常煜等^[3]基于 1971~2011 年 16 站数据, 得出呼伦贝尔市雷暴日近 41 a 总体呈减少趋向, 雷暴大都发生在夏季 7 月, 并且 13:00~15:00 出现频次较高。柳志慧等^[4]利用气象站 1980~2013

年雷暴以及高空数据, 对阿克苏及邻近地区雷暴天气的环流形势进行分类, 并运用逐步回归法, 建立区域雷暴概率回归预报模型。程胡华等^[5]对山西岚岚地区雷暴气候特征进行分析, 发现该地区雷暴活动具有非常明显的季节性和时间性特征。王学良等^[6]运用 1961~2013 年 722 个台站数据, 给出了中国雷暴日数的时空分布及其变化特征, 指出了中国年平均雷暴日数在波动中整体呈减少趋势。霍广勇等^[7]分析了 1961~2010 年新疆雷暴的时空分布和变化特征, 得出新疆雷暴分布地域性强, 全疆大部分地区呈减少趋势, 北疆减少趋势大于南疆的结论。但目前, 对于自人工观测雷暴日以来至结束的 63 a 来(1951~2013 年)新疆雷暴气候变化特征及其与地闪密度的研究, 却相对较少。

主要运用新疆 1951~2013 年的雷暴日数观测和 2013 年闪电定位系统 ADTD(active directory topology diagrammer)监测的地闪资料, 采用数理统计、线性倾向法、Morlet 小波分析、Mann-kendall 方法和克里金插值等方法, 全面的分析新疆雷暴活动的年、季、月、日变化特征规律及雷暴日数与地闪密度的关系, 有利于掌握当地的雷电活动规律, 为新疆长期气候变化的研究提供基础参数, 为油库、气库、弹药库、化学品仓库、烟花爆竹、石化等易燃易爆建设工程和场所, 雷电易发区内的矿区、旅游景点等重点场所建设项目的选址和综合雷电防御以及防雷安全生产监管, 提供一定的科学基础数据和决策依据, 进而为新疆的防雷减灾工作做出一定的贡献。

收稿日期: 2018-05-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41505025); 新疆气象局科研资助项目(MS201808)

1 资料与方法

1.1 资料

通过全疆 105 个地面观测站 1951–2013 年的雷暴观测数据及 2013 年闪电定位仪监测的地闪资料,对新疆 63 a 来雷暴气候特征及雷暴日数与地闪密度关系进行了详细的分析研究。雷暴统计方法:一日内不论发生多少次雷暴均按一个雷暴日计算;若某一次雷暴跨越 20:00,按两个雷暴日计算;将原始数据中记录为 32766 类型的 52 个缺测数据,矫正为 0,参与平均值计算;对于建站较晚的气象站,均参与平均值的计算,不予剔除。

新疆地闪定位监测网于 2011 年 7 月–2012 年 11 月安装完成,至今共布设了 49 个监测站点,布设基线距离是 180 km。对 2013 年地闪资料的运用,首先剔除了疆外无意义的的数据;其次,剔除了人工观测雷暴初始之前与终止日之后的数据;再次,剔除了因云闪干扰的小幅值电流 $-2 \sim 2 \text{ kA}$ ^[8] 的数据;最后,将回击数据按照时间在 0.5 s 和距离在 10 km 范围之内的方法进行归并^[9–10]。

1.2 方法

主要利用气候趋势法、Morlet 小波分析和 Mann-Kendall 突变检验等统计方法,季节区划采用 3–5 月为春季,6–8 月为夏季,9–10 月为秋季,12–次年 2 月为冬季。

