国家电网公司科学技术项目

**可行性研究报告**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 基于多维数据交叉融合的台区网格化智能管理优化研究 |
| 申请单位： | 武汉大学 |
| 起止时间： | 2021年1月 至 2022年12月 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项 目 负 责 人 ： | 许贤泽 |  |
| 通信地址： | 湖北省武汉市珞珈山武汉大学电子信息学院 |  |
| 邮政编码： | 430070 |  |
| 联系电话： |  |  |
| 传 真： |  |  |
| 申请日期： | 2020年10月 | 年 月 |

1. 目的和意义

1.1 描述与项目研究内容紧密相关的国家电网公司实际生产力水平和今后的发展方向；

全力推进智慧电网建设、强化科技创新，建设高效的能源体系等是国家电网公司在“十四五”规划期间的重点工作任务。毛明伟董事长在2020年的科技创新大会上指出：“融入和服务构建新发展格局，既是国有企业的重大责任，也是重要机遇。”在经济高速发展的今天，随着电力负荷的逐年提升，产业结构、能源调配的方针以及城乡环境、空间条件等外界因素对配电网的平稳、安全运行提出了更高的要求。

虽然大范围停电的事故在国内已多年未发生，但小范围的停电缺屡见不鲜，影响人们日常的同时也造成了相应的经济损失，追其原因是不合理的台区电能分配管理以及重载下的电力过渡。因此配电网台区的发展建设应充分考虑电力需求的增长和负荷的空间分布，必须要明确以市场和大众的需求为指导的方向，经济和社会的效益要统筹兼顾，提髙能源高效利用。

对供电企业而言，所管辖的低压配电网台区数目庞大、建设状况参差不齐。随着低压配电网台区供售电量的剧增、线损及电压合格率等指标分台区考核的推进，台区管理也逐步加入各供电企业的管理日程中，同时也要求台区管理更趋向精细化。但正因为低压配电网台区数目众多，也就意味着在台区管理中面临诸多决策问题，如不可能同时对所有台区都进行改造与治理，需要对台区进行适当筛选，这也就要求能够对台区的运行状态进行合理评价，通过量化的计算结果来判断台区的运行状态，为决策提供依据，这也是配电网自动化的发展趋势对当前配电网管理及台区管理所提出的更高要求。如何在智慧化、信息化条件下更合理、更科学地实现台区资源的优化管理成为当务之急。

目前，多数电力企业台区资源的管理和人员调度已采用信息化系统来管理，但智能程度较低，仅仅以搜集到的用电量作为评判标准忽略了气候、设备情况、业务需求等信息的影响，导致管理效率低下。在配电系统的自动化检测方面，往往都是在特定的几天，由相关的技术人员对其管辖下的设备挨个检测统计，这样不但造成人力与时间的浪费，也不能在很好的了解情况，解决问题方面有所作用。面对电力企业在智慧电网背景下的管理转变要求，为提高电力企业的核心竞争力、保持企业安全稳固的可持续发展，加强电力企业的智能化建设是目前最为直接有效的应对管理转变的手段之一。

因此，我们需要依据先进的人工智能技术与管理理念，收集报修数据、天气、设备情况、办电业务、电力负荷等信息，构建台区资源精益化和灵活化的多目标优化调度模型、人员调控模型以及配电设备网格化运行模型，对台区的值守人员、电力设备、能源负荷等资源的分配和调度进行优化管理，同时建立可泛化的值守人员业务能力综合评估体系，考察工作情况并给出建议和指导。

1.2 阐述项目成果对该现状和技术发展的作用；

本研究拟构建面向台区资源精益化、灵活化的多目标调度模型以及台区网格化配电设备运行模型，融合报修数据、天气、设备情况、办电业务、电力负荷等多源数据对台区资源进行实时调度和分配，网格化台区资源，平衡作业设备与电力载荷之间的供给需求，调动与协同负责各个网格的值守人员，明确任务目标、清晰分工、反馈值守实况，通过科学的、高效的管理模式，及时更换存在安全隐患的电力设备，增强台区电力系统运行的安全性和稳定性。

在优化调度和网格管理的前提下，最大程度的保障了电力信息的合理规划、人员的及时分配，而且有利于利用科学合理的数据实现台区的本质安全，降低电力事故的发生。这些研究成果可以帮助电力企业提升智能管理和风险防范能力，推进智慧电网的建设，实现企业的安全、智能的经营和管理目标。因此，国网公司多维数据交叉融合的台区网格化智能优化管理的实现对推进电力行业的智能化、安全化具有十分明显的现实意义和实际应用价值。

1.3 分析成果应用和推广的途径；

本项目研发的基于“多维数据交叉融合的台区网格化智能管理”的优化调度模型和设备运行模型，兼具智能化、可泛化、准确度高等特点，发展潜力大。模型算法可以通过嵌入系统的方式推广到目前电力网络中已部署的台区管控系统中，应用过程中，项目成功主要实现台区资源的优化调度和配置功能。

本项目研究成果成功应用后，降低了以往由于对台区资源调度不合理、分配不善造成的经济损失和安全隐患，可依托项目成果，在电网公司、发电企业乃至与电力相关的企业进行推广。

1.4 分析成果推广后的直接和间接效益。

配电台区作为电网结构中的终端环节，有着基数大、成分复杂的特性，对其进行精细的能效管理与有针对性的网络结构优化，能够有效的降低整体电网的技术线损和管理线损。各级供电公司若以配电台区精细化管理为目标，建立相关的智能管控系统，则可以提升台区资源的利用效率，提高企业利润的同时降低安全隐患。

该技术以自主知识产权为产品，向电力行业内部进行推广应用，服务对象为各级配电台区。以武汉地区一供电分区为例，使用台区资源多目标优化模型大约可以减少30%人力成本，事故停电概率降低40%，配电网综合线损降低0.2%，该分区一年售电量约为5000万度，人力成本约为50万元，年平均停电10次且单次停电带来经济亏损4万元，则一年可节约成本5000×0.6×0.2%+50×30%+10×4×40%=37万元。如推广至各供电分区（按40分区计算），则每年可产生经济效益：37×40=1480万元。随着电网的不断发展，人民群众对电能的依赖性更强，项目对国民经济的贡献更加明显。

1. 国内外研究水平综述

2.1 与项目研究内容紧密相关的技术发展历史的简要回顾；

随着计算机技术和通信技术的发展，我国电力企业的信息化水平经过数十年发展，逐步提高。回顾我国电力企业信息化建设的历史，其发展于上世纪，当时还处于初步的应用阶段，一直到上世纪年末，我国开始进行了真正意义上的电力企业信息化建设。到如今，我国的电力企业信息化水平已经发展到了一定程度，相对比较完善，己经在科研、设计、生产、经营管理等各个领域受到非常广泛的应用。由于信息技术和网络技术突飞猛进的发展，电力企业的信息化水平也得到了质的飞跃，同时管理信息系统的应用广度以及深度已经发展到了一个很高的水平。但是，我国的电力企业在配电台区资源管理信息系统的应用情况，因当初没有形成统一的标准，所以是比较混乱的。

在电网结构中，作为终端项台区，其高效节能的管理是十分重要的。随着计算机的应用普及，目前大多数电力企业所负责的台区管理数据资料已开始采用计算机数据系统管理，已进入网络管理时代。不少电力企业使用监控终端设备实时台区监测变压器的运行工况，发现并处理其异常的运行状态，对其运行过程中的重要参数以及用电信息进行实时数据采集，用于对配网进行优化分析，监控终端设备对提供供电可靠性、供电质量、服务质量、企业经济效益和管理水平具有重要意义，而建设智能配电台区是连接配电和用电两大环节的重要枢纽，其发展和建设意义重大，特别是我国计划全面建设统一坚强智慧电网，在技术和装备上全面达到国际先进水平，因此，建设多功能智能配电台区对于建设具有中国特色的智慧电网具有重要的推进作用。

国家电网公司提出的“大运行”体系中，明确指出台区调度自动化系统，必须同时具备电网的实时调度和变电集中监控两项功能。调度自动化技术是伴随着通信技术、电网发展、电网调度控制技术、电力系统远动技术等的不断进步而产生发展，并形成的一套辅助调度与监控人员工作的自动化系统。我国的电网调度自动化系统，主要经历了以下四个时期的发展阶段：

第一个时期，20 世纪 70 年代至 80 年代之间，在华北京津唐电网投入运行，自行开发出的第一套调度自动化系统，并投入了基于专用操作系统和专用机的数据采集监控系统 SCADA，实现传统的“四遥”：遥测、逐信、遥调、遥控功能，但是这个时期的控制系统过分地依靠调度员的经验。

