The Risk of Wildfire Evaluation System for Transmission Lines Based on Remote Sensing Technology

Xiaoming Chen^{1,2}, Kan Xu³, Ling Ruan^{1,2}, Zhiguo Chen³, Junjie Huang^{1,2}, Tao Li³

Email: xmchen sgcc@163.com

Received: Jun. 5th, 2015; accepted: Jun. 19th, 2015; published: Jun. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors 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

Abstract

In this paper, a real-time monitoring and analysis system for risk of wildfire in transmission line corridor is presented, which has been combined with wildfire risk assessment model based on domestic and international satellite image data. This system has been successfully applied in wildfire risk assessment for transmission line power grid of Hubei province, which has also realized the classification of risk for different areas in transmission line. The final results have shown that, combined with multiple methods, such as, internet technology, remote sensing technology, expert system and data mining, areas in transmission line with high wildfire risk can be effectively obtained by the proposed system, which could be regarded as a guide for fire prevention in the seasons of spring and winter.

Keywords

Transmission Line, Wildfire, Remote Sensing, Risk Assessment, Tripping, Fire Point Recognition

基于卫星遥感技术的输电线路山火风险评估系统

陈孝明^{1,2},徐 侃³,阮 羚^{1,2},陈志国³,黄俊杰^{1,2},李 陶³

1国网湖北省电力公司电力科学研究院,湖北 武汉

¹Electric Power Research Institute, Hubei Power Grid Corporation, Wuhan Hubei

²Key Laboratory of High-Voltage Field-Test Technique of State Grid, Wuhan Hubei

³GNSS Research Center, Wuhan University, Wuhan Hubei

2国家电网公司高压电器设备现场实验技术重点实验室,湖北 武汉

3武汉大学卫星导航定位技术研究中心, 湖北 武汉

Email: xmchen sgcc@163.com

收稿日期: 2015年6月5日; 录用日期: 2015年6月19日; 发布日期: 2015年6月25日

摘 要

研发了输电线路走廊山火风险实时监测与分析系统,提出结合国内外卫星遥感影像数据分析的山火风险 评估模型。将该系统成功的应用于湖北电网输电线路山火风险评估,实现了湖北电网范围内的输电线路 不同区域的风险分级,应用结果表明,本系统通过互联网技术和卫星遥感,专家系统,大数据挖掘等多 重手段,有效的获取了山火风险高发区段,指导了冬春季节的山火预防工作。

关键词

输电线路,山火,卫星遥感,风险评估,跳闸,火点识别

1. 引言

近年来,湖北省跨区电网 500 kV 及以上输电线路多次发生因山火导致的线路停运、降压运行、跳闸事故。在山火高发时段,各运维单位投入大量的人力物力开展线路巡视、重点区段蹲守和山火现场监控等工作。但是这些工作存在工作效率低,开支巨大等问题。

随着遥感技术不断发展,影像分辨率不断提高以及计算机技术和信息处理技术的不断增强,使得利用卫星遥感监测技术不断完善,能够有效克服人工监测预警的不足。利用遥感卫星对输电线路走廊区域的监测数据来进行山火风险评估,可以大范围有效获取监测区域状况,具有快速获取地面宏观信息,结合地理信息能够准确判定火险高危区域。因此基于卫星遥感技术的输电线路山火风险评估系统能够利用卫星监测技术,实现大范围的常态化监测,有效提高了输电线路山火监测的全面性。

2. 输电线路走廊山火风险评估研究现状

按照山火预报的性质,可以分为山火天气预报、山火发生预报和山火行为预报[1] [2],山火天气预报不考虑火源因素,只是预报天气条件引起火灾可能性的大小;山火发生预报是综合考虑天气条件、可燃物的干燥程度和火源出现规律等因子来预测预报火灾发生的可能性;山火行为预报是指当火灾发生后,预测预报山火的蔓延速度和方向、释放的能量、火的强度以及灭火工作的难易程度等[3]。输电线路走廊山火风险评估即属于山火发生预报的范畴。

1975年美国出现了第一个定量预报火灾风险等级的预报系统[4]。2001年该系统具有更加强大的森林火险等级预报功能,为美国防火工作提供了重要依据[5]-[7]。近年来,38 技术的迅速发展,美国的研究人员对该系统又进行了开发和完善[8]-[11]。1972年加拿大学者提出了"加拿大森林火灾天气指标系统"。该系统基于多年的火灾资料、气象资料以及野外试验资料的基础上,利用水热平衡原理建立起来的,可以预报未来三天的森林火险[12]。

