

青海高原雷暴气候特征及其变化分析

胡 玲¹ 郭卫东³ 王振宇³ 汪青春^{2,3}

(1. 青海省气象科学研究所, 西宁 810001;
2. 中国气象局成都高原气象研究所; 3. 青海省气候中心)

提 要: 利用青海高原 41 个气象台站 1961—2007 年雷暴资料, 分析了雷暴活动的时空分布特征, 采用趋势系数、倾向率、绝对变率和滑动 t 检验等统计方法分析了雷暴变化趋势和振荡周期。结果表明: 近 47 年青海高原雷暴总体呈减少趋势, 但各区变化特征不一致, 雷暴多的地区减少趋势越明显, 雷暴最少的柴达木盆地变化不明显, 甚至略有增加; 雷暴初日表现为显著的推迟趋势, 雷暴终日呈显著的提前趋势, 雷暴期在缩短; 青海南部高原雷暴出现最早, 结束最晚, 柴达木盆地出现最晚, 结束最早; 年雷暴日数在 2000 年发生明显突变, 周期分析发现存在准 5 年周期振荡; 20 世纪 80 年代中期以后, 雷暴天气引起的雷击、暴雨灾害在逐年增多。

关键词: 青海高原 雷暴 气候特征

Climate Characteristics of Thunderstorm and Its Change in Qinghai Plateau

Hu Ling¹ Guo Weidong² Wang Zhenyu² Wang Qingchun²

(1. Meteorological Research Institute of Qinghai Province, Xining 810001;
2. Climate Center of Qinghai Province)

Abstract: Using the thunderstorm data of 41 meteorological stations in the Qinghai Plateau during 1961—2007, and the statistical methods of trend coefficient, the rate of tendency, absolute rate of change and sliding t -test, the temporal and spatial distribution characteristics, the trend of climate change and oscillation cycle of the thunderstorm are analyzed. The results have shown that: ① The total trend of thunderstorm has been decreasing in the Qinghai Plateau in the recent 47 years, but there exist the differences in some areas. When the thunderstorm in some areas occurs frequently, the decrease trend is more obvious there. However, it is not obvious in the Qaidam Basin with the least thunderstorm activity, even a

slight increase. ② The beginning day of thunderstorm is delayed significantly, the last day of thunderstorm is significantly ahead of normal condition, thus the period of annual thunderstorm is shortened. ③ The thunderstorm occurs earliest in southern Qinghai Plateau, and ends latest, while it occurs latest in the Qaidam Basin and ends earliest. ④ The days of annual thunderstorm show an abrupt change in 2000, it has a quasi-periodic oscillation of 5 years, lightning and rainstorm disasters have been increasing after the mid-1980s.

Key Words: Qinghai Plateau thunderstorm climate characteristics

引 言

雷电是伴有雷声和闪电现象的天气,气象上称为雷暴,是大气中的放电现象。在大气层中,云层间或云和地之间的电位差增大达到一定程度时,即发生猛烈放电现象(闪电)。每次放电时间很短但电流强度很大,释放出的大量热能可以使局部空气温度瞬间升高 1 万至 2 万 $^{\circ}\text{C}$ 。闪电击中地面或击中目标时就造成雷击,是一种危害程度很高的天气现象^[1-2]。雷暴常伴有大风、强降水或冰雹,对农林、交通、通讯、航空航天和国防等领域都会造成不利影响。青海地处青藏高原东部地区,海拔高、地形地貌复杂,是多山地和地表生态环境脆弱地区,也是对气候变化响应比较敏感的地区^[3-9]。近 20 多年来气候明显变暖,已引起人们的普遍关注。青海高原近 45 年来气候存在着变暖的总趋势,年降水量无明显的变化,夏半年(5—9 月)降水量和雨日呈减少趋势,但降水强度在增大,雷电、暴雨洪涝灾害事件在增多^[10-15]。我国将年均雷暴日 40 天以上的地区定义为多雷区,青海省除柴达木盆地年雷暴日数少于 40 天外,绝大部分地区年雷暴日数在 40 天以上,深入研究青海省雷暴形成机理和变化特征,对进一步做好雷电预警预报及防雷减灾工作具有重要的现实作用。国内^[2-9]很多专家从不同角度都对青藏高原以及西北地区的雷暴进行了深入研究,其中冯建英等^[4]利用二阶正交函数、

