文章编号: 1009-3850(2000) 02-0043-13

Cevennes 盆地北坳陷区独特的沉积与 构造演化的耦合关系

王 华1. 林松辉1. 王根发1. 庄新国1. 张瑞生1. 杨 红2

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 西北石油地质局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:发育于法国 Cevennes 聚煤盆地北坳陷区斯蒂芬期(Stephanian) 同沉积断层在空间上局部 控制了碎屑体及煤层的形态、厚度,且在时间上完成了构造反转。盆缘断层控制了盆地自身的 几何形态及其岩相古地理格局,它们的活动性及强度的差异致使盆地沉降或沉积中心、富煤带 的侧向迁移,使盆地整体的构造格架发生了由半地堑-地堑-新型式的半地堑的转化。在不同的 演化时期,盆地独特的沉积、充填作用对构造的活动与演化给予了积极的响应,体现了两者间清 楚的耦合关系。盆地的充填与构造的活动方式及强度又与盆地周围古构造应力场在斯蒂芬期 所发生的变化息息相关。

关 键 词: Cevennes 聚煤盆地; 斯蒂芬期; 沉积作用; 构造演化 中图分类号: P618.11 文献标识码: A

Sedimentary and tectonic evolution of the North Depression in the Cevennes coal basin, France

WANG Hua¹, LIN Song-hui¹, WANG Gen-fa¹, ZHUANG Xin-guo¹, ZHANG Rui-sheng¹, YANG Hong²

1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Northwest China Bureau of Petroleum Geology, Urumqi 830011, Xinjiang, China

Abstract: Exemplified by the North Depression of the Stephanian Cevennes coal basin on the Massif Central in France, this paper discusses the sedimentary dynamics and synsedimentary structures in relations to basin tectonism. Spatially, the synsedimentary faults control the morphology and thickness of clastic rock bodies and coal seams,

收稿日期: 2000-02-24;修订日期: 2000-04-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49902012)

作者简介:王华(1964-),男,中国地质大学教授,博士生导师,从事煤、油气地质与勘探科研和教学.

and the peribasinal faults control the geometry and sedimentary facies and palaeogeographic framework of the basin. The differences in fault activity and intensity lead to the basin subsidence or the laternal migration of the depocentres and coal-rich zones, and to the tectonic evolution of the basin from a half graben through a graben to a new-type of half graben. The deposition and filling of the basin during different stages are interpreted to be in response to tectonic activity, and the modes and intensity of basin filling and tectonism are in turn closely bound up with the variations in the Stephanian peribasinal palaeostructural stress fields.

Key words: Cevennes coal basin; Stephanian; deposition; tectonic evolution

斯蒂芬期 Cevennes 聚煤盆地, 位于法国中央高原的东南缘(图1), 面积约 50km2, 盆地 基底由云母片麻岩、长英麻粒岩和花岗岩组成。含煤岩系总厚近 2500m, 主要出露于盆地北 部, 南部被中生代地层所覆盖。盆地被一南北向的(古) 隆起区分为东、西两个次级凹陷区, 西区(图1中1、2、3) 以断层为界, 从北到南分为北坳陷区, 中隆起区和南坳陷区。

先前的采矿、地质工作主要侧重于地层学、沉积学、煤化学、煤岩学或构造地质学的研究 (Gras, 1970^[1]; Frere, 1984^[2]; Gelard, 1984^[3]; Gelard et al., 1986^[4]; Courel et al., 1986^[3]; Delenin et al., 1988^[4]; Bertrand, 1990; Wang et al., 1997; Genna et al., 1996; Djarar et al., 1997^[7]; Wang, 1997^[8]; 王华等, 1999^[9]), 但将成煤环境在时空上的展布及演替特征、盆地 独特的沉积-充填作用对构造活动与演化给予的积极响应, 以及两者间清楚的耦合关系与盆 地周围古构造应力场在斯蒂芬期所发生变化的相关性研究为一薄弱之处。笔者在这一背景 下, 先后利用留学法国、援外教学和国家自然科学基金项目资助的机会, 以研究程度较高、地 质研究条件较好的北坳陷区为对象予以典型解剖。

