

文章编号:1007-6735(2013)02-0116-05

基于因果分析图法及层次分析法的 空调工程施工质量控制

王 瑾, 郭 威, 刘金松, 王亚斯
(上海理工大学 环境与建筑工程学院, 上海 200093)

摘要: 将因果分析图法与层次分析法有机结合,联合应用于空调工程施工质量分析. 首先用因果分析图法找出空调工程施工质量的影响因素,然后用层次分析法的判断矩阵对每层各影响因素的相对重要性给出判断. 通过引入准确反映绝大多数人的分辨和判断能力的标度,对判断矩阵采用近似计算的方法(方根法)计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和相应因素排序的权值 w ,最终通过排序找出空调工程中质量控制的 3 个关键要素.

关键词: 因果分析图法; 层次分析法; 空调工程; 质量控制

中图分类号: N 949 **文献标志码:** A

Quality Control of Air Conditioning Installation Based on the Methods of Analytic Lierarchy Process and Cause and Effect Diagram

WANG Jin, GUO Wei, LIU Jinsong, WANG Yasi
(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093 China)

Abstract: The methods of analytic hierarchy process (AHP) and cause and effect diagram were linked to analyze the quality of air conditioning installation. Cause and effect diagram was used to spot the influencing factors on the quality of air conditioning installation. Then, judgment matrix of AHP was used to judge the comparative importance of each influencing factor in every hierarchy, through introducing the judgment scale that can reflect most people's judgment and using approximate calculation method to calculate the largest eigenvalues $\lambda_{\max}$ and weight number of corresponding factors ranking. Finally, the top three key factors for quality control of air conditioning installation were found out through prioritizing.

Key words: *cause and effect diagram; analytic hierarchy process; air conditioning installation; quality control*

大型空调系统工程的施工质量在一定程度上决定了该工程实体的质量. 施工质量不合格的空调工程,不但影响空调系统的使用功能,缩短其使用寿命,还将使业主和使用者遭受经济损失,情节严重的还会危害到

收稿日期: 2013-01-10
基金项目: 上海市教委重点学科建设资助项目(J50502)
第一作者: 王瑾(1955-),女,副教授. 研究方向: 制冷空调工程研发与节能. E-mail: wjljh2003@163.com

业主和使用者生命财产安全.因此,施工管理人员必须采取合理的方法,事先分析影响工程质量的各种因素,并找出主导因素,采取措施加以重点控制,以确保施工质量满足验收规范要求及系统安全可靠地运行.

因果分析图法是日本东京大学的石川馨教授设计的一种找出问题所有原因的创新方法,可以清楚地表达原因和结果的关系,对所分析的工程问题采用结构图形的方式进行表达,显得非常直观和清晰^[1].但因果分析图法只能针对工程问题进行定性分析,而对各因素的影响权重判断不清晰.层次分析法(AHP)是美国运筹学家沙旦于 20 世纪 70 年代提出的,是一种定性与定量分析相结合的多目标决策分析方法^[2].本文将两种方法进行有机结合,首先运用因果关系图找出影响空调工程施工质量的因素,然后运用 AHP 法对各种因素进行量化和分析计算,确定其中的主要因素和关键因素,为施工管理者提供科学的统计分析方法与判断依据.

1 因果分析图法与层次分析法

1.1 因果分析图法

因果分析图法是一种逐步深入研究和讨论质量问题的图示方法.如图 1 所示.因果分析图由若干枝

干组成,枝干分为大枝、中枝、小枝和细枝,分别代表大小不同的原因.因果图的作图步骤:首先确定需要分析的质量特性或结果,画出主干线,即从左向右带箭头的线;分析确定影响质量特性的大枝(大原因)、中枝(中原因)、小枝(小原因)、细枝(更小原因),并顺序用箭头逐个标注在图上;逐步分析,找出关键性的原因并做出记号或以文字说明,制定对策,限期改正.由于因果分析图不以数值表示来处理问题,而是通过整理问题与其原因的层次来标明关系,因此能很好地描述定性问题.

1.2 层次分析法

AHP 法对影响问题的原因一般能详尽地列出^[3].但主要原因和次要原因如何确定,各个主要原因的重要性、优先程度如何界定,则 AHP 法作了最好的诠释,它将定性和定量指标统一在一个模型中,既能进行定量分析,又能进行定性的功能评价.

