

我国煤层与甲烷安全共采技术的可行性

Simultaneous Safety Extraction of Coal and Coal Bed Methane in China

李树刚

(西安科技学院, 副教授、博士 西安 710054)

钱鸣高

(中国矿业大学, 教授、中国工程院院士 徐州 221008)

主要基于生态环境保护与治理的目的, 国家对矿物资源开采工业可持续发展的呼声越来越高。尚处于粗放性、低科技含量、低劳动效率和经济条件相当困难的我国煤炭工业如何抓住发展机遇、积极应对快速发展的世界经济的挑战, 是摆在科技工作者面前迫在眉睫需要解决的问题。矿物燃料的不可再生和燃烧矿物燃料引发的不断恶化的环境后果, 促使人们努力寻求新的替代能源技术。新能源和可再生能源技术的开发和完善日益受到重视; 但要完全取代现在占一次能源 90% 的矿物能源, 是一项十分艰巨的任务。替代能源的开发达到经济实用和商业规模远非一朝一夕所能实现。

目前与矿物燃料相比, 替代能源依然昂贵得令人望而却步, 能否安全、高效、洁净地开发和利用丰富的煤炭资源和可贵的煤层甲烷资源, 已成为解决能源接续的战略课题。煤层与甲烷安全共采技术就是在这样的大背景下提出的。因此说, 从事煤层与甲烷安全共采理论与技术的研究是一项很有意义的事。

我国煤炭储量丰富, 目前已探明地质储量 10 000 亿 t, 同时也是世界上煤层甲烷(煤层气、煤层瓦斯)资源最丰富的国家之一, 据测算仅陆上烟煤和无烟煤煤田中 2 000 m 以浅煤层中就蕴藏着 30~ 35 万亿 m^3 的煤层甲烷资源。从可持续发展的战略眼光看, 煤矿仅开采原煤而不顾及其他的生产模式早已过时。多年来, 抚顺、阳泉及芙蓉等大矿区既大量开采煤炭资源又抽排煤层甲烷, 以保证煤矿的安全生产和充分利用甲烷资源, 但与先进产煤国的勘探开发现状比, 仍有不少差距。据统计我国 42 个矿务局(公司) 117 对矿井平均甲烷抽放率仅为 16. 5%, 最好的抚顺矿区, 也在 30~ 50% 间。近年来在山西柳林、阜新刘家屯、铁法大兴等地进行钻井开采煤层甲烷试验, 其效果并不理想, 主要原因是由于我国煤层甲烷本身的赋存特征所致。

一、我国煤层甲烷的 储存特征及其低透气性

与美国、俄罗斯等国比, 我国煤层甲烷赋存有 / 两高三低 0 的明显特征。(1) 煤层甲烷贮存量高, 主要分布在华北、西北和华南地区, 是美国的 3 倍还多。(2) 煤层吸附甲烷能力高。(3) 煤层甲烷压力较小, 大部分甲烷压力为 0. 5~ 3. 0 MPa, 而美国勇士(Black Warrior) 及圣胡安(San Juan) 盆地在深 600~ 822 m 处甲烷压力可达 5. 6~ 8. 8 MPa。(4) 煤层在水力压裂等强化措施下形成常规破裂裂隙所占比例低。美国勇士盆地裂隙半长在 76~ 91. 44 m, 而我国仅有 30 m 左右, 抚顺煤田钻孔影响范围可达 50 m。(5) 煤层甲烷储层渗透系数低, 绝大多数在 0. 001 md 以下, 渗透系数最大的是抚顺煤田, 约为 0. 54~ 3. 87 md。其中煤层渗透性是煤层甲烷开采的关键性参数, 但低渗透性等特征在一定程度上给煤层甲烷的勘探和开采带来困难。煤层渗透性与煤的孔隙结构、破坏特征、矿山压力、甲烷含量、甲烷的吸附解析特性、煤温度及煤岩中水分均有密切关系。

