

## 仿真 App 助力电网的运行与维护

武汉南瑞集团的工程师们基于多物理场仿真模型定制开发出“电缆线路状态分析专家系统”App，从而提升了对电缆故障的预判能力以及故障检修速度。

作者 ZHANG QIQI

电线电缆被喻为国民经济的“血管”与“神经”，是电力基础设施建设、智能电网以及新能源产业中必不可少的基础产品。

随着经济的发展，电缆线路的需求日益增加，新增负载会导致电网参数波动或瞬间干扰，从而引起电网设备的运行故障，极端情况下还会引发火灾等严重事故。电缆系统设备的日常维护是保证居民生活和工业生产正常运行的重要手段，而电缆出现故障后如何及时修复，也成为亟待解决的问题。

为了防止突然断电等情况的发生，电力设备需要定期借助红外、紫外和局部放电等检测设备进行状态评估。然而，定期“健康检测”往往

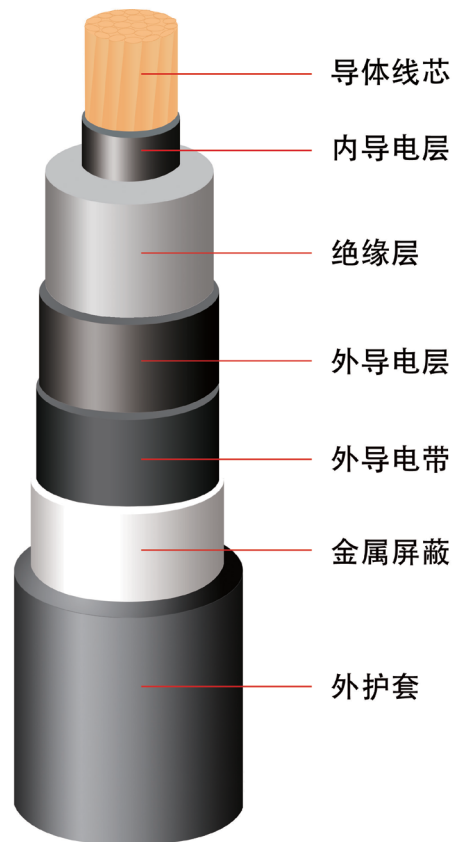


图 1. 典型的电缆结构示意图。



图 2. 左：电缆绝缘层在水分和电场同时作用下而产生的水树现象；右：绝缘层的机械损伤。

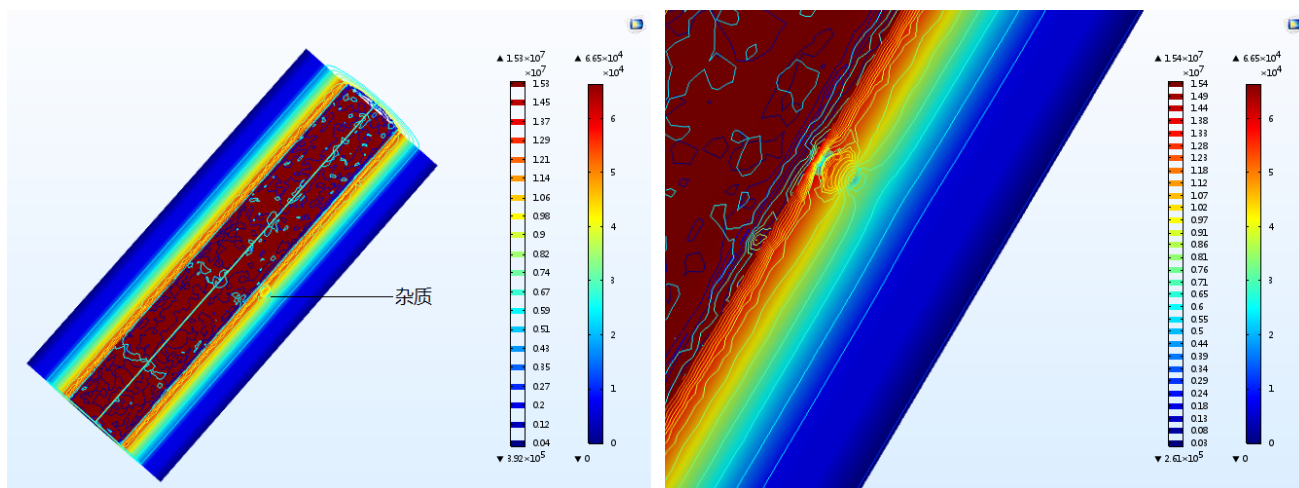


图 3. 左:内含杂质的电缆仿真结果显示电势分布图及电场模等值线。右:电场的局部放大图。

难以全面地反映电缆的状态或判断电缆设备的故障类型;更何况电缆的架设环境各异,例如埋于地下或隧道内,或是架设在空中,都会增加检测的难度。

### » 仿真助力提升电缆健康评估

为了维护电网的正常运转,除了使用传统的检测设备以外,工程师还需要考虑影响线缆健康的不同因素,如线缆本身的结构和材料、线缆中的杂质、电压波动及运行环境等。

国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司(以下简称“武汉南瑞”)是中国国家电网总公司下属的一家研究机构,主要从事智能电网输变电相关产品的研发、设计、制造和工程服务,其职责之一是为地方电力公司提供电力设

备运行维护以及故障分析服务。武汉南瑞的工程师张静及其团队希望通过仿真模拟许多相关参数与物理现象,有效地分析不同因素引起的电场变化。

### » 影响电缆健康的水树现象

电缆是一个复杂的多层结构,其中线芯通常由几根或几组导线绞合而成,每组导线之间相互绝缘,线芯外包有高度绝缘的覆盖层(图1)。当电缆的绝缘层中存在水分以及其他诱发因素(如杂质、突起或者空间电荷)时,绝缘材料在水分和电场的作用下就会形成一些树状的微型通道。在电缆正常工作时,水分子在电场的作用下会不断聚集在缺陷部位,导致绝缘层发生机械损伤,从而扩大绝缘体的缺陷。在电力输

