

基于层次分析和模糊综合评判的 降温系统优选

李同锁,何启林

(安徽理工大学 能源与安全学院,安徽 淮南 232001)

摘要:针对目前矿井在降温系统的选择上缺少系统的评价方法及合理的定量分析手段,提出了一种新的矿井降温系统优选方法.即运用层次分析法建立矿井降温系统优选指标体系,定量地得出各指标的权重系数;结合模糊综合评判,建立评判集与评判矩阵,最后根据综合评分做出判断.以刘庄煤矿为例,通过运用层次分析和模糊综合评判的优选方法,选择井下集中制冷的降温方案;措施实施后,采煤工作面降温效果显著,降低幅度平均达7.5℃.表明了此方法的科学性与合理性,能够为方案优选提供参考,具有一定的实用价值.

关键词:层次分析;模糊;综合评判;降温系统;权重系数

中图分类号:TD727.5 文献标志码:A 文章编号:1674-5876(2014)01-0039-05

Optimization of cooling system based on analytic hierarchy process and fuzzy synthetic evaluation

LI Tong suo, HE Qilin

(School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Because the method of selecting mine cooling system lacks of systematic evaluation method and quantitative analysis method, this paper proposes a new optimization method of mine cooling system, which applies AHP to build a hierarchy structure model of mine cooling system optimization index system, and give every weighting coefficient by analytic hierarchy process. Combined with the fuzzy comprehensive evaluation, it builds evaluation set and judgment matrix according to the comprehensive score. By taking Liuzhuang Coal Mine as an example and by using the optimized method of hierarchical analysis and fuzzy comprehensive evaluation, the paper selects the underground centralized refrigeration cooling system. After the measures have been carried out, the temperature of coal face decreases significantly by reducing about 7.5℃. Results show this is a scientific and objective method, which can provide reasonable references for optimization of the schemes and possess certain practical value.

Key words: analytic hierarchy process; fuzzy; synthetic evaluation; cooling system; weighting coefficient

煤炭工业是关系国家经济命脉的重要基础产业,支撑着国民经济持续快速发展.随着矿井逐步转向深部开采,矿井热害逐渐成为影响正常和安全生产的主要灾害之一^[1].当矿井气候值超过标准而出现热害时,影响工人的正常作业,就必须采取

降温措施加以改善^[2].通过增大风量降温的方法,系统简单,成本低,但其降温幅度有限,一般只能降低2℃,远远达不到工作面降温需求^[3].因此,矿井主要采用集中制冷降温系统治理热害,以达到制冷降温的目的.但是,在集中制冷降温方案的选择

上,缺乏科学合理的系统评价方法和定量分析手段.不合理的降温方案不仅达不到降温目的,还会增加矿井的经济负担与开拓工程量;模糊综合评判^[4]方法在这种情况下得到了广泛的研究与应用,其目的就是为了解决在所研究课题影响因素十分繁多、复杂的条件下,如何决定最佳方案的选取以及对多种方案进行优越性排序,或者对方案进行客观地评价^[5].然而,单一的依靠模糊综合评价法,在确定指标的权重系数时带有一定的主观性和随意性,降低了结果的可信度^[6].为了使结果更加可信,更加客观地反映矿井降温系统的优劣,论文采用层次分析法^[7,8]确定权重系数,提出了基于层次分析和模糊综合评判的矿井降温系统优选体系,并将研究应用在刘庄煤矿降温系统优选上,很好的解决了这类问题.

1 层次分析理论

1.1 优选指标体系的建立

高温热害矿井制冷降温系统的优选、建立及具体工作的安排实施需经过以下3个步骤^[9]:

1) 粗略遴选阶段. 去除明显不符合要求的系统或方案. 根据矿井实际生产情况及制冷降温工艺,首先确定矿井制冷降温主要模式,如人工制冷降温、冷水冷辐射降温或冰浆降温.

2) 选择降温系统阶段. 根据确立主要的制冷降温模式,制定具体的制冷降温系统或方案;并且采用一定的方法对众多方案进行优选. 主要降温方案包括井下集中式降温系统、地面集中式降温系统、井上下联合式降温系统.

3) 监测监控阶段. 矿井制冷降温系统确定并建立后,每年应根据相关预测值、实测值以及积累的年度降温经验对系统进行拓展、修改并分配年度制冷降温工作.

科学、合理的优选指标体系是进行矿井降温系统优选的基础^[10],为了客观反映降温系统各方面的情况,结合刘庄矿井的实际情况,论文所采用的指标及其重要性排序如下:制冷量 > 主要设备费 > 寿命运行成本 > 系统稳定性 > 对采掘影响 > 冷损量 > 降温工程费 > 散热方式 > 承压性 > 占用空间. 据此建立了自上而下的包括目标层、准则层、指标层的层次结构模型,如图1所示.

