

Development of Monitoring System for 500kV Submarine Power Cable

GUO Shengli¹, LI Wentao²

1. Naval Institute of Applied Communication Beijing, China

2. EHV transmission Southern Power Grid Company, Guangzhou, China

Abstract: The article introduces the monitor system of health for the 500kV submarine electric cable. The system not only collects data about this kind of the cable, but also contains the history data about it. It can alarm scene through monitoring the distribute-temperature sensor or the distribute-stress sensor. So it's meanfully to the cable's safety and protection, diagnose timely of the cable's damnification, operation in the later period optimization only, and lengthen the life periods of the cable.

Keywords: the submarine electric cable; monitor stress; monitor temperature

500kV 海底电力电缆监测系统的开发

郭胜利¹, 李文涛²

1. 海军通信应用研究所, 北京, 中国, 100841

2. 南方电网超高压输电公司, 广州, 中国, 510405

摘 要: 本文主要介绍针对 500kV 海底电力电缆开发完成的海缆健康状态监测系统。系统收集了海缆运行参量数据, 并建立历史数据库, 能通过分布式温度、分布式应力监测手段实现故障实时报警, 对海缆的安全防护, 损伤的及时诊断, 后期的优化运行和使用寿命的延长都具有重要意义。

关键词: 海底电力电缆; 应力监测; 温度监测

1 应用环境简介

随着海洋开发活动的不断增加, 需要敷设的海底电力电缆越来越多。海底电力电缆作为电网的重要组成部分, 其安全运行对于整个系统非常重要, 但因为所处海洋环境的复杂性, 如果没有完善的预警机制与事故处理预案, 在海缆发生故障时, 不仅会造成巨大的直接和间接经济损失, 而且其后果往往是难以估量的。

海底电力电缆由于运行环境复杂, 时常发生如下故障:

(1) 近海捕捞渔具锚害、海缆敷设状态不佳、海床地质灾害等原因引起的海缆外伤和断裂事故;

(2) 平台震动造成高压电力电缆的接头松动, 从而引发接触不良及打火现象;

(3) 海底浊流和碎屑流、海底地壳活动释放的硫化物的高腐蚀性造成的海缆绝缘性能下降, 引发事故隐患。

海底电力电缆的故障严重影响了电力生产和人身安全。因此, 开展海底电力电缆的在线实时监测, 预测海缆故障的发生, 对保证海缆健康运行是非常必要和具有现实意义的。

2 主要研究内容

本课题针对 500kV 海底电力电缆的开发现状完成了海底光电缆的健康状态监测系统。通过分析和比较各类现有成熟的技术方案, 设计出适用于海底光电缆的全套远程不间断测控系统。该技术不仅能够及时诊断海缆的损伤和潜在危险, 减少因其故障对生产造成的重大影响, 而且能够通过建立海缆的历史数据库分析海底电力电缆故障统计规律, 为后期海底电力电缆敷设、优化运行、安全防护及延长电缆的使用寿命, 减少人工检修次数奠定科学依据。通过对海底电力电缆分布式传感在线监测系统设备及其软件的开发, 实现模块化、产业化, 能取得显著的社会效益和经济效益。

2.1 收集海缆的运行参量数据, 建立完善的历史数据库

海缆的存在和发展已经有 150 多年的历史。由于其具有传输声音、图像等信号速度快、容量大、可靠性和安全性良好等特点, 使得海缆得到广泛应用。然而, 由于海缆处于恶劣的海底环境中, 保护和维修均相当困难。为较好的防止海缆事故的发生, 必需对威胁海缆安全的因素进行全面的了解和分析, 尽可能的避免各种不利因素, 将对海缆的被破坏概率降至最低, 确保海缆的正常运行。

针对不同环境开发的海缆的结构、重量、布局均不相同, 现在海缆生产技术的发展也在不断完善, 所以不同地段、不同时期敷设的海缆各不相同。如果采用单一的传感监控模式, 不仅不能取得理想的监控效果, 在某些情况下, 甚至会出现误报警现象, 严重影响海缆的正常工作, 带来极大的经济损失。

解决该问题的关键是建立上层历史数据库, 通过大量的同缆历史数据的分析, 建模计算出特定光缆的运行参量动态函数。参照历史数据, 不仅可以快速的对特定地段的海缆突发现象加以监控, 而且对由自然因素造成的海缆慢慢劣化趋势作出明显的判断。这些数据为科学的进行定期海缆维护、消除事故隐患、延长现有海缆的工作寿命都具有极其重要的意义。

