

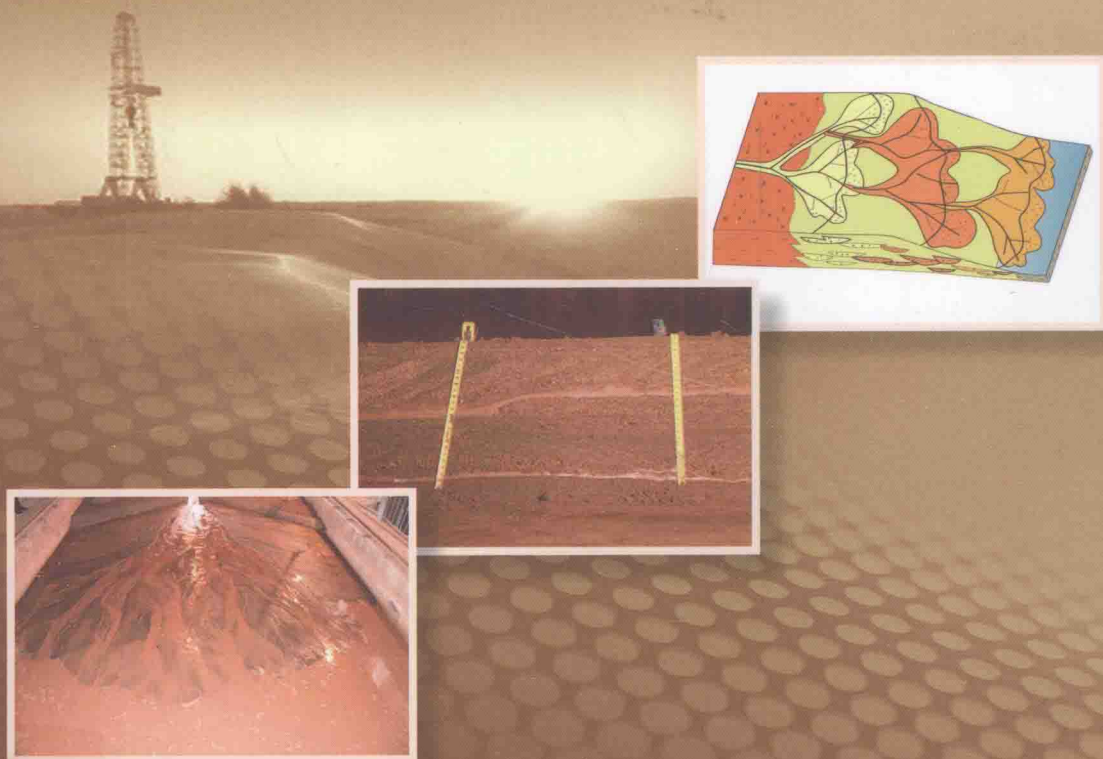
国家自然科学基金项目 (41072087、41172105)

油气资源与勘探技术教育部重点实验室

资助

苏里格地区盒8段 大面积砂体成因沉积 模拟实验研究

罗顺社 代 榕 刘忠保 吕奇奇 ©著



石油工业出版社

国家自然科学基金项目(41072087、41172105)

油气资源与勘探技术教育部重点实验室

资助

苏里格地区盒8段大面积 砂体成因沉积模拟实验研究

罗顺社 代 榕 刘忠保 吕奇奇 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书应用沉积模拟实验技术,从古地貌、古地形、物源、水动力、基准面等方面对鄂尔多斯盆地苏里格地区盒8段大面积砂体成因进行了室内物理模拟实验研究,并对其形成过程、搬运机制、砂体展布、成因机理进行了详细探讨,为解决我国陆相油气藏勘探及开发难题提供了地质依据。

本书可供从事水动力学、沉积学及石油地质学等领域工作的科研人员 and 高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

苏里格地区盒8段大面积砂体成因沉积模拟实验研究/罗顺社等著.
北京:石油工业出版社,2014.5

ISBN 978-7-5183-0015-0

I. 苏…

II. 罗…

III. 油砂体-石油成因-研究-内蒙古

IV. P618.130.106.226

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第082525号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:275千字

定价:50.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

鄂尔多斯盆地是一个稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显、多旋回沉积型的大型克拉通盆地,是我国第二大含油气沉积盆地。加里东运动、印支运动和燕山运动将盆地分为三大构造层序和三个含油气系统:下古生界海相碳酸盐岩含气系统、上古生界陆源碎屑岩煤成气含气系统和三叠—侏罗系陆源碎屑岩含油气系统。在这三个含油气系统中均有重大发现,特别是“九五”以来发现了长庆气田、苏里格气田、大牛地气田等大型砂岩煤成气气田。这些大中型油、气田的发现促使鄂尔多斯盆地天然气储量快速增长,已成为全国天然气勘探的重点地区之一,为“西气东输”提供了资源保证。苏里格地区大规模天然气勘探始于2000年,当年部署的苏6井在上古生界中二叠统石盒子组盒8段钻遇厚层含砾中—粗粒石英砂岩气层,试气获得了无阻流量达 $120.167 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流。苏里格大气田发现后,对该气田天然气成藏主控因素进行了综合研究。得出了盆地上古生界广覆式生烃、大面积含气;超高建设型河流——三角洲沉积体系是利储集砂体分布区;高石英含量、火山碎屑组分溶蚀是形成高渗储层的关键因素等地质认识。前人研究表明:苏里格地区二叠系下石盒子组盒8段的储集砂体最为发育,平面上呈片状,在垂向上砂体相互连通,形成河道砂体相互叠置的“泛连通体”,主体属缓坡型浅水三角洲沉积体系,具有大平原小前缘、砂体叠置呈“广覆式大面积分布”的特征。但对盒8段砂体大面积分布的成因机理研究不足,这在一定程度上阻碍了进一步的勘探和开发工作。本书是在前人的研究基础上,综合利用岩心观察、测录井、岩石薄片、分析化验等多种资料,拟从物源供给、古地貌、水动力特征和湖岸线变化等方面进行研究,并结合沉积模拟实验技术进行综合验证,旨在弄清苏里格地区盒8段大面积砂体形成的控制因素和分布规律,为气田勘探和开发服务。

沉积模拟技术是基于水动力学、沉积学和储层地质学基础上发展起来的一项储层描述及预测技术,通常是从时间尺度及空间尺寸上缩小自然界真实的碎屑沉积体系,抽取控制其发展的主要因素,并在质量、动量和能量守恒定律等物理定律基础上建立实验模型与原型之间应满足的对应量的几何相似、动力相似和运动相似等相似准则,具有沉积条件可控性、沉积模型正演性及模型与原型可对比性等特点。沉积模拟技术在促进实验沉积学的发展、研究碎屑体系形成过程及演变规律、预测油气储集砂体的分布方面愈来愈显示出它独特的优势。

