

煤系共伴生矿产定义内涵及分类

刘建强¹,迟乃杰²,从培章³,刘海政¹,赵鲁阳¹

(1.山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室,山东科技大学地球科学与工程学院,山东 青岛 266510;2.山东省地质科学研究所,山东 济南 250013;3.山东招金矿业股份有限公司,山东 烟台 265400)

摘要:含煤岩系中存在着多种矿产和元素,统称为煤的共伴生矿产。然而,煤的共生矿产与伴生矿产明显不同,主要体现在成矿过程、赋存方式及其后期开采形式等方面,至今二者概念较为模糊,需要进一步区分。通过详细分析了煤共生、伴生矿产的特征,根据矿产在煤层中的赋存状态、存在位置及与煤的关系,认为煤的伴生矿产包括煤层气、煤成气、镓、铀、锆、钒等,共生矿产包括页岩气等,而油页岩、粘土与高岭土则既是伴生矿产也是共生矿产。在此基础上,该文提出了煤的共生、伴生矿产分类方案,对煤系矿产资源的勘探与开发有着重要的指导意义。

关键词:含煤岩系;共伴生矿产;煤系气;微量元素

中图分类号:P618.11

文献标识码:A

引文格式:刘建强,迟乃杰,从培章,等.煤系共伴生矿产定义内涵及分类[J].山东国土资源,2015,31(9):30-34.
LIU Jianqiang,CHI Naijie,CONG Peizhang,etc.Definition Connotation and Classification of Coal Associated Minerals[J].Shandong Land and Resources,2015,31(9):30-34.

我国煤系中不仅赋存有大量的煤炭资源,还存在大量与煤炭共生或伴生的其他矿产资源。随着社会对能源需求的不断增加及对资源开发利用率的提高,在煤矿开采的同时加强对这些矿产的研究越来越受到人们的重视。目前,共伴生矿产的概念已经被人们所熟知。朱士飞和秦云虎^[1]研究煤中共(伴)生矿产资源的进展中提出共伴生矿产有油页岩、高岭土、石墨、铝土矿、耐火粘土、褐铁矿、菱铁矿等;邓军等^[2]研究了鄂尔多斯盆地的共伴生矿产包括煤层气、煤成气、页岩气、油页岩还有无机矿铀;晏达宇^[3]在论述我国煤系共伴生矿产资源概况中指出共伴生矿产有膨润土、高岭岩(土)、耐火粘土等。以上研究把所有的矿产包括煤成气、煤层气、油页岩、页岩气、煤型气、粘土矿、高岭土、石英砂岩矿、铁矿、硅藻土等都归纳为共伴生矿产。而共伴生矿产在实际中是2种不同的矿产,在实际的工作中有必要把二者区分开。为此,该文在总结了各专家的观点上,提出了共伴生矿产的定义,重新界定了它们之间的界限,将对其概念的理解具有重要意义。

1 煤系共、伴生矿产的定义及界定

1.1 煤系共、伴生矿产定义

共伴生关系被人们普遍的认为是生物之间的关系,共生(commensalism)是指2种密切接触的不同生物之间形成的互利关系,而伴生(accompanying)指次要的随主要的一起生长。矿产的共伴生概念与此类似,共生矿产主要是指成因和时间上具有一定联系的、同时赋存于地层之中的多种矿产,但每种矿产可以作为独立矿种进行开采;伴生矿产是指相互依存相互影响的多种矿产,对某一种矿产进行开采时必然也同时对另一种矿种进行开采。

因此,在煤系中煤的共生矿产主要是指多种矿产与煤具有成因和时间上的联系,其形成、赋存则与煤具有一定的时间序列,且是能够作为单一矿种进行赋存与开采,煤与其他任何一种矿种可以在宏观上有所体现;煤的伴生矿产是其他矿产与煤具有成因上的关系,其形成时间与煤的时间几乎是同时进行,煤的伴生矿产则表现为开采上的差异性。

