

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

# 嫩江组二段底部标志层岩石矿物学特征与 成片套损因素新认识

刘合<sup>1)</sup>, 卓胜广<sup>2)</sup>, 高合明<sup>3)</sup>, 刘建东<sup>3,4)</sup>, 吴恩成<sup>1)</sup>, 金岩松<sup>1)</sup>

1) 大庆油田有限责任公司, 黑龙江大庆, 163712; 2) 东北大学秦皇岛分校, 河北秦皇岛, 066004

3) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 4) 中国地质大学, 北京, 100083

**内容提要:** 大庆油田嫩江组二段底部与嫩江组一段顶部成片套损严重, 从前一直认为泥岩吸水膨胀、蠕变是导致成片套损的主要因素。成片套损位置研究发现, 嫩江组二段底部与嫩江组一段顶部成片套损实际集中于嫩江组二段底部标志层内, 而嫩江组二段底部标志层岩石矿物学特征综合研究结果表明, 其不含遇水膨胀的蒙脱石, 且粘土矿物含量也低于其上下相邻岩石, 表明其遇水膨胀与蠕变较弱, 岩石遇水膨胀与蠕变不会构成成片套损的主要原因。嫩江组二段底部标志层岩石岩心观察描述、镜下鉴定、矿物成分综合测试和岩石强度性质研究发现, 嫩江组二段底部标志层泥岩为富含长英质的质地坚硬岩石, 含粘土矿物较少, 不含蒙脱石, 岩石吸水能力差、膨胀与蠕变能力弱; 标志层中存在多个化石富集带, 化石沿岩石层理分布形成沿层理方向的区域性力学薄弱面; 沿化石层层理的抗张强度与抗剪强度远低于其他层位和垂直于层理方向的强度性质。因此, 一旦注入水进入嫩江组二段底部标志层, 富含化石的岩石沿岩石层理优先发生破坏, 并迅速扩展, 形成成片套损现象。

**关键词:** 成片套损; 嫩江组二段底部标志层; 岩石矿物学; 力学薄弱面; 大庆油田

大庆油田嫩江组二段底部标志层套损十分严重, 主要表现为成片套损特征。其中在1985~1987年期间发生4个成片套损区, 套损井高达649口; 1995~1999年期间发生7个成片套损区, 套损井数达到661井; 2003年, 又发生176口井的成片套损现象。嫩江组二段底部标志层成片套损已成为大庆油田成片套损的重灾层位与典型代表。对此, 油田已开展了一系列成片套损原因与机理研究(刘子晋, 1982; 胡博仲等, 1998; 姚洪田等, 2001; Liu et al., 2005), 其中具有代表性观点认为: 嫩江组二段底部标志层为一套油页岩, 注入水沿页岩页理浸入, 并与其粘土矿物发生水化膨胀作用, 导致成片套损(张先普等, 1996; 魏兆胜等, 1997)。对此, 笔者利用中国石油天然气股份公司“十五”重大科技攻关项目“套损修防治理技术研究”的资助, 就嫩江组二段底部标志层套损层位进行了系统的岩石与矿物学特征研究, 对传统的嫩江组二段底部成片套损原因与机理提出了新的认识。

## 1 嫩江组二段底部标志层测井曲线特征与成片套损精确定位

### 1.1 测井曲线特征

嫩江组二段底部标志层受沉积环境和沉积相的控制(叶得泉, 1983, 1986; 叶得泉等, 1994; 黄清华等, 1999), 在岩石矿物学等特征上与其他层位有明显的差别(杨万里等, 1985; 高瑞祺等, 1994)。嫩江组二段底部标志层不是一个简单沉积面而是一个沉积段, 在松辽盆地沉积厚度约10 m。在生产中标志层的通常识别是借助测井曲线来完成, 特别是在2.5 m视电阻率曲线上, 标志层对应的曲线形态是由6个稳定的视电阻率尖峰构成(图1), 其中, 第三个视电阻率尖峰在整个大庆油田最稳定、最发育、最具特征, 即化石层所对应位置; 第四个视电阻率尖峰在大庆长垣北部的采油六厂和采油一厂相对发育; 而第六个尖峰在大庆长垣南部采油五、七厂及八厂相对发育, 但总体上看, 这6个稳定的视电阻率峰值在整个大庆油田具有一致性和可对比性。