本书立足于鄂尔多斯盆地苏里格地区盒8段,在了解研究区区域地质背景、构造演化及沉积特征等地质条件、建立砂体沉积过程地质模型的基础上,以相似性理论为指导,应用沉积模拟实验手段,结合实验装置确定物理模型,设计详细的实验方案。通过不断改变水流泥砂参数和地形边界参数条件再现缓坡型浅水辫状河三角洲的演变过程,分析辫状河三角洲形成及演变的主控因素,探讨大面积砂岩连片分布成因机理,剖析砂体垂向叠置关系,并建立了大面积砂体的连片模式。

全书共分六章,第一章详细介绍了鄂尔多斯盆地概况,包括区域构造划分、构造演化特征、

区域沉积背景等;第二章从砂岩碎屑组分分析、碎屑锆石定年结果、重矿物含量、组分及其分布特征、阴极发光特征以及物源供给速率对研究区物源进行研究;第三章详细介绍了苏里格地区盒8段辫状河三角洲地质特征,包括古地貌特征、水动力特征、沉积体系、盒8段大面积砂体沉积特征等;第四章详细介绍了沉积模拟实验研究的基本理论、研究方法、研究步骤、实验装置等,还重点描述了多物源、单物源沉积模拟实验研究,包括沉积物理模型设计、实验过程描述、实验结果分析等;第五章重点对苏里格地区盒8段大面积砂体成因机理进行研究,论述了盒8段大面积砂体发育及连片分布成因机理、砂体分布特征及长距离搬运方式、砂岩垂向叠置样式及内部特征、砂体形态要素及分布规律,并建立了大面积砂体的连片模式。

本书第一章第一、二节由罗顺社编写,第三节由代榕编写;第二章由罗顺社编写;第三章第一、三、四节由罗顺社编写,第二节由代榕编写;第四章第一、三节由代榕编写,第二、四节由刘忠保编写;第五章第六节由罗顺社编写,第二、三节由刘忠保编写,第一、四、五节由吕奇奇编写;第六章由罗顺社编写。全书由罗顺社负责统编和定稿,所有图件由冯晓伟、向吉、彭宇慧负责清绘。

在本书的完成过程中,曾得到了中国石油长庆油田公司等有关单位的大力支持,长江大学张昌民教授、张春生教授、何幼斌教授、李维锋教授、张尚锋教授、尹太举教授、李少华教授、胡光明博士、罗进雄博士等给予了耐心的帮助,并提出了许多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

由于笔者水平有限,缺点和错误难免,敬请各位同行、专家批评和指正。

目 录

第一章 区域地质概况	(1)
第一节 苏里格地区概况	(1)
第二节 区域构造背景	(1)
第三节 区域沉积背景	(7)
第二章 苏里格地区物源分析	(17)
第一节 砂岩碎屑组分分析	(18)
第二节 碎屑锆石定年结果与物源分析	(21)
第三节 重矿物含量、组分及其分布特征与物源分析	(24)
第四节 阴极发光特征	(26)
第五节 物源供给速率	(27)
第三章 苏里格地区盒8段辫状河三角洲地质特征	(31)
第一节 古地貌特征	(31)
第二节 水动力特征	(36)
第三节 沉积体系与砂体展布特征	(41)
第四节 盒8段大面积砂体沉积特征	(57)
第四章 沉积模拟实验研究	(63)
第一节 基本理论及研究方法	(63)
第二节 实验装置简介	(68)
第三节 多物源沉积模拟实验研究	(69)
第四节 单物源沉积模拟实验精细描述	(85)
第五章 盒8段大面积砂体成因机理研究	(112)
第一节 大面积砂体发育及连片分布成因机理	(112)
第二节 砂体分布特征及长距离搬运方式	(131)
第三节 砂岩垂向叠置样式及内部特征	(135)
第四节 砂体形态要素及分布规律	(139)
第五节 辫状河三角洲经验公式	(151)
第六节 大面积砂体的连片模式	(152)
第六章 结论	(160)
参考文献	(162)

第一章 区域地质概况

第一节 苏里格地区概况

鄂尔多斯盆地上古生界蕴藏着十分丰富的天然气资源,苏里格气田则是目前已发现的最大的天然气富集区之一。鄂尔多斯盆地处于华北台地的西部,地理位置处于东经 $106^{\circ}20'$ — $110^{\circ}30'$,北纬 35° — $40^{\circ}30'$,盆地横跨陕西省、甘肃省、山西省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区五省区,面积 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$,除外围的河套、渭河、银川、六盘山断陷盆地,盆地本部面积约达 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1-1)。其上古生界主要气源岩是石炭—二叠系下部海陆过渡相煤岩与泥岩,发育于气源岩之间及其上的三角洲平原(前缘)分流河道砂、三角洲前缘河口砂、海相滨岸砂及潮道砂等构成了储集岩体,二叠系上部河漫湖相泥岩构成了本区上古生界气藏理想的区域盖层。由于上古生界主要储层砂岩经历了漫长的成岩作用,储集岩中原生孔隙大部分遭受破坏,取而代之的是残余粒间孔、各种可溶性矿物的次生溶孔以及高岭石晶间孔,构成了上古生界低孔、低渗、低压、低丰度砂岩储集体系。储集砂体的非均质性强,砂岩条带性分割明显,储层分布的连续性较差,给该区天然气的勘探开发带来较大的困难。



图 1-1 苏里格气田地理位置图(据贾爱林等,2003)

第二节 区域构造背景

一、区域构造划分

鄂尔多斯盆地是一个多构造体系、多旋回演化以及多沉积类型的大型盆地。鄂尔多斯盆地总体构造面貌为南北走向,呈东缓西陡的不对称箕状向斜。盆地内发育一系列轴向近东西

的鼻状隆起,区域断裂构造微弱,盆地构造运动以升降运动为主。根据盆地基底性质、地质演化历史和构造特征,盆地内可划分为:伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、伊陕斜坡、天环坳陷和西缘逆冲带六个构造单元,苏里格地区位于伊盟隆起以南,延安—高桥以北,天环坳陷以东,伊陕斜坡以西(图 1-2)。