2 结果与分析

2.1 年变化特征及趋势分析

2.1.1 空间分布特征

利用新疆 105 个站点 1951–2013 年的雷暴日资料,选择克里金插值法,绘制新疆年均雷暴日数的等值线图(图 1)。从图 1 可知,新疆年均雷暴日数等值线分布差异较大,总体表现为南北走向的纬向形式,从南到北渐渐增多,空间分布表现为北部大于南部,西部大于东部。年均雷暴日数高值区,出现在新疆西北部的昭苏、特克斯、(乌孙山脉南侧的昭特盆地)温泉、巴音布鲁克以及西南部的阿合奇、乌什、柯坪、拜城,年平均雷暴日数达 42.5 ~ 83.9 d (40 ~ 90),其中昭苏、阿合奇、特克斯 3 站,年均雷暴日数最多,分别为 83.9 d、56.7 d、55.6 d,这与高婧等^[11]得出的昭苏、特克斯为

年均雷暴日最多站相一致,与徐桂玉等^[12]研究的多雷暴带与主要山地、迎风坡分布密切相关的结论相吻合,与水体资源的空间分布相一致。

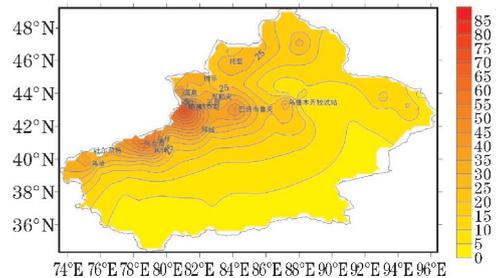


图 1 新疆年均雷暴日等值线分布

其次是阿勒泰地区的西部、北部和福海,塔城地区的西部以及克拉玛依,博州的北部以及乌苏和炮台,伊犁河流域和天山山区一带,阿克苏地区的东北部和南部,克州的中东部及吐尔尕特,喀什地区的西部,巴州的北部,吐鲁番市的库米什,哈密市的巴里坤和伊吾,年平均雷暴日在 15.5 ~ 37.8 d (15 ~ 40);年平均雷暴日低值区出现在和田地区、塔里木盆地、巴州、吐鲁番市、哈密市的大部,年均雷暴日小于 15 d,其中以于田和洛浦县最低,均为 3 d,仅为年均雷暴日最高值(昭苏)的 1/28。

2.1.2 雷暴演变的周期性特征——小波分析

图 2 显示了雷暴发生的时间尺度特征,信号强弱由小波系数的实部等值线表示,并以不同的色彩值填充,颜色由亮到暗代表数值由大到小,实线代表正值中心,虚线代表负值中心。

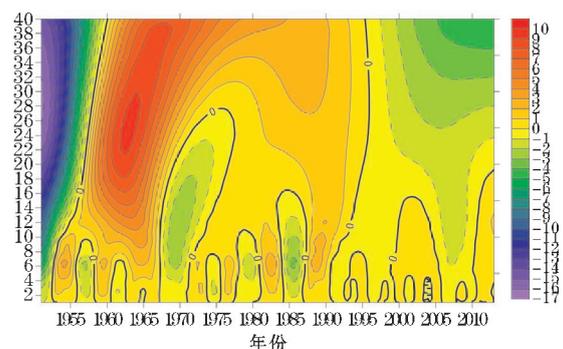


图 2 新疆年均雷暴日小波系数实部

从图 2 可以看出,在雷暴日序列演变过程中存在着 2 ~ 8 a, 10 ~ 20 a, 24 ~ 30 a 左右的 3 类尺度的周期变化规律。其中周期性较明显的 2 ~ 8 a,为雷暴日数年变化的第一主周期,周期性最显著,呈现较明显的正负闭合中心,且在 1952–1990 年表现相对突出,存在准 5 次震荡;10 ~ 20 a 时间尺度,具有局部性,存在准 1 次震荡,在 1957–1975 年周期性较强;24 ~ 30 a 左右时间尺度周期性不明显且具有局部性,在 2000 年后表现较

