

# openEuler操作系统在电力行业的 应用与生态发展白皮书

中国能源研究会信息通信专业委员会  
EPTC电力信息通信专家工作委员会

组编



## 编委会

**主 编** 徐 英

**编 审** 李向荣 杨华飞

**副主编** 吴张建

**编 委** 贺万金 康海鹏 李晨斌 李艳君 刘理宁 宋 琴 孙建民  
王凤丽 王 攀 王一婷 谢依麟 杨汇成 杨 佩 郑国玲  
朱天旭 祝文军 黎彦池

**组 编** 白敬强 陈姗姗 杜立晨 黄丽红 李 理 梁志琴 刘 静  
邵 帅 王晓彤 王伟娜 谢丽莎

**组编单位** 中国能源研究会信息通信专业委员会  
EPTC 电力信息通信专家工作委员会

注：编委成员按姓氏拼音顺序排序。

# 目 录

第一章 电力行业数字化中基础软件根技术的战略意义 .....	1
1.1 构建数字化基础软件根技术生态的机遇和挑战 .....	2
1.2 国内操作系统产业发展现状 .....	6
1.3 电力行业基础软件应用及其生态发展现状 .....	10
第二章 openEuler 操作系统在电力行业的生态发展趋势 .....	13
2.1 电力行业数字化对基础软件的需求趋势 .....	14
2.2 新型电力系统对操作系统的需求趋势 .....	14
2.3 openEuler 助力新型电力系统发展趋势 .....	22
第三章 openEuler 操作系统在电力行业的应用实践 .....	24
3.1 openEuler 操作系统在发电的应用实践案例 .....	24
3.2 openEuler 操作系统在调度的应用实践案例 .....	26
3.3 openEuler 操作系统在变电领域的应用实践案例 .....	30
3.4 openEuler 操作系统在配电领域的应用实践案例 .....	32
3.5 openEuler 操作系统在用电领域的应用实践案例 .....	34
3.6 openEuler 操作系统在信息管理领域的应用实践案例 .....	35
第四章 openEuler 操作系统在电力行业的应用技术规范 .....	38
4.1 中文支持要求 .....	38
4.2 硬件兼容性要求 .....	38
4.3 系统管理工具要求 .....	39
4.4 开发工具要求 .....	39
4.5 文件系统的支持要求 .....	40
4.6 数据库的支持要求 .....	40
4.7 安全性要求 .....	41
第五章 openEuler 操作系统在电力行业应用迁移指南 .....	42
5.1 操作系统迁移的关键因素 .....	43
5.2 操作系统迁移方案 .....	43
5.3 迁移工作方案建议 .....	44

第六章 openEuler 在电力行业应用的展望与建议 .....	54
6.1 行业应用场景 .....	54
6.2 行业应用建议 .....	56
附件 1 名词解释 .....	61

## 第一章 电力行业数字化中基础软件根技术的战略意义

当前，全球经济进入深度调整与再平衡的“新常态”，随着数字化技术的普及和应用的蓬勃发展，数字经济能力成为数字时代国家综合实力的重要体现，是构建现代化经济体系的重要引擎。国家将“数字经济”与“实体经济”相结合，构建新型基础设施，将数据要素、数字化治理融入千行百业，提升行业发展的效率和质量，构筑面向未来的竞争力。

电力行业在国家能源发展战略中占据重要地位，是国民经济和社会发展的基础。为响应国家号召，实现“双碳”目标，能源是主战场，电力是主力军，构建以新能源最大化消纳为主要任务的新型电力系统，是实现“碳达峰、碳中和”目标的必然选择，这一战略目标的实现，很大程度上取决于能源与电力的清洁化程度，数智化与分布式能源、智慧能源电力与清洁低碳能源开发利用的技术能力。据国家能源局数据显示，火电是我国主要的电力供给来源，装机比重达 50%以上，但在双碳战略要求下，火电装机比重逐年减少，新能源电力装机比重和供电能力明显提高。与此同时，清洁能源消费占比持续提升，2021 年水电、核电、风电及太阳能发电等清洁能源消费量占能源总消费量的 25.5%。能源结构转型任重道远，数字技术与电力技术的深化结合将成为推动电力企业可持续发展及实现双碳目标的重要引擎。（数据来源：国家能源局、国家统计局。）

现如今，数字化转型已发展到关键阶段，数字化技术渗透至电力产业“源网荷储”各大环节。作为国计民生的基础设施行业，电力在数字化转型中，不仅要考虑效率的提升，更要考虑安全与可持续发展。在变幻复杂的国际形势下，电力信息系统的数字化底座需要自主可控，并能持续支撑面向未来的演进，避免影响业务发展的连续性。基础软件作为电力行业数字化转型的基础，是数字化转型中的关键核心技术。从国家发展的急迫需要和长远需求出发，构建新型电力信息系统需要自主可控、可持续演进的基础软件根技术体系做支撑。

我国数字经济正在走向深化应用、规范发展、普惠共享的新阶段，这对电力行业的数字化转型提出了更高要求，并需要自动化技术逐步摆脱对国外基础软件根技术的依赖，确保我国电力数字化进程不受制于人。本报告以 openEuler 为切入点，通过具体的应用案例，探讨电力行业参与自主化基础软件根技术发展的模式和路径，并为其他行业走向数字化的深水区提供参考。

## 1.1 构建数字化基础软件根技术生态的机遇和挑战

习近平总书记在中共中央政治局第三十四次集体学习中强调，“要全面推进产业化，规模化应用，重点突破关键软件，推动软件产业做大做强，提升关键软件创新和供给能力”。软硬件平台是构建国家数字经济的基础，为响应国家号召，各行业的产业供应链应借助根技术概念的提出迅速聚焦攻关方向，集中产业链资源，对关键技术重点突破。

过去很长一段时间，我国的软件产业发展仍主要集中在成熟软件应用和二次开发，中国绝大部分的科技创新型公司都采用类似的发展路线，即基于成熟软件技术或开源社区（CentOS、openSUSE、Debian 等国外社区）代码做二次开发，发行自主发行版本，提供技术服务，形成国产商业化模式，对于操作系统、数据库等基础软件的源代码开发能力不足。

在当今世界贸易保护与技术封锁日益加剧的环境下，过去的这种商业模式在一定程度上已经走到了尽头。我国要实现上层应用和数字经济的快速发展，只有坚持基础软件的自主创新才是根本之策。

### 1.1.1 构建数字化基础软件根技术生态的机遇

面对变化莫测的国际形势和新技术的迭代更新，“根技术”逐渐成为主导全球软件行业的焦点，也日益成为新一轮科技制高点之争的主战场。在我国信息技术应用创新产业发展的大背景下，国产根技术研发正迎来一个难得的机遇，主要体现在以下四个方面。

第一，根技术成为国际竞争新焦点。2022年8月，美国总统拜登正式签署《芯片和科学法案》（以下简称“芯片法案”），计划为美国半导体产业提供高达527亿美元的政府补贴。“芯片法案”旨在通过巨额产业补贴和遏制竞争对手的霸道条款，实现降低成本、创造就业、加强供应链，以及重夺行业主导权，推动芯片制造“回流”美国本土，最终达到垄断技术的目的。基础软件根技术以其催生中小企业成长、促进企业发展、优化产业环境、高效配置资源等重要功能，成为数字经济中枢和最关键的资源整合体，也成为主要国家和重要经济体在数字经济领域竞争的核心，世界强国围绕根技术发展权、主导权、控制权的角逐日趋激烈。根技术发展和竞争成为影响经济社会发展、决定国家战略利益分配的关键

因素，由根技术带来的新型竞争格局正在形成。中国只有发展属于自己的根技术，才能在未来的数字化经济竞争中拔得头筹。

第二，新发展格局赋予产业新使命。基础软件作为信息技术关键载体和产业融合关键纽带，已成为我国新时期抢抓新技术革命机遇的战略支点。“十三五”时期，我国深入实施数字经济发展战略，不断完善数字基础设施，加快培育新业态、新模式，推进数字产业化和产业数字化发展。2020年，我国数字经济核心产业增加值占国内生产总值（GDP）比重达到7.8%，数字中国建设取得决定性进展和显著成效。“十四五”时期，信息化进入加快数字化发展、建设数字中国的新阶段。国务院印发的《“十四五”数字经济发展规划》明确提出，到2025年，数字经济迈向全面扩展期，数字经济核心产业增加值占GDP比重达到10%，数字化创新引领发展能力大幅提升，智能化水平明显提升，数字技术与实体经济融合取得显著成效，数字经济治理体系更加完善，我国数字经济竞争力和影响力稳步提升。同时，深入贯彻党的二十大精神，以建设数字中国为总目标，以加快数字化发展为总抓手，发挥信息化对经济社会发展的驱动引领作用，推动新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展，加快建设现代化经济体系。我国数字经济发展正转向深化应用、规范发展、普惠共享的新阶段。面对新时期新形势新挑战，我国将加快实施国家软件发展战略，不断提升软件产业创新活力，充分释放软件融合带来的放大、倍增和叠加效应，有效满足多层次、多样化市场需求。

第三，数字化转型驱动产业升级换代。目前市场空间广阔，被外资垄断的格局有望打破，将给基础软件上下游产业链让出新的市场空间。在中央、地方政府数字化建设中，政府采购政策对国产基础软件给予了很大的支持力度。我国的内需市场不断地扩大，在此背景之下，市场的发展空间十分可观。从移动互联网发展到现在，整个网络的环境已经相对成熟，我国软件发展的多样性也体现出来，打破了以前传统的操作系统、数据库、中间件垄断市场的局面，这为每一个工业企业提供了相对平等的发展机会。为避免外资垄断，二次停服的风险，我国要逐渐停止使用如CentOS等衍生版本和其他国外产品本地化版本，同时需要选择具有独立演进能力的操作系统技术体系培育根社区。从社区建设角度，依托中国开放原子开源基金会，打造由政府指导、产业共建、社区自治的操作系统原生开源社区，并以此为基础发展操作系统产业，培育龙头企业。在产业聚力方面和发展

初期，应该集中力量办大事，避免分裂，选择具有独立演进能力的操作系统体系培育生态，向下支持国内多种 CPU，向上支持各行各业的应用，能持续满足我国数字社会基础设施不断发展的诉求。

第四，开源重塑软件发展新生态。各行业的数字化转型代表着新的商业模式、商业形态的出现，对新型数字基础设施提出新的需求。未来数字基础设施不再是以传统硬件为主、设备种类繁多的传统网络和 IT 架构，而是基于“软件根技术、根产业、产业生态、软硬结合、算力、数据”的“操作系统+数据库+互联+算力+应用”的综合服务能力。软件根技术生态更加强调产业链的参与，不断从产业、用户、应用中得到反馈去循环改进，它会根据用户需求“按需而配、按需而建”，能够智能地聚集上下游合作伙伴与用户，形成一个有人气的生态系统。同时，基础软件根技术经济正在迅速崛起，作为一种产业形态，具有多边市场、交叉网络外部性、增值性、快速成长性等主要特征，根技术通过对产业资源、市场资源的整合，给基础软件根产业带来巨大回报的同时，还能通过软硬融合适配，形成规模效益，为产业链提供广阔的发展空间。

围绕上述四个方面综合判断，我国凭借集中力量办大事的制度优势和在数字化转型、政府重大应用的强大市场资源，以及几十年来积累的软件技术发展基础等优势，软件根技术和根产业领域将会存在 5—7 年的窗口期，极有可能在以开源为主导的软件领域产生重大根技术和产业突破。

### 1.1.2 构建数字基础软件根技术生态的挑战

在我国面临的当前环境下，机遇与挑战并存。我国基础软件根技术生态构建远比攻克一个单点技术要困难很多、宽泛很多，其发展挑战主要体现在以下三个方面。

第一，市场应用的挑战。据统计，2020 年我国操作系统规模达 791.1 亿元，且近年来市场规模增长明显。然而，我国的操作系统市场主要被 Windows 和 redhat 等国外操作系统品牌所占据，国产操作系统渗透率水平低，其中国产操作系统市场规模仅 26.68 亿元，占比仅为 3.37%，可发展空间巨大。2020 年，全球数据库行业市场规模达到 675 亿美元，其中关系型数据库占据约 80% 的体量，而 Oracle 在全球关系型数据库中占据了约 42% 的市场份额，三甲中的另外两家厂商分别是 IBM 与 Microsoft。国内数据库市场领先厂商的份额情况与全球市场



基本一致。从工业增加值角度，我国已经是世界第一大工业国（从 2011 年工业增加值超过美国一直保持至今），但我国缺乏发达的工业软件体系，没有经历完整的工业化进程，缺乏工业技术的深厚积累，难以开发出优秀的工业软件。在 CAD 研发设计类软件市场，法国达索、德国西门子、美国 PTC 及 Autodesk 在我国市场占有率超过 90%；CAE 仿真软件市场领域，美国 ANSYS、ALTAIR、NASTRAN 等占据了 95% 以上市场份额。国内基础软件市场被国外企业垄断，虽然我国现在技术发展已经初具规模，但从技术走到市场需要一个认知的过程，基础软件的生命周期长，标准化要求高，形成下游生态后，迭代创新的研发工作往往要十年以上，产业切换成本高，国内产品突围难度大。

第二，技术储备的挑战。国内操作系统的发展路径需在整体产业布局上达成统一共识，构建开源根社区，否则易造成研发资源分散，不能集中力量办大事。从历史成功经验上看，一个可独立自主演进的 Linux 操作系统体系，其根本特征是直接以 Linux 内核为源头构建开源根社区，基于根社区进行技术创新和生态培育。以红帽体系为例，它以 Fedora 为根社区向上游对接 Linux 内核，向下游提供社区版本，红帽公司则以此为基础发展 CentOS Stream 开源版本，在成熟后再发行商业版本，由此形成独立的生态体系和技术发展路线，其发展不受其他 Linux 流派的影响。

以 Linux 内核为源头构建我国的操作系统根社区，有两大优势，一是可以按照我国产业界实际情况确定自身技术发展路线，不受红帽等流派策略变更影响。我国正在发展以龙芯、鲲鹏、海光、飞腾等为代表的 CPU 技术路线，操作系统作为 CPU 和上层应用之间的桥梁，需要向下支持多种 CPU 满足各行业用户需求，而红帽等体系优先支持英特尔等国外 CPU，难以满足支持国产软硬件协同创新、实现各行业数字化转型安全发展等诉求，因此亟须以我国根社区来支持国内产业发展，构建中国自主可控的产业生态。二是通过根社区加大 Linux 内核贡献度，构建全球开源体系话语权，形成“你中有我、我中有你”的发展格局。目前我国产业界已经初具全球影响力，自 2019 年起，华为累计内核贡献排名稳居前五，在 5.10 和 5.14 内核版本中贡献数量排名第一。

第三，产业生态的挑战。国外基础软件已经形成了一个较为完善的产业生态体系发展环境，具有完整体系的解决方案提供能力，同时通过跨国企业之间的深

度合作，进一步扩大基础软件领域市场份额，对于我国国产基础软件的发展带来巨大挑战。当前我国国内操作系统软件生态体系分散，产业链聚力难。国内基础软件市场被国外企业垄断，且基础软件产业基础薄弱，力量分散。在数据中心侧，以我国电信系统为例，65%的国外操作系统企业版。国产操作系统主要面临能力弱、碎片化，难以形成统一的生态的困境。在用户使用习惯上存在着对国外基础软件依赖度高等一系列问题，这也导致国产操作系统替换成本高，难度大的原因之一。

