

Characteristic Analysis of Atmospheric Circulation before Pollution Flashover on Power Transmission Lines

Cuihua Zhang¹, Liping Guo², Fang Yan¹

¹Shijiazhuang Meteorological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang Hebei

²Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang Hebei

Email: zch7695@sina.com

Received: Dec. 6th, 2019; accepted: Dec. 23rd, 2019; published: Dec. 30th, 2019

Abstract

Based on the detailed information on electric power pollution flashover from 1999 to 2018 in Shijiazhuang, weather situation and atmospheric stratification at latest time of 43 times occurrence case were analyzed by use of weather science and analysis method. The results showed that, atmospheric circulation situation had mainly four kinds of configuration types as electric power pollution flashover was occurring, the first kind of occurring electric power pollution flashover had the highest probability; the second kind and third kind had the same probability; and the fourth kind had the lowest probability. The first kind was high altitude being in high-level trough with lower altitude being in surface trough, the front of ground high pressure or ground saddle field. The second kind was 850 hPa to 500 hPa of high altitude being in the front of ridge of pressure with lower altitude being in the front of ground high pressure bottom or surface trough. The third kind was 700 hPa to 500hPa of high altitude being in ridge of pressure and 850hPa of high altitude being shear line or trough line with lower altitude being in the front of ground high pressure bottom, low pressure or uniform pressure field. The fourth kind was high altitude being in westerly flow with lower altitude being in surface trough, the front of ground high pressure bottom or high pressure rear. Surface layer that was wet and in which there was temperature inversion played an unneglectable role in leading to electric power pollution flashover occurring.

Keywords

Lightning Strike, Pollution Flashover, Atmospheric Circulation, Characteristic Analysis

输电线路污闪前的大气环流特征分析

张翠华¹, 郭立平², 阎 访¹

¹河北省石家庄市气象局, 河北 石家庄

²河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊
Email: zch7695@sina.com

收稿日期: 2019年12月6日; 录用日期: 2019年12月23日; 发布日期: 2019年12月30日

摘要

利用石家庄地区1999~2018年电力污闪事故发生的详细资料,运用天气学原理和统计分析方法对43次发生个例最近一个时次天气形势和大气层结做细致分析。结果表明:发生电力污闪时大气环流形势场主要有四种配置类型,其中,第1类发生电力污闪的概率最高,其次是第2类与第3类,这两种发生电力污闪的概率相同,第4类发生电力污闪的概率最低;第1类当石家庄上空为高空槽控制,地面为地面倒槽、地面高压前部或地面鞍型场时;第2类当高空850 hPa至500 hPa为高压脊前(冷涡后偏北气流),地面为地面高压前部或地面倒槽时;第3类当高空700 hPa至500 hPa为高压脊(西北气流控制),850 hPa存在切变线或槽线,地面为地面高压前部,低压或均压场时;第4类当高空为偏西环流控制,地面为地面倒槽,地面高压前部或高压后部时;近地层湿或存在逆温是电力污闪发生不可忽视的因素。

关键词

输电线路, 污闪, 大气环流, 特征分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污闪是在供电网络上由于污湿原因使电气设备表面绝缘能力急剧下降,在电力场作用下出现强烈放电导致电网频繁掉闸、输电网络中断供电的事故现象。根据石家庄市电力污闪线路故障发生具体地点,从石家庄市统计局普调中心获取了有关村小微企业发展状况资料,从中了解电力污闪线路故障的村近年来小微企业名称、主营业务内容及从业人员等情况,从而详细了解当地空气的污染状况,以掌握造成电力污闪线路发生故障的致污原因。在石家庄市电力污闪线路故障发生地点周边,主要分布有烟煤开采及煤炭制品加工批发、洗煤业、矿产品销售、沙子批发、水泥制造及制品生产批发、混凝土生产加工、发电厂、机械制造业、金属制品冶炼铸造焊接、化工原料制造及化工产品生产、人造金刚石制造、活性炭生产、泡花碱生产、硅砂加工、建筑涂料制造业、油漆生产、制药业、陶瓷业、泡沫塑料制品和橡胶模具生产、合成材料制造、造纸及制品生产、制砖业、米面豆饼加工、饲料生产批发、淀粉生产、化肥制造业、纺纱织布和服装加工、牛皮绒粉生产、木材加工及家具生产、房地产开发及道路工程施工,向空气中排放大量灰尘、废气、烟雾、烟尘或粉尘等,使电力污闪线路发生故障成为可能。

