

张翠华. 气象要素对电力污闪发生的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 180-184, [ZHANG Cuihua. Influence of Meteorological Elements on Electric Power Pollution Flashover Occurrence[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(1): 180-184], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-01-0180

## 气象要素对电力污闪发生的影响

张翠华

(河北省石家庄市气象局, 河北 石家庄 050081)

**摘要:**利用石家庄地区1990~2013年电力污闪事故发生的详细资料,归纳整理出污闪发生的一般规律,结合诱发污闪发生的天气现象和气象要素,综合在不同气象条件下污闪发生的可能性大小,对其进行分级,给出污闪发生级别的综合预测标准,从而判定预测电力污闪发生的气象指数,并提出必要安全防护措施。结果表明:当气温 $>15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $<45\%$ ,风速 $>4.8\text{ m/s}$ 时天气晴朗,不会发生污闪;在相对湿度 $\geq 80\%$ ,风速 $\leq 2.0\text{ m/s}$ 时,气温在 $-7.5\sim 7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时出现雾,气温在 $-4.5\sim 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时出现积雪或结冰,极易发生污闪;在相对湿度 $\geq 80\%$ ,风速 $\leq 2.0\text{ m/s}$ ,气温在 $-4.5\sim 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时出现液态、混合或固态降水、轻雾,容易发生污闪。

**关键词:**电力污闪;发生规律;气象条件;指数判定

**文章编号:**1006-7639(2015)-01-0180-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-01-0180

**中图分类号:**P47

**文献标识码:**A

### 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。污闪主要包括雨闪、冰闪和雾闪,雨闪是指在毛毛雨、小雨或雨夹雪天气时,电气设备表面附着的污秽物中的可溶物质逐渐溶于水,在绝缘表面形成一层导电膜,使电气设备外绝缘表面绝缘水平急剧下降而闪络放电,导致电路被烧毁而出现短路的现象;冰闪是指在小雪天气时或者降雪天气后,线路悬垂绝缘子串积雪结冰,绝缘子串结冰后形成贯穿整串的冰柱,当气温回升到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时冰柱开始融化,融化的冰水顺着悬垂绝缘子串边缘下淌,形成连续的冰水溜,冰水溜的形成造成绝缘子短路跳闸而发生停电事故;雾闪是指在雾、轻雾天气时,电气设备表面附着的污秽物在潮湿条件下,其可溶物质逐渐溶于水,在绝缘表面形成一层导电膜,使绝缘子的绝缘水平大大降低,在电力场作用下出现的强烈放电现象。

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,并且损失电量大,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,如张永欣等<sup>[1]</sup>对沈阳出现的一次锋面雾造成的污闪进行了前期气象条件分析;顾节经等<sup>[2]</sup>指出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;刁平等<sup>[3]</sup>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。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<sup>[4]</sup>,冬季雾霾天气<sup>[5-6]</sup>多发频发、持续时间长,人口已经突破千万大关,该电网平稳运营是工业生产和人民生活的有力保证<sup>[7]</sup>。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,针对诱发电力污闪发生的气象条件做进一步深入剖析,以期为做好预测御防污闪事故的发生提供科学依据。

### 1 资料及方法

气象指数是指根据未来天气条件对日常生活的影响做出提示性、服务性产品而提供的具体参考数据,这些参考数据包括温度、湿度、风向、风速等

相关气象要素数据。本文从石家庄供电公司获取1990年1月1日至2013年12月31日期间84次污闪事故的发生时间、故障地点、故障现象描述等详细资料,归纳整理出电力污闪发生的一般规律,结合诱发污闪事故发生的天气现象(雾、毛毛雨、小雨、小雪、雨夹雪、积雪、结冰)和气象要素(气温、相对湿度、风速),综合在不同气象条件下污闪事故发生的可能性大小,对其进行分级,给出电力污闪发生级别的综合预测标准,以判定预测其发生的气象指数,从而进一步提高对污闪事故发生的预测能力。

## 2 结果分析

### 2.1 污闪的发生规律

经统计,从电力污闪发生的月变化情况看(图1),石家庄电力污闪发生范围在10月至次年4月,即秋季中期、冬季和春季中期,最早发生在10月12日,最晚发生在4月19日,月变化呈现双峰型,即电力污闪主要发生在12月和2月,其次是1月和3月。从电力污闪发生的日变化情况看(图2),石家庄电力污闪在全天均有发生,主要时段发生在20时

