

青藏高原中部闪电活动与相关气象要素 季节变化的相关分析^{*}

袁 铁

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所雷电与雷暴实验室, 兰州大学大气科学学院, 兰州, 730000)

郅秀书

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所雷电与雷暴实验室, 兰州, 730000)

摘 要

利用 1995 年 4 月至 2002 年 12 月间卫星观测的闪电资料与 NCEP 再分析资料中的地表降水率、云功函数和热通量, 分析了青藏高原中部闪电活动与相关气象要素季节变化之间的关系。研究发现: 青藏高原中部闪电活动的峰值出现在 7 月份, 并在春季表现出明显的闪电活动; 相关气象要素中, 最能够准确描述闪电活动的季节变化及其春季异常特征的仅有地表总热通量; 降水(或云功函数)与鲍恩比(感热通量和潜热通量之比)的乘积能够较好地反映闪电活动的季节分布特征与春季的“异常”。结果表明, 感热通量或鲍恩比可能在对流有效位能向对流上升动能的转化过程中起着重要的作用, 鲍恩比可作为修正闪电产生效率的一个重要参量。

关键词: 青藏高原, 闪电活动, 季节变化, 热通量, 波纹比。

1 引 言

对流系统与闪电活动是青藏高原春季和夏季十分常见的天气现象^[1,2], 其平均年雷暴日较同纬度其他地区要偏多 20~40 d^[3]。作为高原强对流天气(雷暴)产物之一的闪电, 不但具有独特的高原特征, 而且对正在建设的青藏铁路有严重危害, 因此, 近 2 a 引起了人们的广泛关注, 并相继利用卫星观测和地面实测资料对高原的雷暴、雷电活动进行了初步研究^[4~7], 得到了青藏高原闪电活动的时空分布特征、高原雷暴的电荷结构、放电特征等, 揭示了高原雷暴电荷结构的复杂性与高原闪电的特殊性。郅秀书等^[5]发现在 5 月份高原闪电活动已经很活跃, 可占到全年总闪电活动的 13%。5 月份, 青藏高原还处于干燥的季风前期, 到底是什么因素导致了青藏高原春季较多的闪电活动呢? 其环境参量或气象要素是否也与闪电活动一样, 会在春季出现较高的值? 为了探究这些问题, 本文希望通过卫星观测到的闪

电活动资料与 NCEP 再分析资料中相关气象要素的联合分析, 寻找到能够决定青藏高原闪电活动的气象因子或环境参量, 从而为揭示青藏高原地区闪电与气象、闪电与气候的关系奠定一定的基础。

2 数据简介

本文所用的闪电格点资料(2.5°×2.5°)来源于美国 Marshall 空间飞行中心的全球水文和气候中心(GHCC), 时段为 1995 年 4 月至 2002 年 12 月, 是光学瞬时探测器(Optical Transient Detector, OTD)与闪电成像仪(Lightning Imaging Sensor, LIS)观测到的闪电活动的合成结果^[8,9]。由于探测卫星是极轨卫星, 两颗探测器分别需 55 d(OTD)和 49 d(LIS)才能完成对地球上某点一个完整的日循环观测, 所以为了消除资料的日偏差, 通常需要进行 55 d(LIS 是 49 d)或其倍数的时间平滑处理。本文所用闪电资料已经过 110 d 时间平滑和 7.5°的空间平滑处理。

* 初稿时间: 2004 年 2 月 16 日; 修改稿时间: 2004 年 5 月 28 日。

资助课题: 国家杰出青年科学基金(40325013)。

作者简介: 袁铁, 男, 1975 年生, 辽宁辽中人, 讲师, 主要从事大气电学研究。Email: tieyuan@ns.lzb.ac.cn

文中与闪电活动相关的诸气象要素来自于美国国家环境预报中心(NCEP)再分析资料^[10],包括日平均地表降水率、正午时刻(0600UTC)的云功函数与地表感热、潜热及总热通量。为与闪电资料相一致,NCEP资料也经过了55d时间平滑处理,所选时段与前面闪电的卫星观测资料时段相同。分析区域选择了青藏高原中部地区(30°~32.5°N,90°~92.5°E,即那曲附近),这是因为高原中部不但是整个青藏高原闪电活动最频繁的地区,而且也是高原上仅有的同时具有地面闪电观测与气象观测的地区。

