

高压输电线路在线监测系统的实现及现状

王孝敬（上海华魏光纤传感技术有限公司）

摘要 随着全球大气环境的变化，极端的风雪天气在我国出现愈加频繁，架空输电线路绝缘子污闪、风偏闪络、导线舞动、覆冰等现象时有发生，往往会引起线路跳闸，电弧烧伤，金具、绝缘子损坏，导线断股、断线，倒塔等严重事故，造成巨大的经济损失，严重地威胁着我国架空输电线路的安全运行。在线监测技术作为智能电网的关键技术之一，是目前国家智能电网建设的重要研究方向。

为了更好的研发出可靠性高、功能完善、现场安装施工方便的在线监测产品，本论文首先介绍了目前在线监测系统在我国的发展及应用状况，包括应用的类型、时间、整个行业的技术水平，设备运行状况等做了详细介绍。然后对我公司在在线监测产品在国网新标准框架下的研发情况作总体介绍。文中对在线监测产品的相关技术实现，如新型电源技术、低功耗技术、通讯等基础技术的实现做了介绍，并对覆冰监测单元、微气象监测单元、图像监测单元、导线温度监测单元、导线弧垂监测单元、反外力破坏监测单元的技术实现及指标做了介绍。

在总结上述现状及技术实现的基础上，提出了作者对输电线路状态监测系统的进一步发展方向的看法及提出相关建议。

关键词： 输电线路，在线监测，发展现状，技术实现

1、引言

近几年，我国特高压输电技术发展较快，但与之适应的输电线路在线监测技术起步较晚，监测装置和监测系统尚不成熟，输电线路抵御冰雪、大风等自然灾害的能力较弱，这就要求我们必须发展智能输电技术。输电环节智能化有助于充分利用现有电网资源，大幅度提高输电线路输送能力，降低输电成本；优化输电网络运行条件，充分发挥现有输电线路的效率；提高电力系统稳定水平，促进智能电网的发展和互联；实现状态评估、故障诊断、状态检修和风险预警，实现对线路运行状态的可控、能控和在控。

最近几年国内部分高校和厂家陆续开展相关工作，开发了一些输电线路在线监测装置和系统。这些技术的实现，是提高输电线路运行安全可靠性的有效方法，通过对输电线路状态在线监测参数的分析，可及时判断输电线路故障并提出事故预警方案，便于及时采取绝缘子串清扫，覆冰线路融冰等措施，降低输电线路事故发生的几率。但前期开发的输电线路在线监测装置由于发展时间短、运行条件恶劣等原因。存在产品稳定性差、产品工艺落后等技术问题以及系统安装工作量大、维修困难等客观事实。

2、国内在线监测设备研发及应用现状

最近几年，随着电力系统状态检修工作的开展和智能电网的建设，输电线路在线监测技术得到迅速发展。2008年初的罕见冰雪灾害发生后，国家电网公司、南方电网公司均加大了对输电线路覆冰、舞动的研究投入，2010年国家智能电网规划总报告中提出加大对输电线路状态监测装置及其系统的研制开发，全面建成覆盖全网范围的总部和各网省公司输电设备状态监测系统，利用先进的测量、信息、通信和控制等技术，以线路运行环境和运行状态参数的集中在线监测为基础，实现对特高压线路、跨区电网、大跨越、灾害多发区的环境参数（温度、湿度、风速、风向、雨量、气压、图像等）和运行状态参数（污秽、风偏、振动、舞动等）进行集中实时监测，开展状态评估，实现灾害的预警。

从1998年开始，国内高等院校及厂家陆续开展了对输电线路在线监测方面的产品的研发，2000年各电力公司陆续安装绝缘子泄漏电流在线系统，由于缺乏应有的判据一直处于停滞不前状态，但该产品的面世为后期其他在线监测产品的开发提供了很多技术方面的积累；2002年~2004年国内相继研发成功了输电线路图像监测系统及输电线路覆冰监测系统，目前国内应用量较大，据估计，覆冰监测装置在国内总体应用量在1500余套左右，图像监测装置在3000套以上，以上两种产品对线路覆冰监测及线路巡视维护提供了很大的作用。2004年后相关厂家陆续开发了线路微气象监测系

