



国家电网公司
电力科技著作出版项目

中压配电网单相接地故障 选线及定位技术

杨以涵 齐 郑 编著

- 👉 一代名家 倾力之作
- 👉 技术装置 国际领先
- 👉 选线定位 正确率高



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

中压配电网单相接地故障 选线及定位技术

杨以涵 齐郑 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 摘 要

为提高中压配电网单相接地故障选线及故障定位技术,本书作者在充分总结多年研究成果的基础上,仔细分析了中压配电网单相接地故障特点,编写本书。本书理论结合实际,全面系统,实用性强,对加强技术人员对中压配电网单相接地故障的认知、提高配电网运行的可靠性具有重要意义。

本书内容包括中压配电网中性点接地方式、小电流接地系统单相接地故障特征、配电网单相接地故障选线技术、综合选线与连续选线技术、嵌入式选线装置设计方案、选线装置管理支持系统、单相接地故障在线定位技术、单相接地故障离线定位技术及现场典型案例分析。内容新颖、前沿,既有理论知识,又有工程实践,对我国电力系统的发展和改进具有实用价值。

本书可供从事配电网设计、运行的技术人员和管理人员阅读,亦可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中压配电网单相接地故障选线及定位技术/杨以涵,齐郑编著.
北京:中国电力出版社,2014.7

ISBN 978-7-5123-5415-9

I. ①中… II. ①杨…②齐… III. ①配电系统-接地保护-故障诊断 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 001187 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.5 印张 255 千字

印数 0001—3000 册 定价 68.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言



我国中压配电网主要指 3~60kV 几个电压等级的电网，在电力系统中量大面广，占有重要的地位。配电网单相接地故障选线和故障定位问题是困扰现场多年的一个难题，现场很多地方在发生单相接地故障后，采用人工试拉路方法进行故障选线，人工巡线方法进行故障定位，降低了供电可靠性和经济性。

目前已经提出了很多种单相接地故障选线和定位的方法，但是现场运行的选线和定位装置仍然经常出现错误情况。很多地方久而久之失去了对小电流系统选线和定位装置的信任，将其闲置，又恢复到了人工拉路选线、人工巡线定位的老路上。不仅造成了人力、物力的巨大浪费，也会使选线技术停滞不前，致使选线技术无法良好的发展和推广。

目前我国正在大力开展智能电网的建设，单相接地故障选线和定位问题亟待解决。研究单相接地故障选线和定位的目的在于正确认识小电流接地系统的特殊性，找到解决问题的办法，同时为配电网未来的发展做出规划。本书多角度，全面论述了配电网单相接地故障选线和定位问题。本书对中压配电网中性点接地方式、小电流接地系统单相接地故障特征、配电网单相接地故障选线技术、综合选线与连续选线技术、嵌入式选线装置设计方案、选线装置管理支持系统、单相接地故障在线定位技术、单相接地故障离线定位技术以及现场典型案例进行了详细论述，内容新颖、前沿，既有理论知识，又有工程实践。相信本书的面世，能够对从事配电网研究和建设的工作人员有所帮助，能够对我国电力系统的发展和改进有所贡献。

本书作者从事小电流接地故障选线和定位研究长达三十余年，培养了大量的硕士研究生和博士研究生，获得多项奖励，研究成果丰富。在多年的研究过程中，积累了大量的宝贵资料，本书藉此而成。

在本书的写作过程中，感谢华北电力大学“新能源电力系统”国家重点实验室提供良好的实验平台，以及北京丹华昊博电力科技有限公司提供详实的现

场数据及相关资料。李砚、蔡志伟、李岩松、李渤龙、王冰玉、乔丰、陈瑞、肖思昌、张惠汐、饶志、张学阳等参与部分章节编写工作，在此一并表示衷心感谢！

由于时间仓促，书中难免存在疏漏、缺点和不足之处，恳请广大读者批评指正，提出宝贵的意见。

编 者
2014年3月



前言

第一章 中压配电网中性点接地方式	1
第一节 引言.....	1
第二节 中性点接地方式的分类.....	1
第三节 各种接地方式对电网的影响.....	9
第四节 我国中压配电网中性点接地方式	11
第五节 国外中压配电网中性点接地方式	12
第六节 小结	13
参考文献	14
第二章 小电流接地系统单相接地故障特征	15
第一节 引言	15
第二节 中性点不接地系统的单相接地故障特征	16
第三节 中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障特征	24
第四节 小结	30
参考文献	30
第三章 配电网单相接地故障选线技术	31
第一节 引言	31
第二节 影响选线效果的因素分析	32
第三节 利用故障信号的选线方法	32
第四节 利用注入信号的选线方法	60
第五节 虚幻接地的辨识技术	61
第六节 多级配电网的选线技术	70
第七节 小结	74
参考文献	75
第四章 综合选线与连续选线技术	76
第一节 引言	76

