

文章编号:1006 - 2106(2011)04 - 0103 - 08

地铁车站照明系统的电效评价体系研究*

张 颀¹ 张友鹏¹ 郑 辉^{2**}

(1. 兰州交通大学, 兰州 730070; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:地铁照明系统是维持地铁正常运行的关键部分,由于其工作时间长并且能耗大,因此地铁照明节能意义重大。课题通过建立地铁车站照明系统的电效评价体系,获取对电效影响程度较深的指标,确定地铁照明系统的经济实用节能方向,是对地铁照明系统节能的决策性研究。

研究结论:论文明确界定了参数集的层级框架及其关系,结合特尔菲法(Delphi)和BP神经网络法,在参数集中二次确认了评价体系的指标;再以层次分析法及拟熵值法作为分析工具,以综合赋权的方式得出地铁车站照明系统中影响电效指标的权重。整个地铁车站照明系统的电效评价体系反应了专家对于节能的趋向性意见,是对地铁照明系统能源的科学管理和可节约能源的全面分析,同时为实行节能技术改造和提高能源的利用率提供科学依据。

关键词:地铁;照明系统;电效;评价体系;综合赋权

中图分类号:TU96 + 4 **文献标识码:**A

Research on the Electric Efficiency Evaluation of Subway Station Lighting System

ZHANG Ting¹, ZHANG You - peng¹, ZHENG Hui²

(1. Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. China Railway Siyuan Survey and Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: The lighting system is the key component to maintain routine operation, because of its long operation time and huge power consumption, the subway lighting energy - saving has great significant nowadays. The subject of obtains the indicators which has deeper impact on electricity efficiency and the economical & practical of energy - saving direction for the subway lighting system according to the electric efficiency evaluation construction.

Research conclusions: The electric efficiency parameter of metro station lighting system is extracted, the set of parameters' hierarchical framework and relationship are clearly defined. Combination of Delphi method and BP neural network method, the index of evaluation system are twice - confirmed in the parameter set. With the analytical hierarchy process and the qusai - entropy method as an analysis tools, the index which affected electric efficiency in subway station lighting system are empowered weights in an integrated way. The electric efficiency evaluation system of whole subway station lighting system which is reflected the expert opinion tendency about energy - saving, which is a scientific management of energy and a comprehensive analysis of energy saving, which is provided the scientific basis for technological transformation of implementation energy - saving and enhancement of energy efficiency.

Key words: subway; lighting system; electric efficiency; evaluation system; comprehensive weight

照明系统作为地铁中的第二大电耗系统,是维持地铁正常运行的重要组成部分,由于其工作时间长并且能耗大,因此地铁照明节能意义重大。

尤其在2000年之后,随着照明新型技术发展,国内外专家学者对地铁照明系统提出了不同的节能研究方向及技术方法。主要有采用节能高效灯具及新型光源^[1];采用电磁整流器和节能照明器^[2];按照功能区域自动控制^[3];利用BAS系统做地铁照明的全面智能控制^[4];地铁公共区照明母线供电方式的选择^[5-6];地铁照明布置方式的选择^[7];根据地铁照明标准的最优设计^[8];地铁光环境的优化^[9]等技术方法。但是面对地铁照明的特殊环境,其涉及的因素较多,在资金有限的情况下,如何确定高效经济的节能方向成为了一个亟待解决的问题。

此外,目前地铁评价研究多集中在对地铁工程可实施性的综合评价^[10-12],而容易忽略了对地铁子系统的评价研究。虽然地铁规范对各子系统做出了相关规定,但还是需要对不断变化的实际运用中出现的问题和实际设计中产生的问题做出合乎实际的决策和复杂情况下规范中一些模糊的原则的掌握控制。因此,本文从电效的角度对地铁车站照明系统进行全面分析并构建评价体系,获取系统科学数据,对于我国地铁节能的应用研究方面具有借鉴意义。

1 电效与节能的关系

电效是电力能源的效率^[13]。主要有两个层面决定着电效:一是从电力的分配输送及使用过程分析,电能效率的高低,主要由传输效率、分配效率和使用效率三个因素决定;二是按电压等级进行区分,电能效率的高低,主要分为高压侧电能效率和低压侧电能效率^[14]。

电效是能效定义下的一个分支,其主要界定的是电能的使用效率,而能效的定义则更加宽泛。节能是通过技术手段来提高能源效率或减少能源浪费,所以节能与能效是密切相关的。而节电又是节能定义下的分支,节电的最终目的是节能。因此节电只是电效的控制手段之一。电效的控制是包括提高电效采用的一切措施,而且也包括经济和技术手段的使用。

