

架空输电线路通道山火卫星监测 系统技术规范

Technical specification for satellite monitoring system of wild fire
near overhead transmission line corridor

中国电机工程学会标准
架空输电线路通道山火卫星监测
系统技术规范

T / CSEE 0060 — 2017

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2018 年 2 月第一版 2018 年 2 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.25 印张 35 千字

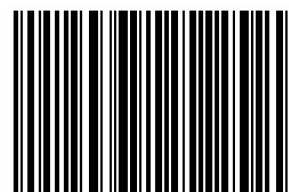
*

统一书号 155198 • 575 定价 33.00 元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.575

2018-02-28 发布

2018-05-01 实施

中国电机工程学会 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统组成及功能 1

 4.1 组成..... 1

 4.2 功能..... 2

5 数据要求..... 2

 5.1 卫星数据 2

 5.2 现场数据 2

 5.3 坐标系要求..... 3

6 技术要求..... 3

 6.1 数据接收..... 3

 6.2 数据预处理..... 3

 6.3 火点判识 3

 6.4 告警计算 3

 6.5 告警发布..... 3

7 信息核查..... 3

8 系统测试..... 3

附录 A（资料性附录） 热点判识方法 5

附录 B（资料性附录） 各主要星载探测器通道及用途 7

附录 C（资料性附录） 距离计算方法 12

附录 D（资料性附录） 常用杆塔筛选算法..... 13

前 言

本标准按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电机工程学会提出。

本标准由中国电机工程学会输电专业委员会技术归口并解释。

本标准起草单位：国网湖南省电力公司防灾减灾中心、国家电网公司、中国电力科学研究院、国网湖南省电力公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网江西省电力公司电力科学研究院、湖南省湘电试研技术有限公司。

本标准主要起草人：陆佳政、刘敬华、刘毓、王景朝、罗晶、谭艳军、章国勇、何立夫、李勇、徐勋建、吴传平、周特军、周秀冬、杨莉、李勤朴、范明豪、季坤、李阳林、郭志锋。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

架空输电线路通道山火卫星监测系统技术规范

1 范围

本标准规定了架空输电线路通道山火卫星监测系统组成及功能、数据要求、技术要求以及信息核查、系统测试等。

本标准适用于架空输电线路通道山火卫星监测系统的建设与运行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17278 数字地形图产品基本要求

GB/T 19710 地理信息 数据

GB/T 30319 基础地理信息数据库基本规定

JTG D20 公路路线设计规范

QX/T 344 卫星遥感火情监测方法 第1部分：总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

山火 wild fire

因自然或人为原因导致野外植被或农作物等可燃物燃烧而发生的火情。

3.2

热点 hot spot

卫星遥感监测到的地表高温点。

3.3

常规热点 ordinary hot spot

由长期存在的非山火火源引起的热点。

3.4

火点 fire spot

卫星监测判定为山火引起的热点。

3.5

告警火点 alarm fire spot

与架空输电导线地面投影的水平距离 3km 以内，对架空输电线路安全运行可能造成影响的火点。

4 系统组成及功能

4.1 组成

架空输电线路通道山火卫星监测系统由数据接收、数据预处理、火点判识、告警计算、告警信息发布及核查信息反馈等子系统组成。

4.2 功能

4.2.1 数据接收子系统

具备捕获跟踪卫星下行信号、接收解调卫星原始数据和辅助数据、评价图像质量、监视数据接收子系统的硬件参数指标及工作状态等功能。

4.2.2 数据预处理子系统

具备对数据接收解调后的原始数据进行解扰、解压缩、分幅、几何校正、定标、定位及增强、去噪处理等功能。

4.2.3 火点判识子系统

具备火点识别计算、火点经纬度坐标等信息输出、火点与输电线路地理信息展示等功能。

4.2.4 告警计算子系统

具备风险杆塔筛选、告警杆塔查找、告警等级确定等功能。

4.2.5 告警信息发布子系统

具备以手机短信、微信、电子邮件等方式发布告警信息的功能。

4.2.6 核查信息反馈子系统

具备火点现场核查信息接收、验证等功能。

5 数据要求

5.1 卫星数据

5.1.1 极轨卫星数据

来源于中国 FY-3、国外 EOS Aqua 和 Terra、NOAA-18/19、NPP 等极轨卫星，用于反演地表温度、云顶温度、热点的数据。数据波段满足 QX/T 344 的要求。

5.1.2 静止卫星数据

来源于中国 FY-2、FY-4、国外 Himawari-8 等静止卫星，用于反演地表温度、云顶温度、热点的数据。数据波段满足 QX/T 344 的要求。

5.2 现场数据

现场数据包括架空输电线路通道山火卫星监测范围内的杆塔经纬度坐标、植被数据，以及行政边界、高程（DEM）、水系、公路、铁路、城镇等地理信息数据。地理信息数据满足 GB/T 19710 与 GB/T 30319 的要求。