AHP 法的主要思路是首先对问题涉及的因素进行分类,每类作为一个层次,由高到低按目标层 A、准则层 B、措施层 P 进行排列;然后构造一个各因素之间相互联结的层次模型;根据层次结构模型,确定每一层各因素的相对重要性的权数,直至计算出措施层各方案的相对权数.AHP 法的具体算法与步骤将结合空调工程的质量控制加以说明.

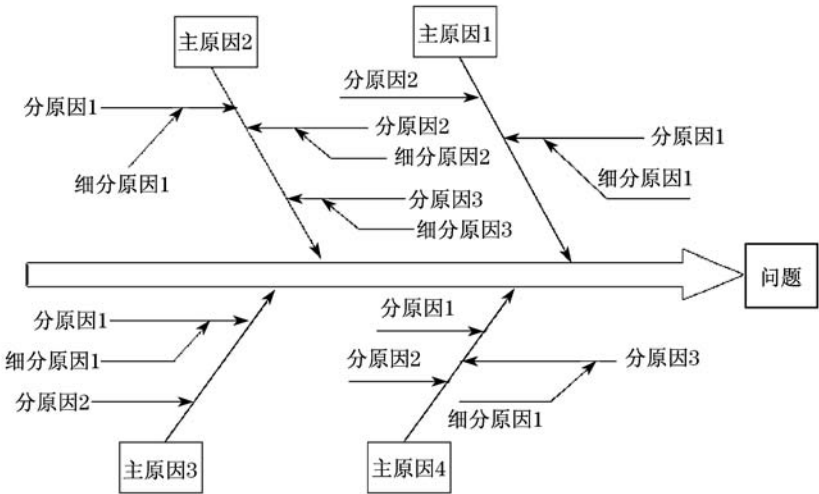


图 1 因果分析图示例
Fig.1 Example of cause and effect diagram

2 某空调工程的施工质量分析

结合某商场的中央空调安装工程,运用因果分析图法和层次分析法,对其工程施工质量进行定性

和定量分析.通过对图纸设计与现场施工进行研究分析,得到因果分析图,如图 2 所示(见下页)^[4].

2.1 建立层次分析模型

根据因果分析的结果,进一步建立该商场空调系统安装质量层次分析结构模型,如图 3 所示(见下页).

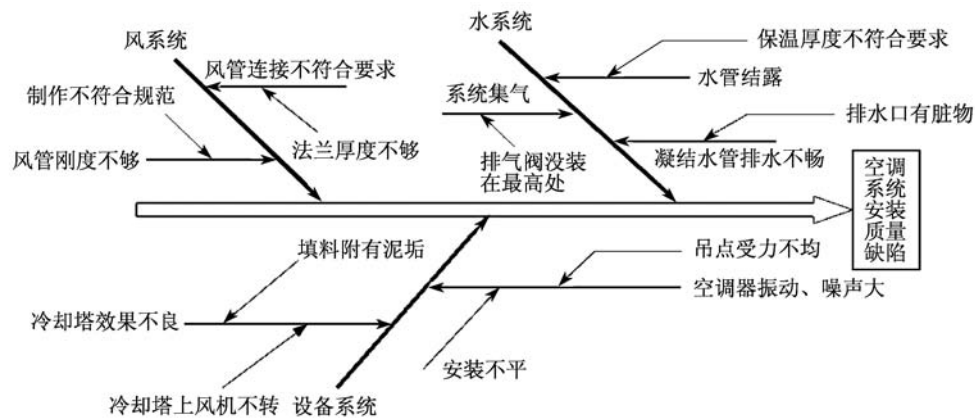


图 2 空调系统安装质量缺陷因果分析图

Fig.2 Cause and effect diagram for installation defects of air conditioning system

