

## 4·10 线路闪络事故原因分析

Cause Analysis to 4·10 Power Line Flashover Accident

马贵祥

(内蒙古电力勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**[摘要]** 2006-04-10, 内蒙古地区发生了强沙尘天气, 同一天内蒙古地区电网发生了 15 条(次)线路闪络事故, 分析认为大气中的浮尘是导致空气间隙失效的主因, 并对合成绝缘子的防尘能力提出质疑, 建议对大气污闪现象进行科学论证及试验研究, 给出送电线路绝缘抗沙尘暴影响的技术措施。

**[关键词]** 沙尘含量; 空气绝缘特性; 污闪; 试验; 措施

**[中图分类号]** TM726.1

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1008-6218(2008)01-0014-02

### 1 大气污闪与污秽的定义

大气污闪是外绝缘污秽闪络的一种类型。通常所说的污秽闪络是指大气中的污秽物质附着于绝缘介质表面而造成的放电闪络现象。大气污闪则特指空气中的污秽物质达到一定的浓度时, 空气绝缘特性发生变化而引起的空气间隙闪络。两种污闪类型的区别是, 通常所说的污秽闪络主要表现在绝缘介质(绝缘子)表面, 而大气污闪主要表现在空气间隙。

### 2 故障现象

2006-04-10, 在强沙尘天气过程中, 内蒙古巴彦淖尔市至呼和浩特市的电网大范围发生闪络故障, 从当日 18:00 起至 22:00 左右, 共有 5 条 220 kV 线路、2 条 110 kV 线路跳闸 15 条(次), 多条配电线路发生跳闸故障。据通报, 在内蒙古西部电网发生大范围闪络故障的前 1 d, 新疆电网也发生同样类型的闪络故障, 按风向及时间计算系由同一场扬沙天气过程所致。以下将重点对上述现象进行分析。

#### 2.1 典型事故情况(摘自事故通报)

(1) 220 kV 张前线 50 号塔 A 相对铁塔放电, 3 次跳闸, 18:29 和 18:43 两次重合闸成功, 18:49 重

合闸不成功。

(2) 220 kV 沙张线 17 号耐张塔 B 相绝缘子均压环(为合成绝缘子)对地放电, 18:53 跳闸重合成功, 19:58 跳闸重合不成功。

(3) 220 kV 沙城Ⅱ回 2 塔号(为耐张塔)B 相瓷瓶有放电痕迹, 20:40、20:45 两次跳闸重合成功, 21:05 跳闸重合不成功。

(4) 220 kV 古土线 100 号塔 B 相跳线串上下均压环间放电, 21:04、21:20 跳闸重合成功, 21:50 跳闸重合退出。

(5) 220 kV 土东线 347 号塔 B 相引流线对光缆放电, 21:10 跳闸, 重合闸未成功。

#### 2.2 故障特点

本次大范围大气污闪, 具有以下特点:

- (1) 闪络点大多数发生在耐张塔转角处;
- (2) 发生于跳线串处较多;
- (3) 发生于合成绝缘子处较多。

### 3 原因分析

烟尘可引发输电线路的相间或相对地闪络。烟尘是由于植物(或其它可燃物)燃烧后, 碳颗粒悬浮于空气中, 其浓度达到一定程度, 使空气失去绝缘作

**[收稿日期]** 2007-10-13

**[作者简介]** 马贵祥(1955—), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 毕业于华北电力大学, 高级工程师, 现从事输电线路设计与管理工作。

用发生闪络事件;而沙尘暴天气的闪络事件往往和大风密切相关,不易找出主要原因,也就无法制定对策。因此,本文主要探讨沙尘暴天气线路闪络的成因,并试图找出主要原因。

### 3.1 大风对闪络事件有影响

大风对闪络事件有影响,但不一定是主要原因。据运行单位调查,发生闪络时风速达 22 m/s,如此大的风速,若说闪络和风偏关系不大显然不符合实际情况,但若说是风造成的闪络,缺乏足够的说服力,因发生闪络故障的高压线路大多数的设计风速为 30 m/s,个别线路设计风速为 25 m/s,即便以 25 m/s 设计风速的标准去比较,22 m/s 风速下风偏后剩余间隙仍有较大裕度,而且 25 m/s 风速所使用的塔头尺寸和 30 m/s 风速标准下的塔头尺寸基本一致。因此,可以初步判断风偏是闪络的一个因素,但不是决定性因素,同时发生在配电线路上的闪络,可以为上述判断提供有力佐证:配电线路直线杆都采用针式瓷绝缘子,耐张杆虽有跳线,但跳线均采用针式绝缘子固定于横担上,基本可以避免风偏影响,并且由于其使用档距较小,弧垂很小,导线在档距中央的不同步摆动值也很小,所以相间接近程度也很小,不至于因 22 m/s 的风速而发生闪络,但事实上已经发生了闪络。经上述分析,更进一步排除了风偏是闪络主要原因的可能性。

### 3.2 大气中沙尘含量高是闪络的主要因素

沙尘暴的形成必然伴随着上升气流的运动,而上升气流在运动过程中又不断使气流运动,造成大气中的含尘量越来越高。众所周知,尘土是非绝缘物质,即使是干燥尘土,只是电阻率略高一些,而尘土的化学成分随着地区的不同而不同。黄灌区、高蒸发量的地区土壤中含有盐、碱、硝等化合物,这些物质是电阻率很低的导电物,当空气中的含尘量达到一定浓度时,尘土颗粒之间极化形成“导电链”,空气间隙的绝缘在强电场作用下,相与相之间或相与地之间的间隙将被击穿。比较典型的实例为古土线 100 号塔跳线串(采用合成绝缘子)上下均压环间空气间隙被击穿,该间隙长度为 3 m,可以判断当时的大气含尘量相当高(不排除漂浮的杂物也在起作用)。

### 3.3 空中杂散物的因素不可忽视

现代环境中,随风漂浮的杂物物种越来越多,树枝、杂草、农用膜、民用塑料片均有,在沙尘天气上升气流带动下,这些杂散物漫天飞舞,塑料制品虽为绝缘物质,但粘附在其表面的杂土等污垢都为非绝缘物质,蒿草、树枝一般也不具备绝缘特性,这些物质

一旦挂附在绝缘子串或金具上,则在客观上起到了“短接”的作用。此次大范围大气污闪事件中,虽然拿不出可靠证据证明这些杂物起到了重要作用,但从观察到的空中漂浮杂物的现象,可以作出相应推论。

## 4 推论

### 4.1 转角塔跳线串风压具有特殊性

线路转角的设置是因前方有障碍,如地形的障碍、地物的障碍(如建筑物、规划区)和交叉跨越的需要等,其中地形、构筑物对风向的影响最为显著。线路转角处往往也是风向转折处,气流在转折过程中会产生一种旋转力,作用于约束程度较小的跳线悬垂串上时,风压旋转力矩会导致跳线串产生一定的旋转,在空气清洁的情况下,旋转后的空气间隙有足够的绝缘强度,而沙尘天气大气中当含尘量过高时,则旋转后剩余间隙不足以起到绝缘作用而被击穿。其实,即使风向不变,而线路因转角而改变方向,其旋转机理也与风向的改变相同。

### 4.2 合成绝缘子防大气尘埃能力有待研究

在此次大气污闪事件中,大多数闪络发生在合成绝缘子处,截至目前,尚不清楚其具体原因,但事实已经证明合成绝缘子抗大气尘埃污秽的能力不如瓷或玻璃绝缘子,笔者认为可能与下列因素有关:

(1) 合成绝缘子的伞裙分布较密,空气动力特性与玻璃和瓷绝缘子相比发生变异,含尘气流不易顺畅通过,造成尘埃的局部聚积;

(2) 合成绝缘子是否具有憎水不憎尘的特性,甚或有吸尘的特性有待分析实验及研究;

(3) 由于外绝缘配置大都受污秽等级控制,造成合成绝缘子串的长度小于玻璃或瓷绝缘子,从而造成有效空气间隙比较偏小;

(4) 风偏时,瓷或玻璃绝缘子在摆动,串中各片间呈弧形运动,而合成绝缘子却是直线摆动,在垂直荷载相同情况下,合成绝缘子实际风偏位移更接近计算值,而玻璃或瓷绝缘子串可能因有弧度的存在略有些裕度。