稳定。

图3是新疆地区近63 a雷暴日数周期谱特征,图3(b)中黑色粗线为通过95%的信度检验,(c)红色虚线为95%置信度。由图3(a)可知,合成序号时序曲线整体上看不到清晰的变化周期。从图3(b)发现功率谱比较显著的是2~8 a,而10~20 a和24~30 a的功率谱没有通过95%的信度检验。可见新疆近63年均雷暴日存在2~8 a、10~20 a和24~30 a的变化周期,其中2~8 a的周期最为显著,是其变化的主周期,其余周期不显著。由图3(c)可知,2~8 a的功率谱通过了95%的显著性水平,尽管周期10~20 a和24~30 a的功率谱没有通过显著性检验,但谱值也很显著。另外,图3(d)为主要周期2~8 a的尺度平均功率谱,可以发现对于2~8 a周期变化,1951~1959年表现最强,其他年份均较弱。

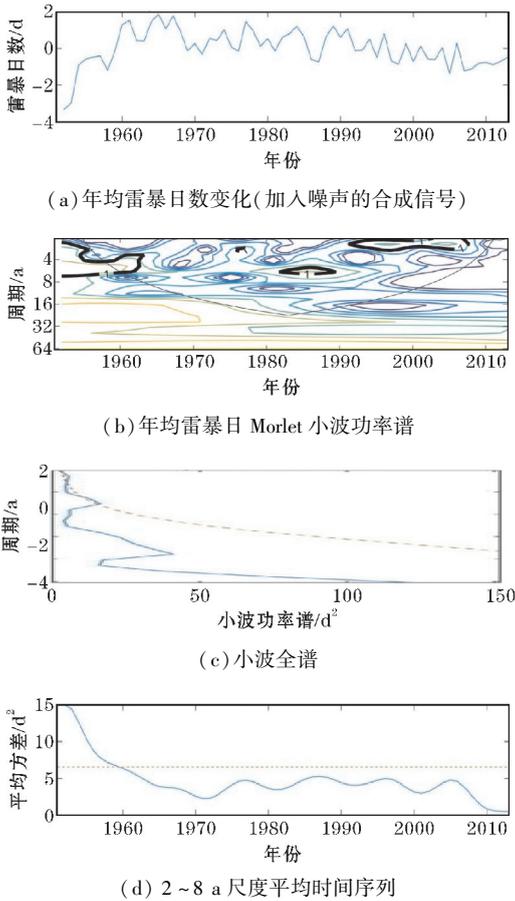


图3 新疆年均雷暴日数周期谱

2.1.3 雷暴气候的趋势分析

由图4可知,雷暴日的年际变化很大,尤其是1960年、1964年左右以及1966年左右和1976年波动情况比较明显。对雷暴日峰值点进行分析,在1960年、1964年、1966年、1976年出现了阶段性雷暴日峰值,往往伴随着接下来的年份里可能出现比较小的年均雷暴日数,且趋于稳定,从这个波动变化推测,可能

存在一定的周期性。从整体来看,1951~2013年新疆年均雷暴日数在波动中减少。对此新疆雷暴日数据,运用最小二乘法计算年均雷暴日数的趋势定量变化一次线性方程为: $y=0.03x+77.165$,其中气候倾向率为0.3 d/10 a,表示新疆从1964年开始,年均雷暴日数整体上表现出递减变化,每10 a减少约0.3 d。

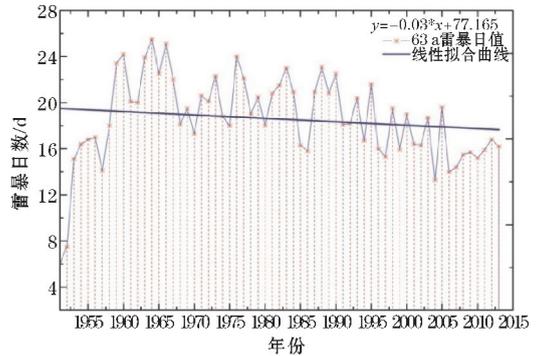


图4 新疆年均雷暴日数折线趋势

2.1.4 Mann-Kendall 突变检验

从M-K突变检验图5可以看出:由UB曲线可见,从1954~1985年,新疆年均雷暴日有明显增多趋势。其中,20世纪60至70年代这种增多现象都高于显著性水平0.05临界值,更高于0.001显著性程度($\mu_{0.001} = 2.56$),表明新疆年均雷暴日数增多趋势非常明显。从1999年开始,新疆年均雷暴日数发生了减少的突变现象;1999、2000年为年均雷暴日突变点。

