

上海输电线路设备运行寿命检测与评估

输电线路长期在野外运行，易受到各种侵蚀，影响其运行寿命。尤其上海地区处于东部沿海，海洋性气候与工业污染对输电线路运行寿命具有重要影响。本文根据上海输电线路设备的实际情况，分析了影响输电线路设备运行寿命的主要因素，并通过对部分输电线路的主要部件取样进行试验检测，获取经长期运行的输电线路部件的状态数据。同时结合我公司长期积累的输电线路运行经验，科学评估上海地区输电线路的运行寿命状态，从而为输电线路的运行维护提供合理建议，提高线路的安全可靠性和管理水平。

王浩洋 谢小松 李蔡慎 王炜 / 国网上海市电力公司检修公司

0 引言

输电线路长期运行在室外，受到各种复杂恶劣环境的侵蚀，使得输电线路易出现材料老化及结构性缺陷和损伤，导致电气与机械性能降低。^[1]尤其对于长期运行的老旧线路，其寿命状态是输电线路运行管理极为关注的一个重要问题。

影响架空线路运行寿命的主要因素包括环境腐蚀、振动疲劳等。其中，腐蚀破坏是最主要的影响因素。^[2]美国电力科学研究院(EPRI)和加拿大电力技术研究机构(如Power Tech Lab等)把输电线路的腐蚀评估、控制与防护等腐蚀问题列为输电网寿命管理的重要研究课题。“十一五”末期，国家电网公司全面启动输电线路的状态检修，已把输电线路寿命状态管理纳入输电线路状态检修范畴。^[3]但在如何评估输电线路的运行寿命，以及如何建立输电线路运行状态和剩余寿命之间的关系方面，尚未得到深入的研究。^[4]

上海地区处于我国东部沿海地区，易于受到台风和龙卷风的袭击，给输电线路造成潜在的缺陷和损伤；同时，受海洋性气候和工业环境污染的多重侵蚀作用，输电线路部件易出现材料腐蚀。因此，对上海输电线路设备运行状况进行分析，寻找系统性的评估输电线路设备运行寿命的方法具有非常重要的意义。

1 上海电网输电线路概况

随着近年来上海地区输电线路不断的建设和更新改造，目前上海地区的输电线路呈现新老并存的状态。有的线路在技改完成后既有新设备，也有老设备，情况比较复杂。据运行单位统计，上海地区输电线路运行时间如图1所示：

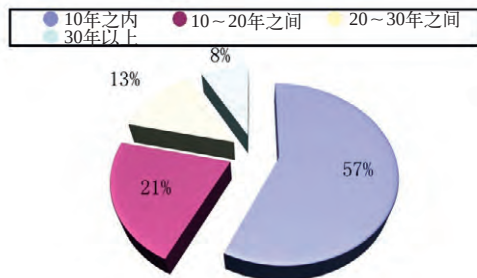


图1 上海地区输电线路运行时间分类

由图1可见，上海地区输电线路运行时间在10年以内的占到总数的一半以上，为60%；运行时间10年~20年的占总数的23%；20年~30年的占总数的12%；30年以上的占总数的5%。针对这种新老设备并存的情况，宜采用状态检测等的手段，及时掌握设备运行状态，并根据相应数据进行设备运行寿命分析，以判断检修或更新的周期。



王浩洋 / 工程师

关键词/Keywords

输电线路 ·
运行寿命 ·
检测 ·
评估 ·

2 影响输电线路设备运行寿命的主要因素

影响输电线路系统及部件的使用寿命的因素是复杂多样的,但总体来看,主要包括风致振动引起的疲劳以及由于环境腐蚀造成的腐蚀破坏两大类。随着电力事业的发展和运行经验的积累,目前发生疲劳破坏的输电线路相对较少。而腐蚀破坏则是长期、缓慢且不可逆转的失效过程,在线路中较为常见。上海地区属于东部沿海,又是国际性大都市,受到工业与环境的双重污染,对线路设备寿命的影响不可忽视。因此,本文主要研究腐蚀对输电线路寿命状态的影响。