5.3 坐标系要求

采用 2000 国家大地坐标系，基本要求满足 GB/T 17278。

6 技术要求

6.1 数据接收

接收极轨卫星数据不少于 24 轨/天；接收静止卫星数据相邻两次间隔不大于 15min。

6.2 数据预处理

极轨卫星单轨数据预处理时间不超过 5min；静止卫星单次数据预处理时间不超过 3min。

6.3 火点判识

判识热点与常规热点进行比对，剔除常规热点后，确定火点信息。判识方法参见附录 A，各主要星载探测器通道及用途参见附录 B。

6.4 告警计算

6.4.1 根据火点经纬度坐标与杆塔经纬度坐标，计算火点与杆塔距离 D_1 ，计算方法参见 C.1。

6.4.2 采用杆塔筛选算法计算 3km 以内可能被火点危及的杆塔，确定受影响线路的告警杆塔。常用杆塔筛选算法有圆形缓冲区法、邻近网格法、区域分块查找法、二维表插值法等，参见附录 D。

6.4.3 以火点到架空输电线路的距离 D_2 作为告警距离，根据 D_2 的大小确定告警级别。 D_2 计算方法参见 C.2，告警等级标准见表 1。

表 1 告警等级标准

距离 m	$D_2 \leq 500$	$500 < D_2 \leq 1000$	$1000 < D_2 \leq 3000$	$D_2 > 3000$
告警等级	一级告警	二级告警	三级告警	无告警

6.4.4 当单个火点同时对多条线路形成告警时，应计算每条线路的告警信息。

6.4.5 依据铁路、河流、四级以上公路（见 JTG D20）排除被其阻隔的火点产生的告警信息。

6.5 告警发布

6.5.1 告警信息应包含告警时间、电压等级、告警等级、告警线路名称、告警杆塔塔号、告警距离等。

6.5.2 从火点判识开始至完成告警信息发布，时间不应超过 5min。

7 信息核查

7.1 系统发布的每个告警火点均应收集现场核查信息。核查信息包括火点坐标、燃烧物、现场天气、发生时间、对线路造成的危害等。

7.2 若发现新的常规热点，及时更新常规热点库。

8 系统测试

架空输电线路通道山火卫星监测系统建成投运前，应通过具备相关检测和校准资质机构的测试。测试项目包括但不限于表 2 所述。

表 2 测 试 项 目

序号	分类	测试项目	测试内容
1	外观测试	设备外观	设备外观是否与设计相符，无影响设备性能或整体美观的破损
2		设备结构	机箱是否与设计相符且结构可靠
3		线缆插座	各线缆插座功能是否正常
4		显示器	液晶显示器工作是否正常，画面显示是否清晰
5		按键	各按键功能、灵敏度是否正常
6	硬件指标测试	伺服系统测试	接收天线的俯仰和方位速度、加速度、运动范围、指向精度是否符合要求
7		信号接收测试	天线 L 频段的接收增益、噪声温度是否符合要求
8	功能测试	*程控运转	系统处于自动运行状态时，天线能否在天线控制器的控制下正确跟踪过境卫星轨迹
9		手动运转	通过天线控制器能否手动控制天线的运转
10		方位限位开关	手动控制天线方位轴进行调整，当方位轴运动至极限位置时，是否触发限位开关自动停止运动
11		俯仰限位开关	手动控制天线方位轴进行调整，当俯仰轴运动至极限位置时，是否触发限位开关自动停止运动
12		天线位置显示	是否准确显示当前方位俯仰轴的角度
13		*轨道报接收	是否能够自动接收轨道预报数据
14		*GPS 自动校时	天线控制器完成轨道报接收后能否自动进行 GPS 校时
15		*预置位	GPS 自动校时完成后，能否控制天线运动至待接收卫星入境位置
16		*跟踪	卫星入境后，天线控制器能否驱动天线按照卫星轨道运动
17		*步进跟踪	步进跟踪接收机能否将信号电平值依据协议反馈给天线控制器
18		*自动跟踪	天线在跟踪卫星运动过程中，天线控制器能否根据步进跟踪接收机反馈的信号电平值对天线的位置进行微调，确保接收的卫星信号处于最大值
19			状态监视
20	软件测试	卫星影像数据质量	测试卫星数据是否包含所需通道、信噪比是否符合要求
21		火点判识	火点判识参数设置是否合理、操作是否便捷、判识是否准确；是否具备热点过滤、缓冲区过滤、地标类型过滤、行政区域过滤等功能
22		数据库	是否对已判识的火点进行存储，存储时间是否符合要求
23		告警功能	告警计算功能是否正常、计算是否准确
24		告警信息发布	告警信息发布模块功能是否正常
25		核查信息反馈	核查信息反馈子系统各项功能是否设计完善、操作是否简便、响应速度是否符合要求
26		响应速度	各数据处理环节（预处理、告警计算、告警发布）速度是否符合本标准规定
注：标*项目为接收极轨卫星数据的架空输电线路通道山火卫星监测系统测试项目。			

