

电缆准动态增容技术的研究及应用

为了有效挖掘电力电缆的输电能力,介绍了一种准动态电缆增容方法,该方法的特点是模型参数更新频率为1天,并采用稳态载流量计算标准,能够处理多条电缆相互影响的情况。方法已经在排管敷设的高压电缆上应用,并实现了电缆超设计容量运行。

李红雷¹ 贺林¹ 杨凌辉¹ 祝达康¹ 周韞捷²/1. 华东电力试验研究院有限公司
2. 上海市电力公司检修公司

0 引言

目前大型城市电网的中心城区用电负荷大、电缆通道资源紧张,部分重载线路已成为明显的输电瓶颈,通过电缆增容来挖掘现有电缆的输电潜力,对缓解城市供电压力有重要意义。

近年来有人提出电缆动态增容方法,并开发了相关系统^[1-2]。动态增容系统根据光纤测温 and 实时电流等数据,实时计算电缆的动态载流量,为电力系统调度人员提供电缆可用负载能力的信息。但该方法缺少公认的标准,效果尚待检验。国内有一些电缆线路安装了动态增容系统,但仅将光纤测温数据用于防外破、消防;不敢真正地根据动态计算结果将电缆超设计容量运行。

本文将讨论准动态增容技术及应用,即:通过数据采集系统获取当日电缆温度、负荷数据,根据这些数据、采用稳态载流量计算标准建立电缆传热模型,并以日为单位进行模型更新;然后根据当日电缆模型,推算次日的电缆载流量,实现电缆增容。准动态增容方法已应用于排管敷设的高压电缆,并实现了超设计容量运行。

根据已搜集的资料,未见采用准动态增容并实现电缆超设计容量运行的报道。

1 准动态增容和动态增容

目前电缆载流量计算普遍采用的IEC 0287等标准^[3],是针对稳态计算的。而且电缆载流量是在设计阶段确定的,由于电缆传热环境的复杂性和不确定性,设计人员通常作最不利散热假设,以得到一个足够安全的电流值。在电缆寿命周期内调度部门都将使用该值。这就造成了电缆载流量普遍存在取值过于保守、误差较大的问题,不能充分发挥电缆的输电能力。

所谓电缆动态增容方法,可归纳为:给定电流,实时预测电缆导体到达指定温度的时间;或者给定过载时间,实时预测电缆导体不超过指定温度的最大电流。这种方法是建立在暂态热模型基础上的,需要电缆通道的热容参数,并借助数值解法。目前都是由制造商自行开发模型,使用中难以对模型进行验证。

另外,从不同敷设方式看,电缆动态增容对于隧道敷设方式难度相对低一些,而排管敷设方式,由于涉及相邻电缆的相互影响,难以实现准确的动态计算^[4]。同时,排管敷设的电缆散热条件差,载流量小,增容需求更强。

准动态增容的基本方法在上文中已描述过。他与动态增容的区别在于:动态增容更新频率一般是几分钟,没有公认的标准,计算由软件自动完成,过程不透明。而准动态增容的更新频率为1天,采用稳态载流量计算方法、有国际通用标准,计算可以由软件自动完成,



李红雷/高级工程师

关键词/Keywords

电缆·
载流量·
动态·

也可以人工干预完成，其过程是透明的。

2 载流量影响因素及处理

这里讨论影响电缆载流量的外部因素，以及准动态增容对这些因素的处理方法。

2.1 外部热阻

根据IEC 0287，单芯电缆载流量为

$$I^2 [RT_1 + R(1 + \lambda_1)T_2 + R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)] + W_d 0.5T_1 = \theta_1 - \theta_c \quad (1)$$

