

[配电系统]

石化企业配电系统接地方式选择分析

文/沈明祥 王浩 武彦诚 陈红洋 孟繁凯
盛虹炼化连云港有限公司

石化企业配电系统供电可靠性不仅需要接地方式选择合理，更需要保护、快切、再启动装置设置合理。分析石化企业配电系统3种中性点接地方式的优缺点，结合石化企业生产特点和线路冗余度、继电保护及快切配合度等方面，提出中性点接地方式的选择建议，供同类企业设计规划时参考。

石化企业生产过程中存在大量易燃、易爆、有毒高危物质，对电力系统可靠性、稳定性、安全性要求较高。配电系统具有电力负荷密度大，配电线路以电力电缆线路为主的特点。合理地选择中性点接地方式，可以有效提高供电可靠性，避免接地弧光引起设备故障或火灾事故。目前业内主要采用中性点不接地、中性点经电阻接地、中性点经消弧线圈接地方式，当系统不具备中性点引出条件时，往往采用接地变压器耦合接地。本文简要介绍以上几种方式，并从继电保护、选线装置、配电设备配置等方面，分析各类方式的优缺点，按系统工程^[1]原则选择合适接地方式。

中性点接地方式的几种类型

根据我国电压等级，石化企业配电系统电压一般为35 kV和10（6）kV，下文对此电压等级中性点接地方式进行介绍。

1. 中性点不接地方式

中性点不接地方式是石化企业在20世纪90年代常用的一种方式，当时石化企业负荷较低，配电线路以油浸纸绝缘电缆为主，线路或设备冗余程度低，该接地方式可以有效提高供电可靠性。根据文献[2]要求，当35 kV系统单相接地电容电流小于

10 A，10（6）kV系统单相接地电容电流小于30 A时，可以选择此方式。若超过规范要求上限，接地电弧难以瞬间熄灭，则应改变接地方式。

2. 中性点经电阻接地方式

中性点经电阻接地方式在沿海地区或新建石化企业应用广泛，石化企业由于生产过程具有易燃、易爆特性，企业内部配电线路一般不采用架空线路，而是采用交联聚乙烯电缆桥架敷设方式。根据文献[2]和文献[3]要求，6 kV~35 kV主要由电缆线路构成的供、配电系统单相接地故障电容电流较大时，可采用低电阻接地方式。在GB 50613规范中，对10 kV和35 kV单相接地电容电流范围进行明确：当超过100 A~150 A，或为全电缆网时，宜采用低阻接地方式。由于GB 50613规范适用于城市配电网规划，在石化企业电力系统接地方式设计时，应按照文献[2]和文献[3]要求，参考GB50613规范执行。

3. 中性点经消弧线圈接地方式

中性点经消弧线圈接地方式是在电力系统中性点处装设可调电感线圈，当发生单相接地故障时，电感线圈可以提供与接地电容电流方向相反的电感电流，用来补偿单相接地的容性电流，目前一般采用过补偿方式。根据文献[2]要求，当6 kV~35 kV

供电系统采用消弧线圈接地时，应使故障点残余电流不超过5 A，消弧线圈脱谐度一般不大于10%，应有限制接地故障危及系统、设备安全运行的措施。

4. 中性点经接地变压器耦合接地

当主变压器接线组别为Y/△时，若选择中性点经电阻接地或中性点经消弧线圈接地方式，由于主变压器△侧中性点无法引出，应通过接地变压器耦合接地。接地变压器采用Z形接线，每相线圈分成两组分别反向绕在该相磁柱上，如图1所示。绕组对正序、负序电流呈现高阻抗，由于同一相的两绕组反极性串联，其感应电动势大小相等，方向相反，正好互相抵消，因此对零序电流呈低阻抗^[4]。故Z型接地变压器可以带90%~100%容量的消弧线圈，二次绕组也可兼作所用电。