综合上述分析,电效概念包含节电措施及与之匹配的技术经济方法,其根本目的就是节能以提高能效。

2 评价体系建立

2.1 参数集建立

根据较新的地铁工程,南京地铁三号线及十号线、上海地铁二号线、无锡地铁一、二号线的照明系统工程

数据资料的研究分析可知:由于照明系统参数庞杂,且不能用单一的逻辑来表示;同时地铁照明工程包含了设计到运营的过程,使得有些参数具有了时间性;另外参数集是评价体系指标集的标本集,为了评价体系的科学性和规范性,需要考虑到参数集的结构化和量化。因此,对参数做层级化处理,将地铁车站照明系统的设计过程、电耗测算、照明效果三个方面一级参数,然后对其衍生因子做出分析,将其继续划分为8个二级参数、24个三级参数及5个四级参数,其参数层级化结构如图1所示。

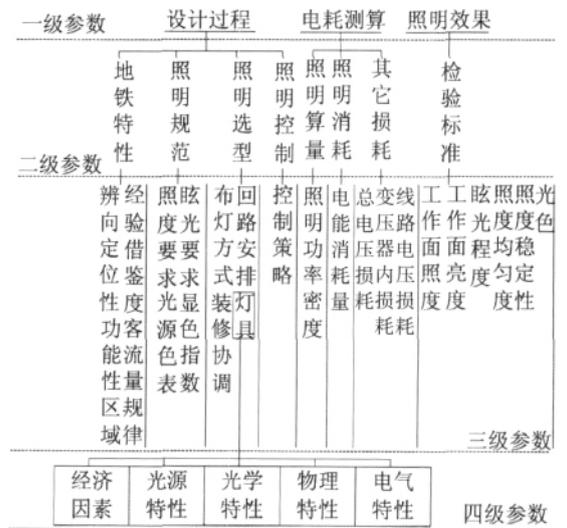


图1 地铁车站照明系统电效参数层级化结构图

在对参数的定义及属性分析中,可知地铁照明系统的电效参数集中,可分为定量和定性的两种属性的参数。即使参数的分析是通过层级的方式,参数之间仍呈现为一种复杂的非线性的关系,但每个参数都有其独立的意义,没有重叠的属性,不成因果关系,因此参数间是一种相关却不可替代的关系。

2.2 评价方法选取

地铁照明系统的电效评价,是一个可控范围的评价系统,参数集具有包含模糊性和可定量性的混合特性,参数集内部参数大多为非线性关系。因此选择了特尔菲法、基于BP人工神经网络方法、层次分析法、拟熵值法、模糊综合评价方法。根据方法的特点,其功能作用也有所不同,如图2所示。

2.3 评价体系建立的数学模型

通常情况下综合评价容易忽略指标的确定重要性,主要是通过主观方法获取的,即人为设定的,科学性得不到考证,容易造成指标体系含量过多或过少的情况。而指标确定是综合评价的基础,决定了最终结果的正确性和可靠性。研究通过特尔菲法和BP神经网络的评价方法,即获取了专家知识经验的结构又利

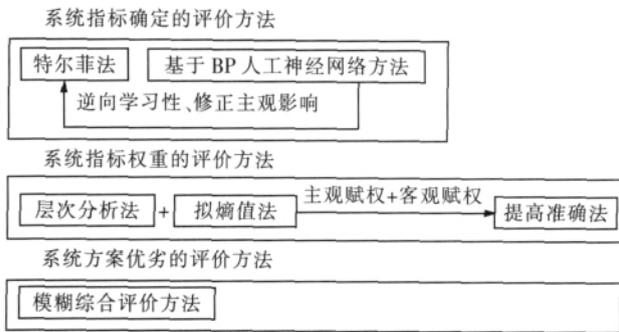


图 2 评价方法及功能作用

用 BP 神经网络的评价方法模拟专家思考的数学计算加强客观性。权重确定一般采用综合的赋权方式,尤其是通过两种方式的相互修正得到综合赋权的结果。根据地铁车站照明系统电效的特性,需要测算指标比较多,因此采用层次分析的方法,然后利用较为成熟的拟嫡值法做修正,最终得出评价结果。整个评价模型具有良好的科学依据,具有特别的修正功能,划分了指标的层级,能对地铁照明体系的电效做出较为完整的评估,其模型如图 3 所示。

