国网江苏省电力有限公司科技项目

**可行性研究报告**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术研究 |
| 申请单位： | 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司 |
| 起止时间： | 2021年1月 至2022年12月 |

|  |  |
| --- | --- |
| 项目负责人： | 张明 |
| 通信地址： | 南京市奥体大街1号 |
| 邮政编码： | 210019 |
| 联系电话： | 13851456677 |
| 传真： | 02584222906 |
| 申请日期： | 2020年 6 月 |

# 目的和意义

1.1项目背景

随着电力物联网建设的推进，配电网转型升级持续加速，新装配电自动化终端数量不断增加，对配电自动化的建设和运维带来巨大压力。目前配电自动化终端智能化运维程度较低，人工参与程度高，运维工作量大，不能很好的满足一线运维人员的要求。而物联网终端种类的不断增加，使得原有的设备管理方式难以满足多种类终端精益化管理要求，在线运行的大量终端管控的可扩展性和适应性均存在较大局限，因此如何实现大规模配电终端智能高效运维成为配电自动化发展面临的主要问题。

随着配电自动化的终端数量快速增长，传统的配电终端运维模式效率不高，主要存在以下问题迫切需要解决： 1）配电终端数量众多，安装分散，运行环境较恶劣，故障率较高，而配电自动化主站对终端本身运行状态的监测功能较弱，难以直接、全面且及时地反映配电终端运行情况，迫切需要提高对配电自动化终端设备运行状态监测分析与故障判别的能力；2）配电终端设备故障检修处于被动检修状态，缺乏事前对设备健康状态的评估与故障预警，只能在设备出现故障时到现场进行故障排查与检修，迫切需要客观准确评价自动化终端设备的健康状态，并对可能出现的故障进行预测、预警，同时据此提前采取防范措施，降低设备故障的发生率；3）配电终端能够完成配电设备遥测、遥信信息的采集，并通过光纤、无线专网等方式与主站通信，并接收主站下发遥控指令完成设备的状态控制操作，受现场施工工艺、通信环境质量制约较大，再加上终端数量巨大、信号多，使得配电自动化系统采集数据的正确性、控制可靠性难以提升；4）配电终端是配电自动化系统的末端环节，终端所采取的安全防护措施直接影响系统的安全性，现有方法主要是通过外部扫描来确认端口是否关闭等措施执行情况，检测周期长、效率低，需要通过主站和终端协同交互方式来实时保证其安全性。

大规模配电自动化终端投入运行后对配电二次班组人员的数量和质量也提出较高要求。截止2020年5月，江苏全省配电自动化终端建设规模高达20余万台，南京地区配电终端接入超过4万台。但目前各地区现有的配电二次运维人员数量有限，给运维工作带来较大的压力，结构性缺员矛盾日益凸显。同时由于运维人员技术水平参差不齐，对有效信息数据的挖掘能力有限，缺陷诊断能力差，导致终端消缺效率低，无法满足配电终端大规模应用的需求，亟需探索高效智能的运维方法来保证大规模终端终端的可靠运行，从而保证配电自动化系统的安全稳定运行。

1.2研究的目的和意义

配电网作为供电系统的末端，是连接发电侧和用电侧的桥梁。一旦配电网停电或供电受到扰动，不仅会危及社会的公共安全、人民的人身安全，而且会在政治或经济上造成重大的损失或影响，社会甚至可能会处于瘫痪状态。做好配电网安全运行工作，保证配电网安全可靠运行，是维护正常的社会、生活和工作秩序，是供电企业的社会责任、政治责任，也是企业的法律责任。

配电终端作为智能配电网的基础设备，完成配电设备信息采集并实现与配网自动化主站之间的信息交互，是实现配电自动化系统实用化应用的关键。目前缺乏高效的配电终端运维方法，导致大量配电终端投运后配网自动化运行维护的工作量巨大，制约了配电自动化数据质量和实用化程度的提升。

通过本课题的研究，构建配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理体系，研究基于机器学习的配电终端运行状态智能分析技术，实现基于运行大数据的配电终端缺陷分析排查，研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维管理软件，实现配电自动化终端设备的运行监测、状态评价、缺陷故障识别与预警。

1.3成果应用及推广途径

本项目研究成果适用于各种建设模式及建设规模的配电自动化项目，为终端设备安装调试、二次设备状态检修、系统自诊断、配电终端失效分析、计划性功能检测、在线运维等方面提供技术手段支撑，实现科学、合理、完善、有效的配电自动化运维检修模式，以改变目前建设过程中面临的运维技术支撑手段薄弱的现状。有助于解决配电自动化设备安装调试及运行维护过程中工作量大、难度高、效率低等问题。

1.4成果应用后的直接或间接效益

在配电自动化和配电物联网不断建设发展的背景下，通过对基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术研究应用，并依托相关产业单位对配电自动化运维的相关研究技术进行产业转化，实现研究成果的利益最大化，将极大减少运维工作人员的工作量，降低工作难度、提高运维效率、提升管理水平。随着能源互联网建设的不断推进，该课题的成果将随着配电自动化建设的新建和改造获得广泛应用，解决配电终端运维工作量大的突出问题，减少配电自动化建设过程中的调试和后期人员维护工作量，提高配电物联网建设效率。

# 国内外研究水平综述

2.1 电力设备全生命周期管理技术

电网企业生产是围绕设备的运行、维护、检修、试验等工作展开，电网企业管理信息系统中的设备管理就是实时监控设备状态，在确保安全的前提下，合理减少停电以及检修的次数和时间，延长设备使用寿命。现阶段的电力企业管理信息系统，在工程规划和生产计划系统中，有设备的采购计划和申购信息，通过办公自动化系统处理设备采购的审批流程。采购回来的设备信息通过物资管理系统进行检验后纳人库存管理；按照调度运行的安全要求，由基建安装调试成功后，移交生产运行部门进行设备运行、检修、试验、消缺等管理，并流转到财务系统进行资产处理；生产的有形损耗导致设备的停运、变更、转移，然后回到调度系统、物资系统、财务系统进行资产处理。

电网设备的管理流程涉及规划计划、物资供应、调度运行、安全监督、生产管理、财务审计、人力资源等多个部门，设备管理按照信息流进行分段处理，其信息分散在多个独立的系统中，有可能产生一些问题。由于各个部门的独立性。特别是物资系统和安全生产、调度运行系统，对设备的编码体系可能不同，容易造成系统间的辨识障碍。应用系统的分散性，存在同一数据，多处录入基础信息现象，人为增加工作量，使整个企业数据平台产生大量冗余，还易导致信息不一致。信息流被分段处理，难以反映设备的全面信息，导致信息不对称。现有电力企业管理信息系统的建设，通常只是关注设备购置的静态信息和生产运行的动态信息，而没有从设备的整个生命周期过程去关注设备信息流转。由于生产所依赖的大量信息来自于工程规划设计和施工建设阶段，项目伊始就应该围绕设备生命周期进行信息管理，注重信息积累，否则，随着某一阶段的生产任务的完成，有关设备的信息管理会中断或脱节。

设备生命周期管理就是从设备的产生、使用和消亡的生命全过程进行信息管理。在信息内容上从设备的设计、采购、安装、调试、运行、维护、报废、拆除的整个过程中，对设备信息的跟踪和记录，建立统一数据字典，采用工作流的技术，将设备生命周期内各环节产生的数据流串起来，形成设备从申请采购到报废整个过程的闭环管理，动态调整和维护整个企业中的每个设备的当前状况和历史变更信息，实时的反映企业资产的运行状态，为决策层判断企业的运行情况，资产的保值增值提供依据，最终达到辅助决策的目的。

技术原则作为电网企业管理的核心部分，设备生命周期管理必将利用现代信息技术形成信息管理系统，此系统的设计和实施应该遵循下面提到的应用原则。

1）数据一致性原则

每个处理的结果是下个处理节点的输人数据。采用设备主题数据库的设计方法，确保整个流程中各环节的数据唯一性，避免系统的数据冗余和数据二义性。在设备投运、设备检修、设备试验、设备更换等环节，采用闭环循环的方式，将设备周期中每次发生的变化全部记录在数据库中，为后台的设备状态分析，设备资产评估建立数据仓库。系统必须建立设备统一编码体系。编码体系应该覆盖电力企业中的全部设备及其配件，编码体系应该与物资系统的设备编码体系兼容，或者能比较好的映射。在电厂MIS系统中可采用电厂规划设计中采用的KKS编码系统。用户能在系统现有的功能下，增加新采购的设备，新的设备能够在编码体系的管理下，融入现有的系统中，对于新增设备的相关数据项和相应表格的样式，也能由用户来自定义。

2）应用系统集成原则

从管理应用层来看，通常电力企业都已建立财务系统、物资系统、生产管理系统、地理信息管理系统、人力资源管理系统等企业应用，而且大多的电力企业这些应用都相对独立，而设备生命周期管理系统的流程将贯穿这些应用系统。这就需要企业应用集成技术来解决这些问题。可采用具有开放性、跨平台性、跨语言性、跨协议性较好的ZJEE和XML技术作为系统平台底层技术，以系统总线的结构形成系统应用整合的框架，使得设备生命周期管理系统能方便灵活的和其他应用系统有机的结合。

3）工作流规划原则

在设备生命周期管理的每个处理环节中，必须采用工作流的闭环处理模型。因为在每个处理环节中，需要企业不同角色人员按照不同的权限分别进行处理。这里面工作流的定义模型是关键。系统有2类流程，一类是从整个系统来看，生命周期中个节点间的流程，这类流程相对稳定，但应该能让用户进行大的节点调整.另一类是每个节点中的工作流，这类工作流应该为用户设定更灵活的定义方式，使用户能根据企业的业务设置，进行业务环节的定义、业务处理角色的定义、业务数据判断、分支、循环、退件等。对各业务处理环节的催办、监督、回溯等也应该有良好和方便的设定。2种类型的工作流实际上是小的工作流嵌套在大的工作流中，因此，需要系统的工作流能支持工作流嵌套技术。

4）决策支持系统

通过设备生命周期闭环管理，管理信息系统能够掌握设备整个生命周期的全部数据，这个数据是具有唯一性的，这些数据形成了一个完整的设备数据平台，一个完整的设备管理系统，不应该只是对设备的各阶段和动态和静态数据进行全面的管理，更重要的是如何利用这个设备数据平台，建立为生产和决策服务应用功能。这里提出如下的思路：**从设备资产管理的角度，**系统应该能够模仿电力企业对设备资产的管理方式，建立各类设备的各种状态下的资产管理和计算方式模型。该模型应该是通用的，能由用户根据本企业的管理模式，进行一定程度上的定义、设置、修改，从而形成适合本企业的资产计算和折算模型。**建立电力系统主要设备缺陷故障分析模型，**通过对设备运行状态、缺陷情况、检修情况、试验数据等，分析设备潜在的故障，提出设备预期的故障和缺陷预报，使用户对设备将来的运行有比较清楚的认识。**采用知识管理的技术手段**，建立设备检修方案库。设备方案库的作用有2个，一是为发现的消缺和设备检修提供初步的检修计划，系统根据以往检修的经验，结合企业的年度、季度、月度生产计划，制定检修建议计划，给出系统推荐的检修方案，方案包括检修时间、检修周期，需要的停运的设备、影响的设备和系统，需要的材料设备、工具器械、专业人员和技术车辆、其它的配合单位等，甚至可以是供电企业的少供电量，发电企业的少发电量，影响的经济效益等.二是人员的经验积累和学习。通过对各种典型的设备缺陷所采用的检修处理方式进行登记，并采用向前学习法。记录每次认为有参考的故障检修方案。便于用户学习提高，能在系统中了解每次故障的现象、设备运行参数、处理方式、检修批准的检修计划，实际的检修情况等。使用户能通过系统，学习设备检修和故障分析的方法，缩短检修时间，提高设备检修的技术水平。建立用户能自定义的各工种的工时、费用基本情况表，主要设备启停的费用，便于计算和统计检修的成本。

2.2 设备故障预测及健康管理技术

**（1）故障预测与健康管理技术概念**

故障预测与健康管理( Prognostics and HealthManagement，PHM) 是一种起源于军用电子领域的故障诊断与管理技术，最早应用于美国军用战机的健康状态监测。该技术的应用有效降低了飞机服役期内进行预防性维修工作的人力和资金投入，成为国外军用装备领域重点研究和应用的关键性技术。

PHM 是一种结合传感网络、信息技术和人工智能的综合性系统状态管理技术。其功能包含状态检测与诊断和设备健康管理两方面。其中状态检测与诊断是系统通过传感网络的数据集成和算法推演对设备的运行状态进行诊断，从而确定关键系统环节的剩余寿命和健康状态，从时间尺度上对设备状态进行判定;设备健康管理是系统自主根据诊断结果和维修方案数据库对系统维修给出决策性判定，完成从以往的定期维修和事后更换向基于状态的视情维修( Condition BasedMaintenance， CBM) 全面过渡，最终实现设备的智能化自主运维保障。该项技术的应用可以有效提高设备自主检修能力，减少维修和后期保障的时间，降低维修成本，视情规划维修时间间隔，以缩短维修时间。在提高系统安全性能的基础上，为系统运行提供更好的运行寿命保障。