围绕上述情况判断，想要彻底摆脱对国外基础软件的依赖，建立和掌握中国原生的“统一的开源根社区”，并打造符合中国国情的原生开源社区，还需要从源头构建国家基础软件的安全底座，保障信息产业的可持续演进，解决关键核心技术薄弱问题，逐步提升国产操作系统的自主化率，扩大国产操作系统市场占有率。

## 1.2 国内操作系统产业发展现状

### 1.2.1 国内操作系统概述

操作系统是一个协调、管理和控制计算机硬件资源和软件资源的系统软件，处于上下游生态的枢纽位置，向下需要兼容不同的底层硬件（服务器与芯片等），向上需要支持各类应用程序、中间件与数据库，满足不同行业用户的功能与性能需求。随着中国在操作系统领域研发力度的持续加大，发展成效日渐显著，部分产品已完成自主研发与生产，产品性能大幅提升，进入规模化阶段。

服务器操作系统可以分为闭源与开源两类。闭源操作系统 Windows 为代表。Windows Server 由微软开发，经过多年生态建设，市场占有率高。开源操作系统以 Linux 为代表，代码透明开放。

国产操作系统共存在有四种发展路径，其自主可控程度也各有不同。四种路径如下：

**路径一：**用户直接使用 RHEL 版基于国外开源社区做商业发行版、提供操作系统服务，面对如 CentOS8.x 停止维护的风险问题，采用独立分支进行维护的方式。

**路径二：**基于国外开源社区的社区版，国产操作系统厂家补齐产品化商用能力，如可靠性、安全性、兼容性、稳定性等，发布商业发行版。例如基于 CentOS Stream 版本产品化并提供服务。

**路径三：**立足中国，构建原生开源社区，使国产化多样性算力，且持续参与、贡献国际关键开源社区，融入全球生态，掌握核心技术，具备自主演进能力，实现计算产业软硬件全栈的自主可控及业务可持续创新。如 openEuler 开源社区。

**路径四：**基于中国原生开源社区根产品，国产商业操作系统厂家补齐产品化商用能力，发布商业发行版。例如基于 openEuler 开发的统信 UOS V20E 版、基于 openEuler 开发的银河麒麟 V10 版等。

由此可见，路径一和路径二没有真正掌握操作系统核心技术，对国产化多样性算力的支撑无法做到最优，无法解决产业供应连续及持续创新发展。所以坚决发展路径三和路径四，需要统一产业共识，形成产业凝聚力，大力发展拥有独立演进能力的原生开源社区。

计算产业上升为国家战略高度，保障算力安全成为国家共识，国家数字基础设施自主可控、“真替真用”加速落地。服务器操作系统是计算全栈中实现算力释放的关键环节，向下实现硬件资源的管理协同，向上满足各行业用户应用需求。

2020 年 12 月 8 日，CentOS 官方宣布其 8 系列和 7 系列分别于 2021 年底和 2024 年中停止服务，国内大量基于 CentOS 二次开发和适配的服务器操作系统、应用软件、云平台均将受到重大影响。据统计，一方面我国约有 300 万台运行 CentOS 操作系统的服务器将面临漏洞无法及时修复的安全风险，涉及政府、金融、运营商、公安、能源、交通等多个国计民生领域。另一方面，以 CentOS 为源头的下游开源社区和操作系统厂商则面临技术无法继续演进的问题。因此，人们已经开始意识到从根本上摆脱对单一技术供应的依赖已经迫在眉睫，研究我国切实可行的基础软件根技术发展模式和路径，谋求在未来基础软件发展中不受制于人，具有十分重要的战略意义。

### 1.2.2 openEuler 操作系统产业发展现状

数字经济的领先需要强大的数字基础设施，而基础软件可谓是数字基础设施的魂。在国家高度重视和大力支持下，我国基础软件发展取得了积极成效。

openEuler 是数字基础设施的开源操作系统，可广泛部署于服务器、云计算、边缘计算、嵌入式等各种形态设备，应用场景覆盖 IT（互联网技术）、CT（通信技术）和 OT（运营技术）。openEuler 以发展根技术引领操作系统创新，以建设根社区促进产业生态繁荣发展，截至 2022 年 12 月，已经累计 300 万+套实现规模商业落地。此外，openEuler 具备良好的生态兼容能力。目前，openEuler 开源操作系统已具备完整替代国外操作系统如 CentOS 的技术能力，国内操作系统厂家可基于 openEuler 开源社区持续自主演进。

openEuler 是由中国开放原子开源基金会孵化及运营的开源项目，是工信部指导、产业共建、社区自治的操作系统根社区。2019 年 12 月，华为联合麒麟软件、飞腾等企业成立 openEuler 开源社区，并于 2021 年 11 月 9 日将 openEuler 开源操作系统代码、品牌商标、社区基础设施等资产正式捐赠给中国开放原子开源基金会。目前社区已构建多元化社区组织，社区理事会、用户委员会、技术委员会、品牌委员会完善规范开放，飞腾、龙芯、兆芯、英特尔等 CPU 厂家，以及麒麟、统信、麒麟信安、凝思、SUSE 等 10 多家国内外操作系统厂商均已加入 openEuler 社区。已有 620 多家企业参与社区贡献，99 个 SIG 特别兴趣小组、超 12600 开源贡献者，其中非华为贡献者超过九成，中国大部分操作系统内核人才均已加入社区，已经成为中国最具活力的开源社区。

openEuler 是面向未来数字基础设施的生态底座。openEuler 过去主要是面向企业服务器和数据中心的操作系统，未来的目标是围绕编程语言与编译器等，构建数字世界基础设施的软件生态，支持服务器、数据中心、云计算、边缘计算、嵌入式等全方位的应用场景，打造中国基础软件的开源根社区。

### 1.2.2.1 系统上下游情况

openEuler 社区已成为国内最具活力开源社区。国内外 10 多家主流 OSV（麒麟、统信、麒麟信安、SUSE 等）均已发布了 openEuler 路线的操作系统商业发行版；社区当前已有超过 620 多家企业加入，汇聚了从处理器（如鲲鹏，Intel，飞腾，龙芯，申威，兆芯，RISC-V 等）、整机（联想，曙光，华三等）到基础软件、应用软件、行业客户等全产业链伙伴；当前已经有超 12600 开源贡献者，99 个 SIG 组，社区维护的核心软件包达到 8000 多个。

openEuler 产业链上下游适配的广度以及开源社区建设的深度都继续延伸。对于国内厂商而言，通过代码开源加强横向协作，通过基础软硬件适配、应用适配、整机集成适配等工作加强产业链上下游协作，是逐渐形成体系化的技术和产业生态的关键。openEuler 带来的不仅仅是全栈操作系统技术上的保驾护航，而且凝聚了操作系统上下游的合作伙伴，携手合作持续深耕数字化，助力更多伙伴实现数字转型，共筑数字技术新生态。

### 1.2.2.2 用户端建设现状

华为通过社区支持伙伴社区发行版、商业发行版、企业自用版等多种形式，促进操作系统产业健康、高速发展。华为将持续在 openEuler 开源项目贡献，包括技术创新、社区运营、生态建设等。华为联接、计算和云等各领域继续全面使用 openEuler 技术路线，以社区版本为基线，构筑华为自用操作系统版本。

#### 1. 社区发行版

由 openEuler 社区成员和社区开发者共同构建发布的开源操作系统版本，以免费的形式通过社区提供。社区每 2 年发布一个长周期(LTS: Long Term Support)版本，比如：openEuler 20.03 LTS 版。

#### 2. 商业发行版

操作系统产业伙伴（即 OSV），结合各自的优势，基于 openEuler 的社区版，开发自己的商业发行版操作系统，面向最终用户提供和销售有竞争力的产品。比如银河麒麟高级服务器操作系统 V10、统信服务器操作系统 V20（1020e/1050e），麒麟信安操作系统 V3（openEuler 版），凝思安全操作系统 V6.0（openEuler 版），SUSE Euler Linux 等。

#### 3. 企业自用版

具备自研能力的企业，基于 openEuler 的社区发行版，开发自用的操作系统版本（非独立销售或不销售）。比如华为公司通信设备搭载的自研 EulerOS、中国移动 BC-Linux for Euler、中国电信 CTyunOS，中国联通 CULinux、百度 Linux 智能云操作系统等。

### 1.2.2.3 系统应用现状

openEuler 开源操作通过内核创新以及核心项目创新，已构建从操作系统内核，到可靠性、安全性、生态系统等完整能力，可原生自主演进。目前，南向支

持 6 大类 400 多种板卡，基本上覆盖主流计算产品；北向 100%兼容主流的应用场景（云原生、存储、数据库、中间件、大数据、WEB 等），超过 5000 种应用软件通过兼容性认证。

openEuler 以内核级创新，打造最佳多样性算力支持、全场景数字基础设施操作系统，成为首选自主可控操作系统技术路线。

openEuler 支持 ARM、x86、RISC-V 等多种处理器架构，ARM 场景，性能优于主流操作系统约 15%；x86 场景，性能优于主流 OS 约 5%。

openEuler 打破不同场景操作系统生态壁垒，成为首个全场景数字基础设施操作系统。openEuler 统一支持服务器、云计算、边缘计算、嵌入式等应用场景，并和鸿蒙智能终端操作系统能力共享、生态互通，共同服务数字全场景。

国内外主流操作系统厂家已基于 openEuler 开源操作系统发布商用发行版，具备规模应用能力。openEuler 已经实现各行业超过 300 万套规模商业落地。多家产业伙伴基于 openEuler 推出的服务器操作系统，已经规模进入政府、运营商、金融、电力等多个行业。openEuler 技术路线操作系统已经商用超过 300 万套，成为中国服务器操作系统领域新增市场份额第一。重点客户包括电信运营商、电网企业、发电企业，以及多个大型国有和商业银行等。

### 1.3 电力行业基础软件应用及其生态发展现状

电力行业的软件普遍应用于新能源及储能并网、输变电运行监控、主配网调度自动化、电网稳定控制及应急指挥、用电信息采集、一体化电量线损、购售电营销服务、企业经营管理等诸多方面。电力企业在网络、平台、用户、数据等方面拥有丰富资源，在电价持续降低、经营压力巨大的形势下，深挖资源价值和潜力，提升公共服务能力，以数字化转型构建新型电力系统、促进电力行业产业链供应链升级，拥抱能源数字经济，共话低碳绿色未来，是电力企业的必然选择。

加快数字化转型的新型电力系统需要涉及的环节很多，面对的物理形态会发生一些变化，在这种情况下，各个环节都需要数字化技术的赋能，需要在智能采集感知、基础算力支撑、安全运行保障等方面，构建一个强大的数字化平台来支撑新型电力系统的运营管理。2015 年以前，电力行业基础软件有使用部分国外产品用于支撑电力行业信息化建设，随着信息系统建设的深度推进，基础软件需求规模逐年递增，运维服务成本居高不下、关键技术受制于人等问题逐渐凸显。

2016年起，随着“大、云、物、移、智”等新兴技术广泛应用于市场，国产基础软件成熟商用，电力行业一方面优先采购国产基础软件，全面开展自建信息系统与国产基础软件适应性改造，另一方面加大自主研发投入力度，结合自身行业属性，在国产基础软件基础上进行定制开发，逐步腾退国外基础软件，形成关键领域自主可控。2020年起，云平台、数据中台、物联网平台、人工智能平台等作为电力行业数字化转型的基础软件，依靠云存储、云计算等技术，为企业运营、公共服务和生产控制等领域提供全方位的数字化支撑，从而保证新型电力系统面对挑战，能够可靠地运行、管理和控制。从信息化建设到数字化转型，电力企业历经了十余年的发展，在数据标准建立、管理机制建立、人才队伍建立、新兴技术引进等四个方面取得了巨大的发展。

**数据标准的建立：**标准规范是一切“数字化”工作的基础。经历了信息化发展的前两次浪潮，电力企业已建立了丰富的业务系统，各类系统业务架构、应用架构、技术架构、数据架构、安全架构等均有统一的标准体系，通过构建统一数据模型，建设企业级云平台、数据中台和专项数据治理工作，以打通信息孤岛，实现跨专业数据互联互通。

**管理机制的建立：**电力企业从组织机构和制度保障两方面建立了数字化转型过程的管理机制。在组织机构方面，已形成了一个跨业务领域的数据分析与协调的部门，有助于推动数字技术和各项业务的有机融合，同时加强跨业务协同治理，打通跨业务信息壁垒。在制度方面，形成科技创新奖励和考核评价机制，发动全员参与，将数字化转型的理念渗入到每个生产和工作细节中。

**人才队伍的建立：**电力企业历练出一支专业的数字化支撑团队，有力地支撑了企业级基础资源平台建设，业务中台和技术中台建设，微应用和微服务建设，助力电力企业加快推进数字化转型，持续赋能新型电力系统构建和高质量发展等行动要求。

**新技术的引进：**电力企业大力引进无人机、人工智能、区块链、数字孪生、5G、北斗导航等新兴技术，结合自身业务刚性需求，近几年已广泛应用于各个业务场景，其中无人机和低空防御技术已广泛应用于输变电路巡检；人工智能已广泛应用于自动化运维、智慧客服、智能招标、无人值守变电站；区块链已应用于能源工业云网、新能源云；数字孪生主要应用于能源大数据中心、智慧电厂、

变电站；5G 主要应用于输变电路通信、调度通信；北斗导航主要应用于应急抢修、应急物资调配等。



## 第二章 openEuler 操作系统在电力行业的生态发展趋势

“十四五”期间，以低碳可持续发展为导向的新一轮能源变革已然兴起。构建绿色低碳循环发展经济体系、提升能源利用效率、提高非化石能源消费比重、降低二氧化碳排放水平、提升生态系统碳汇能力等成为我国能源行业发展的核心目标。2021年3月，习总书记在中央财经委员会第九次会议上提出构建新型电力系统的战略，指出“要着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，要加强关键核心技术攻关，支持和引导平台企业加大研发投入，加强基础研究，夯实底层技术根基，扶持中小科技企业创新”。工信部顺应全球开源发展趋势，制定实施《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》，将繁荣开源生态等相关任务落实落细，支持数字技术开源社区等创新联合体发展，完善开源知识产权和法律体系，鼓励企业开放软件源代码、硬件设计和应用服务。

电网企业将数字化转型工作定为“十四五”时期的重点任务，在数字化转型方面加大投资，建设新型数字化基础设施。某电网企业发布的《构建以新能源为主体的新型电力系统行动方案》中提出在电网发展方式上，要向数字电网、交直流混联电网、有源配电网、微电网融合发展转变，加大配电网建设投入，“十四五”配电网建设投资超过1.2万亿元，占电网建设总投资的60%以上。某电网企业发布的《建设新型电力系统行动方案（2021-2030年）》中提出，建设新型电力系统是应对持续可靠供电、电网安全稳定运行、电网公司运营模式等挑战的必然选择。构建以新能源为主体的新型电力系统，将促进全行业产业链、价值链上下游紧密协同，推动新能源技术创新发展和产业持续变革，是能源电力行业实现跨越式发展的重大战略机遇。某发电集团发布双碳行动纲要，提出3条路径10项重点举措助力构建新型电力系统，实现双碳目标。3条路径：推动能源技术创新、推动能源生产革命、推动能源消费革命；十方面具体举措：推进低碳零碳技术创新、发展非化石能源、推进火电降耗减碳、发展储能和氢能、发展碳交易和碳金融、发展分布式能源和智能微网、拓展综合智慧能源服务、发展低碳零碳供热、开展非电业务和办公节能减排、推动战略合作实现“双碳”目标。“十四五”数字化、配电网建设投资3200亿元，占总投资近一半，随着新型电力系统

