

新型城镇配电网影响因素解释结构模型

王守相,张一帆,葛磊蛟

(天津大学 智能电网教育部重点实验室,天津 300072)

摘要:总结了影响新型城镇配电网发展的因素集,分析了各影响因素的相互影响关系,依据形成的可达矩阵将影响因素分层,构建了新型城镇配电网影响因素解释结构模型。为了直观反映各因素对新型城镇配电网的影响大小,提出了一种扩展的层次分析法计算解释结构模型中各影响因素的权重,进而分析了影响新型城镇配电网发展和建设的主要因素,为我国新型城镇配电网的发展和建设提供参考。最后,通过 2 个算例验证了新型城镇配电网影响因素解释结构模型的可行性和适应性。

关键词:新型城镇;配电网;影响因素;解释结构模型;层次分析法

中图分类号: TM 471

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.11.012

0 引言

为应对能源短缺、生态环境恶化等问题,世界各国积极探索向新能源、低碳经济的发展模式转型。我国提出了“集约、智能、低碳、绿色”新型城镇化建设的发展理念^[1],强调对传统城镇化的观念更新、体制革新和技术创新,实现新型工业化、社会信息化和农业现代化的可持续发展。新型城镇具有多样化、区域个性化、生态化、宜居化等特点。配电网为新型城镇化的发展提供基础性保障。新型城镇配电网不同于传统农村配电网和城市配电网。我国幅员辽阔,各地区自然环境、经济状况、社会形态等差异较大。不同类型新型城镇的发展基础、发展类型、发展规模、发展方向等各不相同,其配电网发展模式也不相同,存在多样化、个性化的特点。新型城镇配电网发展速度、质量等受到内外部因素的制约。因此,构建新型城镇配电网影响因素分析模型对于制定措施、合理规划、推动新型城镇配电网向着正确的方向快速发展是很有必要的。

国内外,现有的针对配电网影响因素分析方面的着眼点是为配电网稳定运行,消纳新能源提供良好的技术支持,以及分布式电源及电动汽车接入配电网对电压水平、电能质量所造成的影响^[2]。目前已有不少学者对分布式电源或电动汽车接入对配电网某一个方面的影响做了较为深入的研究。例如,文献[3-7]阐释了分布式电源接入给配电网继电保护带来的影响;文献[8-9]针对配电网的供电可靠性,研究了分布式电源接入对其造成的影响;文献

[10]对光伏接入带来的安全稳定性问题做了研究;还有很多学者对配电网负荷预测影响因素进行了研究,文献[11]特别考虑了非气象因素对夏季降温负荷的影响;文献[12-16]针对分布式电源接入配电网这一前提,对过电压、电压暂降、供电电压质量等一系列电压方面的问题开展研究。还有学者研究了分布式电源、电动汽车接入对配电网规划设计等其他几个方面的影响。上述研究都着眼于分布式电源的接入对配电网某一个方面的影响,而文献[17-18]则研究了分布式电源对配电网系统的影响,主要包括对配电网规划、电能质量、继电保护、配电网可靠性以及故障恢复等几个方面的影响。更进一步,有学者不仅研究了分布式电源接入对配电网的影响,还提出了相关的对策^[19-20]。值得注意的是,不论是研究分布式电源(包括电动汽车)对配电网某一方面的影响,还是对配电网多个方面的影响,核心主要是对分布式电源的研究。总而言之,目前已有的研究集中在 2 个方面:一是“多对一”,即配电网某一个方面受到多种因素影响的研究;二是“一对多”,即一种因素对配电网多个方面造成影响的研究。对于除分布式电源以外的其他因素对配电网的影响程度,特别是近年来发展起来的新型城镇,其配电网影响因素模型,国内外都鲜有研究。

本文所提出的新型城镇配电网影响因素分析模型是研究多种因素对配电网综合影响大小的问题。分析并总结了新型城镇配电网的影响因素集,采用解释结构模型(ISM)的方法构建影响因素的阶层结构图,然后运用扩展的层次分析法的思想与方法确定了影响因素集中各影响因素的权重,最后通过算例分析了各因素权重大小的现实意义,为我国新型城镇配电网的发展和建设提供借鉴和参考。

1 新型城镇配电网影响因素解释结构模型

1.1 解释结构模型

解释结构模型是应用图的矩阵表示方法和简单

收稿日期:2015-06-16;修回日期:2015-09-15

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2014AA052003);国家自然科学基金面上项目(51361135704, 51377115)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2014-AA052003) and the General Program of National Natural Science Foundation of China(51361135704,51377115)

