

# 配电自动化 开关设备

王章启 顾霓鸿

PEI DIAN ZI DONG HUA KAI GUAN SHE BEI

中国电力出版社

封面设计：范文东

ISBN 7-80125-793-6



9 787801 257932 >

科技新书目：357-323

ISBN 7-80125-793-6/TM·557

定价：15.00 元

# 配电自动化开关设备

王章启 顾霓鸿

中国电力出版社

## 内 容 提 要

本书对服务于配电自动化的分段器、重合器等各类开关设备的品种、功能、结构及控制原理作了较全面的介绍,着重阐述了它们之间如何相互配合以实现自动隔离故障区段的目的;对与应用配电自动化开关设备直接相关的配电系统知识,如配电系统常见接线方式、短路电流计算、各类线路开关设备应如何选择定位才经济合理等也作了必要的介绍。

本书是编著者长期从事开关设备的科研、试验、运行管理及高压电器教学的基础上编写的,力求简洁明了、通俗易懂,但又不失系统性、实用性和先进性,即使是不得不点到的“老生常谈”问题,也注重让读者从中获得新的认识和启迪。

本书的主要读者对象是与配电自动化开关设备相关的科研、设计、制造、运行的工程技术人员,也可供大专院校相关专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

配电自动化开关设备/王章启,顾霓鸿编著.-北京:  
中国电力出版社,1999 重印  
ISBN 7-80125-793-6

I. 配… II. ①王… ②顾… III. 配电系统-自动开关  
IV. TM643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 09277 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京通天印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

1995 年 6 月第一版 2002 年 2 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 11.375 印张 248 千字

印数 8701—11700 册 定价 15.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

## 写在重印之前

在缓解“用电有无”这个主要矛盾和先行起动输电自动化后，我国电力建设终于在配电网的现代化和自动化改造上拉开了序幕。广大电力从业人员开始思考在当前技术、经济条件下如何进行配电自动化建设。配电自动化离不开自动化的配电网结构和与之相适应的开断设备，因而希望了解这方面知识的人越来越多，这是本书得以重印的背景所在。

配电自动化 (distribution automation) 是一个内含极广的技术概念，它涉及电网结构、一次、二次硬件设备及供用电管理策略与水平三大方面，且在不断发展中，谁也难下一个定义说明何为实现了配电自动化，因为技术的发展是无止境的，不断有新技术、新设备应用于电网建设。但是配电网自动化又是相对于自动化程度极低（或无自动化可言）的传统配电网而提出的，应该说在自动化程度上相应于原有电网有明显改进，就是在做配电自动化的工作了。因而视自动化程度的不同可以将配电自动化分成不同的层次。纵观国内外配电自动化进程，以故障隔离和负荷管理为线索大致可作如下划分：

(1) 借开关的多次动作及动作配合自动隔离故障区段，使停电范围和停电时间限制到最小。

本书图 2-20~图 2-24 (P52~P58) 所述的各种故障隔离模式尽管有用集成微电子器件实现其控制功能的，但都可以用不带微机的重合器、分段器来实现。即便是图 4-39~图 4-41 (P240~P241) 中动作后可改变动作电流的模式也可用分

立元件的电子控制器来实现。这种靠各开关的控制器整定配合来实现故障段隔离的模式可称之为“就地智能”式。这种隔离模式，主干线上串接的重合器、分段器愈多，在自动隔离故障过程中，无故障段用户所感受的短暂停电次数或时间就越多或越长，这说明其自动化层次还不高。

