

中伊朗盆地库姆组层序充填与新特提斯海演化

覃建雄¹⁾, 刘树根²⁾, 徐国盛²⁾, 唐勇¹⁾, 刘顺¹⁾

1)成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059;

2)成都理工大学能源学院, 四川成都 610059

摘要: 中伊朗盆地形成和发展受特提斯洋张力以及阿拉伯板块和伊朗板块边缘聚力的复合控制, 其演化经历了基底裂谷(Z_1)、被动边缘(Z_2 - T_2)、裂谷盆地(T_3)、弧后前陆(J - N_1^1)、陆内拗陷—挤压改造(N_1^2 - Q)等不同阶段, 层序充填包括 1 个一级层序、3 个二级层序, 显示明显的纵向叠加、横向复合的复式特点。作为中伊朗盆地弧后前陆演化阶段沉积产物, 库姆组层序充填总体呈现碳酸盐岩、火山岩—火山碎屑岩、陆源碎屑岩“混积”的特点。库姆组包括 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 4 个二级层序, 其充填演化经历了 Chattian 期、Aquitania 早期、Aquitania 晚期、Burdigalian 期 4 次二级海平面变化事件, 最大海平面时期(mfs)位于 Burdigalian 早期。
关键词: 层序充填; 新特提斯海演化; 库姆组; 中伊朗盆地

中图分类号: P535 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)05-581-09

Sequence Filling and New Tethys Evolution of Qum Formation, Central Iran Basin

QIN Jian-xiong¹⁾, LIU Shu-gen²⁾, XU Guo-sheng²⁾, TANG yong¹⁾, LIU Shun¹⁾

1) College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;

2) College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059

Abstract: In the light of genetic sequence stratigraphy, this paper deals with sequence filling and New Tethys evolution of Qum Formation in central Iran Basin. The authors suggest that this basin possesses typical composite characteristics of superposition in vertical direction and complexity in horizontal direction. Its formation and evolution were controlled by both the tensile force from Tethys and the converging force from Arabic and Iranian plates and underwent orogenic rifting (Z_1), passive continental margin (Z_2 - T_2), rifting basin (T_3), back-arc foreland basin (J - N_1^1), and intracontinental depression and reworking (N_1^2 - Q) stages. The filling process formed the four sedimentary sequences of S_1 , S_2 , S_3 and S_4 and experienced four sea level events, namely, Chattian, early Aquitania, late Aquitania and Burdigalian stages.

Key words: sequence fillings; new Tethys evolution; Qum Formation; central Iran Basin

中伊朗盆地位于 Zagros 造山带、鲁特地块和 Alborz 褶皱带之间, 在伊朗板块的形成和演化中占有重要地位。20 世纪末以来, 前人(Beydoun et al., 1992; 徐国强, 2005; Legraretta et al., 2006)主要对研究区进行了地质填图, 以及有关构造地质、地震地层、测井地质研究, 取得了大量的研究成果, 但有关中伊朗盆地沉积地质尤其是层序地层学研究, 尚寥

寥无几。本文试图采用野外露头 and 测井地层研究方法, 对中伊朗盆地库姆组层序地层及其沉积演化进行研究, 以期对石油成藏机理和今后勘探开发方向有一深入认识。

中伊朗盆地南为 Zagros 造山带, 东为鲁特地块, 北为 Alborz 褶皱带。面积约 20000 km², NW-SE 走向, 平行于南部火山岛弧, 盆地中心位于库姆镇以

本文由国家教育部新世纪优秀人才支持计划(ZX0019)资助。

收稿日期: 2008-03-07; 改回日期: 2008-09-01。

第一作者简介: 覃建雄, 男, 1967 年生。教授, 博士生导师。研究方向: 层序地层学、储层沉积学、沉积盆地分析。通讯地址: 610059, 四川省成都市二仙桥东三路 1 号。电话: 028-84076181。E-mail: jx-qin@vip.163.com。

北, 卡尚地区为其东部的一个次级拗陷(徐国强, 2005)(图 1)。

中伊朗盆地形成演化受 Zagros 造山带的明显控制(徐国强, 2005)。古生代, 盆地处于冈瓦那大陆的

入弧后前陆盆地发育阶段(表 1)。

中伊朗盆地第三系自下而上分别为: 古新统河流-冲积相 Kerman 砾岩; 始新世火山熔岩; 渐新统下红组(LRF)障壁海膏盐碎屑岩体系; 渐新统一中新统库姆组陆棚-混迹陆棚-碳酸盐台地相沉积系列(郭福生, 2004), 包括 A、B、C、D、E、F 段(C 段细分为 C1、C2、C3、C4 亚段), 具有明显的弧后前陆盆地充填序列特征(表 1); 中新统上红组(URF)封闭泻湖相碎屑岩体系; 上新统一第四系河流相砾岩沉积。不同地区不同层位, 火山岩、火山碎屑岩分布有差异(表 1)。