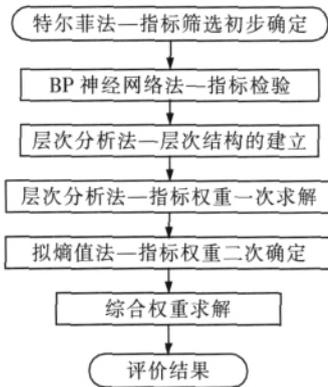


图 3 评价体系数学模型

2.4 指标集建立

2.4.1 特尔菲法的指标初步筛选

特尔菲法主要通过征询专家对所设计的评价指标意见,再进行统计处理,并反馈咨询结果,经过轮询后,当专家意见趋于一致时,确定最终的指标。完成数据收集后,根据特尔菲法的判据,对反馈资料做数学处理,完成指标初步确定。

其主要判据为:专家意见集中度 E ,如式(1)所示,其反映的是专家对指标的认可度;专家意见离散度 δ ,如式(2)所示,反映了专家在某因素上的意见分歧度。

$$E = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i \quad (1)$$

式中 m ——专家人数;

a_i ——反馈评分。

$$\delta^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (a_i - E)^2 \quad (2)$$

专家来源主要分为:4 位照明设计专家、2 名照明现场专家、2 名乘客、2 名地铁照明工作管理人员。2 名乘客要求常坐多条多地的地铁线路,并且对其提供各参数的名词解释及相关表现资料。

电效影响程度评价表如表 1 所示,专家根据此表的评分值对各参数做出评价。

表 1 电效影响程度评价表

影响程度	不太重要	略微重要	相当重要	明显重要	绝对重要
评分值	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

收集的专家评分数据、 E 值及 δ 值如表 2 所示。按取 E 值等级重要程度的 60% 作为标准,即筛选参数标准采取四舍五入的方式且 $E \geq 0.4$ 。上表中,参数 E 值多集中在 0.7~0.9 之间,表明专家认可度较高。 δ 值较小,专家意见趋于一致。而二级参数地铁特性的 E 值明显偏低为 0.32,因此不将其列为指标并不再列出其衍生的评价结果。通过特尔菲法筛选的指标为,一级指标 3 个、二级指标 7 个、三级指标 20 个、四级指标 5 个。

表 2 一级参数特尔菲法评价表

专家代号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	E	δ
设计过程	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.900 0	0
电效测算	0.7	0.9	0.7	0.9	0.5	0.9	0.7	0.5	0.7	0.9	0.740 0	0.158
照明效果	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.5	0.7	0.9	0.9	0.800 0	0.141
地铁特性	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.3	0.320 0	0.114
照明规范	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.880 0	0.063
照明选型	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.880 0	0.063
照明控制	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	0.800 0	0.105
照明算量	0.7	0.7	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.740 0	0.084
照明消耗	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.840 0	0.097
其它损耗	0.7	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.520 0	0.114
检验标准	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.5	0.7	0.760 0	0.135
照度要求	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.900 0	0

续表2 一级参数特尔菲法评价表

专家代号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	<i>E</i>	δ
眩光要求	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5	0.440 0	0.114
光源色表	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.420 0	0.103
显色指数	0.7	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.500 0	0.133
灯具	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.900 0	0
布灯方式	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.780 0	0.103
回路安排	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.580 0	0.103
装修材质协调	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.540 0	0.084
控制策略	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9	0.800 0	0.105
照明功率密度	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7	0.820 0	0.103
电能消耗量	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.860 0	0.084
总电压损耗	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.640 0	0.097
线路电压损耗	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.400 0	0.105
总电压损耗	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.640 0	0.097
工作面照度	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.840 0	0.097
工作面亮度	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.720 0	0.063
眩光程度	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.480 0	0.063
照度均匀度	0.7	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.660 0	0.084
照度稳定性	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.800 0	0.105
光色	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.380 0	0.103
价格	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.420 0	0.103
光源	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.5	0.7	0.9	0.720 0	0.063
光学特性	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9	0.840 0	0.097
物理特性	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	0.800 0	0.105
电气特性	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.400 0	0.105

2.4.2 基于BP神经网络法的指标检验

将BP神经网络方法作为指标的二次确认方法，是因为地铁照明电效系统的指标间存在非线性关系，训练好的神经网络把专家的评价思想以连接权的方法赋予网络上，可以对样本不集中的输入给出合适的输出，能完成函数逼近的功能，很好的模拟专家进行定量评价，同时避免评价中的人为主观性和不确定性。

