

文章编号: 1001-1986(2008)06-0007-05

两淮地区煤炭资源地质勘探类型定量综合评价方法

胡绍龙¹, 朱文伟², 陈伯年², 俞显忠²

- (1. 国投新集能源股份有限公司, 安徽 淮南 232001;
2. 安徽省煤田地质局勘查研究院, 安徽 合肥 230088)

摘要: 安全、高效的现代化矿井建设, 要求煤炭资源勘探速度快、精度高。通过总结安徽两淮地区近几十年来煤炭资源综合勘探经验, 围绕“高精度、快速勘探”的主题, 采用恰当的评价指标, 对煤层稳定性和构造复杂程度进行定量评价, 并提出了本地区煤炭资源地质勘探类型定量综合评价原则和方法, 开发了定量评价软件系统。实际应用效果证明, 该方法可行, 结果可靠。

关键词: 地质勘探类型; 定量综合评价; 高精度快速勘探; 两淮地区

中图分类号: P624.6; P618.11 **文献标识码:** A

Quantitative and comprehensive evaluation of coal resource exploration types in Huainan-Huaibei area

HU Shao-long¹, ZHU Wen-wei², CHEN Bo-nian², YU Xian-zhong²

(1. Guotou Xinji Energy Co.Ltd., Huainan 232001, China; 2. Investigation Research Institute, Anhui Provincial Coalfield Geology Bureau, Hefei 230088, China)

Abstract: The high production, the highly effective modernized mine construction request the coalfield geology surveying work to be able to speed up the coal resource prospecting progress and increases the precision. This article introduces the experience of coal resources integrated exploration work in the foundation in the Huainan-Huaibei area of Anhui near for several dozens years, around the theme of the ‘high accuracy, the fast exploration’, using appropriate quantitative evaluation indicators, having a quantitative evaluation to stable and complex structure of the coal-type structure, advanceing the quantitative evaluation principles and methods of geological exploration types of coal resources in Huainan-Huaibei area. A quantitative evaluation software system is developed. The actual evaluation results show that the method is feasible and the result is credible.

Key words: geological exploration type; quantitative and comprehensive evaluation; high accuracy and fast exploration; Huainan-Huaibei area

在以往和现行的煤炭资源地质勘探规范中, 对于勘探类型中的构造复杂程度和煤层稳定类型的确定, 均仅有定性描述, 如“有时或很少”、“为数不多”、“变化不大”等, 而无定量指标。由于缺少定量标准, 在划分勘探类型时, 特别是对一些处于过渡类型的矿区及井田, 常常会出现认识和判断上的较大分歧, 致使存在勘探类型错定的问题。实践表明, 在具体确定勘探类型时, 因为不同的构造复杂程度和煤层稳定类型, 相对应的工程线距和网度一般以成倍增加和减少的方式表达, 所以, 当地质构造错定一个类或对煤层指标错定一个型时, 勘探网度将差 1~2 倍, 实际投入的工程量将差 2~3

倍^[1]。因此, 如何快速、准确地确定地质勘探类型, 是勘查工程布置的关键, 它对煤炭资源勘探工作意义重大。

1 煤炭资源地质勘探类型指标的定量评价方法

煤炭资源地质勘探类型的准确评价, 必须建立在勘探类型定量分析的基础之上。长期以来, 国内外学者和勘探工作者对地质勘探类型的定量研究曾作过一些有益的探索, 提出了多种定量评价指标和分类方案。这些评价研究的特点, 一是评价数据均取自地质勘探资料; 二是大都以现行规范的分类标准为基础; 三是以实现构造和煤层复杂程度定量化

收稿日期: 2008-04-17

作者简介: 胡绍龙(1957—), 男, 浙江兰溪人, 高级工程师, 从事煤田地质勘探、矿井地质及煤矿基建前期工作。

评价与分类为主要目的^[1]。因此,这些评价方法具有一定的可行性,同时也在两淮地区煤炭资源综合勘探的实践工作中取得了较好的实际应用效果。

1.1 煤层稳定性的定量评价

1.1.1 变异系数与可采性指数

已经使用的煤层稳定性定量评价指标中,最常用的指标是煤层厚度变异系数 r 和煤层可采性指数 k_m 。这 2 项指标也是现行《矿井地质规程》中唯一使用的煤层稳定性定量评价指标。虽然煤田地质勘探工作与矿井地质工作在诸如工作条件、工作程度要求、服务目的和分类原则等方面均存在一定程度的差异,但由于在解决构造和煤层问题方面,两者的研究目的是一致的,同时,在某种程度上可以把矿井地质工作理解为资源勘探工作的延续和发展。因此,笔者认为,在资源勘探工作阶段,可以参照《矿井地质规程》对上述指标进行定量评价。

