

华北地区石炭—二叠系沉积物砂体的 粒度分布特征及其沉积环境

霍 清

(地质矿产部华北石油局地质研究大队)

内容提要 本文据钻孔和地面地质剖面砂岩粒度分析资料解剖其沉积环境。根据粒度参数,沉积物厚度变化,物质来源,同时也考虑到岩石组合、成分、结构、沉积构造、指相矿物及古生物等因素。从而确立其古地理沉积模式。选定油气储集有利相带——古河道,三角洲分流河道及前缘,滨海砂坝。

主题词 粒度参数 沉积环境 古河道 分流河道 石炭纪和二叠纪 中国华北

作者简介 霍清 男 50岁 沉积岩相古地理

一、概 况

研究范围:北至燕山,南至大别山,西至吕梁山,东至郯庐断裂带的华北地台,面积约600,000km²。据唐山气2井,山西老1井,郑州米河井,徐州补3、4井,山东梁山114井,淄博88井,南6井和河北峰峰实测地质微相剖面等资料。研究粒度分布特征,解剖其沉积环境及其相变关系。

样品分析及资料处理:主要采用薄片粒度分析,粒度间距采用 $\frac{1}{4}\phi$ 。资料整理采用PC-1500微机矩法粒度程序进行整理,薄片粒度换算为筛析粒度。以粒度频率曲线,概率曲线,C-M图和粒度参数:平均粒径($E \times \phi$),标准差(σ_ϕ),偏度($SK\phi$)和峰度($K\phi$),表示粒度特征。

粒度分选程度:按福克·沃德1957年的分类标准。以粒度中值(M_ϕ)与 σ_ϕ 绘制的散点图(图1),表明华北地区石炭—二叠系沉积物粒度的分选程度为分选较好—中等。

物源方向:据徐辉同志将沉积物中砂岩按成分成因分类的原则,分为石英砂岩、长石砂岩、岩屑砂岩三大基本类型,分别代表沉积物的稳定、中等稳定和非稳定组分。石英砂岩包括石英、硅质岩、石英砂岩、石英片岩等;长石砂岩包括长石砂岩、花岗片麻岩、花岗岩等;岩屑砂岩包括岩屑砂岩、低级变质岩、火山岩、泥岩和粉砂岩等。依据其分布及演变特征判别其沉积物主要来源于北部阴山古陆,其次来源于南部伏牛—大别古陆,西南部中条古陆和东部的胶东古陆。

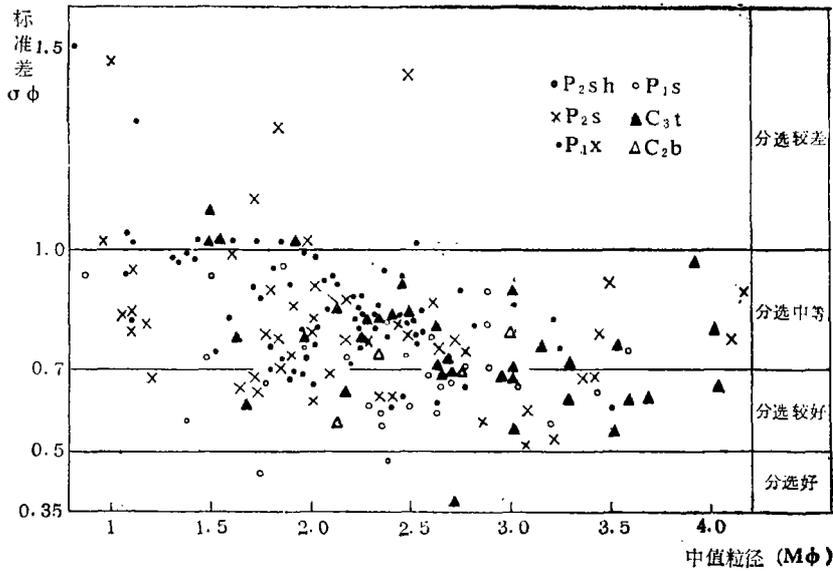


图1 华北地区石炭—二叠系沉积物的分选程度
Fig. 1 Sorting of Permo-Carboniferous Sediments in North China