第二个时期，20 世纪 80 年代至 90 年代之间，随着我国的计算机技术与通信技术的快速发展，出现了基于通用计算机，集中式的能量管理系统（EMS）/数据采集监控系统 SCADA采用调度主机双机热备用系统，并且开始实用化部分 EMS 应用软件，由负荷预测、网络拓扑、状念估计、调度员潮流等构成 EMS系统。无人值班站和集控站的控制方式出现在电网运行管理模式中。

第三个时期，上个世纪 90 年代到 20 世纪末之间。随着我国关系数据库技术和分布式的计算机网络的迅速发展，出现了开放的、应用范围广泛的网络SCADA/EMS 系统，此阶段采用的数据库为商用关系型数据库，而且台区调度自动化系统是基于 RISC 图形工作站的统一支持平台的功能分布式系统，具有先进的图形显示技术，采用更加丰富和完善的 EMS 应用软件，调度自动化系统这一阶段可以被称为真正数据采集监控系统（SCADA）/能量管理系统（EMS），是电力系统调度自动化系统的主要发展阶段：

到现在为止是台区电网调度自动化系统的第四个时期，目前以电网调度集成的系统，是一套集成了公共信息平台，广域监测系统（WAMS），EMS，配电网管理系统（DMS）等综合技术的系统。这个时期的电网调度自动化系统，在公共对象请求代理体系结构（CORBA）的基础上，以满足安全分区和安全保护要求，加入开放式的设计理念，遵循可缩放矢量图形（SVG）标准和IEC61970 的公共信息模型（CIM）/组件接口规范（CIS），实现可以扩展应用软件的功能，满足维护及遥控要求，满足电力市场，EMS 网上查询，可以为电力市场条件电源用户以及电力系统提供可靠稳定的技术支持平台，能够满足电力企业自动化系统丰富的电网分析应用软件运行。在电力一次系统设备装置快速发展的推动下，调度自动化系统向着数字化、标准化、智能化、网格化、集成化、市场化的方向迅猛发展。

上世纪的 50 年代，首次提出了台区电网调度自动化系统的概念，随着科技的推动，由经验型的台区调度自动化系统发展成为科学型自动化系统。60 年代末美国的调度系统开发出第一套调度自动化系统，开始与远动技术相结合，计算机技术引入调度系统。随着科技的发展，调度自动化系统集成了安全预测分析的功能，不再只是具有功能简单的安全监视功能，实现了电网调度自动化技术发展的巨大飞跃。

2.2 国内外研究水平的现状和发展趋势；

供电系统可分成两类：居民用电系统，为普通市民生活提供保障，商业企业用电系统，为工商业生产提供电力。当到达用电高峰，例如到了夏季或冬季，居民用电超过电力系统负荷时，为了确保居民用电，电力调度部门可以采用电力调度的方式，利用限制工业用电的方法来将电力释放给居民使用。

一般而言，目前电力公司会对各个变电场所进行监控，例如采用视频监控的方式，主要是用摄像头进行视频采集，再部署视频服务器平台，将采集到的监控视频传输到电力系统中，进行实时监控，出现问题后可以及时维修。

经过半个多世纪的发展，信息系统建设已经深入到社会生产和人民的生活中了，原本信息与管理系统是主要研究信息系统建设、实施和决策支持这些技术层面的部分，目的是要取代原有的手工操作部分。但是随之发展，信息系统也逐渐运用到管理的部分中来，现在，在电力生产和调度领域中，由于电子技术和通信技术地发展，发达国家已经较早地使用到了信息管理技术，建构出一套电力现场监控和数据采集系统。这样一来，电厂和各级变电站的数据都能采集并且传输到数据中心。操作和管理者直接能获取现场设备信息，减小了相应的数据采集工作，大大提高了工作的效率与收集数据的准确度。但是随着现场数据量的增大，传统的单一计算中心已经无法承担相应的计算负荷。目前采用多级调度的体系结构来解决这个问题，把数据收集放在前置机中，再传输到中心计算机进行处理。由于上个世纪七十年代西方发生了若干的重大电网事故，严重影响了社会的正常运转，供电安全问题也被摆上了台面。学者们提出了要在电网控制中心建设能够具有电力故障预警、电力调度功能的电力信息管理系统。而目前由于电力系统数据十分庞大，电力系统的紧急控制和恢复功能仍然还在研究的阶段。

同时在电力调度的过程中，电力负荷预测是一个关键的部分，在电力调度的过程中，需要能预测出电力的负荷，这样才能实现电力的合理调配。而同时，根据前所累积的历史电力数据，我们可以通过数据挖掘的方法进行分析，从而实现对电力负荷状态的预测由于目前已经积累了大量的电力历史数据，可以采用数据挖掘技术对电力数据进行合理分析，实现电力负荷的预测，帮助实现电力调度的智能化。

为了提高我国目前的电力调度的运行效率，使其满足我国日益成长的用电需求，目前我国相关的部门已经制订了《全国电网调度自动化规划目标》，在这个目标下我国的电力调度自动化随着国家的重视，已经有了长足的进步和发展。经过这几十年来的发展，电力调度管理系统也从主要关注生产控制转向以生产管理为中心，自动化调度为核心的综合性电力信息管理系统。

2.3 介绍国外研究机构或者公司对本项目的研究情况；

2005年，美国在能源政策法案（Energy Policies Act of 2005）中提出将对需求侧响应（Demand Response，DR）这一技术提供大力支持，这一法案极大地加速了美国在电力交易中引入DR技术。次年，美国能源部在发表的报告中指出，用户对不同时段，不同购电成本的不同响应和当电力系统安全运行受到威胁时对于激励所做出的负荷需求量的改变这一行为定义为需求侧响应。需求侧响应的实施不仅增加了用户侧和发电侧的经济收益，也为电力系统供需调节提供了更多途径，使得电网可靠性的到提升。需求侧响应作用于用户侧，改变负荷在时间上的分布情况，使得负荷曲线与电源侧出力曲线变化趋势更加贴合，提高风、光资源的消纳率。需求侧响应与电源侧的互动配合已成为实现含风电、光伏配电网电力供求平衡的有效途径。

2008 年国际大电网会议（CIGER）中的 C611工作组发布了“主动配电网运行与发展”的研究报告，正式提出了主动配电网（active distribution network, ADN）的概念。ADN相比于传统配电网其智能化程度更高，使得分布式电源，储能设备和柔性负荷在接入 ADN后是可控的，并且分布式电源与储能设备能为电网提供大量的无功备用，使得电网无功调节容量更加充足，为平抑间歇性分布式电源出力带来的电压波动提供了有力支撑，AND对于源-储-荷三者的可调性大大丰富了配电网运行控制的方式，提升了新能源和可控资源的利用率。ADN对于传统配电网的另一个优点是其对各类信息的交互能力更强，其具备先进的计量装置与通信设备是得不同利益主体之间的信息互动更加高效、方便和友好。

Tan Zhongfu 从弹性矩阵的角度构建了多能量需求响应模型，然后，在考虑经济和环境因素下，建立了园区综合能源系统的绩效评价指标，最后使用多目标粒子群优化算法与模糊理论相结合对构建的模型和指标进行了分析。Igor R.S中提出基于实时电价的基于偏好的需求响应多目标优化模型，来解决住宅负荷管理问题。论文以最小化相关成本、减少对用户造成的影响和减小发电产生的污染者三者为目标构建模型，并使用 NSGA-III 算法对优化模型进行求解。Muhammad Muzaffar Iqbal使用灰狼混合优化算法，对存在储能设备和光伏发电的家庭进行优化调度，模型以最小化能耗成本和峰值能耗为目标，通过考虑实时价格、峰值电价和居民消费者的个人偏好进行仿真，验证了所提出方案的有效性。Chengliang Wang 提出了一种基于不同场景需求响应的智能电网负荷最优控制算法。根据智能电网的信息采集功能，计算出负荷变化率，调整负荷集群的数量，以实现不同场景下智能电网的最优负荷控制。