按照《矿井地质规程》,煤层稳定性可根据 r 及 k_m 分为 4 种类型,具体方案见表 1。

实际评价过程中,为了增强煤厚变异系数对薄煤层评价时的敏感性,有时可采用修正的煤层厚度变异系数 r' 参与煤层稳定性的评价,即: $r' = re^{-h/m'}$, 其中 h 为可能的煤层开采厚度, m' 为煤层最低可采厚度^[1]。

同时,在实际评价中,上述两参数有时会出现相互矛盾的情况,分析其关系,可能与未考虑或指明最低可采煤层厚度的大小有关。因此,在实际应用上述参数进行评价时,应注意上述可能出现的矛盾。另外,在实际评价时,还应注意参与评定的钻孔,在平面上的分布应力求均匀,利用见煤点的厚度必须准确可靠。为了消除假象,对因构造等引起的煤厚异常点,应予舍弃。

1.1.2 煤层等性块段评价方法

由于煤层厚度变化因素是影响煤层稳定程度的主要因素之一,所以,按不同煤厚级别圈定的厚度等值线,可以将煤层划分为若干块段,这些块段即谓之“煤层等性块段”。井田内煤层等性块段划分的

越多,则表明煤层在不同级别间变化越频繁,即煤层等性块段面积越小,煤层越不稳定^[1]。一般情况下,可将两淮地区煤层厚度划分为最低可采厚度、1.30 m、3.50 m、...,甚至更高。

煤层等性块段以若干指数表达,总指数 ZM_p ($p=1, 2, 3, \dots, n$, 为块段序号)由面积指数 ZM_{mp} 、煤厚指数 ZM_{hp} 、结构指数 ZM_{jp} 、异常指数 ZM_{yp} 和形态指数 ZM_{xp} 等叠加而得。各影响因素分级及各级指数赋值见表 2。依据表 2 可以计算出井田内各可采煤层的总指数 $ZM_{总k}$ 。求得的 $ZM_{总}$ 可按表 3 中标准,具体确定煤层的稳定类型^[1]。

1.2 构造复杂程度的定量评价

根据现行规范,参与构造复杂程度评价的因素主要为断层、褶曲和岩浆侵入影响。其中,断层主要涉及断层数量、密集程度和断层规模等要素;褶曲主要包括产状变化程度和褶曲复杂程度等要素;岩浆侵入影响主要涉及岩浆岩对地层、煤层的破坏影响程度。因此,对构造复杂程度的定量评价,应主要围绕上述要素开展。同时,由于影响构造复杂程度的因素往往以多种因素叠加的方式呈现,所以在实际评价中,首先应以主要因素作为确定构造复杂程度的定量指标,在主要影响因素为 2 个或 2 个以上时,特别要注意对定量评价指标的综合判别分析。

1.2.1 断层复杂程度定量指标

断层复杂程度定量指标,一般包括断层密度 n (条/ km^2) 和长度指数 l (m/ km^2) 两参数。其中,断层密度 n = 井田内断层条数/井田面积;长度指数 l = 井田内断层延展长度和/井田面积。具体评价标准见表 4^[1]。

可以看出,断层密度 n 并不能反映断层的密集程度,而断裂构造在空间分布上的均匀程度才对实际开采活动影响较大^[1]。同时,断层的密集程度也是构造复杂程度评价的一个重要要素。因此,国内有学者主张用“构造分布均匀性熵函数”的评价方法对断裂构造分布密度进行评价,但其实际评价过

表 1 煤层稳定性评定指标^[2]
Table 1 The evaluation indexes of coal bed stability

煤层类型	稳定煤层		较稳定煤层		不稳定煤层		极不稳定煤层	
薄煤层	$r \leq 25\%$	$k_m \geq 0.95$	$25\% < r \leq 35\%$	$0.8 \leq k_m < 0.95$	$35\% < r \leq 55\%$	$0.6 \leq k_m < 0.8$	$r > 55\%$	$k_m < 0.6$
厚和中厚煤层	$r \leq 25\%$	$k_m \geq 0.95$	$25\% < r \leq 40\%$	$0.8 \leq k_m < 0.95$	$40\% < r \leq 65\%$	$0.65 \leq k_m < 0.8$	$r > 65\%$	$k_m < 0.65$
特厚煤层	$r \leq 30\%$	$k_m \geq 0.95$	$30\% < r \leq 50\%$	$0.85 \leq k_m < 0.95$	$50\% < r \leq 75\%$	$0.7 \leq k_m < 0.85$	$r > 75\%$	$k_m < 0.7$

