

基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式^①



田永明, 梅成磊, 马 强, 赵海洋

(国网乌鲁木齐供电公司, 乌鲁木齐 830002)

通讯作者: 田永明, E-mail: sirao485949@163.com

摘 要: 为了有效运维管理配电网, 获取配电网运行状态的全部数据以及配电网中电力设备可能出现异常及故障的情况, 提高配电网经济效益, 提出基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式. 通过互联网平台融合其他专业系统数据, 构成配电网智能化运维管理平台, 采用归一化谱聚类算法, 分析多维状态量的历史正常数据和异常数据, 获取历史数据曲线的形状系数和轮廓系数, 提取多维状态量故障特征, 利用知识发现子模块与决策器设计子模块, 分析配电网中电力设备健康度等级, 根据关联规则挖掘, 获取不同电力设备的重要度指数, 评估运维决策风险, 实现配电网智能化运维决策管理. 实验结果表明: 所研究模式能够有效获取配电网运行的实时数据, 及时发现可能出现异常及故障的电力设备, 提高配电网经济效益.

关键词: 互联网; 平台; 配电网; 智能化; 运维管理

引用格式: 田永明, 梅成磊, 马强, 赵海洋. 基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式. 计算机系统应用, 2021, 30(6): 100-106. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7949.html>

Intelligent Operation and Maintenance Mode of Distribution Network Based on Internet Platform

TIAN Yong-Ming, MEI Cheng-Lei, MA Qiang, ZHAO Hai-Yang

(State Grid Urumqi Power Supply Company, Urumqi 830002, China)

Abstract: An intelligent operation and maintenance mode of the distribution network based on the Internet platform is proposed to obtain all the data of the operation status of the distribution network as well as the possible anomalies and faults of the power equipment, thus improving economic benefits. An intelligent operation and maintenance platform of distribution network is built after the data from other professional systems is integrated into the Internet platform. The normalized spectral clustering algorithm is used to analyze the historical normal and abnormal data of multi-dimensional state variables, obtain the shape coefficient and contour coefficient of historical data curves, and extract the fault characteristics of multi-dimensional state variables. Besides, the submodules are designed on the basis of the submodule of knowledge discovery and a decision-maker to analyze the health of power equipment in the distribution network. According to the association rule mining, the importance index of power equipment is determined to assess the risk of decision-making for operation and maintenance, managing the decision-making for intelligent operation and maintenance of the distribution network. The experimental results show the model collects the real-time data to timely identify the power equipment with possible anomalies and faults, improving economic benefits of the distribution network.

Key words: Internet; platform; distribution network; intelligent; operations maintenance

^① 收稿时间: 2020-09-06; 修改时间: 2020-10-13; 采用时间: 2020-11-17; csa 在线出版时间: 2021-06-01

互联网平台中的知识管理工具能够促进隐性知识的共享,为语音识别、图像识别与自然语言处理等人工智能方面的知识共享提供便利,应用领域非常广泛,其中包括通信与生活服务等行业^[1]。互联网技术能够拓展新的用电渠道,改善与提升用电服务设施,增强信息化程度,提高服务水平^[2,3]。

随着用户逐渐增加的用电服务需求,目前配电网的运维管理水平很难满足其服务需求,其中包括配电网可观可控的覆盖范围较小,缺乏管理能力与分析多元化负荷监控能力,很难满足电动汽车等的迅速发展需求,配电网信息化管理水平较弱,不能实现精准投资提升经济效益^[4]。针对这些问题,提出基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式,所研究模式属于配电网智能管理、分析与决策系统,核心是配电智能化,主线是智能感知、数据融合和智能管理与决策,以互联网技术为支撑,重点分析运检专业数据,融合配电网有关数据,为配电网智能化运维管理提供决策支持,实现配电网精准运维管理,准确投资,提升经济效益。

1 智能化运维管理模式

基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式,通过互联网平台融合其他专业系统数据,实现配电自动化,由设备状态管理、运维管理与运检指标管理构建设备运行管理、在线分析问题与绩效评估的闭环过程,提高配电网运维管理效率与创新发^[5]。图1为基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式结构图。