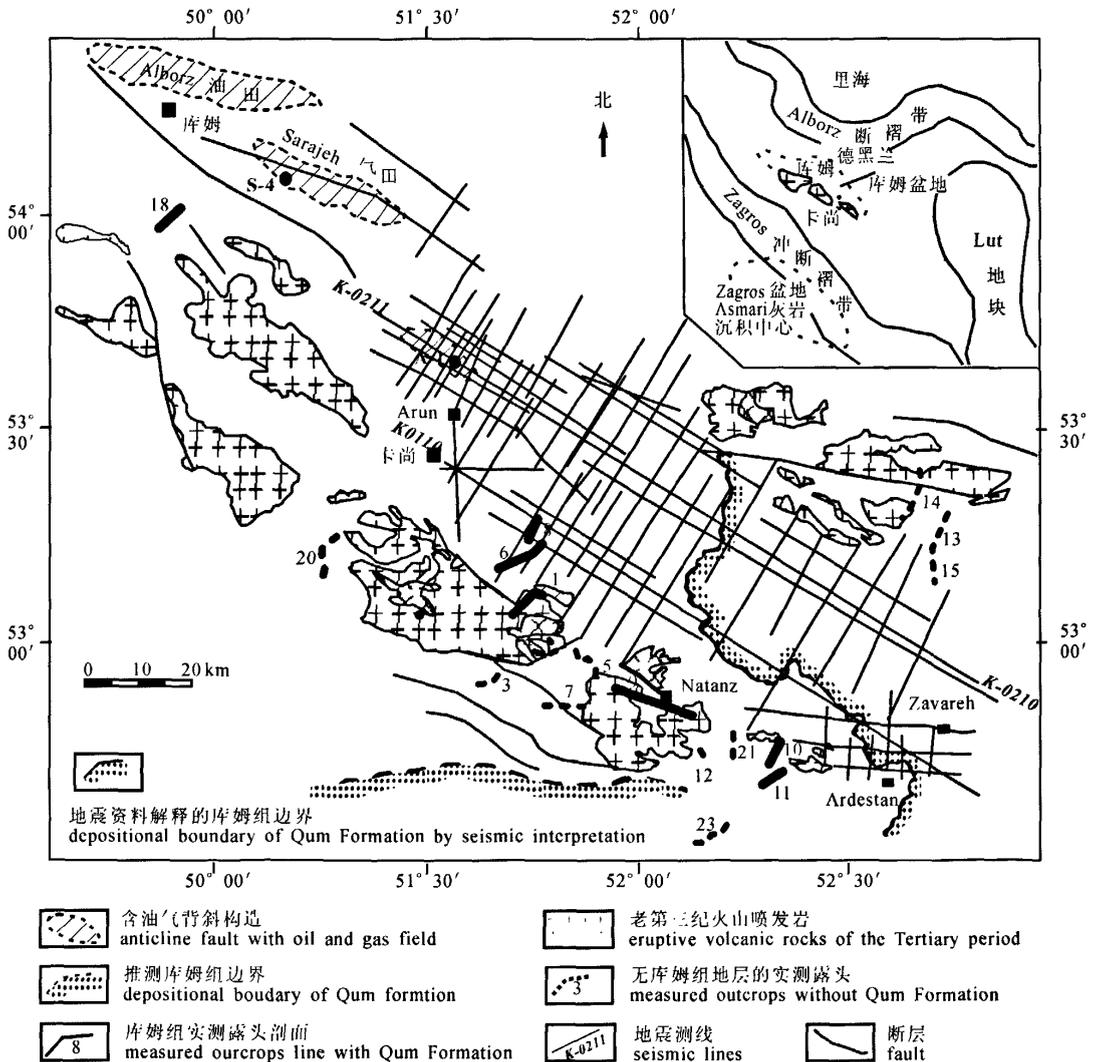


图 1 中伊朗盆地构造背景及露头/钻井剖面(据徐国强等, 2005 修改)

Fig. 1 Tectonic setting and outcrop/well profile of central Iran Basin (modified from Xu et al., 2005)

1-Tigheh-e Rezaabad; 2-East Khurabad; 3-East Khurabad; 4-Northwest Khurabad; 5-Dooardar; 6-Kamar Kuh; 7-Nardaghi;

8-Alborz; 9-Karavansera Sag; 10-Rostam; 11-Spar-e Rostam; 12-Kaj; 13-Neyzar; 14-Masoomah Kahak; 15-Kahak;

16-Qubadbezan; 17-Morreh Kuh; 18-Shurab; 19-northern anticline of Navah; 20-southern anticline of Navah; 21-Natanz (1); 22-Natanz (2)

表 1 中伊朗盆地地层系统中的库姆组
Table 1 Qum Formation in the stratigraphic framework, central Iran Basin

系	统	阶	组	段	主要地层界面	沉积背景	沉积旋回		盆地演化	
第四系	全新统		河湖相沉积			河湖	三级旋回	二级旋回	山前蒸发盆地	
	更新统									
新近系	上新统	Piacenzian	Akchagyl Fm		角度不整合	冲积扇		IIS3	褶皱造山	
		Zanclian	上新统砾岩							
	中新统	Messinian	上红组 (URF)	上红层		角度不整合	河湖 (蒸发背景)		IIS2	山间盆地
		Tortonian								
		Serravalian								
		Langhian								
		Burdigalian	库姆组 (QF)	C	F	平行不整合	台地	4	IIS2	弧后前陆盆地
		Aquitainian			E					
	D									
	C ₄									
	C ₃									
	渐新统	Chatian			下红组 (LRF)					
Rupelian										
始新统	Priabonian	始新世火山岩		角度不整合	障壁海岸		IIS1	弧后拉张		
	Bartonian									
	Lutetian									
	Ypresian									
古新统	Thanetian	Kerman 砾岩						挤压隆升		
	Danian									
白垩系	Masstrishtian	Kalat Formtion			角度不整合					