第二节	综合选线技术	76
第三节	连续选线技术	93
第四节	小结	107
参考文献	.....	107
第五章	嵌入式选线装置设计方案	109
第一节	引言	109
第二节	嵌入式选线装置硬件设计	110
第三节	嵌入式选线装置软件设计	117
第四节	选线装置在智能变电站的实现方案	123
第五节	小结	133
参考文献	.....	133
第六章	选线装置管理支持系统	135
第一节	引言	135
第二节	选线装置管理支持系统的功能	137
第三节	小结	140
参考文献	.....	140
第七章	单相接地故障在线定位技术	141
第一节	引言	141
第二节	基于“S”注入法的定位技术	141
第三节	基于重合器和分段器的定位技术	144
第四节	基于故障指示器的定位技术	150
第五节	基于配电网自动化系统的定位技术	151
第六节	故障测距	168
第七节	小结	170
参考文献	.....	171
第八章	单相接地故障离线定位技术	172
第一节	引言	172
第二节	架空线故障离线定位技术	172
第三节	架空线离线故障定位装置设计	177
第四节	电缆离线故障定位技术	180
第五节	架空线路与电缆混合系统故障定位实现方案	187
第六节	小结	190
参考文献	.....	190

第九章 现场典型案例分析.....	191
第一节 KA2003 型装置介绍	191
第二节 选线案例分析.....	193
第三节 故障定位和隔离案例分析.....	196
第四节 离线定位案例分析.....	201
第五节 在线定位案例分析.....	203
第六节 小结.....	204
索引.....	205

中压配电网中性点接地方式

第一节 引言

中压配电网主要指 3~60kV 几个电压等级的电网，在电力系统中量大面广，占有重要的地位。选择适当的中性点接地方式是提高中压配电网可靠性和经济性最重要和最灵活的方法之一，受到各国的广泛重视。中性点接地方式有很多种，其分类的标准在不同国家也有所区别。例如有的国家将中性点接地方式分为有效接地方式、非常有效接地方式和非有效接地方式，有的国家将中性点接地方式分为大电流接地方式和小电流接地方式。

电力系统的中性点接地方式是一个综合性的技术问题，与系统的供电可靠性、人身安全、设备水平、绝缘水平、过电压保护、继电保护、通信干扰（电磁环境）及接地装置等问题密切相关。中性点接地方式也是一个经济问题，在很大程度上影响了建设投资和运行维护费用。在选定中性点接地方式的决策过程中，应结合系统的现状与发展规划进行技术经济比较，全面考虑，使系统具有更优的技术经济指标，避免因决策失误而造成不良后果。

第二节 中性点接地方式的分类

中性点接地方式有很多种，包括中性点直接接地、中性点不接地、中性点经消弧线圈接地、中性点经小电阻接地、中性点经高电阻接地等。中性点接地方式的分类标准在不同国家也有所区别，下面介绍最常用的两种分类标准，第一种分为有效接地方式、非常有效接地方式和非有效接地方式三类；第二种分为大电流接地方式和小电流接地方式两类。

(1) 中性点有效接地方式。当系统的零序电抗和正序电抗比值不大于 3 (即 $X_0/X_1 \leq 3$)，零序电阻对正序电抗之比不大于 1 (即 $R_0/X_1 \leq 1$) 时，该系统是中性点有效接地方式。

(2) 中性点非常有效接地方式。如果系统的全部中性点都保持直接接地，其零序阻抗远远小于中性点有效接地方式，甚至单相接地电流大于三相短路电流，该系统是中性点非常有效接地方式。

