

文章编号: 1673-3363-(2012)02-0173-05

基于主观动态权重的科学采矿评价模型构建

李东印, 周英, 李化敏, 王文, 许灿荣

(河南理工大学能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要 科学采矿是人类从自然界获得煤炭资源的更高级阶段, 关系到人类社会与生态环境的安全发展、和谐发展、健康可持续发展。为了实现科学采矿由定性描述到定量表达的升华, 构建了由5个一级指标、33个二级指标和64个三级指标组成的科学采矿评价体系数学模型。采用专家定参法、标准取值法、开关函数法、分段函数法、定性取值法等手段, 实现了评价指标的无量纲化处理; 采用改进的专家主观赋权法实现了权重的动态化。用科学采矿指数作为模型计算的惟一结果, 并用之表达被评价煤矿的科学采矿状况。

关键词 科学采矿; 科学采矿指数; 动态权重; 定量评价

中图分类号 TD 821

文献标识码 A

Evaluation Model on the Coal Scientized Mining Coefficient by the Subjective Dynamic Weight

LI Dong-yin, ZHOU Ying, LI Hua-min, WANG Wen, XU Can-rong

(School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Hehan 454000, China)

Abstract Scientized mining is the objective requirements of human beings for coal mining, and the advanced stage for human obtaining coal resources from the nature. The scientized mining has been related to the human social and ecological environment safe and harmonious development, and also healthy and sustainable development. Based on the connotation of scientized mining, guarantee measures and objective analysis of the mining conditions, confirmed the scientific evaluation system which composed of by 5 first-class indexes, 33 second-class indexes and 64 third-class indexes. By the use of method with experts-input-parameter, the standard value method, switching function method, sub-function method, qualitative value method, and other means to achieve the evaluation index of the dimensionless processing. Combined with industry characteristics, respectively, in the process of weight determination and quantification, give full play to the role of evaluation expert, and by optimizing subjective weighting of experts participation together, realizes the target weights of evaluation system in dynamic. Using scientized mining coefficient (ScMC) to quantify expression the scientized mining level of the evaluated mine.

Key words scientized mining; scientized mining coefficient; dynamic weight; quantitative evaluation

收稿日期: 2011-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51074066)

作者简介: 李东印 (1970-), 男, 河南省封丘县人, 副教授, 博士, 从事煤矿开采理论方面的研究。

E-mail: lidongyin@126.com

Tel: 13939170537

中国是世界上能源生产和能源消费大国，2010 年能源消耗量为 2 432.2 Mt 油当量，占全球能源总消耗量的 20.3%，已经成为世界能源市场不可或缺的重要组成部分。

煤矿机械化水平不仅与生产效率和劳动强度有关，而且与矿井的安全状况密不可分。煤炭开采对水资源的影响主要表现在地下水位下降、河川径流大量渗漏、水质遭到严重破坏等方面。据不完全统计^[1]，在采煤过程中，全国煤矿每年矿井水排放约 60 亿 m³，平均吨煤涌水量约为 2 m³。矿井瓦斯是可怕的煤矿杀手，同时，瓦斯又是良好的洁净能源，若按平均瓦斯抽放率 25% 计算，我国每年可利用的瓦斯总量达 80 亿 m³，折合标煤近 1 000 万 t^[2]。我国高产高效矿井的煤炭资源回收只有 50% 左右，全国的煤炭资源回收率仅 30%，乡镇煤矿只有 10%。我国资源回收率偏低，煤炭资源浪费严重^[2]。煤炭开采具有负外部性^[3]，社会承担了煤炭开采的资源成本、环境成本和安全成本，这不利于煤炭资源的可持续发展。

