

现有雷电定位方法的应用分析

刘敏

(成都电业局继电保护所,四川成都 610021)

摘要:分析比较了现有雷电定位系统中各种定位方法的原理及其在应用中的优点与不足,对现有雷电定位系统的应用情况做了多角度的分析。展望未来,基于行波法来展开对雷击定位方法的研究,将成为提高测距精度的一个重点。

关键词:输电线路;雷击;雷电定位系统;行波;

Abstract: The principles of different lightning location methods in the existing lightning location systems are analyzed and compared as well as the excellence and shortcoming of its application. The applications of the existing lightning location systems are analyzed as well in various ways. Looking ahead, the research of the lightning stroke location method based on traveling wave theory will become the research focus of increasing accuracy for lightning location.

Key words: transmission line; lightning stroke; lightning location system; traveling wave.

中图分类号:TM866 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-6954(2008)02-0006-04

“经济发展,电力先行”,电能作为国民经济的支柱,在其发展过程中发挥着越来越重要的作用。随着国民经济的飞速发展,对电力系统供电质量及稳定性的要求也越来越高,输电线路的安全运行,直接影响到电网的稳定运行和向用户的可靠供电,在电力系统中占据着举足轻重的地位,关系到国计民生。

雷击是造成高压输电线路跳闸的主要原因。加强线路防雷保护问题一直是系统规划设计人员关注的重点之一,可以采取有效的防雷措施,提高线路的耐雷水平,目前一些常用的防雷措施有:架设避雷线、降低杆塔接地电阻、架设耦合地线、采用不平衡绝缘方式、装设自动重合闸、采用消弧线圈接地方式、加强绝缘、安装线路避雷器等,均可有效地减少雷击跳闸事故^[1]。

然而,雷电是一种自然现象,具有不可预知性、不确定性的特点,加强输电线路防雷保护固然重要,但其终究不能完全避免雷击故障的发生,一旦雷击输电线路导致供电中断,如何快速、准确地查找、判定并清除故障,减小停电损失便成了急需解决的问题。由于输电线路绵延数千里,线路走廊的地形复杂、多变,传统地通过人工寻线方式查找雷击故障点是一件劳动强度大、耗费时间多的工作,由此可能造成长时间的供电中断,给国民经济造成极大损失。快速准确的雷击定位,不仅能够减轻线路检修人员的工作量,迅速查找线路的雷击故障点,尽快恢复供电,减少停电时间,减轻经济损失,而且能够监测各运行线路的落雷情况,收集雷击数据,为防雷保护研究人员提供参考,

有针对性地改进防雷保护和措施,使电网更坚强。对输电线路雷击点的定位问题研究具有很高的社会意义和经济效益。

1 雷电定位系统(LLS)

雷电定位系统 LLS (Lightning Location System, LLS)是 20 世纪 70 年代由美国人首先提出并研制的,以后在欧美各国逐步得到广泛的应用,现已成为当前电力系统研究雷电活动最主要的技术手段之一^[2]。

目前雷电定位技术常见的主要有定向定位、时差定位及“定向+时差”综合定位³种技术。

1.1 定向雷电定位技术

雷电发生时要向周围空间辐射很强的电磁波,可通过分设在各地的探测站接收雷电电磁信号,当有 2 个及以上的探测站根据接收到的雷电电磁信号测定雷电方位角后,就可根据三角定位原理计算出雷击点的位置。该技术原理清晰,方法简单,且在多站系统中几乎不存在探测死区,但它的探测精度受电磁波传播途径及探测站周围环境的影响较大,造成定位误差相对较大。

1.2 时差雷电定位技术

随着全球定位系统(GPS)的对外开放,依靠其提供的精确时间而产生的基于 GPS 的时差定位方法,使雷电定位系统的精度有了进一步提高^[3]。

该方法运用 GPS 高精度同步时钟,测定雷电电磁信号到达各探测站的时刻,根据电磁信号到达各探

测站的时间差来计算雷击位置。该方法要求各探测站的时钟高精度同步。与定向定位技术相比,在采用现代高精度全球定位系统(GPS)时钟的情况下,其定位精度比定向定位高约 5 倍以上,甚至近一个数量级。另外,时差定位技术对探测站周围环境的要求相对较低,误差主要取决于 GPS 误差和雷电电磁信号的传播延时。