(2) 借助专设通信线和微机只需线路开关一次动作即可达到最大限度的减小停电范围和停电时间。

这种隔离故障区段的模式除开关的控制器必须用微机(如 8031、89C52、80C196 等)外，还必须随杆架设电站开关(断路器或重合器)与各线路分段开关间的通信联络线。例如，我们以本书图 2-24 (P58) 的故障为例，可使双侧变电站开关(甲电源为 A)控制器的 CPU 工作于主机(master)状态，各线路分段开关(包括常开型 E)则工作于从机(slave)状态，每个从机有不同地址，都与主机保持通信联络。例如故障仍在 c 段，电站开关 A 和线路开关 B、C 都将察觉到故障，主机(A 控制器)CPU 将发出命令使开关 A、B、C 合闸或保持合闸，D 分闸，E 合闸，而迅速隔离故障区段。这种隔离故障的方式，若是接地故障(对中性点不接地系统或经阻抗接地而接地短路电流不大的系统)，可以做到健全段不断电，若是相间永久性故障，健全段最多停电一次(指短时停电几秒钟，不包括瞬时重合闸的无电流间隙)。显然，这较之前述多次动作的方式减少了停电时间和次数，但需增设专线沟通。专设线缆至少应有两对通信线，一对供短路故障的跳闸控制用，以保证短路保护的快速响应；一对供下述正常运行和接地故障(允许较长时间存在)情况下的“四遥”用，主从机间经 Modem 沟通。

(3) 以遥信、遥测、遥控、遥调为特征的计算机实时监

控。

这是当前技术条件下层次最高的配电自动化模式，且其功能和内容尚在不断扩展和增加。但就相间短路故障的切除而言，它必须以“专设通信”为基础，或是成功地应用了 FACTS 技术或超导限流装置等高新技术。四遥主要是针对电能、电量、供电质量的优化管理及事故后的供电恢复而言。简洁地说，即可据短路保护和负荷管理的需要，变电站工控主机能对小区变电站、箱式变电站或独立的柱上开关设备进行遥控操作；对流经这些开关的电流、功率或电压进行遥测；对这些开关的合分位置、机构储能情况或变压器的重要保护信息等实行遥信；对有载调压的变压器及网络重构后的保护动作参数实时遥调；对各下级设备的 RTU (Remote Terminal Unit) 定期对时；对高低峰用电实时调价等等。在各主控室有丰富的图形、报表及曲线处理能力。这个层次的自动化程度是没有穷尽的，系统的安全、稳定及抗灾变能力可达到目前还以为难以实现的程度。

此外，还需特别说明的是前面已提到的本书图 2-24 中的故障隔离过程，书中没有提到利用 D 分段器在  $x$  时限内的失压而使 D 闭锁，是因为笔者认为这种辨识方法欠可靠，因为当正好是提供给 D 控制器辨识是否重新加电压的相线被短接时，D 根本感受不到有  $x$  时限发生。

由于地区经济发展的不平衡，各地对配电自动化涉入的先后不一，各地的地理特征和负荷分布情况也万别千差，哪怕一个小区域的电网规划，也要涉及负荷的预测和管理保护水平的确定，因此就全国或某省的大范围而言，都不可能提倡或强制推行某一自动化模式，只可能是引导各地以最合理的投入获得最佳的预期目标，使配电网的自动化程度逐步向

高层次推进。好在本书收录或提出了多种实用技术或方案，一、二次设备的关键技术问题都有所涉及。在我国的配电自动化进程已实实在在地起动之际，愿本书的重印能为这一进程的加快起到应有的推动作用。

编 著 者

1999 年 3 月



## 前 言

配电自动化是技术进步的必然结果。要求供电线路没有停电事故是不可能的，但应用配电自动化达到停电频数少、时间短、供电恢复快则是完全可能的。这是配电自动化的第一个直接目标。接下来的要求是开关设备具备遥信、遥测、遥控、遥调的能力。这就要求有现代化的电网格局和与之相适应的开关设备。此外，为减少配电系统开关设备的投资而获得最佳的造价—收益比，必须有恰当的设计配合方案。要达到上述目的，必须有对这些开关设备及其配合使用透彻了解与掌握的人。本书正是在我国电力建设高速发展，配电网模式急需现代化改造，开关设备急需更新换代、推陈出新的背景下撰写的，希望它能为新技术的推广应用及人材的培养成长起到应有的推动作用，能对我国的配电自动化和现代化产生积极的影响。