2.4 介绍国内其他研究单位对本项目的研究情况。

伍惠铖针对拥有多个售电商智能小区提出一种考虑用户自由选择售电商权利，将用户与售电商之间各自追求利益最大进行建模,得到一种考虑负荷转移和多重博弈的智能小区需求响应策略。罗鑫采用混沌烟花算法（C-FWA）对需求侧资源和电源侧出力进行综合优化，充分发挥“削峰填谷”的作用来提高电网运行的经济性。陈厚合综合考虑风电预测误差、负荷波动情况以及电机非计划停运不确定性因素对旋转备用的需求，以总费用最低为目标函数建立优化模型，获得各时段旋转备用容量。李凌昊考虑了电网调度与负荷聚集商之间的关系，针对日前风电价格的不确定性建立日前调度模型求解，在降低系统综合运行成本的同时增加负荷聚集商的收益。邓婷婷通过分时电价和中断负荷使得用户侧负荷曲线的到优化，从而缓解风电的反调峰给系统带来的调峰压力。刘宝林将空调和电动汽车需求响应资源纳入日前-日内-实时3 种时间尺度调度计划中，并根据能源预测信息和电价信息逐级进行优化，使运营商利益最大化。朱兰建立了计及可中断负荷的特定时段联络线削峰填谷以及联络线波动最小的多目标调度策略数学模型, 仿真结果表明该模型在明显降低运行成本的同时减少了联络线波动对上级电网的影响。陈永椿考虑计及需求响应微电网调度策略,提出了基于现货市场经济调度和基于安全约束滚动调度的两级优化模型。确保在长时间与短时间两种时间尺度上达到负荷响应最优。梁俊文基于分区协调控制和凸优化的思想，提出了一种主动配电网分布式无功优化控制方法。王勇建立了区内集中式、区间分布式的 ADN分区分布式协调控制架构,并基于等网损微增率准则提出ADN 分布式无功优化方法。李云龙提出了两层嵌套的优化调度模型，内层以配电网功率和电压波动最小为目标，外层以最小微网成本和环境惩罚费用为目标，实现多微网的经济优化调度。李颖以主动配电网系统网损和节点电压偏差最小为目标函数的多目标优化模型，结合层次分析法和熵权法将多目标函数问题转化为单目标函数问题，使用混沌粒子群优化算法优化广义电源的有功功率输出量。陆善婷对于高渗透率分布式光伏接入配电网易造成电压越限的情况，提出“自然电压”的概念,将网损最小化转化为基于"自然电压"的目标函数,建立起节点电压和分布式光伏无功调节量之间的定量关系,使目标函数易于计算。李扬引入区间数以描述DG出力和随机负荷的不确定性,建立了以区间数表示的网络损耗为目标的主动配网供电路径优化模型;结合邻域搜索以及克隆选择算法对所提出的模型进行求解。符杨提出了一种含中压（三相三线）和低压（三相四线）的多电压等级不平衡主动配电网电压无功自适应协调优化控制策略。通过中压侧传统三角形开关电容器与低压侧新兴分布式光伏逆变器的协调控制,实现主动配电网优化调度。曾鸣提出了通过提高需求侧和供应侧资源的协调可控性来应对当前电力系统双侧随机问题的新思路, 并构建了以系统成本及污染排放最小化为目标函数的优化调度模型。廖剑波提出了一种"源-网-荷"相协调的主动配电网经济调度方法。以分布式电源、储能、灵活网络拓扑、柔性负荷削减与平移为调度的控制手段,计及购电成本、损耗成本、需求侧管理成本,建立了以配电网运行成本最低为目标的经济调度模型。

1. 项目的理论和实践依据

3.1 项目研究内容的原理简述

基于多维数据交叉融合的台区网格化智能优化管理策略采用地理信息系统（GIS）实现对台区设备的网格化，将采集到的所有网格内的设备信息作为主要因素，同时考虑保修数据、天气、办电业务、节假日等因素，以单个设备最大载荷、总人力成本、总线损、设备使用个数等目标作为优化对象，考虑短期和长期相结合的优化模型，使用小波变换和粒子群优化的灰色神经网络进行优化求解并进行电力负荷预测，预测的结果将影响当前的配电设备分配以及值守人员的工作安排。

其中，电力负荷预测的结果同时依赖于长期和短期的负载变化，短期的符合属于对不确定性时间的研究，受时间和地点的影响较大，如夜晚电力负载大于白天，闹市负载大于居民区，长期的负荷预测节日、气候的影响比较大。这样一来，值守人员的工作时间也将主要集中与电力负荷大的时段。网格化后的各组设备各司其责，为了避免过载造成电力事故，将单个设备最大载荷考虑到优化目标并最大程度做到设备的高效、最近供能。

将值守人员负责的辖区的电力设备使用情况、维修情况、顾客的反馈情况等作为打分标准，建立评估体系，提出改进措施。

**3.2 项目研究内容的理论或者实践依据；**

**3.2.1 台区资源精益化和灵活化的多目标优化调度技术**

（1）连续小波变换

如果满足如下条件

 （1）

则称

 （2）

代表的连续小波变换。其中代表小波变换中的尺度参数，代表小波变换中的平移参数[49-50]。通过调节尺度参数与平移参数，能够得到信号在任意时刻的频域信息。由于、是连续变换的，因此整个过程也被称为连续小波变换。

若将连续小波变换以内积的形式表示，则

 （3）

其中

 （4）

由式（4）和式（3）可得，小波变换反映了函数与的关联程度，当尺度参数被调小时，的整体趋势表现为收缩状态，能够反映出的局部细节；当尺度参数被调大时，的整体趋势表现为延伸状态，能够反映出更多的整体信息。因此在小波变换中，通过调节尺度参数不仅能够表示出信号的局部细节，而且可以表示出信号的整体信息。

（2）多分辨率分析

是一种结合了多分辨率分析和数字滤波器的快速算法，运算流程类似塔式结构。以一段序列长度为的信号为例，使用快速傅里叶变换法（FFT）需要进行次加法和次乘法，使用离散傅里叶变换法（DFT）需要进行次加法和次乘法，而使用快速离散小波变换法（）则只需要进行次加法和次乘法，计算量更少，运算时间复杂度更低。具体的多分辨率小波分解示意图如下所示。



图1 多分辨小波分解示意图

图1表示的是离散序列在时域内的小波分解过程。其中，表示原始序列，表示低通滤波器，表示高通滤波器，表示按下标准采样。利用卷积可以求取标准1下的低频序列和高频序列。进一步增加分解层数，也会被进一步分解，得到标准2下的低频序列和高频序列。

将小波分解得到的各层序列经过处理后变换回一个完整的时间序列的过程即为小波重构，小波重构是小波分解的逆运算。具体过程是将各个频率分量相邻的数据进行补零操作以降低重构带来的信号失真，再卷积求和。小波重构的过程如下图2所示。



图2 多分辨率小波重构示意图

小波变换分析法尤其适合处理电力负荷时间序列，通过小波分解的负荷序列被投影到不同的尺度空间上，代表了组成原始序列中的各个频率分量。不同频段的分量将展现出不同的信号特征和对应的不同间隔范围的时间周期特性。原始设备电力负荷序列包括非平稳信号，经过小波分解后得到的频率分量相较于原始负荷序列将更加平稳，对各频率分量分别进行预测后再进行重构所得的最终结果可以提高明显改善模型的预测准确度。

（3）灰色系统

灰色系统理论（）是我国邓聚龙教授于年提出的以解决不确定性问题为目的的系统工程理论。它为少经验，贫数据的问题开辟了一种新的研究解决方法。灰色系统理论适合挖掘出现有数据资料中的隐含信息，将已知信息设为白色，未知信息设为黑色，通过寻找并建立已知信息与未知信息的关系来使得所研究问题不断得到白化的过程。如今，理论正在被广泛地尝试应用在各个领域之中并且取得了一定的成就。



图3 灰色系统模型

利用灰色系统理论的基本预测过程如下：

设原始序列为，为了提高序列内部的关联性，对进行一次累积加成得到，其中，和的变换关系如下式

 （5）

即

 （6）

对累积加成后新序列建立相应的微分方程如下

 （7）

求得微分方程的解为

 （8）

预测值为

 （9）

灰色预测模型是一种非线性单序列预测方法，预测类别属于拟合外推类预测方法。利用灰色模型进行预测具有如下特点：

1、灰色预测模型十分简单，容易学习和使用。在计算机计算水平高速发展的背景下，利用灰色理论进行预测工作的时间得到了进一步的缩短。

2、灰色预测模型对历史数据样本的体量要求不高。在所收集的历史数据较少同时需要保证一定预测准确度的情况下，应用灰色预测模型较为合适。

3、灰色预测模型对数据内部的分布规律没有限制，处理不确定性问题的能力较强。通过对原始序列的累加、累减或映射的生成方式，可以得到相较于原始序列内部规律和关联性更强的生成序列。

4、灰色预测可以结合其它的预测方法共同使用，结合后的模型集合了不同方法各自的优势，可以有效降低误差，提高整体的预测准确度。

1. 灰色神经网络

灰色系统理论具有模型简单、对历史数据样本的体量要求不高且适合处理不确定性问题等优点，但是灰色系统理论不适用于呈非指数增长规律的问题。神经网络对于非线性问题具有较强的处理能力但是模型的收敛速度慢并且容易陷入局部最优值。两种方法由于都具有良好的结合性，因此学者研究提出了将两种预测方法进行组合，在保持各自优势的同时弥补了单独使用一种预测方法在某些情况下的不足，即灰色神经网络模型。