由UF来看,自1951~2000年,新疆年均雷暴日呈下降状态,其中1988年以前,此类下降现象均高于显著性水平0.05临界值,更高于0.001显著性水平($\mu_{0.001} = 2.56$),表明新疆1951~2013年年均雷暴日数下降现象非常明显。

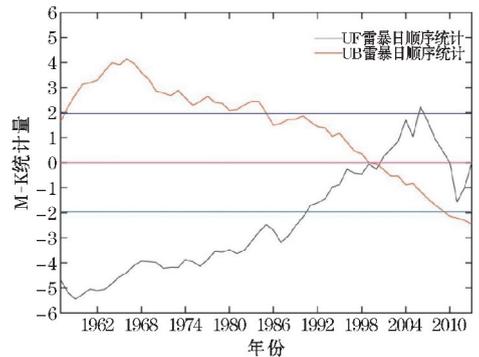
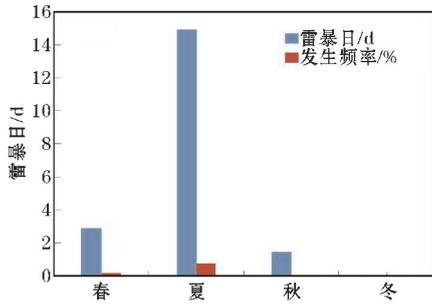


图5 新疆年均雷暴日数 M-K 突变检验

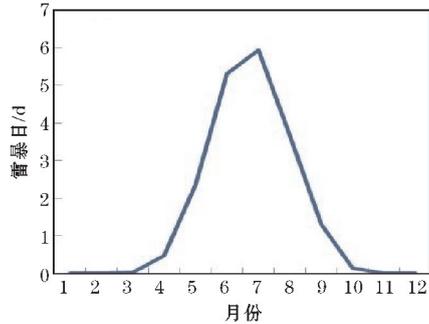
2.2 季、月变化特征及趋势分析

由新疆1951~2013年的雷暴资料统计结果图6可以看出,新疆月均雷暴日变化呈明显的单峰型,只有1月没有雷暴出现,其余月份都有出现。一年中99.8%的雷暴日发生在4~10月,以夏季出现最多,出

现雷暴日数15 d,是春、秋、冬季累计平均发生日数的3.4倍。其中7月份达到峰值,月平均雷暴日数为6 d,出现频率为30.8%;6月、8月雷暴日数仅低于7月,分别占雷暴发生总日数的27.6%、19.1%。春末秋初次之,出现频率分别为12.3%、6.8%。但历年的12月至翌年2月新疆雷暴发生的概率很小,这与纪晓玲等^[13]冬季出现雷暴的概率非常小的研究结果相似。



(a) 季变化



(b) 月变化

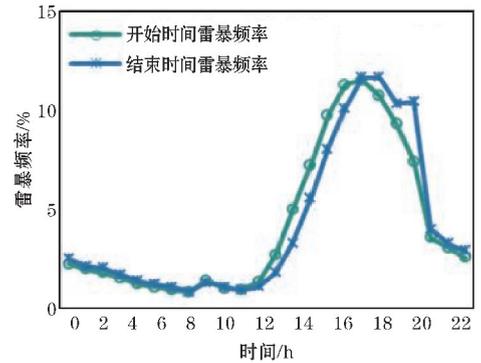
图6 新疆平均雷暴日数季变化、月变化

上述分析可以看出,造成这种分布的原因是:新疆春季气温回升,地面接收热量增多,对大气结构特征有显著性影响,高空中水汽增多是发生雷暴的重要条件。夏季(6-8月)热力和水汽条件比其他季节充裕,大气环流最为活跃,带来较为丰富的水汽资源,造成雷暴活动频繁发生。秋季太阳辐射减少,气温逐渐降低,雷暴活动减少。冬季辐射降到最低,气温均在零下,空气湿度较小,几乎没有雷暴发生。