当空气中浮游浓度较高的粉尘时,在毛毛雨、小雨或雨夹雪天气时,会发生雨闪,在小雪天气时或者降雪天气后,出发生冰闪,在雾、轻雾天气时,会发生雾闪。在导致石家庄电网事故发生的雷击、鸟害、污闪、人为因素等外力作用中,虽然污闪只占到整个电网事故的15%左右,但其发生在工作电压下,一旦发生就会造成大面积和长时间停电事故,并且损失电量,检修时间长,造成工业停产,生活断电。各地学者对污闪展开了分析研究,北京和江苏的电网灾害分布特征分析显示,雷害、风害、覆冰和污闪

是电网灾害的主要灾种[1][2]。中国电网污闪灾害的特点和成因分析表明,污闪雾是引发大多数污闪发生的气象因子[3];冬季降水量大,受暖气团影响使气温持续回升造成大量冬雪融化,使近地面湿度急剧增大,贝加尔湖弱冷空气入侵产生锋面雾是沈阳形成雾闪的前期气象条件[4];石家庄市供暖式雾霾对防污闪的潜力分析表明,根据天气条件施行灵活供暖有助于消解供暖式雾霾,从而减少污闪事故的发生[5];低空杂质对绝缘瓷瓶的污染和过冷水滴雾在瓷瓶上的大量粘附是发生污闪的必要条件[6];利用年降水量和平均气温建立了乌鲁木齐地区污闪次数的二元回归模型[7]。石家庄是我国最大医药基地和重要纺织基地之一,是河北省工业大市,空气污染严重[8],冬季雾霾天气[9][10][11]多发频发,持续时间长,人口已经突破千万大关,该区电网平稳运营是工业生产和人民生活的有力保证[12]。基于污闪事故的危害性,力图节约国家能源装备,本文从气象角度出发,对石家庄电力污闪发生前的大气环流形势做细致分析,以期进一步为预测御防污闪事故的发生提供技术支撑。

2. 资料及方法

本文从石家庄供电公司获取 1999 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日期间 43 次电力污闪事故的发生时间、故障地点、故障现象描述等详细资料,利用天气学原理和统计分析方法对石家庄市电力污闪事故最近一个时次高空(500 hPa、700 hPa 和 850 hPa)、地面天气形势图和邢台探空站 tlog_p 图进行大气环流形势分析,对 43 次电力污闪发生个例最近一个时次大气环流配置分型,以期提高对电力污闪事故发生的预测能力,从而使电力部门针对电力污闪事故发生的可能性提前采取防范措施。

3. 结果分析

3.1. 电力污闪发生的环流形势分析

根据石家庄供电公司提供 1999 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日期间电力污闪事故发生时间,发现当电力污闪事故发生时,会伴有液态或混合降水、积雪或结冰、雾、轻雾和固态降水这 5 类天气现象出现,其中,出现液态或混合降水时发生电力污闪 7 次,出现积雪或结冰时发生电力污闪 12 次,出现雾时发生电力污闪 12 次,出现轻雾时发生电力污闪 6 次,出现固态降水时发生电力污闪 6 次,共计 43 次。就石家庄电力污闪事故 43 个个例对最近一个时次高空(500 hPa、700 hPa 和 850 hPa)、地面天气形势图和邢台探空站 tlog_p 图进行天气形势和大气层结特征分析,具体统计分析如表 1 所示。

出现液态或混合降水时,高空槽影响 6 次;中低层切变线影响 5 次;地面东北回流 4 次,强冷高压影响 1 次,东北气旋活动 1 次,气压场比较弱 1 次;近地层有逆温 3 次;湿层比较厚、湿度大 4 次,比较干燥 3 次。出现积雪或结冰时,高空槽前西南气流影响 3 次,高空冷空气活动 9 次(其中 6 次偏强);地面蒙古气旋发展 1 次,受东北气旋影响 1 次,受冷高压影响 9 次(其中贝加尔湖冷高压南下 6 次),冷锋过境 1 次;气温低,整层温度 $< 0^{\circ}\text{C}$ 共 8 次,空气干冷。出现雾时,高空槽偏南气流影响 6 次,其余高空环流比较平直;地面气压场比较弱 9 次,倒槽影响 1 次,高压影响 1 次,锋面影响 1 次;近地面有逆温 11 次。出现轻雾时,高空环流比较平直 2 次,高压脊前 3 次,高空东北冷涡活动 1 次;地面高压底部 2 次,高压后部影响 1 次,受东北高压和地面倒槽影响 2 次,均压场影响 1 次;近地面有逆温层 3 次,没有逆温层 3 次。出现固态降水时,高空受高空槽影响 6 次,槽前有西南急流 3 次;中层有切变线 5 次;地面倒槽影响 4 次,黄河气旋影响 1 次,贝湖冷高压南下影响 1 次;有逆温层存在的 5 次。

