

[变电站]

# 一种基于Agent的变电站自动选址及网架规划方法

文/海南电网规划设计研究中心 陈明帆 宁光涛 何礼鹏 李琳玮  
北京清软创新科技股份有限公司 王 丹

变电站选址及网架规划是智能电网规划的一个重要环节，涉及的因素很多，是一个多目标、多任务选择的过程。提出一种基于Agent技术实现变电站的自动选址及网架规划的方法，通过对人工智能的应用，快速准确地实现变电站的自动选址，并且通过海南规划项目实际案例的应用证明了方法的可行性与实用性。

变电站选址及网架规划是智能电网规划的重要环节，对电网结构和供电可靠性以及运行经济性影响较大。变电站布局的好坏会直接影响电网的合理性及无功电源的配置，负荷的分布情况和电网的整个结构都是变电站选址过程中需要考虑的因素。科学合理的变电站选址和网架规划不仅能够减少电能损耗，还能够节约建设投资费用。

影响变电站站址选择的因素很多。电气方面，要考虑负荷分布、电网网架结构以及进出线方向等一系列的影响因素；土建方面，主要是地形条件、地理位置和交通运输等一系列的因素。基于这些因素，需要对各种条件作出全面的对比和深入的分析，选择各方面条件都比较优良的站址，这项工作相对比较复杂。

因为变电站选址及网架规划涉及到的因素复杂并且庞大，属于复杂系统问题，利用传统方法进行因素分析及求解十分困难。人与机器的综合系统能够结合人的智慧与计算机高性能计算的优势，不断提高其智能水平，解决客观世界中的复杂问题。人工智能、智能体（Agent）技术、不确定性理论和智能计算技术的提出与发展，为复杂系统研究提供了更加丰富的方法。智能工程在运用智能技术和计算机技术的同时，着重强调人的

能动参与，将人与开放的Agent结合，将人的经验、判断和决策嵌入复杂问题求解过程当中，为解决问题提供重要支撑。

智能体（Agent）可以看作一种具有一定程度智能的实体，是具有情境性（Situatenedness）、自治性（Autonomy）和适应性（Flexibility）的独立个体，在一定环境中通过相互之间或与环境之间的交互完成任务的硬件环境或软件系统。对于复杂系统问题，基于Agent的建模方法相比于传统方法具有更加良好的性能。MAS主要研究Agent之间的行为协调问题，即独立、自主的Agent，通过相互之间的交互与协作，自主协调其智能行为，从而解决Agent个体所无法解决的复杂问题。基于Agent的建模方法，在复杂系统问题研究中有不可替代的重要作用，经过多年发展，Agent已经有了较为成熟的理论体系，在实践中也广泛应用于电力系统、自动控制和经济等研究领域。

针对现有变电站选址及网架规划的问题，本文提出一种基于Agent的变电站自动选址及网架规划方法。首先定义变电站选址Agent的基本结构，然后设计基于Agent的变电站选址方法流程，进一步介绍变电站自动选址的各个环节，包括Agent初始化、Agent知识库构建、Agent自评价和多Agent

运行模拟。由规划Agent协调各变电站Agent进行运行模拟，根据运行模拟结果确定各Agent的最终状态，进而得到最终的变电站选址及网架规划方案。

### 基于Agent的变电站选址

对于变电站站址的选择需要综合考虑各项指标，即经济成本最小、工程技术合理及尽量减少环境污染和不利的社会影响。变电站选址问题是多目标、多约束的综合决策问题，需要统筹考虑各项指标、建设成本、城市规划、工程建设可行性和环境保护问题等多个方面。

变电站站址的选择是电网规划的一个重要环节，步骤大致分为：首先对区域年负荷进行预测，收集与选址相关的信息，识别主要影响因素，结合已有变电站的分布情况；然后针对新建变电站的数量、容量确定其大致区域；再通过定性与定量相结合的方式得出备选站址；最后依据已有目标的约束，对已有电网进行优化，以得到最终最优的电网结构。本文针对变电站的选址问题，提出基于Agent的变电站自动选址及网架规划方法。