钱鸣高院士等^[4-6]从分析煤炭产业的特点出发，2006 年提出科学采矿的概念。近年来，国内学者就科学采矿理论进行了较系统的研究。钱鸣高、缪协

兴、许家林教授^[7-12]把科学采矿完整定义为是指实现既能最大限度地高效采出煤炭资源而又保证安全和保护环境的开采技术。国外未见关于科学采矿方面的研究文献。论文将构建科学采矿评价模型，把科学采矿理念升华为可以量化的体系，用科学采矿指数 (Scientized Mining Coefficient(ScMC)) 作为模型计算结果，并综合表达煤炭企业的开采能力、安全保障、环境状况及社会责任等。

1 科学采矿评价模型构建

1.1 科学采矿评价的指标体系

科学采矿内涵主要包括^[12]：①安全开采，矿井抗风险能力强；②绿色开采，实现资源与环境协调开采；③合理开采，资源回收率高；④高效开采，机械化水平高；⑤实现完全成本，社会责任与社会效益明显。

以科学采矿内涵为基础，本着与时俱进、以人为本的态度，将科学采矿指数计算模型定义为由 5 个一级指标、33 个二级指标和 64 个三级指标组成 (表 1)。所选评价指标紧紧围绕科学采矿的内涵、影响因素和保障措施，包含正向指标和逆向指标，充分考虑了地质与开采条件对评价结果的影响。

表 1 科学采矿指数计算模型指标构成表

Table 1 The evaluation indexes of the Scientized Mining Coefficient

一级指标	二级指标	三 级 指 标
A. 安全开采及科研投入状况	矿井伤亡情况	矿井全年轻伤数、矿井全年重伤数、矿井百万吨死亡率
	瓦斯事故	瓦斯事故造成的吨煤经济损失、瓦斯突出次数、瓦斯燃烧事故起数、瓦斯爆炸事故起数、瓦斯浓度超限事故时间累计、瓦斯等级
	冲击地压事故	冲击地压事故发生次数、吨煤冲击地压经济损失、冲击倾向性
	火灾事故	火灾事故次数、吨煤火灾经济损失、煤层自燃倾向性
	水害事故	水害事故起数、吨煤水害经济损失、水文地质条件
	顶板事故	顶板事故次数、吨煤顶板事故经济损失、顶底板条件、开采深度
	工作面温度	一般工作面温度状况、温度超限事故时间累计、地温条件
	技术人员与安全培训	技术人员比率、高层次技术人才比率、安全培训人次比率、吨煤安全培训投入、“三违”发生率
	科技与安全投入	吨煤科研投入资金、吨煤安全投入资金、科研投入年增长率、吨煤安全管理费
	职业病情况	吨煤职业病防护投入、职业病发病率
B.绿色开采技术及效果	万吨用人率	万吨井下用人率、万吨采掘用人率
	保水开采	污水达标排放率、吨煤排水量、循环水利用率
	充填开采	采空区充填率、吨煤迁村补偿或地面建筑维修费
	矸石利用	吨煤矸石排放量、矸石利用率
	煤与煤层气共采	煤层气抽采率、煤层气利用率
	土地复垦率	以实际参数计

续表 1

一级指标	二级指标	三 级 指 标
C.资源回收 状况	采区回采率状况	以实际参数计
	工作面回采率状况	以实际参数计
	安全煤量状况	
D.机械化高 效开采及系 统可靠性	矿井集中生产情况	采区集中生产度、采区生产工作面数量
	采煤工艺	
	采煤机械化水平	以实际参数计
	掘进（含开拓）机械化水平	以实际参数计
	全员工效	
	采掘人员工效	
	生产系统能力系数	主井提升能力、副井提升能力、井下运输系统能力、通风系统能力、排水系统能力、供电系统能力、地面运输系统能力、采掘系统能力
E.成本构成 的合理性及 社会效益	地质条件	断层情况、褶皱情况、火成岩侵入、陷落柱情况、煤层稳定性、煤层倾角、煤层厚度
	吨煤生态保护与环境治理费 提取率、吨煤维简费提取率、 吨煤转产成本与资源成本提 取率、吨煤生产资料成本、人 均工资、吨煤企业文化建设与 职工福利提取率	