**（2）融合 PHM 技术的用电信息采集系统设备架构**

广义的用电信息采集系统是涵盖智能电能表、采集终端等现场计量和采集设备以及采集系统主站的综合性管理系统，用以完成对电力用户用电信息的自主采集、处理和实时监控，具备用电信息数据汇总、计量计费异常监测、电能质量监测和用户用电分析与管理等功能。其系统架构如图2-1所示。目前，用电信息采集系统的设备监测及维护只是静态地分析设备可能或已经出现的故障，更换并拆回故障设备进行原因分析，再研究故障检测手段和预防方法，用于指导设备的设计、制造和使用，属于定期维修和事后更换的维修保障形式。为了实现用电信息采集系统的智能化保障水平需在现有系统内增加融合 PHM 技术的故障前兆分析、故障预测方法、故障预警策略和预防维修决策等自主保障功能，形成一套融合PHM 技术的用电信息采集运维管理系统，有效保证用电信息采集系统的在线运行安全性和可靠性。

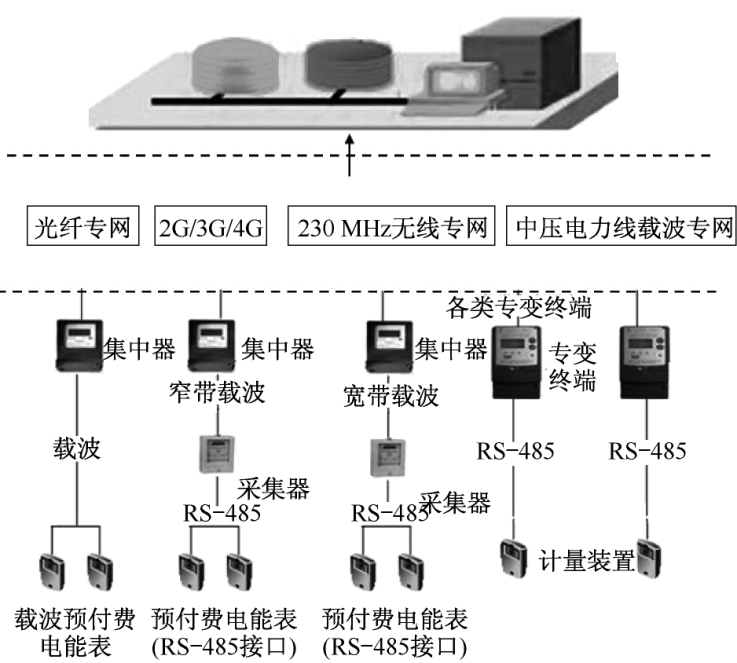


图 2-1广义用电信息采集系统结构

融合 PHM 技术的用电信息采集系统结构上兼容现行用电信息采集系统，并有效利用系统资源和通信通道。其整体结构分为状态监测层、预测与诊断层以及策略分析层三部分，如图2-2所示。

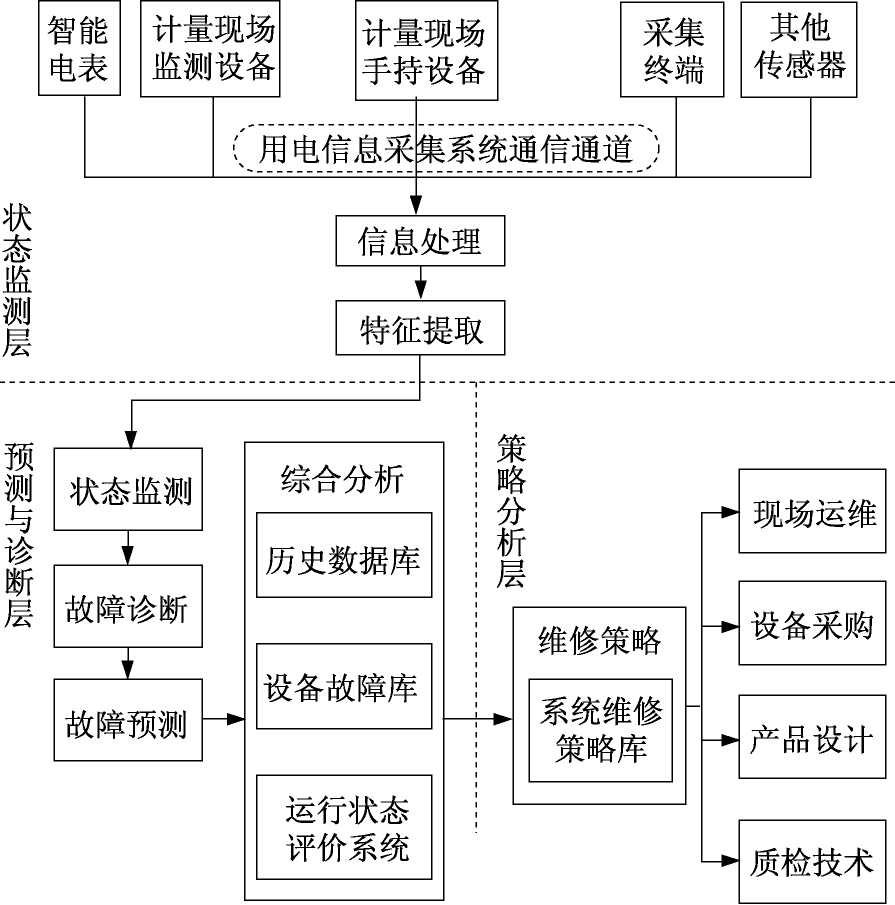


图2-2融合 PHM 技术的用电信息采集系统框架

在状态监测层，系统以智能电表、计量现场监测设备、计量现场手持设备、采集终端和其他传感器为主要监测数据来源，利用用电信息采集系统的通信通道传送监测数据，再经过信息处理和特征提取，得到关键环节的有效状态监测数据。在预测与诊断层，系统实时监测上传监测数据，进行故障诊断和预测，并与历史数据库、设备故障库和运行状态评价系统内的数据进行综合预测分析，得到准确的状态判定和故障诊断结果。该结果进一步被送入策略分析层进行维修策略分析，并最终从系统维修策略库中得到最优维修方案，实时反馈给现场运维人员进行维修作业，同时指导计量生产调度平台( Measure and Dispatch System，MDS) 进行设备采购计划制定，并可以将典型故障的数据用于产品设计和质量检定技术升级，真正形成广义用电信息采集系统的闭环运维保障，实现各环节产品质量可自主升级的全面自主保障系统。

**（3）面向用电信息采集系统的 PHM技术分析**

目前，用电信息采集系统在故障诊断方法和系统评价方面依据与各环节关键设备功能设计相对独立的故障监测和诊断系统。智能电表、采集终端和系统主站分别采用各自相应的故障库和诊断技术，已经初见端倪的有智能电能表运行故障数据库和采集终端的设备性能诊断评估系统。根据航天领域的故障诊断应用经验，对于复杂系统的分布式诊断并不能从根本上起到降低故障率的预期，由于缺少综合性分析，各部件诊断要素可能存在不兼容问题，在系统间协同作业过程中，故障的出现往往是综合性因素，因此需要确立综合保障的设计目标，在用电信息采集系统的运行保障系统设计中，要从系统设计和设备研发方面对设备的诊断各要素进行综合分析，厘清各故障要素的内在诱发因素，并通过有效的组织配置，使各部件诊断环节也能协同成为一个整体，同系统运行同步进行、实时在线监控。

1）分布式传感器采集技术

传感器配置是 PHM 技术在数据采集阶段的基础性关键技术。其分布形式和数据类型将直接影响 PHM 系统运行的有效性和可靠性，因此如何对分布式传感器系统进行优化配置，保障系统功能和工作性能，同时合理布局传感网络资源是十分重要的研究内容。国内外很多专家学者都对该问题展开了较为深入的研究。用电信息采集系统在采集层整合了多种数据采集任务，并对计量设备的运行现场数据进行了较为全面的监测。如智能电能表采集基础计量计费数据，同时对电能质量参数、失压、掉电、潮流变化事件以及各类人为操作过程等动态运行状况都进行了记录;采集终端也传输智能电能表上传数据，同时将网络在线设备和信道运行性能状态数据同步上传；计量现场手持设备用于现场作业人员在设备巡检和故障排查过程中，对现场业务数据的全面采集，由此计量设备运行数据得到了全面的采集和管控。基于目前故障设备的诊断处理机制，许多设备在出现故障后采取拆回处理，故障分析过程中，很难模拟和复现历史现场环境，特别是一些环境信息，因此为了进一步提高计量设备运行现场环境的监控能力，可在计量箱内安装计量现场监测设备，利用多种传感器监测计量设备运行现场的温度、湿度、光照度和磁场变化等环境因素，更好地了解计量现场运行环境，为故障分析和预警提供更多关联数据。

2）故障分析与预测技术

基于 PHM 技术的故障分析与预测主要分为基于模型、专家库和数据的 3 类分析技术，需要在实际使用中结合系统复杂度和功能特点进行筛选和综合利用。

**基于模型的分析技术**。主要是优先建立被测系统的数学模型，并根据数据输入、输出反复验证和修正模型参数，在不断提高对设备故障衍生机理理解的基础上，形成更为精确的故障预测模型，以获取较为贴近实际情况的故障诊断结果。该技术预测精度较高，且研发成本较低，但大型复杂系统往往很难建立精确的数学模型，因此该项技术容易受到系统复杂程度的影响而降低预测效果。

**基于专家库的分析技术**。其针对实际系统无法建立准确数学模型而设计的，主要利用系统设计和运用时有经验专家的经验知识，给出定性分析结论。该技术往往主要依靠经验和现象分析，由于不能进行定量计算，一般不单独作为故障判定标准，常常与其他技术相结合，降低初始判定的复杂性，同时提高故障诊断效率。

**基于数据的分析技术。**通过对监测对象历史数据与同类产品运行状态数据的比对和挖掘，分析故障成因和运行状态的内在关联，对隐含在运行数据中的状态信息进行深度挖掘，形成一套独立依靠运行数据的分析方法。该方法建立于数据基础上，因此要求基础可检索数据量一定要足够庞大，以满足分析与比对要求，适合大型复杂且不具有准确数学模型的系统状态分析。

用电信息采集系统作为大型分布式信息采集和监测系统，具有设备种类和数量繁多、结构复杂性和故障复杂性大等特点。因此，以上 3 种方案独立使用不能满足系统故障诊断和状态监测的测试需求，需要整合各类方法优势，形成一套适合用电信息采集系统的高效故障诊断分析方案。目前，用电信息采集系统内部储存了大量数据信息可用于运行状态分析与诊断。同时，故障设备的历史运行数据可单独提取，形成独立的设备故障库。该数据库整合各种故障类型发生前历史数据供分析发掘，结合设备在系统中的功能职责，建立小型专家库和数据挖掘算法模型，综合分析被监测设备与其功能上下游关联设备的运行数据，利用基于神经网络的异常检测方法判定设备运行状态，使传统设备的独立故障分析灵活化、宏观化和综合化，最终形成一套综合性运行状态评价系统。

3）维修决策管理技术

智能化维修决策是PHM技术相较传统故障诊断分析系统更为先进的运维保障技术，在获得运行状态评价结果的基础上，需要建立智能化的维修决策分析与处理系统。该系统的建立以基于专家库的判定技术为主，同时参考各类运维检修策略历史数据，综合现场作业人员和设备研发专家的经验意见，实时进行基于特征故障参数的神经网络训练，形成一套动态的系统维修策略库。既可以提高故障诊断和状态判定的时效性和准确性。又可直接作用于设备研发方向的更新升级。系统维修策略库采用智能化决策技术，可有效弥补不同决策人员在知识水平上的差异；同时对故障数据有更为深刻的了解，可实现提前预警，有效保障决策时效性，真正形成具有故障诊断与健康管理等自主保障和升级功能的用电信息采集系统。

**（4）融合 PHM 技术的用电信息采集**

系统应用依托 PHM 技术和计量设备运行状态的数据支撑，将状态监测层设备的生产关键信息(如生产批次、生产日期等、元器件批次情况、检测情况、结构件批次情况、检测情况等)，电能表和采集终端的运行工况信息(电压、电流、功率、频率、谐波和温度等)以及设备管理方法化作特征量引入计量设备运行状态评估的影响因素集，使影响因素集涵盖融合 PHM 技术用电信息采集系统的各个层级。

数据的贯通和融合可以为各特征量建立影响因素的权重集、评价集和隶属度矩阵，并利用基于机器学习的智能回归分析来诊断和评估计量设备的实际运行状态，预测其非健康度的变化趋势，将基于传统人工经验的诊断转变为基于机器学习的智能分析，同时PHM 技术在数据宽度、广度和实时性上的优势可实时优化计量设备状态评价模型，实现参数自修正，为计量状态检修、备品备件管理、设备寿命分析和供应商评估等工作提供辅助决策依据，提高设备稳定性和计量工作准确性。

2.3 配电设备状态监测技术

配电网设备状态监测近年来逐渐成为设备检修模式的研究热点，它是以设备当前的实际运行状况为依据，通过状态监测手段并利用计算机网络及通信技术，对设备的历史状况、当前状况以及同类设备的运行状况进行比较分析，判断设备的异常，识别设备故障的早期征兆，对故障部位严重程度及发展趋势做出判断，从而确定其在故障发生前最佳检修时机的一种检修模式。

