

川东层滑系统及其油气地质意义

李本亮 孙 岩

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

陈 伟

(西南石油学院勘探系, 四川南充 637001)

川东地区沉积盖层中, 顺层滑脱构造十分发育, 经地震剖面 和露头地质研究, 可划分为 4 套层滑系统。其中下寒武统、上奥陶-下志留统、上二叠统和中下三叠统等是这些层滑系统的 4 套主要的滑脱层。滑脱层主要由泥页岩、膏盐岩或煤层构成, 在岩石力学性质上, 具有抗压强度低、弹性模量小、内摩擦角小以及泊松比大等特点; 在物性参数上, 其密度、孔隙度、磁化率、视电阻率以及声波速度都较低。露头中的动力变质、塑性变形和平衡剖面的正演计算恢复均证实了层滑系统的存在。结合油气地质研究发现: 滑脱层系大多是极具潜力的烃源层和良 好的区域盖层。另外, 滑脱层系还构成该区上下两 个封存箱的区域平板状封隔层。

关键词 层滑系统 滑脱层系 力学性质 物性参数 封存箱

第一作者简介 李本亮 男 26 岁 博士 石油地质与构造地质

1 层滑构造理论概述

地球存在物质分层和能量分层^[1], 其内核是一个大晶体, 它的旋转角速度比外层每年快 1.1° ^[2], 这必然会牵动外部不同层位发生不同的层间滑动, 有可能成为构造分层^[3]的驱动力。具有分层结构的地层体在顺层(即水平)挤压下, 能干层按库仑-莫尔破裂理论发生切层破裂, 非能干层发生顺层滑动。沿层滑面依次发生顺层-切层-叠层滑动。在野外可依次观察到拆离构造(decoupling)、滑脱构造(detachment)、不协调褶皱(dishamonic folding)、脱顶构造(decollement)四种现象, 又称 4D 构造变形^[4]。

一般岩石的抗压强度比其抗张强度高 20 倍, 比其抗剪强度高 5 倍以上^[5], 故岩石在水平挤压下多发生层滑, 而不易破裂。泥页岩、煤层及膏盐岩层本来抗剪强度低, 在深部承受更高的静压力时, 水又不易从粘土颗粒的空隙中游离出来, 从而形成较高的孔隙液压。孔隙液压产生的气垫效应可使层间滑动变得更容易^[5]。

2 区域层滑系统的划分

按照地层岩性, 岩石力学参数, 岩石物性参数及地震波反射特征等将川东沉积盖层从震旦

系到侏罗系划分为四套层滑系统(表 1)。

表 1 川东地区沉积盖层物性参数

地层层序	厚度/m	层滑系统编号	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	孔隙度/ $\%$	电阻率/ Ωm	磁化率/ 10^{-3}SI	平均波速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
J ₁	1 720	4R	2. 68	1. 730	1 230	13. 8	5 000
T ₃	491	4R	2. 78	3. 770	281	9. 7	5 000
T _{1j} - T _{2l}	650	4S	2. 57	4. 320	3 730	6. 7	3 600
P _{2c} - T _{1f}	610~ 506	3R	2. 72	3. 672	10 800	13. 2	5 200
P _{2l}	200	3S	2. 61	0. 720	50 600	6. 6	5 200
P ₁	346. 5	2R	2. 72	3. 500	61 400	7. 9	5 700
S ₂ - C ₂	60	2R	2. 72	4. 540	70 500	10. 8	5 700
O _{3w} - S ₁	451	2S	2. 63	0. 380	210	8. 5	5 500
O ₂ - O _{3l}	81	1R	2. 72	1. 250	186	16. 5	5 500
O ₁	289. 5	1R	2. 72	1. 871	6 970	14. 8	5 500
-C ₂₋₃	150~ 350	1R	2. 80	1. 842	4 910	6. 9	5 500
-C _{1q}	200	1S	2. 65	0. 995	3 600	6. 1	4 300