统、线路导线温度监测系统、线路导线舞动监测系统等产品，均得到了一定量的应用。在线监测产品制造厂家达到 10 余家，监测装置总体产品应用量达到 1 万台左右。

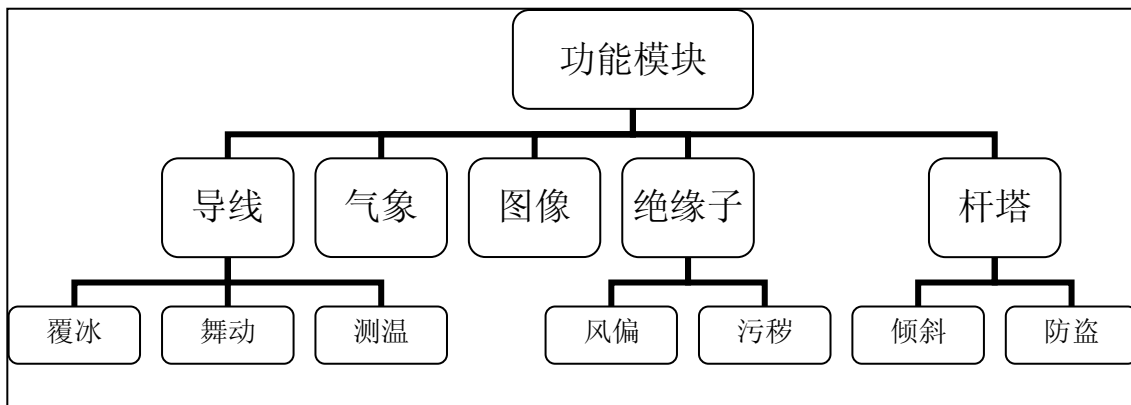
由于早期没有统一技术规范，各厂家各自为政，经常出现在同一监控中心出现 5、6 家以上的监测主机，对系统维护造成很大麻烦。从 2008 年开始，南方电网公司召集包括清华大学在内的 10 余家厂家召开技术交流会，会上对在线监测的的规约及通讯标准做出了规定，2009 年国家电网公司也启动了相关标准的起草工作，目前各厂家的产品能够达到中心兼容。尽管目前在线监测产品的安装数量达到了上万套的规模，但各厂家产品质量参差不齐，总起来说有以下问题：首先，产品可靠性差，据南方电网 2011 年 5 月对 2008 年至 2010 年底安装的产品进行统计，产品在线运行率不足 40%；其次，产品功能实用化程度不高，如应用量较大的覆冰在线监测，通过测量导线及金具在覆冰状况下的拉力来分析导线的覆冰状况，从原理上来说是完全可行的，但由于各厂家覆冰计算模型不统一，造成计算误差过大，产生误报警等现象；第三，设备体积、重量过大，造成现场安装、维护困难，设备重量普遍达到 50 kg 以上，某省电力公司 XXX 覆冰监测整套装置总重量达 1 吨多。

3、我公司在国网新标准规范下的研发情况

从 2008 年国家电网公司发布《输电线路状态监测规范》征求意见稿开始，我公司就着手开始相关研发工作，2010 年 12 月国家电网公司《输电线路状态监测装置通用技术规范》国家电网科【2010】1738 号文件颁布后，我公司对相关产品进行了技术升级、改造工作。目前已完成输电线路覆冰监测、微气象监测、导线温度监测、图像监测、杆塔倾斜监测等 7 种产品的开发工作，技术及性能指标均达到规范中的要求。目前正在进行独立 CMA 的研发工作，预计 12 月份可全部完成。

4、监测装置的主要性能及特点

BOOM-OLMS 系列输电线路状态监测系统利用光纤传感技术、电子测量技术、无线通讯技术、太阳能新能源技术、软件技术对导线覆冰、导线温度、导线弧垂、导线微风振动、导线舞动、次档距震荡、导线张力、绝缘子串风偏（倾斜）、杆塔应力分布、杆塔倾斜、杆塔振动、杆塔基础滑移、绝缘子污秽、环境气象、图像（视频）、杆塔塔材被盗等进行监测。