1.2 科学采矿指数计算模型

模型主要由专家动态赋权模块与指标量化取值模块构成（如图 1），最终以科学采矿指数作为系统评价结果，数值越大表示科学采矿程度越高。

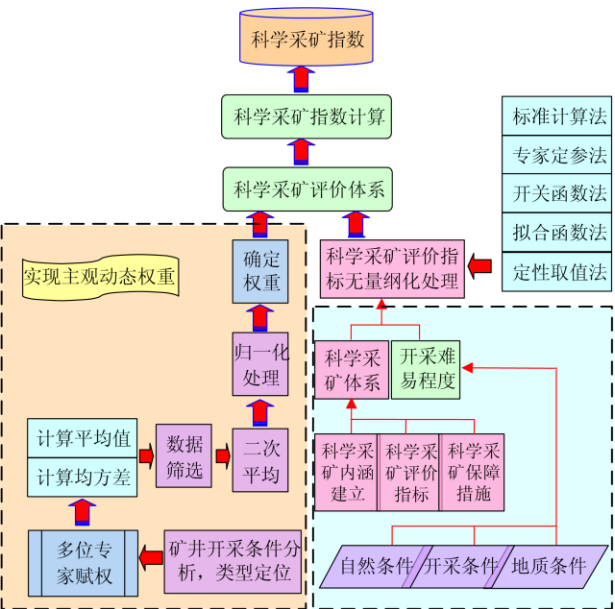


图 1 科学采矿指数计算模型图

Fig.1 The computation model of the scientized mining coefficient (ScMC)

科学采矿指数计算模型的计算流程如图 2。

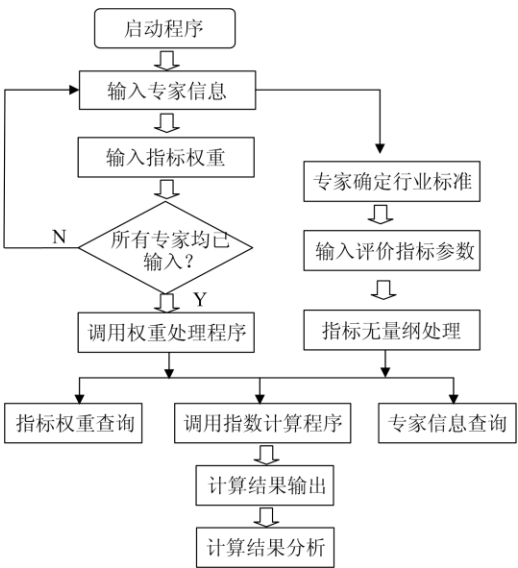


图 2 科学采矿指标模型计算流程图

Fig.2 The flowchart of calculated model

1.3 科学采矿评价系统指标的动态权重确定方法

为了让科学采矿评价模型适用于所有煤矿的评价，采用了改进的主观动态赋权方法来确定各指标权重，其过程如下：

- 1) 专家背靠背独自按指标级别对每一级的每个指标赋权重。
- 2) 程序计算每个指标权重的平均值 \bar{P} 和均方差 δ 。
- 3) 按照 $\bar{P} \pm \delta$ 的标准排除偏离较远的数据。

4) 对剩余数据重新计算平均值 \bar{P} 。 \bar{P} 即为该指标的计算权重。

5) 对同一级指标的计算权重进行归一化处理, 得到本级指标的最终权重。

1.4 评价指标的无量纲化处理

针对各指标的特征, 评价模型采用了多种指标量化方法。

1) 标准算法: 如百万吨死亡率、采煤机械化率、技术人员比率、安全培训率、职业病率、污水达标率等均采用标准算法直接量化。

2) 开关函数法: 该方法适用于瓦斯突出、瓦斯燃烧、瓦斯爆炸等十分关键的指标。如假定 x 为矿井瓦斯突出次数, 则矿井瓦斯突出次数指标的量化函数为

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

3) 关键点分段函数法: 该方法适用于量变引起质变较大的指标, 如假定冲击地压发生次数为 x , 其冲击地压发生次数指标的量化函数为

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ 0.9, & x = 1 \\ 0.21 + x^{-1}, & x \geq 2 \end{cases} \quad (2)$$