1 层序界面分析

1.1 关键界面

1.1.1 库姆组底 II 级界面

古风化壳特征明显(表 1): ①低角度—平行不整合界面, 界面凹凸不平; ②库姆组超覆在前库姆期不同时期地层之上; ③界面上下地层层序结构差异: 陆棚浅海灰岩超覆在下红组(LRF)红色碎屑岩之上; ④局部残留有下伏地层底砾岩。

1.1.2 库姆组顶 II 级界面

标识特征主要包括(表 1): ①界面凹凸不平, 特征明显; ②上红组(URF)陆相红层沉积假整合于库姆组灰岩之上; ③界面上下地层生物组合有差别;

1.1.3 E 段内部最大海泛面 mfs

E 段中部层段具体标志包括: ①顶部钙质泥岩与页岩互层; ②标志层: 硅质岩、黏土岩、少量凝灰质灰岩及灰白云岩互层; ③在 Sarajeh 3 井中, 表现为深黑色含沥青黄铁矿页岩; ④普遍发育海底软泥三叶虫 *Globigerinoides triloba* 组合。总体表现

为弧后前陆盆地盆缘—陆棚相深灰色薄层生物灰泥岩。

1.2 其他相关界面

1.2.1 D 段顶三级界面

识别标志明显: E 段(深色段)陆棚—盆地边缘相黑色、深灰色生物灰泥岩、含软泥三叶虫的硅质泥岩和粉砂质泥岩沉积超覆在 D 段(浅色段)潮坪—泻湖(膏盐湖)杂色硬石膏岩、膏盐质泥岩之上(表 1)。

1.2.2 海侵型四级界面

作为常见的层序界面,在库姆组中较为常见,如 B 段底界面、C₂底界面、C₄底界面、E 底界面(表 2)。

该类界面主要形成于长期主体海平面上升时期,系后期沉积层与前期沉积层之间的界面为一上超接触关系,这是由于海平面下降后又快速大幅上升这一转变过程的产物。常常是在前期暴露溶蚀基础上,历经海侵冲刷、侵蚀、超覆过程的结果。一系列上超面的连续出现通常表明碳酸盐浅海连续海侵、总体向上变深的过程。

1.2.3 海退型四级界面

该类界面构成区内主要的界面类型,通常以渣状层、古黏土层为标志的暴露溶蚀界面,主要出现在超级周期海平面下降时期,包括 AB 段、C₁、C₃、C₄ 和 F 段的中上部,反映盆地演化过程中的中止或暂停,暴露溶蚀形成于长周期主体海平面下降时期即盆地主体充填时期,为三级海平面下降末期沉积物暴露地表,遭受淡水溶蚀、成岩改造或地表残积的产物。

1.2.4 火山事件作用面

作为典型的弧后前陆盆地,中伊朗盆地库姆组沉积充填不同时期、不同层段,各种火山沉降事件较为常见。尤其是 C₂ 内部的凝灰质层、火山凝灰岩,在全区广为分布,是较为明显的层序划分及对比标志。

这种火山事件相关界面向盆地东南逐渐增多增强,可能与渐新世—中新世期间, Natanz 断裂较强的活动性,并沿断裂断续出现火山喷发和岩浆侵入有关。

2 层序地层划分

根据上述层序界面标识、特征和类型,层序体系域、准层序等的叠置型式,以及岩石地层、生物化石带分布等,首次在中伊朗盆地新生界识别出 1 个一级层序(I S)、3 个二级层序(II S),其中库姆组识别出 S1、S2、S3、S4 等 4 个三级层序(沉积层序),以及若干个次一级沉积层序(表 2)。

3 层序特征

3.1 一级层序(I S)

底界面为白垩系顶部造山侵蚀不整合面,下伏地层为白垩系浅变质灰岩,上覆为 Kerman 砾岩(图 2、3、4),代表区域或全球构造运动的产物,为一全球成因界面。

顶界为上新统顶界升降侵蚀不整合面,第四系河流相沉积物超覆在 Akchagyl 组或上新统砾岩之上,代表新生代末构造运动产物,为一全球成因界面。

表 2 中伊朗盆地库姆组层序地层划分
Table 2 Sequence stratigraphic division of the Qum Formation, central Iran Basin

	Langhian	上红组	上红层	河湖	层序界面	层序划分	海平面变化
中新统	Burdigalian	库姆组 (QF)	F	碳酸盐台地	平行不整合 (SB5)	S4	
			F	盆缘—陆棚			
	Aquitanian		D	泻湖—湖坪	暴露溶蚀不整合 (SB4)	S3	
			C ₄	陆棚浅海			
			C ₃	陆棚浅滩	暴露溶蚀不整合 (SB3)	S2	
			C ₂	陆棚浅海			
C ₁	陆棚浅滩						
渐新统	Chattian	B	滨浅海	暴露溶蚀不整合 (SB2)	S1		
		A	滨岸				
	Rupelian	下红组	下红层	障壁海岸	角度不整合 (SB1)		