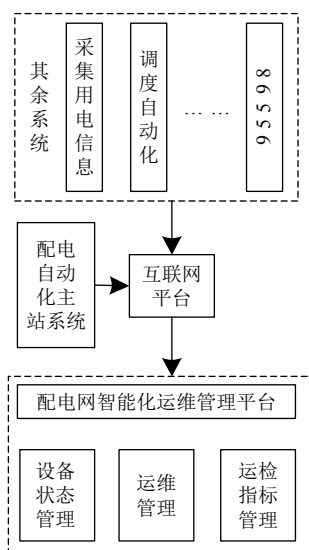


图1 模式结构图

基于互联网配电网智能化运维管理模式,通过整合运检与调控等系统数据,组建以全业务数据中心为基础的企業级跨专业管理模式^[6]。利用纵向管理与横向协同,缩减管理链条,提升响应速度与供电服务管理能力,支持省、市、县三级应用,避免部门间前端整合不充分与专业协同不顺利等问题,实现信息聚集、一口对外、过程管理、协同指挥、风险预警、投资分析与综合评价的全方位管理。

1.1 配电网智能化运维管理平台

配电网智能化运维管理平台是以互联网为核心,组成的开放式平台,包括智能感知层、数据融合层与智能决策层,图2为配电网智能化运维管理平台架构。

智能感知层:集成配电自动化系统、调度自动化系统和用电采集系统等相关数据,通过推送信息和数据总线等方式接入互联网平台。

数据融合层:将整合的数据传入配电网资源中心,清洗及整理相关数据,配电网资源中心属于互联网平台的具体实现。

智能决策层:以互联网平台为基础,通过每种业务管理的需求组建配电网智能化运维管理平台,完成设备状态管理、运维管理与应急管理。

1.2 互联网平台

互联网平台包含支撑层、管理层、应用层与目标层^[7]。图3为互联网平台结构图。

支撑层属于底层技术支持层,包含统一检索技术与数据分析技术等,为管理层与应用层的实现提供数据支持^[8];管理层负责管理互联网接入平台,分配操作权限,实施安全认证,可分析用户行为,获取用户信息,实施信息推送;应用层包含服务应用与功能应用,服务应用是依据实际业务需求,利用接口与营销系统、用电信息采集系统与调度自动化系统等实施对接,实现互联网平台外业务支撑,功能应用指符合客户的账户管理、信息查询、业务办理与在线支付等有关业务功能;目标层为实施应用层后的理想结果,避免重复劳动与提升工作效率。

1.3 运维决策管理

通过知识发现子模块与决策器设计子模块,分析容易出现故障的电力设备集合的健康度以及重要度,利用健康度以及重要度评估运维决策风险,为配电网运维提供决策支持,实现运维决策管理。图4为决策器设计子模块结构图。