BP神经网络评价方法的原理构造图如图4所示。*n*表示输入节点，即评价指标数目，*m*表示隐含层节点数目。 $U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pn}$ 为评价指标论域 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 上第*p*个样本模型的评价指标值记为式(3)：

$$\bar{U}_p = \{U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pn}\} \quad (3)$$

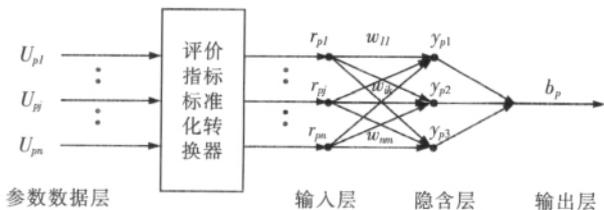


图4 BP神经网络方法的原理构造图

*h*个样本模型构成式(4)所示：

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_n) = (U_{pj})_{h \times n} \quad (4)$$

$r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pn}$ 为*X*上 U_p 经指标标准转换器量化的评价向量，记为式(5)：

$$\bar{r}_p = \{r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pn}\} \quad (5)$$

$w_{jk} (j=1 \sim n; k=1 \sim m)$ 为输入层第*j*节点到隐含层第*k*节点的连接权值， $y_{pk} (k=1 \sim m)$ 为样本模式*p*的隐含层第*k*节点的输出， $\mu_w (k=1 \sim m)$ 为隐含层第*k*节点到输出层的连接权值， b_p 为样本模式*p*的输出。BP神经网络评价算法实现：输入输出采用Sigmoid函数来描述的。如式(6)所示：

$$f(x) = [1 + \exp(-x)]^{-1} \quad (6)$$

隐含层样本模式*p*的输出按式(7)计算：

$$y_{pk} = f(\sum_{j=1}^n w_{jk} r_{pj} - \theta_k) \quad (7)$$

式中 $k=1, 2, \dots, m$;

θ_k ——隐含层节点*k*的偏置值。

输出层样本模式*p*的输出按式(8)计算：

$$b'_p = f(\sum_{j=1}^n w_{kj} y_{pj} - \theta) \quad (8)$$

式中 θ ——输出层输出节点的偏置值。

BP神经网络的训练是基于误差反向传播与修正的过程，定义*h*个样本模式的实际输出 b'_p 的总误差函数为式(9)所示：

$$E = \sum_{p=1}^h (\delta_p - b'_p)^2 / 2 \quad (9)$$

神经网络对样本模式 p 的学习就是为了使 E 极小化。指标的二次检验中, 将特尔菲法所得的评价数据作为训练集 E 值作为训练样本, 输入层个数为参数的个数 m , 输出节点数为 1, 隐含层 $L = (m \times n) / 2$ 。设定学习精度 $\varepsilon = 0.0001$, 训练次数 $N = 1800$ 次, 权值调整参数 $\alpha = 0.5$, 偏置值调整参数 $\beta = 0.8$ 。利用 BP 神经网络方法主要是对包含较多指标的二 ~ 四级的检验。所得的训练结果如表 3 所示。

表 3 二 ~ 四级参数 BP 训练结果与特尔菲法 E 值对比表

指标	训练结果	期望输出
地铁特性	0.319 2	0.320 0
照明规范	0.878 3	0.880 0
照明选型	0.879 5	0.880 0
照明控制	0.805 6	0.800 0
照明算量	0.740 7	0.740 0
照明消耗	0.846 6	0.840 0
其它消耗	0.519 8	0.520 0
检验标准	0.759 1	0.760 0
照度要求	0.896 5	0.900 0
眩光要求	0.439 6	0.440 0
光源色表	0.420 9	0.420 0
显色指数	0.499 9	0.500 0
灯具	0.896 5	0.900 0
回路安排	0.780 6	0.780 0
布灯方式	0.581 2	0.580 0
装修材质协调	0.540 8	0.540 0

续表 3 二 ~ 四级参数 BP 训练结果与特尔菲法 E 值对比表

指标	训练结果	期望输出
控制策略	0.797 8	0.800 0
照明功率密度	0.818 6	0.820 0
电能消耗量	0.857 2	0.860 0
总电压损耗	0.638 4	0.640 0
变压器内损耗	0.741 8	0.740 0
线路电压损耗	0.400 6	0.400 0
工作面照度	0.836 9	0.840 0
工作面亮度	0.721 5	0.720 0
眩光程度	0.480 1	0.480 0
照明均匀度	0.658 1	0.660 0
照度稳定度	0.797 5	0.800 0
光色	0.380 7	0.380 0
价格	0.420 3	0.420 0
光源	0.719 9	0.720 0
光学特性	0.829 5	0.840 0
物理特性	0.799 5	0.800 0
电气特性	0.400 3	0.400 0