3 结果与讨论

3.1 降水与闪电活动的关系

由于青藏高原上的降水绝大多数都是对流性降水,而那曲地区对流性降水所占比例更高^[1],因此可粗略认为本文降水资料即为对流性降水资料,图1给出了青藏高原中部闪电密度与NCEP日平均降

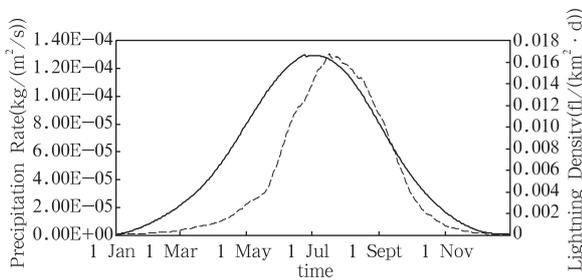


图1 青藏高原中部地区闪电活动与降水的季节变化

(实线:逐日闪电密度,单位:fl/(km²·d);

虚线:日平均的NCEP降水率,单位:kg/(m²·s))

Fig 1 The seasonal variation of lightning activity

(daily lightning flash density, solid line,

unit: fl/(km²·day)) and surface precipitation rate

(daily mean NCEP, dashed line, unit: kg/(m²·s))

in the central Qinghai-Xizang Plateau

水的季节变化。从图1可以看到:高原中部闪电密度的季节变化趋势基本呈单峰对称分布,峰值在7月初附近,而降水率虽也基本呈单峰对称状,但其峰值则出现在7月中旬附近。7月中旬过后,闪电密度与降水率的变化趋势基本完全一致,但是在此之前,包括相对干燥的季风前期3~5月及雨季初期6月,高原上的降水率相对较低,然而同期的闪电密度却相对较大,二者在春季出现了步调不一致。为进一步研究这一现象,我们把闪电密度随降水率的变化记为单位降水的闪电数,图2给出了高原中部闪电密度与单位降水的闪电数的季节变化。从图2可以看到,高原上存在着一个明显的春季异常现象,即单位降水的闪电数在春季3~5月最大,而夏季6~8月要比春季小得多。由于在一般情况下春季的闪电活动较少,因此我们这里称之为“春季异常”。由此看来,地表降水率仅能粗略地描述闪电活动的季节变化(相关系数为0.879,见表1),但对高原闪电的春季异常现象却无法描述。

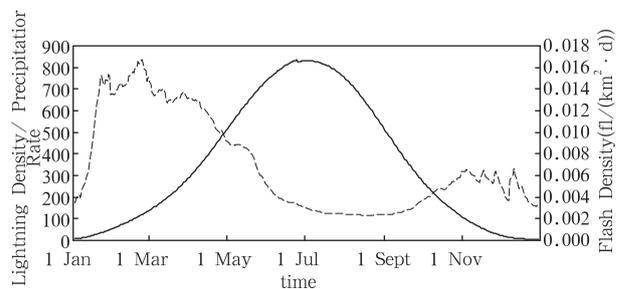


图2 青藏高原中部地区闪电活动(实线)与单位降水的闪电数(虚线)的季节变化

Fig 2 The seasonal variation of lightning activity

(solid line, unit: fl/(km²·day)) and the rate of

daily lightning flash density to daily mean NCEP

surface precipitation rate(dashed line)

表1 青藏高原中部闪电密度与相关气象要素的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between lightning flash density and related meteorological factors in the central Qinghai-Xizang Plateau (at the 0.01 level)

气象要素	降水率	云功函数	感热通量	潜热通量	总热通量	鲍恩比×降水率	鲍恩比×云功函数
闪电密度	0.879	0.881	0.803	0.947	0.977	0.994	0.986

注:各相关系数均通过了0.01水平的检验。

3.2 云功函数与闪电活动的关系

长期以来人们一直使用决定上升气流速度的对流有效位能(Convective Available Potential Energy, CAPE)作为闪电活动的主要表现因子,但CAPE已不再是NCEP的产品,为方便起见,这里

选用云功函数作为CAPE的替代产品。云功函数定义为在大尺度环境中全部云浮力的垂直积分^[11],是NCEP资料的一个新产品。当云功函数超过其临界值时,对流活动就可能发生,其与闪电密度的季节变化见图3。从图3可以看到,云功函数的季节