沉积物厚度变化为北部和西部薄，南部和东部厚。据粒度的 $C\phi$ 值和 $M\phi$ 值的变化同样体现了北粗南细，西粗东细的规律（但石千峰组则为南北粗，中间细）。说明沉积物是多方向，多物源区的。

沉积相确定：据分析的396个薄片试样的粒度资料，投于弗里德曼制定的 $\sigma\phi$ - $SK\phi$ 散点图中，绝大多数样点落于河流范围内（图2）。表明华北地区石千峰组（ P_2sh ）——上石盒子组（ P_2s ）——下石盒子组（ P_1x ）——山西组（ P_1s ）——太原组（ C_3t ）中上部为河流相沉积环境，而太原组下部一本溪组（ C_2b ）为滨海沉积环境，粒度以负偏度表明其特征。

二、粒度频率曲线

不同沉积环境其粒度频率曲线形态各异。据统计粒度分布特征参数之间的相关曲线没有线性关系。相关系数变化大，反映沉积物频率曲线受粒度大小所控制。

1. 冲积扇网状河沉积物的频率曲线，粒级范围宽，一般为 -1.00ϕ — 5.00ϕ ，曲线呈锯齿状，主峰不明显，最高含量小于20%。

2. 中上游网状河沉积物的频率曲线，粒级范围较窄，一般为 0.00ϕ — 5.00ϕ ，呈单峰型，主峰位于 1.50ϕ — 2.00ϕ ，最高含量达30%。

3. 网状一曲流河沉积物的频率曲线，呈单峰型，粒级范围介于 0.50ϕ — 5.00ϕ ，主峰位于 2.00ϕ — 3.00ϕ ，最高含量达30—40%。

4. 曲流河沉积物的频率曲线，呈典型的单峰型最明显，粒级范围为 1.00ϕ — 5.00ϕ ，主峰位于 2.50ϕ — 3.00ϕ ，最高含量30—40%。

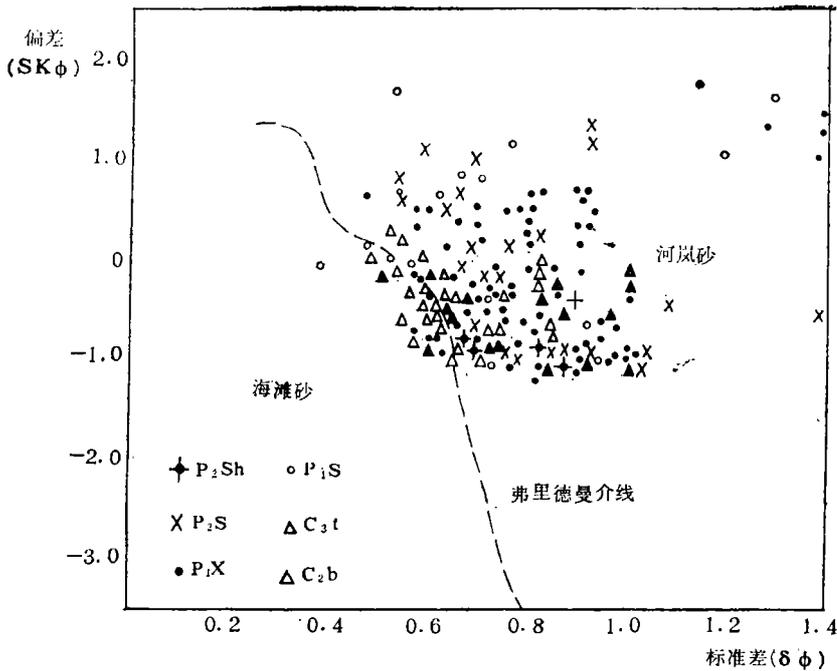


图2 华北地区石炭—二叠系沉积物粒度的标准差与偏度散点图

Fig. 2 Standard deviation and Skewness Scatterdiagram of Permo-Carboniferous Sediments in North China

5. 河间平原沉积物的频率曲线,呈单峰型,粒级偏向细端,主峰位于 4.50ϕ — 5.00ϕ ,最高含量30—35%。

6. 三角洲平原分流河道沉积物的频率曲线,呈单峰型(三角洲前缘砂的频率曲线呈双峰型),粒级范围 1.50ϕ — 5.00ϕ ,主峰位于 3.00ϕ — 3.50ϕ ,最高含量30—40%。