小波分析等方法研究西北地区各省区历年雷暴分布规律及变化特征,发现高原和高山雷暴最多,平川和盆地最少,各地雷暴的年变化都为单峰型,峰值在 7 月,年际变化各地都存在准 8 年周期振荡;王建兵^[5]、景怀玺等^[7]对甘肃雷暴的分布、初终日、变化特征等的研究,李亚丽等^[6]对陕西雷暴的变化研究,都得到了与冯建英基本一致的结果,雷暴天气近几十年呈减少趋势。本文利用青海 41 站 1961—2007 年雷暴资料,对青海高原年雷暴日数、雷暴初终日及其雷暴期的时空分布和变化特征进行了初步分析。

1 资料与方法

1.1 资料

青海省共有 56 个气象观测站,由于各地建站时间不一致以及个别气象站迁站或撤站等原因,本文只选取资料完整的 41 个观测站 1961—2007 年雷暴观测记录。在资料统计处理和数据分析时遵循以下原则:①在观测簿上只记录闪电而无雷暴记录的不作雷暴统计;②1 天之内发生数次雷暴只统计为 1 个雷暴日。③平均值用 1971—2000 年 30 年资料计算。

1.2 研究方法

1.2.1 气候趋势系数和倾向率

引入气候趋势系数和气候倾向率来研究

雷暴的线性倾向趋势和变化幅度^[12-13]。气候趋势系数表示为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

式中: R 为 n 个时间(年)的气候要素序列与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数; n 为年数; x_i 为第 i 年的气候要素值, \bar{x} 为其平均值; R 值的符号反映雷暴日增多或减少的变化趋势, $R < 0$ 表示雷暴日在计算时段内呈减少趋势, $R > 0$ 表示呈增加趋势。其变化趋势的显著程度用相关系数检验法,确定趋势是显著的,还是随机振动^[9-10]。将气候要素的趋势变化用一元线性方程表示为:

$$\omega_i = a_0 + a_1 t_i \quad (2)$$

其中 ω_i 为雷暴要素, t_i 为时间(本文为 1961—2007 年), a_1 为线性趋势项, $a_1 \times 10$ 表示雷暴要素的气候倾向率,反映气候要素每 10 年的变化率。

1.2.2 绝对变率

绝对变率反映气候要素序列的离散程度,绝对变率大表示气候序列变化幅度大;绝对变率越小表示气候序列变化幅度较小,或变化较为稳定。绝对变率表达式为:

$$D = \frac{1}{n} \sum |x_i - \bar{x}|, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (3)$$

上式中 D 为气象要素的绝对变率, x_i 为第 i 年的气候要素值, \bar{x} 为其平均值, n 为样本数。

雷暴的描述性统计、气候趋势系数、气候倾向率、统计检验分析利用 EXCEL 电子表格的数据分析工具完成。

2 结果与分析

2.1 初、终雷暴日的时空分布和变化趋势

2.1.1 初、终雷暴日的空间分布特征

图 1、图 2 分布是青海高原 1971—2000

年 30 年平均雷暴初、终日空间分布图。青海高原初、终雷暴日的地区差异较大,初雷暴日出现最早的是青海东南部,如班玛、囊谦,班玛平均初日为 3 月 29 日,囊谦为 3 月 30 日;初雷暴出现最晚的是柴达木盆地中部,如格尔木雷暴初日平均为 6 月 26 日,比高原东南部晚近 3 个月。雷暴终日出现最早的是柴达木盆地西北部的冷湖,冷湖终雷暴日平均为 7 月 12 日,终雷暴日出现最晚的是青海东南部的班玛、囊谦、久治,班玛平均为 10 月 21 日,囊谦、久治平均为 10 月 19 日。