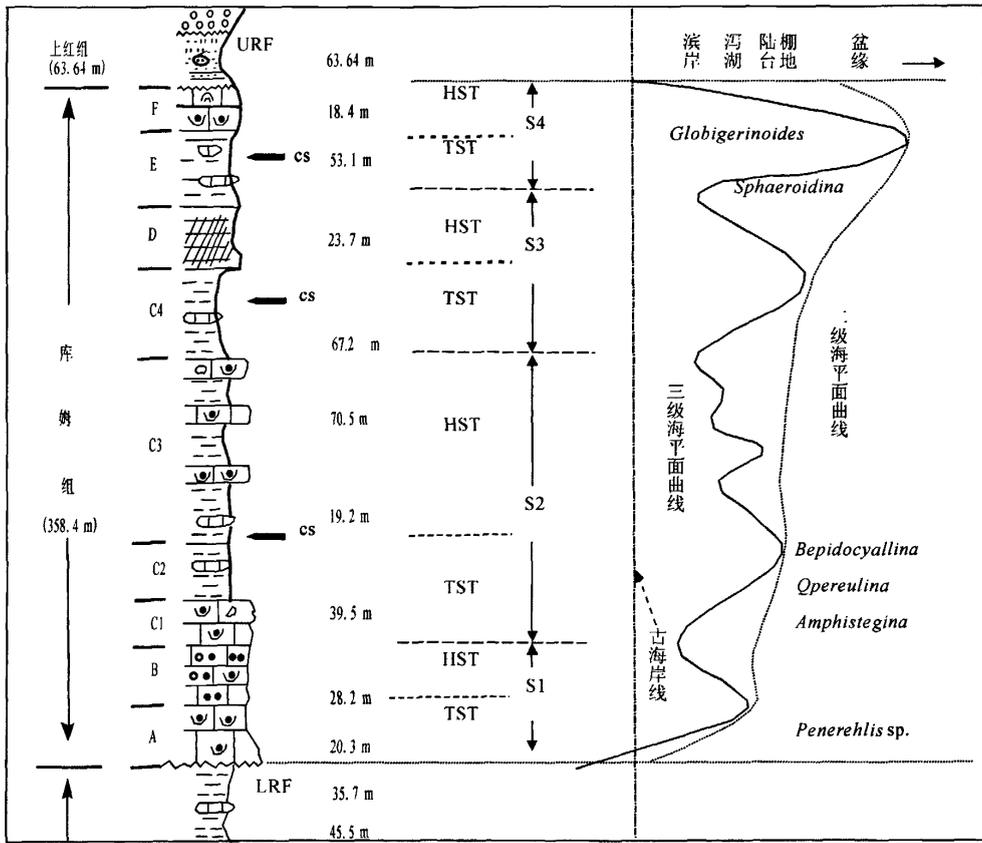


图 2 Navah 背斜北部 8 号剖面层序地层划分及相应海平面变化

Fig. 2 Sequence stratigraphic division and related sea level change on section 8, northern anticline of Navah

一级层序(覃建雄, 2001)总厚约 600~5000 m 不等, 由上红组、库姆组、下红组、始新世火山岩、Kerman 砾岩构成(表 1), 最大海泛面 mfs 位于库姆组上部 E 段中下部, 包括 3 个二级层序, 总时限约 65 Ma。

3.2 二级层序(II S)

上述一级层序(I S)共包括 3 个二级层序, 分别为二级层序 II S1、II S2、II S3。

3.2.1 二级层序 II S1

II S1 底为一全球成因的不整合面, 即白垩纪末构造运动面, 与一级层序(I S)底界面重合, 顶界更新统/第四系之间的不整合界面, 层序由下红组、始新世火山岩、Kerman 砾岩构成, 层序厚 100~1000 m 不等, 时限约 35 Ma。

3.2.2 二级层序 II S2

II S2 底为库姆组底界的平行不整合面, 为一造山侵蚀不整合面。顶界为中上新统顶界运动面, 层序厚度 100~2000 m 不等。具体包括上红层和库姆组灰岩地层。HST 由陆相地层——上红层构成, TST 由海

相地层——库姆组灰岩地层构成, 层序时限 25 Ma。海泛面位于库姆组灰岩 D 段上部, 表现为—典型的向上变浅层序(图 2、3、4)。

3.2.3 二级层序 II S3

II S3 由 Akchagyl 组、上新统砾岩构成, 厚 200~3000 m 不等, 时限约 5 Ma, 为河湖相体系—河流体系沉积。

3.3 三级层序(S)

3.3.1 层序 S1

相当于 A、B 段, 包括若干次一级准层序(图 3)。A 段优势相主要为障壁海岸环境的滨浅海潮坪、潮滩相中厚层含砾颗粒灰岩、含砾粗粒砂质颗粒灰岩沉积(图 3); B 段优势相主要为中层浅海相中粗粒砂质灰岩、钙质砂岩夹薄层粉砂质页岩组合(图 4)。

层序 S1 的底界面为一造山侵蚀不整合面 SB1, 顶界面为一陆上暴露溶蚀界面 SB2。LST 为 0~50 cm 不等的陆上侵蚀残积物; TST 由 A 段 + B 段下部构成, HST 由 B 段中上部构成, cs 位于 B 段中部, 层序时限 1~2 Ma, 厚度 0~300 m 不等(图 4)。