建设持续推进，电力行业正经历着巨大变革和深刻重构，同时也为电力行业的国产操作系统发展带来了巨大空间。

## 2.1 电力行业数字化对基础软件的需求趋势

对于电力行业，在实现碳达峰、碳中和目标的过程中，伴随着以化石能源为主导的传统电力系统向以清洁低碳能源为主导的新型电力系统的转型升级，电力系统的结构、形态、技术将发生深刻转变。在其结构方面，终端用能弹性将显著增强，一方面伴随数字化与智能化转型，海量用户聚合下的双向互动与需求响应将成为常态，另一方面通过电、热、冷、气等不同能源消费的协同互动与优化，实现不同能源负荷的弹性替代，灵活可控负荷将成为电力灵活性资源的重要组成部分。

在形态方面，新型电力系统从传统电力系统转向能源互联网，伴随电力系统的数字化与智能化转型，新型电力系统将转向以智能电网为核心、可再生能源为基础、互联网为纽带，通过能源与信息高度融合，实现能源高效清洁利用的能源互联网形态。

在技术方面，数字化技术是支撑构筑新型电力系统的关键技术。数字化技术包括了现代信息技术、先进传感技术、人工智能和大数据技术，支撑构建具有智能化运行控制和运营管理，数字孪生全景展示与智能交互的新型电力系统。传感技术实现对物理实体全面感知，网络通信技术满足不同场景与应用的通信需求，云计算与大数据技术实现大容量数据存储、计算与知识发现，人工智能技术实现智能控制和智能管理，数字孪生技术实现智能优化与数字赋能。数字化转型不仅是数字化技术的应用，还创造了新的数字化应用场景，并为电网带来了全方位变化。

## 2.2 新型电力系统对操作系统的需求趋势

随着新型电力系统的逐步推进，以数字技术为驱动力，以企业级统筹为抓手，以数据为核心要素，坚持架构中台化、数据价值化、业务智能化，打造新型电力系统数字技术支撑体系，构建形成智能电网，对操作系统提出了新诉求，要支撑新型电力系统清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动等特征需求。

## 2.2.1 运行控制

### 2.2.1.1 运行控制领域现状及发展

运行控制领域操作系统应用当前主要集中在调度领域和配电领域。在设备实时通信性能、紧急事件响应能力、可靠性、实时性、研发效率等多方面进行提升和优化，实时操作系统的应用取得了一定的成效。

**设备实时通信性能提升：**实时操作系统如 VxWorks，具备实时性强、可靠性强、可裁减性强和通信能力强等特点，应用于变电站综合自动化系统通信板，提升了通信板实时通信性能；应用于保护测控一体化装置中，实现了各种跳闸命令、闭锁信号及数据消息等实时信息的可靠传输，保证了网络通信的可靠性、实时性以及安全性。

**紧急事件响应能力提升：**实时操作系统如 uCOS 操作系统具备很好的硬件驱动能力，同时可为上层用户软件提供系统级别的软件支撑等特点，应用于变电站综合自动化系统的保护系统，提升了 CPU 对紧急事件的响应能力，保证了保护系统对紧急事件响应和处理的准确性、及时性；基于 uCOS 操作系统研发的配电台区远程监控系统，可以有效提升配电台区远程监控能力，实现数据双向实时传送，保证台区现场稳定可靠运行；基于 uCOS 操作系统设计的交流直流充电桩，实现了交流电能的计量、交流供电控制、电气安全防护、充电电缆连接判断、人机交互、用户身份识别、计量收费、数据管理和通信、交流输入输出模块控制以及故障诊断等功能，提升了事件响应速度和响应灵敏度。

**可靠性、实时性提升：**国产操作系统都江堰操作系统直接以事件为调度对象，以高可靠性、高实时性著称，应用于电力系统控制领域及高压继电保护领域等，提升了系统运行的可靠性和实时性，保证了电力系统控制领域对实时性和可靠性的高要求；国产自主研发的嵌入式操作系统一枢纽 4.0 应用于工控领域，具备轻量化、高可靠、灵活性强、安全性高、易扩展、更稳定等特点，为数据的产生、采集、计算、传输提供安全可靠保障，广泛应用于各类边缘计算核心板块及其产品，如台区智能融合终端、边缘物联代理、智慧开关、光伏并网开关、智能物联电能表等，为百万级的现场部署及应用提供了实时、可靠的指令和消息传输响应。

**研发效率提升：**实时操作系统 NucleusPLUS 内核、VxWorks 操作系统、uCOS 操作系统及 linux 内核为主的自研操作系统等，具备可移植性、软硬件复用等特

点，应用于电力行业微机型变压器成套保护装置、线路保护系统、保护测控一体化装置等，降低了软件开发的复杂程度，缩短开发周期，提升研发效率；应用于电能表中，结合电能表特点，优化电能表软件设计，采用模块化、层次化设计思路，保证了电能表核心功能稳定、可靠，同时提升了软件功能易于扩展的灵活性；应用于配电和营销多业务的新型用配终端，可支持 x86、armv7、aarch64 CPU 架构，支持容器技术，提升了用配终端的灵活研发效率。

### 2.2.1.2 运行控制领域对操作系统的需求

新型电力系统的新特征、新变化，对电网数字化提出了新要求，对操作系统提出了新核心诉求。随着新型电力系统推进，采集控制对象范围更广、规模更大，“源网荷储”各环节紧密衔接、协调互动，业务的开展需要全环节海量数据实时汇聚和高效处理，电源侧和负荷侧均呈现强随机性等各项特征，对采集控制装置的管理，采集控制有效性，汇聚、应用全网采集控制数据，计算算力、网络通道和安全防护，优化扩展现有控制方式等各方面提出了新要求。原来功能单一的工控设备、融合终端（DTU、RTU）、台区终端、保护装置、测控装置、通信设备、充电桩等将随着新型电力系统建设变得功能更复杂，原来功能单一的专业设备向多功能融合的智能设备转变，传统的循环、中断模式的软件开发方式将难以维持。

#### 1. 调度领域操作系统需求

**高时效性需求：**新型电力系统业务的开展对高时效性提出了明确需求，需要提升感知采集频率，提高安全防护。调度领域电网保护装置这类高实时性特殊要求的设备，对操作系统的中断机制提出了更高要求。

**高可靠性需求：**新型电力系统涉及的采集控制对象范围更广、规模更大。海量数据实时汇聚和高效处理，对实时传输提出了高可靠性要求。电网自动化设备、测控装置、通信设备等为适应新型电力系统，对可靠性提出了更高要求，需要考虑在内核、中间件、数据库、应用程度层面协同设计，考虑各种协议的设计，从而提高业务实时性、可靠性。

#### 2. 输电领域操作系统需求

**操作系统协同技术需求：**随着新型电力系统的推进，新能源大比例提升，对主网可靠性要求越来越高，随着服务多元化，无人机巡线、电力机器人巡线成为常态化，应用将更加广泛和智能。无人机巡线、电力机器人巡线的广泛应用对操

作系统协同技术提出了新要求，需要在视觉传输可靠、高效的基础上，满足远程操作实时联动要求，以提高巡线效率和安全水平。

**低功耗低成本需求：**新型电力系统涉及的采集控制对象范围更广、规模更大，输电线路存在大量状态监测设备，这些设备面临野外取电困难，只能通过太阳能取能，野外环境恶劣以及硬件成本等问题。为了满足现场低成本硬件以及可靠处理现场传感值，因此操作系统需根据业务场景自适应裁剪对应的内核、组件，提高操作系统异常处理能力，满足低功耗、低成本需求。

### 3. 变电领域操作系统需求

**操作系统协同技术需求：**在变电领域，随着新型电力系统的推进，变电巡视机器人应用越来越广泛，越来越智能化。为满足变电巡视机器人的智能化可控巡视，对操作系统协同技术提出了新要求，需要在视觉传输可靠、高效的基础上，满足远程操作实时联动要求，以提高巡视效率和安全水平。

**支撑新技术需求：**随着新型电力系统的推进，需要全环节海量数据实时汇聚和高效处理，变电监测设备包括油温、SF<sub>6</sub> 气体压力、温湿度监测仪、视频监控识别等监测设备的数据需实时汇聚、高效处理，因此变电站需具备智能融合设备，此类设备的操作系统除了需要保持高实时性，还要能支撑容器化、人工智能等新技术，用以满足海量数据实时汇聚和高效处理新需求。

### 4. 配电领域操作系统需求

针对新型电力系统采集控制对象范围更广、数据处理时效性更强、负荷侧随机性更高等特点，配电领域的边缘计算产品既要满足主站系统电网信息获取、负荷控制需求，又需要满足局域电网自主调控功能。配电边缘计算产品主要包括台区智能融合终端、边缘物联代理、智慧开关等配电设备。为支撑新型电力系统建设，此类设备的操作系统需具备高实时性处理能力，能够处理复杂信息模型。

**边缘设备互联需求：**当前大部分边缘计算产品存在软硬件高度耦合、资源有限、硬件异构、操作系统各异或无操作系统、互联方式各异等问题，因此需要基于操作系统设计更优的互联方式、最佳的硬件支撑能力，支撑更多协议、适配更多硬件类型等，满足多种边缘计算产品互联需求，满足边缘计算产品对电力领域物联协议的支撑需求。

**运行控制需求：**配电领域边缘计算产品要满足负荷侧控制需求及局域电网自主调控功能，为满足电网边缘侧多主体、多要素等运行特征，需研究基于电网拓扑的操作系统云边、边边协同架构下的边缘智能推理与分布式运行控制方法，支撑电力系统安全稳定运行。

**计算性能需求：**随着新型电力系统推进，配电领域边缘计算产品需承担配电现场多设备实时、非实时、多事件尺度及不同数值精度的复杂计算处理任务，因此部署于边缘计算产品的操作系统需支持多核并发处理，以及多元异构计算能力。

## 5. 用电领域操作系统需求

用电领域操作系统需求主要集中在用电边缘计算产品上部署的嵌入式操作系统上，主要涉及的设备有光伏并网开关、充电桩、智能物联电能表等。用电领域具备海量设备、海量数据消息，面对新型电力系统采集范围更广、规模更大、时效性更强等特征，对操作系统的需求不仅仅要满足实时性、可靠性，还需要考虑成本等问题。

**可靠性、实时性需求：**由于用电领域各类设备的性能直接关乎用户的用电体验，可靠性和实时性是需要摆在首位的。充电桩、智能电表等设备采用的操作系统，需具备高实时性的事件响应能力，对于用户操作做出及时准确响应。

**低成本需求：**用电领域各类设备都是海量的，比如智能电表等，如何在控制硬件成本的基础上，提升设备可靠性、实时性，以及满足设备的计算需求，是需要通过优化操作系统才能实现的。

**控制响应需求：**新型电力系统是逐步向配用侧延伸和下沉的，面对大量对象单点容量低、位置分散等特点，当前电表等设备不能满足系统采样及负荷控制响应的需求，因此当前操作系统需有针对性地简化、优化设计，满足条件有限情况下，设备的采样及负荷控制响应需求，满足用户侧分钟级采集与精准控制需求。

## 2.2.2 企业运营

### 2.2.2.1 企业运行领域现状及发展

在企业运行领域，服务器操作系统处于基础软件产业链上游，带动下游的应用系统和应用软件的发展。由于 Linux 内核源码的开放性、可定制、稳定性、网络功能强、实时性较高以及支撑多种数据库等优点在信息化系统中得到了广泛应用，主要采用了基于 Linux 内核的操作系统作为服务器操作系统。基于上述服务

器操作系统，建设了多个应用系统进行企业运行信息化管理，建立了多种信息化系统，加快了电力行业数字化转型，电力行业的信息化建设取得了长足的发展。

随着新型电力系统构建，当前采用的服务器操作系统也面临各种挑战，有的版本无技术演进，无法支撑新技术；有的版本国内没有可靠的社区，基于国外开源社区演进，技术演进存在安全风险；有的版本是直接采购国外厂家，缺乏自主可控，存在供应风险和安全风险。

### 2.2.2.2 企业运行领域对操作系统的需求

在企业运行领域的各类业务系统，随着新型电力系统的建设和发展不断迭代更新，甚者重构技术底座，因此对服务器操作系统提出了新需求。

#### 1. 新型操作系统需求

数字技术空前变革，为新型电力系统建设带来了新可能，算力方面带来全域协同计算新可能，数据方面带来全域在线透明新可能，智能方面带来智能友好互动新可能等。数字技术的变革离不开新型操作系统的支撑，操作系统的升级和创新为数字技术变革提供了技术基础。

**云操作系统需求：**为支撑数字技术变革，高效处理计算海量数据，实现对新型电力系统全环节、全业务提供计算服务，支撑各类资源在更大空间、更大时间范围内的优化配置，对于部署于服务器的各种业务系统，要根据业务系统需求，自动调度运算资源进行分布式计算，实现全域协同计算，节约计算时间。随着采集控制对象范围更广、种类更多，大数据挖掘与利用需要将不同特征的数据分别存储在不同设备中，并进行统一管理。因此需要云操作系统根据应用软件的需求，实现硬件计算、存储单元的优化分配，高效处理庞大的业务数据。

**智能语音操作系统：**为支撑新型电力系统在智能方面的智能友好互动新可能的发展，操作系统要紧跟智能技术的发展脚步。从智能友好互动方式上看，以语音为核心的交互方式会成为主流，因此智能语音操作系统会成为支撑智能技术发展的重要方向，随着智能终端设备的不断增加，智能配电站、智慧机房、智能办公大楼等领域将成为智能技术落地的重要方面，智能语音操作系统将发挥更大作用。

#### 2. 自主可控需求

电力行业操作系统的关键核心技术水平有限、核心平台建设相对较少，开源社区参与建设度低，知识产权方面没有形成统一体系，整体生态系统呈现碎片化的态势，产业链生态和安全保障不够完善，产业链的上下游之间仍然存在着如应用软件和芯片、设备之间的适配问题，尤其是电力行业专业性强，适配的国产操作系统有限，所以在核心关键技术领域追求自主可控是应该坚持的目标，也是必须坚守的战场。

### 3. 安全性需求

随着实体电网与数字系统融合越加密切，坚持架构中台化，推动全局能力共建、共享、共用，对于安全性要求日益提高。操作系统涉及硬件资源的管理和上下游业务系统支撑，其安全性至关重要，因此对于越加开放、开源的操作系统，安全性始终排在首位。

### 4. 网络支撑需求

构建以企业中台为核心的架构体系，统筹电力系统各环节感知与连接，打造企业级实时量测中心，在线汇聚全环节采集数据，融合数字系统计算分析，提升电网可观、可测、可调、可控能力，离不开实时、可靠、安全的网络技术支撑，对网络和基于网络的并行、分布式计算等提供更好的支撑是操作系统不可忽视的需求。

