

文章编号: 1000-0550(2013)02-0237-11

库车前陆盆地白垩系亚格列木组浊流沉积特征与意义^①

高志勇^{1,2} 冯佳睿^{1,2} 安海亭³ 黄贤营⁴ 徐奉学⁴ 赵雪松⁴ 李小陪⁴

(1. 中国石油勘探开发研究院实验研究中心 北京 100083; 2. 提高石油采收率国家重点实验室(中国石油勘探开发研究院) 北京 100083; 3. 中国石油集团东方地球物理勘探公司研究院库尔勒分院 新疆库尔勒 841001; 4. 中国地质大学 北京 100083)

摘要 通过对库车前陆盆地西部卡普沙良河剖面上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组沉积相垂向演化分析、砂泥岩 X 射线荧光光谱分析、储层微观特征研究,认为喀拉扎组—亚格列木组发育一套干旱气候背景下的陆上季节性辫状河—半深湖浊积扇—浅湖相的沉积演化序列。上侏罗统喀拉扎组主要以季节性辫状河沉积为主,下白垩统亚格列木组下部发育早晚两期浊积扇沉积,浊积扇水道砂体中见槽模、沟模以及重荷模,并发育典型的鲍玛序列,该沉积时期的古气候偏干冷;亚格列木组上部主要发育浅湖相泥岩与沙坝沉积,此沉积时期古气候由湿热变化至干冷。亚格列木组浊积扇水道砂体中石英含量较高,一般介于 62%~70% 之间,粒间溶孔与构造缝较发育;浅湖相沙坝砂体石英含量降低,一般为 55%~58%,沙坝砂体中溶蚀孔较浊积扇中溶蚀孔多。亚格列木组中浊流沉积的发现,不但丰富了库车前陆盆地重力流沉积的研究成果,也表明在早白垩世库车西部发育较深水的沉积环境,为该地区湖相深水沉积的油气勘探奠定了基础。

关键词 库车 前陆盆地 浊积扇 亚格列木组 沉积相 储集性

第一作者简介 高志勇 男 1974 年出生 高级工程师 沉积学及层序地层学 E-mail: gzybox@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

0 概述

在浊积岩研究中,鲍玛在 1962 年对法国东南部阿尔卑斯山脉地区 Annot 砂岩浊流沉积研究的基础上总结了一次浊流沉积垂向上的沉积构造特征,提出了著名的鲍玛序列,并且为大多数学者所接受,认为其是鉴别经典浊积岩的标准层序^[1~5]。关于库车前陆盆地多种类型扇体的研究成果较为丰富^[6~9],但涉及浊流沉积的文章并不多见。李文厚等^[10]认为库车河剖面上三叠统塔里奇克组发育巨厚的深湖相沉积,粉砂岩和细砂岩具典型的鲍玛序列,浊积砂岩底部槽模、沟模等沉积构造现象发育。刘景彦等^[11]认为在拜城卡普沙良河剖面古近系也曾有短暂的深湖—半深湖环境,有灰白色薄片状粉细砂岩的脉状出露,具底模、槽模、高流态平行层理、变形层理,代表深水环境下快速堆积的浊流沉积。贾进华^[12]则认为在库车前陆盆地西部山前的阿瓦特河剖面,局部存在陡岸带半深湖沉积,白垩系亚格列木组底部砂岩中发育有典型的重力流底模。总之,准确识别重力流沉积对恢复古代沉积环境具有重要意义^[13],同时浊积岩油气藏在前陆盆地中湖相浊流沉积体系具有良好的油

气勘探前景^[14]。因此,位于库车前陆盆地西部的拜城县卡普沙良河剖面白垩系亚格列木组中浊流沉积的发现,不但丰富了该盆地重力流沉积的研究成果,也表明在早白垩世和古近纪库车西部发育较深水的沉积环境,为该地区湖相深水浊积砂体的油气勘探奠定了基础。

1 地质背景

卡普沙良河剖面位于新疆拜城县西北铁热克镇热电厂附近(图 1),该剖面下白垩统厚度较大,可达 1 100 m^[15]。白垩系亚格列木组分为两个岩性段:下段为浅紫灰色、灰绿色厚层块状砾岩,局部夹中—细粒砂岩、不等粒杂砂岩;上段为灰紫、灰色、绿灰色中至薄层状细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩不等厚互层,产孢粉、介形、轮藻化石。拜城地区下白垩统孢粉植物群以松杉目掌鳞杉科的优势和真蕨目海金沙科的繁茂为特征,掌鳞杉科植物是耐干旱和耐热的乔木和灌木,当时掌鳞杉科和海金沙科植物在亚热带气候下都很常见,表明拜城地区早白垩世早期古气候属于亚热带干燥型,气候炎热干旱^[16]。早白垩世库车前陆盆地主要有两个相邻的沉积中心,一个位于克拉苏

^①国家科技重大专项课题中西部前陆盆地构造地质、储层特征及有利区评价(2011ZX05003-002)资助。
收稿日期: 2012-04-10; 收修改稿日期: 2012-06-11

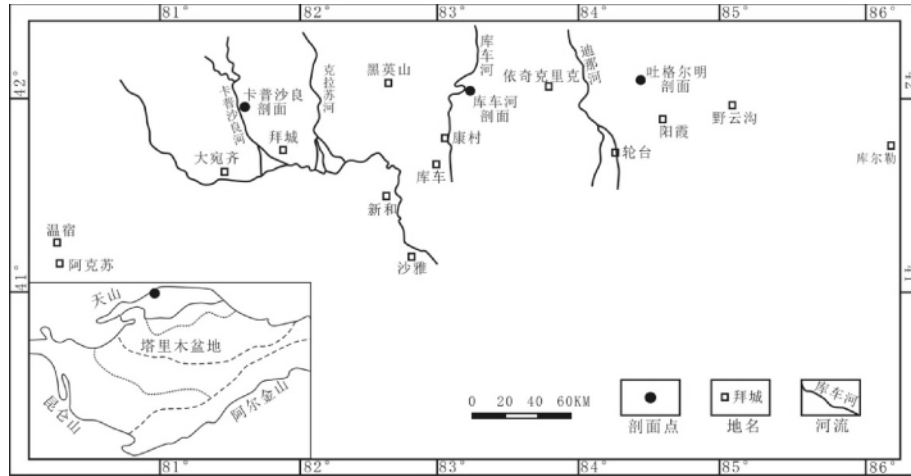


图1 新疆拜城县卡普沙良河剖面位置图

Fig. 1 The location of Kapushalianghe outcrop in Xinjiang

河剖面与卡普沙良河剖面之间,一个位于克拉2井与库车河剖面之间。另外,早白垩世该盆地的最大沉降处位于卡普沙良河剖面^[17]。

2 亚格列木组沉积环境

2.1 沉积相垂向演化

拜城县卡普沙良河剖面上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组发育一套干旱气候背景下的季节性辫状河—浊积扇—湖泊的沉积演化序列(图2、图3),该套地层总厚度为155.1 m,其中第1层侏罗系喀拉扎组厚31.5 m,主要以季节性辫状河沉积为主,河道砂体主要为灰色中细砂岩,平行层理、交错层理发育,河道底部滞留砾石直径1~3 cm不等。