以上分析推断的成分多一些,真正要解释清楚这种现象,尚需大量运行实践和科学试验进行验证。

### 4.3 与跳线串组装方式有较大关系

单串单挂点跳线串自由旋转性强,不如双串双挂点稳定;采用跳线夹时,线夹以外的跳线刚度较小,容易在扭矩作用下变形,而采用双串双挂点配合撑担时,则稳定性较好,抗扭能力(下转第 29 页)

4.4 吹灰系统改造

重新设计布置蒸汽吹灰管路系统,增加疏水点,增设支吊架,使管路能够自由膨胀,减少震动,降低管系热应力,消除了蒸汽带水,保证系统正常有效运行。

5 改造效果

改造前后运行数据对比见表2。经过改造和燃烧调整试验,炉内结焦状况明显改善,并得到有效控制。改造前,平均1~2 d落大焦1次,负压波动700~800 Pa;改造后,无大焦块下落,负压波动降低到250 Pa以下,减温水量减少到50 t/h,未发生落焦灭火、液压关断门、捞渣机频繁砸坏等现象,检修情况得到大幅改善,提高了锅炉带负荷能力。

6 结束语

近来由于发电用煤供应紧张,煤质与设计用煤

表2 运行数据对比

项目名称	改造前	改造后
负荷/MW	200	200
主蒸汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	579	597
主汽温度/℃	536/538	535/538
一级减温水量/(t·h <sup>-1</sup> )	37.4	24.0
二级减温水量/(t·h <sup>-1</sup> )	36.9	25.8
再热蒸汽减温水量/(t·h <sup>-1</sup> )	17.9	15.0
炉膛出口烟温偏差/℃	156	75
排烟温度/℃	141/148	133/142
炉内最高烟温/℃	1 579	1 515
锅炉热效率/%	91.857	92.996
高过热段最高壁温/℃	550	541.4
高温再热器最高壁温/℃	567	551.3

偏差较大,同时由于在设计、运行、检修等方面存在问题,常常出现锅炉结焦、过热器超温等严重问题。在试验基础上,针对锅炉具体情况,从设备、燃料、运行调整、设计等多环节进行综合治理,可逐步提高锅炉运行的稳定性和安全性,达到节能降耗的目的。

编辑:王金丽

(上接第15页)较强。

4.4 含尘空气与清洁空气的风压特性明显不同

风压的定义是具有一定质量的空气在运动(速度)过程中施加在单位平面上的力。这里的关键词是质量和速度,而尘土(以粉土为基准)的质量是清洁空气质量的2 000倍(清洁空气的质量为1.25 kg/m<sup>3</sup>,粉土质量为2 500 kg/m<sup>3</sup>),因此气流速度相同时,含尘空气的风压要大一些,含尘量越高,风压增量越大,作用于线路元件尤其是可摆动元件上时,造成的摇摆角也越大,这一现象,需要进行专题研究。

5 建议

5.1 开展深层次的科学试验

沙尘暴天气情况下,大气中的尘土含量对空气绝缘的特性产生影响已是不争的事实,但大气中悬浮尘土的化学成分含量、含尘量达到多大浓度时开始对空气绝缘特性产生显著影响、不同含尘量和不同化学成分的污秽大气,其绝缘性能的折减系数变

化范围的定量分析与确定,都是未知数,只有通过科学试验并有足够数据方能解决。在我国,沙尘暴的影响范围达国土面积的50%左右,其中新疆、内蒙古、甘肃、宁夏、东北西部地区,山西、河北北部地区,陕西北部地区等都是沙尘暴的源头,而这些地区往往又是我国北方的能源基地,开展这一试验项目,对保证电网安全具有十分重要的战略意义。因此,笔者建议国家电网公司立项开展大气污秽试验和合成绝缘子抗大气污秽能力的试验研究工作。

5.2 组织电网公司专家进行研讨

建议电网公司组织专家研究并制定受沙尘暴大气污秽影响严重地区最大工作电压情况下的空气间隙取值及相应设计风速(或风压)取值。

5.3 总结设计运行经验

建议建设、生产运行部门,总结设计和运行经验,选择抗扭转、稳定性强的跳线悬垂组装形式,并建议跳线悬垂串尽量不选用合成绝缘子。

编辑:刘宇萍