

PEIDIANWANG
GUZHANG DINGWEI JISHU

配电网 故障定位技术

国网福建省电力有限公司 组编

王永明 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

GUZHANG DINGWEI JISHU

配电网 故障定位技术

国网福建省电力有限公司 组编

王永明 主编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《配电网故障定位技术》以培养供电企业配电网一线班组人员职业技能为出发点,以现场运维为核心,结合案例分析,编写而成。

本书分为5章,分别为概述、配电网常见故障、配电网架空线路故障定位及处理、配电网电缆线路故障定位及处理、配电网故障定位技术应用实例,并附有规划供电区域划分表,方便读者使用。

本书可供从事配电网运维人员和管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

配电网故障定位技术/王永明主编;国网福建省电力有限公司组编. —北京:中国电力出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5198-2431-0

I. ①配… II. ①王… ②国… III. ①配电系统—故障诊断 IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第215990号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:罗 艳(yan-luo@sgcc.com.cn, 010-63412315)

责任校对:黄 蓓 太兴华

装帧设计:张俊霞

责任印制:邹树群

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2018年9月第一版

印 次:2018年9月北京第一次印刷

开 本:710毫米×1000毫米 16开本

印 张:10.5

字 数:192千字

定 价:42.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编写委员会名单

编写单位

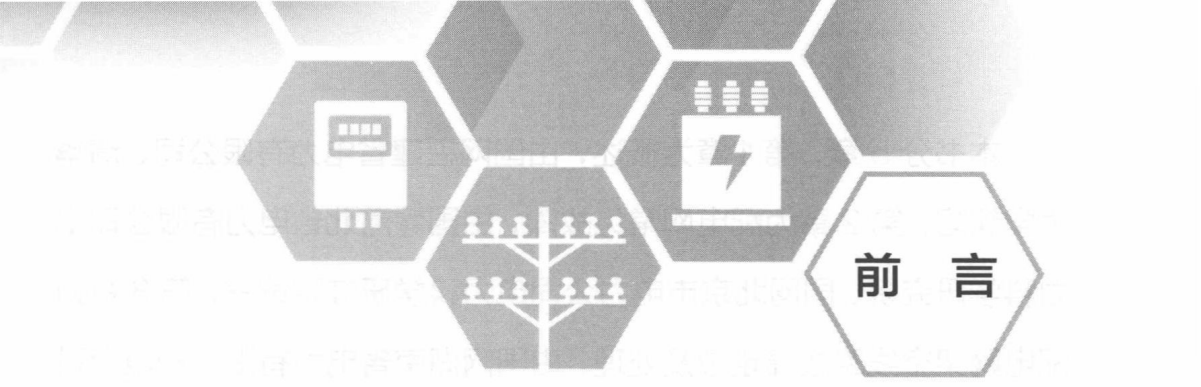
国网福建省电力有限公司
国网福建省电力有限公司电力科学研究院
华北电力设计院有限公司
清华大学
国网北京市电力公司电力科学研究院
国网湖南省电力有限公司电力科学研究院
国网河北省电力有限公司电力科学研究院
国网湖北省电力有限公司电力科学研究院
国网福建省电力有限公司莆田供电公司
国网福建省电力有限公司南安市供电公司
国网安徽省电力有限公司黄山供电公司
福建省电力有限公司泉州电力技能研究院
福建省电机工程学会

主 编 王永明

副 主 编 姚 亮

编写人员（按贡献大小排序）

黄建业	何 锋	梁威魄	张道农
张艳妍	张志丹	赵 邈	马天祥
饶 强	杨志淳	彭春柳	王 宾
王文林	翁晓春	郭文坚	



前 言

为积极服务配电网精益化运维管理对人才的需求，提升配电网运维管理水平，培养一批高技术配电网运维一线人才，全国输配电技术协作网组织各省电力公司、华北电力设计院有限公司、高校等生产运维技术专家，基于理论分析，结合现场案例，归纳配电网故障定位各种技术，编写《配电网故障定位技术》一书，展示不同类型故障的研判、处理方法，为读者提供可实际应用的参考，指导配电网运维人员工作的顺利开展。

《配电网故障定位技术》以培养供电企业配电网一线班组人员职业技能为出发点，以现场运维为核心，结合案例分析，编写成工具书教材，指导现场人员针对不同配电网故障类型选取针对性的技术手段，提升配电网故障研判、处理效率。

