

文章编号:1671-6833(2011)06-0121-05

## 基于层次分析法的郑州新区电压等级序列优化研究

陈根永<sup>1</sup>, 孙 栗<sup>1</sup>, 彭 勇<sup>2</sup>, 王发义<sup>2</sup>, 常俊甫<sup>3</sup>, 李军伟<sup>3</sup>

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 信阳供电公司, 河南 信阳 464000; 3. 禹州供电公司, 河南 禹州 461670)

**摘 要:** 提出了一种基于层次分析法的地区电网建设评估方法. 通过负荷密度法建立电网模型, 以技术性、经济性和社会性 3 方面为决策指标建立层次结构, 利用层次分析法对郑州新区电压等级序列进行综合性评估, 提出了优化电压序列. 该方法通过建立判断矩阵, 将复杂系统的决策思维进行层次化, 改变了以往单纯依靠专家经验确定权重的模式, 适用于对配电网综合评价指标权重的确定.

**关键词:** 层次分析法; 电压等级; 配电网; 负荷密度; 综合评估

**中图分类号:** TM744

**文献标志码:** A

### 0 引言

近年来郑州经济发展迅速, 2009 年初河南省委、省政府作出规划建设郑汴新区的重大战略决策, 郑州新区在未来二十年的时间内面临重大发展机遇. 根据政府规划, 新区负荷及密度将会由目前的较低水平增长至相当高的水平, 在此前提下迫切需要对郑州新区采用的配电网电压等级组合方式进行综合评估, 确定优化的电压等级序列.

城市电网采用 10 kV 配电电压作为标准等级已沿用近半个世纪, 随着负荷密度不断增大, 20 kV 中压配电网在国际上普遍采用, 也列入我国电网的标准电压等级, 考虑到郑州新区建设的特殊性, 引入 20 kV 电压等级对各种电压等级组合的经济性进行综合评估.

笔者重点对郑州新区刘集、官渡组团中(牟)北新城两大组团, 2035 年规划建成区面积 120 平方公里区域的电网结构进行分析研究, 并根据负荷密度法建立预测模型, 运用层次分析法对不同电压等级序列进行综合性评估, 得出最优的电压等级序列.

### 1 规划区近期概况

郑汴一体化区域规划面积约为 800 km<sup>2</sup>, 其中郑州新区近期规划范围: 西起京珠高速, 东至郑州和开封边界, 北至郑州市北环, 南至陇海铁路,

面积约 120 km<sup>2</sup>. 目前规划区内只有 35 kV 变电站, 及少量 10 kV 线路供区内负荷, 2010 年负荷密度不足 0.15 MW/km<sup>2</sup>. 初期规划按 2.5 MW/km<sup>2</sup> 进行投资建设, 随着大量工业的不断迁入, 特别是大型工业集聚区的建设, 预测远景年区内(2035 年)平均负荷密度将达到 30 MW/km<sup>2</sup>.

### 2 评估方案设计

对城区配电电压的优劣, 取目前华中电网采用较多的 5 种电压等级序列进行综合评价, 引入 20 kV 配网电压等级, 对新建区供电区域的纯架空和纯电缆布线方案建立模型, 根据估算模型, 对供电区域的案例进行分析, 给出不同类型区域采用新中压配电电压供电的综合性评估结论.

5 种电压等级序列方案指从现有的和中压配电电压升压后可行的电压等级序列中除去含有 110/35 kV 的电压等级序列(若 110 kV 和 35 kV 同时作为高压配电电压, 电压阶差小, 增加了变电层次, 而且郑州城区目前已经取消了 35 kV 配电电压等级)后得到的电压等级序列, 即: ① 500/220/20/0.4 kV; ② 500/220/35/0.4 kV; ③ 500/220/110/20/0.4 kV; ④ 500/220/110/10/0.4 kV; ⑤ 500/220/35/10/0.4 kV.

#### 2.1 不同负荷密度的网络规模

根据负荷密度法, 设  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  分别

收稿日期: 2011-04-10; 修订日期: 2011-06-16

作者简介: 陈根永(1964-), 男, 河南郑州人, 郑州大学副教授, 主要研究方向为电力系统规划与继电保护, E-mail: cgyfyx@zzu.edu.cn.