注:薄煤层, k_m 为主要指标, r 为辅助指标;其他煤层, r 为主要指标, k_m 为辅助指标。

表 2 煤层等性块段指数赋值标准^[1]
Table 2 The index valuation standard of coal bed block section

	可采部分		不可采部分	
	块段面积/km ²	指数值	块段面积/km ²	指数值
面积指数 ZM_m	$S \geq 4$	0	$S \geq 1$	7
	$4 > S \geq 2$	0.5		
	$2 > S \geq 1$	1		
	$1 > S \geq 0.5$	2	$1 > S \geq 0.2$	8
	$0.5 > S \geq 0.2$	3		
	$0.2 > S \geq 0.05$	4		
煤厚指数 ZM_h	煤层厚度分级/m		指数值	
	中厚煤层	$1.3 \leq H < 3.50$	0	
	厚煤层	$H \geq 3.50$	0.3	
	薄煤层	$H < 1.30$	0.6	
结构指数 ZM_j	煤层结构分级		指数值	
	单一和简单结构煤层		0	
	复杂结构及含厚夹矸 1~3 层的复煤层		0.5	
	厚夹矸多于 3 层的复煤层		1.0	
异常指数 ZM_y	可采异常点		不可采异常点	
	$ZM_y=0.05\ g$		当 $g \leq 30$ 点/km ² , $ZM_y=0.10\ g$; 当 $g > 30$ 点/km ² , $ZM_y=3+0.02 \times (g^{-30})_0$ 。	
	$g= \frac{\text{(块段内)异常点实际个数}}{\text{块段面积}}$			
形态指数 ZM_x	形态类型		开“天窗”的块段	
	规则及准规则状	0	在自身形态指数的基础上, 每含 1 个“天窗”, 指数 值增加 0.1。	
	条带及环带状	0.2		
	不规则状	0.4		

表 3 煤层稳定类型等性块段划分标准^[1]
Table 3 The division standard of coal bed stable types

煤层稳定类型	指数标准($ZM_{\text{稳}}$)
稳定煤层	$0 \leq ZM_{\text{稳}} < 1$
较稳定煤层	$1 \leq ZM_{\text{稳}} < 3$
不稳定煤层	$3 \leq ZM_{\text{稳}} < 4.5$
极不稳定煤层	$ZM_{\text{稳}} \geq 4.5$

表 4 断层复杂程度类别划分
Table 4 The category demarcation standard of faulted complex degree types

划分指标	类 别			
	简单	中等	复杂	极复杂
断层密度 n /条·km ⁻²	< 1	1~2.5	2.5~5	5
长度指数 l /m·km ⁻²	< 800	800~2 000	2 000~4 000	4 000

程较为繁杂。考虑到两淮地区绝大部分勘查区的构造复杂程度以二类为主的实际情况, 同时兼顾“快速勘探”的原则, 所以, 在实际确定断裂的空间分布均匀性(即断层密集程度)时, 主要以定性评价方法为主。

对于岩浆侵入影响要素, 考虑到两淮地区岩浆岩的实际产出形态一般以岩墙和岩床为主, 岩墙对

开采的实际影响效果可能与断层相当, 而岩床只有沿煤层侵入时, 才对煤层的稳定性造成影响。因此, 在定量评价岩浆侵入影响要素时, 除参照规范规定的定性标准外, 其余以岩墙参与断层的定量统计方式处理。

1.2.2 褶曲及地层产状复杂程度定量指标^[1]

褶曲及地层产状复杂程度定量指标包括褶曲复杂程度指数 k 、地层产状变化率 和褶曲密度系数 N 。

这里, 褶曲复杂程度指数 $k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sin \alpha_i + \sin \beta_i)$ 。其中, α_i 、 β_i 分别为评价单元内第 i 个褶曲两翼倾角的平均值; n 为褶曲个数。

地层产状变化率 $= \frac{\sigma}{\alpha}$ 。其中, σ 为评价单元内倾角标准差; α 为平均倾角。

褶曲密度系数 $N = \left(n + \frac{1}{4} n' \right) / S$ 。其中, n 为评价单元内幅度大于 20 m 的较大褶曲总数; n' 为大于 1/2 采高且小于 20 m 的次级褶曲总数; S 为评价单元面积, km²。