收稿日期:2014-11-19;修订日期:2015-05-07;编辑:陶卫卫

项目资助:山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室开放基金资助

作者简介:刘建强(1990—),男,山东滨州人,在读硕士研究生,矿产普查与勘探方向;E-mail:Anlayuandian@163.com

1.2 煤系中的多种矿产共存与界定

我国多种共存的矿产多以独立的形式赋存在盆地中,但是也存在不同矿产在同一地区同一层位或相邻层位的共生富集。目前关于煤、石油、天然气及无机矿产同盆共存的研究已经受到地质学家的重视,张景廉^[4]讨论了石油与铀矿床的相互关系;刘池洋、常象春等也对鄂尔多斯盆地多种能源矿产同盆共存及其特征进行了论述^[5-6]。

在多种矿产共存盆地中,煤和油、煤和气或者煤铀气共生等是多种矿产共存的主要富集形式。煤层气和煤成气统称为煤型气^[7],主要是以煤系中的煤为主要烃源岩在热演化过程中生成的,如鄂尔多斯盆地石炭二叠纪石盒子群砂岩中发育着大量的煤成气^[8],在煤层中则发育大量的煤层气。同时,在盆地北缘距离物源比较近的地方可以发现铀矿,因此,可以看出无论煤层气、煤成气的产生和聚集及沉积型铀矿的形成都是以共存载体的形式赋存在煤系中。煤中气、上气下油、油中铀、煤中铀、煤中油及独立富集成矿是鄂尔多斯多种矿产共存的组合形式,天然气溶解在石油中形成上气下油,也可赋存在煤层中形成煤中气,天然气又可作为还原剂还原矿物中的铀,铀又以络合物形式存在于石油中(图 1)。再如四川盆地三叠世须家河组段中也存在气与油的共存现象,煤层主要发育在须家河组一、三、五层段,则油气赋存于须二、须四层段的砂岩储集层中,以煤层顶、底板形式存在于煤系中^[9]。

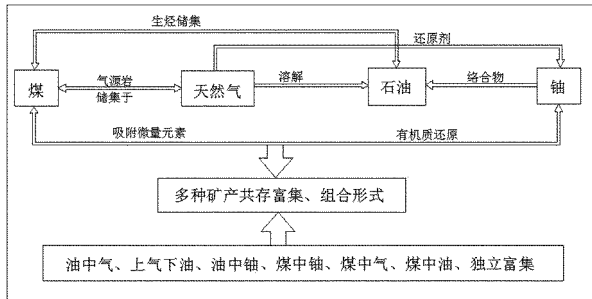


图 1 鄂尔多斯盆地煤、石油、天然气及铀矿同盆共存富集组合

2 不同类型矿产与煤的赋存关系

我国煤系共伴生矿产资源丰富,有开发利用价值的矿产主要有煤成气、煤层气、油页岩、页岩气、粘土矿、高岭土,还有镓、铀、锆、钒、金等有用元素。

2.1 煤层气

(1) 煤层气:煤层气是一种自生自储型的非常规天然气。在煤系中由于煤中基岩孔隙发育,其内表面积相当大,绝大多数煤层气以吸附状态赋存在煤岩裂隙的内表面;在煤层裂隙或空隙中还有一些自由运移的游离状态的煤层气;只有少量的煤层气溶解在地下水中被运移^[10](图 2)。而煤层气形成煤层气藏,主要是煤层受地下水和构造运动来影响其赋存状态^[11]。煤层气以煤层为储集层,气源由煤层自身生成,依附于煤层中,与煤伴随产生,是煤典型的伴生矿产。

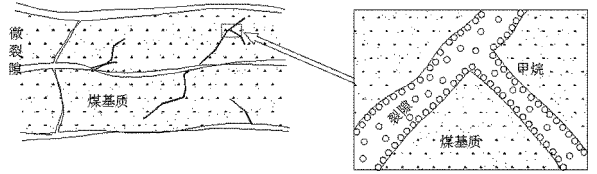


图 2 煤层气赋存状态示意图

(2) 煤成气:煤成气指含煤岩系中腐殖型有机质在煤化作用中生成的烃类气体,其气源主要包括煤层和含腐殖型(Ⅲ型)有机质为主的岩层^[12]。煤成气广泛分布在煤系的各个割理、裂隙中,也可以运移到煤层及其夹层以外的储层(如砂岩、灰岩)中,既包括煤层形成气体跑出去的那部分,又包括煤层和煤系分散有机质演化形成的天然气。煤成气生成、开采与煤层密不可分,是煤典型伴生矿产。