第2层~第8层为白垩系亚格列木组沉积,地层厚度为123.6 m。其中第2层厚为15.6 m,底部发育冲积扇沉积,岩性为浅灰紫色块状砾岩。亚格列木组与下伏喀拉扎组砂砾岩假整合接触,两组的砾岩区别在于亚格列木组砂砾岩胶结致密、坚硬、抗风化能力强,砾石粒径较大,整体呈灰色、灰绿色。喀拉扎组砾岩胶结较差,宏观上呈软地貌,粒径小,整体呈褐色,两组之间有着明显的界面。第2层中上部发育早期的浊积扇沉积,浊积扇中多期水道砂体叠置,单期水道砂体厚30~60 cm,浊积扇下部水道岩性为砾岩,中部水道岩性为粗中砂岩、细砂岩,具鲍玛序列Ta段的粒序层理(图版I A, B)。浊积扇上部水道岩性为灰色、灰绿色细砂岩、粉砂岩,水道砂体底部发育

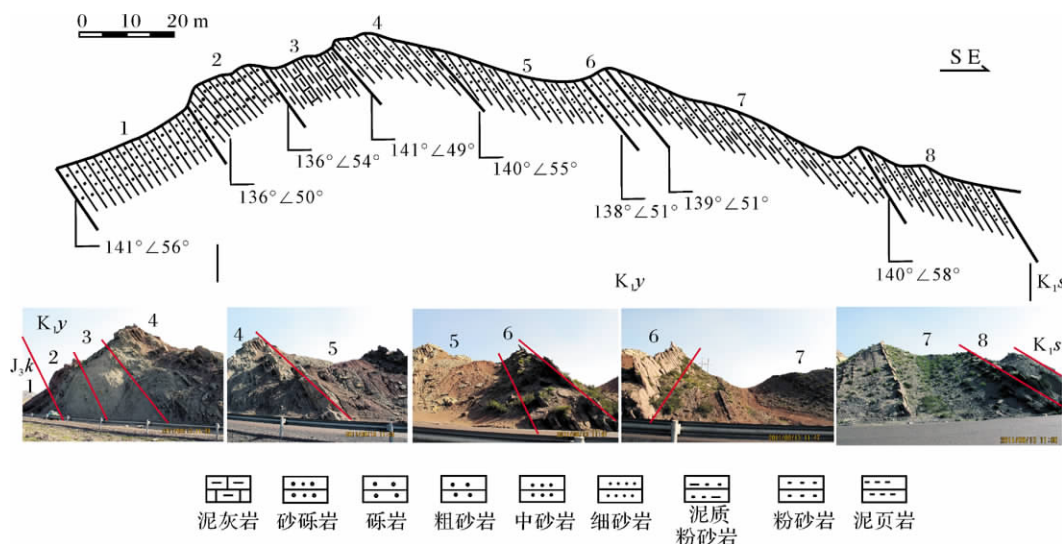


图2 新疆拜城县卡普沙良河上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组剖面图

Fig. 2 The profile of Kapushalianghe outcrop in Baicheng, Xinjiang

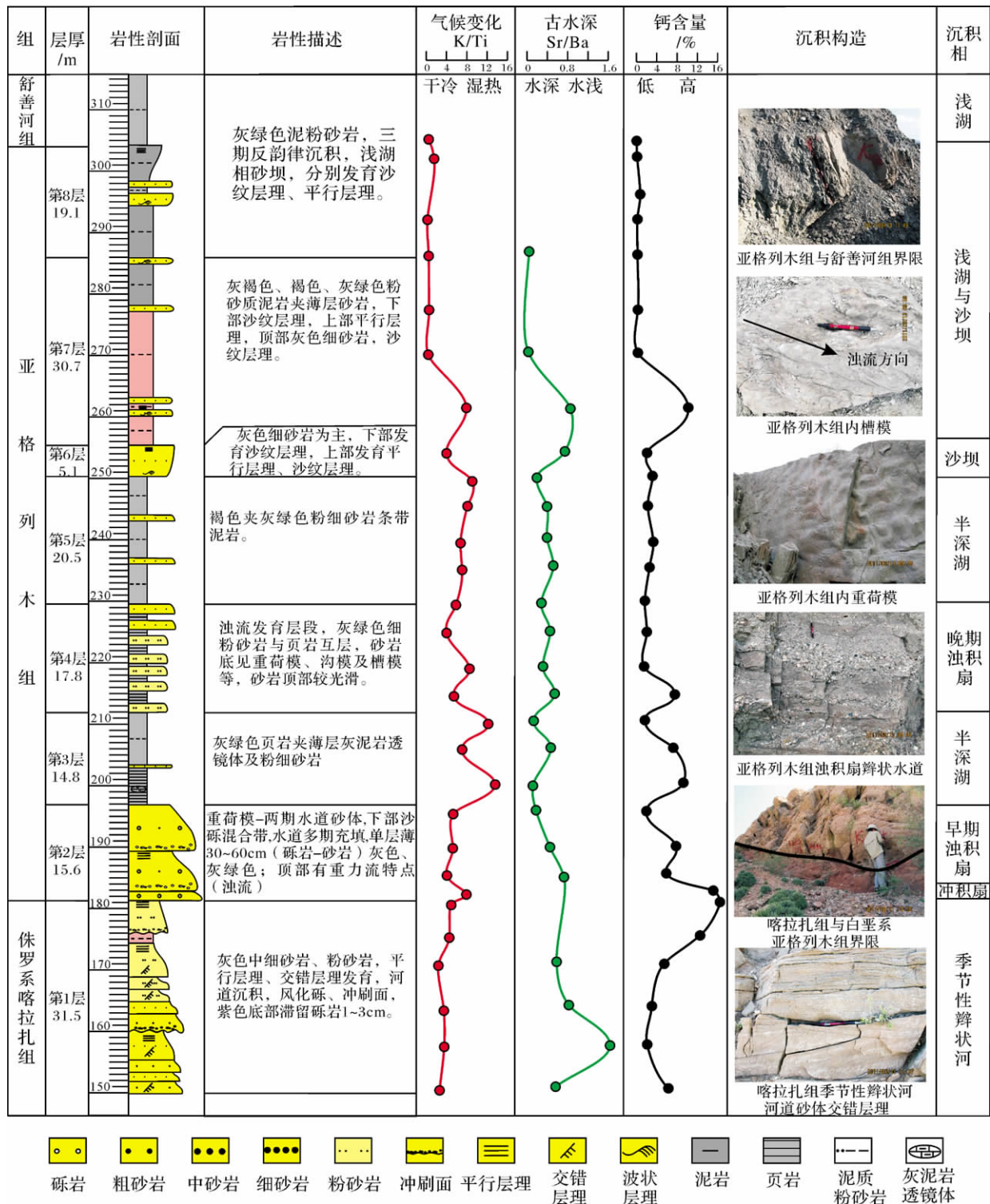


图 3 新疆拜城县卡普沙良河剖面上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组沉积相综合柱状图

Fig. 3 The column of Kapushaliang outcrop in Baicheng, Xinjiang

反映重力流沉积特征的槽模、重荷模(图版 II A, B)。浊积岩在其形成过程中, 底部往往发育各种印模构造 这些构造有两种成因: 一是由沉积物表面上的水

流作用而成, 如槽模和沟模; 一是由含水的塑性软泥上的不均匀负载作用所形成, 即重荷模。它们不仅是识别浊流沉积的重要辅助标志, 而且也是确定浊流

向的最好标志^[18]。槽模在灰绿色细砂岩、粉砂岩底面上沿一定方向排列,一端呈圆滑状突起的槽痕印模,舌形和圆锥形的圆滑状突起最为常见(图版 II B)。槽模作为确定古水流方向的重要依据,其长轴平行水流方向,突起一端指向上游^[10]。

