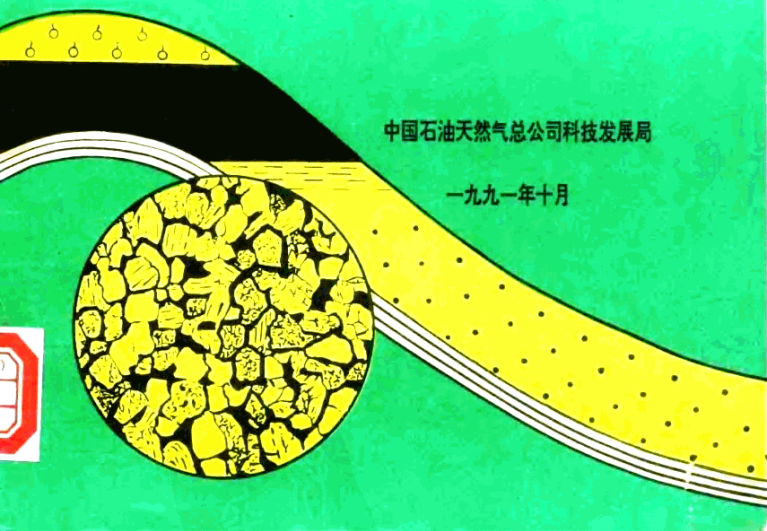


石油科技专辑(8)

微束分析在储层研究中的应用

中国石油天然气总公司科技发展局

一九九一年十月



主 编	陈丽华				
编 委 会	魏宝和	张天刚	方伟	冯泽	江晓军
	刘新年				
责任编辑	成果部分	王大锐			
	译文部分	林西生			

序

微束分析(扫描电镜、电子探针、能谱、透射电镜)从一九七四年引进到石油系统已有十七年的历史。这十七年中,微束分析在石油地质及储层研究中的应用经历了二个阶段,从单纯的形貌分析已发展至——形貌加成份分析,从定性分析——定量分析。从事微束分析的专业人员以饱满的热情开展了这方面的研究工作,并且密切与石油生产及科研工作相结合,解决了石油生产中的许多问题,如对储层性质评价及防止油层污染等问题,文集中大部分文章反映了各油田微束工作者这方面的成果。

八五期间,中国油气储层研究列为石油天然气总公司重点科研项目。除在开发储层、区域储层、储层成岩作用诸方面要展开攻关外,储层实验测试技术也要建立新的攻关方向,微束分析新方法的建立就是八五攻关方向之一。八五期间微束分析研究仍应紧密与储层研究相结合,譬如引进冷冻干燥方法、储层敏感性研究、孔隙图象分析及定量统计,分析电镜对晶体结构及电子衍射图研究、能谱定量分析方法等,我们期待这个文集的出版能够推动微束分析在八五期间的研究更深入一步,更好地为油气储层研究服务。

裘亦楠

1991. 4. 9

序

“工作岗位在地下,斗争对象是油层”,这是石油地质工作者工作职责的简单概括。面临着丰富而又复杂的中国油气储层的评价技术是综合性的高科技,其显著特点是它必须紧密地围绕油气勘探、开发的需要,发展多学科的综合研究,而储层实验技术的进步又是为其提供重要而扎实的基础资料和认识客观真理思维逻辑的进步。回顾十多年来,储层研究中涉及的微束分析,包括扫描电镜(SEM)、电子探针(EPM)及能谱仪(EDAX)等,在石油地质,尤其是在储层分析中的重要作用已充分地说明了这一点。

众所周知,六十年代中,扫描电镜在世界上问世,我国则是在七十年代中开始研制和引进的。石油系统于一九七四年引进了扫描电镜,并很快得到应用并显示出威力。早期在华北油田、二连、中原等油田会战以及近年来在塔里木、吐鲁番等盆地的石油勘探中都发挥了重要的作用;特别是进入八十年代以来,这一技术在石油行业主要油田、探区以及高等院校得到了广泛的推广和应用。现在石油系统已经有二十多台各种类型的扫描电镜、电子探针和能谱仪,正在为石油勘探、开发服务,无论在仪器的精度、应用的广度和深度上都有较大的提高。由于电子探针的应用,使分析工作由表面形态进入到了成份的定量测定,与此同时,从事分析工作的队伍也越来越大,工作水平也不断提高,积累了不少经验,还出版了如《扫描电镜在地质上的应用》(陈丽华等,1986年)这样的专著。在这种背景下,为了促进这一技术发挥更大作用,提高微束分析的整体水平,全国油气储层协调组于九〇年十一月初召开的“微束分析在石油地质上的应用”交流会及时和很有积极意义的。