采动过程中, 煤层甲烷运移状态发生变化, 矿山压力对煤层渗透性变化有决定性作用, 而渗透性变化又对甲烷的聚集与排放(涌出)、甲烷压力的分布起重要作用。我国煤矿年抽放甲烷量近 6 亿 m^3 , 多年的科研和抽放实践表明: 煤岩体既是甲烷气体的生气源岩, 又是储气岩; 生储于煤岩体中的甲烷只有在煤层被开采和围岩体在采动影响下变形、移动及破断失稳后才会有大量的运移, 其中包括渗流、扩散、升浮、向回采空间自然涌出或人工抽排等正常运移和超限聚集、突出、喷出及倾出等异常运移。事实已表明, 我们不宜完全像美国那样大规模直接进行地面钻井(孔) 抽放甲烷, 而应该着力于采动影响下层状岩体应力分布和裂隙分布与煤层甲

烷运移形态的研究和实践,从而高效又安全地开采煤炭和甲烷这两种优质资源。

二、采动岩体关键层理论为煤层与甲烷共采研究注入新的活力

缘于成岩时间、矿物成分和地质构造的不同,煤岩层中各层厚度和力学特性等方面存在着不同程度的差别,而其中一些较坚硬厚岩层在采场围岩变形和破坏中起主要的控制作用,它们以某种力学结构支承上部岩体的压力,而它们破断后形成的结构形式(如砌体梁)又直接影响着采动矿压显现和岩层移动。这种在岩层活动中起主要控制作用的一层或几层坚硬岩层称为关键层。采场覆岩关键层未破断失稳前,将以 Winkler 弹性地板或梁的结构形式产生挠曲下沉变形,此时关键层下部将产生不协调性的连续变形离层,如有亚关键层存在,则局部破断后的关键层(或岩层组)将形成砌体梁结构,这将在主关键层下部产生非连续变形和连续变形之间的不协调性离层。这种离层发生在开采边界的四周,而非中部。离层量大小取决于已破断关键层的断裂块度、垫层软散系数及开采深度。

覆岩离层裂隙和破断裂隙的存在及其变化形态,为工作面回采过程中本煤层甲烷和邻近层(含围岩)甲烷运移和聚集提供了通道和空间,而在此形成过程中,关键层的结构、破断及失稳对煤层中甲烷运移产生很大影响。而采场甲烷大量快速涌出或异常涌出是关键层初次破断或周期破断失稳的一种矿山压力显现,对于开采含甲烷煤层而言,关键层理论及其控制实践为煤层与甲烷共采研究注入新的活力,通过关键层变形、活动规律的研究,掌握甲烷运移和聚集的通道和时间,采取合理有效的抽放措施,即可达到安全共采的目的。

三、主关键层失稳前后覆岩裂隙带的空间分布

覆岩采动裂隙带分布并非传统认识中的位于垮落带之上的层状均匀分布。研究表明,主关键层下部将产生较为显著的离层变形,而且在主关键层破断失稳前离层与破断裂隙贯通后在空间上构成形似椭圆抛物面内外边界所包围的椭圆带状分布,其层面切割为椭圆形(又称/OO型圈)的裂隙发育区。充分采动后,主关键层经历了初次破断和周期破断,覆岩裂隙椭圆带不复存在,但层面展布的椭圆形裂隙区仍将出现。而且裂隙带宽在初采边界处相当于关键层初次破断步距,而在回采面上方裂隙带宽变化在1~2倍的周期破断距范围内。