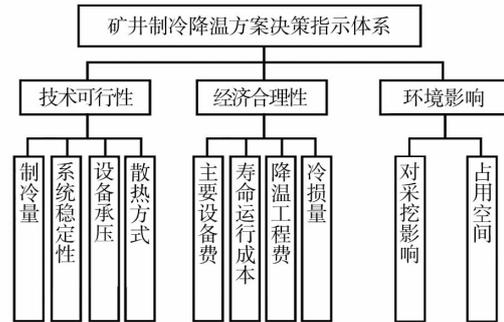


图1 制冷降温系统的层次结构模型

1.2 指标权重系数的确定

1.2.1 构造两两判断矩阵

层次分析法最初是由美国著名的运筹学家萨迪于1973年提出的;运用层次分析法进行权重系数的计算时,分以下4个步骤^[11]:

1) 分析系统中各因素之间的关系,建立问题的递阶层次结构.

2) 对同一层次的各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵.

3) 由判断矩阵计算被比较的元素的相对权重.

4) 计算各层元素组合权重,并进行排序.

在建立层次分析以后,就可以逐层逐项对各元素进行两两比较,利用1~9比例标度法^[12]比较各元素之间的相对重要程度,构造评判矩阵A.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

其中, a_{ij} 的数值确定方法^[13]见表1.

表1 标度数值表

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同等重要性
3	表示两个因素相比,1个比另1个稍重要些
5	表示两个因素相比,1个比另1个明显重要
7	表示两个因素相比,1个比另1个强烈重要
9	表示两个因素相比,1个比另1个极端重要
2,4,6,8	上述两个相邻判断的中值
倒数	因素 <i>i</i> 与因素 <i>j</i> 判断得 b_{ij} ,因素 <i>j</i> 与因素 <i>i</i> 比较得 $b_{ji} = 1/b_{ij}$

1.2.2 计算权重系数

权重系数采用合积法计算,其计算步骤如下^[14]:

1) 将判断矩阵每一列正规化:

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

2) 每一列经正规化后的判断矩阵按行相加:

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

3) 对行向量 $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)^T$ 正规化:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

由以上步骤所得的 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 即为所比较因素的权重系数集.

1.2.3 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵的一致性检验步骤如下:

1) 计算判断矩阵的最大特征值.

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}. \quad (4)$$

2) 计算判断矩阵的一致性指标

$$C. I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n}. \quad (5)$$

式中: n : 判断矩阵的阶数; λ_{\max} : 判断矩阵的最大特征值. 一般情况下, $C. I$ 值越大表示偏离一致性越大. 反之表示偏离一致性越小.

3) 选择平均随机一致性指标

判断矩阵的阶数越大, 判断结果因主观因素造成的偏差越大, 偏离一致性也就越大. 因此还必须引入平均随机一致性指标 $R. I$ (Random Index). 这些 $R. I$ 值是通过使用随机方法构造判断矩阵, 经过 500 次以上的重复计算, 求出其一致性指标, 并加以平均得到的.

4) 计算一致性比率

一致性比率 $C. R$ (Consistency Ratio) 等于一致性指标 $C. I$ (Consistency Index) 与平均随机一致性指标 $R. I$ 的比值.

$$C. R = \frac{C. I}{R. I}. \quad (6)$$

通常用一致性比率 $C. R$ 的数值大小检验判断矩阵的一致性, $C. R$ 值越大, 表明判断矩阵的一致性越差; 相反, 则表示一致性越好. 一般都认为, 当 $C. R \leq 0.1$ 时, 说明判断矩阵具有满意的一致性, 由此得到的各因素的权重系数结果是可以接受的. 否则需要修正判断矩阵, 直到满足一致性检验.

2 模糊综合评判理论

2.1 基本概念

1) 因素集. 指以所决策(评判)系统中影响评判的各种因素所组成的集合, 通常用 U 表示;

2) 权重集. 一般来说, 因素集 U 中的各因素对系统的影响程度不一样. 为了反映各因素的重要程度, 对各个因素应赋予一相应的权数 a_i . 由各权数所组成的集合, 通常用 W 表示;

3) 评判集. 指评判者对评判对象可能做出的各种总的评判结果所组成的集合, 通常用 V 表示;

4) 评判矩阵. 如果只是对一个因素进行评判, 以确定评判对象对评判集元素的隶属度, 称为单因素评判.

