

配电网自动化设备 优 选 指 南

电力部农村电气化研究所 徐腊元 主编

参编：高以梅 李冶 徐永森

中国水利水电出版社

前 言

随着电网的发展,如何解决电网安全运行及提高供电可靠性,保障供用电是电力系统急需解决的问题。当今计算机技术和新型电器的应用,自动化程度的提高,无疑是电力系统科学技术的一大进步。

配电网是电力系统的基础,直接与用电户相联系。近几年来,配电网自动化已经延伸到电力用户。但是配电网自动化是一项综合性工程,涉及到诸多知识、学科和专业,如电气、机械、计算机应用、通讯等。因此,处理好各学科的关系,综合应用,将各项学科有机地结合起来,选择较为合适的设备,是配电网自动化的主要方面。

配电网自动化是根据各国配电网的发展、用电的性质而提出来的。每一个国家电力发展史既有共同的一面,也有不同的一面。因此,对于电力发展较为迅速,配电网分布面较大,城乡差别较大的中国,发展研究应当符合国情国力,具有中国特点的配电网自动化方案,以便充分发挥优势力量,达到少花钱,办好事,讲实际,实用化的要求。

配电网自动化除方案具有自身特点,对各种设备的选择也是十分关键的,不同设备的配置,可形成不同的自动化方案,为了便于电力部门的技术人员,能了解国内外配电网自动化发展方向及现有方案和各种配电网自动化设备的性能,使用方法及运行条件,作者系统地对各种设备进行了介绍,并指出了各类设备在中国配电网中应用选择时注意的问题。

新技术、新设备的应用,对改善电网的结构,提高配电网自动化及供电可靠性起到了相当大的作用。尤其是高压开关设备的性能。决定了电网的自动化及可靠性。近几年来真空及六氟化硫高压开关设备技术有了很大发展,由于新技术正在不断进步,本书仅对目前应用中的主要设备,从理论、结构上给以阐述。

本书从应用要求出发,对现有各种配电网设备进行了系统全面的分析比较,对应用的实际情况进行了总结,并对各种设备的基础理论进行了阐述,介绍了设备生产、应用的各种技术标准,为运行提供较有用的参考。

本书的目的旨在对配电网用新设备作了系统介绍,深入浅出,以实际应用为原则,避开了较多理论的问题,使读者在对新设备了解的同时能更好地解决应用中的技术问题,并重点了解中国配电网设备的选择条件。

本书部分章节的内容,参考了有关书籍和资料,在此对参考、引用书籍、资料的作者表示衷心感谢。由于编者各方面的水平有限,书中难免有不当之处,希望读者给以批评指正。

编 者

1998年1月

目 录

前 言

第一章 配电网的发展及现状	1
第一节 国外配电网发展概况	1
第二节 日本配电网自动化方案	2
第三节 英美国国家配电网自动化方案	4
第四节 我国配电网自动化发展现状	9
第二章 高压配电开关设备	15
第一节 配电开关设备的发展	15
第二节 配电开关设备的性能分析	16
第三节 配电自动化设备	20
第四节 配电开关设备的要求	23
第三章 高压开关设备的技术要求	25
第一节 高压开关设备的主要参数	25
第二节 高压开关的开断特性分析	29
第四章 高压负荷(隔离)开关	36
第一节 负荷开关的一般介绍	36
第二节 负荷开关的应用	36
第三节 负荷开关的类型	37
第四节 负荷隔离开关	40
第五章 真空开关	42
第一节 真空开关管的结构	42
第二节 真空负荷开关	47
第三节 真空接触器	50
第四节 真空断路器	52
第五节 真空开关的特点	58
第六节 真空断路器、真空负荷开关和真空接触器的应用	60
第七节 真空开关操作过电压及其抑制方法	63
第八节 真空断路器的维护与检修	65
第九节 户内真空断路器运行注意事项	69
第六章 六氟化硫断路器的原理和结构	72
第一节 六氟化硫气体的性质	72
第二节 六氟化硫气体设备在高压电气设备中的应用	80
第七章 重合器	86
第一节 重合器的一般介绍	86
第二节 重合器的分类及原理	88

第三节	重合器标准名词	92
第四节	ESR 型电子控制重合器	94
第五节	PMR 型六氟化硫重合器	97
第六节	KFE 型电子控制真空重合器	98
第七节	ZCW 型分布式重合器	102
第八章	分段器	107
第一节	分段器概述	107
第二节	DFW-10 (F) 型跌落式分段器	110
第三节	液压型自动分段器	114
第四节	重合分段器	118
第九章	高压熔断器及熔断件	123
第一节	高压熔断器的工作原理及主要参数	123
第二节	高压熔断器的结构	126
第三节	高压熔断件 (熔丝)	127
第十章	重合器与分段器的配合	129
第一节	重合器与分段器配合的一般原则	129
第二节	重合器与液压控制分段器的配合	129
第三节	配电网使用重合器、分段器的优点	131
第四节	重合器的选用	132
第五节	分段器的选用要求及附件	132
第六节	重合器的保护配合	134
第十一章	继电保护的类型及配合	139
第一节	继电保护的发展	139
第二节	变压器保护	140
第三节	线路保护	142
第四节	单元集成电路线路保护	144
第五节	补偿电容器保护	150
附录 1	分布式多功能电力监控仪 (D—RTU)	153
附录 2	农村小型化变电所设计规程 DL/T5078-1997	157
参考文献		162

第一章 配电网的发展及现状

配电网是直接将高压电源（6~35kV/级）变为工农业生产、城市居民及商业用电的变电网，它覆盖面广，直接关系到人民的生活及行为。长期以来，由于重发、轻供不管用等致使我国配电网基础比较薄弱、设备简陋、供电可靠性差的现象严重。随着经济的发展，人民生活水平及现代化建设的需要，配电网将是电网最重要和最直接的一部分，是关系国计民生的大事。

