

等效优先系数法在矿井开拓方案选择中的应用

李元松^{1*}, 田昌贵¹, 陈清运¹, 胡乔², 徐立¹

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 新疆鑫岩工贸有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:在总结现有等效系数法研究成果的基础上, 提出等效优先系数法的概念, 并详细介绍其基本原理、实现方法与步骤。结合艾格佐尔铜钼矿床开采设计, 将其应用于矿井开拓方案比选, 取得良好效果, 探讨了等效系数法中特征量属性矩阵规范化、判断矩阵的构造过程中存在的问题, 并提出进一步研究的建议。

关键词:等效优先系数法; 矿井开拓; 方案比选

中图分类号:TD214 **文献标识码:**A

0 引言

开拓方案选择是矿山地下开采设计中至关重要的部分, 是一项寻求矿山开采的经济效益、生产安全和生产效率等多因素综合效益最佳的优化决策问题。传统的技术经济比较法对影响开拓方案选择的各因素只作定性分析, 或部分定量评价, 往往较难选择最优方案。近年来我国采矿科技工作者在地下矿井开拓方案的优化方面做了大量工作, 在方案选择的数值方法和主要结构参数的优选方面取得了许多理论性成果^[1-5]。本文在总结已有成果的基础上, 使用等效优先系数法对艾格佐尔铜钼矿床开拓方案的确定进行了成功的尝试, 取得较为满意的效果。为迅速而准确地选择矿井开拓方案积累了成功的案例, 丰富了地下开采设计和研究理论。

1 等效优先系数法的基本原理

等效系数法是一种将计量单位或者量纲不统一的指标值转化为无量纲的标准形式, 使所有本来不能直接比较的指标转化为指标值介于 $[1, -1]$ 之间的实数, 称为等效系数。对一些定性指标根据其重要性程度由专家评级打分进行量化处理。据此构造特征量的属性矩阵和判断矩阵, 从而确定各指标的权值, 通过线性加权求得最优方案。其基本原理可概括为以下四点。

1.1 建立规范化矩阵

设评价系统中有 n 个评价对象组成的对象

集, 用 m 个定量评价指标来进行综合评价。每个评价指标对每一评价对象的评价用指标特征量表示, 则评价系统有 $m \times n$ 阶指标特征量矩阵:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中 x_{ij} 为第 j 个评价对象的第 i 个评价因素的指标特征量。

将特征量矩阵 X 按式(2)进行规范化, 即

$$y_{ij} = x_{ij} / x_j^{\max}, \quad \text{当 } x_{ij} \text{ 取大值有利时} \\ y_{ij} = x_j^{\min} / x_{ij}, \quad \text{当 } x_{ij} \text{ 取小值有利时} \quad (2)$$

记规范化的特征量矩阵(属性矩阵)为

$$Y = [y_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

1.2 构造判断矩阵

将定性指标 B_1, B_2, \dots, B_n , 按重要性程度分为5级, 由专家评分赋予量值, 见表1。

表1 指标赋值表

Table 1 The technical index value

重要性程度	赋值
两因素同等重要	1
其中一因素比另一因素稍重要	3
其中一因素比另一因素较重要	5
其中一因素比另一因素很重要	7
其中一因素比另一因素极重要	9

据此构造判断矩阵

$$B = [b_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中 B_{ij} 表示甲指标对乙指标的重要程度,显然有 $b_{ii}=1, b_{ij}=1/b_{ji}$.

用乘方根法,确定因素 B_i 的优先顺序^[1].即按式(5)计算 b_i ,

$$b_i = \sqrt[n]{b_{i1}b_{i2}\cdots b_{in}}, \quad b_i^* = b_i / \sum b_i \quad (5)$$

式(5)中 b_i^* 越大,因素 B_i 越重要.

1.3 确定指标权值

如果将上述 b_i^* 视为因素 B_i 的权值,即 $w_i = b_i^*$,就是等效优先系数法^[6].

1.4 确定最优方案

最优方案仍按等效系数法公式计算

$$M_i = \sum w_j y_{ij} \quad (6)$$

M_i 最大的方案即为最优方案.

这种方法的使用,为进行指标科学合理比选创造了条件.