设对因素集 U 中的第 i 个元素 u_i 进行评判, 对评判集 V 中第 j 个元素 v_j 的隶属度为 r_{ij} , 则按第 i 个元素 u_i 的评判结果, 可得模糊集合:

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ip}).$$

将各因素评判集的隶属度行组成矩阵, 又称为评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{np} \end{bmatrix}.$$

2.2 模糊综合评判步骤

考虑论文运用层次分析法已确定权重系数 W , 所以模糊综合评判步骤可简单划为

1) 构造评判集

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}.$$

2) 单因素综合评判

对每一类的各个因素进行综合评判. 设一级模糊综合评判的单因素评判矩阵为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11}^{(i)} & r_{12}^{(i)} & \cdots & r_{1p}^{(i)} \\ r_{21}^{(i)} & r_{22}^{(i)} & \cdots & r_{2p}^{(i)} \\ \vdots & & & \vdots \\ r_{n_1}^{(i)} & r_{n_2}^{(i)} & \cdots & r_{n_p}^{(i)} \end{bmatrix}.$$

第 i 类因素的模糊综合评判为

$$B_i = W_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ip}). \quad (7)$$

3) 二级综合评判

二级模糊综合评判的单因素评判矩阵, 应为一二级模糊综合评判矩阵.

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \vdots \\ A_s \cdot R_s \end{bmatrix}.$$

于是二级模糊综合评判为

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_p). \quad (8)$$

3 在刘庄矿井降温系统优选上的应用

3.1 矿井温度现状

刘庄井田的恒温带深度为自地表向下 30 m, 相应的温度为 16.8 °C; 井田所在地区属过渡带气候, 季节性明显, 该地区年均气温 15.1 °C, 两极气温分别为 41.4, -21.7 °C; 随着矿井向深部开采, 热害问题日益显露出来. 实测地温资料表明: 本井田地温有随深度的增加而增高的趋势. 其中井田南部地温梯度小于 0.03 °C/m, 属地温正常区; 北部地温梯度多大于 0.03 °C/m, 为地温异常区. 据各主要可采煤层的地温与其埋深建立的相关关系式计算, -762 m 水平最高温度为 40.3 °C, 平均 38.9 °C, 已进入二级高温区.

在通风降温不能解决高温问题时, 针对刘庄煤矿热源多, 散热量大, 为降低矿井热害程度, 根据刘庄矿井的实际情况, 结合国内外矿井降温技术现状及应用情况, 选择了地面集中制冷降温系统和井下集中制冷、地面排放冷凝热降温系统的 2 种制冷方案进行了技术比较.

3.2 权重系数计算

以准则层——技术可行性下的 4 个因素(制冷量、系统稳定性、设备承压、散热方式)为例计算权重系数. 先构造两两判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 6 \\ 0.25 & 1 & 5 & 4 \\ 0.1429 & 0.2 & 1 & 0.5 \\ 0.1667 & 0.25 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

按照式(1)~式(3)得制冷量、系统稳定性、设备承压、散热方式相对于技术可行性的权重系数集 $W_1 = (0.5909, 0.2562, 0.0596, 0.0933)$. 按照式(4)~式(6)得判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.1658$, 一致性比率 $C.R = 0.0621 < 0.1$, 故认为判断矩阵具有满意的一致性, 计算得到的权重系数是可以接受的. 同理可得如下内容:

1) 主要设备费、寿命运行成本、降温工程费、冷损量相对于经济合理性的权重系数集 $W_2 = (0.5381, 0.2872, 0.0508, 0.1239)$, 最大特征值

$\lambda_{\max} = 4.2444$, 一致性比率 $C.R = 0.09154 < 0.1$, 具有满意的一致性.

2) 对采掘影响、占用空间相对于环境影响的权重系数集 $W_3 = (0.8333, 0.1667)$, 由于判断因素只有 2 个, 所以无需一致性检验.

3) 准则层因素技术可行性、经济合理性、环境影响相对目标层的权重系数为 $W = (0.6334, 0.2604, 0.1062)$, 最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0382$, 一致性比率 $C.R = 0.0191 < 0.1$, 具有满意的一致性.

3.3 模糊综合评判应用

3.3.1 构造评判集

为了能够合理的对矿井降温系统做出评判, 论文采用 4 种评判结果: 优秀、良好、一般、差, 即评判集 $V = \{\text{优秀, 良好, 一般, 差}\}$; 每种评判结果对应的评分为 100, 85, 75, 60 分.