断路器、熔断器本来是大家熟知的传统开关设备。鉴于它们与重合器、分段器的恰当配合，能起到自动隔离故障区段的目的，在讲解重合器、分段器的作用时离不开它们，它们与自动重合器、自动分段器已成为有内在联系的开关设备群体而存在；加之，很多重合器、分段器的开关本体部分是真空和六氟化硫开关，它们不象油开关那样为人们所熟悉，新型熔断器在结构上和性能上与老式熔断器相比，也作了很大改进。因此，本书在第二章中以相当的篇幅对真空、六氟化硫开关和熔断器作了必要的阐述。

新型成套组合电器既考虑了电网从运行控制的整体上对

开关设备的要求，又考虑了开关及其它电器元件之间的相互配合，往往集显示、保护、监控、自诊断于一身，能自行决定要否动作及如何动作，能远距离收发数据信息。成套组合电器是当然的配电自动化开关设备，代表着开关设备的发展方向，因此在本书中占有适当的位置。

第三章则是四、五两章乃至全书的基础，与全书各章节间互相呼应，力图使读者对开关设备的功能设置及其与系统结构、运行要求之间的内在联系有清晰的认识，对常用的短路电流计算方法有切实的理解和掌握。

全书取材于国内外大量文献、资料、会议论文、报告，也融进了编著者自己多年来的工作和所感所悟，该深的地方切中问题本质，该广的地方点到即止，让读者了解一个梗概。书中给出了一些适用的图表数据，并将电力主管部门对我国电网设计改造有指导作用的有关资料摘录附于书后，供使用。本书从基本概念的阐述到有关设备原理及应用举例都力求由面及点、居高临下、通俗易懂、简明实用，以利于扩大读者范围，使不同岗位的读者都能各有所得。

电力工业部水电农电司向世隆、杨洪义高级工程师（教授级）对全书作了仔细认真的审阅，提出了许多宝贵的改进意见，并提供了有价值的资料。华中理工大学电工理论教研室孙敏副教授对第三章的部分内容提出了认真的修改意见。在此一并致以深切的谢意。

