

输电电缆在线监测及故障预警技术的研究和应用

朱晓华，王 一

(南通供电公司，江苏 南通 226006)

摘 要：本文着重探寻了输电电缆在线监测技术。该技术的应用为实现输电电缆故障自动化预警、故障准确定位提供了可能，大大降低因输电电缆故障引起的事故停电的概率，减少电网的停电次数和停电时间，提高供电可靠性、安全性，提高电力设备的使用效率，同时也为输电网自动化的深入推广、建设国际标准的输电网管理方式提供研究和实验依据。

关键词：智能监测；故障预警；半导体测温

0 引言

随着国民经济的发展和城市建设规范化进程，电缆在输电网中的应用比重越来越大，随之而来的是电缆故障也是逐年增加。电缆终端和中间接头作为电缆线路中的薄弱环节，成为电缆故障的多发之地。在紧密相连的互联电力系统中，一个局部故障会威胁电网的运行安全甚至威胁运行检修人员的人身安全。目前，大多数供电公司对输电电缆的维护还停留在人员定期巡检、定期停电检查的方式。这样的方式工作量大，生产力水平落后，数据的准确性存在误差，数据的及时性无法保障，对设备的运行状况无法全面及时的掌握，无法做到在故障发生前提前准确的预警，已经无法满足输电网自动化、智能化的要求。为此，基于智能在线监测装置平台，利用半导体测温原理及单片机、存储芯片、无线通讯传输等先进技术，实现输电电缆的故障隐患提前预警，减少事故的发生，提高输电管理水平，成为今后的发展方向。

1 系统构成

1.1 系统物理构架

输电电缆智能在线监测和故障预警系统拓扑图，如图 1 所示。本项目开发的智能监测装置采用先进的半导体数字传感器采集电缆接头的表面温度，采用高精度卡式电流互感器作为监测电缆金属护层接地电流的传感器，通过无线网络将数据上传至监控中心^[1]。监控中心根据电缆接头的表面温度走势，以及相邻电缆接头的横向比较，给出电

缆接头是否存在过热故障隐患的判断。同时，采用电缆金属护层接地电流纵向历史电流变化趋势和相邻接地线横向电流差异比较，给出电缆金属护层是否发生多点接地的判断。

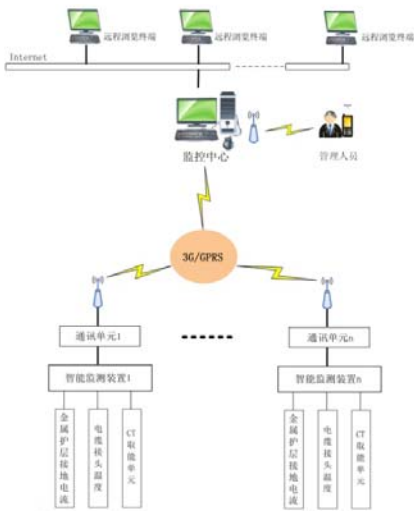


图 1 输电电缆智能在线监测和故障预警系统拓扑图

1.2 智能监测装置

(1) 终端监测装置可用于实现以下功能：

每套装置可实时采集 6 路电缆接头的表面温度，6 路金属护层的接地电流。

外观和电路模块化设计，具备扩展性，具备“三遥”功能。利用单片机技术、存储芯片技术、储能技术等等先进技术，使监测装置具备信息采集、事件记录、远程维护和自诊断、自恢复、通信等功能。

(2) 硬件部分技术条件，如表 1 所示。

(3) 监测装置软件部分：

监测装置系统软件采用应用于嵌入式处理器的 C 语言软件。

装置内应用软件负责监测端数据采集，并与二次监控中心软件之间的数据交互。

表 1 硬件部分技术条件参数

项目	参数
电缆接头温度测量范围/℃	-20~125
电缆接头温度测量精度	±1℃
接地电流测量范围	0 ~ 100 A (AC)
接地电流测量精度	±1%FS
供电方式	CT 取能方式
通讯网络	GPRS 或 3G 网络
工作环境温度/℃	-30~100
工作环境湿度	0~100%RH
海拔高度/m	4000 米以下

