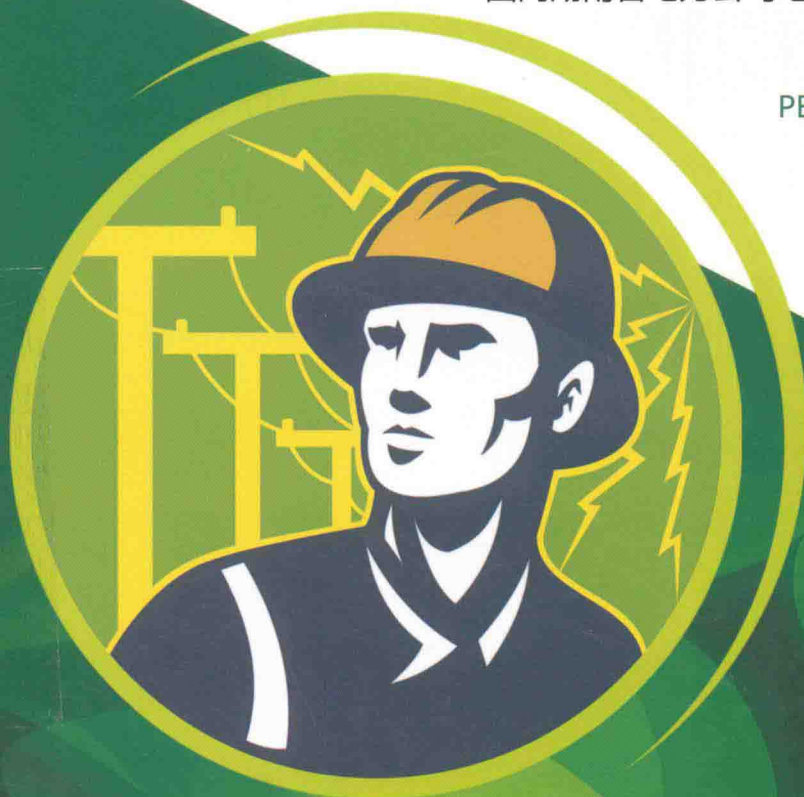


配电自动化 调试技术

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编
冷 华 主编

PEIDIAN ZIDONGHUA
TIAOSHI JISHU



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM76
88

配电自动化 调试技术

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编
冷 华 主编

PEIDIAN ZIDONGHUA
TIAOSHI JISHU



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从配电自动化相关标准规定的调试验收项目入手,介绍了调试验收的项目、目的、方法、判别的注意事项,并尽可能介绍试验背景,使读者对调试验收的项目有全面的了解。同时,结合配电自动化系统调试对配电自动化系统各环节的原理进行了说明,重点介绍了 SCADA 的原理、技术基础和外围知识。

本书共分为 9 章,第 1 章简要介绍了配电网现状及配电自动化的概念和发展历程;第 2 章对配电网网架结构的分类和特点以及箱式变电站、配电变压器等一次设备进行了介绍;第 3 章围绕配电自动化系统的 SCADA 对配电自动化系统各环节的原理进行了阐述;第 4 章介绍了配电自动化系统调试的内容、要求及流程,在此章节,作者结合实际工作介绍了“仓库调试、同步建设”配电自动化系统独有的调试思路,并对其特点进行了描述;第 5~7 章分别从配电自动化系统主站、配电自动化终端、通信系统等各个环节对调试技术进行了介绍;第 8 章对包含主站、通信、终端在内的整个配电自动化系统联调测试进行了介绍;第 9 章则从工厂验收、现场验收、工程验收、实用化验收这四个环节对配电自动化系统验收工作进行了深入的介绍。

本书主要供电气工程技术人员研究、参考之用,可以作为高等院校电力系统及其相关专业的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

配电自动化调试技术 / 冷华主编. —北京: 中国电力出版社, 2015.12

ISBN 978-7-5123-8566-5

I. ①配… II. ①冷… III. ①配电系统—调试方法
IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 276978 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 15.625 印张 265 千字