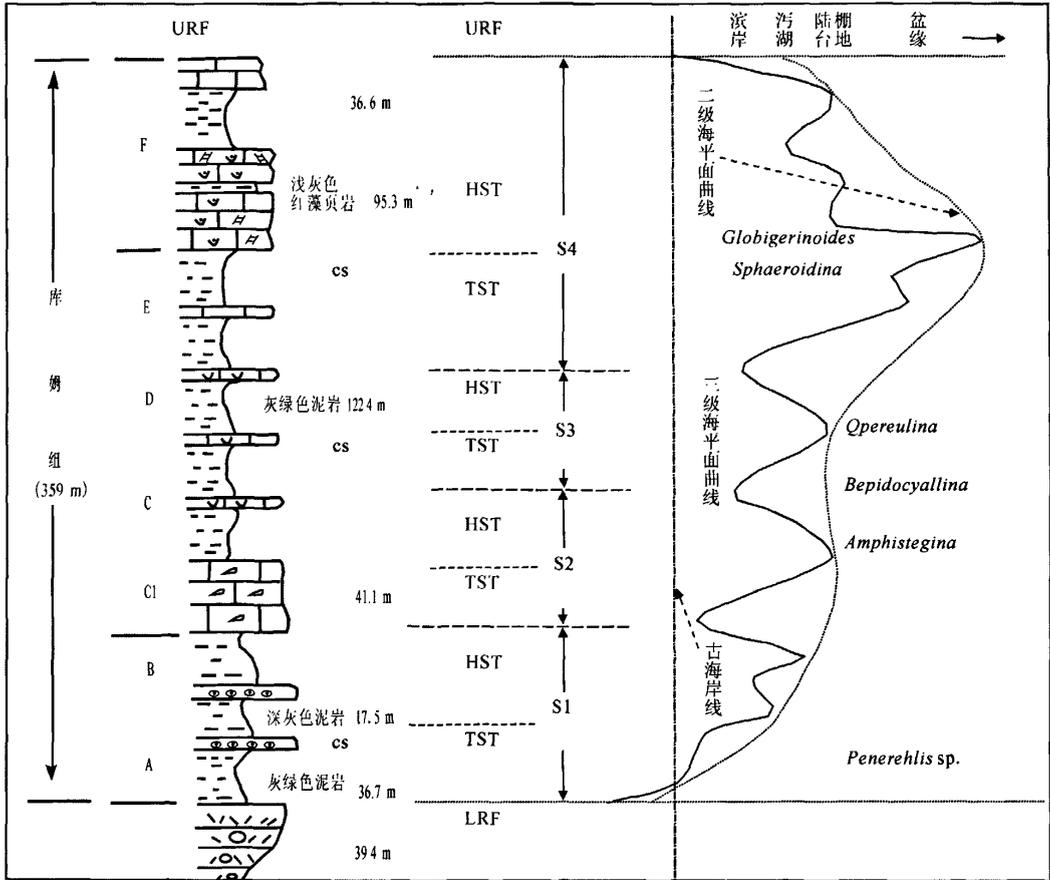


图3 中伊朗盆地9号剖面层序地层划分及相应海平面变化
 Fig. 3 Sequence stratigraphic division and related sea level change on section 9 in central Iran Basin

3.3.2 层序 S2

由 C1、C2、C3 段构成，包括 1~3 个次一级准层序(图 4)。

C1 段优势相主要为滨浅海潮坪、潮滩相中厚层苔藓虫颗粒灰岩、含砾粗粒砂质颗粒灰岩沉积夹灰色灰泥岩和泥灰岩体系(图 3)，厚 100~600 m 不等，该单元中大型有孔虫 *Amphistegina*、*Bepidocyellina* 和 *Qperulina* 发育，并以 *macroforams* 为特征。应该说明的是，不同沉积相带或不同剖面，其岩石成因组合存在差异。

C2 段优势相主要为中层、中薄层陆棚浅海相中粗粒砂质灰岩、钙质砂岩夹薄层粉砂质页岩组合(图 4)。通常夹有厚度不等、层数不同的凝灰质灰岩层，如 Knour abad 剖面和 1 号剖面。在 Sarajeh 3 井 C2 段中下部出现大量石膏和膏质灰泥岩。

C3 段优势相主要为陆棚浅海相苔藓虫灰岩和灰泥岩互层，构成 1~10 不等的沉积旋回，旋回底部通常为—明显冲刷面，旋回下部为 0~1 m 不等的苔

藓虫灰岩层，旋回中上部为若干薄层含生物灰泥岩构成的厚层灰岩沉积组合(图 3、4)。表明为与海底火山事件相关的生物事件沉积产物。

层序 S2 的顶界、底界面均为—陆上暴露侵蚀不整合面 SB2。TST 由 C1 + C2 构成，HST 由 C3 构成，cs 位于 C2 上部，主要表现为硅质岩、黏土岩、少量凝灰质灰岩。层序时限 1~5 Ma，厚度 100~500 m 不等(图 3、4)。

3.3.3 层序 S3

相当于 C4、D 段，包括 1~3 个次一级准层序(图 3、4)。

C4 段优势相主要为滨浅海潮坪、潮滩相中厚层苔藓虫颗粒灰岩、含砾粗粒砂质颗粒灰岩沉积夹灰色灰泥岩和泥灰岩体系(图 3、4)，厚 100~500 m 不等，该单元中大型有孔虫 *Amphistegina*、*Bepidocyellina* 和 *Qperulina* 发育。应该说明的是，不同沉积相带或不同剖面，其岩石成因组合存在差异。如在相对深水区的 Sarajeh 3 井和 Sarajeh 4 井中，C3 和 C4 很