1 北坳陷区构造-地层格架特征

北坳陷区的两侧均具有断阶状的盆缘断裂带,其内部岩石地层单元(图 2)的分布明显受 控于盆缘断层(科尔那兹断层和卡马里断层),属地堑式盆地的地层格架模式。其充填序列 的构成(图 3)主要为砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层。重要的可采煤层位于盆地充填序列的 中部。整体上,盆地的充填序列表现为"下粗、中细、上粗"的粒序特点。根据岩石地层学、沉 积学、泥炭(煤)堆积环境(包括含煤性)的变化特征和同沉积-构造演化特点,将该充填序列 分为5个地层"组",由下向上分别为:底砂砾岩段,下含煤段,中砂泥岩段,上含煤段和顶砂 砾岩段。同时结合沉积-构造演化特点进一步归为第一、二、三3个地层单元,其对应的沉积 期称为第一、二、三阶段(图 3)。

2 北坳陷区沉积充填特征

北坳陷区的沉积学研究是在观察了大量的地震剖面、钻井岩心、测井曲线特征,薄片鉴 定和粒度曲线特征的基础上进行的。下面分别以上面划分的5个岩性地层"组"和3个地层 单元为基本单位进行描述。 2.1 第一单元

该地层单元由底砂砾岩段和下含煤段构成(图3,图4,图5)。

底砂砾岩段发育时为盆地张开的初期,发生在北坳陷区的沉积作用主要以冲积扇沉积 体系为特征。代表近端一中端扇的角砾岩、砾岩常夹有片麻岩和石英碎块(直径最大可达 40cm),广布于西部地区;而以砂质沉积为主的远端扇主要于该区的中部。从古流方向图可 见它们向盆地中心及其东部推进(图 4A)。靠近盆地西缘的包兰断层此时活动性强,控制着 粗碎屑体的空间展布,而坳陷区的东缘此时则不发育盆缘断裂;在坳陷区的东部,细质沉积



Fig. 1 The location, tectonic and stratigraphic division of the Cevennes coal basin
1= North Depression; 2= Central Uplift; 3= South Depression; 4= East Depression



图 2 Cvennes 聚煤盆地北坳陷区构造-地层格架 A 地层的第一单元; B. 地层的第二单元; C. 地层的第三单元 Fig. 2 Tectonic and stratigraphic framework of the North Depression in the Cevennes coal basin

A= Unit 1: B= Unit 2: C= Unit 3

物占主导地位,扇体不发育;远端扇主要为砂泥质沉积,扇前平原不发育。此时坳陷区的构造格架为"西断东超"的半地堑结构样式。走向 N125°、倾向 N35°、倾角 80°左右的韦布鲁克 断层的南盘发育有粗碎屑沉积(砂砾岩),该沉积体呈透镜状,且截然受限于该断层,向南其 厚度逐渐变薄,粒度变细,直至相变为细粒(质)沉积物(粉砂岩、泥岩)和煤层。平面上,该粗 粒碎屑砂体与韦布鲁克断层平行延伸(图6);断层北盘的地层由细砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层 组成,3条实测剖面(图6中所示)的厚度对比表明地层厚度向该断层方向变薄,由此可见该 断层此时为一条逆断层。

下含煤段发育时,扇砾岩体向西退至包兰断层一线,且扇体东西向的宽度及厚度均小于 前者(图3,图6)。远端区面积增大,泥炭沼泽环境发育于扇前平原之上,富煤区分布于沼泽 区的中部;剖面上(图5右上部)可见富煤带坐落于下伏底砂砾岩段的巨厚扇砾岩体之上,煤 层具有层数少,单层厚度大,横向变化快的特点,向东迅速变薄尖灭;向西(包兰断层方向)呈 指状发散、分叉、变薄直至尖灭,表明了包兰断层的活动性对富煤带和各岩性单元的控制作



图 3 Cevennes 聚煤盆地北坳陷区地质综合柱状及充填序列图

1. 煤; 2. 泥岩和粉砂岩; 3. 细砂岩; 4. 中砂岩; 5. 粗砂岩; 6. 含砾粗砂岩; 7. 圆砾岩; 8. 角砾岩; 9. 盆地的基岩; C, B, …, C, St. 煤层编号

