[故障分析]

基于地理信息系统（GIS）的电力光缆故障快速定位分析

文/宁夏理工学院电气信息工程学院　李自成

电力光缆历来是电力系统运维的核心内容，随着社会电力需求的持续攀升，电力系统所承载的负荷也急剧增加，无疑给系统的运行带来更多风险。以GIS为基础，探讨一种电力光缆故障快速定位系统，借助系统处理模块对故障信息的分析，形成确切的故障数据以供参考，以实现电力光缆故障快速定位，提升电力系统运维效率。

在新时代的社会背景下，电力能源供给占据着绝对地位，而随着电力能源服务领域与纵深的拓展，电力系统面临着极大的维护问题，特别是电力光缆故障严重影响着电力系统运行质量。电力系统运行涉及面广，各个环节均需要依赖严格控制及管理，以全面提升电力系统运行及电力服务水平，切实发挥出新形势下电力系统综合保障功能。在大数据、云计算等技术融合中，电力系统信息数据的价值愈发重要。因此，在电力系统的运行及管理中，必须要构建对电力光缆状态实施全面监测的系统，既要提升电力网络通信可靠性，也要持续降低故障风险，保证电力系统的安全高效运营。GIS技术的产生及发展，适应了电力光缆维护的需求，为故障快速定位提供了关键支撑，对其技术研究具有深远意义。

地理信息系统（GIS）基本概述

1. GIS系统简介

GIS即地理信息系统（Geographic Information Systems）的英文缩写，是一种空间信息分析技术，依托地理模型分析法以及与各类空间、动态地理信息的融合，实现定位及监测功能。随着GIS技术发展及应用领域的扩大，其在管理、物流、保险、电信及各商业领域均获得了广泛的青睐。GIS作为一种计算机软件系统，可立足于系统的模块化设计，满足信息数据的采集、分类、分析及处理需求，并且具有伤害效果信息分析及处理优势，在电力光缆故障快速定位系统中发挥着至关重要的技术支撑作用，为电力光缆故障的排除提供了有效指引。另外，GIS具有三个显著特性：一是空间可视，即GIS可以在用户终端上生成地理空间图，以更方便地观察周边地理特征；二是空间导向，利用GIS所具备的定位功能，可以将所在城市的光缆分布呈现出来；三是空间思维，GIS可以帮助我们掌握更多层次地理信息，通过空间思维对人口、资源及环境等条件进行综合分析。

2. GIS的基本构成

GIS的基本结构主要由计算机硬件系统、软件系统、地理空间数据及管理人员所构成。GIS的基本结构如图1所示。

1）计算机硬件系统。GIS功能的实现离不开计算机硬件的支撑，其硬件配置水平对其处理速度及传输效率影响显著。

2）计算机软件系统。GIS本身具有计算机软件的特殊属性，其中包括系统软件、地理信息软件、应用分析软件、图形处理软件及数据库等，由此可见，软件系统仍然是GIS的重要构成要素之一。

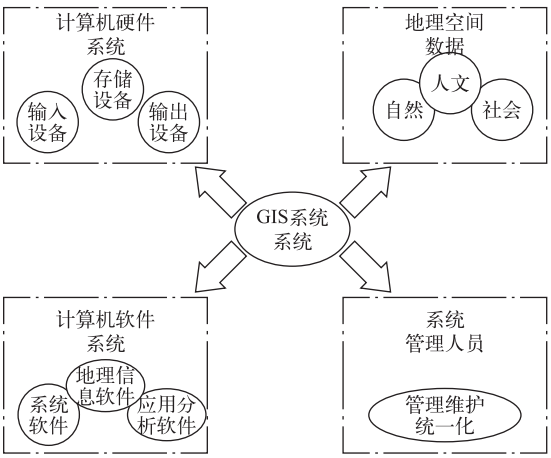

图1　GIS的基本结构

3）地理空间数据。该部分属于地理信息系统的核心部分，也是对于系统结果的重要反映。该部分主要综合了自然、社会和人文等丰富内容，并利用GIS进行表述和展现，将相关的数据转化为文字、图形或者图像等。