可见,覆岩裂隙带的空间分布及来自本煤层和

邻近层甲烷运移聚集都将随工作面开采而处在动态变化过程中,因此相应的抽排甲烷技术要遵循这种变化规律。由流体力学原理知,采动中来自本煤层或邻近层的甲烷高浓度聚集,因与周围环境气体(有效风或漏风)存在密度差而升浮,在浮力作用下沿裂隙带上升过程中不断掺入周围气体使涌出源甲烷与环境气体的密度差渐减至零,甲烷则会聚集(漂浮)在裂隙带上部较发育的离层裂隙内,甲烷升浮高度与本煤层及邻近层甲烷含量及涌出强度成正比。混入矿井空气中的甲烷在其浓度梯度作用下会引起气体分子向上的普通扩散和压强扩散。甲烷的/升浮)扩散理论解释了覆岩采动裂隙带是甲烷运移和聚集带,这为裂隙带内钻孔抽放巷道排放甲烷技术措施提供了科学依据。

四、煤层与甲烷共采的技术关键

采动后支承压力对开采煤层的渗透系数变化起主导作用,采场前方应力集中带内煤层渗透系数极低而甲烷压力在增大,故其内甲烷涌出量会下降;当开采煤层卸压围岩松动后,甲烷涌出量会急剧增加,渗透系数值增大很多,可达数百倍,并使解析流量也增加很多,此即/卸压增流效应。由此得出结论,不论原始渗透系数怎样低的煤层,在采动影响煤层卸压后,其渗透性会急剧增加,煤层内甲烷渗流速度大增,甲烷涌出量也随之剧增,漏风影响会使涌出甲烷升浮扩散至覆岩采动裂隙带,这为甲烷抽排提供了极便利条件。此点即为我们主张的我国矿山煤层与甲烷/共采的理论根据。

可见,无论在煤壁前方及覆岩采用钻孔抽放、巷道排放或地面钻井(孔)抽放何种措施,都应将巷道或钻井(孔)终孔点布置在甲烷运移活跃区和聚集富有区。可实现的技术关键有:(1)工作面前方甲烷卸压增流区内合理布置边采边抽钻孔;(2)利用采动区(半封闭式采空区)井(孔)以替代采空区井(孔),依据采动过程中覆岩裂隙带的动态变化,合理布置井(孔)位置,高浓度抽出甲烷;(3)在覆岩采动裂隙带内布置走向高抽巷、倾向高抽巷或水平长距离(500~600m)大直径(200~300mm)钻孔抽放裂隙带内富集甲烷;(4)采用保护层开采技术,以其中综放开采中的预采顶分层或邻近层作为解放层开采等,既可使坚硬顶板预破碎以减缓采场矿压显现程度,又可使卸压范围内甲烷运移速度加快、流量增加,以充分抽排甲烷。当然,为保证工作面安全回采,可预测甲烷大量涌出或涌出异常。我们已知,这种涌出是矿山压力的一种显现,因而是可预测的。

五、煤层与甲烷共采可实现的良好效益

借渭通黄, 节水治淤

To Join the Wei River to the Yellow River for Saving Water and Dredging the Sluggish River

冯 宏

(煤炭科学研究总院西安分院 西安市 710054)

自1997年黄河下游出现226天、最长达704km的断流以来, 全国又一次关注黄河。黄河断流已成为我国最大的环境问题之一。引起了国家和学术界的高度重视, 多方面提出了对策和建议。现根据笔者几年来的研究, 提出一种新观点: 借渭通黄, 节水治淤。

黄河断流直接影响到下游流域工农业生产和人民生活, 连续几年断流已影响到华北、华中区域的可持续发展。但黄河断流并非首次, 自上世纪以来, 有记载的大旱即95次、大水110次。在20世纪30年代就曾出现过前后历时10年的断流。黄河水养育了中华民族和中华文化, 但它的旱、洪、淤的问题几千年来一直严重危害下游760多 km 流域范围内人民的生存条件。自舜禹以来, 历代仁人志士也一直为此献计出力、著书立说, 如: (1) 汉哀帝时贾让进治河三策, 后演变为不与水争地、分水放淤、束水攻沙3个学派; (2) 宋代苏辙认为: 黄河之性, 急则通流, 缓则淤淀; (3) 清代靳辅和宋仁宗时欧阳修认为: 河决于上必淤于下, 而淤于下又必决于上。