3.3.2 构造评判矩阵

对指标层中各指标的评判, 论文采用专家座谈的方式来评定; 固定其中一个指标, 进行单指标评判, 联合所有单指标评判, 可得单指标评判矩阵. 论文以井下集中制冷降温、地面排放冷凝热系统为例, 可得其制冷量、系统稳定性、设备承压、散热方式构成的评判矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}.$$

主要设备费、寿命运行成本、降温工程费、冷损量构成的评判矩阵为

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}.$$

采掘影响、占用空间构成的评判矩阵为

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.4 \end{bmatrix}.$$

3.3.3 模糊综合评判过程

由各指标权重系数集和对应的评判矩阵得井下集中制冷降温、地面排放冷凝热系统的一级模糊综合评判为

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.362, 0.365, 0.248, 0.025);$$

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.252, 0.217, 0.283, 0.248);$$

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.350, 0.350, 0.233, 0.067).$$

由此得二级综合评判:

$$B = W \cdot (B_1, B_2, B_3)^T = (0.332, 0.325, 0.255, 0.088).$$

建立评分集 $C = (100, 85, 75, 60)^T$, 由此得到井下集中制冷降温、地面排放冷凝热系统的综合评分结果为 $A = B \cdot C = 85.23$. 同理, 可以得到地面集中制冷降温系统的综合评分为 68.35; 两者相比较, 最终选择井下集中制冷、地面排放冷凝热作为矿井降温系统.

3.4 效果检验

分别建立井下和地面集中式降温系统后, 对系统运行前后的降温效果进行检验并验证评判结果的可靠性. 以刘庄煤矿 131301 采煤工作面为例, 在工作面布置相关测点, 如图 2 所示.

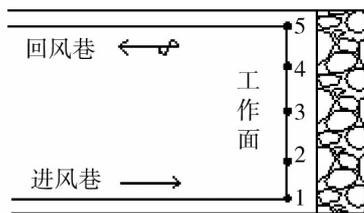


图2 测点布置图

系统运行前后各测点温度如表 2 所示.

表2 测点效果表(单位:℃)

测点	运行前	井下制冷	地面制冷
1	31.1	24.5	27.1
2	32.9	25.4	28.4
3	35.2	27.2	30.8
4	37.4	28.8	32.2
5	39.7	32.7	35.0
平均降温		7.5	4.3

由表 2 可知, 采用井下集中制冷后工作面平均降温达 7.5℃; 而采用地面集中制冷后工作面降温只有 4.3℃; 显然, 前者降温效果更好.

4 结论

1) 通过层次分析法确定权重系数, 避免了主观因素的影响, 增加了结果的可信度, 能客观得出各因素(指标)的权重大小.

2) 根据各因素(指标)相对重要程度, 可得到煤矿的管理和研究的重点.

3) 通过模糊综合评判选择的井下集中制冷、地面排放冷凝热降温系统, 符合矿井的实际生产要求. 系统运行后, 工作面降温幅度平均达 7.5℃, 采

煤工作面降温效果显著, 说明通过此方法选取降温系统的科学性与可行性, 能够为系统优选提供参考依据.

4) 应进一步增加指标, 使之更全面, 并优化评判方法.

参考文献:

- [1] 王常鹏, 孟鑫, 段立群. 高温深井降温技术[J]. 煤炭技术, 2009, 28(2): 34-35.
- [2] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [3] 李广印, 巩超. 千米深井局部降温系统的应用[J]. 科技传播, 2012(5): 165-167.
- [4] Gu W X, Li S Y, Chen D G. Fuzzy groups with operators [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 66(3): 363-373.
- [5] 韩宇平, 解建仓. 模糊综合评判法在水库洪水调度方案评价中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 198-201.
- [6] 任艳玲, 朱明放. 基于集对分析的综合评价方法及其应用[J]. 微计算机信息, 2007, 23(12): 220-222.
- [7] Qin T, Shang Y H, Liu Z W. Study on the index system of safety evaluation in coal mine based on AHP [J]. Modern Mining, 2010, 493(5): 70-72.
- [8] Guo J Y, Zhang Z B, Sun Q Y. Study and applications of analytic hierarchy process [J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148-153.
- [9] 褚召祥, 辛嵩, 骆伟. 多目标决策法在赵楼矿降温系统优选中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(5): 19-21.
- [10] 李昊, 肖俊贤, 田涛. 基于层次分析法的矿井通风系统灰色综合评价[J]. 煤矿安全, 2012, 43(10): 166-169.
- [11] 刘志春, 朱永全, 李文江, 刘泮兴. 挤压性围岩隧道大变形机理及分级标准研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(5): 690-697.
- [12] 邱利. 煤矿巷道稳定性评价与安全评价软件开发[D]. 唐山: 河北理工大学, 2005.
- [13] 李延辉, 魏引尚, 宋国良, 王宁. 基于层次分析法的瓦斯抽采系统可靠性综合评价[J]. 煤矿安全, 2012, 43(6): 141-144.
- [14] 邹义怀, 江成玉, 李春辉, 等. 基于层次分析法和模糊数学的煤矿安全生产评价[J]. 工矿自动化, 2010(10): 39-41.