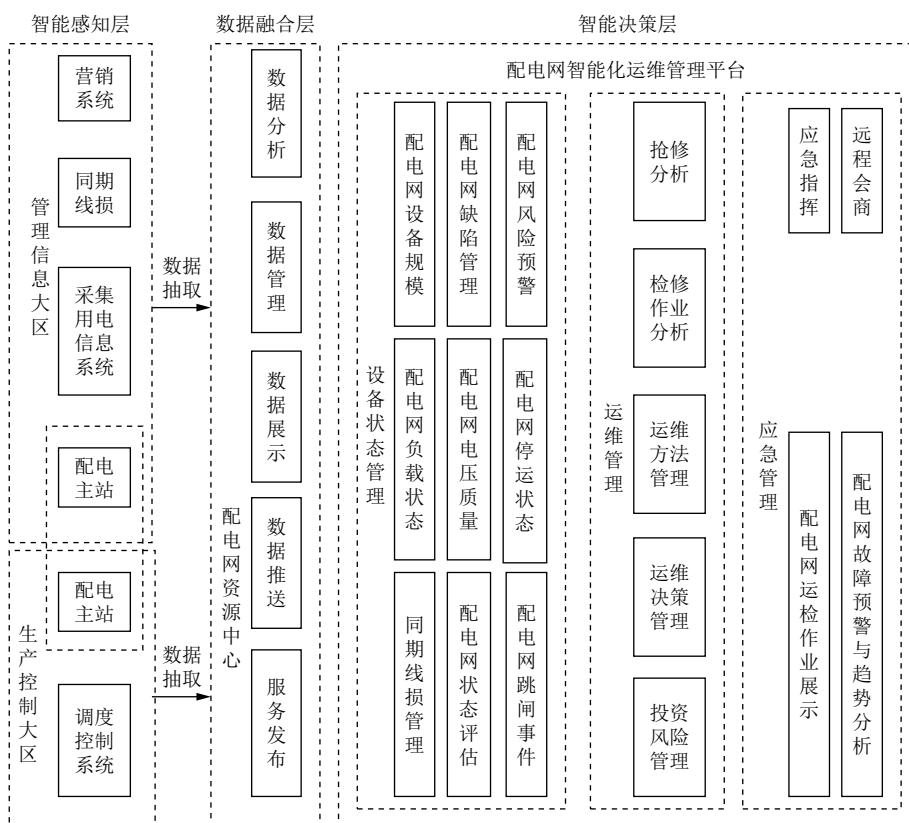


图2 运维管理平台

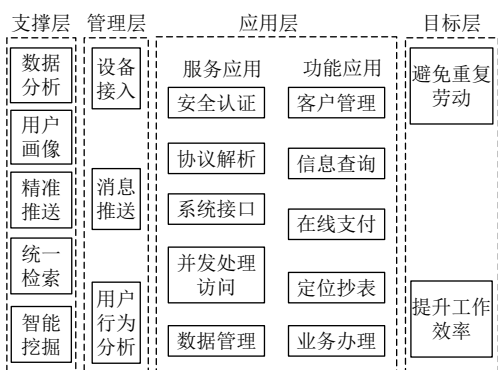


图3 互联网平台结构图

电力设备状态量异常数据信息可通过知识发现子模块获取, 容易出现异常及故障的电力设备集合则由关联规则获取. 决策器设计子模块具有分析与决策功能和风险评估等功能.

1.3.1 提取多维状态量故障特征

采用归一化谱聚类算法, 分析所有采集量集合中单维状态量的正常信息以及异常信息, 计算经验谱分布非随机收敛的密度函数, 设置协方差矩阵的特征值

为目标函数最优值, 通过酉矩阵和奇异化矩阵, 获取特征根概率密度函数, 完成单维状态量故障特征的提取.