Fig. 3 Generalized geological column and filling sequence in the North Depression of the Cevennes coal basin 1 = coal; 2 = mudstone and siltstone; 3 = fine-grained sandstone; 4 = medium-grained sandstone; 5 = coarse-grained sandstone; 6 = gravel-containing coarse-grained sandstone; <math>7 = roundstone conglomerate; 8 = breccia; 9 = bedrock. C. B, ..., C. St refer to the numbers of coal seams



图 4 Cevennes 盆地北坳陷区古地理和古水流方向图

A. 出露第一单元的地层; B. 出露第二单元的地层; C. 出露第三单元的地层

(其中虚箭头指示古水流方向,图中 C 所测的古流玫瑰花图是树干的长轴方向,其余为定向砾石和大型斜层理所测)

Fig. 4 Palaeogeography and measured palaeocurrent directions in the North Depression of the Cevennes coal basin during the Stephanian

A= exposed Unit 1 strata; B= exposed Unit 2 Strata; C= exposed Unit 3 strata. The dashed arrows indicate the palaeocurrent directions

用。同时也说明,早期发育而其后废弃的冲积扇体提供了一个相对稳定的平台并全面发生 沼泽化聚煤。

宏观上,在第一单元发育时,岩性单元分带清楚,泥炭沼泽环境发育于东部,介于科尔那 兹断层和卡马里断层之间,为冲积扇平原上发育的沼泽环境,总的看来成煤条件不稳定,煤 层薄,数量多,夹矸多,侧向尖灭快。盆地西缘包兰断层异常活跃,而东缘科尔那兹断层活动 性很小,因而北坳陷区的构造格架成为西陡东缓的半地堑式。

2.2 第二单元(图3,图4,图5,图6)

该地层单元由中砂泥岩段和上含煤段构成(图3,图5)。

中砂泥岩段和上含煤段在垂向上构成一个正粒序。此时冲积扇体的近端和中端区主要 分布于北缘,夹于包兰断层和科尔那兹断层的交汇处,显示两个断层同时所起的控制作用。 西缘的粗质沉积不够发育,但远端扇的细砂质沉积区则占据了很大的空间,泥炭沼泽环境分



图 5 Cevennes 盆地北坳陷区古地理和古构造格架演化

1. 角砾岩; 2. 含砾粗砂岩; 3. 粗砂岩、中砂岩和细砂岩; 4. 泥炭沼泽发育区; 5. 湖泊发育区; 6. 入湖的小型三角洲 Fig. 5 The evolution of the palaeogeographic and palaeotectonic framework of the North Depression in the Cevennes coal basin

1= breccia; 2= gravel-containing coarse-grained sandstone; 3= coare-, medium- and fine-grained sandstone; 4= peat bog; 5= lake; 6= delta 布于中、东部地区,且在沼泽区中部首次发现浅水湖泊相的鱼类化石和含钙铁质结核的黑色 油页岩沉积。该湖泊相的西缘存在发育完整的小型三角洲沉积体,其碎屑物质均来自北坳 陷区的西缘。相反,冲积扇平原在浅水湖泊相周围大面积沼泽化,堆积有可采煤层,但煤层 层数少,相对稳定;韦布鲁克断层此时已由第一阶段的逆断层转化为正断层(图 6B),其证据 有:①在斯蒂芬中期含煤岩系地表露头上可观察到断层的东北盘发育有伴生的小同沉积正 断层(据粉砂岩层的错断,微型砂体的进积,顶部煤层的连续性);②同一煤层从北东向靠近 该断层时明显分叉,煤系总厚增加;③断层上盘发育进积式小砂体;④该煤层与下伏另一煤