为了便于描述，对节灰色系统理论中的各个变量以更加简洁的表示形式进行替换，原始序列替换为，经过一次累计加成得到的序列替换为，预测的结果数值替换为。当输入的样本数据的个数为n时，灰色神经网络模型的微分方程式为

 （10）

式中，代表网络模型的输入变量，代表网络模型的输出变量，是微分方程式的系数。式（10）的时间响应表达式为

 （11）

令，则公式（11）可以变换为

 （12）

将变换后的公式（7）映射到一个扩展的神经网络结构中，即构成了一个灰色神经网络（）。利用灰色神经网络预测短期电力负荷的模型拓扑结构如图4所示。



图4 灰色神经网络的拓扑结构

在图4中，是归一化原始序列并经过累加处理所得到的输入变量，表示灰色神经网络的输出结果，、、、分别表示灰色神经网络的四个层级，等表示灰色神经网络中层与层节点间的连接权值。通过灰色神经网络进行短期电力负荷预测的具体的流程如图5所示。



图5 灰色神经网络预测短期电力负荷流程图

（4）粒子群算法

在算法中，种群是由若干个粒子组成的，粒子的个数定义为种群大小或者规模。每个粒子包括一个位置矢量与一个速度矢量，它的维数由问题解空间的维数所决定。现在假设在一个维数为的目标搜索空间当中存在一个群体，共包含了个粒子，其中第个粒子的位置可以表示为，，其速度也是一个维的向量，可以表示为。在当前时刻，第个粒子所搜寻到的最好的位置为，整个粒子群搜寻到的最好的位置为。每一次的迭代对象都是选择在当前时刻下具有最优解的粒子，粒子的速度和位置更新公式如下：

 （13）

 （14）

当时，；当时，。式中，，加速常数，和为非负常数，和为分布于之间的随机数。是第个粒子在当前时刻的位置，是第个粒子在当前时刻下所搜寻到的最优位置，是在当前时刻下整个种群中粒子所搜寻到的最优位置，是第个粒子的当前速度。为了防止粒子速度过大，对其设置了速度上限，规定。

的算法流程图如图6所示，其主要的计算步骤如下：

（）随机初始化种群中各个粒子的速度和位置，并设定加速常数、和最大的迭代次数。

（）计算得到各个粒子的适应度函数值。

（）对比粒子的适应度值与粒子当前的个体最优解，如果适应度值更加优秀，则替换粒子的个体最优解为当前的适应度值，否则不做改变。

（）对比当前种群中最佳的适应度值与全局最优解，如果适应度值更加优秀，则替换种群的全局最优解为当前的群体最优适应度值，否则不做改变。

（）更新粒子的速度和位置；

（）判断是否满足寻优结束的终止条件，即是否达到了最大的迭代次数或结果满足预先设定的阈值范围内，如果满足终止条件，则寻优过程结束；如果不满足终止条件，则进行下一次迭代并从步骤（）开始继续搜索寻优。



图6 粒子群算法流程图

**3.2.2 台区网格化配电设备运行模型**

（1）电力设备GIS网格化

要想实现对台区内电力设备的全面且精细化管理，就需要合理网格化台区内电力设备，让值守人员负责各自的辖区已达到最优管控的目的。地理信息系统（GIS，Geographic Information System）是一门综合性学科，结合地理学与地图学以及遥感和计算机科学，已经广泛的应用在不同的领域，是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统，随着GIS的发展，也有称GIS为“地理信息科学”（Geographic Information Science），近年来，也有称GIS为"地理信息服务"（Geographic Information service）。GIS是一种基于计算机的工具，它可以对空间信息进行分析和处理（简而言之，是对地球上存在的现象和发生的事件进行成图和分析）。 GIS 技术把地图这种独特的视觉化效果和地理分析功能与一般的数据库操作（例如查询和统计分析等）集成在一起。

地理信息作为一种特殊的信息，它同样来源于地理数据。地理数据是各种地理特征和现象间关系的符号化表示，是指表征地理环境中要素的数量、质量、分布特征及其规律的数字、文字、图像等的总和。地理数据主要包括空间位置数据、属性特征数据及时域特征数据三个部分。空间位置数据描述地理对象所在的位置，这种位置既包括地理要素的绝对位置（如大地经纬度坐标），也包括地理要素间的相对位置关系（如空间上的相邻、包含等）。属性数据有时又称非空间数据，是描述特定地理要素特征的定性或定量指标，如公路的等级、宽度、起点、终点等。时域特征数据是记录地理数据采集或地理现象发生的时刻或时段。时域特征数据对环境模拟分析非常重要，正受到地理信息系统学界越来越多的重视。空间位置、属性及时域特征构成了地理空间分析的三大基本要素。由电力设备的密集程度、所属街区以及人口密集程度等因素，通过GIS网格法，图7给出了电力设备网格化的示意图。



图7 台区电力设备GIS网格化示意图

**3.2.3 数据多时间尺度特征人员调控模型**

（1）BP神经网络

BP神经网络（）也称为反向误差传递神经网络，是一种基于误差反向传递算法机制优化网络各层节点的多层前馈型结构。神经网络早在年由和等科学家提出，经过近几年的研究和改进，以其较强的非线性处理能力和可扩展性的网络拓扑结构被广泛的应用在各个研究领域。神经网络模型的内部各层次的结构如图8所示。



图8 BP神经网络模型

由图8可知，神经网络结构由一个输入层节点，一个输出层节点和若干个隐含层节点所组成。输入数据中的各个维度依次对应输入层的每一个节点，首先从输入层向隐含层传递，通过激活函数（一般使用型激活函数）的处理后，再沿着隐含层到输出层的方向继续传递，在输出层得到网络训练的结果。如果结果的误差没有达到预设的阈值或迭代次数不够，则将误差值信号按输入信号的路径反向传递回去，同时对各层之间的连接权值的进行修正处理，通过不断的迭代此过程，实现将实际误差值控制在预设的误差阈值范围以内。

神经网络的数学理论推导如下。设存在数据样本的数量为，数据样本的结构为。设存在一个网络仅有一个输出，和个网络节点且任意一个节点的输出表示为。输入数据与网络的具体关系是对于任意一个输入，其网络输出为，节点的输出为，类似于人工神经元模型，节点的输入可以表示为

 （15）

把误差函数定义成，其中，表示网络的实际输出，定义，，且，则有

 （16）

当是输出层节点时，

 （17）

当不是输出层节点时，则有

（18）

如果整个网络的层数为，第一层和最后一层分别表示输入层和输出层，则神经网络算法的具体流程为：

第一步，随机初始化连接各层节点之间的网络权值；

第二步，重复以下过程，直到结果实现收敛：

1、对于到

（a）正向：分别计算，和的值；

（b）反向：从第层到第2层进行反向计算；

2、对于同一节点，利用式（17）和（18）得到；

第三步，调整优化网络权值，，，其中，。

**3.2.4 值守人员业务能力综合评估体系**

台区值守人员业务能力应包含专业技术水平、现场应变、风险防范、现场指挥管控等诸多方面。如图9所示，专业技术水平要求值守人员掌握作业现场有关设备的正确操作，现场应变要求值守人员根据现场出现的不确定情况作出快速准确的应对措施，风险防范要求值守人员能精确找出电力设备可能出现的故障，一旦失控就可能导致安全事故的发生。因此，值守人员业务能力的评估应该包括如上所述方面。



图9值守人员物业能力综合评估体系

**3.3 项目研究的关键和难点**

**3.3.1 项目研究的关键点**

（1）电力设备负荷预测

电力设备负荷预测已经与实现电力系统的管理现代化紧密地联系在一起，是电力系统安全稳定运行和经济效益提升的重要保证，对电力系统的安全稳定运行与国民经济的发展具有十分重要的影响，尤其是当今在我国电力行业快速发展，智能电网不断完善的背景下。台区内电力设备的负荷预测直接决定多目标优化调度模型的准确性，包括值守人员的合理分配，因此，电力设备负荷预测是本项目应用的一个关键点。

（2）台区电力设备网格化

台区电力设备的网格化有助于台区对各部分电力设备进行分辖区管理，网格化需要考虑诸多因素，如：设备所处位置、集中使用时段、服务范围等因素，合理准确的网格化是最大化人力和提高设备使用寿命的有力保障，因此台区电力设备的合理网格化是本项目的一个关键点。

（3）值守人员业务能力综合评价标准

值守人员业务能力综合评估体系需要专业人员对于作业现场中人-机-环-管等信息的综合理解，合理给出业务能力包含的各方面综合能力的评判标准，形成科学的评估体系，便于后期评价模型能高效的评估值守人员的业务能力以及给出相关建议。因此，如何给出值守人员业务能力综合评价标准是本项目的一个关键点。