综上所述,出现液态或混合降水时,高空槽和地面倒槽结合的 2 次;高空槽和地面高压底部结合的 2 次;只受地面高压影响 1 次(配合 850 hPa 切变线);500 hPa 南支槽、700 hPa 西南涡、850 hPa 切变线影响 1 次;高空槽和地面东北气旋活动影响 1 次。出现积雪或结冰时,高空有冷空气活动和地面冷高压南下占多数,共 7 次;高空槽前西南气流和地面蒙古气旋发展影响 1 次;高空冷空气活动和地面冷锋

Table 1. Atmospheric circulation of pollution flashover on transmission lines

表 1. 输电线路污闪发生的大气环流形势

| 天气现象 | 序号 | 高空环流形势 | 地面环流形势 | 层结特征 |
|---------|----|----------------------------|-----------------|------------------------------|
| 液态或混合降水 | 1 | 高空槽 | 地面倒槽 | 近地层湿, 925 hPa~850 hPa 之间有逆温 |
| | 2 | 高空槽 | 地面高压前部 | 湿层深厚, 近地层湿 |
| | 3 | 冷涡后部 | 地面东北-华北低压, 气旋尾部 | 空气干燥(阵前) |
| | 4 | 高空槽 | 地面倒槽 | 中高层湿 |
| | 5 | 偏西气流 | 北高南低, 倒槽顶 | 近地层湿, 925 hPa 附近有逆温 |
| | 6 | 浅槽前西南偏西(偏西气流) | 东高西低, 底前部 | 湿层深厚, 近地层湿 |
| | 7 | 浅槽前西南偏西, 850 hPa 有切变(偏西气流) | 地面倒槽中 | 湿层不明显, 近地有逆温 |
| 积雪或结冰 | 8 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 无资料 |
| | 9 | 弱脊 | 地面高压底前部 | 底层湿 |
| | 10 | 高压脊 | 地面高压前部 | 干 |
| | 11 | 弱槽前 | 辐合低压 | 上干下湿, 近地层湿 |
| | 12 | 涡后西北偏西 | 地面高压前部 | 近地层湿 |
| | 13 | 弱脊 | 高压底部 | 近地层湿 |
| | 14 | 高压脊 | 地面高压前部 | 近地逆温 |
| | 15 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 上干下湿, 近地层湿 |
| | 16 | 高空槽(冷涡) | 地面气旋后部 | 湿层深厚, 近地层湿 |
| | 17 | 高空西北 850 hPa 槽 | 地面高压底前部 | 干, 近地逆温 |
| | 18 | 高压脊 | 地面高压前部 | 干, 早晨逆温 |
| 雾 | 19 | 高压脊 | 地面高压前部 | 近地层湿, 逆温 |
| | 20 | 高压脊 | 地面高压前部 | 近地层湿 |
| | 21 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 高压后部 | 上湿下干, 近地逆温 |
| | 22 | 高压脊 | 低压后部 | 逆温 |
| | 23 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 近地层湿, 逆温 |
| | 24 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 地面高压 | 近地层湿, 逆温 |
| | 25 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 地面高压 | 近地层湿, 逆温 |
| | 26 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 地面高压 | 逆温 |
| | 27 | 高空槽 | 地面高压前部 | 逆温 |
| | 28 | 西北偏西, 850 hPa 切变 | 地面高压 | 近地层湿, 逆温 |
| | 29 | 高空槽 | 地面鞍型场 | 逆温 |
| 轻雾 | 30 | 高空槽 | 低压 | 近地层湿, 逆温 |
| | 31 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 低压 | 近地层湿, 逆温 |
| | 32 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 高压后部 | 近地层湿度小 |
| | 33 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 地面倒槽中 | 近地层湿, 925 hPa~850 hPa 之间有逆温层 |
| | 34 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 均压场 | 近地层湿, 逆温 |
| | 35 | 偏西, 弱脊-未来后部低涡控制 | 东部高压后-转倒槽 | 近地层浅层逆温 |
| | 36 | 西北偏西 | 地面高压底前部 | 湿层深厚, 近地层湿 |
| | 37 | 冷涡后西北气流 | 地面高压底前部 | 近地层湿度小 |