通过交流会,大家充分认识到,“七五”期间石油系统微束工作者已取得的好成绩只能说明过去,而“八五”期间则面临着更为繁重的任务,那就是,一方面党和国家对石油工业寄托重望,当前石油工业形势大好,(一九九〇年我国产原油1.38亿吨,居世界第五位)、另一

方面石油工业又处在“困难与希望”并存,各方面存在很多困难的严峻形势下努力奋斗,更要通过广大石油工作者克服一个又一个困难,发展大好形势,把希望变成中国石油工业的持续、稳定、发展的现实。具体地说,就是要坚韧不拔,在“八五”期间更要为总公司确定的“油气储层评价”的重大课题作出更大的努力和贡献,所以说任务是十分繁重的,同时也是大有作为的。

回顾与展望,也更使我们清楚地认识到,在科学技术迅速发展的今天,重视信息交流,努力拓宽每一个科技工作者的知识面和综合分析研究的能力是十分重要的。所以,全国油气储层协调小组决定把交流会上的成果汇编成册,并选入广大微束工作者近年调研翻译的国际上研究的新成果,无疑是十分必要的,这定将受到广大微束工作者,乃至广大石油地质工作者的欢迎和支持,也将能促进这一学科水平的提高。我衷心希望这个集子能早日与广大读者见面;作为一个读者,也必将从中学习不少新的知识。

顾信章

1991. 2. 13

微束分析在储层研究中的应用

目 录

序	裘亦楠
序	顾信章

第一部分 应用成果

1. 微束分析在储层研究应用中的新动向	陈丽华	1
2. 电子探针在储层研究中的应用	方 伟	22
3. 泥岩样品的电镜观察技术	沈光政	30
4. 胜利油田埕北 20-1 井第三系馆上段砂岩储层碳酸盐胶结物的成因	李载铎等	33
5. 山东油气区第三系油层保护及其实例分析	姚益民等	40
6. 膨胀性矿物水敏机理和防膨剂评价	赵杏媛	50
7. 扫描电镜对泥浆样品的分析	魏宝和等	57
8. 东濮凹陷下第三系沙河街组热液作用的扫描电镜研究	范思斌等	66
9. 锦州 9-3 地区东营组油层扫描电镜特征及孔隙结构成因	袁志刚等	69
10. 金湖凹陷 15 井火山岩储层的扫描电镜观察及初步认识	冯 泽	86
11. 鄂尔多斯盆地地下古生界奥陶系古风化壳洞穴充填物及其与储集性的关系	黄月明等	91
12. 新民地区扶扬油层扫描电镜研究	王桂学等	96
13. 能谱有标样定量分析方法	何锦发	102
14. 扫描电镜对铸体的分析	魏宝和	109
15. 利用标准曲线法测定绿泥石中不同价态铁的电子探针定量分析方法	魏宝和等	117

16. I/S 混层粘土矿物 K_2O 含量的测定方法及地质意义	何锦发	128
17. 引进电镜易耗品的国产化	江晓军	140

第二部分 译文

1. 地层损害综述	王绍贤译 樊世忠校	143
2. 制备在银膜上的粘土矿物样品中的氯对 X 射线衍射分析的影响	何道清译 穆曙光校	152
3. 沙特阿拉伯达玛姆隆起始新世地层中坡缕缟石	张连雪译 司琦校	158
4. 使用原子力显微镜进行粘土矿物表现分子象研究	王大锐译 王启明校	164
5. 透射电镜及其在混层 I/S 研究中的应用	林西生编译 陈丽华审核	168
6. 电子探针研究全新世 Mg 方解石和更新世及第三纪重结晶 Mg 方解石中 Mg 的分布 ...	何道清译 穆曙光校	190
7. 挪威北海斯诺雷油田三叠系砂岩储层碎屑斜长石的钠长石化	冯泽译 钟凯仁校	204
8. 得克萨斯州东部下白垩纪特拉维斯皮克组石英胶结作用史	冯泽译 丁成校	213
9. 墨西哥杜兰戈渐新统——中新统玻屑凝灰岩成为蒙脱石和钾长石矿床的成岩作用	张玉宾译 江晓军校	221
10. 阿拉斯加基奈半岛第三系煤层中火山灰夹层和		