7. 滨海砂沉积物的频率曲线,单峰型,粒级范围 -0.50ϕ — 4.50ϕ ,主峰位置 1.00ϕ — 2.00ϕ ,最高含量25—30%。

8. 潮道砂沉积物的频率曲线,单峰型,粒级介于 1.00ϕ — 5.00ϕ ,主峰位置 2.50ϕ — 3.00ϕ ,最高含量达40%。

9. 决口扇中沉积物的频率曲线,粒级范围 1.50ϕ — 3.00ϕ ,单峰型,主峰位置 2.00ϕ — 3.00ϕ ,最高含量28%。

10. 滨湖沉积物的频率曲线,呈犬牙交错的多峰型,主峰不明显,粒级跨越区间宽。

三、粒度概率曲线^[3]

1. 冲积扇网状河沉积物概率曲线(图3-1)。因受季节性水流作用,洪水期携带的泥沙、砾石密度大,粒度粗,成分杂,分选中等—差。悬浮总体含量较高。概率曲线由跳跃和悬浮两总体组成,中间有较大的过渡段。跳跃总体分选较好,悬浮总体曲线平

缓,分选差。粗截点为 $0.00-1.00\phi$ 。强—中等水流强度。

2.中上游网状河沉积物由含砾砂岩夹紫红色、绿色泥岩和粉砂岩组成。砾石具有定向排列,槽状和板状交错层理发育。砂砾石沉积以心滩展布。

1)网状主河道沉积物概率曲线(图3-2)。具有牵引、跳跃、悬浮三总体组成。跳跃总体构成主体,含量高,分选中等—较好。牵引总体含量少,悬浮总体曲线平缓,分选性差。

2)网状河心滩沉积物概率曲线(图3-3)。呈折线型,以跳跃总体为主。跳跃、悬浮两总体间有较小过渡段。

由于网状河水流动态变化大,曲线形态具有多种多样。据最粗跳跃粒径和细截点的 ϕ 值表明其水流强度强—中等。

3.网状—曲流河沉积物受水动力条件不断降低的影响,导致网状河的特征逐渐被曲流河取代,这种过渡是缓慢而渐变的。非固定的河道逐渐趋于较明显且固定的河道。沉积物主要由泥、砂和局部含砾砂组成。沉积物具有网状河和曲流河双重特性的一种过渡类型。跳跃总体在沉积作用的过程中,粒度分布较紊乱。体现了网状河残留特性,而悬浮总体却显示曲流河的属性(图3-4)。

4.曲流河沉积物在水动力条件降低后,河道具有固定而弯曲的河流。主要分布于 P_{1x} 。由曲流砂坝、砂坝边缘及河间平原亚相组成。

1)曲流河道砂坝沉积物概率曲线(图3-5)。由跳跃和悬浮两总体组成。缺失牵引总体,以跳跃总体为主,含量高达80%。曲线陡,分选好。悬浮总体曲线平缓,分选差。细截点呈突变。中等水流强度。

2)曲流砂坝边缘沉积物概率曲线(图3-6)。沉积物粒度较细,由细砂和粉砂组成。在水流脉动变化中,具有时而悬浮、时而推移、时而沉积、时而再悬浮、再推移等的特性^[4]。由跳跃和悬浮两总体组成,细截点呈突变。水流强度中—弱水型。

3)河间平原沉积物概率曲线(图3-7)。粒度细,由粉砂级和粘土组成。粒度呈悬浮搬运。

4)决口扇中沉积物概率曲线(图3-8)。由于洪水冲垮天然堤后,沉积物呈悬浮状态搬运。粒度较粗,为含砾砂岩。具粒序层理。曲线呈平滑的弧形。

5.三角洲沉积物分布于 $P_{1s}-C_3t$ 中上部。由星罗棋布的中小型分流河道和三角洲平原及前缘亚相组成三角洲沉积单元。

1)三角洲分流河道沉积物概率曲线(图3-9)。由跳跃和悬浮两总体组成,以跳跃总体为主,曲线陡,分选较好。细截点呈突变。中等水流强度。

2)河口砂坝沉积物概率曲线(图3-10)。由跳跃和悬浮两总体组成。以跳跃总体为主。细截点不是突变而是渐变。由于河流入湖(海)时,在河口附近水流速度减小后,悬浮体中的较粗颗粒快速分离沉积,因而在与水与沉积物界面附近浓度剧增,此粒级的颗粒进入沉积物中,增加了悬浮总体,呈现再分选的滞后现象的过渡带。水流强度中等。