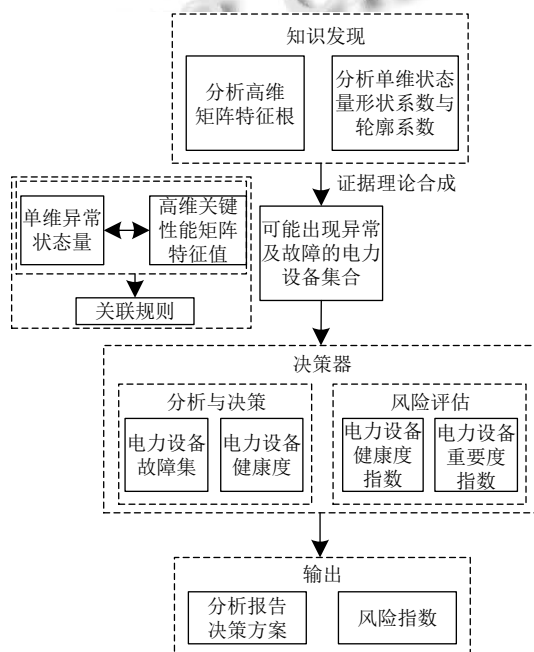


图4 决策器设计模块

$R_{Y \times Y}$ 是 $Y \times X$ 阶非 Hermitian 矩阵 E 的协方差矩阵, 故障断面下采集数据频率是 Y , 故障断面下采集数据时间是 X . 设 $Y \times X$ 阶非 Hermitian 矩阵 E 符合矩阵内元素是独立同分布, 历史正常运行数据 $\mu = 0$, 方差 $\sigma < \infty$. 在 $Y, X \rightarrow \infty$ 与 $Y/X = g \in (0, 1)$ 情况下, g 是高维矩阵分布半径, $f(\lambda_{R_{Y \times Y}})$ 是协方差矩阵 $R_{Y \times Y}$ 的经验谱分布非随机收敛的密度函数^[9], 公式如下:

$$f(\lambda_{R_{Y \times Y}}) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi g \lambda_{R_{Y \times Y}} \sigma^2} \sqrt{(a - \lambda_{R_{Y \times Y}})(\lambda_{R_{Y \times Y}} - b)}, & a \leq \lambda_{R_{Y \times Y}} \leq b \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, 协方差矩阵 $R_{Y \times Y}$ 的特征值是 $\lambda_{R_{Y \times Y}}$, 设置 $\lambda_{R_{Y \times Y}}$ 作为目标函数最优值, 其对应特征向量为最优解向量; $a = \sigma^2(1 - \sqrt{g})^2$, $b = \sigma^2(1 + \sqrt{g})^2$.

$E_{Y \times X}$ 是 $Y \times X$ 阶非 Hermitian 矩阵, 故障断面下采集数据频率是 Y , 故障断面下采集数据时间是 X , 在期望是 0、方差是 1 时, 则矩阵内元素属于独立分布的, 通过酉矩阵 U 奇异化矩阵 $E_{Y \times X}$ 的样本协方差矩阵^[10], 获取等效矩阵 $E_u = U \sqrt{EE^X}$, u 为样本协方差矩阵, 设置 $\tilde{z} = \prod_{i=1}^L E_{u,i}$, 等效矩阵个数是 L , 电力设备是 i , 在 $Y, X \rightarrow \infty$ 与 $Y/X = g \in (0, 1)$ 的情况下, 特征根 \tilde{z} 的概率密度函数如下:

$$f(\lambda_i) = \begin{cases} \frac{|\lambda_i|^{\frac{2}{L}-2}}{\pi g L}, & (1-g)^{\frac{L}{2}} \leq |\lambda_i| \leq 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

高维矩阵特征根 \tilde{z} 分布在半径 $(1-g)^{\frac{L}{2}}$ 和 1 确定的圆环中.

D-S (Dempster-Shafer) 证据理论属于一种推理方法, 用于衡量数据的不确定性^[11]. 在 D-S 证据理论内假设由元素构成假设空间 Θ . 证据 m_1, m_2, \dots, m_n 合成规则公式如下:

$$m(B) = \begin{cases} 0, & B = \emptyset \\ (1-K)^{-1} \sum_{\cap B_i = B} \prod_{i \leq j \leq n} m_j(B_i), & B \neq \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

其中, 证据体是 B ; 基本概率赋值 (BPA) 需符合以下条件:

$$\sum_i m_j(B_i) = 1 \quad (4)$$

$$K = \sum_{\cap B_i = \emptyset} \prod_{i \leq j \leq n} m_j(B_i) \quad (5)$$

其中, 归一化因子是 K ; 证据体是 $m_j(B_i)$.

1.3.2 运维分析与决策

通过出现故障的电力设备运行状态信息判断这个电力设备运行环境的故障程度, 为配电网运维管理提供决策依据^[12,13]. 输入设备健康状态关键特征量, 采用证据理论法, 构建设备健康等级模型, 得到配电网中电力设备健康度等级的定义公式如下:

$$Q_i(t) = \frac{1}{C_i} \ln \left(\frac{\lambda_i + p_i^*}{K_i} \right) \quad (6)$$

其中, 时间是 t ; 电力设备是 i ; 健康度等级是 $Q_i(t)$; 参数分别是 C_i 与 K_i ; 历史故障率是 λ_i ; 出现故障的概率值是 p_i^* .

