

文章编号: 1000-0550(2004)01-0019-10

宁夏中卫晚石炭世沉积相分析与古环境重建

谢小平^{1,2} 王永栋³ 沈焕庭¹

1(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

2(曲阜师范大学地理系 山东曲阜 273165)

3(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

摘要 宁夏中卫地处北祁连加里东褶皱带东段,出露有连续而发育完好的晚石炭世海陆交互相含煤地层。根据岩性、颜色、粒度分析、沉积相标志、地球化学特征以及结合古生物化石资料,对中卫下河沿地区晚石炭世红土洼组、羊虎沟组和太原组的沉积相进行了分析研究,确立并划分出泻湖、潮坪、支间湾河口坝、滨海沼泽及三角洲平原等沉积相。在此基础上,结合本地区的古地理背景对宁夏中卫的晚石炭世的古沉积环境进行了重建。

关键词 晚石炭世 沉积相 沉积环境 中卫 宁夏

第一作者简介 谢小平 男 1966 年出生 在读博士 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 前言

石炭系是中国西北地区分布广泛、出露较好的海陆交互相地层之一,蕴含着丰富的煤炭、石油及天然气等能源矿产资源。本文研究的宁夏中卫地区其大地构造位置位于北祁连加里东褶皱带的东段。该区石炭系发育良好,露头清晰,构造简单,动植物化石丰富,是研究石炭系生物地层及沉积相的理想地区之一。自 20 世纪 30 年代起,孙健初、李星学、斯行健、梁希洛等先后对该区的石炭纪地层以及植物、菊石等化石开展了卓有成效的研究工作,奠定了生物地层学研究的基础。80 年代以来,地质古生物学者先后在这里开展了广泛的地层及地质研究工作,尤其是对纳缪尔期地层和菊石、牙形石和植物化石的发现与研究颇引人注目^[1-4]。霍福臣等^[5]在《宁夏地质概论》一书中,对中卫及邻区的石炭系进行了较为系统的总结。

自 20 世纪 80 年代末期以来,沈光隆、吴秀元、佟再三、李克定等先后在这里开展了系统的生物地层及沉积相的研究工作。在原先岩石地层序列基础上,通过对所含的蜓、牙形石、昆虫、植物及孢粉等生物化石资料的分析,进一步确立了该区与国际石炭系划分方案接轨的石炭系中间界线和石炭-二叠系界线,并且建立起自纳缪尔期-早二叠世的孢粉组合序列,确立维斯发期的一个重要孢粉学事件,并对该研究区的古生态和古气候环境等进行了初步探讨^[6-13]。此外,高联达^[14]也对本区石炭纪和早二叠世孢子带及石炭-

二叠系界线进行了专题研究讨论。上述研究工作在一定程度上提高了中卫地区石炭系生物地层与沉积学研究的精度和深度,为相关地质学研究奠定了较为坚实的基础。

本文旨在上述研究工作的基础上,结合野外实测剖面和室内分析,重点研究宁夏中卫下河沿地区晚石炭世的红土洼组(纳缪尔晚期)、羊虎沟组(维斯发期)、太原组下段(斯蒂芬期)和上段的沉积环境和沉积相。这里需指出的是,根据新的研究成果^[7,10,12],中卫地区原先划分的有关“太原组”^[5],实际上是一个跨统的岩石地层单元,即原上石炭统太原组被划分为上下两段,太原组下段的地质时代为晚石炭世斯蒂芬期,太原组上段为早二叠世早期(奥通期)。该地区的石炭-二叠系界线位于太原组上、下段之间。基于以上生物地层研究的新认识,考虑到叙述和比较的方便,本文在分析太原组的沉积相时,按照上、下段处理,即包含了部分早二叠世的沉积相分析。

2 研究区地层概况

本文所研究的地层,系 1989 年 8 月沈光隆教授等与笔者共同测制的中卫县下河沿窑沟石炭系剖面(图 1),其水平距离约 1 000 m,垂直厚度为 656.1 m,有 50 个分层,含丰富的动物、植物及孢粉化石,是一套典型的海陆交互相含煤建造。剖面底部被新第三系超覆,上覆地层为下二叠统杂色砂岩。根据吴秀元等^[15]对甘肃靖远石炭系的研究成果,并参照国际石炭纪地层

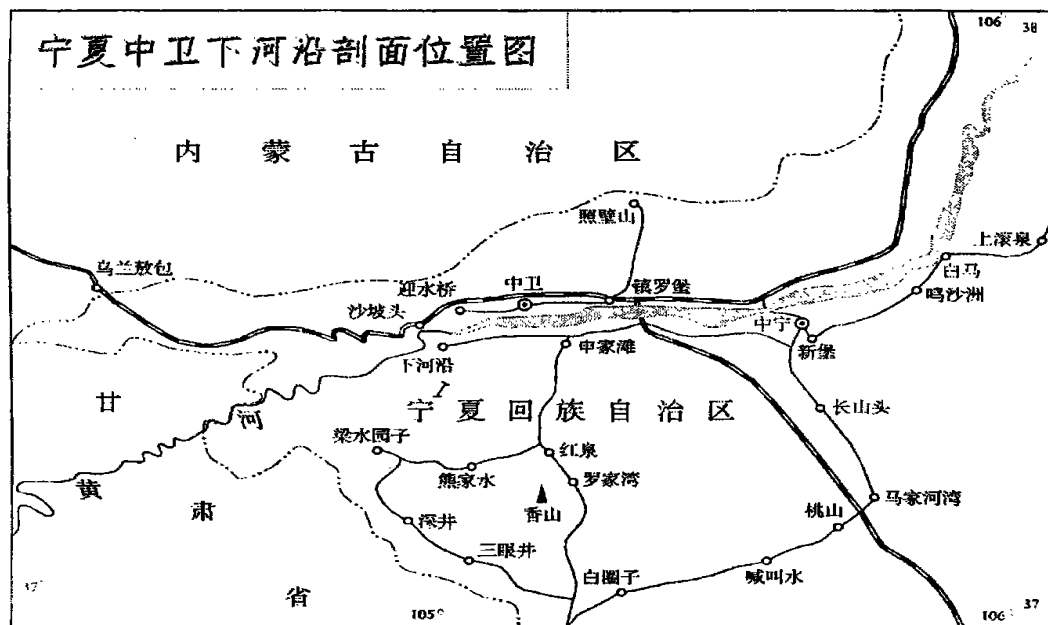


图1 宁夏中卫下河沿剖面位置图

Fig. 1 The sketch map showing the location of Xiaheyan section, Zhongwei, Ningxia Hui Autonomous Region