1.3 综合雷电定位技术

目前常用的综合雷电定位技术是利用“定向+时差”,综合定位探测站既探测雷击发生的方位角,又探测雷击辐射出的电磁波到达的精确时间,该方法可充分利用探测到的全部有效数据,剔除方向误差和无效时间数据,使雷电定位误判次数大大的减少^[4~5]。

随着雷电定位系统的不断发展和完善,在输电线路雷击故障点的查找、雷害事故的分析、雷电参数的统计等方面得到了广泛的应用。自 20 世纪 90 年代中期以来,广东、浙江、海南、湖北、湖南、河南、重庆等省市相继建立了各自的雷电定位系统网络,其中,大多采用了“定向+时差”的综合定位方法^[6~9]。多年来的运行经验及数据表明:中国使用的雷电定位系统已经达到了实用化的要求,定位能力与国外先进水平相当,雷击故障定位率多在 50%~80% 之间;从定位误差分析可知,采用定向雷电定位技术的系统误差一般都大于 3 km,而采用“定向+时差”的综合雷电定位技术,其理论定位误差为 500 m,实测误差一般能保证在 1~3 km,当然,实际探测误差在不同地区和实际环境下,由于受探测站距离、地形地貌、气象条件等复杂因素的影响,存在明显的地区差异,这就要求科技工作者进一步研究寻求更好的检测方法,以进一步提高检测精度。

总的来说,综合国内外的多方面研究可以看出,雷电定位系统对输电线路雷击进行定位是可行和有效的,其定位精度基本满足雷击故障定位的要求,但其受定位模型、雷电判据、雷电波波传播延时误差、场地引起的波形传播延时误差、GPS 时钟误差、探测站距离、地形地貌、气象条件等复杂因素的影响,定位率和定位精度还有待提高。据实测,可发现雷电定位系统的定位误差与雷电探测站分布紧密相关,周围探测站较多和站间距离较小的区域,定位误差较小。并且定位误差存在地区差异,其主要原因是各地区雷电高精度探测区域覆盖范围不一致,地势相对平坦地区定位误差相对较小,而山区由于地势起伏较大,虽然探测站分布较多,但定位精度也稍差^[10]。

国内外电网实际运行经验表明,现有部分故障测距装置不仅能够对输电线路短路故障点进行测距,而且还能够探测到线路上的雷击并对其实施定位,由此便引申出一种新的输电线路雷击定位方法:利用输电线路的故障测距算法进行雷击定位。

2 故障测距方法在雷击定位方面应用

故障测距主要任务是当线路的某处发生故障时,通过线路实测电流、电压等参数来计算出故障点的位置。经过国内外学者几十年的探讨和研究,在输电线路故障测距领域取得了很大的成果。

由于架空输电线路故障测距可以有多种分类方法,并且故障分析法的称谓比阻抗法更具一般性,为叙述方便,不严格区分二者并统称为故障分析法^[11]。因此,高压输电线路故障测距方法,按原理主要分为两大类:一是故障分析法,二是行波法。

2.1 故障分析法

故障分析法是利用故障后的工频分量直接计算故障阻抗或其百分比的方法,其原理是在系统运行方式和线路参数已知的条件下,线路两端的电流和电压均为故障距离的函数,可利用线路故障时测量的工频电压、电流信号,通过计算分析求出故障点的距离^[12]。

故障分析法可以分为单端测距法和双端测距法。单端测距法具有投资少的优点,但由于受过渡电阻、对端阻抗变化的影响,存在以下问题:① 故障过渡电阻或对端系统阻抗变化对测距精度的影响;② 输电线路及双端系统阻抗的不对称性对测距精度的影响;③ 测距方程的伪根问题。

要解决这些问题,就要引入对端系统的阻抗,测距结果必然要受到对端系统阻抗变化的影响,这样才能解决单端测距法长期没有解决的问题。随着电力系统自动化水平的提高和通讯技术的发展,相继提出了双端故障测距方法。

双端测距方法不存在原理误差,而测距在实现时间方面的要求又比保护宽松得多,因此,采取精度较高的分布参数模型的双端测距算法不仅为准确测距奠定了基础,且对高阻类型故障测距也是必需的,但在数据同步和伪根判别等方面尚有待于进一步改进。相比单端测距算法,采用精确线路模型及不要求数据同步的双端测距算法在原理上具有更大优越性,值得进一步深入研究。