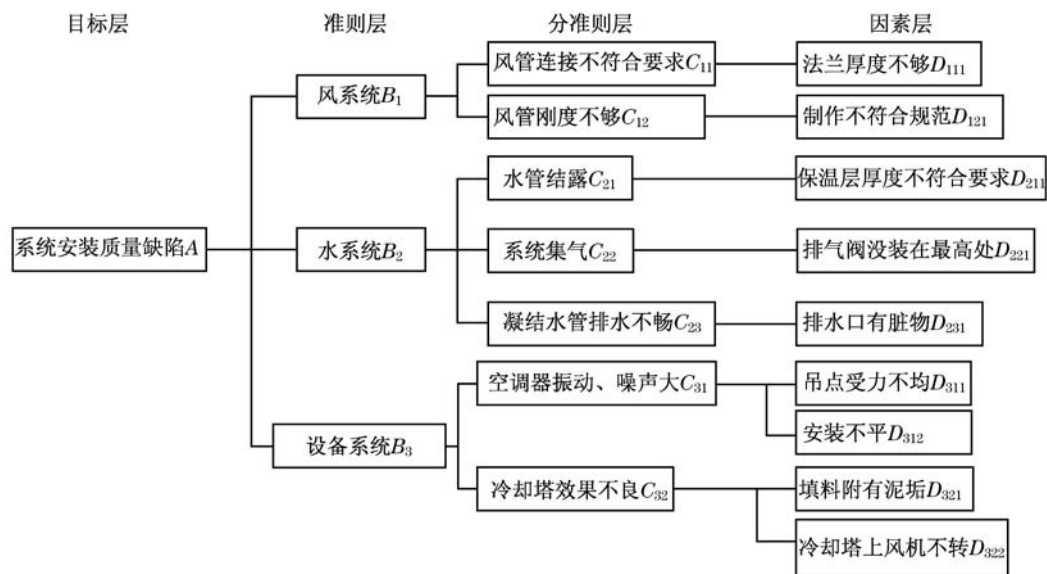


图 3 商场空调系统安装质量层次分析结构模型

Fig.3 Analytic hierarchy process for analysing the installation quality of air conditioning system

2.2 构造判断矩阵并进行计算

AHP 法的信息来源是对每层因素各因素的相对重要性给出的判断^[5],这些判断用数值表示,可描述为矩阵的形式,称为判断矩阵.判断矩阵的含义是针对上一层某个因素而言,本层次有关的各因素之间的影响度.如 A 层中某因素 A_k 与下一层因素 $B_1 \sim B_n$ 存在关联,将 $B_1 \sim B_n$ 各因素相对于 A_k 的影响度作为矩阵的元素分别列于表 1 中.表 1 又叫 $A_k - B$ 的判断矩阵.其中, B_{ij} 为判断矩阵的元素,即相对于上层因素而言, B_i 对于 B_j 的相对影响度的数值表达.为了使各因素之间进行两两比较得到量化的数值 B_{ij} ,表 2 引入 1—9 标度,从心理学的角度出发,1—9 的标度采用符合绝大多数人的分辨和判断能力,较为准确地反映出 B_{ij} 值的状况, B_{ij} 值的大小也可采用 Delphi 法来进行确定.

表 1 $B_1 - B_n$ 各因素相对于 A_k 的影响度

Tab.1 $B_1 - B_n$ factors relative to the effect of A_k

A_k	B_1	B_2	B_3	...	B_n
B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	...	B_{1n}
B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	...	B_{2n}
B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	...	B_{3n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
B_n	B_{n1}	B_{n2}	B_{n3}	...	B_{nn}

表 2 标度取值

Tab.2 Scale values

标度 B_{ij}	定义
1	i 因素和 j 因素相同重要
3	i 因素比 j 因素略为重要
5	i 因素比 j 因素较为重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2,4,6,8	为以上两判断之间的中间状态对应的标度值
倒数	若 j 因素与 i 因素比较,得到判断值为 $B_{ji} = \frac{1}{B_{ij}}$, $B_{ji} = 1$

确定了各层次的判断矩阵后,就需要对各个因素进行层次排序,即根据判断矩阵计算对于上一层因素而言,本层次与之有联系的各因素影响度的权值.根据 AHP 法原理,层次排序实际上就是计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和对应的特征向量 w ,即求出满足 $Bw = \lambda_{\max} w$ 的特征值和特征向量. B 为计算矩阵.此时的特征向量 w 即是相应因素排序的权值.

根据正矩阵的理论,若 B 矩阵有以下特点:

- a. $B_{ij} = 1$;
- b. $B_{ij} = \frac{1}{B_{ji}}, i, j = 1, 2, \cdots, n$;
- c. $B_{ij} = \frac{B_{ik}}{B_{jk}}, i, j = 1, 2, \cdots, n$.

