

煤油气共生矿井的瓦斯地质及安全开采技术

王全生¹ 孔令义² 刘双民² 石增武²

(1. 西安科技学院地环系; 2. 铜川矿务局)

摘 要:总结了焦坪高瓦斯矿区油气与瓦斯的赋存特点,分析了矿井及其采面瓦斯的涌出来源,根据煤层及顶板含油气岩层的瓦斯抽放性能,提出了工作面安全开采的瓦斯治理方案。

关键词:煤油气共生 瓦斯地质 高瓦斯矿区 防治技术

0 引 言

我国煤田成煤时代众多,其中广泛发育在西北地区的侏罗纪煤田,不少地区是属于煤油气共生的煤田。位于鄂尔多斯盆地南缘的焦坪矿区就是其中之一。该矿区主要含煤地层为中下侏罗统延安组,平均厚度约 80m,含主要可采煤层一层,煤厚平均为 10m,为中灰、低磷、低硫、不粘结长焰煤。煤系上覆中侏罗统直罗组,下伏下侏罗统富县组及上三叠统延长群。除煤层含瓦斯外,煤层上覆与下伏岩系含有多层石油和天然气储层。矿区现有陈家山、下石节、崔家沟、玉华四个生产矿井,均为高瓦斯矿井,主采侏罗系延安组 4-2 号煤层。其中陈家山、下石节、崔家沟三矿井在建井及生产过程中,曾多次遇到来自顶底板岩层的油气显示及瓦斯、油气喷出等动力现象。矿井瓦斯等级鉴定最高达 $100\text{m}^3/\text{t}$,工作面绝对瓦斯涌出量最高达 $25\sim 30\text{m}^3/\text{min}$ 。由于瓦斯涌出量大,经常出现采面上隅角、工作面回风巷及其他地点瓦斯的超限现象。瓦斯已成为制约矿井安全生产及经济效益提高的主要影响因素。针对研究矿区瓦斯的赋存特征,分析瓦斯的涌出来源,探讨煤油气共生条件下的安全开采技术,达到既能治理瓦斯灾害,又能同时实现瓦斯资源化利用,是瓦斯地质领域研究的方向之一。

1 瓦斯赋存特征

1.1 油气储层及特征

研究区位于陕甘宁盆地延长油田的南缘,延安组煤系直接覆盖在生储油条件较好的延长群之上,从而形成了区内煤层与油气共存的局面。煤层气产于煤层,同时也主要储存于煤层中,以吸附状态为主。在本区主要以主采 4-2 号煤层所含气为主。油气主要分布在陈家山、下石节与崔家沟三个井田。其中焦坪南部矿区的陈家山、下石节井田约有 67% 的钻孔有油气显示,绝大多数钻孔岩芯显示斑状~不均匀状含油,少部分钻孔岩芯显示均匀饱和含油。按油气储层赋存层位,共有 1~4 层,其中主要是上三叠系延长群,中下侏罗

统延安组和中侏罗统直罗组，此外下侏罗统富县组也有少量油气显示。上三叠统延长群含油层主要为第四段的厚层中细粒砂岩，含油面积约 6km²，在煤系底部大巷和主要开拓巷道施工过程中曾发生多次油气从裂隙涌出、喷出及燃烧爆炸事故；中下侏罗统延安组含油层主要为 4 号煤层老顶的小街砂岩和 3 号煤层顶板的黑条砂岩，含油面积约 10km²，采面生产中曾多次发生油沿顶板裂隙涌出、淋出或下滴现象；中侏罗统直罗组含油层主要为该组底部的含砾砂岩，含油面积约 7km²；下侏罗统富县组含油层主要为花斑泥岩中的中细粒砂岩透镜体。这些含油气砂岩孔隙度一般为 12%~14%，渗透率一般在 10mD 以下，含油饱和度为 0.1%~39.7%，一般为 10%~20%。虽然物性条件差，且不均匀，达不到工业油流标准，但涌入采面的石油蒸汽比瓦斯更容易引发爆炸和燃烧事故。同时砂岩储层还伴生有较高天然气含量。据煤科总院西安分院在陈家山矿测定，4 号煤层顶板砂岩含气量高达 6m³/m³，瓦斯压力为 0.4MPa，而一些钻孔的油气显示表明，3 号煤层顶板砂岩的含气量有可能比 4 号煤层顶板砂岩含气量还高。在平面上，油气层分布主要受岩性控制，多为砂岩透镜体，连续性差，剖面上具有上倾消失的特点。一般单层含油透镜体面积小，分布不连续，但多层含油层上下叠加后可连成一片。