1.3 输电电缆智能监测平台

(1) 平台系统架构

整个软件系统分为：数据采集子系统、数据分析子系统、数据处理子系统、数据展示子系统和数据统计及报表输出子系统^[2]。

软件总体系统结构拓扑图，如图 2 所示。

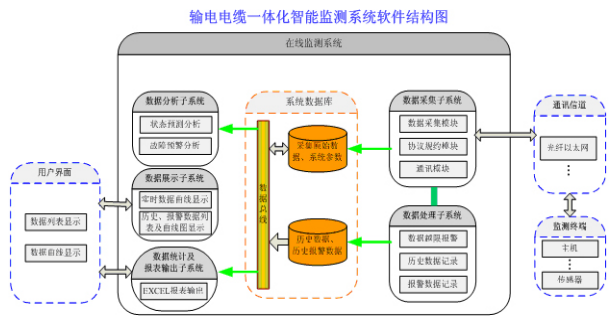


图 2 输电电缆一体化智能监测系统软件结构图

(2) 数据采集子系统介绍

采集子系统负责将原始采集数据存储到软件平台的数据库。采集子系统模块清单，如表 2 所示。

表 2 采集子系统模块清单

序号	软件模块名称	功能说明
1	数据采集模块	完成监测数据的采集工作。调度执行具体的通讯任务、控制命令和数据采集，调用通信模块建立与监测终端的通信，调用协议规约模块，解析采集的数据项并存入数据原始数据库。
2	协议规约模块	完成上报采集数据的协议规约解释。供数据采集模块调用并返回数据和执行结果。并可根根据以后系统中终端种类不断增加新的规约解释库
3	通讯模块	负责软件与终端监测装置的通讯连接建立管理与数据转发

(3) 数据分析子系统介绍

数据分析子系统完成对终端监测装置上报的采集数据的判断和分析，实现故障报警分析等功能。

数据分析子系统模块清单，如表 3 所示。

表 3 数据分析子系统模块清单

序号	软件模块名称	功能说明
1	状态预测模块	完成对被终端监测装置状态预测和趋势预测分析
2	故障预警分析模块	完成上报采集数据与设定的各类报警阈值的对比分析。为数据处理提供决策依据。

(4) 数据处理子系统介绍

依据数据分析子系统的分析结果完成相应的处理功能。具体处理功能包括：数据越限报警、历史数据记录和告警数据记录功能

数据处理子系统模块清单，如表 4 所示。

表 4 数据处理子系统模块清单

序号	软件模块名称	功能说明
1	数据越限报警模块	当监测数据达到或超过阈值，进行数据越限报警。提供多种报警方式
2	历史数据记录和告警数据记录模块	完成历史数据和报警数据的记录。

(5) 数据展示子系统介绍

数据展示子系统负责向用户展示数据结果。包括：实时数据的曲线图显示，历史数据的列表和曲线图显示以及报警记录的列表显示。

数据展示子系统模块清单，如表 5 所示。

表 5 数据展示子系统模块清单

序号	软件模块名称	功能说明
1	实时数据展示模块	当监测数据达到或超过阈值，进行数据越限报警。提供多种报警方式
2	历史数据展示模块	完成历史数据的展示和记录
3	告警数据记录展示模块	完成告警数据的展示和记录

(6) 数据统计及报表输出子系统介绍

数据统计及报表输出子系统实现对保存在数据库里的设备状态的历史数据、历史报警记录数据进行分类检索、分类统计的功能，并且支持把统计数据以 EXCEL 文件的形式输出。便于用户查阅和离线存档。

2 项目研究的关键技术和难点

2.1 智能在线监测装置的研发

要求模块化设计，具备扩展性。具备信息采集、事件记录、远程维护和自诊断、自恢复、通信等功能，要求数据测量准确，且具备就地的数据存储和分析功能^[3]。

(1) 智能监测装置供电和储能

智能监测装置通常安装在电缆隧道、管沟或杆塔上，往往没有交流或直流电源可以使用，必须解

决监测装置的电源和储能问题。经过研究,决定监测装置利用 CT 取能模式供电,采用超级电容储能。CT 取能模块通过 CT 从运行电缆截取交流电流,通过电源管理芯片整流滤波,输出稳定的直流电,解决了监测装置就地取能的问题。在电缆运行电流大于 50A 的时候,CT 取能模块能够稳定输出 5W 的功率,保障监测装置的供电需求。监测装置采用超级电容作为储能装置,当电缆运行电流断电没有电流的时候,即 CT 取能单元没有电量输出的时候,超级电容储存的电量能够保证监测装置通过 GPRS 无线网络向监控中心发出“断电”的报警信号。CT 取能模式供电方式解决了监测装置就地取电的问题;超级电容储能方式解决了电池储能方式电池寿命短、易爆炸和工作温度范围窄等问题。