送中,所谓的“水树”现象是诱发高压电缆损坏的主要因素(图2)。

为了观察和理解上述因素对电缆健康状况的影响,武汉南瑞的工程师使用 COMSOL Multiphysics® 软件创建了一个电缆模型。“COMSOL 软件界面友好,软件内的预置接口使建模仿真过程变得十分简单。”张静说道。

电缆的故障模拟分两步完成:首先设置电缆各层材料的结构参数(半径)和电学属性(介电常数和电导率),计算电缆在通入高压电后的正常电场结果;然后分别加入杂质参数和水树层参数。“在评估电缆健康状况时,电缆各层的材料属性、水树和电缆中的杂质等因素都需要考虑在内,而这些在 COMSOL 软件中很容易实现。”张静解释道。

将正常情况与存在缺陷的电场结果进行对比,工程师可以准确地评估杂质和水树对电缆性能的影响。正常电缆的电场仅涉及沿导线半径指向屏蔽层的电力线,此时的电场分布才是均匀

“仿真 App 在电缆维护工作中起到了关键作用,不仅极大地提高了工作效率,也给一线同事在电缆故障的判断上带来更多自信。”

——张静, 武汉南瑞

的。当存在杂质时,如图3所示,电场的均匀性受到破坏。当局部的电势差高于绝缘层可承受的电压时,电缆绝缘层将会在短时间内被击穿。

## » 数字孪生模型助力维修一线

对于武汉南瑞的工程师而言,仿真全面揭示了电缆的状态特征。但是当电缆出现问题时,一线的故障检修人员缺少仿真技能培训,难以使用数字孪生多物理场模型基于实时数据分析故障原因。当故障发生在较为偏远的地区时,调用电力专家进行现场勘查排除故障则需要花费几天甚至数周的时间。若一线的检修人员也能使用仿真分析故障原因,将大大降低检修工作的难度。为使仿真模型能够实时服务于一线人员,张静工程师基于多物理场仿真模型,使用 COMSOL 软件自带的“App 开发器”,定制开发了专家系统仿真 App (图4),检修人员只需修改几个参数就能完成仿真分析。

“电缆线路状态分析专家系统”仿真 App (图4) 支持用户直接输入不同的电缆参数,选择故障类型,即时调整仿真模型,直接计算并显示所需的结果。App 可以快速生成电势和电场报告,检修工人得以判断是否需要对该电缆进行更换或维修。“仿真 App 在电缆维护工作中起到了关键作用,不仅极大地提高了工作效率,也给一线同事在电缆故障的判断上带来更多自信。”张静说道。