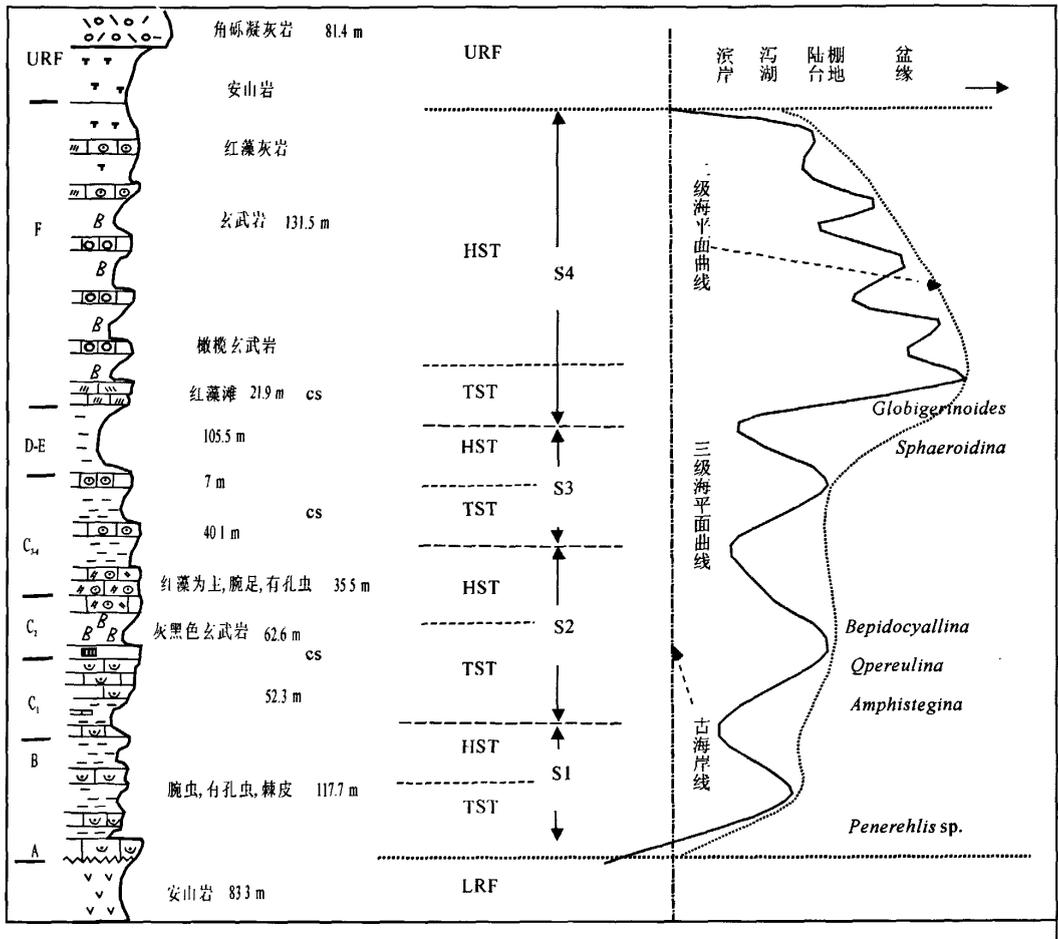


图 4 中伊朗盆地 11 号剖面层序地层划分及相应海平面变化

Fig. 4 Sequence stratigraphic division and related sea level change on section 2 in central Iran Basin

难通过岩石组合差异进行分开, 而依据期间的暴露面即很容易分开。

D 段优势相主要为炎热气候条件下的潮坪—泻湖或膏盐湖相含膏盐质泥岩、云膏岩质泥岩夹膏岩盐沉积(图 4)或硬石膏层。厚度约 0~100 不等。

层序 S3 的顶界为陆上暴露侵蚀成因界面及其相当界面 S4, 底界面均为一浅滩相为主沉积高地暴露水面侵蚀不整合面 SB3。S3 缺乏 LST 沉积。TST 由 C4 段构成, HST 由 D 段构成, cs 位于 C4 段中上部, 层序时限 1~3 Ma, 厚度 50~500 m 不等(图 3、4)。

3.3.4 层序 S4

相当于 E 段和 E 段, 在 11 号剖面中共识别出 F 段包括 5~6 个次一级准层序(图 4)。其他地区沉积环境或相带, 沉积韵律并不是很明显。

E 段优势相主要为弧后前陆盆地背景陆棚相—盆缘相深灰色灰泥岩、含黄铁矿泥岩、硅质泥岩、海洋软泥灰岩沉积体系。

F 段属于碳酸盐台地沉积, 优势相主要为中厚层、厚层生物灰岩、生物颗粒灰岩、生物丘夹生物礁灰岩, 如 Navah 背斜北翼 8 号剖面, 生物礁厚 1~3 m 不等, 位于 F 段中上部。由于沉积地形地貌和火山作用的影响, F 段横向分布不是很稳定, 总体向东南方向过渡为火山碎屑岩或者尖灭缺失。

层序 S4 的顶界为一隆升侵蚀不整合面 SB5, 之上被陆相红层—上红层所超覆, 底界面均为一陆上暴露侵蚀不整合面 SB4, 即 E 段深水沉积超覆在潮坪泻湖—膏盐湖相浅水沉积之上。TST 由 E 段构成, HST 由 F 段构成, S4 的 cs 与库姆组最大海泛面 msf 相重合。层序时限 1~4 Ma, 厚度 100~500 m 不等(图 3、4)。

