

杭州石油地质研究所
科研成果论文集



中国石油天然气总公司杭州石油地质研究所

一九九二年十月



200365586

登录号	085769
分类号	TE1-53
种次号	004

杭州石油地质研究所科研成果论文集

(内部刊物)

1992年10月

目次

·卷首语·

依靠科技进步 深入理论研究 开拓南方油气勘探新领域..... (1)

·油气藏地质·

下扬子地区寒武纪斜坡带深水碳酸盐岩成岩作用及储集条件.....

陈学时 周进高(3)

浙皖长广地区龙潭组砂岩储层成岩作用和孔隙演化..... 朱国华 章卫平(19)

北部湾盆地福山凹陷泥岩的压实作用..... 王行信 袁鸿燕(30)

浙江宁波盆地朝川组火山碎屑岩成岩作用与孔隙演化特征.....

银乐富 葛敏海 朱国华(37)

论塔北轮南地区三叠系和侏罗系储层孔隙类型及深埋优质储层的成因.....

姚根顺 王少依 朱国华(43)

·油气构造地质·

东海陆架盆地主要沉积凹陷构造演化与油气关系.....

赵乃庄 支家生 王本善 何志泉 傅学添 黄冲 葛双成 谢排存(59)

杭州湾长河—王盘洋坳陷构造研究.....

方小明 葛元范 杨以宁 茹桂荣 屠小龙(79)

下扬子地区中、古生界海相地层后期改造与油气勘探方向..... 陈海鹏(79)

扬子区中、新生代构造变动对海相油气藏的改造..... 梁兴(89)

·地层学与沉积学·

福建坂头组的时代及对比——兼论福建侏罗—白垩系的地层顺序..... 陈其典(105)

杭州湾长河—王盘洋坳陷的白垩系..... 屠小龙 葛元范 方小明(115)

下扬子地区寒武—奥陶纪斜坡带及其沉积特征.....

罗璋 梁兴 胡少杰 沈金龙 吴荣生(122)

·石油地球物理勘探·

东海盆地福州凹陷地震地层学研究及油气远景初步评价.....

葛双成 何志泉 黄冲(136)

·石油地球化学勘探·

杭州湾长河凹陷土壤酸解烃的特征及找油意义.....

吴士清 蒙绍兴 陆富根 艾昭伟(148)

微有机质含量石灰岩之热解气相色谱分析与应用..... 许行义 李秀芝(158)

·钻采工程·

高能气体压裂工艺简介..... 马继成(162)

·石油人物·

记有突出贡献的沉积地质学成岩作用专家——朱国华..... (164)

责任编辑:支家生 赵国先

校对:支家生 吴厚松

主题词标引:赵国先

录入与排版:林彩娣 范和平

编辑与发行:杭州石油地质研究所情报室

激光排印:杭州石油地质研究所技术服务部

地址:(310025)浙江省杭州市留下

出版时间:1992年10月1日

赠书者:地研系

日期:95.12.18



00777674

SCIENTIFIC RESEARCH PAPERS OF THE HANGZHOU
INSTITUTE OF PETROLEUM GEOLOGY Oct. ,1992

CONTENTS

• RESERVOIR GEOLOGY •

- Diagenesis and oil reservoir conditions of deepwater carbonate rocks in the Cambrian slope zone, the Lower Yangtze region *Chen Xueshi & Zhou Jinggao* (3)
- Diagenesis and pore evolution of the Longtan sandstone reservoirs in Changxing—Guande area, Zhejiang—Anhui *Zhu Guohua & Zhang Weiping* (19)
- Mudstone compaction in Fushan Sag, Beibuwan Basin—Wang Xingxin & Yuan Hongyan (30)
- Diagenesis and pore evolution features of the Chaochuan Formation pyroclastic rock reservoirs in Ningbo Basin, Zhejiang *Yin Lefu, Ge Minghai & Zhu Guohua* (37)
- On pore types and genesis of Triassic—Jurassic deep—buried high—poresity reservoirs in Lunnan area of the North Tarim Basin *Yao Gengshun, Wang Shaoyi & Zhu Guohua* (43)

• TECTONIC GEOLOGY •

- Tectonic evolution of main sedimentary sags in the East China Sea Basin and the relationship of it with hydrocarbons *Zhao Naiahua, Zhi Jia sheng, Wang Benshan, He Zhongquan, Lin Nandian, Huang Chong, Ge Shuangcheng & Xie Zhengxin* (59)
- A study of structures of Changhe—Wangpanyang Depression in Hangzhou Estuary, Zhejiang *Fang Xiaoming, Ge Pengpeng, Yang Yining, Ru Guirong & Tu Xiaolong* (70)
- Palaeozoic reformation of Palaeozoic—Mesozoic marine rocks and hydrocarbon prospecting target in the Lower Yangtze region *Chen Puhe* (79)
- Mesozoic—Cenozoic tectonic movement and its reformation to marine oil/gas pools in the Yangtze region *Liang Xing* (89)

• STRATIGRAPHY & SEDIMENTOLOGY •

- Age and age correlation of Bantou Formation with a discussion on Jurassic to Cretaceous sequences in Fujian Province *Chen Qishi* (105)
- Cretaceous sequences of Changhe—Wangpanyang Depression in Hangzhou Estuary, Zhejiang *Tu Xiaolong, Ge Pengpeng & Fang Xiaoming* (115)
- Geology and sedimentary characteristics of the Cambrian—Ordovician slope zone in the Lower Yangtze region *Luo Zhang, Liang Xing, Hu Shaojie, Shen Jinlong & Wu Rongsheng* (122)

• GEOPHYSICAL EXPRORATION •

- Seismic stratigraphy and preliminary prospecting evaluation of Fuzhou Sag in the East China Sea Basin *Ge Shuangcheng, He Zhongquan & Huang Chong* (136)

• GEOCHEMICAL EXPRORATION •

- Features of acid—decomposed hydrocarbon in soil and the oil—prospecting implication in Changhe Sag, Hangzhou Estuary, Zhejiang *Wu Shiqing, Meng Shaoxing, Lu Fugen & Ai Zhaowei* (148)
- PY—GC analysis of limestone containing micro—organic matter and method apliation *Xu Xingyi & Li Xiuzhi* (158)

• DRILLING & TESTING •

- Introduction for the technology of high—energy gas fracturing *Ma Jiwei* (162)

卷首语

依靠科技进步 深入理论研究 开拓南方油气勘探新领域

在中国石油天然气总公司和浙江省的领导和关怀下,杭州石油地质研究所(原名浙江省石油地质研究所)为发展我国南方尤其是浙江的石油事业,作出了积极的努力。随着油气勘探和科研工作的深入,广大科技人员亟待扩展视野、更新知识、提高业务素质。结合当前加快改革开放,注重经济效益的形势,为达到总公司领导关于“八五”期间在南方十四省区有所突破的要求,努力把科研成果应用于生产实践并转化为现实生产力,我们特地编辑出版了这期《论文集》,企望我所在“七五”期间的部分科研成果能与兄弟单位各界同行广泛地交流切磋。

