

文章编号: 1000-0550(2003)03-0381-10

甘肃景泰红水堡晚石炭世沉积 环境与沉积相分析

谢小平^{1,2} 佟再三³ 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(兰州大学地质系 兰州 730000)

摘要 甘肃省景泰县红水堡地处北祁连加里东褶皱带东段。晚石炭世地层包括红土洼组、羊虎沟组及太原组。根据岩性、颜色、粒度分析、沉积相标志及古生物组合并结合古生态、以及地球化学特征,将景泰红水堡晚石炭世沉积环境与沉积相划分为泻湖、潮坪、支间湾河口坝和三角洲平原。一个明显的陆源沉积物向海推进的海退序列。

关键词 晚石炭世 沉积环境 沉积相 红水堡 甘肃景泰

第一作者简介 谢小平 男 1966年出生 博士 讲师 沉积学

中图分类号 P512.2 P534.45 **文献标识码** A

1 前言

研究剖面位于甘肃省景泰县西北漫水滩乡高家墩村(原红水堡)附近,距县城45 km。在大地构造上属北祁连加里东褶皱带东段,该地的石炭系发育良好,露头清晰,出露完整连续,构造简单,无大的断裂构造,动植物化石丰富,是研究石炭系生物地层及沉积相的良好地区。本文是在前人研究工作的基础上^[1~5],结合野外剖面实测和室内分析,重点研究景泰红水堡地区晚石炭世纳穆尔晚期(红土洼组)、维斯发期(羊虎沟组)、斯蒂芬期(太原组)的沉积环境、沉积相及其演化规律。

2 研究区石炭纪剖面地层概述

2.1 本区地层概况

本剖面采用吴秀元、李星学等^[6]关于石炭系划分二分方案,即下石炭统及上石炭统。下石炭统岩石地层单元由前黑山组、臭牛沟组与靖远组组成;上石炭统由红土洼组、羊虎沟组及太原组组成,地质历史上,包括纳穆尔晚期(Namurian B-C)、维斯发期(Westphalian)和斯蒂芬期(Stephanian)。

2.1.1 上石炭统红土洼组

底部为薄层生物灰岩及泥灰岩。

下部:灰黑色页岩、炭质页岩夹灰色粉砂岩及薄煤层,水平纹层状构造,有瓣鳃类及植物碎片化石。

中部:灰色、灰黑色页岩,纸状页岩、粉砂岩,夹薄层状中、细粒石英砂岩,石英杂砂岩。

上部:灰、灰黑色页岩,粉砂岩,黑色炭质页岩,夹两层薄层泥质灰岩,下层泥灰岩,直接覆盖薄煤层,潮汐层理发育。

红土洼组厚168.8 m,与下伏下石炭统靖远组整合接触。

2.1.2 上石炭统羊虎沟组

灰褐色细—中粒石英砂岩,薄层状、中层状,夹灰黑色、黑色炭质页岩、页岩、薄煤层,夹三层薄灰岩及灰岩透镜体。下部动、植物化石发育,上部植物化石发育。

羊虎沟组厚114.8 m,与下伏红土洼组整合接触。

2.1.3 上石炭统太原组

下部中厚层状深灰色中—细粒石英砂岩,细砂岩夹粉砂岩、页岩及煤层。

中部黑色页岩、泥岩、炭质泥岩夹煤层及薄层灰色细砂岩、灰岩,区域上则为生物灰岩。

上部褐灰色中—粗粒石英砂岩。

太原组厚64.9 m,与下伏羊虎沟组整合接触。

3 晚石炭世沉积岩类型及其特征

上石炭统沉积岩主要有三大类,分别为碎屑岩、泥质岩、碳酸盐岩。此外还夹有薄煤层及煤线。总的碎屑岩占31.9%,泥质岩占67.3%,碳酸盐岩占0.8%(图1)。

3.1 碎屑岩类

3.1.1 碎屑岩类型的划分

根据碎屑岩的结构及碎屑成分对碎屑岩进行划

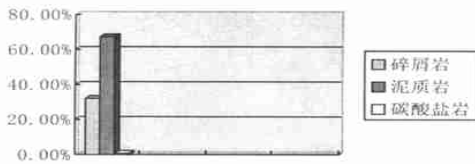


图1 上石炭统岩石类型所占比率

Fig.1 Ratio of rock types in upper Carboniferous series

分。

首先依据粒度大小将砂岩划分为六级。

本剖面的砂岩由下至上特点为红土洼组的下部为粗粒级,向上逐渐变为中粒—细粒;羊虎沟组的下部为细粒级,向上有变粗的趋势,中粒级砂岩增多;太原组的下部为中—细粒,向上逐渐变为粗粒级。

按碎屑物及填隙物的成分划分,本区晚石炭世砂岩碎屑成分以石英为主。含少量硅质岩屑,长石很少,有时达不到命名的含量。由下至上(红土洼组—羊虎沟组—太原组)石英的含量由少变多。其次混入少量的白云母碎屑及炭屑。

填隙物有三种:杂基,分杂基含量 $> 15\%$ 和 $< 15\%$ 两种情况;钙质,由微晶方解石组成;海绿石在孔隙中呈粒状,已褐铁矿化,通常海绿石与杂基相伴出现。在剖面中,钙质胶结(H30-1,细粒钙质砂岩),海绿石胶结(H31-1, H31-4,中粒海绿石石英砂岩)及中—细粒石英杂砂岩主要产在红土洼组,而羊虎沟组及太原组,主要为中—细粒石英杂砂岩。

以上所述反映了本区沉积作用的稳定性及水动力条件的变化特点。

红土洼组分选中等,磨圆度较好;羊虎沟组和太原组分选较差,磨圆度亦较红土洼组低,胶结类型亦从红土洼组的孔隙式与镶嵌式胶结向上变为羊虎沟组的杂基胶结与太原组的孔隙式、孔隙—镶嵌式与少量的基底式胶结(图2)。

3.1.2 成岩后生变化

成岩后生变化主要指沉积期后变化,在研究区上石炭统成岩变化主要有:

石英次生加大,出现在太原组,硅质围绕石英碎屑结晶成再生边,石英成港湾状的边缘,是深埋阶段温、压较高条件下形成的。

杂基绢云母化,褐铁矿化,出现在羊虎沟组。

海绿石褐铁矿化和杂基石英化,出现在红土洼组,主要是在成岩后期的氧化条件下形成,温度及压力均较高。

3.1.3 碎屑岩类型

本文是根据刘宝玉^[7]关于碎屑岩划分方案进行



Q—石英碎屑; M—杂基; G—海绿石

图2 红水堡红土洼组H-33-1层海绿石石英砂岩的薄片素描

Q—Quartz clastic; M—Mixed base; G—Glauconite

Fig.2 The thin section sketch of glauconite-quartz sandstone of layer-33-1 in Hongtuwa Formation, Hongshuibao

分类的。

即按Q, F, R 三端元组分绘制三角图,将上石炭统各层砂岩按其碎屑成分百分比及杂基的含量,投在三角图上。对上石炭统砂岩进行投影,如图3,左图杂基含量 $< 15\%$ 的砂岩,我们可以看到点均落于I、II区,岩石类型分别为石英砂岩、岩屑石英砂岩。右图,杂基含量 $> 15\%$ 的杂砂岩,对杂砂岩进行投影,点落于I、III区,岩石类型分别为石英杂砂岩和岩屑石英杂砂岩。

3.2 泥质岩类

上石炭统泥质岩总厚达234.6 m,成分为高岭石、伊利石、白云母、蒙脱石及石英、长石等碎屑,样品经兰州大学材料系实验室,进行X—射线粉晶衍射分析、差热分析。

3.2.1 X—射线粉晶衍射分析

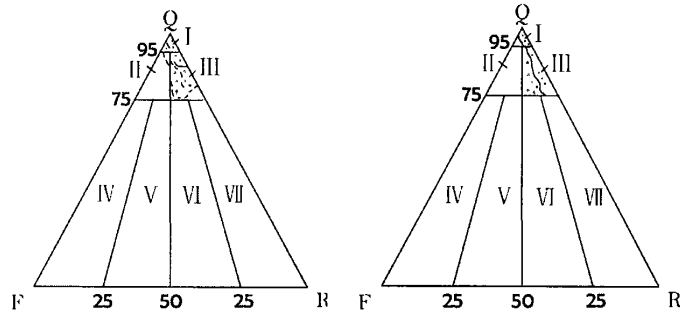
从X—射线衍射图可见,矿物中有高岭石、伊利石、石英、白云母、长石的存在。说明上石炭统的粘土岩由复合型粘土矿物所形成。

从所做H34, H36, H38, H40, Y42, Y44, Y48及Y52八层的8个样品来看,其组分也基本相同,说明粘土岩是由这几种粘土矿物混合组成的,可以称为高岭石—伊利石粘土岩。

3.2.2 差热分析

对太原组的第65层泥岩进行了差热分析,其结果如图4所示。

a. 温度 $544\text{ }^{\circ}\text{C}$,粘土矿物排除结构水,晶格遭到了分解与破坏,引起了明显的吸热效应,产生了一宽缓的吸热谷。在 $990\text{ }^{\circ}\text{C}$,为一放热峰,这时 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 及非晶质 SiO_2 变为富铝红柱石。这些特征与已知的高岭



Q 为石英+ 硅质岩屑; F 为长石+ 侵入岩; R 为云母+ 其它岩屑; I 为石英砂岩, II 为长石石英砂岩, III 为岩屑石英砂岩, IV 为长石砂岩, V 为岩屑石英砂岩, VI 为长石岩屑砂岩, VII 为岩屑砂岩; “.” 为 C₂h—红土洼组砂岩; “○” 为 C₂y—羊虎沟组砂岩; “△” 为 C₂t—太原组砂岩。

图 3 按 QFR 三端元组分的碎屑岩分类图(左图: 砂岩; 右图: 杂砂岩)

Q is Quartz+ Siliciclastic debris; F is Feldspar+ intrusive rock; R is Mica+ other clast. “.” is sand rock of Hongtuwa Formation; “○” is sand rock Yanghugou Formation; “△” is sand rock of Taiyuan Formation.

Fig. 3 Classification of clastic rock types according to QFR three end-member components

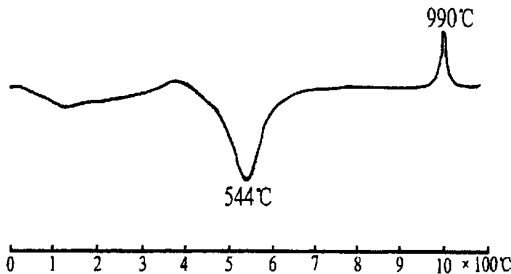


图 4 差热曲线图

Fig. 4 Differential thermal analysis thermogram

石脱羟吸热谷温度范围 500~600 °C, 放热效应温度 900~1 000 °C 的典型曲线相对应, 证实了该样品主要由高岭石组成。

b. 由图 4 还可看到, 差热实验在 100 °C 附近, 有一个不甚明显的吸热现象, 说明高岭石结晶较差或含伊利石, 或者说明在该粘土中含有一定数量的埃洛石, 化学分析结果如表 1。

表 1 太原组第 65 层泥岩化学分析结果

Table 1 Results of mudrock chemical analysis in layer 65 of Taiyuan Formation

项目	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	耐火度
分析结果/ %	59.22	24.88	1.95	0.31	0.91	3.95	0.30	1 700 °C

分析结果表明, 粘土岩中 SiO₂ 含量很高, 而 Al₂O₃ 含量则较低, 由于该粘土具有较高的耐火度, 达 1 700 °C。该陶瓷粘土为高岭石粘土岩。由于 Fe₂O₃ 含量较高, 使陶瓷产品产生褐色斑点, 需选矿, 将铁质选出, 但仅可作为制造粗陶瓷和民用。