（4）多时间尺度特征人员调控模型

多时间尺度特征必然会引入由短期时间特征带来的不确定性，异常属于记忆错误数据的出现很大程度地限制了模型的准确性，对模型的抗干扰能力带来了极大的挑战。因此，如何设计出抗扰能力优越的调控模型式本项目研究的一个关键点。

**3.3.2 项目研究的难点**

（1）如何选取合适的多源数据和目标来实现台区资源的精益化和灵活化调度

台区资源的精益化和灵活化调度需要对电力设备进行准确网格化，选取直接或间接影响负荷分配的自变量数据以及因变量目标，需要引入大量相关领域的新型研究方法，并且台区内电力设备数量大，分布不均且密集，这给现有的方法提出了较大的挑战。

（2）如何选择合适的电力设备信息小波分解层数

如果分解层数较多，那么对应于每一层分量都需要引入符合其特点的模型，工作量较大，整体较复杂。而且，由于各个模型自身无法避免的存在一定的误差，在各层分量的具体分析过程中累积起来的误差将导致预测结果偏差较大；如果分解层数较少，那么信号中代表各个频率的分量将不能有效的被分离。因此，选择合适的小波分解层数达到计算量和模型精度的折中是本项目的一个难点。

（3）异常数据的识别和修正处理

当智能电表在采集电力设备负荷数据时遇到突发情况可能会导致所记录的数据相对于实际用电数值有所偏差，导致采集和计量结果的不准确，甚至会影响电力负荷预测模型和多目标优化调度模型的建立。因此，如何补救异常数据造成的模型不准确性，是本项目应用的一个难点。

（4）模式识别算法需要大量的有价值的原始数据进行训练，是否能满足要求？

业务能力评估流程中不仅需要合理的评判标准，还需要大量的评估案例对评价模型（模式识别算法）进行训练，确保分类算法的分类准确性。

1. 项目研究内容和实施方案

4.1 基于多维数据交叉融合的台区网格化智能管理优化研究内容详细说明

**4.1.1 基于小波分解和灰色神经网络的****台区资源多目标优化调度技术**

以灰色神经网络为基础，利用小波变换中的多分辨率分析将电力设备负荷由粗到精地分解成为各个具有不同频率特征的分量，并用ADF单位根检验的方法选择最合适的小波分解层数。以分解后的小波分量、报修、天气、办电业务、节假日等特征数据为特征构建灰色神经网络负荷预测和资源调度模型，同时利用粒子群算法进行权值阈值的优化以解决局部极小值的问题，最后通过小波重构获取负荷预测结果和目标优化结果。

**4.1.2 基于GIS的网格化配电设备运行模型**

以地理信息系统（GIS）技术为基础，将配电设备的分配地图以设备所处位置、集中使用时段、服务范围等因素为基准进网格化，整理各配电设备的作业时间、维修时间和报废处理时间等数据，作为优化配置的基础。

**4.1.3 基于BP神经网络的多时间尺度特征人员调控模型**

研究长期和短期时间尺度相结合的BP神经网络人员调控模型，以配电设备电力负荷预测的结果为基础，考虑维修数据、天气、节假日等因素的影响，将它们作为神经网络的输入层，将各网格辖区的人员配置作为模型输出，将现在的人员分配记录在配电设备的网格下重规划，以此数据作为模型的训练集，得到准确性高、鲁棒性好的人员分配调度模型。

**4.1.4 基于模式识别的值守人员业务能力综合评估体系**

研究现有深度学习算法的典型应用模型，选取适合台区值守人员业务能力评估的精细的深度学习模型；以现有的台区值守人员业务能力评价方案以及相应的评价案例作为训练样本，研究测试选取的深度学习应用模型的最优网络架构；选取合适分类器连接深度学习应用模型，研究测试深度学习模型在业务能力评估的识别准确率。

4.2 要描述具体的理论研究步骤，现场试验的地点和试验计划。需要建设试验手段的项目，要给出试验手段的结构和作用；

项目整体目标：基于多维数据交叉融合的台区网格化智能优化管理策略采用地理信息系统（GIS）实现对台区设备的网格化，将采集到的所有网格内的设备信息作为主要因素，同时考虑保修数据、天气、办电业务、节假日等因素，以单个设备最大载荷、总人力成本、总线损、设备使用个数等目标作为优化对象，考虑短期和长期相结合的优化模型，使用小波变换和粒子群优化的灰色神经网络进行优化求解并进行电力负荷预测，预测的结果将影响当前的配电设备分配以及值守人员的工作安排。将以往的台区作业场景下大量的人工数据统计资料录入至智能分析算法的数据库作为训练库，通过智能分析算法中的业务能力评估对各值守人员的业务工作进行考量并给出指导意见。

课题实现的核心工作主要有：多数据交叉融合的台区资源多目标优化调度；配电设备网格化运行模型；多时间尺度的人员调度模型；值守人员业务能力综合评估体系，技术方案如图10所示：



图10 多维数据交叉融合的台区网格化智能优化管理方案

**4.2.1 基于小波分解和灰色神经网络的台区资源多目标优化调度技术**

灰色系统理论的方法简单易懂，它为少经验，贫数据和不确定性的问题开辟了一种新的研究解决方法。但对于呈非指数增长规律问题的预测精度较低，而神经网络算法处理非线性问题的能力很强但是其收敛速度慢、易产生局部极小化的问题，因此，本设计综合两种预测方法各自的优势，构建灰色神经网络模型对经过小波变换后得到的能够反映不同负荷特性的各频率分量分别预测，同时利用粒子群算法进行权值阈值的优化以解决网络容训练过程中容易陷入局部极小化的问题，最后经过小波重构对电力负荷进行预测以及多目标进行优化，实现台区资源的多目标优化调度。其电力负荷预测流程图如图11所示。



图11 台区资源多目标优化调度模型总体流程图

负荷以及多目标周期的特性在频域上表现为能量集中于特定的某一些频率范围内。因此，在频域角度上可以将这些长短时间周期看作成不同的频率分量，各频率分量相互叠加共同组成了电力负荷序列。研究负荷预测与目标优化的思路正好相反，可以通过合适的时频分析法将组成负荷及其他数据序列中各频率分量拆解出来，根据各分量所表现出的不同特征分别建立适合的模型进行预测与优化，最后再将各分量的预测与优化结果进行重构，得到最终的预测与优化结果。由于电力负荷以及其他数据中的一部分频率分量在时域上具有很强的随机性与非平稳性，传统的傅里叶时频分析法虽然简单方便，但不适用于分析具有此类特征的序列。

小波变换法是分析时域中的暂态信号的有效手段，是处理非平稳和非线性信号的强大工具，可以方便快速地实现对信号由粗到精的分析。小波变换分析法尤其适合处理电力负荷时间序列，通过小波分解的负荷序列被投影到不同的尺度空间上，代表了组成原始序列中的各个频率分量。不同频段的分量将展现出不同的信号特征和对应的不同间隔范围的时间周期特性。原始电力负荷和数据序列属于非平稳信号，经过小波分解后得到的频率分量相较于原始负荷序列将更加平稳，对各频率分量分别进行预测后再进行重构所得的最终结果可以提高明显改善模型的预测和优化的准确度。

小波基函数和分解层数的选择是否合适对于最终负荷预测的结果是否准确至关重要。本设计采用了基于检验求取小波最佳的分解层数的方法，利用检验来确定最佳的小波分解层数的过程如下：

（1）设置层数；

（2）对负荷序列进行层小波变换；

（3）通过ADF检验评估小波分解后各分量的平稳性；

（4）如果各频率分量显示平稳，则是最佳的小波分解层数，否则，返回步骤（2）。

用于电力负荷预测与多目标优化的模型架构包括递归预测体系结构和并行预测体系结构架构。二者的区别是在递归预测体系结构中所预测的负荷在时间上是连续的，前一时刻的输出即作为后一时刻模型的输入，预测模型与优化模型需要动态的变化。而在并行预测体系结构中，根据每日负荷在同一时刻的相似性和规律性，对一日之中的24个小时的时刻点分别建立预测模型进行单独预测。本设计使用并行预测与优化体系结构，能够减少样本数据量，减少样本训练和执行时间，是模型变得更加简单高效。

影响电力负荷预测与优化效果的相关因素众多，选择合适的输入变量不仅有助于预测模型的准确度的提高，也能令网络结构变得相对简单。如果输入的变量的考虑不充分，将不足以反映出负荷和其影响因素之间的非线性映射关系。但是，预测模型与优化模型的输入变量也不是越多越好，引入过多的和负荷与优化目标相关性较小的变量可能导致训练样本数量不足以有效的覆盖输入空间，反而给预测与优化结果带来较大偏差。因此，选择灰色神经网络的输入变量应尽可能地考虑与电力负荷特性密切相关的因素而忽略对于电力负荷和优化目标的变化影响较弱的因素，本设计选取报修数据、天气和设备情况等数据作为输入变量，力求客观全面地反映真是用电情况，提高预测与优化的精度。