(3) 中性点非有效接地方式。除了有效接地和非常有效接地以外的中性点接地方式是中性点非有效接地方式。

(4) 大电流接地方式。发生单相接地故障后需要断路器快速断开故障设备 (包括母线、线路等) 的，属于大电流接地方式。

(5) 小电流接地方式。发生单相接地故障后电弧能够自行熄灭，可以带故障运行一段时间的，属于小电流接地方式。

在第一种分类标准中，中性点非有效接地方式既包含了单相接地后需要立即跳闸的中性点经小电阻接地方式，又包含了单相接地后可以带故障运行一段时间的中性点不接地方式、中性点经消弧线圈接地方式等，在实际运行中不易直观理解，因此在我国通常使用第二种分类标准。大电流接地方式具体包括：①中性点直接接地；②中性点经小电阻接地。小电流接地方式具体包括：①中性点不接地；②中性点经高电阻接地；③中性点经消弧线圈接地。

对于 110kV 及以上的高压、超高压电力系统，主要考虑限制工频电压升高和瞬时过电压，因此普遍采用中性点直接接地方式。对于 110kV 以下的中低压电力系统，接地方式的选择比较复杂，难以形成统一的形式，世界各国及地区中压配电网中性点接地方式都不尽相同。下面详细介绍各种中性点接地方式的特点。

一、中性点直接接地

中性点直接接地方式，即将中性点直接接入大地。若发生单相接地时，其接地电流很大，使断路器跳闸切除故障。这种大电流接地方式，无需装设绝缘监测装置。

中性点直接接地系统产生的过电压最低，可以有效减少绝缘上的投资，提高建设及运行的经济性。

中性点直接接地系统产生的接地电流大，故对传统电缆通信系统的干扰影响也大。当电力线路与电缆通信线路平行走向时，由于耦合产生感应电压，对通信造成干扰。中性点直接接地系统在运行中若发生单相接地故障时，其接地点附近区域还会产生较大的跨步电压与接触电压，使人畜受到伤害。

二、中性点不接地

中性点不接地方式，即中性点对地绝缘。其结构简单，运行方便，且比较经

济，不需任何附加设备，投资省，当前广泛应用于我国 3~60kV 中压配电网。该接地方式在运行中，若发生单相接地故障，其流过故障点电流仅为电网对地的电容电流，其值小于负荷电流，更远小于短路电流，因此属于小电流接地方式。由于单相接地故障电流小，所以保护装置不会动作跳闸，很多情况下故障能够自动熄灭，系统重新恢复到正常运行状态。由于单相接地时非故障相电压升高为线电压，系统的线电压依然对称，不影响对负荷的供电，故可带故障继续供电 2h，提高了供电的可靠性。

但是，随着配电网的不断发展，特别是城市电网电缆电路的增多，电容电流越来越大，当电容电流超过一定范围，接地电弧就很难自行熄灭了，会产生以下后果：

(1) 导致火灾。电弧产生的高温，有可能烧断配电线路，还有可能引燃相邻的易燃物品，最终造成重大的火灾事故。

(2) 产生过电压。如果接地电弧不稳定，产生间歇性电弧，电弧不断的熄灭与重燃，会在非故障的两相产生间歇性电弧接地过电压（又称为电弧过电压）。这种过电压幅值高、持续时间长、遍及全网，会对电气设备的绝缘造成极大的危害，严重时会导致绝缘薄弱处击穿。

(3) 诱发 TV 铁磁谐振。TV 铁磁谐振的机理是电磁式电压互感器的励磁感抗在一定的激发条件下有可能出现饱和情况，使得感抗值降低并与线路对地的容抗值匹配，最终出现谐振过电压。在不同的饱和情况下，铁磁谐振可分为基频谐振、倍频谐振和分频谐振。单相接地就是 TV 铁磁谐振的激发因素之一，一旦发生铁磁谐振，很有可能导致 TV 爆炸，还有可能造成氧化锌避雷器击穿、电缆头爆炸等危及电气设备绝缘的事故。

三、中性点经消弧线圈接地

当系统电容电流超过某个数值后，中性点不接地系统会出现一些问题，因此出现了中性点经消弧线圈接地方式，中性点经消弧线圈接地方式，即在中性点和大地之间接入一个电感线圈。