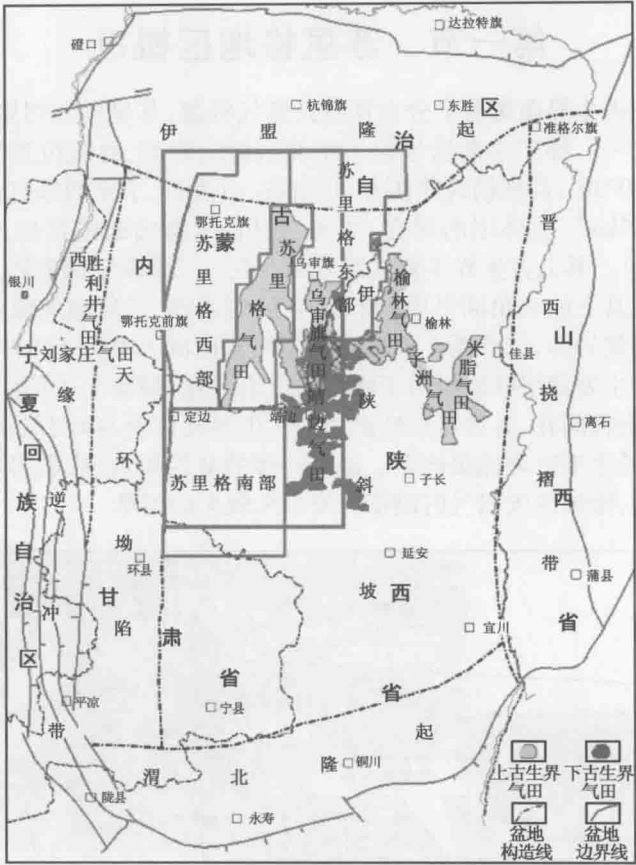


图 1-2 苏里格地区大地构造位置图(据长庆油田勘探开发研究院,2010)

二、构造演化特征

1. 基底断裂特征

鄂尔多斯盆地周缘明显受断裂控制,其周缘(基底)断裂分别为西缘青铜峡—固原断裂和银川地堑东界断裂、东缘离石断裂、南缘汾渭地堑北界断裂、北缘河套地堑南界断裂(黄河断裂)等(党彝,2003)。盆地隐伏基底断裂发育(图 1-3)。隐伏基底断裂是指断裂深埋于沉积盖层之下,仅发育在盆地基底中的断裂,顶端未切割盆地沉积盖层,主要活动于基底拼合时期,大部分后期活动很弱。影响本区的主要构造包括东西方向的杭锦旗南东胜南断裂和大同一榆林—环县(定边)断裂。

大同一榆林—环县(定边)断裂是一条非常重要的断裂。自大同向东北继续延伸,向西南经朔县之北、府谷—保德之南,到榆林分叉为两支,一支延至定边;另一支经靖边延至环县。王双明(1996)称之“大同一华池断裂”。断裂深度很大,属于岩石圈断裂,对两侧的盖层地史发展有着明显的控制作用。

杭锦旗南—东胜南断裂西起磴口西南,向东经杭锦旗南、东胜南,东至大同西南,为一个近东西向略向南凸出的弧形断裂,总体上近 EW 向展布。该断裂是位于伊盟隆起内部的一条断裂,是控制基底岩性的断裂之一,断裂以北为中—始太古界集宁群,以南为新太古界乌拉山群(汤锡元等,1993)。

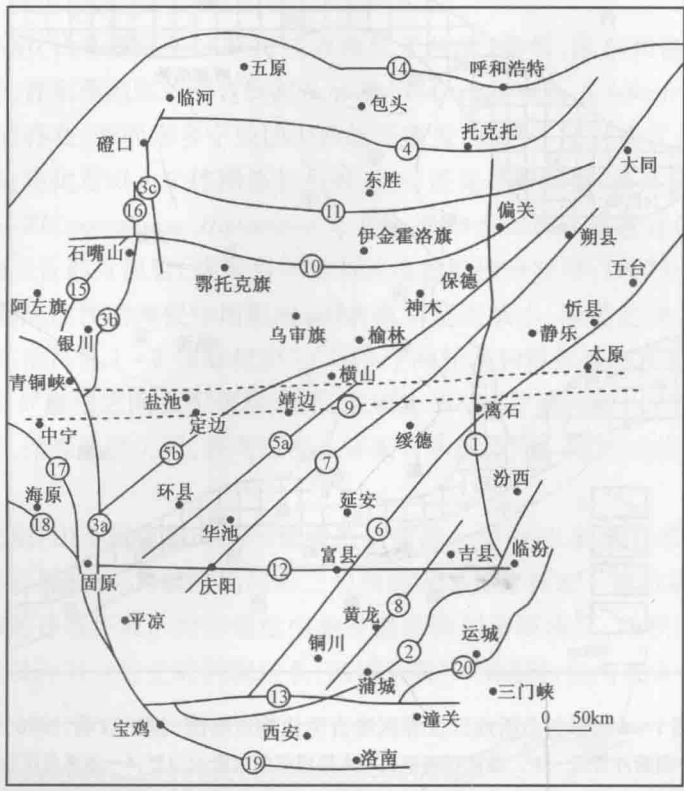


图 1-3 鄂尔多斯盆地周缘断裂及基底断裂分布图
(据汤锡元等,1993;王双明等,1996,综合编绘;引自党桦,2003)

- ① 离石断裂;② 汾渭地堑北界断裂;③ 青铜峡固原断裂;④ 银川地堑东界断裂;⑤ 桌子山东麓断裂;⑥ 河套地堑南界断裂;⑦ 大同环县断裂;⑧ 榆林定边断裂;⑨ 富县离石断裂;⑩ 庆阳五寨断裂;⑪ 黄龙吉县断裂;⑫ 卫宁离石断裂;⑬ 正谊关偏关断裂;⑭ 杭锦旗南东胜南断裂;⑮ 固原富县断裂;⑯ 邻游潼关断裂;⑰ 巴彦乌拉阴山断裂;⑱ 银川地堑西界断裂;⑲ 岗德儿山东断裂;⑳ 清水河断裂;㉑ 西华山六盘山断裂;㉒ 宝鸡洛南断裂;㉓ 汾渭地堑东南界断裂

2. 构造演化

鄂尔多斯地区属华北地台的次级构造单元。其北邻阴山—内蒙褶皱带,南接祁连—秦岭造山带,西抵鄂尔多斯台缘褶皱带,东达晋西挠褶带与华北盆地腹地相接(图 1-4)。作为华北地台的一部分,鄂尔多斯地区晚古生代的构造演化和沉积充填同华北地台一样,主要受北侧的兴蒙海槽、南和西南缘的秦祁海槽的大洋板块的俯冲、消减作用控制。