附录 A
(资料性附录)
热点判识方法

A.1 通道亮温值计算

由普朗克黑体辐射公式：

$$w_{\lambda}=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{hc/k\lambda T}-1)} \tag{A.1}$$

计算通道 p 的亮温值：

$$T_p=\frac{hc}{\lambda_p k}\ln^{-1}\left(\frac{2\pi hc^2}{\lambda_p^5 w_{\lambda_p}}+1\right) \tag{A.2}$$

式中：
 w_{λ} —— 波长为 λ 的数据对应辐射亮度，W/（m²·μm·Sr）；
 T —— 通道亮温值，K；
 T_p —— 通道 p 亮温值，K；
 h —— 普朗克常数， $h=6.63\times10^{-34}$ J·s；
 c —— 真空中光速， $c=3.0\times10^8$ m/s；
 k —— 玻尔兹曼常数， $k=1.38\times10^{-23}$ J/K；
 λ —— 通道数据波长，μm；
 λ_p —— 通道 p 数据波长，μm。

A.2 高温热点粗判

利用中红外通道 i 的亮温值进行高温热点粗判：

$$T_i>Th_1 \tag{A.3}$$

式中：
 T_i —— 中红外通道亮温值，K；
 Th_1 —— 热点判识阈值，K，与气候、季节、时间、地域等因素有关，具体可利用监测试验确定。
参考值如表 A.1 所示。

表 A.1 阈值 Th_1 参考值

时间		Th_1 K
春、秋季	白天	325
	夜晚	305
夏季	白天	335
	夜晚	315
冬季	白天	305
	夜晚	295

A.3 热点细判

根据中红外通道的亮温值 T_i 与背景像元亮温值 T_{iB} 的差值，以及热点像元与背景像元中、远红外通道亮温增量的差值进行热点细判，满足式 (A.4) 和式 (A.5) 的可认为是热点：

$$T_i - T_{iB} > Th_2 \quad (A.4)$$

$$\Delta T_{ij} - \Delta T_{ijB} > Th_3 \quad (A.5)$$

式中：

T_{iB} ——背景像元中红外通道亮温值，K；

Th_2 ——相应判识阈值，K；

ΔT_{ij} ——高温热点像元中远红外通道亮温增量，K；

ΔT_{ijB} ——背景像元中远红外通道亮温增量，K；

Th_3 ——相应判识阈值，K。

附录 B

(资料性附录)

各主要星载探测器通道及用途

中分辨率成像光谱仪 (MERSI) 通道及用途如表 B.1 所示。

表 B.1 中分辨率成像光谱仪 (MERSI) 通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象
1	0.620~0.670	250	陆地/云/气溶胶边界
2	0.841~0.876	250	陆地/云/气溶胶边界
3	0.459~0.479	250	陆地/云/气溶胶特性
4	0.545~0.565	250	陆地/云/气溶胶特性
5	1.230~1.250	250	陆地/云/气溶胶特性
6	1.628~1.652	1000	陆地/云/气溶胶特性
7	2.105~2.155	1000	陆地/云/气溶胶特性
8	0.405~0.420	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
9	0.438~0.448	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
10	0.483~0.493	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
11	0.526~0.536	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
12	0.546~0.556	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
13	0.662~0.672	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
14	0.673~0.683	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
15	0.743~0.753	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
16	0.862~0.877	1000	海洋水色/生物地球化学/浮游植物
17	0.890~0.920	1000	大气水气
18	0.931~0.941	1000	大气水气
19	0.915~0.965	1000	大气水气
20	3.660~3.840	1000	地表/云顶温度

可见光红外扫描辐射计 (VIRR) 通道及用途如表 B.2 所示。

表 B.2 可见光红外扫描辐射计 (VIRR) 通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
1	0.55~0.68	1000	植被、冰雪
2	0.84~0.89	1000	植被、水/陆地边界、大气校正
3	3.55~3.93	1000	高温热源、地表温度、森林火灾
4	10.5~11.3	1000	海表和地表温度

表 B.2 (续)

