含煤地层层序地层学研究进展与展望

张　锐[1]，梁义军[2]，周常顺[2]
（1.中国地质大学，湖北 武汉　430074；
2.内蒙古自治区地质工程有限责任公司）

摘　要：论述了煤层在层序地层格架中的形成与分布规律；各种层序地层模式和新的成煤理论。笔者强调了煤层在层序地层划分中的重要意义；认为应加强陆相冲积体系中煤层的等时性研究。

关键词：含煤地层；层序地层学；煤层的等时性；新进展与展望；

层序地层学从1988年正式提出以来，对全球地学领域及相关领域产生了重要影响，已经发展成为油气勘探及科学研究领域的一种强大的、具有预查功能的相分析手段[1]。而我国层序地层学研究也从90年代初期开始得以全面开展，在陆相和海相含煤地层的沉积学研究中取得了大量的成果。含煤盆地充填沉积的层序地层分析是层序地层学分析体系中的重要组成部分，近10余年来取得大量成果，特别是陆表海聚盆地的层序地层学模式已基本成熟[2]，陆相聚煤盆地的层序地层分析理论与模式也在逐步形成中。（李思田等，1992，1993；邵龙义和张鹏飞等，1993；李增学等，1996）

1　煤层的形成与分布规律

层序地层学近些年来首先在近海盆地含煤岩系中得到了广泛应用，对于煤层在层序地层格架中的发育和分布特征有了进一步的认识[3]。

Bohacs 和 Suter（1997）参考Cross（1988）的理论指出：煤形成和保存的主要控制因素是可容空间的变化速率与泥炭堆积速率之间的关系。

1.1　在低位域时期，可容空间的增长速率较大，并超过泥炭堆积速率，所以泥炭不会在水平方向上扩展，因此形成的煤层厚度不大，但连续性好。

1.2　在低位域晚期和海侵体系域的早期，可容空间增长速率不断增大，使得泥炭在垂向上充分堆积。因

[参考文献]

[1] 李传亮.多孔介质的有效应力及其应用研究[D].合肥：中国科技大学，2000.
[2] 李道品.低渗透砂岩油田开发[M].北京：石油工业出版社，1997：10～15.
[3] Jacob Bear 著，李竞生，陈崇希译.多孔介质流体动力学[M].北京：中国建筑工业出版社，1982.
[4] 刘卫东，姚同玉，刘先贵等.表面活性剂体系渗吸[M].北京：石油工业出版社，2007.
[5] Boit，M. A.. General theory of three－dimensional consolidation[J]. J. Appl. Phys，1941，12(2)：155～164.
[6] 黄延章.低渗透油藏渗流机理研究[M].北京：石油工业出版社，1998：102～125.
[7] 刘建军，刘先贵.有效压力对低渗透多孔介质孔隙度、渗透率的影响[J].地质力学学报，2001，7(1)：41～44.

Fluid－solid coupling effect in low permeability rocks and its application

Abstract：The low permeability Sha III8 formation of Yi 37 of Bonan oilfield is used to study the fluid－solid coupling effect and its effect to the development of low permeability reservoir. The experiment of permeability measurement at the continuous confining pressure showed that the permeability decreases continuously with the confining pressure increases. During this process，the core changes from viscoelastic strain to deformation behavior between which there is a critical point. The effect of fluid－solid coupling to Bonan oilfield during reservoir development is analyzed，which is useful for adjusting layer series of development.

Key words：Fluid－solid Coupling Effect；Viscoelastic Strain；Deformation Behavior；Development Layers

收稿日期：2008－11－12

作者简介：张锐（1983－），男，硕士研究生，现就读于中国地质大学（武汉）资源学院海洋地质专业，从事层序地层学与聚煤规律研究。

此形成的煤层厚度大，但连续性差。

1.3 在海侵体系域的中期，可容空间的增长速率超过了泥炭增长速率，泥炭沼泽被水淹没，能够保存的泥炭减少。可能在降雨量较大的时候，有一些泥炭堆积。所以这个时期形成的煤层厚度小，不连续。

1.4 在海侵体系域的晚期和高位域的早期，首先形成孤立的厚煤层随后则是连续性较好的煤层形成[3]。

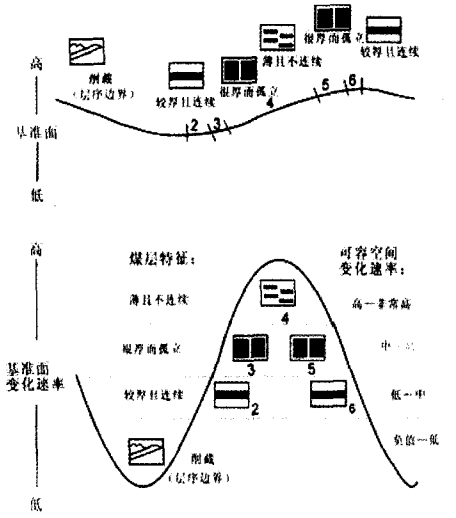


图1 煤层几何特征预测模式图（据Bohacs 和 Suter，1997）

与海相含煤盆地不同，陆相含煤盆地中厚煤层在层序格架内的发育具有多样性。在古隆起和盆地内部，厚煤层常靠近初始湖泛面发育；在盆地边缘河流—三角洲平原，厚煤层常靠近最大湖泛面发育（图2）。总体来看，陆相含煤盆地三级层序中，湖侵体系域聚煤最好[4]。