碎屑夹层的矿物组合	江晓军译	235
	张玉宾校	
11. 泥浆滤饼中防失水聚合物的形貌研究	魏宝和译	252
	张有瑜校	
12. 油层损害中的扫描电镜图象		
研究	樊世忠	261
资料来源	张有瑜译	
	李维民译	
13. 未镀膜化石样品的扫描电镜分析	劳以迈校	265
	何锦发译	
14. 氧化钙对土壤和造岩矿物的影响	张有瑜校	269

微束分析在储层研究应用中的新动向

陈丽华

(石油勘探开发科学研究院)

一、概 述

矿物微区分析技术是用微电子束(微束)对矿物进行微区成份分析、形貌观察、物性研究和结构测定的一门新技术。与微束分析有关的仪器包括扫描电镜(SEM)、电子探针(EPM)、能谱(EDAX)、透射电镜(TEM)以及近几年发展起来的分析电镜(ATEM)、阴极发光显微镜(CL)、激光拉曼探针(LRPM)。

近年来微束分析在我国地质领域内也得到了迅速发展和普及,特别是在矿物学、岩石学、矿床学、地球化学、古生物学等学科及其有关的地质工作中发挥了重要的作用。近几年来在储层地质学的研究中也日益发挥着作用,本文重点叙述在储层研究中的新动向。

(一)当前微束分析的新趋势

1. 当前世界各国微束分析仪器的自动化程度和计算机能力都有了较快的发展,多数扫描电镜实现了自动聚焦、自动消象散、自动调节亮度和反差,大大简化了操作。

2. 各种信息和图象的处理普遍采用了图象数字处理化技术以实现图象分析和彩色显示

①可以得到不同颜色代表不同元素的 X 射线的面分布图象;②可以得到彩色显示的线扫描图象;③可以得到 X 射线强度和电子信息频率分布图以揭示被分析微区内成分的变化或形态变化等特点。

3. 矿物微区分析使用电子探针、扫描电镜、能谱仪等分析手段逐步扩展更多地使用分析电镜、激光拉曼探针是微束分析技术发展 中一个重要趋势。据分析样品的大小可以采取两种不同的综合分析技术:

①粒径 >1 微米的样品可直接组装在样品台上,并采取下列措施:

- 对样品镀膜,用电子束进行分析;
- 用扫描电镜形态分析,用电子通道花样或柯塞尔 X 衍射技术作结晶学分析;
- 用 X 射线能谱或波谱仪作元素定量分析;
- 用离子探针或离子显微镜作超轻元素(原子序数低于 11)、痕量元素或同位素分析。

②粒径 <1 微米样品,最好将样品置于带有铜网的薄膜上然后按下列程序进行;

- 用普通的透射电镜或扫描电镜作形态分析;
- 用分析电镜中的扫描 电子显微束来获取高分辨率的表面图象。
- 用分析电镜中的电子衍射方法作晶体结构分析;
- 用分析电镜中的 X 射线能谱仪对原子序数 >11 的主元素和微量元素进行分析;
- 用分析电镜中的电子能量损失谱对原子序数 ≥ 3 的主元素进行分析,并有可能获得一些有关结构的信息。

可以预期以计算机为中心,将扫描电镜、X射线仪、电子探针和图象分析仪的功能有机地结合起来,将发展成一种全新型的表面显微分析仪,这将是一个未来的发展方向。

(二)微束分析在储层地质研究中的应用趋势

微束分析在石油储层中的应用共分三个阶段:

1. 1985年以前也就是六五计划期间,微束分析主要是以扫描电镜为主,它已逐步普及到各油田,以《扫描电镜在地质上应用》一书为参考开始了电镜在储层中的应用工作,此阶段是以形貌分析为主。

2. 七五期间我国主要油田均拥有了扫描电镜、能谱仪,有三个单位还拥有电子探针。其仪器除进口英国剑桥、日本、荷兰飞利浦外,有许多单位的仪器是科仪厂 KYKY1000B 型(见附表 1)。当前最先进的扫描电镜为大港油田的美国 ARMY 型扫描电镜+TN 能谱仪。这段时间微束分析工作有如下特点:

(1)形貌分析方法已比较成熟,并建立了部颁标准 SY5162-87。

(2)由于引进了能谱仪及电子探针并建立了新的实验方法,微束分析已从形貌观察向成份分析发展(如各类自生矿物成份测定,石英次生加大边测定、钠长石成岩演变成份测定等等)。