(2) 多种监测参数数据采集

智能监测装置需要实时监测多种参数,要求数据准确可靠、且采样速度高,必须解决各种传感器多通道、多参数采样,并高速运算的技术问题。经过研究,决定监测装置选用 32 位高性能 ARM 单片机作为核心处理器,选用以下多种传感器采集所需监测数据。采用高精度卡式电流互感器作为监测电缆金属护层接地电流的传感器,卡式电流互感器分别套装在电缆金属护层接地线上,从电缆金属护层接地线上感应到的电流信号从二次端输出,经过信号调理电路,由高精度 A/D 转换器转换为数字信号,最终由 32 位高性能 ARM 单片机采集。采用进口数字式宽温半导体温度传感器作为电缆接头温度传感器,温度传感器固定在电缆接头上,直接由 32 位高性能 ARM 单片机读取温度值,每个监测装置可以监测 6 路接头温度,能够实现多种报警方式。

(3) 监测数据通讯

智能监测装置通常安装在电缆隧道、管沟或杆塔上,而监控中心往往距离很远,单独铺设通讯光缆的成本太高,所以采用 GPRS 或 3G 无线通讯模式解决监测数据的通讯问题。这种通讯方式可以更加灵活的拓展,更适用于南通供电公司的实际情况。

2.2 故障预警判断算法的准确性和可靠性

要求判据必须准确可靠,且能够灵活设置。故障判据设计了各种判断方式,可以根据不同设备的实际情况灵活设置,其中包括:绝对阈值报警,趋势阈值报警,三相不平衡阈值报警等。绝对阈值报警是指当电缆接头温度或金属护层接地电流超过某

一特定阈值时,系统启动报警。趋势阈值报警是指当电缆接头温度或金属护层接地电流在某段时间内的变化值超过某一特定阈值时,系统启动报警。三相不平衡阈值报警是指在同一环境下 A、B、C 三相电缆接头温度或金属护层接地电流的最大值和最小值之差超过某一特定阈值时,系统启动报警。报警方式的灵活设置可以保证被监测设备还没有发生故障前就发现故障隐患,并及时提醒管理人员对设备进行重点监视,防患于未然。

2.3 在线监测系统中应用软件的开发

本系统应用发布部分设计为 B/S 网络版架构,开发平台应用微软的 VisualStudio2010 开发系统,使用面向对象,简单,可移植,高效,动态的解释性开发语言 C#,运用主流框架技术提高优化系统性能。数据库平台采用具有较好安全性、高可靠性的企业服务器版数据库 SQLSERVER2000,以保证数据的安全性、完整性、可恢复性。允许不同程序对数据库内同一数据集进行并发访问,保证在并发方式下数据库的完整性和一致性。具有良好的可扩展性和适应性,满足数据规模的不断扩充及应用程序的修改。便于用户在线生成、修改和维护,对任意数据库中的数据进行修改时数据库管理系统应对所有工作站上的相关数据同时进行修改,保证数据的一致性。数据库满足实时性、可维护性、可恢复性、并发操作、方便性、安全性、开放性。应用软件要求具有对数据的分层分类显示、召唤功能、图形显示、事件告警、事件顺序记录、事故追忆、数据统计、历史事件查询、报表打印、输电电缆线路的在线管理和通信网络工况监视等功能。软件设计了状态预测模块,可以完成输电电缆状态预测和趋势预测分析;故障预警分析模块,可以完成上报采集数据与设定的各类报警阈值的对比分析,为数据处理提供决策依据。

3 实际应用

3.1 现场应用情况

南通供电公司于 2011 年把监测装置安装在 110kV 秀文 721 线、110kV 秀峰 722 线电缆上,用以监测电缆运行时的接地电流、运行电流和运行温度。随着后期开发研究,还将延伸至监测诸如水位、有毒气体等。通过这套监测装置,实现了电缆监测的实时性和完整性,为及时掌握电缆运行工况提供