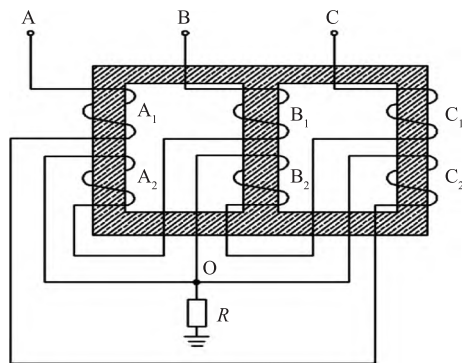


图1 接地变压器耦合电阻接地示意图

接地变压器容量的选择，中性点经消弧线圈接地方式：接地变压器容量按照2 h负载电流和额定电压的乘积计算；中性点经电阻接地方式：由于高灵敏度的零序保护判断并迅速（≤10 s）切除故障线路，接地变压器容量按照10 s短时通流的容量，经允许过载倍数折算为连续运行的额定量。若兼做所用电，应加上所用电的容量之和。

各类接地方式优缺点分析

1. 中性点不接地方式

中性点不接地方式当发生单相接地短路故障时，流经故障点的容性电流小，供电线电压仍保持对称性，不影响供电的连续性。此时允许带故障运行2 h，但是非故障相相电压升高为线电压，绝缘薄弱点易击穿放电，引起多点接地故障。目前新建石化企业配电系统主要采用交联聚乙烯电缆，若不

施工破坏等外部因素导致的接地故障，电缆故障主要集中在电缆中间接头、电缆终端头处。故障原因因为施工质量、绝缘老化问题等，其中单相接地故障80%以上为非金属性接地。非金属性接地时易产生电弧，引起弧光接地过电压，其峰值会达到2~3.7倍的相电压。

石化企业配电系统主要采用氧化锌避雷器，由于氧化锌具有非线性伏安特性，当过电压作用时，电阻急剧下降，泄放过电压能量^[5]。在交联聚乙烯电缆单相接地时，会产生不稳定电弧，电弧呈现频繁的积累—放电—积累过程，随着电弧不断击穿绝缘层，绝缘性能进一步下降，电缆放电频次会逐步增加。在此过程中，氧化锌避雷器将不断释放过电压能量，导致避雷器出现热崩溃甚至爆炸事故。针对以上问题，采用中性点不接地方式时，应合理对避雷器选型，提高避雷器持续运行电压，避免此类事故发生。同时不稳定电弧也会引起电压互感器饱和，激发铁磁谐振^[6]，导致电压互感器烧毁或高压熔断器熔断等事故。

中性点不接地方式普遍配置小电流选线装置，当出现单相接地故障时，小电流选线装置一般采用无功方向、首半波比相、谐波电流方向和群体比幅比相及自适应等方式，选出接地线路告警，在石化企业一般不采用跳闸方式。小电流选线装置动作正确率需考虑：电压互感器、零序电流互感器极性；零序电流互感器二次接线是否紧固；馈线容性电流分布；零序电流互感器准确度和带载能力等因素。在弧光接地时，由于弧光接地不稳定性，也会严重影响选线装置正确动作。故发生单相接地故障时，一般采用选线装置+人工试拉方法寻找接地线路。

2. 中性点经电阻接地

当发生单相接地故障时，由于电阻的阻尼作用，可以限制谐振过电压的形成。在中性点经电阻接地系统配置零序过电流保护，当系统发生单相接地故障时，零序过电流保护会将故障线路迅速切除。零序过电流保护配置时，主变压器后备零序过电流保护应优先分段跳闸，实现故障隔离。在单相接地过程中，接地电弧呈现产生—熄灭—剩余容性电荷通过小电阻释放—保护动作切除的过程，容性电荷及时释放，中性点电位迅速衰减，不会造成较高的过电压，不影响设备绝缘。