综上所述,虽然双端测距法在原理上比单端测距法更为可靠,不过仍存在数据同步和伪根判别等方面的问题。同时,由于线路在遭受雷击时会有幅值很高,频率分布极广的雷电流注入系统,仅利用工频分量来计算和分析的方法将很难对雷击点进行准确定位。因此,要解决这些问题,就要引入新的理论及算法,于是20世纪50年代开始就有科学家提出了利用暂态行波进行故障测距的理论,基于行波理论的输电线路故障测距算法简称为行波法。

2.2 行波法

行波法测距是利用高频故障暂态电流、电压行波信号来间接判定故障点位置的方法^[12]。输电线路发生故障后,将产生由故障点向线路两端母线传递的暂态行波,包括电压和电流行波,这其中包含着丰富的故障信息。行波的传播速度接近于光速,当安装在两侧的行波测距装置捕获到行波信号后,通过包含速度与时间的表达式可以将故障位置求出。雷击也会产生行波,所以利用行波法对线路雷击实施定位是可行的。

根据暂态行波在传递过程中波速不变的原理,20世纪50年代开始就有科学家提出了利用暂态行波进行故障测距的理论。20世纪60、70年代以来,随着行波传输理论研究的深入,相模变换、参数频变、暂态数值计算等方面的新突破,输电线路暂态行波故障测距理论得到了新的发展。20世纪90年代初,中国提出利用故障暂态电流的输电线路行波故障测距技术,从而推动了现代行波故障测距(MTWFL)的发展,并迅速商业化。特别是近年来随着电子技术计算机技术的发展,高速采样芯片的应用,行波故障测距显示了巨大的优越性。现有行波测距算法主要分为两大类:单端法和双端法^[13~14]。

单端法是通过检测行波波头到达母线端时刻与故障点反射行波或者对端母线的反射行波到达时刻的时间差,来实现测距。该方法的关键在于准确地识别来自故障点和对端母线的反射行波,文献^[13]提出了直接波形分析法来判定,实验证明该算法是有效的。

双端法是利用故障点产生的行波到达线路两侧母线的时差,结合波速来判定故障位置,理论上更为可靠,在实际中的应用也最广。但为了准确确定故障行波到达两端母线的时差,需依靠全球定位系统(GPS)实现线路两端时钟的精确同步,较之单端法投资成本更大。由于行波法基本不受线路的故障位置、

故障类型、线路长度、过渡电阻等因素的影响,这些特点引起了人们的重视,基于这些特点提出的故障定位方法,极大地提高了测距精度。目前,该算法已在电力系统故障测距中得到广泛应用。

综上所述,故障分析法和行波法对输电线路的雷击定位,都是可行的方法,两者相比,各有优劣:

(1) 在资金投入方面,前者可以利用现有大量投运设备,硬件投资小,容易实现;后者则需要专用设备如GPS,硬件投资大,技术较复杂。

(2) 在时间方面,行波法明显优于故障分析法。这里所说的时间主要指实现测距所需要的信息处理时间,即抽取电压、电流(信号)的时间。随着自动化水平的提高,故障线路切除时间将大大缩短,对需要抽取幅值和相角的故障分析法来说,要在短时间内从复杂的暂态波形中得到所需信息,无疑增加了滤波算法的难度;再短的故障切除时间也足以采集到行波法测距所需要的信息。

(3) 在测距精度方面,行波法优于故障分析法。从算法原理上,与故障分析法受过渡电阻和线路不对称等因素的影响,行波法精度优于故障分析法;但行波法存在反射波的识别问题,而近端恰好是故障分析法测距较准确的区段。从这意义上看,行波法与故障分析法具有优势互补性。

(4) 在原理方面,行波法比故障分析法更可靠。对于输电线路的雷击而言,由于雷击输电线路相当于在线路上并联了一个注入电流源,线路两端检测到的电压和电流信号已不再是简单的工频信号,因而采用传统的工频量进行分析的故障分析法显然不适用于雷击点的定位,而行波法正是采用高频分量进行分析的,因此原理上更为可靠。

同时,也应注意到现有行波法应用于输电线路的雷击定位,仍存在一些问题。主要包括:

(1) 在装置的时延方面:行波的捕获和启动元件的动态时延将对行波测距精度有较大的影响。

(2) 在信号的识别方面:行波信号是一些传播模式的混合信号,包含了不同的频率分量,在传播过程中有不同的速度和衰减,这降低了对行波准确到达时间的判别及对行波反射波的识别能力。

