

# A Method to Forecast Recent Spatial Electric Load Based on Cloud Theory and AHP

Jie-Chao Zhang<sup>1</sup>, Jia-Jia Zhang<sup>2</sup>, Ya-Xin Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> School of Electric and Electronic Engineering, NCEPU, Beijing, China

<sup>2</sup> Sinopec Engineering Incorporation, Beijing, China

<sup>3</sup> Tianjin High Voltage Power Supply Company, Tianjin, China

Email: chaochao870416@126.com, swatchforever1987@gmail.com, ruth1985hb@126.com

**Abstract:** Introduce "saturation" to denote the developed degree of the electric load of recent years. Make use of cloud theory to translate the qualitative factors which influence the load saturation into quantitative values. In the meantime, adopt the theory of AHP to determine the weigh of those influencing factors. Then uses the theory of cloud gravity center to calculate the deviation of each predicted cloud gravity center from the saturated cloud gravity center, and thus we can deduce the load saturation of the electric load of recent years. At last the spatial load of the year which we want to forecast can be figured out by multiplying the load saturation by the saturated spatial load. From the actual project, it shows this model and method is reasonable and feasible.

**Keywords:** cloud theory; AHP; saturation; spatial load forecasting

## 基于云理论和层次分析法的近期年空间负荷预测的方法

张杰超<sup>1</sup>, 张嘉嘉<sup>2</sup>, 陈亚欣<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 华北电力大学, 北京, 中国, 102206

<sup>2</sup> 中国石化工程建设公司, 北京, 中国, 100101

<sup>3</sup> 天津高压供电公司, 天津, 中国, 300250

Email: chaochao870416@126.com, swatchforever1987@gmail.com, ruth1985hb@126.com

**摘要:** 引入“饱和度”来表示空间负荷发展的程度, 分别预测各小区近期年负荷的饱和度。运用云理论和层次分析法, 将影响饱和度的各因素进行量化, 进而通过求解云重心的偏离度来导出的近期年的饱和度; 最终将饱和度作用于各小区的饱和负荷得到近期年的空间负荷分布情况。基于大量的电网规划项目所积累的数据及资料, 对模型进行验证。验证结果表明此模型能够快速计算出近期年空间负荷分布情况, 并且具有一定的精度, 适用于工程实践中的空间负荷预测。

**关键词:** 云理论; 层次分析法; 饱和度; 空间负荷预测

### 1. 引言

空间负荷预测也称小区负荷预测<sup>[1][2]</sup>, 是配电网规划的基础, 其目的是预测未来的负荷分布。它将供电区域划分为很多小区, 对于每个小区, 城市规划均对其用地性质、负荷密度、占地面积以及容积率作了规划, 可以通过向政府规划部门收集规划方案而得到土地规划信息, 然而, 规划部门所提供的一般都是远景年(或饱和年)的规划情况, 预测得到的是城市发展处于饱和状态下的负荷。对于近期年的负荷分布预测, 当前较常用的做法是根据近期年分类负荷预测的结果

将各行业总负荷按照相同的比例关系分布到各小区中<sup>[3]</sup>, 作为近期年的负荷分布预测情况。这种做法并未考虑某类性质的用地所处的地理位置、交通条件、周围地区的发展情况, 未计及同类行业中由于地理位置和环境等的不同引起的其在某个水平年的发展程度的不同, 而是采用的一刀切的比例法, 使得对近期年的负荷分布预测存在一定得偏差, 对近期年配电网规划的科学合理性造成一定影响。

本文基于大量的数据调研, 引入云理论和层次分析法来计算近期年负荷的发展程度。引入“饱和度”

的概念来表示近期年负荷相对于饱和负荷的发展程度。首先建立影响饱和度的因素的云模型，其次运用层次分析法确定各因素的权重，进而计算云重心偏移度，从而确定饱和度。

## 2. 云理论

### 2.1 云理论的基本原理

云理论是由李德毅院士首创的一种处理不确定性问题的方法。它是定性概念与定量值之间的不确定性转换模型<sup>[4-5]</sup>。

### 2.2 构造云模型

云的数字特征用期望值  $Ex$ 、熵  $En$ 、超熵  $He$  三个数值来表征。

样本集中各样本的评价指标有定性和定量两种表示形式，定量指标包括距离城市中心距离、地区 GDP 等，定性指标有城市规模、城市发达程度、人口密集程度、人民受教育程度等。