对应上述 5 种电压等级序列. 下面详细分析负荷密度从 2.5 MW/km<sup>2</sup> 增加到 30 MW/km<sup>2</sup> (2035)

表 1 负荷密度为 2.5,30 MW/km<sup>2</sup> 时的网络规模  
Tab.1 The network scale for the load density of 2.5,30 MW/km<sup>2</sup>

方案	2.5					30				
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
单座变电站 HV 进线长度/km	16.37	16.37	16.37	13.37	8.19	5.98	5.98	4.73	3.76	2.38
单座变电站主变容量/(万 kVA)	27	27	24	18.9	6	27	27	24	18.9	6
单座变电站 MV 线长度(架空)/km	247.81	247	247.81	164.56	61.7	68.45	66.55	42.94	37.09	14.84
单座变电站 MV 线长度(电缆)/km	246.35	247	246.35	164.24	61.52	68.78	66.24	42.84	36.46	14.62
全区 HV/MV 变电站座数/个	2	2	2	3	10	24	24	30	36	114
220 单座变电站进线长度/km	—	—	23.16	23.16	16.37	—	—	54	54	27
单座变电站主变容量/(万 kVA)	—	—	54	54	27	—	—	7.32	7.32	5.98
全区变电站座数/个	—	—	1	1	2	—	—	12	12	24

2.2 层次分析法(AHP)确定权重

应用多层次、多指标的体系对配电网电压等级序列进行综合评价,一个关键问题和难点是如何确定同层各指标相互间的定量关系和下一层次对上一层次的隶属度. 在以往评价体系中单纯依靠专家经验确定权重的方式,主观性偏大,并且缺乏科学理论依据,最后各专家对同一问题的认识程度不同,协调统一繁琐困难. 笔者采用层次分析法通过对配电网电压等级序列评估问题进行权重的设置,很好地解决了上述问题.

2.2.1 层次分析法简介

AHP 法能够把复杂系统的决策思维条理化、层次化,通过判断矩阵的建立、排序,将评估体系中定性和定量的因素有机地结合起来,求出特征向量,经过一致性检验和标准化得出各因子的权重,比较适合于电网建设综合评价指标权重的确定;同时,将人的主观性数字化、科学化、层次化,直观地解决了决策者和决策分析者的沟通困难,避免了个人偏好导致权重预测与实际相左情况的产生,提升了综合评估体系的有效性,特别适合于多目标、多层次、多因素和多方案的复杂系统的分析决策.

2.2.2 明确评估系统的目的、层次和指标

评估指标体系通常可分为 3 个层次,第 1 层目的层为综合效益,第 2 层为系统层,可分为经济性、技术性和社会性,第 3 层指标层为对应第 2 层的各种具体因素或决策方案. 如果有必要,也可以在第 2 层系统层与第 3 层指标层之间再设置一状态层,变成 4 层评估体系. 笔者对郑州新区电压等级序列的评估体系分为 3 层,具体情况见图 1.

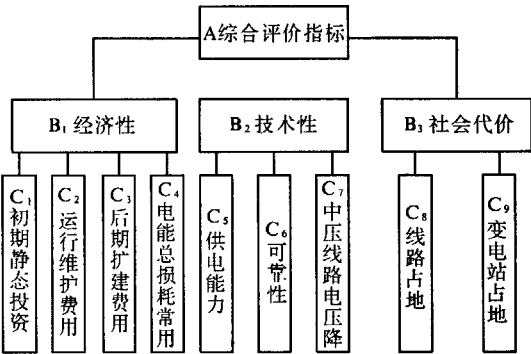


图 1 指标体系层次结构图

Fig.1 The hierarchical structure diagram of indices system

2.2.3 建立层次结构

现以 A,B,C 表示郑州新区电压等级序列方案的 3 个层次,即目的层、系统层、指标层. D 为评估方案, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> 分别为 500/220/20/0.4 kV, 500/220/35/0.4 kV, 500/220/110/20/0.4 kV, 500/220/110/10/0.4 kV, 500/220/35/10/0.4 kV 电压等级序列.

2.2.4 构造判断矩阵和一致性检验

将同一层次指标因素的相对重要性进行两两比较,采用 1-9 标度法表示:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 相比,具有同样重要性;} \\ 3, \text{指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 相比,} i \text{ 比 } j \text{ 稍微重要;} \\ 5, \text{指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 相比,} i \text{ 比 } j \text{ 明显重要;} \\ 7, \text{指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 相比,} i \text{ 比 } j \text{ 强烈重要;} \\ 9, \text{指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 相比,} i \text{ 比 } j \text{ 极端重要.} \end{cases}$$

$a_{ij}$  的值也可取以上各数的中间值 2,4,6,8. 此外,如指标  $i$  与指标  $j$  比较得  $a_{ij}$  则即为指标,反之指标  $j$  与指标  $i$  相比较可得  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ . 最后必须