## 2.2.3 对外服务

### 2.2.3.1 对外服务领域现状及发展

对外服务领域操作系统主要集中于电力营销和新能源接入领域，电力网络建设管理已经从粗放式逐步向精细化管理的方向发展。

在电力营销方面，前期主要集中于解决电力供需矛盾上，营销方式单一，电力营销信息化朝着便于用电用户缴费、查询用电量等方向发展，提升了计量装置的准确性，引入了计量装置自动化，实现了远程电表数据抄写等功能，随着“互联网+电力营销”模式的发展，实时操作系统的应用取得了一定成效。

在新能源接入领域，由于全球能源发展形势日趋严峻，为保障能源安全、生态环境，各个国家都在大力发展新能源，在新一轮能源革命的浪潮中，电力系统也在逐步演进转型，新能源爆炸式增长、规模化并网已是大势所趋，当前光伏等新能源的并网运行，离不开运行稳定、可靠的实时操作系统的支撑。



为满足新型电力系统数字技术支撑体系电碳并重的内涵要求，由于新型电力系统的电源侧和负荷侧均呈现强随机性，对电力系统安全稳定运行提出更高要求，需要统筹优化现有控制方式，应用多种控制策略、控制渠道，建立灵活、可靠、经济的控制手段，满足新型电力系统安全稳定运行，支撑新能源大规模高比例接入的同时，加强能源电力系统碳监测、碳计量、碳交易等业务开展，服务国家“双碳”目标落地。

### 2.2.3.2 对外服务领域对操作系统的需求

随着新能源大规模并网接入，构建以新能源为主体的新型电力系统将面临安全稳定、优化调度、送出消纳等多重挑战，为此提出了高效稳定运行需求、大数据分析支撑需求、安全防范能力需求等。

#### 1. 高效稳定运行需求

电网要适应新能源，不同类型的新能源受自然环境、气候特征的影响因素非常大，且不同地区中的能源类型、能源分布、储存量等都具有较大差异，并且新能源在应用中还具有一定的随机性与不稳定性，随着新能源大规模接入，电力系统动态特征会发生巨大变化，因此在实际应用中势必会掣肘传统电力系统的功率平衡状况，对电力系统的稳定运行提出了新的考验，为支撑新能源顺利并网接入，除电力系统硬件方面的支撑，支撑电网运行的操作系统也要保证高效稳定的运行，确保合理调度使用软硬件资源以保证新能源入网后的稳定运行。

#### 2. 大数据分析支撑需求

新型电力系统注重实体电网和数字系统融合，信息通信技术和电力能源深度融合，系统中电源侧和用户侧每时每刻都会产生海量信息数据，如何对其进行及时有效的感知、采集、存储、管理、分析计算、共享应用和保护，充分挖掘数据价值是必要的，为支撑大数据分析，操作系统需要提升实时性、计算能力、开放性等能力。

**实时性需求：**电源侧和用户侧的海量信息数据是大数据分析的基础，为保障数据的准确性和真实性，运行于远端设备上的操作系统要提升实时性，高效地采集数据、传输数据，保障数据的准确性和真实性。

**计算能力需求：**为提升新能源涉网性能、提高电网接纳新能源能力、提升系统稳定运行、提高用电质量、建立客户多维度信用评价体系，基于新能源并网运

行数据、电力营销数据等分析的大数据分析平台，对系统硬件和软件提出了新需求，除在硬件上提升数据处理性能，操作系统计算能力的提升能有效提升整体数据分析处理性能，更好的支撑大数据分析平台的数据分析处理能力。

**开放性需求：**操作系统要具备良好的兼容性，能高效地支撑多种类型数据库，提升多类型数据存储能力，支撑多种数据分析处理工具的正常运行，从而更好地支撑大数据分析工作。

### 3. 安全防范能力需求

对外领域中涉及的新能源接入，电力营销等有布局并且数量庞大的“源网荷储”设备，使得新型电力系统信息安全风险点呈现“点多面广”的特点，故存在以“源网荷储”各环节中某点为突破口，通过网络攻击而导致电网崩溃的风险。在操作系统层面，安全性是至关重要的，同样影响着电网安全，为保障对外服务稳定运行，安全防范能力需要提升。

## 2.3 openEuler 助力新型电力系统发展趋势

新型电力系统是以承载实现碳达峰碳中和，贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求为前提，确保能源电力安全为基本前提、以满足经济社会发展电力需求为首要目标、以最大化消纳新能源为主要任务，以坚强智能电网为枢纽平台，以“源网荷储”互动与多能互补为支撑，具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动基本特征的电力系统。

openEuler 基于稳定的 Linux 内核，支持鲲鹏、英特尔、飞腾、申威、龙芯、兆芯等主流芯片和容器虚拟化技术，是一个面向企业级的通用操作系统架构平台。在 openEuler 22.03 LTS 中，采用了经过长期打磨和调校的 Linux 内核 5.10 长期支持版，但除了 Linux 内核自身的特性之外，在内核中还做了十余处创新增强，主要包括用来提升性能的进程调度优化、大页内存性能优化、OOM 内存回收优化、XDP 网络性能优化等。openEuler 在系统高性能、高可靠、高安全等方面积累了一系列的关键技术，提供了一个稳定安全的基础软件平台，截至 2022 年底，累计装机量超 300 万套，新增市场份额从 15% 增长到 25%，按照此趋势，openEuler 未来有望成为中国存量市场份额第一。

openEuler 坚持以自主创新为使命，携手产业伙伴正加速与电力能源企业在发电、配电、输电、变电等各大电力细分领域开展全方位合作，打造了覆盖安全操作系统、云桌面、存储加密系统等多层次、多样化的产品体系。

按照国家“双碳”目标和电力发展规划，预计到 2035 年，基本建成新型电力系统，到 2050 年全面建成新型电力系统。助力新型电力系统建设，openEuler 特点和优势体现在以下几个方面：

**兼容性：**支持 6 大类板卡及超过 5000 种应用软件，基本上能够替代 CentOS 衍生版本。

**安全性：**引领操作系统内核创新，已构建操作系统完整功能集，自主可控，能够显著降低电力系统二次停服的风险。

**计算性：**openEuler 最佳支持多样性算力。支持鲲鹏、飞腾、龙芯、申威、RISC-V 等多种处理器类型；鲲鹏场景，性能优于主流 OS 约 15%；x86 场景，性能优于主流 OS 约 5%。

**实时性：**openEuler 22.03 LTS 版本新增了 Preempt\_RT 内核实时补丁，提供软实时特性。Preempt\_RT 补丁可以有效提高系统实时性，且在多种负载场景下，实时性表现较为稳定。在内核中打上 RTLinux 补丁，相对于标准的 Linux 内核具有更强的实时性。Preempt\_RT 补丁对本地通讯吞吐率有一定影响，主要提现为管道读写、文件拷贝，对系统调用延迟影响大多在 2 微秒以内。在 openEuler 22.09 版本中又增加了嵌入式硬实时特性。

**经济性：**openEuler 社区已成为国内最具活力开源社区，能够大幅降低二次开发和维护成本。

2021—2035 年是新型电力系统的建设初期，部分新型电力系统建设企业主动加入 openEuler 社区，openEuler 积极抓住新型电力系统建设机遇，深度融入到其建设过程中，构建能源互联网生态圈，将产品应用覆盖到了新型电力系统建设的服务器、云、边缘计算等领域，有效地支撑新能源资源优化、碳中和支撑服务、新能源工业互联网、新型电力系统科技创新平台、能源大数据中心等新型电力系统的建设。在 2035 年以后的深化应用中，openEuler 操作系统具备更强的支持能力和更广泛的应用趋势。

## 第三章 openEuler 操作系统在电力行业的应用实践

### 3.1 openEuler 操作系统在发电的应用实践案例

#### 3.1.1 某平台智能 XX 控制系统应用

##### 1. 项目背景

平台智能 XX 控制系统是火力发电的核心控制系统,被称为发电厂的“大脑”。为推进发电领域关键核心技术攻关,集中优势科研资源开展平台智能 XX 控制系统软硬件国产化应用工作,成功研制出具有完全自主知识产权的自主可控睿蓝某平台智能 XX 控制系统,系统的主要技术指标优于国家及行业标准,并在电厂 660 兆瓦 (MW) 超临界机组成功投运,控制范围覆盖锅炉、汽轮机等主辅设备,实现国内自主可控平台智能 XX 控制系统在超临界火电机组上的首次示范应用和全厂一体化控制。

##### 2. 建设目标

为满足用户工作站运行服务器操作系统,支持工作站各类显卡外设等需求,需要迭代多个定制版本,才能解决服务器操作系统运行与工作站终端导致的 U 盘拷贝文件不完整、图形界面卡死等多个系统问题,需要大量的人力、物力等资源的投入来解决该问题,以保障客户各项需求得到满足。

出于对工控系统稳定性、开发维护的难度等因素考虑,要求用于平台智能 XX 控制系统系统服务器与工作站的操作系统为同一技术路线,适配平台智能 XX 控制系统系统运行所需的外设板块等设备。

##### 3. 建设内容

###### (1) 整体采用全栈自主创新软硬件平台

基于 openEuler 发行版的国产服务器操作系统为整套平台智能 XX 控制系统提供运行环境,并通过定制化的服务协助用户解决系统开发过程中的问题;

硬件采用国产处理器、服务器和终端。基础软件采用国产数据库以及符合 CMMI5 级管理体系,提供内生安全、云原生支持、自主平台深入优化、高性能、易管理的新一代自主服务器操作系统,基于国产化平台运行分散处理单元(DPU)、前置服务、睿蓝平台智能 XX 控制系统平台软件。

###### (2) 解决方案

国产飞腾芯片+银河麒麟高级服务器操作系统 V10 为安全底座，结合国产达梦数据库提供业务支撑，共同打造基于全栈国产化平台的睿蓝平台智能 XX 控制系统平台，保障了企业工控领域核心信息基础设施安全防护。

针对工控生产领域要求的统一技术路线的需求，形成了国产服务器操作系统工作站版，为电力行业工控生产领域提供了针对性的标准系统版本。该项目是国内首个创新型高参数、大容量发电领域核心控制系统。

### 3.1.2 某风电监控系统应用

#### 1. 项目背景

为了保障电力监控系统的安全，防范黑客以及恶意代码等对电力监控系统的攻击及侵害，2015 年 2 月 4 日国家能源局下发国能安全[2015]36 号文件，2，重点要求电力监控系统安全防护改造，风电运营厂家提出监控系统的非 Windows 解决方案与实施计划，将现有的非国产操作系统替换为国产安全操作系统。

#### 2. 建设目标

随着全球能源结构中新能源占比持续提升、大规模远距离输电项目陆续投运，电网需要严格保证电源侧稳定可控。因此，电网不断地对新能源场站有功控制的精度、速度以及系统的安全可靠，提出更高要求。

电力安全稳定运营对于保障能源安全及国家安全具有重大意义，打造一款自主高效的风电安全系统成为智慧能源时代的新使命，对某风电监控系统的国产化运行环境提出了严格要求。

#### 3. 建设内容

##### (1) 能量管理

新能源能量管理系统，可实现风电场有功功率精准控制，满足电网对风电场有功控制的技术要求。是一款基于“高可靠性、高安防等级”原则设计的产品。以“允许更多的发电设备运行”为控制目标，最大限度保证电场经济性和并网友好性，支持新能源发电企业风、光、储含集中式以及分散式等多种应用场景。

##### (2) 中央监控

新能源中央监控系统是风电场建设并网必备的软件，利用计算机软件技术、计算机网络技术、自动监测与远程控制技术、通信技术和相关的风电专业技术，

实现风机设备的运行状态监测，自由报表生成及数据统计、分析功能，是一套安全、高效、稳定的风电场专业监控系统。

集合风机监控、功率控制系统功能，扩展智能健康管理、气象预报及功率预测等应用，实现了场站监控应用系统整合，全面辅助场站的经营层完成新能源场站的管理量化。

### (3) 国产硬件适配

满足软硬件全国产需求，目前适配多款国产主流芯片，积极拥抱国产硬件的生态，与目前主流的国产服务器硬件厂商建立了互认证兼容适配途径，已经在部分新能源风电场站验证推行了软硬件全国产化的项目方案。

## 3.2 openEuler 操作系统在调度的应用实践案例

### 3.2.1 某电力调控安全 XX 工作站

#### 1. 项目背景

电力调度系统属国家信息安全等级保护四级的系统，一旦出现任何闪失将严重威胁国家和人民的生命财产安全，造成无可挽回的巨大损失。

#### 2. 建设目标

某电网企业调度系统软件运行平台从 2009 年开始进行操作系统的迁移工作，本着可用、高效、安全的原则，选择了安全等级高、使用便捷的国产操作系统，作为其“调度系统”的软件运行平台，陆续完成了 X86 平台上的操作系统迁移。从 2019 年开始向华为鲲鹏服务器平台迁移，操作系统选用麒麟信安操作系统（openEuler 版），逐渐实现核心调度系统软件的基础软硬件平台的安全创新。

#### 3. 建设内容

结合 openEuler 技术的操作系统提供集中运维管控平台软件，给用户提供一个集中、统一、可视化的主机运维管控平台，帮助用户更加高效地批量管理所有的主机。作为电网调度系统中的关键部分，凭借高安全性、高可用性、工业互联性等优势，操作系统安全可信地承担了软硬件的稳定运行，为智能互联网业务的全面展开提供了以国产化软件为主的基础软件平台，实现了多个行业关键业务系统自主产品突破性应用。

某电力调控安全 XX 工作站解决方案，紧密围绕新一代调控建设特点，基于四级安全操作系统平台，融合云计算、CPU 虚拟化、显卡虚拟化、分布式存储、远程桌面协议、动态资源伸缩、设备重定向、音频重定向、生物特征识别、用户行为审计、录屏录像和虚拟防火墙等多项关键技术打造而成的全某电力调控安全 X 工作站产品，通过软件技术先进性，实现对传统工作站的替代。

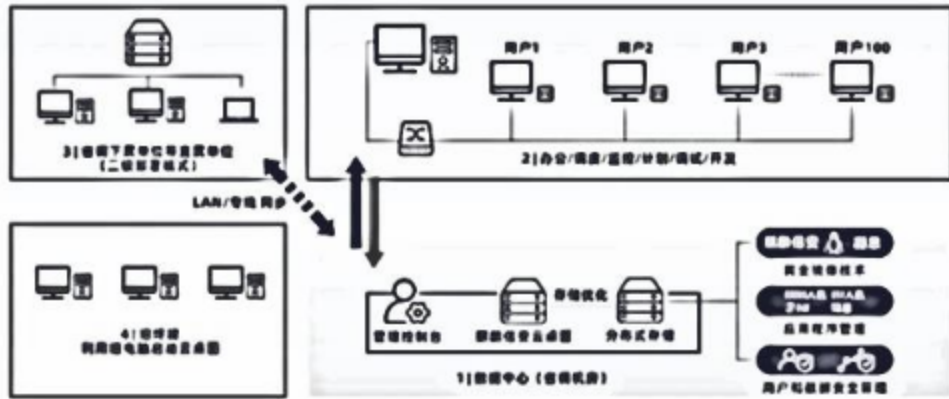


图 3-1 调控安全 X 工作站（模糊脱敏）

某电力调控安全 XX 工作站解决方案安全性进一步提升。底层都是基于等保四级国产安全操作系统构建，遵循最小特权原则，通过强制访问控制规则，实现三权分立安全架构。虚拟防火墙功能能够杜绝木马、病毒在云工作站之间进行横向感染和传播、录屏录像功能能够全程监控用户在每一台云工作站上的行为记录、细粒度的外部设备封控功能能够适应不同用户不同场景的应用需求。