了有效手段。

3.2 该系统界面

(1) 可以反映电缆线路的地理坐标位置，方便查找，如图 1。

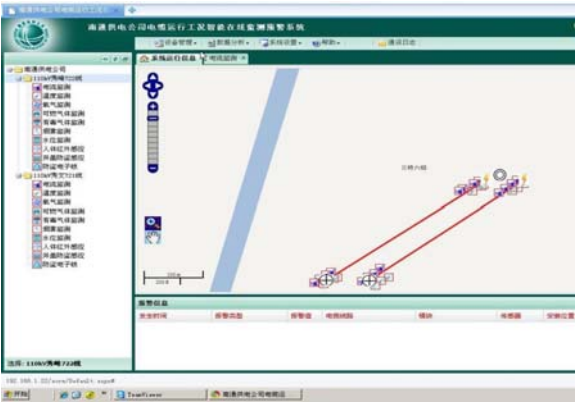


图 1 系统初始化界面

(2) 可以实时查看电缆的运行状态，数据室时更新，如图 2。



图 2 时时监控界面

(3) 可以查看电缆的运行状态的历史数据，便于统计分析，如图 3。



图 3 历史数据查询界面

3.3 测量数值

从系统中可以监测电缆运行电流，如表 6。
从系统中可以监测电缆接地电流，如表 7。

从系统中可以监测电缆温度，如表 8。

表 6 实测电缆运行电流数据

时 间	安装位置	传感器名称	数值
2012-3-2 23: 26	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	45.2A
2012-3-2 23: 23	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	45.7A
2012-3-2 23: 21	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	46.6A
2012-3-2 23: 19	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	47.9A
2012-3-2 23: 19	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	47.0A
2012-3-2 23: 15	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	48.2A
2012-3-2 23: 13	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	48.5A
2012-3-2 23: 13	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	47.5A
2012-3-2 23: 12	110kV 秀峰 722 线 1#杆	电缆运行电流	48.0A

表 7 实测电缆接地电流数据

时间	安装位置	传感器名称	数值
2012-1-10 0: 00	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 01	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 17	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 17	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 18	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 18	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 19	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 19	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A
2012-1-10 0: 20	110kV 秀文 721 线 1#杆	接地电流 A 相	1.8A

表 8 实测电缆温度数据

时间	安装位置	传感器名称	数值
2012-4-16 13: 33	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.5℃
2012-4-16 13: 26	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.2℃
2012-4-16 13: 10	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.2℃
2012-4-16 12: 58	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.0℃
2012-4-16 12: 52	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.2℃
2012-4-16 12: 46	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	25.2℃
2012-4-16 12: 40	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	24.7℃
2012-4-16 12: 35	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	24.5℃
2012-4-16 12: 34	110kV 秀峰 722 线 1#杆	A 相温度	24.5℃

4 结论

(1) 可扩展性和灵活性。运行管理平台采用开放分布式系统，对外提供与具体应用系统无关的统一的开发和运行接口，使得应用程序建立在构件化的基础上，便于新的应用模块的扩展。

(2) 标准化和互操作性。运行管理平台满足开放性和标准化的要求，标准化通过从操作系统、网络、图形、数据库访问和应用软件等各个部分和各个层次采用国际标准来实现。

(3) 先进性和实用性。运行管理平台是发展的新趋势，跟踪最新的计算机技术和标准，采用先进的技术。能最大限度的保证功能的实用性，提供友好的人机界面，丰富翔实的操作手段，使用灵活方便。

(4) 安全性和可靠性。在《电力二次系统安全防护总体方案》规定的指导下，运行管理平台采用多种技术手段来保证系统及数据的安全，并在硬

件、软件配置上提供对系统备份和快速恢复的手段，保证系统的安全、稳定运行。

（5）免维护和维护方便性。系统的建设不增加调度相关维护人员的负担，通过自动或半自动方式实现系统之间的模型和图形、数据的传输与同步、对应等工作，尽力减少人工进行干预或维护的工作量。

参考文献：

- [1] 吴文传，孙宏斌，张伯明，等. 基于 IEC 61970 标准的 EMS / DTS 一体化系统的设计与开发 [J]. 电力系统自动化，2005，29（4）：53-57.

- [2] 姚建国，高宗和，杨志宏，等. EMS 应用软件支撑环境设计与功能整合 [J]. 电力系统自动化，2006，30（4）：49-53.

- [3] 任远，姚建国，杨志宏，等. EMS 图形子系统的 4 层体系设计 [J]. 电力系统自动化，2006，30（11）：77-80.

作者简介：

朱晓华（1979—），男，江苏南通人，助理工程师，从事电力线路运行与管理；

王 一（1954—），男，江苏南通人，工程师，从事电力线路运行与管理。