我国配电网的发展，自然形成了农村电网和城市电网的两种概念。城市电网随着经济的增长，发展比较快，各种设备的技术性能也都有了较大的改善，供电已经普遍，可靠性要求在逐步提高，力求以高可靠、无污秽无公害和危险的供电系统为主，设备投资可以放在次要位置。而我国的广大农村（农村电网），面临着进一步发展，但由于资金不足，设备技术性能落后，人员技术水平差，影响着农网的发展。总的情况来看，在我国农村电网与城市电网有相当的共性，但是又具有本质上的区别，因此发展农网配电自动化及城网配电自动化的要求是不同的。

由于各国的地域和电网的发展情况不一样，对于农网和城网的方案及实施要求也各异，因此对于一个国家如何实现配电网自动化，应该立足于国情和条件，有远景规划和近期分步分期实施计划，以实用为原则，以可靠性、自动化为标准，实现配电网自动化要求。

第一节 国外配电网发展概况

国外配电网发展起步较早，在50年代初就利用高压开关设备的功能在配电网（线路）中实现故障控制。主要设备是重合器、分段器、环网开关柜等。随着电子及通讯技术的发展，将配电网的检测计量、故障探测定位、自动控制、规划、数据统计管理集为一体的综合系统，出现了配电网自动化方案。由于各国配电网发展及地域性差异，供电可靠性要求的不同，配电网自动化方案也稍有差异，但总的可以归结为：一次设备的技术性能提高，不检修周期长，可靠性高，无污染爆炸及火灾危险；能利用先进的电子技术，对配电设备进行自动化控制，以实现机电一体化；一次设备与二次控制设备相结合，以提高配电网供电可靠性；快速定位故障点，以最快、最简单的方式进行故障处理，恢复正常供电。采用智能化设备，对故障线路自行判断和隔离，并由重合器重合恢复送电。加强配电设备数据库管理和负荷管理，在调度中心对负荷潮流进行控制和调配。

由此可见，配电网自动化并不是采用什么样的设备就可以实现的问题，配电网自动化是一个较深层次的问题，各方面都必须有一个良好的基础，在实现自动化要求时，以规划为依据，根据实际情况逐步实现自动化目标。

第二节 日本配电网自动化方案

日本配电网发展不同于西欧国家，供电半径小，供电可靠性要求高，环网供电方式比较多，变电站采用重合断路器（指具有 2~3 次重合闸的断路器），并在变电站设有短路故障指示器，根据短路电流的大小，推算出故障距离的长度。

1. 配电网的三个阶段

日本配电网电压为 6kV，出线采用重合断路器与线路自动配电开关相配合，自动配电开关具有合短路电流和切断负荷电流的功能。自动配电开关由开关本体、控制器及电源变压器组成。再增加故障探测装置、遥控终端、总局控制中心组成了配电网自动化系统。自动配电开关根据要求可达到远方控制。