根据上述分析, 红土洼组和羊虎沟组粘土岩是复合型的且以伊利石为主, 太原组还出现了高岭石粘土, 与页岩及粉砂岩共生。

伊利石质粘土主要形成于海洋环境, 而高岭石质粘土则主要出现于湿热的陆相环境中。在湿热的情况下, 由于化学风化进行得彻底, 碱金属(主要是 K⁺)被带走, 从而使铝硅酸盐转变成高岭石, 是滨海沼泽的产物。

伊利石与高岭石在剖面上的变化情况是由下至上, 伊利石减少, 而高岭石的含量则逐渐增多, 从而在太原组第 65 层形成高岭石粘土岩。

3.3 碳酸盐岩

由沉积的碳酸盐矿物所组成, 成分主要为方解石, 岩石类型为石灰岩。

红土洼组第 26 层、第 36 层、第 37 层及第 40 层含有石灰岩, 其中第 26 层石灰岩含有砂质, 其余三层石灰岩中含泥质。第 26 层灰岩厚 0.8 m、第 36 层厚 0.5 m、第 37 层厚 0.9 m、第 40 层厚 0.55 m, 总厚度 2.75 m。该组灰岩成层性较好。

该灰岩的形成与当时较弱的水动力条件或静水环境有关。由于能量较低, 为泻湖环境的产物, 而且气候较为湿热。

羊虎沟组和太原组的灰岩的产出呈透镜状, 或在沿走向上(太原组)有石灰岩的产出, 在厚度上没有进行统计。石灰岩含有泥质, 并且化石较为丰富。由于石灰岩不具成层性, 说明当时灰岩形成时开始有了大量的陆源碎屑沉积物的注入, 使得海水的清洁度变差, 抑制了碳酸盐岩的生成。

如表 2 所示, 上石炭统从下至上, 砂泥比值越来越

表2 上石炭统主要岩石厚度与砂泥比
Table 2 The thickness of main rock in the
Upper Carboniferous Series and ratio of sand and mud rock

岩性	灰岩	砂岩	泥岩	砂/泥
太原组	—	30.2	34.7	1/1.15
组名 羊虎沟组	—	49.0	65.8	1/1.34
红土洼组	2.75	31.95	134.1	1/4.2

大,亦即泥质越来越少而砂质越来越多,总体为一海退序列。

4 晚石炭世沉积相分析

4.1 沉积相标志

4.1.1 颜色

红土洼组沉积岩颜色主要以褐灰、灰黑、黑色等颜色的沉积岩组成,主要是由于含有机质(炭质),而炭质与沼泽环境有关,局部所夹岩段颜色为褐黄或棕褐色,岩石颜色较深,是在较为潮湿的还原气候条件下形成。

羊虎沟组沉积物的颜色主要为黑色和灰色,同时还有褐黄、褐红、棕褐色及黄绿色这些杂质,其沉积环境与红土洼组沉积环境相比时,既有相同之处,又带有明显的不同,出现了在氧化环境下形成的产物,说明此时的沉积环境由红土洼组时的泻湖—潮坪向羊虎沟组时的支间湾河口环境转化。

太原组沉积的沉积岩的颜色主要是以灰色为主,间有褐红及灰褐色,颜色与晚石炭世早期形成的沉积岩的颜色相比要浅,结合其物质组成,说明其时沉积环境已成为三角洲平原与三角洲前缘环境^[8]。

4.1.2 岩石结构

红土洼组 该组泥质岩厚 134.1 m,砂/泥比值为 1/4.2,粘土主要由高岭石、白云母、伊利石、石英等组成,含砂质及粉砂质,具砂质、粉砂质粘土结构。岩石以石英杂砂岩为主,填隙物有海绿石、杂基及钙质。灰岩含砂质及泥质,部分含有贝壳类及海绵骨针,总厚度仅为 2.75 m,占该组三类岩石的 1.63%。

砂岩的粒度分析是在 XPT-9 偏光显微镜下进行的,采用 0.25 mm 间隔测量粒径,达 500 个颗粒,最后计算绘图。

在计算过程中,所采用的是福克及沃德(Folk and Ward, 1957)提出的粒度参数。

薄片中的基质已经过处理,即以已测颗粒的概率 $\times (1 - \text{基质概率})$ ^[9]。

从该组的粒度分布累积概率图上也可看出,曲线类型为跳跃—悬移二段型,该组砂岩滚动总体不发育,而是以跳跃总体为主,由于水体较混浊,从而在一定程度上抑制了石灰岩的发育与沉积。

上述特征的概率曲线发育在单向的水流中,由于牵引流不发育,呈跳跃—悬移二段型,多形成为支间湾河口砂坝与潮坪。

羊虎沟组 该组岩石类型以石英砂岩为主,同时具有石英杂砂岩,含砂泥岩和粘土质岩屑砂岩,它们组成该组的次要的碎屑岩,碎屑岩总厚度为 49 m,砂泥比值为 1/1.34,灰岩主要以透镜体产出。

从概率累积曲线可以看出,该组仍然缺少牵引物质的沉积,主要是由跳跃总体及悬移物质组成的二段型搬运所形成的沉积。悬移总体斜率较小,反映出分选差,沉积偏细,沉积时水体能量较小,为支间湾河口坝沉积。

太原组 该组的砂岩类型主要是中—粗粒石英砂岩及石英杂砂岩。在石英杂砂岩中有杂基绢云母化及石英次生加大现象。该组中石英砂岩+石英杂砂岩厚 30.2 m,砂/泥比值为 1/1.15。灰岩以透镜体产出,且沿走向急剧变薄、尖灭。

从概率累积曲线可以看出,在该组中出现了牵引物质,说明当时海水继续退缩,出现了三角洲平原亚相的分流河道微相。悬移段斜率较低,分选较差,主要以河流砂为主,出现陆相沉积。

4.1.3 构造及水动力

沉积岩的构造是沉积岩的重要特征之一,据此可以得出沉积岩的生成存在条件与发展的概念。

机械成因的沉积构造中,以层理最为多见,其次为层面构造和变形构造。前二者系沉积物在以沉积作用为主的过程中,在沉积物内部及表面所形成的构造,它们是水动力条件的物质表现,对环境鉴别极为重要。

