

# 湖南电力系统冰灾监测结果及其分析

陆佳政, 张红先, 方针, 李波

(湖南省电力公司试验研究院, 国家电网公司输电线路防灾技术实验室, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** 湖南电网 2008 年遭受了罕见的冰灾, 输电线路损失严重。研制了一套输电线路灾情监测系统, 在湖南电网推广应用 68 套。该系统在 2008 年冰灾中, 准确地监视到线路覆冰情况, 为线路防冰提供决策依据。通过系统的监测数据, 发现本次冰灾具有强度大、覆冰重心区转移、覆冰与海拔关系不明显、受微地形微气象影响显著等特点, 为今后防冰工作提供参考。

**关键词:** 输电线路; 灾情监测; 电网; 冰灾; 应用

## Result and its analysis of ice disaster monitoring of Hunan power system

LU Jia-zheng, ZHANG Hong-xian, FANG Zhen, LI Bo

(Hunan Electric Power Test and Research Institute, Power Transmission Line Anti-disaster Laboratory of State Grid, Changsha 410007, China)

**Abstract:** Hunan power grid suffers infrequent ice disaster in 2008. Power lines are damaged badly. The paper develops power transmission line disaster monitoring system. 68 groups of equipments are extended and used in Hunan power grid. Line ice cover condition is monitored by the system exactly in 2008 ice disaster, which offers foundation for line anti-ice. It analyzes ice disaster characters, such as great intensity, heavy ice district transferring, unobvious relation between ice cover and altitude, marked influence by micro-topography and micro-weather. All these can provide reference for the work of anti-ice for the future.

**Key words:** power transmission line; disaster monitoring; power grid; ice disaster; application

中图分类号: TM726.3 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)12-0099-07

## 0 引言

输电线路所处的地理条件恶劣, 容易受到各种自然灾害的影响, 建国以来, 中国也发生多起输电线路冰灾事故<sup>[1-4]</sup>, 从1954年至2006年底, 中国发生了6 kV及以上电压等级的电网覆冰灾害有1 000多起<sup>[5]</sup>。

湖南省地处长江中下游, 位于洞庭湖之南, 三面环山, 湘中盆地以丘陵、岗地、河谷冲击平原为主。这种三面环山, 北面开口的地形, 极有利于冬季北方强冷空气长驱直入, 并在南岭(郴州与广东交界)北坡与南海副热带暖湿气流交汇, 形成“南岭静止锋”。在静止锋覆盖地区, 凝结层中的过冷却水极不稳定, 一旦遇上较冷的硬物如电线等, 极易附着其上形成雾凇或雨凇<sup>[6]</sup>。湖南电网已分别于1954年、1957年、1963年、1968年、1976年、1986年、1988年、2005年和2008年发生了9次较为严重的冰冻

灾害。

受大气环流异常和拉尼娜共同的影响, 2008年1月11日冷空气进入湖南, 湖南地区迅速降温, 冷暖空气交汇形成的锋面逆温强度大, 湖南北低南高的地势使逆温层得以加强。随着暖湿气流不断补充, 形成持续的雨凇, 湖南电网遭受了持续20多天的雨雪天气, 输电线路和变电站大范围结冰。冰灾导致500 kV线路倒塔182基、变形68基, 220 kV线路倒塔633基、变形203基, 110 kV线路倒塔1 427基、变形421基<sup>[7]</sup>, 大量的低压线路倒杆断线, 对电网造成了严重的破坏。为有效防范冰灾, 我国自上世纪就提出了采用“避、抗、融、防、改”五字方针, 国内外相关学者提出了不少防冰措施<sup>[8-11]</sup>。笔者所在的课题组, 自2005年湖南电网冰灾后, 开展了电网覆冰监测系统的研究, 研制了输电线路灾情监测系统, 系统在2008年的湖南电网冰灾中, 准确地监视了线路覆冰增长情况, 积累了大量的现场监测数据, 为准确分析2008年湖南电力系统冰灾提供了丰富的原始数据。

基金项目: 国家电网公司2008年防灾减灾重点项目

### 1 系统介绍

系统通过安装于杆塔上的一套嵌入式系统作为数据平台，通过 GPRS (CDMA) 网络与 Internet 进行连接，各杆塔的数据平台通过公用网络将数据汇总于安装在调度 (和监测) 部门的专用中心服务器上。系统总体结构如图 1<sup>[12]</sup>。