6.滨海砂坝沉积物概率曲线(图3-11)。具有牵引、跳跃和悬浮三总体组成。以跳跃总体为主。跳跃和悬浮两总体间有过渡段。强水流型。

7. 潮道沉积物概率曲线 (图 3-12)。具有分选好的跳跃总体和分选差的悬浮总体组成。中等水流强度。

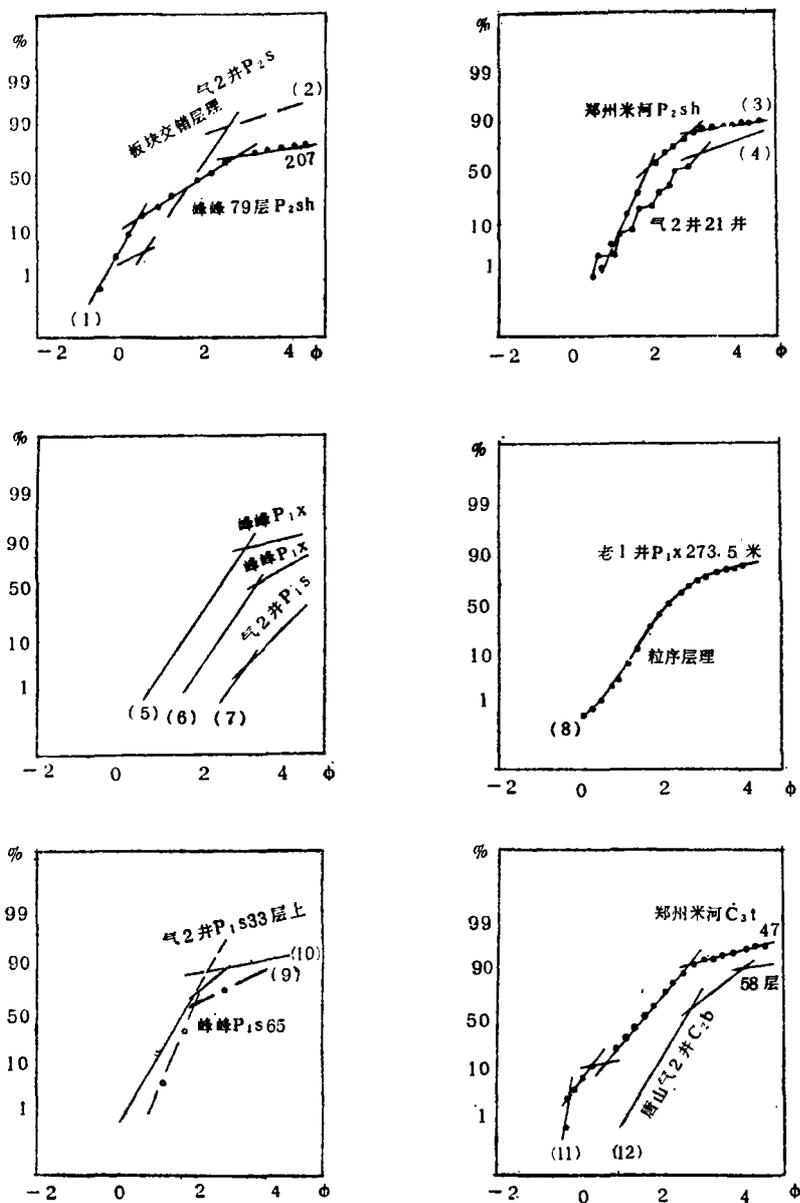


图 3 华北地区石炭—二叠系沉积物粒度概率曲线

Fig. 3 The probability cumulative frequency curves of C-P, North China

四、C-M图应用

1. 冲积扇网状河沉积物的C-M图(图4-I),具有PQ和QR段,QR段宽且较发育,粒度粗,范围大。 C_s 值=5.00 ϕ ,表明水流动态大,可搬运粗粒度。洪水期河水湍急,水流推力大,图式显示了水流推动力大而急的特征。

