

张翠华, 张文煜, 张艳品, 2019. 输电线路雷击前近距离气象要素变化特征分析——以石家庄市为例[J]. 气象与减灾研究, 42(4):295-300.

Zhang Cuihua, Zhang Wenyu, Zhang Yanpin, 2019. Analysis on variation characteristics of meteorological elements in close range before lightning strike on power transmission Line: Taking Shijiazhuang City as an example[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 42(4):295-300.

## 输电线路雷击前近距离气象要素变化特征分析 ——以石家庄市为例

张翠华<sup>1</sup>, 张文煜<sup>2</sup>, 张艳品<sup>1</sup>

1. 石家庄市气象局, 河北 石家庄 050081
2. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000

**摘要:** 利用石家庄市 1990—2017 年输电线路雷击事故资料, 结合输电线路雷击发生前近距离的气象观测数据, 统计分析了输电线路雷击发生前的雷暴方位、风、气压、相对湿度、气温和地温的变化特征。结果表明: 输电线路雷击发生前 12 h 内的雷暴方位走向大多呈现从西北或偏西方位经过天顶至东南或偏东方位, 或终止于天顶。输电线路雷击前 6 h 内气象要素的小时变化, 地面最多风向由东南经东北向西北旋转, 最大风速随输电线路雷击发生的临近呈逐时明显增大趋势; 平均相对湿度随输电线路雷击发生的临近呈逐时明显上升趋势; 平均气温和平均地面温度随输电线路雷击发生的临近呈逐时明显下降趋势; 平均本站气压随输电线路雷击发生的临近变化趋势不明显。输电线路雷击前 6 h、3 h 和 1 h 气象要素波动幅度的年变化, 前 1 h 气温和地面温度波动幅度呈逐年明显下降趋势, 其他时段气象要素波动幅度变化趋势不明显。输电线路雷击发生前地面最多风向逆时针旋转, 最大风速和空气相对湿度明显上升, 气温和地面温度明显下降, 但气压变化不明显; 输电线路雷击发生次数分别与输电线路雷击前 1 h 气温和地面温度波动幅度呈现完全明显负相关。

**关键词:** 雷击, 输电线路, 气象要素, 变化

**中图分类号:** P49; X43

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9033(2019)04-0295-06

**doi:** 10.12013/qxyjzj2019-047

## Analysis on Variation Characteristics of Meteorological Elements in Close Range before Lightning Strike on Power Transmission Line: Taking Shijiazhuang City as an Example

Zhang Cuihua<sup>1</sup>, Zhang Wenyu<sup>2</sup>, Zhang Yanpin<sup>1</sup>

1. Shijiazhuang Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050081, China

2. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** Based on the detailed information of lightning strikes on power transmission line and meteorological elements in close range before lightning strike from 1990 to 2017 in Shijiazhuang, the variation characteristics of meteorological elements before lightning strike including thunderstorm azimuth, timing wind, pressure, air humidity, air temperature and ground temperature were analyzed by using statistical methods. The results showed that the dominant thunderstorm direction of lightning strike in 12 hours was from northwest or west via zenith to southeast or east, or ending at the zenith mostly. As for the variations of

收稿日期: 2019-07-03; 修订日期: 2019-09-12.

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:41875085).

作者简介: 张翠华, 硕士, 高级工程师, 主要从事气象资料分析与应用研究, E-mail: zch7695@sina.com.

hourly meteorological element before lightning strike in 6 hours, surface dominant wind direction was from southeast to northwest via northeast. The maximum wind velocity and average relative air humidity presented significant increase trends. The mean air temperature and mean ground temperature exhibited significant decrease trends, while no obvious trend can be found for the mean pressure of local station as lightning strike approaching. As for the annual variations of meteorological element before lightning strike in 6, 3 and 1 hours, the amplitude of air temperature and ground temperature before lightning strike in 1 hour presented significant decrease trends, but no obvious trend can be found for other meteorological element at other times. Surface dominant wind direction whirled counter clockwise. The maximum wind velocity and relative air humidity increased significantly, but the air temperature and ground temperature decreased obviously, and no obvious variations can be observed for the air pressure. The number of lightning strikes showed negative correlate relationship with the fluctuation amplitude of air temperature and ground temperature before the lightning strike in 1 hour.