4）系统管理人员。人为操作干预是GIS的主要特征，也是必不可少的使用环节，管理人员专业度与GIS效果成正比，因而具备高素质系统管理人员成为GIS应用的关键所在。

3. GIS的主要功能

随着地理信息技术的持续发展，GIS技术也日趋丰富和完善，在具体的应用中主要包括如下功能：

1）数据采集。在现代各类技术的应用中，数据已然成为其中的核心元素，在GIS的数据采集功能中，包括图形数据、栅格数据及属性数据等数据的采集能力。即利用“数据输入→数据转换→数据存储”构成数据采集流程。

2）数据编辑。数据编辑是数据采集的衔接，在GIS数据库获取数据后，可通过数据校验、格式转化等过程，保证数据集采有效、输入无误，再将数据转化为计算机可识别类型，以便后续的处理应用。

3）数据库存储与管理。数据库是数据存储的区域，利用对数据的分类、筛选及存储等操作，使其在数据库中获得高效利用的优势。

4）空间查询与分析。GIS具有较强的查询及分析能力，可借助所输入数据进行空间属性处理，实现数据分层管理需求，使系统适用于各领域并大放异彩。

根据GIS功能特点，其具体功能如图2所示。

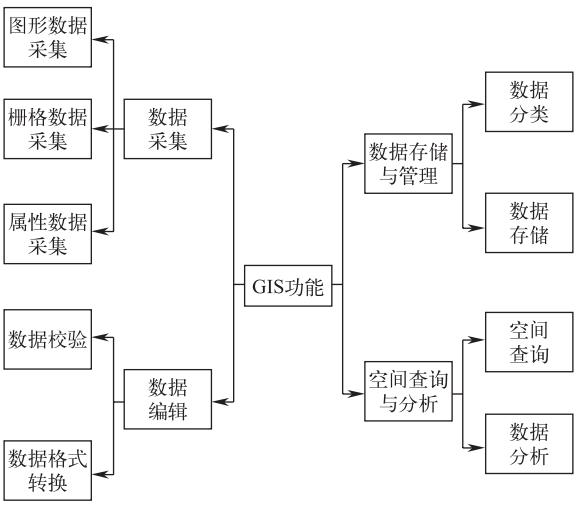

图2　GIS基本功能

基于GIS的电力光缆故障快速定位系统的实现

1. 系统设计思路

根据GIS的基本特征和应用需求，在电力光缆故障定位系统设计中，应基于如下方面进行设计：

1）借助地理定位功能及OTDR技术，对机房与故障点的距离实施计算，以准确定位电力光缆的故障位置。

2）为进一步提升光缆抢修效率，需要对电力光缆故障点周边光缆进行定位，以测定最近的余缆杆点距离。

3）在基于GIS应用的系统中，应具备关键词检索特性，即依据一定的方法对各类光缆信息进行查询，并包含房屋、街道及河流等，以使其功能性和信息更为丰富。

4）具备信息的收集转化能力，即将地理信息向数据转化，同时可兼具信息批量导入、交互、操作及统一管理等能力。

5）在系统中实现灵活的地图管理功能，并兼顾故障自动报警、日常设备管理等功能，提升系统应用的便捷性和实用性。

系统主要功能为电力光缆故障快速定位以及相关信息数据的收集管理。在系统设计时采用gmap.net以及微软的.NET软件开发平台，编程语言采用C#，以SQL Server作为系统数据库。在功能的实现上，主要是与动态链接库封技术、gmap.net技术、编程技术及.NET软件开发平台等相结合，同时借助OTDR曲线分析算法、光缆故障精确定位算法，