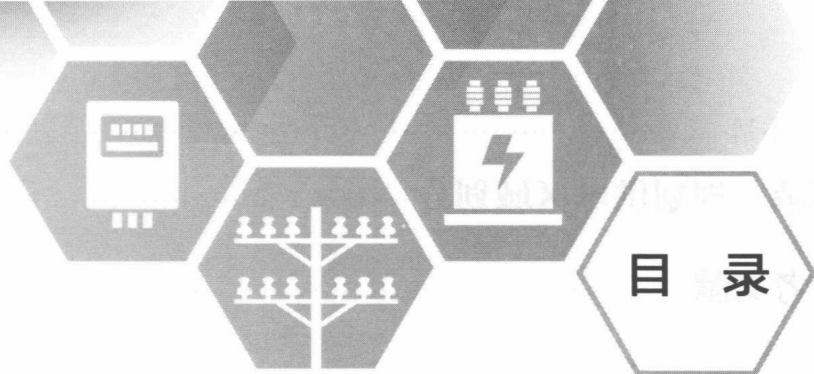
《配电网故障定位技术》坚持系统、精炼、实用的原则，整体规划及教材编写切合配电网一线班组人员阅读需求，描述配电网短路、单相接地、断路等典型故障特征及危害，总结归纳国内主流配电网故障定位先进技术和方法，并结合实际应用案例阐述不同定位技术的适用场合。在编写过程中，广泛征求各网省技术专家的建议，充分吸取设备厂商和高校在设备生产和运行研究的先进经验，共同完成编制。

本书分 5 章，第 1 章为概述，由国网福建省电力有限公司、清华大学编写；第 2 章为配电网常见故障，由国网河北省电力有限公司电力科学研究院、国网北京市电力公司电力科学研究院编写；第 3 章为配电网架空线路故障定位及处理，由国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院编写，第 4 章为配电网电缆线路故障定位及处理，由国网北京市电力公司电力科学研究院、国网河北省电力有限公司电力科学研究院编写；第 5 章为配电网故障定位技术应用实例，由国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网福建省电力有限公司、国网河北省电力有限公司电力科学研究院、国网北京市电力公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司黄山供电公司编写。

由于编者自身的认识水平有限，本教材难免有遗漏之处，恳请各位读者赐教，帮助我们不断更正并提高教材质量水平。

编 者

2018 年 7 月



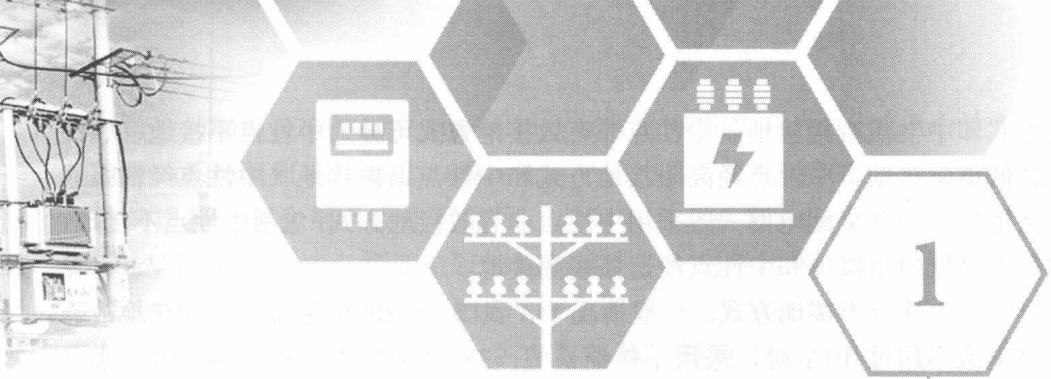
前言

1 概述	1
1.1 配电系统组成	1
1.2 配电自动化简介	5
2 配电网常见故障	7
2.1 中压配电网故障	7
2.2 低压配电网故障	23
小结	28
3 配电网架空线路故障定位及处理	29
3.1 单相接地故障	29
3.2 短路故障	50
3.3 断线故障	62
小结	71
4 配电网电缆线路故障定位及处理	73
4.1 单相接地故障	73
4.2 相间短路故障	93
4.3 断路故障	103
小结	106
5 配电网故障定位技术应用实例	107
5.1 故障定位技术及方法	107
5.2 故障定位实例	128