某电力调控安全 XX 工作站解决方案全面按照国产化思路设计，实现高可用、高安全、高可靠的新一代调控人机模式。采用高可用超融合一体化集群架构，后端云平台集群中任意服务器故障时对用户完全透明，云工作站平台自动被迁移到集群剩余服务器上快速恢复运行。相比传统工作站故障恢复时间从小时级提升到十秒级。

某电力调控安全 XX 工作站解决方案已经在全国电网主站自动化领域广泛应用。另外，变电集控站（运维班）调度终端延伸改造项目中将云工作站列入选型技术方案。综合来看，某电力调控安全 XX 工作站解决方案在电力系统市场前景非常广阔。

### 3.2.2 调度某技术 XX 系统

#### 1. 项目背景

我国电网快速发展，全国联网已经形成。截至 2022 年 7 月底，发电装机 24.6 亿千瓦，电网规模已超过欧洲（8.28 亿千瓦），超过美国（11 亿千瓦）。同时随着风电、光伏等新能源飞速发展，我国已连续十余年高速增长，截至 2022 年 6 月底，风电装机容量达 3.4 亿千瓦，光伏装机容量达 3.4 亿千瓦，超过美国成为世界第一。现代巨型电网的运行控制非常复杂，加之风电和光伏固有的间歇性和不确定性，及大规模自然灾害频发，台风、洪水、冰灾、地震等对电网造成严重破坏，国外停电事故和网络信息安全事件时有发生，给电网安全运行带来巨大挑战，迫切需要调度某技术 XX 系统，提高调度驾驭大电网的能力和 safe 运行水平。

#### 2. 建设目标

- （1）提高在线分析预警、预控能力，适应调度大值班的要求；
- （2）提高实时运行控制能力，适应电网一体化调度的要求；
- （3）提高精细化调度计划编制能力，适应资源优化配置的需要；
- （4）提高调度精益化管理水平，适应规范化和流程化建设的需要；
- （5）提高电网调度应急指挥保障能力，适应调度业务连续性的需要。

#### 3. 建设内容

麒麟信安基于 openEuler 的商业发行版，持续演进，系统继承 openEuler 全部功能与生态能力，以其高安全性、高可靠性、强实时性和多形态定制等特性，应用于电力行业的众多应用场景。

结合坚强智能电网的发展规划，研制调度某技术 XX 系统，将调度中心传统的十余套独立应用系统，安全集成为一体化平台和实时监控预警、调度计划、安全校核和调度管理等四大类应用。

纵向安全贯通各级调度，支撑调度业务的一体化运作，提高调度驾驭大电网的能力，联合应对重大电网事故。

项目要求一是所有的软件必须具有自主知识产权，包括操作系统、数据库、调控基础平台等高级应用模块；二是满足国家产业发展要求的电网调度控制系统。



项目自 2009 年试点至今，已经完成国、网、省、地、县纵向分级的五级调度系统。该项目所有的服务器、工作站、工控机以及电力专用装置等计算设备均默认采用具有自主知识产权的国产安全操作系统。

### 3.3 openEuler 操作系统在变电领域的应用实践案例

#### 1. 项目背景

目前，在全球我国各种电压等级的变电站总量规模最大，变电站系统相比调度和配网系统，具有数量庞大、位置分散和带电高压作业等特点，如此数量庞大的变电站系统，过去运用的是基于国外 CentOS 等操作系统，随着《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239-2019）、《关键信息基础设施安全保护条例》（国务院令 第 745 号 2021 年 9 月 1 日）、《电力监控系统安全防护规定》（国家发展和改革委员会令 第 14 号）和《电力监控系统安全防护总体方案》（国能安全〔2015〕36 号）等要求的颁发，我国变电站系统安全不自主、运维不自主、供应不自主等尖锐问题越来越凸显。

电力系统由发电、变电、输电、配电、调度等几个重要板块组成，近 10 年来，电力电网系统中的调度系统、配电自动化系统已经完成了一轮国产化建设，通过大规模、长时间验证，国产自主的软硬件能够满足电力系统建设和运行要求，为进一步实现电力系统自主创新发展，全面启动并加强对电力系统的国产化建设要求，需要对发电、变电、电力营销、电力装置等领域进行全覆盖。

#### 2. 建设目标

变电站自动化系统作为电网调度自动化的一个子系统，应服从电网调度自动化的总体设计要求，其配置和功能包括设备的布置应满足电网安全、优质、经济运行，以及信息资源共享的原则。

系统设计应满足变电站自动化系统通过软、硬件加密技术，实现变电站自动化系统的入侵检测与漏洞发现的需求；满足自动检测系统中的异常运行情况，根据系统异常危害的不同程度自动控制系统的运行模式的需求；满足通过软硬件可靠性技术，保证变电站自动化系统软硬件在变电站复杂电磁环境运行中的长期可靠性、稳定性等需求。

本着提高电网安全 and 经济运行水平的需求，提高自动化水平、减少变电站重复投资的原则，采用先进的计算机及网络技术等方法，以满足变电站自动化及无人值守或少人值班的工程需求。

### 3. 建设内容

变电站自动化系统集成电力系统、电子信息技术、自动化和继电保护技术之大成，以计算机和网络技术为依托，面向变电站通盘设计、优化功能和简化系统，用分层、分布、分散的设计方式实现面向对象的思想，全面采用或借鉴了 IEC61850 变电站通信网络和系统标准的设计需求，满足 35kV~750kV 各种电压等级少人或无人值守变电站、电厂升压站的实际需求。采用分层分布式设计思想，从物理和功能上分为站控层、间隔层、过程层三层。系统主要包括：变电站监控管理系统、间隔层保护测控装置、合并单元、智能终端、系统网络通信设备、检测检验设备、全站时钟同步和维护软件等。

#### (1) 满足全场景

系统构造应满足 6kV~750kV 不同电压等级变电站的要求，既可满足超高压、高压枢纽变电站设计，同时简化的结构模式满足中、低压变电站的系统构造要求，同时兼顾考虑同电气化铁路（地铁、城市轨道交通）等的需求。

#### (2) 分布式架构

基于变电站层和间隔层设备之间、变电站层和过程层设备之间、间隔层设备与设备之间、过程层设备与设备之间都是通过共享的通信网络联系起来的方式，使得系统的各个部分能够容易地分散布置。分层、分布、分散式系统结构，功能相对独立下放，符合未来变电站技术的发展方向。

#### (3) 监控管理

站控层应能实现对全站进行监视、保护、控制、记录和设备检测等功能的监控管理。间隔层设备在监控网络以“广播”方式发送信息，网上的所有主站均可收到。各主站直接从网上获取需要的信息，相互之间完全独立，任一部分故障不影响其他部分，安全可靠性得到极大的提高。同时，由于信息采用网络“广播”方式，新增应用时扩展起来非常便捷。

#### (4) 间隔层设备

间隔层设备符合设计规范及技术指标要求，可以适应多种网络接口。在保证保护功能相对独立和可靠性的前提下，采用保护、测量、控制和通信一体化设计方式。

间隔层设备的核心功能就能独立地实现赋予它的功能，如保护装置的保护功能、测控装置的测量功能、自动控制装置的控制功能等，都独立自主地自动完成。

#### (5) 符合 ISO 开放系统规定

在系统设计时，必须考虑同我国电力通信网的接口问题，系统支撑软件符合 ISO 开放系统规定，系统的各类数据、通信规约及网络协议的定义、格式、编程、地址等与相应的电网调度自动化系统保持一致，适应电力工业信息化的发展要求。还要考虑同电网系统等的互相接入问题。

某智能变电站自动化系统近两年才开始启动，并且明确要求采用国产自主安全操作系统，约能带来国产安全操作系统市场空间为 120 万-300 万套。

### 3.4 openEuler 操作系统在配电领域的应用实践案例

#### 1. 项目背景

新一代配电自动化系统主站以大运行与大检修为应用主体，遵循电网企业最新的配电主站系统架构规范，按照“地县一体化”部署，依据分区采集的原则，强化边界防护，安全接入光纤/无线、专网/公网等通讯方式的三遥终端、二遥终端及故障定位装置，具备横跨生产控制大区与管理信息大区一体化支撑能力，构建基于配电网分析模型中心和运行数据中心的新一代配电网调度支撑平台，为运行控制与运维管理提供一体化的应用，满足配电网的运行监控与运行状态管控需求。

#### 2. 建设目标

新一代配电自动化系统全面遵循 IEC61968/61970 标准设计，通过信息交互总线，实现与 EMS、PMS 等多系统的数据共享，具备对外交互图模数据、实时数据和历史数据的功能，支撑各层级数据纵、横向贯通以及分层应用，形成配电网运行监控与调度作业的全过程闭环管理，支撑配电网调控运行、生产运维管理、状态检修、缺陷及隐患分析等精益化管理，并为配电网规划建设提供数据支持。

#### 3. 建设内容

##### (1) 地县一体化架构

按照“三集五大”要求，进行集约化发展，标准化建设，采用地县一体化架构，地县配电终端可采用集中采集，或采用前置分组进行分布式就地采集、远程上送的方式，实现地县数据的统一，在县公司部署远程应用工作站实现信息分流、分区监控，大大降低了系统建设成本，提高了配电网运行监控效率。

### （2）超大的系统容量

采用分布式、虚拟化、容器化、微服务、消息总线等云化技术，构建省级配电网大数据采集和分析平台，实现省、地配电网数据的集中采集和全景应用，支撑配电网一体化管理。

XXADA 处理模块分布在多个 XXADA 服务节点上，处理本子控制区域采集数据，处理结果保存在本地实时库中，分布式实时库平台管理分布在各个 XXADA 服务节点本地实时库，为顶层应用提供统一的数据接口，屏蔽底层实时库物理分布。随着监控范围增加，系统动态增加 XXADA 处理服务节点，扩展 XXADA 处理能力。主要特点如下：

**数据分布存储：**采用分布式实时库技术，将 XXADA 处理数据按子控区域切片，分布存储在多个处理节点上，分布式实时库平台提供统一的数据访问接口。

**数据并行处理：**XXADA 处理模块分布在多个 XXADA 处理节点上，并行处理 XXADA 采集数据，从而提高了数据处理能力和处理速度。

**系统动态扩展：**根据系统接入规模，动态扩展 XXADA 处理节点，满足系统处理性能要求。

**云平台部署能力：**XXADA 处理节点在云平台上部署，云平台分配虚拟服务器，部署 SCADA 处理节点，完成系统扩展。

### （3）全域感知

从主干到分支从高压到低压，从运行监控到全设备管控，从面向调控专业到配电全业务，支持 500kV、220kV、110kV、35kV、10kV、380V 低压用户、分布式电源、微电网、储能、充电桩等主、配、用一体化全域建模，电气量、环境量、运行状态量等全设备全量采集，全面提升中低压配电网精益化管理水平。

### （4）故障综合研判

综合主配网、一四区、高低压采集的变电站跳闸信息、终端上送的故障信号以及录波数据，进行集中馈线自动化分析、就地馈线自动化分析、接地故障分析

和低压台区停电分析，并将上述结果关联，实现故障的综合研判，特别是在信息采集不全或误报的情况下，也能进行准确的故障判断。

全国配网主站自动化系统从 2015 年开始，已经完成了一轮国产化建设，采用国产安全操作系统、国产数据库，累计上线国产安全操作系统 1 万余套。

### 3.5 openEuler 操作系统在用电领域的应用实践案例

#### 1. 项目背景

SCADA 系统经过四代的发展，以其强大的数据采集能力和丰富的控制功能，被广泛用于发电厂和变电站，而国内 XXADA 所使用的 CPU 和操作系统等软、硬件在供应链安全上，存在着巨大安全隐患。为解决核心技术发展的难题，国有特大型能源企业联合国产软件公司，积极推进新增扩容电厂设备及业务系统的全栈国产创新，基于国产芯片及操作系统，建设全面安全创新的 XXADA 数据采集及监视控制系统。

#### 2. 建设目标

风电场 XXADA 系统（ULI-XXADA）目标是搭建一个风电场各项监控、监测数据的信息共享、交换、传输平台；针对运营商、制造商以及技术研发单位，提供远程分布终端综合监测系统；创建风电场行业数据仓库；组建风资源前期规范及评估、产能预报、风电场运营管理等专家系统。

#### 3. 建设内容

依据 CMMI5 级标准研制地提供内生本质安全、云原生支持、自主平台深入优化、高性能、易管理的新一代自主服务器操作系统，同源构建支持六款自主 CPU 平台，为陆地风电场提供了高可靠、高安全、高性能基础运行支撑平台，保证系统持续稳定运行，进一步提升电厂设备设施的运行水平和底层安全。

- (1) 硬件：使用鲲鹏处理器；
- (2) 数据库及 OS：岳泰数据库以及银河麒麟高级服务器操作系统 V10；
- (3) 业务系统：XXADA 数据采集及监视控制系统；
- (4) 业务应用迁移，生态创新适配
- (5) 性能优化支持，测试方案支持
- (6) 行业需求定制，内生安全保障
- (7) 特性深入优化，兼容底层硬件

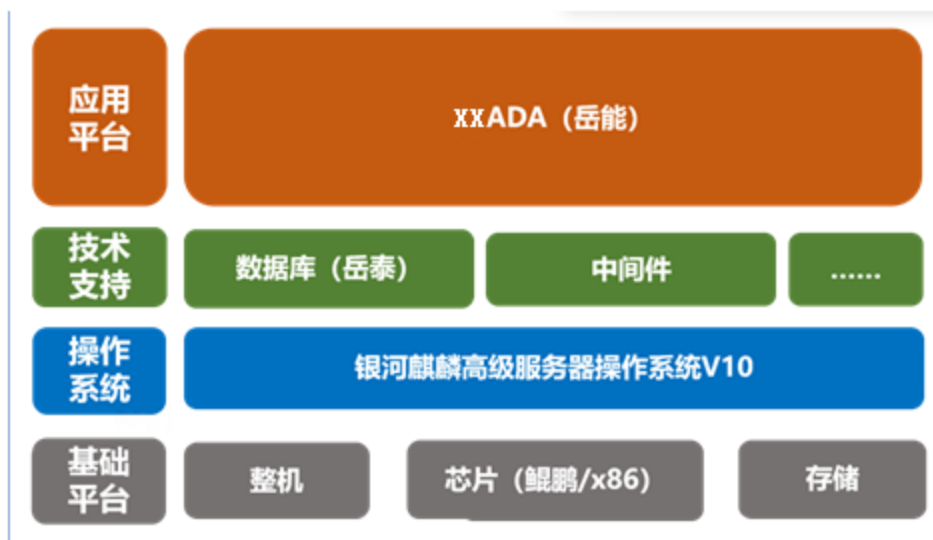


图 3-5 风电场 XXADA 系统结构图

### 3.6 openEuler 操作系统在信息管理领域的应用实践案例

#### 1. 项目背景

某电网企业业务覆盖地域广，信息化建设需求大，维护成本高居不下。同时作为国计民生的重要基础设施，对 IT 设施安全创新有极高的要求。基于全栈国产创新软硬件新建的国产监控管理平台在稳定性、安全性、易用性、高可用性等方面要满足客户业务系统的需求。