共同实现各项系统功能。整体来看，系统由上位机层、业务逻辑层、数据处理与分析层、集成设备控制层及集成设备层等多部分构成，其总体框架如图3所示。

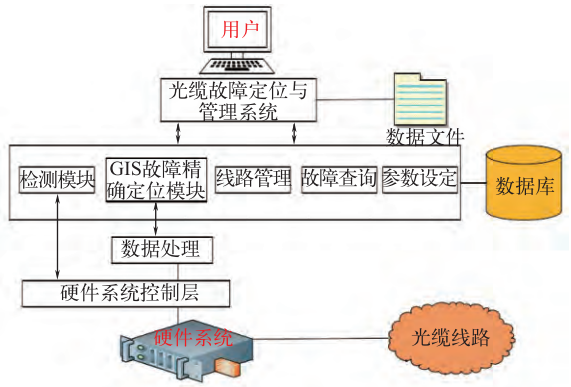

图3　电力光缆故障快速定位系统框架

2. 系统设计原则

整体性、结构化、标准化和开放性等均是系统设计时必须考虑和遵循的基本原则。

1）整体性原则。要求在设计中着眼于整体设计思维，将设计贯穿于系统应用全局。

2）结构化原则。设计时要使系统层次分明，各模块功能易于区分，并保持各项功能的协作性，有助于系统功能的调整。

3）标准化原则。主要指实现系统数据、软件系统和硬件系统等标准化，达到数据共享与交互的目的。

4）开放性原则。可以利用开放性适应不同的应用场景，并保证系统运行的稳定性。

电力光缆故障快速定位系统主要由诸多下位机硬件构成，包括OTDR设备、光功率计和光开关等器件，通过控制以完成监测功能，尤其是对光缆线路的检测。在上位机PC端软件与设备之间，以TCP/IP实施通信，并利用通信传输功能向PC端传送数据，在数据进入数据库后再实施分析及处理，为OTDR故障分析提供依据，由GIS故障定位模块实现故障点的精准定位。

3. 地图数字化处理

基于GIS的电力光缆故障快速定位系统的数字化地图是不可或缺的元素，数字化地图的空间属性信息可以成为系统故障快速定位的基础体现。从系统的运行模式上看，数字化地图是利用相关数据的处理转化，使这些经过计算、兼容和存储的信息能够立体化地呈现于系统数字化地图之中，便于实施综合性的电力故障定位及排除作业。具体而言，系统的地图数字化处理主要需要完成如下步骤：

1）地图矢量化。利用数字化扫描或者绘制的方式，生成矢量化的地图模型，并采用科学的拼接技术，使其组成完整的矢量化地图，并输入系统相应的数据库中保存备用。

2）地图后续处理。在获得矢量化地图之后，由于地图与实际之间往往存在信息误差或者准确度误差，因此需要误差调整。通常可运用GIS中的偏向变换方法进行纠错，以使矢量化地图更加准确，为故障定位提供更精准的信息数据。

3）建立拓扑关系。主要是对各类数据实施分类、分层管理，以构成相应的网络关系。

4）空间与属性数据的关联。系统的运行离不开数据的支撑，一旦失去数据功能的支持，则GIS也将难以发挥出应有的作用。因此在GIS支持下的故障快速定位系统，需要依据空间地理位置信息及地理图形信息两种数据，并立足于两种信息数据的相辅相成，实现系统功能的发挥。

通过上述步骤的实施，地图数字化处理基本完成，如图4所示。

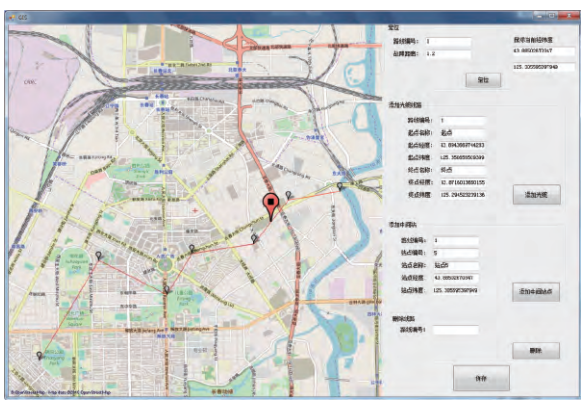

图4　地图数字化处理

4. 数据库的设计

系统数据库属于核心内容，其设计应涉及两个主要方面：一为空间数据库的设计，二为属性数据库的设计。在空间数据的应用中，主要利用分层管理的方式以快速实现数据的分类、检索及分析，具体而言，则是需要保持同层数据相同、数据相互关

联。另外，应满足高频数据对应重点层，低频数据对应次要层。在属性数据的设计中，应结合实际的线路情况，如地形、房屋和河流等因素，在各层中对应一个相应的属性表。利用SMID作为系统唯一标识码，与地理实体呈现一一对应的关系，从而关联至空间数据及属性数据，最终形成故障点位置信息，达到故障快速定位的目的。

