

基于 ISM 分析法电网工程项目投资 影响因素作用路径研究*

李金颖¹ 李树林¹ 彭冬² 薛雅玮² 李金超³

(1. 华北电力大学经济管理学系, 河北 保定 071003;

2. 国网北京经济技术研究院, 北京 100054;

3. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206)

摘要: 电网是社会发展的主要动力, 其发展受到很多因素的影响。以影响整个宏观电网发展的因素为研究对象, 运用解释结构模型 (ISM) 对影响电网发展的 12 项重要外部因素进行了分析, 研究了其影响因素对电网投资的作用路径。结果表明: 影响因素分为 6 个层次, 其中, 城市化和负荷分布是最深层次的影响因素; 经济总量、经济结构、人口总量为电网发展的直接影响因素; 其他因素处在中间层次, 发挥交叉衔接作用。

关键词: 电网工程项目; 投资影响因素; ISM

0 引言

伴随着经济的高速发展, 我国电网工程项目建设投资力度快速加大, 电网工程项目建设投资呈现高增长态势。同时随着电网技术的更新换代以及智能电网的快速发展, 电网的运输距离和输电容量分别呈远距离和大容量态势快速发展。此外, 在输电电压等级方面, 电压等级越来越高, 电网工程项目投资密度越来越大, 而这些现状必然是由其影响因素作用的结果。因此, 为提高电网投资效益水平, 实现电网经济优化发展, 明确电网工程项目投资影响因素及其作用路径具有重大意义。

电网规模大小不仅仅是指电网的投资数额, 还包括电网的覆盖范围、容量大小、空间分布等方面, 而解决这些最终还是要靠投资, 因此本文的电网工程项目投资从广义上包含上述所有的方面。此外, 电网工程项目规模大小直接对社会服务、电网电能输送、社会资源利用等产生重要影响。为更好地完成电网工程项目建设规模的合理性, 对电网工程项目投资影响因素及其之间的相互作用机理进行研究也极为重要。目前研究电网工程项目投资影响因素方面的文献不少, 最早的

研究对地区农网变电规模进行研究。研究者对用电量进行预测, 并认为用电量这一因素对农网的变电规模具有决定性影响, 进而用单一的用电量指标对农网投资规模进行评估^[1]。后来有研究者运用层次分析法原理提出一套综合评估地区电网工程项目建设规模的方法。该方法从电网工程项目投资与经济、社会发展适应度的角度选取指标建模, 量化研究相关影响因素, 在电网工程项目投资规模影响因素确定方面有重要意义^[2]。再后来又有研究者运用误差修正模型, 研究了经济增长和电网规模的关系, 认为宏观经济状况和电网发展存在长期均衡关系^[3]。接着有研究者利用解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling, ISM) 研究了 33 个因素对电网工程项目投资规模的影响, 分析了影响电网工程项目投资规模的表层因素、根本因素和中间因素^[4]。再接着又有学者运用解释结构模型单独对智能电网投资影响因素进行研究, 研究了影响智能电网发展的直接原因和根本原因^[5]。

现有文献研究中大多是运用专家法定性判断或运用统计数据进行关联性计算, 很难确定众多

* 基金项目: 国家电网公司科技项目“考虑差异化发现需求的电网合理投资测算方法及应用研究”。

影响因素的重要程度,同时很少有研究这些因素作用路径的。文献[4]已经能够完整解释影响电网规模的因素结构层次,但是这些研究都是将内外部因素统一考虑,而事实上外部影响因素对电网规模的决定性远远超过内部因素,因此单独研究外部影响因素对电网工程项目投资的影响作用意义更加重大。

本文以电网工程项目所处的外部环境为视角,利用解释结构模型,研究电网工程项目自身以外的影响因素及其各因素之间的作用方向,构建因素作用路径的层级结构图,并以此结构图将各因素递阶分层,明确了各层级间的影响因素相互作用路径,以此作为控制电网工程项目投资规模以及合理性评价的依据。

1 电网工程项目投资影响因素解释结构模型

1.1 ISM 基本原理

1973年美国学者J. Warfield提出了一种研究复杂系统问题的模型——ISM,ISM在分析复杂的经济社会系统方面应用十分广泛,通过结构模型对复杂系统进行分析往往能够抓住问题的本质^[6]。经过数十年不断地丰富和完善,ISM建立了完整的理论知识,具有清晰的解决问题的思路,在研究复杂系统问题的领域里具有深度的适用性,具体流程见图1。

(1) 形成意识模型。根据研究系统所处的环境状态,搜集相关理论和知识经验,并以此对系统及其要素进行分析,从而形成影响因素集合,在思维中初步形成系统要素构成及概念性关系,即意识模型。