4 新特提斯海演化

渐新世 Chattian 期, 中伊朗盆地在库姆期风化夷平面(Beydoun et al., 1992)基础上, 海水从南部

初始进入中伊朗盆地, 出现夷平面基础上的障壁滨浅海, 开始了 S1(A-B 段)填平补齐式的充填沉积作用。由于盆地周边风化物源较为丰富, 导致 S1 沉积体系中陆源碎屑比例较高。

Aquitanian 初期, 海水继续从南边侵进, 盆地水域逐渐扩大, 形成环境相对宽敞的陆棚浅海, 海水环境相对稳定, 苔藓虫等海洋生物的大量繁殖, 沉积形成了 S2 TST 下部(C₁段)的苔藓虫灰岩体系, 之后由于海底火山作用的影响, 导致 S2 TST 上部(C₂段)含有较多的火山沉积岩组分, 并缺乏生物组分。

Aquitanian 中期, 海平面处在相对稳定状态, 生物大量发育, 以苔藓虫为代表的各种海海底栖生物繁盛, 由于弧后前陆盆地背景的影响, 造成 S2 HST+S3 TST(C₃+C₄段)沉积中以浅海苔藓虫生物颗粒灰岩大量发育为特征, 并造成多个苔藓虫灰岩层—生物火山碎屑泥岩沉积旋回。

伴随海平面上升丰富物源充填沉积作用, 中伊朗弧后前陆盆地逐渐由有障壁海岸(S1)转化为无障壁陆棚浅海(S2+S3 TST), 沉积基底不断填平补齐, 于 Aquitanian 晚期, 逐渐向潮坪泻湖环境转化(S3 HST), 发生潮坪泻湖相沉积(D 段), 由于受到干燥炎热气候的影响, 造成 S3 HST(D 段)为硬石膏层发育的膏盐湖沉积体系。

Burdigallian 早期, 气候转为潮湿温暖, 中伊朗弧后前陆盆地发生沉降, 海水从南东、南西方向侵进, 盆地水面迅速上升, 导致盆地新生代最大的海泛时期(S4 TST-E 段), 形成最大海泛面 mfs, 中伊朗弧后前陆背景下陆棚—盆地边缘相对深水沉积体系为主, 并含有大量浮游生物、超微化石生物及藻类生物组合。

Burdigallian 晚期, 在高海平面背景下, 大量生物发育和丰富物源允许碳酸盐台地的营建, 造成中伊朗弧后前陆盆地发育历史上真正的碳酸盐台地(S4 HST-F 段), 大量台地相沉积发育, 并含有生物丘礁组合沉积。

Burdigallian 末期, 由于区域构造抬升, 中伊朗弧后前陆盆地退出海水, 遭受陆上侵蚀作用, 导致 S4 HST 顶界升降侵蚀不整合面, 并进入区域性陆相盆地演化时期。

参考文献:

- 陈洪德, 覃建雄, 田景春. 2000. 右江盆地层序充填动力学初探[J]. 沉积学报, 24(2): 13-24.
- 郭福生. 2004. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义[J]. 沉积学报, 26(1): 20-26.

- 刘鹏举, 王成文, 孙跃武. 2001. 层序的成因及层序地层格架[J]. 长春科技大学学报, 19(1): 8-16.
- 李思田. 1988. 沉积盆地分析中的沉积体系研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 16(2): 6-8.
- 覃建雄, 陈洪德, 田景春. 2000. 右江盆地层序充填序列与古特提斯海再造[J]. 地球学报, 18(1): 18-24.
- 覃建雄. 2001. 层序地层作为沉积盆地识别标志的研究[J]. 古地理学报, 3(2): 72-81.
- 覃建雄, 夏竹, 田景春. 2003. 西昌复合盆地层序界面研究及意义[J]. 地球学报, 23(2): 10-18.
- 覃建雄, 陈洪德, 田景春. 2004. 层序成因动力学中的构造因素研究[J]. 古地理学报, 6(1): 10-18.
- 覃建雄, 韦跃龙. 2005. 层序成因动力学参数类型及意义[J]. 地球学报, 26(6): 499-505.
- 丘东洲. 1989. 中国西北地区石炭纪沉积盆地分析[J]. 沉积与特提斯地质, 14(4): 8-14.
- 徐国强. 2005. 中伊朗盆地卡尚地区库姆组层序地层研究[J]. 矿物岩石, 24(2): 82-87.