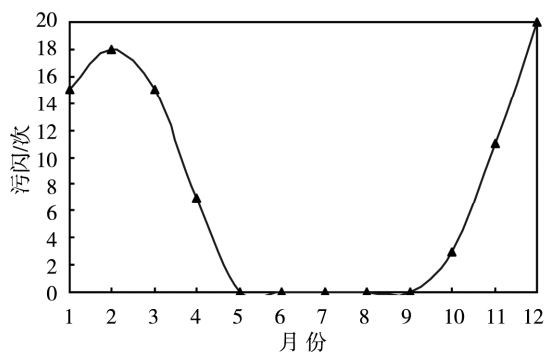


图1 石家庄电力污闪月变化

Fig. 1 The monthly variation of electric power pollution flashover in Shijiazhuang

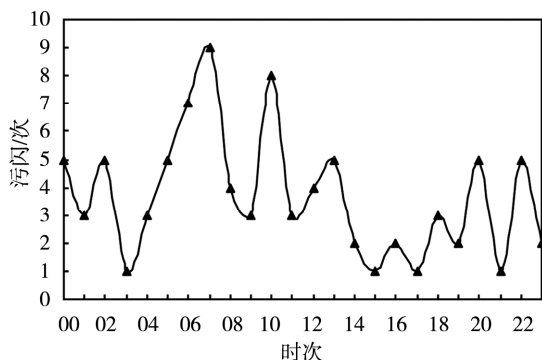


图2 石家庄电力污闪日变化

Fig. 2 The diurnal distribution of electric power pollution flashover in Shijiazhuang

至次日13时,即傍晚、夜间、上午和中午,高发时段出现在07时和10时,其次是06时,下午发生次数最少。

### 2.2 诱发污闪发生的气象条件

通过对污闪发生时的气象资料的分析表明,出现雾、轻雾、毛毛雨、小雨、小雪、雨夹雪、积雪、结冰等天气现象是导致污闪发生的主要气象条件,污闪的发生还与气温、相对湿度、风速等气象要素有着密切关系,把在不同天气现象下气温、相对湿度和风速各变化范围内污闪发生次数占污闪发生总次数的比例定义为对应气象要素变化范围内污闪发生频率,经综合分析,给出了诱发污闪发生的主要气象条件(表1)。

从污闪发生的气温要素看,发生范围在 $-7.5 \sim 15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,当气温在 $-4.5 \sim 4.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,污闪发生58次,当气温在 $-7.5 \sim -4.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $4.6 \sim 7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,污闪发生18次,当气温在 $7.6 \sim 15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,污闪发生8次,当气温 $>15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,没有污闪发生。从污闪发生的相对湿度要素看,发生范围在 $45\% \sim 100\%$ ,当相对湿度在 $80\% \sim 100\%$ 时,污闪发生65次,当相对湿度在 $60\% \sim 79\%$ 时,污闪发生12次,当相对湿度在 $45\% \sim 59\%$ 时,污闪发生7次,当相对湿度 $<45\%$ 时,没有污闪发生。从污闪发生的风速要素看,发生范围在 $0.0 \sim 4.8 \text{ m/s}$ ,当风速 $\leq 2.0 \text{ m/s}$ 时,污闪发生78次,当风速在 $2.1 \sim 3.0 \text{ m/s}$ 时,污闪发生4次,当风速在 $3.1 \sim 4.8 \text{ m/s}$ 时,污闪发生2次,当风速 $>4.8 \text{ m/s}$ 时,没有污闪发生。

当出现液态降水或混合降水时,即出现毛毛雨、小雨和雨夹雪时,污闪发生12次,发生频率为14%,发生时段主要出现在2~4月的傍晚和早上,过程降水量 $\leq 2.9 \text{ mm}$ ,气温所处范围在 $-0.4 \sim 15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度所处范围在 $45\% \sim 97\%$ ,风速 $\leq 3.0 \text{ m/s}$ 。当气温在 $-0.4 \sim 4.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,污闪发生8次,当气温在 $4.6 \sim 7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,污闪发生2次,当气温 $7.6 \sim 15.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,污闪发生2次;当相对湿度在 $80\% \sim 97\%$ 时,污闪发生10次,当相对湿度在 $60\% \sim 79\%$ 时,污闪发生1次,当相对湿度在 $42\% \sim 59\%$ 时,污闪发生1次;当风速 $\leq 2.0 \text{ m/s}$ 时,污闪发生11次,当风速在 $2.1 \sim 3.0 \text{ m/s}$ 时,污闪发生1次。

