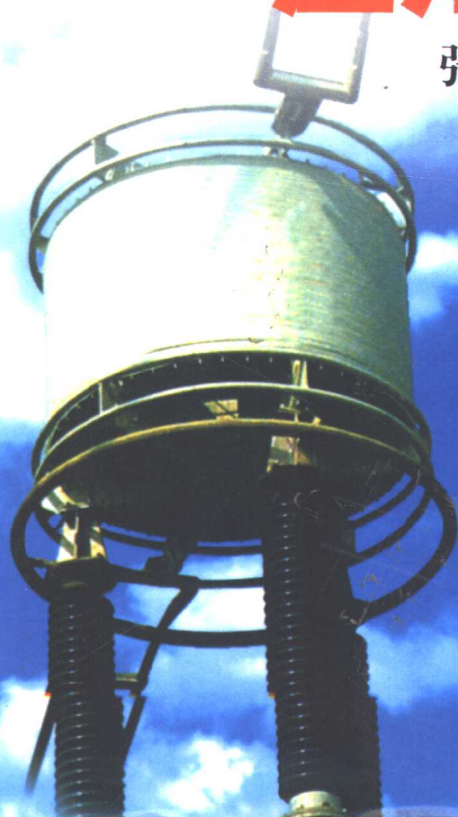


DIAN LI XIAN ZAI BO TONG DAO SHE BEI
YING YONG ZHI NAN

电力线载波通道设备 应用指南

张仁永 陈宇辉



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

CEPP

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIAN LI XIAN ZAI BO TONG DAO SHE BEI
YING YONG ZHI NAN

ISBN 7-5083-0912-X



9 787508 309125 >

ISBN 7-5083-0912-X/TM · 403

定价：22.00 元

电力线载波通道设备 应用指南

张仁永 陈宇辉



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

书中简要介绍了电力线载波通道设备的原理,汇编了电力线载波通道设备的性能及有关参数,并介绍了电力线载波通道的组成及通道的计算方法,通道的测试和维护仪表的使用,以及分析处理故障的实例。

全书共分七章:基本知识,结合加工设备的技术要求,结合加工设备现场测试方法,结合加工设备产品介绍,电力线载波通道的专用测试仪表,电力线载波通道的故障分析与处理,高频通道的故障分析与处理,以及二个附录。

本书可供从事电力线载波通信、继电保护、自动化和远动化专业的工程技术人员和技术工人使用,并供院、校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力线载波通道设备应用指南/张仁永等编. —北京:中国电力出版社, 2002

ISBN 7-5083-0912-X

I. 电… II. 张… III. 电力线载波通信系统—通道
IV. TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 006027 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 5 月第一版 2002 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 13.875 印张 308 千字

印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

目前我国电力系统通信网路中，虽然大量采用了数字微波通信电路和光纤通信电路等通信电路，但是电力线载波通信电路仍然是电力系统生产调度通信和生产管理通信的主要通信电路之一。近年来，随着电力系统的发展，继电保护专业的高频保护、远切、远跳及安全自动装置等信息传输大量应用电力线载波通道，使得电力线载波通道日益显得更为重要，对电力线载波通道的运行维护和管理提出了更高的要求。本书为了适应电力线载波通信及继电保护高频通道发展的需要，考虑到现场对通道设备的选型、安装、维护和管理需要，在书中简要介绍了电力线载波通道设备的原理，汇编了电力线载波通道设备的性能及有关参数，并介绍了电力线载波通道的组成及通道的计算方法，通道的测试和维护仪表的使用，总结了三十余年维护电力线载波通道、继电保护高频通道的经验以及分析处理故障的实例，并附录了频率分配等有关内容。

本书可供从事电力线载波通信、继电保护、自动化和远动化专业的工程技术人员、技术工人及高等院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

本书第一章和第四章由张仁永同志编写，第二、三章及附录二由陈宇辉同志编写，第五章由陈一尧同志编写，第六

11/12/19

章由管春和同志编写，第七章由朱祥生同志编写，附录一由戴宏慈、徐凤翔同志编写。全书由张仁永、陈宇辉同志整理并定稿。

本书由曹晓军高级工程师和王金保副教授审稿。编写工作得到了国家电力公司调度中心、国电通信中心和电力机械制造局的大力支持，并得到了有关设备制造厂的鼎力帮助，在此一并感谢。