变化与图 1 中的降水率非常相似(相关系数为 0.995),也在 7 月中旬出现全年的最大值,其后与闪电活动的变化趋势基本一致,但是在春季与闪电活动的变化也有着明显的差异。由此可见,云功函数同降水率一样,也仅能粗略地描述闪电活动的季节变化,而基于它的参数化方案肯定会大大低估春季的闪电活动。

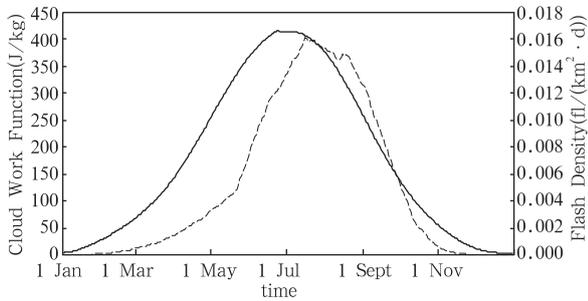


图 3 高原中部闪电活动(实线)与正午(06:00UTC)云功函数(虚线;单位:J/kg)的季节变化,
Fig 3 The same as Fig. 1, but for dashed line is noon (06:00UTC) NCEP cloud work function (unit: J/kg)

3.3 热通量与闪电活动的关系

图 4 为高原中部闪电活动与地表感热、潜热与总热通量的季节变化。从图 4 中可以看出:感热通量在季风前期与闪电密度的变化趋势基本一致,并在 5 月份达到最大值,然后迅速地减少(相关系数为 0.803,见表 1);潜热通量在季风期基本与闪电密度的变化同步,但却不能给出闪电春季异常的规律(相关系数为 0.947,表 1);总热通量给出了闪电活动平滑的季节变化规律,不但表现出了闪电的春季异常,也表现出了季风期的闪电密度变化(相关系数为 0.977,表 1)。虽然每 6 h 一次的 NCEP 地表热通量在数值上可能会存在一定的误差,但是其平均值

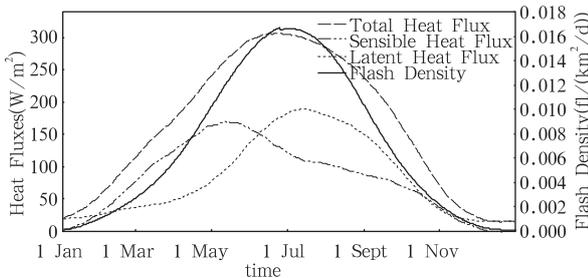


图 4 高原中部闪电活动与正午(06:00UTC)地表感热通量、潜热通量及总热通量(单位:W/m²)的季节变化
Fig 4 The same as Fig. 1, but for dashed lines are noon (06:00UTC) NCEP surface sensible(long—short—dash line), latent(short—dashline) and total heat fluxes(long and short dash line), respectively (unit: W/m²)

的季节变化则与外场观测结果是完全一致的^[12],因此此处关于地表热通量季节变化的分析是可信的。

为了进一步研究地表热通量对闪电活动的表征能力,我们把前面的降水与云功函数都乘上了波恩比,图 5,6 中给出这两个新参量的季节变化。从图 5,6 可以看到,经过鲍恩比调整的降水率与云功函数的季节变化与闪电活动的季节变化吻合程度比云功函数、降水或单一的热通量都要好得多,相关系数也有明显提高(达 0.994 和 0.986,表 1)。这一结果不但可以很好地解释前面所发现的春季闪电异常,而且时间上也与闪电密度在 7 月份出现最大值同步。

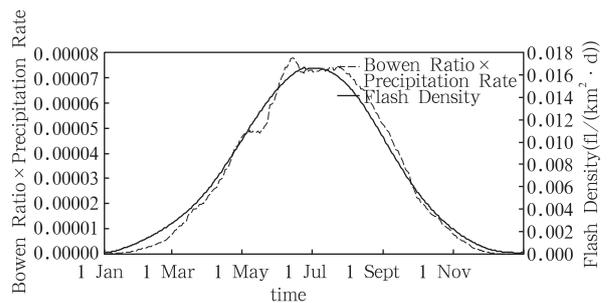


图 5 高原中部 NCEP 降水率与鲍恩比之积与闪电活动的季节变化

Fig 5 The same as Fig. 1, but for dashed line is NCEP precipitation rate multiplied by the Bowen ratio