### 1.2 成片套损精确定位

多臂井径测量是目前准确确定套损特征和套损位置的有效方法。笔者分析了37口套损井的多臂井径测井, 其中包括19口十六臂井径, 5口十八

注: 本文为中石油“十五”重点攻关项目“套损原因综合分析与预测技术”(编号 030133-1)资助成果。

收稿日期: 2005-08-23; 改回日期: 2006-04-19; 责任编辑: 周健。

作者简介: 刘合, 男, 1961年生, 2002年于哈尔滨工业大学获博士学位, 从事油田开发, 现任大庆油田副总工程师。

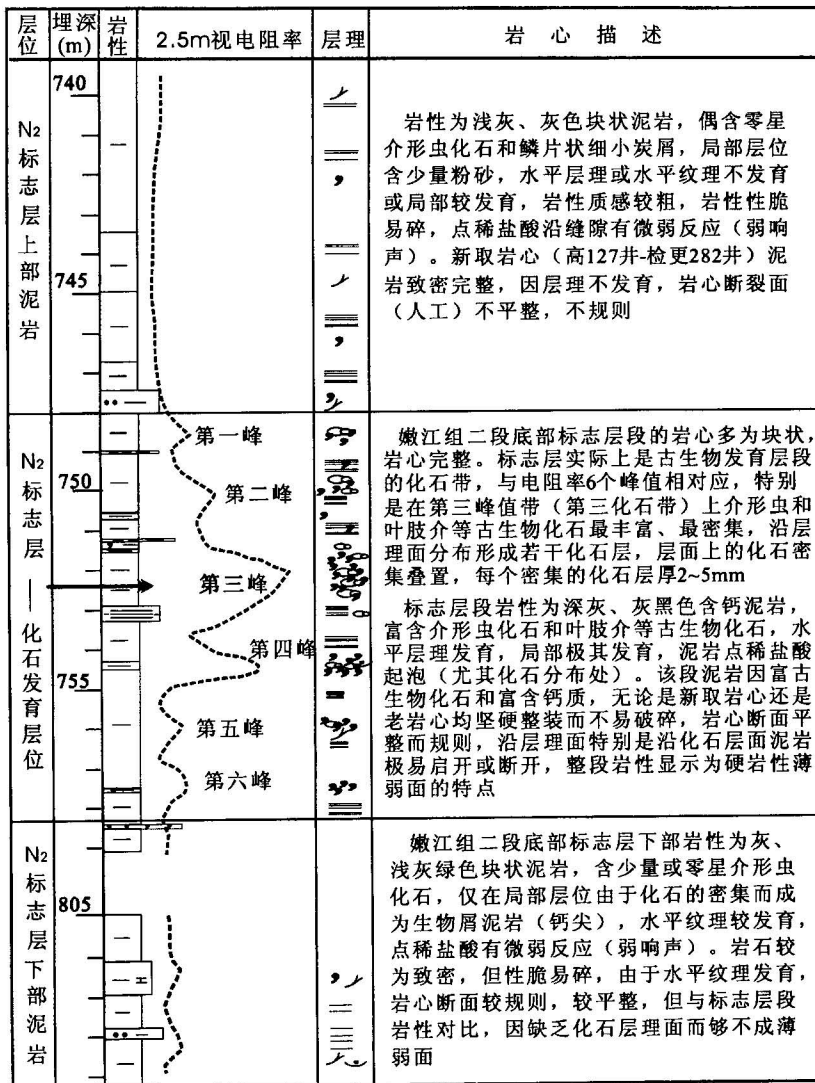


图 1 高127井一检更282井嫩江组二段底部2.5m 视电阻率测井曲线及对应的岩性特征

Fig. 1 The relationship between rock types and their 2.5 m apparent resistivity characteristics (well Gao 127—well Jiangeng 282)

臂井径及13口四十臂井径测井，发现在嫩江组二段底部标志层段的套损一般有2~4个套变点。每个套变点分别对应于2.5 m 视电阻率曲线的6个特征峰值上，多数情况下峰值越高，套损越严重，也即化石层位的化石越密集，套损越严重。经统计，有96%套损井在嫩江组二段底部标志层上只有一个严重剪切错断的套损点，而且集中分布在2.5 m 视电阻率曲线6个特征峰值的最大峰值上，即第三特征峰值上，对应岩心观察描述，第三特征峰值也是化石最发育的化石层(图版 1-1、2)。由此，套损点可精确定位在 2 m 范围内。

## 2 岩石矿物学特征

### 2.1 岩心观察描述特征

嫩江组二段底部标志层受沉积环境与沉积演化的控制具有全盆地的一致性，通过分析对比大庆油田各开发区(采油一厂到十厂)的测井横向往图，发现嫩江组二段底部标志层在各油田开发区具有相同或相似的电阻率曲线形态。经过对油田各开发区嫩江组二段底部标志层段岩心的系统观察描述(萨北油田的喇7井一斜 P1218井；萨中油田的高127井一检更282井和高133井一检42井；杏北油田的杏1-J3井一检323井；杏南油田的杏9-J3井一检134井)，同时发现它们也具有相同的岩石矿物学特征，特别是在标志层段，均发育密集的化石层，见高127井一检更282井嫩江组二段底部标志层段岩心描述(图1)。