第3层厚14.8 m,以湖相沉积为主,岩性为灰绿色页岩夹薄层灰泥岩透镜体及粉细砂岩(图3);第4层厚17.8 m,是晚期浊积扇沉积的主要发育层段,岩性为灰绿色细砂岩、粉砂岩与页岩互层(图版 I C, D),浊积扇水道砂体底部见槽模、沟模、重荷模(图版 II CDE),以及鲍玛序列中 Ta—Tb—Td—Te 段、Tc—Td—Te 段、Ta—Tb—Te 段以及 Tc—Td 段(图版 II F, G)。沟模是砂岩层底面上一些稍微突起的直线形的平行脊状构造(图版 II E)。由于它是水流拖曳某些物体经过泥质岩层面形成的刻蚀痕又被砂质或粉砂质充填而成,所以沟模具有连续延伸又远又直和外形清楚的特点^[10]。浊流是由流体的湍流支撑,因与上面水体之间的密度差而引起流动,因此都发生在水下。浊流沉积的速度在不同部位有很大变化,近源地区由于斜坡的突然变缓,湍流发生强烈衰减,沉积物从悬浮状态很快发生沉积,故沉积层主要呈块状,不会出现牵引作用。在远源地区,浊流头部能量大,可能对底床进行冲刷,并使粗颗粒集中,因此浊流沉积物的底部易出现槽模等底痕,然后极快的沉积作用形成无构造的块状层或递变层,沉积速度略低后便形成平行层理,之后形成爬升层理、包卷层理、波状层理等层段,最后是又一次的平行层理和泥岩沉积。这就是典型的鲍玛序列,鲍玛层序说明由底向顶,浊流流动的强度和悬浮物质沉积速度都在减小^[18]。

亚格列木组第5层~第8层主要为湖相沉积,其中第5层厚20.5 m,发育半深湖相沉积,岩性为褐色夹灰绿色粉细砂岩条带泥岩;第6层厚度为5.1 m,主要为浅湖相砂坝沉积,岩性为灰色细砂岩,砂坝砂体下部发育沙纹层理,上部发育平行层理(图版 I E、图版 II H);第7层厚度为30.7 m,以浅湖相泥岩沉积为主,主要岩性为灰褐色、褐色、灰绿色粉砂质泥岩夹薄层砂岩,薄层砂岩的下部具沙纹层理,上部发育平行层理,顶部岩性变粗,为灰色细砂岩,具沙纹层理(图版 I F);第8层厚度为19.1 m,岩性为灰绿色泥粉砂岩夹薄层细砂岩,以浅湖相沉积为主,具三期浅湖相泥岩—浅湖相砂坝细砂岩的反韵律沉积,砂坝砂体内分别发育沙纹层理、平行层理(图版 I G, H)。亚格列木组之上为下白垩统舒善河组浅湖相暗色泥

岩—褐色泥岩沉积(图2、图3)。

2.2 古气候与古水深特征

沉积岩石中的微量元素特征不仅受控于其本身的物理化学性质,而且受到古气候和古环境的极大影响,因此可以利用微量元素和常量元素的相对含量及其比值进行古气候与古水深等的恢复^[19-23]。大陆上的化学侵蚀变化很大程度上受控于湿度和温度,湿热的气候可以增强化学侵蚀。在化学侵蚀过程中,钛(Ti)从原始材料中释放出来,但在迁移之前就沉淀下来不会发生化学迁移,钛被看作一种保守元素,与其它元素的比值可作为元素在化学侵蚀中行为的示踪因子^[24]。化学侵蚀的加强可以导致侵蚀产物中钾(K)含量增加,因此钾/钛(K/Ti)比值的高值体现强的化学侵蚀,其低值体现弱的化学侵蚀,所以,该元素比值可以指示源区古气候环境的变化:相对高的K/Ti比值代表了较强的化学侵蚀以及更为湿热的气候^[19-21]。

卡普沙良河上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组岩石颜色以褐色、褐红色为主,并夹深灰色、灰绿色泥页岩,由岩石颜色可初步判断其沉积时期古气候以干旱为主,并出现阶段性的湿热气候。虽然卡普沙良河剖面在晚侏罗世—早白垩世沉积时期属亚热带干燥型,气候炎热干旱^[16],但由反映气候变化的K/Ti比值(图3、表1)表明,下侏罗统喀拉扎组沉积时期K/Ti比值介于2.380 674~5.185 439之间,说明该时期气候偏干冷。上白垩统亚格列木组沉积时期,半深湖相暗色泥页岩发育层段的第3层与第5层K/Ti比值介于6.493 186~13.396 38之间,表明此时期气候较湿热;而浊积扇沉积发育层段的第2层与第4层K/Ti比值介于4.141 37~8.370 292之间,表明此时期气候偏干冷;亚格列木组浅湖相沉积发育的第7层与第8层K/Ti比值主要介于0.106 926~1.424 342之间,表明亚格列木组上部浅湖相沉积的主要时期气候仍偏干冷。

微量元素锶(Sr)主要从海水中直接沉淀而来,钡(Ba)则极易被粘土及细碎屑沉积物以吸附的形式富集。水动力条件变化较大地带,大量的锶(Sr)离子以生物堆积作用为主的方式沉淀下来,形成较高的锶/钡(Sr/Ba)比值。随着沉积盆地水体不断加深,粘土及细碎屑物质增加,对钡(Ba)离子的吸附能力增强,沉积物中锶/钡(Sr/Ba)比值降低^[23]。因此,可通过锶/钡(Sr/Ba)比值来判断沉积水体的深与浅。如图3与表1所示,上侏罗统喀拉扎组沉积时期拜城县卡