Continued

| | | | | |
|------|----|-------------------|---------|-----------------------------------|
| | 38 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 湿层深厚, 925 hPa~850 hPa 之间有逆温层 |
| | 39 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 湿层深厚 |
| 固态降水 | 40 | 高压脊, 850 hPa 有切变 | 地面倒槽中 | 近地层湿, 925 hPa~850 hPa 之间逆温层 |
| | 41 | 西南偏西, 850 hPa 有切变 | 转受地面倒槽中 | 近地浅层逆温 |
| | 42 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 湿层深厚, 近地层湿, 700 hPa~850 hPa 之间逆温层 |
| | 43 | 高空槽 | 地面倒槽中 | 湿层深厚 |

过境 1 次; 高空有弱冷空气活动和地面受东北气旋影响 1 次; 高空槽前西南气流和地面处于冷高压底前部 1 次; 高空短波槽活动、700 hPa 有切变线、地面贝湖冷高压扩散南压 1 次。出现雾时, 主要受地面系统影响。地面气压场比较弱 9 次, 倒槽影响 1 次, 高压影响 1 次, 锋面影响 1 次; 近地面有逆温 10 次。出现轻雾时, 高空东北冷涡活动、地面强冷空气扩散南下 1 次; 西风带环流比较平直、地面处于强冷高压底前部 1 次; 西风带环流比较平直、地面东北高压和地面倒槽影响 1 次; 高压脊和地面均压场形势 1 次; 高空高压脊、地面东北冷高压和倒槽影响 1 次; 高压脊和高压后部影响 1 次。出现固态降水时, 受高空槽和地面倒槽影响 4 次; 受高空槽和地面高压底部回流影响 1 次; 受高空槽和黄河气旋影响 1 次。

3.2. 电力污闪发生的大气环流配置特征

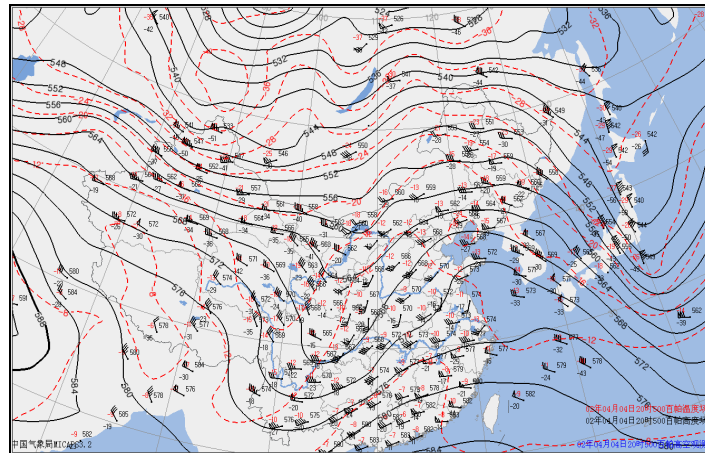
经分析石家庄电力污闪发生最近一个时次的大气环流配置特征发现: 发生电力污闪时大气环流形势场主要有以下四种配置类型, 见表 2。从表 2 中可以看出, 第 1 类当石家庄上空为高空槽控制时发生电力污闪的概率最高, 达 34.9%; 第 2 类高空 850 hPa 至 500 hPa 为高压脊前, 第 3 类高空 700 hPa 至 500 hPa 为高压脊, 850 hPa 存在切变线或槽线的环流配置比例相同, 分别 23.3%; 第 4 类高空为偏西环流控制时, 所占比例最少, 达 18.6%。分析高空、地面环流配置发现: 第 1 类高空槽配合地面倒槽, 发生污闪的比例最高, 占 27.9%, 此种类型需要引起注意(见图 1)。