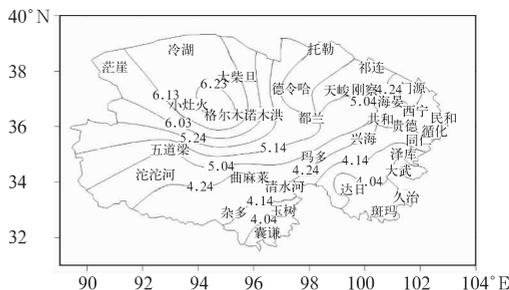


图 1 青海高原雷暴初日空间分布图(月、日)

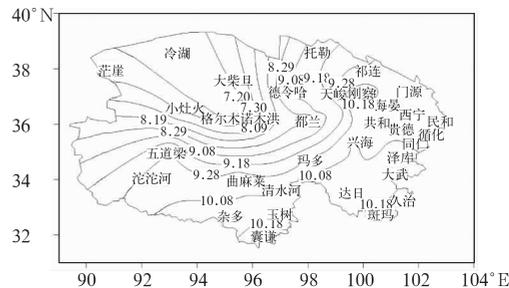


图 2 青海高原雷暴终日空间分布图(月、日)

根据青海高原自然地理单元和雷暴初、终日空间分布,可划分为柴达木盆地区(格尔木、德令哈、都兰、大柴旦、冷湖、茫崖)、祁连山区(刚察、门源、祁连、托勒)、东部农业区(民和、西宁、贵德、共和、)、黄河源区(兴海、达日、泽库、玛多、同仁和大武)、长江源区(昂欠、清水河、玉树、杂多、伍道梁、沱沱河)五个区。表 1 为青海高原不同地域初、终雷暴日及变化趋势系数。由表 1 看出,青海南部高

原的黄河源区、长江源区雷暴出现最早,初日平均在 4 月中旬,最早可在 1 月上旬出现,柴达木盆地初日出现最晚,平均在 5 月下旬。柴达木盆地雷暴日结束的也最早,雷暴终日平均出现在 8 月 9 日,长江源区雷暴日结束的最晚,雷暴终日平均出现在 11 月 7 日,最

晚出现日为 11 月 28 日。

不同地域初、终雷暴日的绝对变率,雷暴初日的变率大于终日的变率,说明雷暴初日变化幅度大于雷暴终日变化幅度。青海南部高原初、终雷暴日的变化幅度最小,柴达木盆地最大。

表 1 不同地域初、终雷暴日及变化趋势系数(1961—2007 年)

项目	区域	平均日期	最早日期	最晚日期	趋势系数	绝对变率
雷暴初日	柴达木盆地	5月29日	3月26日	9月10日	-0.142	10.9
	祁连山区	4月28日	3月8日	6月26日	0.352*	7.6
	东部农业区	4月24日	3月12日	6月14日	0.279	8.3
	黄河源区	4月13日	1月9日	5月30日	0.233	7.6
	长江源区	4月15日	1月2日	6月6日	0.427**	7.0
雷暴终日	柴达木盆地	8月9日	5月5日	10月14日	-0.025	11.0
	祁连山区	9月29日	8月23日	11月10日	-0.235	6.5
	东部农业区	10月2日	8月29日	11月13日	-0.217	6.8
	黄河源区	10月9日	9月6日	11月10日	-0.235	4.8
	长江源区	10月7日	9月4日	11月28日	0.012	4.5