图 6 Cevennes 盆地北坳陷区斯蒂芬期韦布鲁克断层演化示意图

A 北坳陷区充填的第一阶段:韦布鲁克断层为逆断层; B. 北坳陷区充填的第二阶段:韦布鲁克断层已演化为正断层

Fig. 6 The evolution of the synsedimentary Werbrouck fault in the Cevnnes coal basin A. The Werbrouck fault as the reversed fault during the first stage of sediment filling; B. The Werbrouck fault

as the normal fault during the second stage of sediment filling

层之间地层总厚度也在同一方向上明显增厚。由此可见, 韦布鲁克断层在斯蒂芬期完成了 由逆断层向正断层的转化, 且局部控制沉积岩相和富煤带的空间展布。

此时北坳陷区的构造格架为近对称的地堑式结构, 坳陷区的东西两侧均有盆缘断层起 作用, 共同控制着坳陷区的地层格架样式。

2.3 第三单元

该单元由顶砂砾岩段组成。由下向上,构成一个反粒序。坳陷区的西部因隆起而无沉 积作用发生,在第二阶段发育的湖泊环境已由平面上呈近三角形态(图5)演变为向南北延伸 的窄条状,其西缘发育有长石石英细砂岩、长石砂岩沉积,东缘则有向湖心区进积式充填的 水下扇三角洲(粗质)沉积复合体,总厚近 100m,具有完整的反粒序和前积结构。粗质沉积 部分由粗砂岩、含砾粗砂岩、圆砾岩构成(Wang et al., 1997)。这些扇三角洲朵叶体于科尔 那兹断层与泰龙断层的交汇处最发育。从古水流展布图上可知,此时的扇三角洲朵叶体来 自于北坳陷区的东部(图4C)。

北坳陷区东缘的科尔那兹断层活动性的快速增强和西缘包兰断层活动性的减弱而使北 坳陷区的构造格架演变为"东断西超"的半地堑式(王华等, 1993; Wang, 1997)^[8,10]。

3 北坳陷区沉积-构造演化的耦合关系

对 Cevennes 盆地北坳陷区的沉积学研究业已表明, 其几何形态、沉积充填过程、含煤性 及其所表现的各种规律性都与盆地的古构造活动性关系密切。 同沉积构造的展布、性质及 其在盆地演化过程中所表现的不同运动形式无疑受控于盆地及其周围统一的古构造背景。 为了更好地理解同沉积断层的构造反转、沉积体的空间分布与盆缘、盆内断层的样式和走向 之间的关系, 寻找沉积与构造作用之间的关系, 笔者抽象出北坳陷区的沉积-构造图解(图 7); 同时参考前人的工作成果(Bonijoly et al., 1984; 1987^[11]; Delenin et al., 1988^[6]; Bles et al., 1989^[12]; 王华等, 1993^[10])可知, 在斯蒂芬期, Cevennes 聚煤盆地周围的平面应力场的主 压应力轴的方向发生了 90[°]旋转, 由此可见:

(1) 在盆地发育的早期, 即斯蒂芬早期(第一阶段), 主压应力轴的方向为 N-S, 而盆地的 张开是沿先存的构造网络发育, 其总体走向为 N-S 向, 故与在 N-S 向挤压状态下盆地张开与 充填不矛盾。此时的盆缘断裂主要为西缘的包兰断层, 沉积中心位于坳陷区的西侧; 地层格 架为由西向东减薄。韦布鲁克断层, 因与该方向近垂直而以逆断层的方式存在。活动强烈 构造背景下的冲积扇体系的成煤条件较差, 未形成厚层可采煤层(Wang et al., 1997)。

(2) 在盆地发育的中期, 即斯蒂芬中期(第二阶段), 主压应力轴已旋转至 NW-SE 方向, 此时的盆缘断裂为东、西缘的包兰断层和科尔纳兹断层, 沉积中心位于坳陷区的中部, 地层 格架为西、东近等厚。韦布鲁克断层的走向因基本上平行于该主压应力轴, 致使该断层发生 构造反转, 由早期逆断层演变为正断层。典型的湖泊相沉积开始出现, 其几何形态近"三角 形"(图 5), 并发育有湖缘小型三角洲, 湖缘广大地区大面积沼泽化聚煤, 形成了可采的厚煤 层。

(3) 盆地发育的晚期, 即斯蒂芬晚期(第三阶段), 主压应力轴方向已变为 E-W 向, 这与 盆内含煤岩系部分抬升遭剥蚀现象的发生(图 5), 近东西向挤压变形的形成, 盆地外围东西