式中， I 为流量，A； R 为工作温度下的导体交流电阻， Ω/m ； W_d 为绝缘介质损耗； λ_1 为护套和屏蔽损耗因数； λ_2 为金属铠装损耗因数； T_1 为导体与金属护套间绝缘层热阻， $\text{k}\cdot\text{m}/\text{W}$ ； T_2 为金属护套与铠装层之间内衬层热阻， $\text{k}\cdot\text{m}/\text{W}$ ； T_3 为电缆外护层热阻， $\text{k}\cdot\text{m}/\text{W}$ ； T_4 为电缆表面与周围环境之间热阻， $\text{k}\cdot\text{m}/\text{W}$ ； θ_c 为环境温度， $^{\circ}\text{C}$ ； θ_1 为电缆导体温度， $^{\circ}\text{C}$ ；交联聚乙烯电缆的长期工作最高允许温度一般是 90°C ； θ_c 和 θ_1 都是边界条件。

目前普遍采用的IEC 0287等标准，能够比较准确地计算出标准环境和工况下的电缆内部损耗和内部热阻。但实际应用中，电缆的外部环境随敷设方式、地点和时间而变化，难以统一，而电缆载流量和外部环境的关系非常大。具体来说，就是外部热阻 T_4 （即上式中的电缆表面与周围环境之间热阻），历来是载流量计算中的难点，通常电缆外部热阻大于本体热阻，因此外部热阻计算准确与否严重影响到载流量准确性。准确的估算 T_4 ，可以实现电缆增容运行。

排管敷设方式下， T_4 =电缆表面和管道内表面之间空间热阻+管道本身热阻+管道外部热阻。

IEC 0287中详细列出了外部热阻的计算公式，影响外部热阻的可变因素主要包括土壤热阻系数、混凝土热阻系数等。这些因素都是随时间缓慢变化的，所以准动态增容方法中，通过求取当日的电缆外部热阻，用于次日的电缆传热模型的计算，可以满足外部热阻取值的准确性。

2.2 邻近电缆的影响

邻近电缆的电流和发热情况，对于待增容电缆的载流量有很大影响，这在排管敷设中尤为明显。在电缆规划设计时，一般认为附近所有电缆都工作在接近满载状态，这样算出来的待增容电

缆的载流量很小；如果能根据实际情况更精细地估算附近电缆的电流，可以释放出很大的输电潜力。

目前的技术现状，超短期负荷预测准确度不高，准动态增容方法中对邻近电缆电流的取值，是根据当日的电流和往年该季节里的最大电流，推测出次日的电缆电流上限，这样留有一定的裕度。

3 准动态增容的实施

在某220 V电缆 $\times \times 8$ 线的年增容工程中应用了准动态增容方法。

3.1 瓶颈电缆段的选择

电缆 $\times \times 8$ 线重载线路，并已成为输电瓶颈，严重制约地区供电能力。全长6.7 m。由于是排管敷设，而且已投运17年，安装测温光纤难度大，所以仅在瓶颈电缆段上安装光纤。电缆 $\times \times 8$ 线电缆全程不同位置上，排管里邻近电缆的数量、电压等级和负荷情况各不相同，排管结构也有所不同，因此对各段电缆进行了逐个排查分析，并对每个工况建立热场模型、计算载流量，根据排查和计算结果，其中有长度450 m的电缆通道为全线的瓶颈段，其载流量明显低于其他电缆段。在这段电缆排管内敷设测温光纤。

3.2 瓶颈电缆段的数据采集

下图为瓶颈电缆段的结构，除220 V电缆 $\times \times 8$ 线外，还包括10回35 V电缆，还有几个空的导引孔。在3根220 V电缆表面和1个导引孔里安装测温光纤。在电缆上安装电流互感器。这样可以实时采集排管内温度和电缆的电流。