杭州石油地质研究所自她 1985 年诞生以来,始终坚持党的领导和一个中心两个基本点,坚持以社会效益和经济引导科研,“边建设、边科研、边出成果”,走过了八年不寻常的旅程;现已发展成为中国石油天然气总公司直属的一个面向中国南方的石油地质综合科研机构,研究的区域包括南方十四省、市、自治区(浙、苏、皖、赣、闽、粤、澳、黔、桂、湘、鄂、琼、沪、台)以及东海和台湾海峡。目前我所拥有职工 200 名,其中具高、中、初级职称的科研人员 130 名,所涉专业或部门包括石油地质、构造地质、石油物探与人机联作、石油地化、地层与古生物、岩矿鉴定、实验分析、情报研究和咨询服务、科技期刊编辑、出版印刷、档案管理、科研管理等方面。八年来,我所进行的科学研究包括:南方区域地质构造研究、南方海相中、古生代地层及油气地质研究、南方重点陆相盆地油气地质研究、碳酸盐岩研究、碎屑岩储层评价研究、东海盆地地质构造与勘探区块选择、台湾石油地质调研、台湾海峡石油地质与油气资源评价、石油物探与人机联作的开发和利用、浙江浅层天然气的勘探开发和利用,以及其他一些研究。

“总结经验、探索理论,依靠科技进步,开拓南方油气勘探新领域”以及“出成果、出技术、出人才、出油气,使整体研究水平进入国内先进行列”是我所过

去 7 年也是今后的主要奋斗目标。“七五”期间,我所承担和完成了国家级、部级、所级各类课题 34 个,已获部级二、三等奖 7 个,科研成果水平大都达到国内先进水平,部分成果为国内领先水平,个别成果进入国际学术交流领域。“八五”期间,我所将大力采用新技术、新理论、新方法、继续引进人才;以区域研究与区块解剖相结合,应用基础研究与勘探实践相结合,长远规划与近期安排相结合,重点进行南方全区性油气地质评价和浙、赣、闽、湘等勘探区带(块)综合评价;同时,建立南方地球物理处理解释综合研究和碳酸盐岩实验分析两个技术系列;加快开拓南方油气区,包括中、新生代盆地、古生代碳酸盐岩区、浅层油气区、煤成气区,尤其是加快长江三角洲地区的勘探步伐,并积极探索下扬子区推覆体、横断山区前缘盆地、东南沿海火山岩下的隐伏盆地的含油气性。

本次《论文集》主要是反映我所部分“七五”科研成果的论文专辑。遗憾的是,本论文集未能反映所有的成果,因一些稿件未能及时整理撰写。本刊中各文的参考文献已从略,读者如对论文内容有兴趣,需详细了解,可借阅作者的相关研究报告。此外,限于我们人力、水平和时间的限制,编辑中一定会有不足之处,欢迎广大读者对此提出宝贵意见,以促我们今后克服并提高。

杭州石油地质研究所 情报室

一九九二年十月一日

下扬子地区寒武纪斜坡带深水碳酸盐岩 成岩作用及储集条件

陈学时 周进高

摘要 利用现代测试手段,对下扬子地区寒武纪斜坡带深水碳酸盐岩的成岩作用、孔隙演化及油气关系的研究表明,白云化作用、埋藏有机溶蚀作用、压实压溶作用及差异压实作用等是形成油气有利储集空间的重要成岩作用。由此而产生的大量次生孔隙和各种微裂缝、缝合线是构成本区盆地边缘斜坡相带黑色硅质岩、白云岩、重力流角砾灰岩、浊积岩等多种储集岩和储层的主要因素。

关键词 下扬子地区 寒武纪 大陆斜坡 碳酸盐岩 油气聚集带 成岩作用
孔隙演化

1 概况

研究区位于浙西皖南一带。构造上大致介于江南断裂—江绍断裂之间,为一北东向分布的槽形盆地。盆地基底为陆壳。加里东期由于处于拉张构造环境,本区大部均发育成典型的被动大陆边缘,并且大致经历了早震旦世的裂谷阶段、晚震旦世—早奥陶世的被动大陆边缘阶段和中、晚奥陶世—志留纪的闭合造山阶段。晚震旦世至早奥陶世,本区为持续稳定拗陷,主要表现为斜坡—盆地边缘相沉积特征(图1)。

本区早寒武世以快速沉降为主,表现为拗陷较深的盆地相和盆地边缘斜坡沉积,这里水体宁静、闭塞缺氧、为受上升流和缺氧层控制的静海环境,沉积物由下至上主要为一套黑色碳质硅质岩、硅质碳质泥页岩、泥质白云岩、磷酸盐岩、石煤和泥质灰岩间互形成的黑色岩系和富有机质沉积,属典型的上升流成因的生物化学沉积序列。岩石中微细水平层理发育,普遍含细粒状黄铁矿,局部含磷结核,有机碳含量高,一般达0.4%~6.69%,最高可达12%以上,属腐泥型海相母质,为一套十分良好的生油岩。

研究表明,这套富有机质的黑色生油岩的形成与上升流密切相关,上升流带来了大量的营养物质,促使表层生物发育繁盛,导致大量有机质的形成。同时盆地水深闭塞缺氧,为有机质的保存提供了有利条件。

中、晚寒武世为碳酸盐岩发育的鼎盛时期,该区为较深水斜坡带沉积,主要为一套富含粘土的水平纹层状、条带状泥质灰岩和粉晶泥质白云岩所组成。然而其中最引人注目的是晚寒武世还普遍发育有碳酸盐重力流沉积、滑塌沉积、浊流和等深流沉积,并与条带状灰岩互层共生,表明中晚寒武世以后明显变浅的沉积环境。早、中奥陶世,本区大部抬升,水体变浅,石台、泾县一线已经进入开阔海台地相,主要表现为台地边缘浅滩相沉积。

寒武纪斜坡带沉积中,沉积物主要以重力流、浊流、等深流、风暴流和上升流为主,间夹远洋、半远洋细粒悬浮沉积。沿斜坡向下搬运的重力流主要包括碳酸盐碎屑流、高密度至低密度浊流和颗粒流。在碳酸盐碎屑流沉积中,砾屑灰岩规模大、层数多,在泾县北贡、