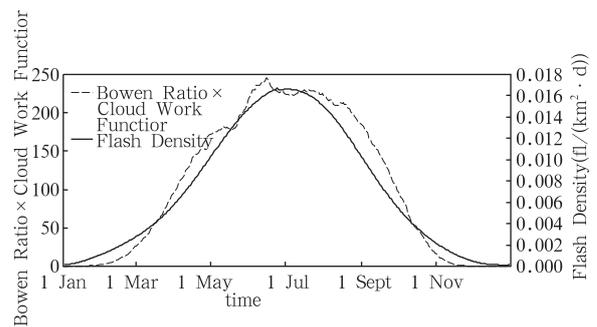


图 6 高原中部正午(06:00 UTC)云功函数与鲍恩比之积与闪电活动的季节变化

Fig 6 The same as Fig. 1, but for dashed line is noon (06:00UTC) NCEP cloud work function multiplied by the Bowen ratio

3.4 讨论

由前面的分析明显地看到,最能够准确描述高原闪电季节变化及其春季异常特征的单一参量就是地表总热通量。感热通量在季风前期与闪电变化趋

势一致,潜热通量则在季风期与闪电同步,二者之和(总热通量)给出了闪电的季节变化及其春季异常的变化趋势。同降水率(或云功函数)类似,地表潜热通量能够比较真实地表示青藏高原水循环过程(与降水率和云功函数的相关系数分别为 0.971, 0.979),这在高原季风期间尤其明显。而地表感热通量主要取决于地-气温差的大小^[1],因此与对流活动的发展密切相关。在干燥的季风前期,潜热通量与闪电的变化规律非常相似,并能够解释高原上闪电活动的春季异常,这说明了在描述高原闪电活动过程中感热通量起着相当重要的角色。

关于闪电活动的春季异常现象,在热带地区也有类似的发现^[13]。William 和 Stanfill^[14]曾指出,对于给定的 CAPE,较高的云底高度有助于把更多的 CAPE 高效地转化为垂直上升气流速度与冰晶的增长,结果将产生更多的闪电活动。而云底高度与地表露点温度密切相关,并随感热通量的增加而增高,所以也就会随鲍恩比的增大而增高。虽然青藏高原上的 CAPE 值很低^[5],但是较高的鲍恩比(平均达 1.1)好像能够解释高原上频率较高的闪电活动规律。在图 5,6 中,我们可以清楚地看到,对于给定的降水率(或云功函数)经鲍恩比修正后,能够非常好地表现青藏高原闪电活动的季节变化规律。由此可见,感热通量或鲍恩比可能在对流有效位能(CAPE)向对流上升动能的转化过程中起着重要的作用,鲍恩比可作为修正闪电产生效率的一个重要参量。

4 总 结

利用闪电的卫星观测资料与 NCEP 再分析资料,对青藏高原中部地区的闪电密度与降水率、云功函数、地表潜热、感热及总热通量季节变化之间的关系进行了分析,结果发现:

(1) 青藏高原中部闪电密度的最大值主要出现在 7 月份,并存在着春季偏大的现象。

(2) 来自 NCEP 的地表降水率和云功函数仅在 7 月中旬之后与闪电活动之间存在较好的一致性,但却无法解释高原闪电的春季偏大现象。

(3) 地表总热通量可以较好地解释高原中部闪电活动的季节变化(相关系数达 0.977)。降水(或云功函数)与波纹比的乘积,能够很好地表示闪电活动的季节分布特征甚至是春季的异常偏大现象(相关系数分别达 0.994 和 0.986)。

(4) 感热通量或波纹比可能在对流有效位能(CAPE)向对流上升动能的转化过程中起着重要的作用,鲍恩比可作为修正闪电产生效率的一个重要参量。

到目前为止,本文所得结论还仅限于青藏高原中部这一特殊的地区,能否推广到其他地区,甚至全球尺度还有待更深入的研究。另外,当前闪电的卫星观测资料时间覆盖率还很低(极轨卫星平台),加上青藏高原地区闪电密度相对低,能否在日平均闪电密度和波纹比及日平均降水(或云功函数)之间建立一个确定的关系,也还有待观测资料的进一步积累。