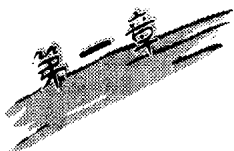
限于编者水平及时间等因数所限，书中漏误及不足之处难免，恳请批评指正。

目 录

前言

第一章 基本知识	1
第一节 电力系统通信	1
第二节 输电线路结构概述	10
第三节 电力线载波通道的组成及特点	27
第四节 电力线载波通道衰减的计算	34
第二章 结合加工设备的技术要求	49
第一节 线路阻波器	49
第二节 耦合电容器及电容式电压互感器	64
第三节 结合滤波器及高频差接结合滤波器	71
第四节 分频滤波器	79
第五节 高频差接网络	87
第六节 高频电缆	95
第三章 结合加工设备现场测试方法	99
第一节 线路阻波器	99
第二节 耦合电容器及电容式电压互感器	105
第三节 结合滤波器及高频差接结合滤波器	106
第四节 分频滤波器及高频差接网络	115
第五节 高频电缆	121
第四章 结合加工设备产品介绍	124
第一节 线路阻波器	124

第二节	耦合电容器及电容式电压互感器	174
第三节	结合滤波器	219
第四节	分频滤波器	249
第五节	高频差接网络	255
第六节	高频差接结合滤波器	262
第七节	接地刀闸	267
第五章	电力线载波通道的专用测试仪表	269
第一节	电平振荡器和选频电平表	269
第二节	测试结合加工设备产品的微机化仪表	303
第六章	电力线载波通道的故障分析与处理	313
第一节	电力线载波信号传输中的几个问题	314
第二节	线路阻波器故障的分析与处理	321
第三节	结合滤波器故障的分析与处理	333
第四节	分频滤波器故障的分析与处理	336
第五节	高频电缆的故障与分析	341
第六节	高频通道故障的分析与处理	353
第七章	高频保护通道的测试调整及故障分析与处理	376
第一节	概述	376
第二节	高频通道的构成	379
第三节	高频通道参数的测试	389
第四节	高频通道的裕度试验	404
第五节	接收电压的调整	407
第六节	相差动高频保护装置的闭锁角整定及通道中反 射波的影响	412
第七节	相邻通道干扰试验	417
第八节	三相挂宽带阻波器对通道的影响	420
附录		423
附录一	电力线载波频率分配	423
附录二	各国电力线载波结合设备标准技术指标	435



基本知识

第一节 电力系统通信

电力系统通信是为电网调度、电力生产和基建以及电力工业管理的现代化服务的。随着电力工业的发展，电力系统通信也得到了相应的发展。本章通过电力系统通信的简介，进而阐明电力线载波通信在电力系统通信中的作用和地位，以及加强电力线载波通信工作的重要意义。

为了使读者更好地掌握电力线载波通信的基本知识，本章还简要地介绍了输电线路的结构、电力线载波通道的组成、通道衰减的计算等内容。

一、我国电力系统通信发展的简介

我国电力系统通信是在解放后发展起来的，电力系统通信的发展大致可分为两个阶段。前 30 年，电力系统通信是以电力线载波通信及纵横制和步进制交换机等设备为主，基本上是点对点的通信。近 15 年来，随着电力系统的发展，电力系统通信也得到了相应的发展。在电力通信网中，除广泛应用电力线载波通信方式外，还大量采用了数字微波通信、光纤通信、卫星通信等方式，以及程控交换等设备。近年来，扩频通信技术也已在电力通信网中逐步得到应用。

二、我国电力系统通信网的组成

电力系统是由发电、送电、变电、配电、用电等部分组成的统一整体，电力系统内各部分设备的运行、操作和事故处理是由各级电力调度机构统一指挥的，为了保证电力系统安全经济运行，必须建设服务于电力系统的通信网，即电力系统通信网。

电力系统通信是为电力系统的安全经济调度、电力的生产和基建及电力工业管理现代化服务的，电力系统通信已成为现代电力系统不可缺少的组成部分。现代电力系统通信网除采用电力线载波通信外，还越来越多的采用数字微波通信、光纤通信、卫星通信、集群通信及扩频通信等传输设备和程控交换设备，用以传输电力系统中的各种信息。