**Key words:** strike; lightning ; meteorological elements; variation

## 0 引言

架空输电线路是国家电网的重要组成部分,由于其距离长、跨度大并常年累月暴露于野外,非常容易受到雷电、大风、冰雪、雾霾等气象因素的影响而发生输电事故。研究表明,中国雷电灾害次数呈逐年波动增长趋势(胡先锋等,2007),华南和西南部分地区是闪电密度高值区,尤其广东省和海南省(武宁等,2018),华东、华北、东北和青藏高原地区次之,西北地区最低(马明等,2008;王少华和叶自强,2011)。雷电是造成河北电网安全事故的主要气象灾害(付桂琴和张文宗,2014),雷电灾害集中在太行山山麓和中南部平原(吴孟恒等,2010)。

闪电活动与气象要素之间有千丝万缕的联系,以往研究多为闪电活动与单一气象要素的相关分析,比如闪电活动分别与降水(郑栋等,2012)、大气相对湿度(张腾飞等,2010)、地面相对湿度(熊亚军等,2006)、气温(杜波等,2010)的相关分析,结果表明:我国由南向北及气候特征由潮湿趋于干旱的区域的地闪活动与降水相关性增强,闪电活动一般发生在相对湿度垂直结构具有低层湿度不高、中层高湿、高层又逐渐变干的环境大气中,区域地面相对湿度过大时,相对湿度的增加不利于闪电活动的发生,区域雷电频数与月平均气温呈较好的指数相关。

电力部门输电线路雷击预警技术采用雷达和闪电定位仪实时监测,计算雷电落区与输电线路的最小距离,实现相关区域未来 30 min 雷电的临近预报(付桂琴和张文宗,2014),由此研究输电线路雷击发生前多种气象要素变化关系,预期可以利用气象要素条件预测,辅助雷达和闪电定位仪实时监测,达到预警输电线路雷击的目标。河北省气象部门对河北省北部电网做出了输电线路雷击风险区划(杨琳晗等,2018),但对河北省南部电网雷击发生前多种

气象要素变化特征的研究还没有开展。石家庄市处于河北省中南部,以该地区 1990—2017 年 102 次输电线路雷击事故为研究样本,分析 4—9 月输电线路雷击前近距离的气象要素变化,以期为做好输电线路雷击预报预警进一步防范输电线路雷击事故的发生奠定基础。

## 1 资料及方法

分析石家庄市供电公司 1990 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 31 日 102 次输电线路雷击事故的发生时间、故障地点、故障现象描述等详细资料,发现输电线路雷击集中发生在西部山区(约占全区总面积的 50%)。石家庄市共有 17 个国家站并建有 312 个区域站,西部山区站点分布密集,约占 68%,选取雷击发生前 12 h 内临近输电线路雷击事故地点的观测站或区域站的气象要素数据,利用 Surfer 软件绘制输电线路雷击点的空间分布(图 1),石家庄市 102 次输电线路雷击点散落分布在 75 个观测站近距离周边,其中井陘、市区和平山最为集中,分布有 61 个雷击点和 34 个观测站,雷击事故点与临近站点距离约为 2—6 km。利用发生频率归纳分析输电线路雷击发生前 12 h 内的雷暴方位走向。利用风玫瑰图分析输电线路雷击发生前 6 h 内地面定时平均风速和风向频率的小时变化,风向频率是该风向在某时段内出现次数占各风向出现总次数的百分比。利用波动幅度和线性趋势(张翠华等,2012)分析输电线路雷击发生前 6 h 内气压、空气湿度、气温和地温的小时变化和年变化,波动幅度是输电线路雷击发生前到发生时的气象要素变化值,线性趋势采用每 10 a 的气候倾向率来描述,并对趋势系数进行显著性检验。

利用完全相关系数分析气象要素对输电线路雷击发生次数的影响,当某气象要素随着时间发生明

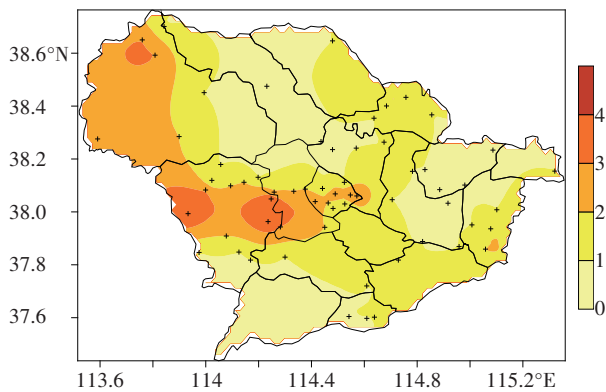


图1 石家庄市1990—2017年输电线路雷击点和发生数量(阴影,单位:次)分布

Fig. 1 Spatial distribution of lightning strike points and number of occurrences (shaded; unit: times) of transmission lines in Shijiazhuang during 1990 - 2017

