

含煤系统理论及其模式

李增学, 吕大炜, 周 静, 刘海燕, 王平丽, 魏久传, 余继峰

山东科技大学山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东青岛 2665100

摘 要: 通过对中国煤田地质特征的综合分析, 借鉴国外学者对“含煤系统”的界定和划分标志, 运用煤地质学及相关学科等多学科交叉的学术思路和综合的研究方法, 分析了含煤系统的主控因素, 提出了中国含煤系统的研究思路、构成要素, 建立了符合我国煤田地质特色的含煤系统模式, 即提出了含煤系统及其子系统的构成格架。“含煤系统”6 个子系统构成, 分别为煤系的地层格架子系统、煤层(群)形态子系统、煤变质及煤类子系统、赋煤区块子系统、煤层气(非常规)成藏子系统、煤系游离气成藏子系统。各子系统间具有密切的成生和制约关系。含煤系统的构建的总体思路是把煤地质学及相关学科的各个分支学科, 以及相关的学科内容置于统一的研究框架之下, 因此含煤系统实际上是组织、集成煤盆地(或煤田)各种地质信息的重要工具, 每个子系统都具有自身特色的、完整的研究内容和分析方法。本文还分析了每个子系统的构成要素。

关键词: 含煤系统; 子系统; 构成要素; 成藏; 煤系游离气

中图分类号: P618.11; P618.02 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.06.03

Theory and Model of Coal-bearing System

LI Zeng-xue, LÜ Da-wei, ZHOU Jing, LIU Hai-yan, WANG Ping-li, WEI Jiu-chuan, YU Ji-feng

Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral, Shandong Province, Qingdao, Shandong 266510

Abstract: In this paper, research ideas and components of the coal-bearing system in China were put forward, and a coal-bearing system model that fits coalfield characteristics in China was built, which is the main system and whose subsystems have been formed through a comprehensive analysis of the geological characteristics of coalfields in China, in consideration of the definition and division marks of the “coal-bearing system” abroad and by applying the interdisciplinary academic ideas related to coal geology and other relevant disciplines and comprehensive research methods. The “coal-bearing system” is composed of six subsystems, i.e., stratigraphic framework subsystem, coal seam (group) subsystem, coal metamorphism and coal types subsystem, block subsystem, coalbed gas (unconventionality) reservoir subsystem and coal free gas accumulation reservoir subsystem. There exist close genetic and restriction relations between them. The main idea is that each branch and related subject of coal geology are taken under the unified research framework, and the analytical method of the coal-bearing system is also an important tool for organizing and integrating various kinds of geological information concerning coal basin (or coalfield). Every subsystem has its special and integrated research contents and analytical means. In addition, this paper has discussed the primary research contents of the coal-bearing system.

Key words: coal-bearing system; subsystem; component; accumulation reservoir; free gas of coal-bearing succession

本文由国家自然科学基金项目(编号: 40872100)资助。

收稿日期: 2011-09-29; 改回日期: 2011-10-28。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 李增学, 男, 1954 年生。教授, 博士生导师。主要从事煤地质学、含煤地层地层学及能源勘查与评价的教学与研究工
作。E-mail: lizengxue@126.com。

我国煤地质工作者多年来进行煤地质研究,包括聚煤盆地构造、成煤环境、煤聚积规律与成煤作用模式等各个方面,提出了大量研究成果,不但丰富了煤地质学科的基础理论,而且为我国经济建设做出了卓越贡献(杨起等, 1979; 李思田等, 1992; 陈钟惠等, 1993; 尚冠雄, 1997; 刘焕杰等, 1997; 邵龙义, 1997; 陈世悦, 1999; 李思田, 1999; 中国煤田地质总局, 2001; 张鹏飞等, 2001; 张鹏飞, 2003; 李增学等, 2001, 2003; 吕大伟等, 2008)。我国煤地质理论在国际煤地质学界具有自己的特色(张泓等, 2010),特别是在层序地层学理论应用于煤地质研究和Diessel(1992)提出“海侵过程成煤模式”以来,煤地质研究呈现出新的发展趋势,成煤作用理论研究取得很大进展。现代煤地质学不断吸收盆地分析和层序地层的分析方法,如聚煤盆地的整体分析、含煤地层的精细对比、与煤系有关的天然气成藏研究等,使得煤地质学领域出现了新的景象。煤地质研究已经与沉积学、地层学、层序地层学等研究融为一体。几代煤地质工作者多年来坚持追踪与创新并举,提出了不同的成煤模式和理论,丰富和发展了煤地质学理论体系。特别是沉积体系分析的理论与方法,给古老的煤地质学研究带来了新的思路和方法。沉积体系的系统论和从三维空间追踪沉积体的思路,使得煤层作为一种特殊沉积体,其在一个沉积体系中的三维分布及其受整体水动力控制机制分析有了全新的概念。煤层的发育在整个沉积体系中成为关键,在分析煤聚积规律和聚煤盆地充填时、在进行层序及内部单元划分时,煤层或煤的聚积过程已经成为对比的钥匙。

在煤地质基础理论研究方面,我国学者提出了聚煤作用系统(coal accumulation system)论,认为“煤的聚集受多种因素的影响,这些因素既相互独立,又相互联系、相互制约,构成了一个复杂的聚煤作用系统,煤的聚集是聚煤作用整体作用的结果”,这是我国进行煤地质学有关“系统论”研究的首次,并推出了“聚煤盆地系统”、“煤层(煤层组)子系统”,对于聚煤作用研究和煤地质学的发展来说具有开创意义(中国煤田地质总局, 2001)。

我国学者赵忠新等(2002)也就“含煤系统”做过专门论述,认为含煤系统的基本要素有:物源、聚煤环境、地下热流。有关的成煤作用包括:泥炭的原地堆积-异地搬运作用、地壳旋回运动所引起的埋藏作用和成煤阶段的热变质作用。这些基本要素和成煤作用必须在时间空间上相配置,才有可能形成有