(3)密切与生产实际相结合,为防止油层损害提供了基础资料,并取得了可观的经济效益。

(4)积极引进国内外先进方法对仪器进行改造,使仪器富有新的生命力,如各种元素测定及计算程序的设计、修改及补充,提高了测量的精度及速度。

(5)在石油系统形成了一支约 150 人的微束分析队伍并具有了丰富的工作经验。

3. 八五期间应该紧跟国际上微束分析发展的趋势并密切结合石油储层生产及科研,要在三个方面加强工作:

(1)为深入探讨油层伤害机理,必须迅速开展冷冻试验以及制作冷冻样品台,除冷冻工作液以外还需冷冻石油,因而对石油的贮存及运移可进行研究。

(2)为满足储层研究需要必须使微束分析从定性向定量发展要迅速引进普及图象分析方法。

(3)当前微束分析已从形貌分析,成份分析开始深入到矿物的电子衍射图及晶格象的研究,要迅速引进分析电镜对矿物的鉴定方法。尤其是对粘土矿物的研究方法。

本文重点叙述的则是在近几年中微束分析在储层研究中的新动向。

表1 石油系统各研究单位微束分析仪器概况

单位	仪器类型	国家及公司	购入日期	型 号
大庆石油研究院	SEM	日本 日立	1980	S-450
	SEM	日本 电子	1983	JSM-35C
	EPM	日本 岛津	1983	EMX-SM7
	TEM	中国 江南	1967	XD-302
渤海石油公司研究院	SEM	中国 科仪厂	1988	KYKY-AMRAY-1000B
江汉局矿机所	SEM	荷兰 菲利普	1979	SEM-500
胜利油田地科院	SEM	英国 Cam Scan	1981	3-30ACV 及 Link860
吉林石油地质研究院	SEM	中国 科仪厂	1988	KYKY-AMARY-1000B
西南石油学院勘探系	TEM, SEM	日本 日立	1986	H-300
	TEM	中国 江南	1983	DX-201
新疆石油研究院	SEM	中国 科仪厂	1982	DX-3A 型及 TN-5400 能谱
北京研究院万庄分院	SEM	中国 科仪厂	1988	KYKY-AMRAY-1000B
长庆油田研究院	SEM	中国 科仪厂	1986	KYKY-AMRAY-1000B
石油大学(华东)	SEM	日本 日立		X-650 及 EDAX-9100
大港油田研究院	SEM	美国 安端	1989	1830
江苏油田研究院	SEM	中国 科仪厂		KYKY-AMRAY-1000B
北京研究院	SEM	日本 岛津	1984	ASM-ST+EDAX-9100
	EPM	日本 岛津	1984	EPM-8100
四川研究院	SEM	英国 剑桥	1974	S4-10
	EPM	日本 岛津	1989	EPM-8705
江汉石油学院	SEM	日本 日立		530
中原油田研究院	SEM	荷兰 菲利普		
南阳油田研究院	SEM	中国 科仪厂		KYKY-AMRAY-1000B
江汉油田研究院	SEM	中国科仪厂	正订购	
青海油田研究院	SEM	中国科仪厂	1991	KYKY-AMRAY-1000B
辽河油田研究院	SEM	中国科仪厂	1991	XL30

二、造岩矿物及各类自生矿物成份的测定

1、长石类矿物成分测定及长石的成岩演变。

(1)长石属硅酸盐矿物是一种分布很广的造岩矿物。鉴定不同的长石类型对于研究沉积岩的成因、性质具有极其重要的意义。自然界中长石种类很多。从成分组成上基本可以分为四大类：

钠长石 (Ab) $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ；钾长石：(Or) KAlSi_3O_8 ；

钙长石：(An) $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ；钡长石：(con) $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ；

从 Na、Ca 长石系列判断：当 Na_2O 含量在 10.65%—11.8% 之间， K_2O 和 CaO 含量在 1% 以下可定为钠长石；当 CaO 含量在 17.577%—19.53% 范围内， Na_2O 和 K_2O 含量很少，即可定名为钙长石，如果样品中 Na_2O 和 CaO 都较高，即可根据情况定为斜长石系列的钠钙长石。

