

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

淮南煤田二叠系第四含煤段花斑状泥岩的特征及成因^①

彭 苏 萍

(中国矿业大学北京研究生部)



淮南煤田二叠系第四含煤段下部广布着一层分布稳定的花斑状泥岩。该花斑状泥岩可依据花斑的大小、岩性、沉积构造、生物化石、花斑与基质的关系等划分成似层状花斑泥岩、大花斑泥岩和小花斑泥岩三种宏观类型。用比较沉积学和综合分析的方法对该花斑状泥岩的研究结果表明,该花斑状泥岩形成于进积阶段期间复合型三角洲的网状河道体系内。因网状河道体系内部次一级环境的差异,该花斑状泥岩在不同的地点其沉积特征不同。一般说来,似层状花斑泥岩主要形成于河岸天然堤地带,大花斑泥岩形成于漫滩部位,而小花斑泥岩则主要是湿沼地的产物。并且通过模拟实验,探讨不同颜色花斑转化的初步机理。

淮南煤田二叠系第四含煤段下部,广泛分布着一层花斑状泥质岩,引人注目,并被当作区内地层对比的标志层,然而对其特征和成因缺乏研究和讨论。1982年以来,笔者在进行硕士和博士课题期间,利用比较沉积学和室内模拟实验的方法对其进行详细的研究,认为淮南煤田二叠系第四含煤段中花斑状泥质岩是复合型三角洲进积期间,在网状河道体系中沉积的产物。

一、花斑状泥质岩的基本类型及其特征

1. 宏观特征

本区的花斑状泥质岩依据花斑的颜色可分为紫红色花斑状泥岩和锈黄色花斑状泥岩。其主体颜色主要为灰绿色或略带绿的深灰色。花斑的形态以云朵状、团块状为主,偶尔可见到蠕虫状斑块。斑块的大小一般3—5cm,但大者可达数十厘米,有的相互结合而呈似层状。花斑泥岩中动物化石、生物遗迹化石和完整的植物化石罕见,仅偶尔见到稀疏的植物根部和保存极差的植物碎片。沉积构造极不发育,偶尔可见到微型沙纹层理和水平层理。花斑与基质的接触关系多为渐变,少数为明显接触。在剖面上,虽然花斑状泥岩的产状较为稳定,但它与上、下岩层的岩性均为渐变接触。通过工作,我们将花斑状泥岩划分为如表1所列三种类型。

2. 镜下特征

表1所列三种类型的花斑状泥岩在镜下呈现出如下特征:

(1) 似层状花斑泥质岩

镜下观察,铁染物质以凝胶状或絮状均匀地分布于整个薄片内,碎屑矿物(主要是石英)亦较均匀地散布于薄片内,碎屑颗粒有一定的排列现象。高岭石因颗粒太小,在显微镜下无法判断,估计含量在20%左右;褐铁矿以粒状或絮状形式出现,大小为1—40 μ m,含量10%以上;绿

① 国家自然科学基金资助项目。

本文1989年7月收到,1990年2月改回,沈晓毅编辑。

表 1 花斑状泥岩的宏观类型及其特征

Table 1 Macroscopic types of the piebald mudstone and their characteristics

名称	特征	花斑大小 (cm)	花斑形态	花斑颜色	岩性特征	花斑与基质 接触关系	植物化石	层 理	菱 铁 鲕 粒
似层状花斑泥岩		>10	层 状	紫 红	含粉砂质较高, 外观粗糙	模 糊 (不明显)	罕 见	块 状	较罕见, 且多已转化成褐铁矿和赤铁矿
大花斑泥岩		5~10	云 朵 状 团 块 状	紫 红	粉砂质含量剧减但仍醒目	较 明 显	偶见植物碎片	偶见沙纹层理	在基质中常见, 有时成团出现
小花斑泥岩		<5	云 朵 状 蠕 虫 状	锈 黄	粉砂质含量极少	明 显	有时见根部化石	偶 见 水平层理	在基质中常见, 呈分散状出现