1) 晚石炭世受限陆表海发育阶段

晚石炭世本溪期,随地台的持续沉降,华北海水沿 NNE 方向侵入苏里格地区,形成受限陆表海。苏里格地区在长期风化夷平、南隆北倾的基底上,本溪组地层均呈现向南和向西(中央古隆起)方向超覆变薄。晚期,鄂尔多斯地区中东部地区的华北海域与西部海域沿北部连通,

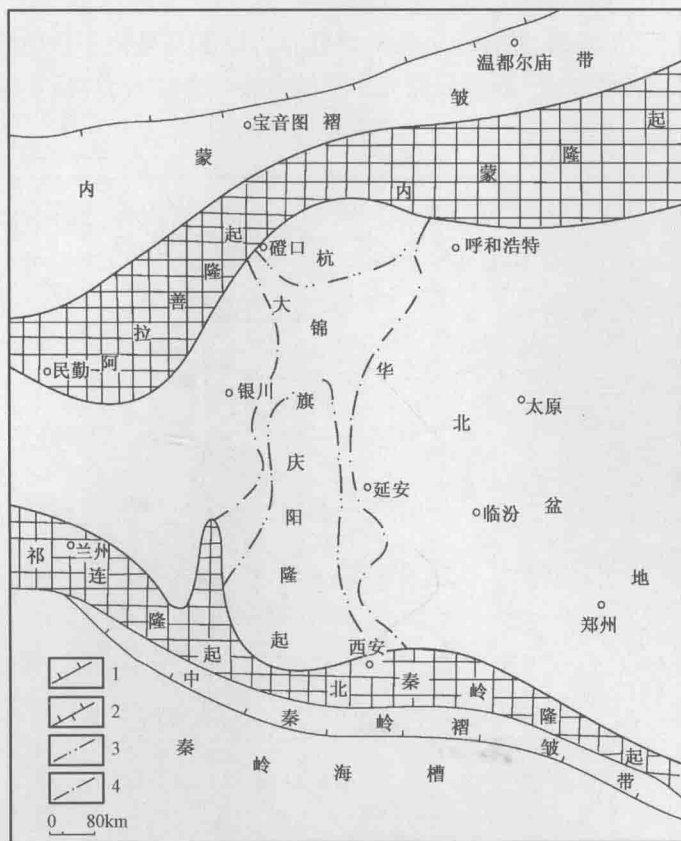


图 1-4 鄂尔多斯地区及邻区晚古生代构造略图(据王双明,1996)

1—海西早、中期俯冲带;2—中二叠世对接带;3—太原组沉积时隆起边界;4—本溪组沉积时隆起边界

整体表现为广覆式的填平补齐充填作用,主要形成潟湖—潮坪充填,底部为潟湖铁铝质泥岩,夹潮坪砂泥岩、煤层、薄层石灰岩透镜体,沉积相呈东、西方向相分异。

晚石炭世末,受北方西伯利亚板块向南“推土机”机制的作用(王东方等,1992),兴蒙海槽向南俯冲、消减,区域应力场受来自北侧的南北向的挤压应力控制,包括鄂尔多斯地区在内的华北地台区构造格局北升南降,由南隆北倾转为北隆南倾(尚冠雄,1995),在构造转型期,在海平面上升过程中泥炭沼泽发育,形成了规模大、分布广、区域稳定的主煤层——8[#]煤层。

2) 早二叠世陆表海发育阶段

早二叠世早期,华北海水改由 SE 方向侵入苏里格地区,经过了晚石炭世的填平补齐,陆表海进一步发展,并与西部祁连海连通,水动力条件以潮汐作用为主,海平面升降频繁,海侵表现为不连续的幕式海侵过程,造成大范围的潮下碳酸盐岩连片分布,并在缓慢海退过程中逐渐过渡为障壁沙坝及浅水三角洲沉积,最终演替为潮坪或泥炭沼泽而发生泥炭堆积。北隆南倾的古地形决定了苏里格地区太原组沉积相为南北向相分异的格局开始显现,并在区域海平面下降期在苏里格地区形成了以桥头砂岩为代表的河道下切充填沉积。伴随海平面频繁升降,碳酸盐岩潮坪与障壁沙坝、浅水三角洲及曲流河在时空上共生,形成海相石灰岩、粗碎屑岩混合含煤沉积组合。

3) 早二叠世晚期近海湖盆—残余陆表海发育阶段

从早二叠世山西期开始,随海西褶皱带拼贴在华北地台周缘地区,特别是地台北侧华北板块与西伯利亚板块的对接使内蒙古地轴及古生代造山带逐渐抬升。与早二叠世早期相比,早二叠世晚期华北海域大幅度向东南方向退缩,华北盆地由陆表海向残余陆表海、近海湖盆转化。

山西组沉积早期(山2段沉积时期),陆表海位于两淮、徐州、豫东和鲁西南地区,发育多套生物碎屑石灰岩;晋东南地区尚有含筳类 *Schwagerina andresensis*-*S. biformis* 组合带(汪曾荫, 1995)的海相石灰岩存在;晋西南乡宁地区山西组下段发育2~3层硅质泥岩、钙质泥岩,局部见泥灰岩透镜体,动物化石以小个体网格长身贝为主,还见有瓣鳃类、海百合茎及苔藓类碎片,另外尚有 *Zoophycos-Rhizocorallium*、*Diplocraterion*、*Planolites-Skolithus* 等遗迹化石组合(陈钟惠, 1989);太原西山地区舌形贝泥岩(煤炭科学研究院地质勘探分院等, 1987)。受区域海平面升降影响,本区仍受到周期性的海侵作用影响,但规模和范围减小,海侵记录为含动物化石的海相夹层。中阳、柳林地区见1~2层海相泥岩,称乡宁海相层和雷家沟海相层(陈钟惠等, 1987, 1989),位于4#煤和5#煤层之间及5#煤层底板,表现为Sr/Ba比值大于1,5#煤层全硫含量2%~4%;向北至兴县、保德地区尖灭,表明海侵主要来自东南方向。形成以曲流河—浅水三角洲为主的含煤沉积。

山西组沉积晚期(山1段沉积时期),北缘造山带进一步抬升,陆地面积扩大,为盆地沉积充填提供了丰富的碎屑物质,为该时期河流三角洲的持续发育奠定了物质基础,开始了区域范围内的砂质储集体的建造历程。海水继续南撤并撤出鄂尔多斯地区,冲积体系发育并向南推进(图1-5),形成以碎屑岩为主的沉积岩系,区域聚煤作用减弱,仅出现煤线。