其中用精确数值表示的指标的云模型为：

$$Ex = (Ex_1 + Ex_2 + \dots + Ex_m) / m$$

$$En = (\max(Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_m) - \min(Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_m)) / 6$$

通过  $m$  个语言值（云模型）表示的一个指标就可以用一个一维综合云来表征：

$$Ex = (Ex_1 * En_1 + Ex_2 * En_2 + \dots + Ex_m * En_m) / (En_1 + En_2 + \dots + En_m)$$

$$En = En_1 + En_2 + \dots + En_m$$

### 2.3 计算云重心向量

云重心可以表示为  $\mathbf{T} = \mathbf{a} * \mathbf{b}$ 。 $\mathbf{a}$  表示云重心的位置， $\mathbf{b}$  表示云重心的高度。期望值反映了相应的模糊概念的信息中心值，即云重心位置。当期望值发生变化时，它所代表的信息中心值发生变化，云重心的位置也相应地改变。在一般情况下，云重心的高度取常值（0.371）。期望值相同的云可以通过比较云重心高度来区分它们的重要性。

$m$  维综合云的重心  $\mathbf{T}$  可以用一个  $m$  维的向量来表示，即  $\mathbf{T} = (T_1, T_2, \dots, T_m)$ 。 $m$  维综合云重心位置向量为  $\mathbf{a} = (Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_m)$ ，对应的云重心高度向量为  $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ，其中  $b_i = w_i * 0.371$ ， $w_i$  为第  $i$  个影响因素的权重值，本文采用层次分析法进行计算。则云重心向量为  $\mathbf{T} = \mathbf{a} * \mathbf{b}^T$ 。

计算出饱和年的云重心向量：

$$\mathbf{T}_0 = \mathbf{a} * \mathbf{b}^T = (T_{01}, T_{02}, \dots, T_{0m})$$

同时，计算出近期年的云重心向量：

$$\mathbf{T}_i = \mathbf{a} * \mathbf{b}^T = (T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{im}), \quad i = 0, 1, \dots, n$$

## 2.4 计算饱和度

用加权偏离度 ( $\eta$ ) 来衡量不同状态下云重心的差异情况 ( $\eta$  值越小表示差异越不明显， $\eta$  值越大表示差异越显著)。那么  $\eta$  可以反映出近期年负荷相对于饱和负荷的饱和程度。

首先将云重心向量归一化，得到一组向量  $\mathbf{T}^M = (T_1^M, T_2^M, \dots, T_m^M)$ 。其中：

$$T_i^M = \begin{cases} (T_{0i} - T_{ji}) / T_{ji}, & T_{0i} \leq T_{ji} \\ (T_{0i} - T_{ji}) / T_{0i}, & T_{0i} \geq T_{ji} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

将归一化后的各指标乘以其权重值，再求和得到加权偏离度  $\eta_i$  ( $-1 \leq \eta_i \leq 0$ )，来衡量某一状态与饱和状态的差异（饱和状态的向量为  $(0, 0, \dots, 0)$ )：

$$\eta_i = \sum_{i=1}^m (w_i * T_i^M)$$

其中， $w_i$  为第  $i$  个影响因素的权重值。则近期年负荷相对于饱和负荷的发展程度（即饱和度）：

$$\sigma_i = (1 - \eta_i) \times 100\%$$

## 3. 层次分析法

### 3.1 层次分析法的基本原理

层次分析法是美国数学家 T.L.Satty 在 70 年代提出的一种多层次多因素排序权重确定的简便有效工具<sup>[6-8]</sup>。它将决策者对复杂系统的决策思维过程进行数量化，为选出最优决策提供依据。

### 3.2 判断元素及判断矩阵的确定

本文以居民用电性质的地块为例，在项目操作和调查研究的基础上，给出影响居民负荷饱和度的评价指标因素集<sup>[9-11]</sup>，构造负荷饱和度评价指标层次结构：