**4.2.2 基于GIS的网格化配电设备运行模型**

本设计基于电网GIS 地理图开发，采用公共信息模型对配电设备进行建模，通过信息交互总线自动从各业务系统获取相关信息。以B/S三层架构进行设计，后台使用JAVA开发，前台使用FLEX技术基于电网GIS地理图背景进行界面开发，可以在地理图中以不同颜色标示当前配电设备运行状态，以网格化区域的形式实现精益化管理，通过颜色变化实时掌握配网设备运营状态。

其运行模型设计方案如下：

1. 在电网GIS地理图中按占地面积划分网格，选取关键业务视角，所述关键业务视角包括：台区故障次数、台区重/过载比例、高损台区比例、供电可靠性、重要/敏感户数、最大负荷密度；
2. 分别计算在一段时间范围内每个关键业务视角在每个网格内的可量化指标，并根据每个关键业务视角分配的权重比例，计算出每个网格内的配电设备状态总指标；
3. 按关注程度将配电设备运行状态总指标分为5个等级，用从浅到深的颜色来填充网格，颜色越深表示该网格的电网运营情况最为薄弱或最值得关注，如果某个网格内没有电网设备则没有颜色。

其中划分网络包括网格划分以及网格内配电设备统计两个方面。对于指定的台区配网，将指定台区地理范围按照30\*30米划分网格，确定每一个网格的左上角及右下角地理坐标，从电网GIS中查询指定台区内所有配电设备，并确定所有配电设备的地理坐标。并获取台区内配电设备的业务视角可量化指标，包括配电设备故障次数、配电设备重/过载比例、高损配电设备比例、供电可靠性等数据。

**4.2.3 基于BP神经网络的多时间尺度特征人员调控模型**

利用BP神经网络算法进行多时间尺度特征人员调控时遵循“选训练再调控”的原则。人员调控的过程是首先进行样本训练集的构建，包含分解后的小波分量、报修、天气、办电业务、节假日等特征数据为特征，再利用训练集中的样本对BP神经网络模型进行训练，由此得到BP神经网络人员调度模型，最后利用测试集的样本对调度模型进行测试。如图12所示为基于小波变换和BP神经网络算法的多时间尺度特征人员调度模型。



图12 基于BP神经网络的多时间尺度特征人员调控流程

具体步骤如下：

（1）训练样本和测试样本的构造。根据多源数据包含的类别和重要程度，选择合适的时间窗，以便控人员调度的分配在时间窗内，改变其中相关参数的数值，获得相对完整的调度样本训练集和测试集。

（2）调度特征提取。利用小波变换的多分辨率分析，得到不同频带下的信号特征信息，不同通频带范围内的能量分布作为特征向量，作为BP神经网络人员调度模型的输入。

（3）BP神经网络人员调度模型参数的优化。利用自适应惯性权重PSO算法对BP神经网络算法中惩罚参数和核函数参数进行优化。

（4）多时间尺度人员调度分配。将样本测试集的数据输入到训练好的BP神经网络模型中，对测试结果进行分析。

**4.2.4 基于模式识别的值守人员业务能力综合评估体系**

研究现有深度学习算法的典型应用模型，选取适合台区值守人员业务能力评估的精细的深度学习模型；以现有的台区值守人员业务能力评价方案以及相应的评价案例作为训练样本，研究测试选取的深度学习应用模型的最优网络架构；选取合适分类器支持向量机连接深度学应用模型，研究测试深度学习模型在业务能力评估的识别准确率。

支持向量机是一种快速且高效的分类工具，目前已经广泛运用于故障诊断的分类识别中。SVM 是以统计学习理论（statistical learning theory，SLT）为基石，结合数学理论发展和建立起来的机器学习算法，SLT在进行状态估计和模式识别时需要的样本容量相对较小，因此体系中的回归和分类问题时能够达到结构风险最小化。算法在进行样本集的训练时能有效地避免容易陷入局部极小值的缺点，能跳过局部最优解，保证求得的极值解是全局最优解。支持向量机能根据小样本容量，在保证样本训练集的高精度学习和样本测试集的高正确率分类之间寻求最优解决方案，以便获得更好的泛化能力。

SVM在解决分类识别问题时，有如下的优点：

1）对训练样本容量要求不高。相对于其他种类的模式识别算法，SVM算法对训练样本数的要求相对较少，并不是指样本绝对数量的少。

2）能够完成非线性不可分样本分类。在解决数据非线性分类问题时，SVM通过引入核函数将非线性数据映射到高维空间中，再通过设定松弛变量完成样本的分类。

3）能够实现高维数据样本的分类识别。

（1）线性分类问题

对于确定的训练样本集，表示维样本容量，，为类型标签，取值为。定义在在维空间中，为最优超平面的法向量，为偏移量。那么线性判别的函数表达式，能够准确区分的分类线方程为。对于线性样本的分类问题，其二分类问题的公式如下：

 （19）

为用于区分样本属性的标识符，当样本属于类别时，那么，样本属于类别时，那么。上述判别式可以可并为一个式子，即

 （20）

式（20）称为分类的判决函数。根据STL相关知识，如果超平面能够将训练样本集的非线性数据完全分开，且与超平面距离最近的样本数据的间隔达到最大，这样的超平面称为最优超平面。

如图15所示，SVM算法的核心就是要寻找两个分类分界面之间的最大间隔，即寻找到最优超平面。

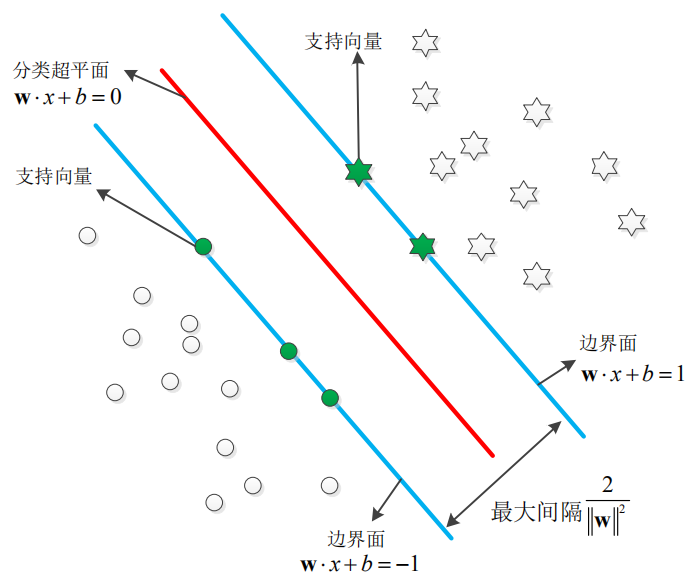


图13 SVM线性分类示意图

由图13可知，两个分类边界面的距离为，要使得取得最大值，即取得最小值。根据分析，对于SVM解决二分类问题，可以转化成为求解带约束条件的最小值问题。公式描述如下：

 （21）

对于凸二次规划问题存在全局最优解，解决带约束条件规划问题的最小值求解问题，可以定义拉格朗日函数：

 （22）

即：

 （22）

式中，为拉格朗日乘子，。

分别对变量和求偏导，并令其偏导为零。即





根据偏导数等于零、拉格朗日函数以及规划约束条件，上述较为复杂的求解问题转化为相对简单的对偶问题，函数及约束条件如下表示：

 （23）

上述规划问题的解需要满足下式：

 （24）

对于样本集中的大部分数据，。只有少量在超平面附近的样本数据满足，这些样本数据构成了最优超平面，位于该最优超平面的点称为支持向量。由此可见，仅靠少量的支持向量就可以确定最优超平面，SVM算法的优点就表现在样本容量较小的分类问题。那么最优分类判别函数为：

 （25）

式（25）中，和均为对应参数的最优解。

（2）非线性分类问题

在实际情况中，样本集的数据大都存在非线性的情况，上文提到的最优分类面无法将两类数据完全分开。在允许样本出现错误分类的情况下，通过引入松弛变量将上述方法扩展到非线性问题中，使得算法在经验风险以及泛化能力上达到平衡。引入松弛变量后，则分类约束条件为：

 （26）

当样本点能够正确分类时，，当样本点出现错分时，，加入分类错误的惩罚系数后，目标函数变为：

 （27）



图14 非线性样本映射示意图

如图14所示，对于非线性样本的分类，SVM 巧妙的运用核函数，对非线性样本完成从低维到高维特征空间的映射，核函数可以用函数内积的形式进行表示，关系式为，在高维特征空间里中也能用线性求解优化问题，其优点在于用于非线性变换的具体函数形式不必知道，核函数的引入降低了计算复杂度。

