



POWER LINE COMMUNICATION

电力线通信 (PLC) 技术与应用

齐淑清 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

PLC

POWER LINE COMMUNICATION

TM73

4

电力线通信 (PLC) 技术与应用

齐淑清 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为了推进电力线通信 (PLC) 技术的发展、市场应用及商业化推广, 编者在多年对 PLC 技术进行调研、试验、应用、探索的基础上编写了本书。

本书分技术篇和应用篇两篇, 共十二章, 分别为绪论、PLC 用于宽带接入的技术可行性、PLC 系统测试研究、PLC 技术电磁兼容问题的研究、PLC 技术相关标准的研究、PLC 市场前景分析、实现 PLC 商业化运营的技术路线、关于 PLC 运营试验的探讨、PLC 运营策略分析、低压 PLC 产品介绍、中压 PLC 试验应用、PLC 面临的问题及前景展望。

本书可作为 PLC 相关厂商和运营商的参考书, 同时可供电力系统及通信行业的管理和技术人员作为了解 PLC 的入门参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力线通信 (PLC) 技术与应用/齐淑清主编. —北京: 中国电力出版社, 2005.8
ISBN 7-5083-3541-4

I. 电... II. 齐... III. 电力线载波通信系统
IV. TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 090247 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米 × 980 毫米 16 开本 8.25 印张 163 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 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)

编 委 会

主任委员：张志厚

副主任委员：曹汝滨

委 员：齐淑清 张 辉 孙辛茹 吴云峰

主 编：齐淑清

序

电力线通信 (PLC) 作为宽带接入的方式之一是近几年发展较快的一项新技术。随着国家信息化进程的推进和互联网的蓬勃发展, 宽带业务成为当前电信行业中最有发展潜力的领域, 在 market 需求的推动下, 该项技术在世界各国都有了不同程度的进展。

电力线资源是国家的基础设施, 与水资源、森林资源、矿产资源一样, 应该受到国家的保护, 同时也应对现有资源进行充分利用。PLC 技术就是用现已遍布千家万户的电力线资源传输数据、话音和图像, 对推进国家信息化建设, 节省投资, 避免重复建设, 有着非常重要的意义。

该书的作者通过多年来对 PLC 技术的试验应用, 走出了一条引进、消化、吸收、创新的道路, 对 PLC 技术的应用, 取得了卓有成效的成绩。从 2001 年开始国电通信中心专门成立了 PLC 工作领导小组及 PLC 技术推进办公室, 组织国内外设备生产商和运营商联合攻关, 开通了中国第一个用电力线上网和通电话的居民小区。通过不断努力, 目前在北京的 PLC 宽带接入应用已达到 3 万户, 建立了世界上最大的 PLC 宽带接入试验网, 使 PLC 技术达到实用化程度。

本书是 PLC 技术在中国应用的第一本书, 它全面总结了 PLC 技术应用的过程, 而且对技术、产品、市场前景等都作出了全面的分析、探讨。我相信本书的出版, 对推动 PLC 技术的深入发展和在中国的推广应用, 将起到十分积极的作用。

陸延昌

7-21/05

前 言

电力线通信 (Power Line Communication, 简称 PLC) 技术是近几年来新兴的热门技术。利用该技术可以在电力线上传输数据、语音和视频业务,从而实现电力、电话、数据、视频“一线入户”的传输效果,因此受到社会各界的广泛关注。

目前,PLC 在国际上已有一些试验网络,但尚未形成大规模的商业化运营,技术上也没有统一的标准。编者近几年来,对国内外 PLC 设备的研发制造、网络运营、标准制订等做了大量的调研,并针对我国城市低压配电网的实际情况,组织了国内 PLC 技术应用的研发试验、市场推广,提出了多种适合我国国情的电力线宽带接入组网方案,组建了世界上最大规模的电力线通信试验网络,取得了大量的实践经验。编写此书旨在对 PLC 技术发展、市场应用及商业化推广起一点抛砖引玉的作用,故本书既可作为 PLC 相关厂商和运营商的参考书,同时可供电力系统及通信行业的管理技术人员作为了解 PLC 的入门指南。

本书力求从实用的角度出发,避开较多的公式推导和高深的理论阐述,仅从 PLC 技术、试验、组网方案、标准及市场运营方面做了全面介绍。全书共分十二章,为了读者便于选择,分为技术篇和应用篇。在技术篇里重点介绍了 PLC 技术发展现状、电磁兼容、相关标准、系统组网和测试;在应用篇里主要描述了 PLC 市场应用前景、商业化运营的技术路线和策略分析、PLC 网络运营试验的探讨、低压 PLC 产品介绍以及正在开展的中压 PLC 试验情况。

本书由国电通信中心副主任、教授级高工曹汝滨主审,由国电通信中心 PLC 技术推进办公室主任、高级工程师齐淑清担任全书的主编,张辉进行全书的整理和结构调整。孙辛茹、吴云峰分别编写了 PLC 技术电磁兼容问题的研究、PLC 系统测试研究、PLC 技术相关标准的研究内容。另外,本书编写过程中还得到了国电通信中心总工程师曹惠彬,中电飞华公司的王继业、赵强,北京意科通信技术有限公司李晓、赵丙镇,中国电力科学研究院李祥珍,福建省电力试验研究院王东方,深圳国电科技公司李晓君、张伟明等技术专家的大力支持和热情帮助,在此深表谢意。

本书乃采集集体之智慧,愿能启发同行之灵感。由于新技术总在不断发展,PLC 产品还在不断完善,加之编者水平有限,编写出版时间仓促,书中难免有错误和不足之处,恳请专家和读者批评指正,不胜感谢。

编者

2005 年 6 月

缩 略 词

- ADSL——Asymmetrical Digital Subscriber Line 非对称数字用户环线
- CATV——Community Antenna Television 有线电视
- CENELEC——European Committee for Electrical Standardization 欧洲电工标准委员会
- CISPR——制定有关电磁兼容方面发射标准为主的国际标准化组织, 隶属于 IEC
- CNNIC——中国互联网络信息中心
- DHCP——Dynamic Host Configuration Protocol 动态主机配置协议
- ETSI——European Telecommunications Standards Institute 欧洲电信标准组织
- EMC——Electromagnetic Compatibility 电磁兼容
- FCC Part15——Federal Communication Commission Part15 美国联邦通讯委员会对数字信息技术设备的电磁骚扰特性的要求
- FE——快速以太网
- FTTB——Fiber To The Building 光纤到楼
- FTTZ——Fiber To The Zone 光纤到小区
- GE——吉比特以太网
- GMSK——高斯最小相移键控调制
- HFC——Hybrid Fiber/Coaxial Cable 同轴电缆光纤混合网
- HOMEPLUG——HomePlug Powerline Alliance 北美关于 PLC 室内联网技术联盟
- IEC——International Electrotechnical Commission 国际电工委员会
- IGP——Interior Gateway Protocol 内部网关协议
- ITU——International Telecommunication Union 国际电信联盟
- ISDN——Integrated Services Digital Network 综合服务数字网
- ISO——International Organization For Standardization 国际标准化组织
- NAT——Network Address Translation 网络地址转换
- NTP——Network Time Protocol 网络时间协议
- OFDM——Orthogonal Frequency Division Multiplexing 正交频分复用技术
- PLC——Power Line Communication 电力线通信
- PLT——Power Line Telecom
- SNMP——Simple Network Management Protocol 简单网络管理协议
- TELNET——用于远程连接服务的标准协议
- VLAN——Virtual Local Area Network 虚拟局域网
- xDSL——Digital Subscriber Line 多种数字化用户线路的统称

目 录

序
前言
缩略词

第一篇 技 术 篇

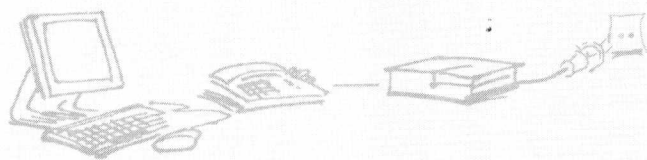
第 1 章 绪论	3
1.1 电力线通信 (PLC) 简介	3
1.2 PLC 的应用模式	4
1.3 PLC 技术在国内外的发展和应用	5
第 2 章 PLC 用于宽带接入的技术可行性	8
2.1 PLC 技术特性	8
2.1.1 频率范围	8
2.1.2 低压电力线的信道特性	8
2.1.3 PLC 与正交频分复用 (OFDM) 技术	9
2.1.4 传输特性	9
2.1.5 安全性	10
2.2 PLC 接入方案	10
2.2.1 高层住宅楼	10
2.2.2 低层住宅楼	11
2.2.3 商业写字楼	13
2.3 与其他接入方式的比较	13
第 3 章 PLC 系统测试研究	15
3.1 概述	15
3.2 第一部分: PLC 试验网络性能初步测试	15
3.2.1 试验网络介绍	15
3.2.2 网络性能测试	18
3.3 第二部分: PLC 系统测试	39
3.3.1 测试仪器	39

3.3.2	测试项目表	39
3.3.3	传输性能测试方案	40
3.3.4	系统功能测试方案	41
3.3.5	4.5Mbit/s PLC 系统测试	45
3.3.6	45Mbit/s PLC 系统测试	48
第 4 章	PLC 技术电磁兼容问题的研究	55
4.1	概述	55
4.2	PLC 通信系统可能产生的电磁干扰	56
4.2.1	传导类骚扰	56
4.2.2	辐射类骚扰	57
4.2.3	电磁骚扰的表示参数	58
4.3	PLC 系统的电磁辐射对合法短波无线电用户干扰的可能性	59
4.3.1	PLC 设备和系统的电磁骚扰限值的规定	60
4.3.2	PLC 的电磁辐射研究	60
4.3.3	国际上的相关资料	62
4.4	PLC 通信系统可能受到的电磁干扰	63
4.4.1	电磁骚扰的分类	63
4.4.2	PLC 产品的电磁兼容性	65
4.5	频率问题的研究	66
4.6	EMC 现场测试	69
4.6.1	EMC 测试探讨	69
4.6.2	EMC 测试和结果	71
4.6.3	结论	75
第 5 章	PLC 技术相关标准的研究	78
5.1	概述	78
5.2	国内 PLC 标准化情况和可参照的标准	78
5.3	国外 PLC 标准化组织和标准制订情况	80
5.3.1	欧洲的主要标准化机构	80
5.3.2	与 PLC 有关的标准化机构	80
5.3.3	ETSI EP PLT 标准制订情况	80
5.4	PLC 相关 EMC 标准制订情况	82
第二篇 应 用 篇		
第 6 章	PLC 市场前景分析	89

6.1 我国宽带接入市场的现状	89
6.1.1 宽带接入市场的特点	89
6.1.2 宽带市场的发展瓶颈	90
6.2 PLC 的市场策略	91
6.2.1 加强内容服务的建设	91
6.2.2 加强网络质量的建设	91
6.2.3 有步骤的发展用户	91
6.2.4 制定具有市场竞争力的价格体系	92
6.3 PLC 的市场优势	92
6.3.1 网络建设成本优势	93
6.3.2 带宽优势	93
第 7 章 实现 PLC 商业化运营的技术路线	94
7.1 第一阶段: 引进、消化及试验阶段	94
7.2 第二阶段: 技术开发阶段	95
7.3 第三阶段: 准商业化/商业化运行阶段	95
第 8 章 关于 PLC 运营试验的探讨	96
8.1 当前 PLC 运营网络存在的一些问题	96
8.2 PLC 运营网络建设的建议	97
8.3 PLC 运营网络建设的原则	97
第 9 章 PLC 运营策略分析	99
9.1 盈利模式	99
9.1.1 用户群分析	99
9.1.2 商业模式	100
9.1.3 多业务综合策略	100
9.2 分销策略	101
9.2.1 分销渠道的选择	101
9.2.2 分销渠道的建立	102
9.2.3 分销的管理	103
9.3 产品和服务保障	103
9.3.1 产品性能要求	103
9.3.2 产品质量保障	104
9.3.3 运营服务保障	104
第 10 章 低压 PLC 产品介绍	105
10.1 PLC 产品的分类	105
10.2 PLC 产品图片及主要参数	105

10.2.1	芯片速率为 2.5Mbit/s PLC 系统	105
10.2.2	芯片速率为 4.5Mbit/s PLC 系统	106
10.2.3	芯片速率为 14Mbit/s PLC 系统	106
10.2.4	芯片速率为 45Mbit/s PLC 系统	107
第 11 章	中压 PLC 试验应用	109
11.1	概述	109
11.2	中压 PLC 发展现状	109
11.3	中压 PLC 试验情况	110
11.3.1	试验准备	110
11.3.2	安装设备清单	111
11.3.3	安装过程	111
11.4	测试结果	115
11.4.1	Link 1—中压线路空载	116
11.4.2	Link 1—中压线路带载	116
11.4.3	Link 2—中压线路空载	116
第 12 章	PLC 面临的问题及前景展望	117
参考文献		119

第一篇 技术篇



绪 论

1.1 电力线通信 (PLC) 简介

电力线通信 (Power Line Communication, 简称 PLC) 技术, 从广义上讲包含应用于高压输电网和中、低压配电网的窄带电力线载波通信, 以及在中、低压配电线路上实现的宽带数据通信。本书所讨论的电力线通信技术是上述情况中的第二种, 即利用中、低压配电线路作为通信介质, 实现数据、语音、图像等综合业务传输的通信技术, 也称为高速 PLC 技术。

高速 PLC 按应用的配电网电压等级可划分为低压 PLC 和中压 PLC。低压 PLC 利用低压 (220V/380V) 电力线作为传输媒介, 为用户提供 Internet 接入、家庭局域网、远程抄表、智能家居等应用。中压 PLC 利用中压 (10kV) 电力线作为通信链路, 为接入骨干网、配电网自动化、用户需求侧管理及农村电话等应用提供传输通道。

电力线通信的发展历史可追溯到 20 世纪 20 年代, 当时的应用主要集中在 110kV 以上的高压远距离输电线路上, 工作频率在 150kHz 以下, 后来该频段成为欧洲电工标准化委员会 (CENELEC) 电力线通信的正式频段。到 20 世纪 50 年代, 低频高压电力线通信技术已广泛用于监控、远程指示、设备保护以及语音传输等领域。50 年代后期至 90 年代早期的 30 多年中, 电力线通信开始应用在中压和低压电网上, 其应用主要集中在电力线自动抄表、电网负载控制和供电管理等窄带通信领域。但是由于受到某些技术水平的限制, 利用电力线传输高速数据的通信产品及服务领域在当时没有得到发展。

近 10 年, 特别是 2000 年以来, 随着全球信息化进程的加快, Internet 技术得到飞速发展, 上网人数成倍增长, 各种宽带接入技术纷纷在网络实现成本、技术先进性及接入方便性上不断提高自身的竞争优势, 出现了百花齐放的新局面。采用何种通信方式将用户终端连接至最近的宽带网络设备, 成为宽带网络运营商们不断探索和关注的问题, 也是 Internet 普及的瓶颈之一, 被业内人士称为宽带网络接入的“最后一百米”问题。PLC 技术能够充分利用最为普及的电力线网络资源, 建设速度快、投资少、室内无需布线, 用户通过遍布各个房间的电源插座既能进行高速上网, 实现“有线移动”, 具备了其他接入方式不可比拟的优势, 再次成为国内外广泛关注的焦点。

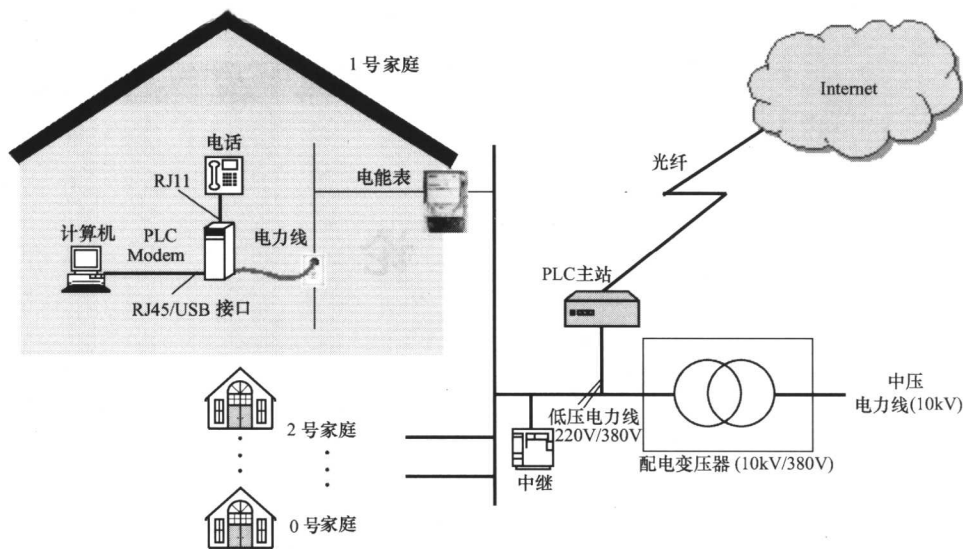


图 1-1 典型的 PLC 系统。

图 1-1 为典型的低压 PLC 系统应用示意图。在配电变压器（10kV/380V）低压出线端安装 PLC 主站，它的主要功能是将电力线上的高频信号调制或解调成为数据信号。PLC 主站的一侧通过电容或电感耦合器连接电力电缆，注入或提取 PLC 高频信号；另一侧通过传统通信方式，如光纤、CATV、ADSL 等连接至 Internet。在用户侧，用户的计算机通过 RJ-45 或 USB 接口与 PLC Modem 相连，普通电话机则通过 RJ-11 接口连接 PLC Modem，PLC Modem 可直接插入户室内电源插座，通过电力线实现高速数据传输。如果 PLC 高频信号在传输过程中发生较大衰减，可以在适当的位置加装中继器以放大信号。

从图 1-1 可以看出，当前用于宽带接入的低压 PLC，在组网结构上类似于“光纤 + 以太网”的模式，从骨干网络一侧来看，光纤需要到达小区内部各楼宇。所不同的是，“光纤 + 以太网”方式需要在楼内进行综合布线，为每个用户单独铺设一条 UTP 五类线到其室内。而 PLC 方式是利用已有的低压电力线传输高频数据信号，意味着它已将通信线路延伸至每个家庭，并具有多个信息接入点，在楼内几乎不再需要任何布线，这不但为网络运营商简化了工程安装工作，而且为用户开通提供了方便。

可见，利用四通八达、遍布城乡、直达用户的低压电力线传输高速数据的 PLC 技术，以其室内无需布线、覆盖范围广、连接方便等显著特点，成为解决宽带末端接入瓶颈的有效手段。

1.2 PLC 的应用模式

高速 PLC 的应用主要有两种模式。其一是以美国为代表的家庭内部联网模式。这

种模式的高速 PLC 只提供家庭内部设备之间的联网, 户外访问使用其他传统的通信方式。这一方面是由于美国 ADSL、HFC 等技术和产品已经比较成熟和普及, 更重要的是由于美国的低压配电变压器一般为单相, 平均仅为 5~6 个住宅用户提供供电服务, 因此, 推广电力线上网成本偏高。在我国的一些高档社区中, 拥有两台甚至两台以上计算机的家庭逐渐增多, 许多家庭在进行住房装修时并没有考虑综合布线, 要进行计算机联网就需要重新布线, 这样就破坏了装修, 影响美观。即使在住房装修时考虑了综合布线, 也只是在少数房间的少数地点安排了网络接口, 这些接口的数量远不如电源插座多。利用遍布各个房间的电力线组建计算机网络, 将电源插座作为网络接口, 无需重新布线, 是家庭联网的最佳选择。今后, 随着能上网的电视机和冰箱等数字家电的普及, 需要大幅度地增加接入端口, 而利用家庭和办公室中已有的电源插座, 通过电力线高速接入互联网, 能够很好地解决这个问题。

另一种模式是面向欧洲和亚太市场的电力线上网, 因为这些地区的低压配电网结构比较类似, 一般一台配电变压器要为 200~300 个住宅用户提供供电服务, 推广电力线上网服务的平均成本较低。另外, 在小区宽带接入领域, 电力线上网为宽带网络运营商提供了一种全新的宽带入户解决方案。

宾馆酒店是另一个适合使用电力线上网的用户群。利用客房内的电力线插座作为网络接口, 即可实现客房的宽带网络接入。由于其安装拆卸方便, 可以在客人入住时将电力线调制解调器租借给客人, 由客人自行插接, 结账时一并收取租金和上网费。电力线上网特有的电源插座多、即插即用等特点使用户端设备不必满额配置, 无需为不上网的客人提供设备, 节省了前期投入。与宾馆酒店业类似, 写字楼中的中、小型企业也可以利用电力线组建局域网, 以适应其流动性大的特点。

1.3 PLC 技术在国内外的发展和应用

电力线是每个家庭最为普及、覆盖范围最为广阔的一种物理媒介, 远远超过有线电视网络甚至电话线路的覆盖面。因此, 利用电力线实现高速数据通信的技术得到了国内外许多大公司的青睐。

英国联合电力公司的子公司 Norweb 通讯公司在 1990 年开始对高速电力线通信进行研究。1995 年, 该公司又与加拿大 Nortel (北电网络) 公司联手, 共同开发这项新技术。1995~1997 年的两年间, Norweb 和 Nortel 公司已经成功地在美国曼彻斯特对 20 个居民用户进行了 PLC 上网试验, 其中还包括话音服务。1997 年 10 月, 这两家公司声称已经解决了电力噪声等问题, 取得了电力线载波技术的重大突破, 利用新开发的数字电力线 DPL (Digital Power Line) 载波技术, 实现了在低压配电网上进行 1Mbit/s 速率数据传输的远程通信, 欲将四通八达的电力线转化为信息高速公路, 并在 1998 年 3 月 25 日, 成立合资公司 NOR.WEB, 进行该技术的市场推广。

随后, 许多国家的研究机构也纷纷开展了高速电力线通信技术的研究和开发, 如美

国的 Intellon、Inari (Intelogis) 公司, 以色列的 ITRAN、Main.Net 公司, 韩国的 Xeline 公司, 瑞士的 ASCOM 公司, 德国的 Polytrax 公司, 西班牙的 DS2 公司等, 产品的传输速率也从 1Mbit/s 发展到 2、14、24Mbit/s, 甚至 200Mbit/s。

在 PLC 宽带接入商用化运营方面, 走在前列的是德国公司 (早在 2001 年 4 月, 德国就通过了允许在电力线上经营 Internet 服务和电信服务的法令)。2000 年 5 月, 德国 RWE 开始采用瑞士 ASCOM 公司的产品为埃森的电力用户提供电力线数据服务, 传输速率达到 2Mbit/s。收费方式为每月访问的数据量在 250MB 以内时, 用户需支付 22 欧元。截至 2001 年 10 月, RWE 电力线通信公司大致安装了 1500 个电力线上网用户。

在德国的曼海姆, 当地的能源公司 MVV 采用 Main.Net 公司的产品进行了商用化运营实验, 并为此成立了合资公司 PPC (Power PLUS Communications AG)。PPC 可以为每个终端用户提供 0.35 ~ 1.2Mbit/s 的带宽, 典型小区的用户数为 250 到 300 户, 最大传输距离为 500 米, 典型传输距离为 150 ~ 180 米。PPC 推出的 PLC 服务品牌为 “VYPE”, 用户只要交纳 119 欧元的初装费, 就可得到一个用户终端、5 个邮件地址和 5 兆的网页空间。普通家庭的月租费为 14.90 欧元, 每兆字节的收费为 3.3 欧分。包月家庭用户每月的费用为 24.90 欧元。

目前, 国际上专用的 PLC 调制解调芯片主要有以色列 Itran 公司 2.5Mbit/s 的芯片、美国 Intellon 公司 14、54、85Mbit/s 芯片、西班牙 DS2 公司 45Mbit/s 和 200Mbit/s 芯片。其中, 美国 Intellon 公司的 14Mbit/s 芯片应用最为普遍, 大部分 PLC 系统都是基于该芯片开发的, 法国 Spidcom 公司也开发了 224Mbit/s 芯片, 正在测试之中。

欧盟为促进 PLC 技术的发展, 从 2004 年 1 月 1 日开始, 启动了一个称之为 OPERA (Open PLC European Research Alliance) 的计划, 旨在联合欧洲的主要 PLC 研究开发力量, 致力于制定欧洲的 PLC 统一技术标准、推动大规模商业化应用, 并将 PLC 作为实现 “eEurope” (信息化欧洲) 的重要技术手段。美国联邦通信委员会 (FCC) 一直在鼓励启用新的基于现有设施的宽带平台, 促进美国的宽带业务。2004 年 2 月 12 日, FCC 批准对某些技术规则的修改意见, 目的是通过促进电力线宽带接入技术的推广应用, 把美国电力网的巨大潜力利用起来。美国、欧洲许多大的电力企业也积极进行中压及低压 PLC 试验, 美国的 Cinergy 等 17 家电力企业、德国、奥地利、西班牙等 15 个欧洲国家的 32 个电力企业建立了 PLC 试验网络, 有的还进行了 PLC 商业化运营。亚洲开展 PLC 研究和试验的国家和地区除中国大陆外, 还有日本、韩国、新加坡、中国香港、中国台湾等, 日本对 PLC 的态度, 经历了从初期怀疑否定、到开放试验、直至今日的积极推动的三个阶段。目前日本的东京电力、新加坡电力、香港中华电力等建立了一定规模的试验网络。据不完全统计, 截止 2004 年年底, PLC 的试验网络已遍及欧洲、亚洲、北美洲、南美洲、非洲以及大洋洲的 40 多个国家和地区。

我国是世界上较早开展 PLC 技术研究和宽带接入应用的国家, 并在此领域取得了一定的成果。国家电网公司领导高度重视 PLC 技术的研发和推广, 多次设立了研究 PLC