泥石以柱状形式出现, 大小约10 μ m, 含量小于5% (图版 I-1)。

(2) 大花斑泥质岩

大花斑泥质岩的花斑由团块状的近乎不透明的铁(褐铁矿等)染粘土矿物构成, 花斑与基质的界线明显。基质部分由菱铁矿(鲕粒)、高岭石、石英、伊利石和绿泥石组成。菱铁矿鲕粒大小约1.5mm, 圆状或次圆状, 有的菱铁矿颗粒的内部结构为花瓣状, 有的为单一构造。在菱铁矿鲕粒的周边, 可见到菱铁矿向褐铁矿转化的现象。高岭石为隐晶质, 其结晶程度和形态在显微镜下无法判断; 石英颗粒呈大小数十微米或百余微米的短柱状出现, 伊利石和绿泥石为数微米—二十余微米的柱状或纤维状, 在镜下可见到明显的定向排列现象, 说明在其沉积期间, 有一定的流水作用(图版 I-2)。

(3) 小花斑泥质岩

小花斑泥质岩的紫红色花斑由近乎不透明的铁染粘土矿物构成, 锈黄色花斑则多为半透明。在镜下它们均呈泥质胶状结构, 与基质为过渡或明显接触关系。粘土基质部分为浅灰—浅黄色, 具鳞片状和絮状结构, 内含少量的石英, 但无定向排列现象, 可能反映当时的水流不畅。粘土矿物为隐晶质, 在镜下较难判断其矿物属种。在部分这类岩石的基质部分, 见丰富的菱铁矿鲕粒, 很多情况下鲕粒之间密集成团呈姜块状。一般菱铁矿鲕粒大小在0.5—1.0mm, 镜下其内部结构多为花瓣状(图版 I-3、4)。

3. 化学成分特征

苏州风化淋滤型高岭石中TiO₂含量为0—0.01%, 美国佐治亚州沉积型高岭石中TiO₂的含量为1.17%^[1]。对比本区紫红色或锈黄色花斑状泥岩中粘土矿物的化学全分析结果(表2), 花斑状泥岩中粘土矿物(主要是高岭石)中TiO₂含量为0.71—1.70%, 与美国佐治亚州沉积型高岭石中TiO₂的含量基本相似, 故认为淮南煤田二叠系第四含煤段花斑状泥岩中的高岭石是沉积型的, 进而推测当时该区整个沉积盆地并未抬升到遭到风化淋滤的程度, 花斑状泥岩属沉积作用形成。

另一方面, 对不同颜色的花斑状泥质岩进行分析的结果表明, Fe₂O₃、FeO、MnO及Fe³⁺/Fe²⁺比值、微量元素Cu和有机炭C等有较大的差异。表3很好地反映了Fe₂O₃、Fe³⁺/Fe²⁺比值的增加, FeO、MnO、Cu、有机炭C含量减少, 颜色由黑→灰→绿→紫红递变, 说明了铁的价态、MnO、Cu和有机炭C的相对含量是颜色的控制因素。Fe³⁺具有强烈的红褐色染色性, Fe²⁺一般无色、Mn的行为与Fe相似, Cu²⁺为绿色(兰绿), 而有机炭C是典型的黑色素, 因此它们的相对含量和不均匀分布是形成紫红色花斑斑块的基本原因。锈黄色花斑的化学组成与紫红色花斑基本相同, 但Cu、有机炭C的含量要高一些, 在野外, 锈黄色花斑状泥岩多出现于植物根化石较多的沼

表 2 淮南煤田第四含煤段花斑状泥岩中粘土矿物的化学成分(%)

Table 2 Chemical composition of clay mineral of the piebald mudstone in the Permian Member D, Huainan Coalfield

MgO	$\frac{0.18-0.72}{0.40(18)}$	SiO ₂	$\frac{45.77-50.36}{47.87(18)}$
Na ₂ O	$\frac{0.13-0.85}{0.30(18)}$	S ₂ O ₃	$\frac{0.00-0.80}{0.19(18)}$
CaO	$\frac{0.03-0.63}{0.28(18)}$	TiO ₂	$\frac{0.70-1.78}{0.96(18)}$
K ₂ O	$\frac{0.29-2.47}{0.84(18)}$	P ₂ O ₅	$\frac{0.04-0.16}{0.06(18)}$
Fe ₂ O ₃	$\frac{0.69-2.38}{1.79(18)}$	Al ₂ O ₃	$\frac{32.28-35.58}{34.12(18)}$
FeO	$\frac{0.49-0.98}{0.61(18)}$	Loss	$\frac{7.08-21.78}{11.24(18)}$
MnO	$\frac{0.01-0.28}{0.05(18)}$	H ₂ O	$\frac{0.76-2.34}{1.41(18)}$

