

高压单芯电力电缆金属护套接地方式分析探讨

张鑫东 康国峰 吴金亮 韩君炎 倪建兴
荣盛石化股份有限公司, 浙江 杭州 311247

[摘要] 本文针对高压单芯电力电缆金属护套接地进行了原理分析, 接地方式错误将造成供电事故进行了阐述, 实际工程中几种接地方式进行了说明, 不同工程条件的高压单芯电缆接地应选用相对应的接地方式, 此文列举工程实例进行具体计算分析, 说明高压单芯电力电缆金属护套接地方式选用依据。

[关键词] 高压单芯电力电缆; 金属护套; 接地方式; 过压保护器; 感应电动势

DOI: 10.33142/hst.v5i4.6577

中图分类号: TM247

文献标识码: A

Analysis and Discussion on Metal Sheath Grounding Mode of Single Core High Voltage Power Cable

ZHANG Xindong, KANG Guofeng, WU Jinliang, HAN Junyan, NI Jianxing
Rongsheng Sinopec Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311247, China

Abstract: This paper analyzes the principle of the metal sheath grounding of high-voltage single core power cable, expounds that the wrong grounding mode will cause power supply accidents, and explains several grounding modes in actual projects. The corresponding grounding mode should be selected for the high-voltage single core cable grounding under different engineering conditions. This paper lists engineering examples for specific calculation and analysis, and explains the basis for the selection of the metal sheath grounding mode of high-voltage single core power cable.

Keywords: high voltage single-core power cable; metal sheath; grounding mode; over voltage protector; induced electromotive force

引言

高压电力电缆相较于架空线路, 具有对生态环境影响小、抗雷电能力强、供电稳定性高、运行维护便捷, 并有利于提升电力系统的供电品质, 高压电力电缆在电力系统有着广泛的应用, 尤其近些年电力系统实施了大量的上改下工程实施, 许多架空线路都由高压电力电缆取代。在高压单芯电力电缆的运行中, 其金属护套接地问题引发事故较多, 矛盾突出, 我们就此进行一下简单的研究探讨, 寻求解决问题方法。

1 三芯电力电缆金属护套接地

一般供电负荷较低时, 35kV 及以下电压等级电力电缆线路选用三芯电缆, 在正常运行中, 流过三芯电流的向量和为零或接近于零, 不会在电缆金属护套上形成环流。这样, 金属护套两端就不存在感应电动势或感应电动势很小, 可采用两端直接接地方式。但是, 三芯电力电缆与单芯电力电缆比较, 载流量小, 传输功率低, 电缆现场较短, 电缆施工弯曲半径难度大度高。

2 单芯电力电缆金属护套感应电动势产生机理及接地要求

一般供电负荷较高时, 35kV 及以上电压等级电力电缆线路选用单芯电缆。单芯电力电缆线芯与金属护套的关系可看做是一个由一级和次级绕组共同组合而成的空芯变压器, 当单芯电力电缆线芯流过交流电流时, 交流电在

其附件产生交变的磁场, 磁场中部分磁力线就会与金属护套产生电磁耦合, 使金属护套两端产生相应的感应电动势。

流过电缆导体线芯的交流电流越大, 在其周围产生的磁场强度越大, 电缆长度越长则金属护套的面积越大, 与其电磁耦合的磁力线越多, 所以, 电缆金属护套感应电动势大小与电缆的长度和电流大小成正比。如果供电运行电缆线路很长, 其金属护套上的感应电动势叠加后有可能达到危及人身安全和危害电缆线路安全运行的程度; 在线路发生短路故障、遭受操作过电压或雷击冲击过电压等情况时, 金属护套上会形成极高的感应电动势, 甚至把电缆的护套绝缘击穿, 严重影响电力电缆线路的安全。在以上情况下, 如果盲目将电缆金属护套两端直接接地或不合理的接地方式, 则金属护套将会产生很大的环流, 其值可达线芯电流的 50%-95%, 这种环流对供电来说是无效并造成电能的消耗浪费, 还可能导致金属护套发热, 加速电缆绝缘护套老化, 长时间下去将烧毁电缆绝缘护套, 引发电力线路故障。