(2) 构建邻接矩阵。逐一对因素集合中的因素进行二元关系判断,其结果用邻接矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 表示所有的直接二元关系。即

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \neq j \text{ 时要素 } e_i \text{ 与要素 } e_j \text{ 存在} \\ & \text{直接二元关系} \\ 0, & i = j \text{ 时要素 } e_i \text{ 与要素 } e_j \text{ 不存在} \\ & \text{直接二元关系} \end{cases} \quad (1)$$

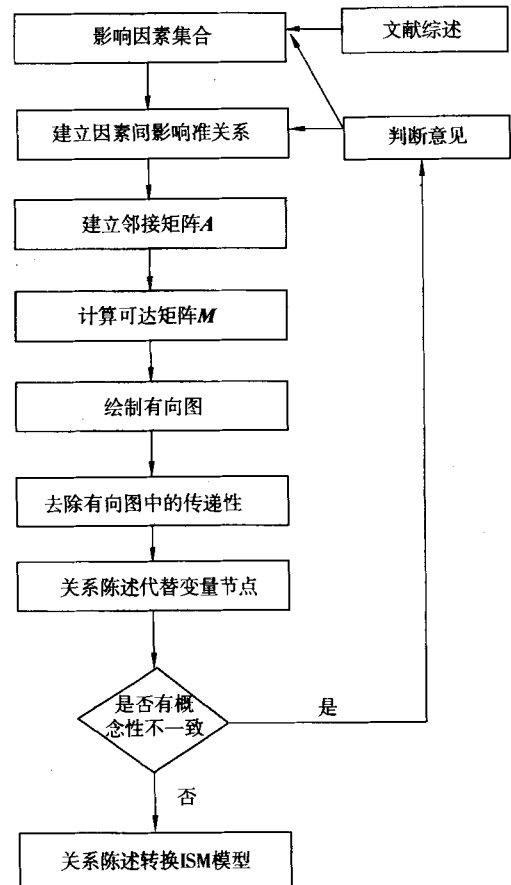


图1 ISM分析流程图

(3) 计算可达矩阵。其内涵为所研究的系统中,能显示出任意一个要素能否按照一定的连接路径到达其他的要素。根据推移律特性计算可达矩阵 M , 计算公式为

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

$$M = (A + I)^{k+1} \quad (3)$$

式(2)、式(3)中 I 是单位矩阵,根据推移律特性进行矩阵自乘,做矩阵幂运算,而且这一运算过程是按照布尔代数运算法则进行的。在求ISM可达矩阵时,把邻接矩阵 A 加上单位矩阵 I 后按式(3)进行运算,直到满足上述结果时就是所求矩阵。

(4) 要素集合分解。根据(3)中所计算的可达矩阵 M ,将各要素 e_i 按照式(4)做出判断划分,即

$$\begin{cases} P(e_i) = \{e_j \mid m_{ij} = 1\} \\ Q(e_i) = \{e_j \mid m_{ji} = 1\} \end{cases} \quad (4)$$

定义①：从要素 e_i 开始所能够到达的其他要素所构成的集合，称为要素 e_i 的可达集合，并用 $P(e_i)$ 表示。根据可达矩阵 M ，逐行找出该行里值不为 0 的列要素即可求得。

定义②：将所能够行至要素 e_i 的其他要素所构成的集合定义为要素 e_i 的先行集，用 $Q(e_i)$ 表示。同样根据可达矩阵 M ，逐列找出该列里值不为 0 的行要素即可求得。

接下来根据集合 $P(e_i)$ 和集合 $Q(e_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 寻找符合式 (5) 的要素集合 L_1 。

$$P(e_i) \cap Q(e_i) = P(e_i) \quad (5)$$

用式 (5) 这一条件可以确定出结构的各层级要素。集合 L_1 中的元素满足下面的特性：集合外其他的要素存在行至该要素的路径，而从该要素出发不存在行至其他要素的路径。因此可判定该集中的要素位于研究系统中的最高层级。接着，对原始可达矩阵 M 进行缩减，按照第一层中要素对应的行列踢出，从而得到新的缩减矩阵 M' ，对 M' 再按照式 (5) 进行判断，即可确定下层元素，再进行同样的删减操作，即可逐层确定各级的要素。按照此操作规律，依次逐层求出以下各阶层要素，根据结果进一步进行要素级别分配。

(5) 做出递阶有向图。根据上述步骤所计算的矩阵 M ，用多级递阶有向图来表示所建立 ISM

的结构。

(6) 分析解释。以所研究系统自身所处的环境为基础，根据已有的理论知识和经验，对所建立的 ISM 结果进行分析解释，从而得到研究分析结论。最后将所得分析结论与初始意识判定结果进行比较，以判断是否有概念性的一致，有则返回步骤 (1)，对有关要素及其二元关系和解释结构模型进行修正，从而得到科学的分析。