(1) 层内构造—层理

按成因及形态将其分为:

①块状层理 常见于泥质岩层和砂岩层中,是在平静水体中单一物质垂向加积或粗碎屑未经分选而快速堆积的结果,前者见于泻湖、湖泊、前三角洲等环境的泥质岩中,后者见于河口砂坝、河流等环境中,块状层理是在 $Fr \ll 1$ 的情况下产生的(图版 I -1)。

②水平层理 厚度 2 mm 左右的细层,呈直线型相互平行的层理,连续或断续状。常见于细碎屑岩中;它是在极微弱的水动力条件下($Fr \ll \ll 1$),细碎屑物质缓慢垂向加积而成的。在本剖面中是由于矿物成分,粒度大小的不同而显示层理。其岩性多为泥岩与粉砂岩互层,层面常平行分布云母片及炭化植物碎屑。多见于三角洲前缘末梢砂坝附近(图版 I -2)。

③砂泥岩互层层理 在一个稳定的水体中,当水动力条件有周期性的瞬时改变,出现微弱的牵引流时,便形成具有水平层理的泥质岩与砂纹层理的粉砂—细

砂岩的互层,它是水平层理与砂纹层理的过渡类型,是末梢砂坝、支流间湾的特征构造(图版I-3)。

④砂纹层理 层系厚度为0.1~3 cm的小型交错层理,是在 $Fr \ll 1$ 的缓慢水动力条件下,由砂体迁移形成的,见于受单向水流或波浪震动作用的浅水区,岩性以粉砂岩,细砂岩为主,形成于多种沉积环境的细砂—粉砂级岩石中,反映了推移质搬运速度近于或稍大于沉积物的沉积速度(图版I-4)。

⑤交错层理 此类层理指层系厚度 > 3 cm的中、大、巨交错层理,是在 $Fr < 1$ 的水动力条件下,由沙垄和波浪的移动而成,为碎屑岩的主要构造,其形成机理与砂纹层理相同,主要区别在于水动力条件较强,沉积物主要为中—粗粒砂。按层系界面形态又将其分为板状交错层理,楔状交错层理和槽状交错层理(图版I-5)。

(2) 层面构造

①波浪 为非粘性砂质沉积物所具有,是床沙形态在层面上表现的痕迹,在本区常与虫孔伴生,应为浅水波浪(图版I-6)。

②冲坑、冲槽 为粗碎屑岩与细碎屑岩明显接触的界面,是在流急的,水动力条件较大($Fr > 1$)的情况下形成的。在本区是分流河道底蚀河口砂坝,末梢砂坝的结果(图版I-7)。

4.1.4 古气候、古盐度

环境因素对生物的发展、演化产生影响,因此,通过研究生物化石,可推断曾发生影响的环境因素。

①温度 由于该地层剖面中含有大量的鳞木、楔叶,真蕨等植物化石,而鳞木、楔叶,真蕨是热带、亚热带雨林的指示植物,表明当时的气候无四季的变化,红土洼期与羊虎沟期是全年温暖,潜水面高、雨量丰富的热带、亚热带环境,整体上属于热带植物群,即欧美植物群,太原期的植物化石总体上为早期的华夏植物群,植物为高大的森林型^[10~12]。

贝壳类生物的发育,大多在温暖的海洋环境中。根据西安地质学院^[8]在红土洼组中发现的无铰纲腕足类,推断当时为温度、盐度正常的滨海环境,而且无铰纲 *Lingula* 主要生活于潮汐带和海底富有泥沙的、水深小于30 m的滨海区。

在羊虎沟组中,西安地质学院也发现了牙形刺。据目前所知,该类化石只发现于寒武纪到三叠纪的各类海相沉积中,从未见于陆相沉积中(《古生物学简明教程》P305),可见具有牙形刺的生物是海生生物,水深主要在10~150 m的区域,为温暖及盐度正常的浅海。结合植物及菊石化石分析,当时环境应是温暖潮湿的海陆交互环境。

太原组中含有的植物化石既有生长于温暖潮湿的海边低地或沼泽中的,也有生长于陆地上湿热气候带的^[8],同时西安地质学院还在相当于第66层灰岩透镜体中发现有孔虫,而有孔虫大部分为喜暖的窄盐性动物,分布于热带、亚热带浅海,可见气候在总的温暖潮湿条件下还有一些小的旋回变化。

多层煤线的形成也指示了既有沼泽环境,又有一定程度的海洋沉积,是海陆环境的多次反复,但总的来看,气候较为湿热。

②盐度 腕足类、头足类都是典型的窄盐性底栖生物。灰岩透镜体中所含各类生物的大小形态正常,是海水盐度正常的标志。而含双壳类的灰黑色泥岩,可能在淡化水及淡水中沉积,据此推测似为略淡化的水环境。

4.1.5 包裹体及指相意义

本剖面中包裹体主要为菱铁矿及灰岩。

①菱铁矿 菱铁矿主要以结核与薄层状产出,从其形成条件来看,大多产在泥质及粉砂岩中,以结核状或条带状产出,据此推断应有一定的水深条件。 $Fe-CO_3$ 的形成中,Fe是以二价与 CO_3^{2-} 离子结合,应为还原环境,可见其形成时是在沉积物内部或海底沉积物表面附近,而水体部分或浪基面以上则是氧化环境,当生物死亡之后沉到海底,经细菌分解作用产生富硫化氢的还原环境,这样菱铁矿的形成环境就具有分带的特征。该物质在形成过程中,明显受到两个因素的控制:一是碎屑沉积物较缺少,二是生物产率较高。结合上述特点,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。

灰岩在该剖面中是以透镜体产出的,这主要与两个因素有关,一是碎屑沉积物相对缺少,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,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。当在碳酸盐沉淀之时,如有较多的泥质物及碎屑物质加入,则会抑制碳酸盐的沉淀,最终导致灰岩以透镜体或包裹体产出,也可能在成岩作用过程中形成,但从总体来看,有灰岩透镜体产出的层位,反映的是海洋环境。