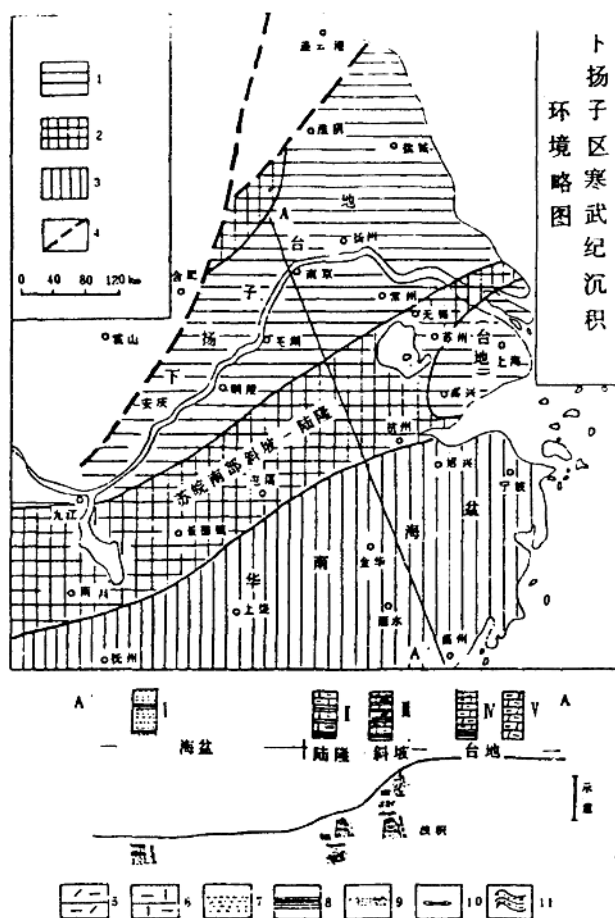


图1 下扬子寒武纪沉积环境略图(据岳文浙,1990)

- 1 台地；2—斜坡—陆隆；3—海盆；4 古深大断裂；5—泥质白云岩；6—泥质灰岩页岩；7 砂岩；8—水平纹层；9—生物扰动；10—结核状灰岩；11—滑塌柔皱。

I 珠江 3690m；II—浙西 1349m；III 青坑 1484m；IV 翠屏山 856m；V—巢县 647m。

青阳百丈岩—青坑等地的中、上寒武统均有分布。沉积物成分来自两个方面，一类是来自台地边缘高能礁滩环境，以亮晶粒灰岩、亮晶生屑砂屑灰岩和藻礁灰岩为主。另一类来自斜坡本身，几乎全为深灰色条带状灰岩。碎屑流沉积呈北西—南东向分布，剖面上呈透镜状、似层状。砾屑由细砾到巨砾不等，以粗中砾为主，砾屑形态呈板条状、竹叶状及不规则块状、多平行层面排列。浊积岩中鲍马序列发育。等深流主要是指沿着斜坡、陆隆等深线流动的底流对重力流沉积物进行改造、搬运再沉积而形成。本区条带状灰岩大多具有等深流的沉积特征并与浊积岩共生。

2 主要成岩作用类型及成因分析

本区寒武纪斜坡带和盆地边缘相带深水碳酸盐岩在漫长的地质历史时期经历了复杂的成岩后生变化。经研究，主要成岩作用类型有白云化作用、硅化作用、埋藏有机溶蚀作用、压实压溶及差异压实作用等，现分述如下。

2.1 白云岩及白云化作用

2.1.1 盆地相泥(微)晶白云岩及成因机理

早寒武世荷塘组盆地相黑色硅质泥页岩中夹有多层中薄层状泥(微)晶白云岩,结晶极细,晶粒大小一般在0.005~0.05mm,扫描电镜观察,大部分为半自形至他形晶。电子探针测试,Ca含量为22.99%,Mg为12.48%,Na为1113ppm,Sr为6003ppm,Fe为338ppm,Mn为542ppm(表1),阴极发光强度较强,呈亮红色。碳、氧同位素表现为较高负值, $\delta^{13}\text{C}$ 值为-15.08‰~-6.79‰, $\delta^{18}\text{O}$ 值为-9.35‰~-6.1‰(表2)。从以上测试数据可以看出,盆地相泥(微)晶白云岩痕量元素Sr、Na含量很高,这除了表明该类白云岩形成于卤水(海水)溶液这一因素外,更主要的是与该凹陷区沉积大量文石质藻菌类有机质沉积物、使盆地中的锶相应富集有关。锶主要集中在文石中,因此,这套富含锶的有机质沉积物,在发生硫酸盐还原带白云化过程中,由于锶、钙离子半径相近,因而使锶容易被捕获并结合进白云石晶格之中。

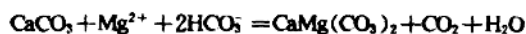
表1 各类白云岩电子探针测试数据表

样 品 号	分析点号	元 素 含 量						矿 物
		Na	Fe	Mn	Sr	Ca	Mg	
		(ppm)				(%)		
X-马-5-P ₁	1	1113	388	542	6003	22.99	12.48	微晶白云石
X-马-12-5	1	370	3656	775	1606	24.26	12.94	微晶白云石
X-马-21-P ₁	1	148	8944	77	2114	23.17	10.53	微晶白云石
X-马-31-P ₁	1	1038	1089	1316	2198	21.85	13.82	不等晶白云岩中的中晶白云石
X-马-31-P ₁	2	1187	1867	309	2283	20.83	13.95	不等晶白云岩中的细晶白云石
X-马-31-P ₁	4	519	467	1007	1267	24.04	13.14	不等晶白云岩中的中晶白云石
X-北-h ₂ -P ₁	1	519	856	465	338	20.49	12.96	微晶白云石
X-北-18-P ₂	1	445	16178	930	1015	21.49	12.11	鲕状白云石
X-北-26-P ₂	1	742	3733	852	761	21.07	13.61	粉晶白云石
X-北-27-P ₁	1	148	6922	697	4312	18.75	12.9	粉晶白云石
X-北-27-P ₁	3	148	1400	620	761	25.85	12.69	粉晶白云石

沉积历史分析表明,本区下古生界属华南古大陆边缘的一部分,以深水斜坡带和盆地相沉积为特征,是一个沉降和沉积中心相吻合的地带,早寒武世早期的大规模海侵以及由于盆地外围古岛弧和水下高地的发育而形成的障壁导致海底水体循环不畅,形成封闭滞流缺氧的深水环境,使海水具有较高的含盐度和丰富的有机质,据早寒武世白云岩同位素换算,含盐度高达30‰,而沉积物中有机碳达0.4%~6.69%,局部可高达12%以上,并有大量黄铁矿分布,表明这套泥—微晶白云岩是在一个含盐度高,有机质丰富的古大陆边缘沉积而成,属深海底原地形成的准同生白云岩。

笔者认为,这套泥—微晶白云岩的产生可能与盆地富含有机质沉积物埋藏初期所经历的硫酸盐还原带有关,在这个带内厌氧细菌活跃并大量分解硫酸盐,反应产生大量 S^{2-} ,沉积物中的高价铁转变为低价铁并与 S^{2-} 结合形成草莓状、球粒状黄铁矿。随着孔隙水微生物硫酸盐还原作用的加强,含碱度迅速增高并产生可溶重碳酸盐,初期有少量方解石从浅层孔隙水中直接沉淀并消耗了孔隙水中的溶解钙,然而镁的减少比钙缓慢得多,