Agent的结构与其特性紧密相关。智能Agent至少应具有这样一些特征：自主性、反应性、面向目标性和社会性。根据Agent在这些特性上表现出来的差异，Agent结构大体可以分为三类：一类是思考型Agent，为了体现智能特征，它强调Agent针对目标的思考、推理和规划；二是反应型Agent，它强调Agent对环境的及时反应，认为智能产生于与环境的交互之中；三是复合型Agent，它强调采用复合式结构和多种实现方法，以反映Agent的多种特征。

Agent的基本思想是使软件能模拟人类的社会行为和认知，即人类社会的组织形式、协作关系和进化机制，以及认知、思想和解决问题的方式。Agent的典型结构如图1所示，即包括人机界面、通信模块、分析计算推理模块、语言包装和协调机制、知识数据库以及总体控制管理模块六部分。

基于以上Agent的基本思想和典型结构简图，将Agent思想应用到变电站选址中，定义了变电站选址Agent的基本结构。

变电站选址Agent可以表示为

$$\text{Agent} = \text{Architecture} + \text{Programme}$$



图1 Agent典型结构简图

式中，Architecture为体系结构；Programme为程序。

Agent程序必须与体系结构相适应，即按照Agent传感器和执行器的特性进行感知信息和动作选择的规则设计。一般来说，Agent程序具有相同的基本结构，通过传感器从环境中感知信息作为输入，经过规则分析得到动作选择作为输出，通过执行器作用于环境。

功能函数描述如下：

Function TABLE – DRIVEN – AGENT  
(percept) returns an action

static:percepts, a sequence,initially empty table,  
a table of actions, indexed by percept sequences,  
initially fully specified

append percept to the end of percepts

Action  $\leftarrow$  LOOKUP (percepts, table)

return action

上述公式中定义了一个能够返回动作的TABLE – DRIVEN – AGENT函数，程序能够通过变量记录传感器从外部环境感知的信息以及Agent的函数规则表。当程序被调用时，首先读取传感器获取的环境感知信息，然后将感知信息作为索引在规则库中查找正确的决策，将选择的行动信息作为返回值发送给执行器，最终通过执行器形成作用于环境的动作。

对于变电站选址及网架规划问题，Agent所处的环境属于部分可观察的环境，此时Agent需要具有内部状态功能来记录和反映感知信息的历史。内部状态信息的更新要求Agent具备两种知识：一种是外部环境独立于Agent而发展的知识；另一种是Agent的行动如何对环境产生影响的知识。这些知识共同构建了Agent所处世界的运转模型，其典型结构如图2所示。

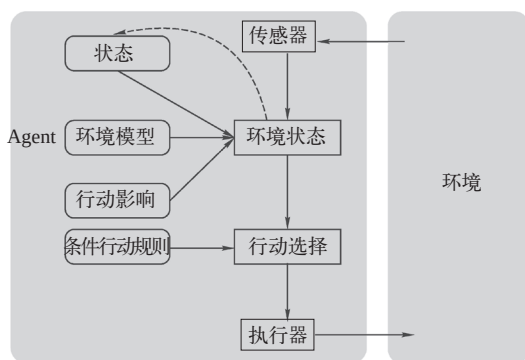


图2 基于模型的反射型Agent

## 基于Agent的变电站选址流程

规划过程中如果需要尽可能减少设计师的工作负担,就必须提高规划过程中的计算机自动辅助程度。由于规划过程中涉及的对象多种多样,对象变电站的正常运行起着或正面或负面的影响作用,且其作用过程互相渗透,因此对一个规划方案的作用进行评估可看作是一个非常复杂的多对象关系作用系统,这样的系统非常适合采用多Agent体系结构来模拟实现。本节基于Agent对变电站自动选址流程阐述说明,实现可靠规划方案的选择。

### 1. Agent初始化

以规划区域的负荷预测为前提,计算变电站选址Agent的数量 $N_{\text{Agent}}$ 为

$$N_{\text{Agent}} = \text{up}\left(\frac{\text{Load}\beta}{S}\right) \quad (1)$$