当出现固态降水时,即出现米雪和小雪时,污闪发生7次,发生频率为9%,发生时段主要出现在1月的上午和中午,过程降水量 $\leq 2.6 \text{ mm}$ ,气温所处范围在 $-4.5 \sim 2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度所处范围在 $72\% \sim 96\%$ ,风速 $\leq 2.0 \text{ m/s}$ 。当相对湿度在 $80\% \sim 96\%$ 时,污闪发生6次;当相对湿度在 $60\% \sim 79\%$ 时,污

闪发生 1 次。

当出现积雪或结冰时,污闪发生 22 次,发生频率为 26%,发生时段主要出现在 12 月至次年 1 月的上午和中午,气温所处范围在  $-5.4 \sim 7.6$  °C,相对湿度所处范围在 48% ~ 97%,风速  $\leq 4.8$  m/s。当气温在  $-4.5 \sim 4.5$  °C 时,污闪发生 17 次,当气温在  $-5.4 \sim -4.6$  °C 与  $4.6 \sim 7.5$  °C 时,污闪发生 4 次,当气温  $> 7.6$  °C 时,污闪发生 1 次;当相对湿度在 80% ~ 97% 时,污闪发生 11 次,当相对湿度在 60% ~ 79% 时,污闪发生 7 次,当相对湿度在 42% ~ 59% 时,污闪发生 4 次;当风速  $\leq 2.0$  m/s 时,污闪发生 20 次,当风速范围在  $3.1 \sim 4.8$  m/s 时,污闪发生 2 次,当风速在  $2.1 \sim 3.0$  m/s 时,污闪没有发生。

当出现雾时,污闪发生 32 次,发生频率为 38%,发生时段主要出现在 11 月至次年 2 月,全天均有发生,气温所处范围在  $-7.5 \sim 15.0$  °C,相对湿度所处范围在 56% ~ 100%,风速  $\leq 3.0$  m/s。当气

温在  $-4.5 \sim 4.5$  °C 时,污闪发生 20 次,当气温在  $-5.4 \sim -4.6$  °C 与  $4.6 \sim 7.5$  °C 时,污闪发生 10 次,当气温  $> 7.6$  °C 时,污闪发生 2 次;当相对湿度在 80% ~ 97% 时,污闪发生 32 次,当相对湿度在 42% ~ 79% 时,没有污闪发生;当风速  $\leq 2.0$  m/s 时,污闪发生 29 次,当风速在  $2.1 \sim 3.0$  m/s 时,污闪发生 3 次。

当出现轻雾时,污闪发生 11 次,发生频率为 13%,发生时段主要出现在 2 ~ 3 月的夜间和早上,气温所处范围在  $0.7 \sim 12.8$  °C,相对湿度所处范围在 56% ~ 96%,风速  $\leq 2.0$  m/s。当气温在  $-4.5 \sim 4.5$  °C 时,污闪发生 6 次,当气温在  $-5.4 \sim -4.6$  °C 与  $4.6 \sim 7.5$  °C 时,污闪发生 2 次,当气温  $> 7.6$  °C 时,污闪发生 3 次;当相对湿度在 80% ~ 97% 时,污闪发生 6 次,当相对湿度在 60% ~ 79% 时,污闪发生 3 次,当相对湿度在 42% ~ 59% 时,污闪发生 2 次;当风速  $\leq 2.0$  m/s 时,污闪发生 11 次,当风速在  $2.1 \sim 4.8$  m/s 时,没有污闪发生。

表 1 石家庄电力污闪在不同天气现象下的发生频率(单位:%)

Tab.1 Occurrence frequency of electric power pollution flashover under different weather phenomenon in Shijiazhuang

气象要素	变化范围	液态或混合降水	固态降水过程	积雪或结冰	雾	轻雾
		过程降水量 $\leq 2.9$ mm 总发生频率 14%	降水量 $\leq 2.6$ mm 总发生频率 9%	总发生 频率 26%	总发生 频率 38%	总发生 频率 13%
气温	$-4.5 \sim 4.5$ °C	9	9	20	24	7
	$-7.5 \sim -4.6$ °C 或 $4.6 \sim 7.5$ °C	3	0	5	12	2
	$7.6 \sim 15.6$ °C	2	0	1	2	4
相对湿度	80% ~ 100%	12	8	13	38	7
	60% ~ 79%	1	1	8	0	4
	45% ~ 59%	1	0	5	0	2
风速	$\leq 2.0$ m · s <sup>-1</sup>	13	9	24	35	13
	$2.1 \sim 3.0$ m · s <sup>-1</sup>	1	0	0	3	0
	$3.1 \sim 4.8$ m · s <sup>-1</sup>	0	0	2	0	0