工业价值的煤层。“含煤系统”在时间上可以分为“物质来源子系统、物质堆积子系统、埋藏变质子系统”。在空间上可以分为若干低一级的与此含煤系统特征相似的含煤子系统。把“含煤系统”定义为一个自然系统,这个自然系统包括煤层、含煤岩系、含煤岩系的沉积相以及所有与煤形成有关的各种地质作用。

可以看出,上述有关“含煤系统”的定义和子系统构建及划分,实际上还是围绕着成煤作用过程,无论是“聚煤作用系统”还是“含煤系统”的构建,比较侧重于基础研究方面,因此还有不尽完善的地方。此外,对于生烃物质的热演化包括多次变化、变质以及多期成藏等,如含煤岩系的后期改造、保存、二次或多次受热过程、生烃与煤层气藏和煤系游离气藏形成等,在构建“含煤系统”时应着重考虑。

美国学者(Warwicket et al., 2005; Milicet et al., 2009)提出的“含煤系统(coal system, 也称煤系统)”的概念,一方面把煤地质学的各个分支学科置于统一的研究框架之下,从而弥补了煤地质学家通常仅对有限的煤地质领域(如含煤岩系的地层学、单纯的煤岩煤质研究和沉积学)感兴趣,以及系统性和完整性不足的缺陷,另一方面把“含煤系统分析方法”作为组织、集成煤盆地(煤田)各种地质信息的重要工具。Appalachian 煤盆地成煤系统(Milici, 2005)研究是一个成功的范例,相关学术思想与研究思路已经引起国内煤田地质界的关注。显然, Milici 等提出的“含煤系统”无论从理论模型还是从实际研究工作来看,都是相对比较科学和完整的。

需要指出的是,相对于地学其他分支学科而言,如地层学、沉积学、石油天然气地质学等,煤地质学的发展还是明显滞后于其他学科。特别是随着煤层气勘探开发技术的进步和煤系游离气地质研究的发展,煤地质学必须要与沉积学、天然气地质学、勘查地质学、计算机科学技术、测试技术等有关的学科和先进技术紧密结合,必须及时吸收相关学科的新思路和新理论。只有这样,才能使学科体系和理论得到发展,并有所开拓和创新。本文试图围绕着“含煤系统”的构建及其子系统的划分提出看法,以期对煤地质学基础理论的完善发挥一定的作用。

1 与含煤系统有关的几个概念

成煤作用与聚煤盆地、聚煤作用等重要概念都是含煤系统构建的基础概念。近年出现了比较多煤

表 1 几个与含煤系统有关的概念
Table 1 Concepts related to the coal-bearing system

名称	概念	属性
聚煤盆地	地史上发生聚煤作用的沉积盆地, 是沉积盆地的一个特殊类型, 具有特定的发育与演化历史。可以说, 没有聚煤盆地就没有煤的形成。在石炭-二叠纪聚煤时期华北属于同一聚煤盆地	原型盆地, 即与聚煤作用同期的沉积盆地
含煤盆地	地史上发生聚煤作用的盆地经后期形变和长期的剥蚀作用后含煤煤系、煤层保存的区块或地区。就同一个时代的含煤地层赋存而言, 含煤盆地一般面积都小于聚煤盆地	原型盆地或经成煤期后被构造活动改造后的“构造盆地”
煤层气盆地	是含煤盆地的一个特殊类型, 即指聚煤盆地由于其后期形变和长期的剥蚀作用后仍赋存有含煤岩系、煤层保存的区块或地区, 且富集有工业价值煤层气藏的含煤盆地	同含煤盆地
含煤系统	一个形成煤层、煤系、煤的共伴生矿产及其保存、成藏的自然系统。从物质供给、成煤与成矿、成藏, 在时空间上表现为由若干个具有一定形态的“实体”组成的复杂系统, 可以划分出若干个子系统	涵盖聚煤盆地和含煤盆地、含煤层气盆地, 为一个复杂的分析系统

地质学的基础理论和新概念, 一方面丰富了煤地质学理论, 但也出现了一些概念理解上的混乱。对聚煤盆地、含煤盆地、煤层气盆地、含煤系统几个重要概念的涵义及理解尚不尽统一, 而这些概念又是构建“含煤系统”的重要理论基础(表 1)。鉴于对“煤型气”和“煤成气”两个概念在石油地质领域和煤炭地质领域理解上的差异, 本文采用“煤系游离气”这个目前在国家重大专项中使用的概念, 即指以煤系和煤层为主要源岩、在煤层以外的其他储集层聚集而成藏的天然气。

如对“煤层气盆地”的理解, 比较一致的看法是“煤层气盆地”是具有工业价值煤层气藏形成和保存条件的含煤盆地(赵靖舟等, 2008; 宋立军等, 2009)。但从广义上讲, 只要现今含有煤层的盆地均含有煤层气, 因此, 含煤层气盆地一定是含煤盆地(李增学等, 2005), 但从成藏的角度看, 只有具备形成煤层气藏条件的含煤盆地才是煤层气盆地(张建博, 2000; 桂宝林, 2004)。这两种说法并不矛盾, “藏”的概念是相对的, 是随着研究程度和开发技术的进展而改变的, 现在认为不具有“成藏”价值的, 可能在未来的开发中被认为是价值很大的“矿藏”。总的来看, “煤层气盆地”即为聚煤盆地经后期构造变形、埋藏和深部热的作用, 控制着现今煤层的分布、厚度、沉降, 控制着煤层气生成过程, 也控制了煤层气的运移、聚集、保存特征, 从而也控制着煤层气藏赋存的地质条件(赵庆波等, 1997; 秦勇, 2003)。经历不同形式改造的“煤层气盆地”, 具有不同的构造变形特征、埋藏深度和热历史, 决定其具有不同类型的煤资源规模、煤化作用史、煤储层物性和煤保存条件, 因而具有不同的煤层气藏赋存条件与富集程度。