从种类繁多的配电设备中，选取对于配电网安全可靠运行有重要影响作用的设备，分析其所涉及的状态量，探寻可反映设备健康水平的关键状态量以及相应的智能监测方法手段，分析状态量对于设备健康水平的影响关系与影响程度，研究配电设备电气运行信息、检修记录信息、以及运行环境信息等相关因素与设备健康状态之间的耦合关系，研究设备状态评价的标准指标体系，建立配电设备关键状态信息数据库以及关键状态量影响权重专家数据库，基于多源信息融合技术提出对配电设备可靠性的评价模型与评估方法，促进配电设备的状态监测、评价与检修工作，对提高设备健康水平、保证电网安全、可靠运行具有重要意义。

目前国内电网设备状态监测与检修工作主要集中于输变电设备，对于配电设备的状态监测工作还处于起步阶段，缺乏卓有成效的研究成果，且目前公司系统内开展的配电设备状态检修工作一方面只采用了带电检测的技术手段，缺乏在线监测方面的研究与实践，另一方面未能对配电设备的状态量进行分析，缺乏基于多种状态量的配电设备状态评价模型与方法。

美国电力研究院（EPRI）下属检测诊断中心利用40多项先进的测量技术和分析软件，对美国50家最大的电力公司的电网中80%的设备进行了在线监测和故障分析，了解设备的运行状况和健康水平，并据此制定设备维护和检修计划。加拿大魁北克水电公司也开发了一种在线状态检测系统，使机组维修和专业技术人员不停机就能了解水电机组状态。而欧洲大多数国家也正在进行检修体制的改革，方向也是状态检修。

到目前为止，基于计算机网络技术的设备管理、事故分析和预警系统在美、加等多个国家已普遍应用，且已发展了几个版本，如Integrated Maintenance System等。这些软件系统应用Intranet、Internet及GIS(地理信息系统)等最新的计算机技术，将状态管理、事故预警和事故处理进行有机的集成，大大改善了其设备监督管理环境，提高了监督管理水平。以美国电力研究院(EPRI)设计的变电站的一体化系统为例，它采用低成本传感器和先进的诊断方法来监测变电站设备的健康状况和性能。这些工具设计为独立发挥作用，但若集成化，它们可在改善系统可靠性的同时明降低变电站监测的成本。

日本是从八十年代开始对电力设备实施以状态分析和在线监测为基础的状态检修。例如Integrated Maintenance System软件系统，就应用了Intranet、Internet和GIS(地理信息系统）等新型计算机技术，较为明显地改变和提高了设备的稳定性和可靠性。

综上所述，国内外的电力公司注重配电自动化使用培训和设备维护管理，备有相当严格的制度，明确规定了对配电自动化系统进行日常检修、定期检修、临时检修、巡视和数据检查的工作内容、实施人员和实施频率，但是对于对配电网中设备及运行状态的监测还是较为单一。对配电网的设备及运行状态监测的发展趋势是实现多维监测。

2.4 配电设备运维技术

国外配电检修模式经历了较长时间的发展，第一次工业革命时，配电检修策略是故障检测（BM），到 19世纪第二次工业革命时，已经演变为预防性检测(PM）。此后，经过多年发展，电力设备状态检修也已经得到广泛的研究和应用。

国外对配电运维检修关键技术的研究开始的较早。美国的杜邦公司早在1970年就率先提出了配电状态检修的概念。从70年代末开始，北美的发达国家就致力于配电状态检修方面的研究。美国电力研究院（EPRI）利用先进的技术对电网中80%的设备进行运行状态监测和故障数据分析，根据分析结果制定检修计划，明显节约了人力物力；加拿大魁北克水电公司也开发了一种在线状态监测系统，通过对监测对象进行监视与分析，能够实时获取设备与线路的健康或故障状态，工作人员能够在停电损失最小的情况下实现设备的运维检修。此外，欧洲大多数国家的检修体制也在朝着计划检修的方向改革。亚洲国家中，日本东京电力公司的配电可靠性指标很高，处于国际先进水平。且配电网的结构、配电自动化及资产管理的水平也非常高，很好的支撑了高供电可靠性的实现。日本是从八十年代开始对电力设备实施以状态分析和在线监测为基础的状态检修。例如Integrated Maintenance System 软件系统，就应用了 Intranet、Internet 和 GIS(地理信息系统）等新型计算机技术，较为明显地改变和提高了设备的稳定性和可靠性。

目前，国内多数供电公司对于配电设备的运维仍处于电话调度、现场操作、人工巡视的初级阶段。运维管理技术手段匮乏，运维管理人员整体素质不高，运维管理体系不完善，运维管理奖惩制度不合理等各种问题，使得运维工作难度大，工作量繁重，停电时间过长，造成极大地人力物力的浪费。长久以来，我国在配电系统一、二次设备检修方面一直实施电力系统长期实行以预防性计划检修为主的检修体制，即不考虑设备的运行及健康状态，定期指派工作人员对设备进行检查维护修理。这样的模式虽有一定的科学依据，但比较保守，不仅耗费了大量的人力物力，而且不能够及时发现亚健康设备，极大地增加了设备损坏率，势必造成良好设备的过度维修而引发设备故障率增加，并导致维修成本的增加；且对于运行状况不佳的设备统一进行检修，导致了一些故障不能够及时发现、消缺。针对计划检修体制的不足，国内检修体制正逐步由计划检修体制向预知性的状态检修体制过渡。状态检修工作从九十年代初在电力系统进行试点，经过十几年的试行，各供电部门结合自己的特点进行了各具特色的探索。

主网设备状态检修工作开展较早，目前已形成了完备的技术标准和试验检测体系，一次设备状态检修的大力推广也推动了主网二次设备状态检修的发展。目前已有多家电力科研机构以及电力企业在开展相关的理论研究与试点应用工作。在试点应用方面，天津市电力公司根据多年设备检修的经验，先后制定了《继电保护设备状态检修导则》、《继电保护设备状态评价标准》、《继电保护设备状态检修检验规程》等标准。2011 年在天津和畅路变电站建设了二次设备状态检修系统，并制定了《二次设备状态检修系统使用说明》、《二次设备状态检修实施方案》等规定，规范了二次检修的工作；浙江也在近年开展了智能变电站继电保护设备状态检修技术研究，1995年开始以绍兴、金华等地市局为试点开展状态检修工作的探索。现有的配电状态检修和在线运维试点中，江苏无锡、山东青岛、浙江金华、河北邢台和湖北荆州已经通过了验收，成为试点成功案例，相关经验可加以借鉴和推广。此外，天津地区在配电自动化状态检测技术方面也得到了快速发展。

在理论研究方面，基于状态检修体制的演变方法，提出了对二次设备实施状态检修的观点，探求二次设备实施状态检修的内容、二次设备状态监测方法。文中指出，二次设备状态检修的基础是设备状态监测，结合设备自诊断技术以及设备运行资料和历史检修状况，可以对二次设备的状态进行合理的评价。继电保护设备状态检修的核心是评估设备健康状态、诊断设备故障情况和故障后维修方法。二次设备实施状态检修的基本要求，讨论微机继电保护的状态检修内容以及存在的问题，提出了利用SEL保护的可编程逻辑PLC 功能实现回路监视以及保护状态的方式，探讨了继电保护实现状态检修的基本方案。

**综上所述，国内外虽然在配电网运维体系和检修模式等领域的研究已经取得了一些进展，但是还存在运维技术支撑手段薄弱、运维体系标准化程度低等困难。随着配电终端智能化程度的不断提高，传统配电运维技术已不能满足配电自动化发展需求，尤其在能源互联网建设背景下，配电智能终端间业务量增多、业务交互更加频繁、终端间共享性增强，配电终端运维更加复杂。基于智能配电终端产生的海量信息，迫切需要研究大数据技术、人工智能等技术对配电智能终端展开智能运维，提高运维质量和运维效率，保障配网安全稳定运行。**

2.5 配电设备管控技术

**（1）云计算与大数据**

随着数据量的不断增大，传统的技术架构已经不能胜任大数据的处理和计算，在这种情况下，云计算脱颖而出。云计算依靠分布式存储和分布式计算，为海量数据的存储和处理提供了新的解决思路。云计算思想最早由Google公司提出，一经提出就得到了广泛的关注。云计算是一种动态易扩展且虚拟化的资源，以Internet为基础，通过整合相关服务、使用和交付模式实现。融合了虚拟化技术、集群应用、网格计算（通信）、分布式计算（存储）和并行计算（计算）等各项技术。为用户提供可靠安全的数据存储和处理海量数据的计算模型。具备高可靠性及其扩展性强等优势，是各大数据储存与分析领域研究的热点，成为解决上述问题的重要突破口。

目前，云技术在电力系统中的应用研究还处于探索和尝试阶段，随着智能电网的建设，越来越多的智能终端设备出现，物联网的发展与建设，初步完成了部分业务系统的设计和部分业务系统的商业试运行，例如用电信息采集系统、电动汽车管理系统、智能小区管理系统、智能家具管理系统，各种分布式能源的并网，例如家用光伏发电系统、风光互补发电系统、风力发电系统等等，同时各种智能设备例如智能插座、智能电表、智能家居等等。通过各种终端采集，将数据传至云端处理。

**（2）电力大数据应用**

2013年3月中国电机工程学会信息化专委会发布《中国电力大数据发展白皮书》，将2013年定为“中国大数据元年”，掀起了电力大数据的研究热潮，作为正向能源互联网转型的传统电力行业，大数据及云计算时代的到来将为传统电力行业的发展注入新的活力，传统电力行业即将发生革命性的变化。

电力大数据主要来源于电力生产和电能使用的发电、变电、输电、配电、用电以及调度各个环节，大致可以分为三类：一是电网运行和设备检测或监测数据；二是电力企业营销数据，如交易电价、售电量、用电客户等方面的数据；三是电力企业管理数据。

电力大数据具有以下四个特点：**数据体量大：**常规的调度自动化系统包含数十万个采集点，配用电以及数据中心等将达到千万级别；**数据类型繁多：**时间序列数据、实时数据、历史数据、文本数据、多媒体数据等各类结构化、半结构化数据以及非结构化数据；**价值密度低：**所采集的绝大部分数据都是设备运行的正常数据，只有极少量的异常数据，而这些异常数据才是检修以及故障处理的重要依据；**处理速度快：**需要在微秒内对大量数据进行分析，以作出决策和动作。

目前，电力大数据应用场景主要在以下方面：

**规划：**提升负荷预测能力。通过对用电环节大数据的分析，利用数据挖掘技术，更准确地掌握用电负荷的分布和变化规律，提高中长期负荷的预测准确度。

**建设：**提升现场安全管理能力。对现场照片进行批量比对分析，利用分布式存储、并行计算、模式识别等技术，掌握施工现场的安全隐患，或者核查安全整改措施的落实情况。

**运行：**提升新能源调度管理能力。利用机器学习、模式识别等多维分析预测技术，分析新能源的出力与风速、光照、温度等气象因素的关联关系，更准确地对新能源的发电能力进行预测和管理。

**检修：**提升状态检修管理能力。研究消缺、检修、运行工况、气象条件等因素对设备状态的影响，以及设备运行的风险水平，利用并行计算等技术实现检修策略优化，指导状态检修的深入开展。

**营销：**提升对用电行为的分析能力。扩展用电采集的范围和频次，利用聚类模型等挖掘手段，开展对用电行为特征的深入分析，并实施区别化的用户管理策略。

**运监：**提升业务关联分析能力。利用流式计算、可视化和并行处理等技术，实现全方位在线监测、分析、计算，通过聚类和模式识别技术，解决对跨业务的关联分析、数据因子分析、数据诊断规则和算法，提高数据质量监控和治理。

**（3）大数据在电力设备中的应用**

目前用于设备故障诊断的传统机器学习方法通常基于有限的样本训练，构建输入量对输出量的可预测关系。其中输入量、输出量在构建的算法模型中都是事前确定无法变动的。然后基于远程专家介入的诊断系统将专家意见作为新样本训练系统，提高后续诊断结果的准确可靠性。

大数据挖掘技术为电力设备状态评价开辟了一条全新的路线，并对现有设备状态监测参数提出了更高的要求。随着各类状态监测设备和传感器的广泛应用，国内有关基于大数据技术的电力设备研究也越来越多。但是之前国内电网建设的重点集中在生产环节，配用电环节较少，而生产环节的数据记录较少，远远无法算作大数据。电力大数据仍处于刚起步阶段，随着智能电表等设备的推广，意味着配用电环节的数据开始得到了重视，但以整个电力的后台系统来说，涉及到大量的业务系统，每个环节都有其独有的数据体系，而且源头无法追溯，数据很难互通共享并为上层提供应用服务。所以要实现整体的分析挖掘，难度依然十分巨大。

目前国外在电力系统领域的数据挖掘方法中，决策树是主流的方法，占88.6%；使用数据挖掘解决的具体问题主要有安全评估（48.8%）、故障诊断（11.6%）、电力系统控制（9.3%）、负荷预测（6.9%）、负荷拟合（6.9%）等。由于电力设备的状态检修就是以状态在线监测和故障诊断（11.6%）为基础的，因此数据挖掘技术在电力设备状态检修领域的应用也占据不小的比重，发展空间广阔。此外，应用于故障诊断的主要方法有决策树、人工神经网络、统计分析和粗糙集等。

2.6 微服务与微应用

随着互联网时代的来临，客户的需求变化越来越快。受制于传统 IT 技术的制约和思想观念的束缚，企业沿用传统单体式架构构建应用系统，在系统升级和功能扩展时变得越来越困难，无法应对爆炸式的业务增长。如何从系统架构的角度出发，构建灵活、易扩展的信息系统，快速应对需求的变化，成为广大信息化工作者面临的挑战。