由于编著者水平所限，难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

1994年11月

# 目 录

写在重印之前

前 言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. 绪论                   | 1  |
| 1.1 城乡用户要求配电系统现代化       | 1  |
| 1.2 配电自动化的层次            | 2  |
| 1.3 当前技术条件下的配电自动化       | 4  |
| 1.3.1 故障自动定位和迅速切除故障     |    |
| 1.3.2 以“四遥”为特征的         |    |
| 计算机实时监控                 |    |
| 1.3.3 灭弧介质的无油化          |    |
| 1.4 配电自动化开关设备的开发应用现状及前景 | 11 |
| 1.4.1 配电自动化涉及的开关设备      |    |
| 1.4.2 配电自动化开关设备现状       |    |
| 及前景                     |    |
| 参考文献                    | 16 |
| 2. 配电自动化高压开关设备          | 18 |
| 2.1 自动重合器               | 18 |
| 2.1.1 重合器的功能及特点         |    |
| 2.1.2 重合器的品种及典型结构       |    |
| 2.1.3 重合器电子控制器          |    |
| 2.1.4 重合器的时间-电流特性曲线     |    |
| 2.2 自动分段器               | 48 |
| 2.2.1 自动分段器种类及结构        |    |
| 2.2.2 过流脉冲计数型分段器        |    |
| 2.2.3 电压-时间型重合式分段器      |    |
| 2.2.4 分段器的电子控制原理        |    |
| 2.2.5 分段器特征小结           |    |
| 2.3 自动节能投切装置            | 64 |
| 2.3.1 线路补偿电容器自动投切装置     |    |
| 2.3.2 配电变压器节能自动相        |    |
| 数转换开关                   |    |
| 2.4 真空开关                | 68 |
| 2.4.1 概述                |    |
| 2.4.2 真空的绝缘特性           |    |
| 2.4.3 真空电弧的熄灭           |    |
| 2.4.4 真空断路器在使用中的几个问题    |    |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 2.5 六氟化硫开关.....                                   | 83  |
| 2.5.1 概述 2.5.2 六氟化硫的绝缘特性 2.5.3 六氟化硫的灭弧特性          |     |
| 2.6 熔断器及熔断件.....                                  | 98  |
| 2.6.1 工作原理及有关术语参数 2.6.2 熔断器的分类及结构                 |     |
| 2.6.3 值得注意的几个问题                                   |     |
| 2.7 新型成套组合电器.....                                 | 115 |
| 2.7.1 环网开关柜 2.7.2 箱式变电站 2.7.3 充气开关柜               |     |
| 2.7.4 熔断器-接触器组合开关柜(F-C回路开关柜) 2.7.5 成套组合电器的智能化     |     |
| 2.8 配电开关设备的远动控制与监测.....                           | 126 |
| 2.8.1 无线寻呼移动通信 2.8.2 高压开关设备“四遥”的实施方法              |     |
| 参考文献.....                                         | 134 |
| 3. 配电系统结构及故障电流计算 .....                            | 138 |
| 3.1 配电系统的常见接线方式.....                              | 138 |
| 3.2 单相短路电流及三相对称短路电流的计算.....                       | 141 |
| 3.2.1 短路概述 3.2.2 标么制与标么值, 阻抗百分比                   |     |
| 3.3 短路接地故障的计算与分析.....                             | 154 |
| 3.3.1 对称分量法及序阻抗、序网络 3.3.2 单相接地故障的计算               |     |
| 3.3.3 不同接地方式的故障特点                                 |     |
| 3.4 故障电流计算步骤与方法小结.....                            | 167 |
| 3.5 停电后负荷再启动所引起的短时浪涌电流.....                       | 171 |
| 参考文献.....                                         | 175 |
| 4. 开关设备的动作配合 .....                                | 177 |
| 4.1 概论.....                                       | 177 |
| 4.1.1 传统的三段式过流保护动作配合的基本原则 4.1.2 开关设备的基本技术参数及其选择应用 |     |
| 4.2 喷逐式熔断器之间的配合.....                              | 183 |
| 4.2.1 利用时间-电流曲线选择熔断件 4.2.2 用配合表选择熔断件              |     |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 4.3 限流熔断器配合.....                  | 189 |
| 4.3.1 电源侧限流熔断器与负荷侧喷逐式熔断器的配合       |     |
| 4.3.2 负荷侧限流熔断器与电源侧喷逐式熔断器的配合       |     |
| 4.3.3 限流熔断器与限流熔断器的配合              |     |
| 4.3.4 后备限流熔断器与喷逐式熔断器的组合使用         |     |
| 4.4 保护变压器、电容器及电动机的熔断器选择.....      | 195 |
| 4.4.1 保护变压器的熔断器选择                 |     |
| 4.4.2 保护电容器的熔断器选择                 |     |
| 4.4.3 保护电动机的熔断器选择                 |     |
| 4.5 重合器与熔断器的配合及“K”系数.....         | 203 |
| 4.5.1 重合器与电源侧熔断器的配合               |     |
| 4.5.2 重合器与负荷侧熔断器的配合               |     |
| 4.6 断路器(继电器)与熔断器的配合.....          | 208 |
| 4.7 重合器与重合器的配合.....               | 214 |
| 4.7.1 液压控制重合器的配合                  |     |
| 4.7.2 电子控制重合器的配合                  |     |
| 4.8 重合器与断路器(继电器)的配合.....          | 223 |
| 4.9 分段器与重合器及熔断器的配合.....           | 226 |
| 4.9.1 液压控制分段器与重合器的配合              |     |
| 4.9.2 电子控制分段器与重合器的配合——各种抑制功能及应用举例 |     |
| 4.10 重合器的误动作.....                 | 235 |
| 4.11 重合器、分段器在环网供电中的应用.....        | 237 |
| 4.12 自动负荷转换供电.....                | 242 |
| 4.12.1 用电子控制开关实现转换供电              |     |
| 4.12.2 用重合器实现转换供电                 |     |
| 参考文献.....                         | 244 |
| 5. 配电系统中开关设备的选用方法.....            | 246 |
| 5.1 引言.....                       | 246 |
| 5.2 预备知识.....                     | 247 |
| 5.3 用于定性选配开关设备的方法.....            | 251 |
| 5.4 与“成本-收益”法相关的基础知识及数据.....      | 255 |