印数 0001—2000 册 定价 65.00 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

本书编委会

主 编 冷 华

副 主 编 朱吉然 唐海国 龚汉阳

编 委 张志丹 李龙桂 童 莹 李红青

陈 幸 欧阳帆 蔡昱华

审稿人员 陈 宏 朱 亮 龚方亮

刘海峰

前言

随着社会经济不断发展,用户对供电可靠性、电能质量及其优质服务的要求不断提高。配电网是电力系统末端直接与用户相连、起分配电能作用的网络,其供电的可靠性直接关系到用户的使用体验,传统的配电网运行模式和“不可视”的管理方法已经很难满足配电网安全、优质和经济运行的要求。改善整个电力系统的装备和运行,开展配电自动化建设是保证配电网的安全经济运行和提高电网企业供电服务水平的必由之路。从2009年开始,国家电网公司、南方电网公司逐步开展配电自动化的建设推广应用工作,目前已有逾百座城市开展了配电自动化的建设应用,但从调度自动化的推广应用情况来看,配电自动化的相关技术标准及管理规范出台的时间还不长,仍然处于发展的初始阶段。

由于应用场景的不同,配电自动化与读者所熟悉的调度自动化存在着显著的差异,主要表现在以下几个方面:

(1) 配电自动化涉及的设备点多面广,专业面亦较广。配电自动化系统的一个显著特点是待接入的终端、通信设备数量众多,这是由配电网本身设备分散、数量众多的特点决定的,一个城市配电自动化系统所接入的配电自动化终端、通信设备的数量往往和省级的调度自动化系统相当甚至更多;同时,和调度自动化系统类似,配电自动化除了涵盖自动化、通信专业外,还涉及继电保护、高压、信息化等专业。

(2) 配电自动化一次、配电自动化终端、通信设备之间集成度高。配电自动化一次、配电自动化终端、通信设备往往安装于同一箱体之内,这使得在现场调试的过程中,负责一次、配电自动化终端及通信设备调试的人员往往在同一时间、空间平面上开展工作,互相关联度极高。

(3) 配电自动化现场调试验收时间较短。配电自动化建设由于需要对配电网一次设备进行改造,往往涉及线路的停电施工。考虑到供电公司优质服务的要求,配电线路的停电有严格的时间要求,往往只有几个小时。在这么短的时间内完成所有设备的安装、调试、验收,需要各部门及相关人员分工明确,配合默契,否则将会出现由于调试验收不到位所引起的重复停电,降低建设区域

的供电可靠性。

由此易知,配电自动化的调试验收工作需要根据其自身的特点而合理安排,同时,调试验收工作连接着设计和实际应用,整个调试验收工作要检验产品功能性能,并按照实际系统运行要求整定设备的相关参数,使配电自动化系统达到预定的技术要求,发挥其应用的作用。目前,由于配电自动化系统调试及验收环节的配套标准较少,各配电自动化建设单位普遍存在着“摸着石头过河”的情况,部分单位的调试验收工作流于形式,使得配电自动化系统在投运之时就处于“带病运行”的状态,这样就使得后期系统的应用难以正常开展,也就发挥不了配电自动化应有的作用。因此,需要有一本书来汇总各单位现场实施经验,结合配电自动化技术的发展,对配电自动化系统调试所采用的技术以及验收的要求进行介绍,为配电自动化系统设计、制造、监造、运行维护人员提供一份专业的技术参考。

本书建立一座从配电自动化系统设计到应用、从标准到使用之间的桥梁,力图使初步开展配电自动化系统调试验收工作的人员快速了解并掌握配电自动化系统调试验收的基本内容、步骤及方法。对有经验的人员,力图为其提供参考,以便于及时总结新的技术与经验。

限于作者能力有限,加之缺乏编写经验,疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2015年9月

目录

前言

1 概述	1
1.1 配电网现状	1
1.2 配电自动化简介	3
2 配电网网架结构及一次设备	6
2.1 配电网网架结构	6
2.2 配电网一次设备	10
2.3 配电网中性点接地方式及保护模式	13
3 配电自动化系统	17
3.1 配电自动化体系结构	17
3.2 配电自动化系统主站	19
3.3 配电自动化通信系统	34
3.4 配电自动化终端	49
3.5 配电自动化终端二次回路及配套设备	67
3.6 配电自动化终端电源及储能设备概述	79
3.7 配电自动化系统通信规约	86
3.8 配电自动化系统二次安全防护	91
3.9 馈线自动化技术	94
3.10 信息交互总线	99
4 配电自动化系统调试概述	103
4.1 配电自动化系统调试工作特点	103
4.2 配电自动化系统调试工作流程	106
4.3 配电自动化系统调试工作的安全保障	110
4.4 技术资料的整理和技术总结	111
5 配电自动化系统主站调试	112
5.1 概述	112

