

# 现代高层建筑电力负荷分析与配电方案选择

沈聿农, 赵彩虹, 王思荣, 陈燕萍

(南京师范大学 电气与自动化工程学院电气工程研究所, 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 现代高层建筑电力负荷计算时所考虑的因素与传统情况相比有很大不同, 楼宇自动化系统 BAS 的应用, 使电力负荷特点发生了很大的变化, 导致高层建筑电力负荷的计算越来越复杂. 电力部门开展的需求侧管理 DSM 也会对高层建筑电力设备的运行产生影响, 这些特点若不加考虑, 将对高层建筑电力负荷计算带来较大的误差. 针对上述情况分析了现代高层建筑电力负荷的特点, 对传统的电力负荷的计算方法作了比较分析. 基于层次分析法 AHP 对不同的高层建筑供配电设计方案进行技术经济比较, 给出各备选方案的综合评价结果, 此方法为合理选择供配电设计方案提供依据.

**[关键词]** 高层建筑, 负荷计算, AHP, 方案选择

**[中图分类号]** TU 976.5 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2007)03-0001-05

## Analysis of Electricity Load of Modern High Buildings and the Selection of Power Distribution Scheme

Shen Yunong Zhao Caihong Wang Enrong Chen Yanping

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract** The factors considered in calculating electricity load of modern high buildings are very different from the traditional conditions while the application of building automation system (BAS) makes the characteristics of electricity load change greatly, and cause electricity load calculation more and more complicated. Demand Side Management (DSM) started by power department has an influence on the operation of high building power equipment. If these characteristics were considered, it would lead errors to electricity load calculation. This paper analyses the characteristics of electricity load of modern high buildings, compares and analyses traditional electricity load calculation. It also applies Analytic Hierarchy Process (AHP) to compare technical economy of design scheme of power supply and distribution system of different high buildings, gives the results of synthetical evaluation of spare schemes and bases for reasonable choice of power supply and distribution system design scheme.

**Key words** high buildings, load calculation, AHP, scheme selection

## 0 引言

在高层建筑的供配电工程设计中, 电力负荷的计算是首要的基础设计工作. 在进行现代高层建筑电气负荷计算时所考虑的因素与以往情况相比有很大不同. 传统的电力负荷计算方法主要有: 单位指标法、利用系数法、负荷密度法、需要系数法和二项系数法等, 各方法的特点、使用条件各不相同. 随着科学技术的发展, 家用电器的普及、用电设备的增加, 特别是在高层建筑内, 空调及电梯负荷的大量使用, 楼宇自动化系统 (Building Automation System, BAS) 的应用, 使电力负荷特点发生了很大的变化, 导致高层建筑电力负荷的计算越来越复杂. 电力部门开展的需求侧管理 (Demand Side Management, DSM) 这些特点若不加考虑, 将带来较大的误差. 对初期设备投资, 后期运行费用都有较大影响. 本文分析了现代高层建筑电力负荷的特点, 通过案例对传统的电力负荷的计算方法作了比较分析.

收稿日期: 2007-02-26

基金项目: 常州大学城项目: 现代楼宇智能化仿真系统基金 (k3211cy63) 资助项目.

作者简介: 沈聿农 (1960-), 讲师, 主要从事建筑供配电及智能楼宇方面的教学与研究. E-mail: shenyunong@njjnu.edu.cn

通讯联系人: 赵彩虹 (1956-), 女, 教授, 主要从事电力系统自动化及无功优化电力市场等方面的教学与研究.

E-mail: zhaocaihong@njjnu.edu.cn

目前各地区根据各自的发展情况对住宅建筑的电力负荷也做出相应规定和调整. 各种负荷计算方法考虑的共同点是: 拟装设备的容量、设备自身的工作特性和负荷特性(如负荷率的时变性、起动电流的冲击等)及集群使用特性(随机性与周期性等)3种因素的共同作用<sup>[1]</sup>. 基于这种考虑无论哪种方法都很难追求“准确性”. 而对于各种不同设计方案的技术经济评判也具有模糊性. 本文应用层次分析的方法(A nalytic Hierarchy Process, AHP), 对不同的高层建筑供配电设计方案进行技术经济比较, 给出各备选方案的综合评价结果, 为科学选择设计方案提供依据.