测试单位：江西省地矿局中心实验室，中国地质科学院岩矿测试中心。表示方法： $\frac{\text{最小值}-\text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ 。

表 3 颜色与有关化学组成的关系

Table 3 Relation between colour and some concerned chemical composition

颜 色	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO + Fe ₂ O ₃ (%)	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	MnO (%)	Cu (× 10 ⁻⁶)	有机炭 C (%)
锈 黄	7.43	10.89	2.25	0.03	37	0.20
紫 红	6.85	7.96	2.43	0.06	27	0.07
灰 绿	3.89	7.38	1	0.07	36	0.10
灰	2.38	7.73	0.41	0.28	47	0.11
灰 黑	1.50	3.98	0.62	0.11	55	0.21

测试单位：江西省地矿局中心实验室，中国地质科学院岩矿测试中心。

泽沉积中，故分析成果中有机炭C含量较高。

4. 花斑状泥质岩的沉积分布特征

在垂直序列中，花斑状泥岩与下伏砂岩为同一成因单位（图1），在平面分布上，表1中三类花斑泥岩也与下伏砂岩的平面分布有密切的关系（图2）。作为网状河道体系产物的下伏砂岩体^[2]，其形态在平面上呈交织网状，在剖面中为透镜状。覆盖在其上的花斑状泥岩的分布特征是：在下伏砂岩体最厚处，花斑状泥质岩厚度不大，但岩性中含粉砂质较高，植物碎片化石和根部化石罕见或仅依稀可见，花斑形态以似层状或大花斑为主，形成环境可能属于天然堤或河漫滩。所有的厚花斑状泥岩均呈条带状沿主砂岩体的凸侧平行（或近于平行）分布，岩性中粉砂质含量减少，花斑斑块以大紫红色花斑为主，并含有少量的小花斑，其环境以河漫滩为主；远离砂岩体时花斑基本为小型，并以分布面广的薄层状形式出现，花斑上块的颜色紫红和锈黄色者皆有，其岩性极其单一，基本上不含粗碎屑物或含量极少（<5%），块状，常可见到植物根部化石，其环境以河

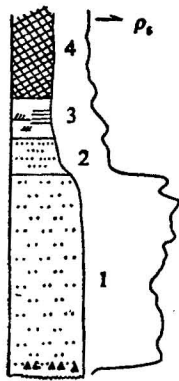


图 1 花斑状泥岩的成因层序

Fig. 1 Genetic sequence of the piebald mudstone

1—网状河道沉积；2—天然堤沉积；3—河漫湖沉积；4—河漫滩沉积
 1—Anastomosed fluvial channel deposits；2—levee deposits；3—flood lake deposits；4—flood land deposits.