References:

- BOSBY C. 2007. Event stratigraphy of the upper Cretaceous to lower Eocene hemipelagic sequences of the Prebetic zone (SE Spain): Record of the onset of tectonic convergence in a passive continental margin[J]. *Sedimentary Geology*, 197(1-2): 141-163.
- BOSBY C. 2007. Integrated stratigraphy from the Vallcebre basin (southeastern Pyrenees, Spain): New insights on the continental Cretaceous? Tertiary transition in southwest Europe[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225(2): 35-47.
- BEYDOUN E A. 1992. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—An overview. In: EINSELE G, RICKEN W, SEILACHER A. *Cycles and Events in Stratification*. Berlin: Springer-Verlag, 617-659.
- CHEN Hong-de, QIN Jian-xiong, TIAN Jing-chun. 2000. Sequence filling dynamics of the Youjiang Multiplex basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 24(2): 13-24(in Chinese with English abstract).
- FRIEDMAN S J, BURBANK D K. 2007. Event stratigraphy of the upper Cretaceous to lower Eocene hemipelagic sequences of the Prebetic zone (SE Spain): Record of the onset of tectonic convergence in a passive continental margin[J]. *Sedimentary Geology*, 197(1-2): 114-163.
- LEGRARETTA L A. 2005. Genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic sedimentary geology, 175(4): 49-72.
- GALLOWAY W E. 2006. Lower Triassic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic basin (west of Black Forest): Fluvial system evolution through time and space[J]. *Sedimentary Geology*, 186(3-4): 187-211.
- GALLOWAY W E. 2007. Sequence stratigraphic framework of Proterozoic successions in eastern Brazil[J]. *Marine and Petroleum Geology*(in Press), Corrected Proof, Available online 13 October, 15-20.

- GRAERY P A. 2007. Event stratigraphy of the upper Cretaceous to lower Eocene hemipelagic sequences of the Prebetic zone (SE:Spain): Record of the onset of tectonic convergence in a passive continental margin[J]. *Sedimentary Geology*, 197(1-2): 141-163.
- GUO Fu-sheng. 2004. Mixed Clastic and carbonate sedimentation feature and structural significance of the Outang formation of Jiangshan region, Zhengjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 26(1): 20-26 (in Chinese with English abstract).
- KRAPEZ B. 2003. Sequence stratigraphy and evolution of the Paleoproterozoic intracontinental Baker Lake and Thelon basins, western Churchill province, Nunavut[J]. *Canada Precambrian Research*, 125(1-2): 21-53.
- LEGRARETTA L A. 2005. Genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic[J]. *Sedimentary Geology*, 175(4): 49-72.
- LEGRARETTA L J. 2006. Stratigraphy and optically stimulated luminescence (OSL) dating of a Quaternary sequence along the Dong Nai River, southern Vietnam[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(1): 788-804.
- LI Si-tian. 1998. A study on sedimentary system in sedimentary basin[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology and Geochemistry*, 16(2): 6-8 (in Chinese with English abstract).
- LIU Peng-ju, WANG Cheng-wen, SUN Yue-wu. 2001. Sequence genetics and sequence stratigraphic framework[J]. *Journal of Changchun University of Technology*, 19(1): 8-16 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jian-xiong, CHEN Hong-de, TIAN Jing-chun. 2000. The sequence filling succession and paleoTethys sea reconstruction of the Youjiang basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 18(1): 18-24 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jian-xiong. 2001. A study on sequence stratigraphy as the identification indicator of sedimentary basin[J]. *Journal of Paleogeography*, 3(2): 72-81 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jian-xiong, XIA Zhu, TIAN Jing-chun. 2003. The sequence boundary and significance of the Xichang Multiplex basin[J]. *Journal of Geoscience*, 23(2): 10-18 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jian-xiong, CHEN Hong-de, TIAN Jing-chun. 2004. A study on structures in sequence genetic stratigraphy[J]. *Journal of Paleogeography*, 6(1): 10-18 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jian-xiong, WEI Yue-long. 2005. The Parameters and their significance of sequence genetic stratigraphy[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(6): 499-505 (in Chinese with English abstract).
- QIU Dong-zhou. 1989. Carboniferous sedimentary basin of North-western China[J]. *Sedimentology and Tethys Geology*, 14(4): 8-14 (in Chinese with English abstract).
- XU Guo-qiang. 2005. Sequence stratigraphy of Qum formation, Kashan region, central Iran basin[J]. *Mineralogy and Petrology*, 24(2): 82-87 (in Chinese with English abstract).

汶川地震断裂带科钻一号孔终孔

近日, 由科技部、国土资源部和中国地震局共同组织实施, 中国科学院院士许志琴担任科学钻探项目首席科学家的汶川地震断裂带科学钻探一号孔项目顺利终孔, 孔深 1201.15 米。日前, 中国地质调查局向四川省地矿局 403 地质队发来贺信, 以示祝贺。

国际地学界普遍认为, 科学钻探是研究地震机制和监测地震变化趋势的有效方法。通过科学钻探, 有可能获取地震愈合和破裂期地震摩擦热、渗透性、流体作用、应力状态等重要科学证据, 还可通过在钻孔中安放仪器监测地应力等地震信息变化。汶川地震断裂带科学钻探项目也是我国第一次在地震发生后通过科学钻探研究地震断裂和地震机理的重要工程。

据悉, 四川地矿局 403 地质队去年中标该项目后, 组建了 403 队汶川地震断裂带科学钻探一号孔项目部, 组织技术全面、经验丰富的专家参与项目, 以严谨、细致、科学的精神, 在余震不断的情况下克服重重困难, 在国内钻探专家的指导下, 采用钻探新技术、新方法、新工艺、新材料, 战胜全断层带破碎地层, 以 95.43% 的采心率, 顶角变化每百米 0.2 度的高质量, 达到地质设计要求, 为地震研究提供了良好的实物样品, 受到了首席科学家许志琴院士的高度评价。

据悉, 汶川地震断裂带科学钻探一号孔是我国第一次进行地震科学钻探。