则该矩阵具有唯一非零的最大特征值 $\lambda_{\max}$,且 $\lambda_{\max} = n$.若给出的判断矩阵 B 具有上述特性,则该矩阵具有完全一致性.然而人们对复杂事物的各因素采用两两比较时,不可能做到判断的完全一致性,而存在估计误差,这必然导致特征值及特征向量也有偏差.为了避免误差太大,所以要衡量 B 矩阵的一致性,采用相容性计算指标 CI 来衡量.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中, n 为矩阵的阶数.

当 $\lambda_{\max} = n$ 时, $CI = 0$,为完全一致; CI 越大,判断矩阵的完全一致性越差.一般只要 $CI \leq 0.1$,认为判断矩阵有相容性,其一致性可以接受;若 $CI > 0.1$,认为判断矩阵不符合一致性要求,应重新进行两两比较判断.判断矩阵的 n 越大,判断的一致性越差,于是引入修正值 RI ,如表 3 所示,并取更为合理的指标 CR 衡量判断矩阵的一致性,其定义为 $CR = \frac{CI}{RI}$.

表 3 RI 数值
Tab.3 RI quantitative values

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.6	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

2.3 近似的计算方法

在空调工程质量控制中,为了简化计算,对判断矩阵采用近似计算(方根法)来求取判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和特征向量 w ^[6],其计算步骤为:

- a. 判断矩阵每行所有元素的几何平均值

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n B_{ij}}, i = 1, 2, \cdots, n$$

- 得到 $\bar{w} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \cdots, \bar{w}_n)^T$
- 将 $\bar{w}_i$ 归一化,即 $w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{w}_j}, i = 1, 2, \cdots, n$
- b. 得到 $\bar{w} = (w_1, w_2, \cdots, w_n)^T$,即为所求特征向量的近似值,也是各因素的相对权重.
- c. 计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A \bar{w})_i}{n \bar{w}_i}$$

- 式中, $(A \bar{w})_i$ 为向量 $A \bar{w}$ 的第 i 个元素.
- d. 计算判断矩阵一致性指标,检验其一致性.
- 得到各层次诸因素的相对权重后,进行措施层的组合权重计算,即计算各级要素关于总目标的综合影响度.各因素对目标层而言,其组合权重采用表 4 计算.

表 4 权重计算表
Tab.4 Weight calculation sheet

P 层	因素及权重	组合权重 $V^{(2)}$
	$C_1 C_2 \cdots C_k w_1^{(1)} w_2^{(1)} \cdots w_k^{(1)}$	
P_1	$w_{11}^{(2)} w_{12}^{(2)} \cdots w_{1k}^{(2)}$	$v_1^{(2)} = \sum_{j=1}^k w_j^{(1)} w_{1j}^{(2)}$
P_2	$w_{21}^{(2)} w_{22}^{(2)} \cdots w_{2k}^{(2)}$	$v_2^{(2)} = \sum_{j=1}^k w_j^{(1)} w_{2j}^{(2)}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
P_n	$w_{n1}^{(2)} w_{n2}^{(2)} \cdots w_{nk}^{(2)}$	$v_n^{(2)} = \sum_{j=1}^k w_j^{(1)} w_{nj}^{(2)}$

2.4 对所选实例进行安装工程质量计算分析

建立如图 3 所示的层次模型后,将各层原因对上一层原因的重要程度采用判断矩阵进行两两比较,得出具体因素对总目标层的权重值 w 和判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$,并对矩阵进行一致性检验,计算结果如表 5~10(表 7~10 见下页)所示^[7].

表 5 C_{31} 对具体因素的权重分配计算
Tab.5 Weight distribution calculation of C_{31} for specific factors

C_{31}	D_{311}	D_{312}	w	$\lambda_{\max} = 2$
D_{311}	1	3	0.75	$CI = 0$
D_{312}	1/3	1	0.25	$CR = 0$

表 6 C_{32} 对具体因素的权重分配计算
Tab.6 C_{32} specific factors weight distribution calculation

C_{32}	D_{321}	D_{322}	w	$\lambda_{\max} = 2$
D_{321}	1	5	0.833 3	$CI = 0$
D_{322}	1/5	1	0.166 7	$CR = 0$

表 7 $B_1 - C_{1j}$ 判断矩阵及求解

Tab.7 $B_1 - C_{1j}$ judgment matrix and the solution

B_1	C_{11}	C_{12}	w	$\lambda_{\max} = 2$
C_{11}	1	3	0.75	$CI = 0$
C_{12}	1/3	1	0.25	$CR = 0$

表 8 $B_2 - C_{2j}$ 判断矩阵及求解

Tab.8 $B_2 - C_{2j}$ judgment matrix and the solution

B_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	w	$\lambda_{\max} = 3.003\ 7$
C_{21}	1	1/5	1/2	0.122 0	$CI = 0.003\ 1 < 0.1$
C_{22}	5	1	3	0.648 3	$CR = 0.001\ 8 < 0.1$
C_{23}	2	1/3	1	0.229 7	

表 9 $B_3 - C_{3j}$ 判断矩阵及求解

Tab.9 $B_3 - C_{3j}$ judgment matrix and the solution

B_3	C_{31}	C_{32}	w	$\lambda_{\max} = 2$
C_{31}	1	3	0.75	$CI = 0$
C_{32}	1/3	1	0.25	$CR = 0$

表 10 $A - B_j$ 判断矩阵及求解

Tab.10 $A - B_j$ judgment matrix and the solution

A	B_1	B_2	B_3	w	$\lambda_{\max} = 3.003\ 7$
B_1	1	1/5	1/2	0.122 0	$CI = 0.003\ 1 < 0.1$
B_2	5	1	3	0.648 3	$CR = 0.001\ 8 < 0.1$
B_3	2	1/3	1	0.229 7	

计算结果表明,对于各判断矩阵都具有比较满意的一致性.由于分准则层 $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}, C_{23}$ 下仅有 1 个具体因素,则该因素的权重就是上一层的权重.在获得了同层各要素之间的权重值后,就可以自上而下地计算各级要素关于总目标的综合重要度.

C 层各因素对目标问题的综合权值 W_C^A 为

$$W_C^A = \begin{bmatrix} 0.091\ 5 & 0.030\ 5 & 0.079\ 0 & 0.420\ 3 \\ 0.148\ 9 & 0.172\ 3 & 0.057\ 4 \end{bmatrix}$$

D 层各因素对目标问题的综合权值 W_D^A 为

$$W_D^A = \begin{bmatrix} 0.091\ 5 & 0.030\ 5 & 0.079\ 0 & 0.420\ 3 & 0.148\ 9$$

0.129 2 0.043 1 0.047 8 0.009 6]

3 分析与结论

从计算结果可以看出,排气阀未装在系统最高处、排水口有脏物和吊点受力不均这 3 个因素所占权重较大,它们是影响该商场空调系统安装质量问题的主要原因,需要重点考虑改正.

一般空调工程质量的特点是影响因素多、质量波动大、质量具有隐蔽性及终检有局限性等,必须在施工中进行实时监控才能达到目的.从以上计算分析的过程看,因果关系图法和层次分析法联合运用在空调系统工程施工质量分析中,能针对每个影响因素进行定量描述,为工程质量分析和监控指明方向,使质量管理者抓主要矛盾,对各种工程质量问题的严重性做到心中有数.同时,两者的结合运用为准确评估和排除故障带来极大方便,尤其是影响因素多而复杂的情况,这种分析方法的优点将更加明显.由此可知,因果分析图法与层次分析法联合能够对空调系统安装工程质量控制起到较好的指导作用.

参考文献:

[1] Zeleny M. Multiple criteria decision making [M]. Kyoto: Springer-Verlag, 1975.

[2] Saaty T L. The analytic hierarchy process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[3] 武卫东,伍贻文,景国勋,等. AHP 法确定通风系统方案优化指标的权重[J]. 上海理工大学学报, 2002, 24 (2): 127 - 130.

[4] 钱颂迪,甘应爱,田丰,等. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社, 1990.

[5] 吴涛,丛培经. 中国工程项目管理知识体系[M]. 北京:中国建筑业出版社, 2003.

[6] 张海鹰. AHP 方法在工程质量管理因果分析中的应用[J]. 湖南城市学院学报, 2005, 14(3): 10 - 12.

[7] 张勤,樊兴华,黄席樾. 因果图用于复杂系统故障诊断研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(4): 43 - 47.

(编辑:石 瑛)