与中性点不接地相比，中性点经消弧线圈接地需要更多的投资，但是保障了系统的安全性，提高了供电可靠性。

由于在发生单相接地时，消弧线圈电感与线路对地电容形成了并联谐振电路，使系统的零序阻抗值很大，故中性点经消弧线圈接地系统又被称为“谐振接地”系统，消弧线圈产生的电感电流又称为“补偿电流”。不过，运行中的消弧线圈通常并不是恰好在谐振点运行，在一般情况下多采用略微偏离谐振点的过补偿运行方式。

中性点经消弧线圈接地方式的优点如下：

(1) 故障点的接地电流较小，电压恢复较慢，有利于电弧熄灭，从而避免了单相接地故障产生的间歇性电弧接地过电压和铁磁谐振过电压。

(2) 由于中性点经消弧线圈接地减小了接地点的电流，抑制了电弧的重燃，有效防止故障点处发生着火、爆炸等次生灾害。

(3) 不接地系统改为经消弧线圈接地后，其过电压水平一般不高于 $2.8U_{\text{phm}}$ (U_{phm} 为相电压峰值)，满足 $3\sim 60\text{kV}$ 配电装置和线路设计标准。

(4) 经消弧线圈接地后，接地电流减小，保证了设备和人员的安全。

20 世纪 90 年代以前，消弧线圈多采用无载分接开关调匝方式，当系统电容电流发生变化后，需要停电人工更改消弧线圈电感值。这种无载调匝方式的消弧线圈存在两个问题，第一个问题是当线路运行方式发生变化时，消弧线圈不能跟踪电容电流的变化自动调整电感电流，降低了熄弧的效果；第二个问题是调节消弧线圈时需要停电然后人工调节，费时费力。为了解决这些问题，我国多个科研单位和生产厂家设计并研制出了不同类型的自动调谐式消弧线圈，使得中性点经消弧线圈接地方式得到了很大的发展。

自动调谐式消弧线圈能够实时在线对系统电容电流进行测量，并且在带电运行中自动调整消弧线圈的补偿电感电流，使消弧线圈永远处于最佳补偿状态。自动调谐式消弧线圈与传统消弧线圈相比，只有一次设备不同，自动调谐式消弧线圈包括了一次设备和二次设备，一次设备用于提供补偿电感电流，二次设备又称为控制器，用于计算系统电容电流并且对一次设备进行调节控制。

自动调谐式消弧线圈按照运行的特点分为预调式和随调式两种。预调式消弧线圈的特点是：正常运行时，消弧线圈跟踪系统电容电流的变化不断调整，始终处于接近谐振的位置，为了防止出现串联谐振过电压，需要投入一个串联或者并联电阻，称为阻尼电阻，当发生单相接地故障后，快速退出阻尼电阻，既保护了阻尼电阻，又使消弧线圈进入补偿的工作状态；当故障消失后，重新投入阻尼电阻。随调式消弧线圈的特点是：正常运行时，消弧线圈跟踪系统电容电流的变化计算出消弧线圈的目标补偿电流，但是处于远离谐振的位置，这样就避免出现串联谐振过电压，也就不需要阻尼电阻，当发生单相接地故障后，消弧线圈快速调整至谐振状态，产生补偿电流；当故障消失后，重新将消弧线圈恢复到远离谐振的位置。

预调式与随调式消弧线圈各有利弊，其优缺点如表 1-1 所示。一般来说如果系统电容电流波动不大，应优先选择预调式消弧线圈；如果系统电容电流波动较大，应优先选择随调式消弧线圈。

目前常用的预调式消弧线圈包括：带有载分接开关的调匝式消弧线圈、具有可动铁芯的调气隙式消弧线圈等；常用的随调式消弧线圈包括：高短路阻抗变压器式

消弧系统、调容式消弧线圈、8421 并联电抗器组合式消弧线圈等。下面分别对这几类消弧线圈的原理进行简单介绍。

表 1-1 预调式与随调式消弧线圈的比较

比较	预调式	随调式
优点	由于始终接在中性点，因此补偿快	(1) 调节开关耐用，可以在单相接地时动作； (2) 不存在阻尼电阻； (3) 计算电容电流时间短，一般在 1min 以内
缺点	(1) 如果调节时发生单相接地时，易烧坏调节开关； (2) 阻尼电阻易烧坏； (3) 计算电容电流时间长，需要数分钟	由于发生单相接地后才投入，因此补偿慢