(3) 页岩气:美国页岩气指聚集于细粒(包括粘土及致密砂岩)低渗透油藏中、有机质富集、以热解气或生物甲烷气为主的非常规天然气^[13]。而在我国页岩气是指主体位于暗色泥页岩中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气^[14-15],是一种自生自储型的非常规天然气。由于页岩气主要来自泥岩和页岩,因此国内的页岩气又称为泥页岩气。泥页岩气在砂质岩类及夹层内运移距离较短甚至没有,一般有原地成藏特征。笔者认为,页岩气和煤为共生关系。

煤岩系产生是天然气赋存在煤岩裂隙或地下水中的为煤层气,而煤成气既包括留在煤层中的那部分天然气又包括运移到砂岩泥岩中的那些天然气;页岩气自生自出即存在于泥页岩中也可以运移到砂岩中,当页岩气进入煤层裂隙又成为煤层气(图 3)。

2.2 固体沉积型矿产

(1) 油页岩:油页岩是高灰分的富含有机物的沉

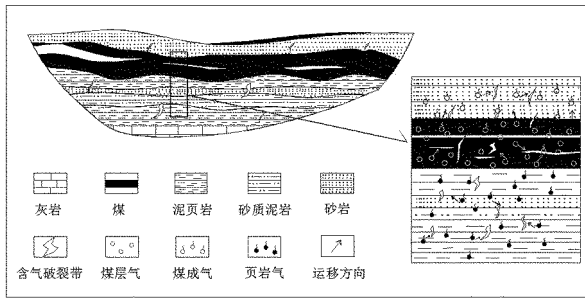
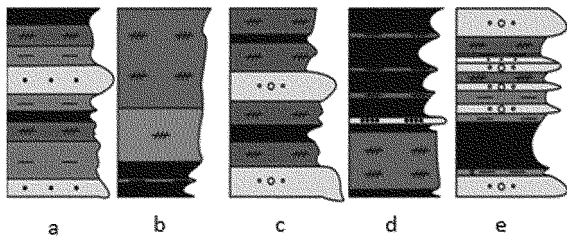


图 3 煤气、煤层气及页岩气生成赋存示意图

积岩,主要成分为母油质,可提炼出液态烃类。油页岩并不全部为页岩,任何一种能在热解中形成有工业意义的石油浅成岩都可以称为油页岩^[16]。我国油页岩资源丰富,主要是以陆相沉积。根据沉积环境可以分为拗陷湖成油页岩、断陷湖成油页岩和断陷湖泊-沼泽油页岩 3 种类型^[17-18]。油页岩与煤既可以呈伴生矿产出现,也可以呈共生矿产出现。在断陷或拗陷的湖成盆地中,由于盆地沉积范围大且沉积稳定,煤和油页岩可同时稳定沉积,单独成矿或油页岩富集在煤层上下成为煤层顶底板(图 4a, b),在开发利用时可以单独采出,为煤的共生矿产;而位于断陷盆地中油页岩,其形成过程易受环境影响,往往煤与油页岩交替沉积成藏(图 4c, d, e),油页岩赋存在煤层中,与煤一起采出,为煤的伴生矿产。



a—煤层/油页岩共生组合(C/OS); b—油页岩/煤层共生组合(OS/C); c—油页岩/煤层/油页岩共生组合(OS/C/OS); d—煤层/油页岩/煤层共生组合(C/OS/C); e—页岩/其他沉积/煤层共生组合(OS/M/S/C)

