[机器人]

基于RPA机器人的配电网高损线路治理方法

文/张歌儿　肖伟　钟敏　梁叶　李莎
国网湖南省电力有限公司益阳供电分公司

配电网线路运行中的线损率是评估配网运行水平的重要指标。利用RPA机器人开发线损突变中缺抄用户分析机器人小程序、线损突变台区下缺抄分析机器人小程序、缺抄时钟异常用户直抄机器人小程序，通过线上数据处理+线下终端的方式打破线上数据和线下治理之间的信息交互壁垒，高效开展配电网高损线路治理工作。

随着国民经济的高速发展，人民的生活水平不断提高，商贸迅速发展，电力需求量越来越大，配电网线路作为电力输送的最后一公里，数量繁多且分布广泛，但近年来高损线路频繁增多，电力损耗日渐严重。配电网线损的定义为：在给定时间段内，配电网系统内所有元件中产生的电能损耗电量称为配电网的线损电量，线损电量占供电量的百分比称为线损率。配电网线损偏高产生的原因诸多，设备和线路本身的损耗是固有的因素，人为管理过程中所造成的损失也是占比较大的一部分，线损率是评估配电网运行水平的重要指标。

配电网高损线路原因分析

配电网系统运行中的线损控制是维护电力公司正常运行的重要策略，目前我国电力公司在配电网线损控制工作上较为依赖技术管理，大多忽视了线下工作人员治理和全面系统管理方面的相关工作：其一，配电网计量装置在长期的运行过程中自身易出现故障情况，由于缺乏相应的管理措施，无法及时对故障设备进行反映和消缺，导致故障的配电网计量装置长期处于异常工作情况，相关数据采集不精准；其二，线下稽核人员工作积极性不高，为根据实际情况制定相应的稽核计划，同时还存在未按计划开展稽核工作的情况，导致配电网线损率无法得到有效控制；其三，部分市民贪小便宜心理，虽然偷电、窃电现象一旦被发现就会进行惩处，但实际上偷电、窃电仍屡见不鲜；这都导致了配电网线损管理效果不佳。因此做好配电网线损控制工作是保证电力企业长远发展的前提，可以有效提升电力资源的利用率，减少因客观原因而导致的电能浪费，降低电力企业生产成本，保障电力系统安全稳定运行。

经分析，在常规配电网运维工作中，未建立缺抄监控制度、站所人员专业性不高、专业协调性不强、窃电及违约用电为线路线损高的主要影响管理末端原因，其影响占比如图1所示。

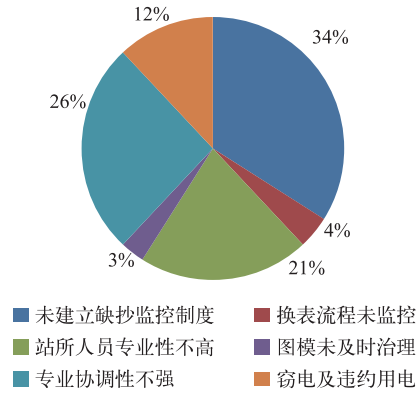

图1　末端原因对线路线损影响占比图

以上原因中，大部分问题都需要人工开展线下作业进行检修、复核和查验，如图2所示。

图2　供电公司开展现场电表检测工作

随着智能电表的广泛应用，各供电公司在管理系统内都能获得众多的用户终端数据，也建立了部分数据分析系统对异常数据进行分析，但大部分都为建立良好的线上线下沟通机制，线上发现的异常数据问题无法及时下达给线下末端工作人员，并且配电网线路末端变化快，消息未及时传递导致许多问题都无法及时处理，最终造成配电网线损难以治理的局面。

RPA机器人在配电网高损线路治理工作中的应用

针对以上情况，为提高配电网高损线路的治理水平，降低线路线损，本文提出了一种基于RPA机器人的配电网高损线路治理方法。

RPA（robotic process automation）是一种新型技术，在贯穿线上、线下管理系统通道方面有着巨大的应用前景。RPA机器人以低开发成本、人性化工作方式和模块化开发方法在各行各业中逐渐被广泛应用。