的逻辑运算,对复杂系统的各元素间的结构关系加以描述的一种模型。解释结构模型方法是美国 J. Warfield 教授于 1973 年为分析解决复杂系统有关结构建模问题而提出的一种方法^[21]。经过 40 多年的不断发展,已经形成了相对系统并且易于实现的分析思路 and 操作方法,在复杂系统相关问题的研究中发挥着重要作用。解释结构模型方法的特点是把复杂系统分解成几个子系统,利用知识经验和计算机辅助构造多级递阶的结构模型。下面给出其主要步骤。

步骤 1: 设定问题并确定影响因素集。

依据系统所涉及的专业知识、文献研究和实践经验,对系统及其影响因素进行分析,明确影响因素集。

步骤 2: 形成意识经验模型。

依据所研究的系统涉及到的专业理论和实践经验,对该系统及其各影响因素进行初步分析,首先在思维意识中形成关于系统结构中各因素及其相关关系的初步结构。

步骤 3: 建立连接矩阵。

判断影响因素集中各因素之间是否存在直接的影响关系,并用连接矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ 表示全部直接的影响关系: $i \neq j$ 时,若影响因素 e_i 和 e_j 存在直接的影响关系,则 $a_{ij}=1$; 若影响因素 e_i 和 e_j 不存在直接的影响关系,则 $a_{ij}=0$ 。

步骤 4: 建立可达矩阵。

依据推移律的特性,由式(1)和式(2)计算可达矩阵 M 。当 $k < n-1$ 时,若

$$(A+I) \neq (A+I)^2 \neq \dots \neq (A+I)^k = (A+I)^{k+1} = L \quad (1)$$

则有

$$M = (A+I)^{k+1} \quad (2)$$

其中, I 为单位矩阵,且矩阵乘法满足布尔代数运算法则。

步骤 5: 各因素级别分配。

根据可达矩阵 M 对各影响因素计算如下集合:

$$\begin{cases} P(e_i) = \{e_j | m_{ij} = 1\} \\ Q(e_i) = \{e_j | m_{ji} = 1\} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $P(e_i)$ 表示从影响因素 e_i 出发能够到达的全部影响因素的集合,即可达集合; $Q(e_i)$ 表示能够到达影响因素 e_i 的全部因素的集合,即先行集合。通过寻找可达矩阵 M 第 i 行中值为 1 的列所对应的因素,可求得 $P(e_i)$ 。通过寻找可达矩阵 M 的第 i 列中值为 1 的行所对应的因素可以求得 $Q(e_i)$ 。再根据 $P(e_i)$ 、 $Q(e_i)$ 求出满足式(4)的因素的集合 L_1 :

$$L_1 = \{e_i | P(e_i) \cap Q(e_i) = P(e_i)\} \quad (4)$$

L_1 即第 1 层因素的集合,其中的因素有下述特征:由其他影响因素能够到达此因素,但是由此因素不能到达其他因素,即 L_1 中的影响因素位于最高层次

(第 1 层次)。删掉原可达矩阵 M 中对应 L_1 因素的行和列得到新的矩阵 M' 。对 M' 进行同样的操作,确定属于第 2 层次 L_2 的影响因素。重复上述操作,依次求出各层次的因素,则可将各因素分配到相应的层次上。

步骤 6: 构造层次结构图。

以可达矩阵 M 为基础,采用规范方法或者实用方法构建递阶结构的模型,用多级递阶有向图来表示该模型。

步骤 7: 分析解释多级递阶有向图。

根据相关理论知识和实践经验,分析并解释多级递阶有向图从而得到解释结构模型。比较解释结构模型和现有经验意识模型,如有严重不符则应返回步骤 2 对相关因素及其影响关系进行修正。

1.2 构建新型城镇配电网影响因素解释结构模型

对于新型城镇配电网,在确定其影响因素集之前,首先构造新型城镇配电网影响因素知识模型,如图 1 所示。

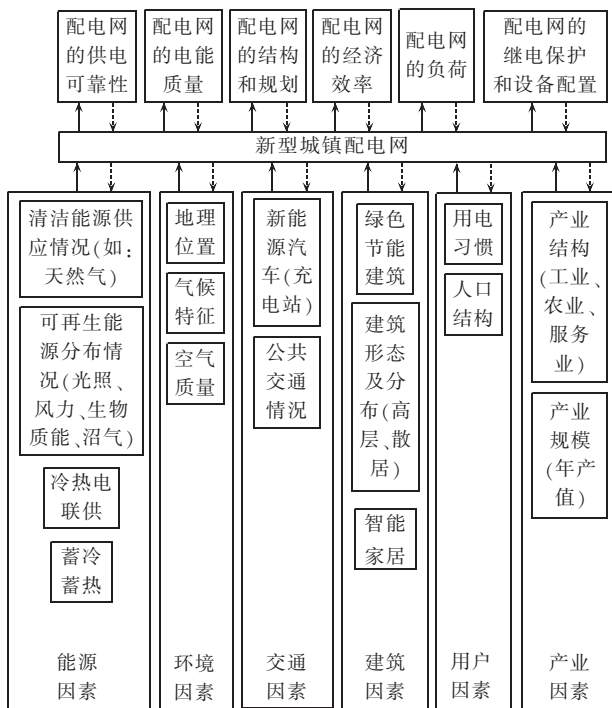


图 1 新型城镇配电网影响因素知识模型

Fig.1 Knowledge model of influencing factors for new-type town distribution system