微应用离不开微服务，微应用中包含大量的微服务。微服务，是一些协同工作的小而独立的服务，关于微服务的起源最著名的微服务架构原理就是康威定律（Conway’s Law)，Melvin Conway在1968年指出：设计系统的组织，其产生的设计和架构等价于组织间的沟通结构。Dan North对此还补充说这些系统在建成之后反过来还会约束和限制组织的改变。

目前，国内电力物联网领域将微服务应用于云化主站，微应用将终端设备以APP的形式与云化主站一个或多个微服务进行数据交互，实现界面的操作。使用微服务架构进行设计，将容器分为基础服务容器和高级业务容器。基础服务容器提供终端基础业务功能的抽象，如电表、电力物联网传感器、脉冲量和交采模拟量等数据的高频采集和存储，高级业务容器通过调用基础服务容器提供的服务接口，获取所需数据，从而实现高级业务功能如电能质量监测、即插即用和故障分析等，实现了配电终端智能运维和自动配置的效果。

**参考文献**

1. 李振, 盛万兴, 杜松怀, 等. 采用VSG的柔性配电装备交流端口电压控制及稳定性分析[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(08): 141-153.
2. 王世林, 刘柱, 张喆, 等. 基于智能配变终端的配电网单相接地故障检测技术研究[J]. 电网技术, 2019, 43(12): 4291-4298.
3. 陈强, 王建, 熊小伏, 等. 考虑设备动态过载能力的风电送出通道紧急过载策略[J/OL]. 电力系统自动化: 1-14[2020-06-14].http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20200513.1042.006.html.
4. 张释中, 裴玮, 杨艳红, 等. 交直流混合配电网结构优选和设备容量优化[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(09): 2766-2777.
5. 马宁宁, 谢小荣, 贺静波, 等. 高比例新能源和电力电子设备电力系统的宽频振荡研究综述[J/OL]. 中国电机工程学报: 1-13[2020-06-14].https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.191968.
6. 郑焕坤, 石甜静. 基于智能软开关和无功补偿装置的配电网双层优化[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(19): 117-126.
7. 姜斌, 郝群岩, 谢强, 等. 变电站设备–支架耦合体系的地震响应建模与参数分析[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(08): 2506-2514+33.
8. 刘云鹏, 裴少通, 武建华, 等. 基于深度学习的输变电设备异常发热点红外图片目标检测方法[J]. 南方电网技术, 2019, 13(02): 27-33.
9. 陈冉, 陆健, 刘明祥, 等. 适应分布式馈线自动化的配电网拓扑模型生成方法[J]. 南方电网技术, 2019, 13(01): 60-65.
10. 丛伟, 盛亚如, 咸国富, 等. 基于智能配电终端的分布式供电恢复方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(15): 77-85+215-218.
11. 邵冠宇, 王慧芳, 何奔腾. 电网设备缺陷文本的质量评价与提升方法[J].电网技术, 2019, 43(04): 1472-1479.
12. Wan D, Zhang L, Zhao M, et al. Calculation Method of Hot Spot Temperature of Distribution Power Transmission Equipment Insulation Winding Based on Eddy Current Loss Density Distribution[C]// 2019 IEEE 3rd Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). IEEE, 2020.
13. Martinez D A, Jiarui C, Oke J B, et al. Where is my infusion pump Harnessing network dynamics for improved hospital equipment fleet management[J]. Journal of the American Medical Informatics Association(6):6.
14. Wang Y J, Liu Z, Jia W X, et al. The Design and Implementation of Intelligent Power Distribution Park Distribution Equipment[J]. Advanced Materials Research, 2013, 631-632(1):1215-1219.
15. 孙磊, 杨贺钧, 丁明. 配电系统开关优化配置的混合整数线性规划模型[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(16): 87-95.
16. 李振坤, 李一骄, 张代红, 等. 储能设备对有源配电网供电可靠性的影响分析及优化配置[J]. 电网技术, 2018, 42(11): 3676-3683.
17. 曲禾笛, 李坚, 张志豪, 等. 服务于用电设备的快速辨识边沿检测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(15): 4566-4575+4657.
18. Erbao X, Yan L I, Mingshun Y, et al. Design of Intelligent Monitoring System for Power Distribution Equipment Based on Cloud Edge Collaborative Computing[C]// Proceedings of the 2019 International Conference on Precision Machining, Non-Traditional Machining and Intelligent Manufacturing (PNTIM 2019). 2019.
19. Jinlong C, Junquan C, Xu Z, et al. An image registration method for power equipment discharge detection using ultraviolet and visible light image[J]. science of surveying and mapping, 2019.
20. 马钊, 周莉梅, 袁海文, 等. 现代配电网健康指数理论及其应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(01): 130-140+328.
21. 李振, 盛万兴, 段青, 等. 背靠背低压直流配电装备及其直流电压控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(23): 6873-6881+7121.
22. 李刚, 张博, 赵文清, 等. 电力设备状态评估中的数据科学问题:挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(21): 10-20+177.
23. Ze, Guo, Xingwen. Dielectric properties of C5-PFK mixtures as a possible SF6 substitute for MV power equipment[J]. IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation, 2019.
24. 邵冠宇, 王慧芳, 吴向宏, 等. 基于依存句法分析的电力设备缺陷文本信息精确辨识方法[J/OL]. 电力系统自动化: 1-13[2020-06-14].http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20200421.0929.004.html.
25. 崔昊杨, 周坤, 张宇, 等. 电力设备多光谱图像融合及多参量影响的故障渐变规律演化预测研究[J/OL]. 电网技术: 1-10[2020-06-14].https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1840.
26. 刘东奇, 曾祥君, 王耀南. 基于信息熵的智能配电变压器终端安全态势评估[J]. 南方电网技术, 2020, 14(01): 18-23.
27. Hu F, Chen H, Wang X . An Intuitionistic Kernel-based Fuzzy C-means Clustering Algorithm with Local Information for Power Equipment Image Segmentation[J]. IEEE Access, 2020, PP(99):1-1.
28. 张冀川, 陈蕾, 张明宇, 等. 配电物联网智能终端的概念及应用[J]. 高电压技术, 2019, 45(06): 1729-1736.
29. 张天军. 探究基于智能分布FA即插即用式配电终端设计[J]. 电气传动自动化, 2019, 41(01): 64-66+9.
30. Dong L, Jing N, Shuchang P , et al. Research on Plug-and-play of DER-Network Coordinate Controller Based on IEC61850[C]// International Conference on Renewable Power Generation. IET, 2016.
31. Chen L, J Toyoda. Optimal generating unit maintenance scheduling for multi-area system with network constraints[J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 1991, 6(3): 1168-1174.
32. Marwali M, S Shahidehpour. Integrated generation and transmission maintenance scheduling with network constraints[J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 1998, 13(3): 1063-1068.
33. Sawa T, Furukawa T, Nomoto M, et al. Automatic scheduling method using tabu search for maintenance outage tasks of transmission and substation system with network constraints[C]. Power Engineering Society 1999 Winter Meeting,IEEE. 1999: 895-900.
34. 马鹏, 樊艳芳. 基于深度迁移学习的小样本智能变电站电力设备部件检测[J]. 电网技术, 2020, 44(03): 1148-1159.
35. 罗凤章, 张天宇, 王成山, 等. 基于多状态马尔科夫链的配电设备状态检修策略优化方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(09): 2777-2787.
36. 吴通华, 戴魏, 李新东, 等. 柔性直流配电网保护方案及设备研制[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(23): 123-135.
37. 应俊, 蔡月明, 刘明祥, 等. 适用于配电物联网的低压智能终端自适应接入方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(02): 22-30.
38. Kimura T, Nishimatsu S, Ueki Y, et al. Development of an expert system for estimating fault section in control center based on protective system simulation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(1): 167-172.
39. Negnevitsky M, Kelareva G. Application of genetic algorithms for maintenance scheduling in power systems[C]. International Conference on Neural Information Processing, 1999. Proceedings. ICONIP. IEEE, 1999: 447-452.
40. Chen W H, Liu C W, Tsai M S. On-line fault diagnosis of distribution substations using hybrid cause-effect network and fuzzy rule-based method[J].Power Delivery IEEE Transactions on, 2000, 15(2): 710-717.
41. NEWMANS．崔力强，张俊（译）．微服务设计[M]．北京：人民邮电出版社，2016:504-509
42. 张学, 裴玮, 范士雄, 等. 含多端柔性互联装置的交直流混合配电网协调控制方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(07): 185-191.
43. 徐殿国, 张书鑫, 李彬彬. 电力系统柔性一次设备及其关键技术:应用与展望[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(07): 2-22.
44. 费思源. 大数据技术在配电网中的应用综述[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(01): 85-96+345.
45. 王渝红, 阳莉汶, 江伟, 等. 直流电网联网设备与控制策略研究综述[J]. 电网技术, 2018, 42(01): 12-24.
46. 崔立忠, 张瑞雪, 刘涛, 等. 复杂配电自动化系统可靠性计算及设备布局规划[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(20): 84-91.
47. 刘梓权, 王慧芳, 曹靖, 等. 基于卷积神经网络的电力设备缺陷文本分类模型研究[J]. 电网技术, 2018, 42(02): 644-651.
48. 周建华, 朱卫平, 孙健, 等. 基于灵活组网的智能配电自动化检测系统[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(17): 163-167.
49. 王德文, 李静芳. 变电设备状态监测大数据的查询优化方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(02): 165-172.
50. 左高, 方金国, 向驰, 等. 配电自动化终端设备中信息安全加密模块设计[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(19): 134-138.
51. 于辉, 王心, 赵冬梅. 以改造配电网设备适应性为目的的分布式电源准入容量计算[J]. 电网技术, 2016, 40(10): 3013-3018.

# 项目的理论和实践依据

3.1 研究的理论依据

3.1.1 电力设备状态监测技术

**（1）电力设备状态监测系统**

1）信号采集。电力设备状态监测系统是指在设备的运行过程中对设备状态不断进行检查和诊断，分析设备状态发展趋势的系统。主要是通过对设备运行状态进行分析设备运行情况，首先是要获取电力设备的状态信息，收集有关电力设施的各种电流、电压、运行频率以及磁力线密度等信号，信号同时包括正常信号和非正常信号。信号采集的方法有很多，主要包括：一次性采集、定时采集、自动采集以及特殊采集方式。针对不同的电力设备的要求，所采取的诊断方式不同，要根据设备状态的不同信号采取不同的信号采样方法。

2）数据传送。通常信号处理系统距离监测设备相对较远，在信号传输过程中容易受到外界因素的干扰。因此需要先进行模数转换、预处理和压缩打包等方法将信号传输到信号处理中心。目前多种通信方式已经广泛应用于电力领域，应针对电力业务的差异性，选择技术经济合理的通信方式。

3）数据处理。信号数据处理中心通过对通信线路传输过来的状态监测信号进行数据处理。根据信号的不同采取不同的数学方法进行解析处理。由于数字信息技术和智能处理技术的广泛应用，使得电力设备监测系统的数据处理的在线监测更加真实准确。

由此可见，电力设备状态监测系统首先是要对信号进行采集，再通过信息输送将数据传送到数据处理中心，由数据处理中进行数据处理。

**（2）故障诊断**

1）故障信号的采取和诊断。信号处理技术是指在各种信号中提取有用的信息，精简设备运行的特征信息，提高设备诊断的精确度。但是故障信号的选择和提取是故障诊断中的难点问题，在识别电力设备运行中的故障状态和正常状态的过程中，容易出现误诊或漏诊的情况，误诊或漏诊的主要原因是故障特征量存在模糊性，所以要选取有用的故障特征量。同时针对电力设备故障的不同性，应采取不同的诊断方法，如：信息融合技术、人工智能、专家系统、神经网络等方法。

2）故障诊断分析技术。故障诊断分析是分析导致电力设备发生故障的原因。其步骤大致分为：首先要对设备状态特征进行整理、分析，然后再采用信号识别技术诊断出故障特征，最后判断出设备产生故障的原因以及程度。随着科学技术的不断发展和完善，电力设备故障诊断技术愈加趋于数字化，通过分析采集的信号诊断设备运行信息，不仅能够近程监测也实现了远程监测和诊断。随着电力设备故障诊断技术的不断发展，不仅实现了设备状态监测和故障诊断信息的远程传输，同时也提高了故障诊断的精确度和灵敏度。除此之外，故障诊断分析技术通过网络能够及时上传诊断数据保证信号的及时性。

3）电力设备状态监测系统评估。状态监测系统是将有效的信息与诊断技术有效结合，实现对状态信号、故障诊断方法、信息处理方法有机融合，提高状态监测的实用性和真实性。根据故障特征量对设备进行分析诊断，及时发现设备运行中出现的各类问题，及时发现设备潜在故障。并对设备状态进行实时分析，对设备运行状态进行评估，根据设备诊断情况，制定合适有效的检查和修补方案。

**（3）新技术在监测系统的应用**

1）智能传感器的应用。传感器的作用是获取设备状态信息。传统的传感器具有易受干扰、灵敏度低、成本高、不稳定性等缺点。随着科学技术的发展，智能传感器的使用克服了传统传感器的缺点，解决了信息采集可得性的问题。建立在新工艺基础上的智能传感器，具有提高采集信息的精准度、自动校正的优点，将智能传感器应用到电力设备状态监测领域中，能解决接收数据不稳定、易受干扰等问题，同时能提高监测数据的精确度，为系统诊断分析奠定了良好的基础。