Mg/Ca 比值相应增高,因而产生白云化作用,其反应式为:



由于盐度高和快速结晶,降低了白云石晶体的有序度,因而形成以无序为主的泥(微)晶白云石。根据该白云石 $\delta^{13}\text{C}$ 有较大负值,表明白云石形成时可能受有机碳或甲烷的影响,因为白云石形成的碳来自碳酸钙的溶解和有机碳的氧化,有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 为高负值,因而影响了白云石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。以上表明硫酸盐还原作用是导致海底产生准同生白云化作用的主要机理,白云石形成必定在硫酸盐耗尽的深度上或附近,而硫酸盐主要来自上覆海水层和能够提供硫酸盐还原细菌的富有机质沉积物。本区盆地藻菌类生物发育,有机质极其丰富,沉积物掩埋初期有机质分解释放硫化氢的数量大,促使环境底水缺氧和硫化氢条件的发育,这表明盆地相泥(微)晶白云岩形成必定出现在海底沉积物—水界面以下几米的深度范围内。

表2 皖南寒武系各类白云岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、PDB 组成

产地	层位	岩石名称	环境	白云石 (PDB)		原地方解石 (PDB)		换算的温度和盐度	
				$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	白云石 t(°C) s(‰)	方解石 t(°C) s(‰)
石台丁香	C ₁ h	微晶泥质白云岩	盆地相	-15.08	-6.1			47 28	
		微晶含泥白云岩		-8.14	-7.74	-9.96	-7.54	57 27	56 27
		微晶白云岩		-6.79	-9.35	-6.25	-10.91	66 25	78 24
石台丁香	C ₁	微晶泥质白云岩	深陆棚相 (斜坡带)	-1.05	-9.68	-0.79	-9.66	70 25	70 25
		微晶白云岩		-1.64	-7.75	-1.26	-8.55	57 27	62 26
		微晶泥质白云岩		-0.93	-8.30			60 26	
休宁兰田	C ₂	粉晶泥质白云岩		-0.24	-12.1			86 22	
泾县北贡	C ₁	粉晶泥质白云岩	浅陆棚相 (斜坡带)	0.97	-12.84	0.63	-14.21	92 22	103 21
		中(细)晶白云岩		-2.22	-15.63	-2.30	-16.13	114 19	118 19
		粉晶泥质白云岩		-0.46	-10.8			77 23	
石台丁香	C ₁	粉(细)晶白云岩	(斜坡带)	0.41	-14.98			109 19	
		粉(细)晶白云岩		0.67	-11.52			82 23	

白云化的镁,除了沉积物本身所提供的来源外,真正起作用的大量镁应来自上覆海水对沉积物的渗透扩散以及沉积物本身内部的孔隙水(海水)(图2)。

关于硫酸盐还原作用带产生白云化的问题已由 Baker, Burns(1985)进行过论述,他们通过深海钻探对有关中新世到更新世富含有机质大陆边缘沉积物中的白云石及其孔隙水取样研究后指出,这种早期海底白云石的形成与微生物硫酸盐还原带密切相关,其中产生的强碱性水介质是白云石形成的主要原因。白云石中的镁主要来自沉积物中的孔隙水和上覆海水的扩散。这一论述为我们解释荷塘组盆地相泥(微)晶白云岩的形成提供了理论依据。

2.1.2 斜坡带(陆棚相)微—粉(细)晶白云岩及成因分析

斜坡带微—粉晶白云岩主要形成于中、晚寒武世条带状泥质云灰岩,泥质云岩和重力流角砾灰岩中,白云化作用主要沿条带状灰岩富含粘土质部分或泥灰质薄层选择交代,有的出现在缝合线和裂缝中,呈层状或似层状分布,以微—粉晶白云岩为主,电子探针测试,

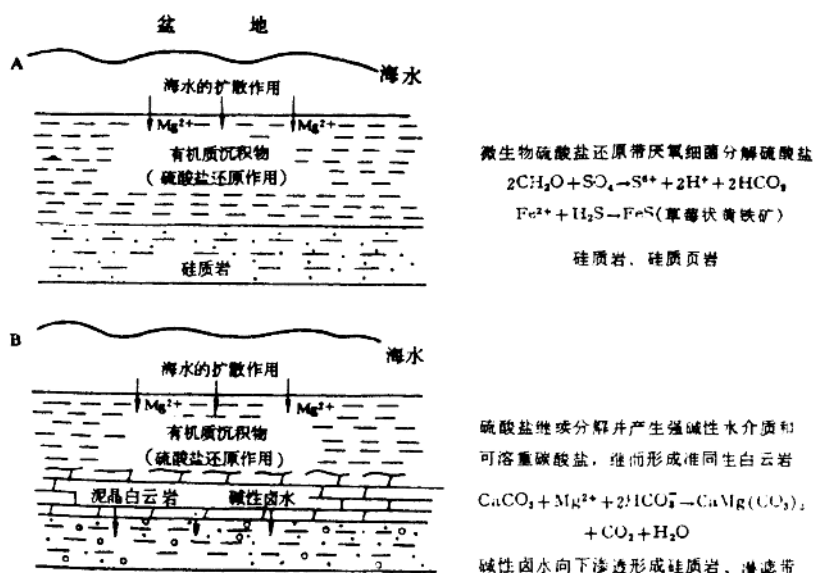


图2 荷塘组盆地相准同生白云岩形成及硅质岩溶解作用模式图

该白云岩 Sr、Fe、Mn 含量偏高, Sr 为 338~4312ppm, Fe 为 467~8944ppm, Mn 为 77~1316ppm。阴极发光亮度较低, 一般发暗红色光, 少数见有环带。碳氧同位素分析, 这类白云岩 $\delta^{13}C$ 值大多数在 -1.64‰ ~ 0.97‰ (PDB), 除个别较低 (-2.22‰) 外, 一般处于低正值至低负值。而 $\delta^{18}O$ 值为 -7.75‰ ~ -15.63‰ (表 2), 表现为较高负值, 说明该类白云岩是在埋藏环境下, 有机质已大量分解、有机碳影响减小、为深埋压实白云化的结果。白云化所需的镁主要来自压实压溶作用 Mg^{2+} 的溶出和粘土矿物的转化。 Mg^{2+} 随粘土矿物层间水排出而形成的富镁压实水是导致这类白云化作用的主要因素。它的产生与泥质条带灰岩和泥质岩层间的空间共生关系是密切相关的。

2.2 层状硅质岩与硅化作用

早寒武世荷塘组盆地相层状硅质岩分布广泛, 厚度一般为 20~100 余米, 最厚达 200 余米, 为早期沉积埋藏硅化所形成, 呈黑褐色中~薄层状, 水平微细层理发育。硅质岩由微晶石英和玉髓组成并含有大量有机质(沥青)、泥质和黄铁矿。部分地区见有硅质海绵骨针分布, 形成一套富含有机质的黑色硅质岩、碳泥质硅质岩、硅质碳质泥页岩、石煤和泥晶白云岩互层组合并相互过渡的黑色岩系, SiO_2 含量达 50%~90% 以上, 构成了早寒武世盆地相沉积的主体, 属典型的上升流成因。