显变化,又与输电线路雷击发生次数相关性较强时,那么其与输电线路雷击发生次数的完全相关系数就较大。完全相关系数 $R$ 的计算式为 $R = r_1 \cdot r_2$ ,其中 $r_1$ 为气象要素与时间的相关系数, $r_2$ 为气象要素与输电线路雷击发生次数的相关系数。文中将利用SPSS统计软件的多元回归方法定量分析相关气象要素与输电线路雷击发生次数的变化关系(张翠华等,2015)。

## 2 结果与分析

1990—2017年,石家庄输电线路雷击发生的次数随时间明显增加,两者的相关系数为0.645,通过了信度0.001的显著性检验,且雷击主要发生在每年夏季的午后到夜间,其中16—21时发生次数最多。分析石家庄市输电线路雷击点的空间分布(图1)可知,处于西部山区的井陘为输电线路雷击高发中心,其次是平山西部、鹿泉和市区中部,自西北向东南发生次数逐渐减少。

### 2.1 雷暴方位变化

分析输电线路雷击发生前12h内的雷暴方位走向发现,雷暴方位走向大多呈现从西北或偏西方位经过天顶至东南或偏东方位或终止于天顶,起始方位中西和北方位发生频率最高(占88%),终止方位中南和东方位发生频率最高(占64%),终止在天顶的发生频率次之(占27%)。夏季华北地区常常出现冷涡雷暴,在冷涡的东南部及太平洋副热带高压西北部有很强的气流辐合,加上太平洋副热带高压西北部又有较强的暖平流,因此冷涡的东南部经

常产生大片雷暴,雷暴云受高空风速和风向垂直切变影响,通过平移和传播由西北向东南发展。

### 2.2 地面定时风变化

输电线路雷击发生前6h内地面定时平均风速和风向频率如图2所示,分析发现,总体上地面风频率较大的风向受气旋辐合影响由东南经东北向西北逆时针旋转,最大风速随输电线路雷击发生的临近呈逐时明显增大趋势,两者的相关系数为0.688,通过了信度0.05的显著性检验。

输电线路雷击发生前6h,东东南风向的风速最大为2.9 m/s,东北为最多风向,风向频率最大为15.7%。输电线路雷击发生前3h,南东南风向的风速最大为2.9 m/s,东南为最多风向,风向频率最大为17.1%。输电线路雷击发生前1h,东东南风向的风速最大为3.7 m/s,东北为最多风向,风向频率最大为14.3%。输电线路雷击发生时,西风向的风速最大为7.0 m/s,西北为最多风向,风向频率最大为15.7%。由此可见,阵风发生前多偏南风,阵风发生时风向呈气旋式旋转,雷暴移向的下风向风速大于上风向。

### 2.3 气压、空气湿度、气温和地温变化

雷暴云向前移动时,云下的雷暴高压也随之向前移动,移过时会发生气温下降、气压涌升、相对湿度上升等气象要素的明显变化,而输电线路发生雷击较发生雷暴时的气象要素变化有所不同,下面着重分析输电线路雷击前6h内气象要素的小时变化及逐年波动幅度变化。

表1给出了输电线路雷击发生前6h、3h、1h气象要素逐年的波动幅度与时间的相关系数。分析可知,输电线路雷击前6h内平均本站气压随其发生的临近,逐时变化趋势不明显;输电线路雷击前6h、3h和1h的本站气压平均波动幅度分别为0.6、1.6和1.1 hPa,本站气压波动幅度的逐年变化趋势也不明显。输电线路雷击前6h内平均空气相对湿度随其发生的临近呈逐时明显上升趋势;输电线路雷击前6h、3h和1h的空气相对湿度平均波动幅度分别为14%、13%和9%,波动幅度逐年变化趋势也不明显,相关系数均较小。输电线路雷击前6h内平均气温随其发生的临近呈逐时明显下降趋势;输电线路雷击前6h、3h和1h的气温平均波动幅度分别为-3.6、-3.6和-2.3℃,输电线路雷击前6h和3h的气温波动幅度逐年变化趋势不明显,相关系数均较小,而输电线路雷击前1h气温波动幅度呈逐年明显下降趋势,相关系数为-0.368,