本文研究的对象是新型城镇配电网,在此记为因素 S_0 。通过对大量相关文献的研究,结合图 1 所列出的新型城镇配电网影响因素知识模型,综合目前对配电网影响因素的已有研究成果,确定下述具体影响因素。

能源因素主要包括:清洁能源种类、分布及各自所占百分比记为因素 S_1 ;传统燃料消耗量记为因素 S_2 ;总能利用效率记为因素 S_3 ;清洁能源分布式发电

记为因素 S_4 ;冷热电联供制冷性能系数记为因素 S_5 ;冷热电联供蓄冷量记为因素 S_6 ;清洁能源渗透率记为因素 S_7 。

环境因素主要包括:新型城镇经纬度记为因素 S_8 ;新型城镇天气记为因素 S_9 ;新型城镇气候类型记为因素 S_{10} ;PM10(包含 PM2.5)指数记为因素 S_{11} 。

交通因素主要包括:新能源汽车数量记为因素 S_{12} ;电动汽车充电站数量及分布记为因素 S_{13} ;每万人公交车拥有量及公路里程记为因素 S_{14} ;新型城镇非清洁能源机动车数量记为因素 S_{15} 。

用户因素主要包括:负荷特性曲线记为因素 S_{16} ;常住人口总量及人口构成百分比记为因素 S_{17} ;居民生活方式和用能习惯记为因素 S_{18} 。

产业因素主要包括:新型城镇 GDP 总量记为因素 S_{19} ;各类产业比例结构记为因素 S_{20} ;各类产业分布记为因素 S_{21} ;各产业年产值记为因素 S_{22} 。

建筑因素主要包括:绿色建筑数量和分布记为因素 S_{23} ;绿色建筑节能总量记为因素 S_{24} ;绿色节能建筑占建筑总量的百分比记为因素 S_{25} ;建筑形态特点与用途记为因素 S_{26} ;智能家居用户数量和百分比记为因素 S_{27} 。

另外,还有部分因素:城镇配电网售电量记为因素 S_{28} ;配电网的供电可靠性记为因素 S_{29} ;配电网的电能质量记为因素 S_{30} ;配电网的结构和规划记为因素 S_{31} ;配电网的负荷大小记为因素 S_{32} ;配电网的继电保护和设备配置记为因素 S_{33} ;配电网的经济效益记为因素 S_{34} 。

需要说明的是,因素 S_0 、 S_{29} 、 S_{30} 、 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 、 S_{34} 与其他因素不同,它们并不作为需要确定权重的影响因素。 S_0 是待研究的问题的核心, S_{29} 、 S_{30} 、 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 、 S_{34} 是该问题的 6 个方面,是确定其他因素权重的过程中所需要的。

对于本文所研究的新城镇配电网影响因素解释结构模型而言,在确定了新型城镇配电网影响因素集之后,需要明确每个因素直接影响的其他因素,然后在各因素之间建立有向关系并建立意识模型,这是下一步建立邻接矩阵的基础。针对新型城镇的特点综合现有文献结论和专家经验,确定了各因素直接影响的因素。如表 1 所示,给出了新型城镇配电网各影响因素及其直接影响的因素的关系列表。随着新型城镇的发展和配电系统技术的发展,某些因素的影响关系可能发生改变,但不影响各因素相互关系的主体结构。

根据表 1 所列新型城镇配电网影响因素之间的关联关系,得到可达矩阵 M 。

根据因素级别分配方法,通过式(3)和式(4)将新型城镇配电网影响因素分为若干个层次:

表 1 新型城镇配电网影响因素相互关系
Table 1 Interactions among influencing factors of new-type town distribution system