图 4 几种典型的煤与油页岩共生组合示意图

(2)粘土矿与高岭土:煤系高岭土是 1 种硬质高岭土,主要矿物为高岭石,是重要的自然资源和非金属矿产。高岭土一般有 3 种类型:1 种是夹石层、煤层顶底板;2 种是与煤层不相邻;3 种是露头或地下浅处与风化煤伴生。如内蒙古老石旦石炭系煤层的下面分布着一层白色的高岭土矿床,而在甘肃安口的高岭土矿床则是侏罗系煤层夹矸及顶板泥质岩的风化产物^[19]。

粘土和高岭土的形成一般生成于温湿气候带的

地区,这与煤的形成环境一致。粘土和高岭土一般赋存在煤层顶板、底板或者赋存于距煤层较近的所谓煤系高岭岩中,可以单独开采,与煤层的关系为共生;地下浅处与风化煤相存的粘土矿产伴随煤层产出,与煤层是伴生关系。

2.3 伴生微量元素

煤在复杂的形成过程中产生了大量的伴生元素,部分元素具一定的工业价值。不同元素在形成过程中,其聚集的原理有差异,有些元素可以单独富集成矿,有些必须与有机或无机矿物结合的形式存在与煤层中,如铀、镓等,有必要对之进行详细的总结和分析。

镓是煤系中常见的 1 种稀有金属,广泛应用于现代化学和电子工业,其本身不单独形成矿物,很难形成独立的矿床^[20],主要以类质同象置换形式进入其他矿物晶格,置换矿物中的 Al^{3+} 和部分 Fe^{3+} 及 Ti^{4+} 离子。煤系中的镓常与粘土层伴生,在煤层的粘土夹层及围岩中较为富集。铀元素是原子能工业的主要原料,具有重要的开采价值,在褐煤中居多,多以铀的化合物形式出现。在泥炭堆积期,铀的配合物被还原性煤层还原或者是被煤炭形成沼泽中的硫酸盐还原菌还原而沉淀于煤中。铀与煤具有密切的关系,大多分布在煤层底部,是煤的伴生元素矿产。锆主要以伴生组分的形式存在于煤层中,锆的含量从煤层中向边缘增高,往往富集于煤层顶底板、薄煤层或煤透镜体中。锆的富集主要取决于成煤中的腐殖酸,腐殖酸有较强的离子交换能力,能与活泼的锆元素作用,形成腐殖酸配合物,因此,锆以腐殖酸盐的形式赋存于煤中。钒的赋存状态有 3 种,赋存在有机物中、粘土矿物中或者独立形成钒矿。钒是我国石煤中主要的伴生元素,大多聚集在滞水还原的环境中,含量一般在 0.3%~1.0%之间。石煤中钒的层位、厚度具有对称性,多以富矿层位为中心。金作为一种贵金属元素可普遍存在于煤中,但是其含量变化较大,只有局部煤中金的含量异常^[21],如我国贵州西南地区晚二叠世煤系中的金含量明显富集^[22]。煤中金主要是由低温热液流体沿断裂带进入煤层,被吸附后赋存于煤系硫化物矿物(黄铁矿)和粘土矿物中,其次还以分散状自然金或有机化合物的形式存在于煤中^[23],是煤系重要的伴生有益元素。

3 煤系共伴生矿产分类

一般说来,共生强调的是共同存在,那么矿产的共同存在主要体现在同一矿区(矿床)内,存在 2 种或多种分别都达到工业指标的要求,并具有小型以上规模的矿产,又分为自体共生矿和异体共生矿。

其中,自体共生矿为产于同一矿体内的含有 2 种或多种符合工业要求的共生矿产及可供工业综合利用的伴生矿产,一般可综合圈定矿体,分别计算储量,如煤和油页岩共生于一套沉积岩系之中;异体共生矿产为在一个矿区内,产于不同部分(或层位)可以分别圈定和计算储量不同矿种的矿产,如煤和膨润土、高岭石粘土。