1. 带有载分接开关的调匝式消弧线圈

调匝式消弧线圈是采用有载调压开关调节电抗器的抽头，以改变电感值。在可调的电感线圈下串有阻尼电阻，可以限制在调节电感量的过程中可能出现的中性点电压升高，使其不超过相电压的 15%，满足规程要求。当电网发生永久性单相接地故障时，阻尼电阻可由控制器将其退出，以防止损坏。调匝式自动调谐消弧线圈原理接线示意图如图 1-1 所示，自动调谐成套装置由 Z 型接地变压器（当系统具有中性点时可不用）、消弧线圈、自动调谐控制器、阻尼电阻箱、控制屏等部分组成。可以在电网正常运行时，通过实时测量消弧线圈电压、电流的幅值和相位变化，计算出电网当前方式下的对地电容电流，根据预先

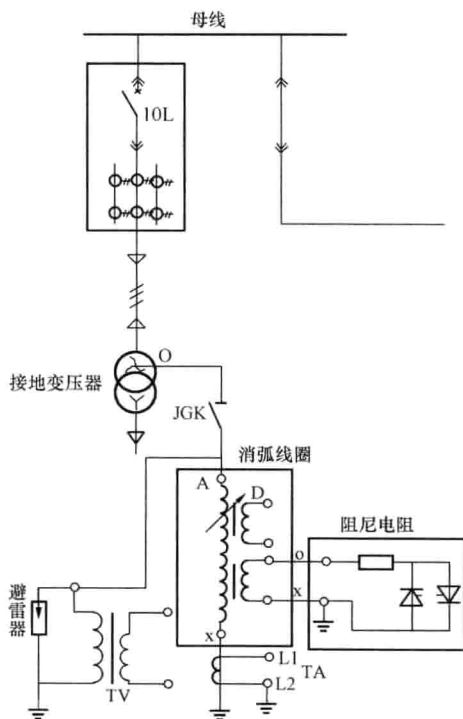


图 1-1 调匝式自动调谐消弧线圈原理接线示意图

设定的最小残流值或脱谐度，由控制器调节有载调压分接头，使之调节到所需要的补偿挡位，在发生接地故障后，故障点的残流可以被限制在设定的范围之内。其不足之处是不能连续调节，需要合理的选择各个挡位电流和挡位总数，保证残流在各种运行方式下都能限制在 5A 以内，以满足工程需要。

2. 具有可动铁芯的调气隙式消弧线圈

具有可动铁芯的调气隙式消弧线圈是将铁芯分成上下两部分，下部分铁芯同线圈固定在框架上，上部分铁芯用电动机带动传动机构可调，通过调节气隙的大小达到改变消弧线圈电抗值的目的。其优点是能够自动跟踪无级连续可调，安全可靠；缺点是振动和噪声比较大，在结构设计中应采取控制措施控制噪声。这类装置也可以将接地变压器和消弧线圈共箱，使结构更为紧凑。但由于调气隙式消弧线圈比较笨重，所以基本不采用。



图 1-2 变压器式可控电抗器基本结构

3. 高短路阻抗变压器式消弧系统

该消弧线圈是一种高短路阻抗变压器式可控电抗器，其基本结构如图 1-2 所示。变压器的一次绕组作为工作绕组接入配电网中性点，二次绕组作为控制绕组由 2 个反向

连接的晶闸管短路，通过调节晶闸管的导通角来调节二次绕组中的短路电流，从而实现电抗值的可控调节。由于采用了晶闸管调节，因此响应速度快，可以实现零至额定电流的无级连续调节。此外，由于是利用变压器的短路阻抗作为补偿用的电感，因而具有良好的伏安特性。

在正常运行情况下，消弧线圈可以工作在远离谐振点的区域，发生单相接地故障后快速调节至接近谐振点，当电弧熄灭后快速调节远离谐振点以避免产生串联谐振过电压，因此可以不设置阻尼电阻。

4. 调容式消弧线圈

调容式消弧线圈的原理是在消弧线圈的二次侧并联若干组用真空开关或晶闸管通断的电容器，用来调节二次侧电容的容抗值，以达到减小一次侧电感电流的要求。电容值的大小及组数有多种不同排列组合，以满足调节范围和精度的要求。通过调节消弧线圈二次容抗的大小，可方便地控制接地的接地电流大小，以达到调节消弧线圈电感电流的目的。