### 2.2 岩石薄片镜下鉴定特征

嫩江组二段底部标志层上部岩层(740~748 m)：泥状结构，块状构造。粘土矿物(50%~70%)以水云母类为主，高岭石族较少，呈显微鳞片状—隐晶状；泥砂屑(10%~20%)以长英质为主，粒度0.05~0.01 mm，分布均一；粉砂<5%；炭化植物碎片(<1%)呈线痕状、椭球状、少数碎片状，黑色不透光，长度断续达2 mm；生物介壳屑(<1%)呈大小不一的弧形、壳瓣状，壳骨骼为隐晶状方解石；泥晶方解石(<5%)含量不均。

嫩江组二段底部标志层(748~758 m,图版 1-3、4)：含粉砂富介屑泥状结构，块状—层状—纹层状构造。粘土矿物(30%~60%)以水云母类为主，高岭石族较少，均呈显微鳞片状或隐晶状或具定向性，消光位具一致性；泥砂屑(10%~30%)粒度0.01~1 mm，以长英质为主，粉屑多呈棱角状，镜下光性明显，泥屑呈浑圆状—椭球状—扁豆状，光性不清；生物介屑(1%~5%，局部更多)大小约3.5 mm，由隐晶方解石组成，呈薄片状、叶片状或略显弧形，主要为介形虫，个别样品见有个体较大的生物壳屑(主要为叶肢介化石)，平行层理分布；炭化植物碎屑(<

1%)呈<0.6 mm 碎片状、线痕状,叶片平行层理;有机质单偏光下呈淡黄—浅棕色—棕褐色,均质或略显光性,多呈线痕状平行层理分布;自生矿物发育有高级白干折射的泥晶方解石集合体(5%~15%),黄铁矿(<1%)等。

嫩江组二段底部标志层下部岩层(758~805 m)含介屑含粉砂泥状结构,层状—弱纹层状—液化脉状构造。粘土矿物(55%~70%)以水云母类为主,多呈显微鳞片状或隐晶状,平行层理分布;泥砂屑(5%~10%)粒度0.01~0.25 mm,以长英质为主,其中0.01~0.05 mm 最多,0.05~0.1 mm 较少,0.1~0.15 mm 极少,粉砂呈棱角状,显光性,泥屑呈不规则或椭圆状;炭化植物碎片(微量至少量)<0.1 mm,呈断续线痕集中平行纹理分布;介屑(<1%)为介形虫,多数较完整,呈麦粒状、透镜状及碎片状,骨骼由方解石组成,部分呈隐粒状或层纤状充填泥晶方解石;泥晶方解石较少。

### 2.3 岩石扫描电镜特征及电镜能谱分析

嫩江组二段底部标志层泥岩在低放大倍数下(<500×)呈致密状,泥岩微孔隙一般在5~10 μm 之间,介壳化石形态完整,呈弧形状(图版 I-5)。提高放大倍数到3750×时,可分辨出层片状或絮状伊/蒙混层粘土矿物及少量片状伊利石和绿泥石矿物,在层片状粘土矿物之间可见微小的石英、长石、方解石、黄铁矿等成岩矿物(图版 I-6)。当放大倍数再进一步提高到6千倍以上时,絮状混层粘土矿物更为清晰,粘土矿物之间的石英、长石晶体完整。通过多口井泥岩的扫描电镜分析,表明嫩江组二段底部标志层泥岩的粘土矿物主要为非膨胀性伊/蒙混层及少量伊利石、绿泥石矿物,泥岩中不仅含有较多的微小长英质碎屑,而且发育大量介壳化石及化石碎片,也发育大量自生方解石等成岩矿物。

电镜能谱分析一般与扫描电镜相配套,通过岩石表面能量吸收直接反映出岩石化学成分。如表1列出了高127井一检更282井4个化石层泥岩样品的电镜能谱测试结果,嫩江组二段底部标志层泥岩组分中SiO<sub>2</sub>平均为71.5%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均为12.83%,此外,Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、FeO、CaO 也占有一定比例,特别是CaO 平均达到2.02%,充分表明标志层泥岩中富含钙质的特点。

### 2.4 岩石矿物 X-衍射分析

#### 2.4.1 X-衍射全岩分析

X-衍射全岩分析主要用于量化泥岩中矿物的绝对含量,特别是在量化粘土矿物的绝对含量上尤

表1 高127井一检更282井嫩江组二段底部标志层段化石层泥岩扫描电镜能谱分析(%)

Table 1 The rock compositions of N<sub>2</sub> index bed by SEM energy spectrum (well Gao 127 — well Jiangueng 282)