小结..... 154

附录 规划供电区域划分..... 155

参考文献..... 156



概述

1.1 配电系统组成

1.1.1 配电线路与网架结构

配电网作为电网的重要组成部分，承担着绝大部分电力用户的供电服务功能，是保障电力供应的关键，是影响供电可靠性的最重要环节。按照配电线路的不同可以将配电网分为架空线配电网、电缆配电网、架空线电缆混合配电网。架空配电线路主要由杆塔、导线、避雷线（也称架空地线或简称地线）、绝缘子、金具、拉线和基础等元件组成。架空线路的优点是投资少、造价低，结构简单，易于检修，建设周期短、速度快，输送容量大等；缺点是影响市容市貌，易受雷击危害、外力危害，易受污染等。架空线路组成元器件多且多数为裸露在空气中，因此导致短路或接地故障的概率更大，但故障一般为瞬时性故障易于查找。电力电缆主要由线芯（导体）、绝缘层、导体屏蔽层和外护套四部分组成，不同的部分材质不同，发挥着不同的作用。电缆线路故障率低，但故障多为永久性，且较为隐蔽，导致故障定位难。

除线路类型外，不同的网架结构也直接影响供电的质量和可靠性。配电网的网架结构可以归纳为：放射式、树状式、环形、“手拉手”环网、网格等不同的结构。10kV 架空线路宜采取多分段、单辐射接线方式；10kV 电缆线路接线方式宜采用双环式、单环式。

1.1.2 中性点接地方式

中性点接地方式一般分为两类，中性点有效接地方式和中性点非有效接地方式。中性点有效接地方式下系统的零序与正序电抗之比（ X_0/X_1 ）为正值并且不大于 3，而其零序电阻与正序电抗之比（ R_0/X_1 ）不应大于 1。中性点有效接

地方式即中性点直接接地。中性点非有效接地方式可分为中性点不接地、中性点经低电阻接地、中性点经高阻接地方式和中性点谐振接地（中性点经消弧线圈接地）。6~35kV 配电网一般采用中性点非有效接地方式，包括中性点不接地、中性点经低电阻接地和中性点经消弧线圈接地。

（1）中性点不接地方式。一般情况下，我国 6~20kV 系统当单相接地故障电容电流不超过 10A 时，采用不接地系统；35、66kV 系统视电容电流大小，一般当单相接地故障电容电流不超过 10A 时，也采用不接地系统。

（2）中性点经消弧线圈接地方式。1916 年彼得逊发明了消弧线圈，并于 1917 年首台在德国 Pleidelshein 电厂投运至今，已有 86 年的历史。广泛适用于中压电网，在世界范围有德国、中国、苏联和瑞典等国的中压电网均长期采用此种方式，显著提高了中压电网的安全经济运行水平。

对于中压配电网中日益增加的电缆馈电回路，虽接地故障的概率有上升的趋势，但因接地电流得到补偿，单相接地故障并不发展为相间故障。因此中性点经消弧线圈接地方式的供电可靠性，大大地高于中性点经中、低电阻接地方式。但此种接地方式存在的问题是：

1）当系统发生接地时，由于接地点残流很小，且根据规程要求消弧线圈必须处于过补偿状态，接地线路和非接地线路流过的零序电流方向相同，故零序过电流、零序方向保护无法检测出已接地的故障线路。

2）因运行在中压配电网的消弧线圈仍然存在大量的手动调匝结构，必须在退出运行后才能调整，也没有在线实时检测电网单相接地电容电流的设备，故在运行中不能根据电网电容电流的变化及时进行调节，所以不能很好地起到补偿作用，仍出现弧光不能自灭及过电压问题。

3）中性点位移电压过高问题。自动调谐消弧线圈有可能会对配电网的中性点位移电压造成影响，比如预调试消弧线圈，如果阻尼电阻选择不合适，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。

多年来，针对上述中性点经消弧线圈接地方式带来的缺陷，通过大量的科研实践活动，在自动跟踪消弧线圈及单相接地选线技术方面已经取得了显著进步，并已投入实际运行取得良好效果。