结果显示, 训练 E 值与特尔菲法计算的 E 值基本一致, 且在允许的误差范围内, 因此可确定, 特尔菲法所确定的指标集是可行的和比较准确的。

2.5 层次结构建立

确定了指标集后, 需要建立指标集的层级结构, 以方便对权重做出分析。地铁车站照明系统的电效层次分析结构如图 5 所示。

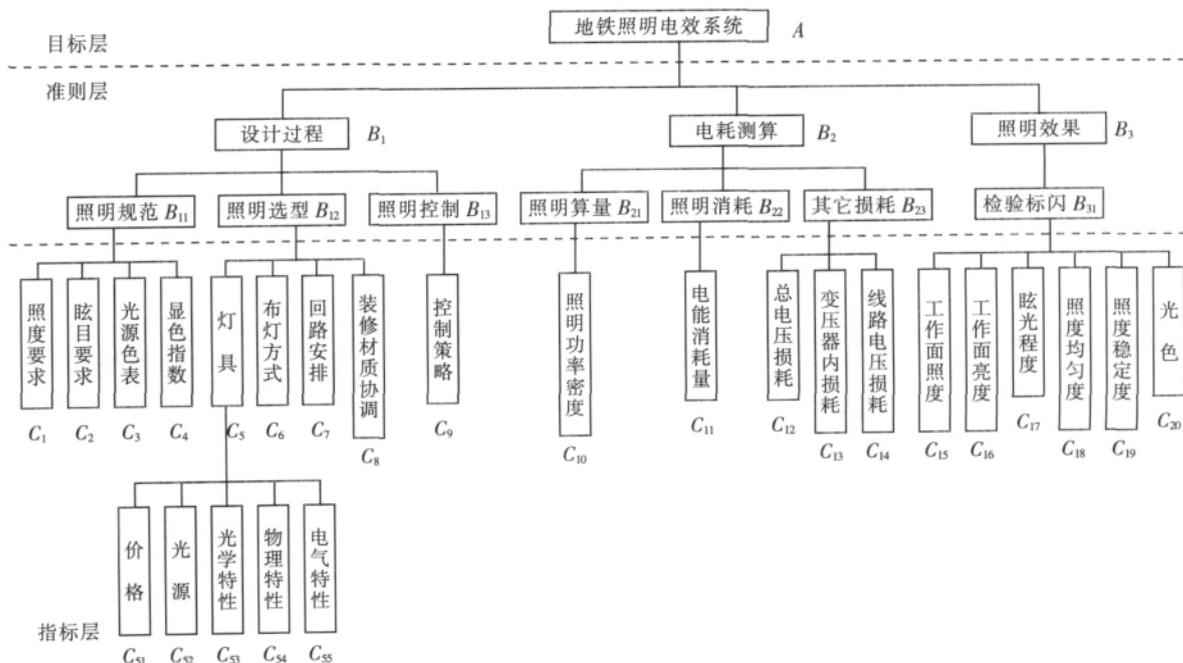


图 5 地铁照明系统的电效层次结构图

2.6 指标权重计算

2.6.1 层次分析法的指标权重一次求解层次分析法

的评价原理是将各层指标中进行两两比较, 构造出比较判断矩阵。通过计算判断矩阵的最大特征根及其对

应的特征向量 就算某一层对上一层的相对重要性权值 然后利用上一层指标本身的权值加权综合 可得到层次总排序权值 即底层指标对高层指标的贡献度。利用层次分析法 所获取的最终结果是将难以直接准确计量的判断转化为有明确量化的评判。层次分析法一般的分析过程为:

2.6.1.1 构造判断矩阵

判断矩阵表示评判者对每一层次中个因数相对重要性给出的判断 并引入合适的标度数值 最终构成判断矩阵。同时 也表示出对于上一层指标 本层指标与之有关指标之间的相对重要性的比较。判断矩阵的赋值标度及含义如表 4 所示。