1.2 电网工程项目投资影响因素的 ISM 建立

1.2.1 影响电网工程项目投资的因素

影响电网投资因素很多，分别来自电能需求侧、电能供给侧以及电网本身技术水平。除了电网本身技术影响外，其余均为外部因素，而正是外部影响因素对电网投资的影响比内部因素的影响作用大得多，因此本文主要研究外部影响因素的作用机理。通过对相关文献 [7-15] 的研究，确定具体的影响因素如下：装机容量、电源结构、电源分布、负荷总量、负荷分布、电压等级结构、输电能力、经济总量、经济结构、城市化、人口总量、供电面积。

确定各因素之间的相互影响，如果量因素之间存在直接二元关系，则用“○”表示。由初始意识判定的因素之间的关系见表 1，同时表 1 也是构建邻接矩阵的原始概念模型。

表 1 因素关系判定表

S_i	装机容量 S_1	电源结构 S_2	电源分布 S_3	负荷总量 S_4	负荷分布 S_5	电压等级 结构 S_6	输电能力 S_7	经济总量 S_8	经济结构 S_9	城市化 S_{10}	人口总量 S_{11}	供电面积 S_{12}
装机容量 S_1				○								○
电源结构 S_2	○							○				
电源分布 S_3	○			○		○				○		○
负荷总量 S_4	○		○				○					
负荷分布 S_5	○	○	○			○						○
电压等级结构 S_6							○					○
输电能力 S_7												
经济总量 S_8	○	○	○	○	○	○			○	○	○	
经济结构 S_9								○				
城市化 S_{10}	○			○	○			○	○			
人口总量 S_{11}			○	○	○			○		○		
供电面积 S_{12}			○									

1.2.2 电网工程项目建设规模影响因素邻接矩阵

根据表1中所确定的电网工程项目建设规模影响因素的二元判定关系，将表1中的12个因素之间的二元判定关系按式(1)转换成如下式所示的邻接矩阵A

$$A = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

1.2.3 电网建设规模影响因素可达矩阵

按照布尔代数运算，根据式(2)和式(3)的运算方法，得到运算结果如下，此即为可达矩阵M

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2 ISM 构建结果

根据以上运算结果，建立电网工程项目建设投资规模影响因素结构层级图。按照前文理论中的因素级别判定方法，将电网工程项目建设投资

规模影响因素分为6个层次： $L_1 = \{S_8, S_9, S_{11}\}$ ， $L_2 = \{S_3, S_9\}$ ， $L_3 = \{S_1, S_4, S_6\}$ ， $L_4 = \{S_2, S_7, S_{10}\}$ ， $L_5 = \{S_5\}$ ， $L_6 = \{S_{10}\}$ 。进一步由所得的层次结果得到电网工程项目投资影响因素系统的结构模型(图2)。

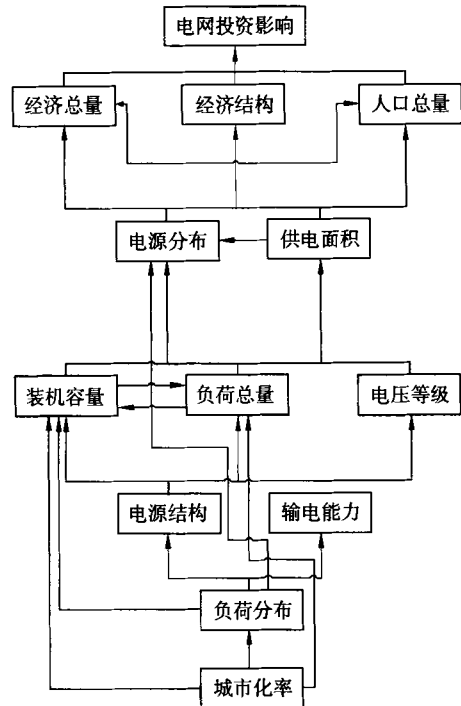


图2 电网工程项目投资影响因素结构图

3 解释结构模型结果分析

由图2可看出，电网工程项目投资影响因素系统分为6个层级，由箭头方向形成有向递阶层次结构图，由低到高显示了层级因素间的影响关系。电网工程项目投资直接受经济总量、经济结构、人口总量的影响，即这层因素是电网工程项目投资的表层直接影响因素。显然在进行电网工程项目投资决策时，经济总量、经济结构、人口总量将是直接的宏观决策要素，明确当前经济状况，结构和人口数量才能保证做出正确的决策。因此，需要综合考虑这些因素以及影响这些因素的要素。最后看底下两层因素，分别为负荷分布和城市化率，这两层处于整个结构最低两层，是整个系统的基本影响因素，其对电网工程项目投资影响路径见图2。作为底层因素，对上层影响起基本决定作用。负荷分布包括负荷大小分布和