参考《电力工程电缆设计规范》(GB50217-2018) 相关要求, 交流单芯电力电缆线路金属层的正常感应电动势最大值应满足下列规定: (1) 未采取能有效防止人员任意接触金属层的安全措施时, 不得大于 50V; (2) 除上述情况外, 不得大于 300V。

综上所述, 单芯电力电缆金属护套接地方式不合理将会给电缆线路埋下重大安全隐患, 甚至造成重点供电事故。

下面我们就高压单芯电力电缆的接地方式进行探讨：

3 高压单芯电力电缆金属护套接地方式选择

实际电力工程设计高压单芯电力电缆金属护套的接地方式通常有：两端直接接地、一端直接接地另一端保护接地、中心点直接接地两端保护器接地（或中心点两个保护接地两端直接接地）、交叉互联接地等。

3.1 金属护套两端直接接地

在电缆线路较短（一般单相电缆长度在几十米范围内）或者金属护套感应电压 $<10V$ ，电缆工作电流较低（远低于电缆的最大允许载流量），可选用此种接地方式。虽然这种接地方式可减少工作量，但是在金属护套上有环流产生，一般很少选用。

3.2 金属护套一端直接接地，另一端保护接地

当单相电缆线路长度在 500 米以内时可选用此接地方式。对此类电缆线路，电缆金属护套一端直接接地，另一端经过护层过压保护器接地，护层过压保护器在正常工作状态是保护器呈高阻断开状态，可截断金属护套的感应电流回路 使其不会通过大地构成电流回路；当电缆出现短路故障、雷击过电压或操作过电压等异常情况，金属护套会产生很高的感应过电压，此时护层过压保护器则呈低电阻导通状态，把金属护套故障电流泄入大地，保护电力电缆的安全。如图 1 所示。

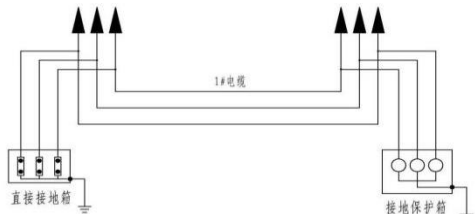


图 1 一端接地，另一端保护接地方式示意图

注意事项：在采用此类接地方式的电缆线路需与架空线路实际连接时，应根据实际情况将金属护套直接接地的一端与架空线连接，并将另一端经护层压保护器接地，这样可以减少电缆金属护套上所存在的冲击过电压，对电缆线路的稳定运行更加有利。

3.3 中心点直接接地，两端保护器接地（或中心点两个保护接地，两端直接接地）

当单相电缆线路长度在 1000 米左右时可选用此接地方式。对于此类电缆线路，如果选用一端接地另一端经护层过电压保护器接地的方式，往往会导致金属护套感应电动势无法满足相关规范要求。所以需把电缆分成两段，中间安装电缆接头，中心点接地，此接地根据实际工程需要又可以分成两种方式：

方式 A：中心直接接地，两端保护接地：在此段电力电缆的中心点位置安装一个电缆直接接头，然后金属护套直接接地，电力电缆两端经过压保护器接地的安装方式。如图 2 所示。

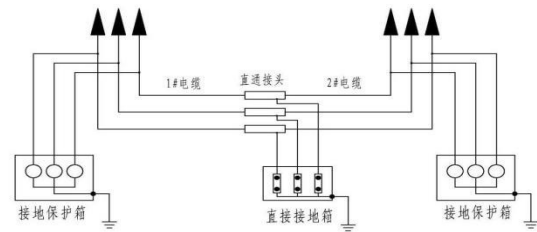


图 2 中心直接接地、两端保护接地示意图

方式 B：中心两个保护接地，两端直接接地：此段电力电缆的中心点位置安装一个电缆绝缘接头，绝缘接头两端的金属护套分别经护层过压保护器接地，电力电缆两端金属护套直接接地。如图 3 所示。