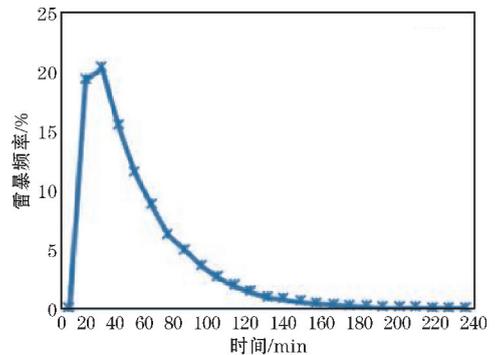
2.3 日变化特征及趋势分析

从图7(a)雷暴日变化特征中可以看出,在21日-次日11时,开始时间和结束时间的雷暴频率变化曲线一致,且雷暴频率均以14-20时居高,雷暴次数分别为总雷暴数的67.1%、67.7%。其中,开始时间雷暴呈明显的单峰型分布形式,雷暴频率在16-18时达到最高,此时间段开始的雷暴次数约占总数的33.5%,此外21-24时、24-03时开始的雷暴分别占总数的11.3%和5.3%;而结束时间雷暴频率则在16-20时达到最高,此时间段结束的雷暴次数约占总数的54.1%,另外

21-24时、24-03时结束的雷暴分别占总数的12.6%和5.8%。由此可见,雷暴开始和结束时间大致为正午增多、午后最强、夜间减少、凌晨最弱。



(a) 开始、结束时间



(b) 持续时间

图7 新疆雷暴开始、结束和持续时间频率分布

从雷暴的持续时间频率分布图7(b)可知,雷暴持续时间在10~20 min的最多,约占总数的39.5%,持续时间在30~40 min的雷暴次之,约占总数的26.9%,且随着持续增长,雷暴次数逐渐减少,这一结论与任景轩等^[14]的研究结果相符合。

2.4 雷暴日数与地闪密度的关系

2.4.1 雷暴日数与地闪密度拟合

为便于数据的对比拟合分析,选择同时存在的2013年的新疆雷暴日和地闪数据,以既有人工观测站又有闪电定位监测站的县级行政区域为单位,来统计和计算新疆80个县级区域雷暴日数 T_d 和各个区域内地闪密度 N_g ($N_g = N/S$, N 为地闪次数; S 为县级行政区域面积),并将2013年80个人工观测站的雷暴日数和地闪密度进行拟合,由图8可以发现幂模型比线性模型效果要好,得到新疆地闪密度与雷暴日的关系与: $N_g = 0.0038 T_d^{0.8863}$ ($R^2 = 0.3988$),相关系数 $R = 0.6315$, $F = 5.1395$,临界值 $F_{0.05}(1, 158) = 3.90$, $F > F_{0.05}(1, 158)$,并且此拟合方程通过了0.05显著性水平

检验。这与王学良等^[15]、朱浩等^[16]所得出的 $N_g = 0.029T_d^{1.5}$ 、 $N_g = 0.0281T_d^{1.369}$ 拟合结论有一定的差别。