由此可见, 历史治黄重在治理下游洪涝和淤沙。

自有煤炭开采以来, 易燃易爆的甲烷曾导致无数次矿毁人亡的重大事故, 然而煤层甲烷具有其它能源无法比拟的无污染、无油污等多种优点, 实现煤层与甲烷两种资源的有效共采, 定会获得良好的经济效益和社会效益。

以高瓦斯突出矿井淮北芦岭矿为例, 煤层甲烷含量为 $15\text{m}^3/\text{t}$ 。根据开采后形成的采动裂隙椭圆形发育区特征, 利用地面垂直采动区孔、顶板长距离水平钻孔和顶板穿层钻孔相匹配抽放甲烷, 可供4 000户居民燃用, 每年节支180万元、增收146万元, 经济效益十分可观; 甲烷作为原料, 可用于发电和一次性加工为合成氨、甲醇、乙炔等产品, 其使用价值更高; 以等效发热量计, $1\,000\text{m}^3$ 甲烷相当于4t原煤, 若年甲烷涌出量的80%能充分利用, 即可节省原煤10.12万t, 并解决了甲烷排放对环境的污染。

总之, 实现煤层与甲烷共采, (1) 可减少工作点的甲烷涌出量, 保证安全生产, 基本消除采掘工作

而经济飞速发展的今天, 旱对国民经济的影响一样严重, 甚至比涝更严重, 因此近几年治河新论重在上、中、下三流域南水北调, 以求扩大水源补给。

笔者通过研究后认为: 黄河丰于上, 浊于中, 患于下, 解决黄河问题应旱、洪、淤兼治, 治黄重在中游(这里的/中游0是指靖远至孟津河段)。原因有3个:

11 解决下游淤的问题关键是要减少泥沙 乾隆年间胡定在河防10条中说: 黄河之沙, 多出自三门以上及山西中条山一带破涧中。黄河为害, 根在泥沙, 这条世界上含沙量最多的河流, 流过世界最大的黄土高原, 其中有43万 km^2 为水土流失区域。黄河在兰州以上每年输沙1115亿 t, 在河口镇以上每年输沙约5115亿 t, 而河口镇到陕县每年输沙约2619亿 t, 中游年输沙量为全段的95%, 使陕县段 m^3 水含沙3619kg。水少沙多, 中游遂成为下游淤之源。

21 解决下游旱的问题是要保下游水量 黄河中游属干旱地区。黄河自源区东下巴颜喀拉山, 受到西秦岭构造的西倾山、岷山、六盘山阻挡, 北上涉腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布奇沙漠, 绕鄂尔多斯高原,

中甲烷的突出现象, 减轻矿井通风负荷, 降低工作面风速, 减少煤尘飞扬, 改善劳动环境; (2) 变废为宝, 利用甲烷作为生活燃料, 既方便又卫生, 是优质的/绿色能源0, 有利于职工劳动热情增高、企业凝聚力增强; (3) 既可减少因燃煤造成的环境污染, 又可消除瓦斯直接排入大气所造成的污染。以芦岭矿年节燃煤1.2万t计, 则全年减少排放 SO_2 约96t, 烟尘768t, 两淮煤田埋深2 000m以浅保有和预测煤炭储量867亿t, 煤层甲烷资源量9 087亿 m^3 , 这样丰富的煤炭和甲烷资源, 若能安全高效地/共采0, 则对华东经济发展极具重大的战略意义。更进一步讲, 我国现有矿井中30%以上为高甲烷突出矿井, 随着矿井开采规模和深度的不断扩增, 由甲烷引起的事故隐患将逐渐增大, 煤层与甲烷共采理论与技术的研究与应用对防治此隐患是意义重大的。

(责任编辑 王宏章)