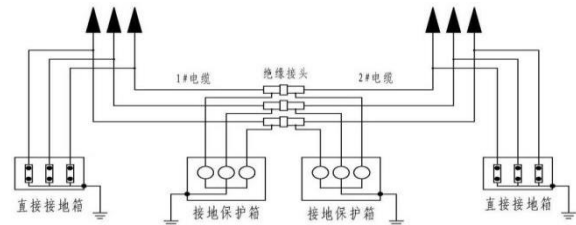


图 3 中心两个保护接地，两端直接接地方式示意图

A、B 两种方式都可以使金属护套感应电动势满足的相关规范要求，区别在于 A 方式可以减少一台“直接接地箱”，但是电缆金属护套出现故障时，不便确定故障点在中间接头的左边还是右边，电缆维护不方便；B 方式通过电缆绝缘接头接地，多增加一台“直接接地箱”，成本略有增加，但是当发生故障时能很快确定故障点在中间接头的左边还是右边，方便电缆维护。

此种接地方式可以理解为为 3.2 接地方式分成两段再进行有效连接，所以根据工程实际情况电缆线路长度 1000 米以上时也可以相应的分成多段，采取 3.2 接地方式然后再有效连接起来。

3.4 金属护套交叉互联接地

当单相电缆线路长度 1500 米以上时可选用此接地方式。对于此类接地方式，其应用步骤为：首先应将电力电缆线路合理划分为偏差在 5%范围内的三小段，每三段为一个单元，每个单元中间安装两个电缆绝缘接头，在绝缘接头处金属护套经交叉互联箱进行交叉互联后，然后再通过护层过压保护器接地，电缆两端的金属护套直接接地，这样形成一个交叉互联单元。若是电力电缆线路更长时，可以通过多个交叉互联单元的有效连结，形成多段互联，每个单元之间安装电缆直通中间接头，其金属护套直接接地。如图 4 所示

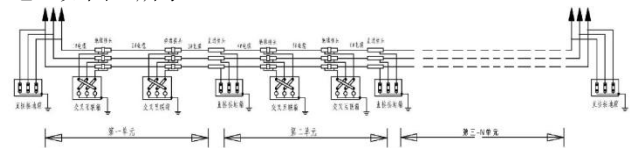


图 4 交叉互联接地示意图

注意事项:相对其他几种接地而言交叉互联接地的效果最佳,但是交叉互联接地对工程条件及施工工艺要求较高,有的工程条件所限达不到交叉互联接地所要求的条件,盲目选用交叉互联接地方式会形成反作用,严重影响电缆稳定运行,甚至对电缆造成破坏。这时就需要根据实际工程条件,选用适合的接地方式,甚至把整根电缆分成多个单元,每个单元采用不同的接地方式,整条电缆线路采用混合接地方式。

4 工程实例计算分析

某聚酯工厂二期 35kV 变电所由两回 35kV 线路供电,采用架空线路+电缆线路供电,其中进厂区段由架空线路引下连接电缆线路,电缆线路长度 960 米,两回并排电缆地沟敷设,电缆选用交联聚乙烯绝缘铜丝疏绕+软铜带反向扎绕屏蔽护套铜芯电力电缆,型号为:YJSV-26 /35Kv 1×300mm²,两台变压器型号为:SZ11-16000/35。

4.1 计算过程

参考《电力工程电缆设计规范》(GB50217-2018)交流系统中单芯电力电缆线路 1 回或 2 回的各相按通常配置排列情况下,在电缆金属护套任一点非直接接地处的正常感应电动势可按式计算:

$$E_s = L \times E_{so}$$

式中: E_s —感应电动势 (V);

L —电缆金属护套的电气通路上任一部位与其直接接地处的距离 (km);

E_{so} —单位长度的正常感应电动势 (V/km)。

4.1.1 计算聚酯工厂二期两回 35kV 供电线路电缆金属护套的感应电动势

电缆敷设排列方式:两回电缆等距直线并列(排列相序相同)

