

多目标决策法在含水层下开采方案选择中的应用

高岳 隋旺华

(中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室 资源与地球科学学院 江苏 徐州 221008)

摘要: 采用多目标决策的方法,以含水层下采煤不同开采方案对应的防水煤岩柱高度设计值、月度产量、吨煤开采成本、采出率为评价指标,对不同开采方案运用加权总均方根算法进行计算,以计算结果值与理想结果值偏差最小的方案为优选方案。以某煤矿第四系巨厚松散含水层下开采为例,对7种开采方案(全厚或限厚综放开采3种方案;网下综放开采1种方案;分层开采3种方案)的上述4个评价指标进行了分析,详细说明了各个方案的加权总均方根偏差计算过程。结果显示了不同基岩厚度下对应的最优开采方案。利用此结果并结合该煤矿六采区各个区段的基岩厚度做出了区段开采方案决策。

关键词: 多目标决策法; 含水层下采煤; 开采方案

中图分类号: TD823.83 **文献标志码:** A

Application of multi-objective decision to estimate mining methods for coalmine under water-bearing strata

GAO Yue, SUI Wang-hua

(School of Resources and Geosciences, State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Based on waterproof pillar's vertical height, monthly production, coal costs per ton and mining recovery of different mining methods, weighted root mean square was calculated by using multi-objective decision. The mining method that has the smallest weighted root mean square deviation from ideal scheme is the best plan. A coalmine under super thick unconsolidated stratum of the Quaternary was analyzed. The four evaluation indexes of seven mining methods were calculated by weighted root mean square algorithm. The results show the relationships between different bedrock thickness and the best mining methods. Based on these results and the bedrock thickness of every district sub-level, the mining methods were decided.

Key words: multi-objective decision; mining under water-bearing strata; mining methods

煤矿安全高效生产的首要问题是选择合理的开采方案。而开采方案是一个受多种因素影响的复杂系统,特别是在评价和选择含水层下开采方案时,需要考虑多个指标达到最优,如安全性、产量、效率、成本、工艺系统可靠性、劳动条件等。仅考虑某一项指标的开采方案并不能说明该方案的优劣^[1]。多目标决策法是一种能够满足系统多个目标需要的分析决策方法,可对指标做科学评价,利于选择最优开采方

案。

20世纪70年代,多目标决策法从美国发展起来。1981年在北京召开了首次全国多目标决策学术会议。随后定期召开的学术会议推广了多目标决策方法的研究与应用^[2]。在煤矿生产、安全、管理等方面有众多学者对其做了研究。王铁成介绍了多目标决策方法在煤矿经营管理中的应用^[3]。宿芬等应用多目标模糊线性规划方法,对某矿务局原煤生产计划

进行优化^[4]。郁钟铭运用多目标决策技术对倾斜煤层采煤工艺及设备方案、矿井开采系统方案进行选择^[5]。左秀峰等论述了缓倾斜、倾斜厚煤层采煤工艺及设备方案的多目标选择过程、方法^[6]。王小汀等采用多目标决策法对厚煤层回采工艺做了研究^[7]。王挺应用多目标规划实现衰老矿井资源优化开发^[8]。范公勤对神东矿区补连塔煤矿井下水复用方案做了多目标择优^[9]。多目标决策方法的应用为煤矿安全生产及管理提供了有益帮助。本文采用多目标决策的方法对含水层下采煤工艺进行选择,以求达到回采的安全高产高效。

1 多目标决策法

多目标决策法包含多种算法,加权总均方根偏差最小法是其中之一。本文采用该方法计算评价煤矿含水层下开采的各个指标。该方法计算评价步骤如下^[2,7,10-11]。

(1) 建立各方案的指标矩阵。设被评价的开采方案数目为 n , 对该方案起重要作用的指标为 m 个, 则每个方案都可由各目标函数的具体指标 $\{f_i\}$ ($\{f_i\} = f_1, i, \dots, f_m$) 所构成。 n 个方案的指标值矩阵 A 为

$$A = \{f_{ij}\} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \cdots & f_{1j} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \cdots & f_{2j} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{i1} & f_{i2} & f_{i3} & \cdots & f_{ij} & \cdots & f_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & f_{m3} & \cdots & f_{mj} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 i 为指标序号 $i = 1, 2, 3, \dots, m$; j 为被评价的方案序号 $j = 1, 2, 3, \dots, n$; f_{ij} 为各种不同类型的指标值。

(2) 计算相对偏差值。当各方案的具体指标值 f_{ij} 确定后, 由于各指标具有不同的性质, 有的指标以最小为好, 有的则以最大为好, 不能直接摆在一个尺度下衡量, 为了权衡各方案的优劣, 必须将不同因次的量(量纲)转化为无因次量(无量纲), 以便能用一个尺度进行衡量, 从而选取其中的最佳方案。

将不同性质、不同因次量的指标转化为无因次量, 可采用相对偏差值的计算方法, 相对偏差值用 δ_{ij} 表示。如式(1)中 n 个方案的第 i 项指标分别为: $f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{in}$ 。其中必有一项(最大 f_{imax} 或最小 f_{imin}) 为最好的指标, 可将它选定为标准指标, 以 f^0 表示, 即

$$f_i^0 = f_{imax} \text{ 或 } f_i^0 = f_{imin} \quad (2)$$

其相对偏差 δ_{ij} 为

$$\delta_{ij} = \frac{|f_{ij} - f_i^0|}{f_{imax} - f_{imin}} \quad (3)$$

(3) 确定最佳方案。在综合评价时, n 个方案中偏离理想方案最小者, 应为最优方案。但是, 上述问题是把各项指标(f_m) 不分主次的同等对待。而实际上在进行方案决策时各项指标所占的重要程度是不同的。因此, 除了考虑相对偏差值以外, 还必须考虑各项指标的“权值”(又称重要性系数), 用 φ_i 表示。运用加权总均方根偏差算法对相对偏差值与“权值”进行计算, 所得结果为加权总均方根偏差, 用 k_j 表示。 k_j 最小的方案为最优方案, 计算公式为

$$k_j = \frac{1}{\varphi_{cp}} \sqrt{\sum_{i=1}^m (\delta_{ij} \varphi_i)^2} \quad (4)$$

式中 δ_{ij} 为相对偏差; φ_i 为第 i 项指标的“权值”; φ_{cp} 为 m 项指标“权值”的平均值, 用下式计算, 即

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi_i \quad (5)$$

2 工程实例

2.1 某煤矿六采区地质水文条件

某煤矿位于山东省济宁市辖区, 该矿六采区位于井田的西南部。本区属隐蔽式华北型石炭二叠系煤田, 地层由老到新: 奥陶系(O)、石炭系(C)、二叠系(P)、侏罗系(J)、第四系(Q)。

六采区主采煤层为二叠系山西组的3煤。3煤厚8.35~9.90 m, 平均厚8.89 m, 煤层倾角10~16°。煤层厚度稳定, 结构简单, 条带状结构, 层状构造。

根据矿井勘查报告、矿井水文地质资料认为该采区开采3煤时, 主要充水含水层为第四系下组砂层、侏罗系上统砂岩(以下简称红层)、3煤顶板(部)砂岩。3煤顶板砂岩含水层为孔隙裂隙承压含水层, 以静储量为主, 富水性中等。预计采区涌水以3煤顶板砂岩为主, 属分散来水, 危害较小; 红层仅在采区东部存在, 对回采影响不大。第四系为孔隙含水层, 为采区顶水安全开采的主要防范对象。

2.2 不同回采方式的开采上限确定

以六采区开采3煤的采矿、地质、水文条件为基础, 确定了该采区含水层下开采方案有以下7种: ①全厚综放, 采放高度8.5 m; ②限厚综放, 采放高度8 m; ③限厚综放, 采放高度7.5 m; ④网下综放开采, 一分层采高2.5 m, 网下采放高度5 m, 累计采高7.5 m; ⑤分层开采, 综采一个分层, 采高2.2 m; ⑥综采2个分层, 每层采高为2.2 m, 合计4.4 m; ⑦综

采 3 个分层, 每层采高 2.2 m, 合计 6.6 m。

依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[12]对矿区的水体类型进行正确划分, 选择应留设的煤柱类型。再根据规程^[12]并结合相邻矿区开采经验与相关研究成果等^[13-17], 对上述开采方案的导水断裂带高度进行预计, 然后根据规程相关规定等确定保护层厚度, 最终得到各方案防水煤岩柱高度设计值(表 1)。

2.3 多目标决策计算

六采区开采方案首要考虑的是安全问题, 同时要便于提高开采效率和经济效益。前已讨论开采方案相对的防水煤岩柱高度(表 1)作为第 1 个指标, 同时考虑矿区已有经验预测不同开采方案的产量(t/月)、采出率(%)这两个经济指标, 根据产量和设备投入,

综合考虑设备折旧和维修费、吨煤电费、吨煤工资、吨煤材料费等确定不同开采方案的吨煤生产成本(元)作为第 4 个指标; 有 7 个方案 4 个指标需要进行多目标评价决策, 见表 2。

根据表 2 中各个指标的最大值或最小值选择标准值, 如防水煤岩柱高度, 偏安全考虑选择最大值为标准值; 产量从经济方面考虑选择最大值为标准值; 吨煤成本选择最小值为标准值; 采出率选择最大值为标准值, 利用选出的标准值和式(3)计算各个方案中 4 个指标的相对偏差 δ_{ij} , 见表 3。以安全为主并参考 8 位矿区专家经验, 分别为 4 个指标赋“权重”值。防水煤岩柱高度设计值权重为 9; 产量权重值为 4; 吨煤成本权重值为 4; 采出率权重值为 4。利用式(4)和式(5)计算各个方案的加权总均方根偏差, 见表 3。

表 1 不同开采方式防水煤岩柱垂高设计值

Table 1 Forecast of waterproof pillar's vertical height for different mining methods

采煤方法	方案序号	采高/m	导水断裂带高度/m	保护层厚度/m	防水煤岩柱垂高/m
全厚或限厚综放开采	1	8.5	68.0	17.0	85.0
	2	8.0	64.0	16.0	80.0
	3	7.5	60.0	15.0	75.0
网下综放开采	4	一分层采高 2.5, 网下采放 5.0, 累计采高 2.5+5.0	37.0	10.0	47.0
综采 1 个分层	5	2.2	24.7	13.2	37.9
分层开采 综采 2 个分层	6	2.2/2.2	32.5	13.2	45.7
综采 3 个分层	7	2.2/2.2/2.2	36.3	13.2	49.5

表 2 不同开采方案基本数据

Table 2 Dates for different mining methods

项 目	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	最小值	最大值	标准值
采高/m	8.5	8.0	7.5	2.5+5.0	2.2	2.2/2.2	2.2/2.2/2.2			
指标 1: 要求防水煤岩柱高度/m	85.0	80.0	75.0	47.0	37.9	45.7	49.5	37.9	85.0	85.0
指标 2: 产量/(t·月 ⁻¹)	442 000	400 000	375 000	160 000	45 000	61 000	80 000	45 000	442 000	442 000
指标 3: 吨煤成本/元	230	235	238	230	250	250	250	230	250	230
指标 4: 采出率/%	85	85	85	90	92	92	92	85	92	92

表 3 加权均方根偏差计算

Table 3 Calculation of weighted root mean square

项 目	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	权重
要求防水煤岩柱高度偏差	0	0.106	0.212	0.807	1	0.834	0.754	9
产量偏差	0	0.106	0.169	0.710	1	0.960	0.912	4
吨煤成本偏差	0	0.250	0.400	0	1	1	1	4
采出率偏差	1	1	1	0.286	0	0	0	4

$$\text{加权总均方根偏差 } k_j = \frac{1}{\varphi_{ep}} \sqrt{\sum_{i=1}^m (\delta_{ij} \varphi_i)^2}$$

将不同方案的要求防水煤岩柱高度设计值(表 2)和加权均方根偏差计算结果(表 3)绘制成图 1。图中的点号代表方案的序号。

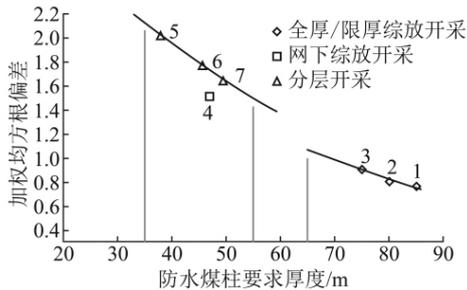


图 1 各方案加权均方根偏差变化趋势

Fig. 1 Variation curve of weighted root mean square for different methods

从图 1 中可看出,防水煤岩柱高度要求在 65 m 以上的区域,即基岩柱 65 m 以上的区域,可进行全厚或限厚综采放顶煤开采;在基岩柱 55 ~ 65 m 的区域,可进行综采放顶煤开采、分层开采;在基岩柱 35 ~ 55 m 的区域,可采用网下综放开采或分层开采。

2.4 区段开采方案决策

根据采区各个区段初步探明或预计的基岩垂高范围。从图 1 中选择适合开采方案,做出各个区段的开采方案决策(表 4)。如:6300 区段,基岩垂高范围在 60 ~ 70 m,可根据图 1 所示,选择综放开采或分层开采,综放的采放高度应比方案 3 小,即小于 7.5 m(表 1),分层开采作为备选方案。开采前应查明基岩柱厚度、岩性、第四系底部含水层的含水性以及底部黏土层的赋存范围和厚度。

表 4 各区段开采方案决策

Table 4 Mining methods decision of different district sublevels

区段名称	宽度/m	长度/m	基岩垂高范围/m	首选开采方法	备注
6301	60/120/180	67/134/582	40 ~ 50	分层	首采工作面
6303	60/120/180	68/136/395	40 ~ 50	分层	
6305	41 ~ 120	109/201	40 ~ 50	分层	
6300	98/59	102/346	60 ~ 70	综放	分层开采备选
6302	98/181	180/622	60 ~ 80	综放	分层开采备选
6304	219	909	60 ~ 85	综放	分层开采备选
6306	240	909	55 ~ 85	综放	分层开采备选

3 结 论

(1) 基于多目标决策理论,选择含水层下采煤不同开采方案对应的防水煤岩柱高度设计值、月度产量、吨煤开采成本、采出率为 4 个评价指标。

(2) 以某矿第四系巨厚松散含水层下开采为例,选取了 7 种开采方案,分析了不同开采方案所需的防水煤岩柱高度、月度产量、吨煤成本、采出率这 4 个指标。运用加权总均方根偏差计算法分析评价了各个方案,并绘制了各方案加权均方根偏差变化趋势图。根据趋势图可选择和设计与该矿区防水煤岩柱高度相应的回采方案。决策结果已经应用于生产实践并取得良好效果。

参考文献:

[1] 董书宁. 对中国煤矿水害频发的几个关键科学问题的探讨[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 66-70.
Dong Shuning. Some key scientific problems on water hazards frequently happened in China's coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 66-70.

[2] 杨剑波. 多目标决策方法与应用[M]. 长沙: 湖南出版社, 1996:

4-6.

Yang Jianbo. Application of multi-objective decision [M]. Changsha: Hunan Press, 1996: 4-6.

- [3] 王铁成. 多目标决策方法在煤矿经营管理中的应用[J]. 煤炭经济研究, 1984(2): 39-43.
Wang Tiecheng. Application of multi-objective decision for coal mine manage [J]. Study of Coal Mine Manages, 1984(2): 39-43.
- [4] 宿芬, 张跃. 煤矿原煤生产计划安排中的多目标模糊线性规划[J]. 河北煤炭建筑工程学院学报, 1990(2): 45-47.
Su Fen, Zhang Yue. Application of Multi-object for coal mine product [J]. Journal of Hebei Coal and Construction School, 1990(2): 45-47.
- [5] 郁钟铭. 缓倾斜煤层矿井开采系统设计方案的多元目标决策[J]. 贵州工学院学报, 1995, 24(2): 75-76.
Yu Zhongming. Coalmine system of multi-object decision [J]. Journal of Guizhou technology, 1995, 24(2): 75-76.
- [6] 左秀峰, 王玉浚, 张小平, 等. 缓斜厚煤层采煤工艺及设备的选择方法[J]. 山东矿业学院学报, 1998, 17(4): 345-350.
Zuo Xiufeng, Wang Yujun, Zhang Xiaoping, et al. Equipment and mining methods for slow ramp thick coal mine [J]. Journal of Shandong Institute of Mining and Technology, 1998, 17(4): 345-350.
- [7] 王小汀, 王昱. 用多目标决策法选择厚煤层回采工艺方式[J]. 煤炭科学技术, 1994, 22(10): 6-8.
Wang Xiaoting, Wang Yu. Using multi-object decision to choose min-

- ing methods for thick coal[J]. Coal Science and Technology ,1994 , 22(10) : 6 - 8.
- [8] 王 挺. 应用多目标规划实现衰老矿井资源优化开发[J]. 江西煤炭科技 2006(1) : 61 - 63.
Wang Ting. Application of multi-object decision to optimization old coal mine[J]. Jiangxi Coal Science and Technology 2006(1) : 61 - 63.
- [9] 范公勤. 神东矿区补连塔煤矿井下水复用方案择优[J]. 西安科技大学学报 2008 28(3) : 410 - 413.
Fan Gongqin. Scheme choice for reusing Bulianta coal Mine water of shendong mining area[J]. Journal of Xi'an Science and Technology University 2008 28(3) : 410 - 413.
- [10] 张 全. 复杂多属性决策研究[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2008: 16 - 20.
Zhang Quan. Study of complex multi attribute [M]. Shenyang: Northeasten University Press 2008: 16 - 20.
- [11] 杨保安, 张科静. 多目标决策分析理论、方法与应用研究[M]. 上海: 东华大学出版社 2008: 14 - 25.
Yang Baoan Zhang Kejing. Theory and application of multi-objective decision[M]. Shanghai: Donghua University Press 2008: 14 - 25.
- [12] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社 2000: 225 - 245.
State Coal Industry Bureau. Regulations of pillar leaving and coal mining under buildings ,water railway[S]. Beijing: China Coal Industry Publishing House 2000: 225 - 245.
- [13] 隋旺华, 董青红, 蔡光桃, 等. 采掘溃砂机理与预防[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社 2009.
Sui Wanhua ,Dong Qinghong ,Cai Guangtao ,et al. Quicksand hazards in underground coal mines: mechanism prevention [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press 2009.
- [14] 刘 洋, 柴学周, 李竞生. 相邻工作面防水煤岩柱优化研究[J]. 煤炭学报 2009 34(2) : 239 - 242.
Liu Yang ,Chai Xuezhou ,Li Jingsheng. Optimization study on waterproofing coal and rock pillar between two working faces [J]. Journal of China Coal Society 2009 34(2) : 239 - 242.
- [15] 狄乾生, 隋旺华, 黄山民. 开采岩层移动工程地质研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
Di Qiansheng ,Sui Wanhua ,Huang Shanmin. Engineering geological research on mining-induced strata movement [M]. Beijing: China Construction Industry Publishing House 1992.
- [16] 隋旺华, 蔡光桃, 董青红. 近松散层采煤覆岩采动裂缝水砂突涌临界水力坡度实验[J]. 岩石力学与工程学报 2007 26(10) : 2 084 - 2 091.
Sui Wanhua ,Cai Guangtao ,Dong Qinghong. An experimental research on the critical percolation gradient of quicksand across the overburden fissures due to coal mining near unconsolidated soil layers [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2007 26(10) : 2 084 - 2 091.
- [17] 许延春. 综放开采防水煤岩柱保护层的“有效隔水厚度”留设方法[J]. 煤炭学报 2005 30(3) : 305 - 308.
Xu Yanchun. Design methods of the effective water-resisting thickness for the protective seam of the water barrier in fully-caving mechanized coalmining [J]. Journal of China Coal Society 2005 30(3) : 305 - 308.

2011 年《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA) 》(《煤炭学报》英文版) 征订启事

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING(CHINA) 》是由中国煤炭学会主办的、向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文, 以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结, 也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯。

《煤炭学报》英文版《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING(CHINA) 》是向世界传播我国煤炭科学技术的重要媒体, 对加强中外科学技术交流, 宣传我国煤炭科学成就, 提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用。及时报道我国煤炭科技新理论、新技术、新经验也是《煤炭学报》英文版的主要任务。《煤炭学报》英文版和中文版具有不同的刊登内容和各自的特点。

《煤炭学报》英文版为季刊, 每期 112 页, 每册国内订价 28 元, 全年共收费 112 元。订阅者可直接和本编辑部联系, 订单函索即寄, 编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址: 北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码: 100013

联系电话: (010) 84262930 E-mail: mtxbbyh@126.com mtxb@vip.163.com

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net