5. 8421 并联电抗器组合式消弧线圈

8421 并联电抗器组合式消弧线圈结构如图 1-3 所示，L1、L2、L4、L8 为电抗器，其容量按 1 : 2 : 4 : 8 分配，K1、K2、K3、K4 为高压真空接触器，当接触器

闭合时，相应的电抗器投入电网；当接触器断开时，相应的电抗器退出电网。这样消弧线圈具有 0000~1111 之间变化的 16 个挡位，如果为了进一步减小级差，可以采用 5 个电抗器，使消弧线圈具有 32 个挡位。高压真空接触器耐压高、运行稳定、控制简单、速度快，完全满足现场要求。并联电抗器组合式消弧线圈特别适用于发展中补偿网络，可以对原来的消弧线圈加以利用，避免重复投资。

6. 结论

虽然中性点经消弧线圈特别是自动调谐消弧线圈接地系统相比于中性点不接地系统提高了供电可靠性，但是也带来了如下一些新的问题：

(1) 单相接地故障选线问题。在中性点不接地系统中，可以采用零序电流比幅比相法进行故障选线。但是安装自动调谐消弧线圈后，由于消弧线圈电感电流的补偿，使得故障线路的零序电流特征非常不明显，导致选线困难。

(2) 中性点位移电压过高问题。自动调谐消弧线圈有可能会对电网的中性点位移电压造成影响，比如预调式消弧线圈，如果阻尼电阻的选择不合适，投入电网后距离谐振点很近，中性点位移电压就会长时间过高。随调式消弧线圈虽然在正常运行时理论上远离谐振点，但是如果单相接地消失后没有及时返回，也会出现中性点位移电压过高的问题。有些现场为了解决中性点位移电压过高的问题，往往不得不提高消弧线圈的脱谐度，即把残流放大，但残流放大后又会影响熄弧效果。

近年来，随着我国电力工业的迅速发展，城市配电网的结构变化很大，在馈电线路中电缆所占的比重越来越大，中性点经消弧线圈接地方式的一些问题日渐暴露。随着配电网电容电流的迅速增大，很难保证消弧线圈可靠运行。主要原因如下：

(1) 消弧线圈只能补偿电容电流的基频无功分量，有些配电网在整个接地电容电流中含有一定成分的谐波电流分量和有功电流分量，其比例高达 5%~15%，即使将工频接地电流计算得十分精确，但是消弧线圈对于这 5%~15% 的谐波电流和

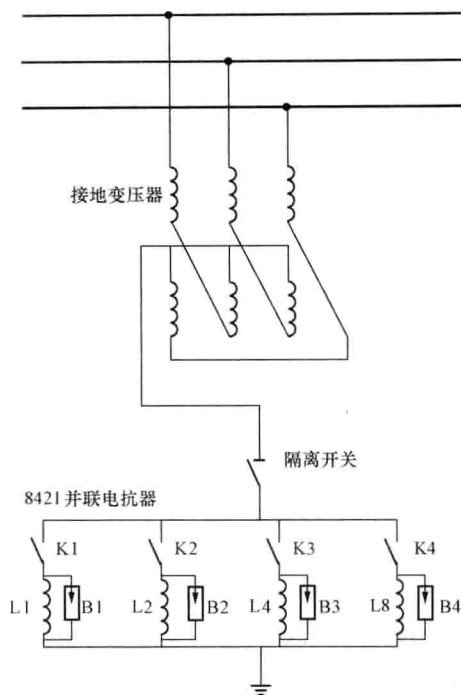


图 1-3 8421 并联电抗器组合式消弧线圈结构示意图

有功电流还是无法补偿的。

(2) 有些配电网电容电流很大, 超过 200A, 能够补偿该电容电流的消弧线圈容量过大, 导致价格昂贵、安装难度大, 有些地方甚至采用多个消弧线圈分散补偿, 但是在运行方式发生变化时, 很难协调控制多个消弧线圈。