再如“含煤盆地”, 是与“聚煤盆地”是具有根本区别的重要概念。在这两个概念中, 要比“含

油气盆地”的概念要清晰地多。聚煤盆地经后期改造使煤层或部分煤层以盆地的形式保存下来就成为含煤盆地。不同地区、时代的聚煤盆地因后期改造期次、改造作用与程度的差异, 使保存下来的含煤盆地改造程度不一、改造特征与样式也截然不同, 造成了含煤盆地既包括原始的受到较少后期改造作用的类似聚煤盆地的含煤沉积盆地, 也包括由于后期构造变动和剥蚀作用而被分割的、边界条件复杂的含煤区块(李增学等, 2005; 赵靖舟等, 2008; 王登红等, 2011)。大多数聚煤盆地经历了多期次后期构造热事件的叠加改造过程, 聚煤期后经多期次叠加改造形成现今的含煤盆地, 即现今含煤盆地控制着现今煤层的分布, 从而也控制着煤层气赋存的地质条件、控制着煤层气的成藏(赵庆波等, 1997; 张建博, 2000; 秦勇, 2003; 桂宝林, 2004; 李增学等, 2005; 沈玉林等, 2007; 赵靖舟等, 2008; 张素梅等, 2008)。

Milici 等(2009)将“含煤系统”界定为形成史相同或相近的几个煤层或煤层群, 他认为划分或定义含煤系统的标志主要有: ①古泥炭堆积的原始特征; ②煤系的地层格架; ③主要地层组的煤层丰度; ④与古泥炭堆积的地质和古气候条件相关的煤中硫含量及其差异性; ⑤煤的变质程度或煤级。Milici 等提出的“含煤系统”的 5 个重要标志是以“地层格架”和“煤层或煤层群”为核心, 具有一定的局限性。

2 含煤系统的构成

2.1 含煤系统及子系统构建的基本思路

含煤系统研究所涉及的内容非常广泛, 特别是在煤层气藏研究、煤系游离气藏研究成为热点以来, 煤地质研究不再是单纯的成煤作用及环境、聚煤盆地及煤聚积规律研究了, 而是一种综合性的研究, 是与煤地质学有关的各学科之间进行协同研究的系

统过程。因此,构建含煤系统,必须克服以往煤田地质研究、勘探与煤炭开发等的单一性缺陷。

构建含煤系统及各子系统必须紧密结合煤田地质特征、煤系与煤层的形成过程及机制、成煤作用及与煤系、煤层热演化伴生的各种资源形成特点,并借鉴国外对含煤系统及有关概念的界定和划分标志,运用煤地质学及相关学科等多学科交叉的学术思路和综合的研究方法,提出具有实际意义的系统格架。

成煤的所有地质作用(包括物质形成、物质聚积、构造和热的事件等)理论是构建含煤系统的基础,而最终形成的实体(如煤系、煤层、天然气等)是构建含煤系统及其子系统的依据。因此,需要从时空角度理顺关系。这是本次构建含煤系统及其研究内容、方法的基本思路。

2.2 含煤系统各子系统的构建(界定)原则

所谓子系统,应该被界定为能够相对独立地成为一个研究系统,可以解决含煤系统中一项关键科学或技术问题。即是说,在一个地区或含煤区块,如果其他条件不具备而不能全方位开展含煤系统研究,则可以独立开展某一子系统的研究。

研究含煤系统的构建和子系统的划分,主要考虑了以下几个重要因素(或称“主导因素”):

2.2.1 聚煤盆地的形成、发育与演化

聚煤盆地形成需要特殊的构造背景,以及控制聚煤盆地充填演化的构造格架。其中植物演化及泥炭形成是物质基础、盆地演化过程中的成煤作用及煤聚积是盆地充填的重要事件;含煤沉积形成了独特的地层格架。这些都离不开聚煤盆地的完整的形成、演化直至最终消亡的过程。

2.2.2 构造控煤及煤层保存机制

聚煤盆地的形成与演化,奠定了成矿、成藏的基础,但煤系、煤层的演化并没有因原始沉积盆地的终结而结束。因此,有聚煤作用发生,不一定最终形成煤系与煤层,还必须有构造的持续作用及各种地质作用的配合,其中从泥炭堆积与埋藏到煤的变质最终形成各种变质的煤,多是继聚煤盆地充填之后所发生的重要事件。因此,煤的变质程度及其差异性基本上是受控煤构造及成煤期后各种地质事件(如岩浆侵入及热异常)的控制。

2.2.3 煤系热演化与天然气成藏

煤系与煤层的形成与保存是一个极其复杂的地质过程,地球深部热的作用,不单形成各种变质程度的煤,同时煤的伴生物质也相继形成,如煤系天然气的形成,包括最终保存于煤层中的、以吸附气

为主的煤层气,从煤层、煤系中排出而保存于煤层以外的储集体中的游离气。形成了独具特色的天然气藏。

以上因素虽然构成了划分含煤系统各子系统的主要依据(基础理论依据),但是,各种因素的作用不是独立进行的,其间具有密切的成生联系。因此,控制因素之间并没有截然的界线,应是一种交叉或叠置关系。

从时间与空间上划分子系统是两个具有不同性质的问题,时间上主要考虑的是形成煤的物质形成、演化和保存的过程特点,具有时间的持续性和继承性,其理论性较为突出些;空间上主要考虑形成煤的物质的存在型式和状态,各子系统之间既有相关性和相互制约性,而又使其具有相互独立性和实用性。子系统的研究要重点考虑空间特点,即作为实体的子系统特征属性。