硅质岩中溶蚀孔隙和裂缝普遍发育, 呈蜂窝状、海绵状, 视孔率高达 25% 以上, 局部可达 40%; 孔隙裂缝连通性好并为大量黑色碳沥青、有机质和泥质充填; 有机碳含量一般达 6.69% 以上, 局部最高可达 12%。碳沥青和有机质(泥质)呈球珠状、透镜状、不规则团块状、纹层状密集分布, 同时大量破裂缝、缝合线、丝发状微裂缝为沥青充填、呈网状交织。以上表明, 这套硅质黑色岩系不仅是良好的生油岩而且也是良好的储集岩(图版 1: 1~

7)。

层状硅质岩的形成与上升流密切相关,随着上升流的上涌活动,大洋深部大量 SiO_2 和有机质带入海区,为早期硅质岩沉积提供了主要物源。这些硅质经海解作用而形成硅胶,在封闭、滞流、缺氧的深水盆地中为大量有机质和泥质所吸附并在喜氧细菌作用下有机质发生腐烂分解,生成 CO_2 ,使底水 pH 值降低,造成酸性环境,促使富含有机质的 SiO_2 沉淀,形成层状硅质岩。

另一方面,海水中的硅质对生物的吸取和繁殖也有着重要的意义,其中特别是上升流带来的硅质和营养物质,对硅质生物的发育有着明显的作用。生物吸取 SiO_2 形成躯壳,生物死亡后,经沉积埋藏和压实转化成岩,其中蛋白石 A 经溶解—沉淀转化为蛋白石—CT (方石英—鳞石英),而后再转变为微晶石英(燧石),形成生物硅质岩。如休宁兰田一带,硅质岩中硅质海绵骨针大量发育,含量高达 20%~40%以上,骨针密集堆积、平行定向排列、形成骨针硅质岩,表明属生物成因。

2.3 溶蚀作用

2.3.1 层状硅质岩类的溶蚀作用

荷塘组盆地相黑色层状硅质岩中溶蚀作用发育,大部分硅质被溶蚀并产生大量次生溶孔,使岩石呈蜂窝状、海绵状,视孔率高达 25%以上,局部可达 40%;溶孔细小,一般为 0.01~0.15mm,呈不规则弯港状、椭圆形,顺层定向排列、密集分布,连通性好;溶孔中为黑色沥青和有机质充填。(图版 1:1、2、3、4)。

溶孔的形成与海底有机质沉积物在埋藏初期所经历的硫酸盐还原带产生的碱性水有关,这种盐度高、比重大的碱性卤水在对浅层沉积物产生白云化作用的同时,并有大量的剩余卤水向下伏硅质岩层渗透淋滤,从而使硅质岩产生溶解。由于产生碱性溶液的地质条件还持续存在,有机质硫酸盐还原带仍继续发育,因而使碱性溶液继续不断向下渗透淋滤,使下伏硅质岩产生强烈溶蚀并形成大量次生孔隙。发生溶蚀作用最有利的地带就是与准同生泥晶白云岩呈互层叠合关系的硅质岩层。同时还由于硅质岩性脆而容易产生破裂作用和张性裂缝、破裂缝,为溶液和油气提供了良好的运移通道。

层状硅质岩在早、中期成岩阶段要由非晶质氧化硅组成,非晶质氧化硅对溶液酸碱度十分敏感,尤其是溶解度受 pH 值的影响很大,据 Krauskop(1959)的研究,若 pH 值在 2~8.5 时,氧化硅的溶解度曲线接近水平,而 pH 值增大时,溶解也急剧增加,当 pH 值为 11 时,溶解度可达 5000ppm,因而能强烈溶解硅质岩并产生大量溶孔。所形成的多孔状有机质硅质岩和硅质泥岩含有丰富的有机质,有机碳最高可达 12%以上,是本区最有利的生油岩,同时又是最有利的油气储集层,是构成自生自储古油藏的有利层位。

2.3.2 碳酸盐岩中埋藏有机质的溶蚀作用

在埋藏成岩环境中,随着进一步的埋深压实,温度、压力不断升高,生油岩(泥、页岩)中的粘土矿物(如蒙脱石等)开始脱水转化。脱水效应使密度大的吸附水经压实释放而形成晶片间的自由水并导致异常高压带的形成。这种压实水溶解了生油层中有机质经成熟演化和脱羧基作用而产生的 CO_2 和有机酸,使其成为酸性水溶液并作为油气运移的载体和前驱向上运移。一方面溶解碳酸盐岩形成次生孔隙和扩大裂缝,另一方面又将水溶液中的烃类排入孔隙之中,形成油气储集。本区斜坡带重力流角砾灰岩、浊积岩及微粉晶白云

岩中,大量沥青充填铁白云石、铁方解石晶间、晶内溶孔和溶缝,就是最直接的证据(图版Ⅱ:3、4、8)。

2.4 压实压溶作用和差异压实作用

压实压溶作用是一种最常见的成岩作用,地层中大量发育的微裂缝和缝合线是这一叠加作用的直接标志。其中特别是早寒武世盆地边缘相和深水斜坡带的巨厚细粒沉积为该作用的发育提供了良好的条件(图版Ⅱ:5、6、7)。

盆地相泥页岩类从埋藏开始压实排水,在上覆地层重力压实作用下,容易产生无方向的交织细裂缝和孔隙,泥岩呈粘性变形特征。随着埋藏深度的增大,泥岩进一步压实排水,泥岩孔隙和裂缝不断变细。同时粘土矿物体积缩小,因而泥岩微裂缝往往表现为沿水平方向呈现各种形式的扭曲,显示了泥岩的塑性变形特征,泥岩微孔隙降至30%~10%,最后直至5%以下,泥岩逐渐由塑性变为刚性。如石台丁香荷塘组泥岩中密集发育的水平状微裂缝就是这一作用的直接反映。

压实压溶作用和差异压实作用在斜坡带泥质条带灰岩中表现尤为明显,这种由薄层状泥晶灰岩与泥页岩或富粘土质的泥灰岩互层组成的韵律性条带灰岩,刚柔相间,为这类作用的发育提供了条件。薄层状灰岩成岩固结早、具刚性,在压实条件下容易产生张裂作用和压溶作用,由于局部应力集中并在集中点上产生溶解,使薄层灰岩产生破裂、溶蚀和断裂并发生相对位移,形成大量微裂缝和缝合线。与灰岩呈薄互层的钙质泥页岩和粘土矿物,在压实中由于脱水作用和塑性变形,产生体积缩小,片状矿物定向排列和易于侧向流动。粘土矿物在压实作用时产生的脱水效应使碳酸盐矿物发生溶解,特别是在两者的接触界面附近更易发生选择性溶解作用,进一步扩大了裂缝。由于这两种物质在压实压溶作用中所表现出来的差异,促使刚性薄层灰岩张裂、溶蚀、变形和位移并形成大量网状裂缝和缝合线,而柔性的泥质物在压实条件下可以由高压部位向两侧低压部位流动并充填周围的裂缝和缝合线,即形成网纹状、透镜状、团块状及“石香肠”状等多种变形构造形态并组成相应的各种变形条带状灰岩。