从 K、Na 长石系列来看，当 K_2O 含量在 8.45—16.906% 范围内， Na_2O 含量 < 1%，可定名为钾长石（即正长石），而 K_2O 和 Na_2O 含量都 > 1%，并且 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量在 11.69—15.60% 之间即可定为钾钠长石。

(2)长石的成岩演变

大庆油田邢顺全等同志对砂岩中碎屑长石成分作了电子探针分析（见表 2），发现随着深度加深碎屑长石成分呈有规律的变化。在埋藏深度较浅（< 1000 米）时，钾长石含量高，可多于斜长石或相近；斜长石以酸性斜长石为主（ $\text{An}_{0.30}$ ），其中钠长石（ $\text{An}_{0.10}$ ）约占 40—70%。随着埋藏深度增加，钾长石含量逐渐减少，消失在 1600—2200 米；斜长石中钙长石分子减少，钠长石分子增加，当埋深大于 2000—2700 米左右时（不同地区有所差别）斜长石已几乎完成钠长石化（此时更长石 An_{20-30} 消失）。在单个斜长石中从核心到边缘，钙长石分子含量的变化可见。

碎屑长石成岩演变的总趋势是随着埋藏深度的增加（温度和压力也增加），孔隙溶液与碎屑长石成分发生了置换，即斜长石和钾长石的钠长石化。

钠长石是属于晚成岩阶段 B、C 期的特征矿物可作为成岩阶段划分的标志。

表2 砂岩中长石碎屑成分演化表

井深 (m)	层位	长石式分%			斜长石号码(钙长石%)			单个斜长石中钙长石含量变化(钙长石%)			资料来源
		辉长石	斜长石	斜长石/斜长石	0—10	10—20	20—30	1(核心)	2(中部)	3(边缘)	
575.37	n _{4(w)}	58	42	1.38	42	8	52				葡17井
760.0	n _{4(f)}	46	54	0.85	43	7	50				
887.8	Y _{1(s)}	46	54	0.85	62	15	23				检3—22井
928.5	Qa ₂₋₃ (G)	38	62	0.61	55	7	38				中检203
975.5	Qa ₂₋₃ (G)	32	68	0.47	73	24	3				
1024.3	S ₂	52	48	1.08	79	14	7	1.44	0.69	1.06	拉193井
1056.5	S ₂	44	56	0.79	33	40	27				拉193井
1060.7	S ₂	37	63	0.59	32	47	21				拉193井
1082.5	S ₃	33	67	0.49	55	17	28				拉193井
1087.3	S ₃	43	57	0.75	44	31	25				拉193井
1167.5	P ₁₁	27	73	0.36	59	23	18	12.50	13.66	14.43	拉193井
1170.6	P ₁₁	62	38	1.63	36	55	9				拉193井
1184.0	G	55	65	0.54	47	41	12	13.46	13.94	7.67	拉193井
1186.4	G	47	53	0.89	63	25	12	24.88	26.25	23.24	拉193井
1102.4	G ₂	43	57	0.76	88	12	0	14.60	14.45	11.90	北1—1—52
1128.65	G ₂	53	47	1.14	36	7	57				北1—1—52
1160.5	G ₃	50	50	1.00	60	13	27				北1—1—52
1182.4	G ₃	40	60	0.67	44	39	17	4.36	4.00	2.96	北1—1—52
1526.0	q ₄	31	69	0.46	79	17	4				萨5井
1560.0	q ₅	26	74	0.35	87	10	3				萨5井
1575.9	q ₅	28	72	0.39	79	14	7				萨5井
1583.3	q ₅	15	84	0.19	67	33	0				萨5井
1595.2	q ₅	12	88	0.14	94	6	0				萨5井
1664.32	q ₅	0	100	0	97	3	0	7.61	8.61	6.65	高13井
2054.9	q ₅	0	100	0	93	7	0				萨5井
2253.3	q ₅	2	98	0.02	92	8	0				萨5井

据大庆邢顺全

2. 储层中各类自生矿物成分的测定

在我国储层中常见的自生矿物有自生粘土矿物,如高岭石、蒙皂石、伊利石、绿泥石等,有各种碳酸盐类矿物,如方解石、白云石、含铁白云石、铁白云石和菱铁矿;有各类沸石如包括方沸石、浊沸石、片沸石、钠沸石等,还有石英和钠长石的自形晶小晶体及斜长石的钠长石化,还有石膏、硬石膏、重晶石等盐类矿物。