注: 震旦系 Z 及其以下地层该区未见

与非滑动层 R 比较, 滑动层 S 属于非强干岩层, 是深水位或水动力极低的沉积环境中形成的泥页岩、泥灰岩(膏盐岩)或煤层^[6]。岩石力学性质具有抗压强度低、弹性模量小、内摩擦角小、泊松比大等特征(表 2)。在物性参数上, S 层相对 R 层密度、孔隙度、磁化率、视电阻率、声波速度等值偏低(表 1)。地震剖面上, 滑脱层面地震波反射较强, 其上下反射层产状不协调, 反射波同相轴连续性、反射波周期和能量都有所不同(图 1)。根据上述特征从川东地区沉积盖层中识别出如下滑脱层。

表 2 岩性与岩石力学参数之间的关系

岩石力学参数	抗压强度/MPa	弹性模量/ 10^5MPa	泊松比	内摩擦角/ $^{\circ}$
砂、砾岩	87. 1	1~ 4	0. 1~ 0. 3	30~ 55
灰岩、白云岩	150. 2	5~ 8	0. 2~ 0. 31	24~ 34
泥页岩、膏盐岩	52. 2	0. 1~ 0. 7	0. 2~ 0. 39	10~ 22

注: 参数为自然条件下测试的统计平均值

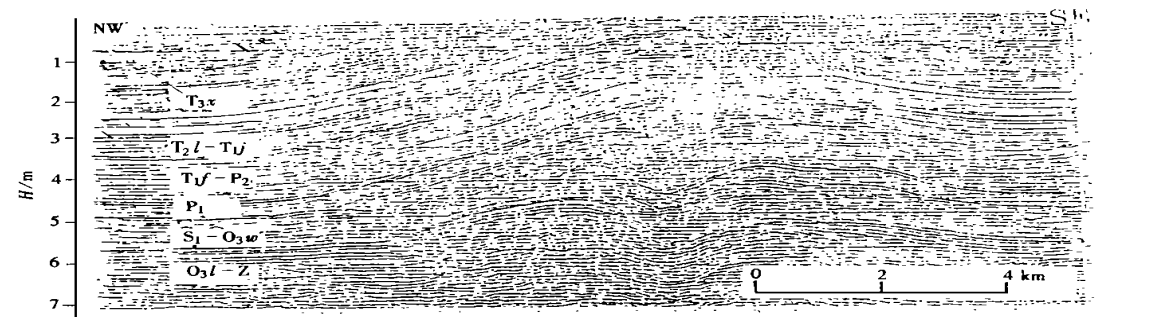


图 1 川东大池干背斜地震反射剖面及其解释(由四川石油管理局地调处提供)

- 1S 下寒武统筲竹寺组($-C_{1q}$): 黑色炭质页岩, 夹膏盐岩, 厚 200 m。
 - 2S 上奥陶统-下志留统(O_3-S_1): 灰绿、黄绿、灰黑色页岩, 粉砂岩, 厚 451 m。
 - 3S 上二叠统龙潭组(P_{2l}): 黑色页岩、细砂岩夹煤层, 含玄武岩, 厚 200 m。
 - 4S 三叠系嘉陵江组至雷口坡组($T_{1j}-T_{2l}$): 薄层灰岩及膏盐岩, 厚 650 m。
- 该区还存在次一级的滑动层位, 如二叠纪梁山组 P_{1l} , 三叠纪飞仙关组 T_{1f} 、须家河组 T_{3x} 、中侏罗统遂宁组 J_{2h} 内所夹层段, 但在本区内其层滑构造不明显, 故不予深究。

3 层滑系统的验证

3.1 野外地质验证

由于层滑层位塑性、韧性和粘性的特征, 在华蓥山、大池干等地可见非强干层有一定程度的动力变质、流变变形、应变软化及韧性、韧脆性变形等。层间滑动部位局部有微细条带状的粒化岩, 在下志留统泥岩滑动面上发育数厘米到数十厘米厚的滑动糜棱岩; 上二叠统的炭质泥岩在滑动面附近开始转化成石墨片岩; 三叠系嘉陵江组至雷口坡组($T_{1j}-T_{2l}$)中发生滑动处出现叶理化、片理化的劈理带、构造透镜体等。在显微镜下, 上述动力变质中的方解石、石英呈波状消光, 方解石晶体沿 e 面发生滑动形成机械双晶; 在宏观构造上, 犁式断层、叠瓦断层(P_{2l} 煤层中极易发生) 向下延伸成为区域性的滑脱拆离层面, 非强干层发生不协调构造(图 2)。另外, 川东侏罗山式隔挡褶皱也可视为层滑构造的产物。