致谢:本文所用的 1.0 版本闪电卫星资料由美国全球水文和气候中心(GHCC)提供,特在此表示感谢。

参考文献

- [1] 叶笃正,高由禧等. 青藏高原气象学. 北京:科学出版社, 1979. 278pp
Ye Duzheng, Gao Youxi. The Meteorology of Qinghai-Xizang Plateau (in Chinese), Beijing: Science Press, 1979, 278pp
- [2] 江吉喜,范梅珠. 夏季青藏高原上的对流云和中尺度对流系统. 大气科学, 2002, 26(2):263~270
Jiang Jixi, Fan Meizhu. Convective Clouds and mesoscale convective systems over the Tibetan Plateau in summer. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2002, 26(2): 263-270
- [3] 孙景群. 大气电学基础. 北京:气象出版社, 1987. 316pp
Shun Jingqun. The Foundation of Atmospheric Electricity (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1987, 316pp
- [4] 郗秀书,张广庶,孔祥贞等. 青藏高原东北部地区夏季雷电特征的观测研究. 高原气象, 2003, 22(3):209~220
Qie Xiushu, Zhang Guangshu, Kong Xiangzhen et al. Observation on the summer lightning discharge in the northeastern Verge of Qinghai-Xizang Plateau, Plateau Meteorology (in Chinese), 2003, 22(3):209-220
- [5] Qie X S, Toumi R, Yuan T. Lightning activities on the Tibetan Plateau observed by the lightning imaging sensor. J Geophys Res, 2003, 108 (D17): ACL 11-1-10
- [6] 郗秀书,周筠珺, Ralf Toumi. 青藏高原中部的雷电活动特征及其对对流最大不稳定能量的响应. 科学通报, 2003, 48(1): 87~90
Qie Xiushu, Zhou Yunjun, Ralf Toumi. Lightning activity on the central Tibetan Plateau and its response to convective available potential energy. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 2003, 48(1): 87-90
- [7] 张义军,董万胜,赵阳等. 青藏高原雷暴电荷结构和闪电云内过程的辐射特征研究. 中国科学(D辑), 2003, 33(增刊): 101~107
Zhang Yijun, Dong Wansheng, Zhao Yang et al. Study of

- charge structure and radiation characteristic of intracloud discharge in thunderstorms of Qinghai—Xizang Plateau. *Science in China (Series D, in Chinese)*, 2003, 33(Supplement): 101—107
- [8] Boccippio D J, Koshak W J, Blakeslee R J. Performance assessment of the optical transient detector and lightning Imaging sensor. Part I: Predicted diurnal variability. *J Atmos Oceanic Tech*, 2002, 19: 1318—1332
- [9] Christian H J, Blakeslee R J, et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *J Geophys Res* 2003, 108(D1): ACL 4—1—15
- [10] Kanamitsu M, Ebisuzaki, et al. NCEP—DOE AMIP—II Reanalysis (R—2). *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83: 1631—1643
- [11] Arakawa A, Schubert W H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large—scale environment, Part I. *J Atmos Sci*, 1974, 31: 674—701
- [12] Ueda H, Kamahori H, Yamazaki N. Seasonal contrasting features of heat and moisture budgets between the eastern and western Tibetan plateau during the GAME IOP. *J Climate*, 2003, 16(14): 2309—2324
- [13] Williams E, Rosenfeld D, Madden N, et al. Contrasting convective regimes over the Amazon; Implications for cloud electrification. *J Geophys Res*, 2002, 107(D20): LBA50—1—19
- [14] Williams E, Stanfill S. The physical origin of the land—ocean contrast in lightning activity. *C R Phys*, 2002, 3: 1277—1292

SEASONAL VARIATION OF LIGHTNING ACTIVITIES AND RELATED METEOROLOGICAL FACTORS OVER THE CENTRAL QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Yuan Tie

(School of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Qie Xiushu

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The data from satellite observation on lightning activities, daily NCEP surface precipitation rate, noon cloud work function and heat fluxes from April 1995 to Dec 2000 were employed to study the seasonal variations of lightning activities and related meteorological factors over the central Qinghai-Xizang Plateau, and the relationship between them. The results indicated that the maximum flash density is in July, and there are more lightning in spring than one may expect. Among the several related factors, only surface total heat flux can be account for the seasonal variation of lightning activities including the spring lightning. In addition, surface precipitation rate (or cloud work function) can better be account for the seasonal variation of lightning activities including the spring lightning when they are multiplied by the Bowen ratio (ratio of sensible to latent heat flux). This suggests that sensible heat flux or the Bowen ratio play an important role in transforming CAPE to updraft kinetic energy, and the later could be regarded as an important parameter of modifying the efficiency of generating lightning for any given value of precipitation rate (or cloud work function).