上述参数具体评价标准见表 5。

表 5 褶皱及地层产状复杂程度类别划分
Table 5 The category demarcation standard of folds and stratum occurrence complex degree

划分指标	类 别			
	简单	中等	复杂	极复杂
褶皱复杂程度 指数 $k/\%$	≤ 0	70 ~ 117	117 ~ 165	> 165
地层产状 变化率 $\gamma/\%$	≤ 15	15 ~ 25	25 ~ 40	> 40
褶皱密度系数 $N/\text{条}\cdot\text{km}^{-2}$	≤ 1	1 ~ 2.5	2.5 ~ 5	> 5

1.2.3 构造等性块段评价方法

按照影响构造复杂程度的诸因素，将评价区按一定规模的断层和褶皱划分若干块段，块段内部仅发育较小规模的断层和褶皱，这种块段即为“构造等性块段”。评价目标区构造等性块段划分的越多，构造就越复杂，即构造等性块段的面积越小，构造就越复杂。具体划分时，对构造等性块段划分边界的掌握，一般按表 6 所列原则执行。

构造等性块段也以若干指数表达，总指数 $ZG_i(i=1, 2, 3, \dots, n, \text{为块段序号})$ 由面积指数 ZG_{mi} 、倾角指数 ZG_{qi} 和小构造指数 ZG_{xi} 叠加而得。各影响因素分级及各级指数赋值见表 7。依据表 7 可以计算出井田内各可采煤层的总指数 $ZG_{\text{总 } k}$ 。求得的 $ZG_{\text{总}}$ 可按表 8 中的标准，具体确定评价区构造复杂程度。具体划分构造等性块段的难点在于如何确定块段边界和块段内因素等。一般情况下，作为划分

边界的断层、褶皱和产状倾角等几何参数值越小，考虑的因素越多，所获得的总指数就相对精确，但工作量也成倍增加。因此，在实际应用中，应在执行总体边界原则的前提下，具体情况具体分析，灵活掌握。

2 地质勘探类型综合评价的原则和方法

通过总结两淮地区煤炭资源勘探类型的评价状况可以看出，实际评价结果与评价范围、评价阶段和标准要求等因素相关。因此，在实际评价时，应尽可能对上述因素做出综合分析和判断，方能得出相对正确的结论。

根据现行规范精神，评价地质勘探类型是详查阶段的地质任务之一。但实际情况却是，由于勘探类型的确定与实际设计的勘查工程网度及实际投入工程量紧密相关，无论勘查工作处于哪个阶段，都无法回避勘探类型的评价问题。因此，不同勘查(探)阶段，勘探类型的评价方法应有所不同，尤其在高精度、快速勘探背景下，确定一套综合评价勘探类型的原则和方法显得尤为重要。

2.1 基本原则

a. 在详查及其以前的预查和普查阶段设计勘查工程布置网度、确定勘探类型时，主要以类比法对勘探类型进行确定。即在详细研究、分析目标区已有资料和前一阶段勘探类型执行情况的前提下，主要结合邻区或区域总体勘探类型的实际情况，具体问题具体分析，进行综合评价确定。

表 6 构造等性块段划分边界确定原则
Table 6 The boundary determination principle of structures block section

边界类别	原 则	备 注
自然 边 界	断层 落差不小于 30 m(地质条件好的地区为 20 m)，或水平断距不小于 250 m 的断层线。	块段面积固定不变。
	褶皱 幅度不小于 30 m，同时地层倾角不小于 15°的褶曲轴线。	
	倾角 将煤层倾角分为小于 15°、15°~45°和大于 45°三级，作为其跨级变化的突变分界线。	
人为边界	人为的井田边界或划分块段的辅助线	块段面积可能变化。

表 7 构造等性块段指数赋值标准
Table 7 The index valuation standard of structures block section

面积指数 ZG_m		倾角指数 ZG_q		小构造指数 ZG_x
块段面积/ km^2	指数值	煤层倾角($^\circ$)	指数值	
$S > 4$	0	$\alpha < 15$	0	$ZG_x = 0.1f$ $f = \frac{(\text{块段内}) \text{小褶曲及断层条数}}{\text{块段面积}}$ (f 的单位: 条/ km^2)
$4 > S \geq 2$	0.5	$15 \leq \alpha < 25$	0.3	
$2 > S \geq 1$	1	$25 \leq \alpha < 45$	0.6	
$1 > S \geq 0.5$	2	$\alpha \geq 45$	1.2	
$0.5 > S \geq 0.2$	3			
$0.2 > S \geq 0.05$	4			
$0.05 > S$	5			