遵循上述原则,构建了含煤系统及其子系统。在子系统构建的基础上进一步分析了其构成要素,以期更精细地描述子系统的内涵及特点。各子系统构成要素的界定较子系统更困难些,因为其间的关联和交叉更多、更紧密。但是,只要理出一条主线,即时空关系和主要地质事件,就可以根据属性特点,进行比较明确的界定。实际上,各种要素也具有其独特的属性特点。总之,含煤系统的构建的目的是试图把煤地质学及相关学科的各个分支学科,以及相关的学科内容置于统一的研究框架之下,并使其成为组织、集成煤盆地(或煤田)各种地质信息的重要工具。

根据上述的思路与原则,初步建立了符合我国煤田地质特色的含煤系统模式,即“含煤系统”主系统、子系统。“含煤系统”由6个子系统构成(图1)。

3 含煤系统各子系统的基本属性特点

子系统的构建实际上是贯穿一条主线,即物质形成、保存、成藏,这三者之间的分界点应该还是比较清楚的,即成煤期、期后改造、煤层气和煤系游离气最终成藏。虽然与煤系煤层有关的天然气的生成自泥炭堆积、成岩时就开始了,但是最终成藏还是以成煤期后的地质事件为主。煤层(群)的形成虽然在聚煤盆地形成、演化过程中就基本完成了,但是各种煤类的形成,主要在成煤期后的各种地质作用过程实现,如煤系被埋藏到地下深处、岩浆侵入的影响等。

含煤系统的形成是各种因素和各种地质作用综

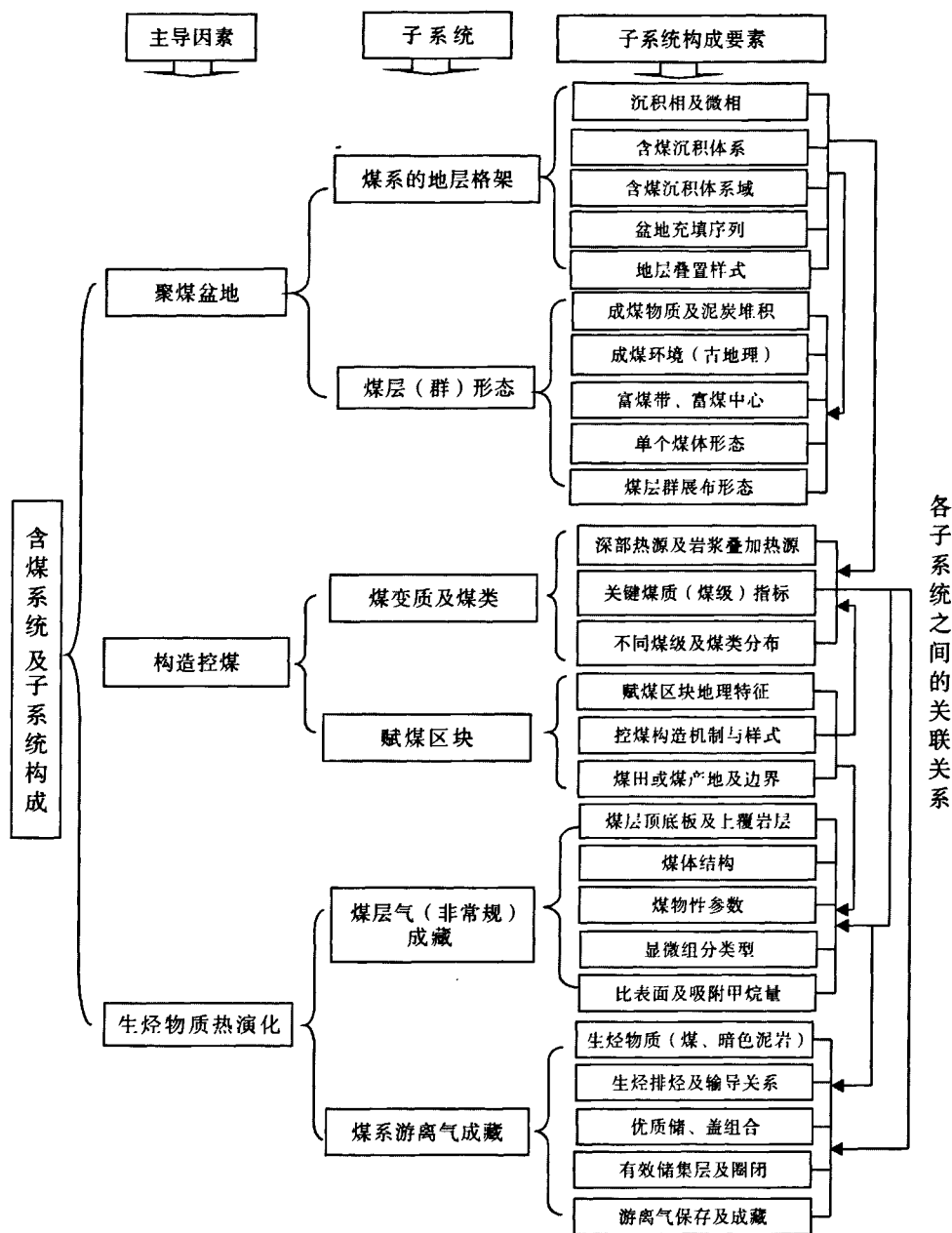


图1 含煤系统子系统构成框架图(空间格架)

Fig. 1 Constitutional frame-chart of the coal-bearing subsystem (space lattice frame)