普沙良河剖面发育陆地上季节性辫状河沉积, Sr/Ba 比值介于 0.527 687 ~ 1.644 444 之间, 表明该时期以陆上河流相的浅水沉积为主。下白垩统亚格列木组沉积时期, 由于区域上湖平面上升, 湖相暗色泥岩发育层段的第 3 层与第 5 层 Sr/Ba 比值最低, 介于 0.106 208 ~ 0.477 941 之间, 表明此时期沉积水体较深, 属半深湖环境; 浊积扇沉积主要发育层段的第 2 层与第 4 层 Sr/Ba 比值介于 0.144 654 ~ 0.527 638 之间, 表明此时期沉积水体也较深, 仍属半深湖环境; 亚格列木组浅湖相沉积发育的第 6 层 ~ 第 8 层, Sr/Ba 比值较半深湖相变大明显, 其比值主要介于 0.720 588 ~ 0.803 279 之间, 表明亚格列木组上部以发育浅湖相沉积为主。纵观上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组中最大的 Sr/Ba 比值为 1.644 444, 其出现在喀拉扎组的陆上季节性辫状河沉积段。分析 Sr/Ba 比值较大的原因可能是由钡 (Ba) 元素含量较低造成的, 其值只有 90 $\mu\text{g/g}$ (表 1)。较低的钡 (Ba) 元素含量表明粘土及细碎屑沉积物含量较低, 也就是说大规模的陆上季节性辫状河道砂岩沉积造成了较高的 Sr/Ba 比值。

3 浊积扇水道与浅湖砂坝的储集性比较

世界上多个产油气盆地中见有浊积岩储集层, 其中浊积岩储层最发育的盆地分布在加利福尼亚、北海、中国、原苏联、巴西和意大利等^[25]。湖相浊积岩主要发育于湖泊的裂陷扩张期, 在深湖中湖底扇浊积砂体是有利的储层^[14]。浊积岩的储集性受构造背景、沉积环境和成岩作用等因素的控制, 而最佳浊积岩储层的粒度中—粗, 分选性中—好, 厚度大, 区域上分布, 缺少胶结作用的影响^[25]。

拜城县卡普沙良河剖面下白垩统亚格列木组第 2 层为早期浊积扇下部辫状水道砂体中主要发育鲍玛序列的 Ta 段, 岩性为砾岩、粗砂岩与中砂岩。砾岩中砾石成分主要为变质石英岩砾石, 次为火成岩及灰岩砾石, 砾石粒径 2 ~ 5.5 mm 不等, 呈次棱—次圆状。砾石间大量方解石连晶式胶结, 方解石胶结物内见溶蚀孔, 并见构造缝、粒缘缝等 (图版 III A)。早期浊积扇上部水道砂体颗粒较细, 主要为细砂岩, 石英含量达 70%, 长石含量为 10%, 火山岩岩屑约占

表 1 卡普沙良河剖面上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组元素分析数据

Table 1 The data of X-ray fluorescence analysis in Kapushalianghe outcrop of Kalazha Fm. to Yageliemu Fm.

层位	层号	层厚/m	钾含量/($\mu\text{g/g}$)	钛含量($\mu\text{g/g}$)	铈含量/($\mu\text{g/g}$)	钡含量/($\mu\text{g/g}$)	钾/钛(K/Ti)	铈/钡(Sr/Ba)	Ca 含量/%
下白垩统亚格列木组	8	19.1	2598	1824	/	1187	1.424342	/	0.1906
			2353	/	1052	/	0.3167		
	7	30.7	1675	15665	393	0.106926	/		
			2398	4620	1042	0.519048	0.1247		
			21148	2684	196	244	7.879285	0.803279	9.8667
			11626	2850	98	136	4.079298	0.720588	1.7344
	5	20.5	25775	2928	133	675	8.802937	0.197037	3.1686
			30457	3710	189	487	8.209434	0.38809	2.2608
			25252	3889	147	381	6.493186	0.385827	3.2333
			32712	4800	130	272	6.815	0.477941	2.6276
			29553	5114	119	460	5.778842	0.258696	1.4044
			15116	3650	123	284	4.14137	0.433099	2.0043
4	17.8	39784	4753	124	407	8.370292	0.304668	1.4268	
		13189	2480	105	199	5.318145	0.527638	7.671	
		42020	3518	112	793	11.94429	0.141236	1.5626	
		16553	2287	164	365	7.237866	0.449315	7.0812	
3	14.8	36264	2707	142	1337	13.39638	0.106208	8.8706	
		6194	1204	23	159	5.144518	0.144654	1.8502	
		9397	1754	55	126	5.357469	0.436508	7.4357	
上侏罗统喀拉扎组	1	31.5	8333	1607	103	/	5.185439	/	15.8861
			3671	1542	101	174	2.380674	0.58046	5.5721
			8738	2644	146	181	3.304841	0.80663	3.0329
			8051	2224	148	90	3.620054	1.644444	2.087
			8152	2793	162	307	2.918725	0.527687	3.5892

注 “/”表示未检测到数据或不能计算出比值

10% , 次为云母、绿泥石、变质石英岩等 , 颗粒点一线状接触 , 粒间溶孔为主(图版 III B) , 面孔率 1% ; 亚格列木组第 4 层为晚期浊积扇发育层段 , 鲍玛序列 Tc—Td 段岩性为含灰细粒长石岩屑砂岩(图版 III C) , 石英含量 62% ~ 63% , 长石 12% 左右 , 火山岩岩屑 12% ~ 15% , 泥岩与灰岩岩屑含量可达 5% , 颗粒线状接触为主 , 大量方解石胶结 , 少量石英加大 , 粒间溶孔为主 , 面孔率 1% 左右。

亚格列木组第 6 层 ~ 第 8 层主要为浅湖相砂坝砂体沉积 , 其中第 6 层砂坝砂体的岩性为细粒长石岩屑砂岩 , 石英含量为 63% , 长石 10% 左右。岩屑种类及含量与晚期浊积扇砂体相比有变化 , 火山岩岩屑占 15% , 次为变质石英岩岩屑 , 无灰岩岩屑 , 见少量泥岩岩屑。颗粒点一线状接触 , 粒间充填较多的铁泥质 , 少量方解石孔隙式胶结 , 粒间溶孔为主(图版 III D) , 面孔率 1% 左右; 第 7 层中浅湖相砂坝砂体岩性为含灰细砂质粉砂岩 , 石英含量也较晚期浊积扇砂体降低 , 含量达 55% , 火山岩岩屑占 18% , 次为变质石英岩岩屑 , 泥岩岩屑有增加 , 颗粒点一线状接触 , 颗粒定向性明显 , 显水流特点。砂坝砂体中的沙纹层理、平

行层理的纹层是泥杂基增多、颗粒变细所致(图版 III E) 。岩石中见构造缝(图版 III F) , 局部有溶蚀 , 面孔率 1% 左右。亚格列木组上部第 8 层浅湖相砂坝砂体岩性为含灰、含泥粉砂岩 , 石英含量 58% , 火山岩岩屑占 15% , 次为变质石英岩岩屑 , 泥岩岩屑等 , 颗粒点一线状接触 , 溶蚀现象分布不均匀 , 溶蚀孔主要发育在粗粉砂富集区(图版 III G) , 粒间充填的少量方解石、泥杂基被溶蚀 , 见铸模孔 , 面孔率 3% 。

综上所述 , 据表 2 可知下白垩统亚格列木组浊积扇水道砂体中石英含量较高 , 占 62% ~ 70% , 岩性主要为细粒长石岩屑砂岩 , 火山岩岩屑、变质石英岩岩屑、泥岩岩屑、灰岩岩屑均存在 , 碎屑颗粒接触紧密 , 见少量粒间溶孔、构造缝、粒缘缝等 , 面孔率较低。推测其物源碎屑的供给可能来自该剖面北部的三角洲前缘的早期砾质、砂质沉积物。亚格列木组上部浅湖相砂坝砂体中的石英含量有所降低 , 一般在 55% ~ 58% , 以粉砂岩为主 , 灰岩岩屑较少 , 泥岩岩屑较多 , 纹层发育(图版 III E-H) 。浅湖相砂坝砂体中溶蚀孔较浊积扇砂体的溶蚀孔多 , 分析其成因可能为砂坝砂体与巨厚湖相泥岩紧密接触有关。

表 2 亚格列木组浊积扇水道砂体与浅湖砂坝砂体微观储集性对比

Table 2 The data reservoir data of turbidite channels and lacustrine bars in Yageliemu Fm.

