

# 煤层气经济回采量的评价和计算

龙伍见\* 陈 锐

**摘 要** 煤层气(瓦斯)是煤矿中的一种有害气体,也是一种优质能源,将抽出的瓦斯加以利用,就能变害为利,取得显著的经济效益。以前把瓦斯抽放单纯看成是保证矿井安全生产的一种有效措施,注重的是它的社会效益,而对经济效益却重视不够。本文通过对煤矿井下瓦斯抽放的系统研究,提出以矿井相对瓦斯涌出量作为反映煤层气抽放条件的综合性指标,确定了瓦斯抽放有效性系数,并对瓦斯抽放成本和收益进行了分析计算。在此基础上,建立了经济评价的数学模型,并结合几个典型矿井的具体情况,计算出了矿井煤层气经济回采量。

## 1 前言

煤层气评价,对于地面开发在国外已有一套较完整的方法,在我国还只是在资源评价方面刚刚起步。对于井下开发的评价,目前国内外连资源评价都还未系统进行过研究,更谈不上进行经济评价。本文针对煤矿井工开采条件下,对煤层气经济回采量的评价和计算方法进行了初步探讨,供从事煤层气开发的研究人员参考。

## 2 反映煤层气抽放条件的综合性指标

煤层气经济回采量与矿井的抽放条件有直接关系,而影响矿井瓦斯抽放的各种因素非常复杂,既有煤层赋存条件的影响,也有开采条件和抽放技术的影响。如果从影响抽放的各个具体条件出发研究煤层气经济回采量是很困难的,甚至是不可能的。

为了对煤层气抽放进行经济评价,需确立一个能反映矿井甲烷抽放基本条件的综合指标,在此基础上分析和研究煤层气经济回采量的计算方法,使其具有更广泛的适应性、较强的可操作性。

### 2.1 影响瓦斯抽放量的条件分析

矿井瓦斯抽放和瓦斯涌出有相似的地方,也有不同之处。瓦斯涌出是煤体中的瓦斯向巨大的采掘空间扩散的过程,瓦斯抽放则是煤体中的瓦斯向指定空间(如抽放钻孔和巷道)涌出的过程。矿井瓦斯涌出是随着开采的进行而自发进行的,而瓦斯抽放则需要人为地在合适的位置形成自由空间。这就决定了影响抽放量和涌出量的条件既有区别,又有联系。

#### 2.1.1 瓦斯抽放量与煤层赋存条件有关

实践证明,预抽瓦斯流量的大小与煤层的瓦斯含量和透气性有极大关系,煤层的瓦斯含量越高,透气性越大,抽放量也就越大。对于邻近层瓦斯抽放,除与煤层的瓦斯含量有关外,还与邻近层的数量、厚度、距开采层的距离等条件有关,这与瓦斯涌出是一致的,但也有较大区别,主要表现在邻近层距开采层的距离上。若层间距太远,邻近层的瓦斯将不会涌入采掘空间,但利用钻孔仍可抽出瓦斯来;若层间距太近,则邻近层的卸压瓦斯将大量涌向采掘空间,而对抽放形成极为不利的条件。

#### 2.1.2 开采技术条件对抽放量有重大影响

开采技术条件对抽放量的影响主要表现在以下几个方面:

\* 高级工程师,煤炭科学研究总院重庆分院,630037 四川省重庆市

(1) 不同的开采技术条件影响一些抽放方法的应用,如顺层钻孔抽放需先掘进回采巷道,穿层钻孔抽放则需先掘进抽放巷道等;

(2) 开采程序对煤层瓦斯抽放效果也有较大影响。当开采层煤薄、邻近层煤厚,则有利于抽放,反之则不利于抽放;

(3) 工作面的合理配采对保持矿井抽放稳定高产具有重要作用。由于瓦斯抽放(主要是邻近层抽放)在很大程度上依赖于开采的卸压作用,煤层卸压越充分,对瓦斯抽放越有利,但同时也加快了瓦斯涌出速度,所以必须合理搭配工作面,充分利用这种有利条件,保持抽放量的稳定高产。