我国 35、10、6kV 三个电压中中性点经消弧线圈接地方式较为普遍，Q/GDW 10370—2016《配电网技术导则》规定 10kV 配电网中，单相接地故障电容电流在 10~100A 时，宜采用中性点经消弧线圈接地方式，接地电流宜控制在 10A 以内。

（3）中性点经低电阻接地方式。我国 6~35kV 电缆配电网、发电厂厂用电系统、风力发电厂集电系统、除矿井以外的工业企业供电系统，当单相接地电容电流较大时，一般采用中性点低电阻接地方式。中性点经低电阻接地方式中，

单相接地故障电流应控制在 1000A 以下；Q/GDW 10370—2016 要求中性点经低电阻接地系统阻值不宜超过 10Ω，使零序保护具有足够的灵敏度。各地在电阻阻值的选择上则会结合供电可靠性、人身安全、继电保护等因素综合考量，如 10kV 配电网中性点经低电阻接地的地区，上海选择为 6Ω，单相接地故障电流为 1000A；北京、天津、无锡等地选择 10Ω，单相接地故障电流为 600A；厦门、广州、深圳、珠海、惠州、南昌等地选择为 16Ω，单相接地故障电流为 400A。

中性点经低电阻接地方式存在以下优缺点。

1) 系统单相接地时，健全相电压不升高或升幅较小，对设备绝缘等级要求较低，其耐压水平可以按相电压来选择。

2) 接地时，由于流过故障线路的电流较大，零序过流保护有较好的灵敏度，可以比较容易检出接地线路。

3) 由于接地点的电流较大，当零序保护动作不及时或拒动时，将使接地点及附近的绝缘受到更大的危害，导致相间故障发生。

4) 当发生单相接地故障时，无论是永久性的还是非永久性的，均作用于跳闸，使线路的跳闸次数大大增加，严重影响了用户的正常供电，使其供电的可靠性下降。

(4) 中性点接地方式对比与选择。目前，国网公司系统 10、35kV 配电网中性点主要有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经低电阻接地三种方式。三种接地方式数量占比约为：中性点不接地方式 68.5%、中性点经消弧线圈接地方式 28.2%、中性点经低电阻接地方式 3.3%。

中性点不接地方式、中性点经消弧线圈接地方式和中性点经低电阻接地方式各有优劣，具体见表 1-1。

表 1-1 中性点接地方式对比

中性点接地方式	不接地	消弧线圈接地	低电阻接地
单相接地故障电流	很小	最小	高阻 1~10A 低阻 100~1000A
单相接地非故障相电压	等于或略大于 $\sqrt{3}$ 倍相电压	$\sqrt{3}$ 倍相电压	$0.8\sim\sqrt{3}$ 倍相电压
弧光接地过电压	最高可达 $\sqrt{3}\sim3.5$ 倍相电压	可抑制在 2.5 倍相电压以下	可抑制在 2.8 倍相电压以下
操作过电压	最高可达 4~4.5 倍相电压	一般不大于 4 倍相电压	较低
熄弧能力	自然熄弧	熄弧能力较强	快速切除
故障处理	处理速度较慢	处理速度较慢	快速切除

续表

中性点接地方式	不接地	消弧线圈接地	低电阻接地
选线或保护效果	一般	差	准确
运行维护	简单	采用自动调谐产品简单,采用非自动调谐产品复杂	相对简单
人身安全	触电时间长,跨步电压小	触电时间长,跨步电压小	触电时间短,跨步电压大
适用条件	电容电流小于 10A	电容电流大于 10A 且小于 150A	电容电流大于 150A 或以电缆网为主
综合费用	最低	中等	最高

中性点接地方式选择应根据配电网电容电流, 统筹考虑负荷特点、设备绝缘水平以及电缆化率、地理环境、线路故障特性等因素, 并充分考虑电网发展, 避免或减少未来改造工程量。各类供电区域 35、10kV 配电网中性点接地方式宜符合表 1-2 的要求。

表 1-2 供电区域适用的接地方式

规划供电区域	中性点接地方式		
	低电阻接地	消弧线圈接地	不接地
A+	√	—	—
A	√	√	—
B	√	√	—
C	—	√	√
D	—	√	√
E	—	—	√

按单相接地故障电容电流考虑, 10kV 配电网中性点接地方式选择应符合以下原则:

- 1) 单相接地故障电容电流在 10A 及以下, 宜采用中性点不接地方式;
- 2) 单相接地故障电容电流超过 10A 且小于 100~150A, 宜采用中性点经消弧线圈接地方式;
- 3) 单相接地故障电容电流超过 100~150A 以上, 或以电缆网为主时, 宜采用中性点经低电阻接地方式;
- 4) 同一规划区域内宜采用相同的中性点接地方式, 以利于负荷转供。

各个阶段的配电网建设与经济发展、技术发展、气候环境等息息相关, 因此不同地理、不同气候、不同时间建设的配电网形式各不相同, 导致国内涌现了各式各样的结构、设备与系统接线, 包括接线方式、线路类型、构成形式、

中性点接地方式等。如发达地区缆化率高，则采用中性点经低电阻方式；一般城市多数采用中性点经消弧线圈接地方式；偏远地区架空线路多，则采用中性点不接地方式。如沿海地区盐雾腐蚀严重，则要考虑线路及紧固件、支撑件的材质防腐能力；台风多发地区要考虑杆塔基础的建设与杆塔类型的选择等。

不同形式的配电网故障率、故障处理能力各不相同。如电缆线路故障率低，且多数为永久性故障，因此一般不投入重合闸；架空线路受运行环境影响，故障率高，且瞬时故障占比高，因此一般投入重合闸。中性点经低电阻接地系统发生单相接地故障后故障电流大，因此可直接选择性跳闸；而中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地故障单相接地故障后故障电流小，因此一般采用选线装置或通过人工拉线进行故障选线。

1.2 配电自动化简介

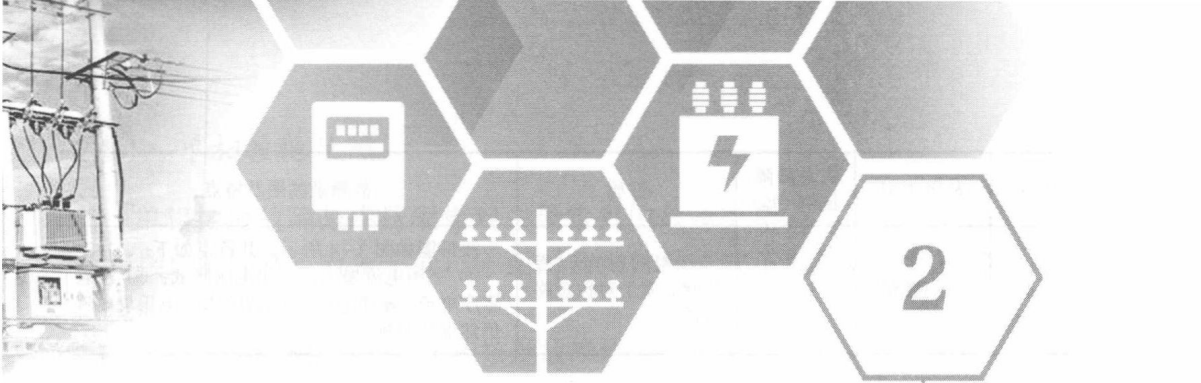
配电网继电保护与配电自动化是近年推行的处理配电网故障直接手段。配电自动化是以一次网架和设备为基础，以配电自动化系统为核心，综合利用多种通信方式，实现对配电系统的监测与控制，并通过与相关应用系统的信息集成，实现配电系统的科学管理。

配电自动化系统主要由配电主站、配电终端和通信通道等部分组成。配电主站是配电自动化系统的核心部分，主要实现配电网数据采集与监控等基本功能和电网分析应用等扩展功能。配电终端是安装于中压配电网现场的各种远方监测、控制单元的总称，主要包括馈线终端 FTU、站所终端 DTU 和配变终端 TTU。随着配电自动化技术的发展，其他类型配电终端还包括配电线路分段控制器、分支分界控制器、带通信故障指示器等。配电自动化主流的通信方式包括工业以太网、EPON、无线公网、无线专网、电力载波等，适用于不同的应用场合。