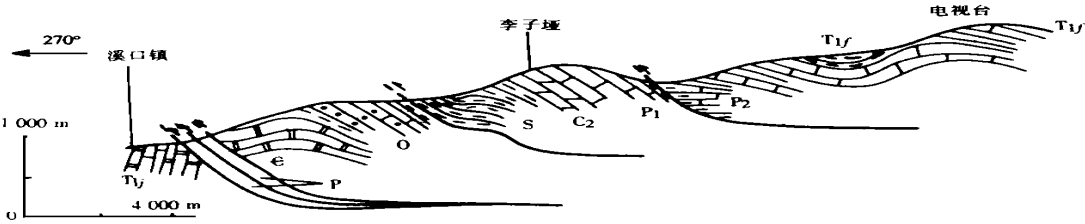


图 2 华蓥山地区溪口镇-大宝顶(电视台)构造剖面图

3.2 正演平衡剖面计算验证

选取川东地区具有代表性的大池干背斜地震剖面进行正演恢复计算, 得出构造变形前的原始地层情况(图 3)。印支运动早期从 SE 向 NW 的挤压使得沿下二叠统煤层发生层滑断层

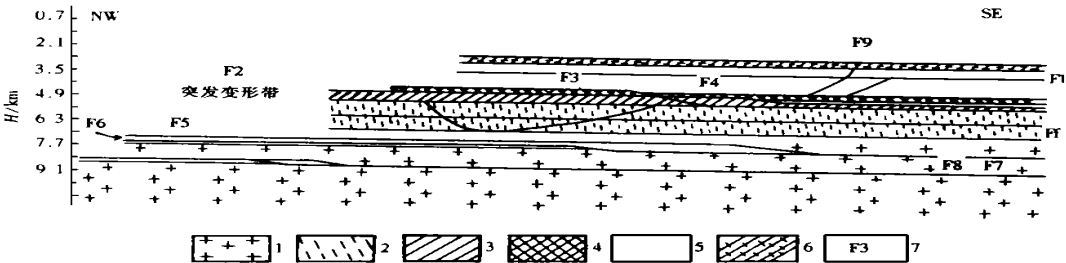


图 3 大池干构造层滑前的平衡剖面恢复示意图

1—震旦系-中奥陶统; 2—下志留系; 3—下二叠统; 4—上二叠统; 5—中下三叠统; 6—上三叠统须家河组;
7—推覆断面及编号

F₃, F₄, 依次顺层-切层-叠层滑动。之后在上奥陶-下志留统层段内发生 F_f 滑动断层和反向逆掩推覆构造 F₁, F₁ 沿中、下三叠统顺层滑动, 切层穿过奥陶系至下三叠统, 同时引发突变带发生断层 F₂ 切穿志留系至二叠系。随后又激活了反向逆断层 F₉, 其后在上奥陶-下志留统中发育背驮式双重逆掩构造 F₅, F₆, 再后来又在其下的 ϵ_1 内发生层滑断层 F₇, F₈。最终演化形成如今的川东大池干背斜(图 4)。

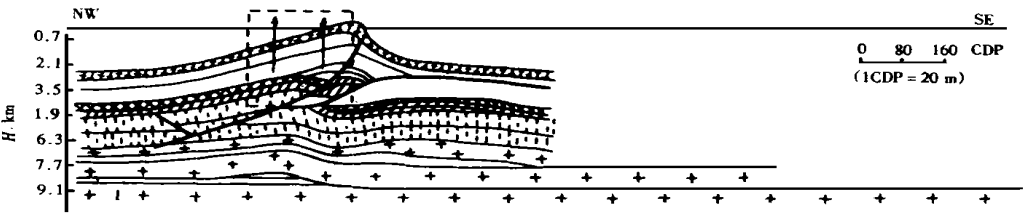


图 4 大池干构造平衡剖面正演结果图(图例同图 3)