此外, 分析 $tlog_p$ 图大气层结特征发现: 近地层(925 hPa 以下)湿($t-td < 4^\circ\text{C}$), 是电力污闪发生不可忽视的因素, 所占比例达 62.8%, 另外约有 55.8% 的个例近地层存在逆温; 近地层湿或存在逆温所占比例高达 88.4%; 所以在电力污闪的预报、预警服务中除考虑大气环流的配置特征外, 近地层湿或存在逆温也是不容忽视的一个方面(见图 2)。

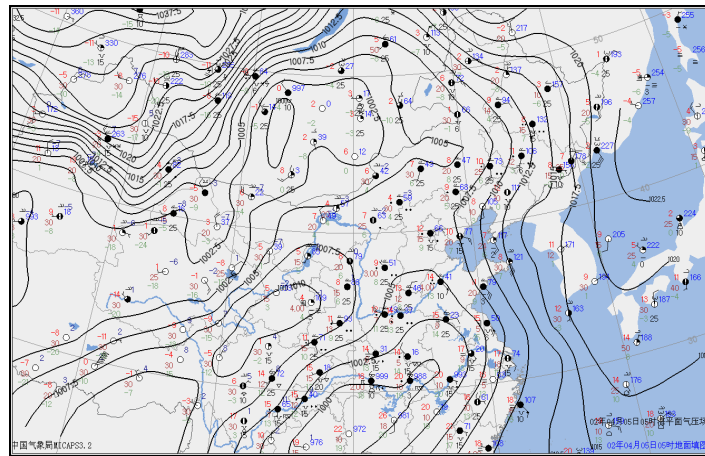
Table 2. Distribution characteristics of atmospheric circulation with pollution flashover on transmission lines

表 2. 输电线路污闪发生的大气环流形势配置特征

| 类别 | 高空环流形势 | 地面环流形势 | 发生次数 |
|-------------|-----------------------|----------|------|
| 第 1 类(15 次) | 高空槽 | 地面倒槽 | 12 |
| | 高空槽 | 地面高压前部 | 2 |
| | 高空槽 | 地面鞍型场 | 1 |
| 第 2 类(10 次) | 高压脊(冷涡后偏北气流) | 地面高压底前部 | 8 |
| | 高压脊(冷涡后偏北气流) | 地面倒槽(低压) | 2 |
| 第 3 类(10 次) | 高空西北气流, 850 hPa 槽(切变) | 地面高压底前部 | 7 |
| | 高空西北气流, 850 hPa 槽(切变) | 低压 | 2 |
| | 高空西北气流, 850 hPa 槽(切变) | 均压场 | 1 |
| 第 4 类(8 次) | 高空偏西气流 | 地面倒槽 | 5 |
| | 高空偏西气流 | 地面高压底前部 | 2 |
| | 高空偏西气流 | 高压后部 | 1 |

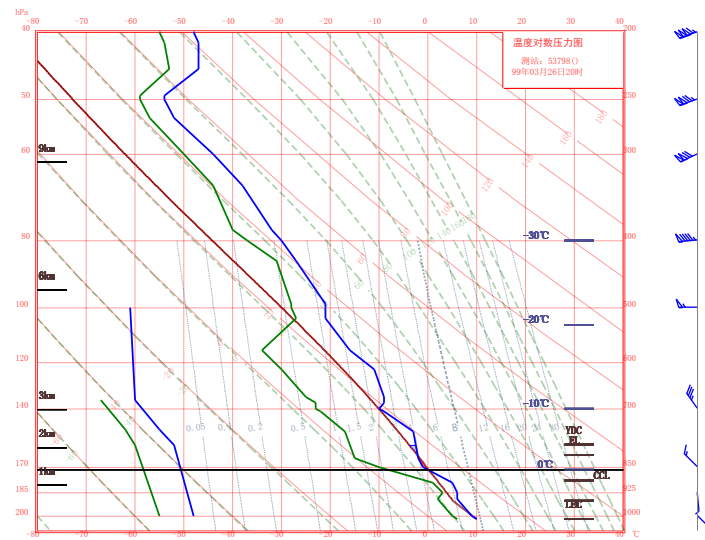


(a)



(b)

Figure 1. High-slot matching ground chamfer upper altitude diagram (a) and ground diagram (b) for transmission line pollution flashover
图 1. 输电线路污闪发生的高空槽配合地面倒槽高空图(a)、地面图(b)



(a)