5.2	主站平台服务系统	112
5.3	配电网 SCADA 功能测试	125
5.4	系统模型/图形管理测试	136
5.5	馈线自动化测试	138
5.6	拓扑分析应用测试	142
5.7	系统交互应用测试	145
5.8	系统指标测试	145
5.9	功能指标测试	157
5.10	配电自动化系统主站、终端安全防护功能测试	160
6	配电自动化终端调试	162
6.1	配电自动化终端调试模式及组织	162
6.2	配电自动化终端调试条件	164
6.3	配电自动化终端调试内容及方法	164
7	配电自动化通信系统调试	174
7.1	SDH 网络调试	174
7.2	EPON 系统现场调试及验收	175
7.3	配电自动化终端无线公网接入通信系统调试	190
8	配电自动化系统联调	195
8.1	配电自动化系统联调条件	195
8.2	配电自动化系统联调内容	195
9	配电自动化系统验收	206
9.1	配电自动化系统验收概述	206
9.2	工厂验收 (FAT)	207
9.3	现场验收 (SAT)	218
9.4	工程化验收 (PAT)	226
9.5	实用化验收 (AAT)	234
	参考文献	239

概 述

1.1 配 电 网 现 状

配电网是电力系统的重要组成部分，是保障电力“配得下、用得上”和分布式电源“接得进、送得出”的关键环节。配电网直接面向用户，遍布社会生产和生活的各个方面。在整个电力系统中，配电网规模最大、分布最广且最具有多样性，配电网的优质可靠供电直接影响用户的用电质量、社会经济协调发展与社会和谐。配电网结构及组成见图 1-1。

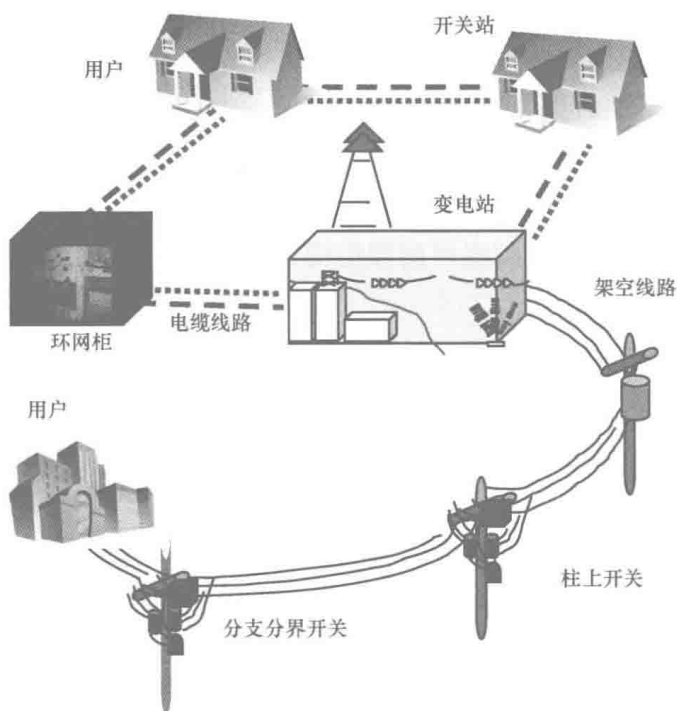


图 1-1 配电网结构及组成

配电网按电压等级的不同，可分为高压配电网（110/66/35kV），中压配电网（20/10/6/3kV）和低压配电网（380/220V）。

（1）高压配电网。指由高压配电线路和相应等级的配电变电站组成的向用户提供电能的配电网。其功能是从上一级电源接受电能后，直接向高压用户供电，或通过配电变压器为下一级中压配电网提供电源。高压配电网具有容量大、负荷重、负荷节点少、供电可靠性要求高等特点。

（2）中压配电网。指由中压配电线路和配电变电站组成的向用户提供电能的配电网。其功能是从输电网或高压配电网接受电能，向中压用户供电，或向用户用电小区负荷中心的配电变电站供电，再经过降压后向下一级低压配电网提供电源。中压配电网具有供电面广、容量大、配电点多等特点。