日本配电网自动化是分期逐步形成完整的配电网系统，大致可分为三个阶段。

第一阶段由自动重合断路器和自动配电开关，来消除瞬时性故障，隔离永久性故障。

第二个阶段是在第一阶段基础上增设远控装置，实现远方控制功能。在变电站或调度中心发出操作指令。

第三阶段是在第二阶段的基础上，利用现代通讯及计算机技术，实现集中通讯、遥控，并对配电网系统实现有关信息的自动化处理及监控，各阶段原理框图见图 1-1。配电网系统

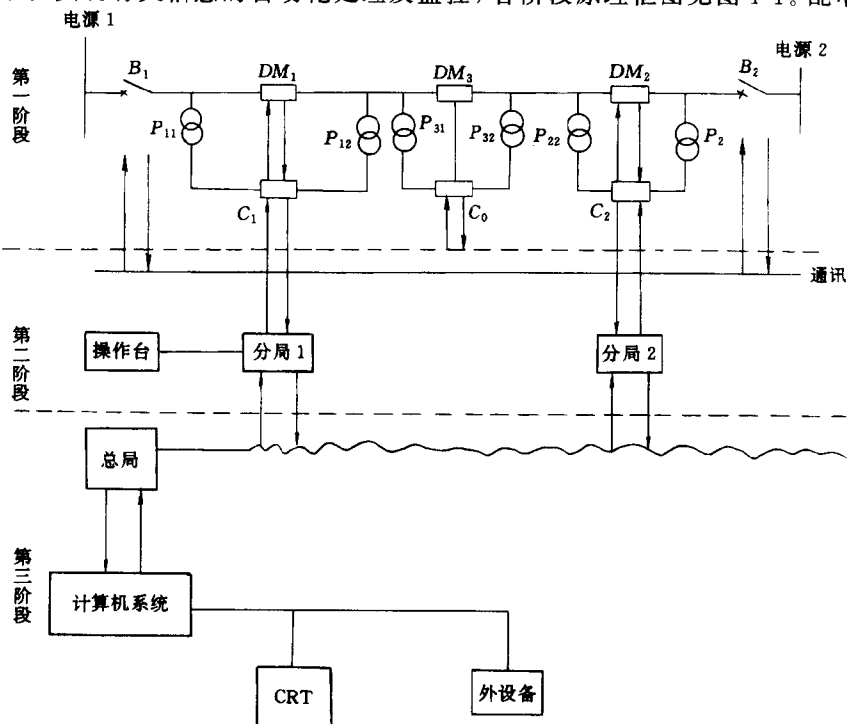


图 1-1 日本配电网发展阶段

B—具有重合功能的断路器；C—自动开关控制器；DM—配电开关本体；P—电源变压器

的自动化提高了电网的运行管理水平，具有如下特点。

配电网监视：配电网线路的电流、电压值以及开关的位置。

系统操作：检测出线路段事故并加以处理，停、送电指令，负荷调配等。

基础资料统计：每日负荷情况，线路停电、开关动作次数等。

2. 配电网自动化系统的主接线方式

配电网自动化主要决定于两个方面，一是设备的技术性能，二是配电接线方案，两者的统一和配合，组成了较理想的配电网自动化系统。

日本配电网的接线方案：配电网的接线方案与系统供电可靠性要求有关，对不重要的场合，可以采用单路单供方式，见图 1-2。

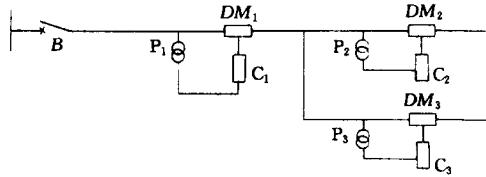


图 1-2 单电源、单供方式

B—重合断路器；DM—配电开关（负荷开关），重合器；
C₁₋₃—控制装置；P₁₋₃—电源变压器

(1) 单路单供方案接线简单，使用设备少，区段比较明显，各级开关的合闸可以通过合闸延时来调整，当负载电源侧发生故障时，将造成整个区段停电。见图 1-3。

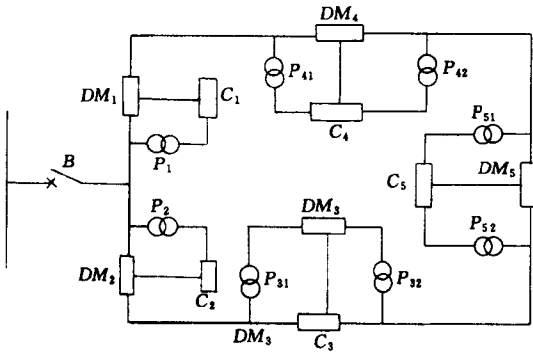


图 1-3 单回路环形供电方式

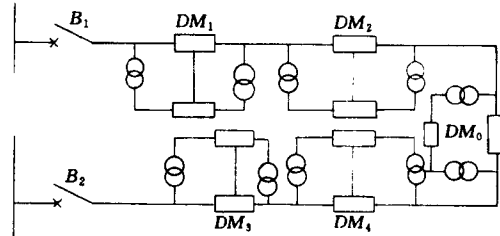


图 1-4 双回路环形供电方式

(2) 单回路环形供电方式在每台配电开关两侧各装电源变压器一台，以区别供电方向

和控制信号，比单路单供电灵活，正常运行状态，一般将 DM₅ 在开路运行，两端供电控制信号作比较，当一端失电后，DM₅ 即按预先整定时间合闸，当故障仍然存在，B 分闸后 DM₅ 也分闸实现闭锁。见图 1-4。

(3) 双回路环形供电方式比单路回路环形供电可靠性还要高，运行方式类同，正常可以在闭合运行，也可开路运行。

多电源多回路环网运行接线主要用于

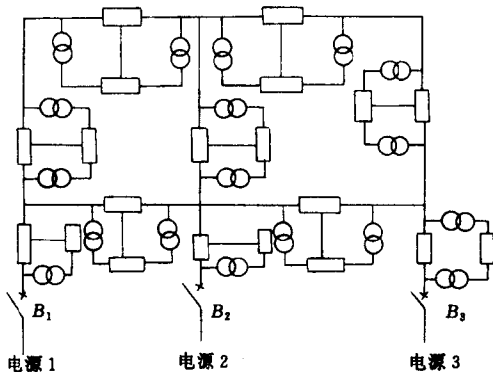


图 1-5 多电源多回路环形供电方式

城网，且供电可靠性要求较高的场合，各开关之间的时间配合应该非常准确，否则会造成失误。

双回路环形供电方式（见图 1-5）：它是由两条干线作馈电线路，这样，可以大大缩小事故和停电作业的停电范围，从而提高供电的可靠性。双回路环形供电的联络开关，有常时闭合方式和常时开路方式。常时闭合方式是将两电源通过联络开关接通，形成环路运行。这个做法，由于变电所的继电保护配合和循环电流原因，容易造成选择性继电器的误动作。因而，现在已很少使用了。常时开路方式，虽然在改善电压和提高变电所的利用率方面不如常时闭路方式。但是，它不存在上述问题，因此，目前被广泛使用。

常时开路联络开关为常时断开的，只有在特殊情况下才能合闸。因此，闭点的控制器与以前的控制器完全不同，它的动作机能是根据开关两侧的电源条件决定的：

- (1) 双电源正常供电不动作。
- (2) 双电源在经过 t 时间后变为单电源时，合闸时限时钟计时，超过合闸时限后，给出合闸动作信号。
- (3) 在合闸时限时钟计时完成后，又变为双电源性质。

第三节 英美国配电网自动化方案

英美国配电网发展较早，由于地域关系配电线路以放射型为主，电压等级为 11、4kV，中性点为接地系统。尤其是美国，简化变电站保护，线路上采用智能化重合器、分段器相配合，并大量采用单相重合器，提高用户供电可靠性。线路及设备接线图见图 1-6（在城市配电网中主要采用环网型高压开关柜，多路供电方式）。

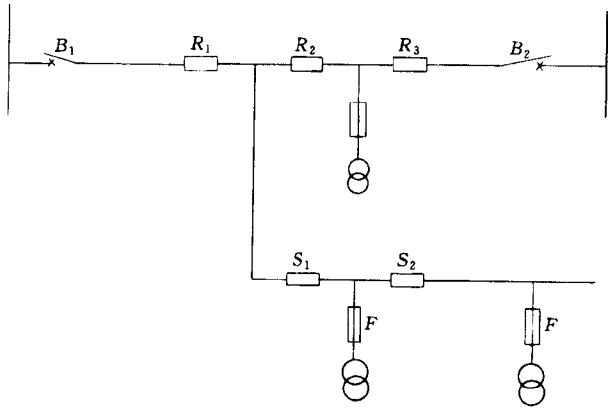


图 1-6 英美国配电网线路

B —变电站有重合功能的出线断路器； R_1 、 R_2 、 R_3 —线路重合器；
 S_1 、 S_2 —线路分段器； F —线路熔断器

美国架空配电线路的重合器采用高压合闸线圈，并具有多次重合功能，各级重合器之间利用重合次数及动作电流定值的差异来实现配合，在分支线路上采用分段器，由于分段器没有安秒特性，能够与上下级保护比较好的配合。在变电站，增设了可靠的通讯及检测装置、能清楚、准确地反应变电站内的运行状况。