表 8 构造复杂程度等性块段划分标准
Table 8 The division standard of structure complex degrees blocks

构造复杂程度	指数标准 ZG_{Σ}
简单构造	$0 \leq ZG_{\Sigma} < 1$
中等构造	$1 \leq ZG_{\Sigma} < 3$
复杂构造	$3 \leq ZG_{\Sigma} < 4.5$
极复杂构造	$ZG_{\Sigma} \geq 4.5$

b. 在勘探阶段,参照详查阶段对勘探类型评价的具体结果,坚持定性评价为主,定性与定量评价相结合的原则开展评价。因不同的定量评价方法造成不同结果时,应结合定性评价标准,抓住主要影响因素,具体问题具体分析,有选择地综合确定。

c. 原则上都应以井田为单位开展评价,但应注意分析井田范围内不同区段构造发育的具体情况。这包括:注意先期开采地段和首采区段构造发育的具体情况;注意断层、褶曲和岩浆侵入等三因素中不同的复杂程度。还应注意煤层厚度变化与煤质变化之间的关系;注意分析主要可采煤层中不同煤层稳定性的具体情况和资源/储量或厚度占优势的那一部分煤层的稳定类型情况。

d. 注重发挥计算机工具在定量评价中的作用,积极开发合适的软件,旨在提高定量评价的精度和效率。

2.2 综合评价方法

a. 根据现行规范规定的定性评价标准,研究井田构造和煤层发育情况;参照详查阶段对地质勘探类型评价的具体结果,初步定性评价井田勘探类型。

b. 计算井田煤层厚度变异系数 r 和煤层可采性指数 k_m ; 计算井田各可采煤层等性块段指数 ZM_{p_i} 、各可采煤层总指数 $ZM_{\Sigma k}$ 和井田可采煤层等性块段总指数 ZM_{Σ} ; 依据相关评级标准,初步定量评价井田煤层稳定型别。

c. 计算井田断层密度 n 、长度指数 l 、褶曲复杂程度指数 k 、产状变化率 和褶曲密度系数 N ; 计算井田分煤层构造等性块段总指数 ZG_{i_i} 、各可采煤层总指数 $ZG_{\Sigma k}$ 和井田构造等性块段总指数 ZG_{Σ} ; 依据相关评级标准,初步定量评价井田构造复杂类别。

d. 坚持以定性评价为主、定性与定量评价相结合的原则,对定性与定量评价结果作综合研究。应综合考虑定量评价时可能出现的特殊情况,并采取相

应的处理办法;在两者出现较大偏差时,应对定量评价参数结果和可能出现的原因作具体分析,并根据分析结果进行矫正,以便获得比较正确的综合评价结果。

2.3 综合评价系统软件

依据上述原则和方法,针对两淮地区煤炭资源勘探类型评价实际,开发了一套分析评价系统软件(图 1)。使用该系统软件对两淮地区数十个资源勘查区块的地质勘探类型进行快速定量评价,均取得了良好的效果。



图 1 两淮地区煤田勘探类型定量分析评价系统
Fig.1 Quantitative analysis appraisal system of coalfield exploration types of Huainan-Huaibei area coal field

3 结 论

a. 煤炭资源地质勘探类型定量综合评价方法,是在近几十年来两淮地区煤炭资源综合勘探工作的基础上,以“高精度、快速勘探”为主题,对本区地质勘探类型进行综合评价、研究而形成的。

b. 以煤层厚度变异系数、可采性指数和煤层等性块段等方法,定量评价井田煤层稳定性;以断层密度、长度指数、褶曲复杂程度指数、产状变化率、褶曲密度系数和构造等性块段等方法,定量评价井田构造复杂程度——该定量评价方法的实际效果显示,其方法可行,结果可靠。

c. 本文确定的以定性评价为主、定性与定量评价相结合的评价原则,以及综合评价程序方法,经过实践证明,其评价结果比定性评价更为可靠。

参考文献

[1] 汪云甲,黄宗文,汪应宏,等. 矿产资源评价及其应用研究[M]. 北京:中国矿业大学出版社,1998.
[2] 煤炭工业部. 矿井地质规程[S]. 北京:煤炭工业出版社,1984.