压实作用的进一步发展即可转化为压溶作用,缝合线是压溶作用在岩石中留下的直观效应之一。本区斜坡带缝合线以微小型为主,部分为大、中型。形态上有波状、缝合状、柱状、锯齿状等。产状上有水平、斜倾、垂直和网状连接之分。以上缝合线及其微裂缝的大量发育改善了岩石的孔渗性能,对油气和溶液的运移储集起了积极的作用(图版Ⅱ:6、7)。

2.5 重力流角砾灰岩及浊积岩的成岩作用

本区斜坡带沉积主要以重力流、浊流、等深流及上升流沉积为主,间夹远洋细粒悬浮沉积。其中尤其是重力流角砾灰岩、浊积岩等组成的异地碳酸盐沉积体,生储油岩兼备并邻近盆地相生油区,在油气勘探中具有十分重要的意义。因此,有必要对它的成岩作用及孔隙类型特征作一简要的讨论。

研究表明,在这套由重力流角砾灰岩、浊积岩组成的异地碳酸盐沉积体中,成岩作用类型主要以压实压溶作用、白云化作用及埋藏有机溶蚀作用为主。重力流角砾灰岩、浊积岩由于快速搬运和堆积于深水斜坡带中,在埋藏之前胶结作用并不发育,在埋藏期很快被上部沉积物所复盖排除了淡水的影响,因此压实压溶作用就成为它们的主要成岩作用。由

于压实压溶作用的叠加进行,沉积物中原始孔隙率迅速降低,砾屑(颗粒)间紧密堆积并发生压溶作用形成大量网状微裂缝和缝合线。然而由于沉积物快速埋藏及砾屑间的支撑作用,虽经压实仍有一定数量的原生孔隙被保存起来,这些孔隙包括砾(粒)屑间孔、生物体腔孔、砾内孔、遮蔽孔等。此外,在埋藏期白云化作用普遍发育,以粉、细晶白云石为主,局部叠层石角砾岩晶洞中见有鞍状白云石,晶形不规则,晶面和解理弯曲、波状消光,透明度低,属典型的埋藏成岩环境之产物。以上白云化的镁一方面来自浅水角砾岩本身文石、高镁方解石质生物体成岩转化时 Mg^{2+} 的溶出,另一方面是来自埋藏压实期间围岩粘土矿物的转化。白云化作用产生的白云石晶间孔和晶间溶孔对提高孔渗性具有十分重要的意义。埋藏有机溶蚀作用系生油岩在埋藏热演化过程中,有机质脱羧基作用产生的 CO_2 和有机酸使循环介质变为酸性,从而产生对碳酸盐矿物的溶蚀作用,这类溶孔与油气运移在时间上相配套,是最有利的储集空间。铁白云石、铁方解石晶间溶孔中充填的沥青即是有力的佐证。

综上所述,重力流角砾灰岩沉积体中原生、次生孔隙裂缝普遍发育,沥青充填的有效孔隙率达7%以上,局部高达15%,是本区斜坡带最有利的储层之一。

3 有利储集空间、储层类型及其与油气关系

3.1 储集空间类型及特征

本区斜坡带有利储集空间主要有黑色硅质岩溶孔,碳酸盐岩有机溶孔,白云石、方解石晶间孔,砾(屑)间孔,砾(粒)内孔以及大量微裂缝和缝合线等。

硅质岩溶孔 主要分布于荷塘组盆地相硅质岩、硅质泥岩中,孔隙率高达25%以上,局部可达40%,使岩石呈蜂窝状、海绵状。溶孔通常较细小,一般为0.03~0.15mm,少数达0.5mm,顺层定向排列,密集分布,其间并有大量破裂缝、微裂缝连接;孔隙中为沥青和黑褐色有机质充填,为本区最有利的油气储集空间(图版I:1~7)。

碳酸盐岩有机溶孔 主要分布于下寒武统盆地边缘相微晶白云岩、微—粉晶灰岩和中上寒武统斜坡带重力流角砾灰岩、浊积岩中。盆地相微晶白云岩针孔状晶间溶孔发育,孔径为5~10 μm ,部分达30~50 μm ,孔隙率达10%~25%。粉晶灰岩晶间溶孔大小为0.01~0.15mm,孔隙率达15%~20%。重力流角砾灰岩中,砾内、砾间铁白云石、铁方解石晶间溶孔溶缝及微晶基质溶孔发育,孔隙大小不等,一般在0.05~0.25mm,孔隙率达10%以上。以上埋藏有机溶蚀作用形成的溶孔溶缝均被沥青所充填,是斜坡带最有利的储集空间,这些溶孔在时间上与油气生成和运移基本上是同步和相配套的,是真正有效孔隙,在油气储层中具有十分重要的意义。

粒间孔 在上寒武统斜坡带重力流角砾灰岩、砂砾屑灰岩及浊积岩中有大量分布。由重力流作用而快速堆积形成的席状、透镜状及似层状角砾岩,原生粒间孔普遍发育。当其深埋后,由于角砾间的支撑、遮蔽而受到保护,使角砾沉积物的原生粒间孔并不过多受压实的影响。这些粒间孔大多为沥青和有机质、泥质充填。此外,在重力流角砾灰岩中还发育有大量由埋藏有机溶蚀作用而形成的溶孔溶缝,白云化晶间孔,晶间溶孔以及大量微裂缝和缝合线等,孔隙率达7%~15%以上,为斜坡带最发育的有利储集岩和储集层位(图版II:3)。

晶间孔 包括有白云石晶间孔和方解石晶间孔两种。主要分布于上寒武统西阳山组粉—细晶白云岩、白云化灰岩及中、下寒武统粉—细晶灰岩之中。孔径大多为 $10\sim 5\mu\text{m}$ ，大的达 $80\mu\text{m}$ ，孔隙率达 $3\%\sim 8\%$ ，孔隙为沥青充填。

裂缝和缝合线 由于深埋压实压溶作用的影响，岩石中缝合线和微裂缝普遍发育，主要类型有泥岩裂缝、条带状灰岩、重力流角砾灰岩、白云岩中的水平状、波状、根须状及网状缝合线和微裂缝（或微缝合线）等。

泥岩裂缝 主要分布于下寒武统荷塘组泥（页）岩中，微裂缝通常细小，缝宽一般为 $0.01\sim 0.05\text{mm}$ ，长 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ ，呈多种形式的扭曲状、蠕虫状，连通性好，水平状顺层排列，密集分布，缝隙率高达 $35\%\sim 40\%$ ，裂缝中为沥青和黑色有机质充填。泥岩裂缝的发育不仅为油气的运移提供了通道，而且是重要的储集空间，可形成下寒武统较特殊的裂缝型泥岩储集层。