2）智能信息处理的应用。智能信息处理技术就是将不确定的信息逐步地精简成可靠有用的信息的过程。对信息的处理方法主要有神经网络、模糊系统、信息网络等。在设备的诊断、分析、评估的过程中都存在着信息处理的问题。在电力设备状态监测系统中通过对可获得的信息进行分析处理，提取相关信息，从而对设备运行状态进行分析诊断，得到可靠评定，为设备维修提供了可靠依据。在电力设备状态监测系统中采用各种智能信息处理的技术，必能提高监测系统的精确性。

3.1.2 大数据挖掘技术

数据挖掘是从存放的数据库、数据仓库或其它信息库的大量数据中挖掘潜在有用知识的过程，它是信息技术发展到一定阶段的必然结果，是拥有大规模数据库、高效的计算能力、经营能力和有效的计算方法后的产物。

从技术角度看，数据挖掘是从大量的、不完整的、有噪声的、模糊的、随机的实际数据中，提取隐含在其中的、但又是潜在有用的信息和知识的过程。从商业的角度看，数据挖掘是一种崭新的商业处理技术。其主要特征是对商业数据库中的大量业务数据进行抽取转化分析和模式化处理，从中挖掘出辅助商业决策的关键知识，即从一个数据库中自动发现相关商业模式。

数据挖掘的目的是描述和预测，描述性挖掘任务刻画数据库中数据的一般特性；预测性挖掘任务在当前数据上进行推断，以进行预测。

商业数据挖掘发展至今，主流的数据挖掘技术有以下几类：

统计挖掘技术：统计挖掘技术是目前数据挖掘技术中应用最多最成熟的一类方法，包括相关分析、回归分析、单变量分析、多变量分析、判别分析、聚类分析、主成分分析、因子分析等。

决策树：决策树方法是一种通过构造决策树来发现训练集中分类知识的数据挖掘方法，其核心是如何构造精度高规模小的决策树，决策树是一棵树，内部节点是最佳扩展属性，叶节点是类别属性值；内部节点的射出边是最佳扩展属性的取值。

关联规则：起源于对超市的购物篮问题的研究，侧重于确定数据中不同属性之间的联系，找出满足给定支持度和可信度阀值的多个属性之间的依赖关系。

3.1.3 电力大数据技术

电力行业中数据量呈现出爆发性增长的态势。我国电力企业信息化起源于20世纪60年代，从初始电力生产自动化到80年代以财务电算化为代表的管理信息化建设，再到近年大规模的企业信息化建设，特别伴随着下一代智能化电网的全面建设，以物联网和云计算为代表的新一代IT技术在电力行业中的广泛应用，电力数据资源开始急剧增长并形成了一定的规模。从长远来看，作为中国经济社会发展的“晴雨表”，电力数据以其与经济发展紧密而广泛的联系，将会呈现出无以伦比的正外部性，对我国经济社会发展以至人类社会进步也将形成更为强大的推动力。

电力大数据的特征可以概括为3“V”3“E”。其中3“V”分别是体（Volume）、类型多（Variety）和速度快（Velocity），3“E”分别是数据即能量（Energy）、数据即交互（Exchange）、数据即共情（Empathy）。如仅从体量特征和技术范畴来讲，电力大数据是大数据在电力行业的聚焦和子集。但电力大数据更重要的是其广义的范畴，其超越大数据普适概念中的泛在性，有着其他行业数据所无法比拟的丰富的内涵。

体量大（Volume）:体量大是电力大数据的重要特征。随着电力企业信息化快速建设和智能电力系统的全面建成，电力数据的增长速度将远远超出电力企业的预期。从发电侧为例，电力生产自动化控制程度的提高，对诸如压力、流量和温度等指标的监测精度，频度和准确度更高，对海量数据采集处理提出了更高的要求。就用电侧而言， 一次采集频度的提升就会带来数据体量的“指数级”变化。

类型多（Variety）:电力大数据涉及多种类型的数据，包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。随着电力行业中视频应用的不断增多，音视频等非结构化数据在电力数据中的占比进一步加大。此外，电力大数据应用过程中还存在着对行业内外能源数据、天气数据等多类型数据的大量关联分析需求，而这些都直接导致了电力数据类型的增加，从而极大地增加了电力大数据的复杂度。

速度快（Velocity）:主要指对电力数据采集、处理、分析的速度。鉴于电力系统中业务对处理时限的要求较高，以“1秒”为目标的实时处理是电力大数据的重要特征，这也是电力大数据与传统的事后处理型的商业智能、数据挖掘间的最大区别。

数据即能量（Energy）:电力大数据具有无磨损、无消耗、无污染、易传输的特性，并可在使用过程中不断精炼而增值，可以在保障电力用户利益的前提下，在电力系统各个环节的低耗能、可持续发展方面发挥独特而巨大的作用。通过节约能量来提供能量，具有与生俱来的绿色性。电力大数据应用的过程，即是电力数据能量释放的过程，从某种意义上来讲，通过电力大数据分析达到节能的目的，就是对能源基础设施的最大投资。

数据即交互（Exchange）:电力大数据以其与国民经济社会广泛而紧密的联系，具有无可伦比的正外部性。其价值不只局限在电力工业内部，更能体现在整个国民经济运行、社会进步以及各行各业创新发展等方方面面，而其发挥更大价值的前提和关键是电力数据同行业外数据的交互融合，以及在此基础上全方位的挖掘、分析和展现。

数据即共情（Empathy）:企业的根本目的在于创造客户，创造需求。电力大数据天然联系千家万户、厂矿企业，推动中国电力工业由“以电力生产为中心”向“以客户为中心”转变，这其中的本质就是对电力用户的终极关怀，通过对电力用户需求的充分挖掘和满足，建立情感联系，为广大电力用户提供更加优质、安全、可靠的电力服务。在

对电力行业来说，大数据是电力企业深化应用、提升应用层次、强化集团企业管控的有力技术手段，电力行业对大数据的需求，其迫切性也大大超越其它基础能源行业。电力行业已经深入研究大数据在电力方面的应用，并形成了电力行业相关标准，为电力大数据的研究提供了理论依据。

3.1.4 微服务

微服务是一个高内聚低耦合 IT 的实体，有明确的边界，属于技术架构的范畴，可独立设计、开发、测试、部署、运维管理，一般具有自己的表现层、业务层甚至数据库层，一般每个服务实例运行在一个容器中。

微服务通常为独立进程，通过轻量级通信机制进行交互的微型服务，通过组合对一个或多个应用进行支撑。电力行业微服务通常具备以下特点：每个服务针对独立的业务职责进行实现，具备高内聚的特性，易于开发、修改与维护；每个服务都会发布一个定义明确的接口，而且保持不变，利于服务之间稳定协作；每个服务都可以单独部署，可快速升级、替换与横向扩展；每个服务可采用多种语言实现，与其它服务无关，技术路线灵活；服务通信使用轻量级的通信协议，例如在 HTTP 上承载的 REST，或使用支持异步消息的发布/订阅机制；一个服务出现异常时，仅影响所提供的服务，整体应用不会受到影响。

3.1.5 微应用

微应用是呈现给业务人员的直接操作软件界面，是满足用户业务需求、提高用户操作体验的功能组合，最终运行于PC、移动设备、大屏等各类终端的统一工作台中。微应用池是微应用的集合。微应用通过调用微服务实现业务逻辑，通过界面组件为用户提供交互访问界面；微应用提供一个或多个界面部件与功能菜单，进行统一的注册和访问管理；微服务之间不进行分层，互相之间根据业务逻辑进行交互调用。

微应用是一个高内聚低耦合的业务实体，有明确的业务边界，微应用应该是一个完整的、自洽的业务模块，属于业务架构的范畴。微应用是从应用场景中抽象总结出来的一些独立业务模块，模块之间很少相互的业务联系，即使有也通过工作流等机制进行。从领域模型的角度来看，微应用应该是居于业务对象和聚合体之上的一个概念，也就是说其粒度要比聚合体更加粗一些，比业务用例也更加粗一些，是相对独立的一个业务模块。从用户角度看微应用能够提供用户要求的某一组服务，为企业创造一个明确的经营价值，达成用户的一个某个在经营层面可见的目标。而作为对照，业务用例一般完成某个特定的功能，比如下单、客户资料修改等，由于粒度过小不能提供一个经营层面可见的价值。

3.1.6 配电自动化相关标准

* + - GB/T 13729 远动终端设备
    - GB/T 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
    - DL/T 599 城市中低压配电网改造技术导则
    - DL/T 634 远动设备及系统
    - DL/T 721 配电网自动化系统远方终端
    - DL/T 790 采用配电线载波的配电自动化
    - DL/T 814 配电自动化系统功能规范
    - Q/GDW 156 城市电力网规划设计导则
    - Q/GDW 370 城市配电网技术导则
    - Q/GDW 382 配电自动化技术导则
    - [Q/GDW 513 配电自动化主站系统功能规范](http://www.baidu.com/link?url=O7HD6ybTQwFUIPZjIvp5CpZDmggQLiUI_ijmUaBXD9LEO13DAqHGzV6hyZOMHjuEPMalXgPXO0DfKY-pqCMCWA2_6dNOKZuUD24Hi6Rfgkq)
    - Q/GDW 514 配电自动化终端/子站功能规范
    - Q/GDW 625 配电自动化建设改造标准化设计技术规定
    - Q/GDW 1738 配电网规划设计技术导则
    - Q/GDW 519 配电网运行规程
    - Q/GDW 626 配电自动化系统运行维护管理规范
    - Q/GDW 11815 配电自动化终端技术规范
    - Q/GDW 11184 配电自动化规划设计导则
    - IEC6l 850-1(DL/T860.1)　基本原则
    - IEC61850-2(DL/T860.2)　术语
    - IEC61850-3 (DL/T860.3)　一般要求
    - IEC61850-4(DL/T860.4)　系统和工程管理
    - IEC61850-5(DL/T860.5)　功能和装置模型的通信要求
    - IEC61850-6(DL/T860.6)[自动化系统](http://baike.baidu.com/view/3825899.htm)结构语言
    - IEC61850-7-1(DL/T860.71)变电站和馈线设备的基本通信结构一一原理和模式
    - IEC61850-7-2(DL/T860.72)变电站和馈线没备的基本通信结构一一抽象通信服务接口（ACSI：Abstract Communication service interface)
    - IEC61850-7-3(DL/T860.73)变电站和馈线设备的基本通信结构一一公共数据级别和属性
    - IEC61850-7-4(DL/T860.74)变电站和馈线设备的基本通信结构一一兼容的逻辑节点和[数据对象](http://baike.baidu.com/view/178571.htm" \t "_blank)（DO：Data 0bject)[寻址](http://baike.baidu.com/view/1303626.htm)
    - IEC61850-8-1(DL/T860.81)特殊通信服务映射(SCSM：Special Communication Service Mapping)：到变电站和间隔层内以及变电站层和间隔层之间通信映射
    - IEC61850-9-1(DL/T860.91)特殊通信服务映射：间隔层和过程层内以及间隔层和过程层之间通信的映射，单向多路点对点串行链路上的采样值
    - IEC61850-9-2(DL/T860.92)特殊通信服务映射：间隔层和过程层内以及间隔层和过程层之间通信的映射，映射到ISO/IEC 8802-3的采样值
    - IEC61850-10(DL/T860.10) 一致性测试
    - IEC 61968/61970公共信息模型

3.2 研究的实践依据

3.2.1 配电自动化终端关键技术研究与实践基础

国网南京供电公司、南京南瑞集团公司以及东南大学，在配电自动化终端自动识别、配电自动化终端智能运维的应用等方面前期已经开展了较多的研究工作：①国网南京供电公司、南京南瑞集团公司、东南大学联合开展了**江苏省电力公司2015年度科技项目《具备自描述能力的配电自动化终端的研究与应用》的研究**，相关研究工作也取得了丰富的成果；②国网南京供电公司、南京南瑞集团公司、东南大学等单位共同承担了**国家电网公司2016-2017年科技项目《具备配电线路自组网能力的智能配电监控终端技术研究》，**项目经中国电机工程学会技术鉴定：“在智能配电终端动态自适应接入、配网拓扑自组网、智能分布式馈线自动化故障处理技术方面达到国际领先水平”；③**国网南京供电公司2017年参与建立了“配电设备信息互操作实证基地”，** 是全国首个面向配电领域现场设备的真型互操作测试基地，涵盖配电自动化终端、电动汽车充换电设施、分布式电源并网监控终端等互操作测试需求；④国网南京供电公司、南京南瑞集团公司、东南大学共同承担了国家电网公司**2020-2021年科技项目《大规模即插即用配电终端自动配置与智能运维技术研究》，**通过建立面向配电物联网的配电终端信息模型框架及信息交互机制，适应不同终端快速接入需求；通过对配电终端多场景自适应接入配置技术研究，满足规模化接入、配电馈线网络动态变化等场景下的配电终端即插即用。

**研究团队对大规模配电终端智能运维技术有着深刻的理解，产、学、研、用相结合的模式有利于在基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术研究做出创新性探索。**

3.2.2 基于智能配变终端的配电物联网试点应用

江苏省电力公司结合一代主站管理信息大区建设进度以及低压配电自动化建设计划，通过低压电力物联网，实现对大规模分布式能源接入和消纳管理，支撑分布式能源供应清洁化；通过低压电力物联网，推进源网荷储互动运行控制技术应用，实现能源配置智能化；通过低压电力物联网，引导家庭电气化、绿色交通等能源消费方式，构建绿色低碳的能源消费模式，推动能源转型“再电气化”；通过低压电力物联网，提升主动抢修工作效率，改善用户用电体验，提高用户能源消费满意水平。低压电力物联网将助力供电企业的可持续性发展，成为国际能源变革“典范样本”。截止2019年1月，南京公司已完成1510个台区新型智能配变终端的试点建设。