合影响的结果,在时间上具有成因上的转化关系,因此,可以用煤地质学及(煤系)天然气成藏的理论进行解释(图2)。

3.1 煤系的地层格架子系统

煤系的地层格架是指聚煤盆地的内部含煤地层单元的几何形态及其叠置形式,是由组成聚煤盆地的岩性地层单元的形态和相互关系所决定的。煤系的地层格架是反映聚煤盆地充填沉积特征与盆地演化阶段最直接、最重要的实体,也是构建“含煤系统”的基础。盆地的地层格架的研究实际上是聚煤

盆地充填过程的研究,没有聚煤盆地的发育就不可能有后来的生烃与成藏。

自从层序地层学理论与分析方法提出以来,地层格架的建立则是基于层序划分的结果,因此,沉积相及微相和含煤沉积体系的分析也是在统一的层序地层格架内进行,而含煤沉积体系域也是用层序地层学所建立的一套概念体系,如低水位体系域、海侵体系域、高水位体系域等,不同体系域具有不同的成煤作用特点,可以指导煤层(群)形成与展布的研究。

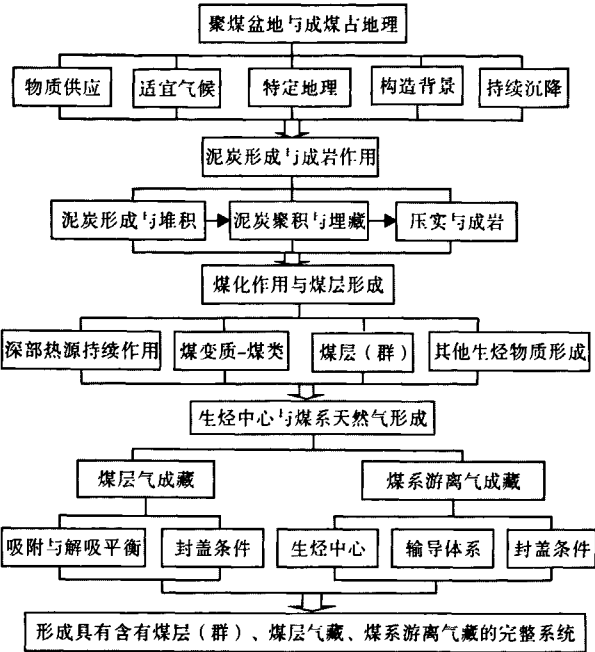


图 2 含煤系统形成的时间转化关系框架图(理论构架)
Fig. 2 Transformation relationship block diagram of the formation time of the coal-bearing system (theoretical framework)

一个聚煤盆地形成一套完整的含煤盆地充填序列, 一般是一个大的构造层序。相、沉积体系、沉积体系域及其内部的地层单元, 具有特殊的地层叠置样式。

3.2 煤层(群)形态子系统

在含煤系统总体框架中, 最主要的是把泥炭堆积的原始特征及机制搞清楚, 如聚煤作用中是原地堆积还是异地堆积机制占优势, 在查清煤层与煤系形成及在地壳中的空间展布特征的基础上(如煤层厚度、空间展布、几何形态等)。

研究一个聚煤盆地在其发育、演化直至消亡过程中煤的聚积规律, 查明煤层(群)的展布特点, 特别是查明富煤带和富煤中心的分布, 即能够定量地描述单个煤体形态、煤层群展布形态特点, 进而进行煤炭资源预测与评价, 是煤田地质工作者的最核心的任务。这是一项在煤地质领域很早就开展的研究工作。实际上, 该子系统研究始终贯穿着一条主线, 就是“聚煤作用”的系统研究(图 3)。

聚煤作用研究解决的科学问题主要有两个, 一是泥炭形成、堆积与埋藏机制; 二是聚煤的相带形成、分布、演化, 主要聚积带或中心的形成机制等。重点研究的内容是泥炭沼泽水介质性质、泥炭沼泽的属性特征、泥炭堆积与基底持续沉降平衡关系、泥炭化作用或腐泥化作用最终形成泥炭或腐泥的物理化学过程、适宜的异地泥炭聚积地理条件、泥炭

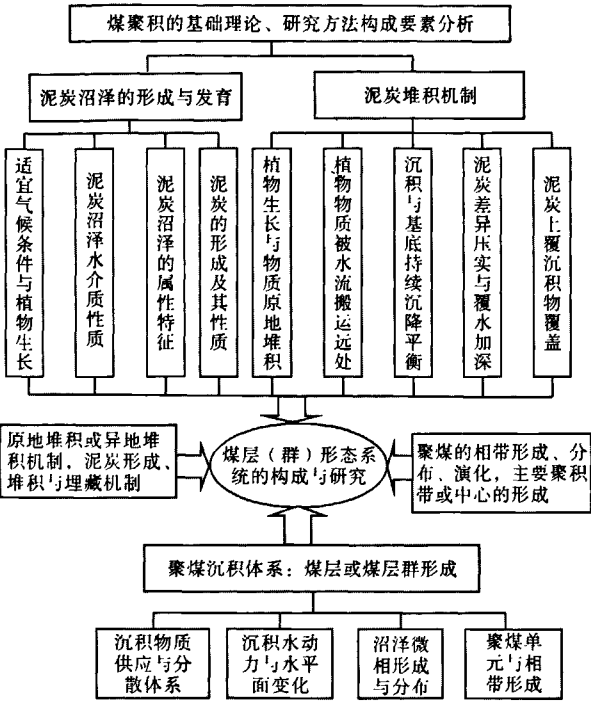


图 3 煤层(群)子系统研究内容框图
Fig. 3 Research content block diagram of coalbeds (groups) subsystem

形成期后的上覆沉积盖层的形成机制, 以及泥炭差异压实与覆水加深过程等。控制因素主要有沉积物质供应与分散体系特征、沼泽或泥炭堆积地带的沉积水动力与水平面变化、沼泽微相形成与分布、聚煤单元与相带形成等。泥炭的埋藏与保存为后来的成岩与煤化作用创造了条件。