2.2 开发全天候无间断海缆的健康状态监测模块, 编写上层专用的监测软件

500kV 海底电力电缆经徐闻县南部跨越琼州海峡, 在海南省澄迈县林诗岛附近登陆, 到海南省澄迈县儒林村的福山 500kV 变电站, 并跨越琼州海峡 3 根约 34.7km 交流 500kV 单芯、自容式充油海底电力电缆。如此错综复杂的环境对监控点的数量提出了很高的要求, 然而在每一个监控点都安置固定的监控仪器成本昂贵, 而且日常传感监控应具有高速响应的特性, 在整个系统中每个监控节点都安排具有专业知识背景的测控人员也是不现实的。

本系统考虑如下的系统架构: 在每个节点安装测控模块, 编写专用的上层软件来完成本来需要技术人员完成的各类底层操作, 将数据判决交由主测控机房的工作人员统一完成。很明显, 这样一来系统可以极大地改善整体测控环境, 以较低的人员配置和成本完成了整个系统中海缆测控的需要。

LabVIEW 是一种程序开发环境, 由美国国家仪器 (NI) 公司研制开发, 它使用的是图形化编辑语言 G 编写程序, 被广泛地被应用于工业界、学术界和研究

实验室中。作为一个标准的数据采集和仪器控制软件, LabVIEW 集成了与满足 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据采集卡通讯的全部功能。它还内置了便于应用 TCP/IP、ActiveX 等软件标准的库函数, 是一个功能强大且灵活的软件。利用它可以方便地远程操控各节点的测控模块, 从而实现整个系统测控的需要。

2.3 对海缆进行分布式温度监测, 评估海缆的绝缘和均匀性, 预判故障隐患

海水温度在垂直方向上的变化, 总的来说是随着深度的增加而降低。海水的深度与温度的关系上存在着三层典型的结构: 上层为混合层, 深度为 20~200 米, 此层中温度是均匀变化的; 下一层叫温跃层, 此层温度急剧下降; 最下一层位于温跃层下, 海水的温度平稳下降。由于海缆是敷设在较为平坦的海床上, 所以全范围内由海水温度造成的海缆温差是很小的。造成海缆温度大幅度变化的原因分为自发热和外界自然地质变化两种。

在海缆的长期运行中, 由于腐蚀、老化、轻度受损等各种原因, 海缆的初始绝缘结构、阻抗特性、高压接头工作状态均会发生变化, 某些时候, 在海缆局部地方可能会造成致热现象。自然因素产生的地壳变化、海床活动、海底浊流等原因可能会对深埋的海缆产生影响, 一旦某一段海缆裸露在海水中, 受海水温度的影响, 就与其他段海缆在温度上产生较大偏差。对上述问题进行科学的分析, 根据监测海缆温度的变化就可以发现问题, 从而有针对性的对海缆进行必要的维护。

对海缆进行分布式温度监测, 可评估海缆的绝缘和均匀性, 了解海缆的外部工作环境的变化, 预判故障隐患, 降低故障几率, 是海缆长期安全稳定运行中必不可少的测控手段之一。

2.4 对海缆进行分布式应力监测, 研究地质、锚害对其的影响, 预判故障隐患

威胁海缆的人为因素主要包括海洋渔业活动、海洋航运和海洋工程作业等。海洋渔业活动中捕捞渔具对海缆的威胁很大。海洋航运对海缆威胁的方式主要是船锚对海缆的破坏(锚害)。海洋工程对海缆的威胁相对较小, 它主要包括海底挖沙和海底管线敷设。通过对历史海缆故障数据的统计, 捕捞渔具、锚害造成的破坏量占到了海缆损坏总量的三分之二。