(3) 以电缆为主的配电网单相接地故障多为外力破坏所致, 此时发生故障通常都是永久性故障或者相同短路故障, 消弧线圈的优势不大。

(4) 当接地点在电缆内部时, 接地电弧为封闭性电弧, 电弧更加不易自行熄灭, 消弧线圈的优势也就不复存在。

四、中性点经电阻接地

为了限制配电网过电压的幅值, 解决消弧线圈容量无法满足电容电流需求的问题, 有些现场逐渐采用中性点经电阻接地方式。中性点经电阻接地方式的好处是当电容电流在一定范围变动时, 也能有效限制间歇性电弧接地过电压和铁磁谐振过电压, 不像消弧线圈必须严格匹配电容电流。中性点经电阻接地方式适用于以下情况: ①大量采用了国外进口的低绝缘水平的设备、对过电压要求比较严的配电网; ②存在大量电缆的配电网。

中性点经电阻接地方式从阻值上可以分为: 中性点经高电阻接地、中性点经小电阻接地、中性点经中电阻接地。

1. 中性点经高电阻接地

中性点经高电阻接地方式会增加单相接地故障电流, 但是可以有效防止铁磁谐振过电压和间歇性电弧接地过电压, 主要用于 200MW 以上中大型发电机组和某些 6~10 kV 配电网。

在 6~10kV 配电系统以及发电厂厂用电系统, 为了抑制间歇性电弧过电压, 至少应使流过电阻的电流 I_R 满足如下公式

$$I_C \leq I_R \leq 1.5I_C \quad (1-1)$$

此时消耗在电阻上的功率 P 满足

$$P = I_R^2 R \quad (1-2)$$

式中 P ——电阻消耗功率, W;

I_R ——流过电阻的电流, A;

R ——电阻的阻值, Ω ;

I_C ——流过电容的电流, A。

显然, 如果电容电流过大, 则流过电阻的电流也相应增大, 这样电阻的发热量不仅有可能烧坏电阻本身, 而且对附近的设备也是一种威胁, 所以高阻接地方式的 I_C 不宜过大, 一般不宜大于 4~5A, 因而这种接地方式局限性很大。

2. 中性点经小电阻接地

中性点经小电阻接地方式故障电流的标准为 $10\sim 1000\text{A}$ ，根据我国具体情况，接地故障电流为 $400\sim 1000\text{A}$ ，考虑过电压与绝缘配合，继电保护动作的选择性，对通讯线的干扰以及中性点设备的动热稳定，一般电阻取值为 $R=10\sim 20\Omega$ 。中性点经小电阻接地方式一般需要配备零序保护，在线路发生单相接地故障时，零序保护快速切断单相接地故障线路。这种接地方式的优点为：

(1) 可把间歇性电弧接地过电压限制到 $2.5U_{\text{plm}}$ (U_{plm} 表示相电压的峰值) 以下，这样就可以采用绝缘水平较低的电缆及设备，减少投资。

(2) 能够完全抑制电网中因 TV 磁饱和所引起的铁磁谐振过电压。

(3) 小电阻接地方式对电容电流的变化及电网的发展适应范围很大，即随着电网电容电流的变化，接地电流水平变化不大。

(4) 单相接地故障时，流过故障线路的电流较大，零序电流保护有较好的灵敏性，可以较容易切除接地线路。一般将单相接地故障电流控制在 500A 左右，通过此电流启动零序保护动作。

但这种接地方式也存在不利的一面，主要表现在：

(1) 只要是发生单相接地故障，不管是瞬时还是永久故障，线路都要跳闸，降低了供电可靠性。

(2) 当单相接地电流较大时（如大于 1000A ），可能对电缆通信线路造成干扰。

(3) 接地故障电流大时，在接地点和电阻柜附近容易产生较大的跨步电压和接触电压，危及人身安全。

(4) 在发生非金属性接地故障时，由于有过渡电阻的存在，将影响继电保护的灵敏度。

(5) 发生接地故障时，电阻中流过的电流较大，电阻的热容量与 I^2 成正比，需要大的热容量电阻，这给电阻的制造安装都带来不便。

(6) 在电网中高压电机启动时，启动电流中的非周期分量容易造成零序接地保护误动。

3. 中性点经中电阻接地

为了克服中性点经小电阻接地方式的缺点而保留其优点，部分电网采用中性点经中电阻接地方式。中电阻接地的电阻阻值为 $20\sim 100\Omega$ ，但是这种接地方式在我国不多见。

第三节 各种接地方式对电网的影响

不同的中性点接地方式具有各自的优点和缺点，因此中压配电网的中性点接地