注: *、** 分别表示趋势系数达到 0.02 和 0.01 的显著性检验

2.1.2 初、终雷暴日的变化趋势

分析青海柴达木盆地、东部农业区、祁连山地区、黄河源区、长江源区不同自然区域 1961—2007 年初、终雷暴日年代际变化(表略)。由不同地域初、终雷暴日的年代际变化和表 1 趋势系数可见:雷暴初日除柴达木盆地提前外,其他区域雷暴初日出现推后的趋势,以长江源区和祁连山区最显著。长江源区 20 世纪 60 年代平均初日为 4 月 11 日,到 21 世纪前 7 年平均初雷日为 4 月 23 日,推后 12 天。全省平均而言雷暴初日推迟 5 天。雷暴终日除长江源区推迟外,其他区域雷暴终日出现提前的趋势,以祁连山区较显著,20 世纪 60 年代平均终日为 10 月 2 日,到 21 世纪前 7 年平均终雷日变为 9 月 24 日,提前 8 天,全省平均而言雷暴终日提前 4 天。

图 3 是青海高原平均雷暴初终日的年际变化图。近 47 年青海高原雷暴初日表现为显著的推迟趋势,平均每 10 年推后约 2 天。同样,分析了青海高原雷暴终日的变化趋势,

发现近 47 年雷暴终日呈显提前趋势,平均每 10 年提早 1 天。

2.2 雷暴期和雷暴日数变化特征

2.2.1 雷暴期、雷暴日数的年代际变化

将每年雷暴初日、终日之间的时间称为有雷期,即雷暴期。青海高原平均(41 个代表站平均)雷暴期为 148 天(表 2),黄河源区、长江源区雷暴期最长在 175 天以上,柴达木盆地雷暴期最短,只有 72 天。从年雷暴期的趋势系数来看,除柴达木盆地外雷暴期均在缩短。如祁连山区由 20 世纪 60 年代的 160 天减少至近 10 年不足 150 天,气候倾向率为 -3.7 天/10 年。

在雷暴期内,雷暴频次也有较大的变化。由表 2 可见,20 世纪 60、70 年代年雷暴次数明显多于 20 世纪 80、90 年代。青海高原年雷暴日数平均为 42 天,长江源区年雷暴日数最多为 64 天,其次黄河源区为 51 天,柴达木盆地最少为 10 天。整个青海高原除柴达木