4.1 监测装置的电源

(1) 安装在铁塔上的监测装置统一采用太阳能对蓄电池浮充的方式进行供电，针对我国西南、华东等日照照射相对较弱地区可采用太阳能及风能对蓄电池进行充电的方式进行供电。

监测装置安装于铁塔上，安装较为困难。因此减小设备体积及重量成为监测装置设计首要考虑的因素，我公司采用超低功耗技术，装置待机电流保持在 20mA

(12V) 以内，因此在同等容量电源条件下，装置可连续运行时间比目前市面厂家长 30% 以上。一般情况下数据采集装置配置 12V 33AH 电池 即可连续运行 30 天以上，装置体积小、重量轻，有利于现场安装。

监测装置选用硅能绿色环保电池作为储能系统，该电池相比铅酸及其他类型电池系统具备以下优点：

- 储备容量高，达到国际要求的 2 倍。
- 充电接受能力强，达到国际要求的 3 倍。
- 大电流放电效率高，可高倍率放电，30C 放电 8S 内电池不损伤。
- 自放电小，年自放电率小于 2%。
- 充放电无记忆（次数）。
- 能耐高温及高寒，可以在-50~+70℃范围内使用。
- 绿色环保，该产品采用复合硅盐电解质取代硫酸，无污染，电池极板亦可再生使用。

(2) 安装在导线上的监测装置采用以下两种方式进行供电：

A、特种高能电池：采用进口特种高能电池进行供电，体积小、重量轻、耐高低温，使用寿命达 8 年以上。

B、感应取能对蓄电池充电：采用高能感应线圈取电及对蓄电池进行浮充的方式进行供电，取电效率高、通讯模块可实时在线。

4.2 监测装置的通讯

(1) 数据采集单元（导线温度、导线舞动、导线张力、导线弧垂等）与塔上监测装置之间采用 RF、Zigbee、WIFI 等方式进行通讯，通讯距离 1~3KM。

(2) 塔上监测装置与 CMA（状态监测代理）之间采用 RJ45、RF、Zigbee、WIFI 等方式进行通讯。

(3) CMA 或集成有 CMA 功能的监测装置与 CAG（状态信息接入网关机）之间采用 OPGW、WIFI、GPRS/CDMA/3G、卫星等方式进行通讯。具备光纤接入条件杆塔上的监测装置，采用光端机将杆塔上的数据的数据传输至中心 CAG，实现数据落地；不具备光纤接入条件杆塔上的监测装置通过无线（WIFI）网络将各监测装置数据汇总至有光纤接入杆塔上的监测装置，利用光交换机将无线监测装置数据传输至中心 CAG；

4.3 监测装置的功能单元

输电线路状态监测系统包括覆冰、气象、图像（视频）、导线温度、导线微风振动、舞动、反外力破坏等产品，上述功能模块可单独使用也可任意组合使用。

(1) 输电线路覆冰监测装置

输电线路覆冰在线监测系统通过全天候地采集运行状态下输电线路的绝缘子串拉力、绝缘子串风偏角、绝缘子串倾斜角、风速、风向、温度、湿度等特征参数，将数据信息实时传输到分析处理中心，通过智能分析算法计算导线覆冰厚度；相关部门根据线路荷载、覆冰厚度及周边气象环境决定是否需要实施预防措施。系统可结合视频监测系统拍回的现场图片，直观地了解线路的覆冰状况。

拉力传感器采用进口特种不锈钢设计，具有抗腐蚀、耐磨、强度高、测量精确度高的特点；覆冰压缩算法，经过多年的现场运行及修正，已能比较准确的计算出覆冰的厚度；系统可结合局部气象特点，对覆冰的发展趋势进行预测。