为确保电力设备健康度取值不超过 100, 可拟合历史故障率 λ_i , 公式如下:

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda_{\min}, & Q = 100 \\ \lambda_c, & Q = 85 \end{cases} \quad (7)$$

其中, 电力设备最小故障率是 λ_{\min} ; 电力设备正常故障率是 λ_c ; Q 值与电力设备健康度成正比.

1.3.3 运维决策风险管理

为避免因电力设备故障所导致的不同危害, 便需制定规范的运维管理策略^[14]. 以确保配电网运行安全为前提, 制定不同电力设备与不同环节的运维检修顺序^[15]. 电力设备的重要度指数是用来表示设备的重要程度, 由关联规则挖掘获取, 为运维管理提供决策依据, 根据配电网设备状态评价指标, 得到重要度指数的定义公式如下:

$$I_i(t) = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{M_2} (\alpha_k(t) W_{i,k}(t))^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{M_2} \alpha_k^2(t)}} \quad (8)$$

其中, 影响因素数量是 k ; 重要度等级是 $W_{i,k}(t)$; 权重是 $\alpha_k(t)$, $\alpha_k(t) \in (0, 1)$; 影响重要度因素总数量是 M_2 .

综上所述, 聚类分析多维状态量的历史正常数据和异常数据, 通过 D-S 证据理论整合单维和多维支持数据, 获取多维状态量故障特征. 利用知识发现子模块与决策器设计子模块, 分析可能出现异常及故障的配电网中电力设备集合的健康度与重要度, 根据关联规则, 获取可能出现异常及故障的电力设备集合, 得到不同电力设备的重要度指数, 评估运维决策风险, 为配电网运维提供决策支持, 从而实现运维决策管理.

2 实验分析

以国网中某省电力公司配电网为实验对象,将本文模式应用于该配电网中,监测与告警该配电网运行状态与异常信息.分析该配电网中一台变压器 2018–2020 年的历史运行状态数据和实时运行状态数据,测试本文模式的有效性.

应用本文模式后,能够有效呈现该配电网的全部信息,其中包括配电网设备规模、供电可靠性、电压质量与客户服务等情况.图 5 为该配电网智能化运维管理界面.

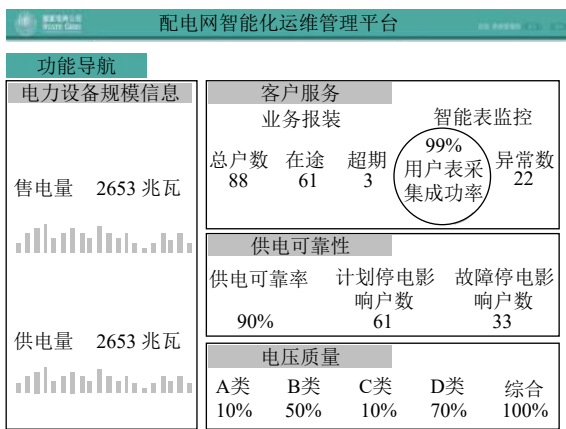


图 5 配电网智能化运维管理平台界面图

配电网电压质量模块能够体现出馈线异常与台区异常等信息,图 6 为配电网电压质量管理模块界面图.

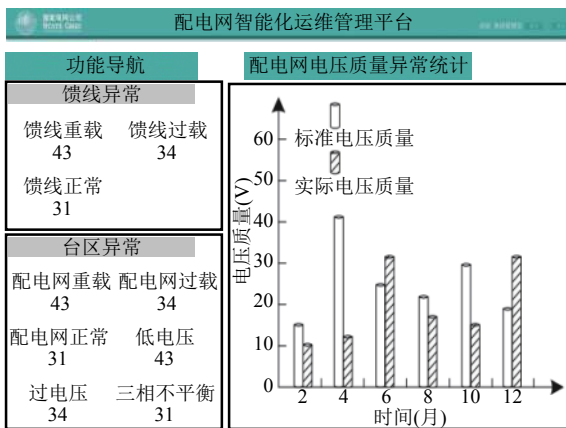


图 6 配电网电压质量管理模块界面图

根据图 5 与图 6 可知,本文模式能够有效获取配电网运行的实时数据,为后续智能化运维决策与管理的在线分析提供数据支持.