（3）低压配电网。指由低压配电线路及其附属电气设备组成的向用户提供电能的配电网。其功能是以中压配电网的配电变压器为电源，将电能通过低压配电线路直接送给用户。低压配电网的供电距离较近，低压电源点较多，一台配电变压器就可作为一个低压配电网的电源。低压配电线路供电容量不大，但分布面广，除一些集中用电的用户外，大部分是供给城乡居民生活用电及分散的街道照明用电等。

长期以来，我国电网发展存在“重发、轻输、不管配”的情况，使得我国配电网网架普遍比较薄弱，供电可靠性较低，供电质量较差，主要体现在以下几个方面：

（1）网架结构相对薄弱。多年来，由于配电网建设和改造资金不足，以及城市快速扩张开发，造成配电网网架结构相对薄弱，供电能力不强，配电网建设需要进一步加大投资。

（2）配电网运行环境恶劣，检修方式不适应配电网快速发展需要。外力破坏、盗窃和用户供电设施故障问题突出，严重影响配电网安全稳定运行。配电网检修管理大部分仍处于传统意义上的检修，实施状态检修的不多。

（3）配电自动化水平整体偏低，配电网调度运行技术支持手段落后。我国配电自动化建设整体水平与国际先进水平还存在差距，终端覆盖率较低，对配电网的实时状态感知不足，故障诊断、隔离和恢复时间较长，不能实现配电网的网络重构和自愈功能。配电自动化的发展目标和应用模式还不够清晰，需与一次网架、通信系统做好衔接，配电自动化技术亟待加强。

（4）配电网接纳新能源的能力不足。随着分布式电源的接入、电动汽车充电站的增加，对配电网调度水平的要求越来越高，传统配电网需要适应智能电

网不断发展的要求,提高接纳新能源的能力。

(5) 供电可靠性有待提升。我国配电网的供电可靠性较国际先进水平仍有差距,城乡差异较大、东西部差距明显。2014年,我国城乡供电可靠率分别为99.966%和99.875%,用户平均年停电时间为2.98h和10.95h,中西部部分地区农村低电压问题较为突出。

随着近年来社会经济的发展和人民生活水平的提高,用户对供电质量及可靠性的要求越来越高,国家也越来越重视配电网的发展建设,不断投入大量资金进行配电网建设和改造,增加完善电源布点、优化网架结构、缩短供电半径、提高配电网设备水平。特别是智能电网和绿色电力概念的兴起,现代先进传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术越来越多应用于配电网中,分布式能源也越来越多接入到配电网中,促进了配电网朝着智能化、信息化和自动化的方向发展。

1.2 配电自动化简介

一、配电自动化的概念

配电自动化(Distribution Automation, DA)以配电网一次网架和设备为基础,综合利用计算机、信息及通信等技术,并通过与相关应用系统的信息集成,实现对配电网的监测、控制和快速故障隔离,为配电管理系统(Distribution Management Systems, DMS)提供实时数据支撑。通过快速故障处理,提高供电可靠性;通过优化运行方式,改善供电质量、提升电网运营效率和效益。

二、配电自动化的发展历程

在20世纪50年代以前,英、美、日等发达国家开始利用人工方式进行操作和控制配电变电站及线路开关设备。50年代初期,时限顺序送电装置得到应用,该装置用于自动隔离故障区间,加快查找馈线故障地点。70~80年代,电子及自动控制技术得到发展,西方国家提出了配电自动化系统的概念,各种配电自动化设备相继被开发和应用,如智能化自动重合器、自动分段器及故障指示器等,实现了局部馈线自动化。

80年代,进入了系统监控自动化阶段,实现了包括远程监控、故障自动隔离及恢复供电、电压调控、负荷管理等实时功能在内的配电自动化技术,但也由于计算机技术的限制,当时的配电自动化系统多限于单项自动化系统。

80年代后期至90年代,进入了配电网监控与管理综合自动发展阶段,配

电自动化受到广泛关注，地理信息系统（GIS）技术有了很大的发展，开始应用于配电网的管理，形成了离线的自动绘图及设备管理（AM/FM）系统、停电管理系统等，并逐步解决了管理的离线信息与实时 SCADA/DA 系统的集成问题。在一些发达国家，出现了涉及配电自动化领域的系统设备厂家及其各具特色的配电自动化产品。

进入 21 世纪以来，随着计算机技术的迅猛发展，欧美等发达国家提出了高级配电自动化及智能化电网的概念，把配电自动化提升到了一个新的高度。新技术的发展要求配电网具有互动化、信息化、自动化特征，同时具备接纳大量分布式能源的能力，配电网开始向智能化方向发展。