(2) 输电线路图像/视频监控系统

输电线路图像、视频监控系统主要利用了先进的数字视频压缩技术、远距离 GPRS/CDMA/3G 无线通讯技术、新能源及低功耗应用技术、软件技术、网络技术将电力杆塔、导线现场的图像、气象信息经过压缩、分组后通过 GPRS/CDMA 等无线网络传输到监控中心，从而实现对输电线路周边环境及环境参数的全天候监测。使线路管理人员在中央监控室即可看到杆塔现场信息，将事故消灭在萌芽状态。同时也可减少巡视次数，大大提高线路安全运行水平，为输电线路的巡视及状态检修提供了一条新的思路。

装置摄像机选用工业球形摄像机，机芯采用 SONY CCD 芯片，具有清晰度高，抗电磁干扰的特点。装置采用了先进的摄像机防护机构，能够有效地防护雨雪对拍摄效果的影响。在不进行拍摄时，摄像机处于防护机构之内，拍摄时摄像机伸出防护机构，如下图所示：

(3) 输电线路导线温度监测及动态增容系统

导线温度在线监测系统通过实时监测输电线路导线温度、导线电流、日照、风速、风向、环境温度等参数。系统主要由测温单元、塔上监测装置、通讯基站和分析查询系统四部分组成。其中体积小、重量轻的测温单元安装在输电线路导线或金具上，实时采集导线及金具温度，并通过 Zigbee 或 RF 射频模块将数据无线上传至铁塔上的监测装置。铁塔上的监测装置还负责对本塔所在微气象区的日照、风速、风向、环境温度等参数进行实时采集，将所有数据通过 SMS/GPRS/CDMA1X 等通讯方式将数据传往监测中心，当各温度监测点温度超过预设值时即刻启动报警。

输电线路动态增容就是在充分利用现有输电设施、通道状况的基础上，引入输电线路在线监测与计算分析工具，根据实际气象环境、设备数据，如环境温度、风速、风向、日照以及导线型号、导线发射率、导线吸收率、导线最高温度阻值等详细的导线数据，计算输电线路当前的稳态输送容量限额，为调度和运行提供方便及有效的分析手段，通过导线温度在线监测进行实时增容，有效发挥输电线路的输送能力。

(4) 输电线路导线对地距离（弧垂）监测系统

输电线路导线弧垂监测装置安装在导线的弧垂最低处或需要监测的部位，采用高能电池或导线感应取能技术，实时测量导线对地距离的变化情况，可及时发现导线弧垂的变化，并可实时监测线下树木（竹）、建筑物等与导线之间的距离，避免接地事故的发生；监测装置集成了导线温度测量功能，可实时监测导线的温度变化情况，及时发现导线、接点温度异常；还可可选装夜视摄像系统，对导线弧垂进行现场拍照，远程查看弧垂情况，与测量数据对比，增加测量及报警可靠性；系统应用软件针对导线弧垂实时数据进行计算分析，并结合导线的温度和气象数据对导线预期弧垂进行计算，建立预警机制，确保线路运行和被跨越设备的安全；系统应用软件可结合环境的气象参数、导线温度、导线特性等数据，依据专家分析、计算系统计算出导线载流量，提高导线输送能力。

雷达测距该模块采用铝合金微波波导腔体结构喇叭天线，腔体内包含混频管、震荡管及收发谐振天线、高增益定向喇叭天线。该模块具有体积小、功耗低、测量距离远、精度高、成本低的特点，使军用技术能够更好地服务于工业监测领域，能够准确地测量导线对地、物的距离，相比其他测量方法具有直观、精确度高的特点，可广泛应用于 35kV~1000 kV 的交直流输电线路。