### 2.3 预测污闪发生的气象指数判定

通过对有利于污闪形成的不同气象条件进行分析,综合在不同气象条件下污闪发生的可能性大小,将电力污闪进行分级,把污闪的发生分为不会发生污闪、可能发生污闪、容易发生污闪、极易发生污闪 4 个级别,以气温要素为参照对象,结合空气相对湿度和风速要素指标,给出电力污闪发生级别的综合预测标准(表 2),没有污闪发生定义为 1 级,当污闪发生频率在 1% ~ 5% 时,定义为 2 级可能发生污闪,当污闪发生频率在 6% ~ 9% 时,定义为 3 级容易发生污闪,

当污闪发生频率  $\geq 10\%$  时,定义为 4 级极易发生污闪,从而进一步提高对污闪发生的预测能力。

当气温  $> 15.6$  °C,相对湿度  $< 45\%$ ,风速  $> 4.8$  m/s 时天气晴朗,不会发生污闪。在气温  $-7.5 \sim -4.6$  °C 或  $4.6 \sim 15.6$  °C,相对湿度  $\geq 45\%$ ,风速  $\leq 2.0$  m/s 时出现雾,风速  $\leq 3.0$  m/s 时出现液态或混合降水,风速  $\leq 4.8$  m/s 时积雪或结冰,可能发生污闪;当气温在  $-4.5 \sim 4.5$  °C 之间,相对湿度  $\geq 60\%$ ,风速  $\leq 2.0$  m/s 时出现固态降水,可能发生污闪;当气温在  $7.6 \sim 15.6$  °C 之间,相对湿度  $\geq 80\%$ ,风速  $\leq$

3.0 m/s 时出现雾,可能发生污闪。在相对湿度  $\geq 80\%$ , 风速  $\leq 2.0$  m/s, 气温在  $-4.5 \sim 4.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现液态、混合或固态降水、轻雾, 容易发生污闪。在相

对湿度  $\geq 80\%$ , 风速  $\leq 2.0$  m/s, 气温在  $-7.5 \sim 7.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现雾, 气温在  $-4.5 \sim 4.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现积雪或结冰, 极易发生污闪。

表2 石家庄电力污闪的综合预测判定

Tab.2 Comprehensive prediction criterion of electric power pollution flashover in Shijiazhuang

级别	污闪易发程度	气象条件	气温/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%	风速/(m/s)
1	不会发生污闪	天气晴朗	$> 15.6$	$< 45$	$> 4.8$
		积雪或结冰			$\leq 4.8$
		液态或混合降水	$-7.5 \sim -4.6$ 或 $4.6 \sim 15.6$	$\geq 45$	$\leq 3.0$
2	可能发生污闪	轻雾			$\leq 2.0$
		固态降水	$-4.5 \sim 4.5$	$\geq 60$	$\leq 2.0$
		雾	$7.6 \sim 15.6$	$\geq 80$	$\leq 3.0$
3	容易发生污闪	液态、混合或固态降水、轻雾	$-4.5 \sim 4.5$	$\geq 80$	$\leq 2.0$
4	极易发生污闪	雾	$-7.5 \sim 7.5$	$\geq 80$	$\leq 2.0$
		积雪或结冰	$-4.5 \sim 4.5$		

由表2列出的污闪发生的综合预测判定标准可以推出,预测污闪发生的气象指数由天气现象、气温、相对湿度和风速等相关气象要素构成,分为4个等级,分别为1级不会发生污闪,2级可能发生污闪,3级容易发生污闪和4级极易发生污闪,级别越大,发生污闪的可能性越大。污闪一般发生在北方秋末、冬季和春初,当预测出现雾、轻雾、毛毛雨、小雨、小雪、雨夹雪、积雪、结冰等天气现象时,气温、相对湿度、风速出现在对应变化范围时,气象部门可根据未来天气条件,提前发布污闪发生可能性的预警信息提示,这样就为电力部门防范污闪的发生提高预测决策能力,从而尽可能地保护社会生产不受损失,人民生活不受影响。

### 3 结论与讨论

(1) 当气温  $> 15.6$   $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度  $< 45\%$ , 风速  $> 4.8$  m/s 时天气晴朗, 不会发生污闪。

(2) 当污闪发生级别为2级时, 建议污闪可能发生期间对瓷绝缘子表面的污秽物进行彻底清洗, 达到有效解决积污问题; 将瓷绝缘子换成合成绝缘子或者对瓷绝缘子涂刷防污涂料, 提高绝缘子表面憎水性和憎水迁移性, 从而有效减少湿润。