因素	其直接影响因素	因素	其直接影响因素
S_0	—	S_{18}	S_2, S_{16}
S_1	S_{12}, S_{23}	S_{19}	S_2, S_{28}
S_2	S_{11}	S_{20}	S_{30}, S_{32}
S_3	S_{34}	S_{21}	S_{31}, S_{32}
S_4	$S_7, S_{31}, S_{32}, S_{33}$	S_{22}	S_{19}
S_5	S_3	S_{23}	$S_{24}, S_{25}, S_{31}, S_{32}$
S_6	S_3	S_{24}	S_{34}
S_7	S_{29}, S_{30}, S_{33}	S_{25}	S_{24}
S_8	S_1, S_{10}	S_{26}	S_{16}
S_9	S_4, S_{16}, S_{29}	S_{27}	S_{16}
S_{10}	S_9, S_{18}, S_{26}	S_{28}	S_{34}
S_{11}	S_4	S_{29}	S_0
S_{12}	S_2, S_{13}	S_{30}	S_0
S_{13}	S_{30}, S_{31}, S_{33}	S_{31}	S_0
S_{14}	S_{15}	S_{32}	S_0
S_{15}	S_2	S_{33}	S_0
S_{16}	S_{28}, S_{31}, S_{32}	S_{34}	S_0
S_{17}	S_2, S_{15}, S_{19}		

- $L_1 = \{S_0\}$
- $L_2 = \{S_{29}, S_{30}, S_{31}, S_{32}, S_{33}, S_{34}\}$
- $L_3 = \{S_3, S_7, S_{13}, S_{20}, S_{21}, S_{24}, S_{28}\}$
- $L_4 = \{S_4, S_5, S_6, S_{16}, S_{25}\}$
- $L_5 = \{S_9, S_{11}, S_{23}, S_{26}, S_{27}\}$
- $L_6 = \{S_2\}$
- $L_7 = \{S_{12}, S_{15}, S_{18}, S_{19}\}$
- $L_8 = \{S_1, S_{10}, S_{14}, S_{17}, S_{22}\}$
- $L_9 = \{S_8\}$

由此可得新型城镇配电网影响因素层次结构图如图 2 所示。

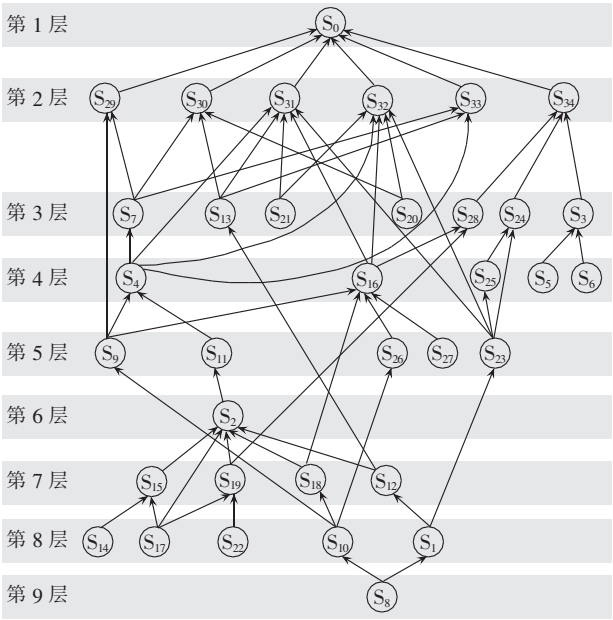


图 2 新型城镇配电网影响因素层次结构图
Fig.2 Hierarchical structure of influencing factors for new-type town distribution system

2 新型城镇配电网影响因素权重确定

层次分析法能够利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,本文采用层次分析法确定各影响因素的权重。传统层次分析法建模由目标层、准则层、方案层构成^[22],本文将其进行改进,把传统的目标层、准则层、方案层进行扩展,形成能够适应新型城镇配电网影响因素解释结构模型的权重计算方法。

由于新型城镇的发展刚刚起步,很多历史数据无法获取。确定影响因素权重时,必要的信息如下:

- a. 地理气候类包括气候类型、年平均气温、平均降水量、年平均日照时间等;
- b. 经济类包括 GDP 增速、三类产业的产值比例;
- c. 政策类包括城镇发展规划和发展导向、清洁能源的推广和补贴;
- d. 各类资源及能源储量、人口数量和用能习惯等其他方面。

在解释结构模型中,各影响因素分布在 $L_i(i=1, 2, \dots)$ 层次上。但是对于层次分析法, L_i 集合中的因素并不一定是在同一层次。设解释结构模型全部因素有 n 个,对于因素 S_p ,若可达矩阵 M 中的元素

$$M_{pq}=1 \quad p \leq n, q \leq n \quad (5)$$

则 S_p 为直接影响 S_q 的因素。由此可找出直接影响 S_q 的全部 $m(0 \leq m \leq n)$ 个因素。

若 $m=0$,则在影响因素集中没有直接影响 S_q 的因素;若 $m=1$,则 S_p 的权重与 S_q 的权重相等,即 $w_p=w_q$;若 $m>1$,则 S_p 的权重 w_p 的计算方法如下。