	10	单	ER.	沉积日	中心	盆缘断裂活动	地层变薄方向	主压应力方向
岩 性	组	亢	段	w	E	w ^{强度} E	W E	NS WE
	顶砂砾岩段	第 三 单 元	第三阶段					
	上 含 煤 段 中 泥岩	第 二 单 元	第二阶段					
	下含煤段 底 砂 砾 岩 段	第 一 单 元	第 一 阶 段					

图 7 Cevennes 煤盆地斯蒂芬期沉积-构造综合示意图

Fig. 7 Diagrammatic illustration of sedimentary and tectonic evolution in the Cevennes coal basin during the Stephanian

两侧基岩的整体抬升,充填样式表现为明显的进积式并具有反粒序的特点(图7),预示着斯 蒂芬期聚煤盆地封闭期的即将到来。此时的盆缘断裂主要为东缘的科尔纳兹断层,沉积中 心已移位于坳陷区的东南侧,地层格架为由东向西减薄。

(4) 很明显, 在斯蒂芬期, 北坳陷区的构造格架演化特征从一个半地堑(早期) 演变为地 堑(中期) 至一个新型式的半地堑(晚期)。该区的沉降(积) 中心及粗碎屑砂体的空间展布位 置也相应地在时间上得以从西到东的侧向迁移, 而该过程紧紧地受控于盆缘断层活动的先 后顺序及其活动强度的大小。

(5) 岩相古地理的分布格局, 沉降(积) 中心的侧向迁移同样受盆缘、盆内断层活动先后 顺序及其活动强度大小和方式变化的控制; 而盆地同沉积构造的演化, 盆地构造格架的演 替, 连同盆地自身的发生、发展和消亡, 均与盆地古构造应力场的分布状态及其在斯蒂芬期 所发生的 90°的旋转密切相关。

(6) 走向为 N125[°]的韦布鲁克断层在时间上完成了由逆断层向正断层的转化。这表明 盆地当时是处于挤压状态的应力场之中(王华等, 1993)^[10]。

(7) 典型湖泊相沉积的出现, 湖缘小型三角洲的发育, 扇三角洲的形成和湖泊环境平面 上由近三角形状(第二阶段) 演变为南北向延伸的窄条形(第三阶段) 的变化又恰好与盆缘断 层(科尔那兹断层) 的活动性快速增强和盆地周缘的不均匀抬升及其在东西方向上所受的挤 压由强到弱相配套。

(8) 主要的粗碎屑沉积体的空间展布明显受控于盆缘断层的活动性和物源区抬升的速率变化, 并可进一步与盆地当时所处的主应力场分布状态及其变化联系起来(图8)。区域地质资料表明在斯蒂芬期, Cevennes 盆地周缘的古构造平面应力场发生了上述样式的旋转(Bonijoly et al., 1987^[11]; Gelard et al., 1986^[3]; Delenin et al., 1988^[6]; Bles et al., 1989^[12])。结合坳陷区内粗碎屑沉积体的空间展布特点和韦布鲁克断层活动样式的改变, 笔者描绘了斯蒂芬期在 Cevennes 盆地的北坳陷区的平面应力场展布特征及与坳陷区重要的盆缘、盆内断裂、粗碎屑体的空间展布特点的关系图, 用以综合解释观察到的各种现象。该图尤其能较合理地解释韦布鲁克断层的活动样式在时间上的改变与主压应力轴之间存在的不协调现象。事实上, 类似于这样的主压应力轴在空间上发生偏转的现象业已被识别于多个沉积盆地(Gelard et al., 1986; Guiraud et al., 1991)^[13]。

(9)在斯蒂芬期,当主体上为冲积扇沉积体系成煤时,盆地构造活动性相对强烈,区域构 造背景不稳定,物源供应充足,盆地充填迅速,泥炭沼泽环境发育范围受限,成煤条件不易保 持稳定,所形成的富煤带明显受控于盆缘断层;而当河流湖泊沉积体系成煤时,盆地构造活 动性变弱,差异升降不明显,区域构造背景相对稳定,盆缘断层活动性下降,充填沉积物偏 细,泥炭沼泽范围相对较大,所成富煤带主要受控于盆内断层。在北坳陷区,斯蒂芬期的成 煤环境演替过程为早期的冲积扇体系成煤(较差)→中期的河流-湖泊体系成煤(较好)→晚 期的扇三角洲-湖泊体系成煤(较差)(王华等,1999)^[13],这一"三段式"成煤样式恰好与盆地 的发生、发展和消亡的三个阶段相对应。由此可见,泥炭沼泽与富煤区、冲积扇体的展布特 征及其在侧向上的迁移(时间上)均受到盆内、盆缘断裂活动的控制,其中成煤环境的演替在 一定程度上反映了盆地构造活动性的强弱及盆地自身发生、发展和消亡的过程。