当前各供电公司拥有众多的线上管理系统，可以从系统内导出大量工作数据。在当前大数据时代，要将数据转化为实际生产力，通过应用RPA机器人，结合现有管理系统的后台数据，形成数据异常后末端管理工作提醒各台区管理人员进行检查和治理的工作模式，形成线上线下、客服中心和各供电所共同发力的工作新局面，做好线损管理工作。

针对站所人员专业性不高且专业协调性不强的情况，搭建实时监测线损各指标的小程序，开发内网后台应用，依靠RPA机器人自动弥补站所人员完成缺失的部分工作，提高各站所的工作效率。

RPA机器人的主要作用就是将收集的数据进行检验、分析、筛选和处理，然后再对处理后的数据进行校对[12]。

收集到大量数据后，RPA机器人首先需要对数据进行降噪处理，其过程如下。

将原始数据集记作

$$X=\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_{N-M+1} \\ x_2 & x_3 & \cdots & x_{N-M+2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_M & x_{M+1} & \cdots & x_N \end{bmatrix} \tag{1}$$

将矩阵以经验正交方式展开，得到不同的特征向量

$$p_i^k=\sum_M^{j=1} x_{i+j}E_j^k, 1<i<M \tag{2}$$

式中，第j个数据的正交函数为E_j^k；$\sum_M^{j=1} x_{i+j}$为第i个指标的主分量参数。

然后对各分量序列开展重建

$$x_i^k=\begin{cases} \dfrac{1}{M}\sum_{j=1}^{m} p_j^k E_j^k & (M<i<N-M-1) \\ \dfrac{1}{i}\sum_{j=1}^{m} p_j^k E_j^k & (1<i<M-1) \\ \dfrac{1}{N-i+1}\sum_{j=i-N+M}^{m} p_j^k E_j^k & (N-M+2<i<N) \end{cases} \tag{3}$$

式中，N为元素数量。

在进行处理后，机器人会立刻按照设定的数据规范值对数据进行校对和排除工作。若是发现数据异常，会立刻进行告警，再按照制定的程序提取这些异常数据，发送至人工作业端，由线下工作人员进行复核。在开展实时事务处理程序时，由于实时事务大多为复杂的数据问题，因此还需对数据进行进一步的处理，根据数据的范围使用四元组进行表示

$$\text{TRANSACTION}=(S, R, p_t, C) \tag{4}$$

式中，S为实时事务的流程；R为数据的集台；C为限制条件；p_t为数据排列顺序。

在进行实时事务的调度时，需要对其优先级进行定义，可根据由数据复杂程序决定的操作级别和依据CPU使用率的资格级别进行排序，随后再进行优化调度。

实际上每个实时事务都会存在一个最高价值，

而价值优化策略函数的大小则表示实时事务的价值高低，可以用于判断其优化程度。以某一个事务为例，其价值优化策略函数为

$$\text{value} = f(w_1(t_e - t_s) / w_2 d_T + w_3 P / w_4 s) \quad (5)$$

式中，e为事务；t_e为时间；d_T为事务完成的有效期；P为事务的完成时间；S为事务的流程；f为事务的警报值；t_s为规定时间；w_1、w_2、w_3、w_4为价值因子全部。

价值密度优化策略函数用于评价事务的密度值为

$$WD = \frac{v(t_e + c)}{c} = \frac{v(t_e + E - P)}{E - P} \quad (6)$$

式中，c为密度容量；E为概率；v为价值因子。

对采集的数据通过以上流程处理后，RPA机器人只会保存满足预先设置数据值的数据。对于配电网线损工作中的复杂信息，RPA机器人可先找到数据中的重点内容，找到此数据的目标范围，再进行进一步的处理。

结合RPA机器人的数据处理特性和工作需求，本文根据不同的工作需求开发了三项不同功能的RPA机器人小程序：线路线损突变中缺抄用户分析机器人小程序、线损突变台区下缺抄分析机器人小程序和缺抄时钟异常用户直抄机器人小程序。通过线上数据处理+线下终端的方式开展配电网高损线路治理工作，其工作思路如下。