强调的是,一般作 $\frac{n(n-1)}{2}$ 次两两判断是非常必要的。

判断矩阵建立后,将求出的特征向量归一化,归一化后的特征向量即可认为是同一层次各因素间的轻重定量程度,即权重.并通过一致性检验检查各个指标的权重之间是否存在矛盾.基于矩阵理论的一致性检验步骤如下:(1)计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ;(2)计算一致性指标 $CI,CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ ,其中, $n$ 为判断矩阵的行数,也即层次子系统 中的指标个数.(3)计算随机一致性比率 $CR,CR=CI/RI,RI$ 为随机一致性指标,见表 2.

表 2 平均随机一致性指标值

Tab.2 The value of mean random consistency index

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CI<0.10$ 时,判断矩阵被认为一致性相当满意.否则,应对判断矩阵予以适当调整.

2.3 指标体系层次排序

笔者运用层次分析法将郑州新区电压等级分为目的层、系统层和指标层,在电网建设规划中,按照经济性比技术性稍微重要,比社会性明显重要的原则,建立系统层对目的层的隶属关系,如表 3 所示.

表 3 系统层各因子与目的层的隶属关系

Tab.3 Relation of each factor of system layer with objective layer

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	1	3	5
B <sub>2</sub>	1/3	1	3
B <sub>3</sub>	1/5	1/3	1

将上述系统层矩阵带入 MATLAB 得特征向量 $W_A=(0.637,0.258,0.105)^T$ ,且 $CR=0.033$ 判断矩阵符合一致性要求.

按照电网规划标准原则确定参与评价的指标和权重,建立系统层与指标层的支配关系如表 4 所示.其中经济性中初期静态投资权重高于运行维护费用、后期扩建费用、电能损耗费用;技术性中取供电能力相对重要性略优于供电可靠性,明显比中压线路末端电压质量重要;社会性中主要表现为线路占地和变电站占地两个方面,考虑电网规划中选取电力线路走廊出线比变电站选址更

加困难,线路占地相比变电站占地重要度取 2.

表 4 指标层各因子与系统层的隶属关系

Tab.4 Relation of each factor of index layer with system layer

B <sub>1</sub> ~ C					B <sub>2</sub> ~ C				B <sub>3</sub> ~ C		
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
C <sub>1</sub>	1	2	2	2	C <sub>5</sub>	1	3	5	C <sub>8</sub>	1	2
C <sub>2</sub>	1/2	1	2	1	C <sub>6</sub>	1/3	1	3	C <sub>9</sub>	1/2	1
C <sub>3</sub>	1/2	1/2	1	1/2	C <sub>7</sub>	1/5	1/3	1	—	—	—
C <sub>4</sub>	1/2	1	2	1	—	—	—	—	—	—	—

将上述指标层矩阵带入 MATLAB 并归一化后得特征向量为:

$W_B=(0.395\ 2,0.232\ 2,0.140\ 4,0.232\ 2,0.637,0.258,0.105,0.667,0.333)^T$

通过计算 $B_1\sim C、B_2\sim C、B_3\sim C$ 这 3 个判断矩阵,可得 3 个判断矩阵的 $CR$ 分别等于0.016 8, 0.033 和 0,因此,上述 3 例判断矩阵一致性满意,层次单排序结果有效可靠.

根据层次总排序,可定量得出对于目的层 A 而言,指标层各相关分指标的权重向量 $(P_1,P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7,P_8,P_9)=(0.252,0.148,0.089,0.148,0.164,0.067,0.027,0.07,0.037)$ .

由此可见,上述中相互关联、相互制约、难以比较的众多因素构成的复杂评估系统,经过层次分析法结合 MATLAB 编程的应用,把定性思维定量化,得出以权重表示其各自影响力程度的定量关系,这对于优化方案提供了简洁而实用的建模方法.

3 5 种电压等级序列综合评估方案分析

现结合郑州新区 5 种电压序列方案的分析结果,考察其综合效益.