②指相矿物 海绿石系层状硅酸盐,伊利石族,是

同生及准同生期的标型矿物。

海绿石在地质上可作为环境标志, 因为其在温暖陆棚分布广, 在寒暖流汇合处最富。在本剖面中产于红土洼组第31层和第33层, 颗粒小, 颜色浅, 形成于弱氧化—弱还原的环境。综合上述分析及有关地质特征该矿物应产在滨海沼泽中。

③植物根系化石及根土岩的存在也说明是三角洲平原环境的泥炭沼泽沉积(图版I-8)。

4.1.6 微量元素

红土洼组据岩样光谱分析^[13~14], Sr/Ba 比值多在 0.2~0.5 之间, 即比值小于 0.5, 据此及岩性初步分析, 红土洼组为滨海平原亚相, 而且主要是泻湖—潮坪相。

羊虎沟组上部和下部, 据页岩样品光谱分析, Sr/Ba 比值同样小于 0.5, 但由于含有较丰富的陆源及海源有机物, 综合有关地质特征, 属三角洲前缘亚相。

羊虎沟组中部, 岩样光谱分析, Sr 含量为 100×10^{-6} , Ba 低于灵敏度。上述特征说明该段沉积形成于低能条件下, 间或有能量较高条件出现。

太原组据沉积特征分析, 为三角洲平原, 主要为分流通道砂及沼泽沉积。

以上分析说明研究区晚石炭世总的的环境是滨海平原和三角洲平原。

4.2 沉积相划分及类型

4.2.1 红土洼组

沉积相主要为滨海平原亚相。该相发育于红土洼组的上部和中下部, 主要由砂岩和页岩间互组成韵律沉积, 上部属潮坪沉积, 中下部为泻湖沉积。

(1) 潮坪砂—泥岩微相 潮坪微相主要由石英砂岩和少量石英杂砂岩、泥质粉砂岩组成。砂岩多为细粒结构, 并有中粒或粗粒结构, 分选中等—良好, 沉积构造常见有斜层理、平行层理及粒序层理, 同时也有一部分潮汐层理, 属低能及中等能量环境的混合。低能环境下有泥炭沼泽沉积。石英砂岩中碎屑呈线状和凹凸状接触, 胶结类型为孔隙式与镶嵌式, 胶结物主要为高岭石、伊利石等, 说明总体为湿热环境下的产物。由其物质组成推断, 为潮间坪沉积。浪成砂纹层理的出现说明沉积物除了受潮汐作用外, 还受到波浪作用的影响, 当潮流速较高时, 出现冲刷槽和冲刷坑^[15]。

累积曲线的特点以跳跃总体和悬移总体为主。两点间为突变关系, 无混合现象。脉状层理更说明了该沉积为混合坪沉积。

(2) 泻湖泥岩微相 泻湖微相由炭质页岩、粉砂质页岩及它们的组合所组成。局部炭质页岩中有煤线、细砂岩、粉砂岩条带以及钙质泥岩条带等。由于泻

湖的能量很低, 主要发育水平层理和平缓的砂纹层理。生物种类较多, 有腕足类、头足类等正常盐度上的海相动物化石和热带、亚热带气候条件下的鳞木等化石, 说明当时气候潮湿, 泻湖有发展为滨岸沼泽的趋势。从碎屑岩的累积曲线也可看出, 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。

(3) 潮下泥岩微相 由页岩、少量粉砂岩及灰岩透镜体所组成, 生物化石丰富说明红土洼组的中下部以泻湖沉积为主, 兼有滨岸沼泽, 上部为潮坪环境的混合坪沉积, 显示一海侵旋回。

图5所显示的是有障壁的潮坪和泻湖体系中二者的位置关系。

4.2.2 羊虎沟组

自下而上该组为一三角洲前缘亚相, 包括河口砂坝和支流间湾沉积。该区域的沉积是由于夹沙河水进入沉积盆地时, 河流与盆地相互作用能量减少, 从而使泥沙沉积下来。

(1) 河口砂坝微相 该微相出现于羊虎沟组的上部与下部, 岩石类型为石英细砂岩及少量石英杂砂岩, 长石石英砂岩、岩屑石英长石杂砂岩等。层理类型主要为平行层理、斜层理和砂纹层理; 层面构造有波痕和虫迹, 层序上是一个比较大型的向上变粗的层序, 反映了受水盆地的充填作用, 由于三角洲前缘有沉积物的不断供应, 使三角洲前缘在进积过程中由于前缘斜坡过于陡峭而引起变形, 形成变形构造。生物化石除了陆相植物化石外, 还有腕足、双壳及菊石类的存在, 西安地质学院于第54层发现了牙形刺, 而目前所知, 牙形刺只产于海相地层中, 所以该三角洲相当于河流—潮汐和波浪相互作用的三角洲。

(2) 支流间湾微相 在分流河口地区, 除了沉积物的分散作用形成一系列颗粒较粗的河口砂坝以外, 在分流河道之间, 紧靠砂坝的向陆一侧, 可以沉积比较细粒的物质。

羊虎沟组中部页岩应为支流间湾的沉积, 由于沉积物的不断供应向海进积, 使砂岩和页岩在剖面上间互出现, 构成韵律互层。

(3) 远砂坝 由粉砂及粘土岩组成, 见交错层理、砂纹层理, 底栖生物的介壳多见。

4.2.3 太原组

在太原组形成过程中, 海水进一步退缩, 沉积是以中细粒为主, 与红土洼组和羊虎沟组明显不同, 悬移段斜率更低, 分选更差, 具典型的河道砂的特点, 是三角洲平原沉积。