## 1 高层建筑的负荷与供配电特点

### 1.1 高层建筑及其负荷的可靠性分级

高层建筑的定义目前尚无统一的划分标准. 各国、各地区在不同的时期有不同的规定. 联合国教科文组织所属的世界高层建筑委员会建议: 一般将9层及其以上的建筑定义为高层建筑, 并根据建筑层数和高度划分为四类: 第一类, 9~16层, 高度不超过50m; 第二类, 17~25层, 高度不超过75m; 第三类, 26~40层, 高度不超过100m; 第四类, 40层以上, 高度超过100m以上.

我国《高层民用建筑设计防火规范》GB50045-95(2005年版)中规定: 10层及10层以上的住宅和建筑物超过24m的其它民用建筑为高层建筑; 《住宅建筑设计规定》GB50368-2005中规定: 11~16层的住宅为中高层住宅, 16~30层的住宅为高层住宅; 《住宅设计规范》GB50096-1999中规定: 10层以上的住宅和建筑物高度超过24m的其它建筑为高层建筑; 《高层建筑混凝土结构技术规范》(JGJ3-2002)中规定: 超过10层的建筑物为高层建筑. 本文所涉及的高层建筑以《高层建筑混凝土结构技术规范》(JGJ3-2002)的规定为准.

现代高层建筑几乎集中了各种现代化的电气设施和技术, 具备诸多安全和服务系统. 各类负荷的运行特点和重要程度不同, 对供电的可靠性要求也各不相同. 对于高层建筑供用电的负荷容量我国《高层民用建筑设计防火规范》GB50045-95(2005年版)中规定: 根据居住区内建筑物及配套设设施负荷性质不同分为一、二、三级负荷. 一级负荷包括: 高级住宅的电梯、泵房、消防设施、应急照明用电等; 19层及以上居住类建筑的电梯、泵房、消防设施、应急照明用电等; 类汽车库、机械停车设备以及采用升降梯作车辆疏散出口的升降梯用电; 建筑面积大于5000m<sup>2</sup>的人防工程. 二级负荷包括: 10层至18层居住类建筑的电梯、泵房、消防设施、应急照明用电等; 、类汽车库; 建筑面积小于或等于5000m<sup>2</sup>的人防工程; 区域性的增压泵房、智能化系统网络中心等. 三级负荷是指其他不属于上述一级或二级的负荷.

### 1.2 供电可靠性要求

由于高层建筑存在着、二级负荷. 因此高层建筑配电系统的供电电源应有两个独立的回路供电或采用一条回路电源和备用电源(发电机)供电. 高层建筑一级负荷的逻辑连锁必须且重要. 《城市电力网规划设计导则(试行)》(能源电[1993]228号)第五节第134条、第135条《高层建筑用户》中提出: 10层及10层以上的住宅建筑(包括底层设置商业服务网点的住宅)以及高度超过24m的其他民用建筑应有保安备用电源, 必要时还应自备发电机组等以作为紧急备用. 当其中一路电源失电时, 母线联络开关自动投入, 以保证大多数用电负荷的正常供电. 当两路10kV电源均失电时, 自备应急发电机组自动启动, 并在30s内投入低压母线供电. 以保证供电的可靠性.

### 1.3 现代高层建筑供电负荷特点

现代高层建筑智能化程度越来越高, 建筑内的设备电气化程度越来越高. 高层建筑已逐渐成为城市电网中的主要用电负荷之一. 而且负荷特点随着技术进步出现了新的特点: 中央空调的使用中采用变频调速的二次泵系统使此类负荷更好地处于较低负荷状态; 电梯、通风、给排水设备采用交流变频调速方式越来越普及; 照明设备采用高效电光源、无功补偿技术及灯光自动控制系统; 消防措施越来越完善, 消防负荷越来越大; 楼宇自动化系统(Building Automation System, BAS)的应用使建筑中的电力负荷运行得到优化.

## 2 高层建筑的负荷计算方法分析

电力负荷计算是所有供配电系统设计中首先要解决的关键问题. 如何计算出高层建筑的计算负荷是建筑供配电系统设计的第一步. 计算负荷是按发热条件选择电气设备的一个假想负荷, 计算负荷产生的热

效应和实际运行中变动的电气设备所产生的热效应相等. 计算负荷的量值关系到供电系统配电设置、设备选型等一系列问题. 目前主要的计算方法有单位指标法、需要系数法、负荷密度法和二项系数法等. 本文仅就高层建筑负荷计算中常用的需要系数法作些初步分析.

## 2.1 需要系数法

需要系数法是一种常用的电力负荷计算方法, 它比较简单因而广泛使用.