A 相或 C 相(边相)单位长度感应电动势:

$$E_{so} = \frac{1}{2} \sqrt{3Y^2 + \left(X_s - \frac{b}{2}\right)^2} \quad (1)$$

B 相(中间相)单位长度感应电动势:

$$E_{so} = I \left(X_s + \frac{b}{2}\right) \quad (2)$$

$$Y = X_s + a + \frac{b}{2} \quad (3)$$

$$X_s = (2\omega \ln \frac{S}{r}) \times 10^{-4} \quad (4)$$

$$a = (2\omega \ln 2) \times 10^{-4} \quad (5)$$

$$b = (2\omega \ln 5) \times 10^{-4} \quad (6)$$

式中: $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314$; S 为各电缆相邻之间中心距 (m); r 为电缆金属护套平均半径 (m); I 为电缆导体正常工作电流 (A); f 为工作频率 (Hz); 回路电缆情况,假定 I 、 r 均等。

查阅工程设计资料和电缆样本资料: S 各电缆相邻中

心距约 0.3m, 电缆金属套平均直径为 50.60mm, 所以 r 为 0.0253m。

$$a = (2\omega \ln 2) \times 10^{-4} \approx 0.04353 \quad (7)$$

$$b = (2\omega \ln 5) \times 10^{-4} \approx 0.1011 \quad (8)$$

$$X_s = \left(2\omega \ln \frac{S}{r}\right) \times 10^{-4} = \left(2\omega \ln \frac{0.3}{0.0253}\right) \times 10^{-4} \approx 0.1553 \quad (9)$$

$$Y = X_s + a + \frac{b}{2} \approx 0.24938 \quad (10)$$

$$I = \frac{16000}{\sqrt{3} \times 35} \approx 264A \quad (11)$$

所以, 结算结果为:

A 相或 C 相(边相)单位长度感应电动势:

$$E_{so} = \frac{1}{2} \sqrt{3Y^2 + \left(X_s - \frac{b}{2}\right)^2} \approx 58.67 \text{ (V/km)} \quad (12)$$

A 相或 C 相(边相)感应电动势: $E_s = L \times E_{so} \approx 0.96 \text{ km} \times 58.67 \text{ V/km} \approx 56.32 \text{ V}$

B 相(中间相)单位长度感应电动势:

$$E_{so} = I \left(X_s + \frac{b}{2}\right) \approx 46.75 \text{ (V/km)} \quad (13)$$

B 相(中间相)感应电动势: $E_s = L \times E_{so} \approx 0.96 \text{ km} \times 46.75 \text{ V/km} \approx 44.88 \text{ V}$

根据以上结算结果得出, A 相或 C 相(边相)感应电动势大于 50V, 又考虑到电缆一端连接接的是架空线, 所以选用中心安装电缆绝缘头其两端经保护接地, 电缆两端直接接地, 图 3 所示接地方式比较合理。这样接地后感应电动势: A 相或 C 相(边相)感应电动势: $E_s' \approx 56.32 \text{ V} \times 0.5 \approx 28.16 \text{ V}$; B 相(中间相)长度感应电动势: $E_s' \approx 46.75 \text{ V} \times 0.5 \approx 23.38 \text{ V}$ 。经此接地处理, 完全符合的相关规范要求, 可以保障电缆的安全长效运行。

5 结语

高压单芯电力电缆接地方式错误引发的电力事故比较常见, 电力管理部门、电力使用部门及电力工作者应该对此引起重视, 科学规范的选择高压单芯电力电缆的接地方式是保障电力系统的安全稳定基础重要条件之一。

[参考文献]

- [1] 吴文明, 刘韬, 徐光乾. 浅谈 35kV 单芯高压电缆的接地问题[J]. 山东煤炭科技, 2009(5): 2.
- [2] 中国电力企业联合会. 电力工程电缆设计标准[S]. (GB50217-2018), 2018.

作者简介: 张鑫东(1975-)男, 本科, 工程师, 主要从事聚酯化纤设备电气技术、高电变配电方面的管理和研究工作。