|                         |               |               |
|-------------------------|---------------|---------------|
| 5.4.1 基础知识              | 5.4.2 数据      |               |
| 5.5 使用开关设备的收益计算         |               | 259           |
| 5.5.1 电源侧断路器            | 5.5.2 柱上自动重合器 | 5.5.3 柱上自动分段器 |
| 5.6 柱上熔断器收益计算           |               | 268           |
| 5.7 柱上隔离开关收益计算          |               | 271           |
| 5.8 邻网联络线               |               | 276           |
| 5.9 成本-收益法应用举例          |               | 279           |
| 参考文献                    |               | 287           |
| 附录A 农村电网建设的有关资料         |               | 288           |
| A1 关于农村小型化变电站建设的意见      |               | 288           |
| A2 农村变电站模式方案说明(节选)      |               | 290           |
| 附录B 城网建设的有关资料           |               | 302           |
| B1 关于加强城市中、低压配电网改造的若干意见 |               | 302           |
| B2 城市电网接线方式推荐意见         |               | 305           |
| 附录C 自动重合器有关资料           |               | 311           |
| C1 国产10kV自动重合器          |               | 311           |
| C2 国内常见英美产重合器           |               | 316           |
| 附录D 国内外分段器的有关资料         |               | 323           |
| 附录E 熔断器及柱上断路器有关资料       |               | 326           |
| 附录F 短路计算常用资料            |               | 340           |
| 附录G 某些统计资料及事故率要求        |               | 349           |

# 1. 绪 论

## 1.1 城乡用户要求配电系统现代化

随着社会经济的日益发展,人民生活水平的不断提高,无论是繁华的都市还是偏远的乡镇都要求有现代化的配电系统与之一相适应。这样说的理由是:无论城乡都有与日俱增的负荷要求,都希望得到充足、可靠、合格、廉价的高质量电能。

对城市而言,城市规模不断扩大,高层建筑及家用电器日益增加,统计资料表明,城区面积未变,而不到10年的时间里负荷密度却成倍增加。以北京为例,150km<sup>2</sup>的市中心区域,1981~1989年负荷密度增长率为109%(1989年已达4333kW/km<sup>2</sup>),这是尚未“空调热”时的情况。日本东京1980年,610km<sup>2</sup>的市区面积平均负荷密度达14600kW/km<sup>2</sup>,最繁华的银座商业区达12.1万kW/km<sup>2</sup>。把如此巨大的电能送入负荷中心,然后分配给成千上万的用户,并且做到通电迅速,使用安全,事故停电频数少、时间短,不污染环境,不酿成火灾,不是一个简单的问题,它要求有现代化的配电系统设计和装备。

对农村而言,没有通电的地方要求早日通电,已经通电的地方同样要求有高质量的供电水平。有些工业发达国家,城乡已难以区分。我国目前不少乡镇企业就设在村庄内,有的自动化水平已相当高,一些独资、合资企业引进国外最新设备,且发展异常迅速,规模愈来愈大。普通农民家庭电视机、洗衣机等也日益普及,现代化的养鸡场、养鱼池、食品