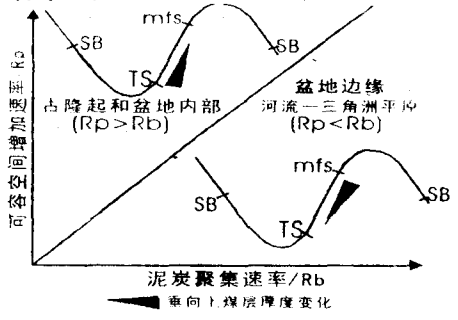


图2 层序格架内煤层厚度变化规律（据鲁静等，2007）

2 海侵过程成煤与海侵事件成煤

Diessel（1992）首次将Exxon公司层序地层学模型与聚煤规律分析结合起来，在边缘海盆地聚煤作用分析成果的基础上提出海侵过程成煤模式，这一成果对于古老的煤田地质学一大理论贡献。这一理论的核心是：边缘海盆地在随海水侵进的过程中，成煤作用在已经土壤化的滨岸地带发生，并逐渐向陆上迁移。滨岸地带暴露土壤化被侵进的水体滋润成为沼泽，进而泥炭沼泽化。早期已经形成的泥炭被逐渐加深的水体覆盖而保存。因此，成煤作用与海侵过程密切相关，这样所形成的煤层具有穿时性。

海侵过程成煤理论蕴含一种海平面变化均变的理念，考虑到盆地类型的不同，我国学者李增学（1995），何起祥（1991）等提出了海侵事件成煤模式。以鲁西陆表海盆地为例，由于盆地内古坡度极缓（<0.001°）且构造稳定，而难以形成侵蚀成因的角度不整合，即使海平面上升幅度不大，也会淹没盆地的广大区域。这种海侵过程可以认为是一种“瞬时”的海侵事件，煤层具有等时性[5]。这一研究进展极大的丰富了我们对于成煤作用的认识。

3 含煤地层的层序地层模式

由于盆地类型与地质背景不同，目前对于含煤地层层序地层划分的研究呈现出多样性的特点。李增学等（1995）认为海侵事件成煤模式中的海相层与煤层间没有海侵过程所对应的完整沉积序列，即相序不完整。煤层底板为根土岩，两者间有沉积间断，成为划分高分辨层序及其内部单元的重要界面。进而将华北陆表海盆地含煤地层划分为二元结构，即一个层序由下部的海侵体系域和上部的高水位体系域组成。

李思田等（1992）建议用湖扩展体系域（EST）来代替“水进体系域”，在其与高位和低位域划分的界限上则采用与海相地层通用的原则，即以初始湖扩展面和最大湖扩展面作为划分3个体系域的界限。

吴因业（1996）在煤沼环境的沉积作用分析基础上，提出区域性分布的煤层具有可对比性和等时性，可以作为成因层序边界；并且以吐哈盆地侏罗系为实例，划分出多套层序，每套层序可以是湖盆低位体系域、湖盆水进体系域、湖盆高位体系域、湖盆水退（进积）体系域的完整或不完整组合。

刘豪（2002），鲍志东（2002）认为准噶尔盆地侏罗系煤层具有穿时现象，并在准噶尔盆地侏罗系地层中识别出2个超层序，7个层序和15个体系域，每个层序中基本都识别出低水位、水进和高水位体系域。

4 煤层在含煤地层层序划分中的重要意义

在成煤作用方面，既有海退成煤又有海侵成煤，煤层既可能是等时性的又是可能是穿时性的。如果海（湖）侵的过程逐渐发生，煤沼的边缘在一段很长的时间间隔内向一个方向缓慢迁移，就会沉积一个连续的但并非等时的煤层，这一现象常发生在大陆边缘盆地。如果海（湖）侵过程相对瞬时发生，成为一种事件沉积，就具有等时性，可以作为地层划分的边界[6]。

