

文章编号: 0253-9985(2004)03-0263-05

塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩 及其形成的含油气系统

杨威¹, 魏国齐¹, 王清华², 肖中尧²

(1. 中国石油石油勘探开发研究院廊坊分院天然气地质所, 河北廊坊 065007;

2. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 寒武系烃源岩是塔里木盆地主要烃源岩之一, 包括泥页岩和碳酸盐岩。泥页岩类烃源岩有机碳平均含量为 1.87%, 发育于欠补偿盆地环境, 主要分布于盆地的东部, 有效厚度 120~415 m; 碳酸盐岩类烃源岩有机碳平均含量为 0.42%, 发育于台地内的蒸发泻湖环境, 主要分布于盆地西部, 有效厚度 288~324 m。两类烃源岩形成了不同的油气系统, 盆地相泥页岩类烃源岩的油气系统以满加尔凹陷为生烃中心, 储层主要为寒武系-奥陶系碳酸盐岩和志留系、石炭系、三叠系和侏罗系砂岩; 台地相碳酸盐岩烃源岩油气系统的生烃中心可能在巴楚凸起一带, 主要储集层为下奥陶统和石炭系。

关键词: 寒武系; 烃源岩; 泥页岩; 碳酸盐岩; 含油气系统

中图分类号: TE112.115

文献标识码: A

Two types of Cambrian source rocks and related petroleum systems in Tarim basin

Yang Wei¹ Wei Guoqi¹ Wang Qinghua² Xiao Zhongyao²

(1. Langfang Branch of Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Langfang, Hebei;

2. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang)

Abstract: Cambrian source rocks, including mud shales and carbonates, are among the main source rocks in Tarim basin. The mud shales, developed in an under-compensation environment, are mainly distributed in the eastern part of the basin and have an average TOC of 1.87% and an effective thickness ranging from 120 m to 415 m; while the carbonates, developed in an intra-platform evaporative lagoonal environment, are mainly distributed in the western part of the basin and have an average TOC of 0.42% and an effective thickness between 288 m and 324 m. The two types of source rocks gave rise to different petroleum systems. The hydrocarbon generating center of the petroleum system with basin facies mud shales to be the source rocks, was located in Manjiaer sag, and the reservoirs are mainly Cambrian-Ordovician carbonates and Silurian, Carboniferous, Triassic and Jurassic sandstones; while that of the petroleum system with the platform facies carbonates to be the source rocks might be located in Bachu high and the surrounding area, and the reservoirs are mainly Lower Ordovician and Carboniferous.

Key words: Cambrian; source rock; mud shale; carbonates; petroleum system

40 多年的勘探实践证明塔里木盆地是一个大型含油气盆地, 其丰富的油气资源来源于大量优质的烃源岩, 其中寒武系烃源岩是塔里木盆地烃源岩中分布面积最广、有机质丰度较高、资源量最大的烃源岩之一, 经历过多次热演化和生烃作

用^[1-3]。已发现的轮南地区、塔北南斜坡、塔中主垒带和巴楚凸起等区域油气田中的天然气都来源于寒武系烃源岩^[1,4]。很多地质工作者对寒武系烃源岩作了大量深入的研究工作^[1-6], 其成果对全盆地的油气勘探工作起了很重要的作用。根据

基金项目: 国家“973”天然气项目(2001CB20913)

第一作者简介: 杨威, 男, 33 岁, 工程师, 石油地质学

收稿日期: 2004-01-14

烃源岩岩石类型的不同,可将寒武系烃源岩分为泥页岩类和碳酸盐岩类。两类烃源岩在特征、形成、演化和分布以及其形成的含油气系统等方面都有很大差别。在前人工作的基础上,结合最新的研究成果和勘探实践,笔者对全盆地寒武系两类优质烃源岩进行全面系统的对比分析,并对其形成的含油气系统进行了研究。

1 烃源岩特征

塔里木盆地寒武系烃源岩除塔南隆起和塔东南拗陷缺失、库车拗陷特征不明外,盆地广大地区都存在。该烃源岩距今约490~ 543 Ma,经历了多个地质时期和多期构造运动。泥页岩类烃源岩主要为页岩及薄层状具水平纹理的富生物泥岩,碳酸盐岩类烃源岩主要由泥晶灰岩、含泥灰岩和白云岩组成。两类烃源岩的颜色均为还原环境下形