(3) 在相对湿度  $\geq 80\%$ , 风速  $\leq 2.0$  m/s 时, 气温在  $-7.5 \sim 7.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现雾, 气温在  $-4.5 \sim 4.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现积雪或结冰, 极易发生污闪。在相对湿度  $\geq$

80%, 风速  $\leq 2.0$  m/s 时, 气温在  $-4.5 \sim 4.5$   $^{\circ}\text{C}$  时出现液态、混合或固态降水、轻雾, 容易发生污闪。

(4) 当污闪发生级别为3、4级时, 建议污闪高发期间做到经常清扫瓷绝缘子表面, 对距离污染源近的线路要缩短清扫周期, 并在高发时段加强线路巡视检查力度; 针对靠近重污染源的线路, 合理地选择外绝缘的爬电比距, 并在电力设备处在离地面安全范围内的前提下, 增加绝缘子的片数, 达到增加其爬电比距, 提高沿面闪络电压, 有效解决作用电压问题。

#### 参考文献:

- [1] 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, 2001(3): 43-44.
- [2] 顾节经, 顾岩. 雾闪停电灾害的成因分析[J]. 山东气象, 2001(3): 49-50.
- [3] 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]. 新疆气象, 2002, 25(5): 26-29.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 杨晓亮, 杨敏. 一次雾霾过程中气象因子与细颗粒物浓度关系的研究[J]. 干旱气象, 2013, 31(5): 781-787.
- [7] 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, 27(3): 282-287.

## Influence of Meteorological Elements on Electric Power Pollution Flashover Occurrence

ZHANG Cuihua

(Shijiazhuang Meteorological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** Electric power pollution flashover occurring under different meteorological conditions was analyzed to improve the ability about prediction of it. Based on the detailed information on electric power pollution flashover from 1990 to 2013 in Shijiazhuang, its general rules were organized and classified. Comprehensive prediction criterion of electric power pollution flashover was given, the meteorological index criterion was determined, and the necessary safety precaution was proposed according to weather phenomenon and meteorological elements. The results show that electric power pollution flashover would not happen when it was sunny with temperature more than 15.6 °C, the relative humidity less than 45% and wind speed greater than 4.8 meters per second. Electric power pollution flashover would happen very easily when it was misty with temperature being from -7.5 °C to 7.5 °C, and it was snowy and icy with temperature being from -4.5 °C to 4.5 °C under the condition of relative humidity being not less than 80% and wind speed being not greater than 2.0 meters per second. Electric power pollution flashover would happen easily when it was liquid, solid or mixed precipitation and it was light fog under the condition of relative humidity more than 80% and wind speed less than 2.0 meters per second.

**Key words:** electric power pollution flashover; occurrence regularity; meteorological condition; index criterion

## 欢迎订阅 2015 年《干旱气象》

《干旱气象》由中国气象局兰州干旱气象研究所、中国气象学会干旱气象学委员会主办,是我国干旱气象领域科学研究的专业性学术期刊,反映有关干旱气象监测、预测和评估的最新研究成果,充分展示干旱气象领域整体的研究和应用水平。期刊主要刊载干旱气象及相关领域有一定创造性的学术论文、研究综述、简评,国内外干旱气象发展动态综合评述、学术争鸣以及相关学术活动。具体包括:国内外重大干旱事件分析、全球及干旱区气候变化、干旱气象灾害评估及对策研究、水文、生态与环境、农业与气象、可再生能源开发与利用、地理信息与遥感技术的应用等。本刊还免费刊载干旱气象研究成果、研究报告、学术活动、会议消息等。《干旱气象》已被《中国学术期刊(光盘版 CAJ-CD)》、万方数据-数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中国科技论文统计源期刊、重庆维普中文科技期刊数据库、教育阅读网、台湾华谊线上图书馆等全文收录。

《干旱气象》内容丰富、信息量大、研读性强,适合广大气象科研业务工作者、各相关专业技术人员、大专院校师生阅读。

《干旱气象》为双月刊,国内外公开发行。2015 年正刊 6 期,每期定价 36 元,全年 216 元。欢迎广大读者订阅,并可以随时邮局款汇购买,款到开正式发票。

编辑部地址:甘肃省兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部

邮政编码:730020 联系电话:0931-4670216-2270 电子信箱:ghs\_ghqx@sina.com

银行汇款:兰州市工商银行拱星墩分理处 户名:中国气象局兰州干旱气象研究所

帐号:2703001509026401376

邮汇:兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部