配电自动化的实施一般分为简易型、实用型、标准型、集成型和智能型等。简易型配电自动化系统是基于就地检测和控制技术的一种准实时系统，广泛应用的有二种模式。第一种模式是采用故障指示器来获取配电线路上的故障信息，由人工现场巡视线路上的指示器翻转变色来判断故障。第二种模式是在配电开关应用重合器或配电自动开关，可以通过开关之间的逻辑配合（如时序等）就地实现配电网故障的隔离和恢复供电。实用型配电自动化系统是利用多种通信手段，以两遥（遥信、遥测）为主，并对部分具备条件的一次设备可实行单点遥控的实时监控系統。标准型配电自动化系统是在实用型的基础上增加基于主站控制的馈线自动化功能，对通信系统要求较高，一般需要采用可靠、高效的通信手段（如光纤），配电一次网架应该比较完善且相关的配电设备具备电动操

作机构和受控功能。集成型配电自动化系统是在标准型的基础上，通过信息交换总线或综合数据平台技术将企业里各个与配电相关的系统实现互联。智能型是在标准型或集成型配电自动化系统基础上，扩展对于分布式电源、微网以及储能装置等设备的接入功能。

配电自动化作为故障定位的主流思路，国内建设规模逐步扩展，且实现形式要综合考虑配电网网架、经济情况、通信情况等因素。目前国内配电自动化系统多数采用集中型，通过主站-终端两层架构，实现正常时运行监视，故障时信息上传、故障处理等；通信不发达地区也采用就地方式，通过重合器、分段器的逻辑配合实现故障定位与隔离。



配电网常见故障

2.1 中压配电网故障

短路故障就是指不同电位的导电部分包括导电部分对地之间的电阻短接。电力系统在正常运行时，除中性点以外，相与相、相与地之间是绝缘的，所谓短路是指相与相或相与地之间发生短路。造成短路的主要原因是电气设备载流部分绝缘的损坏、误操作、异物跨接导电部分和绝缘损坏所造成。短路电流会对供电系统产生极大的危害。

在三相电力系统中，可能发生单相接地短路、两相短路、两相接地短路和三相短路。各类短路故障发生比例及故障录波图特点见表 2-1。

表 2-1 各种故障对比

序号	故障类型	占总故障比例 (%)	性质	故障录波图及特点
1	单相接地短路	65	在中性点直接接地系统中，一相与地短接，属于不对称短路故障	波形图如图 2-1 所示。其特点如下： ① 故障相电压降低为 0，非故障相电压升高为线电压；② 中性点电压升高为相电压；③ 故障电流为电容电流，稳态电流幅值较小
2	两相短路	10	两相同时在一点短接，属于不对称短路故障	波形图如图 2-2 所示。其特点如下： ① 短路电流和电压中不存在零序分量；② 两故障相中的短路电流的绝对值相等，方向基本相反；③ 短路时非故障相电压在短路前后不变，两故障相电压总是大小相等，数值上为非故障相的一半
3	两相接地短路	20	在中性点直接接地系统中，两相在不同地点与地短接，属于不对称短路故障	波形图如图 2-3 所示。其特点如下： ① 故障两相电流幅值增大，相位相反，两相电压降低；② 非故障相对地电压升高为额定电压的 1.5 倍；③ 系统中出现零序电压和零序电流

序号	故障类型	占总故障比例 (%)	性质	故障录波图及特点
4	三相短路	5	三相同时在一点短接,属于对称短路故障	波形图如图 2-4 所示。其特点如下: ① 三相电流增大,三相电压降低;② 没有零序电流、零序电压;③ 故障态的电压与电流仍然保持对称