氧化物	748.44 m 样品	749.59 m 样品	752.64 m 样品	753.44 m 样品	平均值
Na <sub>2</sub> O	1.67	1.89	1.75	2.09	1.85
MgO	1.58	1.51	2.29	2.21	1.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.61	11.06	13.37	15.28	12.83
SiO <sub>2</sub>	77.81	74.31	69.16	64.93	71.55
SO <sub>3</sub>	1.51	3.09	4.26	3.15	3.00
K <sub>2</sub> O	2.24	2.30	2.56	3.19	2.57
CaO	0.61	2.10	1.59	3.77	2.02
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.48	0.63	0.76	0.58
MnO	0.02	0.24	0.53	0.12	0.23
FeO	2.52	3.02	3.86	4.51	3.48

注:由中国石油勘探研究院实验中心测试。

为有效。表2、表3分别为高127井一检更282井和杏9-J3井一检134井嫩江组二段底部标志层及上下相邻岩层岩石的X-衍射全岩测试结果,代表了大庆油田中部和南部标志层泥岩矿物成分特点。

高127井一检更282井样品分析结果:标志层段化石层泥岩的粘土矿物绝对含量平均为47.8%;长英质矿物平均含量为44.2%,个别样品最高达到52%;方解石矿物(包括泥晶方解石)平均为4.5%,个别样品达到了10.5%;自生黄铁矿含量为3.4%。而非标志层段泥岩(标志层之上或之下)中粘土矿物绝对含量平均为57.5%;长英质矿物平均含量达37%,方解石平均为2%;黄铁矿含量为2.3%。

杏9-J3井一检134井样品分析结果:标志层段泥岩中的粘土矿物绝对含量平均为47.3%;长英质矿物平均含量为42.6%,最高含量达到56%;碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿)平均为8.9%。而非标志层段泥岩粘土矿物绝对含量平均为58.3%;长英质矿物含量平均为35%;碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿)含量不高。

#### 2.4.2 粘土矿物 X-衍射分析

全岩 X-衍射分析解决了标志层泥岩中的粘土矿物绝对含量问题,粘土矿物 X-衍射分析进一步揭示粘土矿物的种类及其它们的相对含量。两者结合可以确定泥岩中可膨胀性蒙脱石矿物的发育程度,进而量化地分析与评价泥岩的吸水膨胀性在嫩江组二段底部成件套损机理中所起到的作用。实验结果表明,嫩江组二段底部标志层泥岩中粘土矿物的种类有伊-蒙混层(I/S)、伊利石(I)、高岭石(K)及绿泥石(Chl)矿物。从高127井一检更282井和喇7井

表2 高127井—检更282井嫩江组二段底部标志层段化石层泥岩与邻层泥岩 X-衍射全岩分析  
Table 2 The rock composition of N<sub>2</sub> index bed and its adjacent formations by X-ray diffraction  
(well Gao 127 — well Jiangueng 282)

样品位置	深度(m)	岩性描述	矿物种类及含量(%)					
			石英	钾长石	斜长石	方解石	黄铁矿	粘土矿物总量
标志层上	742.95	深灰色含零星介形虫块状泥岩	33.1	/	4.9	/	0.7	59.6
	746.70		41.2	/	4.6	/	3.1	51.1
N <sub>2</sub> 标志层	748.44	深灰、灰黑色富含介形虫块状泥岩, 个别样品富集叶肢介化石	38.8	2.5	6.6	/	2.8	49.3
	749.59		39.3	1.4	7.5	1.8	4.0	46.0
	752.64		41.2	2.3	8.5		3.5	44.5
	752.94		32.3	1.4	8.4	10.5	3.7	43.8
	753.44		34.4	/	7.4	6.8	3.4	47.9
755.04	22.3	/	11.2	8.0	2.9	55.5		
标志层下	808.50	灰黑色含少量炭屑块状泥岩	20.5	/	6.9	6.2	3.1	61.8

注:由中国石油勘探开发研究院实验中心测试。

表3 杏9-J3井—检134井嫩江组二段底部标志层段化石层泥岩与邻层泥岩 X-衍射全岩分析  
Table 3 The rock composition of N<sub>2</sub> index bed and its adjacent formations by X-ray diffraction  
(well Xing 9-J3—well Jian 127)