对于线路上的重合器，可根据需要，安装三相或者单相重合器。当线路出现瞬时性故障，重合器自动重合，使线路恢复正常；当出现永久性故障时，由重合器、分段器配合动作自动隔离故障，使非故障线路恢复正常供电。

1. 配电网类型

美国配电网大致方案为：长配电线路，以多级重合器配合。

对于长线路，一般是放射型电路，首端短路故障电流与末端短路故障电流的差别较大，因此以某一定值保护整定具有一定的困难，但仅在首端装重合器保护效果不明显。设置多级重合器可以利用多级重合器动作电流值不同，时间的差异实现较好的配合。

配合示意图 1-7。

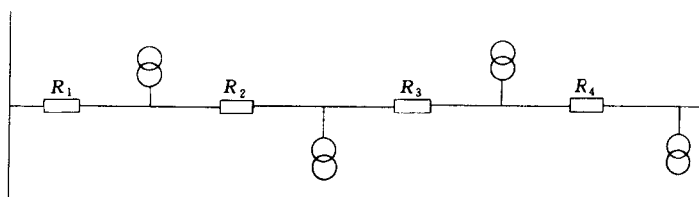


图 1-7 配电线路多级重合器

R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 —重合器

(1) 当动作次数相同，安秒曲线相同，可选择不同的启动电流。

动作电流为 $I_4 < I_3 < I_2 < I_1$ 。

(2) 当动作次数相同，电流值相同，则安秒曲线不同。

(3) 当安秒曲线及动作电流相同，则动作次数不同， $R_{n1} > R_{n2} > R_{n3} > R_{n4}$ (R_n 各重合器整定的动作次数)。

(4) 根据实际需要，选择不同的参数，使任意段发生的故障都能正确动作。

该种方案优点是各级配合比较简单，参数选择由重合器本身功能根据要求设置即可。

2. 重合器和分段器相配合

重合器具有多次重合、复位、计数次数等功能。英美国家的变电站，大多数为无人值守，变电站设备保护相对简化；为加强线路上的保护，则大量采用重合器。为了解决重合器的合闸能源，均采用了高压合闸线圈的重合器，这是与日本、中国在配电自动化方面的最大区别。

若采用高压合闸线圈的重合器，会使重合器的设计结构更为复杂，且要求有较高的制造水平和更高的可靠性。一般情况下，不对设备进行整定、校验。以一次性投入为主。可根据要求进行设置，分段器没有安秒特性，以动作次数及动作电流值来实现相互间的配合。

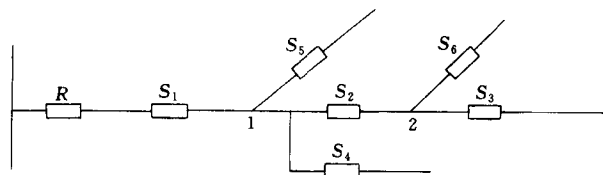


图 1-8 重合器与分段器配合的配电线路

S —分段器

重合器与分段器相配合，是配电网比较常用的方案之一，重合器具备多次重合功能，分段器具有短路故障次数记忆功能，只需要回路中的动作电流和动作次数符合分段器技术条件即可与重合器配合。

(1) 动作次数不同, 电流值相同, $n_{s1} > n_{s2} > n_{s3}$ 。 n_s 为分段器故障电流次数。在节点 1、2 上的分段器次数可以相同。

(2) 电流整定值不同。

总之, 电流整定值、动作次数都能使重合器与分段器实现较好的配合, 由于分段器仅对电流值的状态作出反应, 所以分段器不仅能与重合器相配合, 其配合效果取决于参数的选择。见图 1-8。

3. 双电源环形供电

(1) 双电源环形供电主要是对区域供电或重要用户的供电, 其主要原理是一端失电后, 另一端电源在短时间内对用户恢复供电, 不使用户供电中断。

(2) 单用户的双电源供电。单用户的双电源供电是指一路开关在工作状态, 另一回路电源在备用状态, 当因故障失电闭锁, 原供电开关分闸闭锁, 由备用回路电源供电见图 1-9。

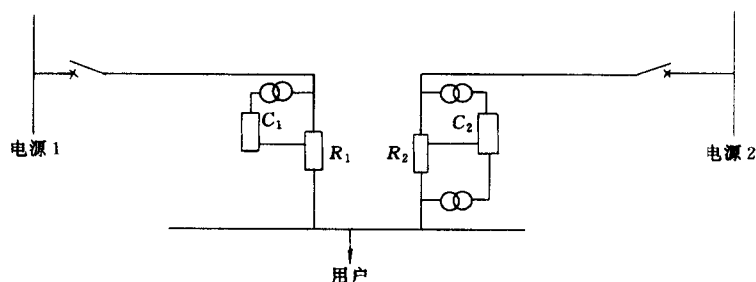


图 1-9 双电源用户供电方案

正常方式由 R_2 供电, R_1 在备用状态, 并由 R 两侧电压互感器提供信号和合闸能源。正常供电时, 电源 1、电源 2 均有信号, R_1 保持在备用状态。当 R_2 失电后, 电源 2 无信号, 则 R_1 自动合闸, 由 R_2 转为 R_1 供电, 保证了用户不停电。

4. 相互作为备用电源的环网供电方式

(1) 城网郊区型的供电方式主要采用环网供电, 这种供电方式以多用户为对象, 采用架空线路输电, 两电源相互备用。线路主干线分段的数量取决于对供电可靠性要求的选择。但是分段越多, 供电方案越复杂, 各开关之间整定越困难, 主要方案见图 1-10。

根据我国配电网及设备的生产情况, R_1 、 R_2 、 R_0 应采用具有开断与关合短路电流能力

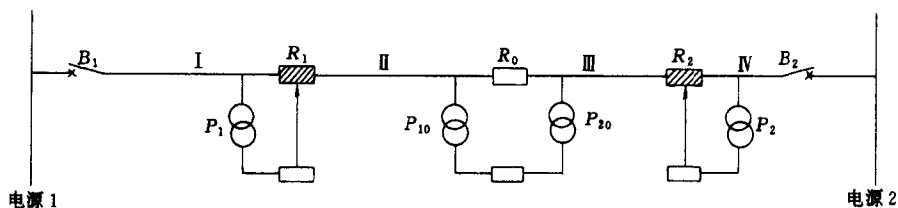


图 1-10 双电源环网供电方案

的设备,最大可能地将事故隔离在变电站以外。两端电源侧的断路器 B_1 、 B_2 应少动或不动作。 R_1 、 R_2 、 R_0 的配合时间要小于 B_1 、 B_2 的动作时间。