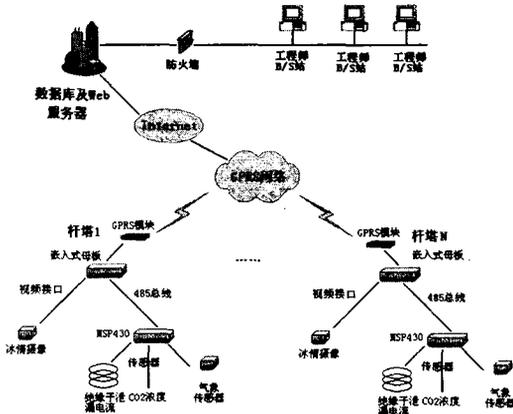


图 1 输电线路灾情监测系统总体结构

Fig.1 Main structure of power line disaster monitoring system

本系统可以实现如下数据的监测：

A) 图像监测。对杆塔架设的线路进行线路覆冰等灾情图像定时或人工手动监测，并将数据返回到中心服务器，服务器后台软件进行自动冰厚判别后对外发布。中心服务器同时发布原始图像数据（有权限者）或无法识别冰厚的原始图像。

B) 火灾监测。对安装数据平台杆塔附近的自然环境进行定时监测。监测的目标是对线路影响巨大的山火等险情。主要采用 CO2 传感器进行。

C) 泄漏电流监测。监测杆塔上悬垂绝缘子的泄漏电流，用于判断绝缘子的健康状况（为了提供更多的判据，该嵌入式系统还将进行现场环境温度和湿度监测）。

D) 气象要素监测。对监测点处的温度、湿度、风速、风向和雨量进行监测，积累原始数据，分析覆冰厚度与微气象的关系。

“输电线路灾情监测系统”在国网公司和湖南省电力公司的大力支持下，通过 2005~2007 年 3 年的逐年建设，目前已在湖南电网中的 14 个地区、15 条 500 kV 线路（22 个）、34 条 220 kV 线路（46 个）上安装 68 个现场监测点，在湖南境内的分布如图 2。

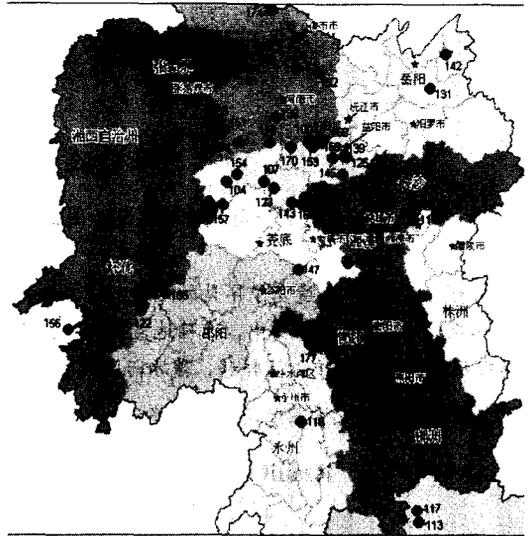


图 2 输电线路灾情监测系统分布图

Fig.2 Distribution graph of power line disaster monitoring system

### 2 系统应用效果

#### 2.1 准确、详实地记录了现场覆冰过程

输电线路灾情监测系统在 2005~2008 年的三年应用过程中，均准确地监视到了每次覆冰过程，特别是在 2008 年的应用中，发现了湖南北部山区的覆冰情况较东南部低海拔区域轻微，发现了气温回升后，导线融冰速度非常快，仅 1 天左右导线覆冰即可融化等。

#### 2.2 为线路除冰工作提供了指导

与往年部分线路结冰不同，2008 年湖南电网是全网覆冰，多条 220 kV 线路在同一时间段申请短路融冰，因此安排线路融冰必须考虑轻重缓急。通过系统的监测图像和气象数据，调度人员可以根据覆冰严重程度，合理地安排融冰线路的排队优先级，使融冰次序更加合理。在短路融冰过程中，系统为调度人员提供实时监视图像，使其准确掌握融冰效果。系统还多次发现了部分线路按照原有的融冰电流不能在规定的时间内将导线上的覆冰融化，这为调度人员修正融冰策略提供了决策依据。系统还发现了人工除冰过程中损坏了绝缘子的情况（见图 3）等。

#### 2.3 证实了不平衡张力是倒塔原因之一

系统准确地监视到郴州福外 I 线 122 号塔在经受多天的冰灾后，出现导线断股（这是断线的前兆）（见图 4）。当导线断股后，由于铁塔两边的力不平衡，就会将铁塔拉跨。系统还监测到部分站点在自

然融冰过程中, 绝缘子两侧的融冰速度不一致, 不平衡张力加剧, 这也为“融冰时发生次数较多的倒塔事故”指明了原因。

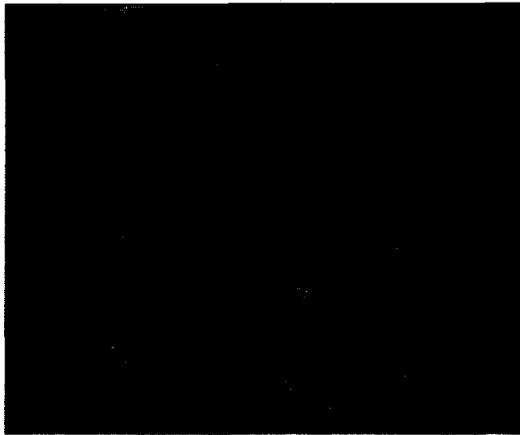


图 3 系统监视到岗艾线 307 号塔 2008 年 1 月 24 日人工除冰时敲坏一片绝缘子

Fig.3 An insulator damaged by artificial de-icing at 2008-1-24 in Gangai line #307 tower by monitoring system



图 4 福外 I 线 122 号塔 2 月 5 日上午图片  
Fig.4 Fu-wai I line #122 tower in the morning 2008-2-5

**2.4 积累了大量图像数据和气象数据, 为后续研究覆冰机理提供了重要原始数据**

系统通过 3 年的监测, 积累了近 5 万张现场监测图像和数十万条监测数据, 这些重要的原始数据, 为今后深入研究电网覆冰机理提供了基础。

**2.5 减少了覆冰人工观测哨的人员驻守时间, 降低了现场工作人员的劳动强度**

根据以往湖南电网防冻融冰工作的要求, 当宣布湖南电网进入防冻融冰期后 (一般为每年的 12 月中上旬或 11 月下旬至次年的 3 月份), 就需要派大量的运行维护人员上山驻守, 进行气象数据收集

与覆冰观测, 工作量大, 现场条件艰苦, 耗费的人力物力多。2007 年, 通过应用该系统, 当天气情况良好时, 观测哨不派人驻守, 当监测系统观测到现场天气变化、可能出现覆冰时, 马上派人上山驻守观测。

**2.6 发现了其他一些有重要价值的信息**

发现了结冰及融冰时绝缘子两侧的结冰速度和融冰速度不一致、江城直流其中一级横担发生了倾斜 (如图 5) 等。

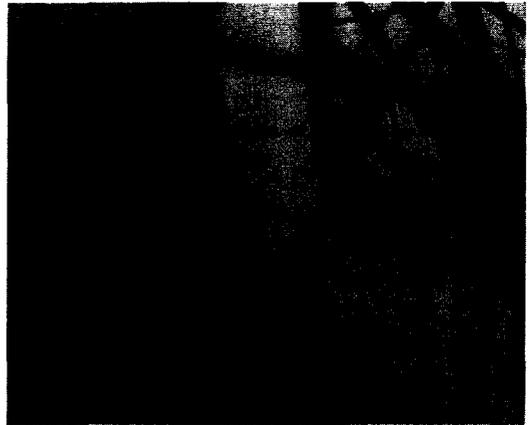


图 5 江城线 1676 号塔横担弯曲情况  
Fig.5 Crosspiece crook at Jiangcheng line #1676

**3 湖南电网 2008 年冰灾特点**

由于本系统的应用, 准确地监视到 2008 年湖南电网的冰灾情况, 笔者就 2008 年的冰灾特点进行归纳总结如下。

**3.1 覆冰强度大, 超过线路抗冰能力**

本次覆冰强度大, 从 1 月 21 日开始, 出现覆冰厚度超过 40 mm 的 220 kV 及以上线路 2 条, 至 1 月 28 日, 厚度超过 40 mm 覆冰的线路增加至 14 条, 超过 40 mm 覆冰的情况持续至 2 月 5 日, 经历了 16 天。最大覆冰厚度一度超过了 70 mm。

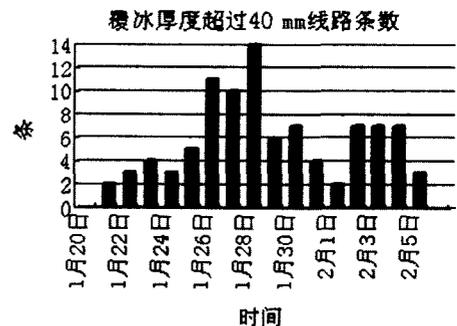


图 6 覆冰厚度超过 40 mm 线路条数和持续时间  
Fig.6 Items and times of line ice thickness more than 40 mm

### 3.2 重覆冰区呈发展转移趋势

本次重覆冰区呈发展转移趋势，开始时重覆冰区为湘北地区，随着气温和降水的影响，特别是降水的南移，重覆冰区发展至长株潭、再到湘中和湘南地区，重冰区的变化见图7。23日以后，湘南地区降雨增多，覆冰逐步增加。27日以后，湘中温度上升，湘中、长株潭出现融冰，覆冰减少；而湘南

低温持续，气温并未上升，降水却增加，覆冰进一步加强，湘南电网受灾加重（湘中和湘南的降水和温度对比见图8）。虽然湘北（常德）和湘东北（岳阳）气温低，但是降水较少，覆冰厚度较小，湘北（常德）和湘东北（岳阳）受灾较轻。各地区的覆冰与气象关系见图9。

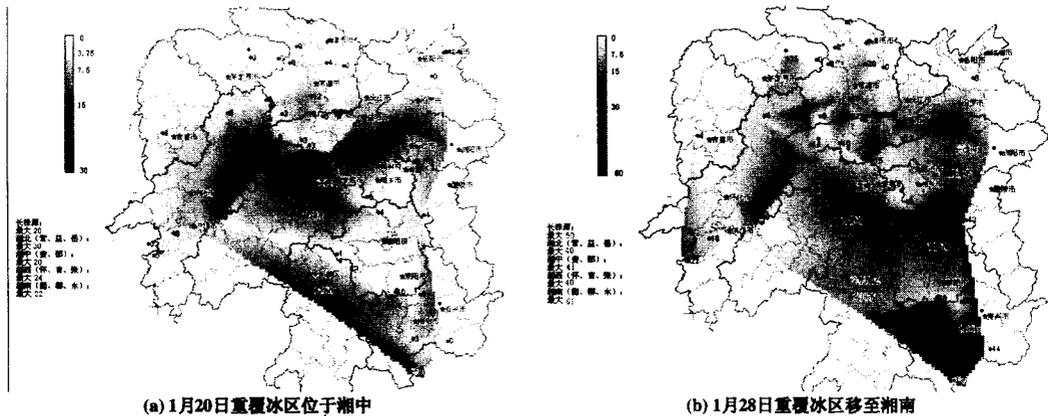


图7 重冰区发展变化图

Fig.7 Transformation of heavy ice field

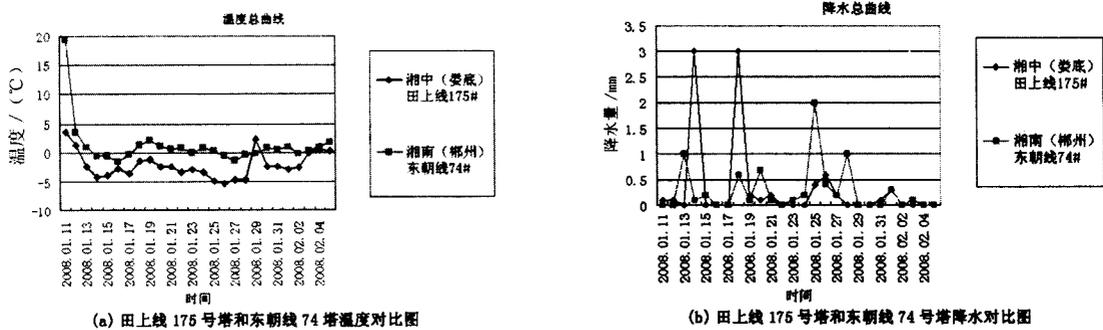
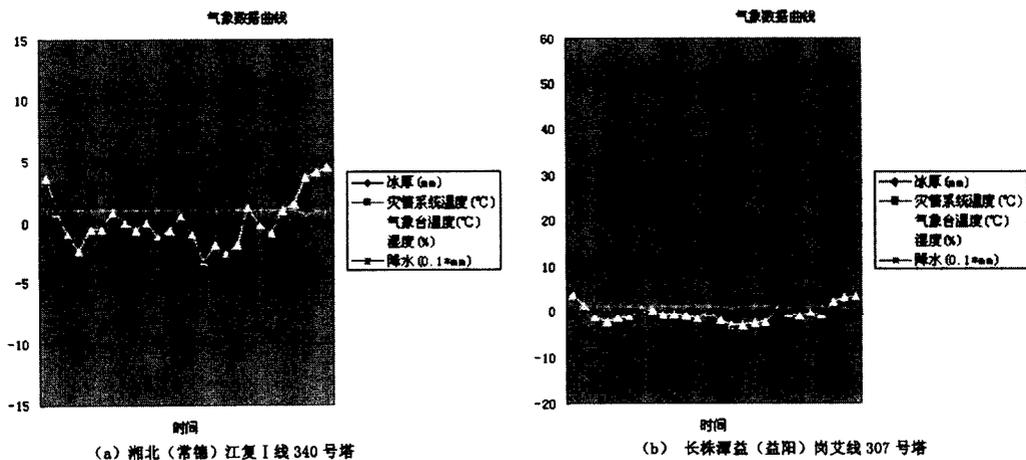


图8 湘中与湘南降水和温度对比图

Fig.8 Contrast of precipitation and temperature between Xiangnan and Xiangzhong



(a) 湘北(常德)江复I线340号塔

(b) 长株潭益(益阳)岗艾线307号塔

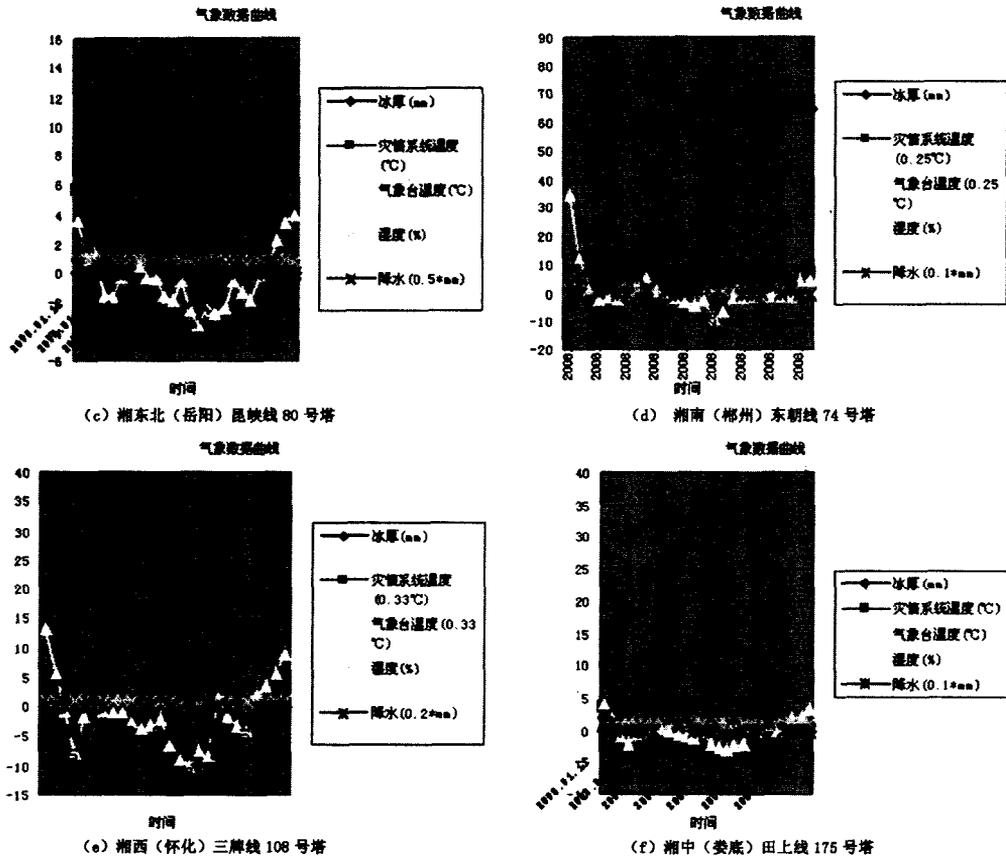


图 9 各地区覆冰与气象关系图

Fig.9 Relationship of ice-cover and weather at all areas

### 3.3 覆冰与海拔的关系不明显

根据本次覆冰统计结果, 海拔 100~300 m 及 700 m 以上的区域均有超过 60 mm 的覆冰, 而海拔 300~600 m 的最大覆冰厚度未超过 40 mm (见图 10)。

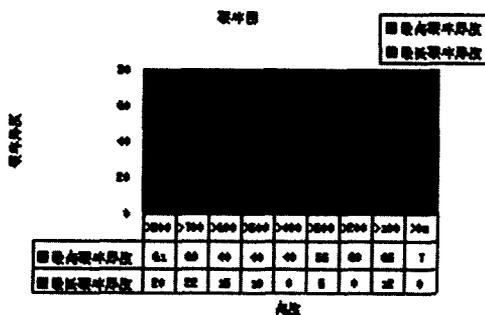


图 10 覆冰与海拔关系图

Fig.10 Relationship of ice-cover and altitude

现场调查结果表明, 在同一地段海拔越高覆冰越严重。在海拔 50~250 m 的山地及丘陵区, 地形

相对高耸和突出的地方覆冰较重, 冰厚达到 30~60 mm。各种海拔高度均有覆冰超过 30 mm 的线路, 这与 2005 年湖南电网的覆冰情况明显不同。

### 3.4 覆冰受微地形和微气象影响显著

对比灾情监测系统与常规气象观测站的数据 (见图 11), 发现线路灾情监测点与常规气象观测站的数据存在明显差异, 说明了微地形、微气象使局部区域温度更低、冰冻更强, 同时导致覆冰不均匀 (见图 12), 加剧了电网设备的受损程度。

## 4 总结

2008 年初, 湖南发生的大范围、长时间、高强度冰灾使输变电设备受损严重, 给电网安全和设备健康造成了重大损害, 也给经济发展和人民生活造成了不利影响。输电线路灾情监测系统通过实时监测现场覆冰图像, 绝缘子泄漏电流, 现场风速、风向、雨量、温度、湿度及导线覆冰厚度等参数, 为电网抗冰保网提供重要依据, 取得了明显的经济效益和社会效益。随着全球气候变暖, 极端天气事件

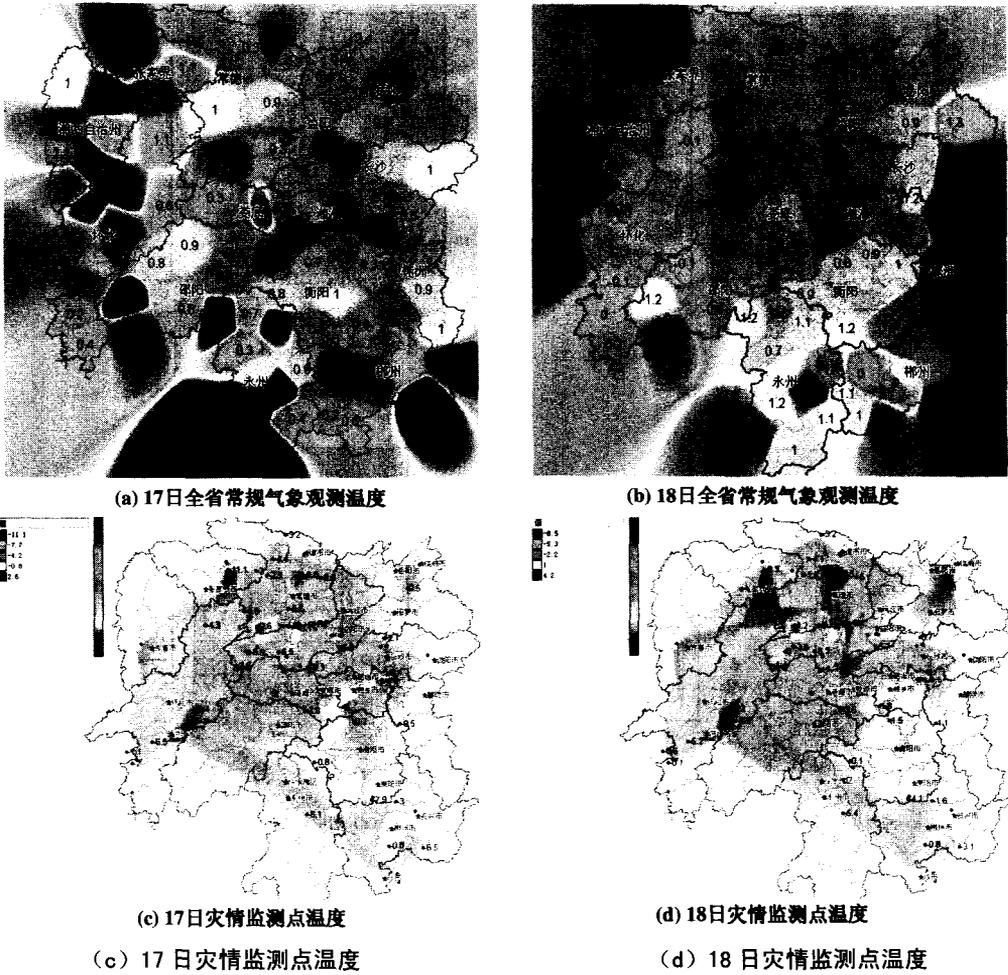


图 11 灾情监测系统与常规气象观测站温度分布

Fig.11 Temperature distribution between monitoring system and normal weather station



图 12 湛茶线 146 号塔不均匀覆冰造成绝缘子严重倾斜图片

Fig.12 Insulator serious incline for asymmetrical ice-cover at

Zhancha line #146 tower

发生的可能性加大。因此，扩大灾情监测系统的覆

盖范围，深入研究灾情监测历史数据包含的历史规律，为电网防冰抗冰服务，是今后研究的重点。

参考文献

[1] 陆佳政, 刘纯, 陈红冬, 等. 500kV 输电塔线覆冰有限元计算[J]. 高电压技术, 2007,33(10): 167-169.  
 LU Jia-zheng, LIU Chun, CHEN Hong-dong, et al. Finite Element Calculation of 500 kV Iced Power Transmission System[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(10): 167-169.

[2] 彭超贤, 刘长征. 云南巧家“哨口子”送电线路覆冰倒杆事故分析[J]. 电力建设, 2008,29(1): 36-43.  
 PENG Chao-xian, LIU Chang-zheng. Accident Analysis of Icing-caused Transmission Pole Collapse in Shaokouzi, Qiaojia County, Yunnan Province[J]. Electric Power Construction, 2008, 29(1): 36-43.

[3] 刘纯, 陆佳政, 陈红冬. 湖南 500kV 输电线路覆冰倒塔原因分析[J]. 湖南电力, 2005, 25(5): 1-3, 11.

- LIU Chun, LU Jia-zheng, CHEN Hong-dong. Cause Analysis of Tower Falling Down and Ice Accretion in Hunan 500kV Power Transmission Line[J]. Hunan Electric Power, 2005, 25(5): 1-3, 11.
- [4] 张德泉, 王春明, 杨钢, 等. 华中电网“1·17”事故及其分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(21): 61-63. ZHANG De-quan, WANG Chun-ming, YANG Gang, et al. Analysis of Central China Power System Accident on January 17[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(21): 61-63.
- [5] 戚大安. 电网覆冰灾害的特点和发展趋势[J]. 电业政策研究, 2007, 1(1): 27-30. QI Da-an. Character and Development Trend of Power Grid Icing Disaster[J]. Power Policy Research, 2007, 1(1): 27-30.
- [6] 许源, 刘人玮, 李军. 湖南电网防冻融冰体系改革之探讨[J]. 湖南电力, 2003, 23(5): 24-27. XU Yuan, LIU Ren-wei, LI Jun. Discussion of the Freezing Preventing and Ice Melting System for Hunan Electric Grid[J]. Hunan Electric Power, 2003, 23(5): 24-27.
- [7] 湖南省电力公司. 湖南电网冰灾技术分析报告[R]. 长沙: 湖南省电力公司, 2008. Hunan Electric Power Corporation. Report of Hunan Power Grid Ice Disaster[R]. Changsha: Hunan Electric Power Corporation, 2008.
- [8] 付显明. 输电线路覆冰危害分析及防范措施[J]. 湖南电力, 2006, 26(8): 63-64. FU Xian-ming. Endangerment Analysis and Prevention Method of Transmission Line Icing[J]. Hunan Electric Power, 2006, 26(8): 63-64.
- [9] 刘有飞, 蔡斌, 吴素农. 电网冰灾事故应急处理及反思[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(8): 10-13. LIU You-fei, CAI Bin, WU Su-nong. Emergency Management for Ice Disaster in Power Grids and Some Suggestions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(8): 10-13.
- [10] 周飞. 高压输电线路防止覆冰灾害的预防[J]. 科技咨询导报, 2008, 5(5): 38. ZHOU Fei. De-icing Prevention of High-voltage Transmission Line[J]. Science and Technology Consulting Herald, 2008, 5(5): 38.
- [11] 朱辉青. 微气象、地形区域输电线路覆冰厚度设计研究[J]. 湖北电力, 2006, 30(12): 13-15. ZHU Hui-qing. Research of Transmission Line Icing Design Thickness in Micro-topography and Micro-weather[J]. Hubei Electric Power, 2006, 30(12): 13-15.
- [12] 陆佳政, 林峰, 方针, 等. 输电线路灾情监测系统 in 湖南电网中的应用[J]. 华中电力, 2007(3): 8-11. LU Jia-zheng, LIN Feng, FANG Zhen, et al. Application of Disaster Monitoring System for Transmission Lines in Hunan Power Grid[J]. Central China Electric Power, 2007, 20(3): 8-11.

收稿日期: 2008-07-31; 修回日期: 2008-12-16

作者简介:

陆佳政(1969-), 男, 博士, 高级工程师, 主要专长为高电压技术、输电线路防灾技术研究. E-mail: babyzhxl@163.com

(上接第 78 页 continued from page 78)

- Kofler M. The Definitive Guide to MySQL 5[M]. YANG Xiao-yun, WANG Jian-qiao, YANG Tao, et al. Trans. Peoples's Post & Telecom Press, 2006.
- [2] 张海梁, 袁荣湘, 孙婉胜. 数据库访问中间技术在 SCADA 数据库系统中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(17): 58-62. ZHANG Hai-liang, YUAN Rong-xiang, SUN Wan-sheng. Application of Database Access Middleware Technology in SCADA Database System[J]. Power System Technology, 2005, 29(17): 58-62.
- [3] 白树忠, 南新志. 变电站综合自动化实时数据库管理系统的研究与开发[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(3): 43-46. BAI Shu-zhong, NAN Xin-zhi. The Study of Real-time Database Management System for Auto Substation System[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(3): 43-46.
- [4] 栾兆文, 仇卫东, 王勇. 电力系统数据库的研究[J]. 中国电力, 1999, 32(1). LUAN Zhao-wen, QIU Wei-dong, WANG Yong. The Study of Database Management System in Electrical Power System[J]. Electric Power, 1999, 32(1).
- [5] 崔江峰, 王冬青, 刘沛, 等. 实时数据库在变电站自动化系统中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(12): 47-50. CUI Jiang-feng, WANG Dong-qing, LIU Pei, et al. Application of Real-time Database System in Substation Automation[J]. Relay, 2004, 32(12): 47-50.

收稿日期: 2008-08-03; 修回日期: 2008-08-30

作者简介:

文永亮(1984-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为智能控制技术及应用; E-mail: weny\_l\_1984@126.com

孟文(1966-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为智能控制技术及应用;

王艳秋(1982-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为机械设计理论。