2 等效优先系数法的工程应用

2.1 工程概况

工程概况详见文献[7].

2.2 开拓方案

根据矿床赋存条件和地形地貌特征,可行的开拓方案有三种.

方案Ⅰ:平硐盲斜井联合开拓.主运输平硐布置在1 133 m水平,该水平以上控制矿量约 $2\,360 \times 10^4 \text{ t}$,占设计利用储量的45.8%.主运输平硐口坐标: $X=16\,010.54, Y=245\,969.48, Z=1\,133.50$,方位 37° .该平硐以上采出的矿石通过溜井下放到1 133 m水平,由矿用汽车运至地表.主运输平硐以下采用盲斜井开拓,盲斜井位于Ⅷ-Ⅷ线与Ⅸ-Ⅸ勘探线之间矿体下盘,井口坐标: $X=16\,349.32, Y=246\,029.26, Z=1\,133.2$,井筒掘进断面 11.32 m^2 ,净断面 9.0 m^2 ,采用C25浇筑混凝土支护,厚度250 mm.采用串车提升,提升设备选用 $\phi 3.0 \text{ m}$ 单卷筒卷扬机,配套电机功率185 kW.采用25辆YGC4(9)型固定式矿车,容积 4.0 m^3 .盲斜井主要担负井下采出废石和矿石的提升,人员、轻型材料设备的提升和下放由专用电梯完成,重型材料设备经辅助斜坡道运输.辅助斜坡道入口在1 133 m主运平硐口内,Ⅺ-Ⅺ线与Ⅻ-Ⅻ勘探线之间,通往1 030 m水平.斜井井筒内留

管线、梯子间,以安装电缆及供排水管,并兼作1 133 m以下进风之用.井下采出的矿石和废石,通过各分段平巷运往溜井,溜井出矿后由电机车运往井底车场,由卷扬机提升至1 133 m水平,经平硐运出地表,废石直接运往废石场堆存,矿石由矿用汽车转运至一级破碎站.

方案Ⅱ:平硐-盲竖井开拓.1 133 m水平以上部分与方案Ⅰ相同.主运输平硐以下采用盲竖井开拓,盲竖井位于Ⅷ-Ⅷ线与Ⅸ-Ⅸ勘探线之间矿体下盘,井口坐标: $X=16\,349.32, Y=246\,029.26, Z=1\,133.2$,井筒掘进断面 24 m^2 ,净断面 16 m^2 ,采用C25浇筑混凝土支护,厚度300 mm.采用容积 2.1 m^3 单箕斗提升,提升设备选用 $\phi 2.5 \text{ m}$ 天轮卷扬机,配套电机功率420 kW.采用25辆YGC4(9)型固定式矿车,容积 4.0 m^3 .盲竖井主要担负井下采出废石和矿石的提升,人员、轻型材料设备的提升和下放由专用电梯完成,重型材料设备经辅助斜坡道运输.辅助斜坡道入口在1 133 m主运平硐口内,Ⅺ-Ⅺ线与Ⅻ-Ⅻ勘探线之间,通往1 030 m水平.

方案Ⅲ:平硐-斜坡道开拓.1 133 m水平以上部分与方案Ⅰ相同.主运输平硐以下采用斜坡道开拓.在矿体下盘,主运输平硐内,Ⅺ-Ⅺ线与Ⅻ-Ⅻ勘探线之间开口至1 030 m水平,斜坡道入口坐标: $X=16\,573.72, Y=246\,069.66, Z=1\,133.80$,方位 23° ,坡度11%.斜坡道掘进断面 15.74 m^2 ,净断面 12.84 m^2 ,混凝土支护,强度C20,支护厚度250 mm.井下采出的矿石和废石,通过各分段平巷运往主溜井,溜井直接放矿至1 030 m水平,从放矿硐室装车,由矿用汽车经斜坡道至1 133 m主运平硐运至地表,废石直接运往废石场堆存,矿石由汽车运往地表一级破碎.人员及轻型材料设备由电梯完成提升、下放.重型材料设备则从斜坡道运输.

2.3 方案比选

上述三种方案中,方案Ⅰ因运输能力不足,且适应性较差,不符合合资企业产能随市场变化而调整的要求,方案初选时,予以淘汰,剩余方案Ⅱ和方案Ⅲ难以抉择,因此选用等效优先系数法给出定量评价.

2.3.1 参与方案评价的指标分析

影响地下矿床开拓方式选择的因素较多,通常可归纳为三个方面:地质条件、经济指标和技术因素.

对于特定的矿床地质因素业已确定,因此方案分析时不参与评价.

设计技术指标,如矿井设计产量、矿井服务年限、回采工作面产量、采掘机械化程度、工艺可靠性、建井工期、掘进率、回采率、井巷掘进速度、万吨产量巷道维修量等,这些指标中,矿井服务年限等与设计方案选择关系不是十分密切的指标可以去除,掘进率等派生指标由基础指标计算而得,可以适当合并,不影响评价结果。

设计经济指标,如:矿井劳动生产率、吨矿售价、折旧费用等,这些指标与设计方案选择关系不是十分密切,可以去除,吨矿投资费、吨矿利润、投资偿还比、固定资产人均占用额、吨矿生产成本等派生指标由基础指标计算而得,可以适当合并,不影响评价结果。

综合上述分析,本矿设计方案评价选择以下指标:

基建工程量 B_1 , 越小越好;

总投资额 B_2 , 越小越好;

年运营成本 B_3 , 越小越好;

安全生产与管理复杂程度 B_4 , 越安全越好, 采用 10 分制由专家评分;

机械化程度与技术先进性 B_5 , 越先进越好, 采用 10 分制由专家评分。

2.3.2 数值计算

a. 构造评价指标特征属性矩阵与规范化属性矩阵. 由此得到方案Ⅱ、方案Ⅲ设计的主要指标及规范处理结果分别见表 2, 表 3。

表 2 指标赋值表

Table 2 The technical index value of mine designing project

指标	方案Ⅱ (S_1)	方案Ⅲ (S_2)
基建工程量 B_1	11.35 万 m^3	13.56 万 m^3
总投资 B_2	3 855 万元	3 968 万元
年运营成本 B_3	5 080 万元	4 825 万元
安全生产与管理复杂程度 B_4	7.0	9.0
机械化程度与技术先进性 B_5	7.0	9.0

表 3 指标规范化处理结果表

Table 3 The standardization of technical index value

指标	S_1	S_2
B_1	1.0	0.837
B_2	1.0	0.972
B_3	0.95	1
B_4	0.778	1
B_5	0.778	1

b. 构造判断矩阵. 经专家评分构造判断矩阵

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/5 \\ 3 & 1 & 3 & 5 & 7 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/7 & 1/7 \\ 5 & 1/5 & 7 & 1 & 1/3 \\ 5 & 1/7 & 7 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

c. 计算优先系数. 由式(5)进行优先系数计算, 其结果见表 4。

表 4 权系数计算值

Table 4 The weight value of technical index

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
b_i	0.338	3.159	1.1845	0.459	1.719
b_i^*	0.049	0.460	0.173	0.067	0.250
w_i	0.049	0.460	0.173	0.067	0.250

d. 线性加权优选计算. 按式(6)进行加权计算得 $M_1=0.919$, $M_2=0.978$. 由此可见方案Ⅲ更优. 因此本次设计选择平硐斜坡道开拓方案作为艾格佐尔铜钼矿床的开拓系统。

3 讨论

3.1 关于特征量矩阵的规范化

文献[1,4]中 y_{ij} 写为 $y_{ij} = |x_{ij} - x_j^*| / (x_j^{\max} - x_j^{\min})$, 其中 x_j^* 为 x_{ij} 的最佳值, 一般取 x_j^{\max} 或 x_j^{\min} .

实际应用时 x_j^* 的值难以确定, 如果取 x_j^{\max} 或 x_j^{\min} , 将会使某一方案的影响因子失效. 比如本例中影响因素 B_1 , 当 x_j^* 取 x_j^{\max} 时, $y_{11}=1$, $y_{12}=0$; 当 x_j^* 取 x_j^{\min} 时, $y_{11}=0$, $y_{12}=1$; 这样处理始终有一个因子失效, 这显然不合理。

因此文献[6]对此进行了修正, 即本文式(2)中的两式, 这两式克服了前者的弱点, 且应用简便, 是一种有效的改进. 但仔细分析这两式, 发现前者为线性函数, 后者为幂指数函数. 这种规范化处理时采用了不同的分布规律, 也会使最终结果产生偏差. 因此对这种实用性很强的多目标择优问题, 如何合理进行规范化处理有待进一步研究。

3.2 关于判断矩阵的构造

等效优先系数法的目的是将原有方案选择时, 难以直接比较的因素进行定量化处理, 其突出优点是计算结果明确, 操作方便. 然而其构造判断矩阵时仍有很大程度的人为成份, 判断矩阵各因子的取值, 又直接影响最终结果, 甚至得出相反的结论. 这只能依赖专家的经验 and 智慧, 并不带个人的倾向性, 实际应用时也存在不合理的一面. 因此, 寻求更为科学的客观评分方法将是等效优先系数法广泛应用的关键, 这有待进一步的深入研究。

4 结 语

a. 等效优先系数法把定性的、不可比的技术经济指标定量化, 归一化, 从而将不同的指标统一于一式进行定量计算, 实现方案择优的量化比较;

b. 等效优先系数法是从实践与应用的角度提出来的, 是一种技术上简单易行、结果明确的方法;

c. 最优方案的选定在很大程度上取决于指标和权系数的选取,选取的恰当与否直接影响方案的选择结果,应用时需进行认真研究。

参考文献:

- [1] 江跃宏. 开拓方案选择中的优先数法[J]. 化工矿山技术, 1989, 18(3): 17-19.
- [2] 马良臣, 陈立文. 矿井设计方案选优的等效系数法[J]. 煤炭学报, 1995, 20(2): 211-213.
- [3] 银开州. 地下矿山开拓方式选择的数值方法及应用[C]. 第六届全国采矿学术会议文集, 1999, 10:

546-549.

- [4] 陈立文, 孙宝铮. 一种新的矿井设计综合评价模型[J]. 煤炭学报, 1997, 22(1): 47-50.
- [5] 刘开第, 姚立根, 刘武皓, 等. 矿井设计选优决策模型[J]. 煤炭学报, 2000, 25(2): 10-14.
- [6] 李奕楠, 周锡德, 郁钟铭. 等效优先系数法确定矿井设计方案的探讨[J]. 贵州工业大学学报, 2004, 33(1): 40-43.
- [7] 田昌贵, 徐立, 李元松, 等. 艾格佐尔铜钼矿全无轨地下开采方案设计[J]. 武汉工程大学学报, 2009, 31(7): 52-56.

Application of equivalent rank coefficient method on optimal selection of mine opening up schemes

LI Yuan-song¹, TIAN Chang-gui¹, CHEN Qing-yun¹, HU Qiao², XU Li¹

(1. School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Xinjiang Xinyan Industrial and Trading Co. Ltd. Urumqi 830011, China)

Abstract: In this paper, a new concept that equivalent rank coefficient method is set up base on integrating the research results of application of equivalent coefficient method. The basic principle, implement method and process are introduced in detail. The equivalent rank coefficient method is applied on optimal selecting of mine opening up scheme of Aigedzor Copper molybdenum deposit and the effects are good. In the end, the standardization of characteristic matrix, structure estimate matrix is discussed and the suggestion is put forward for further study.

Key words: equivalent rank coefficient method; mine opening up; optimal selection of schemes

本文编辑: 萧 宁



(上接第 32 页)

Stability analysis of Daye iron mine slope based on gravity increase method

ZENG Kai-bo, ZHOU Chun-mei, WU Yan-ling, LI Xian-fu

(School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper takes an example of the actual situation in F₉ in eastern open pit of Daye iron mine, and applies gravity increase method in the stability analysis and evaluation about slopes of the typical lot by adopting large finite element software ANSYS. Finally this paper adopts strength reduction method to demonstrate the previous approach, and two methods are compared. The results show that ANSYS programs based on gravity increase method are feasible for stability analysis of the high and steep slopes, which match the actual situation well, and can reasonably determine stability coefficient of slopes easily. This method is one of the effective methods for evaluation of slope stability, and it is significant to guide project practice to some extent.

Key words: gravity increase method; strength reduction FEM; slope stability; daye iron mine; ANSYS

本文编辑: 萧 宁