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
5	11.5~12.5	1000	海表和地表温度
6	1.58~1.64	1000	云雪判识、干旱检测、云相区分
7	0.43~0.48	1000	海洋水色
8	0.48~0.53	1000	海洋水色
9	0.53~0.58	1000	海洋水色
10	0.90~0.965	1000	水汽

中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 通道及用途如表 B.3 所示。

表 B.3 中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
1	0.620~0.670	250	植被叶绿素吸收
2	0.841~0.876	250	云和植被覆盖变换
3	0.459~0.479	500	土壤植被差异
4	0.545~0.565	500	绿色植被
5	1.230~1.250	500	叶面/树冠差异
6	1628~1652	500	雪/云差异
7	2105~2155	500	陆地和云的性质
8	405~420	1000	叶绿素
9	438~448	1000	叶绿素
10	483~493	1000	叶绿素
11	526~536	1000	叶绿素
12	546~556	1000	沉淀物
13	662~672	1000	沉淀物, 大气层
14	673~683	1000	叶绿素荧光
15	743~753	1000	气溶胶性质
16	862~877	1000	气溶胶/大气层性质
17	890~920	1000	云/大气层性质
18	931~941	1000	云/大气层性质
19	915~965	1000	云/大气层性质
20	3.660~3.840	1000	洋面温度/森林火灾/火山
21	3.929~3.989	1000	云/地表温度
22	3.929~3.989	1000	云/地表温度
23	4.020~4.080	1000	云/地表温度
24	4.433~4.498	1000	对流层温度/云片

表 B.3 (续)

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
25	4.482~4.549	1000	对流层温度/云片
26	1.360~1.390	1000	红外云探测
27	6.535~6.895	1000	对流层中层湿度
28	7.175~7.475	1000	对流层中层湿度
29	8.400~8.700	1000	表面温度
30	9.580~9.880	1000	臭氧总量
31	10.780~11.280	1000	云/表面温度
32	11.770~12.270	1000	云高和表面温度
33	13.185~13.485	1000	云高和云片
34	13.485~13.785	1000	云高和云片
35	13.785~14.085	1000	云高和云片
36	14.085~14.385	1000	云高和云片

高分辨率辐射计 (AVHRR) 通道及用途如表 B.4 所示。

表 B.4 高分辨率辐射计 (AVHRR) 通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
1	0.55~0.68	1100	植被、冰雪
2	0.725~1.1	1100	植被、水/陆地边界、大气校正
3	3.55~3.93	1100	高温热源、地表温度、森林火灾
4	10.5~11.3	1100	海表和地表温度
5	11.5~12.5	1100	海表和地表温度

可见红外扫描辐射计 (VIIRS) 通道及用途如表 B.5 所示。

表 B.5 可见红外扫描辐射计 (VIIRS) 通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
I1	0.640	375	通道图像 (Imagery)
I2	0.865	375	归一化植被指数 (NDVI)
I3	1.61	375	积雪图 (Binary Snow Map)
I4	3.740	375	云区图 (Cloud Imagery)
I5	11.450	375	云区图 (Cloud Imagery)
M1	0.412	750	海洋水色, 气溶胶
M2	0.445	750	海洋水色, 气溶胶
M3	0.488	750	海洋水色, 气溶胶

表 B.5 (续)

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
M4	0.555	750	海洋水色, 气溶胶
M5	0.672	750	海洋水色, 气溶胶
M6	0.746	750	大气层
M7	0.865	750	海洋水色, 气溶胶
M8	1.240	750	云颗粒大小
M9	1.378	750	云盖, 积雨云
M10	1.61	750	积雪覆盖 (Snow Fraction)
M11	2.25	750	云
M12	3.70	750	洋面温度 (SST)
M13	4.05	750	SST, 火灾
M14	8.55	750	云上层特征
M15	10.763	750	SST
M16	12.013	750	SST
DNB	0.7	750	

日本 Himawari-8 静止气象卫星通道及用途如表 B.6 所示。

表 B.6 日本 Himawari-8 静止气象卫星通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
1	0.455	1000	
2	0.510	1000	
3	0.645	500	
4	0.860	1000	归一化植被指数 (NDVI)
5	1.610	2000	
6	2.260	2000	
7	3.85	2000	高温热源、地表温度、森林火灾
8	6.25	2000	
9	6.95	2000	
10	7.35	2000	
11	8.60	2000	
12	9.63	2000	
13	10.45	2000	海表和地表温度
14	11.20	2000	海表和地表温度
15	12.35	2000	
16	13.30	2000	