2.1 影响架空导线运行寿命的主要因素

上海地区地势平坦,风力较小,其地形地貌决定了发生风振动的几率较小,且输电线路档距基本在400 m以内,从运行经验来看,从未发生过由于微风振动、次档距振荡及舞动造成的设备事故。因此腐蚀是影响导(地)线物理寿命的最重要的因素。对导线而言,最易引起腐蚀的是钢芯。导线的腐蚀形态有化学腐蚀和电化学腐蚀,并以电化学腐蚀为主,而且主要是外层腐蚀。铝股受腐蚀后表面会产生白色粉末,并布满麻点,铝股与钢芯接触层也会产生白色粉末状物,同时导线明显变脆,抗拉强度明显降低,严重时会造成断股、断线,大大地缩短了导线的使用寿命。尤其是耐张钢帽处及弧垂最低点易发生锈蚀。20世纪90年代,曾发生两次因耐张钢帽腐蚀断裂导致的断线事故,值得运行管理人员关注。

地线传统上大多使用镀锌钢绞线,从运行经验上来看,镀锌钢绞线耐腐蚀性较差,在污染环境下锈蚀情况严重,一般每隔15~20年左右轮换一次,平均每年需调换锈蚀架空地线100 km左右。自20世纪90年代中期开始,上海地区的架空地线由镀锌钢绞线更换为铝包钢绞线或OPGW光缆。由于铝包钢产品及光缆均具有良好的耐腐蚀性,大大减少了检修工作量,提高了运行可靠性。

2.2 影响线路杆塔运行寿命的主要因素

输电线路杆塔一般为铁塔和钢管杆(塔),根据防腐要求进行热浸镀锌处理。但

经过若干年的使用之后,往往由于锌层破坏而发生锈蚀,大大降低了钢结构构件的承载能力,其腐蚀寿命往往取决于使用环境的腐蚀程度。由于杆塔结构高,柔性大,承载的力大,也会在杆塔的某些构件上出现疲劳损伤或破坏,影响其疲劳寿命。

杆塔钢结构的部分锈蚀状况主要表现为3种情况:部分构件表面镀锌层完全腐蚀,大部分基体钢材锈蚀严重;构件表面呈黄色锈层,粉化严重,锈蚀主要为泛锈,除去表面锈层仍有镀锌层存在;小部分构件表面镀锌层完好,但粉化严重。

铁塔除了塔身锈蚀外,一般铁塔塔脚锈蚀较为严重。从钢材的锈蚀的机理上推测,铁塔锈蚀一般有几大因素:自身的冶金因素;环境因素,包括大气、土壤和混凝土等;铁塔塔脚的构造形式;镀锌层的工艺及抗蚀能力;其他的人为的破坏因素等。

上海地区输电线路杆塔防腐措施主要有油漆防腐和冷镀锌防腐。在一般污秽地区,油漆防腐周期一般为5~8年;冷镀锌防腐周期一般在10年以上。从运行经验上来看,防腐措施到位的情况下,上海地区输电线路杆塔在污秽、腐蚀的环境下仍能运行30年以上。

2.3 影响绝缘子运行寿命的主要因素

绝缘子承受的机械负荷就是导线的重量或张力及作用于导线上的风载、冰载等。输电线路使用的绝缘子主要有瓷质绝缘子、玻璃绝缘子和合成绝缘子三种。

盘形悬式瓷质绝缘子外闪络距离达几百毫米,而头部瓷壁只有十几毫米,即外绝缘距离远大于内绝缘距离,而且机械应力和电应力的集中点都在瓷绝缘子头部,这就使得运行一段时间后,部分绝缘子的机电性能下降,出现零值绝缘子。零值绝缘子不仅加重了其它绝缘子的电压负担,而且当出现污闪时,强大的电弧就可能穿过零值绝缘子的头部。使钢帽炸裂,形成掉线的恶劣事故,造成长时间停电的巨大损失。因其自身特性,在上海的应用已不多见。