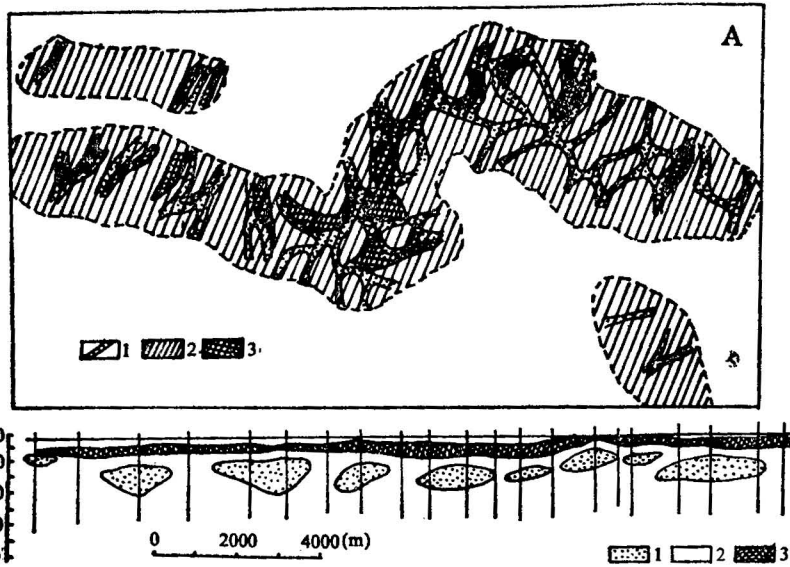


图 2 A. 花斑状泥岩厚度分布与古河道的关系

Fig. 2 A. Relation between distribution of the piebald mudstone and paleostream

1—古河道；2—花斑状泥岩的厚度小于5m；3—花斑状泥岩的厚度大于5m

1—Paleostream；2—thickness of the piebald mudstone < 5m；3—thickness of the Piebald mudstone > 5m

B. 花斑状泥岩的剖面分布特征

B. Section of the piebald mudstone

1—砂岩；2—泥岩；3—花斑状泥岩

1—Sandstone；2—mudstone；3—the piebald mudstone

漫湖及湿沼地为主。

二、花斑状泥质岩的形成机理

为何在不同的亚环境其形成的花斑形态不一呢？这与形成该花斑状泥岩的环境特征有密切的关系。

首先，处于复合型三角洲进积期间的网状河道体系本身有其一定的特征。在进积期，本地区地壳运动处于抬升阶段^[3]，河道下切，河床水位下降从而影响地下水位降低，故漫滩部位不易沼泽化而暴露于空气中，并在大气水的淋滤作用下，使铁质聚积，而形成花斑状泥岩。

其次，网状河道体系中河道的坡度低。弯度变化大^[2-5]①，水位或流量、流速的微小变化，

① 彭苏萍、韩德馨、张鹏飞、蓝昌益，淮南煤田二叠纪三、四含煤段的古水系特征（待刊）。

都有可能导致河水频繁的溢岸泛滥。每次溢岸泛滥,随河水搬运而来的铁质和陆源碎屑一道被搬运沉积下来。在天然堤沉积中,含有一定的粗碎屑颗粒和粉砂质,孔隙度和渗透率均较好,沉积时或沉积后的上覆沉积物中的铁质随水(包括孔隙水)在整个沉积体的空隙中可以较自由地流通。由于天然堤一般暴露于水体之上,植被少,在富氧的炎热气候条件下^①,铁元素以含水的三价铁形式(如褐铁矿)出现,并在后期的成岩后生变化中进一步脱水,故所见的花斑形态以似层状紫红色花斑为主。

网状河道体系中的河漫滩和河漫湖相沉积中,粗碎屑物质较少,一般仅含少量的粉砂,有时可见到植物碎片化石。该亚环境由于河水的频繁泛滥,所以植被一般不发育,沉积物的孔隙度和渗透率均不及天然堤好,不利于孔隙水的流通,因而沉积物沉积后的各种变化在不同的地点各不相同,在植物碎片多的地方,沉积物堆积后植物碎片便开始分解,消耗了孔隙中的大量游离氧而变成还原环境,故处于不稳定状态的胶体铁或铁的络合物或以其它形式出现的铁在水的参与下与有机质分解产物二氧化碳反应形成菱铁矿(FeCO_3),菱铁矿吸附于某些质点而构成菱铁矿鲕粒或菱铁矿结核,或构成自生的含铁粘土矿物(如绿泥石)。在植物碎片少的地方,植物分解远远消耗不了孔隙中的氧分子,所以高价铁被保存下来,并在小范围内流通,在后期的成岩后生变化中脱水、老化形成褐铁矿和赤铁矿而显示出紫红色。

湿沼地环境中泥质岩的花斑形成机理与上述情况大体相同,但由于沉积物中所含的粗碎屑颗粒更少,渗透率更差,孔隙水的流通范围更小,故花斑变得更小,花斑的颜色既有紫红也有锈黄。锈黄色花斑的出现与前述湿沼地环境中铜离子富集有较密切的联系。考虑到三角洲沉积环境水体中的元素存在方式极为稳定这一实际情况,我们选择铁的络合物($\text{FeCl}_3 + \text{NH}_4\text{SCN}$)和醋酸铜试剂 $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 为基本实验材料,已初步模拟出了不同颜色转化的基本过程(详见附录)。