成的灰黑、黑灰和棕色等,多数富含较完整的生物化石,包括薄壳底栖的生物、营浮游的生物和宏观藻类等。

泥页岩类型的烃源岩有机碳平均值为1.87%,最高值为5.89%,其中有机碳含量大于1%的源岩厚度为120~ 415 m;每吨源岩的生烃潜量($S_1 + S_2$)最大值为0.93 kg,平均值为0.15 kg;氯仿沥青“A”最大值为0.055 2%,平均值为0.031 7%;总烃含量平均值为 25.7×10^{-6} (表1)。钻遇该类源岩的井有塔东1井、塔东2井和库南1井等,如塔东2井,寒武系烃源岩有机质丰度(TOC)分布范围为0.03%~ 4.88%,一般分布在1%~ 3%,统计TOC大于0.5%的烃源岩的有效厚度为360 m,库南1井大部分样品的TOC分布在0.6%~ 2.0%(图1),其有机质类型为I型,生烃母质主要为浮游藻类^[2]。

表 1 寒武系烃源岩有机质丰度统计(平均值)

Table 1 Statistics of organic matter abundance(average) in Cambrian source rocks

地 区	岩性(样品数/个)	有机碳/ %	($S_1 + S_2$)/ kg	氯仿沥青“A”/ %	总烃/ 10^{-6}
轮台断隆	泥岩(2)	0.13	0.08	0.015	—
	碳酸盐岩(23)	0.08	0.09	0.34	—
库尔勒断鼻	泥岩(7)	1.98	0.09	0.009 5	25.7
	碳酸盐岩(10)	0.72	0.07	0.019 2	22.4
柯 坪	泥岩(2)	5.89	0.93	0.037 7	—
	碳酸盐岩(24)	0.16	0.09	0.003 2	4.0
塔 东	泥岩(18)	1.57	0.03	0.055 2	—
	碳酸盐岩(48)	0.50	0.11	0.09	155
塔 中	泥岩	—	—	—	—
	碳酸盐岩(24)	0.16	0.05	—	—
全盆地	泥岩(29)	1.87	0.15	0.031 7	25.7
	碳酸盐岩(129)	0.42	0.10	0.013 7	94.1

注:数据主要来源于参考文献[5]

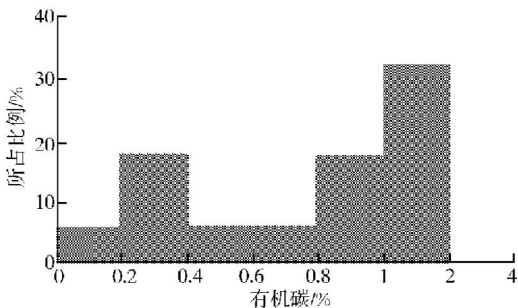


图 1 库南1井寒武系有机碳含量直方图
Fig.1 Histogram of TOC in Cambrian source rocks in Kunan 1 well

碳酸盐岩类烃源岩有机碳平均含量为0.42%,最高值为2.53%,有机碳含量大于0.2%的烃源岩累计厚度为288~ 324 m; $S_1 + S_2$ 最大值为0.11 kg,平

均值为0.10 kg;氯仿沥青“A”最大值为0.34%,平均值为0.013 7%;总烃含量平均值为 94.1×10^{-6} (表1)。钻遇该类源岩的井有和4井和方1井等,和4井有机碳含量分布于0.21%~ 2.14%,平均值为0.81%,TOC大于1%的烃源岩的厚度为108.5 m(图2),有机质类型以I型为主,生烃母质主要为耐盐浮游藻类^[2]。

这两类源岩在中低演化阶段(R_o 小于1.5%)时以生油为主,但在近地质时期具有较高的成熟度,则主要以生成天然气为主,成为重要的气源岩。如塔东地区的泥页岩类源岩的 R_o 值为1.8%~ 3.6%,相当于干气阶段;巴楚地区碳酸盐岩类源岩的 R_o 值为1.85%~ 2.4%,也相当于生干气阶段,局