划分的二分方案,下河沿剖面的上石炭统自下而上划分为红土洼组、羊虎沟组和太原组三个岩石地层单元。

2.1 红土洼组

灰黑色、深灰色页岩、粉砂质页岩、灰白色石英砂岩夹灰岩透镜体和褐色油页岩,下部有一灰黑色中厚层泥晶灰岩。植物化石丰富,同时还具有较丰富的双壳类和牙形石,厚约170 m。值得注意的是,其下部包含了一段约46 m厚的早石炭世靖远组沉积,为了行文和讨论的方便,本文在研究其沉积相时与红土洼组一起予以讨论。该组下部含牙形石: *Declinognathodus noduliferous* (Ellison and Graves), 上部含牙形石 *Neognathodus symmetricus* (Lane), 珊瑚化石以 *Eostaffella postmosqensis* Kireeva 和 *Millerella marblensis* Thompson 为主。植物化石以 *Asterophyllites longifolius* (Sternberg) 和 *Pecopteris plumosa* (Artis) 等为主。孢粉化石为 *Lycospora subrequetra*-*Gansusispora mammilla* (SM) 组合和 *Gardenasporites medius*-*Microreticulatisporites concavus* (PC) 组合为主。红土洼组的地质时代相当于西欧晚石炭世早期,即纳穆尔期晚期 (Namurian B-C 期)。

2.2 羊虎沟组

黑色、灰黑色、草黄色页岩与灰白色长石石英砂岩,二者呈互层,夹灰岩透镜体及薄层泥质灰岩、泥质粉砂岩和煤层,厚约191.8 m,与下伏红土洼组呈整合接触。生物化石包括:牙形石 *Idiognathodus delicatus* Gunnell, *I. claviformis* Gunnell, *I.*

magnificus Stauffer and Plummer, 珊瑚科 *Pseudostaffella*; 双壳类 *Dunbarella subpapyraceous* (Verneui), *Dunbarella* sp., *Posidoniella* cf. *vetusta* (Soweby); 植物化石以 *Lepidodendron oculis-felis* (Abb.) Zeill, *Pecopteris* sp. 和 *Sphenophyllum oblongifolium* (Cern. et Kaulf.) Unger 为主。孢粉化石包括 *Laevigatosporites medius*-*Cyclogranisporites aureus* (MA) 组合和 *Todispora secures*-*Punctatisporites hians* (SH) 组合。该组的地质时代相当于西欧晚石炭世的维斯发期 (Westphalian)。

2.3 太原组

下段:以黑色炭质页岩、灰色页岩以及灰白色长石石英砂岩、粉砂质页岩夹泥晶灰岩和黄色泥质灰岩为主,含灰岩透镜体和煤层,厚约159.4 m与下伏羊虎沟组整合接触。灰岩中产珊瑚化石 *Ozawainella*, *Mediocris* 和 *Pseudostaffella*, 牙形石 *Idiognathodus delicatus* Gunnell, *I. claviformis* Gunnell; 本段的植物化石以 *Neuropteris pseudovata* Gothan and Sze 以及 *Sphenophyllum oblongifolium* (Cern. et Kaulf.) Unger 为主。孢粉化石以 *Laevigatosporites-Florinites* (LF) 组合为代表。上述古生物化石表明太原组的下段属于晚石炭世晚期的沉积,相当于西欧的斯蒂芬期 (Stephanian)。

上段:以灰白色薄层长石石英砂岩以及灰色、灰白色厚层灰岩夹灰色、黑色页岩为主,含菱铁矿薄层,厚113与下伏太原组下段整合接触。该段含珊瑚化石 *Sphaeroschwagerina*, *Rugosofusulina*, *Rubastschwagerina* 和 *Schwagerina*, 牙形石 *Streptograthodus elongfer* Gunnell, *S.*

gracilis Stauffer et Plummer, *S. simplex* Hunnell, *S. wabausensis* Gunnell, 植物化石以东方型的鳞木类为主, 比如 *Lepidodendron puthumii*, *Cathaysiodendron nanpiacense* Lee 以及 *Bothrodendron kuianum* Lee。上述生物化石表明太原组上段属于早二叠世早期沉积, 即相当于西欧的奥通期 (Autunian)。根据新的研究结果, 宁夏中卫地区的石炭 - 二叠系界线置于太原组的下段和上段之间, 该界线与目前国内外广泛采用的石炭 - 二叠系位置相当^[7,10]。

3 沉积相分析

3.1 岩石特征

本区的岩石类型主要分为三大类, 即 类 - 碎屑岩; 类 - 碳酸盐岩; 类 - 泥页岩。其中碎屑岩、泥页岩及粉砂质泥页岩约占剖面厚度的 96.8%。碎屑岩中以长石石英砂岩和石英砂岩为主, 还有一部分为杂砂岩, 碳酸盐岩厚度较小, 只占剖面厚度的 3.2%, 多数情况下呈透镜体产出。

3.2 地球化学特征

根据本区及邻区上石炭统的微量元素分析结果^[16], 该区红土洼组据岩样光谱分析, Sr/Ba 比值多在 0.2~0.5 之间, 即比值小于 0.5, 结合岩性分析, 为滨海平原亚相, 主要为泻湖 - 潮坪相沉积。

羊虎沟组据页岩样品光谱分析, Sr/Ba 比值小于 0.5, 含有较丰富的陆源及海源有机物, 综合其它地质特征, 分析应属于三角洲前缘亚相。

太原组泥岩样中, Sr/Ba 比值为 0.17~0.36, 平均为 0.27, 表明应属陆相沉积。其 Ca/Fe 比值也确定是陆相, 主要为三角洲平原相沉积。

3.3 包裹体及指相意义

本剖面中包裹体主要为菱铁矿及灰岩两大类。

3.3.1 菱铁矿

菱铁矿主要以结核与薄层状产出, 在本剖面中以红土洼组较多, 大多产在泥质岩及粉砂岩中, 以结核状或条带状产出为主, 故此推断应有一定的水深条件。已有资料表明菱铁矿的生成是在陆源碎屑物质较少而生物产率较高的浅海或盐度正常的泻湖中形成^[17]。

3.3.2 灰岩

灰岩主要分布于除太原组上段以外的地层, 且以透镜体产出为主。这主要与两个因素有关, 一是碎屑沉积物相对较少, 二是生物产率较高。这一点是与菱铁矿的形成是一致的。从现代碳酸盐生成的地区来看, 一般没有接受大量硅酸盐的碎屑, 而且主要产在光照度较高的低纬度地区。

从其产出情况来看, 碳酸盐是在海侵之后及海侵持续之时沉积的, 可能与洋水的上涌具有一定的联系, 这种上涌的水流使营养物质不断循环, 从而控制了海洋环境中生物的产率。从灰岩透镜体的成分主要是以灰砂及灰泥来看, 它可能形成于海洋台地, 实际上就是受局限的海洋环境。从总体来看, 有灰岩透镜体产出的层位, 反映的是海洋环境。

3.4 古生物化石及其指相意义

本剖面的海相动物化石主要包括 科, 牙形石, 腹足类, 腕足类等, 它们均具有明显的指相意义。 科化石几乎全部发现在旋回性海洋沉积, 而且在离岸不远正常盐度的清水环境里, 多分布于深度一般在 20~30m 范围的浅海中。牙形石广泛发现于寒武纪到三叠纪的海相沉积中, 其生活领域仅限于海洋环境, 且大多数生活于正常盐度的浅海海域, 在水深 10~150 m 沉积的灰岩中, 牙形石最为丰富多样。腕足动物在海水中营固着底栖生活, 能适应比较高的浑浊度的海水, 但为水体较为平静或稍有运动的低能环境。古生代的腕足类栖息在浅海区, 特别是在光线充足、氧气充分、温度较高的光亮带。腹足类动物大部分不仅适应于正常盐分的浅海或潮上带, 而且还可以生活在半咸水的海湾内^[17]。

以蕨类、种子蕨和松柏类为代表的陆生植物化石指相意义虽不及海相化石明显, 但在一定地质历史时期具有相应的生态环境指示意义。现代蕨类植物多生长在热带、亚热带温热多雨地区。石炭纪乔木状的蕨类植物形成了沼泽森林, 是晚古生代的主要植被类型。种子蕨类、科达类以及松柏类等多为高大乔木, 它们在石炭纪与鳞木类等其它蕨类植物构成重要的造煤植物。因此在三角洲及沼泽环境的沉积地层中, 上述植物化石及其分散的繁殖器官 - 孢粉化石较为丰富。

4 沉积环境分析和沉积相划分

根据野外实测剖面, 结合岩性、粒度、沉积构造、古生物化石等证据, 我们对中卫晚石炭世的沉积环境以及沉积相特征进行了分析, 结果如图 2 - 图 5 所示。并对各组的沉积相特征叙述如下。

4.1 红土洼组

红土洼组厚 216.6 m, 其中泥页岩厚 145.9 m, 占该组总岩石厚度的 67.4%; 碎屑岩厚 66.3 m, 占该组厚度的 30.6%; 而灰岩仅厚 4.4 m, 占该组厚度的 2.0%。砂/泥比值为 1/2.2。结合植物和孢粉化石资料综合分析表明, 红土洼组沉积期的沉积环境为湿热气候条件下的滨海低地沼泽环境, 沉积相主要为海湾泻湖及泥炭沼泽(图 2, 图 3a)。

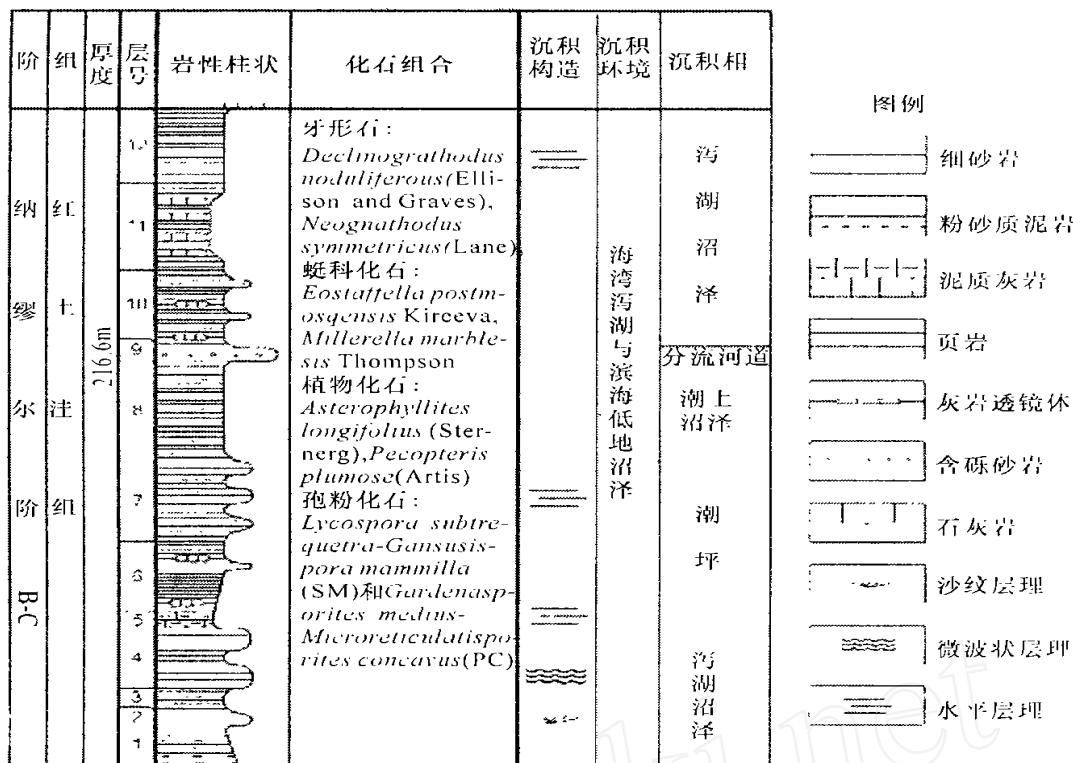


图2 红土洼组岩性、沉积环境与沉积相分析柱状图

Fig. 2 The columnar section of lithology, sedimentary environment and facies analysis of the Hongtuwa Formation

4.1.1 泥炭沼泽

主要为剖面的1~4层(其中的1~3层为下石炭统靖远组)。植物化石主要有 *Linopteris*, *Neuropteris*, *Stigmaria*, *Lepidodendron*, *Cordaites*, *Mesocalamites*, *Rhodeopteridium* 等,同时还有植物根系化石;孢粉分析发现多为具环的蕨类植物孢子。故确定其为温暖湿润气候条件下的滨海低地沼泽。与石松类相伴的大量真蕨和种子蕨植物,研究发现除少数高大乔木外,多数为具有大型羽状复叶的森林下层草本植物,也生长于低洼湿地上,喜潮湿环境。

4.1.2 海湾泻湖

主要为剖面的5~12层。第5层为灰黑色中厚层泥晶灰岩,动植物化石丰富,产牙形石: *Hindeodus*, *Neoprioniodus*, *Hindeodella*; 双壳类: *Myalinella*?, *Leptodesma* (*Leioptera*) sp.; 植物: *Linopteris*。说明由于海侵水体已变得相对较深,同时其上出现页岩、灰岩透镜体及菱铁矿结核,这表明该沉积环境为受局限的海湾泻湖。生物化石中有热带、亚热带气候条件下的鳞木等化石,反映出当时气候较为潮湿。笔者对该剖面碎屑岩累积曲线研究结果表明其与河流的曲线相似,说明当时在潮湿气候下河流发育,有大量泥沙沉积物带入泻湖,构成泻湖泥岩微相。

由此向上岩性主要由页岩、细砂岩及灰岩透镜体组成,化石有牙形石: *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus* 等; 双壳类: *Parallelodon*?, *Myalina* (*S. L.*), *Leptodesma*, *Leptodesma* (*Leioptera*) 等; 植物: *Lepidodendron*, *Neuropteris*, *Linopteris*, *Pecopteris*, *Palaeoweichselia* 等。沉积分析与古生物化石资料表明红土洼组中部为一泻湖为主的沉积,兼有滨岸沼泽和支流间湾沉积,显示一海侵旋回。该组顶部的11~12层含植物化石 *Schubertella*, 以及昆虫、瓣鳃类等; 植物有 *Sphenophyllum*, *Paripteris* 等, 总体为潮坪环境的泥坪沉积。

4.2 羊虎沟组

羊虎组厚约191.8m,其中泥页岩厚约118.2m,占该组总厚度的61.6%;碎屑岩厚约73.6m,占该组总厚度的38.4%;灰岩仅以透镜体或条带状产出。夹有薄煤层。总的沉积相特点反映出为一三角洲前缘的沉积。具体相分析结果如下(图4,图3b):

4.2.1 砂堤

主要为剖面的13层,为灰白色中粒长石石英砂岩,含炭屑,细层面含大量白云母片,发育小槽状交错层理,沙纹层理,在上部具有低角度单向交错层理,属于三角洲前缘水下天然堤沉积。

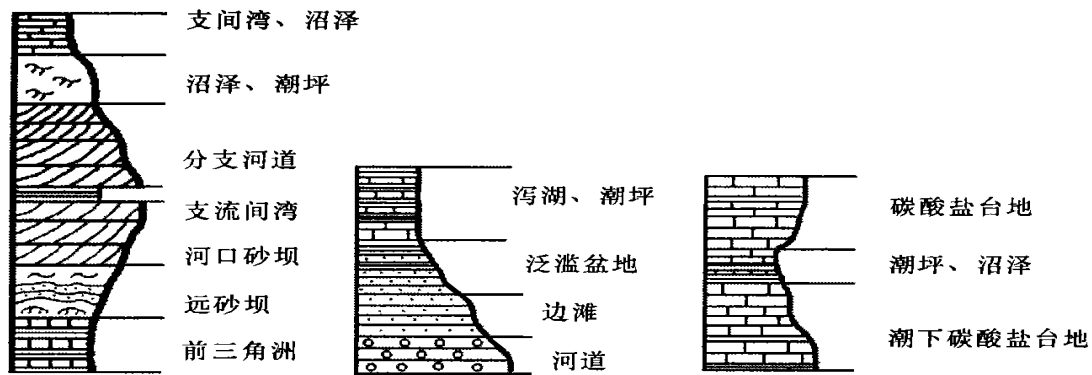


图 3 宁夏中卫红土洼组(a)、羊虎沟组(b)、太原组(c)的典型相组合图^[18]

Fig. 3 The representative facies of Hongtuwa (a), Yanghugou(b) and Taiyuan Formations(c), Zhongwei, Ningxia^[18]

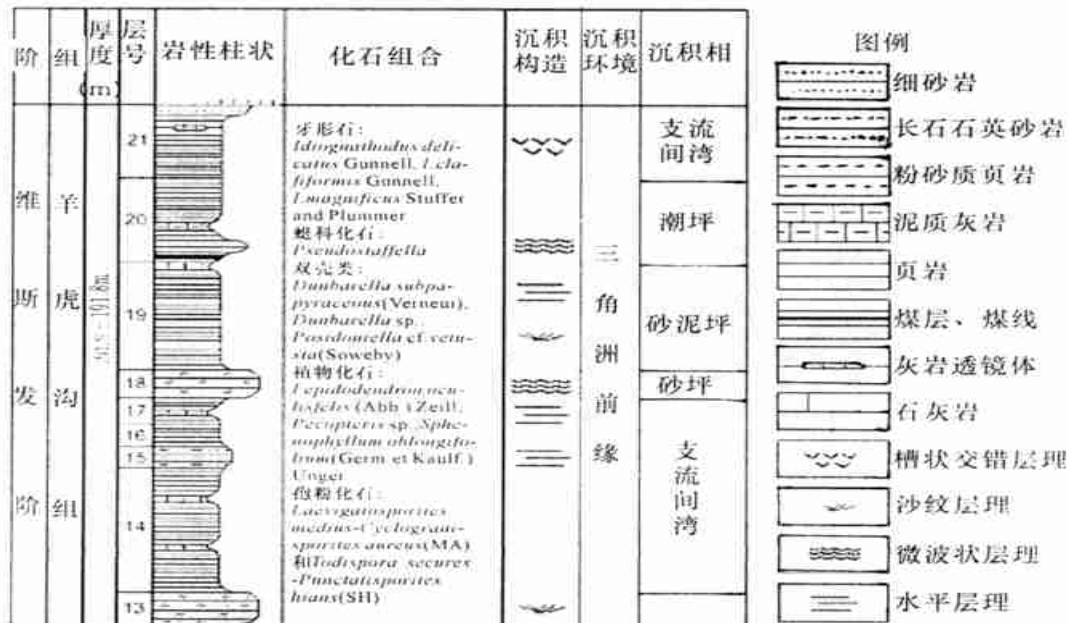


图 4 羊虎沟组岩性、沉积环境与沉积相分析柱状图

Fig. 4 The columnar section of lithology, sedimentary environment and facies analysis of the Yanghugou Formation

4.2.2 支流间湾

主要为剖面的 14~18 层,岩石组合上 14 层为灰黑色页岩夹薄层灰岩,属于潮下坪沉积,生物化石有牙形石: *Neognathodus*; 双壳类: *Posidoniella*, *Dunbarella*;植物: *Lepidodendron*, *Pecopteris* 等。15 层是一套灰白色薄层泥质粉砂岩,属于海滩沙的沉积。16 层是一套厚约 7.7 m 的灰黑色页岩夹灰岩透镜体,产双壳类: *Dunbarella*, *Posidoniella*, 植物: *Discinites*; *Cyclopteris*; 而 17 层则为草黄色页岩夹薄层泥质灰岩,属于泻湖本体沉积。18 层为灰色薄层状中粒泥质砂岩,底部夹有 0.3 m 厚灰岩层,砂岩中具水平微波状层理和砂纹层理,属于潮下砂坪。

4.2.3 砂泥坪

主要为剖面的 19~21 层: 岩石组合上是以灰白色薄层长石石英细砂岩、石英砂岩及页岩互层,并夹有

薄煤层及薄层灰岩,其中 19 层属于砂泥混合坪,20 层产植物: *Rhodopteridium*; 牙形石: *Neognathodus*; 为潮坪沉积,21 层则产有笔石化石: *Pseudostaffella*; 牙形石: *Idiognathodus*, *Streptognathodus* 等化石,具有自下而上从潮坪演化为河口砂坝的特征。

4.3 太原组下段

太原组厚约 250.7 m,其中下段厚约 159.4 m,泥质岩(包括粉砂质页岩及煤层)厚约 118.0 m,占下段厚度的 74.0%;碎屑岩厚约 40.7 m,占该组厚度的 25.5%。砂/泥比值约为 1/2.9;灰岩仅厚 0.7 m,其它灰岩则多以透镜体或条带状产出,具体沉积相分析如下(图 5,图 3C):

4.3.1 分流河口砂坝

主要为剖面的第 22 层,岩性上为灰白色厚层含砾石英粗砂岩,产有植物化石 *Lepidodendron*, 中型斜层理,

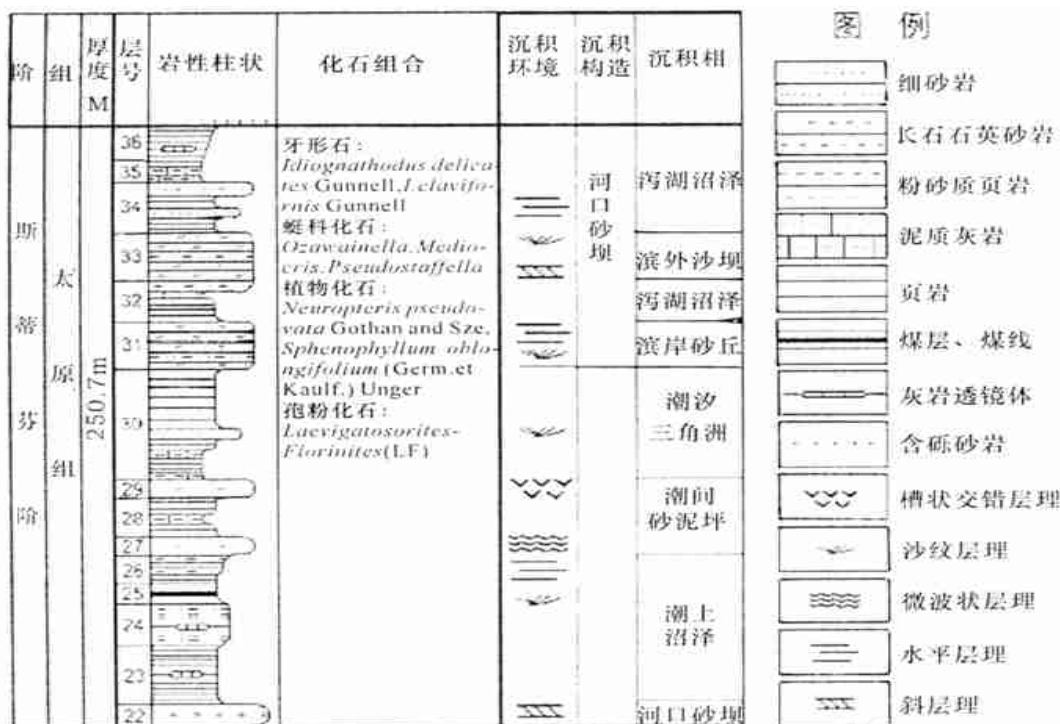


图5 太原组下段岩性、沉积环境与沉积相分析柱状图

Fig. 5 The columnar section of lithology, sedimentary environment and facies analysis of Lower member of the Taiyuan Formation

顶部槽状交错层理,同时具有虫孔及芦木化石,粒度从下向上由细变粗,为三角洲平原分流河口砂坝沉积;23层为黑色纸片状页岩夹灰岩透镜体,主要含蜓科及牙形石化石,包括 *Pseudostaffella*, *Idiognathodus*, 属支流间湾的沉积,所以总体上看属于支流间湾与河口砂坝的沉积。

4.3.2 潮上泥坪

主要分布于剖面的第24~26层,由页岩、粉砂质页岩及煤层所组成,同时还夹有灰岩透镜体。页岩中产植物化石: *Thalites*, *Sphenophyllum*。该环境为海边低地或沼泽边缘地区。煤层的发育,是因为潮上带发育有泥炭沼泽。据沉积构造及其所含的古生物化石资料,认为24~26层为滨海潮坪,且为潮上泥坪。

4.3.3 潮间上带砂泥坪

分布于剖面的27~28层,主要由岩屑杂砂岩、纸片状页岩及粘土岩组成,同时在页岩中还夹有泥质灰岩条带,产植物: *Neuropteris*, *Pecopteris*, *Sphenophyllum*, *Cordaites*, *Odontopteris*, *Lepidodendron* 等。该层位反映了一种清水与浑水交互在一起的混合沉积,为一潮上带砂泥混合坪沉积环境。

4.3.4 潮间下带砂坪

分布于剖面的第29层,由浅灰色厚层状石英微粒杂砂岩组成,泥质胶结,粘土胶结物近30%,属低能环境的产物。粒度特征虽为三段式,但无牵引总体,跳跃

总体分为二段,与波浪的冲刷与回流作用有关。

4.3.5 潮汐三角洲

分布于剖面第30层,主要由粘土质页岩及泥质灰岩组成,具煤层及植物根系化石: *Lepidodendron*, *Pecopteris*, *Odontopteris*, *Neuropteris* 等。说明在海退过程中潮下浅水盆地退化成了潮汐三角洲,尔后成为泥炭沼泽。

4.3.6 滨岸砂丘

即第31层,以岩屑中粒钙质砂岩,浅色长石石英砂岩为主,层理类型包括砂纹层理,微波状水平层理,水平层理及大型单向交错层理,受潮汐作用和波浪作用控制,为滨岸沉积环境,属潮坪相的砂丘亚相。

4.3.7 潮下浅水盆地

为剖面的第32层,岩石组合为粉砂质页岩 黑色炭质页岩夹煤层 粉砂质页岩夹灰岩透镜体,顶部泥岩,层理类型为水平层理,沉积环境由潮下浅水盆地随水体变浅而成泻湖,再演变成沼泽。

4.3.8 滨外砂坝

为剖面的33层,岩石组合是以浅黄色中粒长石石英砂岩为主,上部砂岩与页岩呈互层,其中砂岩单层厚约20~30 cm。发育单向斜层理及砂纹层理,砂岩具有变形构造。粒度特征为三段式,牵引总体2%左右,跳跃总体占98%左右,跳跃总体分为三段,反映了波浪的冲刷与回流特征,为滨外砂坝沉积。

4.3.9 泻湖沼泽

主要是剖面的 34~36 层。岩石组合包括黑色炭质页岩、灰岩同时具有粘土岩及细砂岩。层理类型包括水平层理、微波状层理及透镜状层理。第 34 层具有的灰色页岩夹薄层细砂岩及顶部具有的白色粘土反映出该层为沼泽相。其后水体逐渐变深成泻湖相;之后发生水退,形成第 36 层的沼泽相沉积。

4.4 太原组上段

厚约 91.3 m,其中泥页岩厚约 61.1 m,占该段厚度的 66.9%;碎屑岩厚 24.9 m,占该段厚度的 27.3%;而灰岩仅厚 5.3 m,只占该段厚度的 5.8%,其中砂/泥比值为 1/2.45。

从岩性、结构构造、地球化学特点等方面进行分析发现,太原组上段的沉积相有向陆相演化的趋势。主要包括:

4.4.1 三角洲水下平原

又分为如下微相:

水下分支河道 岩石组合以灰白色中粒石英砂岩为主,层理类型为大型槽状交错层理及中型槽状交错层理及平行层理,是一套水下平原亚相的水下分支河道的沉积。

支流河口砂坝 岩石组合包括泥岩及砂岩以及粉砂质粘土,在 39 层顶部具有铁质结核,颜色主要为灰色及浅灰色;层理类型为砂纹层理及槽状交错层理,属于三角洲前缘斜坡的支流河口砂坝沉积。

沼泽 岩石组合是灰白色粉砂质页岩、炭质页岩夹薄层菱铁矿及一层长石石英砂岩和薄煤层,上部夹砂岩透镜体。页岩中产植物以及孢粉化石,为一套泥炭沼泽沉积。

4.4.2 泻湖

岩石组合为深灰色块状泥晶灰岩,说明此时水体已逐渐变深,且形成清水沉积。腕足类及笔石科化石丰富: *Quasifusulina*, *Schubertella*, *Pseudofusulina*, *Eoparafusulina*, *Ozawainella*, *Boultonia*, *Schubertella*, *Quasifusulina*; 牙形石: *Streptognathodus*。沿走向变薄、尖灭,属于泻湖沉积环境,是属于沼泽演化中水体变深后形成的沉积。

4.4.3 三角洲水上平原

岩石类型包括灰色中粗粒长石石英砂岩,铁质石英砂岩及粉砂质页岩,其次是致密块状含笔石科灰岩。

分支河道:岩石类型为中粗粒长石石英砂岩,分选差,顶部具铁质结核。长石含量较多,说明距物源区较近。层理类型主要是槽状交错层理,属于陆上平原亚相的分支河道沉积。

支流间湾:岩石类型以粉砂质页岩及砂岩为主,夹紫色铁质石英砂岩,含白云母片,产有大量植物化石: *Cathaysiodendron*, *Pecopteris*, *Cordaites*, *Tingia*。为支流间湾的沉积。

亚浅海:岩石组合是由浅灰色致密块状笔石科灰岩,笔石科化石丰富: *Eoparafusulina*, *Sphaeroschwagerina*, *Robustoschwagerina*, *Schubertella*, *Ozawainella*, *Boultonia*。说明在此一时期发生海侵,且水质较纯净,形成亚浅海清水沉积,气候温暖湿润。

5 讨论

5.1 晚石炭世沉积特征

宁夏中卫地处北祁连东段,这里的石炭系是北祁连加里东运动之后形成的山间拗陷及边缘拗陷带的沉积,但具有海湾性质,也有可能是一比较宽阔的河口湾,因为此时该区在石炭纪时是一多海湾、多堡岛的陆表海,表现为岩层的厚度变化大,而且相变快^[19]。

纳谿尔中、晚期 - 维斯发期,研究区及邻区形成宁夏海湾,海水先以东南方向的天水 - 静宁海峡为通道侵入本区,斯蒂芬期天山海槽的海水也通过北祁连由西部进入本区,使该区成为一多海湾、多堡岛的陆表海。

纳谿尔 B-C 期,宁夏中卫地区红土洼组的沉积环境为湿热气候条件下的滨海低地沼泽环境,沉积相主要为海湾泻湖及泥炭沼泽,兼有滨岸沼泽和支流间湾沉积,显示一海侵旋回。维斯发期的羊虎沟组总的沉积相特点反映出为一三角洲前缘的沉积,既有水下天然堤和潮下砂坪沉积,也具有从潮坪演化为河口砂坝的特征。斯蒂芬期的太原组是一潮坪 - 河口砂坝的沉积,潮坪包括潮上泥坪、潮间砂泥坪和潮下砂坪,也包括滨岸砂丘;河口砂坝组合主要是潮下浅水盆地和滨外砂坝及其后的泻湖沼泽。

5.2 晚石炭世古地理

已有资料表明^[16, 19~21],华北地台自晚奥陶世长期上升成陆,于晚石炭世本溪期普遍开始下沉接受沉积。但处于华北地台西缘的宁夏地区在构造上除了受到华北地台活动的影响外,还受到北祁连构造带及鄂尔多斯西缘断裂活动的重要影响,于纳谿尔中 - 晚期形成宁夏海湾,接受了泻湖 - 潮坪相的沉积(图 6)。

斯蒂芬期由于基底的断裂活动,使该区因下沉而与华北海域连通,成为三角洲与潮坪环境。仅于南部海原至鼓阳一线为陇山海岛部分^[16]。潮坪区的沉积由下至上呈现为潮汐砂坝 - 潮下坪 - 潮间坪 - 潮上泻

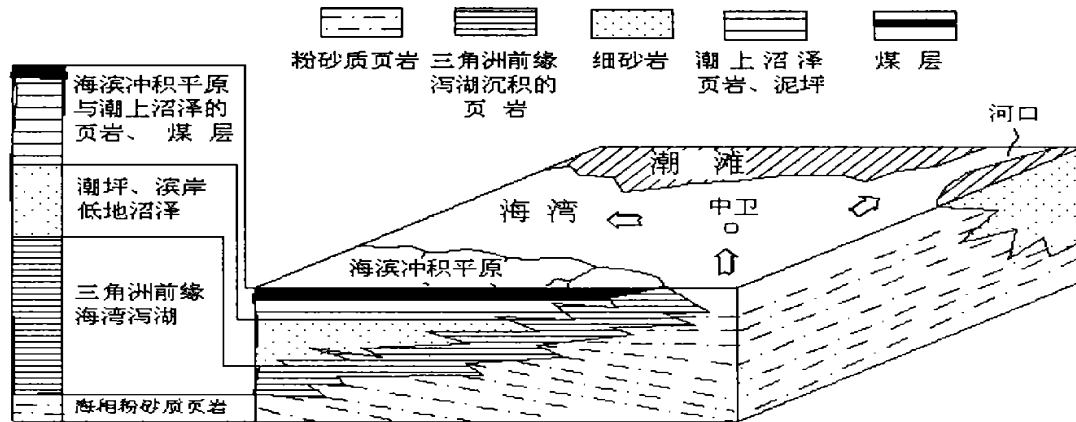


图6 晚石炭世中卫所处古环境位置图

Fig. 6 The palaeogeographic schematic location of Zhongwei area in Late Carboniferous epoch

湖-沼泽相的组合韵律。于宁夏地区南部的表现为以潮间-潮上带为主体的泥岩组,泥岩-砂岩组、砂岩-泥岩组沉积,宁西地区则为综合的潮坪相沉积,宁北地区以泻湖相、泻湖沼泽相沉积为特征;于泻湖相和沼泽相沉积层中多具煤层。于晚石炭世、海水进退频繁,较大的海侵有三次,构成三个完整的海侵-海退旋回。

5.3 古气候及古环境探讨

宁夏中卫下河沿晚石炭世化石中真蕨纲及种子蕨纲植物除部分为乔木外,大多是具大型羽状复叶的草本植物,喜温暖潮湿环境,一般生长于森林沼泽及低洼湿地上。石松纲植物多为高大挺拔的鳞木类(*Lepidodendron*, *Lepidophloios*, *Sigillaria*等),它们是石炭纪含煤沼泽中的优势类群,分布于滨海低地沼泽中,代表温暖潮湿的气候特征。芦木类(*Calamites*, *Mesocalamites*)、楔叶(*Sphenophyllum*)及轮叶(*Annularia*)等,也是沼泽植物群落的组成部分,其中楔叶丛产生 *Laevigatosporites* 等孢子,攀缘生长于林下湿地,适阴湿习性,芦木丛林以 *Calamospora* 孢子为代表分布于沼泽外缘河堤或砂坝上。以 *Florinites*, *Gardenasporites* 等花粉为代表的裸子植物生长于沼泽边缘的海边低地及周围山地上^[11]。总体来说,中卫下河沿一带在晚石炭世时的气候为温暖潮湿的热带-亚热带气候,适于植物繁殖生长,客观上造成了有利于成煤和生油的环境。古地磁研究表明^[22-23],晚石炭世时,中卫及其邻区处于低纬度及赤道附近,也证实了该区当时是热带-亚热带气候的这个结论。

晚石炭世的沉积作用是在早石炭世中晚期最大海侵结束之后发生的,在当时古地形趋于平坦的有障壁的海岸地带沉积了红土洼组^[18]。沉积组合主要是海湾泻湖和滨岸低地沼泽,并在泻湖本体周围发育了泥炭沼泽、油页岩等有机岩。维斯发期陆源泥沙堆积向

海推进,形成三角洲前缘具有河口和潮坪性质的沉积。斯蒂芬期是以河口砂坝为特征的三角洲平原。

6 结论

宁夏中卫在石炭纪时处于北祁连加里东褶皱带的东段。在晚石炭世早期宁夏接受了广泛的海侵,海侵先是由东南方向的天水-静宁海峡到达本区,使该区成为一河口海湾型沉积盆地。晚石炭世晚期在早期的基础上继续遭受海侵,而且海侵更为扩大,西部的祁连海向东发展。在太原组的上部第35层发育有生物灰岩,可能为当时的海岸线。晚石炭世的海侵使祁连海向东没过鄂尔多斯古陆与华北连成一片,此时的中卫地区绝大部分成为潮坪区。

致谢 西北大学地质系沈光隆教授、兰州大学地质系佟再三、李克定副教授、中科院兰州地质所江德昕教授等在野外工作及室内研究过程中给予的大力支持、指导和鼓励,山东省曲阜师范大学地理系刘爱东老师帮助绘制图件,在此一并致谢。

参考文献(References)

- 刘志才,郑昭昌,杨逢清,等.宁夏中卫校育川的纳穆尔期地层剖面.地层学杂志,1983,7(2):130~134[Liu Zhicai, Zheng Zhaochang, Yang Fengqing, et al. A Namurian stratigraphical section of Jiayuchuan, Zhongwei, Ningxia. Journal of Stratigraphy, 1983, 7(2): 130~134]
- 刘志才,郑昭昌.宁夏中卫、中宁地区纳穆尔期地层.见:地层古生物论文集.1988,19(1):219~230[Liu Zhicai, Zheng Zhaochang. Namurian stratigraphy of Zhongwei and Zhongning, Ningxia. In: Theses collections of stratigraphy and paleontologica. 1988, 19: 219~230]
- 杨逢清.宁夏中卫、中宁地区纳穆尔期贫氧生物相特征.地球科学-中国地质大学学报,1992,17(3):271~279[Yang Fengqing. Characteristics of the Namurian dysaerobic biofacies from Zhongwei and Zhongning regions, Ningxia, China. Earth Science, 1992, 17(3): 271

- ~ 279]
- 4 杨式溥, 田树刚, 郑昭昌. 宁夏中卫校育川纳缪尔期牙形石. 见: 地层古生物论文集, 1988. 22, 23 ~ 30 [Yang Shipu, Tian Shugang, Zheng Zhaochang. Namurian Conodonts from Xiaoyuchuan, Ningxia. In: Theses collections of stratigraphy and paleotologica, 1988. 22, 23 ~ 30]
 - 5 霍福臣, 潘行适, 尤国林, 等. 宁夏地质概论. 北京: 科学出版社, 1989. 18 ~ 149 [Huo Fuchen, Pan Xingshi, You Guolin, *et al.* Introduction to geology of Ningxia. Beijing: Science Press, 1989. 118 ~ 149]
 - 6 Li Xingxue, Shen Guanglong, Wu Xiuyuan, *et al.* Successional changes of Late Carboniferous autochthonous clastic swamp taphonomic phytocommunities from Xiaheyan, Zhongwei, Ningxia. In: Jin Yugan, Wang Jungeng and Xu Shanong, eds. Palaeoecology of China. Nanjing: Nanjing University Press, 1991. 151 ~ 167
 - 7 沈光隆, 吴秀元, 李克定. 北祁连地区石炭 - 二叠系界线问题. 甘肃地质学报, 1993, 2(2): 1 ~ 14 [Shen Guanglong, Wu Xiuyuan, Li Keding. Carboniferous - Permian boundary of North Qilian District. Acta Geologica Gansu, 1993, 2(2): 1 ~ 14]
 - 8 王永栋. 宁夏中卫晚石炭世维斯发期孢粉组合. 植物学报, 1995, 37(12): 978 ~ 985 [Wang Yongdong. Westphalian Spore - Pollen assemblages from the Upper Carboniferous in Zhongwei, Ningxia. Acta Botanica Sinica, 1995, 37(12): 978 ~ 985]
 - 9 王永栋, 沈光隆. 宁夏中卫上石炭统羊虎沟组的一个孢粉学事件. 微体古生物学报, 1995, 12(2): 199 ~ 205 [Wang Yongdong, Shen Guanglong. An upper Carboniferous palynological event from the Northwest China Yanghugou Formation in Zhongwei of Ningxia. Acta Micropalaeotologica Sinica, 1995, 12(2): 199 ~ 205]
 - 10 王永栋, 沈光隆, 吴秀元. 宁夏中卫县下河沿太原组生物地层 - 兼论石炭 - 二叠系分界. 中国区域地质, 1995, (2): 164 ~ 172 [Wang Yongdong, Shen Guanglong, Wu Xiuyuan. Biostratigraphy of the Taiyuan Formation at Xiaheyan, Zhongwei county, Ningxia with a discussion of the Carboniferous-Permian boundary. Regional Geology of China, 1995, (2): 164 ~ 172]
 - 11 Wang Yongdong. Palynological zonation and paleoecology of Carboniferous sequence from Zhongwei of Ningxia, China. Paleobotanist, 1995, 44: 48 ~ 61
 - 12 Wang Yongdong. Carboniferous palynostratigraphy and strato-boundaries in Zhongwei of Ningxia, China. Journal of Northwest University (English Edit.), 1996, 26: 43 ~ 48
 - 13 Wang Yongdong, Shen Guanlong, Wu Xiuyuan. Micro-and Megafloreal remains of Namurian F-GI Zones from Zhongwei, Ningxia, China. Paleobotanist, 1996, 45: 224 ~ 232
 - 14 高联达. 宁夏石炭纪、早二叠世孢子带和石炭 - 二叠系界线. 甘肃地质学报, 1994, 3(1): 1 ~ 26 [Gao Lianda. Carboniferous and early Permian Spore zonation and the boundary of the Carboniferous-Permian in Ningxia. Acta Geologica Gansu, 1994, 3(1): 11 ~ 26]
 - 15 吴秀元, 李星学, 沈光隆, 等. 甘肃靖远石炭系研究新进展 [J]. 地层学杂志, 1987, 11(3): 163 ~ 176 [Wu Xiuyuan, Li Xingxue, Shen Guanglong, *et al.* New advances in the study of Carboniferous rocks of Jingyuan, eastern Gansu. Journal of Stratigraphy, 1987, 11(3): 163 ~ 179]
 - 16 西安地质学院等. 甘肃河西走廊东部地区石炭纪和二叠纪地层以及沉积相和生储条件的研究. 西安: 西北大学出版社, 1989. 1 ~ 136 [Xi'an Geology College, *et al.* The study of the Carboniferous and Permian stratigraphy and facies and resource reservoir condition of the east part of Hexi Corridor, Gansu. Xi'an: Northwest University Press, 1989. 1 ~ 136]
 - 17 刘宝琛主编. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1980. 295 ~ 297 [Liu Baojun edited. Sedimentary lithology. Beijing: Geological Publishing House, 1980. 295 ~ 297]
 - 18 佟再三, 李汉业. 靖远磁窑晚石炭世沉积环境基本特征. 甘肃地质学报, 1995, 4(1): 21 ~ 29 [Tong Zaisan, Li Hanye. Basic features of late Carboniferous sedimentary environment at Ciyao in Jingyuan county, Gansu. Acta Geologica Gansu, 1995, 4(1): 21 ~ 29]
 - 19 佟再三. 北祁连东段石炭纪古地理与构造关系初探. 甘肃地质学报, 1993, 2(2): 61 ~ 66 [Tong Zaisan. On the relationship between Carboniferous paleogeography and tectonics in the East part of the North Qilian mountains. Acta Geologica Gansu, 1993, 2(2): 61 ~ 66]
 - 20 佟再三, 李汉业. 北祁连东段石炭纪岩相古地理基本特征. 沉积学报, 1994, 12(1): 89 ~ 97 [Tong Zaisan, Li Hanye. Characteristics of Carboniferous lithofacies and paleogeography in Eastern part of North Qilian. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 20(1): 89 ~ 97]
 - 21 何宝珍, 晁吉祥. 西北地区石炭纪古地理轮廓及沉积特征. 煤田地质与勘探, 1982, (2): 14 ~ 20 [He Baozhen, Chao Jixiang. The characteristics of the Carboniferous paleogeography and sedimentary significance in northwest China. Coal Geology and Prospecting, 1982, (2): 14 ~ 20]
 - 22 吴汉宁, 周立发, 赵重远. 阿拉善及邻区石炭二叠系古地磁学研究及意义. 中国科学 (B 辑), 1993, 23: 527 ~ 536 [Wu Hanning, Zhou Lifa, Zhao Zhongyuan. The paleomagnetic study and significance of Carboniferous Permian in Alashan and adjacent area. Science in China (Series B), 1993, 23: 527 ~ 536]
 - 23 Huang Baochun, Yo-ichiro Otofujii, Zhu Rixiang, *et al.* Paleomagnetism of Carboniferous sediments in the Hexi Corridor: its origin and tectonic implications. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 194: 135 ~ 149

Facies Analysis and Sedimentary Environment Reconstruction of the Late Carboniferous in Zhongwei , Ningxia

XIE Xiao-ping^{1,2} WANG Yong-dong³ SHEN Huan-ting¹

1(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Science Research, Eastern China Normal University, Shanghai 200062)

2(Department of Geography, Qufu Normal University, Qufu Shandong 273165)

3(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract The Late Carboniferous marine and non-marine alternating deposits are well developed and outcropped in Xiaheyan of Zhongwei County, Ningxia Hui Autonomous Region northwest China, including the Hongtuwa, Yanghugou and Taiyuan Formations. The facies analysis and sedimentary environment evolution are investigated in this study based on evidences of lithology, color, granularity analysis, facies indicator, geochemical data as well as fossil fauna and flora and Spore-Pollen assemblages. Five facies are recognized including lagoon, tide flat, distributary bay estuarine sandbar, seashore and lowland marsh and tidal plain as well. In addition, the palaeogeographical background and sedimentary environmental evolution in Zhongwei of Ningxia are revealed and reconstructed based upon comparisons of the sedimentary characteristics with adjacent regions, including Eastern Sector of North Qilian, Ordos Basin and Taiyuan area of Northern China.

Key words Late Carboniferous, facies analysis, sedimentary environment, Zhongwei, Ningxia