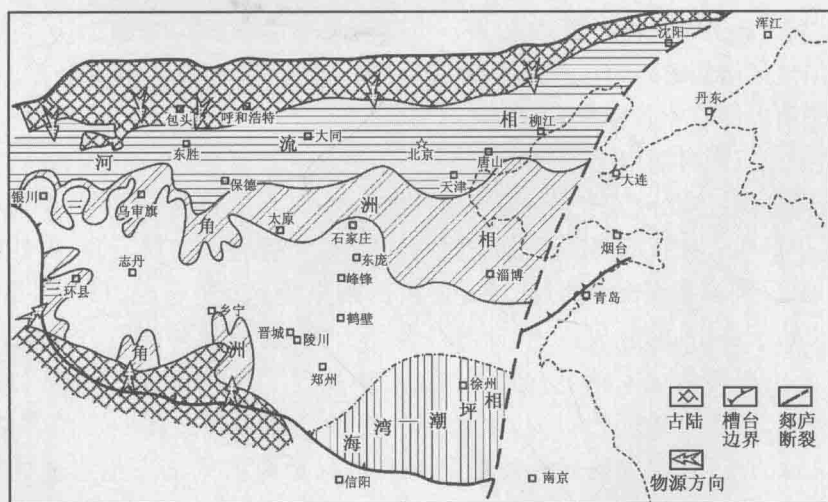


图1-5 华北地区山1段沉积时期沉积格局略图(据李浩, 2011)

4) 中二叠世陆表海衰亡与近海内陆拗陷发育阶段

中二叠世下石盒子组沉积时期,随区域上因北侧西伯利亚板块持续地向南俯冲推挤,华北地台北缘进一步抬升,物源供给充足,地表径流作用最为活跃;海水持续南撤,以海相石灰岩为代表的陆表海沉积不复存在,仅在两淮、徐州、豫东和鲁西南地区下石盒子组出现数层 *Lingula*

sp. 及瓣鳃类碎片的泥质岩,陆表海消亡,转化为近海内陆坳陷。其特点:(1)冲积体系大范围向盆内下移,河流发育达到鼎盛时期(图 1-6),在盆地边缘地区如陕西耀县桃曲坡剖面存在骆驼脖子砂岩与下伏山西组冲刷不整合。下石盒子组由 5 个河流旋回组成,垂向上每个旋回顶部发育紫斑泥岩,代表了周期性的暴露;区域上河流—三角洲下切充填发育并向湖盆下移、自北而南展布,构成了苏里格地区上古生界主要的储层岩系。(2)古气候开始向半干旱和干旱转变,沉积环境发生明显的变化,而不利聚煤作用,形成以灰绿、青灰、紫红色碎屑沉积为主的杂色沉积建造。

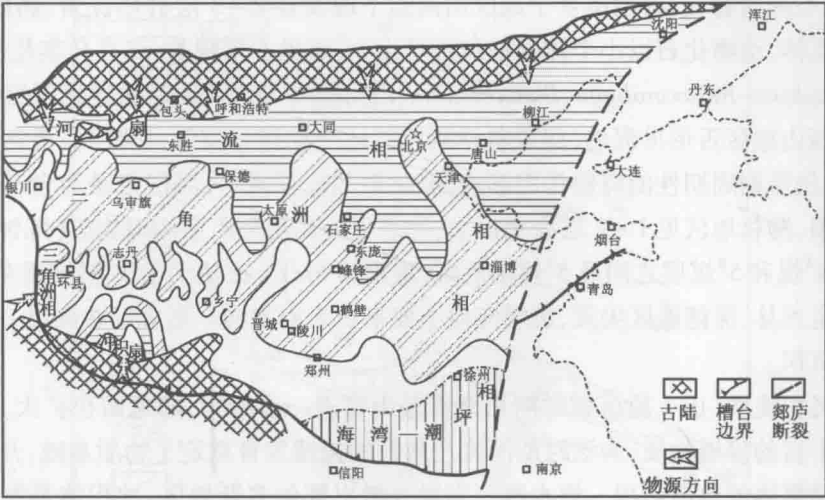


图 1-6 华北地区下石盒子期沉积格局略图(据李浩,2011)

中二叠世上石盒子组沉积时期,气候进一步变干燥,随基底沉降速率加快,沉积范围持续扩大,鄂尔多斯地区南部的麟游县官务河、岐山后周公庙地区上石盒子组超覆于奥陶系石灰岩之上,上石盒子组以细粒碎屑岩为主的杂色沉积为主。

与下石盒子组沉积时期相比,上石盒子组冲积期,沉积体系萎缩、湖泊扩展(图 1-7),受区域海平面升降作用,华北地区多受到海侵事件的影响,其直接表现是硅质海绵岩。在华北晚古生代大盆地中硅质岩分布范围广泛,如安徽两淮地区(兰昌益,1987)、河南禹县地区(杨起,1987)及登封地区(河南省煤田地质局,1991)、山西阳泉地区(樊晓玲,1989)等均有报道;鄂尔多斯地区见于乡宁、柳林成家庄、西缘呼鲁斯太等地;原地矿部三普亦在西缘的公勿素、沙巴台以及山西河曲梁家碛上石盒子组地层中发现了硅质海绵岩(张抗,1989),与华北地台东部两淮、豫东等地区相对应,表明中二叠世晚期沉积过程中鄂尔多斯地区与东部海域存在短暂的连通;西缘地区则可能是与北侧兴蒙海槽局部发生连通的结果(汤锡元等,1992)。

5) 晚二叠世内陆湖盆发育阶段

海西运动期末,本区南侧秦岭海槽再度发生俯冲消减,北缘又有一次重新拉张和聚敛的过程。其结果使地台上升,但未引起较长时间的沉积间断,晚二叠世石千峰期完全转化为内陆湖盆沉积,形成红色沉积建造。