不同自生矿物的形成都具有一定的物理化学条件和特定的地质历史环境。自生矿物的形成能指示岩石的形成发展过程,而且自生矿物也是影响岩石物性和储集类型的重要因素,对保护油层,防止损害以及合理拟定增产措施也是重要依据,因此自生矿物鉴定及成分研究在储层评价中有特殊的重大意义。

(1) 粘土矿物成份测定

关于各种粘土矿物的鉴别,只是根据扫描电镜下形态观察是不够的,尤其是蒙皂石及混层粘土矿物的区分,既要依靠X衍射分析又要用电子探针及能谱仪对其成分进行测定。表3列出了常见粘土矿物成分特征。

表3 常见粘土矿物成分特征

构造类型	粘土矿物类	代表粘土矿物	化学分子式	主要元素	次要元素	各元素氧化物百分含量%						
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	FeO	MgO
两层构造 铝硅酸盐	高岭石族	高岭石、 地开石等	$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	Al, Si, O, H	Na, K, Mg, Ca, Fe, Ti	43.64 - 46.90	36.83 - 40.22	0.00 -1.49	0.00 -1.48	0.00 -1.16	0.10 -1.61	0.01 -1.02
	埃洛石族	埃洛石	$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	Al, Si, O, H	Na, K, Mg, Ca, Fe, Ti	43.64 - 46.90	36.83 - 40.22	痕量				
三层构造 铝硅酸盐	蒙脱石族	蒙脱石 蒙脱石	$(AlMg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot 4H_2O$	Al, Si, O, H, Ca, Mg, Fe	Na, K, Ti	45.12 -65.97	15.96 -28.24	0.00 -0.60	1-6	0.00 -2.75	0.06 -7.3	1.95 -6.53
	伊利石族	伊利石 海绿石 蛭石等	$KClAl[(AlSi_3O_{10})(OH)_2]_m \cdot nH_2O$	Al, Si, O, H, K, Mg, Fe	Na, Ca, Ti	38.18 - 56.91	15.08 -34.6	3.25 -7.98	0.00 -1.59	微量 0.07 -0.70	0.00 -21.78	0.44 -6.86
混合层构造 铝硅酸盐	绿泥石族	各种绿泥石	FeMgAl的层状硅酸盐含(OH)根	Al, Si, O, H, Mg, Fe	Na, K, Ca, Ti	20.82 - 39.05	9.5- 47.47	0.00 -0.03	0.00 -3.32	0.00 -0.04	0- 51.71	2-37.0
混层粘土 矿物		伊/ 蒙混层		Al, Si, O, H, K, Ca, Mg, Fe	Na, Ti	49.00 -50.0	18.10 -34.50	2.65 -9.07	0.02 -1.49	0.00 -1.03	0.19 -9.37	1.3- 4.4
		伊/蒙 混层		Al, Si, O, H, Mg, Fe, Ca	Na, K, Ti	44.00 -54.3	22.00 -37.38	1.9- 3.38	0.02 -2.72	0.00 -2.83	0.00 -0.52	0.00- 36.52

(2) 碳酸盐矿物成份特征

各类碳酸盐矿物成份特征如表 4 所示。

表 4 碳酸盐类矿物的元素组成与阴极发光

矿物	阴极发光颜色	薄片染色	X 衍射	元素成分分析(电子探针)							
				FeCO ₃	MgCO ₃	CaCO ₃	MnCO ₃	Ca Mg	Fe Mn	Mn Fe	Fe Fe+Mg
方解石	橙黄—褐	红	3.035	0.06—0.1	0.4—0.5	99	0.07—0.09	165—195	0.6—1.4	0.7—1.5	
含铁方解石	橙—褐	紫红	3.02	2.5—2.9	1.2	94	1.8—3	66	0.8—1.4	0.7—1.2	
白云石	橙红—黄	不染	2.882—2.888	0.05—1.2	3.95—54	51—58	0—0.07	0.9—1.26	0.13—6.5	0.16—1	0.004—0.04
含铁白云石	褐—暗褐	淡蓝	2.895	3—11.8	34.6—43	51—56	0.46—3.5	1—1.5	2.4—10.7	0.89—1.41	0.05—0.37
铁白云石	不发光	蓝	2.907—2.914	14—26	21—30.5	54—57	0.1—1.9	1.5—2.2	13—93	0.01—0.074	0.48—0.62
高钙铁白云石	不发光	蓝		14—20	19—25.5	57.5—61.6		2—2.6	13—126	0.008—0.074	0.48—0.64