首先,将 5 种方案的经济性、技术性和社会性的具体指标分析结果列于表 7 和表 8.其中投资总费用包括 $C_1、C_2、C_3、C_4$ ,年折现率 $\lambda$ 取 92%,运行维护系数 $\alpha$ 取 0.03,年最大负荷利用小时数 $T$ 取 5 000 h,变压器负载率 $\beta$ 取 0.8, $p_i$ 电价取值按相关标准, $F_i$ 为每次扩建投资的费用, $F_{it}$ 为折现后上次投资扩建的费用,功率损耗.

$$\Delta P_i=\Delta P_L+\Delta P_T=\frac{S^2}{U^2}R+P_0+\beta^2P_K$$
 设后期进

行了四次扩建,前三次投资扩建时间是第五年,负荷密度分别达到了 5,10,25 MW/km<sup>2</sup>,最后一次扩建时间是第十年,负荷密度将达到 30

MW/km<sup>2</sup>.  $C_1$  初期静态投资为负荷密度为 2.5 MW/km<sup>2</sup> 的投资费用,具体网络规模见表 1. 扩建投资费用  $C_3 = \sum_{i=1}^n F_i \gamma_i^i$ , 后期运行维护费用  $C_2 = \sum_{i=1}^n (F_i + F_{si}) \alpha \gamma_i^i$ , 电能总损耗费用  $C_4 = \sum_{i=1}^n \Delta(P_i T p_i \gamma_i^i)$ .

表 7 5 种评估方案的分析表(架空)

Tab. 7 The analysis table of the five schemes

系统层	指标层	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	14.212	16.781	15.206	13.191	14.048
	C <sub>2</sub>	5.533	5.349	8.633	14.955	21.230
	C <sub>3</sub>	14.853	15.722	23.566	22.070	19.712
	C <sub>4</sub>	3.324	3.767	4.810	4.435	4.121
B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	7.374	7.457	7.216	5.581	5.362
	C <sub>6</sub>	99.970	99.965	99.970	99.968	99.968
	C <sub>7</sub>	2.249	2.178	3.782	6.814	10.105
B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	5.042	16.276	7.107	8.371	7.824
	C <sub>9</sub>	0.362	0.571	0.394	0.441	0.569

注:  $C_1, C_2, C_3, C_4$  单位为亿元,  $C_5$  单位为 MVA/km,  $C_6, C_7$  单位为 %,  $C_8, C_9$  单位为 km<sup>2</sup>, 下表同.

对表 7 和表 8 具体指标数据进行无量纲化处理,并根据指标层次总排序确定的权重,可计算出 5 种方案的评价综合指数,详见表 9 和表 10.

表 8 5 种评估方案的分析表(电缆)

Tab. 8 Five program analysis sheet (cable)

系统层	指标层	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	22.218	24.688	24.215	21.674	21.731
	C <sub>2</sub>	4.158	4.058	6.182	10.714	15.512
	C <sub>3</sub>	19.678	21.354	30.094	29.800	25.763
	C <sub>4</sub>	4.544	4.956	6.344	6.149	5.546
B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	7.374	7.457	7.216	5.581	5.362
	C <sub>6</sub>	99.971	99.967	99.971	99.968	99.968
	C <sub>7</sub>	1.726	1.635	2.592	4.908	7.214
B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	1.414	1.635	2.592	4.908	7.214
	C <sub>9</sub>	0.362	0.571	0.394	0.441	0.569

由表 9 和表 10 可见,无论架空还是电缆方案,郑州新区采用 D<sub>1</sub> 方案综合效益都远优于其他方案,中压配电网采用 20 kV 电压等级 D<sub>3</sub> 方案优于采用 10 kV 电压等级的 D<sub>4</sub> 方案. 对上表整理还可得出简化电压序列的重要性,虽然 D<sub>1</sub> 方案和 D<sub>3</sub> 方案都采用 20 kV 配电网,由于 D<sub>1</sub> 方案减少了一个电压等级,综合效益远优于 D<sub>3</sub> 方案,甚至在纯电缆布线方案中四级电压等级的 D<sub>2</sub> 方案也稍优于 D<sub>3</sub> 方案.

表 9 5 种方案的权重评价指数表(架空)

Tab. 9 The evaluation index table of five schemes (overhead)

系统层	指标层	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	0.180	0	0.111	0.252	0.192
	C <sub>2</sub>	0.146	0.148	0.117	0.058	0
	C <sub>3</sub>	0.089	0.080	0	0.015	0.039
	C <sub>4</sub>	0.148	0.104	0	0.037	0.069
B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	0.158	0.164	0.145	0.017	0
	C <sub>6</sub>	0.067	0	0.067	0.040	0.040
	C <sub>7</sub>	0.027	0.027	0.022	0.011	0
B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	0.07	0	0.057	0.049	0.053
	C <sub>9</sub>	0.92	0.523	0.549	0.501	0.393

表 10 5 种方案的权重评价指数表(电缆)

Tab. 10 The evaluation index table of five schemes (cable)