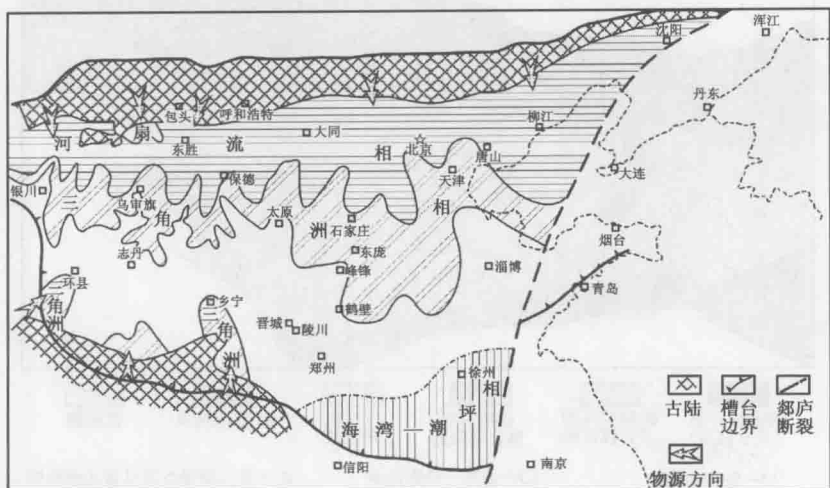


图 1-7 华北地区上石盒子沉积时期沉积格局略图(据李浩,2011)

第三节 区域沉积背景

晚古生代,现今的鄂尔多斯盆地处于两种不同类型盆地的接合部位。以中央古隆起为界,西部为构造不十分稳定的贺兰碰撞谷一部分,东部为构造稳定的华北克拉通盆地一部分,也是现今鄂尔多斯盆地的主体部分之所在,因此,现今鄂尔多斯盆地上古生界沉积构造演化特征由这两类性质不同的盆地演化过程特点共同所决定。

中央古隆起及其东部地区在晚古生代是华北盆地西部宽缓斜坡区,其沉积演化特征受控于华北盆地古地理背景。华北盆地包括了大部分的华北和朝鲜,其北部以内蒙地轴相隔与蒙古海槽相望,南部以秦岭—淮阳隆起与秦岭海槽相隔,西部以现今鄂尔多斯盆地中的中央古隆起与贺兰裂谷相邻,东部有朝鲜—胶东地块作为屏障,因此,华北盆地或多或少具有孤立盆地的性质,但在东南(安徽)及朝鲜东部有海峡存在。晚古生代华北盆地这样的古地理格局就是鄂尔多斯盆地区的区域沉积背景(图 1-8)。

晚古生代,在盐池—环县以西地区,包括了现今天环坳陷西部和西缘断褶带过银川向西至吉兰泰露头区,由于早期贺兰拗拉槽的古老断裂再次拉开,形成了贺兰碰撞裂谷,使现今鄂尔多斯盆地中央古隆起以西地区处于碰撞裂谷背景。

一、中央古隆起及其东部地区

1. 物源区背景

华北盆地南有秦岭—淮阳隆起,北有内蒙地轴这个古地理格局,决定了晚古生代的华北盆地物源主要来自南北方向。内蒙地轴是加里东褶皱带和海西褶皱带在华北地块北缘的增生体,晚古生代它一直处于隆升剥蚀状态,是华北盆地北部的主要物源区,也是鄂尔多斯盆地北部砂体的主要物源。这个物源区在鄂尔多斯盆地以北称之为阴山古陆,盆地北部部分钻井遇阴山古陆(图 1-9),其岩性在盆地中、西部主要是石英岩和变质砂岩,在盆地东部主要为大理岩、变质砂岩和片麻岩。物源区这一分异特征,对鄂尔多斯盆地石英砂岩的形成有重要的影响作用。

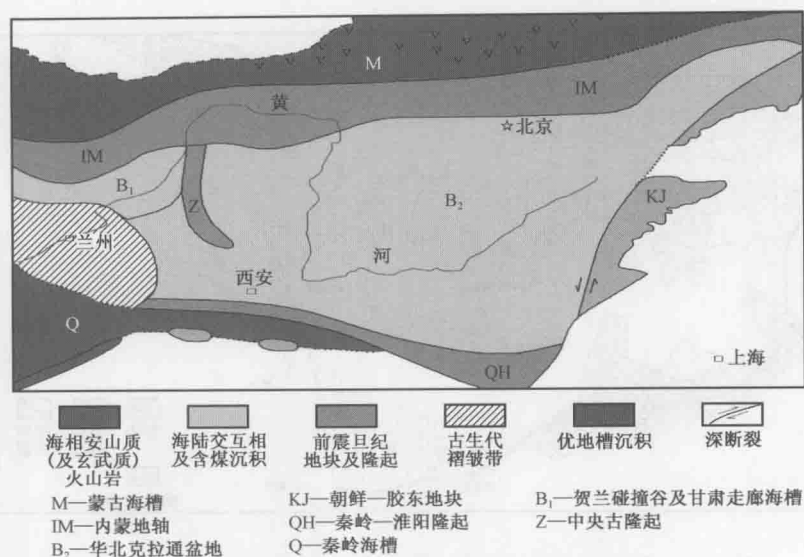


图 1-8 早二叠世鄂尔多斯盆地及外围古地理略图(据李浩,2011)

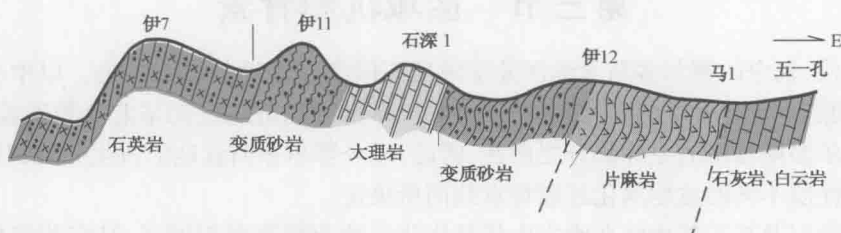


图 1-9 鄂尔多斯盆地北部基岩岩性分布图

周围海槽的火山活动也为华北盆地上古生界的沉积提供了物源,特别是蒙古海槽大规模的安山质和玄武质火山喷发,其火山喷发物落入华北盆地,在华北盆地上古生界形成了多层火山碎屑岩。

2. 岩相古地理背景

在岩相古地理方面,晚古生代鄂尔多斯盆地区的岩相古地理格局与华北盆地岩相古地理展布密切相关。中奥陶世至早石炭世,华北地台隆升遭受长期风化剥蚀,地表已成准平原状态,现今的鄂尔多斯盆地区也不例外,处于风化剥蚀期。华北盆地最早的海侵开始于早石炭世晚期。早石炭世晚期—晚石炭世早期,海侵主要来自东北,海侵沉积主要发育在辽南及其以东地区,这时的鄂尔多斯盆地仍处于隆升剥蚀区;晚石炭世早期—晚石炭世晚期,华北盆地的海侵主要在胶北带,这时的海侵已波及到现今鄂尔多斯盆地区,形成陆表海沉积。华北盆地最大的海侵期为太原组沉积时期,表现为大范围发育石灰岩沉积,鄂尔多斯盆地区也不例外,有多层石灰岩发育。从早二叠世晚期开始,华北盆地发生海退。山西组沉积时期(图 1-10),海水已退至确山—徐州一线以南,三角洲前缘相发育于济源—邯郸一线,其余的华北盆地区主要为河流—三角洲平原相。下石盒子组沉积时期(图 1-11),华北盆地的海水已退至淮南一带,三角洲前缘相向南推进,发育在确山—淮北一带,其余的华北盆地区仍主要为河流—三角洲平原相,从区域沉积背景分析,位于华北盆地西部的鄂尔多斯盆地区,在山西组和下石盒子组沉积时期,应是以河流—三角洲平原相为主的沉积相区。