4 层滑研究的油气地质意义

该区四个层滑面为地震强反射波界面(图 1), 利用其反射波同相轴特征容易识别隐伏含油气构造。四套层滑系统除中、下三叠统膏盐岩层外, 其余皆为川东主要烃源岩系, 下寒武统平均生烃强度为 $28.84 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 最高达 $75 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$; 下志留统平均生烃强度为 $80.83 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 最高达 $150 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$; 上二叠统平均生烃强度为 $31.47 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 最高达 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

四个层滑层位的岩石孔隙度低, 渗透率低, 排替压力大, 厚度大, 成为川东良好的区域盖层。该区从上至下存在两个异常压力封存箱, 上部封存箱是中下三叠统到上二叠统之间, 压力系数 1.39~ 1.92; 下部封存箱是下寒武统到上奥陶-下志留统之间, 压力系数高达 1.89。可见滑动层位正是封存箱的区域平板状封隔层, 在两个封存箱之间的地层是川东地区主要的箱外成藏油气产层。

参 考 文 献

1 陈胜早. 中国东南部及其毗邻海域地震地球物理分析及含油气盆地分布特征. 大地构造与成矿学, 1986, 3: 247~ 261
2 Song Xiaodong, Richards P G. Seismological evidence for differential rotation of the earth's inner core. Nature, 1996, 382(18): 221~ 224
3 Ruzhentsev S V, Trifonov V G. Tectonic layering of the lithosphere. Episodes, 1985, 7(1): 44~ 48
4 孙岩, 施泽进, 舒良树, 等. 层滑- 倾滑断裂构造与油气地质研究. 南京: 南京大学出版社, 1991. 49~ 50
5 孙岩, 施泽进, 勾佛仪. 湘赣地区的岩石力学参数和区域层滑系统研究. 中国科学(B 辑), 1992, 8: 860~ 867
6 吴金才, 李绽绽, 叶建中, 等. 塔里木盆地滑脱层与沉积层序关系. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 79~ 83

(下转第 261 页)

Abstract

The formation of the reservoirs of the second and third numbers of Dengying Formation in Ziyang, Sichuan Province, is closely connected with lithological microfacies and their assemblages. The strata are composed of 12 kinds of lithological microfacies and 5 microfacies assemblages. Among them light micrite dolomite, sparry dolarenite, micrite-sparry oolite dolomite and some stromatolitic dolomite, distributed in the middle and upper part of each microfacies assemblage, are favourable for the formation of the reservoirs. The high-frequency overlap of the microfacies and their assemblages in vertical direction result in lots of thin reservoir layers. In lateral, Block-1 centering well Z₁-3 and Z₁-7 and Block-2 centering well Z₁-4 have the best lithological microfacies and assemblages for the formation of the reservoirs.

(上接第 247 页)

LAYER-GLIDING SYSTEMS IN EASTERN SICHUAN AND THEIR SIGNIFICANCE FOR PETROLEUM GEOLOGY

Li Benliang Sun Yan

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing*)

Chen Wei

(*Department of Exploration, Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan*)

Abstract

The depositional covers in the eastern Sichuan region could be classified into four layer-gliding systems according to the differences in rock features, rock mechanic parameters, rock physical parameters and seismic reflective characteristics. The Lower Cambrian, Upper Ordovician-Lower Silurian, Upper Permian and Middle-Lower Triassic Systems in the studied area are the major gliding systems. These systems are composed of mudstone, shales, gypsum and coal beds, and characterized by low apparent resistivity competent, lower physical parameters, strong seismic reflective, lower apparent resistivity. The mechanical metamorphic and the rheologic deformation of the outcrops and computer restored balanced cross-profiles proved the existence of the gliding systems. Combining it with petroleum geology, it is found that almost all glided layers are hydrocarbon source rocks and regional caprocks of gas and oil reservoirs.