表 4 判断矩阵标度及含义表

序号	重要性等级	C_{ij} 赋值
1	i, j 两个元素同等重要	1
2	i 元素比 j 元素稍重要	3
3	i 元素比 j 元素明显重要	5
4	i 元素比 j 元素强烈重要	7
5	i 元素比 j 元素极端重要	9
6	i 元素比 j 元素稍不重要	1/3
7	i 元素比 j 元素明显不重要	1/5
8	i 元素比 j 元素强烈不重要	1/7
9	i 元素比 j 元素极端不重要	1/9

在 A 层级与 B 层级之间, A 层级对应三个指标, 即 B1、B2、B3。这三个指标之间相对重要程度, 可从表 2 的 E 值获取, 分别为 0.900 0、0.740 0、0.800 0, 容易获取 E 值之比再对比含义表, 获取相对重要值 C_{ij} , 构成图中的 A 矩阵, 如图 6 所示。其它的判断矩阵由同样的原理取得。

$$A - B_i \text{ 矩阵} \\ A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

图 6 地铁车站照明系统电效指标判断矩阵

2.6.1.2 判断矩阵的一致性及其层次排序

为检验判断矩阵的一致性, 须引入一致性的指标 CI、同阶平均随机一致性指标 RI 和随机一致性指标 CR。其中:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

式中 λ_{\max} ——最大特征根;
 n ——判断矩阵的阶数;
 RI ——取值如表 5 所示。

当 CR 小于 0.1 时, 认为判断矩阵具有满意的一致性。

表 5 1-9 阶矩阵 RI 值表

阶数	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

层次排序则要计算判别矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及其特征向量 W, 并对 W 做归一化运算, 所得 W 的各分量为相应指标的权重, 如表 6 所示, 以上结果均符合一致性检验。

表 6 1-9 阶矩阵 RI 值表

矩阵	结果
A	$\lambda_{\max} = 3.054$ CI=0.027 RI=0.58 CR=0.047
B ₁	$\lambda_{\max} = 3.018$ CI=0.009 RI=0.58 CR=0.016
B ₂	$\lambda_{\max} = 3.065$ CI=0.033 RI=0.58 CR=0.056
B ₁₁	$\lambda_{\max} = 4.114$ CI=0.038 RI=0.90 CR=0.042
B ₁₂	$\lambda_{\max} = 4.034$ CI=0.011 RI=0.90 CR=0.013
B ₂₃	$\lambda_{\max} = 3.029$ CI=0.015 RI=0.58 CR=0.025
B ₃₁	$\lambda_{\max} = 6.251$ CI=0.050 RI=1.24 CR=0.041
B ₅	$\lambda_{\max} = 5.196$ CI=0.049 RI=1.21 CR=0.044

2.6.2 拟熵值法的指标权重二次求解

由于层次分析法是一个主观赋权方法, 因此需要对所得结果进行客观的修正, 使最终结果更加的可靠。

避免熵值法繁琐的计算量和算法的缺陷, 采用拟熵值法的评价过程。其原理是依据数据间的关系, 即指标值包含的信息量的大小, 来确定指标的权重。熵值法的特点是其能测度一个系统不确定性的量, 信息量越大, 不确定性就越小, 熵也越小, 表明指标值的变异程度越大, 则该指标的权重也越大, 在综合评价中的作用也是越大的。拟熵值法的评价过程如下:

2.6.2.1 确定隶属度矩阵

隶属度矩阵所包含的信息量为统计所有评价者对同一指标的不同评价的百分比值, 即对评价的一个概率统计。评语集为用模糊的数表作为评价指标的设定集合, 此处仍采用表 1 为拟熵值法的评语集。由前特尔菲法数据来源, 可知评价者对设计过程的评价为 100% 评价为 0.9 概率为 1, 矩阵中对 5 个等级表示为 (10 000), 同理可组成不同级指标的隶属度矩阵如图 7 所示。

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

图 7 地铁照明系统电效指标的隶属度矩阵

2.6.2.2 对隶属度矩阵标准化处理以及归一化处理

对隶属度矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 做标准化处理, 使其指标皆为正向指标, 得到矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$, 归一化处理, 后得矩阵 p_{ij} , 如式 (11) 所示:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (11)$$

其中, $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 。

2.6.2.3 计算第 j 个指标的熵值 $e_j (0 \leq e_j \leq 1)$, 其计算见式 (12) 所示。

$$e_j = k \sum_{i=1}^m p_{ij} (1 - p_{ij}) \quad k = \frac{m}{m - 1} \quad (12)$$

2.6.2.4 计算第 j 个指标的差异系数 差异系数 g_j 的定义如式 (13) 所示。

$$g_j = 1 - e_j \quad (13)$$

2.6.2.5 确定指标权重。第 j 个指标的权重 w_j 如式 (14) 所示。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (14)$$