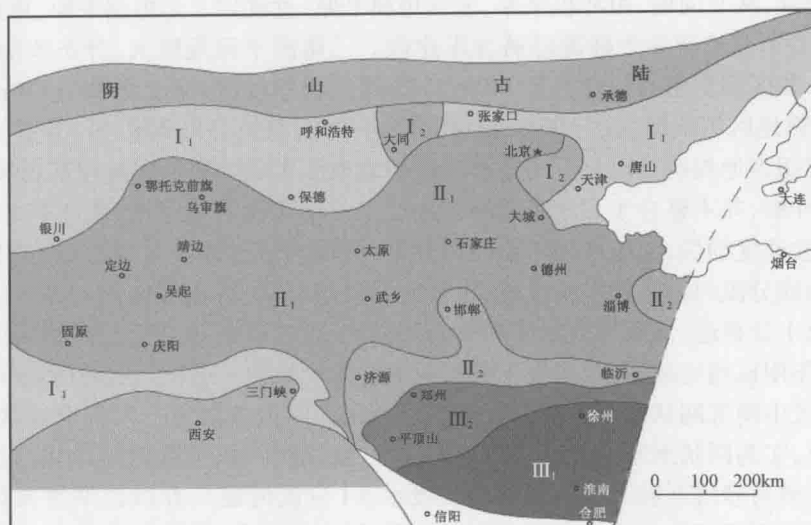


图 1-10 鄂尔多斯盆地上古生界山西组沉积时期岩相古地理背景
 I₁—河道相区；I₂—泛滥盆地相区；II₁—三角洲平原相区；
 II₂—三角洲前缘相区；III₁—泻湖相区；III₂—潮坪相区

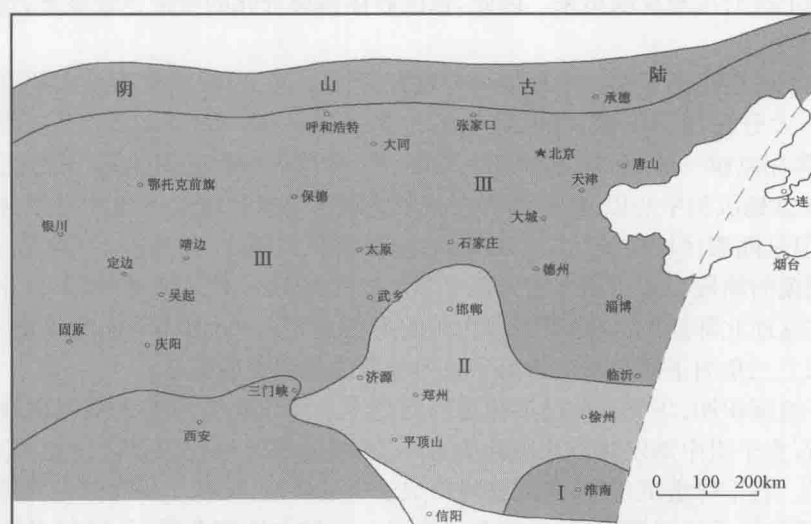


图 1-11 鄂尔多斯盆地上古生界下石盒子组沉积时期岩相古地理背景
 I—堡岛体系；II—三角洲体系；III—河流体系

太原组沉积时期后,区域构造环境和沉积格局发生了显著变化。因华北地台整体抬升,海水从鄂尔多斯盆地东西两侧迅速退出,盆地性质由陆表海盆演变为近海湖盆,沉积环境由海相转变为陆相,东西差异基本消失,而南北差异沉降和相带分异增强,总体沉积面貌以浅水三角洲沉积为特征,盆地北部乌达—东胜一带为冲积扇和冲积平原分布区,冲积平原内主要为河道和河漫滩沉积,向南依次主要发育宽广的上三角洲平原沉积及下三角洲平原沉积。

山西组沉积时期沉积特征主要表现为:(1)三角洲相取代潮坪—浅水陆棚相;(2)沉积相

呈南北相带分异,从北向南,由冲积平原、上三角洲平原、过渡到下三角洲平原、再到浅湖沉积;(3)海相碳酸盐岩建造演变为陆源碎屑含煤建造。三角洲平原规模大,分布范围广。西部坳陷区存在伊3井区沉积中心厚度大于140m,东部地区仍然较薄,厚度在60~110m之间,在盟8井区—乌审旗地区沉积厚度达100m,相对太原期,山西期的沉积范围进一步扩大,并向盆地边缘超覆。岩相古地貌特征以分流河道和洪泛平原或泥炭沼泽两个古地理景观最为突出。分流河道侵蚀、冲刷,并不整合于太原组的海相地层上。山2段沉积早期,由于其北部物源区的不断抬升,侵蚀速度加快,河流作用不断向南推进,分流河道砂体发生强烈的进积作用。此外由于网状水系或分流河道常常发生快速、频繁的废弃与复活,因而砂体间的冲刷、切割和垂向叠置加积现象十分普遍,从而导致砂体规模大,到山2段沉积中、后期,北部物源区抬升相对减弱,河流进积作用也相应减弱,普遍发生分流河道砂体的加积—退积。随着河流作用的逐渐减弱,苏里格地区中南部网状水系大部被废弃而沼泽化。作为该期另一大古地理景观的洪泛平原或泥炭沼泽,实为网状水系或分流河道间的洼地,在潮湿气候下普遍沼泽化,主要是一套纯泥质沉积或泥质与砂质互层沉积。其间的次级水系(分流河道),在洪泛期常决口,在洪泛平原或泥炭沼泽中形成透镜状的决口河道或决口扇,但规模较小,垂向上表现为一种泥包砂的特征,其分布在苏里格地区北部以洪泛平原为主,而苏里格地区南部则泥炭沼泽相对发育。由于这两大古地理景观的存在以及自身的特点,导致该区砂体分布的集中性较强,即发育砂体的地方,砂体规模大,单砂层厚度大。而在泥质出现的地方,砂体不发育,规模小,单层厚度较薄,在自然伽马曲线上有时很难反映出来。因此,该区砂体两极分化的特征比较显著,这对储集砂体的发育极为有利。