样品位置	深度(m)	岩性描述	矿物种类及含量(%)							
			石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿	粘土矿物总量
标志层上	769.36	深灰含零星叶肢介和线状碳屑泥岩	25.9	/	5.0	/	/	/	0.8	67.0
	774.71		41.6	/	5.2	/	/	/	1.7	51.5
N <sub>2</sub> 标志层	776.59	灰、深灰色富含介形虫及少量叶肢介化石(叶肢介局部富集)块状泥岩	50.0	/	6.0	/	/	/	1.0	43.0
	777.45		34.0	/	6.0	4.6	/	19.4	3.7	32.2
	777.53		41.6	/	6.2	10.9	/	/	3.5	37.9
	778.56		47.8	/	6.6	/	/	/	3.7	41.8
	779.51		34.8	1.7	9.9	/	/	/	4.6	49.1
	781.26		32.0	1.9	10.1	2.2	/	/	/	53.8
	783.36		15.7	1.1	6.0	8.4	3.3	6.2	1.9	57.5
	784.06		21.6	/	6.1	7.3	5.9	/	3.2	55.9
785.16	17.7	/	4.7	3.7	5.1	3.3	3.5	62.1		
标志层下	788.56	灰色、灰绿色含介形虫块状泥岩	19.8	/	7.4	6.6	2.4	5.3	2.2	56.3

注:由中国石油勘探开发研究院实验中心测试。

一斜 P1218井标志层及其上下邻层泥岩的粘土矿物 X-衍射分析结果(表4),粘土矿物主要为伊-蒙混层(I/S),平均含量分别为79.6%和80.8%,混层比(%S)分别为47和50。表明嫩江组二段底部标志层泥岩中可膨胀性粘土矿物并不发育。

## 2.5 岩石强度性质

(1) 岩石抗张强度:岩石抗张强度是描述岩石抗拉张破坏能力的参数。按照原水利部和地质部岩石力学性质实验标准,采用劈裂法,对油田嫩江组二段底部套损层和非套损层位岩石抗张强度进行实验研究,系统测试了平行层理和垂直层理两个方向的岩石抗张强度(结果见表5)。垂直于岩石层理方向的抗张强度中,套损层位略高于非套损层位,但差别不大;平行于岩石层理方向的抗张强度中,则差异明

显,套损层岩石的抗张强度在0.24~0.26 MPa之间,平均为0.25 MPa;非套损层位岩石的抗张强度在0.82~0.90 MPa之间,平均为0.86 MPa,是套损层位强度的3.4倍;无论是套损层位,还是非套损层位,垂直于岩石层理方向的抗张强度均明显高于平行于岩石层理方向的抗张强度,一般是套损层位平行于岩石层理强度的10倍多,非套损层位平行于岩石层理强度的3至4倍多。这些数据充分表明套损层位平行于岩石层理方向最容易形成拉张破坏。

(2) 岩石 Mohr-Coulomb 强度曲线:岩石 Mohr-Coulomb 强度曲线是描述岩石抗剪切破坏能力的参数。采用直剪实验方法,对油田嫩江组二段底部套损层和非套损层位岩石抗剪能力进行了系统实验研究,测试确定了套损层位和非套损层位岩石平行于

表4 嫩江组二段底部标志层段化石层泥岩与邻层泥岩中粘土矿物相对含量X-衍射分析

Table 4 Relative content of Clay mineral in N<sub>2</sub> index bed and its adjacent formations by X-ray diffraction

井号	位置	深度(m)	岩性描述	粘土矿物相对含量(%)						混层比 (%S)
				S	I/S	I	K	Chl	Chl/S	
高127井— 检更282井	标志层上	742.95	深灰色含零星介形虫块状泥岩	/	84	14	1	1	/	70
		746.7		/	80	18	1	1	/	60
	N <sub>2</sub> 标志层	748.44	深灰、灰黑色富含介形虫块状泥岩, 个别样品富含叶肢介化石	/	81	17	1	1	/	50
		749.59		/	82	14	2	2	/	50
		752.94		/	80	17	1	2	/	45
		753.44		/	75	20	2	3	/	40
标志层下	808.5	灰黑色含少量炭屑块状泥岩	/	83	15	1	1	/	55	
喇7井— 斜 P1218井	标志层上	883.4	灰色、局部深灰色块状泥岩	/	90	8	1	1	/	65
		893.9		/	87	11	1	1	/	55
	N <sub>2</sub> 标志层	901.54	灰色、灰黑色富含介形虫化石块状泥 岩,个别样品富含叶肢介化石	/	82	14	2	2	/	45
		902.79		/	72	24	2	2	/	50
		905.09		/	87	9	2	2	/	45
		907.09		/	81	15	2	2	/	40

注:由中国石油勘探研究院实验中心测试。

层理的岩石 Mohr-Coulomb 强度曲线特征(结果见表5)。在内摩擦方面( $\Phi$ ),套损层位与非套损层基本一致;但在内聚力( $C_0$ )方面,非套损层位岩石明显高于套损层岩石,是套损层位岩石的30~40倍,表明套损层位岩石抗剪切破坏能力远低于其他层位岩石。