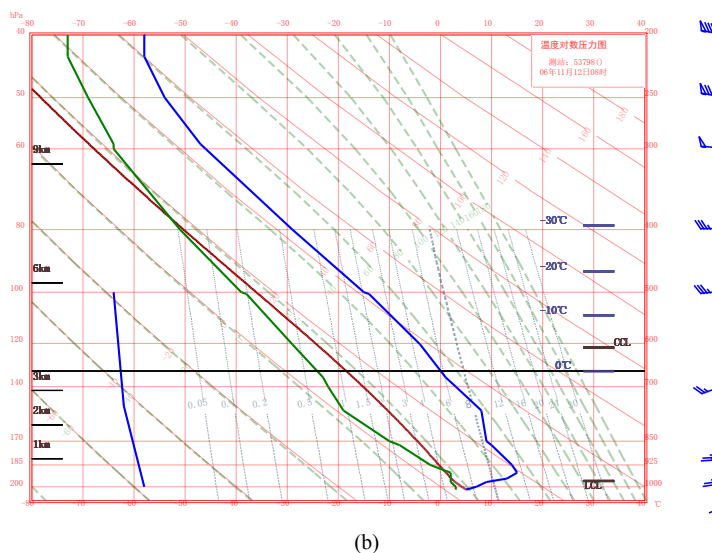


Figure 2. The atmosphere near the ground wet (a), temperature inversion (b) for transmission line pollution flashover

图 2. 输电线路污闪发生的大气层结近地层湿(a)、近地层逆温(b)

4. 结论

1) 发生电力污闪时大气环流形势场主要有四种配置类型。其中，第 1 类发生电力污闪的概率最高，其次是第 2 类与第 3 类，这两种发生电力污闪的概率相同，第 4 类发生电力污闪的概率最低。

2) 第 1 类当石家庄上空为高空槽控制，地面为地面倒槽、地面高压前部或地面鞍型场时；第 2 类当高空 850 hPa 至 500 hPa 为高压脊前(冷涡后偏北气流)，地面为地面高压前部或地面倒槽时；第 3 类当高空 700 hPa 至 500 hPa 为高压脊(西北气流控制)，850 hPa 存在切变线或槽线，地面为地面高压前部，低压或均压场时；第 4 类当高空为偏西环流控制，地面为地面倒槽，地面高压前部或高压后部时。

3) 近地层(925 hPa 以下)湿($t-td < 4^{\circ}\text{C}$)或存在逆温是电力污闪发生不可忽视的因素。

基金项目

国家自然科学基金(41875085)和河北省科技计划项目(17227001D)。

参考文献

- [1] 甘璐, 叶宽, 张德山, 丁谊. 北京市电网灾害的时空分布特征及与气象因素的关系[J]. 气象, 2012, 38(3): 349-352.
- [2] 路永玲, 陶风波, 周志成, 刘洋. 气象灾害对江苏电网设备的影响及防御分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015, 7(5):469-474.
- [3] 王兴发, 曹怀予, 肖军诗, 张强, 陆愈实. 我国电网自然灾害预警系统研究[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(6): 38-44.
- [4] 张永欣, 李广霞, 于秀捷. 沈阳一次“雾闪”气象条件分析[J]. 辽宁气象, 2004(3): 43-44.
- [5] 宋明月, 刘光远, 王建成, 赵杰, 苏盛. 气温变化对石家庄市供暖式雾霾的影响及防污闪潜力分析[J]. 电力建设, 2015, 36(6): 119-123.
- [6] 顾节经, 顾岩. 雾闪停电灾害的成因分析[J]. 山东气象, 2001(3): 53-54.
- [7] 刁平, 孙新莲, 杨秀兰. 乌鲁木齐市电业污闪的气象因素分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2002, 25(5): 26-29.
- [8] 张夏琨, 王春玲, 王宝鉴. 气象条件对石家庄市空气质量的影响[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 42-47.
- [9] 毛冬艳, 杨贵名. 华北平原雾发生的气象条件[J]. 气象, 2006, 32(1): 78-83.

- [10] 陈瑞敏, 吴雁, 刘晓峰, 徐建芬. 2007年1月初河北省连续大雾的成因分析[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 63-66.
- [11] 侯瑞钦, 李江波, 赵玉广. 河北平原一次持续大雾天气分析[J]. 干旱气象, 2009(3): 69-76.
- [12] 阎访, 陈静, 车少静. 石家庄夏季用电量对天气的响应及其预测模型[J]. 干旱气象, 2009(3): 88-93.