三、建设配电自动化的意义

配电自动化作为智能配电网发展的重要组成部分，是提高供电可靠性、提升优质服务水平以及提高配电网精益化管理水平的重要手段，是配电网现代化、智能化发展的必然趋势。建设配电自动化系统具有以下主要意义：

（1）提升配电网的运行水平与供电可靠性。在正常运行工况下，通过对配电线路及设备的实时监控，优化运行方式，解决配电网“盲调”的现状；在事故情况下，通过系统的故障查询及定位功能，快速查出故障区段及异常情况，实现故障区段的快速隔离及非故障区段的恢复送电，尽量减少停电面积和缩短停电时间，提升配电网的供电可靠性。

（2）提升配电网电能质量水平。配电自动化系统能够实现对配电网方式进行灵活调整，从而消除线路负荷畸重与畸轻同时存在的现象，进而提高用户电压合格率，提高电能质量。

（3）为配电网规划及技术改造提供基础数据。配电自动化系统能够记录并积累配电网运行的实际数据，为配电网的规划和技术改造提供依据。

（4）提升对分布式光伏等新能源的消纳能力。未来，以分布式光伏为代表的新能源发电将成为电力发展的主流，分布式光伏等新能源接入配电网见图 1-2。分布式光伏等新能源接入的电压等级一般为 10kV 和 380V，属于配电自动化系统管理的范畴，通过配电自动化对分布式电源的实时监视，可实现分布式发电与电网的协调运行控制，最大程度避免分布式发电接入对电网运行的不利影响，提升对分布式光伏等新能源的消纳能力。

（5）提高企业劳动生产率。通过配电自动化手段，大大减轻了过去繁杂的现场巡视、检查、操作等工作，减轻了工作人员统计、记录、查找、分析等劳动强度，快速完成业务报表、供电方案等日常工作，大幅度提高工作效率，实

现供电企业的减人增效，提高了供电企业的生产效率。

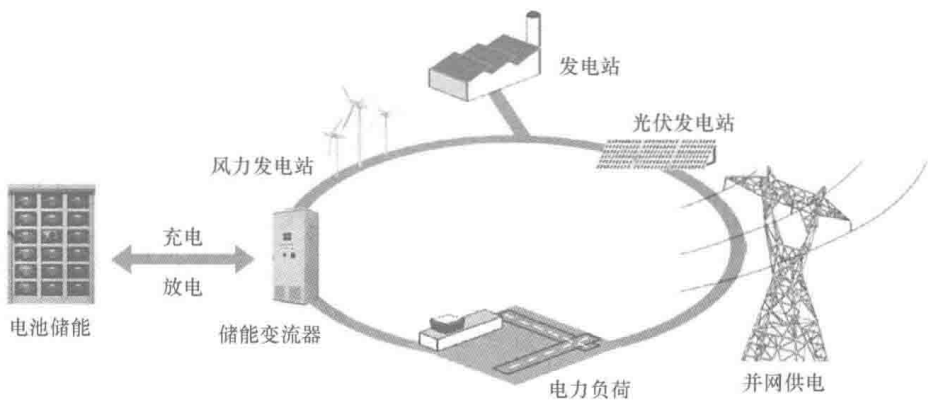


图 1-2 分布式光伏等新能源接入配电网

（6）提高供电企业服务水平。配电自动化系统实现了配电网故障的快速定位、排除，线路切换、负荷转带等正常操作的时间也大为缩短，极大地减少用户的停电时间，从而切实提高供电可靠率，提高了客户供电服务水平。

配电网网架结构及一次设备

2.1 配电网网架结构

配电网是电力网的重要组成部分，按结构可以分为架空线路和电缆线路。架空线路是将导线架设在杆塔上，并暴露于空气中，电缆线路是将电缆敷设于地下或水底。架空线路的优点是结构简单，架设方便，投资少，传输容量大，传输电压级别高，散热条件好，维护方便；缺点是网络复杂和集中时，不易架设，在城市人口稠密区架设既不安全，也不美观；工作条件差，易受雨、雪、冰、风、温度、化学腐蚀、雷电等环境条件的影响。电缆线路的优点是线间绝缘距离小，占地少，无干扰电波；地下敷设时，不占地面与空间，受气候和人为故障等外界因素影响较小，供电可靠性高，维护工作量小；其缺点是敷设成本较高、施工难度大、故障寻测困难等。