图 8 斯蒂芬期在 Cevennes 盆地北坳陷区的平面应力场展布特征及盆缘、盆内断裂和粗碎屑体的空间展 布关系

Fig. 8 Diagrams showing the distribution of the plane stress fields and their bearings on the spatial distribution of peribasinal and intrabasinal faults and coarse-grained clastic rock bodies

工作中先后得到了法国 Dijon 大学 L. Courel 教授,法国煤炭局 J. Laversanne, M. Dumain 高级地质师的指导与帮助,同时也受益于 Cevennes 煤田的 M. Dumain, M. Christian, C. Bernard 等国际友人所提供的良好的工作环境和条件;在此一并表示谢忱!

参考文献:

- GRAS H. Etude geobgique detaillee du bassin houiller des Cevennes (Masssif Central francais) [R]. Houilleres des Cevennes, 1970, 305p.
- [2] FRE RE I. Le bassin Stephanien des Cevennes (Gard) Dynamique du remplissage-place du charbon. Cinerites [D]. These de 3eme cycle, France. Univ. Dijon, 1984, 172p.
- [3] GELARD J-P. Reflections sur la mise en place des bassins houillers du Nord du Massif Central et sure la structure de leur rem plissage [A]. Ann. Soc. Geol. Nord. Lille [C], 1984, C. II: 201-208.
- [4] GELARD J-P, CASTAING C, BONIJOLY C and GROLIER J. Structure et dynamique de quelques bassins houillers limniques du Massif Central [A]. Mem. Soc. Geol. France, N. S. [C], 1986, 149: 57-72.
- [5] COURELL, DONSOMONI M and MERCIER D. La place du charbon dans la dynamique des systemes sedimentaires des bassins houillers intramontagneus [A]. Mem. Soc. Geol. France, N. S. [C], 1986, 149: 37-50.
- [6] DELENIN P, CLERMONTE J, COUREL L, DUMAIN M and LAVERSANNE J. Remise en cause des charriage dans le bassin houiller Stephanien des Cevennes (Gard, France) [J]. C. R. Acad. Sci. Paris, 1998 T. 307, Serie 11: 1237-1243.
- [7] DJARARL, WANGH, GUIRAUDM et al. The Cevennes Stephanian basin (Massif Central): an example of relationships between sedimentation and lateorogenic extensive tectonics of the Variscan belt [J]. Geodynamica Acta, 1997, 9(5): 193 - 222.
- [8] WANG H. Analyses geologique du bassin houiller stephanien des Cevennes (France) [M]. Edition Jamana, 1997, 254p.
- [9] 王华, 吴冲龙, Courel L., Guiraud M. 法国、中国断陷盆地厚煤层堆积机制分析[J]. 地学前缘, 1997, 6(增刊): 157-166.
- [10] 王华, Courel L. 同沉积构造及其演化背景分析[J]. 地球科学, 1993, 18(3): 129-138.
- [11] BONIJOLY D and CASTAING C. Ouverture et evolution structurale de quelques bassins houillers de directions orthogonales dans le Massif Central francais [R]. Ann. Soc. Geol. Nord, 1987, (6): 189-200.
- [12] BLES J L et al. Successive post-Variscan stress fields in the French Massif Central and its borders (Western European plate): comparison with geodynamic data [J]. Tectonophysics, 1989, 169(4): 79-111.
- [13] GUIRAUD M. Mecanisme de deformation du bassin cretace sur decrochements multiples de la Haute-Benoue(Nigeria)
 [J]. Bull. Rech. Explor. Elf-Aquitaine, 1991, 15(1): 11-68.