玻璃绝缘子具有较好的机电性能,且具有零值自爆的优点,可节省大量的运行维护费用。现上海地区耐张串大多采用玻璃绝缘子,截止到2013

年，上海地区输电线路使用的玻璃绝缘子自爆率为0.17‰，在标准规定的范围之内。上海地区输电线路数十年的运行和试验数据证明，玻璃绝缘子具有长期稳定的机电性能和较长的使用寿命。

合成绝缘子具有体积小、重量轻、安装运输方便、机械强度高、抗污闪能力强、无零值、可靠性高及抗冲击破坏能力强等优点。近年来，合成绝缘子已在上海地区输电线路中得到了广泛的应用，绝大多数输电线路的直线悬垂串均选用了何尝绝缘子。自1991年起，至今已安全运行近25年，除进口500kV合成绝缘子发生过两次产品质量事故外，其余国产合成绝缘子均安全可靠运行。

3 设备的检测与试验

3.1 导地线运行寿命的检测与试验

运行单位对导线型号为LGJQ-400的220kV石浦2208线和阳金2119线进行了外观检查、腐蚀产物分析、金相分析及导地线性能检测评估等试验。从外观上看，石浦线最外层的铝线氧化最严重，外层已经严重变化，越向内层，氧化越轻，内层的钢芯可以看出镀锌层有不同程度的缺失，但未见明显腐蚀坑等严重缺陷。

从表1的腐蚀产物分析可以看出，钢芯铝绞线的腐蚀产物主要为含硫、氯及钙的产物，外层腐蚀产物的含量最多，越往内层，腐蚀越轻，到中心钢丝，腐蚀产物已经非常微弱。

从导地线的电阻率、抗拉力和扭转性能试验、拉力试验及疲劳试验结果可以发现，导线基本性能仍能满足标准要求，仅电阻率超过试验标准，导致导线电气性能降低，运行损耗将增加。

3.2 杆塔运行寿命的检测与试验

与导地线类似，运行单位对石浦2208线和阳金2119线抽取部分杆塔进行了电镜实验、金相

表1 石浦2208线钢芯铝绞线的腐蚀产物

腐蚀产物	钢芯铝绞线层数的腐蚀产物均值 (w%)				
	第一层	第二层	第三层	第四层	中心钢丝
S	13.55	2.35	0.15	0.5	0
Cl	0.65	0.35	0.1	0	0
Ca	1.15	1.25	0.15	0	0

分析试验、铁塔机械性能检测评估试验与钢管杆（塔）腐蚀检测试验等。从腐蚀产物分级与金相分析试验可以看出，角钢受到了不同程度的腐蚀，有的角钢的镀锌层几乎被全部腐蚀掉。虽然有的角钢的镀锌层还较厚，但是个别部位已经出现了镀锌层几乎完全缺失的情况，应当引起重视。通过铁塔机械性能评估试验发现，对于运行了几十年的线路角钢来讲，无论是抗拉强度，还是屈服强度及伸长率，都超过相关标准要求，这说明这些角钢的性能良好。如表2所示。

同时，运行单位也对不同运行时间的输电线路钢管杆（塔），尤其是曾经发现有过积水情况的杆塔进行了外壁、内壁腐蚀情况跟踪抽样检测。主要的方式是钻孔取样，对样本镀锌层厚度进行千分尺测定，与超声波测得数据进行对比核对，检测其腐蚀情况。检测结果表明在上海地区的空气质量较差的环境下，钢杆（塔）外壁热浸锌在酸雨侵袭下，氧化较快，而内壁与外界大气相对隔绝，理论上保证干燥、阴暗、不通风的封闭环境，氧化较缓慢，与外表面相比较，内壁的腐蚀情况相对较好，未出现腐蚀缺陷。