#### 2. 建设目标

从信息安全、产业趋势、自主创新、信息化成本等角度综合考虑，并结合某电网公司的实际情况与特色需求，完成了企业信息化的计划，实现了服务器系统完全安全可靠，系统性能与迁移前相同的目标。

项目实施范围包含分子公司和超高压输电公司、调峰调频发电公司及相关供电局，总计近 2000 套系统。

#### 3. 建设内容

(1) 硬件平台：大部分业务系统运行在 x86 架构服务器上，部分核心业务系统运行在 Power 和安腾架构小型机上；桌面端主要使用 x86 架构。

(2) 操作系统：目前服务端以 x86 系统为主的操作系统。

(3) 平台软件：目前核心业务系统的数据库和中间件以 Oracle 和 Weblogic 为主，开源版以 MySQL、Tomcat 等为主。

(4) 硬件平台部署：利旧 x86 架构+ARM 架构（华为鲲鹏 920）。

(5) 虚拟化平台部署：由电网云，VMWare 等虚拟化环境提供虚拟机计算资源。

(6) 操作系统：银河麒麟高级服务器操作系统 V10。

(7) 数据库和中间件：达梦数据库和中创中间件。

(8) 自主化建设：在各方的协作下，成功在 2020 年底总计安装银河麒麟高级服务器操作系统 V10 1693 套，协助客户实现了信息口总量 10%的目标。

## 第四章 openEuler 操作系统在电力行业的应用技术规范

为促进 openEuler 操作系统在电力行业的应用，设立国产终端操作系统安全标准和行业规范，对建立终端安全体系和规范具有极其重要意义。但目前为止还未形成相关标准和规范，基于电力行业企业对国产操纵系统的需求和目标，通过调查研究、先行先试等方式，对企业在实施国产操作系统过程中发现的问题及解决思路归纳成相关要求，为今后的标准和行业规范制定及国产终端操作系统实施，提供有力支持。

### 4.1 中文支持要求

系统应支持 GB18030-2005（信息技术中文编码字符集）中强制部分的规定编码字符集。

### 4.2 硬件兼容性要求

#### 4.2.1 电力行业操作系统通用要求

1. 支持鲲鹏、飞腾、海光、兆芯、龙芯等主流国产 CPU；
2. 兼容国内外主流服务器、工作站和存储等硬件产品；
3. 支持主流显卡、国内外主流网络设备和技术架构；
4. 支持国产中间件、支持国产数据库；
5. 支持企业云原生技术应用、服务智能弹性部署等。

当前国产芯片出现了 X86、ARM、MPIS、LoongArch 等几款主流架构和多种服务器设备；国产数据库和中间件也产生了多种产品，电力行业在进行国产化建设过程中出现了多样化的软硬件组合，迫使操作系统需要有很强的国产化兼容性，以实现电力行业云平台混合纳管国产基础软硬件。除兼容国产化基础软硬件外，还需对存量的 AMD、X86 架构设备及国外的数据库、中间件有很好的兼容性。

#### 4.2.2 基于 openEuler 发行版在电力行业定制适配

##### （1）国产硬件定制适配

智能电网调度控制系统所有的服务器、工作站、工控机均采用国产品牌整机，并且有不少计算设备都是按照电力系统相关要求进行定制生产。基于 openEuler



发行的国产操作系统为了满足智能电网调度控制系统的需求，给调度系统提供稳定、可靠的运行平台，需要对主流品牌国产整机，包括华为、华三、曙光、联想、浪潮等进行定制适配工作。

#### (2) 电力专用设备适配

智能电网调度控制系统中有专用的通信加密卡、通信加密装置、网络隔离装置、安全运维网关机、安全态势感知装置、可信加密卡等设备，这些设备需要国产安全操作系统驱动运行。基于 openEuler 发行的国产操作系统完成对这些设备的兼容性适配，以保障电力专用设备稳定、高效运行。

### 4.3 系统管理工具要求

1. 支持用户查看当前系统版本信息，包含系统版本号、内核版本号、CPU、内存等；
2. 提供系统负载查看工具，包括 CPU、内存、磁盘、网络等使用情况；
3. 提供软件包管理工具，支持软件包查询、安装、卸载等功能；
4. 提供日志服务和管理工具，支持配置远程日志；
5. 提供设备管理工具，支持常见设备查询、设置等功能；
6. 提供账户管理工具，支持账号查询、创建、删除等功能。

### 4.4 开发工具要求

1. 提供 vim、emacs 等文本编辑工具；
2. 提供 gcc、binutils、gdb、make、cmake 等编译开发工具；
3. 提供 gnu c、gnu c++、java、qt、gtk+、opengl、perl、python、ruby、rust、golang 开发环境；
4. 支持主流开发语言及运行管理环境，例如 Java、Python、VUE、Node、C++、C#、Maven、Npm 等。

#### (1) 开发环境满足要求

智能电网调度控制系统主要以电力系统信息化建设单位厂商开发，基于 openEuler 发行的国产操作系统为其提供对应的开发环境、开发工具、编译调试工具等。将 Eclipse、QT-creator、Emacs 等集成开发环境移植适配到国产安全操作系统上，给应用开发厂商提供图形化的集成开发环境。提供多种开发语言，

包括 Java, C, C++, Python, VUE、Perl, Shell, Ruby, PHP, Tcl/Tk, Lisp 等编程语言。

#### (2) 云计算平台兼容要求

为了进一步提高软硬件的集中管理和弹性部署, 配电自动化系统提出云平台技术线路。基于 openEuler 发行的国产操作系统为了配合云平台软件进行国产化改造, 将云平台移植到国产安全操作系统上运行, 并且虚拟服务器推送的国产安全操作系统, 给配电自动化系统提供完全自主知识产权的云计算技术解决方案。

### 4.5 文件系统的支持要求

1. 支持 fat32、ext3、ext4、xfs、reiserfs、btrfs 等常见文件系统;
2. 支持 procfs、sysfs、tmpfs 等虚拟文件系统。

操作系统在充分保障安全性和稳定性的同时, 还需支持系统性能调优, 实现信息化资源充分利用, 包括但不限于 I/O 接口吞吐率、系统资源利用率、内存读写速度、系统响应速度等。

遵守国家发布的操作系统标准, 主要如下:

- (1) GB/T 25645-2010 信息技术中文 Linux 服务器操作系统技术要求标准;
- (2) GB/T 16681 - 2003 信息技术开放系统中文界面规范;
- (3) GB/T 14246.1 - 1993 信息技术可移植操作系统接口 (POSIX) 第一部分: 系统应用程序接口 (API);
- (4) GB/T 17548 - 1998 信息技术 POSIX 遵从性的测试方法。

### 4.6 数据库的支持要求

1. 支持 oracle、mysql、mariadb、postgresql、mongodb 等常用数据库软件;
2. 支持达梦、金仓、Oceanbase、Polardb、Gauss DB、瀚高等主流国产数据库软件;
3. 提供 Shell 软件包管理器, 如 dnf、yum、pip、rpm 等;
4. 加强与主流国产软件适配, 如用友、金蝶、超图和帆软报表等软件厂商产品;
5. 满足主流电力监控软件数据库的部署需求。

#### 4.7 安全性要求

1. 支持用户标识和身份鉴别功能；
2. 支持自主访问控制；
3. 支持标记和强制访问控制；
4. 支持安全审计功能，对各种安全事件进行记录并提供日志查询、日志分析和告警功能；
5. 支持数据完整性保护；
6. 可防止客体重用；
7. 支持对存储数据的加密；
8. 支持在本地用户和远程用户进行初始登录，操作系统与用户之间建立可信路径；
9. 支持可信信道；
10. 支持网络安全保护；
11. 能在运行时提供自身的安全保护；
12. 应及时运用补丁对操作系统的漏洞进行修补；
13. 系统出现故障或中断后，应使系统以最小的损害得到恢复；
14. 支持容错机制；
15. 支持服务优先级设置功能；
16. 支持资源分配功能；
17. 支持用户登录访问控制；
18. 支持可信度量功能；
19. 支持可信恢复功能；
20. 提供安全策略配置功能。

以上安全要求根据不同应用场景进行粒度上的调整。

## 第五章 openEuler 操作系统在电力行业应用迁移指南

我国的电力信息化产业发展经历了四个时期，逐渐发展成为我国电力行业的重要基石。发展初期，行业发展目标主要是提高电厂和变电站生产过程的自动化程度，改进水平，提升处理速度；在专项业务应用阶段，计算机系统的应用是主要发展特征，电力行业初次将计算机系统应用在电网调度、发电厂和电力负荷控制等方面上；在此之后电力信息化加速发展，信息技术在电力行业进行深度应用，向着企业管理层方向进行全面发展并开展信息安全建设工作；到了现阶段，行业的主要发展目标主要集中在管理信息化方面，企业资产、集团控制和生产管理等方面进行全面展开。总体来看，电力信息化行业发展已经完成从操作层面向管理层面的发展，并在行业管理层方面开展深度应用探索。

### 1. 电力信息系统基础架构

电力信息系统有基于云平台与传统分布式等多种基础架构所构成，部分环境基础架构主要由服务侧、用户侧和其他硬件三大部分构成。

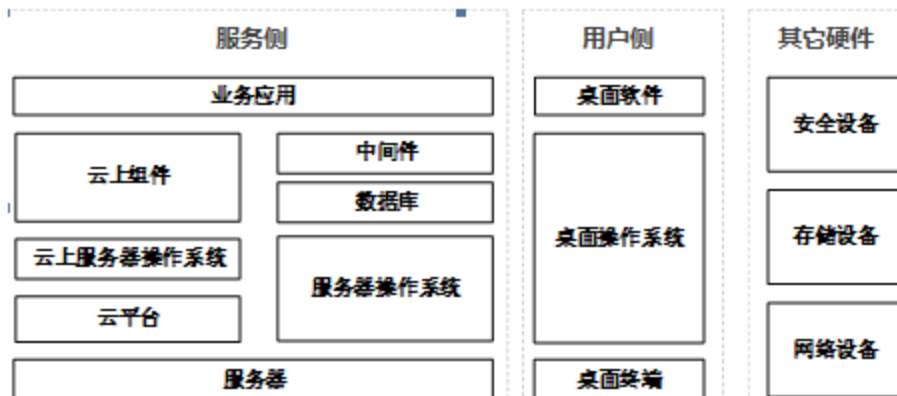


图 5-1 部分环境基础架构图

服务侧，包括服务器、云平台、服务器操作系统、数据库、中间件、业务应用；

用户侧，包括桌面终端、桌面操作系统和桌面软件；

其它硬件，包括存储设备、网络设备、安全设备等。

### 2. 面临的挑战

(1) 电力信息系统基础设施首要原则是保障业务连续性，在建设初期安全不是一切的重点，没有优先考虑安全因素，因此缺乏安全设计，使用大量的专有和私有协议；

(2) 电力信息系统服务范围覆盖全国，具有用户规模大、持续可用性要求高的特点，对故障范围控制及实时响应要求更高。

## 5.1 操作系统迁移的关键因素

在开展迁移工作时，对于不同信息系统，应采用不同的迁移策略。在迁移至新操作系统时，主要会考虑成本、平滑过渡和服务托底三个角度，进而拆分为八个关键因素来做出决策。

1. 迁移转换简单，业务中断最少；
2. 运行稳定，奠定扎实的 IT 基础；
3. 生产级稳定性、安全性；
4. 专业 IT 团队保驾护航；
5. 庞大合作伙伴生态支持多种供应商选择；
6. 生命周期支持和版本灵活性的长期价值；
7. 清晰的产品路线图；
8. 主动分析环境减少企业的风险。

## 5.2 操作系统迁移方案

以采用基于完全自主的 openEuler 开源社区商业发行版的银河麒麟高级服务器操作系统 V10 作为新建迁移方案为例，在前期的建设中充分做好基础环境和产业生态调研，做好统计归类 and 测试验证工作，实现业务系统稳定上线的风险可控。适用于新建业务系统部署，或已有业务系统基于国产硬件扩容。

### 1. 方案优势：

(1) 提供迁移评估工具 x2kylin\_EX，有迁移替代方案，专业原厂服务；

(2) 自主可控操作系统，自研安全架构 KySec，稳定可靠、性能优异，国内外生态兼容广泛，数据中心多场景，案例丰富。

2. 方案不足：需要业务系统做适配改造，较长迁移周期和较大资源投入，需中断系统运行。

3. 方案涉及产品：银河麒麟高级服务器操作系统 V10 为例。

采用 4.19 内核，内核 21 个子系统中自行修改和研发的有 14 个，占 67%，具备自主原生的内核定制与优化能力。具备如下优势：

(1) 与国内外芯片厂商深度合作，实现 CPU 新特性与内核自主技术相融合

① 优化部分国产 CPU 性能：综合性能提升 12%，内存性能提升 6%，虚拟机性能提升 430%。

② 与 Intel 在代码级层面深度合作，综合性能优于竞品 5%以上。

③ 实现国产 CPU 内置安全处理器，实现国密算法支持、安全内存模组支持、指令流预检测支持，实现基于可信计算的可信双体系。

(2) 基于自主技术实现突破

① 同源支持国内外主流 CPU 架构，并基于内核自主技术针对不同国产 CPU 平台从内核、驱动支持、磁盘读写、网络、内存、虚拟化等方面优化增强。在超算榜单 I0500 中以 7043.99 分位居榜首。

② 基于等保四级标准，设计自研的 KySec 安全体系，实现基于软硬件、密码技术的内核与应用一体化安全体系，并实现国内创新的双体系架构的可信计算 3.0 技术。提供操作系统安全加固服务，保证业务系统基座安全。

③ 云原生技术支持，适配兼容主流“云大智”平台及核心组件且性能卓越，在 Spec Cloud IaaS 2018 同等规模云平台测试中拿到全球最高 40.5 分，比同规模 X86 服务器性能提高 56%。

### 5.3 迁移工作方案建议

迁移工作方案是以麒麟软件迁移为例，针对不同替换场景在项目全周期中的实践，给出的实施建议与参考方法。

#### 5.3.1 调研评估

##### 1. 信息盘点

根据《应用系统调研盘点表》模板，全面梳理用户企业内信息化业务系统，并借助性能测试工具记录业务运行要求（计算性能、存储 IO 性能、网络性能、并发数、业务量、连续性等）情况作为业务系统性能基线，最终形成业务系统的收集信息表。

主要针对用户业务系统的基础环境、运行环境以及业务系统情况进行盘点。

##### 2. 业务系统筛选

筛选迁移的业务系统范围包括开发测试系统、办公 OA 系统、一般业务系统、关键业务系统等。结合整体规划，在成本投入、技术产品成熟度、能否满足业务需求等方面，考虑业务系统应用情况、架构、软硬件兼容性等因素，综合分析将业务系统中国外操作系统及其他软硬件（如有）迁移替换的可行性。同时，也需要遵循由易到难、适度超前的原则，制定整体迁移计划。