### 2.1.3 抽放技术和装备对抽放量也有影响

抽放量的大小自然与矿井的地质和开采条件密切相关,但抽放技术的发展和装备的不断更新对矿井瓦斯抽放量的提高也有较大的促进作用。

### 2.2 相对瓦斯涌出量与吨煤抽放量的关系

从上述分析可以看出,矿井相对瓦斯涌出量反映了煤层及瓦斯赋存条件和开采技术条件等众多因素,而这些因素也是影响抽放量的主要因素。在煤层赋存条件方面,煤层的瓦斯含量越大,邻近不可采层越多,矿井的相对瓦斯涌出量就越大,对瓦斯抽放也极为有利;在开采技术条件方面,前进式开采、全部冒落法管理顶板、低回采率等都将导致相对瓦斯涌出量增大,同时也有利于采用综合抽放方法加大矿井的抽放强度。根据几个矿井的调查结果,矿井吨煤瓦斯抽放量基本上是随着相对瓦斯涌出量的增加而增大。因此,相对瓦斯涌出量的大小在很大程度上反映了矿井瓦斯抽放条件的优劣。所以,可把它作为评价瓦斯抽放效果的综合指标,以此为基础,根据瓦斯抽放有效程度计算出吨煤瓦斯可抽量。

## 3 瓦斯抽放有效程度指标的确定

瓦斯抽放有效程度是指在目前的抽放技术水平下能够抽出瓦斯的程度,或称瓦斯抽放有效性系数。研究瓦斯抽放有效程度,是为了在进行经济评价时,用于计算可抽瓦斯量。

### 3.1 矿井瓦斯抽放有效程度的定义

矿井可抽瓦斯量是指在当前技术水平下能够抽出来的最大瓦斯量,由于计算的基础条件不一样,其瓦斯抽放有效程度的含义是不相同的。矿井可抽瓦斯量通常是以煤层瓦斯储量为基础进行计算,即:

$$W_{\text{抽}} = W_{\text{储}} \times K_{\text{可}}$$

式中  $W_{\text{抽}}$ ——矿井可抽瓦斯量,万  $\text{m}^3$ ;

$W_{\text{储}}$ ——矿井瓦斯储量,万  $\text{m}^3$ ;

$K_{\text{可}}$ ——矿井瓦斯可抽系数。

矿井瓦斯储量可根据实测煤层瓦斯含量及煤炭储量和围岩含瓦斯情况等进行计算,而瓦斯可抽系数的确定目前尚无明确的标准与方法,一般都是根据经验人为地确定一个值,往往会与实际情况有较大的出入。由于这种方法是以前井瓦斯储量为基础,而瓦斯储量只反映了煤层及瓦斯赋存情况,未能反映矿井的开采技术条件,所以计算出来的结果可靠性较差。

通过上面的分析研究,把矿井相对瓦斯涌出量作为评价瓦斯抽放效果的一个综合指标,并用于计算吨煤瓦斯可抽量是较为合理的,即:

$$q_{\text{抽}} = q_{\text{相}} \times K$$

式中  $q_{\text{抽}}$ ——矿井最大吨煤瓦斯可抽量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ;

$q_{\text{相}}$ ——矿井平均相对瓦斯涌出量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ;

$K$ ——矿井瓦斯抽放有效性系数。

所以,本文所指的矿井瓦斯抽放有效程度是以矿井平均相对瓦斯涌出量为基础,因而具有特定的含义,它与矿井瓦斯抽放率是基本等同的。

### 3.2 矿井瓦斯抽放有效程度的确定

根据上述分析可知,矿井瓦斯抽放有效程度与瓦斯抽放方法、煤层赋存条件、开采技术条件等众多因素有关。所以,要确定矿井瓦斯抽放有效程度,应先对抽放矿井的条件进行分类,其划分方法如下:

(1) 按开采煤层数划分为以下两种类型:

多煤层群开采:开采层在两层以上;

单一煤层开采:开采层只有一层。

(2) 按煤层倾角划分为以下三种类型:

缓倾斜煤层:煤层倾角小于  $25^\circ$ ;

倾斜煤层:煤层倾角为  $25^\circ \sim 45^\circ$ ;

急倾斜煤层:煤层倾角大于  $45^\circ$ 。

(3) 按主要抽放方法划分为以下四类:

邻近层抽放;

本煤层抽放;

采空区抽放;