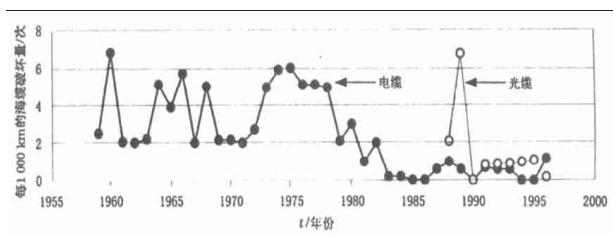


图 1. 渔业活动造成的每年海缆的破坏量

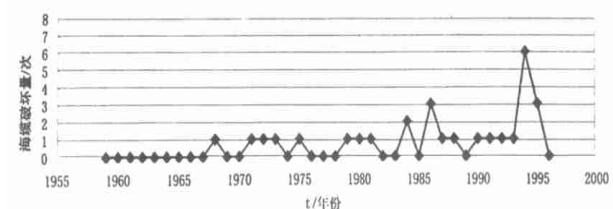


图 2. 锚对海缆的破坏变化曲线

随着科学技术的发展和海缆安全性要求的提高,海缆被要求埋设在海底,并且埋设深度不断加深。海缆的外铠装也越来越坚固,抗拉能力越来越强。标准船锚与其刺入海床深度之间的经验公式为: $h = a \ln(w) + b$ 式中, h 为刺入海床深度; w 为标准锚重; a 和 b 为系数(这两个系数受多种因素的影响,例如海洋环境,海床土质类型及其特征等,其具体值可通过试验确定。通过对海床硬粘土层和中密砂层中标准锚入土深度的实验数据分析,确定的 a 和 b 的值分别是 0.38 和 0.83)。现代敷设的海缆因保护手段的不断加强,由于捕捞渔具、锚害直接造成损坏的概率大大降低。但因捕捞渔具、锚害造成的局部损伤仍屡屡发生,该类型的损伤往往对光纤损耗不造成影响,常规的测控手段无法发现或察觉,或当其发现明显损耗时,该段海缆可能已经损坏无法正常使用。采用 BOTDR 技术对海缆进行分布式应力监测,可在海缆发生故障前发现该类隐患,通过对锚害、渔具等事故的建模分析,预判故障性质,为是否对海缆进行前期维护提供了科学的依据。

2.5 建立突发性故障实时报警机制、精确定位断点,缩短修复时间

由于海缆故障所造成的损失巨大,而且往往具有很强的时效性,在人力所不能避免的突发性故障面前,修复所需要花费的时间至关重要。历年来,因海缆发生故障而导致通信、贸易、生产、开采等情况瘫痪的事件屡见不鲜,故建立完善的故障报警机制,在故障

后迅速、准确的做出有效的处理,缩短维修时间,是在运用海缆的所有系统中都必需要讨论的课题。

在海缆修复的过程中,受气象、海面风浪、潮汐、人员装备等客观因素的影响,每天的作业时间往往是有限的。如何快速定位故障海缆的位置是制约整个海缆修复时间的关键,利用 BOTDR 全分布式温度、应力传感的技术特点,人为的在某段海缆施加合适的温度、应力变化,可帮助常规的故障定位手段更加准确的找到断点,缩短作业时间,减少故障损失。目前我们已利用该技术成功的在国内上海-浙江某段海缆上定位了断点位置,精确度在 10m 以内,大大缩短了维修时间。

3 结论

该系统可以尽早发现海缆的损伤和可能存在的危险,减少海缆故障的发生几率;根据对历史数据的建模分析,定期的对海缆进行维护,可显著延长海缆地使用寿命;通过对海缆温度场和应力变化的分析,后期平台海底电力电缆的敷设工作可根据分析结果有针对性的避免安全隐患;系统可实现全天候自动监测工作,减少人为误差,提高设备自动化管理水平;在各监控节点采用模块化方式,不仅可以节省人力、物力和财力,还可以因地制宜调整传感测量侧重点,使其具有更高的精度和响应灵敏度;对不可抗拒的自然因素等造成的海缆故障,可快速实现故障点精确定位,力争第一时间恢复海缆的电力、数据通信,具有极强的社会效益和经济效益。

References (参考文献)

- [1] S. Sathikh, M.B.K. Moorthy and M.A. Krishnan. Symmetric linear elastic model for helical wire strands under axisymmetric loads. *Journal of Strain Analysis*. 31(1996) 389-399.
- [2] Seyed Reza Ghoreishi, Tanguy Messenger, Patrice Cartraud and Peter Davies. Validity and Limitations of Linear Analytical Models for Steel Wire Strands under Axial Loading. Using a D FE model. *International Journal of Mechanical Sciences*. 49(11) (2007) 1251-1261.
- [3] Seyed Reza Ghoreishi, Peter Davies, Patrice Cartraud and Tanguy Messenger. Analytical modeling of synthetic fiberropes. Part II: A linear elastic model for 1 + 6 fibrous structures. *International Journal of Solids and Structures*. 44(9) (2007) 2943-2960.
- [4] Wen-Guang Jiang, Michael K. Warby b and John L. Henshall. Statically indeterminate contacts in axially loaded wire strand. *European Journal of Mechanics - A/Solids*. 27(1) (2008) 69-78.