山1段沉积时期总的岩相古地理格局为发育分流河道、泛滥平原和浅水湖泊沉积。在盆地北部形成7大分流河道沉积,即东胜—盟5井、东胜—陕208井、鄂3井—伊6井、苏25井—桃5井、鄂托克旗—苏20井、伊8井—鄂8井、乌达—平罗沉积体系,其分流河道的砂泥比大于0.5,在盆地沉积中心以北,砂体分布较厚的地区仍然位于上三角洲平原与下三角洲平原过渡地区,但是随着区域构造活动的日趋稳定,物源供给减小,盆地进入相对稳定沉降阶段,发生了较大规模的湖侵。使浅湖沉积分布于盟8井—洲3井、陕112井、陕147井、陕28井和子长一带。在盆地北部地区,伴随着湖侵作用的不断扩大,三角洲体系向北收缩,沉积相带相应北移。尤以上三角洲平原与下三角洲平原的分界线北移表现明显。

上石盒子组沉积期,华北盆地已演化为以河流体系和浅水三角洲体系沉积为主的古地理格局,除了上石盒子组中部发育有几层硅质岩外,区域内缺乏海侵的直接证据,总体表现出海退的演化过程。石千峰组沉积期,华北盆地形成于大陆环境,沉积了一套红色碎屑岩建造。因此,上石盒子组和石千峰组沉积期,在华北盆地这一区域古地理背景下,鄂尔多斯盆地区主要形成了一套红色建造。进入中二叠世,气候由温暖潮湿变为干旱炎热,植被大量减少,从而沉积一套灰白—黄绿色的纯的陆源碎屑建造。初期,北部古陆进一步抬升,物源丰富,季节性水系异常活跃,沉积物供给充分,相对湖平面下降,河流—三角洲体系向南推进,河流相沉积较山西组更为发育。随后,伴随着北部物源区抬升的再次减弱,沉积物补给能量减小,河流作用减弱。

该期岩相古地理格局与山西期有一定的继承性,但亦发生了较大变化。伴随区域构造活动继续加强,北部物源区继续抬升,丰富的陆源碎屑导致河流作用加强,浅水三角洲体系快速向南推进,致使上三角洲平原相带向南迁移盆地南部华池—子长一带,沉积厚度达到150m,西部平罗地区沉积厚度大于160m,地层继续向南、向北超覆,地层沉积在平罗—乌审旗—绥德—

吴旗一带,厚度较大,大于150m。盒8下亚段沉积时期分流河道侧向向东迁移明显,砂体加宽,北部发育5大分流河道沉积,即准格尔旗—神木、伊13井—陕208井区、伊6井—乌审旗、鄂托克旗—盟6井区、乌达—伊3井区沉积体系,其间被泛滥平原及浅水湖泊相隔,且分流河道向南延深较远,河道砂泥比大于0.75。另从纯泥岩厚度等值线图可以看出,从北到南泥岩厚度变化不大,说明该区没有大型湖泊沉积。

盒8上亚段沉积时期,受盆地北侧区域性构造抬升的影响,发生较强的进积作用,与盒8下亚段沉积时期相比分流河道位置有所变化,中部砂体出现较多支分叉,由于气候逐渐变得干旱,泛滥平原与浅水湖泊多处发育。

3. 古地形背景

华北盆地晚古生代海侵期具有陆表海性质,这个特征本身就说明了内部基底起伏不大。如果说早期海侵时表现为西高东低的小幅度基底起伏,那么到了太原组沉积期,已基本填平补齐。据陈世悦等(2000)以太原组石灰岩分布为基础进行的估算,石灰岩沉积时的平均坡度仅为 8×10^{-7} 度,坡度之缓是很难想象的。这样的古地形背景形成的地层特征在大范围具有相似特征,因而使华北盆地岩石地层单位具有相似性,如大范围使用太原组、山西组、石盒子组等。

4. 古气候背景

用于反映大陆板块古气候背景的证据有三类:古植物证据、沉积相和岩石学证据及古地磁证据。

沉积学和岩石学标志反映的古气候背景和古植物所反映的古气候有很好的—致性。鄂尔多斯盆地苏里格地区盒8地层岩性主要以石英中—粗砂岩、含砾粗砂岩为主,而富含石英砂岩反映了降水量较大、地形起伏较小的强化学风化环境物源区特征;棕色、褐色和杂色多见于盒8下亚段、盒8上亚段的中、上部,并且杂色或棕色(褐色)泥岩往往与灰色、灰绿色泥岩呈互层,反映其沉积环境水位变化频繁,水体常在氧化环境与还原环境之间变化,沉积物可能经常暴露,结合其区域沉积背景,推测盒8下亚段、盒8上亚段沉积环境早期可能为季节性干旱气候环境,沉积水体的流量变化大。砂岩多呈灰白色、灰绿色和灰色。

据河南省地质科学研究所(1985)在铝土矿中采样所作古地磁结果,本溪期古纬度为 7° — 35° 之间,刘焕杰(1980)资料为 10° — 27° ,由此可以看出,晚古生代,华北盆地位于低纬度地带。石炭纪和二叠纪早期,区内发育热带雨林植被,煤层发育。中二叠世,华北地块北移,并伴随逆时针方向旋转,加之海逐渐从大陆退出,使古生态环境逐渐由赤道热带和亚热带的常温生态域渐变为夏温生态域,进而转变为亚热带内陆高地环境的沙漠生态域。这样的古气候背景形成了华北盆地上古生界从下到上由“黑”变“红”的剖面结构。

二、中央古隆起以西地区

碰撞裂谷的物源可以来自碰撞裂谷的四周,但主要还是来自南部的褶皱隆起区,向远离褶皱带方向搬运并加厚。因此,在碰撞裂谷这样的沉积背景下,与中央古隆起及其东部地区相比,中央古隆起以西地区具有沉积早、物源主要来自南部、沉积厚度大且具有南薄北厚的沉积特征。

晚石炭世早期——滑石板组沉积时期沉积了红土洼组海相碎屑岩,是碰撞谷最早期沉积,此时的华北盆地仍处于剥蚀作用期。由于是碰撞谷背景,因此地层厚度变化强烈,具有断裂对地层厚度的控制作用。上石炭统厚度在贺兰碰撞裂谷南部厚200m,贺兰山北部厚800m,再北