(1) 分支河道砂岩微相 在分支河道沉积中, 砂

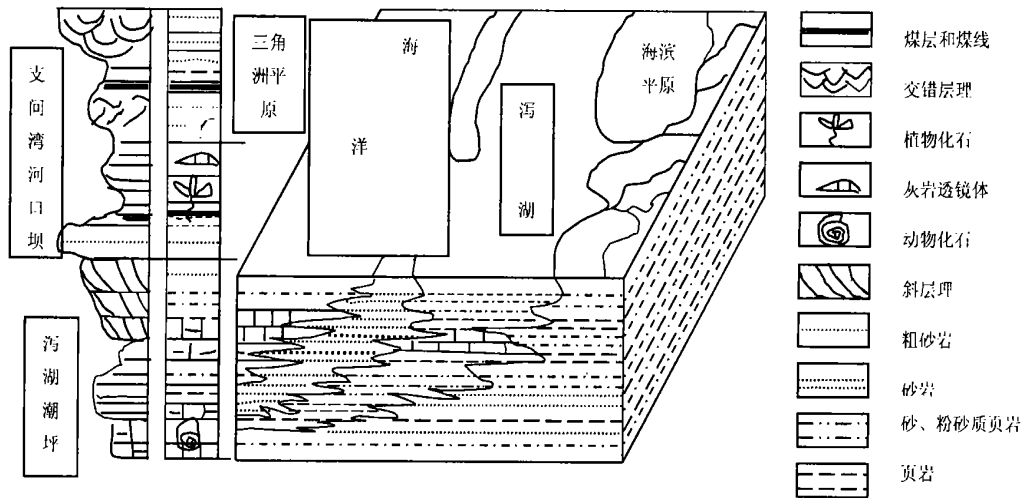


图5 有障壁的潮坪—泻湖体系及二者的关系

Fig. 5 The tidal flat-lagoon systems with barrier island and their relationship

比邻近的沉积物粗,分选差。在太原组第59层中,发育有河道砂的斜层理,见有植物碎片化石,完整的化石较少,见于太原组的上部和底部。

(2) 分支间湾微相 发育于太原组中部,主要由灰黑色和黑色页岩组成,植物化石丰富,局部夹煤层和菱铁矿结核,说明其为一排水不畅的泥炭沼泽,偶有洪水进入的还原环境,见有植物根茎化石。

(3) 水下天然堤 由细砂岩、粉砂岩及粘土层所组成,层理类型为交错层理、砂纹层理及流水波痕。

4.3 沉积相组合及旋回特征

红土洼期

红土洼组与靖远组为连续沉积。在靖远期末海侵达到最大范围之后,本期海水开始收缩,是海侵持续阶段。在红水堡一带仍然形成以海相沉积为主及中下部发育泻湖的沉积;上部发育了从潮上至潮间带的混合坪沉积。

羊虎沟期

由于古陆区剥蚀作用加剧,沉积物供应较充分,在河口砂坝不断向海进积的过程中,海水不断退缩,使羊虎沟期成为晚石炭世三角洲发育的全盛的时期。此时红水一带以三角洲前缘的河口砂坝和支间湾沉积为主。

太原期

太原组沉积之时,海水进一步退缩而成三角洲平原环境,形成以砂泥质为主的沉积,主要发育三角洲平原的河道砂及支间湾沉积,总体上接近于陆相,但仍有部分区域受海水影响,有海相化石,距物源较近。

从旋回特征来看,晚石炭世为一海退旋回,从总体

上来看,旋回从红土洼期的泻湖经潮坪至羊虎沟期的三角洲前缘河口砂坝、支流间湾至太原期的三角洲平原分流河道、支间湾,从而结束从靖远期开始的海侵。从粒度上来看,向上沉积物粒度逐渐变粗,砂岩增多,这一点从剖面上及砂泥比值上也可以看到。

5 晚石炭世沉积环境及其沉积相演化特征及其模式

沉积模式是根据沉积相的研究和室内模拟实验,对古代沉积作用机理所作的一种成因解释模式。目前由于许多研究者往往根据各自的实践提出了许多沉积模式分类、不同的相带分类和各种相带名称,使得大量的模式不便应用。本文主要根据吴崇筠、刘宝王君等我国和国外有关理论和已提出的沉积相模式,结合沉积物性质、水动力条件、生物化石和古地貌特征所得出的模式^[12]。

北祁连东段大范围内,石炭纪为一海湾性质的陆表水域,呈北西—南东向。红土洼期—羊虎沟期,可能来自西南的海侵进一步扩大,越过了中卫、吴忠,侵入到宁夏广大地区,宁夏的呼鲁斯太开始沉积了纳缪尔期的地层。太原期海侵进一步扩大,北祁连东段、宁夏及华北(鄂尔多斯西缘)连成一体,海湾消失^[16~17]。

此时的红水堡剖面地处滨岸地带,为一有障壁的海岸地带的滨岸环境。

本区在晚石炭世时海水开始收缩,形成以三角洲沉积为主体,发育泻湖—潮坪的滨海平原亚相、三角洲前缘河口砂坝和支流间湾微相,三角洲平原分流河道和支间湾沉积。图6所示为晚石炭世沉积相演化模

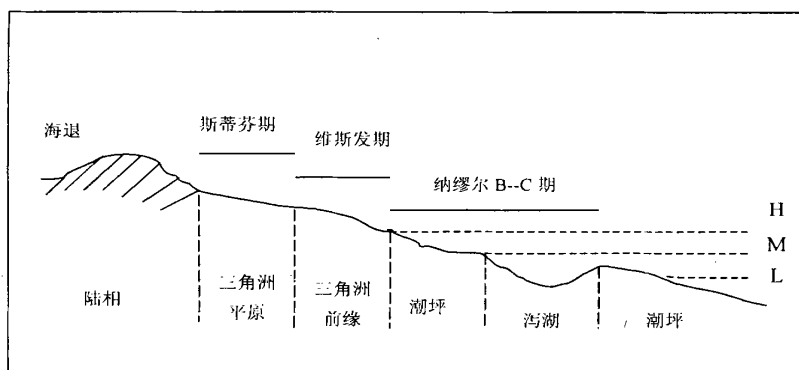


图6 晚石炭世沉积相演化模式

Fig. 6 The evolutionary model of the Later Carboniferous Epoch sedimentary facies