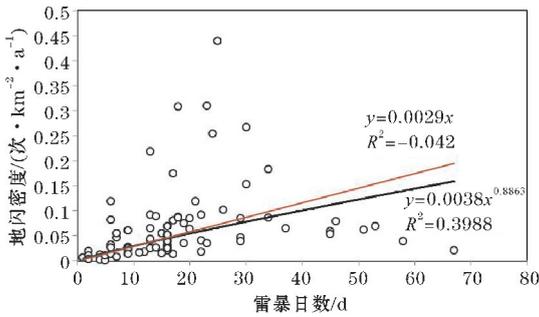


图8 新疆雷暴日与地闪密度分布散点图

2.4.2 地闪密度与规范中计算结果比较

由图9可知,在80个样本中,2013年新疆闪电定位仪监测数据计算的实地闪密度均小于《GB50057-2010 建筑物防雷设计规范》(以下简称规范)中 $N_g = 0.1T_d$ 和1994版规范提出的 $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ 公式计算所得的值,并且与规范中运用的 $N_g = 0.1T_d$ 曲线变化差异很大,这可能主要是由于新疆地广人稀,闪电定位仪的安装布设距离较长,覆盖度不够,且个别偏远艰苦的山区尚未建站,造成的新疆地区地闪密度值整体偏小。由此可见,1994版和2010版规范中提出的 $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ 、 $N_g = 0.1T_d$ 计算模型,并不完全适合中国所有地区,各省市宜对数据进行修改和订正。

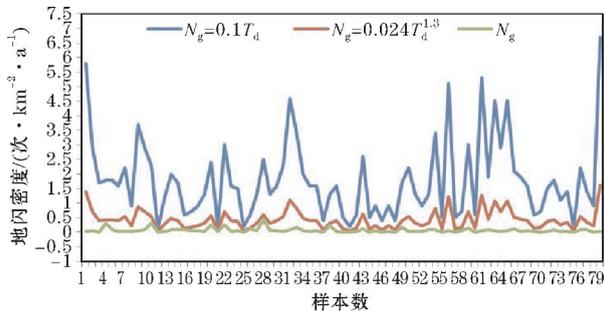


图9 新疆实际监测地闪密度与规范中公式 $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ 和 $N_g = 0.1T_d$ 计算的地闪密度分布

3 结论

(1)新疆年均雷暴日数分布差异较大,呈南北走向的纬向变化,由南向北渐渐增多;空间分布呈现出北部高于南部,西部高于东部。新疆年均雷暴日数在波动中减少,以0.3 d/10 a的气候倾向率逐年递减,并存在2~8 a,10~20 a,24~30 a的3类尺度的周期变化规律。1951-2013年新疆年均雷暴日下降趋势甚至高于0.001显著性水平($\mu_{0.001} = 2.56$),下降趋势十分明显。

(2)新疆月均雷暴日变化呈明显的单峰型,只有1

月没有雷暴出现,其余月份都有出现。一年中99.8%的雷暴日发生在4-10月,以夏季出现最多,7月达到峰值,春末秋初次之,历年的12月至次年2月新疆发生雷暴的概率很小。

(3)新疆在21日-次日11时,开始和结束时间的雷暴频率变化曲线一致,且雷暴频率均以14-20时居高。雷暴的开始和结束时间大致为正午增多、午后最强、夜间减少、凌晨最弱。雷暴持续时间在10~20 min的最多,约占总数的39.5%,且随着持续增长,雷暴次数逐渐减少。

(4)新疆地闪密度与雷暴日的拟合方程为 $N_g = 0.0038T_d^{0.8863}$,并且通过了0.05显著性水平检验。闪电定位仪监测数据计算的实地闪密度整体均小于规范中 $N_g = 0.1T_d$ 和1994版规范中 $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ 公式计算所得的值,并且与规范中采用的 $N_g = 0.1T_d$ 曲线存在很大的差异。

参考文献:

- [1] 马明,吕伟涛,张义军,等. 1997-2006年我国雷电灾情特征[J]. 应用气象学报,2008,19(4): 394-395.
- [2] 巩崇水,曾淑玲,王嘉媛,等. 近30年中国雷暴天气气候特征分析[J]. 高原气象,2013,32(5): 1442-1449.
- [3] 常煜,姜凤友,阴秀霞. 呼伦贝尔市1971-2011年雷暴时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(4): 40-46.
- [4] 柳志慧,王式功,尚可政,等. 天山南麓雷暴日短期预报研究[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(2): 43-49.
- [5] 程胡华,焦育忠,段龙飞,等. 山西岢岚地区雷暴气候统计特征及其严重年大气环流背景[J]. 干旱气象,2016,34(4): 640-647.
- [6] 王学良,余田野,汪姿荷,等. 1961-2013年中国雷暴气候特征及东亚夏季风影响研究[J]. 暴雨灾害,2016,35(5): 471-481.
- [7] 霍广勇,江远安,史红政,等. 1961-2010年新疆雷暴时空分布及其变化特征[J]. 冰川冻土,2013,35(5): 1156-1164.
- [8] 李家启,栾健,王鹏,等. 闪电定位资料质量控制中小幅值地闪范围的研究[J]. 高电压技术,2014,40(3): 727-731.
- [9] Zheng D, Zhang Y, Meng Q, et al. Climatological Comparison of Small-and Large-Current Cloud-to-

- Ground Lightning Flashes over Southern China [J]. *Journal of Climate*, 2016, 29(8): 2831–2848.
- [10] Yang Xinlin, Sun Jianhua, Li Wanli. An Analysis of Cloud-to-Ground Lightning in China during 2010-13[J]. *Weather & Forecasting*, 2014, 30(6): 1537–1550.
- [11] 高婧,井立军,井立红,等. 1961–2009年伊犁疆雷暴气候特征分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2011, 5(4): 14–19.
- [12] 徐桂玉,杨修群. 我国南方雷暴的气候特征研究[J]. *气象科学*, 2001, 21(3): 299–307.
- [13] 纪晓玲,穆建华,周虎,等. 45a来宁夏雷暴气候统计特征及趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(4): 744–749.
- [14] 任景轩,徐志升,陈琦,等. 近54年四川雷暴气候特征分析[J]. *高原山地气象研究*, 2015, 35(3): 62–67.
- [15] 王学良,张科杰,黄小彦,等. 湖北省雷暴日数与云地闪密度关系研究[J]. *气象*, 2012, 38(6): 728–732.
- [16] 朱浩,孙浩,王凯,等. 安徽省云地闪密度与雷暴日数关系的研究[J]. *气象与环境学报*, 2018, 34(1): 61–68.

Analysis on Climatic Characteristics of Thunderstorm and its Relationship with Cloud-to-Ground Lightning Density in Xinjiang

WANG Yanhui¹, ZHANG Jiantao², HE Qing², HAN Xueyun³, YU Xiaojing², JIAO Yang¹, QIAN Yong¹

(1. Meteorological Disaster Prevention Technology Center of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830002, China; 2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 3. Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002, China)

Abstract: For the problems which was studied relatively lack on long time scales nearly 63 a thunderstorm climatic features and its relationship with the ground flash density in Xinjiang, combined with the artificial observation thunderstorm data and the cloud-to-ground (CG) lightning data which was obtained by the ADTD, adopted climate trend method, wavelet analysis and Mann Kendall mutation testing method, etc. It was analyzed and concluded that: annual average thunderstorm day in Xinjiang increased gradually from the south to the north, and it was much more in the west than the east. The annual average thunderstorm day in Xinjiang whole showed degressive changes, every 10 a reduced about 0.3 d, there were a periodic variational regularity of three kinds scales of 2–8 a, 10–20 a, 24–30 a at the same time. Monthly average thunderstorm day in Xinjiang presented evidently unimodal type. The thunderstorm of 99.8% throughout the year occurred in April to October, peaked in July. The start and end time of thunderstorm occurred mostly in 14:00–20:00, and the duration time was at most between 10–20 min, was 39.5% of the total thunderstorm number. The fitting relationship which was the exponential model of the CG lightning density and thunderstorm day in Xinjiang passed the significance level test of 0.05.

Keywords: lightning science and technology; lightning warning; thunderstorm; climatic characteristic; the cloud-to-ground lightning density; Xinjiang