沉积相类型	砂体类型	岩性	石英含量	岩屑种类	孔隙及裂缝类型	面孔率 / %
浅湖	浅湖砂坝	细砂岩、粉砂岩	55% ~ 58%	火山岩岩屑 15% ~ 18% , 次为变质石英岩岩屑 , 无灰岩岩屑 , 见泥岩岩屑	粒间溶孔为主 , 见铸模孔、构造缝	1% ~ 3%
晚期浊积扇	扇中前端辫状水道	细砂岩为主	62% ~ 63%	火山岩岩屑 12% ~ 15% , 泥岩与灰岩岩屑含量可达 5%	粒间溶孔为主	1% 左右
早期浊积扇	扇中辫状水道	砾岩、粗砂岩—细砂岩	70% 左右	火山岩岩屑约占 10% , 次为云母、绿泥石、变质石英岩等	粒间溶孔为主 , 见构造缝、粒缘缝等	1% 左右

4 结论与意义

拜城县卡普沙良河剖面上侏罗统喀拉扎组一下白垩统亚格列木组发育一套干旱气候背景下的陆上季节性辫状河—半深湖浊积扇—宽浅型湖泊的沉积演化序列。上侏罗统喀拉扎组主要以季节性辫状河沉积为主 , 下白垩统亚格列木组下部发育两期浊积扇与半深湖相交互沉积 , 浊积扇砂体中可见槽模、沟模、重荷模以及典型的鲍玛序列 , 浊积岩发育时期古气候偏干冷。亚格列木组上部主要为浅湖相沉积 , 浅湖相泥岩沉积时期古气候较湿热。亚格列木组浊积扇水道砂体石英含量较高 , 碎屑颗粒接触紧密 , 粒间溶孔与构造缝较发育; 浅湖砂坝砂体中石英含量降低 , 以

细砂岩、粉砂岩为主 , 砂坝砂体中溶蚀孔较浊积扇溶蚀孔多。由于浊积扇中石英含量较高 , 推测其为较浅水的三角洲滑塌再沉积所致; 浅湖沙坝砂体溶蚀孔较多 , 应与巨厚湖相泥岩紧密接触有关。

位于拜城县卡普沙良河剖面下白垩统亚格列木组中浊流沉积的发现 , 不但丰富了库车前陆盆地重力流沉积的研究成果 , 同时也表明在早白垩世甚至到古近纪库车前陆盆地西部均发育较深水的沉积环境 , 为该地区湖相深水浊积砂体的油气勘探奠定了基础。

参考文献 (References)

- 1 Bouma A H. Sedimentology of some flysch deposits : a graphic approach to facies interpretation [M]. Amsterdam: Elsevier , 1962
- 2 Arnold H Bouma , Charles G Stone. Fine-grained turbidite systems

- [J]. AAPG Memoir 72, SEPM special publication NO. 68. Tulsa, Oklahoma, USA. 2000: 1-342
- 3 Walker R G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(6): 932-966
 - 4 夏青松, 田景春. 浊积岩神话与砂质碎屑流 [J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4): 105-108 [Xia Qingsong, Tian Jingchun. The legend of turbidite and sandy debris flow [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(4): 105-108]
 - 5 Gao Zhiyong, Guo Hongli, Zhu Rukai, *et al.* Sedimentary response of different fan types to the Paleogene-Neogene Basin transformation in the Kuqa Depression, Tarim Basin, Xinjiang Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(2): 411-424
 - 6 孙龙德, 李日俊, 宋文杰, 等. 塔里木盆地北部构造与油气分布规律 [J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 1-13 [Sun Longde, Li Yuejun, Song Wenjie, *et al.* Tectonics and oil gas distribution in the north Tarim Basin, NW China [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(Suppl. 1): 1-13]
 - 7 旷红伟, 高振中, 翟永红, 等. 塔里木盆地库车坳陷第三系储层特征研究 [J]. 石油学报, 2003, 24(1): 25-30 [Kuang Hongwei, Gao Zhenzhong, Zhai Yonghong, *et al.* Characteristics of Tertiary reservoir in Kuqa depression of Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 24(1): 25-30]
 - 8 李忠, 王道轩, 林伟, 等. 库车坳陷中—新生界碎屑组份对物源类型及其构造属性的指示 [J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 655-666 [Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei, *et al.* Mesozoic-Cenozoic elastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 655-666]
 - 9 高志勇, 郭宏莉, 安海亭, 等. 库车坳陷东部山前带古近系不同体系域内扇三角洲沉积砂体的对比研究 [J]. 地质科学, 2008, 43(4): 758-776 [Gao Zhiyong, Guo Hongli, An Haiting, *et al.* Paleogene fan-delta sandbodies of different system tracts in foreland of the eastern Kuqa Depression: A comparative study [J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2008, 43(4): 758-776]
 - 10 李文厚, 周立发, 符俊辉, 等. 库车坳陷上三叠统的浊流沉积及石油地质意义 [J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 20-24 [Li Wenhou, Zhou Lifa, Fu Junhui, *et al.* Turbidity current deposits and their significance for petroleum geology of Upper Triassic in the Kuqa Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(1): 20-24]
 - 11 刘景彦, 林畅松, 肖建新. 库车坳陷古近系层序和沉积体系发育特征 [J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(6): 8-10 [Liu Jingyan, Lin Changsong, Xiao Jianxin. The characteristic of sequence stratigraphy and depositional systems of the Palaeogene Kuqa depression [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(6): 8-10]
 - 12 贾进华. 塔里木盆地早白垩世沉积相特征与古地理 [J]. 古地理学报, 2009, 11(2): 167-176 [Jia Jinhua. Sedimentary characteristics and palaeogeography of the Early Cretaceous in Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(2): 167-176]
 - 13 李林, 曲永强, 孟庆任, 等. 重力流沉积: 理论与野外识别 [J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 677-688 [Li Lin, Qu Yongqiang, Meng Qingren, *et al.* Gravity flow sedimentation: theoretical studies and field identification [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(4): 677-688]
 - 14 刘宪斌, 万晓樵, 林金逞, 等. 陆相浊流沉积体系与油气 [J]. 地球学报, 2003, 24(1): 61-66 [Liu Xianbin, Wan Xiaoqiao, Lin Jincheng, *et al.* Continental turbidite deposition system and hydrocarbon [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(1): 61-66]
 - 15 何光玉, 卢华复, 杨树锋, 等. 库车中新世代盆地沉降特征 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2004, 31(1): 110-113 [He Guangyu, Lu Huaifu, Yang Shufeng, *et al.* Subsiding features of the Mesozoic and Cenozoic Kuqa Basin, Northwestern China [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2004, 31(1): 110-113]
 - 16 江德昕, 王永栋, 魏江. 新疆拜城早白垩世孢粉植物群及其环境意义 [J]. 古地理学报, 2008, 10(1): 77-86 [Jiang Dexin, Wang Yongdong, Wei Jiang. Palynoflora and its environmental significance of the Early Cretaceous in Baicheng, Xinjiang Autonomous Region [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 77-86]
 - 17 何光玉, 赵庆, 李树新. 塔里木库车盆地中生代原型分析 [J]. 地质科学, 2006, 41(1): 44-53 [He Guang, Zhao Qing, Li Shuxin. Analysis on Mesozoic prototypes of the Kuqa basin in Tarim, northwestern China [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(1): 44-53]
 - 18 方爱民, 李继亮, 侯泉林. 浊流及相关重力流沉积研究综述 [J]. 地质论评, 1998, 44(3): 270-280 [Fang Aimin, Li Jiliang, Hou Quanlin. Sedimentation of turbidity currents and relative gravity flows: A review [J]. Geological Review, 1998, 44(3): 270-280]
 - 19 陈建芳. 古海洋学研究中的地球化学新指标 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 402-410 [Chen Jianfang. A new geochemical indicators of paleoceanography study [J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(3): 402-410]
 - 20 Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of olivine [J]. Nature, 1982, 299: 715-717
 - 21 Yang Shouye, Li Congxian, Cai Jingong. Geochemical compositions of core sediments in eastern China: Implication for Late Cenozoic palaeoenvironmental changes [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 229: 287-302
 - 22 谭红兵, 于升松. 我国湖泊沉积环境演变研究中元素地球化学的应用现状及发展方向 [J]. 盐湖研究, 1999, 7(3): 58-65 [Tan Hongbing, Yu Shengsong. Present situation and future development of elemental geochemistry in the study of lake sediments' evolution [J]. Journal of Salt Lake Research, 1999, 7(3): 58-65]
 - 23 陶树, 汤达祯, 周传祯, 等. 川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义 [J]. 中国地质, 2009, 36(2): 397-403 [Tao Shu, Tang Dazhen, Zhou Chuanyi, *et al.* Element geochemical characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan-central Guizhou (Chuangongnan-Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments [J]. Geology in China, 2009, 36(2): 397-403]
 - 24 王成, 龚庆杰, 李刚, 等. 从南海沉积物中的主量元素比值变化