依次构造全部 m 个影响因素对 S_q 影响大小的判断矩阵 $A(m \times m$ 阶),求出 A 最大特征值 $\lambda_{\max}$ 对应的具有正分量的归一化特征向量 W ,利用权重系数计算式(6),计算出各个因素的权重。其中 a_{ij} 为判断矩阵 A 中的元素, $W=[w_1, w_2, \dots, w_m]$ 为所求特征向量,也就是各因素对评价目标 S_q 影响的相对权重。

$$w_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}} / \sum_{i=1}^m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}} \quad (6)$$

根据式(6)所得权重向量,通过式(7)得到最大特征值 $\lambda_{\max}$,再由式(8)对所得结果进行一致性检验,其中 m 为判断矩阵 A 的阶数。若 $C.I.<0.10$,则通过一致性检验。

$$AW=\lambda_{\max}W \quad (7)$$

$$C.I.=\frac{\lambda_{\max}-m}{m-1} \quad (8)$$

$$W_{ik}=\sum w_k \times W_q \quad (9)$$

式(9)中 w_k 为 L_i 层次上因素 S_k 对因素 S_q 的影响权重, W_q 为因素 S_q 的综合权重。需要注意的是,综合权重应按照层次结构图中从上到下的顺序求取。这样,就得到了各因素在 $L_i(i=1, 2, \dots)$ 层次上的各

因素的权重 W_{ik} 。再由式(10)得到因素 S_k 对配电网影响的综合权重:

$$W_k=\sum W_{ik} \quad (10)$$

最后,将所有因素对配电网影响的权重归一化评分,得到最终结果。

权重计算流程如图 3 所示。

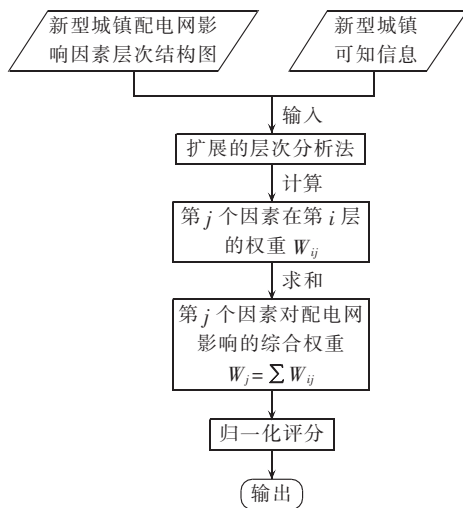


图 3 权重计算流程图

Fig.3 Flowchart of weight calculation

3 新型城镇配电网影响因素权重算例分析

我国华东某新型城镇 A 以丝绸、鱼米著称,没有重工业,拥有国家 AAA 级以上景区 2 个,常住人口约 9 万人。该城镇地处东亚季风区,年平均气温 15.7℃,年平均降水量 1160 mm,年平均日照时间 2020 h。近年来 A 镇所在市政府出台了一系列节能减排政策,特别是光伏发电的补贴政策,推动了当地分布式光伏发电的发展。

我国东北某新型城镇 B,矿产资源储量丰富,其一度以重工业为经济发展主力,常住人口约 4 万人。该城镇属于中温带大陆性气候,年平均日照时间 2775.5 h,年平均降水量 607.5 mm,年平均气温 7℃。随着绿色生态农业的发展,沼气综合利用得到推广和应用。

以 A、B 两镇为例,运用本文提出的方法,对其配电网影响因素做出分析,得到各影响因素的权重,结果如表 2 和表 3 所示。从表 2 中可以看出,新型城镇配电网对供电可靠的要求是最高的,这样的结果也是必然的。对于旅游业主导型城镇,一旦出现供电中断,在人员众多的景区、购物区、演出区易引起混乱,造成人员安全威胁;对于工业主导型城镇,不仅要求具备很高的供电可靠性,还对配电网的电能质量提出很高的要求。因为电能质量的下降会导致工业用电设备的效率和功率因数降低、损耗增大、设

表 2 新型城镇配电网影响因素计算结果 1
Table 2 Calculative result of influencing factors for case 1

序号	A 城镇(旅游业发达的 旅游业主导型)		B 城镇(工业发达的 工业主导型)	
	因素	权重	因素	权重
1	S ₂₉ 供电可靠性	0.3750	S ₂₉ 供电可靠性	0.2778
2	S ₃₀ 电能质量	0.1250	S ₃₀ 电能质量	0.1642
3	S ₃₁ 结构和规划	0.1250	S ₃₂ 负荷	0.1414
4	S ₃₂ 负荷	0.1250	S ₃₃ 继电保护和 设备配置	0.1414
5	S ₃₃ 继电保护和 设备配置	0.1250	S ₃₄ 经济效益	0.1414
6	S ₃₄ 经济效益	0.1250	S ₃₁ 结构和规划	0.1338