Key words: Qinghai-Xizang Plateau, Lightning activities, Seasonal variations, Heat flux, Bowen ratio.

《气象学报》征稿简则

1. 办刊宗旨

《气象学报》是由中国气象学会主办的大气科学学术期刊,主要刊载有关大气科学及其交叉科学问题研究的具有创造性的论文;国内外大气科学发展动态综合评述;新观点、新理论、新技术、新方法的介绍;研究工作简报及重要学术活动报道;优秀大气科学专著的评介以及有关本刊论文的学术讨论等。《气象学报》中文版为双月刊,国内外发行,作者和读者对象主要为从事气象、海洋、地理、环境、地球物理、天文、空间及生态等学科的科研人员、高校师生。

2. 来稿要求

(1) 来稿要求论点明确,内容充实,数据可靠,文字精练。全文必须包括:题目、作者姓名、工作单位、邮编、摘要(500~600字)、关键词(3~8个)、正文(包括必要的图表)和参考文献等。以上内容除正文文字外,均须中英文对照。在文稿首页脚注处标明基金资助、获奖项目或重大课题;第一作者简介:姓名、性别、学位、职称、研究领域和电子信箱。

(2) 来稿一律寄交编辑部,勿送个人。稿件一式两份,并自留底稿。请在不大于A4幅面的纸上用不小于5号字单面打印文稿,在寄交最后审定的修改稿时,请附有华光、方正等电子出版系统编排相应稿件的纯文本文件软盘。

(3) 文章摘要应说明本文的目的、方法、结果与结论。

(4) 文稿用字规范,标题层次分明。章条序号用1,1.1,1.1.1,1.1.1.1...3,3.1,3.1.1...表示。

(5) 数学公式、物理量的符号和单位应符合国家标准GB 3100~3102-93《量和单位》要求:量符号、代表变动性数字的符号以及坐标轴的符号均用斜体表示;矢量、张量用黑斜体表示;量符号的下标,若是变量用斜体表示,其他情况则用正体表示。量符号尽量用一个字母(特殊情况除外)表示,在文稿中首次出现时,必须给出量的名称及单位。

(6) 科技术语和名词应使用全国科学技术名词审定委员会公布的名词。如系作者自译的新名词,在文稿中第一次出现时请给出外文原词。计量单位一律采用中华人民共和国法定计量单位,并以国际符号表示。

(7) 附图必须线条光洁、文字清晰。图中若有中国地图,国界必须与中国地图出版社出版的地图一致,中国全图上切勿漏绘台湾和南海诸岛。插图尺寸不超过210 mm×290 mm幅面。文稿中应留出插图的位置,插图中的文字、图题、图例均用中英对照。标全坐标轴的英文物理量名称(或符号)与单位。

(8) 附表请使用三线表,列于正文的适当位置,表的结构要简明。表内各栏目中参量符号之后注明单位(同插图)。

(9) 本刊的参考文献著录格式采用顺序编码制,文献序号以文中出现先后顺序编排。期刊书写格式为:作者(多位作者保留前3位姓名). 论文题目. 期刊名, 年份, 卷号(期号); 页码; 图书书写次序为:作者(多位作者保留前3位姓名). 书名. 出版地: 出版单位, 出版年. 全书页码(××pp)。

3. 注意事项

(1) 要求来稿一式2份,并附电子版(软盘或通过电子信箱传送)。另外,提供联系人的通讯地址、电话、电子信箱等。请作者自留稿件底稿,无论论文被刊用与否,恕不退稿。

(2) 建议作者提供3~5名审稿专家(注明其职称、研究领域、单位和通讯地址),以及要求回避的评审者,供编辑部送审稿件时参考。

(3) 作者收到本刊收稿通知后,若6个月未接到录用通知,可自行处理所投文稿,并请告之编辑部,双方有约定者除外。请勿一稿多投。

(4) 来稿一经发表,酌付稿酬(包括光盘和网络版),并酌收版面费,赠送样刊两册和单行本30份。作者若需加印单行本另外加钱(每份3元),应提前告知编辑部。

(5) 来稿请寄:北京中关村南大街46号中国气象学会《气象学报》期刊社. 邮编:100081

电 话:(010)68406942,68408571

电子信箱:cmsqxxb@263.net