此时，优化问题转化为：

 （28）

分类判别函数为：

 （29）

4.3 理论研究和试验内容与项目总目标的因果关系；

以灰色神经网络为基础，利用小波变换中的多分辨率分析将电力设备负荷由粗到精地分解成为各个具有不同频率特征的分量，并用ADF单位根检验的方法选择最合适的小波分解层数。以分解后的小波分量、报修、天气、办电业务、节假日等特征数据为特征构建灰色神经网络负荷预测和资源调度模型，同时利用粒子群算法进行权值阈值的优化以解决局部极小值的问题，最后通过小波重构获取负荷预测结果和目标优化结果。

以地理信息系统（GIS）技术为基础，将配电设备的分配地图以设备所处位置、集中使用时段、服务范围等因素为基准进网格化，整理各配电设备的作业时间、维修时间和报废处理时间等数据，作为优化配置的基础。

长期和短期时间尺度相结合的BP神经网络人员调控模型，以配电设备电力负荷预测的结果为基础，考虑维修数据、天气、节假日等因素的影响，将它们作为神经网络的输入层，将各网格辖区的人员配置作为模型输出，将现在的人员分配记录在配电设备的网格下重规划，以此数据作为模型的训练集，得到准确性高、鲁棒性好的人员分配调度模型。

现有深度学习算法的典型应用模型，选取适合台区值守人员业务能力评估的精细的深度学习模型；以现有的台区值守人员业务能力评价方案以及相应的评价案例作为训练样本，研究测试选取的深度学习应用模型的最优网络架构；选取合适分类器连接深度学习应用模型，研究测试深度学习模型在业务能力评估的识别准确率。

通过对以上四个主要技术的研究并建立完善的多源数据交叉融合的台区网格化智能优化管理模型，实现对台区资源的优化管理。

4.4 写明理论和试验研究的工作量；

多目标优化调度在电力系统行业应用的相关背景的调研，20人日。

多目标优化调度在台区资源分配的应用研究，20人日。

台区值守人员操作行为和业务水平评估调研，20人日。

1）台区配电设备网格化运行的研究

台区配电设备分布情况的确立，20人日；

台区配电设备网格化模型建立，15人日。

2）台区资源多目标优化调度的研究

台区资源数据的采集以及样本库建立，10人日；

台区资源多目标优化调度的算法设计，10人日；

台区资源多目标优化调度的运行与调整，20人日；

3）台区值守人员调控模型的研究

多时间尺度特征调控模型的文献阅读，20人日；

台区资源的多时间尺度特征的提取算法设计，30人日；

针对值守人员与网格化设备运行模型联合优化调度算法设计，30人日。

针对值守人员与网格化设备运行模型联合优化调度算法调试，25人日。

4）值守人员业务能力评估体系的研究

电力系统行业值守人员技术守则和安全规章制度的阅读研究，30人日；

台区值守人员业务能力评价标准建立，20人日；

台区值守人员业务能力评价标准指标细化，30人日；

台区值守人员业务能力评估体系的研究，30人日。

撰写《基于多维数据交叉融合的台区网格化智能管理优化研究》研究报告，70人日。

设计实现台区网格化配电设备运行模型，40人日。

设计实现台区资源精益化和灵活化的多目标优化调度模型，60人日。

撰写、投稿核心期刊或三大检索论文2篇，申请发明专利3项，200人日。

4.5 需要多家单位共同承担的项目，需要写明各家的分工、职责和提供的成果，如何组织和协调；项目的组织方式；合作方式、知识产权和成果分享的范围；

无

4.6 需要与国外合作，要写明与外方的合作方式、知识产权和成果分享的范围，及以前的工作联系；

无

4.7 注明本项目研究需要购买仪器、设备的型号、产地、性能及需要购买的原因；

无

4.8 外委的工作内容和工作量；

无

4.9 对于装置、设备开发的项目，要提出装置或设备的开发计划及设计方案。

无

1. 预期目标和成果形式

5.1 阐明项目研究预期达到的目标；

基于报修数据、天气、设备情况、办电业务等数据，研究台区资源精益化和灵活化的多目标优化调度技术，分析多维数据间的耦合关系；基于对数据多时间尺度特征构建人员调控模型，实现网格化台区资源实现精益化和灵活化的多目标优化调度；构建台区网格化配电设备运行模型，实现自动消缺建议；研究可泛化的值守人员业务能力综合评估技术，建立评估体系，提出改进措施。

5.2 明确叙述提高研究成果的形式，理论研究报告、全套设计制造技术、实用装置或软件等；要求成果提供的形式能够被其他研究人员掌握，使成果的使用权具有可转移性。

（1）提交《基于多维数据交叉融合的台区网格化智能管理优化研究》专题研究报告。

（2）建立台区资源精益化和灵活化的多目标优化调度模型。

（3）建立台区网格化配电设备运行模型。

（4）申请发明专利3项。

（5）发表中文核心期刊或三大检索期刊论文2篇。

1. 项目承担单位的条件

6.1项目负责人

本项目是通过分析多维用电数据制定智能用电管理策略。为保证本项目团队的整体研究能力，项目负责人应当具有高级职称，来自知名高校或研究结构，具有多年的从业经验并主持过相关研究课题。项目负责人许贤泽教授基本情况如下。

许贤泽，工学博士，教授，博士生导师。武汉大学电子信息学院教授委员会副主席、武汉大学珞珈特聘教授、教学名师、湖北省教学名师工作室负责人，国家教育部仪器类教学指导委员会委员。一直从事电力系统大数据、光机电一体化方向的教学与研究工作，进几年主持的部分相关科研项目如下：

1. 2017-2018年 国网浙江省电力公司电力科学研究院项目“基于互联网+岸电运营的数学分析方法及商务运营模式适用性和补贴政策研究”
2. 2018-2019年，中国电力科学研究院项目“用电负荷与移动数据的时空关联、时空趋势分析”
3. 2017-2018年 “973”国家重大基础研究项目子课题“TBM滚刀磨损与护盾区域围岩变形监测方法研究”
4. 2020-2023年 国家自然科学基金面上项目“磁悬浮微动工作台刚度特性及扰动抑制方法研究”

所获得部分奖励如下：

1. 2014年测绘科技进步二等奖，排名第1；2020年测绘科技进步二等奖，排名第2
2. 武汉大学教学351人才珞珈特聘教授
3. 2017年宝钢优秀教师奖
4. 2018年湖北省教学名师、“湖北名师工作室”主持人

发表的相关论文、撰写的专著如下：

1. Xu Xianze, Meng Zhaorui. A hybrid transfer learning model for short-term electric load forecasting[J]. Electrical Engineering, 2020: 1-11.
2. Meng Zhaorui, Xu Xianze. A Hybrid Short-Term Load Forecasting Framework with an Attention-Based Encoder–Decoder Network Based on Seasonal and Trend Adjustment[J]. Energies, 2019, 12(24): 4612.
3. 许贤泽, 谭盛煌, 刘静,等. 基于并行模式挖掘和路径匹配的用户位置预测[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2020, 041(006):767-770,777.
4. 许贤泽, 刘静, 施元,等. 基于Spark和梯度提升树模型的短期负荷预测[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2019(5).
5. 许贤泽, 方屹涛, 郑成林. 基于5G新场景下的传播模型校正与链路预算[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2020(2).
6. 许贤泽 ; 戴书华《精密机械设计基础》（第3版）国家十二五规划教材北京: 电子工业出版社, 430000, 2015.9.8

6.2项目研究人员

本项目在进行过程中需要使用先进的数据处理方法制定智能管理策略，对参与人员的专业背景和研究能力有一定要求。项目的主要研究人员需要具有高级工程师及以上职称或者博士及以上学历。研究人员的专业背景应主要限制在电力系统及自动化、信号与信息处理、仪器科学等相关专业。本项目的主要参与人员徐逢秋基本情况如下。

徐逢秋，武汉大学电子信息学院特聘副研究员，武汉大学-加拿大阿尔伯塔大学联合培养博士，武汉大学、加拿大维多利亚大学博士后，IEEE协会会员。一直从事电力系统瞬态仿真、并行计算、硬件在环仿真方面的研究。

几年主持的部分相关科研项目如下：

1. 2018年1月~2019年6月 ，基于硬件在环仿真技术的磁悬浮定位系统控制方法研究，第62批中国博士后基金面上资助2017年8月~2020年12月，直流式磁悬浮平面电机精密运动控制中的快速建模与动态解耦方法研究(51705375)，国家自然科学青年基金
2. 2017年10月~2018年10月，音频设备多物理场仿真技术研究，华为终端技术有限公司横向课题
3. 2015年5月~2017年5月，FPGA并行计算在高光谱图像处理中的应用研究(LSIT201507)，中科院西安光机所重点实验室开发基金项目，4万元

所获得部分奖励如下：

1. 2014年测绘科技进步二等奖，排名第5；2020年测绘科技进步二等奖，排名第10
2. 2019年度博士后海外研修计划，机械电子方向全国仅4人

发表的相关论文如下：

1. Fengqiu Xu，Venkata Dinavahi，Xianze Xu，Parallel computation of wrench model for commutated magnetically levitated planar actuator，IEEE Transactions on Industrial Electronics，2016，63(12)：7621~7631
2. Fengqiu Xu，Venkata Dinavahi，Xianze Xu，Hybrid analytical model of switched reluctance machine for real-time hardware-in-the-loop simulation，IET Electric Power Applications, 2017, 11(6): 1114~1123.
3. Fengqiu Xu, Yun Lv, Xianze Xu, Venkata Dinavahi. FPGA-Based real-time wrench model of direct current driven magnetic levitation actuator, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018,65(12). 9635~9645.