电力线载波通信是利用输电线路作为传输媒介的通信方式，是电力系统特有的一种通信方式，它具有可靠性高、造价低、可与输电线路同期建设、使用方便、覆盖面与电力系统一致等特点，特别适用于电力系统中的发电厂、变电所和开关站为对象的电力系统调度电话、调度自动化和远动化，以及在被保护的输电线路两端间传输保护和安全自动装置等信息。因此，对于通道数量不多，而需要通信覆盖的厂站数量较多，或采用其它通信方式存在困难的情况下，可考虑优先采用电力线载波通信。

微波接力通信是指使用频率在 300MHz 至 300GHz 范围内的无线电通信。微波是视距传播的，由于微波站设在地面上，而地球表面是个曲面，还可能受到高山、建筑物等地形和地物的影响，所以微波传播的距离不可能很远。为了实现远距离通信，一般需要每隔约 40~50km 设置一个微波中继站，组成一条微波通信电路，因此，通常称为微波接力通信

或微波中继通信。微波通信的通带宽，通信容量大，可以传送多种用途的信息。由于数字通信系统的有效性和可靠性都优于模拟通信系统，因此获得越来越多的应用。目前电力系统以发展数字微波通信和光纤通信为主，也就是用微波信道及光纤通信传输数字信号。数字微波通信具有抗干扰性强、信道噪声不累积、保密性强、设备易于集成化、功耗低、体积小等特点。但是，地面微波接力通信易受外界电磁场的影响，且受地面影响较大，有时不得不在高山上设站或采用高塔或缩短站距，电路投资较大。

目前的数字传输中主要采用时分复用的方式。数字复用系列按照复用的可能性，把数字复用速率划分为若干等级的集合。其中某一级的复用，是把一定数目的具有较低规定速率的数字信号，合并成为一个具有较高规定速率的数字信号。这个数字信号在更高一级的数字复用中，与具有同样速率的其它数字信号一起再进一步集合。现在传统的数字复用系列为准同步数字系列（PDH），由于不存在统一的 PDH 世界标准，不同厂商的设备不能互通等因素，数字复用系列已由 PDH 向同步数字系列（SDH）过渡。SDH 能满足用户多种方式的接入要求，具有网络自愈功能及很强的维护运行管理能力。

近年来，一点对多点无线通信系统如一点多址微波通信系统（又称为一点对多点微波通信系统或无线用户集中器），以及扩展频谱通信（技术）系统，也已经在电力通信网中得到应用。

一点多址微波通信系统是采用频分多址（FDMA）或时分多址（TDMA）的原理，将微波接力的点对点的通信发展到点对多点的通信。它以无线传输方式，实现多个分散点用

户业务的集中和自动交换，可以灵活、经济地组织本地多点通信网络。它具有整体投资少、安装维护简便、适应性强、扩容方便的特点。

扩展频谱通信技术简称扩频通信技术是一种信息传输方式，它是将被传输的信息带宽经大幅度扩展变化后的传输技术。扩频通信具有抗干扰性强、抗多径衰落能力强、有很强的隐蔽性和保密性、不干扰同频的其它系统、可靠性高、成本低、易于安装以及不需要申请频率等特点。扩频通信采用码分多址后，其容量得到了成倍的提高。

卫星通信是微波接力通信的一种特殊形式，它是利用人造地球卫星作为中继站，进行地球上无线电台、站之间的通信。卫星通信具有通信容量大、建站成本与通信距离无关、以广播方式工作、可以自发自收进行监测。目前甚小口径卫星地球站（VSAT）也已应用于电力通信网，VSAT 是一种具有收发功能的小型卫星通信地球站，天线口径只要 1.2~1.8m 即可满足用户对数据、话音、图文传真等信息传输的需要。它的设备体积小、结构紧凑，非常适合其它通信方式难以联系的海岛、山区、沙漠及边远地区。但是卫星通信要很好解决信号传播时延带来的影响，要圆满实现“多址联接”等问题。

集群调度通信系统是一种新兴的移动通信方式，“集群”就是多个无线信道为众多的用户所共用。它具有频率利用率高、组网灵活、调度功能强、投资省、见效快等特点。由于可共用覆盖区、频率预约、与市话连网，并具有蜂窝电话的性质，故也适用于电力通信网。