(3) 在信号的分析方面:暂态行波是1个突变的、具有奇异性的信号,无论是单纯的频域分析法,还是单纯的时域分析法,都不能精确描述暂态行波这类非平稳变化信号,因此测距精度受到影响。

(4) 在波速的确定方面:行波的传播速度受线路

参数、气候条件、地理环境、频率变化等因素的影响,其值是不固定,事先确定波速的测距算法必然会带来误差。

以上几点不足,在一定程度上制约了行波测距算法的实际应用,因而成为目前急待解决的问题。

总之,由于行波法在原理上不受故障类型和故障点过渡电阻的影响,有着比较高的精度,因此基于行波法来展开研究,完善雷击定位方法在系统的应用,对于保证电网正常运行,降低故障损失有着不可估量的作用。

3 结论

由于输电线路在电网运行中的重要性,在线路遭受雷击后,快速而准确的对雷击点进行定位,对尽快查找和修复故障,尽快送电,减少停电时间,减少经济损失,有着重要的社会意义和经济效益。前面分析比较了现有雷电定位系统中各种定位方法的优点与不足,特别是“定向+时差”综合定位技术在各网省电力系统中的广泛应用及局限,对于利用输电线路的故障测距原理进行雷击定位的两种方法——故障分析法和行波法,分别阐述了其原理和分类,比较了其应用于雷击定位中的优点与不足,对现有雷电定位系统的应用情况做了多角度的分析。展望未来,基于行波法来展开对雷击定位方法的研究,完善雷击定位方法在系统的应用,对于提高测距精度,尽快恢复供电,减少停电损失,对保证电网坚强,树立企业良好服务形象,有着重要的社会意义和经济效益。

参考文献

[1] 林福昌. 高电压工程[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

[2] Takatoshi Shindo, Shigeru Yokoyama. Lightning Occurrence Data Observed with Lightning Location Systems in Japan: 1992—1995[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1998, 13(4): 1468—1474.

[3] 张畅生, 方子帆. GPS 及其在雷电定位系统中的应用[J]. 现代电力, 2002, 19(2): 43—49.

[4] 吴璞三. 雷电定向定位和时差定位系统[J]. 高电压技术, 1995, 21(3): 3—6.

[5] 赵文光, 陈家宏, 张勤, 等. 新的雷电综合定位系统的定位计算[J]. 高电压技术, 1999, 25(4): 66—68.

[6] 关丽洁, 刘明光. 基于 GPS 的雷击定位新方法[J]. 东北电力技术, 2005, 8: 48—49.

[7] 顾承昱. 雷电定位技术在华东电网中的应用[J]. 华东电力, 2004, 32(1): 1—3.

[8] 张新华. 湖北电力雷电定位系统运行分析[J]. 湖北电力, 2004, 28(2): 14—15.

[9] 张建春. 雷电定位系统在湖南永州的应用分析[J]. 高电压技术, 2003, 29(8): 55—56.

[10] 樊灵孟, 李志峰, 何宏明, 杨楚明. 雷电定位系统定位误差分析[J]. 高电压技术, 2004, 30(7): 61—63.

[11] 全玉生, 杨敏中, 王晓蓉等. 高压架空输电线路的故障测距方法[J]. 电网技术, 2000, 24(4): 27—3.

[12] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社.

[13] 陈平, 葛耀中, 徐丙垠, 李京. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——A型原理[J]. 继电器, 2004, 32(2): 13—18, 43.

[14] 陈平, 葛耀中, 徐丙垠, 李京. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——D型原理[J]. 继电器, 2004, 32(3): 14—17, 28.

作者简介:

刘敏,女,1974年生,成都电业局继电保护所。

(收稿日期:2008—01—13)

简 讯

基波磁通补偿串联混合型有源电力滤波器滤波特性分析

在基于基波磁通补偿的串联混合型有源电力滤波器(APF)中,由脉宽调制逆变器实现了一个受控基波电流源。串联变压器一次侧的系统电源与系统阻抗、无源滤波器和非线性负载共同作用,使串联变压器二次侧端口呈现一个谐波干扰电压,导致逆变器输出电流中含有一定谐波,影响了滤波器的滤波效果。文中以脉宽调制逆变器为核心,建立了滤波器的数学模型,并对其滤波特性进行了分析。提出了改善其滤波效果的3项有效措施,即适当增大逆变器输出滤波电感、合理选择串联变压器原副方变比、采用电压前馈控制技术。设计了一套基于数字控制的10 kVA APF样机,实验结果证明了原理分析的正确性。