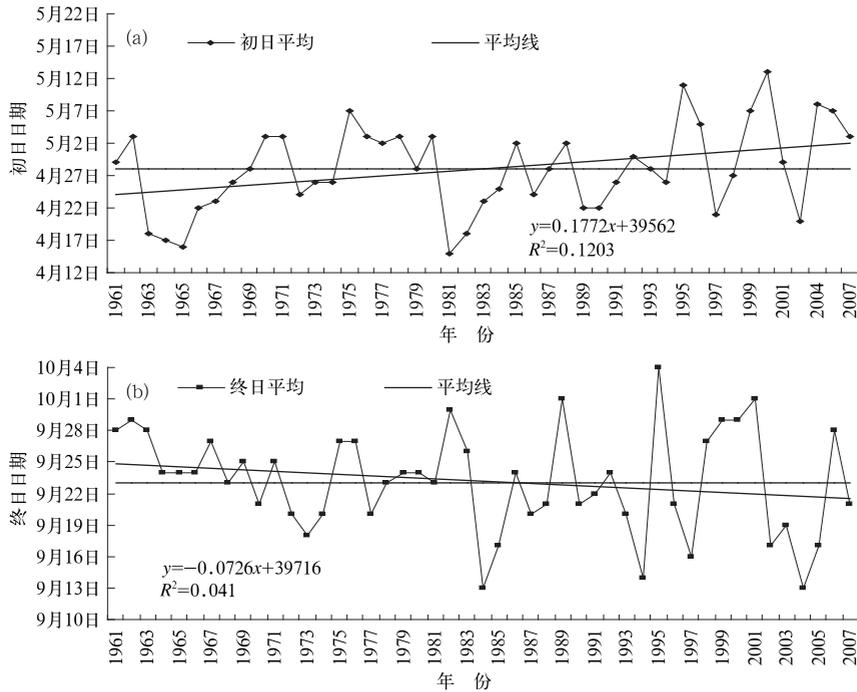


图 3 青海高原平均雷暴初、终日的年代际变化图

表 2 年雷暴期、雷暴日数的年代际特征及变化趋势

区域	20 世纪 60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2001—2007 年	多年平均	趋势系数	倾向率(天/10 年)
柴达木盆地	76/9	60/10	75/10	70/9	81/10	72/10	0.078/-0.036	1.2/-0.1
祁连山区	160/54	155/49	158/50	149/46	145/36	154/48	-0.457/-0.655	-3.7/-3.6
东部农业区	170/45	160/38	166/37	156/37	154/39	162/38	-0.347/-0.580	-3.5/-2.9
黄河源区	185/58	176/52	184/53	177/47	172/43	179/51	-0.359/-0.620	-2.7/-3.8
长江源区	178/70	176/71	175/67	174/59	168/49	175/64	-0.366/-0.700	-2.7/-5.2
平均	154/47	146/44	152/43	145/40	144/34	148/42	-0.411/-0.771	-2.3/-3.1

注:表中各年代数据为各年代平均年雷暴期和年雷暴日数,表示为“雷暴期/雷暴日数”。

盆地外,年雷暴日数呈明显的减少趋势,平均倾向率为 3 天/10 年。长江源区和黄河源区减少最为明显,气候倾向率分别为 4 天/10 年、5 天/10 年。

图 4 为青海高原年雷暴日数气候趋势系数的空间分布图。可以看出大部分地区年雷暴日数随时间的变化呈明显减少趋势,参照图 6 可以看出,年雷暴日数多的地区雷暴日数的减少趋势越明显,而雷暴日数最少的柴达木盆地雷暴日数变化不明显,柴达木盆地中部还有略微增加的趋势。青南地区东南部及南部地区的沱沱河、杂多、囊谦、达日、河南;环湖地区的刚察、门源、共和;东部地区的

大通、互助、民和等地雷暴日数减少趋势较大。个别台站小灶火、大柴旦、格尔木、诺木洪、西宁等地区雷暴日数则略有增加。

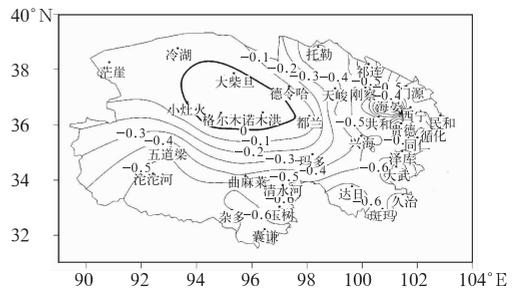


图 4 年雷暴日数气候趋势系数分布图

图 5 为青海高原年平均雷暴日数的年际

变化曲线,可以看出青海高原年平均雷暴日数随时间变化呈明显减少趋势,每 10 年减少 3.1 天,通过 0.001 的显著性检验。这与冯建英等^[4]、王建兵^[5]得到的青海以及西北地区雷暴的年际变化呈明显减少趋势的结论是一致的。

根据年平均雷暴日数的累积距平曲线,雷暴年变化大致可以分为两个主要的阶段,1961—1989 年的相对多雷暴期和 1990—2007 年的相对少雷暴期。根据各段中的变

化幅度,又可细分为 4 个小的阶段,1961—1968 年为雷暴最多期,1969—1989 年,1990—1999 年为相对稳定期,2000—2007 年为雷暴最少期。

分析 1961—2007 年 4—10 月各月雷暴日数的年际变化,发现 4—10 月雷暴日数均呈不同程度的下降趋势。夏季减少趋势最为明显,其中 8 月和 6 月减少最为明显。春季(4—5 月)减少趋势较秋季(9—10 月)明显。