1.2 煤层瓦斯含量及特征

4-2 号煤层瓦斯含量为 1.12~8.57m³/t，平均含量为 2.98m³/t，瓦斯压力为 0.05~0.3MPa。煤层含气量尚未达到其吸附容量。4-2 号煤层最大饱和甲烷吸附量为 17.88cm³/g 可燃质，而目前煤层所含的瓦斯属欠饱和状态。造成煤层含气量低的原因，除与煤层煤岩组构成中镜质组含量少（稳定组含量为 49.49%），煤的热演化程度低（ $R = 0.5\% \sim 0.6\%$ ）导致煤的生气能力差有关外，更重要的是与煤层顶底板岩层封闭性能较差，白垩纪后含煤地层抬升到浅部造成煤层瓦斯长期逸散有关。尽管如此，4-2 号煤层瓦斯含量在平面上仍有明显的分布规律。表现在向斜区域、埋深较大的部位及厚煤带，瓦斯含量相对较高；而背斜区域、埋深较浅的部位及薄煤带瓦斯含量相对较低。虽然 4-2 号煤层瓦斯含量低，但 4-2 号煤层因属巨厚煤层，总的瓦斯储量仍十分可观。

2 瓦斯涌出来源

研究区煤系及上覆、下伏地层内均有含油气岩层，对主采 4-2 号煤层能构成影响的含油气层都有哪些，是决定矿井瓦斯治理与抽放的重要依据之一。

2.1 矿井瓦斯涌出来源

根据对陈家山煤矿 1994~1996 年度矿井各采掘场所的瓦斯涌出量统计分析(见表1)，

表 1 矿井瓦斯涌出来源分析

年度	矿井总回巷		回采面		掘进面		采空区	
	CH ₄ 绝对量 /(m ³ ·min ⁻¹)	比例 /%	CH ₄ 绝对量 /(m ³ ·min ⁻¹)	比例 /%	CH ₄ 绝对量 /(m ³ ·min ⁻¹)	比例 /%	CH ₄ 绝对量 /(m ³ ·min ⁻¹)	比例 /%
1994	20.39	100	12.25	60	4.60	22.5	3.54	17.5
1995	15.15	100	8.35	55	4.22	27.8	2.53	17.2
1996	19.99	100	11.87	59	3.76	18.8	4.38	22.2