光纤通信是以光波为载频，以光导纤维为传输媒质的一种通信方式。目前光纤通信使用的波长范围是在近红外区

内，即波长为 $0.8 \sim 1.8\mu\text{m}$ ，其中可分为短波长波段（波长为 $0.85\mu\text{m}$ ）和长波长波段（波长为 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ ），这是目前所采用的三个通信窗口。光纤通信具有传输频带宽、通信容量大、损耗低、不受电磁干扰、线径细、重量轻、资源丰富等优点，因此，光纤通信技术在近年来得到了迅速发展。可以预见，光纤通信将是未来信息社会中各种信息网的主要传输工具。由于光纤通信不受电磁干扰的特点，特别适合在电力系统通信网中应用。电力通信网在“九五”期间，将大力发展并广泛应用光纤通信技术，利用电力输电线路架空地线复合光缆（OPGW）、架空地线缠绕光缆（GWWOP）和自撑式光缆（ADSS）、架空地线捆绑式光缆作为信息的传输媒介。

众所周知，在电力系统中，各种电压等级的电力线路连接着发电厂和变电所，这些线路都可以用作光纤通信光缆的敷设路由。根据可以利用的线路情况，主要有如下几种光缆的敷设方式：

一种是利用 10kV 电力线路，在导线的下方，另敷设钢绞线，用电缆挂钩将光缆悬挂在钢丝下，或用钢丝将光缆加绑在钢丝下。光缆可以用普通架空光缆、轻型铠装光缆或无金属光缆，也可采用自承式光缆。这种光缆敷设方式较为经济，但是系统的可靠性较低。

第二种是将光纤芯线放入（复合到）输电线路的架空地线中（即 OPGW），这种敷设方式光缆将随同输电线路一起建设，由于光缆受到架空地线的保护，最大限度地提高其可靠性和安全性。对于已有的线路，可以更换原有的地线来实现。OPGW 敷设方式工程造价较高。

第三种是将光缆缠绕在输电线路的架空地线上，这种光

缆称为架空地线缠绕光缆（即 GWWOP）。GWWOP 敷设方式较 OPGW 敷设方式工程造价低，安装较方便灵活。

第四种是将无金属自承式光缆（ADSS）敷设在输电线路的杆塔上，这种敷设方式光缆不与输电线路的架空地线紧密地结合在一起，避免了相互的影响，具有较高的可靠性，但是要求 ADSS 具有足够高的抗拉强度及抗电蚀能力。

第五种是将无金属阻燃光缆用钢丝捆绑在输电线路的架空地线下，这种敷设方式施工方便灵活，直观，检查维修方便，工程造价远低于第二、三、四种敷设方式，已得到了广泛的应用。多年实践表明，它具有相当高的可靠性。

由于电子器件和计算机技术的发展，产生了程控数字交换机。程控数字交换机具有接续速度快、接通率高、通信质量高、便于保密、具有多种接口、组网能力强等优点，有利于网路建设、路由选择和编号计划的实施，宜于采用公共信道信号方式，维护工作量小，便于记录统计数据及实行集中维护，适应多种计费方式，此外，尚有体积小、功耗省、组装方便等特点。电力通信网中引入了程控数字交换机后，大大提高了网络的可靠性、灵活性及接通率。

据统计，至 1995 年年底，我国的电力通信网已拥有微波通信电路 3.3 万 km，其中数字微波电路约占微波电路总长的 80%；卫星地球站 33 座，光纤通信电路总长约 3000km；110kV 以上电力线载波通信电路约 65 万 km；交换机总容量 60 万门；在十多个城市建成了 800MHz 集群移动通信系统。

以上统计数据表明，我国电力专用通信网已具有相当的规模。

三、电力线载波通信和电力线高频保护的地位

近十余年来，电力通信网中建设了数字微波干线电路、光纤通信干（支）线电路及其它通信方式的电路，但是这类干线电路不可能覆盖整个电网，一点多址微波通信和集群调度通信系统等无线通信方式，由于造价高及无线电波传播会受到地形的影响，也不可能覆盖全电网。电力线载波电路由于其本身的特点，在电力通信网中具有特殊的地位，首先是通信电路走向与服务对象紧密结合，电力线高频保护通道与被保护线路完全一致，几乎可以覆盖整个电网，而且可靠性高，造价低，其次，有一支庞大的、具有相当水平的专业队伍，有 40 余年的运行经验。从上述的统计数字表明，电力线载波通信在电力专用通信网中占有相当大的比重。

电力系统“九五”电力通信技术政策的要点是：干线电路建设以光纤通信和数字微波通信为主；继续完善和合理利用电力线载波通信；因地制宜地采用卫星通信。由此可见，在“九五”和“九五”以后的相当长时间内，电力线载波将仍是电力通信网中覆盖范围最大的通信方式。

近年来，有越来越多的继电保护通道及复用保护信号的电力线载波机投入运行，除采用相地耦合方式外，还采用多种相相、二相地、不同线路相相及三相全耦合等耦合方式，进一步提高了可靠性。此外，数字化的电力线载波机已经问世并已引进我国，利用扩频技术的电力线载波通信设备在不久的将来就可以在工程中实用，可以预见，电力线载波通信将在电力通信网中越来越发挥更大的作用。

四、电力线载波通信的概述

电力线载波通信的服务对象是电力调度，电网自动化，电网的生产、基建，输电线路的安全运行，以及防汛指挥和

水库调度等。

通信的范围主要有以下几种：

电网调度通信，包括调度员发送的调度命令等所使用的专用电话及传真；特种信息，包括传送远动、自动、继电保护、安全自动装置、计算机实时数据和控制信息以及图像等；此外，还有线路检修通信、防汛通信、管理综合通信等。

电力线载波通信是利用输电线路作为传输媒介的通信方式，因此电力线载波通信的实现，首先要解决与高电压的隔离，克服输电线路固有的噪声、输电线路故障、电力设备的操作等对载波信号传播的影响。由此可见，电力线载波通信必须采取一系列不同于邮电载波机的措施，除采取加大电力线载波机的功率等措施外，还要在电力线路上安装线路阻波器；从线路上引下载波信号时，要应用包括耦合电容器在内的结合滤波器等设备。

目前我国电力线载波通信广义的说，已经不仅仅是利用输电线路的相导线作为结合相的载波通信（包括相地和相相载波通道及分裂导线载波通道），还有将载波信号耦合到输电线路架空地线的绝缘地线载波通信。

采用传统的相地、相相等耦合方式的相导线载波通道，当通道数量增加时，会因频率拥挤等因素的影响，不能满足电力线载波通信发展的需要。因此，曾研究开发利用绝缘避雷线作为信息传输媒介的绝缘地线载波通信，以及利用分裂导线子导线构成通信回路的分裂导线载波通信。

在输电线路杆塔的顶部，常架设有一根或二根接地的导线，称为避雷线（或地线），其主要作用是防止线路遭受雷击造成的危害。为了降低输电线路工频损耗的需要，有时将

地线用带放电间隙的绝缘子绝缘起来，当遭受雷击时，地线仍可以通过放电间隙使雷电流被泄放。绝缘后的地线也可作为载波信号的传输通道，这种通信方式称为绝缘地线载波通信。当采用良导体作绝缘地线的材料时，通信效果更好。

由于绝缘地线上的工频感应电压低，绝缘地线载波通信所用的结合设备不需要使用高压耦合电容器，其价格较电力线载波结合设备低，而且绝缘地线感应工频电压倍频的幅值低，因而绝缘地线载波通信的最低工作频率为 $5 \sim 8\text{kHz}$ 。绝缘地线载波通信曾在一定程度上扩展了电力线载波的使用频谱，并且增加了沟通载波通路的线路，减轻了相导线上并机多的压力。

在一些 220kV 及以上电压等级的输电线路上，为降低线损增加输电容量，采用将一根相导线分裂成几根（2、3、4、6 根）子导线的分裂导线，在分裂导线上，每隔数十米安装一个金属间隔棒或支架，用以增加线路的机械强度及防止子导线发生碰撞。若将各子导线绝缘，利用绝缘后的子导线构成载波通道，称为分裂导线载波通信。分裂导线载波通信具有线路衰减小、各相之间的跨越衰减大、同线路不同相上有可能重复使用载波频率、干扰小、可使用频率高，能开通多路载波电路等特点。

随着输电线路电压等级的提高，为了进一步减少电晕损耗而将避雷线分裂，若将分裂避雷线绝缘用作载波通道，称为绝缘分裂地线载波通信。当采用良导体材料的避雷线时，通信效果更好。

此外还有一些其它的利用电力线路兼作通信下路的通信，如在架空线路杆塔上悬挂自承式通信电缆等的方式，但是随着通信技术的迅速发展，多种适用于电力系统的通信方