综合抽放。

根据上述分类选择抽放较好的矿井,并根据这些矿井的实际抽放率,再考虑今后抽放技术的发展,乘以一个大于 1 的抽放发展系数(一般可取  $1.1 \sim 1.5$ ),作为矿井瓦斯抽放有效程度。由于上述分类较多,要对每一种类型抽放矿井确定瓦斯抽放有效程度,目前还有较大困难。目前国内外的发展趋势是采

用综合抽放,它也是取得较好经济效益的基础。所以,在进行经济评价时,主要以综合抽放瓦斯方法为主。表1是以综合抽放瓦斯方法为基础,对一些主要

类型抽放矿井的瓦斯抽放有效性系数进行了初步确定,供参考。

表1 矿井瓦斯抽放有效性系数表

抽放矿井类型		典型抽放矿井	最大抽放率 (%)	瓦斯抽放有效性系数	备 注	
单一煤层开层	以本煤层预抽瓦斯为主	缓倾斜	化处矿	22.13	0.30	低透气性煤层
			芦岭矿	17.0	0.25	低透气特厚煤层
		倾 斜	大用矿	18.0	0.25	低透气性煤层
			老虎台	66.0	0.75	透气性好特厚煤
多煤层群开采	以本煤层预抽瓦斯为主	缓倾斜	白皎	34.17	0.45	低透气性煤层
		倾 斜	台 吉	25.0	0.35	低透气性煤层
		急倾斜	中梁山	51.88	0.60	低透气性煤层
	以邻近层卸压抽放为主	缓倾斜	打通一矿	43.32	0.55	低透气性煤层
		倾 斜	松 藻	37.56	0.50	低透气性煤层
		急倾斜	地 宗	33.78	0.45	低透气性煤层

## 4 抽放瓦斯经济效益分析

### 4.1 瓦斯抽放成本计算

瓦斯抽放成本的计算是进行经济评价的基础,只有合理地计算抽放成本,才能对瓦斯抽放效果进行正确的经济评价。瓦斯抽放成本由固定成本和变动成本两大部分组成,可按下式进行计算:

$$C=B+V$$

式中  $C$ ——瓦斯抽放总成本,元;

$B$ ——固定成本,元;

$V$ ——变动成本,元。

#### 4.1.1 固定成本计算

固定成本是指在抽放系统规模一定的条件下,不随抽放量的增减而发生变化的成本,可按下式计算:

$$B=B_1+B_2+B_3+B_4+B_5+B_6$$

式中  $B_1$ ——抽放系统的基本折旧费,元;

$B_2$ ——抽放泵的运营费,元;

$B_3$ ——抽放泵的大修费,元;

$B_4$ ——管路维护费,元;

$B_5$ ——安装维修费,元;

$B_6$ ——抽放队的管理费,元。

#### 4.1.2 变动成本计算

变动成本是随着抽放量的增加而发生变化的成本,可按下式进行计算:

$$V=V_1+V_2+V_3+V_4+V_5$$

式中  $V$ ——变动总成本,元;

$V_1$ ——抽放巷道掘进成本,元;

$V_2$ ——抽放钻场掘进成本,元;

$V_3$ ——抽放钻孔施工成本,元;

$V_4$ ——钻孔封孔成本,元;

$V_5$ ——抽放材料消耗成本,元。

### 4.2 瓦斯抽放收益计算

抽放瓦斯所取得的收益主要包括四部分:(1)瓦斯利用取得的收入;(2)因抽出瓦斯而节约的通风费用;(3)减少瓦斯灾害防治费用;(4)因抽放瓦斯而节约的巷道初期投资。由于第(3)、(4)部分收益涉及很多因素,计算较为困难,加上在计算抽放成本时对巷道掘进辅助费和巷道维护费也未计算,所以暂不考虑计算这两项间接收益。则抽放瓦斯总收益可按下式计算:

$$F=F_1+F_2$$

式中  $F$ ——抽放瓦斯取得的总收益,元;

$F_1$ ——瓦斯利用收入,元;

$$F_1=Q \cdot S_1$$

$Q$ ——年抽放瓦斯纯量,  $m^3$ ;