中国 FY-4 (A) 静止气象卫星通道及用途如表 B.7 所示。

表 B.7 中国 FY-4 (A) 静止气象卫星通道及用途

通道号	波长 μm	分辨率 m	观测对象或用途
1	0.47	1000	白天云检测
2	0.65	500~1000	植被和海洋特性
3	0.825	1000	植被和海洋特性
4	1.375	2000	云雾区分
5	1.61	2000	水云和冰云区分
6	2.225	2000~4000	卷云和气溶胶
7	3.725H	2000	火灾监测
8	3.725L	4000	夜间低云和雾检测
9	6.25	4000	对流层上层湿度, 高层流场
10	7.1 $\pm$ 0.2	4000	对流层上层湿度, 中层流场
11	8.5 $\pm$ 0.5	4000	云相态
12	10.8 $\pm$ 0.5	4000	云粒子尺寸, 表面特性
13	12.0 $\pm$ 0.5	4000	云检测, 云风矢量计算, 低层水汽
14	13.5 $\pm$ 0.3	4000	云顶参数

附 录 C
(资料性附录)
距 离 计 算 方 法

C.1 火点与杆塔距离计算

计算火点与杆塔的距离 D_1 ，计算方法参见公式 (C.1)。

$$D_1 = R \times \arccos \left[\sin \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \sin \frac{\pi lat}{180} + \cos \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \cos \frac{\pi lat}{180} \cdot \cos \frac{\pi(lon_0 - lon)}{180} \right] \text{ (m)} \quad (\text{C.1})$$

式中：

R ——地球平均半径， $R=6.371 \times 10^6 \text{m}$ ；

lat_0 ——火点纬度坐标， $(^\circ)$ ；

lat ——杆塔纬度坐标， $(^\circ)$ ；

lon_0 ——火点经度坐标， $(^\circ)$ ；

lon ——杆塔经度坐标， $(^\circ)$ 。

C.2 告警距离计算

计算火点与告警线路的距离 D_2 ，计算方法参见公式 (C.2) ~ 公式 (C.4)。

$$D_2 = \frac{2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}}{b} \text{ (m)} \quad (\text{C.2})$$

$$\begin{cases} a = R \times \arccos \left[\sin \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \sin \frac{\pi lat_1}{180} + \cos \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \cos \frac{\pi lat_1}{180} \cdot \cos \frac{\pi(lon_0 - lon_1)}{180} \right] \\ b = R \times \arccos \left[\sin \frac{\pi lat_1}{180} \cdot \sin \frac{\pi lat_2}{180} + \cos \frac{\pi lat_1}{180} \cdot \cos \frac{\pi lat_2}{180} \cdot \cos \frac{\pi(lon_1 - lon_2)}{180} \right] \\ c = R \times \arccos \left[\sin \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \sin \frac{\pi lat_2}{180} + \cos \frac{\pi lat_0}{180} \cdot \cos \frac{\pi lat_2}{180} \cdot \cos \frac{\pi(lon_0 - lon_2)}{180} \right] \end{cases} \quad (\text{C.3})$$

$$p = (a + b + c) / 2 \quad (\text{C.4})$$

式中：

R ——地球平均半径， $R=6.371 \times 10^6 \text{m}$ ；

lat_0 ——火点纬度坐标， $(^\circ)$ ；

lat_1 ——告警杆塔纬度坐标， $(^\circ)$ ；

lon_0 ——火点经度坐标， $(^\circ)$ ；

lon_1 ——告警杆塔经度坐标， $(^\circ)$ ；

lat_2 ——与告警杆塔位于同一线路且相邻的杆塔纬度坐标， $(^\circ)$ ；

lon_2 ——与告警杆塔位于同一线路且相邻的杆塔经度坐标， $(^\circ)$ 。

根据 D_1 的大小，确认同一条线路上离火点最近的杆塔，即告警杆塔。

附录 D

(资料性附录)

常用杆塔筛选算法

D.1 概述

运行经验表明, 3km 以外的山火不会对架空输电线路构成危险, 即只需对位于火点 3km 范围以内的架空输电线路进行告警计算。当火点与架空输电导线地面投影的水平距离为 3km 时, 设该线路挡距为 500m, 其与该线路上的杆塔最近距离的最大值为 $3.041\text{km} \approx 3\text{km}$, 为计算方便, 采用“火点与杆塔距离 $D_1 < 3\text{km}$ ”代替“火点与架空输电线路距离 $D_2 < 3\text{km}$ ”作为杆塔筛选条件。

将杆塔云数据视为散乱分布的点集 G :

$$G = \{a_1(lon_1, lat_1), a_2(lon_2, lat_2), \dots, a_n(lon_n, lat_n)\} \quad (\text{D.1})$$

式中:

G ——杆塔散点集;