一个聚煤盆地是否有利于聚煤、是否聚积足够厚的泥炭(最终形成煤), 取决于聚煤盆地古构造与古地理条件。聚煤盆地古地理格局重点研究的内容是聚煤盆地古基准面变化、聚煤盆地古坡折带迁移、盆地中心与沉积充填中心、隆起带与盆内次级隆起分布等。聚煤盆地发育与演化的最终结果是能够形成足够厚度的煤层、煤系, 并且具有空间分布范围的聚煤带和中心。

3.3 煤变质及煤类形成子系统

煤的形成有一个很复杂的过程, 尽管在聚煤盆地的演化过程中, 泥炭逐步处于地下深处而发生压实、成岩, 甚至区域热力变质作用, 但是, 形成不同煤类主要是在成煤期后的各种地质作用过程中完成的。温度是煤变质及形成不同煤类的最关键因素, 因此深部热源及岩浆叠加热源是煤的变质作用主要条件和动力。煤变质与煤类研究可以独立开展, 直接服务于国家和社会经济建设。有关不同煤田或含煤区块的煤的变质作用研究, 在我国开展较早, 且有大量成果, 这是煤炭资源评价的基础和依据, 也

是煤层气、煤系游离气资源评价的基础。其关键内容是评价煤质(煤级)的各类指标,特别是挥发分、硫分、灰分、镜质体反射率等指标;关键任务是查明不同煤级及煤类的空间分布。

3.4 赋煤区块子系统

赋煤区块子系统的主要研究内容和任务是查明赋煤区块的各种地质条件,包括地理的和地质的两个方面,是含煤系统中评价影响煤层(群)、煤的共生矿产(如煤层气、煤系游离气、微量元素、铝土岩及黏土岩等)勘探、开发的基本因素或条件的子系统。中国的煤田地质条件是非常复杂的,特别是构造条件具有典型的构造控煤和“构造煤”十分发育的特点,因此,该子系统对于含煤系统来说,起支持和支撑其他子系统的作用。研究的关键内容包括赋煤区块的地理特征、控煤构造机制与样式,以及煤田或煤产地及边界条件、水文地质条件等。

3.5 煤层气(非常规)成藏子系统

煤层气是非常规天然气,是煤层生成的气经运移、扩散后的剩余量,包括煤层颗粒基质表面吸附气、割理、裂隙游离气,煤层水中溶解气和煤层之间薄砂岩、碳酸盐岩等储层夹层间的游离气。煤层气是一种由煤层自生自储的非常规气藏。自20世纪80年代以来,一直是国内外研究、勘探与开发的热点。国外提出了“煤层气系统”(Ayers, 2002),形成了独具特色的非常规天然气系统。在“含煤系统”中,煤层气成藏子系统具有鲜明的特色,即与煤层(群)伴生在一起的天然气矿产,其赋存特点与机制完全不同于常规天然气藏。因此,其研究离不开煤层(群)的研究。作为一个子系统,其内容主要包括煤层顶底板及上覆岩层、煤体结构、煤物性参数、显微组分类型、比表面及吸附甲烷量等的研究。

在生烃过程研究中,应该紧密结合煤层(群)的煤化作用研究,主要包括地下热源的持续作用特点,如古地温梯度的变化、岩浆热源的叠加等。煤化作用的持续进行最终导致生烃、排烃。因此,煤层气成藏子系统煤岩与煤化学特征、生成生物气与热成因气以及液态烃的潜力分析,是非常重要的。

3.6 煤系游离气成藏子系统

上文已提到,煤层气只是煤层形成过程中的气经运移、扩散后的剩余量,而大部分经过了运移和扩散,或者在构造抬升、含煤地层被剥蚀过程中遗失掉,或者运移到煤系中、或煤系以外的其他储集空间中。另外,煤系中除煤层是生烃物质外,还有炭质泥岩和页岩、暗色泥岩等,都可能在煤系热演化过程中产生大量天然气。煤系游离气的聚集成藏过

程可能与常规石油天然气具有相似的机理,因此,可以应用石油天然气的生、储、盖、圈、运、保,以及成藏机制进行研究。不可否认,煤系游离气是与聚煤盆地、煤层(群)、煤变质作用等密不可分的,是构成含煤系统的主要组成部分。该子系统的核心内容包括生烃排烃及输导关系、优质储、盖组合、有效储集层及圈闭,以及煤系中的生烃物质类型及生烃贡献等。

4 结论

随着能源地质科学的发展,含煤系统解决不单是煤炭资源的勘查、评价与开采等问题,对于含煤盆地有关的煤层气、页岩气、煤系游离气、煤中微量元素(如锗、镓等)的评价等,都是含煤系统的重要内容。因此,含煤系统应特别加强聚煤盆地、成煤期后的构造作用、含煤地层上覆的沉积封盖条件等的研究,以及地球深部热体制、天然气成藏等重大科学问题的研究。本文在前人研究基础上初步构建出了“含煤系统”,及其子系统。

(1)提出了“含煤系统”及子系统构建的基本思路,即成煤的所有地质作用(包括物质形成、物质聚积、构造和热的事件等)理论是构建含煤系统的基础,而最终形成的实体(如煤系、煤层、天然气等)是构建含煤系统及其子系统的依据。因此,需要从时、空角度理顺关系。

(2)提出了“含煤系统”各子系统的构建(界定)原则,即子系统能够相对独立地成为一个研究系统,可以解决含煤系统中一项关键科学或技术问题。即是说,在一个地区或含煤区块,如果其他条件不具备而不能全方位开展含煤系统研究,则可以独立开展某一子系统的研究。