1）利用RPA机器人对已停电线路自动进行线变关系核对，自动筛选线变关系异常线路进一步进行系统处理或现场巡线。

2）在区县公司推广已开发的线路线损突变中缺抄用户分析机器人小程序、线损突变台区下缺抄分析机器人小程序和缺抄时钟异常用户直抄机器人小程序应用。

3）根据两路系统中时钟异常分级治理数据，先利用机器人开展系统校时，针对系统校时失败的，市客服中心每周派发现场校时工单，优先对线路线损影响大的专变用户进行校时。

各RPA机器人的应用工作流程如图3所示。

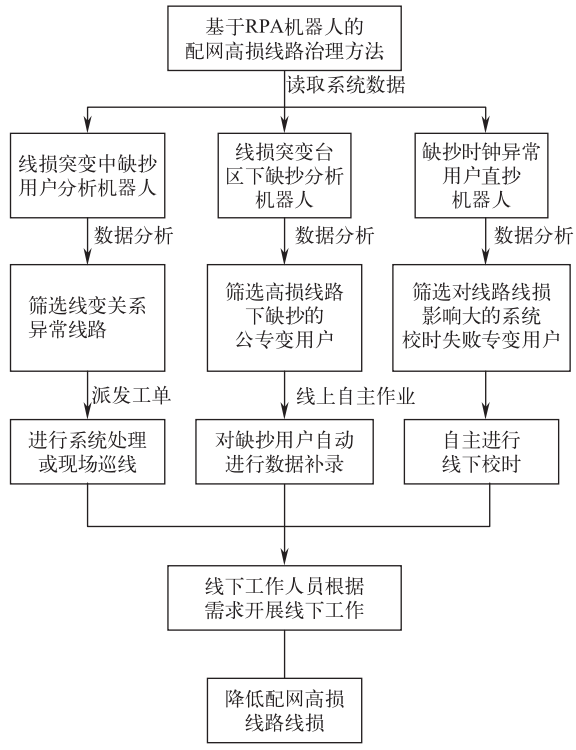

图3　RPA机器人的应用工作流程图

应用效果

通过应用本文提出的RPA机器人，对于对电表异常的配电网线损影响较大的专变用户可以进行线上自动校准和数据补录，同时可监测各配电网线路的异常数据，再通过线下治理的方式完成整改，打破线上数据和线下治理的信息交流壁垒。图4为RPA机器人线上系统启动界面。

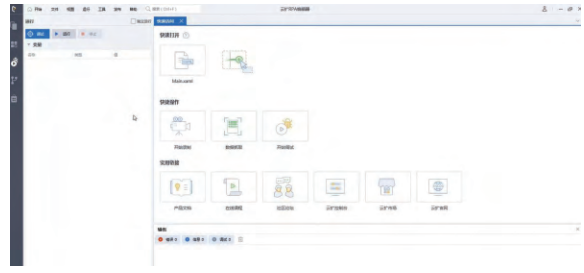

图4　RPA机器人启动界面图

针对RPA机器人提醒的线变关系正确但原因暂不明的不达标线路，联合稽查专业开展系统分析，锁定疑似异常用电用户，对异常派单至区县公司现场稽查。对专变电量比重大、10 kV线路线损率高（>5%）和功率因数高（高于0.95）的线路，进行专变用户排查窃电及违约用电、超容等稽查工作。图5为通过RPA机器人查询界面，可查询当前及历史线损率、采集覆盖率、采集成功率、供电量和损失电量等关键信息。