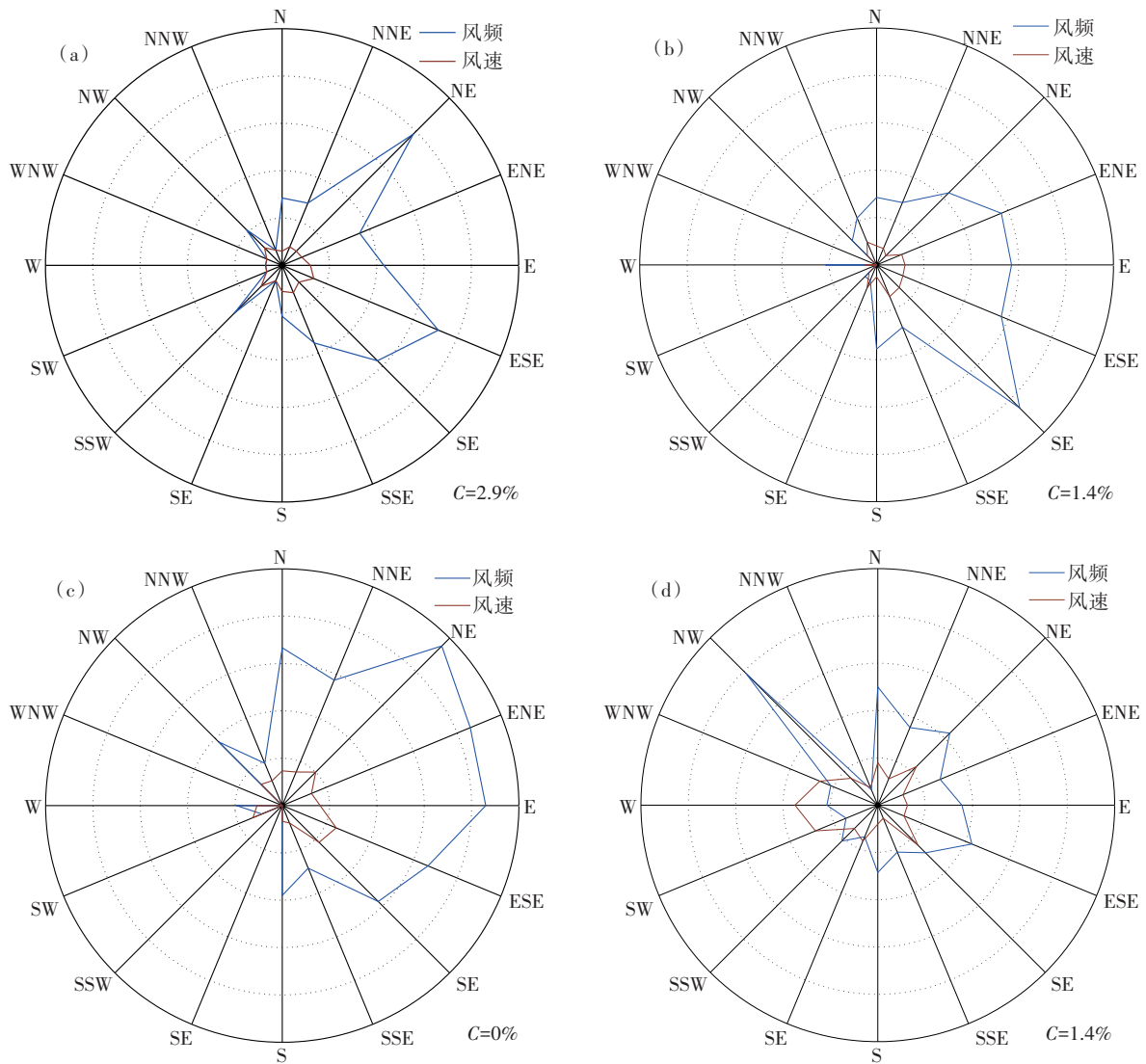


图2 输电线路雷击发生前6 h(a)、3 h(b)、1 h(c)和雷击发生时(d)风玫瑰图

Fig. 2 Wind rose maps of 6 hours (a), 3 hours (b), and 1 hour (c) before transmission line lightning strike and at occurrence of transmission line lightning strike (d)