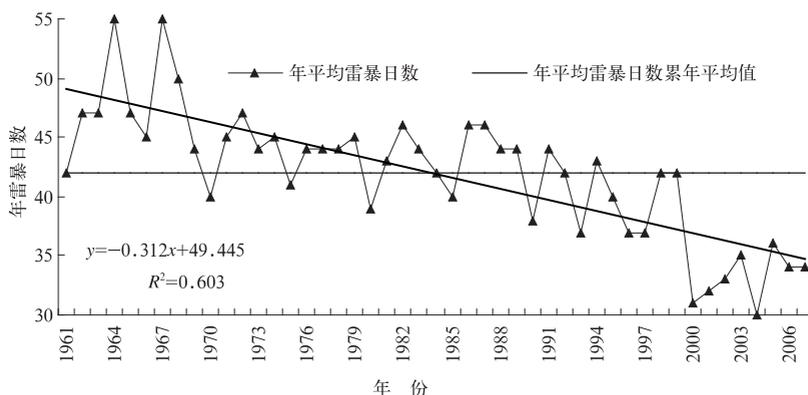


图 5 青海高原年平均雷暴日数的年际变化曲线

2.2.2 雷暴日数的季节变化

青海高原雷暴的年内分布为单峰型分布,雷暴主要发生在 4—10 月,占全年发生总数的 99.6%,夏季发生的占全年总数的 67.4%,7 月发生次数最多,占全年总数的 25.0%,11 月至次年 2 月,除个别年个别站发生过雷暴外,基本上无雷暴发生。

2.2.3 年平均雷暴日数的突变和周期分析

由于突变分析和时间尺度关系密切,根据 5、10、15、20 年等不同时间尺度,采用滑动 t 检验^[9]进行青海省年平均雷暴日数的突变检验,取连续通过 0.01 显著性水平检验中最大值出现的年份作为突变年。根据 5 年时间尺度检验的突变结果将资料截断为 1961—1999 年,再次根据不同时间尺度检验突变,发现各时间尺度均未出现明显的突变,从而证明 2000—2007 年年平均雷暴日数异常偏少导致突变现象的发生。2000—2007 年年平均雷暴日数只有 30.9 次,较 1961—2007 年平均雷暴日数少了 8.7 次,较 1961—1999 年平均

值少了 10.5 次。从而确定 2000 年才是真正的突变年。

利用功率谱和最大熵谱分析,均发现了准 5 年的显著周期。与其他人的研究成果不符,未发现准 8 年的显著周期,究其原因,可能是由于前人多是使用单站序列分析周期,而本文使用的是全省平均序列,由于各站的周期变化和位相不一致,导致全省平均序列无法反映出 8 年周期,前人^[4]对青海单站雷暴变化的分析,也曾发现准 8 年的周期振荡。

2.3 青海高原雷暴日数的空间分布特征

利用代表站 1971—2000 年 30 年年雷暴日数平均值分析青海高原雷暴日数的空间分布(图 6),年雷暴日数的空间分布基本呈南多北少的纬向分布,但祁连山附近地区存在一个 50~60 天的高值区。雷暴多发中心在青南地区南部的囊谦、杂多一带,年雷暴日数在 70 天左右,其中囊谦年雷暴日数达 75.5 天;另一中心在祁连山附近地区、其中包括门

源、刚察、大通、互助等地,年雷暴日数在 50~60 天之间;柴达木盆地是青海高原雷暴最少的地区,年雷暴日数在 10 天以下,其中格尔木、诺木洪、冷湖等地少于 5 天,而该地区也是我国雷暴发生最少的地区之一。东部农业区的黄河、湟水谷地也是一个低值中心,年雷暴日数在 30~40 天之间。对青海高原短时强降水的分析,发现雷暴分布特征和青海省夏季短时强降水分布特征非常相似,说明短时强降水是造成雷暴的主要天气原因。