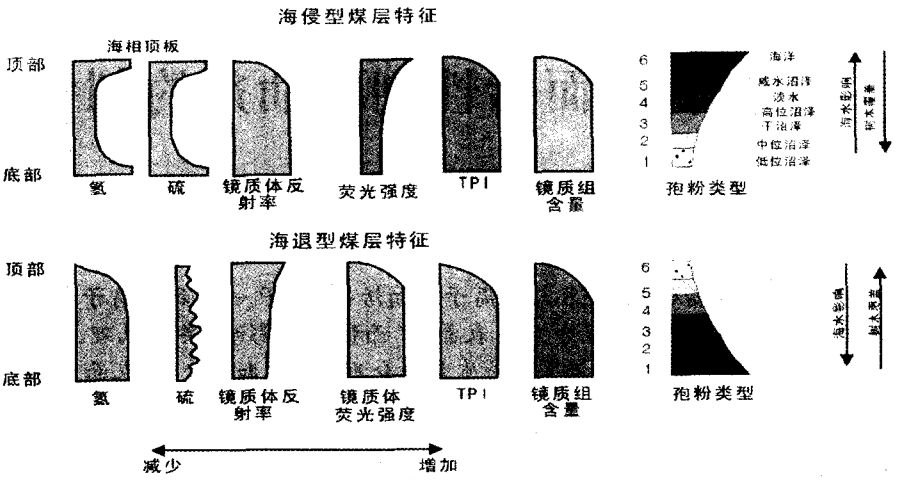


图 3　海侵——海退煤层煤岩学、化学及孢粉学特征(据 Michael Holz 等,2002)

Banerjee 等(1996)在对加拿大西部沉积盆地上曼维尔含煤地层的研究中提出了一种煤层分叉模型,认为在区域上广泛分布的近海相煤层,朝盆地方向往往具有依次分叉的普遍性规律。在该模型中,依次分叉层之间的界面被解释成是高频(第四级或第五级)层序界面。在一个基准面旋回中,可以形成一个海侵—海退(TR)煤层分叉,它们被一个楔形海相沉积体所分隔。海侵煤层—海退煤层可以根据氢含量、硫含量、镜质组反射率、镜质组荧光强度、结构保存指数(TPI)和镜质组含量等参数进行区分。如海侵煤层中的氢、硫含量的变化规律是:当被海侵层覆盖时,在靠近煤层顶部含量较高;如镜质组反射率、荧光强度、受到邻近海相地层影响而增强;在海侵煤层中,植物群的垂直序列显示出海水影响增加,呈现出由底部的森林沼泽相变化为顶部盐沼相的规律,然而在海退煤层中则呈现相反的现象[7]。这一模型对于划分高频层序和提高煤层对比精度就有很高的指导意义。

5　问题及建议

虽然在含煤地层的层序层分析方面已取得了重要进展,,但是我国陆相含煤盆地的地质背景和类型具有多样性,因此,对于煤层在陆相层序地层格架中的形成与分布规律还有待进一步的探讨。

特别是在陆相冲积体系中,煤层的等时性研究以及如何识别与煤层有关的关键界面还有待继续深入。对于不同类型的含煤盆地,煤层作为重要的层序边界(或者重要的划分依据)其本身因为泥炭堆积与海(或湖)平面变化具有密切关系,对煤层体本身的研究可能获得更多的水平面变化的信息。如何将这些信息应用于含煤盆地层序地层学分析,仍是亟待解决的问题。

[参考文献]

[1] 邵龙义,窦建伟,张鹏飞. 含煤岩系沉积学和层序地层学研究现状与展望[J]. 煤田地质与勘探,1998 ,26(1) :4～9.

[2] 李增学,余继峰,杜振川. 含煤地层高分辨层序地层研究的现状与展望[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2001,20 (4):9～11.

[3] Michael Holz , Wolfgang Kalkreuth , Indranil Banerjee, Sequence stratigraphy of paralic coal—bearing strata: an overview[J] . Iernational Journal of Coal Geology ,2002 (48): 147～179.

[4] 鲁静,邵龙义,刘天绩,文怀军,汪浩,尚潞君,杨敏芳. 柴北缘鱼卡地区侏罗纪含煤地层层序地层学研究[J]. 煤田地质与勘探,2007,35 (1):1～6.

[5] 李增学,余继峰,郭建斌,韩美莲. 陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析[J]. 沉积学报,2003 21 (2):289～295.

[6] 马永生,刘树臣. 沉积旋回及等时性研究[M]. 当代地质科学前沿. 北京:中国地质大学出版社,1993.

[7] 刘洪林,王红岩,张建博. 层序地层学在煤层气勘探中的应用[M]. 成都:天然气工业, 2004, 24(5) :30～32.

THE STATUS AND PROSPECTS OF SEQUENCE STRATIGRAPHY RESEARCH ON THE COAL—BEARING STRATA

ZHANG Rui[1], *LIANG Yi—jun*[2], *ZHOU Chang—shun*[2]

(1. *China University of Geosciences, Wuhan, Hubei* 430074 *China*;

2. *Inner Mongolia geological engineering Ltd. Huhhot, Inner Mongolia* 010000 *China*)

Abstract: Formation and distribution Law of coal seams in sequence stratigraphic framework; Sequence stratigraphic models and foreland producting coal theory. The significance of coal seams in sequence stratigraphic division is emphasized. The Study on in alluvial systems depositional should be strengthened.

Key Words: Sequence Stratigraphy; Coal—bearing Strata ; Isochronism of Coal Seam; New Advance; Prospects