(3)构建了含煤系统及子系统,“含煤系统”共有6个子系统组成,即煤系的地层格架子系统、煤层(群)形态子系统、煤变质及煤类子系统、赋煤区块子系统、煤层气(非常规)成藏子系统和煤系游离气成藏子系统。并对各子系统构成要素进行了讨论。使煤地质学及相关学科与煤、煤层气、煤系游离气、煤的共生其他矿产评价紧密联系的各个分支学科,以及有关的技术内容置于统一的研究框架之下,同时,“含煤系统”的分析方法也就成为了组织、集成煤盆地(或煤田)各种地质信息的重要工具。

前人虽然提出了“含煤系统”的概念和划分或界定标志,但没有提出一个清晰的构架模型。本文就“含煤系统”的主系统及其子系统的构建进行了探讨,但还是比较初步的、或探讨式的,以期抛砖引

玉,完善和进一步发展“含煤系统”研究成果。

参考文献:

- 陈世悦,刘焕杰. 1999. 华北石炭-二叠纪层序地层格架及其特征[J]. 沉积学报, 17(1): 63-70.
- 陈钟惠,武法东,张守良,张年茂,马晋贤,葛立刚. 1993. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 桂宝林. 2004. 煤层气勘探目标评价方法——以滇东黔西地区为例[J]. 天然气工业, 24(5): 33-35.
- 李思田,李桢,林畅松,杨士恭,解习农. 1992. 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题[J]. 煤田地质与勘探, 21(4): 1-9.
- 李思田. 1999. 盆地分析与煤地质学研究[J]. 地学前缘, 6(增刊): 133-138.
- 李增学,魏久传,韩美莲. 2001. 海侵事件成煤作用——一种新的聚煤模式[J]. 地球科学进展, 16(1): 120-124.
- 李增学,余继峰,郭建斌,韩美莲. 2003. 陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析[J]. 沉积学报, 21(2): 288-297.
- 李增学,余继峰,王明镇,张新民,郭建斌. 2005. 沁水盆地煤地质与煤层气聚集单元特征研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 24(1): 8-14.
- 刘焕杰,桑树勋,施健. 1997. 成煤环境的比较沉积学研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社.
- 吕大伟,梁吉坡,李增学,王薇,吴立荣,张义江,郭建斌,宋洪柱. 2008. 单县矿区高分辨率层序地层及成煤作用研究[J]. 地球学报, 29(5): 633-638.
- 秦勇. 2003. 中国煤层气地质研究进展与述评[J]. 高校地质学报, 9(3): 339-358.
- 尚冠雄. 1997. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原: 山西科学技术出版社: 91-188.
- 邵龙义. 1997. 湘中早石炭世沉积学及层序地层学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社: 97-115.
- 沈玉林,郭英海,李壮福,孙粉锦. 2007. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报, 28(1): 72-78.
- 宋立军,赵靖舟. 2009. 中国煤层气盆地改造作用及其类型分析[J]. 地质学报, 83(6): 868-874.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,陈郑辉,沈保丰,汤中立,裴荣富. 2011. 成矿体系的研究进展及其在成矿预测中的应用[J]. 地球学报, 32(4): 385-395.
- 杨起,韩德馨. 1979. 中国煤田地质学(上册, 煤田地质基础理论)[M]. 北京: 煤炭工业出版社.
- 张泓,张群,曹代勇,李小彦,李贵红,黄文辉,冯宏,靳德武,张子敏,贾建称,石智军,邵龙义,程建远,汤达桢,姜在炳. 2010. 中国煤田地质学的现状与发展战略[J]. 地球科学进展, 25(4): 343-352.
- 张建博. 2000. 中国煤层气地质[M]. 北京: 地质出版社.
- 张鹏飞,邵龙义,代世峰. 2001. 华北地台晚古生代海侵模式建议[J]. 古地理学报, 3(1): 15-24.

- 张鹏飞. 2003. 含煤岩系沉积学研究的几点思考[J]. 沉积学报, 21(1): 125-136.
- 张素梅,李增学,李伟,王立峰,张玉林,王对兴,刘海燕. 2008. 山东黄河北煤田石炭-二叠系太原组地层沉积特征[J]. 地球学报, 29(4): 414-426.
- 赵靖舟,宋立军,时保宏. 2008. 中国大陆区煤层气盆地划分原则与方案探讨[J]. 地质学报, 82(10): 1402-1407.
- 赵庆波,李五忠,孙粉锦. 1997. 中国煤层气分布特征及高产富集因素[J]. 石油学报, 18(4): 1-6.
- 赵忠新,王华,甘华军,韩晋阳. 2002. 含煤系统[J]. 煤田地质与勘探, 30(2): 12-15.
- 中国煤田地质总局著. 2001. 中国聚煤作用系统分析[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社.

References:

- AYERS W B J. 2002. Coabeb gas syetems, reservirs, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basin[J]. AAPG Bulletin, 86(11): 1853-1890.
- CHEN Shi-yue, LIU Huan-jie. 1999. Sequence Stratigraphic Framework and Its Characteristics of the Carboniferous-Permian in North China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 17(1): 63-70(in Chinese with English abstract).
- CHEN Zhong-hui, WU Fa-dong, ZHANG Shou-liang, ZHANG Nian-mao, MA Jin-xian, GE Li-gang. 1993. Sedimentary environment and coal-accumulation law of coal-bearing strata of the Late Paleozoic, North China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese with English abstract).
- China Coalfield Administration. 2001. China coal-accumulating processes system analysis[M]. Xunzhou: China Mining Industry Press: 1-341(in Chinese with English abstract).
- DIESSEL C F K. 1992. Coal-bearing depositional systems-coal facies and depositional environments: 8-coal formation and sequence stratigraphy[M]. New York: Springer-Verlag: 461-514.
- GUI Bao-lin. 2004. Exploration Target Evaluation of Coalbed Methane in East Yunnan--West Guixhou Region[J]. Natural Gas Industry, 24(5): 33-35(in Chinese with English abstract).
- LI Si-tian, LI Zhen, LIN Chang-song, YANG Shi-gong, XIE Xi-nong. 1992. Some fundamental problems about sequence stratigraphic analysis of coal basin[J]. Coal Geology & Exploration, 21(4): 1-9(in Chinese with English abstract).
- LI Si-tian. 1999. Basin analysis and some new studies of coal geology[J]. Earth Science Frontiers, 6(Suppl): 133-138(in Chinese with English abstract).
- LI Zeng-xue, WEI Jiu-chuan, HAN Mei-lian. 2001. Coal Formation in Transgressive events- A New Pattern of Coal Accumulation[J]. Advance in Earth Sciences, 16(1): 120-124(in Chinese with English abstract).
- LI Zeng-xue, YU Ji-feng, GUO Jian-bin, HAN Mei-lian. 2003.