$a_1 \sim a_n$ ——杆塔散点数据;

lon_n ——杆塔 a_n 的经度坐标, ($^\circ$);

lat_n ——杆塔 a_n 的纬度坐标, ($^\circ$)。

则计算大量火点与海量杆塔之间的距离可以看成散点数据求取近邻的问题。

D.2 圆形缓冲区法

将火点周围 3km 的圆形区域作为缓冲区, 仅寻找缓冲区域内的所有杆塔, 即火点的近邻杆塔, 就可以找到火点可能威胁到的输电线路, 进而根据火点与线路距离发布告警信息。计算方法如下。

D.2.1 缓冲区求取

设火点为 $f_0(x_0, y_0)$, 以 f_0 为中心作半径为 3km 的圆, 作为火点 f_0 的缓冲区, 如图 D.1 所示。

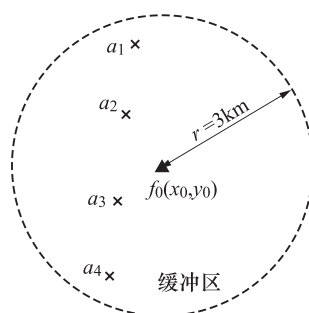


图 D.1 火点的缓冲区及近邻杆塔

按照 1km 对应的经纬度约为 0.01° 计算, 以经纬度坐标表示上述缓冲区边界圆的方程为

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = 9 \times 10^{-4} \quad (\text{D.2})$$

D.2.2 缓冲区内杆塔查找

由公式 (D.2) 可知, 位于缓冲区内杆塔 $a_x(lon_x, lat_x)$ 应满足:

$$(lon_x - x_0)^2 + (lat_x - y_0)^2 < 9 \times 10^{-4} \quad (\text{D.3})$$

D.2.3 查找告警杆塔

计算火点与缓冲区内杆塔的距离，找到离火点最近的杆塔 $a_{\text{nst}} (lon_{\text{nst}}, lat_{\text{nst}})$ ，即为该火点的告警杆塔。

使用圆形缓冲区法，避免了对缓冲区以外的大量杆塔进行距离计算，可显著提高计算效率，缩短火点处理的反应时间。

D.3 邻近网格法

圆形缓冲区法避免了对圆形缓冲区外大量杆塔的告警计算，显著提高了计算速度，但仍存在以下不足。

- a) 使用圆形区域对杆塔数据进行筛选也是一个二次计算的问题，对于多达数十万至数百万的杆塔数据而言，筛选速度有待提高。
 - b) 将单位经纬度统一视为代表相同距离的方式计算误差较大。
- 为此，将圆形缓冲区改为邻近网格缓冲区，计算方法如下。

D.3.1 求取邻近网格

以卫星监测火点 $f(x_0, y_0)$ 为中心，作边长为 6km 的网格，作为该火点的缓冲区，由四个顶点 A、B、C、D 的经纬度坐标决定，如图 D.2 所示。

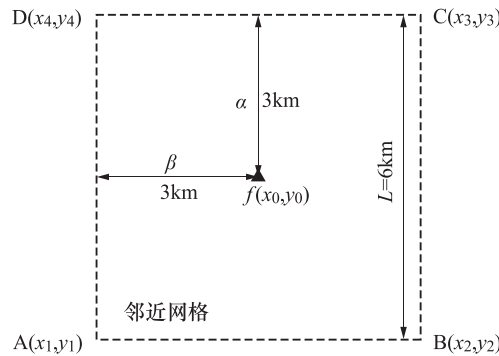


图 D.2 火点的邻近网格求取

地理上单位纬度所代表的距离受纬度的大小影响较大，为了提高计算精度，求取过程中将经度和纬度分开计算。

在不考虑地球表面起伏度的影响下，沿着地表任意一条经度线跨过单位纬度时经过的距离大致相等。设沿着地表任意一条经度线跨越纬度 α 经过的距离为 3km，则有

$$2\pi R_0 \frac{\alpha}{360} = 3 \quad (\text{D.4})$$

由公式 (D.4) 算得 $\alpha = 0.027^\circ$ 。

在不考虑地球表面起伏度的影响下，设沿着纬度线 y_0 跨越经度 β 经过的距离为 3km，则有

$$2\pi R_0 \frac{\beta}{360} \cos y_0 = 3 \quad (\text{D.5})$$

由公式 (D.5) 算得

$$\beta = \frac{0.027}{\cos y_0} \quad (\text{D.6})$$

于是，顶点 A (x_1, y_1)、B (x_2, y_2)、C (x_3, y_3)、D (x_4, y_4) 的坐标可由公式 (D.7) 计算：

$$\begin{cases} x_1=x_4=x_0-\beta=x_0-\frac{0.027}{\cos y_0} \\ y_1=y_2=y_0-\alpha=y_0-0.027 \\ x_2=x_3=x_0+\beta=x_0+\frac{0.027}{\cos y_0} \\ y_3=y_4=y_0+\alpha=y_0+0.027 \end{cases} \quad (\text{D.7})$$

D.3.2 查找邻近网格内的杆塔

根据公式 (D.7)，搜索落在网格内的杆塔计算简化为大小比较的一次计算，网格内的杆塔 $a_x(lon_x, lat_x)$ 应满足：

$$\begin{cases} x_0-\frac{0.027}{\cos y_0} \leq lon_x \leq x_0+\frac{0.027}{\cos y_0} \\ y_0-0.027 \leq lat_x \leq y_0+0.027 \end{cases} \quad (\text{D.8})$$

与圆形缓冲区法相比，邻近网格法具有以下优点。

- a) 使用邻近网格缓冲区对杆塔进行筛选时的计算为大小比较的一次计算，显著提高了计算速度。
- b) 精确地考虑了地理上单位纬度所代表的距离受纬度的大小影响，计算精度更高。

邻近网格法的不足之处在于邻近网格缓冲区内仍存在少量与火点距离大于 3km 的区域（靠近顶点区域），增加了告警计算的计算量。

D.4 区域分块查找法

D.2、D.3 所述方法以火点为中心动态求取预警网格，杆塔所在预警区域不固定，每对一个火点进行告警计算，就要求取一次预警区。区域分块查找方法则是将目标区域按地理位置固定分块，将杆塔数据固定地划分至某个区域，并将所在区域以新属性的形式进行存储。告警计算时，根据火点所在子区域编号，可迅速查找出所在区域的杆塔。此种方式计算简便、查找迅速、存储方便，一次划分永久有效。具体方法如下。

D.4.1 区域划分

将目标范围划分为 $m \times n$ 个边长为 6km 的区域网格 $w_1(x_1, x_2, y_1, y_2)$ 、 $w_2(x_2, x_3, y_2, y_3)$ 、 $\dots$ 、 $w_{m \times n}(x_m, x_{m+1}, y_n, y_{n+1})$ ，其中， $w_1, w_2, \dots, w_{mn}$ 为第 $(1 \sim m) \times n$ 个区域，每个区域由其最大和最小经纬度决定， x_m, x_{m+1} 分别为区域 w_{mn} 的最小、最大经度， y_n, y_{n+1} 分别为区域 w_{mn} 的最小、最大纬度。 $w_1, w_2, \dots, w_{mn}$ 按照 $x_1, x_2, \dots, x_{m+1}$ 与 $y_1, y_2, \dots, y_{n+1}$ 从小到大的顺序编号，依次存储。区域划分示意图如图 D.3 所示。

y_{n+1}	w_{1n}	$\dots$	w_{mn}
y_n	$\vdots$	$\dots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\dots$	$\vdots$
y_2	w_{11}	$\dots$	w_{m1}
y_1	x_1	$x_2 \dots x_m$	x_{m+1}

图 D.3 区域划分示意

D.4.2 杆塔数据分块

根据杆塔经纬度坐标及区域 $w_1, w_2, \dots, w_{mn}$ 的经纬度范围依次进行大小比较，找到各自对应的经纬度区间，从而确定所在区域，并将对应区域的编号作为属性进行存储。

D.4.3 查找火点所在区域

设卫星监测火点为 $f(x_0, y_0)$ ，将 x_0 与 $x_1, x_2, \dots, x_{m+1}$ 依次进行大小比较，找到 x_k, x_{k+1} ，其中 $1 \leq k \leq m+1$ ，使得 $x_k < x_0 < x_{k+1}$ ；将 y_0 与 $y_1, y_2, \dots, y_{n+1}$ 依次进行大小比较，找到 y_l, y_{l+1} ，其中 $1 \leq l \leq n+1$ ，使得 $y_l < y_0 < y_{l+1}$ ，则火点所在区域为 w_{kl} ，如图 D.4 所示。

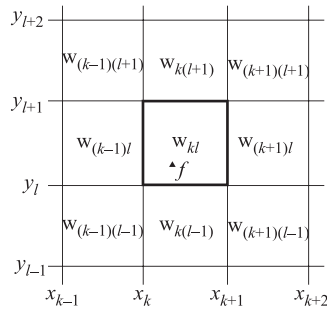


图 D.4 火点所在区域和周围区域

D.4.4 子区域划分

采用区域分块查找法与预警网格法不同的是火点一般不落在区域的中心，与某些边的距离会小于 3km，此时与火点靠近的相邻区域中如存在杆塔，其与火点距离也可能小于 3km 而形成告警。因此还应计算靠近火点的相邻区域内的告警信息。为此，将火点所在子区域划分为 4 个子区域，如图 D.5 所示。

火点所在子区域可通过区域中心经度线 $\frac{x_k + x_{k+1}}{2}$ 和纬度线 $\frac{y_l + y_{l+1}}{2}$ 来判断，判断方法见表 D.1。

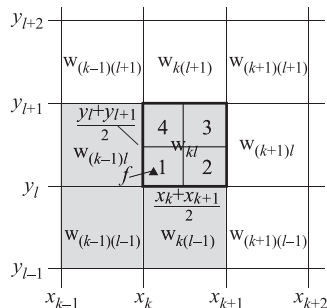


图 D.5 子区域划分

表 D.1 火点所在子区域判断

$x_0 - \frac{x_k + x_{k+1}}{2}$	< 0	> 0	> 0	< 0
$y_0 - \frac{y_l + y_{l+1}}{2}$	> 0	< 0	> 0	< 0
火点位置	子区域 1	子区域 2	子区域 3	子区域 4

D.4.5 判断待搜索区域

由火点所在子区域判断待搜索区域：若火点位于子区域 1，则待搜索区域为 $w_{kl}, w_{(k-1)l}, w_{(k-1)(l-1)}, w_{k(l-1)}$ ；若位于子区域 2，则待搜索区域为 $w_{kl}, w_{k(l-1)}, w_{(k+1)(l-1)}, w_{(k+1)l}$ ；若位于子区域 3，则待搜索区域为 $w_{kl}, w_{(k+1)l}, w_{(k+1)(l+1)}, w_{k(l+1)}$ ；若位于子区域 4，则待搜索区域为 $w_{kl}, w_{k(l+1)}, w_{(k-1)(l+1)}, w_{(k-1)l}$ 。

$w_{(k-1)l}$ 。最后，根据杆塔数据所在区域属性可快速查找出位于待搜索区域内的杆塔。

D.5 二维表插值法

D.5.1 杆塔坐标插值

将目标区域不同电压等级的所有 N 基输电线路杆塔按经纬度从小到大排列成二维表。根据卫星监测火点 $f_0(x_0, y_0)$ 坐标，利用 0.618 法，对经度 x_0 和纬度 y_0 分别进行坐标插值。以经度为例：第一步，比较 x_0 与插值点 $P_1 = 0.618(lon_N - lon_1) + lon_1$ 的大小，确定第二步插值区间；第二步，比较 x_0 与插值点 $P_2 = 0.618(lon_N - P_1) + P_1$ 或 $P_2 = 0.618(P_1 - lon_1) + lon_1$ 的大小，确定第三步插值区间；以此类推，直至找到 lon_i 与 lon_{i+1} ，使得 $lon_i < x_0 < lon_{i+1}$ 。同理，找到 lat_i 与 lat_{i+1} ，使得 $lat_i < y_0 < lat_{i+1}$ 。如图 D.6 所示。

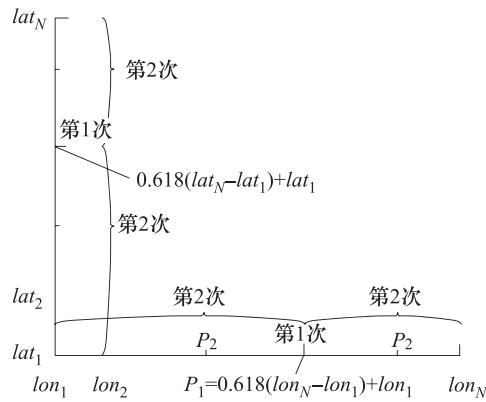


图 D.6 0.618 法坐标插值

D.5.2 杆塔距离搜索

将火点定位到杆塔后，以火点 f_0 为中心，向两边依次扩散，如图 D.7 所示，根据公式 (C.1)，求取火点与杆塔的距离 D_1 。若 $D_1 > 3\text{km}$ ，则停止计算，直至列出所有 3km 以内的杆塔及距离，即为告警杆塔。

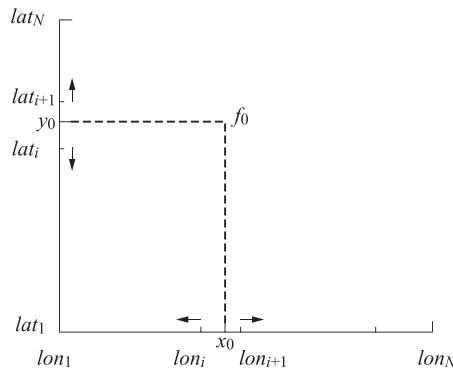


图 D.7 距离扩散搜索