2. 中上游网状河沉积物的C-M图(图4-II)。由PQ、QR、RS段组成。PQ和QR段较发育,RS段发育较差。 C_s 值=870 μm , C_u 值=117—120 μm 。因网状河坡度大,水流较湍急造成的。QR段的中线平行于C=M基线。其C与M成比例变化。主要为递变悬浮搬运。PQ段代表河道底部沉积。QR段代表河道沉积,RS段代表河漫平原沉积。RS段不发育是由于湍流作用较强,细粒悬浮沉积物难以沉积造成的。

3. 网状-曲流河沉积物的C-M图(图4-III)具有PQ、QR段组成。PQ段不发育,表明河流能量逐渐减小的特征,QR段较发育,展示了曲流河沉积的属性。故称为网状河向曲流河过渡的C-M图式。

4. 曲流河沉积物的C-M图(图4-IV)。由于河道坡度较小,而弯度却又大,在其凸岸呈现曲流砂坝沉积。因河道平坦,水流速度减慢,推动的粒度较细,导致C-M图中缺失滚动搬运的粗粒度。同时由于河水流量大,载荷力也增大,促使悬浮载荷也随着增大,故形成PQ段缺失,而QR和RS段较发育的特征。QR段的中线平行于C=M基线,C与M成比例变化。QR段样点密集,展示了递变悬浮搬运的特征。唐山、峰峰和郑州三地区的曲流河的C与M的比值分别为2.83, 2.30, 3.25。QR段代表曲流河道沉积,RS段代表天然堤和河间平原沉积。 C_u 值的变化为:郑州米河和峰峰为350 μm ,唐山为177 μm 。表明华北C-P系的曲流河为扰动能量较低的中下游曲流河沉积的特征。

5. 三角洲沉积的C-M图(图4-V)。在水流速度降低后,河水所携带的泥砂沉积物在河口附近堆积形成河口砂坝,而呈悬浮载荷在较远处沉积形成远砂坝。沉积物搬运主要受河水控制,但也不同程度的受潮汐,波浪等营力互相作用。其C-M图仍属牵引流型。由PQ、QR、RS段组成。QR和RS段较发育,PQ段不发育,尤其是RS段比QR段更发育。三角洲沉积受曲流河能量控制,所以三角洲沉积物的C-M图继承了曲流河的C-M图式。但三角洲沉积物中的悬浮沉积物比曲流河沉积物中更发育。

峰峰地区三角洲沉积的C-M图与长江三角洲沉积的C-M图基本相似^[3]。由PQ、QR、RS段组成。PQ段代表主河道沉积,QR段上部与PQ段下部相同,QR段代表主河道与支流河道沉积的过渡区,RS段代表支流河道沉积,RS段的末端(d)区代表三角洲前缘沉积。是水流向静水区的过渡带。C值介于88—250 μm ,M值介于15.6—31 μm 。e区代表三角洲静水沉积,沉积物粒度较细。图中b、d区样点密集,体现了峰峰地区三角洲沉积以主河道与支流河道过渡带沉积和三角洲前缘沉积为主。

6. 滨海砂沉积物的C-M图(图4-VI)。为宽而长的椭圆形图式。粗端部分样点分散,细端部分样点密集,形成上粗下细,上宽下窄,上疏下密的图式。一般认为其极限值: $C=200\mu\text{m}$, $M=125\mu\text{m}$ 的滨海砂愈成熟就愈接近于此极限值。但山东梁山地区的滨海砂沉积的C-M图的极限值为 $C=108\mu\text{m}$, $M=47\mu\text{m}$,此值与标准极限值的差值