- 看沉积物源区化学侵蚀变化[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(1): 1-5 [Wang Cheng, Gong Qingjie, Li Gang, *et al.* From the South China Sea sediments in the major element ratios of chemical weathering changes in sediment source areas [J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(1): 1-5]
- 25 周庆凡. 浊流沉积体系与油气勘探[J]. 国外油气勘探, 1994, 6(3): 288-297 [Zhou Qingfan. The turbidite system and oil & gas prospecting [J]. Oil & Gas Prospecting Abroad, 1994, 6(3): 288-297]

Sedimentary Process and Reservoir Characteristics of Turbidite Fan of Cretaceous Yageliemu Formation in Kuqa Foreland Basin

GAO Zhi-yong^{1 2} FENG Jia-rui^{1 2} AN Hai-ting³ HUANG Xian-ying⁴

XU Feng-xue⁴ ZHAO Xue-song⁴ LI Xiao-pei⁴

(1. Petroleum Geology Research and Laboratory Center, RIPED, Beijing 100083;

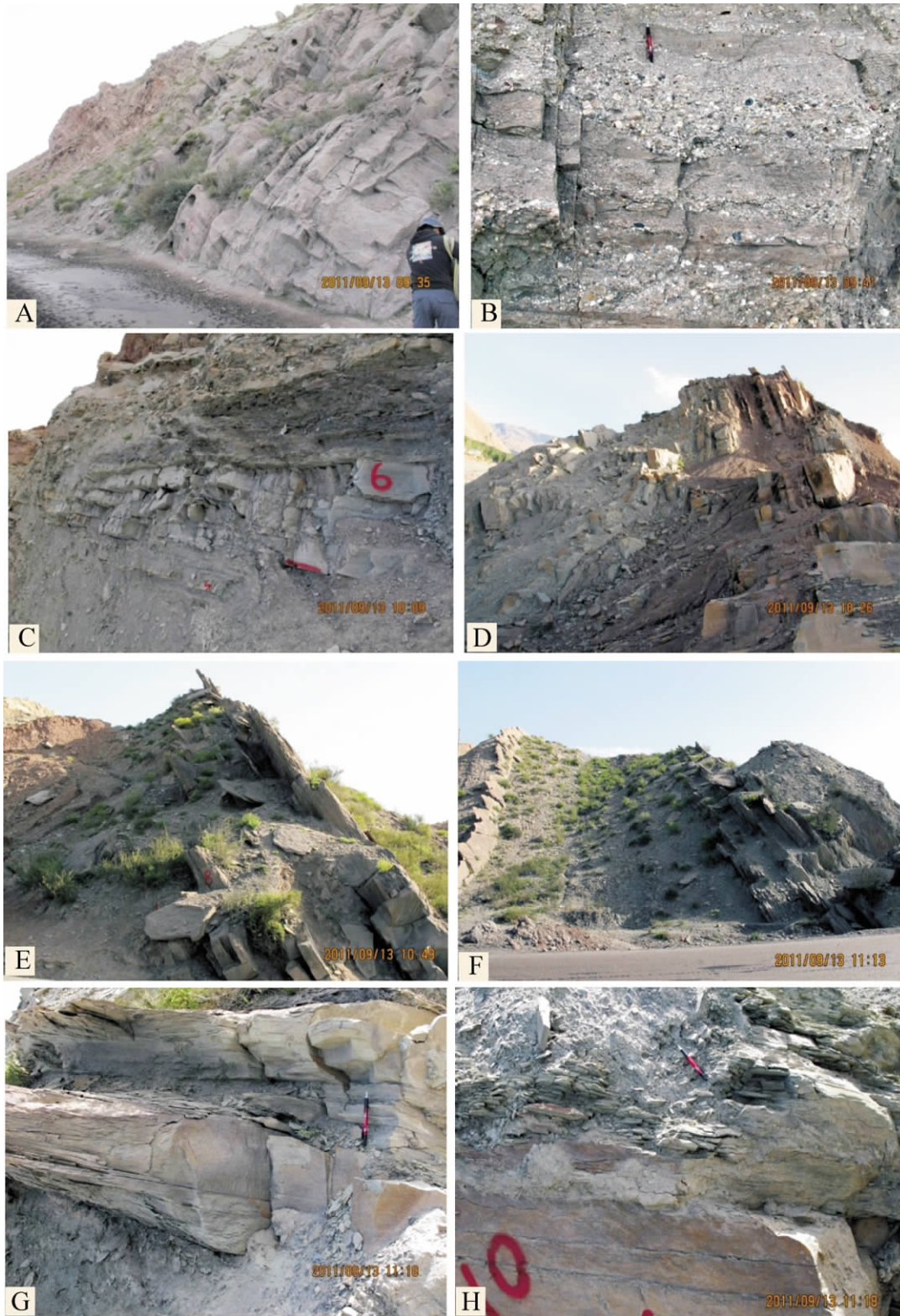
2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery (Research Institute of Petroleum Exploration and Development), Beijing 100083;