式。

6 本研究区晚石炭世沉积环境及其沉积相与区域上的时空关系

红土洼期

在走廊东部武威地区此时为三角洲平原河道沉积与河间平原沉积,在天祝为潮下沉积,东部靖远地区为泻湖相夹碳酸盐潮坪沉积,靠顶部出现三角洲相沉积,说明此时东部地区水体较西部深。

羊虎沟期

在武威西营土塔沟剖面,羊虎沟组与红土洼组间有侵蚀间断面,此时沉积以三角洲相为主;东部靖远地区由三角洲相的河口砂坝、沼泽为主组成,上部有碳酸盐台地相,顶部与下二叠统大黄沟组呈平行不整合接触,说明此时已海退成陆^[18~19]。

太原期

西部走廊地带武威一线发育有三角洲前缘及滨海沉积,东部福祿村、井儿川、靖远一线以南则缺失该期沉积,表明太原期沉积作用向北迁移,如黑山、下河沿、校育川、呼鲁斯太广大地区均有该期沉积。

7 结语

经过本次工作,对红水堡地区石炭系,特别是晚石炭世地层和沉积相等方面的研究都取得了不少新的认识,为该区以后更加深入的工作奠定了基础。现将有关新的认识和进展以及存在问题概略归纳如下:

7.1 生物地层方面

由于在原靖远组上段底部发现有H带的标志性牙形刺,上部有菊石(R-G₁)带,故此采用最新划分方案^[1],将该区石炭纪地层自下而上划分为下统的前黑山组、臭牛沟组、靖远组;上统的红土洼组、羊虎沟组、

太原组。明确了在原臭牛沟组顶部存在相当于西欧纳缪尔早期地层。同时进一步明确原靖远组上段,即当前的红土洼组大体相当于纳缪尔晚期地层。由于靖远组和红土洼组之和相当于西欧纳缪尔期地层,故此根据地层发育情况,所存生物化石和上下间关系,将原靖远组分为靖远组(A段)和红土洼组(B、C段),以期对早一晚石炭世间的地壳升降、古地理变化提供更进一步研究的线索。

7.2 沉积相方面

通过对剖面沉积相研究,对上石炭统沉积相作了比较系统的划分,并做出了沉积相演化模式图。

鸣谢 本文在选题、野外、室内工作及论文撰写期间,得到兰州大学武安斌教授和中国科学院兰州地质研究所刘文彬研究员的精心指导和热心关怀,在此作者表示衷心的感谢。并对进行了测试工作的兰州大学材料系分析室各位老师也一并表示衷心感谢。

参考文献(References)

- 1 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):163~179 [Wu Xiuyuan, Li Xingxue, Shen Guanglong, et al. New advance in the study of Carboniferous rocks of Jingyuan, eastern Gansu[J]. Journal of Stratigraphy, 1987, 11(3): 163~179]
- 2 甘肃省地质矿产局区调队.甘肃的石炭系[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1987 [Area Geological Survey Team of Geological and Mineral Bureau of Gansu Province. Carboniferous System in Gansu Province [M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press, 1987]
- 3 甘肃省地质矿产局.甘肃省区域地质志,第19号[M].1989.171~202 [Geological and Mineral Bureau of Gansu Province. Area Geological Records of Gansu Province, No. 19 [M]. 1989. 171~202]
- 4 王增吉等著.中国地层8.中国的石炭系[M].北京:地质出版社,1990.67~92,377~388 [Wang Zengji, et al. eds. Chinese Stratum 8. Chinese Carboniferous System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 67~92, 377~388]

- 5 霍福臣等. 宁夏地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 118 ~ 149 [Huo Fuchen, Pan Xingshi, You Guolin, *et al.* Introduction to geology of Ningxia[M]. Beijing: Science Press, 1989. 118 ~ 149]
- 6 吴秀元, 赵修祚. 中国石炭纪陆相地层的划分和对比—中国各纪地层对比表及说明书[M]. 北京: 科学出版社, 1982 [Wu Xiuyuan, Zhao Xiuhu. Division and comparison of Chinese Carboniferous Terrestrial facies stratum-The table and explanation book of Chinese different Periods Stratum [M]. Beijing: Science Press, 1982]
- 7 刘宝君主编. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980. 99 ~ 136 [Liu Baojun, edited. Sedimentary lithology [M]. Beijing: Geology Press, 1980. 295 ~ 297 (in Chinese)]
- 8 Jason Hilton, Shi-Jun Wang, Jean Galtier, *et al.* An Early Permian plant assemblage from the Taiyuan Formation of North China with compression/impression and permineralized preservation[J]. Review of Palaeobotany & Palynology, 2001, 114: 175 ~ 189
- 9 余素玉, 何镜宇. 沉积岩石学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989 [Yu Suyu, He Jingyu. Sedimentary lithology [M]. Beijing: China Geology University Press, 1989]
- 10 Li X X, Shen G L, Tian B L, *et al.* Some notes of the Carboniferous and Permian floras in China [A]. In: Li X X, ed. Fossil floras of China through the geological ages (English Edition) [C]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1995. 244 ~ 304
- 11 Wu X Y. Carboniferous floras [A]. In: Li X X, ed. Fossil floras of China through the geological ages (English Edition) [C]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1995. 78 ~ 118
- 12 Baochun Huang, Yo-ichiro Otofujii, Rixiang Zhu, *et al.* Paleomagnetism of Carboniferous Sediments in the Hexi Corridor; its origin and tectonic implications [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 194: 135 ~ 149
- 13 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[M]. 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 [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1989. 1 ~ 136]
- 14 Richard C. Selley. Applied sedimentology, Second Edition [M]. London: United Kingdom, Academic Press, 2000. 130 ~ 506
- 15 Gerhard Einsele. Sedimentary basins evolution, facies and sediment budget [M]. Tubingen; Germany, 1992. 29 ~ 53, 94 ~ 176
- 16 佟再三, 李汉业. 北祁连东段石炭纪岩相古地理基本特征[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 89 ~ 97 [Tong Zai-san, Li Hanye. Characteristics of Carboniferous lithofacies and paleogeography in Eastern part of North Qilian [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 20 (1): 89 ~ 97]
- 17 佟再三, 李汉业. 靖远磁窑晚石炭世沉积环境基本特征[J]. 甘肃地质学报, 1995, 4(1): 21 ~ 29 [Tong Zai-san, Li Hanye. Basic features of late Carboniferous sedimentary environment at Ciyao in Jingyuan county, Gansu. Acta Geologica Gansu, 1995, 4 (1): 21 ~ 29]
- 18 煤炭科学研究院地质勘探分院等. 太原西山含煤地层沉积环境[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987. 485 ~ 533 [Geological Prospect Branch of Coal Science Institute, *et al.* The sedimentary environment of coal-bearing stratum of Xishan, Taiyuan [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1987. 485 ~ 533]
- 19 何宝珍, 晁吉祥. 西北地区石炭纪古地理轮廓及沉积特征[J]. 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 [J]. Coal Geology and Prospecting, 1982, (2): 14 ~ 20]