然而矿产的伴生强调的是次要依附主要的,伴随存在。矿产的伴生是同一矿床(矿体)内,不具备单独开采价值,但能与其伴生的主要矿产一起被开

采利用的有用矿产。因此,煤系中共伴生矿也是 2 种截然不同的矿产,从矿产在煤层中的赋存状态、存在位置及与煤的关系看:共就是环境共;伴就是没有主体不行。一般和煤处于同一矿床,且在煤形成过程中与煤同沉积或是能单独成矿,同时出现的 2 种或 2 种以上的具有开采价值的矿产为煤的共生矿产;而在煤的形成(变质+成岩)中,依附在煤中以煤为主体,离开煤就不能单独成矿或不具有开采价值的矿产属于煤的伴生矿产。煤系共伴生矿产中,煤系气中的煤层气、煤成气为煤的伴生矿产,页岩气则属于煤的共生矿产;固体矿产中油页岩、粘土与高岭土既可以是煤的伴生矿产也可以是共生矿产。煤系微量元素镓、铀、锆、钒、金等,都是以各种化合物或单质形式赋存在煤系中属于煤的伴生矿产。

根据以上不同类型矿产与煤的赋存关系分析,总结出煤系共伴生矿产分类(表 1)。

表 1 煤系共伴生矿产分类

矿产类型		性质	赋存介质	赋存相态/方式	划分结果
煤系气	煤层气	自生自储型的非常规天然气	煤层裂隙或溶解于地下水	吸附、游离态、溶解态	伴生
	煤成气	岩系中腐殖型有机质在煤化作用中生成的烃类气体	煤的割理及裂隙	吸附、游离态	伴生
	页岩气	泥页岩或高碳泥页岩中产出的天然气	煤系页岩或泥岩(自生自储)	吸附或游离状态	共生
固体矿产	油页岩	一种高灰分的且含油率较高(一般大于 5%)的可燃有机质沉积岩	单独成层或煤夹层	与煤层互层单独存在,或为煤顶层	伴生共生
	粘土与高岭土	硬质高岭土,主要矿物为高岭石($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)	煤层顶板、底板或单独成层煤风化带中的露头	煤的夹矸煤的夹矸	共生伴生
煤系伴生微量元素	镓	一种稀散元素,无独立矿床	煤层的粘土夹层及围岩	化合物形式	伴生
	铀	放射性元素,最重要的核燃料	煤层底部	化合物形式	伴生
	锆	分散元素,多以伴生组存在于煤层中	煤顶底板、薄煤层或煤的透视镜体中	腐殖酸盐形式	伴生
	钒	多与其他元素伴生形成钒矿床	煤基质中	化合物形式	伴生
	金	贵金属,微量的分散元素,化学性质稳定	煤的内生裂隙中	矿物内、单质或有机化合物形式	伴生

4 结论

(1)煤系共、伴生矿产是 2 个不同的概念。煤系共生矿产是指和煤处于同一盆地,在煤形成过程中经过沉积、压实及保存成岩能单独成矿,在煤系中同时出现的 2 种或 2 种以上的具有开采价值的矿产;煤系伴生矿产是指在煤的形成中,依附在煤中以煤为主体,离开煤就不能单独成矿或不具有开采价值的矿产。

(2)根据矿产在煤层中的赋存状态、存在位置及与煤的关系,认为煤的伴生矿产包括煤层气、煤成

气、镓、铀、锆、钒等,共生矿产包括页岩气等,而油页岩、粘土与高岭土则既是伴生矿产也是共生矿产。总结出了煤系共生、伴生矿产的分类方案,这对煤系矿产资源的勘探与开发有着重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 朱士飞,秦云虎.煤中共(伴)生矿产资源的研究进展[J].高校地质学报,2013,(19):605.
- [2] 邓军,王庆飞,高帮飞,等.鄂尔多斯盆地演化与多种能源矿产分布[J].现代地质,2005,19(4):538-545.
- [3] 晏达宇.我国煤系共伴生矿产资源概况及开发利用的意义[J].煤炭加工与综合利用,2004,(6):44-47.