(2) 正常工作条件:环网供电正常时, R_0 在开断状态, I、II 段由电源 B_1 供电, III、IV 段由电源 B_2 供电。

R_1 、 R_2 在 I、III 段感应有电源后延时自动合闸 (初始在分闸状态), R_0 在 P_{10} 、 P_{20} 同时感受到电压存在时,则自动闭锁,保持在分闸状态,为了防止两电源不能同时送电而误合,可先将 P_0 置于手动位置,待 R_1 、 R_2 送电后再将 P_0 投入自动位置。如果采用遥控方式,则以遥控形式进行投切。

当 II 或 III 段发生故障时,由 R_2 动作,并在规定的次数后实现合闸闭锁。 R_0 接受一端失压信号后,延时自动合闸。

当 I 或 III 段发生故障时, B_1 或 B_2 动作在完成重合后自动闭锁, I 段或 III 失电, R_1 或 R_2 在延时一定时间后自动分闸。 R_0 在接受到一端失电后,延时自动合闸 (延时时间应大于 R_1 、 R_2 延时分闸时间),并保持在合闸位置,恢复对 I 或 III 段的供电。

当故障发生在 II 或 III 段时,各开关整定的参数不变,首先由 R_1 或 R_2 连续动作二次,如故障不能自然消失,此时 R_1 或 R_2 自动合闸闭锁,由于 R_0 感受到一端失电,在延时一定时间后应自动投入合闸,但因故障并没有消失,它将自动分闸并不再合闸,实现对故障区段的隔离。

对于城市电网环网供电方案,如果在同一线路上采用多个 R_n 相串实现相互配合,在整定定值时可能会出现不配合,应随运行方式不同变更定值及动作次数。分支线上的故障可采用分段器来隔离。

5. 五组重合器的供电系统

对于城区供电网络,为了提高供电可靠性,将两个电源互相连接,各自作为备用,由于用户分布比较多,两电源之间采用多组重合器作为分段,见图 1-11。

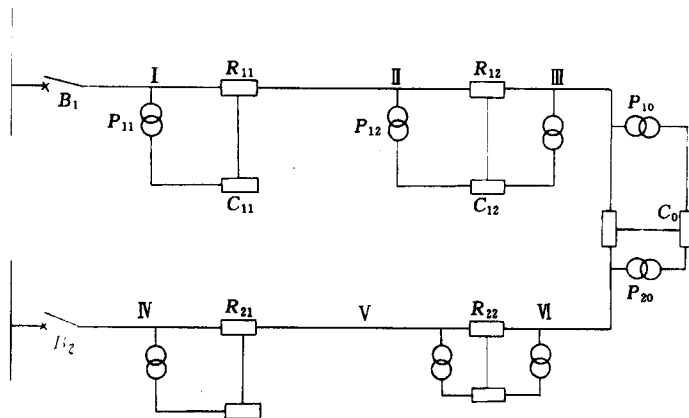


图 1-11 多组重合器的环网供电方案

五组重合器的环网供电方案是环网线路较长,供电可靠性要求不高的用户,太多的重合器串联分段除整定上的配合较为困难外,在供电的实际应用中也没有更大的必要,在分

支线用户上可以采用一次计数的分段器来配合。

当Ⅰ段发生故障时, R_{11} 、 R_{12} 保持在合闸位置, 如瞬时故障 B_1 重合, 完成送电。

当永久性故障, B_1 再次分闸后, 分闸并闭锁。 R_{11} 失电延时自动分闸, R_{12} 分闸, R_0 经延时后合闸, R_{12} 延时自动合闸, 恢复Ⅱ段供电。

当Ⅱ段发生故障, R_{11} 跳闸并闭锁, B_2 保持在合闸位, R_{12} 延时自动分闸, 由 R_0 合闸对Ⅲ段供电。重合后恢复正常。

从以上分析, 对于五组重合器应用中, R_1 、 R_{12} 的整定值必须与 R_0 配合好, 重合器动作的安秒特性必须具有明显的区别。对于五组及以上的环网电路, 一般以电压型判断的重合分段器为宜。

对于环网供电方案的配电系统, 关键是各组自动配电开关的动作时限配合, 特别是 R_{22} 、 R_{12} 组自动开关, 如何与 R_0 组自动开关配合非常关键, 当 B_1 电源端发生永久性故障时, R_{11} 能自动分闸, 不影响其他组自动开关, 当 B_2 电源段发生故障时 R_{12} 能与 R_0 配合, 保证 R_{12} 或 R_{22} 分闸而 R_0 、 R_{21} (R_{11}) 不分闸, 这样就能使故障段有选择地排除。

从五组自动开关配合情况看, 如果能使每一段都能得到较好的保护, R_{12} 、 R_{22} 、 R_0 在自动开关两侧, 同时装有电压信号源, 以作为信号的判断方法和提供相应的合闸能源, 并根据信号接受的状态, 执行相应的功能。由于我国配电系统主要以户外型为主, 国产化的开关设备一般又具有短路电流开断能力, 因此一般采用故障段自动分闸的功能。

各段动作原理分析如下。

B_1 电源段故障: 各开关的动作次数及电流值整定为电压信号从 P_{11} 、 P_{12} 、 P_{10} 获取, $I_{11} > I_{12} > I_0$, 动作次数 $n_{11} > n_{12}$ 。同理, B_2 电源段电压信号从 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{20} 获取, $I_{21} > I_{22} > I_0$, $n_{21} > n_{22}$ 。 R_0 在任一侧电源启动时, 首次关合到故障电流即实现分闸后闭锁功能。