备寿命缩短、产品品质下降等不利于工业正常运行和发展的结果。

通过对表 2、表 3 所得结果的分析,可以得到如下几个方面的结论。

a. A、B 两城镇配电网各影响因素权重的趋势大体上是一致的。与传统配电网一样,气象方面的因素仍然是影响新型城镇配电网的重要因素。城镇的经纬度决定了其气候类型,气候类型又与其天气(如降水、气温等)密切相关。不论对于 A 镇这样的旅游业主导型城镇还是 B 镇这样的工业主导型城镇,应当密切关注并考虑大风、雷暴、覆冰等不良气象对配电网的影响。在配电网设计和规划时,对线路、安装位置、设备配置等方面应特别注意,慎重选择。

b. 与传统配电网不同的是,清洁能源对新型城镇配电网的影响非常大。例如 A 镇大力发展的太阳能和 B 镇的沼气综合利用。清洁能源的利用一方面减小了部分负荷,另一方面清洁能源分布式发电的并网使得配电网的潮流不再是单向的。双向的潮流使得配电网的规划、设计、运行、控制与装置配置都需要随之调整,适应其未来发展。作为旅游业主导型城镇,A 镇对清洁能源分布式发电的接受程度大于 B 镇,大量分布式光伏发电的接入使 A 镇的配电网负荷预测的难度加大。因此,对于 A 镇以及与 A 镇类似的新型城镇配电网,特别是配电网安全性等方面,应当在规划、设计时充分考虑清洁能源的利用对配电网的影响、合理配置。

c. 产业因素对新型城镇配电网的影响较大。并且,对工业主导型的新城镇的影响远大于旅游业主导型的新城镇。结合实际情况,A 镇无重工业,经济增长主要依靠旅游业;B 镇以工业为主导,结合生态农业协同发展,产业结构、产值的变化更易对配电网产生影响。GDP、产业分布等因素主要是对新型城镇配电网负荷的增长产生影响。因此,在新型城镇配电网规划时,应考虑其经济发展潜力和负荷增长需求,满足新城镇的发展要求。

表 3 新型城镇配电网影响因素计算结果 2
Table 3 Calculative result of influencing factors for case 2

影响因素	A 城镇		B 城镇	
	综合权重	归一化 评分/%	综合权重	归一化 评分/%
S ₁ 清洁能源种类、分布 及各自百分比	0.2389	5.91	0.0866	2.94
S ₂ 传统燃料消耗量	0.0327	0.81	0.0348	1.18
S ₃ 总能利用效率	0.0223	0.55	0.0223	0.76
S ₄ 清洁能源 分布式发电	0.2619	6.48	0.2085	7.07
S ₅ 冷热电联供制冷 性能系数	0.0056	0.14	0.0056	0.19
S ₆ 冷热电联供 蓄冷量	0.0167	0.41	0.0167	0.57
S ₇ 清洁能源渗透率	0.1822	4.51	0.1292	4.38
S ₈ 新型城镇经纬度	0.9064	22.43	0.5854	19.84
S ₉ 新型城镇天气	0.6145	15.21	0.4664	15.81
S ₁₀ 新型城镇 气候类型	0.6675	16.52	0.4988	16.91
S ₁₁ PM10(包含 PM2.5)指数	0.0327	0.81	0.0348	1.18
S ₁₂ 新能源汽车数量	0.2066	5.11	0.0533	1.81
S ₁₃ 电动汽车充电站 数量及分布	0.2051	5.08	0.0519	1.76
S ₁₄ 每万人公交车拥 有量及公路里程	0.0006	0.01	0.0005	0.02
S ₁₅ 新型城镇非清洁 能源机动车数量	0.0033	0.08	0.0029	0.10
S ₁₆ 负荷特性曲线	0.1403	3.47	0.0816	2.77
S ₁₇ 常住人口总量及 人口构成百分比	0.0270	0.67	0.0356	1.21
S ₁₈ 居民生活方式 和用能习惯	0.0310	0.77	0.0196	0.66
S ₁₉ 新型城镇 GDP 总量	0.0812	2.01	0.0969	3.28
S ₂₀ 各类产业 比例结构	0.0735	1.82	0.1648	5.59
S ₂₁ 各类产业分布	0.0556	1.38	0.1086	3.68
S ₂₂ 各产业年产值	0.0677	1.68	0.0727	2.46
S ₂₃ 绿色建筑数量 和分布	0.0323	0.80	0.0333	1.13
S ₂₄ 绿色建筑 节能总量	0.0088	0.22	0.0115	0.39
S ₂₅ 绿色节能建筑占 建筑总量百分比	0.0022	0.05	0.0029	0.10
S ₂₆ 建筑形态特点 与用途	0.0220	0.54	0.0128	0.43
S ₂₇ 智能家居用户 数量和百分比	0.0083	0.21	0.0048	0.16
S ₂₈ 城镇配电网 售电量	0.0939	2.32	0.1076	3.65