$S_1$ ——纯瓦斯一次售价,元/ $m^3$ 。

$F_2$ ——节约的通风费用,元。

计算瓦斯利用收入的关键是要合理确定销售价格,目前大多数煤矿都把瓦斯利用作为福利工程,瓦

斯售价定得很低。一般为  $0.1 \sim 0.25$  元/ $\text{m}^3$  (瓦斯浓度为  $35 \sim 40\%$ )，只有少数局矿的瓦斯售价接近市场价格，如中梁山矿务局卖给城市居民为  $0.45$  元/ $\text{m}^3$ 。综合分析比较，把混合瓦斯的平均售价定为  $0.45$  元/ $\text{m}^3$  较为合适。扣除销售成本  $0.15$  元/ $\text{m}^3$  (根据中梁山矿务局煤气公司提供的数据)，则混合瓦斯的一次售价为  $0.3$  元/ $\text{m}^3$ 。按  $40\%$  的瓦斯浓度计算，则纯瓦斯的一次售价为  $0.75$  元/ $\text{m}^3$ 。

节约的通风费用主要是主扇电费，可按式计算：

$$F_2 = \frac{365 \times 1440 \times Q_1 \cdot I}{10000}$$

式中  $Q_1$ ——稀释瓦斯所需风量， $\text{m}^3/\text{min}$ ；

$I$ ——单位通风电费，元/万  $\text{m}^3$ 。

#### 4.3 抽放瓦斯经济效益综合评价

抽放成本和收益计算出来后，就可以对瓦斯抽放的经济效益进行综合评价。采用平衡点分析法和最优化解法进行评价分析，前者是分析抽放量达到多少时能够盈利，后者是分析何时能够取得最佳经济效益。

##### 4.3.1 平衡点分析法

平衡点分析法又称盈亏平衡点分析法，它是对抽放成本和收益进行计算分析，找出亏损和盈利的分界点，即平衡点抽放量。当抽放量大于该产量时就是盈利的。瓦斯抽放成本函数为：

$$C = B + V$$

变动成本  $V$  从理论上讲，是随着瓦斯抽放量的增加而增加的，但实际情况由于受多种因素的影响，并不完全是这样。为了简化计算，把单位变动成本  $D = V/Q$  近似看成常量，并取最近 5 年的平均值作为单位变动成本，则成本函数就是抽放量的线性函数，即：

$$C = B + D \cdot Q$$

则直线平衡点模型为：

$$F = C = B + D \cdot Q$$

又因  $F = S \cdot Q$  ( $S$  为抽放量单位收益)

故  $S \cdot Q = B + D \cdot Q$

则得  $Q = B / (S - D)$

##### 4.3.2 最优化解法

最优化解法又称线性规划法，是在给定的要求下，分析确定系统的目标和约束条件，经过运算求出最优解。在满足约束条件下使单位抽放成本最低。

目标函数： $J = C/Q_j = B/Q_j + D$

约束条件： $Q_{\min} \leq Q_j \leq Q_{\max}$

式中  $Q_j$ ——瓦斯经济回采量， $\text{m}^3$ ；

$Q_{\min}$ ——最小抽放量， $\text{m}^3$ ；

$Q_{\max}$ ——最大可抽量， $\text{m}^3$ ；

$Q_{\max} = 10000 \times A_n \cdot q_{\max}$

式中  $A_n$ ——矿井年产量，万 t；

$q_{\max}$ ——最大吨煤可抽量， $\text{m}^3/\text{t}$ 。

由目标函数和约束条件可知，固定成本  $B$  在一定抽放规模条件下是一个定值，单位变动成本  $D$  也可近似看成一个常量，所以，只有当  $Q_j = Q_{\max}$  时，才能使抽放成本最低，并取得最佳经济效益。

#### 5 矿井气经济回采量的计算

矿井甲烷总经济回采量的计算以矿井可采煤炭储量为基础，并按下式计算：

$$Q_t = A_k \cdot q_j \cdot C_o$$

式中  $Q_t$ ——甲烷总经济回采量，万  $\text{m}^3$ ；

$A_k$ ——矿井可采煤炭储量，万 t；

$q_j$ ——甲烷吨煤经济回采量， $\text{m}^3/\text{t}$ ；

$C_o$ ——矿井煤炭回采率。

#### 6 计算实例

以六枝局六枝、地宗、化处、四角田矿、芙蓉局白皎矿和中梁山局北矿为实例，分别对瓦斯抽放成本、收益和经济回采量进行了计算，其结果见表 2、表 3、表 4。

#### 7 结论

(1) 矿井瓦斯相对瓦斯涌出量反映了煤层及甲烷赋存条件和开采技术条件等众多因素，而这些因素也是影响瓦斯抽放量的主要因素，则相对瓦斯涌出量的大小也在很大程度上反映了矿井抽放瓦斯条件的优劣。所以，把相对瓦斯涌出量作为评价瓦斯抽放效果的综合指标是基本可行的，也是较为合理的。