针对指标之间的层次关系，构造判断矩阵。采用九标度法描述不同目标之间的相对重要程度。表 1 给出了九标度法的表示方法。

### 3.3 层次排序及一致性校验

对于每一个比较判断矩阵  $\mathbf{A}$ ，对应一个特征方程  $\mathbf{A}\mathbf{W} = \lambda\mathbf{W}$ ，解向量  $\mathbf{W}$  规一化，所得到的向量即为同一层次各因素以上一层次因素为比较准则时，作相互比较后的相对重要性标度。

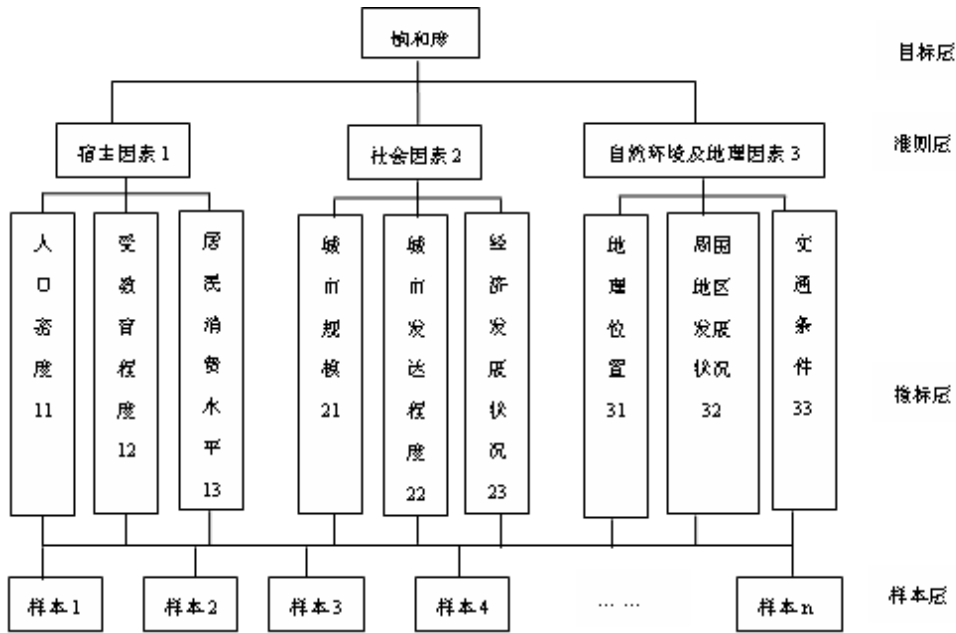


Figure 1. Load saturation evaluating indicator level structure drawing.  
图 1 负荷饱和度评价指标层次结构图.

Table.1 Expression method of nine scale method  
表 1 九标度法的表示方法

标度	含义
1	同等重要
3	略重要
5	较重要
7	非常重要
9	绝对重要

由于在对同一层次上的各因素作两两比较时，很可能出现所用的比较尺度前后不一致的现象。为此需要进行一致性校验。

通过计算一致性比例  $C.R.$  来进行校验，

$$C.R. = C.I. / R.I. \text{。其中 } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ 为一致性指标，}$$

$R.I.$  为平均随机一致性指标， $\lambda_{\max}$  为特征方程的最大特征根， $n$  为比较判断方阵  $A$  的阶数(也是该层次所含的因素个数)。

若  $C.R. < 0.1$ ，则认为该层次单排序的结果有满意的一致性，否则需要调整的元素取值。

计算同一层次中所有元素对于最高层(总目标)的相对重要性标度，有排序权重公式：

$$a^k = Y^k Y^{k-1} \dots Y^3 a^2, 3 \leq k \leq h$$

其中， $a^2$  为第二层因素的排序权重向量。 $Y^k$  表示以第  $k-1$  层的因素作为比较准则时，第  $k$  层各因素的相对重要性标度。 $h$  为层次数。