表5 套损层与非套损层位岩石强度性质

Table 5 Tensile and shear strengths of the rocks from case impairment formation and its adjacent formations

样品位置		抗张强度(MPa)		强度曲线		
		平行层理	垂直层理	$C_0$ (KPa)	$\Phi$ (度)	强度曲线
套损层位	样品1	0.25	6.13	0.49	28	$\tau = \sigma \tan 28 + 0.49$
	样品2	0.24	2.53	0.64	27	$\tau = \sigma \tan 27 + 0.64$
	样品3	0.26	2.41			
	平均	0.25	3.69			
非套损层位	样品1	0.90	3.39	19.10	32	$\tau = \sigma \tan 32 + 19$
	样品2	0.86	2.41	24.90	30	$\tau = \sigma \tan 30 + 25$
	样品3	0.82	2.73			
	平均	0.86	2.84			

注:由中国石油勘探开发研究院油藏地应力重点实验室测试。

### 3 岩石矿物学特征与成片套损的关系

成片套损精确定位研究发现,从前认为的嫩江组二段底部与嫩江组一段顶部成片套损实际集中于嫩江组二段底部标志层内,其中90%以上最严重套损点集中在嫩江组二段底部标志层化石密集发育的层位上,因此,油田成片套损现象应与标志层的岩石矿物学特征存在内在成因联系。对于这种联系,目前

主流观点认为泥岩吸水膨胀与蠕变导致油田嫩江组二段底部严重的成片套损。

系统的岩石薄片鉴定和扫描电镜分析表明:嫩江组二段底部标志层段泥岩、特别是套损层位岩石富含生物碎屑,长英质泥粉屑发育,泥晶方解石较多,钙质胶结强烈;电镜下的粘土矿物形态多为混层粘土矿物和伊利石矿物,可膨胀性蒙脱石矿物难以发现;电镜能谱反映出标志层泥岩 SiO<sub>2</sub> 含量高外, CaO 含量也较多。由此表明嫩江组二段底部标志层岩石属于质地坚硬的泥岩,遇水基本不易膨胀和蠕变。

X-衍射全岩分析和粘土矿物相对含量系统分析结果进一步表明:① 嫩江组二段底部标志层粘土矿物主要为伊-蒙混层、伊利石、高岭石矿物,基本没有纯膨胀性的蒙脱石矿物,表明嫩江组二段底部标志层粘土矿物及岩石并不具有很强的吸水膨胀作用;② 标志层段泥岩粘土矿物绝对含量不超过50%,远低于非标志层段泥岩中的粘土含量,说明嫩江组二段底部标志层泥岩水化膨胀与蠕变作用弱于其上下相邻泥岩;③ 嫩江组二段底部标志层泥岩中石英、长石矿物含量较高(>50%),方解石矿物含量也较高,成岩作用过程中钙质胶结强烈,从而形成一套质地坚硬、不易水化的岩石。显然,标志层段泥岩遇水膨胀性与蠕变性很弱,遇水膨胀与蠕变并非是导致嫩江组二段底部成片套损的主要原因。

与“泥岩遇水膨胀与蠕变导致嫩江组二段底部标志层成片套损”的观点相反,富含长英质矿物和方解石矿物的嫩江组二段底部标志层岩石,质地坚硬,

易进水但不水化膨胀是导致成片套损的重要原因之一。

岩心观察直观地反映出嫩江组二段底部标志层泥岩呈致密块状,质地坚硬,但层理发育,特别是密集叠置的介形虫和叶肢介等古生物化石沿层理面分布,使泥岩容易开启破裂,这种特征在化石密集层(即2.5视电阻率最高峰值处,同时也是成片套损发生位置)表现最为明显。相比之下,标志层上下段的泥岩质感粗糙,含化石很少,层理不发育,岩心性脆易碎。岩心的结构构造特征表明,嫩江组二段底部标志层、特别是其中的化石密集层的整体开裂有利于成片套损的发生。

岩石的强度性质系统研究表明,套损层位岩石沿岩石层理方向的抗张强度是其他层位岩石平行层理方向强度的 $1/4\sim 1/3$ ,是垂直岩石层理方向抗张强度的 $1/10$ ;套损层位岩石的内聚力( $C_0$ )只是非套损层位岩石内聚力的 $1/40\sim 1/30$ ,充分表明化石发育的地层中,岩石沿层理方向力学强度性质最弱,是发生成片套损最有利层位。

综合宏观上的岩心观察描述和微观上的镜下鉴定与矿物成分测试及岩石强度性质研究结果表明,嫩江组二段底部标志层泥岩为富含长英质的质地坚硬岩石,含粘土矿物较少,不含蒙脱石,岩石吸水能力差、膨胀与蠕变能力弱,并沿化石富集的岩石层理方向存在力学薄弱面,一旦注入水进入嫩江组二段底部标志层,富含化石的岩石沿岩石层理优先发生破坏,并迅速扩展,最终形成成片套损现象。