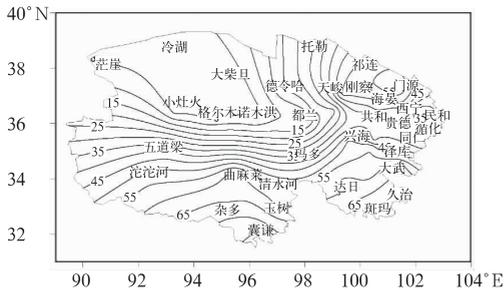


图 6 青海高原年雷暴日数分布

3 结论

(1) 青海南部高原黄河源区、长江源区雷暴出现最早,初日平均在 4 月中旬,柴达木盆地初日出现最晚,平均为 5 月下旬。柴达木盆地雷暴日结束的也最早,雷暴终日平均出现在 8 月 9 日,长江源区雷暴日结束的最晚,雷暴终日平均出现在 10 月 7 日。雷暴初日的变率大于终日的变率。近 47 年青海高原雷暴初日表现为显著的推迟出现趋势,平均每 10 年推后约 2 天,雷暴终日呈提前趋势,平均每 10 年提早 1 天,雷暴期在缩短。

(2) 青海高原大部分地区年雷暴日数呈明显减少趋势,柴达木盆地变化趋势不明显,部分地区还有略微增加的趋势。青海高原年平均雷暴日数每 10 年减少 3.1 天。年平均雷暴日数在 2000 年发生明显突变,2000—2007 年雷暴日数的异常偏少,造成突变现象的发生。年平均雷暴日数存在准 5 年周期。

(3) 青海高原雷暴日数的年内分布为单峰型分布,雷暴主要发生在 4—10 月,占全年

发生总数的 99.6%,4—10 月雷暴日数各月均呈不同程度的下降趋势,6 月、8 月减少趋势最为明显。

(4) 年雷暴日数的空间分布基本呈南多北少的纬向分布,雷暴多发中心在青南地区南部的囊谦、杂多一带,柴达木盆地是青海雷暴最少的地区,也是我国雷暴发生最少的地区之一。

(5) 近年来青海高原雷暴日数的减少与夏半年(5—9 月)降水日数的减少有关,虽然雷暴日数在逐年减少,但雷暴天气引起的雷击、暴雨灾害在逐年增多,尤其是进入 20 世纪 80 年代中期以后,增多趋势更加明显。

参考文献

- [1] 林建,曲晓波. 中国雷电事件的时空分布特征[J]. 气象, 2008, 34(1): 22-30.
- [2] 张廷龙, 鄯秀书, 言穆弘. 青藏高原雷暴的闪电特征及其成因探讨[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 774-782.
- [3] 张翠华, 言穆弘, 董万胜, 等. 青藏高原雷暴天气层结构特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 741-747.
- [4] 冯建英, 陈佩璇, 梁东升. 西北地区雷暴的气候特征及其变化规律[J]. 甘肃科学学报, 2007, 19(3): 71-74.
- [5] 王建兵. 甘南高原雷暴的气候特征[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 51-55.
- [6] 李亚丽, 杜继稳, 鲁渊平, 等. 陕西雷暴灾害及时空分布特征[J]. 灾害学, 2005, 20(3): 99-102.
- [7] 景怀玺, 石圆圆, 白虎志. 甘肃中部雷暴天气变化的气候特征分析. 干旱气象, 2007, 25(1): 53-57.
- [8] 李亚丽, 杜继稳, 鲁渊平, 等. 陕西雷暴灾害及时空分布特征. 灾害学, 2005, 20(3): 99-102.
- [9] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象, 2004, 30(12): 17-21.
- [10] 汪青春, 秦宁生, 唐红玉, 等. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 234-239.
- [11] 汪青春, 秦宁生, 张占峰, 等. 青海高原近 40 年降水变化特征及其对生态环境的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 127(1): 153-158.
- [12] 汪青春, 李林, 刘蓓, 等. 青海省近 40 年雨日雨强气候变化特征[J]. 气象, 2005, (31)3: 69-72.
- [13] 黄嘉佑. 气候状态变化趋势与突变分析[J]. 气象, 1995, 21(7): 5-9.
- [14] 李明华, 吴乃庚, 郭海波. 近 40 年来惠州市雷暴的气候统计特征[J]. 热带地理, 2008, 28(2): 114-118.
- [15] 辛吉武, 许向春, 蔡尧尧. 海南儋州雷暴天气气候特征分析[J]. 气象, 2008, (34)3: 100-106.