由压溶作用形成的缝合线和微裂缝（或微缝合线）主要分布于中下寒武统大陈岭组和杨柳岗组的条带状泥质灰岩和粉晶白云岩中，水平状、波状缝合线和微裂缝主要沿条带灰岩中富粘土的泥质灰岩薄层及其层间结合面处发育，密集分布。根须状、网状缝合线和微裂缝（或微缝合线）可以沿着灰岩团块、结核和瘤体等之间的接触处产生。以上缝合线和微裂缝常被大量沥青、有机质（粘土）充填。由于缝合线—微裂缝密集发育，紧密共生，构成了中、下寒武统深水斜坡带的又一个重要储集类型。

构造裂缝 本区构造裂缝比较发育，为油气运移和聚集提供了有利的通道和储集空间，寒武系发育大量的碳沥青脉就是最好的佐证。

3.2 有利储层类型及其与油气关系

3.2.1 盆地边缘相和下部斜坡带储层类型

层状硅质岩裂缝—孔隙型储层 为本区重要的储层类型，主要储集空间为普遍发育的硅质岩溶孔溶缝以及与之伴生的微裂缝、构造缝等相配合，孔缝连通，形成蜂窝状、海绵状构造，有效孔隙率达 25% 以上，部分高达 40% ，孔缝中为黑色碳沥青和有机质充填。属裂缝—孔隙型储层，分布于荷塘组中下部。

微（泥）晶白云岩、粉（微）晶灰岩裂缝—孔隙型储层 主要分布于荷塘组并与黑色硅质岩、泥页岩间互。储层中的主要储集空间为深层有机溶蚀作用形成的次生溶孔溶缝，包括微晶白云岩中的针孔状晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔以及粉晶灰岩中的方解石晶间孔和晶间溶孔等，其次有大量微裂缝、缝合线伴生，孔隙率达 15% 以上，孔隙为沥青充填。

泥岩裂缝储层 该储层的主要储集空间为泥岩裂缝，呈水平状顺层密集分布，有效缝隙率达 40% 以上，裂缝为黑色碳沥青和有机质充填。主要分布于荷塘组上部黑色泥（页）岩中。泥岩裂缝储层早为人们所认识也早有报道，泥岩裂缝储油已经成为一种新的油气藏类型，如阿根廷的圣埃伦娜油田，美国的圣玛丽亚油田、芦申油田，苏联的萨累姆、西西伯利亚的一些油田都发现了这种类型的油藏，因此本区盆地相中的泥岩微裂缝储层是值得重视的储层类型之一。

微晶泥质灰（云）岩微裂缝—缝合线储层 主要分布于中下寒武统大陈岭组和杨柳岗组条带状微晶泥质灰（云）岩中。储集空间主要以发育的微裂缝、缝合线组合为特征，它们以各种不同形式和大小呈水平状、倾斜或垂直状交织共生、密集分布，形成网状裂缝系统。

在这些裂缝和缝合线中为黑色沥青和有机质充填,有效缝隙率达5%~15%以上,这表明它们不仅是油气运移的良好通道而且是十分有利的油气储集层。

3.2.2 中、上部斜坡带储层类型

重力流角砾灰岩裂缝—孔隙型储层 本区中、上部斜坡带重力流活动普遍发育,由重力碎屑流沉积形成的竹叶状、板条状角砾灰岩、砾屑灰岩呈席状、透镜状分布于上寒武统团山组地层中,为斜坡带最重要的储层类型。该储层原生粒间孔、白云化晶间孔、晶间溶孔、深层有机溶孔普遍发育,其间并分布有大量网状缝合线和微裂缝,它们互相连通,孔隙中为黑色碳沥青充填,孔隙率达5%~15%以上。属裂缝—孔隙型储层。

浊积岩和等深积岩裂缝—孔隙型储层 本区浊流和等深流沉积发育,主要分布于上寒武统团山组和西阳山组。由浊流和等深流作用而形成具粒序层的浊积岩和等深积岩构成本区上部斜坡带的主体,两者紧密共生,呈中薄层状与远洋或半远洋纹层状泥质灰岩韵律性互层分布。许多由浊流成因的鲍玛序列和显示正常粒序层的砂屑灰岩和生屑灰岩中,有机溶蚀产生的各类次生溶孔溶缝发育,其间并有缝合线和微裂缝伴生,溶孔裂缝为沥青充填,孔隙率达3%~7%,局部达10%以上。为本区上部斜坡带重要的有利储层。

4 储层评价与油气圈闭

综上所述,本区下寒武统盆地边缘相带和深水斜坡带既有最有利的生油层同时又有有利的储集层,是形成自生自储古油藏的有利层位和地带。这里深层有机溶蚀作用、压实压溶作用发育,是储集空间发育的有利部位;成岩期形成的大量次生溶孔溶缝和泥岩裂缝、微裂缝、压溶缝及构造缝是主要的储集空间又是运移产出的通道,形成多种裂缝—孔隙型储层、裂缝型储层及微裂缝—缝合线型储层。其中应特别指出的是裂缝—孔隙型硅质岩储层,具蜂窝状、海绵状次生孔隙和大量破裂缝、微裂缝的配合连通,孔渗性好,沥青充填的有效孔隙率可达25%以上,为盆地边缘相最有利的储层,它们与泥页岩相互交替和叠合,上下为致密泥岩、泥质灰岩或泥质白云岩所封盖,组成多套生储盖组合并形成良好的地层圈闭和岩性圈闭,构成了下寒武统荷塘组自生自储古油藏的主体。

许多资料表明,硅质岩在油气形成过程中具有十分重要的意义。硅质岩可以形成有利的储层,同时资料也表明硅质岩本身也是最有利的生油层,因为硅质沉积物是由大量微生物组成,这些有机物质可以成为最良好的生油母质。本区荷塘组硅质岩有机质含量极其丰富,有机碳高达0.4%~6.69%,最高可达12%以上,是最有利的生油层。布林尔(1976)指出,不论整体的还是在各个成岩阶段的硅质岩,都能轻易地把有机物质转变成十分有价值的类脂化合物的分馏物,其有机物质含量将因硅质的存在而增高。萨夫凯维奇等人(1971)认为,泥质硅质岩地层中的石油成熟过程开始得很早而且持续相当长的时间,可能这就是这类地层石油储量增高的原因之一。目前世界上许多地区都发现了这类硅质岩油气藏,如苏联萨哈林俄日鲁日油田彼令格斯基层的硅质岩地层中每昼夜获得140吨石油。美国加利福尼亚中新世芒蒂里地层中,硅质沉积获得了有意义的石油和天然气等等。