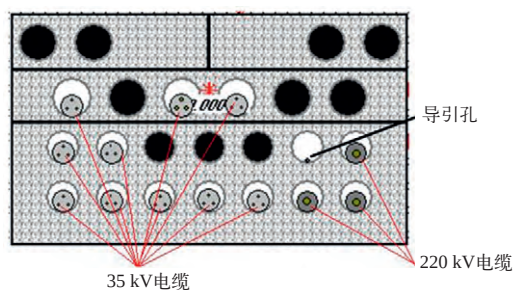


图 电缆的排管结构

3.3 模型参数的计算

3.3.1 各因素影响的灵敏度

根据影响电缆载流量的各外部因素（邻近电

缆负荷、土壤热阻系数、混凝土热阻系数和土壤温度等)在实际中可能的变化范围,计算了各因素影响的敏感度,如下表所示。邻近电缆负荷的影响相对较大,土壤热阻系数和混凝土热阻系数可归结为对外部热阻的影响,地温通过每天测量邻近土壤的温度获得。

表 各因素对电缆 $\times\times 8$ 线容量影响的灵敏度

影响因素	变化范围	对电缆 $\times\times 8$ 电缆线芯 85°C 下输送容量的减少量(%)
10回35 kV负荷	从夏季最高负荷的60%增至100%	27
土壤热阻系数	从0.7增至1.2	10
混凝土热阻系数	从0.7增至1.2	10.5
地温	从 12°C 增至 28°C	15

3.3.2 外部热阻的计算

根据上式,列出电缆排管的热网络方程,将当日的导引孔温度、电缆 $\times\times 8$ 线电缆表面温度作为已知量,根据IEC 60287的外部热阻计算公式,采用试算或解方程组的方法,可以估算出土壤热阻系数、混凝土热阻系数,进而算出外部热阻。

外部热阻相对比较稳定,而电缆电流时刻在变化。这里采集15天的数据,根据每天不同的电缆电流值、地温值,调节待求量进行计算;目标是15天里计算值和实测值的差值最小,这样可以进一步提高外部热阻计算的准确度。

3.3.3 邻近电缆负荷的预估

本方法需要预测邻近的每条电缆第二天的电流。预测的依据:①去年这个季节里该电缆的最高负荷;②将今天测得的电流乘110%,取两者中的较大值作为次日该电缆的电流。

3.4 增容效果

电缆 $\times\times 8$ 线从2013年2月开始实施准动态增容运行,在2013年夏季最高负荷达到了674.6 A

(2013年8月5日),而该电缆原限额是523 A,实际运行增容了28%。同时根据准动态模型计算结果,2013年8月5日的载流量理论值为766 A,比原限额增容46%。增容效果显著,带来了可观的经济效益。

2013年8月5日光纤测温结果,电缆 $\times\times 8$ 线电缆表面温度最高为 50.1°C ,计算出来线芯温度为 54.8°C ,温升不高,增容运行仍有较大的裕度。

4 结束语

伴随着我国的城镇化进程,电缆通道资源紧张、电缆过载等问题将会在各城市逐渐增多;客观上要求电网公司开展更精细化的电缆运行管理,而电缆准动态增容正是精细化、个性化管理的成果。

经过近1年的工程应用,电缆准动态增容方法适合当前的技术水平和管理水平,其主要特点是:采用国际通用的稳态载流量计算标准,能够处理多条电缆相互影响的情况,适合排管、隧道等各种敷设方式,避免了动态增容中处理热容等复杂因素;可以实现更新频率为1天的准动态增容,既考虑了安全性,又有效释放了电缆的输电潜力。

参考文献

- [1] Manabu S, Shinichi I. Genetic algorithm based real-time rating for short-time thermal capacity of duct installed power cable[C]. Proceedings of the V Brazilian Conference on Neural Networks, 2001.
- [2] Carlos G, Antonio F O. Theoretical model to calculate steady state and transient ampacity and temperature in buried cables[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2003, 18(3).
- [3] 马国栋. 电线电缆载流量[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [4] 雷成华, 刘刚, 阮班义, 等. 根据导体温升特性实现高压单芯电缆动态增容的实验研究[J]. 高电压技术, 2012, 38(6): 1397-1402.

(收稿日期: 2015-05-15) EA

作者简介

李红雷(1970-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电缆试验分析。

贺林(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电缆检测及诊断。