因为配电网内的电力设备运行多年,其运行数据

比较全面,电力设备的运行数据能够通过不同方面反映配电网的健康情况和运行状态.利用关联规则构建故障类型和由多维状态量形成的频繁项集间的对应关系,表 1 为变压器故障类型和频繁项集对应关系.

表 1 变压器故障类型和频繁项集对应关系

序号	频繁项集	故障类型
1	出口电流、电压、绕组温度	绕组故障
2	出口电流、电压、绕组温度、CH ₄	短路故障
3	绕组温度、H ₂ 、局部放电、油温	绝缘油劣化
4	油温、局部放电、CO ₂	绝缘油温升过高

利用本文模式分析得出变压器监测超标部分数据,图 7 为实时油温异常监测数据,图 8 为实时局部放电异常监测数据.

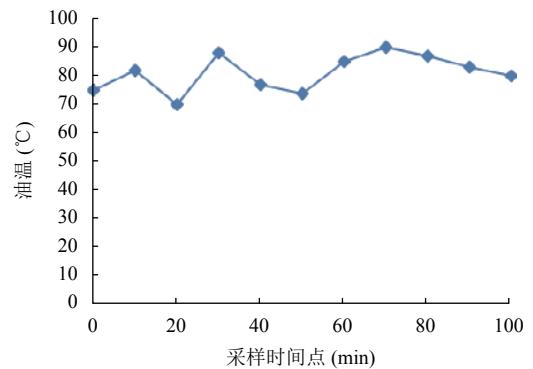


图 7 实时油温异常监测数据

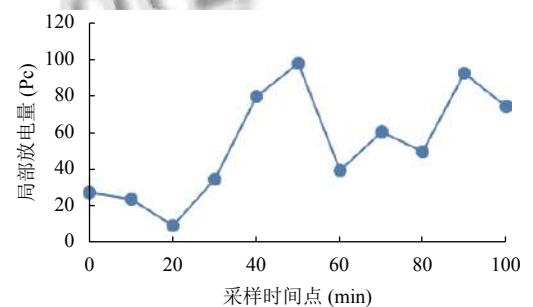


图 8 实时局部放电异常监测数据

结合表 1、图 7 与图 8 能够获取变压器可能出现的异常情况有绝缘油劣化与绝缘油温升异常.以绝缘油劣化情况为例,利用本文模式获取历史正常数据集和实时监测数据集的协方差矩阵特征值的谱分布、高维矩阵特征值圆环散点分布,图 9 为绝缘油劣化的频繁项集样本协方差矩阵的谱分布图.

图9中, pdf表示概率密度函数(probability density function). 根据图9可知, 油温和局部放电异常数据会导致绝缘油劣化关键性能矩阵的数据偏离正常值, 谱半径平均值代表数据偏离正常值的程度, 这两个值成反比. 同理, 获取其余故障类型协方差矩阵的谱分布图. 图10为特征根圆环散点分布图.