三、对比与讨论

加拿大北新布伦兹维克石炭系上统Clifton组B段下部主要是由含炭质纹层的红色泥岩和孤立的河道砂岩组成。红色泥岩中可见到成层的钙质结核和被碳酸钙充填的深达1m的泥裂构造,而与河道砂岩共生的天然堤、决口扇或河口坝(mouth bar)沉积在垂向和侧向上都十分有限。Rust等通过与澳大利亚Cooper河对比,认为其沉积时为一种干旱或半干旱冲积平原的网状河沉积环境^[6,7]。

本文的研究工作在很多方面与Rust的研究成果有可比之处。首先,我们都从比较沉积学的方法入手确定所研究的沉积地质体属网状河体系的沉积,并且无论是红色泥岩或是花斑状泥岩均属于地壳上升、河道下切阶段所形成^[3,7]。但由于气候环境不同,本文研究的花斑状泥岩中无成层的钙质结核或钙化石,也无深达1m的泥裂构造,仅见到形态较小(砂级)的零星分布的碳酸钙结核,因此与Rust的研究成果有较大不同。本文强调,气候炎热,并且地壳处于抬升阶段是网状河体系花斑状泥岩形成的主要决定因素,而干湿度的意义次之,这不但可以从实验中得到解释,而且可从现代沉积环境中找到例子。如珠江三角洲处于北纬 23° 左右,属南亚热带,年平均降雨量在1600—2000毫米左右,目前已在珠江三角洲上游的网状河体系中发现与淮南煤田二叠系第四含煤段中形态和颜色相似的花斑状粘土层(图版I-5),便是佐证。

本课题研究过程中得到淮南矿业学院蓝昌益副教授和中国矿业大学北京研究生部张鹏飞教授的指导并提出修改意见。淮南矿业学院化学教研室张晓梅老师帮助完成花斑颜色转化模拟实验,在此作者致以衷心感谢!

① 彭苏萍, 1988, 复合型三角洲的沉积作用、展布格局及聚煤特征。中国矿业大学博士论文。

附: 花斑状泥岩中花斑颜色转化机理实验结果及其初步解释

实验药品: (1) $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 溶液 (蓝色)(2) $\text{FeCl}_3 + \text{NH}_4\text{SCN}$ 溶液, 即 $\text{Fe}^{3+} + n\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$ (红色) ($n = 1-6$)

实验步骤: 取 $[\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$ 溶液 ($M = 0.55 \times 10^{-6} \text{mol/ml}$) 缓慢加入盛有 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 溶液 ($M' = 2.13 \times 10^{-6} \text{mol/ml}$) 的烧杯中, 溶液的颜色逐渐由蓝色 [$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 的颜色] → 蓝绿 → 黄绿 → 浅绿黄 → 黄 → 土黄 → 锈黄 → 棕红 → 血红。具体过程如下表:

离 子	含 量 (mol)	颜 色	解 释
Cu^{2+} (代表沼泽水体)	9.80×10^{-6}	蓝	原始沼泽水体中离子的颜色
Cu^{2+} 溶液中加入的 Fe^{3+} 溶液 (代表河水) 之和	0.15×10^{-6}	蓝 绿	由于河水越岸泛滥, 河水中的高价铁离子与沼泽水体中的铜离子发生反应后呈现的颜色
	0.45×10^{-6}	黄 绿	
	1.95×10^{-6}	浅绿黄	
	暂停加入 Fe^{3+} 溶液, 外加 $20\text{ml H}_2\text{O}$	黄	河水处于平静阶段, 主要是大气水的淋滤作用
	3.36×10^{-6}	土 黄	河水进一步频繁越岸泛滥, 河水中的 Fe^{3+} 与沼泽水体中的铜离子进一步发生反应
	4.46×10^{-6}	锈 黄	
5.70×10^{-6}	棕 红	河水中的 Fe^{3+} 与沼泽水体中的铜离子完全反应后, 由于河水的进一步泛滥而在沼泽水体中富集 Fe^{3+} 显示出红色	
7.89×10^{-6}	血 红		

参 考 文 献

- [1] 田兴有, 赵东旭, 1984, 山西太原至灵石一带石炭纪含煤地层中的粘土矿物。地质科学, 第1期, 第80—87页。
- [2] 彭苏萍, 1989, 复合型三角洲平原上网状河体系 (Anastomosing fluvial System) 的基本特征。科学通报, 第34卷, 第17期, 第1326—1328页。
- [3] Peng Suping, 1986, The coal-forming model of the anastomosed channel system of Permian Member D, Huainan Coalfield, China. The abstract volume of the 12th int. sediment. congr., Canberra, p238.
- [4] Lan Changyi & Peng Suping, 1986, The environments and coal accumulations, examples from Permian Member C-D, Huainan Coalfield, China. The abstract volume of the 12th int. sediment. congr., Canberra, p238.
- [5] 蓝昌益、杨本木、彭苏萍, 1988, 淮南煤田二叠纪含煤岩系主要煤层的成煤环境。煤炭学报, 第1期, 第11—22页。
- [6] Rust, B. R., 1981, Sedimentation in arid-zone anastomosing fluvial system; Cooper's Creek, Central Australia. Jour. of Sediment. Petrol., Vol. 51, No. 3, pp. 745-755.
- [7] Rust, B. R. & Legun, A. S., 1983, Modern anastomosing fluvial system deposits in arid Australia and a Carboniferous analog in New Brunswick, Canada. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment. Vol. 6, pp. 385—392.

图 版 说 明

图 版 I

1. 似层状花斑泥岩的镜下特征。铁染物质以絮状较均匀地分布于整个薄片内, 其中粉砂质含量较高, 并见粒状褐铁矿。正交, $\times 50$ 。a. 粉砂碎屑物质; b. 褐铁矿。
2. 大花斑泥岩的镜下特征。花斑由团块状且几乎不透明的铁 (褐铁矿等) 染粘土矿物构成, 花斑与基质的界线明显。正交, $\times 50$ 。a. 铁染粘土矿物; b. 基质。
3. 小花斑泥岩的镜下特征。花斑由半透明~不透明的胶状铁染粘土矿物构成, 与基质为明显或过渡接触关系。正交,

×50。a.铁染粘土矿物；b.基质。

4. 小花斑泥岩中的菱铁矿颗粒。正交，×50。

5. 珠江三角洲网状河系沉积物中的花斑状泥质层。地点：南海县盐步。照片中线段 $\approx 70\text{cm}$ 。

CHARACTERISTICS AND ORIGIN OF PIEBALD MUDSTONE IN PERMIAN MEMBER D IN THE HUAINAN COALFIELD

Peng Suping

(Beijing Graduate School, China University of Mining and Technology, Beijing)

Abstract

In the lower part of Permian Member D, persistent piebald mudstone is distributed extensively in the Huainan Coalfield. According to the size of piebald patches, lithology, sedimentary structure, fossil and relationships between the groundmass and the piebald patches, it can be divided into three microscopic types: stratoid piebald mudstone, large-piebald mudstone and small-piebald mudstone.

Through a comprehensive and comparative sedimentological study of the clay mineral composition of the mudstone, it is indicated that the piebald mudstone was formed in the anastomosing drainage system of a complex delta in the course of progradation where the climatic conditions were hot and wet. The piebald mudstone shows different characteristics in different places because of the difference in the subenvironment of the anastomosing drainage system. Generally, stratoid piebald mudstone was mainly deposited in the levee area, large-piebald mudstone was formed in the flood plains, and small-piebald mudstone is the product of the wetland. The preliminary mechanism of the transformation of the patches of different colours has been studied by means of simulation experiments.

作者简介

彭苏萍，生于1959年6月，1985年于淮南矿业学院获硕士学位，1988年在中国矿业大学北京研究生部获博士学位，现为中国矿业大学北京研究生部讲师。通讯地址：北京学院路13号，邮政编码100083。