根据文献[7]记载,当接地电阻小于 $120\ \Omega$ 时,可以将弧光接地过电压幅度由最高3.7倍降低至2.5倍左右。随着接地电阻的进一步降低,接地电阻在 $10\ \Omega$ 时,弧光接地过电压降低至1.52~1.89倍,故合理选择接地电阻,可以有效降低弧光接地过电压幅值。

石化企业由于负荷重要性,新建项目普遍采用双电源或多电源线路,配电系统配置快切装置,负荷主要是电机类负载,其中高压电机配置继电保护装置,设置失电压保护;低压电机配置保护装置,设置再启动功能或配置防晃电模块。为防止弧光短路引起火灾风险,配电系统一般不投用重合闸功能。发生瞬时性接地故障时,零序保护快速动作,下级快切装置启动,负荷由正常线路接带,一般不会影响供电连续性。但是需保证零序保护速动性和灵敏性,尤其是高电阻接地时保护应可靠动作,若该馈线零序保护未动作,应由上级后备保护动作。如果不能及时切除故障,接地故障电流会导致相间短路故障或危及临近电缆运行。

中性点经电阻接地方式迅速切除故障线路,电力系统工频电压升高持续时间很短,这对于有积累效应的电缆绝缘有利,也为氧化锌避雷器的安全运行创造条件,避免弧光过电压导致电压互感器烧毁。

3. 中性点经消弧线圈接地

当发生单相接地故障时,消弧线圈电感电流补偿单相接地电容电流,使流经接地点的电流减小至 $5\ \text{A}$ 以下,接地点自行熄弧。可以有效控制接地点电弧产生,避免电弧击穿周边电缆或设备,防止弧光过电压发生,此时允许带故障运行 $2\ \text{h}$ 。当单相接地故障时,另两相电压升高,可能会造成非接地相绝缘击穿,故合理配置选线装置,及时切除故障线路意义重大。

由于消弧线圈采用过补偿方式,并且补偿后故障电流较小,故障线路和正常线路零序电流差异较小,选线装置漏检率和误检率较高^[8],特别是在高电阻接地时更为严重。针对以上情况,目前选线装置采用短时并联中值电阻,使系统改变成经电阻接地,利用零序导纳的变化和线路特征矩阵法对瞬间接地进行选线;瞬时改变消弧线圈补偿度,根据非故障线路零序电流不变化的特点,进而准确判断接

地线路。当选线装置无法选出正确线路时,需要运行人员拉路选线,影响扩大,失去 $2\ \text{h}$ 运行意义。允许单相接地故障运行 $2\ \text{h}$,是根据人工拉线检出故障线路的经验提出的规定。若选线装置可以迅速、准确地选出故障线路,并及时切除故障,则安全性和可靠性的问题,可以有效解决。消弧线圈在电抗器与地之间串接的阻尼电阻起着吸收能量和阻尼的作用,可以有效地抑制弧光接地过电压的幅值。

中性点经消弧线圈接地方式在设备选型时,一般以接地电容电流设计计算情况,按照过补偿方式选择线圈容量。若电力系统存在扩建或改建时,及时复核系统接地电容电流,当接地电容电流大于消弧线圈补偿能力时,应增加消弧线圈容量,避免消弧线圈出现欠补偿,导致电力系统谐振。

中性点接地方式的选择

选择合适的中性点接地方式是系统设计工程,应结合石化企业线路结构,过电压保护和绝缘配合,选线或继电保护配置、跳闸方式等诸多因素。根据上文分析,石化企业中性点接地方式选择建议如下。

中性点不接地方式是一种过渡方式,适用于架空线路为主,单相接地故障电流较小的配电系统。由于石化企业负荷的不断增大,原中性点不接地方式配电系统,最终均将进入消弧线圈接地或电阻接地方式。新建项目考虑石化企业易燃易爆和供电可靠性高的特点,不宜采用中性点不接地方式。