计算通过 Matlab 实现, 设置 k 为下一级单个指标所含因子, m 为评语级的等级个数, n 为上一级所含评判因子, 其结果如图 8 所示。

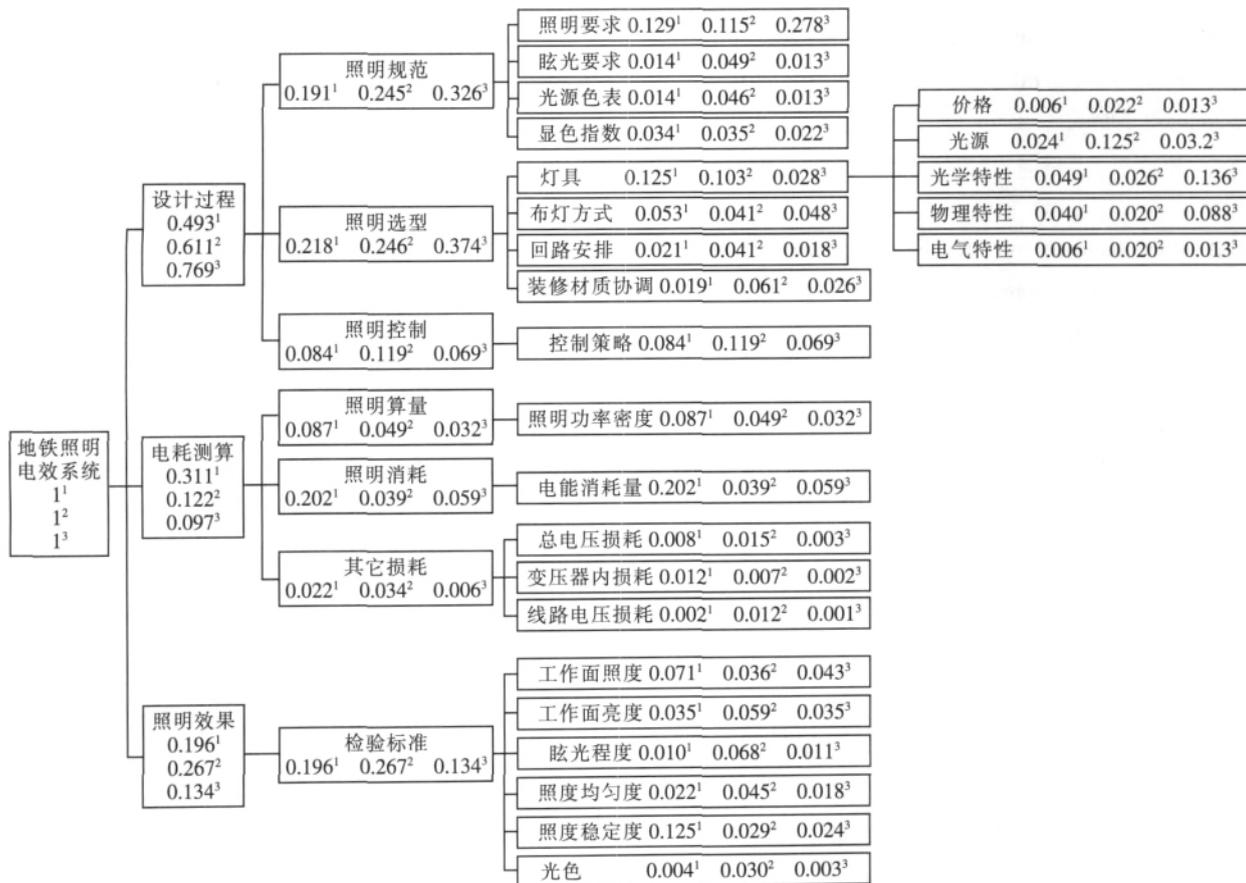


图 8 指标权值最终结果

2.6.3 综合权重求解

层次分析法所得结果与拟熵值法从主观客观两个方面求得的结果存在一定的差异性。因此需要引入综合权重的概念, 结合两部分的数据做权重的最终调整, 以得到最终的结果。

令主观权重为 λ_i , 客观权重为 β_i , 综合权重 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 其计算见式 (15) 所示。

$$w_i = \lambda_i \beta_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i \beta_i \quad (15)$$