需要系数  $K_d$  考虑了以下的主要因素:

$$K_d = \frac{K_{\Sigma} K_L}{\eta_{w,l} \eta} \quad (1)$$

式中:  $K_{\Sigma}$  为同时使用系数, 在最大负荷用电设备容量与接于线路中全部用电设备总额定容量之比;  $K_L$  为负荷系数, 用电设备不一定满负荷运行, 此系数表示工作着的用电设备实际所需功率与其额定容量之比;  $\eta_{w,l}$  为线路供电效率;  $\eta$  为用电设备组在实际运行功率时的平均效率.

计算负荷求解公式为:

$$P_{ca} = K_d \sum P_e \quad (2)$$

式中:  $P_{ca}$  为计算负荷;  $P_e$  为用电设备的负荷.

用需要系数法求计算负荷简便、实用, 是目前高层建筑供电设计中常用的方法. 但缺点是没有考虑一组设备中设备的多少及容量是否相差悬殊等因素, 而且需要系数的取值沿用多年, 与现代高层建筑的负荷特点和技术进步不甚相符. 表 1 为 1984 年中国民用建筑电气负荷调研组发表的旅游宾馆及主要用电设备组的需要系数及功率因数表<sup>[2]</sup>. 显然表中给出的部分系数当时看来是合理的, 但就目前的现代高层建筑负荷特点显得过于保守, 由此得到的计算负荷偏大. (表中电梯的需要系数偏小, 可能与当时的电梯装设、使用率低有关).

表 1 旅游宾馆及主要用电设备组的需要系数及功率因数表

Table 1 The chart of requisite coefficient and power factor of touring gueshouse and main power equipment group

用电设备组	$K_d$		$\cos\phi$	
	平均值	推荐值	平均值	推荐值
宾馆总负荷	0.45	0.45~0.5	0.84	0.8
宾馆总电力	0.55	0.5~0.6	0.82	0.8
宾馆总照明	0.4	0.35~0.45	0.9	0.85
冷冻机房	0.65	0.65~0.75	0.87	0.8
锅炉房	0.65	0.65~0.75	0.8	0.75
水泵房	0.65	0.6~0.7	0.86	0.8
通风机	0.65	0.6~0.7	0.83	0.8
电梯	0.2	0.18~0.22	DC0.5/AC0.8	DC0.4/AC0.8
厨房	0.4	0.35~0.45	0.7~0.75	0.7
洗衣机房	0.3	0.3~0.35	0.6~0.65	0.8
空调	0.4	0.35~0.45	0.8~0.85	0.8

宾馆同时使用系数  $K_p = 0.92 \sim 0.94$

注: DC 表示直流电梯, AC 表示交流电梯.

## 2.2 对需要系数取值的分析

目前对需要系数的取值有两种不同的考虑: 一种是沿用以往民用建筑电力负荷计算的保守取值, 认为这样做是有据可依, 根据由此得到的计算负荷选择设备更安全、可靠. 另一种是考虑现代高层建筑电力负荷特点的取值. 现代高层建筑负荷特点趋于高效、节能, 加之电力部门开展的电力需求侧管理 (Demand Side Management DSM) 和实行峰谷分时电价等, 将使现代高层建筑的负荷曲线趋于平坦. 沿用以往的需要系数取值的负荷计算方法将出现偏颇.

如某超高层建筑, 总建筑面积  $14.1 \times 10^4 \text{m}^2$ , 使用性质为五星级酒店和商场. 设置 35KV 变电所一座, 10/0.4 kV 变电所 6 个. 顾问公司和工程设计单位对 6 个 10/0.4 kV 变电所设计容量有不同的意见如表 2<sup>[3]</sup>. 二者的用电负荷计算均采用需要系数法, 但是用电项目的需要系数取值不同. 比如潜水泵的需要系数, 顾问公司取 0.65 工程设计单位取 0.45 电梯的需要系数, 顾问公司取 0.85 工程设计单位取 0.65 而且其他用电项目中顾问公司的取值也显偏大, 从而造成两个设计结果的不同. 前者对需要系数的取值是保

守的,没有反映现代高层建筑的负荷特点.后者考虑到了现代高层建筑中用电设备出现的新特点:电梯、给排水系统中的拖动电机除采用变频调速方式运行外,BAS系统还对其进行科学优化的运行管理,以最佳的组合方式控制设备的起停.由此本文认为后者的需要系数取值更趋合理.