目前,由武汉南瑞开发的“电缆线路状态分析专家系统”仿真 App 正服务于广西电网有限责任公司某下属单位,帮助电缆检修人员预判电缆故障,维护中国西南地区电网系统的正常运行。◎

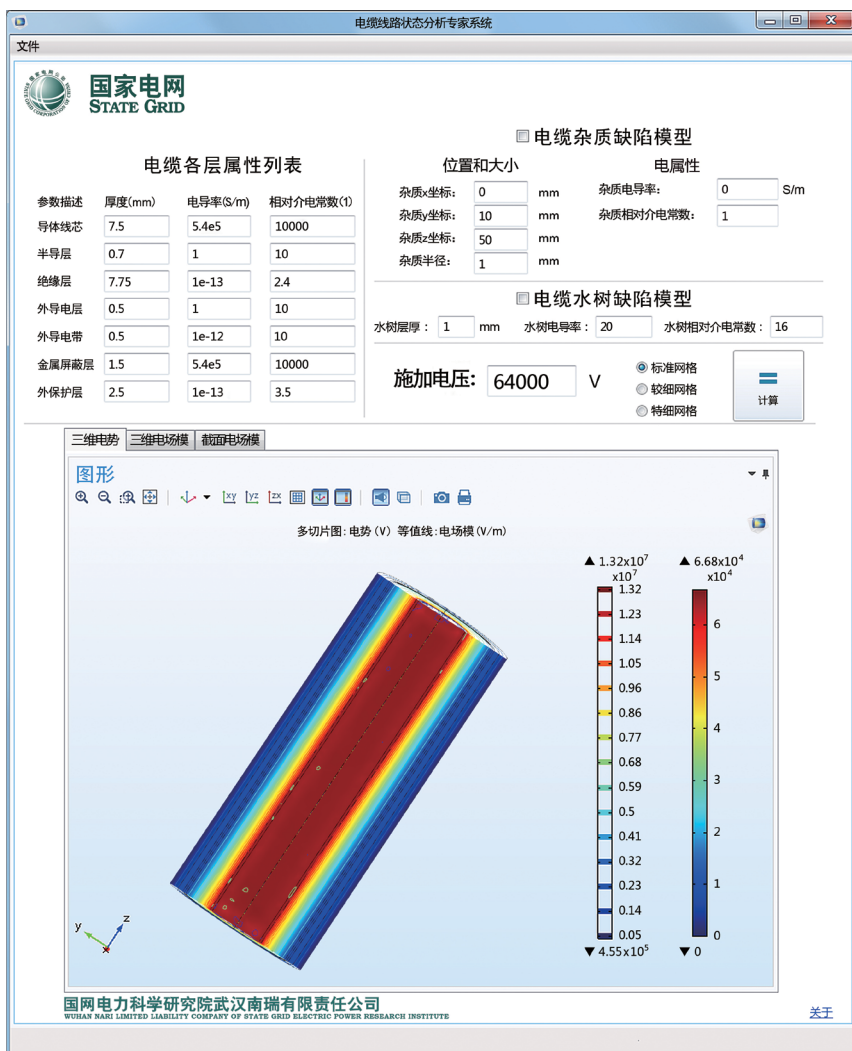
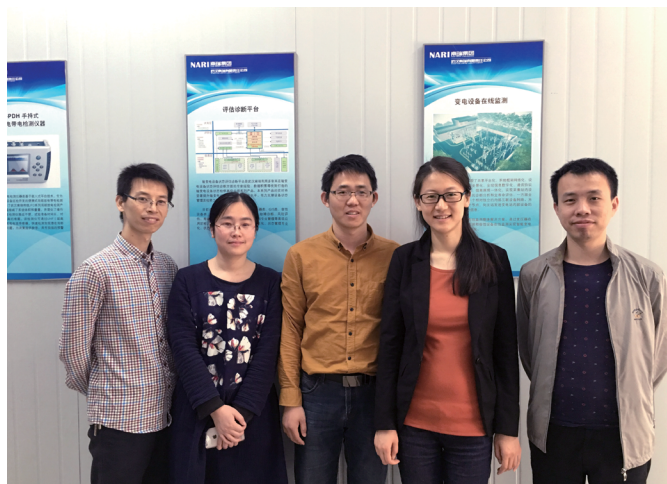


图4. “电缆线路状态分析专家系统”仿真App。



武汉南瑞运检服务事业部的仿真研究团队(从左到右):陈钊、胡婷、房体友、张静、汪浩。