(3) 沸石类矿物

沸石矿物成份特征见表 5 所示：

表 5 常见沸石的成分特征

沸石种类	外文词	化学成分	Si/Al
方沸石	Analcite	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_4)\text{H}_2\text{O}$	1.8-2.8
钙十字沸石	Phillipsite	$(\text{KNa}_2\text{Ca})(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4-5\text{H}_2\text{O})$	17-2.8 深海 2.4-2.8
交沸石	Harmotome	$(\text{Ba} + \text{K})(\text{AlSi})_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2.3-2.5
水钙沸石	Gismondine	$\text{CaAlSi}_2\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.12-1.49
浊沸石	Laumontite	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$	1.75-2.28
毛沸石	Erionite	$[\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ca} \cdot \text{Mg}]_{45}[\text{Al}_9\text{Si}_{21}\text{O}_{72}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	3-3.5
钠沸石	Natrolite	$\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	1.44-1.58
杆沸石	Thomsonite	$\text{NaCa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O})$	1.0-1.1
变杆沸石	Gomardite	$\text{Na}_2\text{Ca}[\text{Ca}(\text{AlSi})_2\text{O}_{10}]6\text{H}_2\text{O}$	1.5
丝光沸石	Mordenite	$(\text{Ca} \cdot \text{Na}_2\text{K}_2)(\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	4.17-5
片沸石	Heulandite	$(\text{Na}-\text{Ca})_{4.4}\text{Al}_4(\text{AlSi})_4\text{Si}_{28}\text{O}_{71.2} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	2.47-3.73
斜发沸石	Clinoptilolite	$(\text{Na} \cdot \text{K} \cdot \text{Ca})_{23}\text{Al}(\text{AlSi})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{35} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	4.25-5.25
辉沸石	Stilbite	$\text{NaCa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_{13}\text{O}_{38} \cdot 14\text{H}_2\text{O})$	2.5-3

3. 混层粘土矿物中 K_2O 含量的测定

混层粘土矿物中 K_2O 含量测量结果如下:

蒙脱石带: S 层在 I/S 混层中含量 $>70\%$; 蒙脱石中 K_2O 含量一般 <2

无序混层带: S 层在 I/S 混层中含量 $70-50\%$, 混层中 K_2O 含量为 $2-3\%$ 左右;

有序混层带: S 层在 I/S 混层中含量 $50-35\%$, 混层中 K_2O 含量为 $3-5\%$ 左右;

伊利石上段: S 层在 I/S 混层中含量 $35-15\%$, 混层中 K_2O 含量少 $5-7\%$ 左右;

伊利石下段: S 层在 I/S 混层中含量 $<15\%$ 混层中 K_2O 含量为 $7-9\%$ 左右。

伊利石—绿泥石带, S 层在该带含量为 0, 伊利石层中 K_2O 含量 $>9\%$ 。

所以混层粘土矿物中 K_2O 含量测定可用于储层单井评价工作中, 结合其它岩石学及地球化学资料可以作以下几项工作:

(1) 成岩作用阶段的划分

早成岩 A 期: 混层中 K_2O 含量 $<2\%$;

早成岩 B 期: 混层中 K_2O 含量为 $2-3\%$;

晚成岩 A 期: 混层中 K_2O 含量为 $3-5\%$;

晚成岩 B 期上段: 混层中 K_2O 含量为 $5-7\%$ 。

晚成岩 B 期下段: 混层中 K_2O 含量为 $7-9\%$

晚成岩 C 期: 混层中 K_2O 含量为 $>9\%$;

(2) 根据混层粘土矿物中 K_2O 含量可以初步判断孔隙类型, 例如 K_2O 含量 $<2\%$, 一般为原生孔隙, K_2O 含量在 $2-3\%$ 之间为原生孔隙或孔隙少量; K_2O 含量在 $3-5\%$ 之间为混合孔隙或孔隙少量; K_2O 含量在 $5-7\%$ 之间次生孔隙发育; K_2O 含量 $>7\%$, 一般裂缝为主。

(3) 根据混层粘土矿物中 K_2O 含量多少来确定混层粘土矿物中 (I/S) 蒙脱石层的多少, 也就是水敏性矿物蒙脱石层多少, 为防止油层损害提供基础资料。

表 6 为梨参 2 井混层粘土矿物中 K_2O 含量测定变化规律: