**第一部分 国内外现状及趋势分析**

# 1.1 国内外总体研究情况和水平

随着科技创新推动了现代化工业迅速发展，电力企业作为我国重要的能源供给企业，在配电系统中更多地提倡应用通信、计算机、网络等技术,来保证供电质量并降低能耗，以改善现代人的生活。断路器作为一种能关合、承载、开断运行回路正常电流及过载电流的设备，对系统的稳定可靠性至关重要。

断路器根据标准电压使用范围可分为低中高压断路器。低压断路器现在较多使用空气式，空气式断路器按结构又可分为框架式和塑壳式断路器，前者相对后者具有部件更换灵活、容量大、极限分断能力高和足够的短时耐受力等特点，适用范围选择性和功能稳定性较强，后者因为体积小，成本低，最终两者市场产值持平。中高压断路器现在较多使用真空断路器和SF6断路器，前者无污染、轻便简洁，可频繁操作且不用灭弧检修；后者切断能力高于其他断路器（如空气断路器）10倍左右，独立性、可靠性、安全性高，但对灭弧吹氟气体的应用管理有较高要求。

目前国内外在断路器行业各类断路器都有不同程度的发展。国内主要应用的低压断路器第三代限流及分断能力较高，第四代VW60系列在探索开发阶段，以扩展框架式断路器和塑壳式断路器智能化与可通信功能，例如在多总线并存的情况下采用通信适配器等方式来实现，可进行区域选择性连锁、负载监控，达到网络化的目的。现场总线技术发展趋于成熟，以实现遥调、遥测、遥信、遥控功能。中高压断路器方面，因为绿色环保方面的优势，真空断路器占绝对主导，并不断向以特高压为核心的坚强智能电网、应用新材料、提高产品可靠性、形成最佳人机关系的目标努力。

国外对于微型断路器的发展较早, 且发展水平优于国内，相应的做智能小微断路器的公司较多，常见的有施耐德、ABB、西门子等。施耐德有C65、Easy9、Osmart系列等，分断能力为6000A；ABB有S2、S9、S500系列等，S500系列分断容量可达到50kA，快速分断时间小于2ms，可灵活选择S500断路器的上级和下级过电流保护装置。S9系列是单模数微型断路器，额外增加中性极设计。可同时分断相线及中性线, 最大接线能力为16mm2, 结构设计的可靠性和经济性大大提高；西门子断路器有5SU9系列电子式漏电保护断路器、5SM系列电磁式漏电保护装置、3NA系列熔断器等，在中国建筑和工业领域得到广泛应用。5S系列断路器用于直流时，单极最高可达60V两极最高可达120V，直流分断能力为6kA，用于交流时最高工作电压可达140V，交流分断能力6kA，冲击耐受电压6kV。

随着物联网技术，特别是基于无线传感网络技术的兴起，已经为智能检测提供了可靠合理的解决办法。为了进一步推动配电网自动化的发展水平，就有必要进一步提升配电网断路器多层次控制网络的智能性，通过增加边缘计算等新兴应用基础的物联网SOC芯片，进一步提高在配电网智能检测与配电网智能控制之间的数据交互，实现本地化的应急管理响应的先进管理模式。

物联网SOC芯片是指集成了包括高性能主控芯片、通信芯片（包含HPLC通信模块、蓝牙5.0通信模块）、外围接口芯片、AD采样芯片等模块：

1） 高性能主控芯片支持较为广泛的指令集架构，可集成具有专用指令扩展设计的自主知识产权RISC-V指令集架构微处理器内核，工作主频超过400MHz，等效计算能力达到300MIPS，总线为多层次结构；

2） 通信芯片同时支持HPLC和蓝牙5.0版本以上通信能力，协议层支持开放协作的数据与通信管理能力，实现基于通信芯片层次的电力物联网生态，提升配电网不同设备节点间的数据共享与交换，支持以数据为基础的边缘侧协作化智能决策，为数据驱动的电力物联网管理能力提供协议支持；

3） 接口芯片包括RS485等常用兼容接口，并支持丰富的外设接口，包括GPIO/Uart/I2C/SPI/I2S/PWM/PDM等，以及灵活的外部中断与计数器控制逻辑；

4） 集成中低速12bit高精度AD电路模块；

5） 集成支持算法升级的神经网络计算单元，实现对边缘侧感知数据的本地化分类、识别与决策智能；

6） 解决强电磁干扰等问题，支持在工业级高电磁场环境下的稳定工作。

物联网SOC芯片是提升配电网断路器智能化水平的主要途径，是研制适合在工业级高电磁环境下的高可靠控制芯片，以实现具有自主智能能力的配电网智能断路器多层次系统结构和功能。依托物联网透彻的信息感知、可靠的数据传输、健全的网络架构、海量信息的智能管理和多级数据的高效处理能力，实现对配电线路运行参数的智能断路控制，通过对协作获得的各类传感器参数信息边缘侧实时或周期性的分析诊断，从而从边缘智能的层面，更好的保证配电线路的安全可靠，对提高配网供电可靠性及运行效率具有重要意义。

# 1.2 最新技术进展

由以上可知，随着智能配电概念的提出，国内外配电行业持续快速发展，研究人员不断更新系列产品，对电路各模块控制程序进行设计优化，总结各类措施如下，（1）在配电柜内增加大量智能检测仪表及互感器，如带通信功能的多功能仪表，并配合断路器脱扣线圈进行控制，利用上位机进行遥测、遥传、遥控，构成复杂，功能简单，但不能长期储存相关运行记录。（2）增加基于GPRS的信号发射模块进行现场电量参数的远传，再人工读取分析参数并控制断路器通断，但由于信号不稳定、检测不全面，只在少数供电局系统使用。（3）采用断路器智能脱扣器本身加装，蓝牙模块实现数据远传与控制，需配合各厂家专用控制软件和手持PDA，仅适用于小型专用配电系统。这些方法从断路器的硬件结构、控制系统、脱扣特性等对智能微端进行研究，但大部分还不能满足低功耗的要求，还需更多的改进措施才能用于大型配电系统。

在开展微型断路器设计、选择和应用时，需引入智能化控制、引入物联网技术和引入微型化结构设计。融入物联网技术的SOC芯片主要优势在于利用物联网技术对断路器的参数进行实时监视，例如：检测电压、电流、触头和开关位置，检测触头的绝缘水平超限报警，监测断路器本身的参数预计电气特性参数。物联网SOC芯片是利用智能控制器和人工智能技术调控断路器设备信号，使断路器更好地保护短路电流过大引起的负载故障问题，同时提高断路器的综合性能。

# 1.3 技术发展趋势及前景

智能电网建设至今，国内外相关产业都在不断强化技术创新，加快建设泛在电力物联网，期望在未来打造配网智能化管理新模式，消除传统模式中存在的种种弊端，全面提升电缆及通道数字化管理水平。断路器作为终端电器保护装置，是配电网的底层设备，对其引入智能化控制、物联网技术和微型化结构设计可以更好地实时监视断路器相关数据和避免负载故障问题，并配合自动化系统平台，完善数据系统，通过对所得数据和结果进行整体归纳和总结，形成完整、科学的实施方案，并依托于地理图形来完成设备管理和检修，从而确保配网系统全过程、多环节、多维度管控，达到精益化、可视化、智能化主动运维管理的目标。这些对提升配电网信息化水平、实现安全运行的实时感知与精细化控制至关重要，是实现智能化、可视化、自动化、交互式的新型现代化配电网中不可缺少的一环，也是未来发展的必然趋势。

为了推进这一目标，要求底层设备融合物联网技术，加强对断路器智能终端异常问题的防范与处理，包括内置式一体化物联网和外置式一体化物联网两种方案，要能够实现边缘计算、自动识别和自主决策等功能，完成馈线自动化和智能巡检技术的深入运用。边缘计算使物联网设备在靠近物或数据源头（如微型智能断路器属于现场数据源）的网络边缘测与云计算互相协同，就近提供智能互联服务高效地对用电情况进行动态监测，维护系统的安全、稳定运转；利用自动识别技术可在断路器存在潜在故障时自动报警，自主决策是在配电网在线检测值超出设定阈值时利用深度学习能力尝试自我分析线路、查询原因并修复故障，这两项措施都可以加强人与设备、设备与设备间的信息关联与交互，实现参数检测、故障信息记录，状态巡检一体化。通过以上措施，能够高效地革除故障，确保在最短时内回归供电，当配网线路中有故障问题时，不会造成过大的影响。

考虑到结构设计、电气性能参数检测、物联网组网技术、人工智能技术，接入物联网技术的SOC芯片能够具有边缘计算、自动识别和自主决策功能。物联网SOC芯片还应包括在RISC-V指令集架构的Linux软件系统上进行开发软件系统，软件系统组成包括：

1） Linux操作系统内核，可实现eCos系统的功能。

2） 设备驱动，负责外部接口的设备驱动程序管理。

3） 各级应用程序，包括系统和各级初始化程序，HPLC和蓝牙协议层数据通信解析，协作/决策处理，中断处理程序等。

综合以上趋势，结合芯片在该系统可实现的工作如下：蓝牙、HPLC通信协议层协作数据与通信管理；协作化智能处理实现不同设备节点间的数据共享与交换、边缘侧协作化智能决策；外围存储器接口控制和数据访问，存储器的初始化配置、工作模式配置、工作控制；外设接口收发帧数据操作；此系统包含的USB高速外设接口以及传统RS485、Uart、SPI、I2C等低速接口的通讯和控制；以及其他数据输入输出AD/DA电路控制和配置功能。

以新型物联网SOC芯片等物联设备为基础，构建智能配网框架，包括新型MEMS传感器终端、手机App和自主诊断应用层的设计，实现监测智能断路器的电气指标实际运行情况，对故障断开点能够精准定位、即时信息处理及推送并能够快速处理故障灯。通过物联网SOC芯片协作化能力的实现，进一步提升配电网的智能化和可靠性。

**表1 国外从事相关研究的主要机构（不超过5家）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **机构名称** | **相关研究内容** | **相关研究**  **成果** | **成果应用情况** | **本项目与国外机构相关研究内容自评价**  （请在框里打√） |
| 1 | Schneider electric施耐德电气 | 智能配电自动化技术、配电网风险评估与故障快速处理技术、分布式发电与微电网技术、智能配电网规划、停电管理 | Masterpact系列空气断路器、Compact系列塑壳断路器、DMS配电网管理系统、DAS配电网自动化系统等 | 应用于绿色数据中心，提高食品饮料行业及医院电源可靠性、提高酒店及其他写字楼电力管理 | 🗹领跑□并跑□跟跑 |
| 2 | ABB | "物联网+"研发和改进过程控制系统、通信解决方案、传感器和软件 | HEC-7/8、HECS、HECPS-S、HECS-R、HVR-63系列断路器等 | 低压断路器产品广泛应用于工商业与民用建筑配电系统、各种自动化设备和大型基础设施，为世界各地的输配电网络和发电厂提供全套系统和服务，重点是变电站和变电站自动控制系统。 | 🗹领跑□并跑□跟跑 |
| 3 | SIEMENS  西门子 | 数字化和智能互联技术、分布式光伏、冷热电三联供技术 | SIVACON 8PT配电系统、3WL空气断路器、3WT空气断路器等 | 为国家能源分布式能源技术 研发（实验）中心提供了微网智能运行优化和调度系统，打开光伏市场，对于在电力、供暖与制冷方面有较大需求 的商业楼宇用户，分布式能源家族中的“全能型选手”冷热电三联供解决方案，让能 源“物尽其用” | 🗹领跑□并跑□跟跑 |

**表2 国内从事相关研究的主要机构（不超过5家）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **机构名称** | **相关研究内容** | **相关研究成果** | **成果应用情况** |
| 1 | 西安交通大学贾申利教授团队 | 基于人工过零的高压直流开断技术 | 研制出了我国第一台面向直流电网需求的高压直流断路器单元样机。课题组所研制的55kV单元样机在国家高压电器质量监督检验中心通过试验，成功开断16kA电流，开断时间小于5ms。 | 由西安交通大学贾申利教授负责的国际首个直流断路器国际标准《IEC 62271-313 DC circuit-breakers》制定工作启动会在国际电工委员会IEC网络会议平台召开。IEC高压开关分委员会秘书长Anne Bosma和来自ABB、Siemens、GE、Eaton、东芝、三菱、中国国家电网公司等单位的20名专家参加会议。 |
| 2 | 华北电力大学汤广福院士团队 | 研究断路器故障测试和诊断。  从事电力系统电力电子技术研究，针对电力电子换流内在规律、强电磁环境驱动与保护、等效试验机理等关键工程技术难题，在该领域重要装备的系统设计、设备研发和工程应用方面做出了突出贡献 | 先后完成静止无功补偿器、可控串补晶闸管阀、±800kV特高压直流换流阀、柔性直流换流器和高压直流断路器等高端电力装备的研制，陆续实施了参数居国际首位的重大工程示范和推广应用，为实现电网灵活可控、远距离大容量输电、高效接纳可再生能源提供了新的手段。 | 华北电力大学联合研发的“高压断路器机械特性监测系统”在国网河北检修公司进入项目推广阶段 |
| 3 | 深圳市力合微电子股份有限公司 | 自主研发的泛在电力物联网通信芯片、模块产品、终端产品及完整解决方案。 | 力合微电子凭借自主核心技术，在物联网通信芯片产品和市场上不断实现突破。高速电力线通信（HPLC）芯片、HPLC驱动/功放芯片、窄带PLC通信芯片、北斗/GPS双模导航芯片、低功耗无线芯片、电力线通信模块产品及相关终端产品 | 提供了HPLC综合能效管理系统方案，包括园区/楼宇综合能效管理、家庭智慧用能、智慧路灯、智能家居控制等。旨在打造成为物联网通信“中国芯”芯片企业 |
| 4 | 清华大学杨华中教授团队 | 正承担的国家级研究项目：芯片的全系统仿真，国家重点基础研究发展规划(973)，编号G1999032903；微芯片系统（SoC）的关键技术，国家杰出青年基金，编号60025101；模拟及混合信号系统的建模方法，国家自然科学基金，编号69973027；智能电源电路类IP核，国家863计划，编号863－SOC－Y－2－7。 | [1] Sekedi Kobenge, Huazhong Yang, A 250 KS/s, “0.8 V ultra low power successive approximation register ADC using a Dynamic rail-to-rail comparator,” IEICE Electronics Express, 2010, 7(4):261–267  [2] Bo Zhao, Xiaojian Mao, Huazhong Yang, Hui Wang, “A 1.41-1.72 GHz Sigma-Delta Fractional-N Frequency Synthesizer with a PVT Insensitive VCO and a New Prescaler”, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2009.6, 59(3): 265-273 | 1、 微系统（SoC）芯片的新结构，主要包括：用于多媒体信息处理的可重构的数字系统结构，可重用芯核（IP），异步电路，模拟信号的并行处理  2、 微系统芯片的综合与验证，主要包括：电路的分块与识别，互连线的延时与噪声模型，混合信号系统的建模与综合方法  3、 模拟及混合信号系统设计 |

**表3 项目研发相关的主要文献、专利、标准（不超过10项）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **类型（文献、专利、标准）** | **名称** | **机构** | **作者** |
| 1 | 文献 | 真空断路器机械特性的在线监测方法 | 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室 | 孟永鹏;贾申利;荣命哲 |
| 2 | 文献 | 高压气体断路器弧后电流特性的实验研究 | 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室 | 朱凯；李兴文；赵虎；姜旭；贾申利 |
| 3 | 专利 | 一种基于模块化多电平换流器的准零电流开关DC/DC变换器201510341024.8 | 国网智能电网研究院，国网浙江省电力公司，国家电网公司，华北电力大学 | 王新颖，汤广福，等 |
| 4 | 专利 | 一种基于高速电力线载波的通信方法201911182933.6 | 深圳市力合微电子股份有限公司 | 深圳市力合微电子股份有限公司 |
| 5 | 专利 | 一种开放式接入平台的智能控制方法 | 深圳市力合微电子股份有限公司 | 刘鲲，刘元成，易帆，谭璇，朱永，罗玲红，张婷 |
| 6 | 专利 | 用于断路器的操作机构及断路器201921158212.7 | 施耐德电器工业公司 | 吕泽文，李波 |
| 7 | 专利 | 断路器的智能模块201811326811.5 | ABB瑞士股份有限公司 | L·D·马什卡雷尼亚什，T·R·鲁特，R·E·伊格拉 |
| 8 | 专利 | 低压断路器和方法201910628499.3 | 西门子股份公司 | A.博格沃特 |
| 9 | 专利 | An Ultra Low Power Time-Domain Comparator, ZL200810114513.X, 2010.01.20 | 清华大学 | Sekedi Kobenge, Huazhong Yang |
| 10 | 文献 | Computer Aided Analysis and Design Methods of Electric Circuits, | Tsinghua Univ. Press : Beijing, 2008, In Chinese | Hui Wang, Huazhong Yang, Rong Luo, |