表1 1990—2017年输电线路雷击发生前3个时间间隔的气象要素逐年波动幅度与时间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between changes in meteorological elements and time in three time intervals before occurrence of transmission line lightning strike during 1990 - 2017

时间间隔	气象要素			
	本站气压	相对湿度	气温	地面温度
雷击前6 h与发生时	-0.109	0.040	-0.160	-0.242
雷击前3 h与发生时	-0.187	0.074	-0.256	-0.260
雷击前1 h与发生时	0.001	0.115	-0.368*	-0.354*

注：“\*”表示相关系数通过了信度0.05的显著性检验

通过了信度0.05的显著性检验。输电线路雷击前6 h内平均地面温度随其发生的临近呈逐时明显下降趋势；输电线路雷击前6 h、3 h和1 h的地面温度平均波动幅度分别为-10.5、-8.4和-3.8℃，输电线路雷击前6 h和3 h的地面温度波动幅度逐年

变化趋势不明显，相关系数较小，而输电线路雷击前1 h地面温度波动幅度呈逐年明显下降趋势，相关系数为-0.354，通过了信度0.05的显著性检验。

综上所述，输电线路雷击发生前6 h内空气的相对湿度明显上升，气温和地面温度明显下降，而气

压变化不明显,明显区别于雷暴云来临时出现的近地面气压涌升。这些不同之处可作为判断是否发生输电线路雷击的重要论据。

#### 2.4 输电线路雷击与气候因子的变化关系

通过分析输电线路雷击前 6、3 和 1 h 气象要素波动幅度的年变化可知,输电线路雷击前 1 h 气温和地面温度的波动幅度呈逐年明显下降趋势;经计算,输电线路雷击发生次数分别与其发生前 1 h 气温和地面温度波动幅度的完全相关系数  $R_t$ 、 $R_d$  分别为  $-0.516$ 、 $-0.525$ ,呈显著负相关关系,且均通过了信度 0.05 的显著性检验。这表明,输电线路雷击前 1 h 气温和地面温度波动幅度明显下降对其发生次数的明显增加有较好的提示作用。

以输电线路雷击前 1 h 气温和地面温度的波动幅度作为自变量,分别用  $t_1$  和  $t_2$  表示,以输电线路雷击发生次数( $F$ )作为因变量,对输电线路雷击发生次数进行多元线性回归分析,得到多元回归方程: $F = 0.783 - 0.839t_1 - 0.800t_2$  ( $r = 0.715$ ,通过了信度 0.001 的显著性检验),表明输电线路雷击发生次数与其发生前 1 h 气温和地面温度的波动幅度之间具有较为显著的相关性,对预测输电线路雷击发生有重要参考意义。

### 3 结 论

利用石家庄市 1990—2017 年输电线路雷击事故资料,结合输电线路雷击发生前近距离气象观测数据,统计分析了输电线路雷击发生前的雷暴方位、风、气压、相对湿度、气温和地温的变化特征,得到:

1) 输电线路雷击发生前 12 h 内的雷暴方位走向大多呈西北或偏西方位经过天顶至东南或偏东方位或终止于天顶。输电线路雷击前 6 h 内,地面最多风向由东南经东北向西北旋转,最大风速随其发生的临近呈逐时明显增大趋势;平均空气相对湿度随其发生的临近呈逐时明显上升趋势,平均气温和平均地面温度随其发生的临近呈逐时明显下降趋势;平均本站气压随其发生的临近变化趋势不明显。

2) 输电线路雷击前 1 h 气温和地面温度波动幅度呈逐年明显下降趋势,而前 6 h、3 h 的气象要素波动幅度变化趋势不明显。输电线路雷击发生前出现频率较大的地面风向逆时针旋转,最大风速和空气相对湿度明显上升,气温和地面温度明显下降,但气压上升不明显;输电线路雷击发生次数分别与发生前 1 h 气温和地面温度波动幅度呈较显著的负相关。