3.2.3 江苏南京能源互联网综合示范区建设

南京溧水区作为江苏省电力有限公司首批电力无线专网试点，于2015年开始建设4G专网，并于2019年实现全覆盖，接入设备状态感知、用电信息采集、配电自动化等各类业务终端5100余个；配电自动化站点“三遥”率达到100%；配电自动化专网在线率较光纤提升15个百分点，用电信息采集专网在线率较公网提升2个百分点。溧水区供电公司还率先完成营配调优化提升，启动SG-CIM4.0模型在源端系统应用，初步实现电网资源业务中台核心功能，促进配网数据统一维护、集中管理和协同共享；优化配网“一张图”录入模式，完成283条中压线路、4447个低压台区的现场核查和数据修正；同期线损管理能力稳步增强，10千伏分线线损日合格率同比提高6%，稳定在98.5%以上。溧水电力物联网示范区范围为110kV南门变电站输电线路、变电、配电设备，以电网状态全息感知、运营数据全面连接、公司业务全程在线、客户服务全新体验、能源服务互联互通的“四全一互”模式为导向，推进电力物联网建设，实现电网运营与核心设备状态的全面感知，增强电网故障可预见性，实现检修模式从“事后抢修”到“事前消缺”的本质变革。示范区以110千伏南门变为中心，供电面积覆盖近120平方公里，涉及容量307.5兆伏安，输电线路5条，涉及杆塔49座，架空长度25.407公里，电缆长度5.91公里，运行总长15.317公里，用电户数约20万。一期建设项目的配电部分涉及6条10kV线路，包含 16台FTU、22台DTU、43台TTU，目前已完成配电终端物联化升级改造，具备规模化即插即用自动配置与智能运维的技术验证和示范应用基础。

南京江北新区智慧能源物联网示范区位于国家级江北新区的核心区域，辐射自贸区及周边区域，共计56平方公里。区域内共有220千伏变电站3座（城南河变、高旺变、山江变），110千伏变电站6座（开发区变、北门变、顶山变、江圩变、虎桥变、团结变），在建变电站3座（定向变、农场变、复兴变），10千伏线路89条，高压用户176户，低压用户7万户。示范区配电物联网技术和功能构架遵循国家电网公司“云-管-边-端”层级设计，通过部署感知元件和边缘智能终端、改接无线专网通信、建设云化主站平台，推动智慧运检模式变革。通过在“端”侧广泛部署配电设备状态感知元件，除监测电压、电流、功率等传统电气量外，在开关站内、配电房、环网柜等典型场景，部署无线温湿度、电缆T型头无线测温、局部放电等30种感知元件，监测设备本体和环境关键状态参量。“边”侧参照新型配变终端TTU的功能和实现方式，在示范区内部署新型智能配电终端，实现关键状态信息本地接入、边缘计算和远程通信。“管”侧通信网络方面，推进电力4G无线专网建设，2019年9月已实现江北新区全覆盖，并综合部署RF无线、IP化宽带载波等通信设备。“云”侧，开发并部署云化主站系统，实现设备状态监测、故障研判、故障定位等高级应用。一期建设项目的配电部分涉及8条10kV线路，包含 60台DTU、92台TTU，年底前完成全部配电终端物联化升级改造，为规模化即插即用自动配置与智能运维的提供技术验证和示范应用基础。

3.3 关键点和难点

**关键点与难点一：配电自动化终端设备全生命周期数据管理技术研究**

配电终端数据量大，数据管理困难。一方面，配电终端设备运行状态全生命周期过长包含设备上线，设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线等过程，整个过程的设备信息种类多样，信息量较大。另一方面，随着能源互联网的不断发展，配电自动化终端设备的数量以及终端设备智能化程度不断提高，配电终端交互程度增加，配电终端业务量呈爆发式增长，在运行过程中产生的信息量较以往运行方式成倍增长，运行数据量巨大。因此，如何构建适用于配电自动化终端设备的全生命周期数据管理体系，研究全生命周期数据管理技术，是本项目研究的关键点和难点之一。

**关键点与难点二：基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术研究**

配电自动化终端设备信息多样，各种信息之间具有较强的相关性，且交互机理复杂，目前针对配电自动化终端状态信息关联关系的研究较为少见。配电终端全生命周期各环节间亦具有较强的相关性，前期环节相关性状态直接影响后续环节设备状态。因此，如何挖掘配电自动化终端不同状态信息间以及配电自动化终端设备全生命周期各环节间相关性，并进行多维精确评价是本项目研究的关键点和难点之一。

**关键点与难点三：面向配电终端规模化应用的智能运维技术研究**

随着配电自动化程度的不断提高，配电终端规模和终端业务量呈爆发式增长。负荷快速增长以及配网网架结构日益复杂，给配网终端运维带来极大压力。一方面，传统配电终端运维方法过多依赖主站，在终端规模和业务量急剧增加的情况下，无法及时对海量终端信息进行有效的计算处理，终端运维的实时性难以保证。另一方面，负荷的快速增加和配网网架结构复杂度的提高，增加了运维人员的工作量，运维效率和运维人员的安全性无法保障。此外，配网终端设备质量问题频发，目前关于设备监测及故障预警的技术该不够成熟，在设备发生故障前不能够有效的进行预警，威胁电网安全稳定运行。因此，如何实现规模化应用终端的智能运维是本项目研究的关键点和难点之一。

**关键点与难点四：面向配电物联网架构的智能运维微应用与微服务**

传统的配电自动化主站的即插即用功能是通过IEC61850通信规约的自描述能力，使得主站的前置服务器自动识别终端，达到了自动配置的能力。而配电物联网中部署了大量的传感单元，各类型的传感单元计算能力参差不齐，需汇聚中低压设备的环境量等传感数据和映射物联网模型来实现即插即用，开发过程中需新建物联终端模型、解决中低压设备传感器数据传输与接入问题。传统的配电自动化主站通过扩展IEC60870-5-104通信规约实现了定值修改，而配电云主站的微服务与微应用是通过物联网协议接入配电终端的实时数据，目前云主站对配电终端的远程运维在国际上是新的需求，通过云主站独立的智能运维的微服务模块，实现对中低压配电终端远程运维、缺陷控制和健康状态评估的微应用，需要新建所有边和端设备模型、制定远程维护流程，并需综合运用流式计算、数据挖掘和大数据分析等技术。因此，在配电物联网架构下实现配电云主站对中低压配电终端自动配置与智能运维的微应用与微服务是本项目的关键点与难点

# 项目研究内容和实施方案

4.1项目研究内容

4.1.1研究配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理体系

采集配电自动化终端设备全生命周期运行数据；研究配电自动化终端设备全生命周期运行数据预处理技术；提出基于Apriori算法的配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理技术，构建全生命周期运行状态管理体系。

4.1.2研究基于机器学习的配电终端运行状态智能分析技术

分析配电终端运行状态多维影响因素；结合运行数据和多维影响因素，研究配电终端运行状态异常检测技术；提出基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术。

4.1.3研究基于云端协同的配电终端缺陷分析排查技术

分析配电终端失效的关键环节，研究配电终端失效多维度影响因素与特征指标体系之间的映射关系；研究基于物理信息融合的配电终端状态监测关键技术；研究基于云端协同的配电终端缺陷多维度自诊断技术。

4.1.4研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件

挖掘和分析配电终端运行数据、环境数据、告警数据等信息，以电力模型和海量数据为驱动，研究基于大数据分析和分类算法的终端运维技术；研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件，实现配网终端设备设备画像分析、指标统计和缺陷全周期管理等功能。

4.2实施方案

4.2.1研究配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理体系

设备生命周期管理主要指从设备的产生、使用和消亡的生命全过程进行信息管理，设备全生命周期运行状态管理主要指从设备上线、设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线的整个过程中，对设备运行信息的跟踪和记录，建立统一数据字典，采用工作流的技术，将设备生命周期内各环节产生的数据流串起来，形成设备运行整个过程的闭环管理，动态调整和维护每个设备的当前状况和历史变更信息，实时的反映设备运行状态。本项目首先采集配电自动化终端设备全生命周期运行数据，然后研究配电自动化终端设备全生命周期数据预处理技术，最后，提出基于Apriori算法的配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理技术，具体实施路线如图4-1所示。

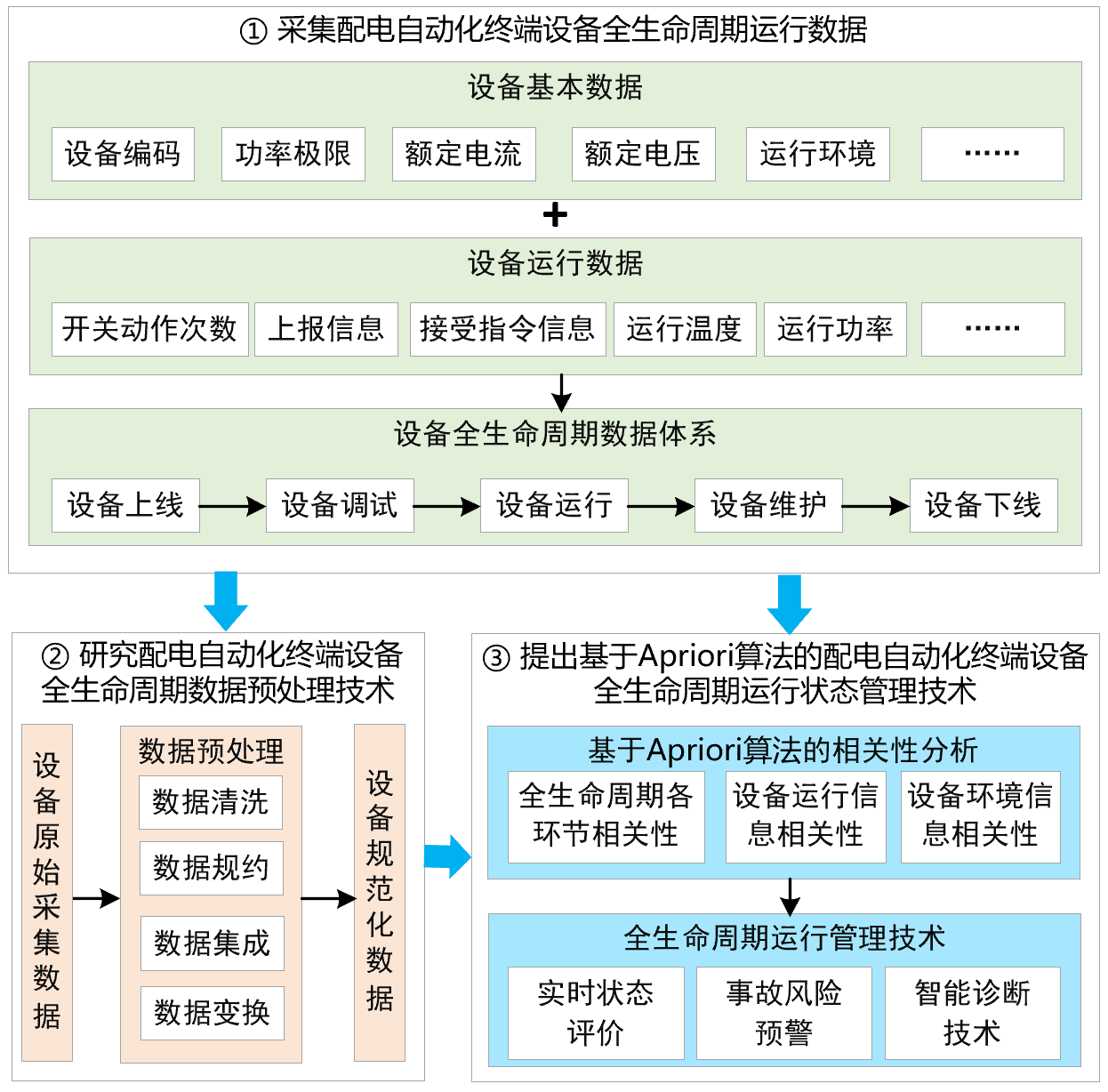


图4-1 课题1实施路线

**配电自动化终端设备全生命周期运行数据采集。**配电自动化终端设备全生命周期数据信息量大，种类多，本项目主要从设备基本数据信息和设备运行信息两个角度来采集设备全生命周期数据。设备基本数据主要包括设备编码、额定电压、额定电流、极限功率以及运行环境等，设备运行数据主要包括开关动作次数、设备上报信息、接受下发指令信息、运行温度等。然后构建包含设备上线、设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线的设备全生命周期运行状态数据体系，为设备全生命周期运行管理提供数据基础。

**配电自动化终端设备全生命周期数据预处理技术研究。**为对设备进行全生命周期运行管理，需要对设备数据进行规范化预处理，通过数据清理、集成、规约和变换，其中数据清洗主要包括填补缺失值、清理无用属性、清理异常值、清理错误数据等；数据集成主要包括删减冗余量和处理冲突值；数据规约主要包括属性规范化和降低数据规模；数据变换主要包括数值替换、归一化处理以及改变输入形式等。通过对设备进行数据预处理，纠正数据表述不一致和冗余数据，降低数据规模，保障数据的规范性、真实性，为配电自动化终端设备全生命周期运行管理技术研究提供规范化数据。