系统层	指标层	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	0.207	0	0.04	0.252	0.247
	C <sub>2</sub>	0.147	0.148	0.121	0.062	0
	C <sub>3</sub>	0.089	0.075	0	0.003	0.037
	C <sub>4</sub>	0.148	0.114	0	0.016	0.066
B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	0.158	0.164	0.145	0.017	0
	C <sub>6</sub>	0.067	0	0.067	0.017	0.017
	C <sub>7</sub>	0.027	0.027	0.022	0.011	0
B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	0.07	0	0.066	0.048	0.044
	C <sub>9</sub>	0.035	0	0.030	0.022	0

#### 4 结语

通过上述郑州新区采用五种电压序列等级的对比,可知简化电压序列、提高电压等级的优越性,郑州新区中压配电网宜采用 20 kV 电压等级,原有的 35 kV 变电站可就地升压或者改造为 110 kV 变电站,逐渐建设过渡到 500/220/20/0.4 kV 四级电压序列. 由以上郑州新区电压等级序列综合性评估及示例可见,层次分析的应用能较好地优化设计方案,处理关于综合评估系统的多指标、多方案的综合决策分析,能在电网规划建设中起到重要作用.

#### 参考文献:

- [1] 康重庆,夏清,刘梅. 电力系统负荷预测[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 张焰. 电网规划中的可靠性成本-效益分析研究[J]. 电力系统自动化,1999,23(15):33-36.
- [3] 范明天,张祖平,刘思革. 城市电网电压等级的合理配置[J]. 电网技术,2006,30(10):64-68.
- [4] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990.

- [5] 卢志刚,韩彦玲,常磊.基于组合权重的配电网运行经济性评价[J].电力系统保护与控制,2008,36(18):1-5.
- [6] 李晓辉,张来,李小宇.基于层次分析法的现状电网评估方法研究[J].电力系统保护与控制,2008,36(14):57-61.
- [7] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1990.
- [8] 国家电网公司.输配电电压序列优化及20千伏应用关键技术研究框架[R].北京:国家电网公司,2008.
- [9] GB 156—2003 标准电压[S].北京:中国标准出版社,2003.

## Voltage Class Series Optimization Research of Zhengzhou New Area Based on AHP

CHEN Gen-yong<sup>1</sup>, SUN Li<sup>1</sup>, PENG Yong<sup>2</sup>, WANG Fa-yi<sup>2</sup>, CHANG Jun-fu<sup>3</sup>, LI Jun-wei<sup>3</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Xinyang Power Supply CoMPany, Xinyang 464000, China; 3. Yuzhou Power Supply CoMPany, Yuzhou 461670, China)

**Abstract:** The evaluation method of distribution network construction based on analytic hierarchy process (AHP) is proposed. By building the model of electric network using the load density method, taking the technical, economic and social aspects as the indicators of decision-making, the hierarchical structure model is established. The voltage class series of Zhengzhou New Area are evaluated synthetically using AHP, and the optimal voltage class series are given. The method establishes the judgment matrix, and analyses the decision-making process of complicated systems hierarchically. It changed the way that the weight is determined by experts experience alone, and the method is suitable to determine the weight of the comprehensive evaluation index for distribution network. The study results can be used as the reference for the voltage class series optimization of Zhengzhou New Area.

**Key words:** AHP; voltage class; distribution network; load density; comprehensive assessment

(上接第120页)

- [9] MATIGNON D. Stability results of fractional differential equations with applications to control processing [J]. IMACS, IEEE-SMC, Lille, France, 1996, 11: 963-968.

## Synchronization and Control Between Different Chaotic Systems with Uncertain Parameters

ZHANG Zhao-han<sup>1</sup>, GAO Jin-feng<sup>2</sup>

(1. Zhoukou Vocational & Technical College, Zhoukou 466001, China; 2. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;)

**Abstract:** For a class of uncertain chaotic systems with unknown parameters, the adaptive synchronization control of two different chaotic systems is achieved in the paper, by means of the adaptive approach combined with the nonlinear feedback method. First, based on the Lyapunov stability theory, the adaptive controller and the parameter identification scheme are presented. Second, under certain conditions, large-scale asymptotic synchronization is proposed between two different uncertain integer order chaotic systems. Third, in order to reduce the energy required to control,  $k_0$  is introduced for the adaptive optimal control coefficient estimation. Finally, the simulation result proves the feasibility and effectiveness of the method.

**Key word:** chaos; fractional; synchronization; self-adaptive; optimization control