在从前泥岩吸水膨胀与蠕变导致成片套损的认识中,地层的膨胀力和泥岩岩石力学性质随泥岩吸水量的变化而变化,因此,成片套损的力学模型及力学参数难以确定,发生成片套损的力学条件也难以确定,目前套损防治均没有依据。新的认识发现,套损地层岩石为硬岩性,且遇水不膨胀、不蠕变,因此,地层没有膨胀应力,岩石强度也是一固定值,这有利于建立成片套损力学模型,准确确定发生成片套损的力学条件,为防治提供了可靠依据,从而具有重要的理论意义与重大实用价值。

#### 参 考 文 献 / References

刘子晋. 1982. 大庆油田套管损坏因素的探讨. 大庆油田, 2: 2~10.  
 胡博仲, 徐志良. 1998. 大庆油田油水井套管损坏机理及防护措施. 石油钻采工艺, 20(5): 95~99.  
 姚洪田, 王伟, 边志家. 2001. 套管损坏原因与修井效果. 大庆石油地质与开发, 20(1): 35~37.  
 张先普, 陈继明, 张效羽, 等. 1996. 我国油田套管损坏的原因探讨. 石

油钻采工艺, 18(5): 7~13.  
 魏兆胜, 王文军. 1997. 榆林林套管损坏机理分析. 大庆石油学院学报, 21(1): 33~37.  
 叶得泉. 1983. 松辽盆地白垩纪的介形类化石及其意义. 石油地质与开发, 2(1): 7~15.  
 叶得泉. 1986. 松辽盆地白垩系嫩江组的介形类化石及演化特征. 大庆石油地质与开发, 5(2): 1~9.  
 叶得泉, 徐静慧. 1994. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学特征. 微体古生物学报, 11(4): 429~438.  
 黄清华, 郑玉龙, 杨明杰, 等. 1999. 松辽盆地白垩纪古气候研究. 微体古生物学报, 16(1): 95~103.  
 杨万里, 高瑞祺. 1985. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 24~27.  
 高瑞祺, 张莹, 崔同翠. 1994. 松辽盆地白垩纪石油地质. 北京: 石油工业出版社, 183~185.  
 Liu He, Yang Ye, Wang Qunyi, et al. 2005. Challenges and countermeasures facing casing damage in Daqing oil field. SPE92292.  
 Liu Zijin. 1982. On the facirs causing casing damage in Daqing oil field. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2: 2~10(in Chinese with English abstract).  
 Hu Bozhong, Xu Zhiliang. 1998. Casing failure mechanisms and protection measures of oil and water wells in Daqing oilfield. Oil Drilling & Production Technology, 20(5): 95~99(in Chinese with English abstract).  
 Yao Hongtian, Wang Wei, Bian Zhijia. 2001. Reason of casing damage and workover effect. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 20(1): 35~37(in Chinese with English abstract).  
 Zhang Xianpu, Chen Jiming, Zhang Xiaoyu, et al. 1996. Discussion on causes of casing failure in oilfields. Oil Drilling & Production Technology, 18(5): 7~13(in Chinese with English abstract).  
 Wei Zhaosheng, Wang Wenjun. 1997. Resaerch of casing damage in Yushulin oil field. Journal of Daqing Petroleum Institute, 21(1): 33~37(in Chinese with English abstract).  
 Ye Dequan. 1983. Ostracoda fossils in the Cretaceous formations of Songliao basin and their significance. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2 (1): 7~15 (in Chinese with English abstract).  
 Ye Dequan. 1986. Ostracoda of Nenjiang Group, Cretaceous in Songliao Basin and its evolution features. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 5 (2): 1~9 (in Chinese with English abstract).  
 Ye Dequan, Xu Jinghu. 1994. Biostratigraphic characteristics of Cretaceous ostracoda from the Songliao basin. Acta Micropalaeontologica Sinica, 11 (4): 429~438 (in Chinese with English abstract).  
 Huang Qinghua, Zheng Yulong, Yang Mingjie, et al. 1999. On Cretaceous paleoclimate in the Songliao basin. Acta Micropalaeontologica Sinica, 16 (1): 95~103 (in Chinese with English abstract).  
 Yang Wanli, Gao Ruiqi. 1985. The Migration and Accumulation of Oil and Gas in the Continental Songliao Basin. Haerbin: Heilongjiang Science and Techology Press, 24~27 (in Chinese with English abstract).  
 Gao Ruiqi, Zhang Ying, Cui Tongcui. 1994. Cretacious Petroleum Geology of the Songliao Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 183~185(in Chinese with English abstract).