式中, Load为区域负荷预测值;  $\beta$ 为容载比;  $S$ 为规划单座变电站的总容量; up()为向上取整。

确定变电站选址Agent的数量后,对每一个Agent设定规划参数,即变压器容量和平均供电半径,之后建立Agent知识库。

### 2. Agent知识库构建

Agent知识库构建分为两部分。

#### (1) 规划布点

在规划区域的行政区域图上,生成未来负荷预测得到的负荷密度分布示意图,找出负荷中心。在负荷中心区域进行站址初选,利用地形图,结合地理因素,确定初选方案。

#### (2) 建立Agent信息库

针对各Agent所选规划布点信息,采集该布点信息所涉及的规划信息,包括电气信息、地理信息等。

### 3. 基于Agent的运行模拟

将变电站选址Agent嵌入已有网架进行运行

模拟。利用时序可靠性评估模型,对所模拟系统进行可靠性评估分析,计算系统的LOLP/LOLE、EENS停电损失等。根据运行模拟的结果评估变电站选址Agent的合理性,进行最终筛选。

算法中涉及的输入、输出信息如下。

输入信息: 规划最大负荷 $P$ , 规划容载比 $R_s$ , 现状年变电容量 $S_0$ , 待评估规划方案, 变电站基础信息(容量信息、地理信息及是否可扩容), 线路基础信息(是否待扩容改造)。

输出信息: 新增变电容量, 系统薄弱环节信息, 变电站扩容方案, 变电新建方案。

根据输入信息,下面列出6个函数功能算法,分别实现变电站选址定容、系统薄弱环节辨识、变电站扩容方案、变电站新建方案、距离计算和规划方案校验评估等功能。不同功能模块得到算法中的输出信息,通过多个函数层层递进的计算过程最终得到变电站选址及网架结构的可靠规划方案。

变电站选址定容问题,一般可概括为以下内容:为了满足某一地区经济发展对电力负荷的需求,在保证该区域内电能质量可靠性及电力运行稳定性的条件下,确定变电站的新增数量、新增容量及供电范围大小。随着区域负荷需求量的不断增加,一般采用两种方法实现扩容来满足负荷需求:一是在保持原有的变电站数量不变的情况下,对每个变电站变电容量的扩充,该方法主要适用于负荷增长较缓慢的地区,其优点是投资成本较少;另一方法是通过增加变电站数量进行增容来满足该地区的负荷需求,该方法适用于负荷需求快速增长的地区,当原有变电站不具备扩容条件或原有变电站扩容无法满足负荷需求时,需要通过新建变电站来承担新增的负荷量,从而保证区域供电的可靠性,同时能够降低距离较远负荷点的线路损耗,但其缺点是投入的资金较多。

本计算方式包含6个功能函数。

1) 功能函数1.解决变电站选址定容问题,对变电站容量需求进行估算。规划最大负荷 $P$ ,规划容载比 $R_s$ (规划容载比取值范围1.8~2.2),现状年变电容量 $S_0$ 作为输入参数,设置变电容量 $S$ 、需新增变量 $\Delta S$ 、需新增主变压器数量 $N$ 作为求解参数, $s$ 单台主变压器容量(120 MV·A, 180 MV·A)为已知量。通过计算得到: $S = P \times R_s$ ;  $\Delta S = S - S_0$ ;  $N = \Delta S / s$ ,最终输出需要新增变电站容量,需要新增变电站数量。

2) 功能函数2.依据规划方案实现对系统薄

薄弱环节进行辨识的功能,输入信息为待评估规划方案,其中包含负荷预测数据、电源规划数据和现有网架数据等数据信息,对规划方案进行运行模拟,通过变压器负载率是否大于75%以及线路负载率是否大于67%两个判断条件,最终得到电力系统的薄弱环节信息。

3) 函数功能3。根据系统薄弱环节信息得到变电站扩容方案,输入信息为重载变压器信息、重载线路信息。通过输入信息所在变电站能否扩容判断结果,生成变电站扩容方案和线路扩容改造方案,将更新变电站及线路信息赋给规划方案。进一步将新增变电站容量与需新增变电站容量进行对比,如果新增变电容量大于需新增变电容量,对该规划方案进行校验评估,否则输出变电站新建方案。

4) 函数功能4。根据系统薄弱环节信息计算得到变电站新建方案,该函数的输入信息为重载变压器信息。通过变电站与负荷点的距离计算形成循环,直到目标距离满足判断条件,最后得出变电站新建方案。