第  $k$  层次的一致性检验指标：

$$C.I.^k = C.I.^{k-1} a^{k-1} = (C.I.^{k-1}_1, C.I.^{k-1}_2, \dots, C.I.^{k-1}_m) a^{k-1}$$

$$R.I.^k = R.I.^{k-1} a^{k-1} = (R.I.^{k-1}_1, R.I.^{k-1}_2, \dots, R.I.^{k-1}_m) a^{k-1}$$

$$C.R.^k = C.R.^{k-1} + \frac{C.I.^k}{R.I.^k}, 3 \leq k \leq h$$

若上述检验过程一直完成到第  $h$  层次(最低层次)，并有  $C.R.^k < 0.1$ ，则可认为该评价模型达到了总体上的满意一致性。

#### 4. 云理论-层次分析法算法流程图

基于云理论和层次分析法的求取近期年饱和度的算法流程图如图 2 所示：

#### 5. 算例分析

以某地区居民用地性质的小区为例，用历史数据对本文的模型和算法作分析和验证。

预测基准年为 2000 年，近期年为 2001-2005 年。其中饱和年的预测负荷为 512.80MW。

该小区 2001-2005 年各影响因素的数值从政府文件和统计年鉴中获取。建立模型并计算饱和度，计算结果如表 2 所示。

由表 2 中的计算结果可以看出，预测值与实际值之间的相对误差较小，预测结果具有一定的精度。

针对其他用地性质的小区采用同样的方法建立模

型，可以分别计算出各小区近期年的饱和度，相应的作用于其对应的饱和年负荷，就得到了近期年预测区域的负荷分布情况。以一定的同时率进行累加，得到

近期年预测区域总负荷，与其他方法预测得到的近期年总负荷进行校核，可以更好的修正预测结果。

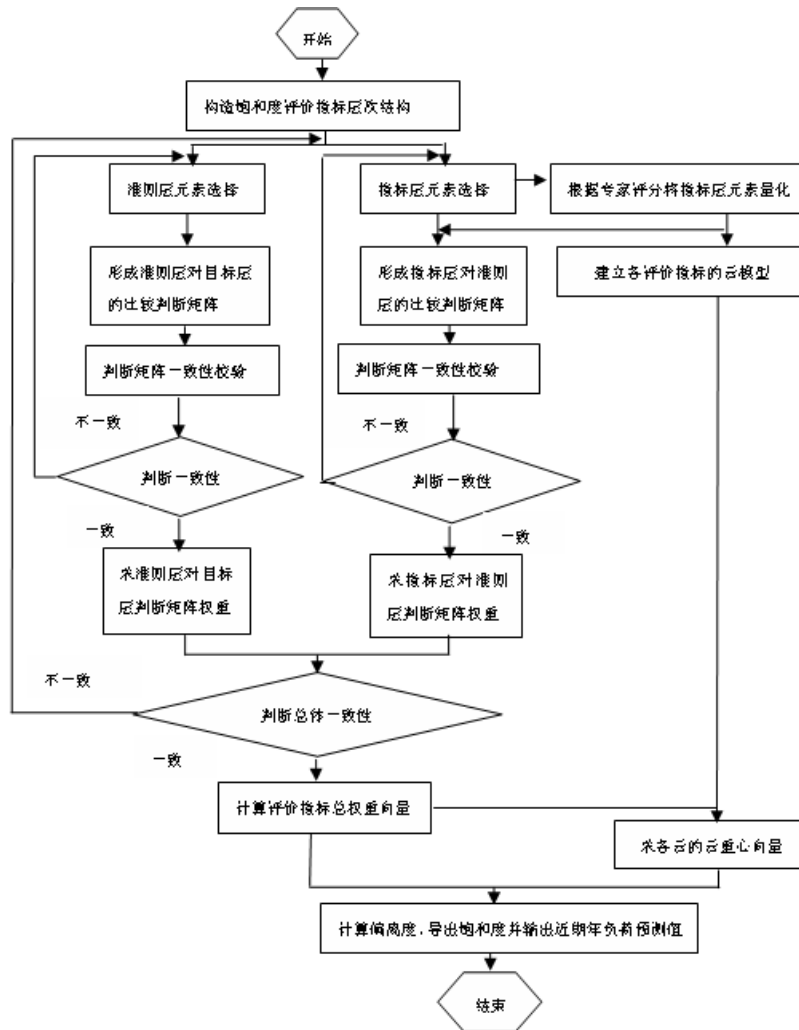


Figure 2. Flow chart of cloud theory and AHP arithmetic.  
图 2 云理论-层次分析法算法流程图.