较大。表明梁山地区的滨海砂沉积物的成熟度较低，而其他地区则为成熟度较高的滨海砂。说明不同物源区的改造营力不同。

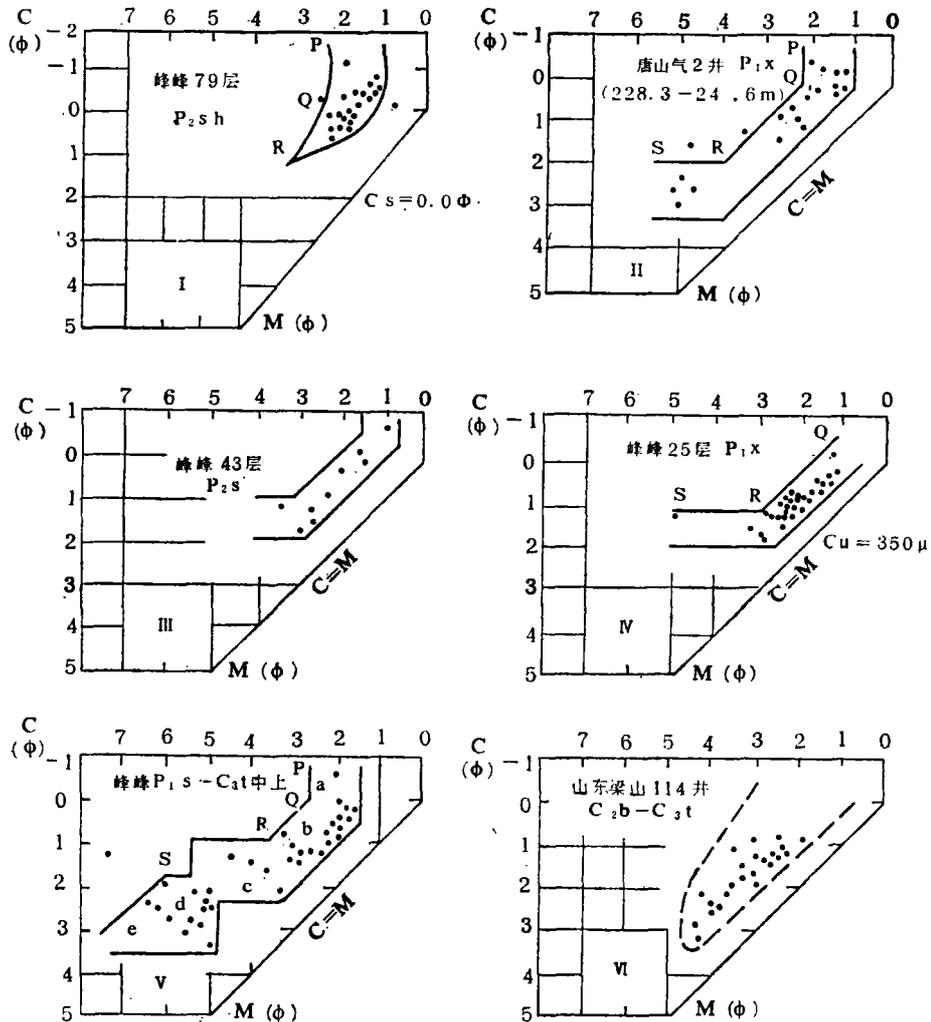


图 4 华北地区石炭—二叠系沉积物 C-M 图

Fig. 4 C/M of Permo-Carboniferous Sediments in North China

综上所述，华北 C—P 系沉积物以河流相沉积为主，除滨海砂而外其他各组的 C-M 图皆属牵流型。且有规律的变化：冲积扇网状河沉积的 C-M 图以 PQ 段为主，且 C_s 值较大。即 0.00ϕ ，代表滚动、悬浮搬运；中上游网状河沉积的 C-M 图中 PQ、QR 段发育，以悬浮和递变悬浮搬运为主；曲流河沉积的 C-M 图中 QR 段特别发育，以递变悬浮搬运为主，阐明曲流砂坝发育的特征；网状河沉积过渡为曲流河沉积的 C-M 图体现了其演变过渡的特征；三角洲沉积的 C-M 图以分流河道与支流河道的过渡区及前缘沉积为主。