### 3. 资源匹配

在选定业务系统后，还需要根据原业务系统的资源情况，匹配目标系统对应的资源，需考虑匹配的资源包括硬件资源、云/虚拟化/容器资源池、应用组件的资源、运行时环境以及相关方匹配。

## 5.3.2 风险应对

在做好资源匹配后，应根据选定业务系统盘点的信息结果，评估迁移中可能遇到的风险，并针对风险制定风险应对策略。在进行风险应对的过程中，需主要考量业务连续性及稳定性和数据的一致性及完整性。

### 1. 迁移服务保障

在电力信息系统基础架构的上层，存在大量核心业务系统，存量业务系统数量较多、集成关系复杂、开发语言多样，在进行操作系统国产化替换时需保障业务系统的连续性和完整性，业务系统迁移存在巨大的工作量，需要制订完善的迁移工作保障机制，保障业务系统迁移工作。

### 2. 安全加固

针对即将停服的系统且尚未启动国产迁移的业务系统，需进行安全加固和安全接管服务作为过渡方案，降低停服产生的安全风险。

### 3. 业务连续性

体现在高可用性、连续操作、灾难恢复等方面，由于业务系统迁移根据不同 IT 架构情况，可能会涉及业务割接切换工作，会有影响用户业务连续性的风险，需针对该风险提前规划风险应对措施，建议业务系统迁移采用双轨运行模式，且使用双机热备架构及在线数据保护方案，以最低代价实现零停机的业务系统应急切换。

### 4. 数据一致性及完整性

体现在业务数据、配置数据准确及完整，且所有单元功能的请求、响应正常、稳定。由于业务系统迁移涉及业务数据、配置数据的备份迁移，存在数据不同步、不一致、不完整的风险。确保数据迁移前做好原业务系统数据备份，并在数据迁移后进行一致性及完整性验证，对建立原业务系统运行环境和迁移目标业务系统运行环境的双轨运行模式，必须保证原有系统和迁移系统的协同联动，确保所有应用操作在双运行环境间同步一致，保证双轨环境运行的一致性和完整性。

### 5.3.3 迁移准备

#### 1. 阶段工作流程

该阶段主要工作目标是根据实际迁移需求，做好迁移规划设计，重视软件适配改造及硬件兼容适配。该阶段会根据选定的业务系统情况及迁移需求分析，确定迁移场景，不同的迁移场景方案的工作流程会有所区别。此外，会存在因为不同场景下各软硬件是否有业务系统开发商、平台、软件厂商、整机厂商支持，而有责任方的区别。

#### 2. 用户环境信息

在开展阶段工作前，可制订《应用系统调研盘点表》模板，在业务系统开发商、平台、软件厂商和整机厂商的协助下，对用户企业内信息化业务系统进行梳理盘点，包括基础设施、操作系统版本、软件栈、组件版本、配置文件和待迁移业务系统管理方、开发方以及运维方。通过完整的收集用户环境信息，可以帮助项目迁移团队完成对用户业务系统的摸底，给项目执行团队进行参考。

#### 3. 基础设施

服务器序号	总计台数	部署位置	CPU类型	服务器名称	设备品牌	型号	操作系统
举例	1	私有云	X86	n35	Inspur	NF5270M4	CentOS Linux release 8.0.1905 (Core)

#### 4. 操作系统版本

服务器序号	替换操作系统版本	总计台数	操作系统版本	操作系统内核版本
举例	国产操作系统品牌与版本	填写实际数量	以实际为准	以实际为准



## 5. 软件栈

服务器序号	软件包列表	开发组件	数据库系统
举例	Kubernetes:v1.19.9、 etcd:3.4.15、 containerd:1.3.7、 ovs:2.15.1、 go:1.15.8	JDK 1.6	etcd:3.4.15

## 6. 组件版本

服务器序号	替换操作系统版本	总计台数	组件版本	操作系统版本
举例	国产操作系统品牌与版本	填写实际数量	以实际为准	以实际为准

## 7. 配置文件

服务器序号	举例		
操作系统配置	操作系统版本	CentOS Linux release 8.0.1905 (Core)	
	用户及组配置	/etc/passwd /etc/group	
	操作系统配置文件目录	/etc/sysctl.conf /etc/profile /etc/security/limits.conf	
网络配置	主机名设置	N35	
	网卡配置	IP 地址	XXX.XXX.XXX.XXX
		网关	XXX.XXX.XXX.XXX
路由设置	无		
文件系统配置	NAS 配置	无	
系统计划配置	计划配置地址	无	

## 8. 迁移工具

操作系统国产化迁移,已在电力行业试点验证方面,取得了一定的工作成果,考虑后续业务系统批量迁移,需要厂商提供具备良好兼容性且可用的迁移工具,实现将服务器上的应用和数据尽可能快速、完整地迁移到国产操作系统上,包括物理机到虚拟机、虚拟机到虚拟机的迁移。

### 5.3.4 人员角色分工

面向操作系统迁移项目，建议组建项目攻关小组，分别由用数字化部门、业务负责部门、操作系统厂家人员、业务系统开发商三类角色组成，并根据实际情况设立项目经理，整体把控项目风险与进度。

**1. 数字化及业务负责部门：**牵头组织操作系统替换工作，负责人员协调、业务切换、物料准备等工作；

**2. 国产操作系统厂家：**负责提供操作系统产品与国产化替换解决方案，在整个迁移过程中对操作系统问题负责；

**3. 业务系统开发商：**负责协助操作系统厂商完成迁移工作，在整个迁移项目中负责对业务应用改造与验证工作；

**4. 规划设计：**根据应用系统盘点结果，结合用户实际迁移需求分析与工作分解阶段成果，对软硬件兼容适配、系统部署及测试、系统迁移及切换、试运行及上线、运维服务等方面进行统筹考虑，进行项目整体计划设计与工作量评估，包括但不限于时间节点、人员安排、任务分工、迁移批次等内容，按照实际情况进行调整。

### 5.3.5 需求分析及路线选择

该阶段对已确定待迁移的业务系统，需要根据业务系统迁移需求，做好建设背景、目标、任务、约束和限制（功能、性能、运行环境）等方面的需求分析，结合业务系统具体需求以及用户预算情况，做好技术路线选择。

#### 典型新建迁移场景需求分析及路线选择

##### （1）需求分析

新建迁移场景一般会选用全栈国产化架构（服务器、操作系统、中间件、数据库、业务系统），因此在迁移初期规划中，应各方联合制定项目总体实施方案，共同完成软硬件与业务系统的部署。

参考用户基础设施类型（虚拟机、物理机）情况，由于新建迁移需要在用户服务器上部署国产品牌操作系统，进而开展业务系统迁移，需要先评估用户服务器是否在操作系统的整机适配清单中，是否需要硬件整机适配。

同时，要进行备份工具选型。如果是虚拟机，则考虑使用虚拟机管理平台自带的快照工具或备份工具进行虚拟机备份。如果是物理机，在有商业备份软件的

情况下，使用商用备份软件对整机进行备份，若没有商业备份软件，可以利用开源备份工具对原操作系统整盘备份。

新建迁移场景应对方案的目标操作系统，选用迁移评估工具，进行手动迁移。新建业务系统或现存业务系统涉及的软件/组件，需要评估是否在软件适配清单中，评估是否需要软件/组件适配。

由于新建迁移场景可能需要对软硬件进行适配改造，适配改造和迁移周期及工作量需操作系统厂商、整机厂商、业务系统开发商、平台/中间件/数据库等厂商共同评估。

### (2) 路线选择

在具备新建迁移能力后，可通过整体规划分步实施，逐步完成基于国产化芯片、整机、操作系统、中间件、数据库等的国产化升级改造。对于不考虑新采购国产芯片、整机的硬件利旧，只考虑操作系统、中间件、数据库国产化升级的情况，也可采用此新建迁移场景方案。

### (3) 注意事项

该类新建迁移类型，需要整体规划，分步实施，评估阶段需要将迁移任务拆卸详细并形成迁移方案，在适配改造阶段需要协调软件开发人员、软件厂商、硬件厂商，配合操作系统软件厂家进行适配工作，并做好计划，在适配时间点全力配合，以保证工期能够顺利完成。

## 5.3.6 软硬件适配改造

**适配流程：**迁移团队评估业务系统迁移过程中涉及的软件、组件、硬件整机是否在适配清单中，评估是否需要软件、组件、硬件整机适配。如需软硬件适配，将启动适配流程。

**迁移流程：**完全新建的业务系统不涉及双轨改造问题，而存量业务系统涉及双轨改造情况，在验证阶段，需进行测试验证与适配优化，保证新建业务系统在功能与性能方面不弱于原有架构，并在业务切换中选择双轨运行模式，新旧系统并行运行，在新业务系统完全可用后，再将原业务系统逐步下线。

## 5.3.7 备份工作

为避免迁移过程中出现迁移失败或重要配置文件丢失情况，建议对系统整体进行备份。

### 5.3.7.1 虚拟机备份方案

#### 1. 整体备份

(1) 基于虚拟机管理软件自身的备份工具

将原虚拟机通过虚拟机管理器的克隆工具克隆到目标虚拟机实现备份，当需要还原时直接使用目标虚拟机即可。

(2) 基于第三方备份工具

将原机器制作为可还原格式文件存放在备份存储中，基于备份存储中的可还原格式文件对原机器进行还原。

#### 2. 数据备份

(1) 整盘备份工具

将原硬盘数据制作为可还原格式文件存放在备份存储中，基于备份存储中的可还原格式文件将数据还原到原硬盘或者其他的目的硬盘中。

(2) 分区备份工具

与整盘备份的方案相似，以分区作为操作单位进行备份。

#### 3. 文件备份

将本地机器的源文件（目录）备份到目标机器的目的文件（目录）。当需要还原时，从本地机器的目的文件（目录）复制回本地机器的源文件（目录）完成还原，适合备份配置文件等非结构化数据类型。

### 5.3.7.2 实体机备份方案

#### 1. 整体备份

(1) 基于第三方备份工具

将原机器制作为可还原格式文件存放在备份存储中，基于备份存储中的可还原格式文件对原机器进行还原。

#### 2. 数据备份

(1) 整盘备份工具

将原硬盘数据制作为可还原格式文件存放在备份存储中，基于备份存储中的可还原格式文件将数据还原到原机器的硬盘或者其他目的硬盘中。

(2) 分区备份工具

与整盘备份的方案相似，以分区作为操作单位进行备份。

### 3. 文件备份

将本地机器的原文件（目录）备份到目标机器的目的文件（目录）。当需要还原时，从本地机器的目的文件（目录）复制回本地机器的原文件（目录）即可完成还原，适合备份配置文件等非结构化数据类型。

#### 5.3.8 业务切换

##### 5.3.8.1 方案制定

###### 1. 制定迁移策略

基于在实验环境进行部署的知识和经验，制定生产环境中网络架构、操作系统、数据库、中间件、业务系统等的部署策略。根据测试验证数据的特点，制定整理、备份、转换、割接、恢复等方面的数据迁移策略。涉及数据库迁移的情况不建议采用利旧、扩容方式迁移，建议采用新建方式，通过备份恢复的方式，在数据割接点对数据进行迁移。

###### 2. 制定迁移割接方案

在业务系统部署策略和数据迁移策略的基础上，根据测试验证的知识经验，形成业务系统迁移割接方案，包括业务系统部署实施方案、备份方案、数据保护方案、迁移方案、数据回滚方案、业务切换方案、业务回退方案、双轨运行方案、应急处理方案等；并制定业务系统验证方案，用于在实施业务切换后进行验证。

其中，业务切换主要有新旧系统双轨运行、新系统单轨运行两种方式。双轨运行以旧系统为主、新系统为辅（如通过采用业务分流策略），待时机成熟后切换到新系统运行，其特点是安全系数高，但很可能在前期适配改造过程中涉及业务系统、中间件、数据库改造，过渡期较长、工作复杂度较高，在实施过程中，要保证新旧系统的协同联动，通过数据同步分发、一致性校验等，确保所有功能响应、用户体验无差异和数据的一致性、完整性。单轨运行以新系统为主、旧系统为辅，旧系统只用于验证新系统业务处理正确与否，特点是直接采用新系统存在一定风险，需通过加强测试验证以降低风险。

###### 3. 业务系统测试验证

完成业务切换后，业务系统开发团队/运维团队需要负责对切换后的业务系统进行测试，确认当前业务系统已成功迁移。对发现的问题予以解决，形成测试

报告，迁移团队与业务系统开发商共同制定测试方案，完成测试验证工作，数字化建设及业务负责部门进行结果确认。对应用的测试验证主要有如下内容：

(1) 应用功能覆盖：功能测试应参照迁移前业务应用所有功能对迁移后业务应用进行验证；

(2) 应用安全性测试：应进行安全性对比，业务应用安全性在迁移后不得低于迁移前；

(3) 应用性能测试：通过 loadrunner、JMeter 等性能测试工具分析应用软件的性能，迁移后应满足迁移计划制定的性能指标。

### 5.3.9 试运行及正式上线

#### 1. 阶段工作流程

该阶段主要工作目标：在试运行阶段，需监控此阶段暴露的问题，促进业务系统优化，并监督后续运维工作，保障业务系统运行。当进入正式上线阶段，需进行日常监控，紧抓运维工作，保障业务系统稳定运行。

完成业务系统的迁移和业务切换后，迁移工作进入到试运行阶段。用户需要在生产环境下开展测试验证和优化，需要展开的验证工作主要包括功能测试、性能测试、可靠性测试、兼容性测试、数据一致性测试等，并依据业务系统验证方案，验证业务切换后业务系统运行和数据处理是否正常，评估是否满足业务运行要求。

完成试运行后，用户运维团队对业务系统功能、性能等做最终评估后，业务系统便可正式上线，并进入运维期。用户运维团队需对系统进行持续监控和日常维护，掌握系统可靠性、稳定性等状态，及时发现可能存在的问题，并在业务系统开发商、操作系统厂商等支持下进行解决，保障业务系统平稳运行。

试运行及正式上线工作会在不同场景下，受各软硬件是否有业务系统开发商/平台/软件厂商/整机厂商支持影响，责任方有不同区别。

#### 2. 试运行阶段运行监控

在试运行的过程中，需要借助运维监控工具等手段尽量发现隐藏问题或异常状况，由迁移团队与业务系统开发商等共同定位解决问题，降低系统运行的故障和隐患风险，确保业务系统稳定运行。

#### 3. 试运行阶段优化配置

若发现性能等方面的问题，迁移团队、业务系统开发商、业主单位等共同定位问题并优化系统配置以达到系统的设计目标。如遇较大故障，必要时可通过双轨应急切换或业务回退手段保障业务系统在试运行阶段的稳定。