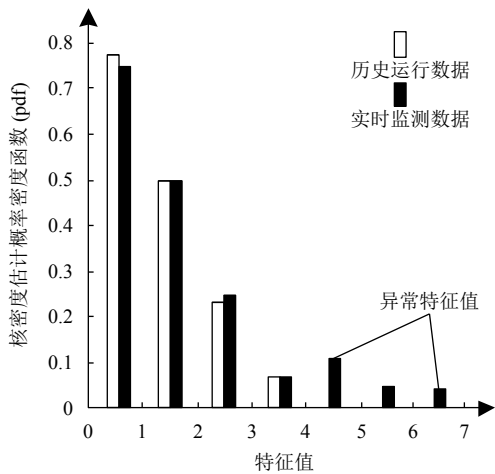


图9 协方差矩阵的谱分布图

根据图10可知, 内环表示油温异常区域, 外环表示局部放电异常区域, 圆环内具有很多特征值, 表明绝

缘油劣化数据已偏离正常值, 由于大部分特征根分布于内环, 所以变压器绝缘油劣化异常状况较为严重. 同理, 获取其余故障类型的特征根圆环散点分布图.

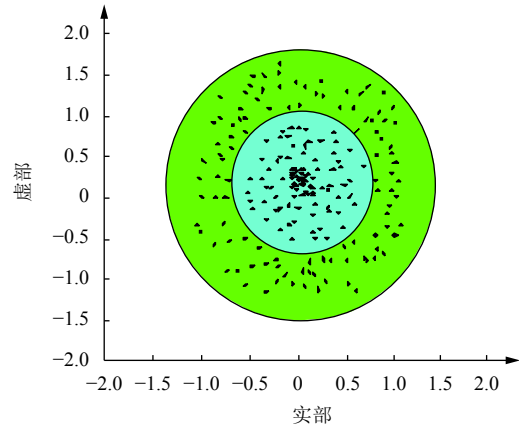


图10 特征根圆环散点分布图

通过关键性能矩阵特征根的分布状况, 能够初步判断变压器异常及故障的情况. 电力设备出现故障类型的排序, 可通过D-S证据理论整合数据集关系获取. 采用本文模式分析历史运行数据, 获取变压器绝缘油劣化故障有关的关联规则挖掘, 表2为绝缘油劣化故障有关的关联规则挖掘.

表2 关联规则挖掘

规则	关联1	关联2	关联3	关联4	关联5
LHS (Left Hand Side, 关联规则的先导)	{油温异常}	{局部放电异常与油温异常}	{局部放电异常与H ₂ 异常}	{局部放电异常与绕组温度异常}	{油温异常与绕组温度异常}
	↓	↓	↓	↓	↓
RHS (Right Hand Side, 关联规则的后继)	{绝缘油劣化}	{绝缘油劣化}	{绝缘油劣化}	{绝缘油劣化}	{绝缘油劣化}
支持度	0.8194	0.1699	0.1813	0.1637	0.1637
置信度	1.0000	0.8682	1.0000	0.8444	0.7761

根据表2可知, 油温和局部放电属于影响电力设备异常及故障的重要状态量. 利用本文模式对表2中异常数据实施挖掘, 获取这两个状态量的单维状态量置信度以及多维关联量置信度. 同理, 获取其余故障类型的油温与局部放电单维状态量置信度和油温与局部放电多维关联量置信度. 通过D-S证据理论整合单维和多维支持数据, 获取变压器的运维决策表. 表3为配电网中变压器运维管理决策表.

综上所述, 本文模式能够有效获取配电网中电力设备可能出现异常及故障的情况, 得到运维管理决策故障类型优先等级, 按照优先等级顺序排查电力设备

故障, 实现配电网智能化运维管理.

通过对比该配电网在2018-2020年不同投资项目中采用本文模式前后收益, 进一步验证本文模式的有效性. 图11为不同投资项目采用本文模式前后收益对比结果.

表3 运维管理决策表

异常故障类型	绕组故障	短路故障	绝缘油劣化	绝缘油温升过高
D-S证据理论	0.026	0.392	0.583	0.986
健康度	88.397	72.146	68.915	37.326
运维管理决策	优先级4	优先级3	优先级2	优先级1
优先等级				