4 结语

本文针对新型城镇配电网的特点,首先总结并提出了新型城镇配电网影响因素集。其次提出了一种适用于新城镇的配电网影响因素解释结构模型,通过层次分析法扩展得到的结果,分层确定影

响因素的权重。将求取权重过程中某一因素的全部权重相加,得到该影响因素的综合权重。最后,将各影响因素权重进行归一化,得到针对新型城镇配电网的因素权重,直观地展示了各影响因素对配电网影响的大小。特别是对于数据不足甚至是数据缺乏的情况,采用所提出的模型和算法能够得出具有实际意义的结论。

应用所提出模型和算法对我国工业主导型和旅游业主导型的 2 种新型城镇进行了影响因素权重计算,通过算例结果的分析和与实际的对比,验证了模型的有效性,从而为新型城镇配电网影响因素的分析和权重确定提供了一种新的思路和方法,为我国新型城镇配电网的发展和建设提供参考。

参考文献:

- [1] 中共中央,国务院. 国家新型城镇化规划(2014—2020 年)[EB/OL]. [2014-03-16]. <http://www.gov.cn/zhuanti/xxczh/index.htm>.
- [2] 王成山,李鹏. 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J]. 电力系统自动化,2010,34(2):10-14.
WANG Chengshan,LI Peng. Development and challenges of distributed generation,the micro-grid and smart distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(2):10-14.
- [3] 丛伟,潘贞存,王成山,等. 含高渗透率 DG 的配电系统区域纵联保护方案[J]. 电力系统自动化,2009,33(10):81-85.
CONG Wei,PAN Zhencun,WANG Chengshan,et al. A Substation Area Longitudinal Protection(SALP) scheme for distribution system with high DG penetration[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(10):81-85.
- [4] JAVADIAN S A M,HAGHIFAM M R,FIROOZABAD M F,et al. Analysis of protection system's risk in distribution networks with DG[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems,2013,44(1):688-695.
- [5] 王建,吴奎华,刘志珍,等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):47-52.
WANG Jian,WU Kuihua,LIU Zhizhen,et al. Impact of electric vehicle charging on distribution network load and coordinated control[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):47-52.
- [6] 林霞,陆于平,吴新佳. 分布式发电系统对继电保护灵敏度影响规律[J]. 电力自动化设备,2009,29(1):54-59.
LIN Xia,LU Yuping,WU Xinjia. Influence law of distributed generation on relay protection sensitivity[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(1):54-59.
- [7] 张保会,李光辉,王进,等. 风电接入电力系统故障电流的影响因素分析及对继电保护的影响[J]. 电力自动化设备,2012,32(2):1-8.
ZHANG Baohui,LI Guanghui,WANG Jin,et al. Affecting factors of grid-connected wind power on fault current and impact on protection relay[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(2):1-8.
- [8] HASHEMI S M,EBRAHIMI A. A new analytical method for impact evaluation of distributed generation on distribution system reliability[J]. International Review of Electrical Engineering,2009(5):907-913.
- [9] 钱科军,袁越,ZHOU Chengke. 分布式发电对配电网可靠性的影响研究[J]. 电网技术,2008,32(11):74-78.
QIAN Kejun,YUAN Yue,ZHOU Chengke. Study on impact of distributed generation on distribution system reliability[J]. Power System Technology,2008,32(11):74-78.
- [10] 周俊,丁剑,王青,等. 光伏接入对玉树电网安全稳定性影响及控制策略[J]. 电力自动化设备,2014,34(6):25-29.
ZHOU Jun,DING Jian,WANG Qing,et al. Impact of PV integration on safety and stability of Yushu Grid and control strategy[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(6):25-29.
- [11] 刘继东,韩学山,楚成博,等. 考虑非气象因素的电网夏季降温负荷研究[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):40-46.
LIU Jidong,HAN Xueshan,CHU Chengbo,et al. Cooling load of summer grid considering non-meteorological factors[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):40-46.
- [12] 章杜锡,徐祥海,杨莉,等. 分布式电源对配电网过电压的影响[J]. 电力系统自动化,2007,31(12):50-54.
ZHANG Duxi,XU Xianghai,YANG Li,et al. The impact of distributed generators on distribution system over-voltage[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(12):50-54.
- [13] 裴玮,盛鹏,孔力,等. 分布式电源对配网供电电压质量的影响与改善[J]. 中国电机工程学报,2008,28(13):152-157.
PEI Wei,SHENG Kun,KONG Li,et al. Impact and improvement of distributed generation on distribution system voltage quality[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(13):152-157.
- [14] 赵岩,胡学浩. 分布式发电对配电网电压暂降的影响[J]. 电网技术,2008,32(14):5-9.
ZHAO Yan,HU Xuehao. Impacts of distributed generation on distribution system voltage sags[J]. Power System Technology,2008,32(14):5-9.
- [15] 许晓艳,黄越辉,刘纯,等. 分布式光伏发电对配电网电压的影响及电压越限的解决方案[J]. 电网技术,2010,34(10):140-146.
XU Xiaoyan,HUANG Yuehui,LIU Chun,et al. Influence of distributed photovoltaic generation on voltage in distribution system and solution of voltage beyond limits[J]. Power System Technology,2010,34(10):140-146.
- [16] 赵伟,姜飞,涂春鸣,等. 电动汽车充电站入网谐波分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):61-66.
ZHAO Wei,JIANG Fei,TU Chunming,et al. Harmonic currents of grid-connected EV charging station[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(11):61-66.
- [17] 刘伟,彭冬,卜广全,等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述[J]. 电网技术,2009,33(19):1-6.
LIU Wei,PENG Dong,BU Guangquan,et al. A survey on system problems in smart distribution system with grid-connected photovoltaic generation[J]. Power System Technology,2009,33(19):1-6.
- [18] ACKERMAN T,KNYAZKIN V. Interaction between distributed generation and the distribution system[C]//2002 IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition. [S.l.]:IEEE,2002:1357-1362.
- [19] 李惠玲,白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策[J]. 电力系统自动化,2011,35(17):38-43.
LI Huiling,BAI Xiaomin. Impacts of electric vehicles charging