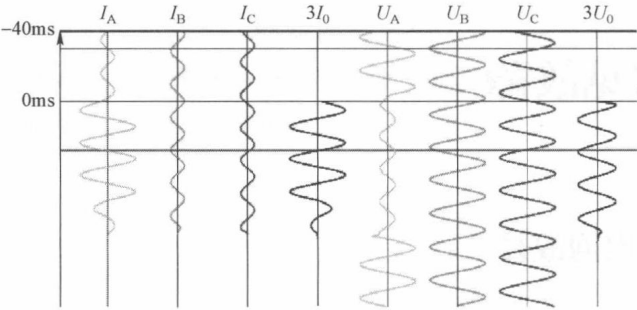


图 2-1 单相接地故障波形图

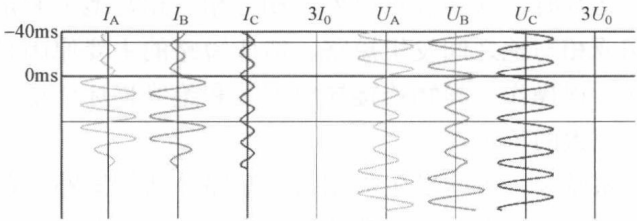


图 2-2 两相短路故障波形图

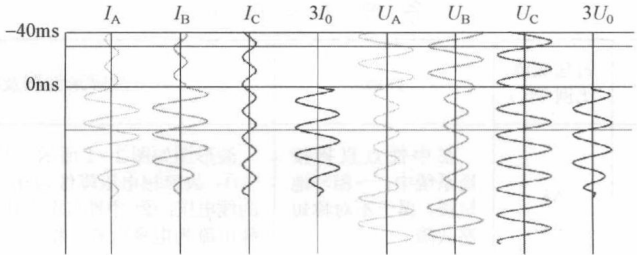


图 2-3 两相短路接地故障波形图

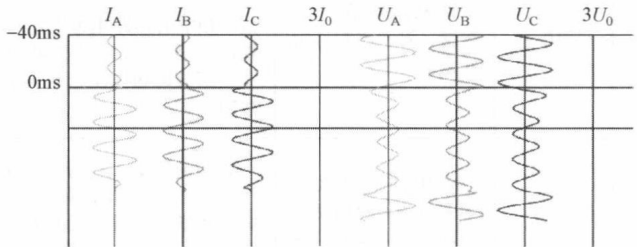


图 2-4 三相短路波形图

2.1.1 单相接地故障

单相接地故障是中压配电网中最常见的故障类型，不同的接地方式下的单相接地故障特点有所不同，下面对各种接地方式下的单相接地故障特点加以说明。

2.1.1.1 中性点不接地系统单相接地故障特点

中性点不接地系统的简单网络接线示意图如图 2-5 所示。在正常运行情况下，三相对地有相同的电容 C_0 ，在相电压的作用下，每相都有一超前于相电压 90° 的电容电流流入地中，若不考虑系统的不平衡度，三相电容电流之和等于零。假设 A 相发生单相接地短路，在接地点处 A 相对地电压为零，对地电容被短接，电容电流为零，而其他两相的对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，对地电容电流也相应地增大 $\sqrt{3}$ 倍，相量关系如图 2-6 所示。

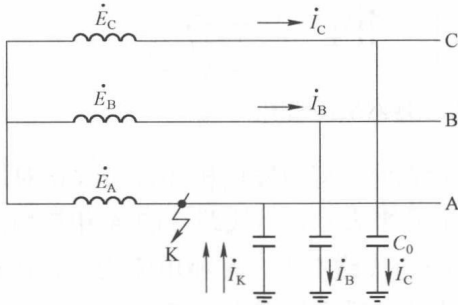


图 2-5 中性点不接地配电网

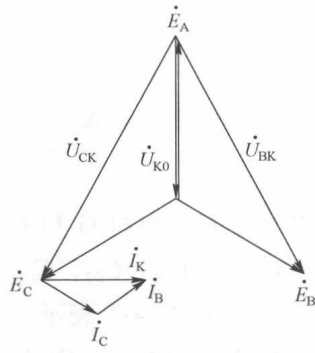


图 2-6 A 相接地相量图

由于线电压仍然三相对称，三相负荷电流对称，相对于故障前没有变化，下面只分析对地关系的变化。在 A 相接地以后，忽略负荷电流和电容电流在线路阻抗上产生的电压降，在故障点处各相对地的电压为

$$\begin{cases} \dot{U}_A = 0 \\ \dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{E}_A = \sqrt{3}\dot{E}_A e^{-j150^\circ} \\ \dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \sqrt{3}\dot{E}_A e^{j150^\circ} \end{cases} \quad (2-1)$$

则母线中性点的零序电压为

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = -\dot{E}_A \quad (2-2)$$

在故障处非故障相中产生的电容电流流向故障点

$$\begin{cases} \dot{I}_B = \dot{U}_{Bk} j\omega C_0 \\ \dot{I}_C = \dot{U}_{Ck} j\omega C_0 \end{cases} \quad (2-3)$$