Ⅰ段瞬时性故障: B_1 动作、 R_{11} 、 R_{12} 保持在合闸位置。同理, Ⅱ段瞬时性故障, B_2 动作 R_{20} 、 R_{22} 保持在合闸位置, R_0 的动作时间应大于 $B_1 B_2$ 重合闸时间。Ⅰ段永久性故障, B_2 的动作为四次分闸或二次分闸, 均无关系。

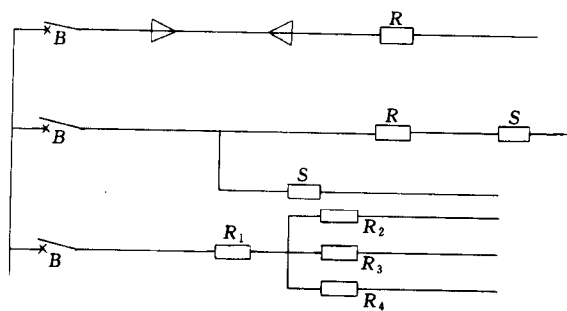


图 1-12 英国短线路配电网方案

英国配电网自动化方案与美国相似, 对于配电网架空线路与电缆具有不同的保护方式, 其主要目的是减少线路上出现的故障, 见图 1-12。

对于电缆出线的电路, 一般是在城市电网中采用, 用户的供电方案主要采用双电源来实现; 对于架空线路, 一般采用重合器和分段器实现自动化功能。重合器、分段器

的应用, 主要决定于供电方案和设备选择的结果, 分段器与重合器串联在电路中, 重合器在电路中可以串联也可以并联, 取决于保护配合的要求。

第四节 我国配电网自动化发展现状

1. 我国配电网发展的基本状况

长期以来,我国的电力部门重发电、轻用电的现象比较严重,将主要精力放在大电网、大机组上,对配电网用电质量及可靠性重视不够,忽视了配电网的重要性和特殊性,使配电网的技术发展受到严重的影响,造成了配电网供电可靠性差、设备落后、不安全的因素较多的状况。

随着我国电网的发展,对配电网供电的可靠性要求越来越高,对配电网的重要性及发展有了新的认识,意识到配电网的安全、可靠性和自动化也直接影响大电网的运行和经济效益。因此,采用什么样的方法来提高配电网供电的可靠性,成了电力部门和用户十分关心的问题。当然,供电可靠性是产品的质量、设备的配置和方案的优化,网络的结构、供电环境、技术管理、设备的应用等多方面因素决定的。

我国的配电网系统按传统的观念可分为城网和农网,随着地区经济的发展,相当多的地区农网与城网的差别越来越小。但是经济发达的程度差别还是存在,对于配电网的自动化及可靠性应因地制宜,以解决实际问题为出发点,以实用化为原则来考虑配电网的规划和发展,城网供电负荷相对集中,供电环境比较好;而农网供电范围较大,线路路径较差,威胁供电的安全不利因素较多,事故机率高,事故的查找困难,花费时间长。但是,无论是城市或是农村电网,提高供电可靠性和送电率,关键问题是如何将线路出现的故障用最快的、最简便的办法消除,既节约投资又解决实际问题。

近几年来供电部门对配电网的设备进行了大量的技术改造和更新,选用了新型的配电设备,例如真空、六氟化硫型开关设备、调度自动化设备、自动控制测量装置等。这些设备多数在变电站中采用,而对户外的配电线路,是事故的发源点,并没有引起足够的重视,有许多供电部门已将户外柱上六氟化硫断路器或真空断路器安装在配电线路上,作为一般的分段开关使用,并没有充分发挥柱上断路器的作用。由于农网线路大多数在户外的空旷地带,外部环境和意外的情况对配电网的可靠性有很大的影响,大量的统计资料表明,配电网的事故占电网总事故的95%以上,而配电事故中瞬时故障又占90%,永久性故障仅占事故的10%左右。因此,提高配电网可靠性仅从调度自动化这一方面考虑是远远不够的,应该综合治理。立足于消除事故的发源点,增设配电线路的配置和自动化设备的应用是重要的。

2. 我国配电网的主要特点

我国配电网以10~35kV为主,几十年来,由于城市和农村各种因素所造成的差别,各自形成了相应的特点:

(1) 农村配电网短路容量小,一般在100~200MVA。而城市配电网短路容量大,在200~300MVA左右。

(2) 配电网直接与用户发生关系,需求量大。尤其是近几年工农业的发展,社队企业

的兴起,配电线路不断延伸,配电变压器在增加,据1993年全国农网统计,35~110kV变电站已达14400多座,全国平均每年增加1000座左右。供电范围在扩大,配变容量在增加。

(3)农村配电网负荷分散,供电半径大,线路长。有的10kV配电线路长达几十公里,线路维护工作量大。城市负荷相对集中,布点多,但事故影响大。

(4)配电网事故受外界影响因素较多,尤其是架空配电线路,因雷击、鸟害、大风及树林的影响,造成瞬时故障和永久性故障的机率高,供电可靠性差。有的地区事故跳闸率高达8次/百公里。

(5)线路长,负荷变化大,末端的短路电流与最大负荷电流相接近,保护配合困难,熔断器的保护性能受运行环境的影响,上、下级配合困难,尤其是主变压器保护,问题较多,不能满足保护配合要求。

(6)配电网设备及控制装置技术性能落后,是事故率高的主要原因。目前,采用油断路器作为配电网的主要设备,由于油断路器介质容易劣化,连续开断几次短路电流,就应进行检修,否则就不能保证断路器原来的开断性能。如再次发生短路故障,可能引起保护开关爆炸和烧毁的严重后果。

为此,电力运行部门明确规定,油断路器一般不投重合闸装置,在开断五次短路故障后应进行一次检修。将原规定的“分—0.5s—合分—180s—合分”的标准操作循环,改用为单分的操作,一旦线路发生故障(瞬时故障或永久性故障),保护开关不再重合。由于线路长,分支线多,查寻工作困难,给运行人员加大了劳动强度。