中上寒武统斜坡带沉积中,储层类型主要以重力流角砾灰岩和浊流岩沉积体为主。来自浅水台地的角砾岩和砾屑灰岩由于快速沉积于深水之中,成岩作用大部分发生于晚期阶段,这对原生孔隙的保存十分有利。在这套角砾灰岩中,砾间孔、砾内孔、白云化晶间溶

孔、埋藏有机溶孔溶缝以及大量微裂缝和缝合线都很发育并赋存有大量沥青,孔隙率达7%~15%以上。其中有的砾石本身就是一个小储集体,孔隙率达3%~5%。由于重力流活动多发育于同生断裂构造形成的斜坡与台地之间的断崖上,导致油气能沿其构造裂缝向重力流角砾灰岩储集体运移聚集。产状上,重力流角砾灰岩、浊积岩夹在不渗透的条带状泥质岩石中,构成了多套生储盖组合并形成具独立压力系统的地层圈闭,形成了斜坡带油气藏勘探的新领域。

基于以上认识,笔者认为下扬子区寒武纪斜坡带有着良好的油气生成环境和雄厚的生油物质基础,其中特别是下寒武统荷塘组黑色硅质泥页岩是最有利的生油岩。而同时其斜坡带内部又有以裂缝—孔隙型硅质岩、重力流角砾岩、浊积岩和等深积岩为主的有利储层,具备有自生自储古油藏的条件。本区碳沥青的普遍发育,表明曾有过大量的油气生成和运移过程。根据TTI计算,荷塘组黑色生油岩于中奥陶世末进入生油门限,晚奥陶世—早志留世达到生油高峰。但是由于本区沉降幅度过快,沉积厚度过大,长期处于深埋环境,因而对油气造成封闭和隔挡作用。另一个原因是加里东期没有太大的构造变动,一直比较平稳,大的断裂较少,所以早寒武世生油岩在生油期由于构造上没有提供运移通道使油气难以运移上来,只能在原地或就近构成自生自储的封闭型油藏。同时石油生成后,由于上覆地层的巨厚沉积而造成热演化程度过高,使已经形成的油藏受到热变质的破坏。也由于缺少运移通道,早期生成的石油很大一部分保留在生油岩中与原岩中的粘土、有机质演化残留的干酪根以及地层水混合,这种混合物在高温高压下进一步热解变质以及在后期岩浆活动影响下烘烤炭化即形成目前所谓的“石煤”——一种碳沥青质的硅质粘土岩。本区石煤发育部位普遍见有印支—燕山期中酸性岩浆岩体伴生和分布即为这一成因的有力佐证。印支期以来的构造运动造成区域隆升剥蚀,区域盖层被破坏,使寒武系乃至整个下古生界大面积裸露地表,致使古油藏难以保存。

5 结 论

(1)本区荷塘组盆地相层状泥(微)晶白云岩的产生与古大陆边缘富有机质沉积物早期所经历的硫酸盐还原带有关。硫酸盐还原带产生的强碱性水介质是准同生白云化的主要成因,属深海准同生白云岩。

(2)荷塘组盆地相层状硅质岩普遍被淋滤溶蚀并产生大量蜂窝状溶蚀孔隙,其成因为盆地相有机质沉积物在经历硫酸盐还原带所产生的强碱性水介质($\text{pH} > 9$ 以上)在形成白云化之后继续向下伏硅质岩层渗透,从而使硅质岩溶蚀所致。

(3)在埋藏成岩环境中,伴随有机质的演化和油气的生成运移,尤其是有机质的脱羧基作用而形成的酸性地层水是造成碳酸盐矿物溶解并产生溶蚀孔隙的主要因素,这类孔隙在时间上与油气生成和运移基本同步和相配套,对储层建设有着十分重要的意义。

(4)本区下寒武统盆地相和下部斜坡带不仅是有利的生油区,而且是有利的油气聚集区,具有裂缝—孔隙型硅质岩、微晶灰(云)岩、裂缝型泥岩及微裂缝—缝合线型泥质灰岩等多套有利储层且各储层间有相应的泥岩和泥质灰岩作盖层,构成多套生储盖组合并能形成良好的地层圈闭和岩性圈闭。

(5)中上部斜坡带席状、透镜状分布的重力流角砾灰岩和似层状浊积岩、等深积岩为

本区斜坡带最重要的有利储层,这些储层夹于致密的条带状泥质灰岩中,构成多套生储盖组合,并形成具独立压力系统的地层圈闭和岩性圈闭,构成斜坡带有利的油气储层和勘探新领域。

图 版 说 明

图版 I

1. 微晶硅质岩,溶孔极其发育,呈蜂窝状、海绵状密集分布,孔隙互相连通孔隙中为黑色沥青和有机质(泥质)充填。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 63$
2. 硅质中的层纹状、蜂窝状溶孔沥青和沥青脉(图左上)。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 25$
3. 微晶硅质岩中的圆形、椭圆形溶孔和不规则状微溶孔,溶孔为黑色沥青充填。 休宁兰田 荷塘组 单偏光 $\times 25$
4. 骨针硅质岩中的不规则溶孔、孔隙为碳沥青充填。 休宁兰田 荷塘组 单偏光 $\times 25$
5. 微晶硅质岩中的破裂缝、裂缝为斑块状碳沥青充填。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 25$
6. 硅质岩中的溶缝并为沥青充填。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 25$
7. 骨针硅质岩,海绵骨针密集堆积、骨针间为黑色沥青和有机质充填。 休宁兰田 荷塘组 单偏光 $\times 25$
8. 微晶白云岩,针孔状晶间孔发育并为沥青充填。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 63$

图版 II

1. 粉晶泥质白云岩。 泾县北贡 青坑组 单偏光 $\times 25$
2. 阴极发光下的粉晶白云岩(岩性与照片1同)。菱面体白云石中心为亮橙黄色,向外为暗紫红色,边部为亮橙黄色环带。 泾县北贡 青坑组 阴极发光 $\times 30$
3. 重力流角砾灰岩晶洞中的鞍状白云石。鞍状白云石晶间孔和缝合线及溶孔中有大量沥青充填。 泾县北贡 团山组 正交光 $\times 25$
4. 微(粉)晶灰岩中的有机溶蚀孔隙为沥青充填。 休宁兰田 荷塘组 单偏光 $\times 25$
5. 泥岩裂缝、呈水平状密集分布,裂缝为有机质(沥青)充填。 石台丁香 荷塘组 单偏光 $\times 63$
6. 微晶泥质灰岩中发育的水平微裂缝和缝合线,裂缝中为沥青充填。 石台丁香 大陈岭组 单偏光 $\times 25$
7. 微晶泥质灰岩中密集发育斜交微裂缝和缝合线,并为沥青充填。 石台丁香 大陈岭组 单偏光 $\times 25$
8. 重力流角砾灰岩中的一个鲕状砾石,砾石中、粒内、粒间溶孔极其发育并为沥青充填。 泾县北贡 团山组 单偏光 $\times 25$

参考文献(略)