矿井瓦斯涌出来源构成中以采煤工作面的瓦斯涌出量为主，约占 60%；其次为掘进工作面，掘进巷道瓦斯涌出量较高的原因与岩巷中来自三叠系延长群砂岩的油气集中涌出有关。

2.2 采面瓦斯涌出来源

2.2.1 采面瓦斯涌出来源的统计分析

据陈家山煤矿二采区采高 2m 左右的 206 与 208 两个相邻高档普采面的瓦斯涌出资料，206 工作面 4-2 号煤层顶板无含油气砂岩体，工作面开采过程中，瓦斯涌出量自始至终无明显变化，绝对瓦斯涌出量稳定在 $1.01 \sim 1.93 \text{ m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量变化在 $2.31 \sim 5.94 \text{ m}^3/\text{t}$ ；而 208 工作面老顶有含油气砂岩体，工作面初次放顶前，绝对瓦斯涌出量为 $1.38 \sim 1.81 \text{ m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量为 $5.5 \text{ m}^3/\text{t}$ ，较为稳定，瓦斯涌出量基本来自煤层本身，大小与 206 工作面相似，而初次放顶后，随着顶板冒落，绝对瓦斯涌出量增大到 $5 \sim 7 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上，相对瓦斯涌出量增大到 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上，最高达 $32.7 \text{ m}^3/\text{t}$ ，约有 75% 的瓦斯来自老顶含油气砂岩。下石节煤矿瓦斯涌出情况与此相似，来自煤层老顶含油气砂岩的瓦斯约占 60%~65%。陈家山煤矿采高 3.2m 左右的综采工作面 4061、4081 及 4091 的瓦斯涌出状况也同样表明了这一点。初采时综采面绝对瓦斯涌出量一般在 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右，当推进到 60~90m 时，老顶大面积垮落，绝对瓦斯涌出量即达到 $10 \sim 14 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上，超出正常涌出的 2~3 倍，而瓦斯涌出随顶板垮落同步变化，其中顶板涌出瓦斯量占 65%，煤层释放瓦斯占 25%，另有 10% 来自风流带入。说明煤层顶板砂岩是影响 4-2 号煤层采面瓦斯涌出量的主要因素，其次才是煤层本身所含瓦斯。

2.2.2 采面瓦斯来源的关联分析和岩移分析

由于主采 4-2 号煤层顶板之上有多层含油气砂岩层，究竟哪些砂岩层对综采面瓦斯涌出构成影响，是决定瓦斯治理的关键。为此，分别采用灰色关联分析方法与岩移理论计算进行了分析。

灰色关联分析是将母因素及其影响子因素的因子值分别视为一组曲线上的点，然后根据母、子因素曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密，曲线越接近，相应母、子因素间的关联度就越大，反之就小。

根据陈家山煤矿综采工作面瓦斯的涌出特点及瓦斯地质条件，初选了 10 个地质与生产因素用来进行采面瓦斯涌出量 (y) 主控影响因素的定量分析。通过收集陈家山煤矿有代表性的综采工作面回采月份平均绝对瓦斯涌出量 (y) 及相应地质与生产因素数据，经关联分析程序运算，得到关联度在 0.4 以上的因素指标分别为：4-2 号煤层埋藏深度 (X_2)，4-2 号煤层瓦斯含量 (X_3)，工作面日回采进度 (X_4)，4-2 号煤层顶板之上延安组砂岩厚度 (X_9) 及 4-2 号煤层顶板之上延安组砂岩含油强度 (X_{10})。其关联度大小排序为 $X_{10} > X_9 > X_3 > X_2 > X_4$ 。由此说明 4-2 号煤层顶板之上延安组砂岩厚度 (X_9) 及 4-2 号煤层顶板之上延安组砂岩含油强度 (X_{10}) 是影响综采面瓦斯涌出量大小的最主要控制因素。

岩移分析。目前，用于确定采面回采后顶板覆岩移动的方法较多，常用的有以下两种：

第一种：计算法。在缓倾斜煤层条件下，冒落带高度 H_c 及裂隙带高度 H_l 分别用下式

计算：

$$H_c = m / (K - 1) \cos \alpha \quad H_t = (2 \sim 3) H_c$$

式中 m ——煤层采高，m；
 K ——顶板岩石碎胀系数；
 α ——煤层倾角。

在 m 取 3.2m， K 取 1.25， α 取 5° 时，计算得 H_c 为 12.8m， H_t 为 25.7~38.4m。冒落带与裂隙带高度之和介于 38.5~51.2m。

第二种：经验法。国内外总结出的确定冒落带与导水裂隙带（包括冒落带最大高度）的经验公式是：

$$H_c = (3 \sim 4) M \quad H_t = 5.1 + 100M / (3.3n + 3.8)$$

式中 M ——累计采高，m；
 n ——分层层数。

该公式适用条件为煤层倾角在 0~54°，顶板岩石单向抗压强度介于 20~40MPa 间。取 M 为 3.2m， n 为 1，计算得 H_c 为 9.6~12.8m， H_t 为 50.2m。