- [4] 张景廉. 试论石油与铀矿床的相互关系[J]. 华东地质学院学报, 1994, 17(1): 42-45.
- [5] 刘池洋, 赵红格, 谭成仟, 等. 多种能源矿产赋存与盆地成藏(矿)系统[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 131-142.
- [6] 常象春, 王明镇, 郭海华. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产共存特征及其相关性[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 507-510.
- [7] 李增学, 魏久传, 刘莹. 煤成(型)气地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [8] 谭梦琦, 董昭雄, 刘忠群, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界煤成气及其砂岩气藏成藏模式[J]. 西安石油大学学报, 2010, 25(5): 33-36.
- [9] 刘迎松, 孟万斌. 川西前陆盆地多种有机能源矿产共存规律研究[J]. 天然气勘探与开发, 2013: 24-27.
- [10] Liu Dameng, Yao Yanbin, Tang Dazhen, et al. Coal reservoir characteristics and coalbed methane resource assessment in Huainan and Huaibei coalfields, Southern North China [J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 97-112.
- [11] 王怀劭, 朱炎铭, 李伍, 张建胜, 罗跃. 煤层气赋存的两大地质控制因素[J]. 煤炭学报, 2011, 36(7): 1129-1133.
- [12] 戴金星. 中国煤成气研究二十年的重大进展[J]. 石油勘探与开发, 1996, 26(3): 1-10.
- [13] 张增奇, 田京祥, 张春池, 等. 国内外页岩气研究进展及山东省页岩气资源潜[J]. 山东国土资源, 2012, 28(10): 1-6.
- [14] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.
- [15] Ding Wenlong, Jin Wenzheng, Zhang Jinchuan, et al. Distribution of Shale Gas Resources in China and their Exploration and Development Potential[A]//Proceedings of 2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment[C]. Beijing: 2011, 1582-1586.
- [16] 王真奉, 林明月, 王炳山. 黄县盆地古近纪煤与油页岩的有机岩石学和地球化学特征及形成条件[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(4): 12-14.
- [17] 刘招君, 孟庆涛, 柳蓉. 中国陆相油页岩特征及成因类型[J]. 古地理学报, 2009, 11(1): 105-114.
- [18] 王炳山, 余继锋, 孙玉壮, 等. 黄县盆地褐煤与油页岩的泥炭沼泽类型分析[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(5): 1-3.
- [19] 陈扬杰. 煤系地层中高岭土矿床的主要成因类型及特征[J]. 西安矿业学院学报, 1988, 8(2): 21-28.
- [20] 涂光炽, 高振敏, 胡瑞忠, 等. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 368-395.
- [21] 王文峰, 秦勇, 桑树勋, 等. 煤中金的地球化学研究进展[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 236-240.
- [22] 杨建业. 贵州普安矿区晚二叠世煤中贵金属元素的赋存状态和地质成因[J]. 地球学报, 2007, 28(3): 277-282.
- [23] Seredin V V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins [J]. Geology of Ore Deposits, 2007, 49(1): 3-36.

Definition Connotation and Classification of Coal Associated Minerals

LIU Jianqiang¹, CHI Naijie², CONG Peizhang³, LIU Haizheng¹, ZHAO Luyang¹

(1. Shandong Key Laboratory of Depositional Mineralization and Sedimentary Mineral (SDUST), Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China; 2. Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jinnan 250013, China; 3. Shandong Zhaojin Mining Industry Limited Corporation, Shandong Yantai 265400, China)

Abstract: There are many minerals and elements in coal-bearing rock series. It is generally called associated mineral resources. But syngenetic mineral resources and associated mineral resources in coal are different. It mainly reflected in mineralization process, occurrence forms and mining forms in late production period. So far, the concept of syngenetic mineral resources and associated mineral resources are not clear. It needs to be further distinguished. In this paper, through detailed analysis on characteristics of syngenetic mineral resources and associated mineral resources, according to the occurrence, position and relationship with the coal minerals, it is regarded that the associated minerals of coal include bed methane, coal gas, gallium, uranium, germanium, vanadium, etc, while the syngenetic minerals include shale gas and others. Oil shale, clay and kaolin are not only associated minerals, but also syngenetic minerals. On these basis, the scheme for distinguishing syngenetic or associated minerals of coal has been put forward. It has important guiding significance for the coal resources exploration and development.

Key words: Coal-bearing strata; associated minerals; coal series gas; trace elements