**基于Apriori算法的配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理技术研究。**配电自动化终端设备全生命周期各环节、设备各种运行信息以及设备运行环境信息间存在一定的关联关系，本项目基于Apriori算法挖掘各信息间的关联关系，为设备全生命周期运行管理提供技术支持。首选基于Apriori算法挖掘设备上线、设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线各环节间的关联关系；挖掘设备运行信息在时间维度和空间维度的关联关系；挖掘设备运行温度、湿度等环境信息与设备运行间的关联关系。然后，基于关联关系研究设备全生命周期运行管理技术，主要包括实时状态评价技术、事故风险预警技术以及智能诊断技术，实现对配电自动化终端设备的全生命周期管理。

4.2.2研究基于机器学习的配电终端运行状态智能分析技术

研究内容2的技术实施路线分为3步：首先，分析配电动化终端运行状态多维影响因素，分别从“三遥”信息、运行状态信息以及环境信息等维度构建多维影响因素；然后，结合采集数据和多维影响因素，研究配电终端运行状态异常检测技术，多维度分析配电终端设备的异常信息；最后，研究基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术，多维度对配电终端运行状态进行评价，研究内容2的实施路线如图4-2所示。

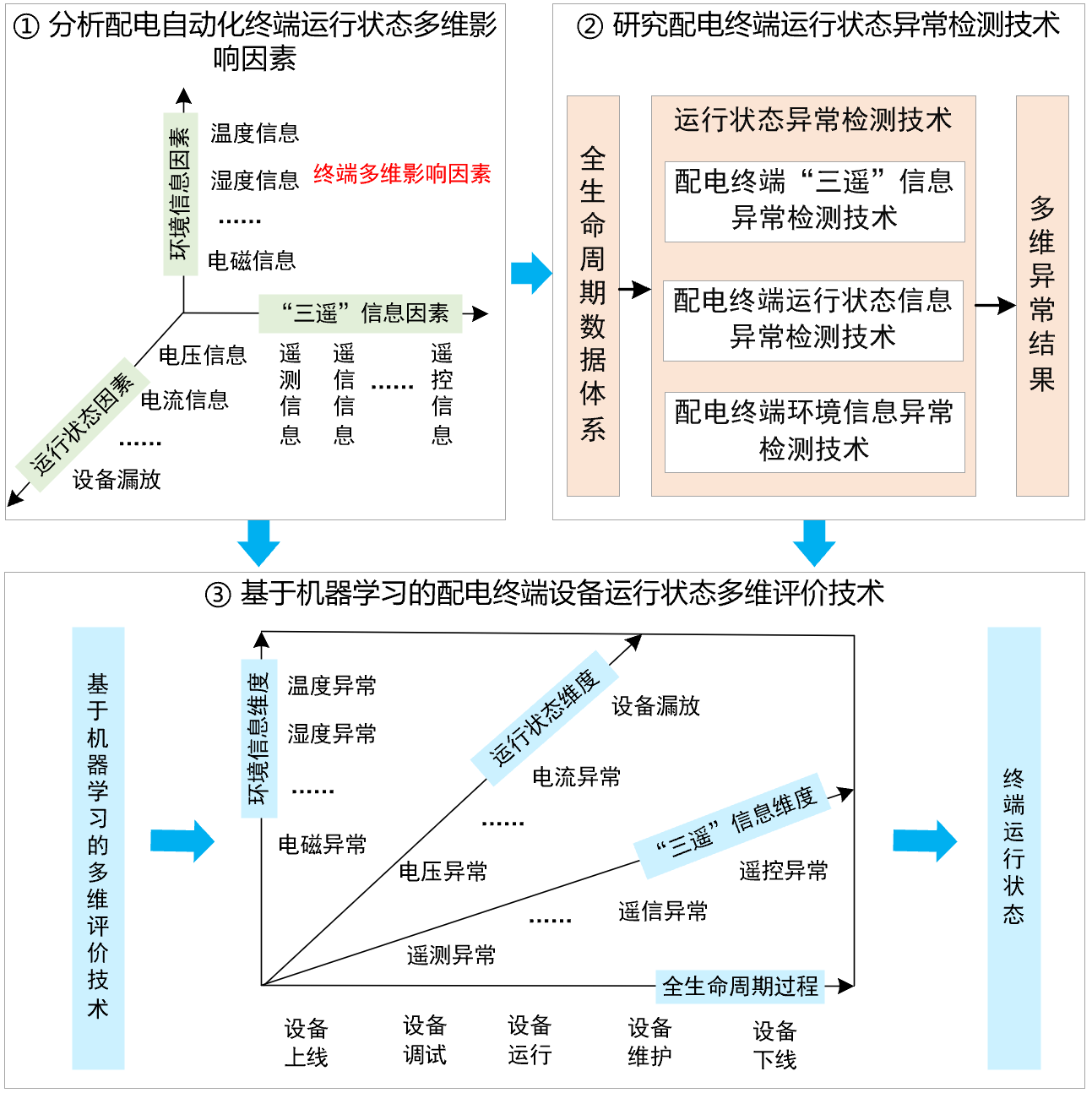


图4-2 课题2实施路线

**配电动化终端运行状态多维影响因素分析。**本项目从配电自动化终端设备运行角度，构建包含“三遥”信息、设备运行状态信息以及设备环境信息的配电自动化设备状态多维影响因素。“三遥”信息影响因素主要包括遥测信息、遥信信息以及遥控信息，设备运行状态影响因素主要包括电压信息、电流信息、设备漏放等，设备环境信息影响因素主要包括设备运行周围环境温度信息，湿度信息、电磁辐射强度等。

**配电终端运行状态异常检测技术研究。**基于研究内容1采集的配电自动化终端设备全生命周期数据，首选对“三遥”信息，设备运行状态信息以及设备环境信息进行抽取，为配电终端异常检测提供数据基础。然后分别研究配电终端的“三遥”信息异常检测技术、配电终端的设备运行状态信息异常检测技术以及配电终端的环境信息异常检技术，对配电设备的历史信息进行挖掘和相关性分析。实现对配电终端设备“三遥”异常信息、设备运行状态异常信息以及设备环境异常信息的检测。

**基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术研究。**针对配电自动化终端设备全生命周期设备上线、设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线各个环节，研究基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术，对“三遥”信息、设备运行状态信息以及设备环境信息进行多维分析，对配电自动化终端设备的运行状态进行多维评价，并给出运行评价结果，为基于大数据的配电自动化终端设备智能运维提供技术支撑。

4.2.3研究基于运行大数据的配电终端缺陷分析排查技术

本课题分别从配电终端失效多维度影响因素与特征指标体系之间的映射关系，基于物理信息融合的配电终端状态监测关键技术，基于云端协同的配电终端缺陷多维度自诊断技术三个方面展开研究，具体实施路线如图4-3所示。

图4-3 课题3实施路线

**配电终端失效多维度影响因素与特征指标体系之间的映射关系研究。**深入现场调研配电终端的失效情况，构建配电终端失效规律的影响因素体系，揭示设备运行方式、运行工况、健康历史、缺陷、环境变化等因素影响配电终端失效的作用机理，研究影响配电终端物理失效及局部模块功能失效的关键环节；结合交流测量系统、直流操作回路、电源系统、信号系统、通信系统等各类软硬件功能模块的失效现象，追忆配电终端失效前特定时间段内的包括设备温升、硬件资源使用率、通信时延、通信丢包率等相关因素的变化趋势，挖掘分析特定配电终端失效现象与影响因子之间的映射关系。

**研究基于物理信息融合的配电终端状态监测关键技术**。研究本地配电终端状态实时智能监测技术，基于本地采集的终端运行信息、终端环境信息，结合终端缺陷规律、终端缺陷指标，进行快速计算处理，研究配电终端状态监测技术实现对终端状态的实时监测。研究配电终端故障处理技术，对实时监测异常终端进行处理。

**基于云端协同的配电终端缺陷多维度自诊断技术研究。**研究配电终端云端协同机制，确定终端与云端的任务分工。终端层面基于硬件自检和数据总线定时巡检技术，借助信息物理模型以及设备本身具有的自诊断功能，实现配电终端CPU、I/O接口、A/D转换、存储器等关键元器件的状态在线监测；通过利用监测输出电压纹波可有效监视电源开关管与电解电容的状态进而能分析开关电源可靠性的原理，实现终端电源插件及后备电源状态的在线状态监测；通过开关计划性状态检测监测操作回路，通过监测负序电压来判断PT是否断线，通过零序电力检测CT是否断线，实现二次回路状态在线监测。云端层面基于终端上传的终端运行状态信息、历史检修及缺陷信息，研究智能终端预警技术，包括终端异常预警、故障预警以及缺陷预警等，基于预警结果，研究终端智能运维技术，实现预警消息的推送、消缺需求发布以及发起“主动抢修”等。最终实现配电终端的云边协同运维，保障配网终端安全稳定运行。

4.2.4研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件

本课题分别从基于大数据分析和分类算法的终端运维技术研究，基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件研发方面展开研究，具体实施路线如图4-4所示。

图4-4课题4实施路线

**基于大数据分析和分类算法的终端运维技术研究。**挖掘和分析配电终端运行数据、环境数据、告警数据等信息，以电力模型和海量数据为驱动，提出基于大数据分析和分类算法的终端运维方法。

**研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件。**开发配网终端设备的在线报文调试、定值管理、台帐维护以及运行状态查询统计功能，提升终端接入效率，实现配电终端从测试接入到设备运行管理的全节点可观可测；开发配电终端设备的设备画像分析、指标统计功能，对配电终端的运行特性以及健康状态进行准确、全面地评估，形成多类信息融合，实现全过程运行数据标签化分析。开发终端缺陷全周期管理功能，协助业务人员及时准确地发现终端缺陷，实现全流程线上业务流转，提升办公效率。系统应用部署方式采用B/S架构省公司二级部署,能够识别发现终端缺陷，按区域线路统计、监测和展示终端缺陷状态，支持缺陷自动发现功能，根据系统收集的“三遥”、状态感知和通信异常信息自动生成缺陷记录，并能够在对应的缺陷设备上自动标识，包括装置故障、电源故障等本体故障以及遥信抖动、保护动作信号异常、数据不平衡、数据缺漏异常、采集数据值异常等数据质量异常缺陷，支持缺陷按照严重等级、缺陷来源等分组归类，具备与第三方系统的缺陷数据推送及交互功能。

4.3主要创新点

（1）提出基于Apriori算法的配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理技术，挖掘全生命周期各环节运行状态间的关联关系，构建全生命周期运行状态管理体系。

（2）提出基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术，基于配电终端运行状态多维影响因素，实现对配电终端设备运行状态的多维分析。

（3）研究配电终端设备的设备画像分析、指标统计软件，对配电终端的运行特性以及健康状态进行准确、全面地评估，形成多类信息融合，实现全过程运行数据标签化分析。

（4）构建配电终端失效影响因素体系，建立配电终端失效影响因素与特征指标体系之间的映射关系，提出基于运行大数据的配电终端缺陷分析排查方法。

# 预期目标和成果形式

5.1预期目标

针对大规模接入的配电终端运行维护难度大的问题，开展基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术研究。提出配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理方法，研究基于机器学习的配电终端运行状态智能分析技术。提出基于运行大数据的配电终端缺陷分析排查方法，分析配电终端缺陷规律，提出终端缺陷诊断方法；利用物理信息融合技术，提取配电终端缺陷，形成缺陷自诊断技术方案；建立配电终端状态缺陷多维度综合自诊断模型，为配电终端状态检修提供模型支撑。研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件，支撑面向配电终端规模化应用的智能运维。

5.2成果形式

（1）提交《基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术研究》报告；

（2）申请发明专利3项；

（3）申请软件著作权1项；

（4）录用或发表核心及以上论文3篇。

（5）研发基于大数据分析的配电自动化终端智能运维软件。

# 项目承担单位的条件

6.1项目负责人

张明，男，1976年出生，高级工程师，高级技师，国网南京供电公司电力调度控制中心书记兼副主任，江苏省“333高层次人才培养工程”第三层次培养对象，江苏省电力有限公司调度运行控制专家组组长，长期从事电网运行、调度自动化、配电自动化及科技管理工作，曾获江苏省技术能手、五一创新能手称号，担任多项国网公司、省公司科技项目负责人，先后获得国家电网公司科技进步奖3项、江苏省电力公司科技进步奖10项，发表论文16篇，授权发明专利19项。

6.2项目研究人员

表6-1 人员情况及分工

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓名** | **年龄** | **职称** | **专业** | **承担的主要工作** | **投入**  **月数** | **单位** |
|  | 张明 | 44 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 方案设计 | 8 | 南京供电公司 |
|  | 刘国锋 | 37 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
|  | 嵇文路 | 46 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
|  | 陈建坤 | 38 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
|  | 朱正谊 | 33 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
|  | 胡健 | 30 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 6 | 南京供电公司 |
|  | 杨斌 | 28 | 博士 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
|  | 毛宇晗 | 25 | 硕士 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
|  | 葛夕武 | 38 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
|  | 潘小辉 | 33 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |

南京供电公司参与人员均为电力调度控制中心、运维检修部等各职能部室的业务骨干，**来自于“城市智能配电网规划、优化运行”科技攻关团队**，长期从事电网调度控制工作和配电自动化系统建设、维护、运行工作，熟悉南京配电自动化系统的运维管理工作，全面参与并负责公司电网调度、监控及配电自动化试点项目主站系统建设与运维工作，项目组人员配置齐全，具有较好的团队精神及技术素养。

6.3实验室条件

南京公司现拥有**“城市智能配电网规划、优化运行”、“终端通信接入网技术研究及应用”**2个省公司科技攻关团队，在智能配用电技术、终端通信接入网技术等方面，长期跟踪调研国内外技术发展动向，及时全面总结智能配用电、配网调度、配电自动化、配网信息采集、配电GIS等方面已取得的理论研究和生产实践的成功经验和成果，居国内领先水平。公司为相关技术研究打下了较坚实的技术和人才基础，取得了一定的理论和实践经验，具有较为雄厚的技术力量和较高的技术水平。

6.4理论研究环境

江苏省电力有限公司南京供电分公司是国有特大型供电企业，担负着南京市11区的供电任务。南京公司拥有丰富的供用电生产运行和设备管理经验，多次承担并圆满完成省部级重点科技项目。建成了配电网自动化管理系统、GIS系统、PMIS系统、营销自动化系统、配变监测等自动化系统；建成了IEB数据总线，具备大型跨专业的系统集成能力。建成了南京供电公司科技大楼微网综合能量管理系统，开展了了智能园区示范工程建设，“南京电网规划国际咨询”等项成果先后获得中国电力科学技术和国家电网公司科技进步一等奖；南京供电公司“配电网管理系统”获得国网公司科技进步一等奖；在省公司领导下完成了国网公司总部项目“基于供电可靠性的配电网规划研究”、“大用户智能用电信息互动技术研究与应用”，所获成果居国内领先水平，在智能电网方面取得了一定的理论和实践经验。

近年，南京供电公司还牵头负责863课题“智能配电网优化调度关键技术研究”、国家重点研发计划“分布式光伏系统智慧运维技术研究”，参与“柔性直流输电在城市供电中的研究与应用”、“基于先进能效管理的智能微电网关键技术研究与示范”三项国家863课题研究。牵头承担“具备配电线路自组网能力的智能配电监控终端技术研究”、“含多元微负荷的城市配电网柔性调控关键技术及其应用”等多项国网公司总部科技项目，在智能配用电技术研究和实践方面，长期跟踪调研国内外技术发展动向，及时全面总结智能配用电、配网调度、配电自动化、配网信息采集、配电GIS等方面已取得的理论研究和生产实践的成功经验和成果，为技术体系的建立打下了较坚实的基础，具有雄厚的技术力量和较高的技术水平。

南京供电公司电力调度控制中心、运维检修部相关科技攻关团队人员，长期从事电网调度自动化终端及主站系统维护工作，全面参与并负责公司配电自动化试点项目主站系统建设工作，项目组人员配置齐全，具有较好的团队精神及技术素养。熟悉重大科技项目运作及管理流程，具有雄厚的技术力量和较高的技术水平，能够保证项目的圆满完成。

# 项目的进度安排

| 序号 | 时间段 | 内 容 | 考核指标 |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2021.01-2021.03 | 调研，收集资料，制定工作计划 | 项目启动，完成项目资料收集，制定各研究内容工作方案。 |
|  | 2021.04-2021.06 | （1）分析配电终端运行状态多维影响因素；  （2）研究配电终端失效数据分析技术； | （1）掌握配电自动化终端设备“三遥”信息、运行状态信息以及环境信息影响因素。  （2）研究配电终端失效相关性数据的融合技术，研究数据清洗与修正技术，研究数据关联性挖掘技术 |
|  | 2021.07-2021.09 | （1）研究配电自动化终端设备数据预处理技术，主要包括数据清洗、数据规约、数据集成以及数据格式转换等，纠正数据表述不一致和冗余数据，降低数据规模，保障数据的规范性、真实性；  （2）研究配电终端设备运行状态异常检测技术； | （1）形成配电自动化终端设备全生命周期规范化数据；  （2）提出配电终端设备“三遥”信息、运行状态信息、设备环境信息异常检测技术；  （3）申请发明专利1项； |
|  | 2021.10-2021.12 | （1）研究配电自动化终端设备全生命周期运行管理技术；  （2）研发配电终端设备的设备画像分析、指标统计软件； | （1）提出基于Apriori算法的配电自动化终端设备全生命周期运行状态管理技术；  （2）实现全过程运行数据标签化分析；  （3）发表论文1篇； |
|  | 2022.01-2022.03 | （1）研究配电终端失效规律；  （2）研究配电终端设备全生命周期数据信息规范化； | （1）研究配电终端失效现象，研究配电终端失效影响因素与特征指标体系之间的映射关系；  （2）提出配电自动化终端设备数据预处理技术；  （3）申请发明专利1项； |
|  | 2022.04-2022.06 | （1）研究基于物理信息融合的配电终端缺陷自诊断技术；  （2）研发终端缺陷全周期管理软件； | （1）研究基于物理信息融合配电终端状态监测关键技术，研究配电终端状态缺陷多维度综合自诊断模型；  （2）实现全流程线上业务流转；  （3）申请发明专利1项，发表论文1篇； |
|  | 2022.07-2022.09 | （1）研究基于机器学习的配电终端运行状态智能分析技术；  （2）研发配网终端设备的在线报文调试、定值管理、台帐维护以及运行状态查询统计软件 | （1）提出基于机器学习的配电终端设备运行状态多维评价技术；  （2）实现配电终端从测试接入到设备运行管理的全节点可观可测；  （3）申请软件著作权1项，发表论文1篇； |
|  | 2022.10-2022.12 | 完善项目技术报告，准备项目验收材料。 | （1）完成项目验收系列支撑材料编制；  （2）开展项目验收。 |

编写要求：

1. 列出分年度计划研究内容和人员、设备安排；
2. 分年度提供成果的内容和形式，要具有可检查性。

# 项目经费预算

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **科目名称** | 预算金额 | 甲方拨款 | 乙方自筹 | 备 注 |
| **（一）直接费** | 117 |  |  |  |
| 1.人工费 | 55 |  |  |  |
| （1）专职研究人员人工费 | 31 |  |  |  |
| （2）劳务外包人员人工费 | 0 |  |  |  |
| （3）临时性研究人员人工费 | 24 |  |  |  |
| 2.设备使用费 | 0 |  |  |  |
| （1）仪器设备使用费 | 0 |  |  | 附件1 |
| （2）软件使用费 | 0 |  |  |  |
| 3.业务费 | 52 |  |  |  |
| （1）材料费 | 2 |  |  | 附件2 |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 10 |  |  |  |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 40 |  |  |  |
| 4.场地使用费 | 0 |  |  |  |
| （1）场地物业费 | 0 |  |  |  |
| （2）场地使用租金 | 0 |  |  |  |
| 5.专家咨询费 | 10 |  |  |  |
| **（二）间接费** | 15 |  |  |  |
| **（三）外委支出费** | 10 |  |  |  |
| 1.外委研究支出费 | 0 |  |  | 附件3 |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 |  |  |  |
| 3.外协测试试验与加工费 | 10 |  |  | 附件4 |
| **（四）税金** | 8 |  |  |  |
| **合 计** | 150 |  |  |  |

# 申请单位审查意见

|  |
| --- |
|  |
| 单位（公章） 年 月 日 |

**附件1 仪器、设备使用预算明细表（单价5万元以上）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **设备**  **名称** | **设备**  **型号** | **单　价**  **(万元/台件)** | **数量（台件）** | **总价** | **生产国别与地区** | **隶属单位** | **设备状况及主要性能指标** | **购置时间** | **使用费计取单价** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **累计** | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**附件2****材料费预算明细表（总价5万元以上的材料）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **材料名称** | **规格或型号** | **计量单位** | **单 价**  **（万元/单位数量）** | **材料费用** | **经费列支** |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **总价5万元以上材料合计** | |  |  |  |  |  |
| **其他材料** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  |  |  |

注：表中应包括：材料原价、供销部门手续费、包装费、运杂费、采购及保管费等内容。

**附件3 外委研究支出预算明细表 单位：万元**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **协作研究任务名称** | **协作研究任务内容** | **协作研究任务承担单位** | **经费列支** |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 累 计 | | | |  |

**附件4 外协测试试验与加工费预算明细表（量大或价高的外协测试试验与加工项目）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **外协测试试验与加工的内容** | **外协测试化验与加工单位** | **计量**  **单位** | **单价（万元/单位数量）** | **外协测试化验与加工费用** | **经费**  **列支** |
| 1 | 配电终端运维分析软件 | 江苏软件检测中心 | 1 | 10 | 10 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |
| **其他外协测试化验与加工项目** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  |  |  |

附录：

附录：

可研报告补充说明材料

1. **经费预算编制依据**

根据《国家电网公司科技项目预算编制实施细则》，编制项目经费预算，同时列出预算编制依据及说明，填写表1。

**表1：项目经费预算及依据表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算金额** | **经费预算依据及说明** |
| **（一）直接费** | **117** |  |
| 1.人工费 | **55** |  |
| （1）专职研究人员人工费 | 31 | 高级研究人员：1.5万元/人月\*12人月=18万  其他研究人员：1万元/人月\*13人月=13万 |
| （2）劳务外包人员人工费 | 0 |  |
| （3）临时性研究人员人工费 | 24 | 预估需要临时性研究人员投入96人月，人工费=96×2500元/月=24万元。 |
| 2.设备使用费 | **0** |  |
| （1）仪器设备使用费 | 0 |  |
| （2）软件使用费 | 0 |  |
| 3.业务费 | 52 |  |
| （1）材料费 | 2 | 详见附件2材料费预算明细表 |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 10 | 项目验证需购买文献检索、资料翻译、资料和书籍购买等约3万元。  项目执行过程中相关资料印刷，产生费用约2万元。  按项目考核指标，知识产权事务费用约5万元。 |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 40 | 拟召开启动会、技术交流会、督导会、中间审查会、自验收会等各1次，合计5次会议，按照每次会议1.0万元计算，总计约5万元。  项目研究过程中，项目组成员需要进行调研咨询、技术交流、系统调试、工程示范等，差旅费用约35万元。 |
| 4.场地使用费 | 0 |  |
| （1）场地物业费 | 0 |  |
| （2）场地使用租金 | 0 |  |
| 5.专家咨询费 | 10 | 按召开启动会、技术交流会、督导会、中间审查会、自验收会等各1次，合计5次会议，每次1天，每次聘请专家10名，按照每人天花费咨询费2000元计算，合计5×1×10×1000元=10万。总计10万元。 |
| **（二）间接费** | **15** | 间接费依据项目经费总额10%计算，估算约15万元。 |
| **（三）外委支出费** | **10** |  |
| 1.外委研究支出费 | 0 |  |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 |  |
| 3.外协测试试验与加工费 | 10 | 详见附件4外协测试试验与加工费明细表 |
| **（四）税金** | **8** | 税金估算约8万元。 |
| **合 计** | **150** |  |

1. **任务及经费分解方案**

根据项目研究内容或需求提出的技术问题，结合申报确定的研究方案及技术路线，对研究任务进行分解，明确申报团队任务分工，填写表3。

**表3：项目任务及经费分解表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **研究任务** | **承担单位** | **研究经费** |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. **示范应用情况**

南京江北新区、溧水区等地目前正在重点开展能源互联网示范建设，同时江北新区也是国网公司全业务泛在物联网七个示范区之一。通过部署泛在感知元件和边缘智能终端、升级无线通信网络、建设云化主站平台，推动智慧配电运检模式变革，实现主动检修、主动消缺，提升配电网供电可靠性。同时，推进全覆盖配电物联网建设，也是江北新区泛在能源互联网示范区建设的重要环节，将为南京公司在江北新区打造智慧能源物联网示范区打下坚实的基础。

南京江北新区智慧能源物联网示范区位于国家级江北新区的核心区域，辐射自贸区及周边区域，共计56平方公里。区域内共有220千伏变电站3座（城南河变、高旺变、山江变），110千伏变电站6座（开发区变、北门变、顶山变、江圩变、虎桥变、团结变），在建变电站3座（定向变、农场变、复兴变），10千伏线路89条，高压用户176户，低压用户7万户。一期建设项目的配电部分涉及8条10kV线路，包含 60台DTU、92台TTU。

2020年计划实现89条试点中压线路的重要电源、负荷、联络等节点的配电终端（包含DTU、TTU等）物联化升级改造。在环境感知、电气感知、安全监测等感知元件泛在部署基础上，规模化改造智能配变终端、DTU等。2020-2021年，在现有示范区配电物联网初具规模的基础上，本项目将研究基于大数据分析的配电自动化终端智能运维技术。

1. **申报合作协议**

无

1. **组织管理方式**

项目组织机构拟设立专家组、研究课题组和管理联络组三个层级。专家组由各子课题研究专家构成，负责本项目的总体技术指导、资源协调以及定期组织研究交流推进会议，听取项目阶段性研究成果，全面掌控研究进程。每个子课题分别成立其研究课题组，研究课题组由该子课题的相关技术研究人员构成；研究课题组主要负责相关子课题管理、理论研究、实例验证、装置研发、示范工程实施等工作开展。管理联络组主要则是负责监控并规避项目实施过程中的技术和经济风险，统一设计、规划项目研究进度，协调各子课题关系，安排及管理研究工作，监督各子课题实施与进展以及文件、成果汇总和存档。

1. **其它需要说明的事项**

**无**