## 图版说明

1. 岩心照片:样品取自大庆油田采油一厂,高127井一检更282井,埋深752.3 m。样品为嫩江组二段底部标志层、2.5 m视电阻率测井曲线第三峰值对应的主化石层(泥岩),叶肢介化石沿泥岩层面密集分布,构成最大薄弱面。
2. 岩心照片:样品取自大庆油田采油六厂,喇7井一斜P1218井,埋深904.3 m。样品为嫩江组二段底部标志层段、2.5 m视电阻率测井曲线第三峰值对应的主化石层泥岩,叶肢介与介形虫化石沿泥岩层面密集分布,构成最大薄弱面。
3. 岩心薄片偏光显微镜下照片:2.5倍物镜正交偏光(+),照片底边长度3 mm。样品取自大庆油田采油一厂,高127井一检更282井,埋深754.5 m。样品为嫩江组二段底部标志层、2.5 m视电阻率测井曲线第四峰值对应的次化石层泥岩。岩性为含介屑、含粉砂泥状结构,弱层状构造,富粘土矿物,粉砂、泥粉屑、生物介屑壳屑及有机质泥岩。
4. 岩心薄片偏光显微镜下照片:2.5倍物镜正交偏光(+),照片底边长度3 mm。样品取自大庆油田采油一厂,高127井一检更282井,埋深752.3 m。样品为嫩江组二段底部标志层、2.5 m视电阻率测井曲线第三峰值对应的主化石层泥岩。岩性为介屑泥状结构,纹层构造,富粉砂屑、泥屑、生物介屑碎片,钙质壳内充泥晶方解石泥岩。
5. 岩心扫描电镜照片:样品取自大庆油田采油一厂,高127井一检更282井,埋深753.44 m。样品为嫩江组二段底部标志层、2.5 m视电阻率测井曲线第三峰值对应的主化石层泥岩,放大倍数500×,泥岩全貌图,岩性致密,见有弯弧状生物介屑碎片。
6. 岩心扫描电镜照片:为图版1-5的局部放大,放大倍数3760×,层片状粘土矿物及长英质碎屑。

## A New Mechanism of the Local Regional Casing Impairment of the Index Bed of Member of the Nenjiang Formation and Its Petrology and Mineralogy in the Daqing Oilfield

LIU He<sup>1)</sup>, ZHUO Shengguang<sup>2)</sup>, GAO Heming<sup>3)</sup>, LIU Jiandong<sup>3,4)</sup>, WU Encheng<sup>1)</sup>, JIN Yansong<sup>1)</sup>

1) Daqing Oilfield Corporation, Ltd, Daqing, Heilongjiang, 163712

2) Northeast University at Qinhuangdao, Qinhuangdao, Hebei, 066004

3) Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing, 100083

4) China University of Geoscience, Beijing, 100083

### Abstract

There has been a popular opinion that the serious local regional casing impairment between the bottom of  $N_2$  (member II of the Nenjiang formation) and the upper part of  $N_1$  (member I of the Nenjiang formation) in the Daqing Oilfield is caused by water-absorbing, and swelling and creeping of shale. However, the research presented in this article unveils a new mechanism that causes the casing impairment. According to lead impressions and multi-arm calliper results, the position of the local regional casing impairment overwhelmingly locates in the index bed of  $N_2$  between the  $N_2$  and  $N_1$  Formation instead of the bottom of  $N_2$  or the upper part of  $N_1$ . The systematical petrology and mineralogy study shows that the index bed of  $N_2$  mainly consists of fine quartz, feldspar, shells of fossils and some clay minerals, but without montmorillonite that causes water-absorbing, swelling and creeping. The content of clay minerals of the index bed of  $N_2$  is also less than its adjacent rock. All these show that the swelling and creeping capacity of the index bed of  $N_2$  is very poor, which is not the principal factor causing the local regional casing impairment. On the contrary, the index bed of  $N_2$  is a kind of hard rock, but within it there are special mechanical weak planes that result from fossils lying on the sediment beds. Rock mechanical experiments show that the tensile strength and shear strength of the mechanical weak planes are far less than that of the sediment beds with a few or no fossils. Therefore, the new mechanism explains that, once injected water reaches the index bed of  $N_2$ , the fluid pressure and in-situ geostress will break the mechanical weak planes within the index bed of  $N_2$ . Because very poor water-absorbing and no rock swelling and creeping occur, the broken planes then quickly elongate around the weak plane, inducing the local regional casing impairment.

**Key words:** local regional casing impairment; index bed of  $N_2$ ; petrology and mineralogy; mechanical weak plane; Daqing Oilfield