上述两种方法计算结果相近，表明处于最大导水裂隙带之内的油气均有可能涌入 4-2 号煤层综采面。由于 4-2 号煤层顶板上距直罗组底部含油气砂岩层平均间距有 60m，因此，直罗组油气不对采面瓦斯来源构成影响。而上距 4-2 号煤层平均只有 23m 的 3 号煤层顶板含油气砂岩及完全处于冒落带之内老顶小街砂岩无疑成为采面瓦斯涌出的主要来源，这进一步验证了关联分析所得的结果。

3 煤矿安全开采技术

原煤炭工业部明确指出，瓦斯超限就是事故，而且规定高瓦斯煤层、煤与瓦斯突出危险煤层必须先抽放煤层瓦斯，然后再进行采掘，做到先抽后采，不抽不采，采、掘、抽平衡。目前，用于矿井瓦斯治理的方法很多，但基本以通风及抽放两种方法为主。大量实践证明，单纯依靠通风解决不了瓦斯问题，配合通风实施抽放是实现瓦斯超限问题最终解决的有效途径。根据前述分析，在煤油气共生的焦坪矿区，矿井瓦斯主要来自采煤工作面，而采面的瓦斯主要来自煤层顶板的含油气砂岩层，因此围绕采面及顶板瓦斯的治理成为煤矿安全生产的重点。为此，提出以下两种抽放方案。

一是实行井下一体化抽放方案，包括三种方法：

(1) 采前工作面预抽法：4-2 号煤层透气性系数 $0.002\text{m}^2/\text{at}^2 \cdot \text{d}$ ，百米钻孔流量衰减系数 0.002d^{-1} ，属可以抽放煤层，可在工作面运输巷与回风巷每隔 15m 沿煤层倾向布置一个抽放孔，实施封闭性抽放，用来降低来自煤层中的瓦斯涌出。

(2) 边采边抽法：在工作面回风巷每隔 50m 布置一个钻场，由钻场向工作面前方卸压带靠近回风巷布置 3~4 个放射形钻孔打入小街砂岩内，超前工作面抽放老顶小街砂岩中的瓦斯，减少上隅角瓦斯的积聚。

(3) 采空区高位大直径钻孔抽放法：采空区高位巷道抽放法在许多高瓦斯矿井得到使用，并发挥着重要作用，但这种方法的缺点是井巷工程费用高，同时施工时间长，而改用大直径钻孔（MKD-2S 型，孔径 214mm），抽放上邻近卸压带瓦斯不仅能取得同样

效果，而且还可节省大量井巷费用及施工时间。这些钻孔一般在平行工作面回风巷一侧的瓦斯尾巷或中巷开孔，倾斜向上伸入工作面上方的顶板卸压带内，在工作面投影长度一般为20m左右，可抽来自顶板裂隙带及采空区的大量瓦斯。

二是实行地面一体化抽放方案。

针对焦坪矿区主采煤层埋藏较浅的情况，由地面施工大口径钻孔至开采层工作面内，先期用地面钻孔预抽煤层瓦斯及砂岩瓦斯，后期用地面钻孔再进行采空区瓦斯抽放，抽放来自砂岩层卸压的大量瓦斯及采空区瓦斯。

4 结 论

焦坪南部矿区是以煤为主，煤、油、气共存的矿区，煤层瓦斯含量低，岩层油气含量高。工作面瓦斯主要来源于煤层顶板小街砂岩气及3号煤层顶板砂岩，约占工作面瓦斯涌出量的60%~70%，次为煤层瓦斯。针对矿区瓦斯的赋存及涌出特点，可选用井下煤层预抽、边采边抽及采空区高位大直径钻孔抽放等一体化方法，或选用地面钻孔前期预抽及后期卸压带与采空区抽放等一体化方法。

参考文献：

- [1] 李明潮，张伍济主编. 中国主要煤田的浅层煤成气. 北京：科学出版社，1990
- [2] 徐载俊，宋志敏主编. 煤矿床勘探开发中环境地质及灾害地质研究. 中国矿业大学出版社，1998
- [3] 刘思峰，郭天榜编著. 灰色系统理论及其应用. 开封：河南大学出版社，1991
- [4] 杨胜来. 开采低渗透性煤层气的地面井一体化开采技术的探讨. 中国煤层气，1997（1）