加工厂等农副业生产也对供电质量提出了越来越高的要求。江苏省的苏南一带，广东省的顺德、新会等地区由于乡镇企业的大力发展也早已出现城乡难分的局面。从长远看，我国广大的农村电网必将与城市电网水平相近，无优劣之分，其区别仅在于负荷密集程度及地皮的宽松程度不同而造成的差异。虽然从整体上看，农村文化技术水平要低一些，资金也欠缺一些，但这不仅不能成为降低农村电网供电水平的借口，相反却说明农村电网应有更高的自动化与智能化水平，开关设备应象“傻瓜”相机一样易于操作、便于掌握才更适应。农村变电站要小型化、造价低、安全可靠、无人值班，这是制订“农村变电站模式方案”时早已论证过的公认结论（见附录A）。

## 1.2 配电自动化的层次

自80年代以来，由于微处理器(micro-processor)与微控制器(micro-controller, 又称单片机)在强电领域的成功应用，使欧美国家和日本等发达国家的配电自动化以惊人的速度向高层次推进。在这里，“层次”这个术语表征着对“技术集成(technology integration)”程度的划分，它涉及到软硬件的先进程度，系统模式及管理方式，经济利益及风险，事故所涉及的深度和广度等各个方面。文献[1]中类比生物学中的“细胞器—细胞—器官—生物体”将“技术集成”分作四个层次：单体(stand-alone)—组合体(cells)—群体(linked islands)—全集成(full integration)。对配电自动化而言，联网规模愈大，控制管理所涉及的问题就愈多愈复杂。简洁地讲，配电自动化的“层次”如图1-1所示。



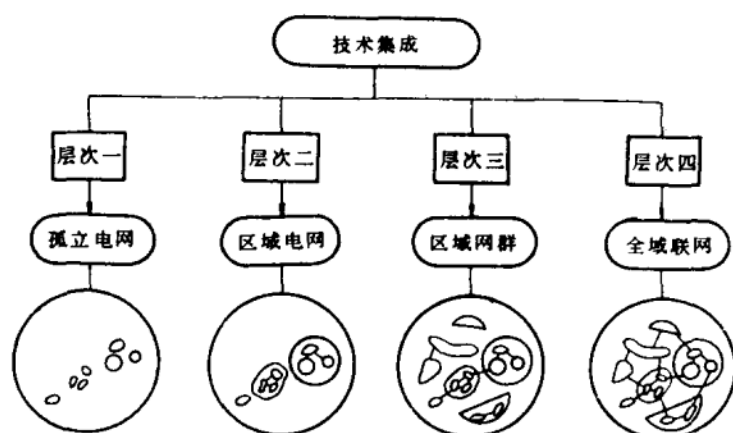


图 1-1 配电自动化的“层次”示意

图中：

“单体”相应于已应用微机控制的孤立电网，线路上装有重合器、遥控终端元件等智能设备，但其控制、保护及事故影响等都局限于本网所辖线路。

“组合体”相应于地方性的区域电网，电网间的通信联络上了一个大台阶，控制和管理的目标已是多方面的，电网间除了纵向联系外，横向联系随时可建立，也许还具有随时可接入的小孤立电网。这个层次较之孤立电网网内变电站及馈线的自动化与供电可靠性程度更高。

“群体”相应于大范围内的区域电网组合为统一管理的区域网群，虽然正常运行时各电压等级呈放射状串接，但一旦需要，电网结构随时可调整，尤其在10kV级电网，供电部门可根据负荷及故障等情况迅速合理地作出最佳调整或网络重构，接于此变电站的主馈线马上可转由彼变电站供电。电网愈大，非正常情况对用户所造成的影响愈小。

“全集成”相应于全国甚至全世界范围的全域联网。技术已发展到全域内所有电网已被高度完善的信息网所联络和