负荷区域分布两方面。电网工程项目建设最基本决定因素就是负荷分布,没有负荷就没有电网建设和投资的意义,而负荷分布大小、地区和资源分布存在不一致,这就会直接产生对电网建设的要求,因此也直接对电源结构和输电能力产生决定性作用。城市化率为最底层因素。从国民经济行业发展对电力负荷分类来看,那就是大电力用户一定存在于城市地区,城镇化建设和工业发展将直接决定电网建设和电力工业的进步,电网投资的大部分用于城市电网建设,还有少部分则是农网建设,这些都直接决定负荷的最终分布。此外,由图2可以发现,底层因素不仅对单一上层因素产生影响,而且还对更高层因素产生影响,例如,最底层的城市化率除了对直接上层负荷分布产生影响外,还对装机容量甚至更高层的电源分布产生直接影响。这表明,底层因素是上层因素的基本决定因素,起主要作用,同时同层级因素之间也存在一定的影响关系。由此可见,每层因素产生影响的集合效应对最终目标起总体决定性作用。经过上述对模型结果的分析,可以明确掌握各个影响因素的作用路径及其之间的关系,进而能为控制电网工程项目的投资做出贡献。

4 结语

对影响电网工程项目投资规模的因素构建ISM,根据所构建层次结构的结果表明:在电网工程项目外部环境众多影响因素中,推动电网工程项目投资规模增加的根本原因是负荷分布和城市化率,电源结构和输电能力是影响电网工程项目投资的重要动力。这一分析结果与我国电网工程项目发展现状相一致,电网工程项目投资大规模增加,符合行业自身的规模经济性特性,这也是上述因素作用的必然结果。再者,从输电能力、电压等级结构和可靠性等方面来看,这些方面的要求逐渐提高是电网工程项目投资规模快速增加的直接内在驱动因素,除了这些方面以外的因素分别以各自的路径对电网工程项目的投资发挥影响作用,因此需要加强这些方面的研究。未来还需要对电网建设规模合理发展的控制措施进

行深入研究,从而达到对电网工程项目的投资控制。

参考文献

- [1] 王彦红,许跃进.地区农网变电规模预测研究及软件设计[J].农机化研究,2007(2):194-196.
- [2] 彭国荣.地区电网建设规模的模糊综合评估方法研究[D].长沙:湖南大学,2008.
- [3] 夏华丽,叶锦树.电网投资影响因素与增长效应[C]//电网工程造价管理优秀论文集.北京:《电网技术》编辑部,2011.
- [4] 王智冬,李金超,刘自发,等.基于ISM的电网建设规模影响因素作用机理研究[J].电气应用,2014(5):18-21.
- [5] 李金超,牛东晓,李金颖.智能电网发展影响因素的解释结构模型分析[J].电力建设,2012,33(9):1-5.
- [6] Warfield J N. Participative methodology for public system planning [J]. Computers & Electrical Engineering, 1973(2): 187-210.
- [7] 王熙亮.中美电网规模与电源容量对比分析[C]//中国电机工程学会年会论文集.北京:中国电机工程学会,2008.
- [8] 顾雨嘉,许跃进,倪文峰.农村电网各电压级配电网设施合理规模比例的探讨[J].农业技术与装备,2011(12):13-15.
- [9] 李欣然,欧阳力,朱湘有,等.GRA在地区电网建设规模评估中的应用[J].电力科学与技术学报,2007,22(1):61-66.
- [10] 刘连光.大规模电网应对空间灾害天气影响的科学问题[C]//中国电机工程学会电磁干扰专业委员会学术会议论文集.北京:中国电机工程学会电磁干扰专业委员会,2009.
- [11] 李欣然,李培强,朱湘有,等.基于最优化原理的高压配电网建设规模评估[J].电力系统自动化,2007,31(4):46-50.
- [12] 章超,钟胜,范丽霞,等.扩大华中与西北电网联网规模的可行性研究[J].电网技术,2007,31(17):76-80.
- [13] 马振宇.电网可靠性的蒙特卡洛仿真研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(14):55-58.
- [14] 杨冬,刘玉田,牛新生.电网结构对短路电流水平及受电能力的影响分析[J].电力系统保护与控制,2009,37(22):62-67.
- [15] 韩戈,韩柳,吴琳.各种限制电网短路电流措施的应用与发展[J].电力系统保护与控制,2010,38(1):141-144. **PMT**

收稿日期:2017-07-08