中性点经电阻接地方式可以快速切除故障点,但是供电可靠性降低,部分国网公司配电系统未采用此方式,也是出于此种考虑。故选择中性点经电阻接地方式时,应综合考虑线路冗余性、快切装置配合性和低压设备抗晃电性。配电系统应满足双电源回路负荷相对平衡,正常分列运行时,主变压器负载率低于 50% 。任意单线路跳闸时,快切装置动作,正常主变压器或线路容量可以带全部负荷运行。采用小电阻系统可使配电网设备保持一定的绝缘裕度^[9],延长使用寿命。 $35\ \text{kV}$ 电缆一般为所至之间配电电缆, $10\ \text{kV}$ 电缆一般为高压电机或变压器配电电缆,石化企业高压电机安装环境可能处在危险化学品生产区域, $10\ \text{kV}$ 电缆或电机引出线若发生单相接地,应避免长时间电弧或火花。故石化企

业10 kV配电系统建议优先选择中性点经电阻接地方式。

中性点经消弧线圈接地方式可以限制单相接地故障电流,避免影响周边电缆,但是由于持续电流放电击穿,会在故障点产生电弧和高温。如图2所示为某公司35 kV中间接头单相接地故障,可以看出故障点明显放电灼伤痕迹,长期接地运行电弧可能引发火灾事故。根据国网公司企业标准Q/GDW 10370《配电网技术导则》规定,线路发生永久性单相接地故障后,宜按照快速就近隔离故障原则。故选择中性点经消弧线圈接地方式,小电流选线装置应准确、快速选出故障线路,以便运行人员有效隔离。某公司由于35 kV配电系统单主变压器供电,为防止35 kV电缆单相接地后备保护动作,主变压器跳闸风险,35 kV配电系统选择中性点经消弧线圈接地方式。综上分析,石化企业35 kV配电系统应综合考虑选线装置正确率、上级线路或变压器冗余程度、快切及备自投配置等条件,若无法满足时,可以选择中性点经消弧线圈接地方式;若可以满足时,应优先选择中性点经电阻接地方式。

若选择中性点经消弧线圈接地方式,变电所运维人员应建立人工试拉序列列表,按照线路长度、敷设方式、负荷重要程度等因素,排定试拉顺序。当选线装置无法正确选出故障线路时,运行人员可以及时切断故障点,防止故障进一步扩大。



图2 某公司35 kV中间接头相接地故障

结束语

石化企业配电系统供电可靠性不仅需要接地方式选择合理,更需要保护、快切、再启动装置设置合理。本文分析了石化企业配电系统接地方式类型和优缺点,以系统工程的角度从电源配置、快切配合、负荷特性等方面分析。建议:新建石化企业配电系统不宜采用中性点不接地方式;10 kV配电系统优先采用中性点经电阻接地方式;35 kV配电系统若综合考虑后,可以选择中性点经消弧线圈或经电阻接地方式。EA

(收稿日期:2024-07-30)

参考文献

- [1] 要焕年,曹梅月.电力系统谐振接地[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 石油石化企业供电系统设计规范(附条文说明):SH/T 3060—2013[S].
- [3] 石油石化电气系统电阻接地设计规范:SH/T 3208—2020[S].
- [4] 戴靖波.浅析中性点经小电阻接地电网中Z形接地变压器[J].变压器,2005(2):18-21.
- [5] 弋东方.关于6~10 kV电网中性点接地方式的讨论[J].电网技术,1998(7):27-30.
- [6] 周勋甜.石化企业配电网接地方案的探讨[J].浙江电力,2013,32(1):31-33.
- [7] 张军梁,周浩,马皓.大型石化企业配电系统中性点采用电阻接地方式的可行性研究[J].电气应用,2007(4):20-23.
- [8] 王吉庆,沈其英.中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障选线[J].电网技术,2003(9):78-79.
- [9] 林志超.配电网接地方式与供电可靠性的关联分析[J].广东电力,2015,28(11):87-91.