表 2 某顾问公司于工程设计单位变压器容量设计差异表

Table 2 The chart of the difference of transformer capability design of one consultant firm and engineering design unit

变电所	安装位置	顾问公司计算结果 /kv·A	设计单位计算结果 /kv·A
D3Z/1、2号变压器	地下 3层	2× 800	2× 800
D1Z/1/1、2号变压器	地下 1层	2× 2000	2× 1 600
D1Z/2/1、2号变压器	地下 1层	2× 2000	2× 1 600
F11Z/1、2号变压器	11层(避难层)	2× 1000	2× 800
F28Z/1、2号变压器	28层(避难层)	2× 1 250	2× 800
F47Z/1、2号变压器	47层(避难层)	2× 1000	2× 630
高压冷水机组	地下 3层	4260 kv·A (3× 863kw + 2× 516 kw) cosφ = 0.85	
总安装容量 /kv·A		20360	16 720
单位负荷密度指标 /v·Am <sup>2</sup>		144.4	118.6

### 3 配电方案的优化选择

#### 3.1 基于层次分析法变压器容量、台数选择的技术经济比较

负荷计算的目的是为合理的选择供电设备提供依据.然而配电方案的优化决策,需要技术经济比较.通常变压器容量、台数的选择需要进行技术经济比较,最终方案是要在相关约束条件下作方案的横向比较才能确定.由于相关技术经济约束很难准确量化和各约束之间的模糊关系使得方案的确定较难决策.

层次分析法 AHP是一种多目标评价决策方法,通过两两比较的 1~9 比例标度法确定层次中诸要素的相对权重,构造比较判断矩阵,计算相对重要程度,一致性检验合格后,最终得到决策方案综合重要程度的总排序.广义最小偏差排序方法 (Generalized Low est Deviation Method, GLDM)是层次分析法 AHP的改进算法.该方法无需求解判断矩阵的最大特征根,而是直接求解判断矩阵的最佳排序向量.层次分析法是一种定量和定性相结合,具有适应环境变化的“相对标度”,又充分利用了专家的经验 and 判断,并能对其误差做出估计,尽量减少个人主观臆断所带来的弊端.

本文把配电方案选择中的负荷计算的准确度、变压器容量决定的负载率、投资费用大小、对未来发展的适应度即前瞻性指标等作为约束条件,用 GLDM 方法对不同方案进行综合排序,排序结果大小就是设计方案的优选顺序.设备选方案为:  $N_1, N_2, \dots, N_i, N_{i+1}, \dots, N_n$ , 建立递阶层次结构如图 1 所示.

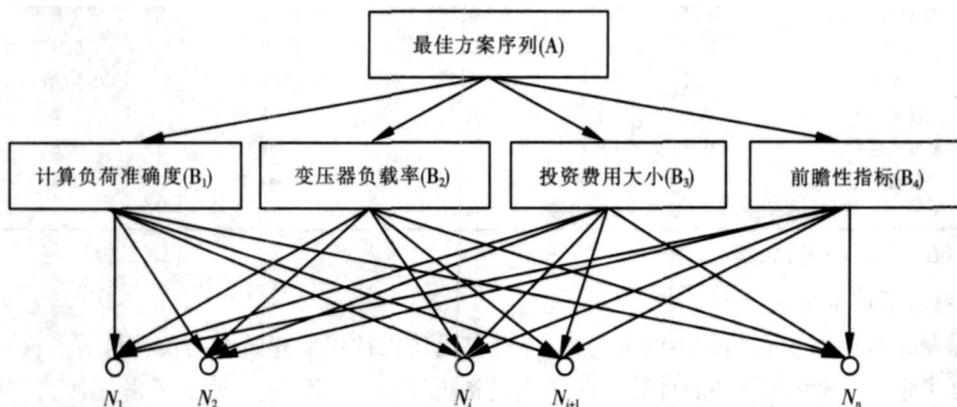


图 1 最佳设计方案排序的递阶层次结构图

Fig.1 The Diagram of hierarchical level structure of optimal design scheme's order

#### 3.2 算例

为说明方便将前述某超高层建筑电气设计中的两个方案作为备选方案  $N_1$  (某顾问公司的方案),  $N_2$  (设计单位的方案).对目标 A 来说,由准则构成的判断矩阵  $A - B$  为:

$$A - B = (B_j), \quad B_{ij} = B_i/B_j \quad (3)$$

准则  $B_1, B_2, B_3, B_4$  的相对重要程度,是构成  $A - B$  间判断矩阵的信息基础.然而这种相对重要程度本

身具有一定的模糊性,很难准确的度量.层次分析法中两两比较的1~9比例标度法可较好地解决这个问题.当 $B_2, B_3, B_4$ 具有相同的重要程度, $B_1$ 与 $B_2, B_3, B_4$ 相比为明显重要时.以比例标度法建立判断矩阵 $A-B$ ,以广义最小偏差排序方法对判断矩阵 $A-B$ 进行排序及一致性检验,其结果如表3