Table.2 Calculating results and analysis  
表 2 计算结果及分析

项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
饱和度	28%	35%	45%	50%	60%
预测负荷	143.58	179.48	230.76	256.40	307.68
实际负荷	146.50	180.92	229.92	266.90	314.37
相对误差	1.99%	0.80%	0.37%	3.93%	2.13%

### 6. 结论

本文提出了一种预测近期年空间负荷分布的方法。将云理论和层次分析法引入空间负荷预测，求取

近期年不同类型负荷的饱和度，提高了近期年负荷分布预测的合理性，克服了以往一刀切的方法的盲目性。算法较全面的考虑了影响负荷发展的因素，使得饱和度的选取更加客观可信。算法建立在大量的数据调研基础之上，使实际操作性程序化，有利于提高工作效率。通过算例分析可知，饱和度的计算合理，具有较高的实用性。

### 致 谢

本文的研究和撰写工作离不开张嘉嘉、陈亚欣的鼎力相助。在此，谨向两位表示衷心的感谢。

## References (参考文献)

- [1] Willis H L, James E D. Spatial electric load forecasting: a tutorial review[J]. *Proceeding of the IEEE*, 1983, 71(2), 232-253.
- [2] Willis H L. *Electric spatial load forecasting* [M]. Marcel- Dekker, Inc, 1995.
- [3] Wang Xiao-dong. A Study on the Load Forecasting System and Its Application in Urban Distribution Planning[D]. Tianjin University, 2004.  
王晓东. 城网综合负荷预测方法的研究与工程应用[D]. 天津大学, 2004.
- [4] Di Kai-chang, Li De-yi, Li De-ren. Cloud theory and its application in Spatial Data Mining and KDD[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1999, 4(11), p930-935.  
邸凯昌, 李德毅, 李德仁. 云理论及其在空间数据挖掘和知识发现中的应用[J]. *中国图像图形学报*, 1999, 4(11), 930-935.
- [5] Wang Hong-li, Feng Yu-qiang. Presentation of Uncertain Knowledge in Group Complex Decision Making Based on Cloud Theory [J]. *Journal of Natural Science of Heilongjiang University*, 2007, 24(3), p340-348.  
王洪利, 冯玉强. 基于云理论的群体复杂决策中不确定知识的表示[J]. *黑龙江大学自然科学学报*, 2007, 24(3), 340-348.
- [6] Zhao Wei, Yue De-quan. The algorithms of AHP and comparative analysis [J]. *Mathematics In Practice and Theory*. 1995, 1, p25-58.  
赵玮, 岳德权. AHP 的算法及其比较分析[J]. *数学的实践与认识*, 1995, 1, 25-58.
- [7] Wang Lian-fen, Xu Shu-bai: *Analytic hierarchy process* [M], China Renmin University Press, 1990.  
王莲芬, 许树柏. *层次分析法*[M]. 中国人民大学出版社, 1990.
- [8] Zhao Huan-chen, Xu Shu-bai, He Jin-sheng. *Analytic hierarchy process-a new simple decision method* [M], Science Press, 1986.  
赵焕臣, 许树柏, 和金生. *层次分析法-一种简易的新决策方法*[M], 科学出版社, 1986年.
- [9] Yang Jian-ping. Analysis and Study of Nanjing Residential Load Profile [J]. *Power Demand Side Management*, 2002, 4(2), p24-27.  
杨建萍. 南京市居民用电负荷特性分析与思考[J]. *电力需求侧管理*, 2002, 4(2), 24-27.
- [10] Yao Yan, Sun Zhi-neng. Study of load density of power load indice system for city of Ningbo[J]. *East China Electric Power*, 2007, 35(6), p87-89.  
姚艳, 孙志能. 宁波市电力负荷指标体系之空间负荷密度研究[J]. *华东电力*, 2007, 35(6), 87-89.
- [11] Zhao Xi-zheng. Characteristics analysis and prediction of electric power load in China [M], China Electric Power Press, 2001, p151-176.  
赵希正. *中国电力负荷特性分析与预测*[M]. 中国电力出版社, 2001, 151-176.