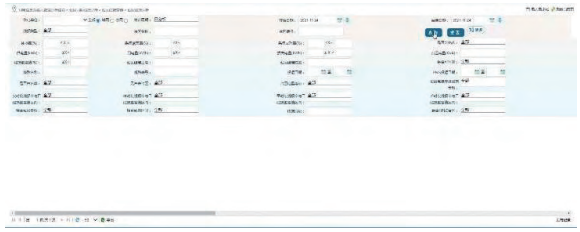

图5　RPA机器人查询界面图

针对RPA机器人提醒的窃电及违约用电导致线损高的情况，通过分析公司现有的各管理系统后台数据，对异常线路和区段进行现场核查和处理，并形成典型案例、教程，督促各县（区）公司使用现有技术加强对窃电及违约用电的管理，并针对重点线路（区段）和特殊时间段，加强线下巡查力度，协同发力治理好线损指标。

在确保用户归属关系正确的情况下，利用系统数据分析，重点针对计量装置运行异常，失电压、断电流的专变客户市、县层级建立联合行动，组织开展现场核查，并限期整改闭环。

高峰负荷期间，加强系统数据监护，在出现异常时要求采取目标锁定查处、夜间巡视、大规模排查和所(站)交叉检查等方式开展专项行动对重点行业、区域采取普查和突击检查，供电所对外加强台区日常巡视，利用用采系统升级反窃查违手段，重点查处季节性挂钩用电、专变窃电和违约用电等问题，严肃整治私拉乱接挂钩用电等违法行为，挽回经济损失。

RPA机器人在配电网线损治理工作中效率极高，以电能数据补采机器人和缺抄分析机器人为例，电能表数据补采机器人通过进行分段部署操作，完成一轮全市表计补采工作只需要2~3 h，而且不需要任何人工辅助。线损突变台区下缺抄分析机器人能通过对全市缺抄电能表10日内日均电量和所在台区线损波动情况进行比对分析，精准捕捉对台区线损产生较大影响的用户表计，为降损现场排查工作提供有力支撑。在对机器人进行分段式部署后，仅需1~2 h便能完成对全公司数据的取数分析，相比人工操作，效率提升90%以上。

结束语

本文针对当前配电线路高损线路难管理，难以有效降低线损率的难题，提出一种基于RPA机器人的配电网高损线路治理方法，RPA机器人线上管理和工作人员线下治理形成良好的高损线路处理方式，配电网高损线路治理方案的推广，从主观、客观溯源，通过管理降损、技术降损和重点区域降损三大强效手段驱动业务，以数据赋能业务，以指标支撑管理，引领现代营销高标准、高质量发展。同时降损体系的建设趋向于流程化、标准化，不仅可应用于线损专业，还可应用于任何一个需要横向协同、纵向贯穿的专业，为各专业的指标管理和问题处理提供指导。目前取得成果和结论总结如下：

1）创新设计了RPA机器人，通过其对配电网线损相关数据进行监测，可自动弥补站所人员完成缺失的部分工作，多方协助开展线路降线损工作，有效降低配电网线路降线损工作难度。同时结合当前管理系统内的后台数据，采用重点区段重点治理的方式，能够更加精准且有效地开展线损治理工作。

2）项目可实施性强，所提出的线路治理方法明确了业务监控分析的工作范围、内容和流程，实现配电网线损业务全息感知、全过程可视化监控，可在系统内全面进行部署；推广应用面广，所提出的线路治理方法从主观、客观溯源，通过管理降损、技术降损和重点区域降损三大强效手段驱动业务。以数据赋能业务，以指标支撑管理，降损体系的建设趋向于流程化、标准化，能够适应现有技术发展带来的工作变化，此种工作思维和方式不仅可应用于线损专业，同时还可应用于任何一个需要横向协同、纵向贯穿的专业。

3）充分考虑当前线损治理难度大、方向不清晰和各站、所工作人员工作量大的现状，采取现代化技术应用至工作末端，大大降低了工作强度。为更好地利用RPA机器人开展工作，还采取集中培训和送培上门相结合的方式，建立与各区、县公司的RPA技术联络体系，将技术应用到最末端，有效释放站所人力资源，防范人工误操作事件，能够使站、所计量采集内勤员工作效率提升90%以上。EA

（收稿日期：2023-12-04）

参考文献

[1]　樊晓登．当前电力配电网系统中高新技术应用展望[J]．科技创新导报，2015(35)：166-167.