最终结果如图 8 所示。图中上标为 1 的数字表示层次分析法的权值结果, 上标为 2 的数字表示拟熵值法的权值结果, 上标为 3 的数字表示综合权重结果。

3 结论

从图中可以看出, 各层与电效是最为相关的指标。说明了, 电效要从决策方面以及用能较多的方面去考虑, 节能才会更加经济有效, 虽然损耗可以在一定程度上可以节约能源, 但是其占的比例较小, 并且在设备方面和设计过程中完全可以做到有效控制, 因此, 在资金有限的情况下, 优先考虑的节能方面是显而易见的。

参考文献:

[1] 钟素银. 广州地铁车站照明系统节能研究[J]. 都市轨道交通 2008(4): 81-84.

- Zhong Suying. Research on Energy Saving of Lighting System for Guangzhou Metro Stations[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2008(4): 81-84.
- [2] 宋剑伟. 地铁用电设备节能措施探讨[J]. 都市轨道交通, 2006(2): 76-80.
- Song Jianwei. A Discussion on Measures for Energy Saving in Metro Power System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2006(2): 76-80.
- [3] 龚伟. 轨道交通运营的动力照明节能措施[J]. 能源技术, 2009(3): 176-179.
- Gong Wei. The Measures of Saving Energy for Power and Lighting in Operation Rail Transit[J]. Energy Technology, 2009(3): 176-179.
- [4] 向东. 广州地铁四号线照明控制系统研究[J]. 建筑电气, 2007(12): 49-51.
- Xiang Dong. Research on the Lighting Control System of the Line 4 of Guangzhou Metro[J]. Building Electricity, 2007(12): 49-51.
- [5] 向东. 广州地铁公共区照明母线供电方式[J]. 建筑电气, 2006(6): 18-20.
- Xiang Dong. Bus Power Supply for Public Lighting of Guangzhou Sub-way[J]. Building Electricity, 2006(6): 18-20.
- [6] 王孟祥. 地铁降压变电系统构成和施工调试[J]. 铁道工程学报, 2005(3): 82-86.
- Wang Mengxiang. Composition of Step-down Power Transfor-mation System for Metro and Its Tests in Construction[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(3): 82-86.
- [7] 李艳. 地铁内部空间照明设计研究[D]. 南京: 南京艺术学院, 2008.
- Li Yan. Research on Subway Interior Space Lighting Design[D]. Nanjing: Nanjing Art Academy, 2008.
- [8] 庄金迅, 张九红, 刘圆圆. 城市地铁站照明节能研究[J]. 铁道标准设计, 2010(4): 110-112.
- Zhuang Jinsun, Zhang Jiuhong, Liu Yuanyuan. Study on Energy Saving of Illumination at Urban Metro Stations[J]. Railway Standard Design, 2010(4): 110-112.
- [9] 朱江. 地铁车站光环境处理的思考与探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2003(6): 20-23.
- Zhu jiang. The Illumination Circumstance of Subway station[J]. Urban Mass Transit, 2003(6): 20-23.
- [10] 肖和华, 李淳. 城市轨道交通综合评价研究—基于改进AHP的多级模糊综合评价方法[J]. 交通标准化, 2009(12): 28-31.
- Xiang Hehua, Li Chun. Comprehensive Evaluation of Urban Rail Traffic—New Method Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Transport Standardization, 2009(12): 28-31.
- [11] 陈世勋, 陶小马. 上海城市轨道交通体系社会经济效益估算分析[J]. 城市轨道交通研究, 2004(1): 1-5.
- Chen Shixun, Tao Xiaoma. Estimative Analysis of the Social Benefit of Shanghai UMT System[J]. Urban Mass Transit, 2004(1): 1-5.
- [12] 陈新声. 城市地铁项目评估方法研究[D]. 北京: 清华大学, 1998.
- Cheng Xinsheng. Research on Urban Subway Project Evaluation Method[D]. Beijing: Tsinghua University, 1998.
- [13] 郭志勇. 系统电效控制技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- Guo Zhiyong. Power Efficiency Control System Technology and Application[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009.
- [14] Sunny Xu, Perrson Xiong. EziPower 电弧炉电效控制专家系统[C]//2004 中国国际钢铁大会技术交流会议论文集. 上海: 中国钢铁工业协会, 2004.
- Sunny Xu, Perrson Xiong. EziPower Electric efficiency Arc Furnace Control Expert System[C]//2004 China International Steel Congress Seminar Proceedings. Shanghai: China Steel Industry Association, 2004.

(编辑 梅志山)