另一方面,电力系统的规模越来越大,检修的任务增加,不得不以牺牲供电的可靠性来减少设备的维护次数。

3. 我国配电网自动化发展的基本状况

我国的配电线路中,仍是油断路器作保护开关占相当大的比例,一条线路长达几十公里,配电变压器多达上百台,配电变压器采用老式的熔断器作保护,可靠性差。常常是当线路中有一点故障,就导致全线停电。为了将长线路分段,采用柱上多油断路器作分段保护,但由于柱上油断路器性能差,经常发生爆炸、喷油事故,直接影响人身的安全。

配电网的事故统计表明,大量的事故是由变电站以外的配电线路中的意外情况引起的。特别是配电变压器,数量多,引起的事故率高,约占事故的90%。所以,提高配电的供电可靠性关键是在线路上解决如何让事故不影响保护开关的工作状况。目前对配电网的自动化主要以调度为基础,强调对站内设备进行操纵及遥控、遥信、遥测,而对于开关跳闸的原因,如何清除线路的故障或排除线路故障区域,恢复正常线路的供电,没有采取切实可行的办法,对线路中出现的瞬时性故障恢复正常仅起到一定的作用,配电网的供电可靠性还是没有很大的提高,线路运行人员查询线路故障的工作量并没有得到根本的改善,有些地区采用故障检测装置,效果并不明显,故障没有隔离,仍然影响配电系统的供电质量,造成事故的扩大或长时间的停电。因此,要提高供电的可靠性和配电网的自动化程度,除了在调度自动化方面开展相应的工作外,还应加强配电线路的故障判断功能和排除故障的能力,将故障区域缩小到最小的范围,从而使非故障线路能正常供电,运行人员也可从容地

进行故障的处理，减少对故障点查寻的劳动强度。

4. 我国配电网采取的自动化方案

由于配电网自动化给社会及电力系统带来的经济和社会效益是十分显著的，我国目前已步入了配电网自动化发展的前期，城市电网实行技术改造，在主设备选型上作了重大的技术方案，取消油（灭弧）断路器，采用真空断路器，实行环网供电方案，并积极采用负荷开关和熔断器配合，快速对故障进行隔离。引进美、日等配网自动化设备进行试点，开辟我国自动化实施的途径。农网从1987年引进国外设备进行试点，以单元、分布的结构形式，提高电网自动化水平，采用分段器、重合器以切除、隔离故障，有效地提高了供电可靠性及自动化程度。结合农村电网的特点和发展，农网以小型化方案建成的变电站已具备了无人值班的条件。

(1) 城市电网以环网供电方式为主。城市户内型的环网供电方案主要提高用户供电可靠性，利用负荷开关快速开断配电故障，典型的接线方案如图1-13。

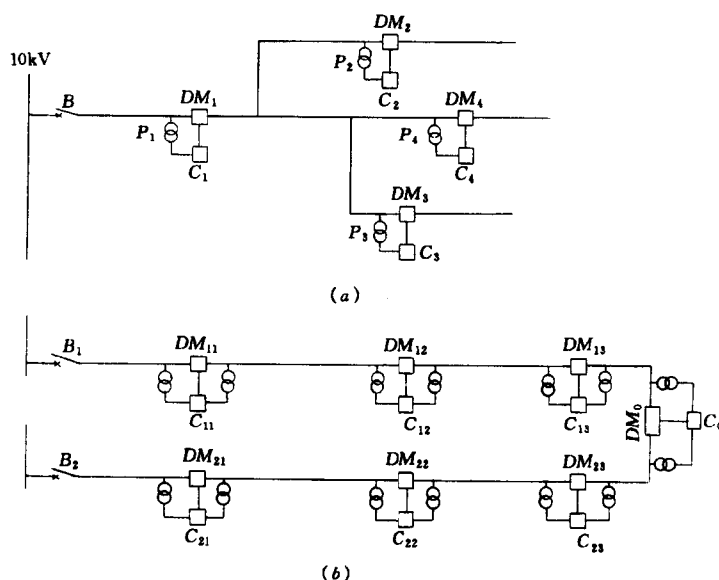


图 1-13 自动配电开关应用示意图

(a) 为放射型配电网；(b) 为环型配电网

B—断路器；DM—自动配电开关；C—控制器；P—电源变压器

(2) 重合断路器与自动配电开关的配合。重合断路器安装在变电站内，用作保护开关，具有二次重合闸功能。自动配电开关安装在线路上，有电压延时自动合闸。增设故障探测器、遥控终端 RTU 及中央控制中心，可组成配电网自动化系统。自动配电开关又具有分段器功能，控制中心对线路中各点的自动配电开关可进行控制。

自动配电开关是依靠控制器对电压信号的有无来进行故障判断的。当线路开始有电压时（保护开关带电合闸），电源变压器受电后向控制器提供有电信号，控制器按预先整定的延时时间（用 X 表示）进行合闸，X 时间根据需要自行设定，用以区别同一并联支线上有

两台以上自动配电开关时的合闸顺序。 X 时间在 $7\sim 15\text{s}$ 。

自动配电开关控制器是根据发出合闸信号到线路上无电的时间来判断故障，故障判断时间用 Y 表示， Y 时间的整定值小于 X 时间，并在安装时调整好，见图 1-14。

当 y 时间小于整定值 Y 时，控制器判断这次线路失电是本开关合闸引起的，即认为有永久性故障存在。当首端再次送电时，控制器不再发出合闸信号，即实现合闸闭锁，需清除线路故障后人工复位。

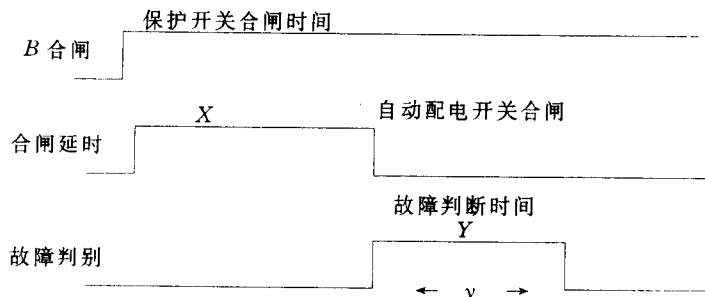


图 1-14 X 、 Y 时限图

X —从接受电压信号到控制器发出合闸信号的时间； Y —指故障判断时间，作为故障的判断的比较时间； y —从合闸开始计时，与 Y 时间作比较： $y \leq Y$ ，是故障， $y > Y$ 时，为正常