Analysis on Sedimentary Environment and Facies in Later Carboniferous Epoch of Hongshuibao, Jingtai County, Gansu Province

XIE Xiao-ping^{1,2} TONG Zai-san³ SHEN Huan-ting¹

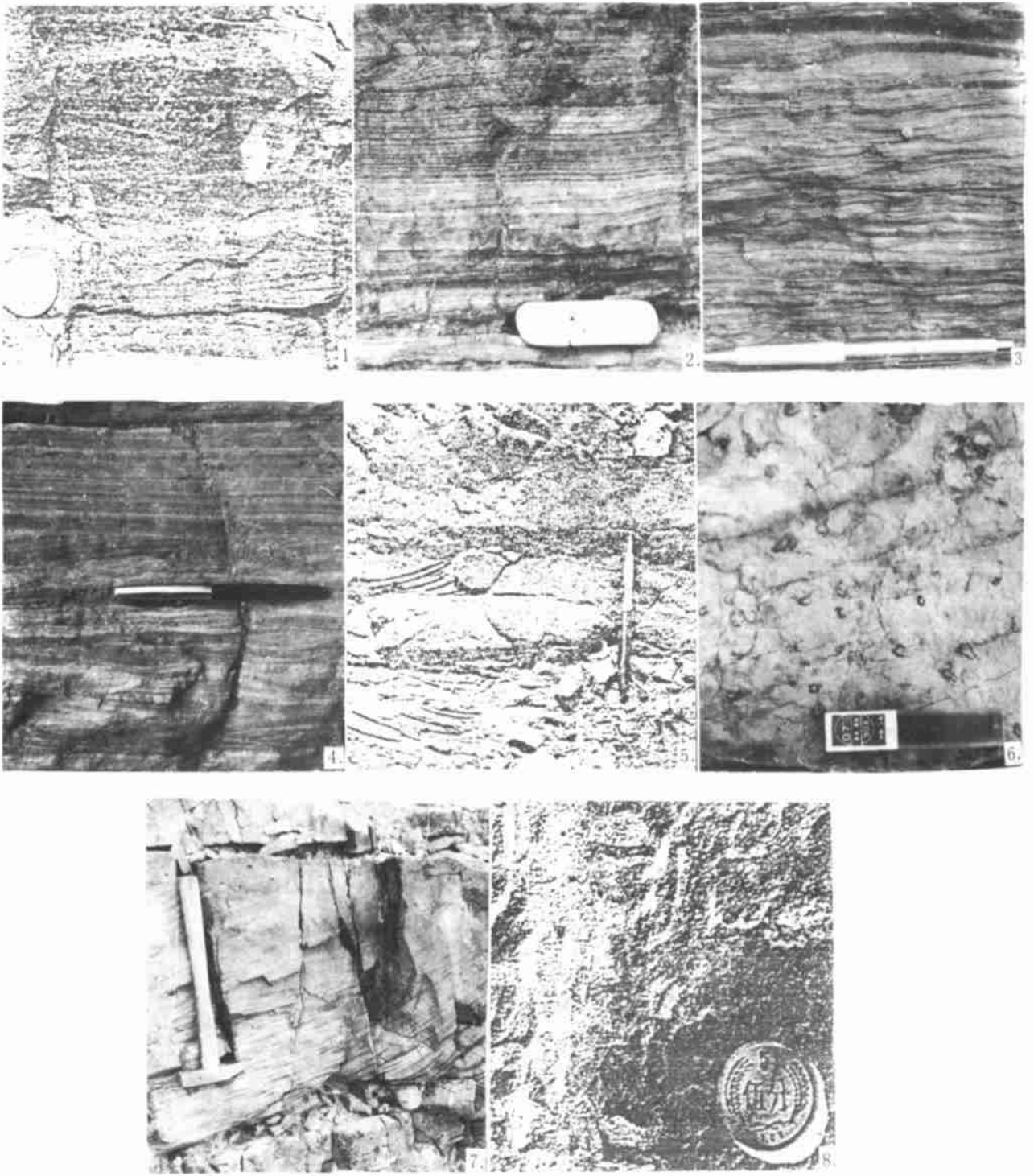
1(State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

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

3(Geology Department of Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract Hongshuibao is located in the northwest of Jingtai county, about 45km to the county town, Gansu province. The area is in the east part of Caledonian folded belt of the North Qilian Mountain, stratigraphic units developed well. Fossils are abundant, engage relationship is clear. The Upper Carboniferous Series is consists of Hongshuibao formation, Yanghugou formation and Taiyuan formation. Sedimentary environment and facies changed from lagoon-tide flat, tributary river barrier to the deltaic plain, clearly a regression sequence.

Key words Later Carboniferous epoch, sedimentary environment, sedimentary facies, Hongshuibao, Jingtai county, Gansu province



图版I 说明 1. Y-49 板斜层理; 2. H-34 水平纹层; 3. H-33 小型透镜状层理; 4. Y-49 下: 砂纹层理; 上: 水平层理; 5. H-31 双向交错层理; 6. H-35 顶层面上虫孔; 7. T59 (第4分层) 斜层理(分流河道); 8. H-27 植物根系化石.