5) 函数功能5。该功能是基于不同变电站之间的距离计算,基于变电站的GIS信息,输入各变电站地理位置查询信息,包括点坐标,经纬信息,通过不同变电站之间的欧式距离计算得到各变电站的分布。

6) 函数功能6。该函数功能实现规划方案校验评估,输入信息为更新后规划方案,基于输入信息对更新后规划方案进行运行模拟,经过变电站负载率是否大于75%以及线路负载率是否大于67%判断条件来确定变电站扩容方案,最终输出变压器及线路运行状态正常、更新后规划方案系统运行指标等信息。

## 算例

以海南为例,海南开展了海南智能电网规划,其中涉及变电站的智能化选址,旨在完善变电站布局,落实选址和网架规划方案,从而实现电网的可靠建设,提高电网规划工作的科学性。

获取海南现有的变电站位置、容量信息等原始数据,在负荷预测的基础上计算了需要新增变电站的数量,从南网规划信息系统的规划信息库中提取变电站选址相关信息,经过Agent算法中变电站容量、负荷和变电站地理信息的约束自动得到变电站选址如图3所示。通过图4电力规划辅助决策软件的计算最终得到合理的优化方案。通过本项目的应用,验证了本文提出方法的有效性和实用性。

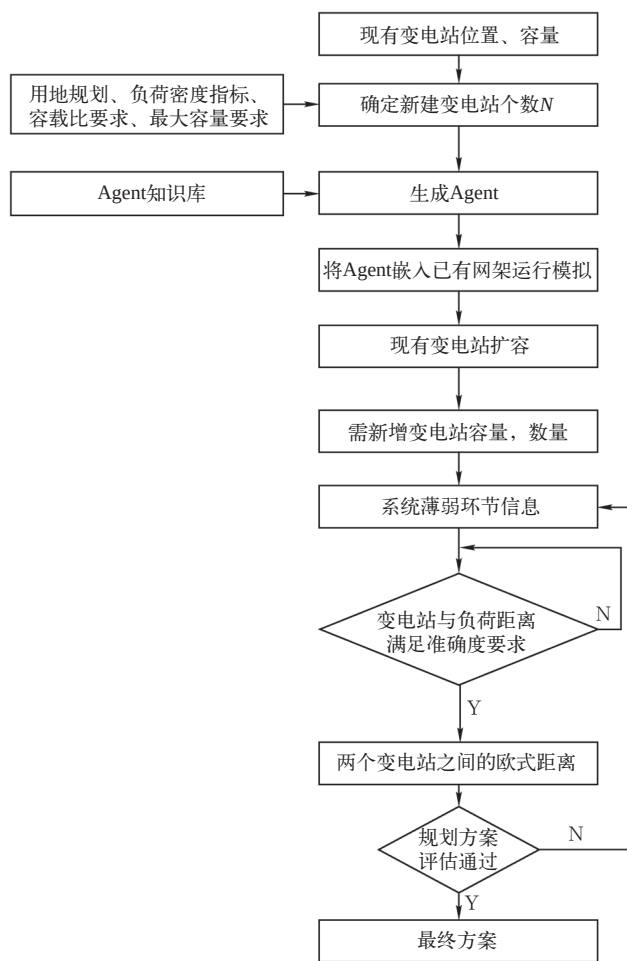


图3 海南规划项目选址过程

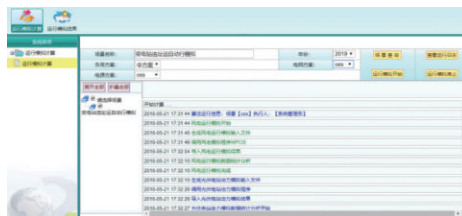


图4 电力规划辅助决策软件

## 结束语

本文研究了变电站选址的影响因素,以及变电站的选址流程。因为变电站选址问题影响因素很多,确定一个理想的规划方案,过程中要结合各种因素,问题解决错综复杂,运算量十分庞大。因此利用人工智能的方法来解决问题,提出了Agent方法,基于Agent设置变电站自动选址及网架结构流程,建立模型算法,最终达到选择最优规划方案的目标。本方法已经在海南规划项目中有所应用和实现,应用结果验证了本方法的可行性。EA

(收稿日期: 2019.12.01)

(编辑: 朱金凤)