#### **4. 移交验收及验收标准**

迁移完成后，建议至少进行为期 3 个月的试运行，试运行结束后再将业务系统正式移交给运维团队管理。

验收标准应确保试运行期间操作系统运行稳定，平台、中间件、数据库等软件运行正常，业务系统功能正常，业务数据完整。

在用户使用习惯与体验方面，可以保持与原有操作系统基础上建设的业务系统一致，无需信息运维人员重新学习。

#### **5. 正式上线**

用户运维团队对业务系统功能、性能等做最终评估。如评估通过将开展正式验收工作，通过验收后，业务系统正式上线进入运维期。

## 第六章 openEuler 在电力行业应用的展望与建议

### 6.1 行业应用场景

推动 openEuler 在电力行业的应用主要有两个方面的深层原因，一是电力行业数字化转型的需要，二是数字化对新型电力系统建设的推动作用。借助 openEuler，以新一代自主可控数字技术为核心驱动力，以数据为关键生产要素，以现代电力能源网络与新一代全国产数字底座为基础，通过数字技术与电力能源企业业务、管理深度融合，不断提高数字化、网络化、智能化水平，而形成新的能源生态系统。加速推进新型电力系统“源网荷储”四大环节的全面数字化，从新型电力系统的数据、算力、算法三个方面，对 openEuler 的行业应用场景进行分类。

#### 6.1.1 新型电力系统大数据场景

在如今的互联网时代，数据是支持决策和运营的根本要素，是确保电力系统“可观、可测、可控”的关键因素，也是电网指挥体系决策中枢的关键基础。对于电力行业，无论是适应新能源大规模高比例并网和消纳要求，还是支撑分布式能源、储能、电动汽车等交互式、移动式设施广泛接入，都需要以数字技术为电网赋能，促进“源网荷储”协调互动，推动电网向更加智慧、更加泛在、更加友好的能源互联网升级，以数字化改造提升传统业务、促进产业升级，开拓能源数字经济这一巨大蓝海市场，是我们走出发展困境、培育新动能、开辟新空间的必由之路。

过去十多年间，电力行业在数字化方面已做了很多工作，在数据传输、数据识别、安全检查、运维统计、自动分析方面都有较为完善的数字化系统落地。然而，尽管上新了很多管理系统，数据的“最后一公里”问题仍没有很好地解决，涉及数据的导入导出、跨系统迁移等工作，仍然需要人工处理。随着新型电力系统建设的推进，采集控制对象范围更广、规模更大，源网荷储各环节紧密衔接、协调互动，业务的开展需要全环节海量数据实时汇聚和高效处理，对采集控制装置的管理，采集控制有效性等各方面提出了新要求。

openEuler 操作系统需提升计算能力、开放性等能力，对大量数据进行及时有效的感知、采集、存储、管理、分析计算、共享应用和保护，充分挖掘数据价



值。openEuler 操作系统应基于业务系统在大数据方面的建设，针对大数据在电力系统的应用场景，兼容国内外主流大数据技术引擎、数据仓库、数据工具等内容，并提供数据采集、数据处理、数据分析等大数据解决方案。

### 6.1.2 电力算力融合场景

未来能源的形态是电力与算力融合的形态，电网在由输送电力向输出电力转变的同时，也将充分考虑算力发展需求。首先，电力服务算力，从目前来看数据中心的耗电量尚不超过全社会用电量 2%，未来即使需求量增长加倍，但总体上供电压力不大；其次，电力即算力，电力的分布式生产、消费与远距离大规模输送等功能形态，均能够同步加载算力资源，实现资源复用与时空优化。电网的平台枢纽功能将在“电力+算力”的时代得到进一步丰富，“电力+北斗”、“电力+5G”、电力数据中心对外服务等利用模式可充分响应用户对算力、电力的双重需求，彻底改造新型能源基础设施的功能形态与价值形态。

算力的高耗能属性决定了其与电力存在着紧密的相互支撑关系。从计算的本质来说，是把数据从无序变成有序，这个过程一定需要能量的输入，算力水平的提升会带来电力供应水平的提升。充分发挥电力和算力双引擎作用，以电力支撑算力提升，算力提升反哺能源电力科技突破创新，为现代经济体系建设提供新型基础设施支撑。其中，从投资规模看，相比于制造业、金融业而言，电力行业的算力应用水平还不高，发展空间大。从地域分布看，算力与电力都遵循了“逆向分布”特点，即供给中心在中西部，需求中心在东部发达地区，电力算力规划实施的同步性特征明显；从预期价值看，“电力+算力”的应用场景主要在电力系统内部，以电力北斗、电力 5G 为例，选择成熟度较高的关键场景突破，如无人机智能巡检、小水电精准调控等。算力在电力行业中的应用和投资分布情况还远低于行业平均水平，电力行业迫切需要加强对算力的超前布局。

现代电力企业要以“电力+算力”为重点，支撑新型电力系统建设，驱动能源系统高质量发展。通过电力和算力共同发挥作用，促进大规模可再生能源协同发展，这是当前建设能源互联网企业面临的重要课题，也是建设新型电力系统的要求。以电力新基建为抓手，面向新型电力系统发展需要，应通过强大的算力支撑以及海量数据基础、平台支持，实现能源流、信息流与业务流的深度融合，增强电网资源大范围优化配置能力，提高电力的清洁绿色、安全稳定水平，再进一

步反向促进算力的可持续发展，以在电力和算力螺旋式上升的过程中，实现能源系统的高质量发展。

openEuler 操作系统以内核级创新，打造最佳多样性算力支持、全场景数字基础设施操作系统，成为首选自主可控操作系统技术路线。openEuler 操作系统需针对新型电力系统对象剧增、时间常数小、频域分布广和动态过程混杂的特征，进一步完善对计算准确性和快速性的更高要求。同时，由于新型电力系统节点规模显著增大，openEuler 操作系统需提升计算的规模化能力，使其应用于电力系统规划设计、电力系统故障分析及模拟培训等更多专业场景。

### 6.1.3 适应新型电力系统的算法场景

对于新型电力系统，先进的专业算法是适应电网新形态，是满足规划、运行管理新要求的重要手段。由于新型电力系统的规划方法、计算仿真模型、仿真工具等也将调整重构，升级完善后的算法在电力系统数据融合、智能识别、边缘计算、源荷预测、数字仿真、智能诊断等方面显得尤为重要，这也是数字电网真正实现“可控”必不可少的一环。

在新型电力系统边缘侧装备中，“芯片化”将成为重要形态之一。首颗国产电力专用芯片采用首创电力通信网络、电气参量计算、数据并行处理等电力算法纳米级电路，大幅度提升电网终端对海量并未发报文的处理性能，实现了电力专用算法可控。在电力系统完成算法升级的同时，为保证电力系统的安全与稳定，应用于电力行业的 openEuler 操作系统作为底层基础软件，需要具备支持电力专用算法的完善安全体系和机制。

## 6.2 行业应用建议

### 6.2.1 应替尽替

面对电力行业特定需求，按照统筹规划、分类突破、融合发展的原则，有序推进 openEuler 操作系统在电力行业的国产化替代。研究制定替代路线图和时间表，有序推进其在电力行业应用。建议电力行业全面采用 openEuler 系操作系统，明确应用 openEuler 操作系统的工作目标，统筹工作节奏。

2020 年 12 月，业界主流服务器操作系统 CentOS 宣布业务策略变更，后续不再提供稳定的开源版本，并明确了当前各版本的结束支持日期，操作系统供应

安全问题凸显，因此电力行业需要及时应对，尽快完成国产 openEuler 操作系统替换进程。

版本	CentOS-6	CentOS-7	CentOS-8
结束支持 (EOL) 日期	2020年11月30日	2024年6月30日	2021年12月31日

针对存量系统，统筹替换节奏，采用商业发行版、openEuler 开源社区技术路线的版本逐步完成迁移替代。

存量迁移替代建议如下：

第一阶段：试点阶段，完成电力行业的 openEuler 试点工作，此阶段建议遴选具备普适性的核心业务，基于“分批分级，逐步替代”的原则，逐步完成向基于 openEuler 系操作系统的迁移替换。

第二阶段：规模推广阶段，依托试点阶段成果，制定电力行业的替代考核指标和配套政策（类似国产化要求），开展大规模推广工作。

## 6.2.2 行业标准

构建新型电力系统，全面支撑碳达峰、碳中和目标实现，是对能源电力行业的一场全局性革命性变革。新型电力系统中新能源将成为主力电源，高渗透率接入的新能源将深刻改变传统电力系统的形态、特性和机理，新型电力系统将呈现高比例新能源与高比例电力电子特性，对可靠供电、安全稳定和经济运行带来新的挑战。

openEuler 操作系统针对新型电力系统对电力保障的需求，做出进一步完善。持续可靠供电是保障经济发展和人民追求美好生活的重要基础。风光等新能源发电具有较强的随机性、波动性和间歇性，在目前技术条件下主要提供电量替代效益，电力支撑能力不足，另外新能源发电对极端天气的耐受能力相对脆弱。随着新能源发电占比迅速提高，需统筹好新能源发展与电力保障的关系，应用于新型电力系统的操作系统保障其安全性、可靠性。

openEuler 操作系统针对新型电力系统对电网安全的需求，做出进一步完善。新型电力系统在延续交直流串并联特征的同时，由于“源网荷储”各环节高度电力电子化，将呈现低转动惯量、宽频域振荡等新的动态特征，系统功能稳定、频率稳定、电压稳定问题更加复杂。openEuler 操作系统需准确把握新型电力系统

的运行特性与运行控制技术，出台适用于新型电力系统操作系统标准，打造安全的现代化电网。

openEuler 操作系统针对新型电力系统对经济性的需求，做出进一步完善。新能源能量密度小、发电年利用小时数低，且大型新能源基地通常远离负荷中心，为保障高比例新能源并网消纳、系统安全与可靠供电，总体上新型电力系统建设和运营成本将上升。为统筹好系统可靠安全供电和经济性之间的关系，openEuler 操作系统应满足现场低成本硬件以及可靠处理现场传感值，需根据业务场景自适应裁剪对应的内核、组件，提高操作系统异常处理能力，满足低功耗、低成本需求。

### 6.2.3 产业政策

建议出台地方性开源支持政策，设立开源基金会制度，鼓励社会力量与政府共建公益性开源创新生态环境。政府主导建立开源基金会，以此为试点，支持开源基金会接纳社会捐资开展开源基础业务，在此基础上建立完善基金会组织机制和法律制度。地方政府采购向开源方案倾斜，支持基于开源的技术创新和新兴企业兴起。在此开源环境下，可提升软硬件厂商对 openEuler 操作系统的生态建设，提升 openEuler 操作系统在电力行业的可用性。搭建 openEuler 操作系统电力生态，需要政府部门在生态、开源、系统安全等方面对 openEuler 操作系统提出相关政策，加以促进。

政府出台相关政策，深化 openEuler 操作系统在电力行业的应用推广。在经济方面，对于采用国产 openEuler 操作系统的平台，给予一定扶持，在创新、替代过程中，出现一些不可控或未知问题，有关部门给予包容支持，采取免除责任的措施或降低处罚。对相关企业采购国产 openEuler 操作系统，给予一定减税或补贴。在技术方面，给予 openEuler 操作系统“包容性”扶持，支持其在应用中持续迭代。在电力行业中，openEuler 操作系统需做到全面支持云计算技术、人工智能、物联网等新技术，自主创新，持续开发产品迭代，支持产品深度定制，加快 openEuler 操作系统创新与适应性进步，为未来电力行业保驾护航。同时，政府可协助厂商推进 openEuler 操作系统安全方面的建设政策，进一步加强新型电力系统的安全可靠运行。

#### 6.2.4 人才培养

构建国家自主的软件和生态体系，实现自主可控是必然的趋势，人才培养是发展的基石。为深化国产软件生态发展，推进国产操作系统在电力行业的持续应用与推广，需要培养满足 openEuler 生态发展与新型电力系统发展的特色化技术人才和高质量技术人才，以壮大国产操作系统人才队伍。

一是完善人才培养体系和培养机制。加强高校软件专业建设、高质量软件人才培养新模式，培养复合型、实用型高水平人才，增加人才行业内良性流动理念，建设特色化示范性软件学院。构建适合中国高校教学特点、基础条件和教师队伍的新型软件人才培养体系和支撑环境，建立全中文语言的操作系统教材理论体系，引入沉浸式的教学模式，将实践与理论结合，着力培养实践能力、创新精神和社会责任感。同时加强高校内电力领域和软件领域人才的联合培养，推进适用于新型电力系统特征的操作系统改进。依托 openEuler 生态创新中心、行业龙头企业、地方高校及科研机构等提供的技术、产业岗位、人才标准，以 openEuler 人才的研修培养为核心，围绕人才研修定位、课程案例建设、教材理论体系完善、教学模式探索、岗位培训认证、岗位能力研修等重点领域，与 openEuler 生态合作伙伴加强紧密合作，努力打造 openEuler 产业人才高地。鼓励高校联合开设 openEuler 基础软件课程，将 openEuler 课程导入高校人才培养方案、大学生实习实训和实验室建设。对考取 openEuler 相关职业资格证书或职业技能等级证书的个人，提供申领技能提升补贴政策。建议对相关高校实施教学改革的投入开展资助，包括基础软件学科教学改革基金、基础软件科研学术奖励金、基础软件技术开发基金、基础软件新型人才培养基金。支持高校建设 openEuler 实训实验室，openEuler 创新俱乐部等。

二是鼓励多方合作。破除高校与产业壁垒，支持对学科建设、校企合作、高级人才引进、人才鼓励政策等进行优化，大力开展国产 openEuler 操作系统，应用于电力行业的核心技术联合攻关。在高校内开展相关职业教育，使在校人员充分了解 openEuler 操作系统与电力行业数字化的重要意义及广阔的发展前景。

三是鼓励创业创新。过去很长一段时间，中国几乎所有的科技创新型公司都使用着相同的发展模式，即基于现有的科学知识和已经成熟的技术进行二次开发做出一些适应性修改，或者部分优化、集成，从而在中国巨大的市场上构建出新

的商业模式。但是，在当今世界日益复杂的竞争环境下，过去的这种模式已不符合国家发展战略及市场需求。我国想要实现上层应用和数字经济的快速发展，坚持基础软件的创新才是根本之策。openEuler 操作系统需要保持核心创新力，不断提升技术支持以满足新型电力系统对安全性、可靠性、低成本等需求，营造良好的应用生态，保证良好创新和供给能力。

## 附件 1 名词解释

**1. 开源社区：**又称开放源代码社区，一般由拥有共同兴趣爱好的人所组成，根据相应的开源软件许可证协议公布软件源代码的网络平台，同时也为网络成员提供一个自由学习交流的空间。由于开放源码软件主要被散布在全世界的编程者所开发，开源社区就成了沟通交流的必要途径，因此开源社区在推动开源软件发展的过程中起着巨大的作用。

**2. openEuler 开源社区：**是一个面向数字基础设施操作系统的开源社区，通过开放的社区形式与全球的开发者共同构建一个开放、多元和架构包容的软件生态体系，孵化支持多种处理器架构、覆盖数字设施全场景，推动企业数字基础设施软硬件、应用生态繁荣发展。

**3. openEuler 操作系统：**是一个开源、免费的 Linux 发行版平台，是由开放原子开源基金会（OpenAtom Foundation）孵化及运营的开源项目。openEuler 是华为服务器操作系统 EulerOS，开源后命名为 openEuler。

**4. CentOS：**是免费的、开源的、可以重新分发的开源操作系统，CentOS（Community Enterprise Operating System，中文意思是社区企业操作系统）是 Linux 发行版之一。

**5. 长周期（LTS, Long Term Support）：**是一种软件的产品生命周期政策，特别是开源软件，增加了软件开发过程及软件版本周期的可靠度，长期支持延长了软件维护的周期。



微信号: epto-ictt



平台·信息·咨询·培训