3. Korla Institute, East Geophysical Exploration Company, Korla, Xinjiang 841001;

4. China University of Geosciences, Beijing 100083)

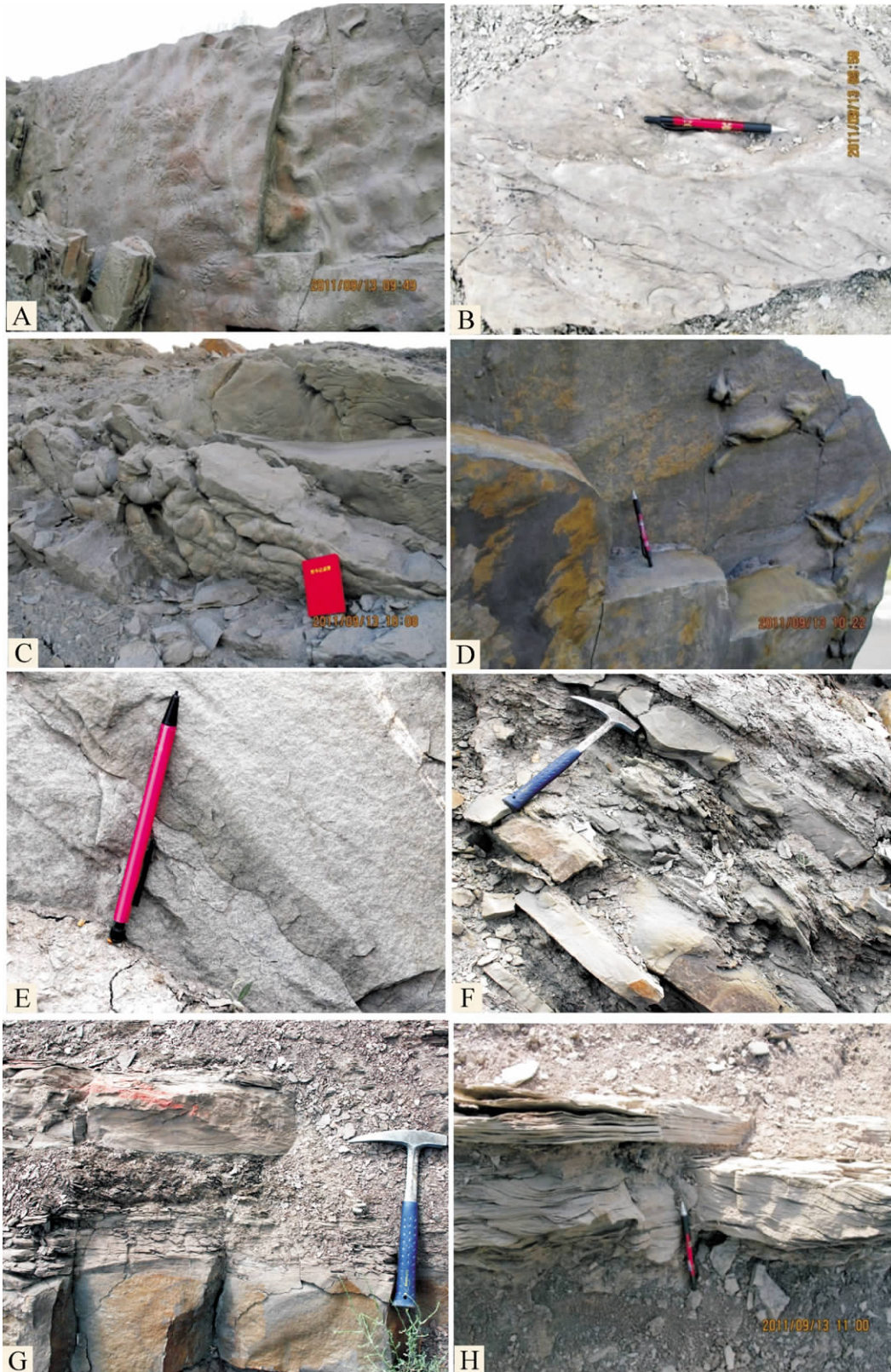
Abstract: Sedimentary process, X-rays fluorescence analysis of sandstone and mudstone, and reservoir characteristics analysing were used in measuring the strata of Kapushaliang outcrop in Kuqa foreland basin. An evolution of sedimentary process is obviously in dry climate. Intermittent braided river deposits in Upper Jurassic Kalazha Formation. Turbidite fans develop in lacustrine deep water of Lower Yageliemu Formation, and shallow water lake mudstone and lacustrine bars deposit in Upper Yageliemu Formation. The dry and cold paleoclimate occurs in early period of Yageliemu Formation. At the same time, some sedimentary structures for examples the groove cast, flute cast, gravity markers, and Bouma sequences deposit in turbidite fan channels. The black lacustrine mudstone develops in the upper Yageliemu Formation, the paleoclimate changes from warm to cold. The quartz percentage of turbidite fan channel is higher than lacustrine bar. The value of turbidite fan channel is from 62% to 70%, and the value of lacustrine bar is from 55% to 58%. There are some solution opening in sandstones of turbidite fan channel and lacustrine bar, but the solution value of lacustrine bar is higher than turbidite fan channel. The discovery of turbidite fan in Kapushaliang outcrop of Yageliemu Formation is important for foreland basin research in Kuqa, and instructs lacustrine deep water region development in the western Kuqa depression.