on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011,35(17):38-43.

[20] SOROUDI A,EHSAN M,CAIRE R,et al. Possibilistic evaluation of distributed generations impacts on distribution networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2011,26(4):2293-2301.

[21] WARFIELD J N. Participative methodology for public system planning[J]. Computers & Electrical Engineering,1973,1(1): 23-40.

[22] VAIDYA O S,KUMAR S. Analytic hierarchy process:an over-view of applications[J]. European Journal of operational Re-search,2006,169(1):1-29.

作者简介:



王守相

王守相(1973—),男,山东高密人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为智能配电系统分析、分布式发电系统分析与仿真(E-mail:sxwang@tju.edu.cn);

张一帆(1989—),女,河北河间人,硕士研究生,主要研究方向为配电网负荷预测(E-mail:zyf_tju@126.com);

葛磊蛟(1984—),男,湖北咸宁人,博士研究生,研究方向为智能配电网与不确定性仿真。

Interpretative structural model of influencing factors
for distribution network of new-type town

WANG Shouxiang,ZHANG Yifan,GE Leijiao

(Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education,Tianjin University,Tianjin 300072,China)

Abstract: The influencing factor set of new-type town distribution system is put forward and the interactions among them are analyzed to form the reachability matrix,according to which,its ISM(Interpretative Structural Model) is constructed. In order to directly reflect the impact of each factor on the new-type town distribution system,an extended AHP(Analytic Hierarchy Process) is proposed to calculate the weight of each influencing factor in the model. The main factors influencing its development and construction are analyzed,which provides the reference for the development and construction of China's new-type town distribution system. Two analysis cases verify the practicability and adaptability of the proposed model.

Key words: new-type town; distribution network; influencing factor; interpretative structural model; analytic hierarchy process

(上接第 66 页 continued from page 66)

Faulty line selection based on waveform feature clustering in time domain for
resonance grounding system

GUO Moufa¹,YAN Min²,CHEN Bin³,YANG Gengjie¹

- (1. College of Electrical Engineering and Automation,Fuzhou University,Fuzhou 350116,China;
2. Fuzhou Power Supply Company of State Grid Fujian Electric Power Company,Fuzhou 350003,China;
3. Electric Power Research Institute of State Grid Fujian Electric Power Company,Fuzhou 350007,China)

Abstract: The waveform similarity of line zero-sequence currents after the single-phase grounding fault of resonance grounding system is analyzed based on its zero-sequence network and a method of faulty line selection based on the waveform feature clustering in the time domain is proposed for it. The line zero-sequence current waveform of the first post-fault half-period is decomposed in histograms and the relative entropy matrix is adopted to reflect the state difference among the zero-sequence currents,as well as their polarity information. Combined with the amplitude information,an integrated relative entropy matrix is established to represent the time-domain waveform feature of transient zero-sequence currents. The fuzzy KFCM(Kernel Fuzzy C-Means) without the threshold setting is used to detect the faulty line. The proposed method is verified by the simulations under different working conditions and the results show that,it is immune to the arc fault,noise disturbance,non-synchronized sampling and compensation degree.

Key words: resonance grounding system; faulty line selection; transient zero-sequence current; histogram decomposing; relative entropy; fuzzy kernel clustering