(2) 瓦斯抽放有效程度是指在当前抽放技术水平下能够抽出瓦斯的程度，它是以矿井相对瓦斯涌出量为基础，综合考虑煤层的自然条件、开采技术条件和抽放技术水平等加以确定的。根据相对瓦斯涌出量和瓦斯抽放有效程度即可计算出最大吨煤瓦斯可抽量。

(3) 在瓦斯抽放成本构成中，巷道和钻场的掘进费占有很大比重，而钻孔施工成本所占比重则相对较小。所以要降低抽放成本应尽量避免掘进专用抽放巷，适当加大钻场间距，增大钻孔密度，提高瓦斯抽放量，降低抽放单位变动成本。

表 2 瓦斯抽放总成本构成情况表

单位:元

	六枝矿	地宗矿	化处矿	四角田矿	白皎矿	中梁山北
系统折旧费	281338	182984	197970	194443	451825	569700
抽放运营费	252162	256962	237762	252162	508360	291162
其他费用	150746	156146	145946	115946	153200	93450
合 计	684246	596092	581678	562551	113385	954312
单位固定成本(元/m <sup>3</sup> )	0.135	0.117	0.211	0.317	0.106	0.097
巷道(钻场)工程费	1130144	1412102	661951	524051	930000	473775
钻孔施工(封孔)费	331305	412180	417286	204956	2156000	72297
材料消耗费	96909	114328	78186	41477	299376	245768
合 计	1558358	1938610	1157423	770484	3385376	1191840
单位变动成本(元/m <sup>3</sup> )	0.444	0.498	0.630	0.752	0.324	0.121
总 成 本	2242604	2534702	1739101	1333032	4498761	2146152
单位总成本(元/m <sup>3</sup> )	0.444	0.498	0.630	0.752	0.430	0.218

表 3 瓦斯抽放收益及平衡点抽放量计算结果表

	六枝矿	地宗矿	化处矿	四角田矿	白皎矿	中梁山北矿
年抽放瓦斯纯量(m <sup>3</sup> )	5055800	5084700	2760000	1772800	10458000	9829000
瓦斯利用收入(元)	3791850	3813525	2070000	1329600	7843500	7371750
节约的通风电费(元)	259690	265106	142164	85021	311080	691942
总 收 益 (元)	4051540	4078631	2212164	1414621	8184580	8063692
单位收益(元/m <sup>3</sup> )	0.801	0.802	0.802	0.798	0.78	0.820
平衡点抽放量(m <sup>3</sup> /a)	1393576	1304359	1295497	1217643	2441634	1365353

表 4 煤层气总经济回采量计算结果表

	六枝矿	地宗矿	化处矿	四角田矿	白皎矿	中梁山北矿
矿井可采煤炭储量(万t)	488	1834	2117.6	1195.7	3351.3	946.9
吨煤经济回采量(m <sup>3</sup> /t)	25.65	22.64	15.60	14.59	23.8	41.75
煤炭回采率(%)	75	75	75	75	70	75
甲烷总经济回采量(万m <sup>3</sup> )	9387.9	31141.3	24775.9	13083.9	55831.0	29649.8

(4) 计算瓦斯利用取得的收益,关键是要合理确定销售价格。目前大多数矿井都把瓦斯利用当作福利性质,售价定得很低,这是极不合理的,应逐步向市场价格靠拢,否则就不会取得较好的经济效益。本文中确定的瓦斯售价与市场价格是基本符合的,可供其他矿井进行经济评价时参考。

(5) 通过经济效益分析表明,只要合理确定瓦

斯销售价格,尽量降低单位变动成本,瓦斯抽放一般都会盈利的。根据实例计算,六个矿井的瓦斯抽放基本上都是盈利的,有的矿井经济效益还较为显著,每年可创收百万元左右。

(6) 采用最优化解法进行分析表明,矿井最大瓦斯可抽量就是经济回采量。当矿井瓦斯抽放量达到经济回采量规模时,抽放瓦斯经济效益最佳。 ▲