Key words: Kuqa depression; foreland basin; turbidite fan; Yageliemu Formation; sedimentary process; reservoir characteristics



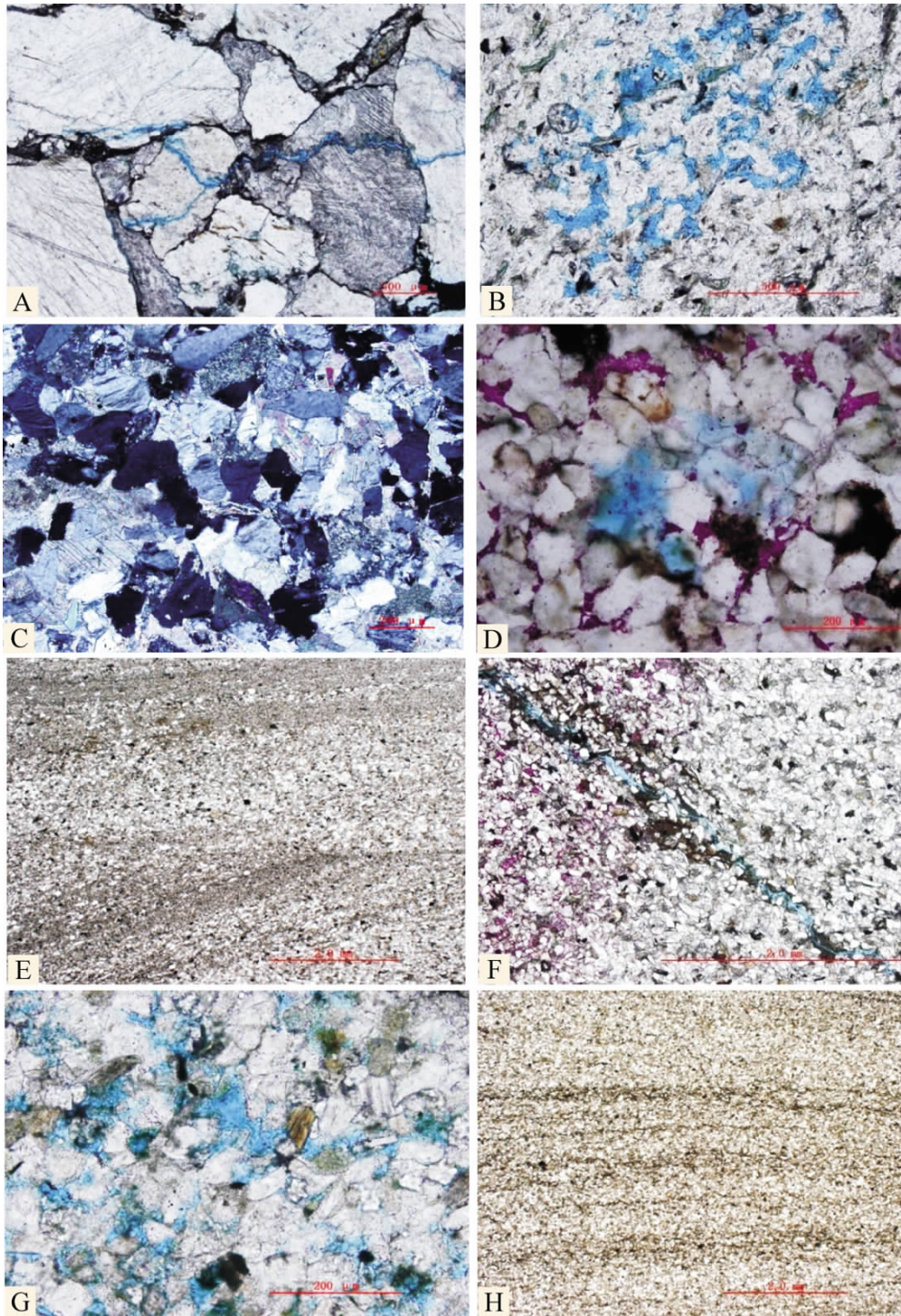
图版说明: A. 第 2 层浊积扇辫状水道灰绿色厚层状砾岩(宏观); B. 第 2 层浊积扇辫状水道灰绿色砾岩-粗砂岩单期厚 30~60 cm(近景); C. 第 4 层浊积扇水道灰绿色粉细砂岩浊流沉积发育; D. 第 4 层浊积扇水道灰绿色粉细砂岩浊流沉积发育; E. 第 6 层浅湖相砂坝灰绿色粉细砂岩; F. 第 7~8 层浅湖相砂坝灰绿色粉细砂岩; G. 第 8 层浅湖相砂坝反韵律; H. 第 8 层砂坝顶部湖泛面灰绿色泥岩。

图版 I 白垩系亚格列木组浊积扇水道砂体与浅湖砂坝砂体宏观特征



图版说明: bA 第 2 层重荷模; B 第 2 层槽模, 浊流方向由左上至右下; C 第 4 层重荷模; D 第 4 层槽模; E 第 4 层沟模的横剖面图; F 第 4 层鲍玛序列中 Ta—Tb—Td—Te 段、Tc—Td—Te 段; G 第 4 层鲍玛序列中 Ta—Tb—Te 段、Tc—Td 段; H 第 6 层浅湖相砂坝小型交错层理-平行层理。

图版 II 白垩系亚格列木组浊积扇水道砂体与浅湖砂坝砂体沉积构造的微观特征



图版说明: A 第 2 层砾岩: 主要为变质石英岩砾石, 次为火成岩及灰岩砾石, 构造缝、粒缘缝发育, 面孔率 3% 单偏光 (目镜 X 物镜下同) 40 倍; B 第 2 层粉砂岩, 石英 70%, 长石 10%, 火山岩岩屑 10%, 次为云母、绿泥石、变质石英岩等, 颗粒线状接触, 粒间溶孔为主, 面孔率 1% 单偏光 100 倍; C 第 4 层含灰细粒长石岩屑砂岩, 石英 62%-63%, 长石 12% 左右, 火山岩岩屑 12%-15%, 次为变质石英岩岩屑、泥岩与灰岩岩屑等, 颗粒线状接触为主, 大量方解石胶结, 少量石英加大, 粒间溶孔为主, 面孔率 1% 左右, 正交光 100 倍; D 第 6 层含灰细粒长石岩屑砂岩 石英 63%, 长石 10% 左右, 火山岩岩屑 15%, 次为变质石英岩岩屑, 无灰岩岩屑, 颗粒点一线状接触, 方解石胶结, 粒间溶孔为主, 面孔率 1% 左右, 单偏光 100 倍; E 第 7 层含灰细砂质粉砂岩, 石英 55%, 火山岩岩屑 18%, 次为变质石英岩岩屑, 泥岩岩屑有增加, 颗粒点-线状接触, 颗粒定向性明显, 显水流特点。纹层为泥杂基增多、颗粒变细所致, 单偏光 20 倍; F 为 E 的同一样品, 岩石中见一构造缝, 缝宽 0.04 mm, 局部有溶蚀, 面孔率 1% 左右, 单偏光 40 倍; G 第 8 层含灰、含泥粉砂岩 石英 58%, 火山岩岩屑 15%, 次为变质石英岩岩屑, 泥岩岩屑等, 颗粒点-线状接触, 溶蚀孔主要发育粗粉砂富集区, 见铸模孔, 面孔率 3%, 单偏光 200 倍。H 第 8 层泥粉砂岩 石英 58%, 火山岩岩屑 14%, 次为变质石英岩岩屑, 泥岩岩屑等, 纹层为泥杂基增多、颗粒变细所致, 富泥杂基条带形成纹层, 单偏光 20 倍。

图版 III 下白垩统亚格列木组浊积岩砂体与浅湖砂坝砂体储集性微观特征