五、粒度垂直分布特征

以河北峰峰实测微相剖面为例阐述其垂向分布特征。由上至下： P_2sh 为冲积扇网状河沉积， P_2s 中上部为中上游网状河沉积， P_2s 下部为网状-曲流河沉积， P_{1x} 为曲流河沉积， $P_{1s}-C_3t$ 中上部为典型的三角洲沉积， C_3t 下- C_2b 为滨海-潮坪-滨湖沉积。以单向水流作用为主，广泛发育着河心滩，边滩，曲流砂坝，河口砂坝和海滨砂坝等。 P_2s 和 P_{1x} 的砂体物性条件尚好：孔隙度和渗透率分别为12.0%，67.00md；9.0%，73md。具有良好的储集条件，同时还有裂隙发育的煤层和滨海砂也是好的储集场所。在埋藏适宜的地区均可找到油气资源。

六、沉积相模式

据岩石组合，沉积物成分与结构、沉积构造、指相矿物、古生物、粒度分布规律及C-M图和概率曲线诸因素综合分析，建立其沉积模式。中石炭世前期为广阔的海相沉积，中石炭世中期为滨海-潮坪-泻湖沉积。晚石炭世中期为滨海三角洲沉积。早二叠世早期为三角洲分流平原沉积，早二叠世晚期郑州-濮阳-济南一线以北地区为曲流河道及河间平原沉积，而以南则为三角洲分流平原沉积。晚二叠世早期郑州-徐州一线以北地区为网状曲流河沉积，而以南地区为三角洲分流河道沉积。

由此可见，上下石盒子组的河道砂和山西组、太原组的煤层和三角洲河口砂坝及分流河道、前缘砂以及滨海砂坝皆为油气储集的良好场所；暗色泥岩及煤层为良好的生油气层；同时又有层厚、质纯、多层泥岩是油气保存的良好盖层。故华北地区石炭一二叠系地层中有完整的生、储、盖天然组合。开展油气普查大有可为。

本文承请我单位副总工程师陈晓东审阅全文、英文摘要译文和校对由王元顺和赵舒同志代译。谨致谢意。

收稿日期 1986年1月20日

参 考 文 献

- [1] 成都地质学院陕北队编，1976，沉积岩粒度分析及其应用，地质出版社，50页。
- [2] H.布拉特，G.V.米德顿，R.C.穆雷著沉积岩成因，科学出版社，43页。
- [3] 郑浚茂等，1980，石油实验地质，2卷1期，9—20页。
- [4] 张忠胤著，1980，关于地上悬河地质理论问题，地质出版社，第6页。

GRAIN-SIZE DISTRIBUTION FEATURES AND SEDIMENTARY ENVIRONMENTS OF THE SANDSTONE BODIES OF CARBONIFEROUS-PERMIAN SYSTEM IN NORTH CHINA

Huo Qing

(North China Petroleum Geology Bureau, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

On the basis of the grain size analysis of thin sections from the drills and exposures, the sedimentary environments of C-P of the region on the south of the line of Tangshan, Beijing and Taiyuan are mainly studied. The sediments and grain size in the studied region vary thinner and coarser from the north to west, thicker and finer the north to east. The sediment is mainly from the Yinshan Old-land. The sorting of grain-size is medium or better. The values of standard deviation and skewness of grain-size put on Friedman's scatter diagram show a fluvial environment from Lower Shiqianfeng Formation to Upper and Middle Taiyuan Formation and a littoral environment from Lower Taiyuan Formation to Benxi Formation. According to the distribution features and change patterns of curves of frequency and probability of grain size, C-M patterns and parameters of grain-size (mean grain-size, standard deviation, skewness and leptokurtosis), some sedimentary sub-environments are determined such as braided channel on alluvial fan, braided channel of upper and middle river, braided-meandering channel, meandering channel, delta and shore, tide flat and lagoon. By the sedimental models, the conclusion can be given as follows: the sedimentary environment is marine in the early Middle Carboniferous, shore and tidal flat and lagoon in the middle Middle Carboniferous, littoral delta in the middle Later Carboniferous, distributary plain of delta in the early Early Permian, meandering river on the north of the line of Zhengzhou-Puyang-Jinan and distributary plain of delta on the south of that in the later Early Permian, braided-meandering river on the north of the line of Zhengzhou-Xuzhou and distributary plain of delta on the south of that in the early Later Permian.