1978年以后,我国的林火预报技术得到了迅速发展,实现了由火险天气预报向林火发生预报和林火 行为预报的转变,所取得的成果揭示了我国的林火发生和森林火险预报的规律[13]。1998年易浩若等通 过每日气象观测数据、每日数值天气预报信息和火险因子的观测数据来获取未来两天之内的我国以县为 单位的森林火险天气预报[14]。此外,中科院遥感所、地理所、长沙理工大学等单位的相关专家也利用遥感、GIS 等技术对草地和森林火险预报方法进行了研究[15]-[21]。

3. 湖北电网输电线路走廊山火风险影响因子分析

按照收集的山火故障资料,绘制 2011 年以来湖北电网山火故障点分布如图 1 所示。可见湖北地区山火故障主要分布在鄂东的咸宁、黄石、黄冈地区;鄂中的宜昌、荆门等地偶有发生;鄂西没有发生山火故障。

山火的发生需具备三个基本条件,即火险天气、可燃物、火源。秋冬季节湖北地区持续晴朗干燥的 天气和山多林茂的地理环境为山火的爆发提供了火险天气和干燥的可燃物,农民冬季烧荒习俗和其它活 动为山火的发生提供了危险火源。综合分析所有山火跳闸和山火险情事件原因,发现起火点既与气象条 件和地理环境有关,又与人的活动有关。

4. 山火风险评估模型与干旱指数计算

4.1. 山火风险评估模型

根据上述火灾风险影响因素的分析,输电线路走廊的火灾影响影响因素包括地形地貌、气象条件、植被和干旱等级,另外风险评估还必须考虑历史火灾和跳闸信息、线路对地高度及绝缘信息。火灾风险评估模型如式 1 所示:

$$g = \sum_{n=1}^{m} C_n P_n \tag{1}$$

其中 C_n 为火灾影响因子,P为权重,m为影响因子的个数。

4.2. 线路走廊干旱指数计算

利用 MODIS 卫星计算 TVDI、VSWI 等指数,以及综合湖北省近百个气象站的降雨量数据是计算干

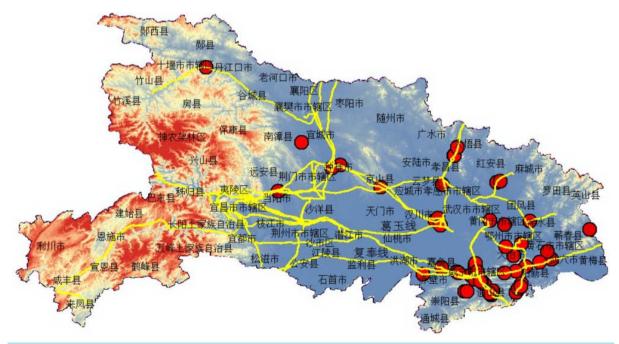


Figure 1. The distribution diagram of breakdown caused by wildfire of Hubei Power Grid since 2008 图 1. 湖北电网 2008 年以来山火故障分布示意图

早分级指标的基础。气象干旱指数是通过气象降雨量进行计算,本文重点说明通过 MODIS 卫星计算 TVDI 和 VWSI 等干旱指数。在计算 TVDI 和 VWSI 等干旱指数之前需要对 MODIS 影像进行几何校正和去 Bow-tie 效应等预处理工作。

4.2.1. MODIS 影像预处理

(1) 几何校正

MODIS 数据本身带有详细的经纬度波段信息,是 1 km 分辨率 MODIS 数据中对应象素点的经纬度信息,以波段的形式存放,我们可以利用这些数据进行校正而不必人工选取地面控制点。利用 ENVI 软件提供的二次开发功能,可利用 MODIS 数据中的地理信息对影像进行几何校正(如图 2 所示),这样的校正方式不仅精度高,还简省了选取控制点的麻烦,是 MODIS 数据的一大亮点。

(2) 去 Bow-tie 效应

由于地球曲率和扫描角的变化,使得越靠近影像边缘,像元的实际尺寸越大,边缘点像元的尺寸可以达到星下点的两倍,这样在相邻的扫描行之间就会产生重叠影像,这种现象叫做 Bow-tie 效应。MODIS 数据的这种现象使得数据的边缘部分无法使用,Bow-tie 效应的解决方法是对出现重叠数据的位置进行修正,通过重采样的方法获得修正后的数据。

(3) 去条带

插值法是目前常用的比较好的去条带方法(如图 3 所示),该算法只对条带所在行进行插值处理,而不会影响到非条带区域,其基本原理是通过定位条带噪声所在行,利用其上下两行数据插值计算的结果来代替噪声行。MODIS 影像的条带有一定的规律性,500 米分辨率的条带间隔是 20,1000 米分辨率的间隔是 10,250 米分辨率的影像间隔是 40。



(a)几何校正前

(b)几何校正后

Figure 2. The comparison of the effect of geometric correction **图 2.** 几何校正前后效果对比图

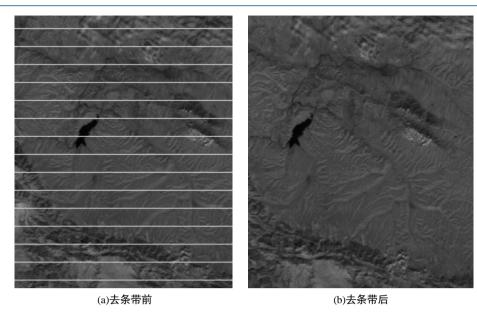


Figure 3. The comparison of effect of destriping 图 3. 去条带前后效果对比图

4.2.2. TVDI 计算

作物供水正常时,生长期内作物的植被指数和冠层温度将稳定在一定的范围内;干旱状态下作物根部缺水使蒸腾作用受到抑制,页面气孔关闭使作物的冠层温度升高,同时作物的生长将受到影响而使植被指数降低。因此,将地表温度和植被指数结合,能更好的监测干旱。因此,结合陆地表面和植被指数的 VI-Ts 方法得到了广泛的应用和研究。

利用归一化植被指数和陆地表面温度 LST 构建 NDVI-TS 特征空间,得到温度植被旱情指数(TVDI)模型,计算不同时间不同气候区各像元的 TVDI,其计算公式和过程如下:

$$TVDI = \frac{LST - LST_{NDVI_{i,\text{min}}}}{LST_{NDVI_{i,\text{max}}} - LST_{NDVI_{i,\text{min}}}}$$

$$LST_{NDVI_{i,\text{max}}} = a_1 + b_1 \times NDVI_i$$

$$LST_{NDVI_{i,\text{min}}} = a_2 + b_2 \times NDVI_i$$
(2)

4.2.3. 植被供水指数(VSWI)

基于植被与温度监测旱情的植被供水指数(VSWI, Vegetation Support Water Index), 定义如下:

$$VSWI = NDVI/T_{c} \tag{3}$$

式中,T 为植被的冠层温度,NDVI 是归一化植被指数。VSWI 越大,表明旱情越严重。

卫星反演的地表温度是地表各种地物的综合温度,只有在浓密植被条件下(即植被纯像元)可以用地表温度代替冠层温度,而对于稀疏植被表面,裸土表面产生的强大背景辐射会增加到植被的辐射信号里面,这将导致在白天反演的地表温度会比实际的冠层温度要高。本实验采用候英雨等人提出的基于线性混合模型来反映植被冠层温度,具体表达式如下:

$$T_{\text{canopy}} = \left[T_{\text{surface}} - T_{\text{soil}} \times (1 - P_{\nu}) \right] / P_{\nu}$$
(4)

其中, T_{surface} 为地表混合温度, T_{canopy} 、 T_{soil} 分别为冠层温度和裸土温度, P_{v} 为作物覆盖度。

$$P_{v} = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$
(5)

其中, $NDVI_{min}$ 和 $NDVI_{max}$ 分别对应植被覆盖度为 5%和 98%时的 NDVI。湖北省区域某时期植被供水指数分布图如下图 4 所示。

5. 湖北电网输电线路走廊山火风险评估系统设计

5.1. 山火风险评估系统目标

湖北电网的山火风险评估系统的主要目标是实现基于 MODIS、"资源三号"卫星数据和航空影像的输电线路走廊森林植被及干旱指数的常态化监测;实时绘制湖北输电线路森林植被与干旱指数分布图以及山火风险等级分布图,根据干旱指数分布图,与线路走廊生物监测量,制定山火风险等级分布图,进而为防山火隔离带的砍伐工作提供有力依据。利用现有的山火发生后的 MODIS 和"资源三号"卫星监测结果,提高山火预防的有效性和准确性。

5.2. 山火风险评估系统总体设计

根据山火风险评估系统的建设目标和需要,输电线路走廊火灾风险系统的功能结构图和系统总体功能模块分布如图 5 所示。

5.3. 多源数据融合

5.3.1. 地物分类数据

输电线路走廊火灾与植被存在密切的联系,因此需要获取输电线路走廊的地物分类数据。湖北电网 所采用的数据源为资源三号卫星和航拍影像。资源三号卫星可以获取 2.1 米分辨率全色影像和 5.4 米分辨 率的多光谱影像。航拍影像为 0.5 米分辨率的多光谱影像。

地物分类为:房屋,农田,水域,草地,灌木,林地,裸地和芦苇。分类结果的精度比较见表 1。

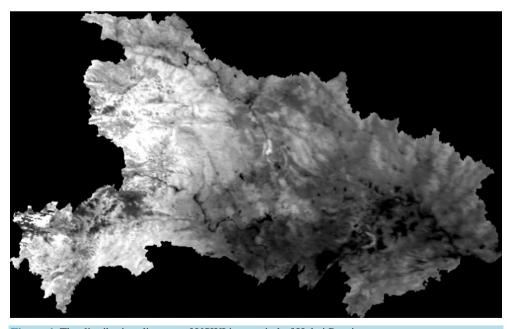


Figure 4. The distribution diagram of VSWI in a period of Hubei Province 图 4. 湖北省某时期植被供水指数分布图

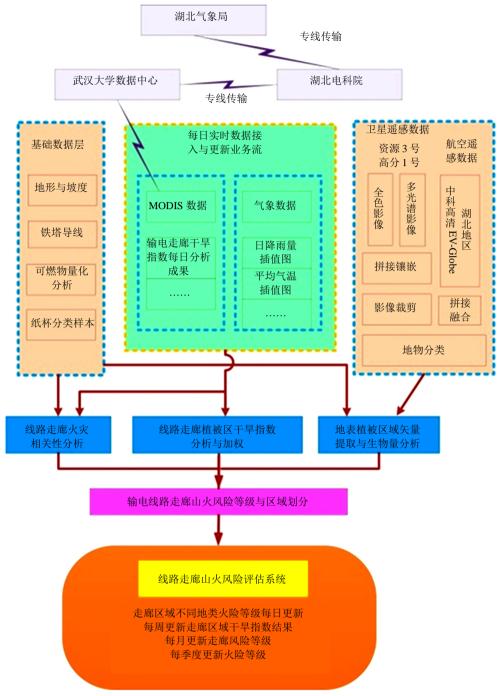


Figure 5. The flowchart of the wildfire risk evaluation system 图 5. 火灾风险评估系统建设方案

Table 1. The classification accuracy comparison between ZY-3 data and aerial image 表 1. 资源三号影像与航空影像分类结果精度比较

	传感器	Overall Accuracy (总精度/%)	Kappa 系数
面向对象	资源三号卫星影像	90.0162	0.8848
	航拍影像	92.4906	0.9021

从各地物的分类精度计算结果看:资源三号卫星的图像中水域分类精度较好;而道路、房屋分类较差。经分析,这两类分类精度低的主要原因是他们的光谱特征非常相近,而分类过程中存在相互错分的现象。航拍影像中的农田和房屋分类精度较好,主要是因为影像分辨率高,能够准确提取地物轮廓。但是未分类的类别比资源三号影像的要多,因为地物受光线,航拍角度,高度的影像同一地物表现出来的颜色特征不一样,所以未能采完所有样本点。

5.3.2. 气象数据

气象数据分为温度数据,湿度数据和降雨量数据三个类型。对于植被干旱的影响最重要的还是降雨量,根据湖北省近百个地面气象站 30 年来的降雨量观测结果,以及获取的湖北省近期降雨量值,生成栅格大小为 30 米的湖北省降雨量平距百分比分布图,如图 6 所示。

5.3.3. 历史火点数据

系统导入国家林业局推送的林火火点数据,并将其标注在 GIS 平台的相应图层。该火点结果主要来自于气象卫星和 MODIS 等卫星的监测结果,其空间分辨率较低,但是通过多年数据的叠加可知,东南和东北地区的火点较为密集,鄂西较少(如图 7)。

5.4. 多源数据融合

经过上述数据的整理和和建模,湖北电网山火风险评估系统可以得到湖北区域范围内的火灾风险等级图(如图 8)和具体线路的详细风险等级图(如图 9 所示)

6. 结论

利用遥感卫星对输电线路走廊区域的监测数据来进行山火风险评估,可以大范围有效获取监测区域状况,具有快速获取地面宏观信息,结合地理信息能够准确判定火险高危区域,成本相对较低。本项目

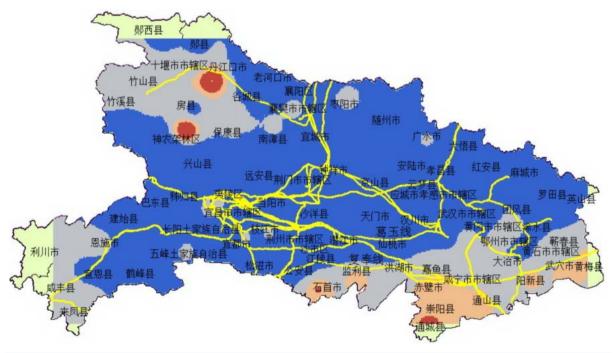


Figure 6. The distribution diagram of average temperature in one day of Hubei Province 图 6. 湖北地区某日平均气温分布图

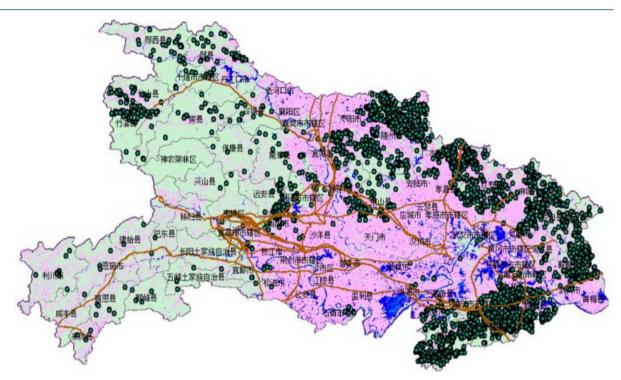


Figure 7. The distribution diagram of fire point monitored by satellite in Hubei Province (2010-2014) 图 7. 湖北地区卫星遥感监测火点分布示意图(2010~2014)

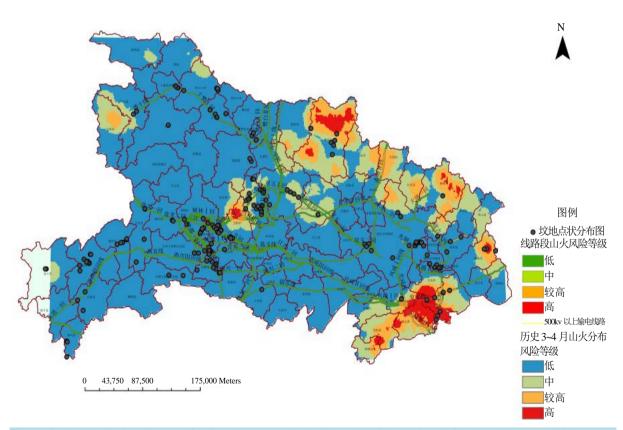
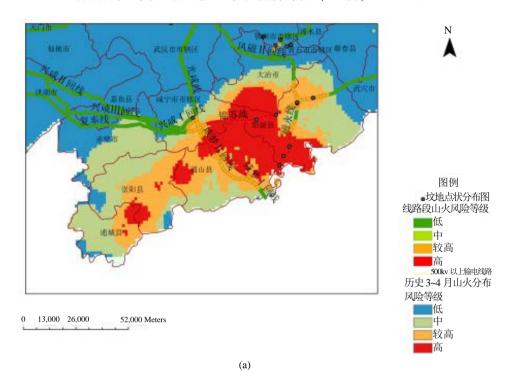


Figure 8. The distribution diagram of region along transmission lines with high risk in wildfire in Hubei Power Grid 图 8. 湖北电网输电线路山火高风险区域分布图

湖北咸宁、黄石地区电网山火风险分布图 (3~4月)



湖北荆门地区电网山火风险分布图 (3~4月)

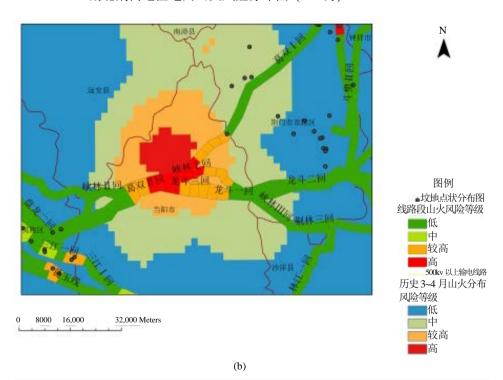


Figure 9. The diagram of channel with high risk obtained by multisource data. (a) The channel with high risk in Xianning and Huangshi; (b) The channel with high risk in Jinmen 图 9. 综合多源数据提取的高风险通道示意图。(a) 咸宁、黄石地区高风险通道; (b) 荆门地区高风险通道

所构建的山火风险评估系统能够同时结合国内外卫星数据,开展火灾风险评估,对不同区域的风险进行量化分级;利用输电线路山火风险评估,变输电线路山火的被动防治为主动识别高风险区域,为后续采取综合植被管理、线路改造和加强监测等提供有力的技术支撑,从而提高重要线路和高风险区段线路的运行可靠性。

基金项目

国网湖北省电力公司科技发展项目。

参考文献 (References)

- [1] 胡志东 (2006) 森林防火. 中国林业出版社, 北京.
- [2] 覃先林 (2005) 遥感与地理信息系统技术相结合的林火预警方法的研究. 中国林科院, 北京.
- [3] 舒立福, 张小罗, 戴兴安, 等 (2003) 林火研究综述(II)-林火预测预报. 世界林业研究, 4, 34-37.
- [4] Burgan, R.E. and Hartford, R.A. (1991) Estimation of vegetation greenness and site moisture using AVHRR date. Proceeding of the Society of American Foresters National Convention, USA, 1-14.
- [5] Burgan, R.E. (1996) Use of remotely sensed date for fire danger estimation. *Remote Sensing of Environment*, 4, 1-8.
- [6] Burgan, R.E., Klaver, R.W. and Klaver, J.M. (1998) Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire*, **8**, 159-170.
- [7] Finney, M.A. (2003) Calculation of fire spread rates across random landscapes. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 167-174.
- [8] Dempewolf, J., Trigg, S., DeFries, R.S. and Eby, S. (2007) Burned-area mapping of the Serengeti-Mara Region using MODIS reflectance date. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **4**, 312-316.
- [9] Li, R.-R., Kaufman, Y.J. and Hao, W.M. (2004) A technique for detecting burn scars using MODIS date. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **42**, 1300-1308.
- [10] Shabanov, N.V., Huang, D., Yang, W.Z. and Tan, B. (2005) Analysis and optimization of the MODIS leaf area index algorithm retrievals over broadleaf forests. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**, 1855-1865.
- [11] Turner, D.P., Ritts, W.D., Zhao, M.S., et al. (2006) Assessing interannual variation in MODIS-based estimates of gross primary production. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**, 1899-1907.
- [12] Abuelgasim, A.A., Fernandes, R.A. and Leblanc, S.G. (2006) Evaluation of national and global LAI products derived from optical remote sensing instruments over Canada. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**, 1872-1884.
- [13] 郭广猛 (2004) MODIS 数据处理及其在林火预警中的理论与方法研究. 中国科学院, 北京.
- [14] 易浩若, 纪平, 覃先林 (2004) 全国森林火险预报系统的研究与运行. *林业科学*, 3, 203-207.
- [15] Zhou, W.Q., Zhou, Y., Wang, S.X. and Zhao, Q. (2003) Early warning for grassland fire danger in north China using remote sensing. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, 2505-2507.
- [16] 叶立平, 陈锡阳, 何子兰, 谢从珍, 黄健华, 夏云峰, 戴栋 (2014) 山火预警技术在输电线路的应用现状. *电力系统保护与控制*, **6**, 145-153.
- [17] 陆佳政,吴传平,杨莉,张红先,刘毓,徐勋建 (2014) 输电线路山火监测预警系统的研究及应用. *电力系统保护与控制*, **16**, 89-95.
- [18] 古晓蓓, 田永雨, 杨艳军, 吴向斌 (2014) 输电线路山火预警监测系统的设计与实现. *国土资源导刊*, **10**, 107-111
- [19] 覃先林, 张子辉, 李增元, 田祖为, 熊有强, 杨德付, 张瑞 (2010) 林火预警及实现方法. *北京林业大学学报*, **4**, 17-21.
- [20] 白尚斌, 张晓丽 (2008) 林火预测预报研究综述. 森林防火, 2, 22-25.
- [21] 胡湘 (2006) 电网的山火防治与运行优化研究. 长沙理工大学, 长沙.