3.3 绝缘子运行寿命的检测与试验

我们对运行的复合绝缘子进行了抽样的试验，包括工频湿闪试验、污闪试验、盐/灰密试验、陡波冲击试验与机械破坏试验等，试验依据

表2 角钢的力学性能试验数据

样品来源	样品型号	抗拉强度 R_m/Mpa	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}/\text{Mpa}$	断后伸长率 $A/\%$	弹性模量 E/Gpa
石浦2208线	100×100×8	603	423	28	210
	56×56×5.5	568	418	29	211
	45×45×5	515	388	30	210
阳金2119线	100×100×8	550	408	31	210
	75×75×6	468	352	28	210
	45×45×5	553	423	29	209

如表3所示。试验结果显示，各支试品均表现出了良好的性能。其憎水性恢复、迁移性能有所降低，但自然污秽下仍然保持很好的憎水性，所有试品的憎水性均能够达到HC1~2级，所以污闪电压水平较高，泄漏电流很小。其它各项性能均表现良好，只有机械破坏负荷强度分散性较大。

同时，我们对复合绝缘子一直保持跟踪检

测，观察机械强度随时间下降的特性。以复合绝缘子螺纹结构的可靠性为例，试品采用运行8年的220kV/100kN绝缘子，试验的初步结果见图2。从图2可以看出复合绝缘子的未破坏试验数据均在IEC61109给定的最大斜率8%直线上方，说明这种结构的机械强度随时间下降的幅度比较小，在机械上足以保证安全运行。

表3 试验方法和依据

试验项目	盐/灰密	HC、憎水角	污闪试验泄露电流	工频湿闪试验	陡波冲击机械破坏
方法依据	GB/T4585-2004	DL/T864-2003	表注	DL/T864	GB/T19519

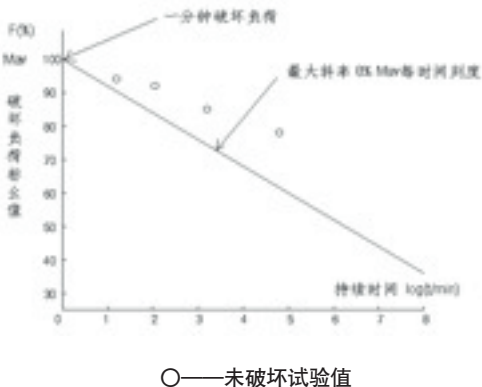


图2 复合绝缘子机械强度——时间曲线

4 结束语

(1) 对比各样本的情况，并没有出现因为运

行年限增加而引起性能明显突变。但设备运行寿命的老化是一个缓慢渐进的过程，因此，在日常运行管理工作中，必须按照有关规定加强设备巡视、检查、维护，尤其是投运时间在20年以上的老旧线路。

(2) 鉴于项目成本与手段的限制，结合我公司长期积累的运行经验，综合考虑抽样试验数据和设计寿命，我们认为：在加强日常巡视，在检查、维护措施到位的情况下，就目前而言上海地区输电线路设备，在运行年限达到表5中数值时，建议对设备进行抽样检测试验，加大巡视力度，并随着时间的增加而提高相关试验与检测的频率。

表4 输电线路设备建议加强巡视与试验的年限

输电线路设备	导线	地线（铝包钢绞线/OPGW光缆）	铁塔	钢管杆（塔）	合成绝缘子	玻璃绝缘子
运行年限/年	30	20/15	30	30	15	30

参考文献

[1] 李林,刘芳芳,谢光彬.基于全寿命周期成本理论的架空线选型方法研究[J].华北电力大学学报,2010(6): 23-28.

[2] 帅军庆.全寿命周期成本管理是公司可持续发展的重要举措[J].上海电力,2004(3): 177-178.

[3] 叶萍,成功,陈晶晶.电网建设项目全寿命周期成本管理的分析研究[J].电力学报,2011(5): 413-415.

[4] 郭峰,文凯,李广福.输电线路全寿命周期成本设计[J].电力建设,2011(2): 29-34.

(收稿日期: 2015-5-21) EA

作者简介

王浩洋（1983-），男，硕士，国网上海市电力公司检修公司，从事输电线路运检工作。

谢小松（1979-），男，本科，高级工程师，从事电网输电线路技术研究与管理工