雷达探测器外观图

(5) 输电线路防盗报警系统

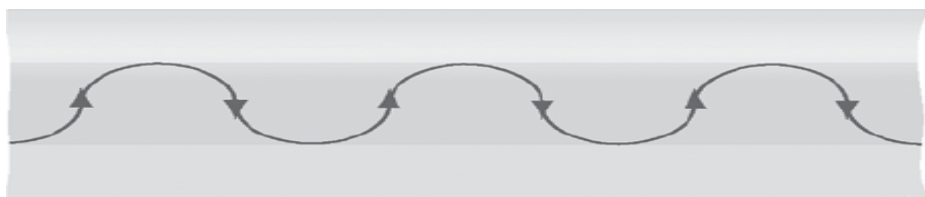
“基于光纤检测及图像监测技术的输电线路防盗报警监测系统”，运用光纤探测技术、图像监测技术、现代通讯技术、新能源技术、新软件技术，使报警可靠性达 98%以上，很好地解决了输电线路防盗预警的难题，为国内首创。

系统由埋在铁塔周围（及塔基内部）的光纤传感器、安装在塔上的智能视频监控及分析装置组成。当有人靠近铁塔或攀爬时，光纤报警器发出预警信号，并把预警信号传输给安装在铁塔上的图像监测装置，监测装置收到报警信号后打开摄像机，启动图像监测功能，进行图像连拍，将图像传输至监控中心，并启动现场语音告警。监控中心具有报警信息、图像的及时显示及存储，并以语音、短信等方式进行告警，监测中心还可立即进行远程喊话，重大偷盗行为发生时可与 110 联动出警，确保线路的安全运行。

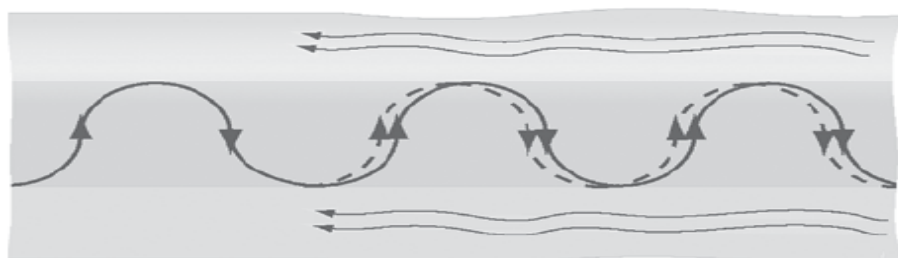
多通道周界光纤传感器是基于全光纤白光微分干涉技术、虚拟仪器技术和智能化振动学习识别技术，研制的一项用于安全检测的高新技术产品。其利用光纤的光弹效应直接进行声波和振动信号的调制，实现振动信号的测量，体现了全光纤传感的理念。同时，由于本系统采用了全光纤白光微分干涉技术进行相位解调以及单芯传输的新型结构，具有极高的可靠性。光缆采用单模铠装室外通信光缆，可感应作用在光缆上的震动信号，将震动信号转换成变化的光学物理量，如光强、偏震态、偏转角、光信号频率等，并将隐含以上变化的物理特性的光信号传输到震动光缆报警主机中。由于使用了光缆作为传感单元，外界的强电磁场、雷电等因素不会对系统产生影响，而且光缆具有成本低、抗紫外线、抗老化，可适用于不规则周界等特点，非常适合大范围、长距离、环境条件恶劣的野外周界环境。