4) 专家定参法: 该方法可以增加评价模型对于不同矿井的适应性, 如吨煤火灾经济损失指标的量化函数为: $f(x) = e^{-0.22314 \frac{x}{c}}$, $x \geq 0$, 式中 x 为吨煤火灾经济损失, c 为选定参数, 表示矿井可以接受的吨煤火灾经济损失为 c 时, 对应指标的量化值为 0.8, c 值由专家在评价时确定。

5) 定性描述取值法: 如水文地质条件、自燃特性、采煤工艺等均采用定性取值法。

2 科学采矿指数计算实例应用

以特大型现代化矿井内蒙古不连沟煤矿为例, 进行了科学采矿指数的计算。

2.1 煤矿基本情况

本矿井位于准格尔煤田最北部的鄂尔多斯黄土高原, 设计生产能力 1 000 万 t/a, 服务年限 58 a。矿井采用斜井多水平开拓方式。主采煤层为 6 煤、9^上煤和 9 煤, 目前开采 6 煤, 布置 2 个盘区 2 个回采工作面。各煤层均为低瓦斯, 为易自燃煤层。主斜井安装胶带输送机, 提升能力 2 112 万 t/a; 副斜井为无轨胶轮车运输。采用混合式通风方式, 矿井

总进风量 180 m³/s; 矿井最大涌水量 159 m³/h, 最大涌水量 409 m³/h; 井下大巷运输能力 2112 万 t/a; 地面为铁路运输。

2.2 各指标权重的确定与输入

启动本文研发的科学采矿指数计算软件, 在图 3 中点击“专家赋权系统”, 输入被评价矿井名称和专家信息, 选择“确定”即进入指标赋权程序, 根据页面提示依次为一级、二级和三级指标赋权, 例如一级指标的赋权页面如图 4 所示。待所有专家均完成指标权重输入后, 程序自动按照上述权重计算步骤, 完成各指标权重的计算与赋值。



图 3 计算模型首页

Fig.3 Homepage of the computation model

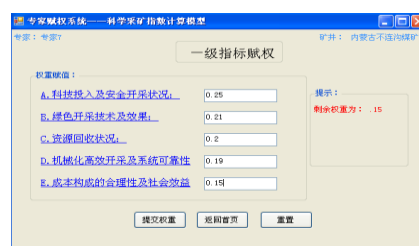


图 4 一级指标权重输入完成

Fig.4 The condition of 1st level index weights completely inputted

2.3 标准参数与指标实际数值的输入

只有所有专家均输入权重并完成权重计算后, 才能启动科学采矿指数计算模块。为了实现指标的无量纲化, 必须由专家确定并输入该类型矿井的 19 个行业标准或合理参数, 以确定指标函数中的待定参数, 才能调用科学采矿指数计算系统, 输入矿井各指标的实际数值, 由系统预置的指标量化函数进行取值, 并参与评价的计算过程。

2.4 计算结果分析

科学采矿指数计算模型可直接输出本矿井的科学采矿指数为 0.6828, 评价等级为“合格”。并用雷达图(图 5)的形式表示指标的得分情况。可以看出, 本次评价结果中“安全开采与科技投入”指标得分最高, 而“绿色开采”指标得分较低。

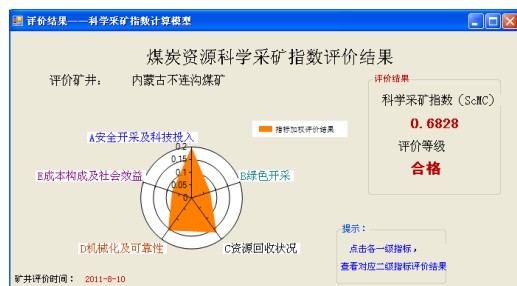


图5 结果显示页面

Fig.5 The output page of result

3 结 论

1) 提出了科学采矿指数的概念，并构建了由 5 个一级指标、33 个二级指标和 64 个三级指标组成的科学采矿指数计算模型。

2) 在科学采矿评价过程中采用主观动态权重方法，体现了行业特点，进一步增加了科学采矿指数计算模型的科学与适用性。

3) 通过采用专家定参法、标准取值法、开关函数法、定性取值法等手段，实现了评价指标的无量纲化处理。

参考文献：

- [1] 赵国浩，凌涛．可持续发展视角下的山西煤炭工业发展研究[J]．煤炭经济研究，2010(5)：4-7.
ZHAO Guo-hao, LING Tao. Study on Shanxi coal industry by sustainable development [J]. Coal Economic Research, 2010(5): 4-7.
- [2] 韩志婷，冯朝朝，葛万亮，等．煤层瓦斯的合理利用[J]．煤炭技术，2010(6)：117-119.
HAN Zhi-ting, FENG Chao-chao, GE Wan-liang, et al. Reasonable application of gas in coal seam[J]. Coal Technology, 2010(6): 117-119.
- [3] 许家林，钱鸣高．绿色开采的理念与技术框架[J]．科技导报，2007，25(7)：61-65.
XU Jia-lin, QIAN Ming-gao. Concept of green mining and its technical framework [J]. Science & Technology Review, 2007, 25(7): 61-65.
- [4] 钱鸣高，许家林，缪协兴，等．煤矿绿色开采技术[J]．中国矿业大学学报，2003，32(4)：343-348.
QIAN Ming-gao, XU Jia-lin, MIAO Xie-xing, et al. Green technique in coal mining [J]. Journal of China

University of Mining & Technology, 2003, 32(4): 343-348.

- [5] 钱鸣高．绿色开采的概念与技术体系[J]．煤炭科技，2003(4)：1-3.
QIAN Ming-gao. Technological system and green mining concept [J]. Coal Science & Technology Magazine, 2003(4): 1-3.
- [6] 钱鸣高．对中国煤炭工业发展的思考[J]．中国煤炭，2005，31(6)：5-10.
QIAN Ming-gao. Consideration on the development of China's coal industry [J]. China Coal, 2005, 31(6): 5-10.
- [7] 钱鸣高．煤炭产业特点与科学发展[J]．中国煤炭，2006，32(11)：5-8.
QIAN Ming-gao. Characteristics of coal industry and scientific development[J]. China Coal, 2006, 32(11): 5-8.
- [8] 钱鸣高，许家林．煤炭工业发展面临几个问题的讨论[J]．采矿与安全工程学报，2006，23(2)：1-5.
QIAN Ming-gao, XU Jia-lin. Discussion of several issues concerning the development of coal industry in China[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 1-5.
- [9] 钱鸣高，曹胜根．煤炭开采的科学技术与管理[J]．采矿与安全工程学报，2007，24(1)：1-6.
QIAN Ming-gao, CAO Sheng-gen. Scientific technique and management in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(1): 1-6.
- [10] 钱鸣高，缪协兴，许家林．资源与环境协调(绿色)开采[J]．煤炭学报，2007，32(1)：1-7.
QIAN Ming-gao, MIAO Xie-xing, XU Jia-lin. Green mining of coal resources harmonizing with environment[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 1-7.
- [11] 钱鸣高，缪协兴，许家林，等．论科学采矿[J]．采矿与安全工程学报，2008，25(1)：1-10.
QIAN Ming-gao, MIAO Xie-xing, XU Jia-lin, et al. On scientized mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(1): 1-10.
- [12] 钱鸣高．煤炭的科学开采及有关问题的讨论[J]．中国煤炭，2008，34(8)：5-10.
QIAN Ming-gao. On scientized coal mining[J]. China Coal, 2008, 34(8): 5-10.