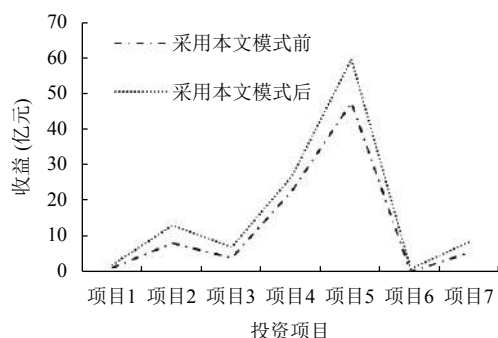


图 11 采用本文模式前后对比结果

根据图 11 可知,采用本文模式后所有项目的收益均高于采用本文模式前,同时也显示出采用本文模式前的配电网投资行为缺乏一定的科学性.实验证明:采用本文模式对配电网投资项目智能化运维管理后,可有效提升配电网的经济效益,证明本文模式的有效性.

3 结论

以提高配电网电力设备运行状态管理能力为目的,设计基于互联网平台的配电网智能化运维管理模式.所设计模式为配电网提供了完善的智能化运维管理方法与支撑手段,全方位增强配电网智能化运维管理的穿透力,实现配电网全业务数据实时在线分析,获取运维决策方案,完成配电网智能化运维管理,将配电网故障处理的事后抢修变更为事前预防.全方位强化专业间的贯通与融合,确保配电网运行的安全性与可靠性,提升配电网的服务水平、投资的准确性与经济效益,减少配电网运营成本.

参考文献

- 姚瑶. 基于“互联网+”的实训室智能化管理模式研究与实现. 电视技术, 2019, 43(13): 27-28, 77.
- 梁文娜, 李冠慧, 李灿东. 基于“互联网+”探讨中医健康管

- 理的新模式. 中华中医药杂志, 2017, 32(3): 904-906.
- 祁兵, 翟天一, 李彬, 等. 基于工业互联网云平台的智能用电互动模式研究. 电测与仪表, 2019, 56(19): 46-52.
- 曾治安, 姚树友, 郑晓玲, 等. 基于移动互联网技术的继电保护设备智能运维管理模式探讨. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 80-86.
- 徐玉韬, 谈竹奎, 谢百明, 等. 基于直流断路器的多端柔性直流配电网智能化保护配置. 电力建设, 2018, 39(9): 61-69. [doi: 10.3969/j.issn.1000-7229.2018.09.008]
- 丁家楠, 沈书琳, 李川. 基于区间偏好和 MADM 的配电网智能化规划方案评估方法. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 18-27. [doi: 10.7667/PSPC171744]
- 黄嘉楠, 向小民, 邢彧. 基于低电压治理的配电网优化策略研究. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(1): 200-206.
- 马国丰, 宋雪. 基于 BIM 的办公建筑智能化运维管理设计研究. 科技管理研究, 2019, 39(24): 170-178. [doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2019.24.023]
- 钟燕珠, 李辉诚, 区炳雄, 等. 基于“互联网+中医药”背景下我院智慧药房管理模式的建立及实践. 中国药房, 2019, 30(18): 2460-2468.
- 孙保华, 陈蕾, 夏栋, 等. 基于大数据平台的配电网智能化运维管控平台设计及应用. 电气自动化, 2018, 40(6): 81-84. [doi: 10.3969/j.issn.1000-3886.2018.06.024]
- 毕伟, 申建, 刘鸣, 等. 基于互联网+的综合能源管理平台方案的研究. 电测与仪表, 2018, 55(15A): 80-84.
- 刘志文, 董旭柱, 吴争荣, 等. 基于多种测度的配电网关键设备在线状态评估. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(11): 52-57. [doi: 10.3969/j.issn.1003-8930.2018.11.009]
- 徐铭铭, 曹文思, 姚森, 等. 基于模糊层次分析法的配电网重复多发性停电风险评估. 电力自动化设备, 2018, 38(10): 19-25, 31.
- 杨雄, 陈兵, 李强, 等. 基于变量代换的辐射型配电网潮流算法. 高电压技术, 2017, 43(1): 189-194.
- 潘旭, 王金丽, 赵晓龙, 等. 智能配电网多维数据质量评价方法. 中国电机工程学报, 2018, 38(5): 1375-1384.