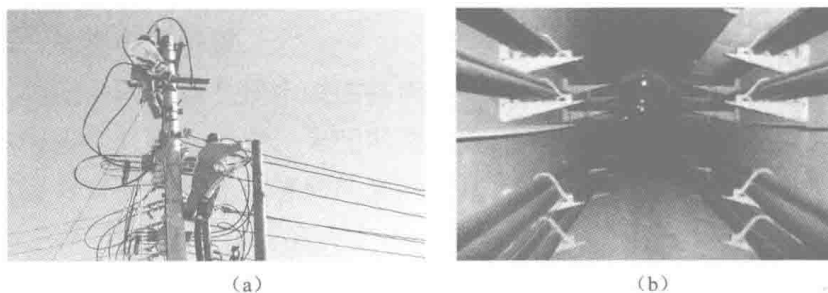


图 2-1 配电线路

(a) 架空线路；(b) 电缆线路

配电网的网架结构决定了配电网最本质的特性，对配电网的投资、使用寿命、配电网的安全经济运行以及供电可靠性均有较大影响。典型的配电网网架结构一般分为以下几种：

架空线路：辐射式、多分段单联络、多分段多联络网架结构。其网架结构的特点及适用范围见表 2-1。

电缆线路：单射式、双射式、单环式、双环式、其他结构（多供一备网架结构、三角形接线网架结构、四边形网架结构等）。其网架结构的特点及适用范围见表 2-2。

表 2-1
架空线路网架结构及其特点和适用范围

接线方式	典型接线图	特点	缺陷	适用区域
辐射式 架空线路		辐射式接线简单清晰、运行方便、建设投资低	供电可靠性差，不满足 N-1 要求	适用于负荷密度较低、用户负荷重要性一般、变电站布点稀疏的地区
多分段 单联络 架空线路		可靠性比辐射式接线模式大大提高，接线清晰、运行比较灵活。线路故障或电源故障时，在线路负荷允许的条件下，通过切换操作可以使非故障段恢复供电，线路的备用容量为 50%	线路投资将比辐射式接线有所增加	适用于负荷密度较大、可靠性要求较高的大城市边缘以及中小城市
多分段 多联络 架空线路		有效提高线路的负载率，降低不必要的备用容量。在满足 N-1 的前提下，主干线正常运行时的负载率可达到 60%~80%		适用于负荷密度较大、可靠性要求较高的区域

表 2-2 电缆线路网架结构及其特点和适用范围

接线方式	典型接线图	特点	缺陷	适用区域
单射式		主干线正常运行时的负载率可达到100%	该接线方式不满足N-1要求	适用于供电可靠性要求较低的地区
双射式		为双环式或N供一备接线方式的过渡方式	能够满足要求,但N-1要求主正常最大运行率不能大于50%	适用于容量较大,不适合以架空线路供电的普通用户,一般采用同一变电站不同母线引出双回电源
对射式		为双环式或N供一备接线方式的过渡方式	能够满足要求,但要求主正常最大运行率不能大于50%	适用于容量较大,对可靠性有一定要求的用户
单环式		单环式的环网点一般为环网柜、箱式站或环网配电站,可以隔离任意一段线路的故障,线路的备用容量为50%。		适用于城市一般区域(负荷密度不高、可靠性要求一般的区域)

续表

接线方式	典型接线图	特点	缺陷	适用区域
双环式		可以串接多个开闭所, 形成类似于架空线路的分段联络接线模式, 供电可靠性较高, 运行较为灵活。在满足N-1的前提下, 主干线正常运行时的负载率为50%~75%		适用于城市核心区、繁华地区, 重要用户供电以及负荷密度较高、可靠性要求较高的区域
N供一备		N 供一备结构随着供电线路条数 N 值的不同, 线路的利用率率为 $\frac{N-1}{N}$, 电网的运行灵活性、可靠性和线路的平均负载率均有所不同, N 越大, 负载率越高。备用线路亦可作为完善现状网架的改造措施, 用来缓解运行线路重载, 以及增加不同方向的电源	N>4 时, 接线结构比较复杂, 操作繁琐, 同时联络线的长度较长, 投资较大, 线路负载率提高的趋势明显	适用于负荷密度较高、较大容量用户集中、可靠性要求较高的区域