基于GIS的电力光缆故障快速定位系统的应用

1. OTDR曲线信号事件分析

在OTDR曲线中包括了多项内容，涉及盲区、反射事件、非反射事件和光缆末端。在系统的功能发挥中，利用OTDR曲线实施分析的目的，就是利用OTDR曲线寻找电力光缆中的熔接点、光缆断电或者光缆尾端等事件，利用数据库对信息进行收集和处理，以便对事件类型进行科学判断，从而利用预测模型进行OTDR曲线事件定位。随后，利用所获取的信息数据，在系统分析处理软件的作用下，自动生成一张事件图表，以图表的方式标示事件分析结果。在该图表中通常包括具体的信息，即被测光缆与事件点的位置距离、事件点衰减、每公里损耗及Y轴光功率强度等。

另外，为提升检测系统故障快速定位的准确性，在OTDR曲线事件的分析中，还应增强噪声抑制作用，以更好地挖掘出有价值信息，因此需要借助信息过滤，以降低噪声对信息内容的干扰，并帮助系统完成更精准的位置计算。OTDR曲线事件检测流程如图5所示。

图5　OTDR曲线事件检测流程

2. 故障定位的计算方法

基于GIS的电力光缆故障快速定位系统能否快速准确地实施距离定位，关键点仍然在于其算法的精准性和可靠性。因此，选择一种简单、快速和精准的光缆故障定位算法显得尤为重要。具体而言，在电力光缆出现故障问题时，利用OTDR曲线进行数据分析，以判断故障点与机房间的距离，再利用科学的定位计算方法，对故障点实施准确的判断，最后利用GIS定位查找具体位置，为工程抢修提供准确的数据。在系统中的计算方法依赖如下计算式

$$X_{\mathrm{F}}=\frac{X_{\mathrm{N}}-X_{\mathrm{N-1}}}{D_{R_N}-D_{R_{N-1}}}(D-D_{R_{N-1}}) \tag{1}$$

$$Y_{\mathrm{F}}=\frac{Y_{\mathrm{N}}-Y_{\mathrm{N-1}}}{D_{R_N}-D_{R_{N-1}}}(D-D_{R_{N-1}}) \tag{2}$$

式中，X_{F}和Y_{F}分别代表电力光缆在OTDR曲线中的横纵坐标轴，通过两种公式计算所得的具体数据，则可以体现出故障点X_N与R_N所对应X轴的位置，而X_{N-1}及相对应的Y_N与Y_{N-1}则为Y轴所对应的位置。其中D_{R_N}与R_N为余缆杆至机房的长度，D代表OTDR测试距离以及至中心机房的实际距离。利用上述方法实施计算，将保证故障定位的精准性，提升抢修效率。

3. 电力光缆故障判断

利用OTDR测试仪器可以全面收集线路特征信息，利用若干曲线可以反映所获取的信息。其中，每条曲线均由25 001个检测点所构成，编号顺序从0开始，直至25 000号，在所设置的检测点中，前部分的噪声较小，因此曲线的变化幅度较为明显，针对少数事件识别优势显著。在电力光缆故障发生后，通常利用OTDR对数据进行收集判断，并将事件曲线与标准曲线实施比较，从而判断事件属于何种故障类型，并将所得信息传输至数据库，再结合GIS进行系统性分析，从而生成相应的事件警报信息。此时，借助GIS的技术与数据优势，可以提取相关的地理信息数据并完成故障点的快速定位，同时检测人员可以直观地进行位置确认，并根据详实的地形信息进行故障排除。

结束语

总而言之，随着社会对于电力能耗需求的增加，势必会进一步提升电网建设规模，加之城市化发展进程的加速，将使电力网络面临着更大压力。据此，要在复杂的电力光缆布设中快速判断故障点，就有必要采用基于GIS的电力光缆故障快速定位系统来替代传统的人工排查方式，以便大幅提升故障线路的抢修效率，满足未来城市化能源供给的需求，为电力系统故障抢修提供充足保障。EA

（收稿日期：2021-11-04）