### 参考文献(References)

- 杜波,肖稳安,马启明,2010. 黑龙江省闪电活动及与降水、气温相关特征分析[J]. 气象科技,38(6):798-804. Du B, Xiao W A, Ma Q M, 2010. Characteristics of lightning activities and correlation with precipitation and temperature in Heilongjiang province[J]. Meteor Sci Technol, 38(6):798-804.(in Chinese)
- 付桂琴,张文宗,2014. 河北省致电网事故的气象灾害特征及风险评价[J]. 干旱气象,32(3):460-464,474. Fu G Q, Zhang W Z, 2014. Characteristic analysis and risk assessment of electrified wire netting accidents caused by meteorological disasters in Hebei province[J]. Arid Meteor, 32(3):460-464.(in Chinese)
- 胡先锋,刘彦章,肖稳安,2007. 1998—2004 年中国雷电灾害特征分析[J]. 气象与减灾研究,30(3):56-59. Hu X F, Liu Y Z, Xiao W A, 2007. Analysis of lightning disaster during 1998—2004 in China[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 30(3):56-59.(in Chinese)
- 马明,吕伟涛,张义军,等,2008. 我国雷电灾害及相关因素分析[J]. 地球科学进展,23(8):856-866. Ma M, Lv W T, Zhang Y J, et al, 2008. Analysis of lightning disasters in China and their correlative factors[J]. Adv Earth Sci, 23(8):856-866.(in Chinese)
- 王少华,叶自强,2011. 恶劣气候对浙江电网输电线路的影响[J]. 中国电力,44(2):19-22,57. Wang S H, Ye Z Q, 2011. Influence of severe weather on transmission lines of Zhejiang power grid [J]. Electric Power, 44(2):19-22,57.(in Chinese)
- 吴孟恒,田艳婷,崔海华,等,2010. 2003—2008 年河北省雷电灾害特征统计分析[J]. 自然灾害学报,19(1):21-25. Wu M H, Tian Y T, Cui H H, et al, 2010. Statistical analysis of characteristics of lightning disaster in Hebei from 2003 to 2008[J]. J Nat Disaster, 19(1):21-25.(in Chinese)
- 武宁,殷启元,陈绿文,等,2018. 基于回归分析的雷灾死亡人数预测模型[J]. 气象与减灾研究,41(3):231-235. Wu N, Yin Q Y, Chen L W, et al, 2018. The forecasting model of lightning fatalities based on regression analysis[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 41(3):231-235.(in Chinese)
- 熊亚军,郗秀书,周筠,等,2006. 区域闪电活动对地面相对湿度的响应[J]. 地球物理学报,49(2):367-374. Xiong Y Y, Qie X S, Zhou J, et al, 2006. Regional responses of lightning activities to relative humidity of the surface[J]. Chin J Geophys, 49(2):367-374.(in Chinese)
- 杨琳晗,赵增保,张彦恒,等,2018. 基于层次法的冀北地区输电线路雷击风险区划[J]. 干旱气象,36(3):516-521. Yang L H, Zhao Z B, Zhang Y H, et al, 2018. Lightning strike risk zoning of transmission lines in northern of Hebei province based on Analytic Hierarchy Process (AHP) model[J]. Arid Meteor, 36(3):516-521.(in Chinese)
- 张翠华,张文煜,卞韬,等,2012. 河北省石家庄地面温度变化特征[J]. 干旱气象,30(1):27-33. Zhang C H, Zhang W Y, Bian T, et al, 2012. Characteristics of ground temperature change in Shijiazhuang of Hebei province[J]. Arid Meteor, 30(1):27-33.(in Chinese)

- 张翠华, 张文煜, 张秉祥, 2015. 石家庄冻土变化特征与气候因子的关系分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 7(3): 268-271. Zhang C H, Zhang W Y, Zhang B X, 2015. Relational analysis between variation characteristics of frozen soil and influence climatic factors in Shijiazhuang[J]. J Nanjing Univ Inf Sci Technol (Nat Sci Ed), 7(3): 268-271. (in Chinese)
- 张腾飞, 许迎杰, 张杰, 等, 2010. 云南省闪电活动时大气相对湿度结构特征[J]. 应用气象学报, 21(2): 180-188. Zhang T F, Xu Y J, Zhang J, et al, 2010. Structural characteristics of atmospheric relative humidity during lightning activity in Yunnan province [J]. J Appl Meteor Sci, 21(2): 180-188. (in Chinese)
- 郑栋, 但建茹, 张义军, 等, 2012. 我国地闪活动和降水关系的区域差异[J]. 热带气象学报, 28(4): 569-576. Zheng D, Dan J R, Zhang Y J, et al, 2012. Regional differences of relationship between cloud-to-ground lightning and precipitation in China[J]. J Trop Meteor, 28(4): 569-576. (in Chinese)