表3 判断矩阵 $A-B$ 及其排序

$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$W(\alpha = \pm 1)$
$B_1$	1	5	5	5	0.625
$B_2$	0.2	1	1	1	0.125
$B_3$	0.2	1	1	1	0.125
$B_4$	0.2	1	1	1	0.125

$CI=0 RI=0.90 CR=0$

将方案 $N_1, N_2$ 分别在准则 $B_1, B_2, B_3, B_4$ 下进行相对重要排序.对于准则 $B_1, N_2$ 好于 $N_1$ ;对于准则 $B_2$ ,从变压器经济运行角度, $N_1$ 好于 $N_2$ ;对于准则 $B_3$ ,由于高层建筑中出于安全考虑变压器选择以干式变压器为主, $N_1$ 方案的投资会很大,所以认为 $N_2$ 好于 $N_1$ ;对于准则 $B_4, N_2, N_1$ 都同样具有较好的前瞻性. $B-N$ 间判断矩阵如下:

$$B_1 - N = \begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{3} \\ \frac{3}{2} & 1 \end{bmatrix}, B_2 - N = \begin{bmatrix} 1 & \frac{5}{3} \\ \frac{3}{5} & 1 \end{bmatrix}, B_3 - N = \begin{bmatrix} 1 & \frac{3}{5} \\ \frac{5}{3} & 1 \end{bmatrix}, B_4 - N = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

同样以广义最小偏差排序方法对判断矩阵 $B-N$ 进行排序,并进行总排序.结果见表4.由表4结果可以看出,将负荷计算的准确度、变压器容量决定的负载率、投资费用大小以及对未来发展的适应度等指标作为约束条件而得到的综合评判结果是方案 $N_2$ 优于方案 $N_1$ .

表4 方案总排序

方案	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	总排序指标
$N_1$	0.400	0.625	0.375	0.5	0.4375
$N_2$	0.600	0.375	0.625	0.5	0.5625

## 4 结语

合理的负荷计算对高层建筑的供配电系统设计具有重要意义.现代高层建筑负荷特点趋于高效、节能,电力部门开展的电力需求侧管理DSM和实行峰谷分时电价等,都将对现代高层建筑的电力负荷产生影响.针对现代高层建筑的新情况、新特点,以及电力市场环境下的供用电管理模式,应该对传统的计算负荷方法加以修正.同时对备选设计方案进行科学的技术经济比较,可使供配电系统的方案选择更趋合理.

## [参考文献] (References)

- [1] 苏文成. 工厂供电[M]. 北京:机械工业出版社, 2002: 8-25  
Su Wencheng. Factory Power Supply[M]. Beijing Machine Industry Press, 2002: 8-25. (in Chinese)
- [2] 陈一才. 高层建筑电气设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1990: 1-12, 116-160  
Chen Yicai. Electrical Design Handbook of High Buildings[M]. Beijing China Building Industry Press, 1990: 1-12, 116-160 (in Chinese)
- [3] 张平, 刘铮. 高层建筑电力负荷的特点及其量值的模糊数学算法[J]. 沈阳大学学报, 2004, 16(6): 54-57.  
Zhang Ping Liu Zheng. Characteristics of skyscraper's electric load and fuzzy mathematics algorithm of its value[J]. Journal of Shenyang University, 2004, 16(6): 54-57 (in Chinese)
- [4] 赵彩虹, 仇玉萍, 王启. 基于AHP考虑用户支付意愿的输电阻塞管理综合方法[J]. 南京师范大学学报:工程技术版, 2006, 6(2): 1-7.  
Zhao Caohong Qiu Yuping Wang Qi. A composite congestion management method considering consumer's willingness-to-pay based on AHP[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2006, 6(2): 1-7. (in Chinese)
- [5] 赵彩虹, 唐小波, 李天然, 等. 电力市场监管中发电商投机行为存在性排序[J]. 南京师范大学学报:工程技术版, 2005, 5(2): 1-4.  
Zhao Caohong Tang Xiaobo Li Tianran, et al. Ranking the possibilities of speculations of power-generating merchants in power market monitoring[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2005, 5(2): 1-4 (in Chinese)

[责任编辑:刘健]