- Analysis on Coal Formation under Transgression Events and Its Mechanism in Epicontinental Sea Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(2): 288-297(in Chinese with English abstract).
- LI Zeng-xue, YU Ji-feng, WANG Ming-zhen, ZHANG Xin-min, GUO Jian-bin. 2005. Research on the Coal Geology and Characteristics of Coalbed Methane Accumulation Units in Qinshui Basin[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 24(1): 8-14(in Chinese with English abstract).
- LIU Huan-jie, SANG Shu-xun, SHI Jian. 1997. Comparative sedimentology research on coal-forming environments[M]. Xuzhou: China Mining Industry Press(in Chinese with English abstract).
- LÜ Da-wei, LIANG Ji-po, LI Zeng-xue, WANG Wei, WU Li-rong, ZHANG Yi-jiang, GUO Jian-bin, SONG Hong-zhu. 2008. A Study of High-resolution Sequence Stratigraphic Characteristics and Coal Accumulation in Upper Paleozoic Strata of the Shanxian Coalfield[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(5): 633-638(in Chinese with English abstract).
- MILICI R C, WARWICK P D, CECIL C B. 2009. Coal system analysis: A new approach to the understanding of coal formation, coal quality, environmental considerations, and coal as a source rock for hydrocarbon[EB/OL]. http://gsa.confex.com/gsa/2001AM/finalprogram/session_596.htm.
- MILICI R C. 2005. Appalachian coal assessment: Defining the coal systems of the Appalachian Basin[M]//Warwick P D. *Coal Systems Analysis: Geological Society of America Special Paper*, 387: 9-30.
- QIN Yong. 2003. Advances and Reviews on research of Coalbed Gas Geology in China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 9(3): 339-358(in Chinese with English abstract).
- SHANG Guan-xiong. 1997. Coal geology of the Late Paleozoic of North China[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press: 91-188(in Chinese with English abstract).
- SHAO Long-yi. 1997. Sedimentology and sequence stratigraphy of the early Carboniferous[M]. Xuzhou: China Mining Industry Press: 97-115(in Chinese with English abstract).
- SHEN Yu-lin, GUO Ying-ha, LI Zhuang-fu, SUI Fen-jin. 2007. Sequence Stratigraphy Study of the Upper Paleozoic of the Suligemiao Oil and Gas-bearing Area, North Ordos Basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(1): 72-78(in Chinese with English abstract).
- SONG Li-jun, ZHAO Jing-zhou. 2009. Alteration of Coalbed Methane Basin in China and Their Classification[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(6): 868-874(in Chinese with English abstract).
- stract).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang, CHEN Zheng-hui, SHEN Bao-feng, TANG Zhong-li, PEI Rong-fu. 2011. Advance in the Study of Mineralization System and Its Application to Assessment of Mineral Resources[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 32(4): 385-395(in Chinese with English abstract).
- WARWICK P D, MILICI R C. 2005. *Coal Systems Analysis: Geological Society of America Special Paper 387*[M]. Colorado: GSA Inc.
- YANG Qi, HAN De-qing. 1979. Coal geology of China (Vol. 1, Basic coal geological theory)[M]. Beijing: Coal Industry Press(in Chinese).
- ZHANG Hong, ZHANG Qun, CAO Dai-yong, LI Xiao-yan, LI Gui-hong, HUANG Wen-hui, FENG Hong, JIN De-wu, ZHANG Zi-min, JIA Jian-cheng, SHI Zhi-jun, SHAO Long-yi, CHENG Jian-yuan, TANG Da-zhen, JIANG Zai-bing. 2010. Status and Development Strategy of Coal Geology in China[J]. *Advances in Earth Science*, 25(4): 343-352(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jian-bo. 2000. Chinese Coalbed methane geology[M]. Beijing: Geology Publishing House(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Peng-fei, SHAO Long-yi, DAI Shi-feng. 2001. Discussions on the transgression model of the Late Palaeozoic in the North China Platform[J]. *Journal of Palaeogeography*, 3(1): 15-24(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Peng-fei. 2003. Some Considerations on Coal Measures Sedimentology[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(1): 125-136(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Su-mei, LI Zeng-xue, LI Wei, WANG Li-feng, ZHANG Yu-lin, WANG Dui-xing, LIU Hai-yan. 2008. Depositional Characteristics of Carboniferous-Permian Taiyuan Formation in Huanghebei Coalfield, Shandong Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(4): 414-426(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Jing-zhou, SONG Li-jun, SHI Bao-hong. 2008. Divisional Principles and Projects of Coalbed Methane Basin in Mainland China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(10): 1402-1407(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Qing-bo, LI Wu-zhong, SUN Fen-jin. 1997. Distribution and Accumulation Regularity for Coalbed Methane in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 18(4): 1-6(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhong-xin, WANG Hua, GAN Hua-jun, HAN Jin-yang. 2002. Coal System[J]. *Coal Geology & Exploration*, 30(2): 12-15(in Chinese with English abstract).