当线路中其它自动配电开关处于正常运行状态， y 时间已大于整定的 Y 时间，任何故障，都不再进行计时比较判断。当自动开关在第一次合闸时即有故障存在，按 y 时间小于 Y 时限，则判断为故障，不再执行下次合闸。

(3) 引进自动配电开关控制器存在的问题。由上可知，自动配电开关控制器是自动配电开关的核心，决定着它的性能和可靠性。但从引进的自动配电开关的特性来看，不符合我国配电系统的要求，主要存在以下问题：①非故障线路自动配电开关不必要的多次合分。由于引进的自动开关完全等同于电压控制型，在无电压的条件下就自动分闸，这样，就造成在同一线路上所有的自动开关也随同保护开关一样合或分。我国配电网拉闸限电的次数较多，保护开关经常性进行合分操作；加上瞬时故障时的动作，使自动配电开关的动作次数大大增加。如此频繁地动作，将导致设备可靠性降低，减少寿命。②恢复送电时间过长。自动配电开关为了区分故障的区段，各级开关的合闸必须有明显的时间差，同时合闸延时时间 (X) 要明显大于故障判断时间 (Y)，尤其在并联组数较多时，最末级完成合闸的时间达几十秒种，使恢复送电时间明显加长，影响供电的连续性。③自动配电开关不具备计数功能，只是依靠一次合闸时间来判别，对只有两次重合闸即可消除的故障将不能恢复供电。

(4) 新型自动配电开关控制器的特点。为了适合我国配电网的特点，克服上述控制器存在的问题，进一步提高自动配电开关的可靠性及供电连续性，电力部农村电气化研究所研制出一种具有选择性的 C_1 自动配电开关控制装置，解决了目前自动配电开关控制装置存在的问题：①对故障段的选择性。新型自动配电开关选用的开关本体具有在合闸状态下机构锁定的功能，故线路失电后不会自行分断；分闸必须由控制装置发出信号，而发出分闸信号的条件为：首先有故障电流流过自动配电开关，控制器判断发生的故障区段，待上级

开关分闸切除故障电流后, 配电开关检测到无电流和无电压的条件下, 执行分闸功能。②缩短了恢复供电的时间。由于非故障段的自动配电开关在上级开关分闸后不因失电而分闸, 当上级开关重合后仍然保持在合闸状态, 没有延时, 因而故障区段的自动配电开关也可缩短合闸的延时时间, 从而缩短恢复送电时间。③具有多次计数功能。新型自动配电开关具有对通过的故障电流进行1~4次计数的功能, 没有安秒特性, 可以通过调整动作电流值和动作次数与保护开关之间实现良好的配合, 不受上一级开关重合次数的限制, 可消除瞬时故障。④可以用多组自动配电开关配合。新型自动配电开关的动作电流、动作时间、故障计数次数都可以按需要进行整定, 应用方便、灵活, 适用于不同场合的配合要求。⑤增设了接地故障判别功能, 可以对接地故障电流及动作计数次数进行整定, 能自动对接地故障进行检测及隔离。⑥与遥控系统配合方便。由于控制器可用数字信号或模拟信号驱动, 可方便地与遥控遥测系统配合, 达到遥控、遥测的目的。⑦控制器配用于断路器作为重合器, 当控制装置配用于具有开断短路故障能力开关时, 可调整控制装置的程序拨位开关, 使之成为一种新型重合器, 并设置合、分闸延时时间, 不同的故障电流整定值及短路故障动作闭锁次数等功能。

由于自动控制装置配用开关后, 能自动检测到线路的故障, 并执行分闸, 减少了保护开关的动作次数, 提高了主保护开关的可靠性。

(5) 农网(放射型)配电网自动化方案: ①重合器、断路器、分段器配合使用的基本特点和要求。重合器是一种具有保护、检测、控制功能的自动化设备, 具有不同时限的安秒曲线和多次合闸功能, 能对合闸次数和时间进行记忆和判断。分段器具有对通过短路故障电流的次数计数的功能, 能自动进行合、分闸操作, 在达到规定的计数次数后自动分断, 从而隔离故障, 它可与重合器进行较好的配合。

国外配电网主要以放射性的网络, 采用重合器和分段器作为配电网的主要设备, 利用重合器的多次重合功能, 排除线路的瞬时故障, 利用分段器的记数和自动分断功能排除永久性故障, 确保非故障线路的正常送电。对于瞬时故障, 自动分段器能在规定的时间内进行记数和复位。由于重合器具有多项功能, 可重合1~3次, 具有定时限和反时限的保护特性, 具有故障开断次数的计数, 正常运行下的复位和延时, 与分段器的配合准确, 保证了线路供电的可靠性和故障判断的正确性。②DFW-10(F)型跌落式分段器与断路器的配合。DFW-10(F)型跌落式分段器是根据国外同类产品的原理, 结合我国配电网的实际要求, 加以改进, 由电力科学研究院研制的新成果, 分别于1990年和1992年由原能源部和机械部鉴定, 并获得了国家级新产品奖和专利。

DFW-10(F)型跌落式分段器是一种以电子控制的单相开关设备, 其外形于普通的熔断器相似, 体积小, 安装方便, 使用灵活、动作可靠, 分段器在线路上的应用, 能大大地提高线路供电的可靠性, 减少配电线路故障查找时间。

该分段器与上一级的保护开关配合使用, 对目前电力系统中所采用的保护方案“分—0.5s—合分—180s—合分”不作任何改变。

(6) 目前采用分段器的基本条件。考虑到配电网供电的安全性及设备的维护工作, 相当多的配电网对保护方案采取了保守的方法, 断路器一般不投入重合闸装置, 即使线路发生的是瞬时故障, 也不进行重合, 造成了不必要的停电, 更为突出的是给线路的故障查寻