光纤传感报警原理：

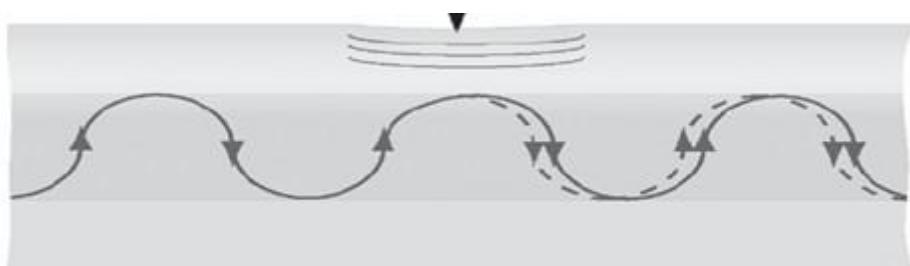
传感光纤没有受到外界干扰情况下，激光信号的传播路径，如下图：



当传感光纤受到振动或移动时，激光信号的传输相位发生了改变，如下图：



当传感光纤受到压力形变时，激光信号传输相位也发生了改变，如下图：



传感光纤内激光信号相位的改变时通过光纤调制器输出的光强与受到相应的振动对应。

通过对信号进行放大、滤波、数字化进入嵌入式 DSP 利用自适应软件进行分析处理，进而判断是否进行报警处理。

5、对状态监测监测技术未来发展的看法

随着全球大气环境的变化，极端的风雪天气在我国出现愈加频繁，架空输电线路绝缘子污闪、风偏闪络、导线舞动、覆冰等现象时有发生，往往会引起线路跳闸，电弧烧伤，金具、绝缘子损坏，导线断股、断线，倒塔等严重事故，造成巨大的经济损失，严重地威胁着我国架空输电线路的安全运行。在线监测技术作为智能输电的关键技术之一，是目前国家智能电网建设的重要研究方向。因此，作为智能电网的关键环节，输电线路的监测具有重要意义，技术主要向以下方向发展：

首先，实用性，经过逐步的产品推广应用，会出现一些主流的应用产品，如覆冰、气象、图像、舞动、导线温度，而其他产品会逐步退出市场应用。

其次，应用嵌入式系统为主要方向，ARM 等系统的应用会成为主流，这将有助于提高设备的可靠性，有利于设备功能的扩展，提供丰富的接口应用。

第三，各种分析、计算、预警等计算模块将随着前端装置 CPU 计算功能的加强进行迁移，也就是说，后期各厂家生产的在线监测装置直接就是一台诊断设备，而不需要后台软件的分析、计算。

第四、前端传感器的标准会逐步统一，目前国网、南网只对整套装置的通讯协议作出相应规范而没有对前端传感器的规约及接口作出要求。随着前端传感器规约接口的统一，将会出现该行业的产业分化，各厂家的传感器将可以通用，各个厂家可根据自己的所长进行开发生产，也可吸引末端传感器专业厂家的进入，如气象传感器生产厂家、拉力传感器生产厂家等。各厂家将会向专业化方向发展，有利于整套产品可靠性的提高。

第五，产品重量、体积会大幅度缩小，有利于现场安装、施工方便，据个人看法，未来两年内将会出现整套重量低于 20 kg 的产品出现。

第六，产品会以高度集成的功能模块的方式出现，将有助于缩小体积、提高可靠性。

6、需要重点解决的问题或难点及建议

从目前各相关厂家产品运行情况分析得出，需要重点解决一下问题：

首先，产品的可靠性问题，这是困扰目前整个行业的重要问题，正如前文所述，整个产品的在线运行率低于 40%，因此各厂家必需将重点转移到解决产品的可靠性上来。

其次，产品的低功耗问题，目前市场上各厂家产品功耗差异很大，因而造成设备的体积、重量差别很大。

第三，产品的电源可靠性问题，目前各厂家不约而同的采用硅能电池，据笔者统计，近几年来该电池的可靠性有所下降，一般运行 3 年左右就会出现充放电效率大幅度下降的问题，因此，挖掘新的蓄电池种类成为当务之急。

综上所述，建议国家电网公司相关部门进一步细化相关技术标准，如统一传感器接口标准，对设备的体积重量作出明确规定，对设备的无阳光工作时间做强行测试，对入网设备的耐候性进行长期模拟测试等以提高设备的可靠性。

作者姓名：王孝敬 年龄 40 学历 硕士

工作单位：上海华魏光纤传感技术有限公司

邮递地址：上海市闵行区紫秀路 100 号虹桥总部一号 2 号楼 7 号

邮编：201103

联系电话：18629078039 13359290218

邮件地址：wxj13359290218@126.com

作者简介：

1997 年至 1999 年 西安某公司从事变电站自动化产品研发

1999 年至 2003 年 西安某公司从事线路巡检系统、高压绝缘子在线监测系统研发 任 总工程师

2004 年至 2010 年 西安某公司任 副总经理、研发中心主任，主持研发线路覆冰、图像、导线温度、气象等产品

2010 年至今 上海华魏光纤传感技术有限公司 任电力研发中心主任，主持研发智能监测相关产品