6.3实验室条件

本项目组主要研究人员为武汉大学电子信息学院，依托学校超算中心完成相关工作，针对项目需要完成多源大数据处理，武汉大学具有CPU、GPU和KNL异构结构的超级计算平台完成数据处理。其由445台CPU服务器、168台KNL服务器和125台GPU服务器组成，总体计算能力理论峰值为4600万亿次。该平台需要满足各学科领域对于大规模数据处理、大规模科学计算、云计算服务需求。超算中心现场照片如下图所示。



另外，本研究团队的工作环境优越、科研氛围浓厚，研究设备齐全。目前，申请人所在工作部门具有本项目实施所需要的设备。其中包括：用于配置控制算法实时处理器cRIO-9041及其配套的数据采集卡、具有更高数据处理能力的数据处理器PXI-e8880、高性能实时处理FPGA平台。分别如下图所示。

6.4理论研究环境

研究团队需要研究过电网需求侧电负荷与环境数据、人员数据、移动数据等大数据内容的时空关联和趋势。在相关研究领域有SCI期刊论文、中文核心论文及专利等理论成果和知识产权。本项目还涉及电网网格化智能管理策略的优化，需要研究团队承担过电网管理策略定制方案方面的项目研究，并发表过相关核心论文。针对这些问题，本研究团队的理论研究基础包括：

1. 采用灰色理论的关联分析方法提取用电负荷、天气、移动数据集中的主要影响特征，去除无用特征，定量地描述了事物或因素之间相互变化的情况，变化的大小、方向与速度等的相对性。
2. 采用基于模糊C均值和梯度提升决策树混合模型的方法，对历史相似数据进行提取并训练负荷预测模型，完成特征数据集的数据聚类，证明引入移动数据可以有效增强负荷预测精度。
3. 量化岸电投资回报期望，采用零和博弈分析岸电定价策略和投资回报率的关系，通过凸优化理论获得最佳的岸电定价策略。
4. 采用Hadoop搭建大数据开发环境。通过Hadoop中的HDFS（分布式文件系统）将多台服务器连接起来构建大数据存储环境，并利用HBase作分布式存储数据库对实时抽取的移动数据及电力数据进行分布式存储，采用Spark作为大数据并行计算框架，将计算结果存储在Impala数据库中。使用Spring、SpringMVC、Mybatis等JAVA WEB开发框架搭建大数据分析可视化WEB界面供操作人员进行数据的查看与下载等操作。

上述相关研究能够为本工作的顺利开展打下坚实基础。

1. 项目的进度安排

| **序号** | **时间段** | **内容** | **考核指标** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2021.01~2021.03 | 召开项目启动会，进一步明确分工界面、责任划分、时间进度；根据分工要求开展调研、收资，提出项目实施总体方案及各课题实施详细计划。 | 完成项目前期调研及收集资料 |
|  | 2021.04~2021.06 | 研究基于机器学习算法的台区资源多时间尺度的特征提取方案 | 完成台区资源关于时间的特征选取 |
|  | 2021.07~2021.11 | 归纳整理配电设备优化运行准则，建立台区配电设备网格化运行模型 | 完成台区配电设备网格化运行模型，申请发明专利一项及相关一篇论文的投稿 |
|  | 2021.12~2022.01 | 确定需要使用的台区资源数据，提出台区资源数据到优化目标间的样本库建立方案 | 完成台区资源数据的采集以及样本库建立 |
|  | 2022.01~2022.04 | 确定台区资源多目标优化调度的算法，完成算法的运行与调整 | 完成台区资源多目标优化调度的设计，申请发明专利一项及相关一篇论文的投稿 |
|  | 2022.05~2022.07 | 完成台区值守人员业务能力评估体系的建立并测试 | 完成台区值守人员业务能力评估体系建立，申请发明专利一项 |
|  | 2022.08~2022.09 | 撰写《基于多维数据交叉融合的台区网格化智能管理优化研究》研究报告 | 完成台区网格化智能管理的优化方案及管理方案的制定流程 |
|  | 2022.10~2022.12 | 课题验收准备、提交项目研究成果及总报告 | 提交报告、算法模型，完成验收 |

1. 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** |  |  |  |  |
| 1.人工费 | **20** |  |  |  |
| (1)专职研究人员费 |  |  |  |  |
| (2)临时性研究人员费 |  |  |  |  |
| (3) 劳务外包人员人工费 |  |  |  |  |
| 2.设备使用费 | **1** |  |  |  |
| (1)现有仪器设备使用费 | 0 |  |  | 附件1 |
| (2)现有软件使用费 | 1 |  |  |  |
| 3.业务费 | **24.4** |  |  |  |
| (1)材料费 | 19.5 |  |  | 附件2 |
| (2)资料费 | 0 |  |  |  |
| (3)印刷出版费 | 0.3 |  |  |  |
| (4)专利与知识产权事务费 | 1.5 |  |  |  |
| (5)会议费 | 1 |  |  |  |
| (6)差旅费 | 2.1 |  |  |  |
| (7)培训费 | 0 |  |  |  |
| 4.场地使用费 | **1** |  |  |  |
| (1)场地物业费 | 1 |  |  |  |
| (2)场地使用租金 |  |  |  |  |
| 5.专家咨询费 | **3** |  |  |  |
| **（二）间接费** |  |  |  |  |
| **（三）外委支出** |  |  |  |  |
| 1.外委研究支出 |  |  |  | 附件3 |
| 2.仪器设备租赁费 |  |  |  |  |
| 3.外协测试试验与加工费 |  |  |  | 附件4 |
| **（四）税金** | **0.6** |  |  |  |
| **合 计** | **50** |  |  |  |

**以下部分仅供参考：**

**1 人工费：**

人工劳务资本：博士后不超过2000元/人月，博士研究生不超过1000元/人月，硕士生不超过500元/人月。总计不超过10万。

软件开发费用：10万。

**2 设备使用费：**

软件设备费：购买Matlab、Labview、VC++平台测试软件1万元

**3 业务费：**

**1）材料费：**

材料费主要用于研究台区配电设备网格化方案和以及台区资源多目标优化调度的所需的各种原材料、辅助设备以及消耗材料等，合计19.5万。具体列支如下：

基于视频信息的人体行为识别的开发研究所用高性能CPU、高性能存储介质、高性能网络服务交换机、及其他设备材料等。

**2）出版物及专利与知识产权事务费**

合计1.8万元。

**3）会议费**

主要用于在课题研究期间，计划邀请相关高校和多目标优化调度分析专家进行项目开题会、研讨咨询会和项目评审会等，预计约1万元。

**4）差旅费**

主要用于国内调研、参加学术会议交流以及现场调试出差，预计约2.1万元。

1. 项目组成员开展业务调研费用：1.8万元

两年内，项目组成员拟外出进行业务调研4人次，每次5天。主要用于与国内相关学者交流。

交通费按照1500/人次算，具体计算方式如下：3人次×（1500/人次（往返交通费用）+5天×（260+140）（住宿+补贴）/人次/天）=0.65万元

拟外出两次：2×0.65万元=1.3万元

1. 市内交通费：0.25万元×2=0.5万元

小计：1.3万元+0.5万元=1.8万元

**4 专家咨询费**

拟聘请国内外相关专家来实验室或现场做技术指导，预计费用约3万元。

1. 申请单位领导审查意见

|  |
| --- |
| （对经费预算是否合理，有无其他经费来源，能否偿还贷款，能否保证研究计划实施所需的人力，工作时间等基本条件提出具体意见）  四号仿宋\_GB2312（下同） |
| 单位领导（签字） 单位（公章） 年 月 日 |