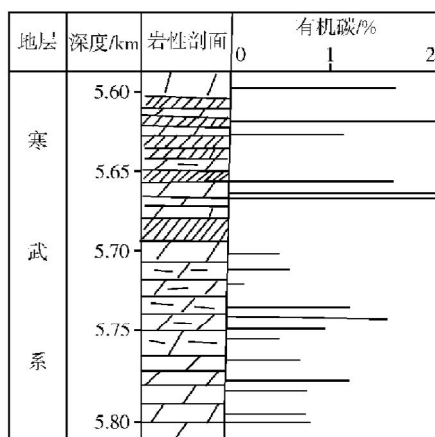


图2 和4井寒武系地球化学剖面图

Fig. 2 Geochemical profile of Cambrian source rocks in He 4 well

部区域成熟度稍低,处于生凝析气和湿气阶段。

2 形成环境

寒武纪,塔里木盆地处于被动大陆边缘演化渐趋成熟阶段^[2],古地势、古水深分别具有自现今盆地中央向四周缓缓降低、水体渐深的特征,形成盆地中央主要为巨厚的碳酸盐岩建造,向四周沉积速率减低而为欠补偿盆地形成的泥岩、泥灰岩、页岩沉积,即沉积相具有碳酸盐台地与欠补偿盆地的分异。其中泥页岩类烃源岩是欠补偿盆地的产物,而碳酸盐岩类烃源岩是碳酸盐台地的产物。

形成泥页岩类烃源岩的欠补偿盆地环境是高有机质丰度的源岩发育的最佳场所,因为该环境生物链短,水体清澈、温暖,沉积速率缓慢,海水透光性好,有利于浮游生物发育,水体分层而使海底缺氧并富集 H_2S 和 CH_4 ,从而使表层海水中的浮游生物呈“海雪”式降落而完好地保存下来。该环境水体较深而对海平面升降变化不敏感,故所形成的源岩具有厚度大、有机质丰度高且较为均一的特点。

碳酸盐岩烃源岩主要发育于碳酸盐岩台地内的蒸发泻湖相,源岩分布面积达 $19 \times 10^4 km^2$,高有机碳层段累计最厚达百米,并夹于以石盐为代表的高级别蒸发盐岩中,属比较典型的被动大陆边缘型蒸发沉积建造。这类高有机质丰度烃源层的形成,又分别与海水温度急剧变暖所导致的生物大量灭绝及这种水温变化所引起的水体分层、缺氧等灾变事件有关^[6,7]。

3 分布规律

寒武系烃源岩的形成和特征与其沉积环境关系密切。寒武纪,塔里木盆地可分为台地相和盆地相两大沉积体系。其中碳酸盐岩类烃源岩主要产于台地相中的蒸发泻湖相,泥页岩类烃源岩主要产于盆地相(图3)。

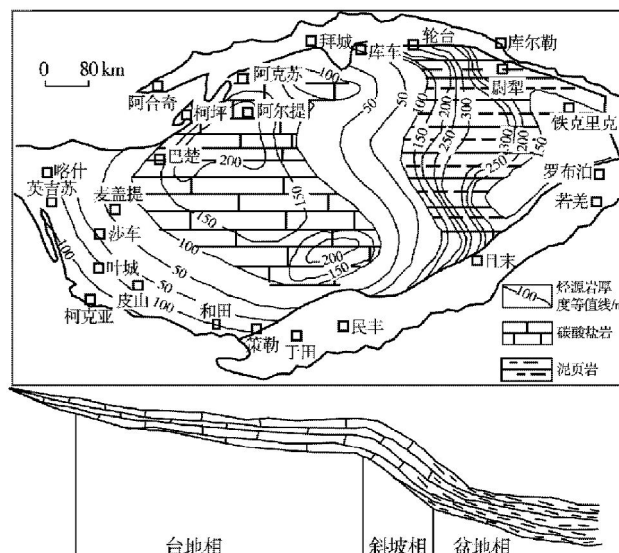
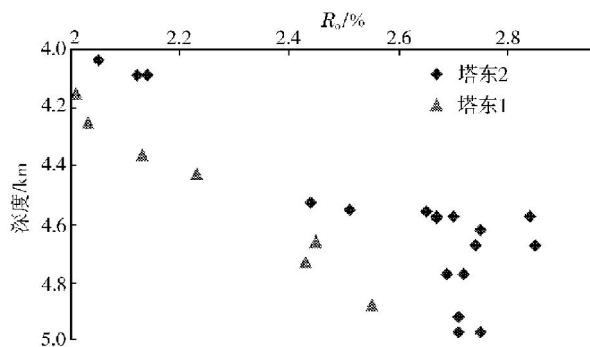


图3 寒武系优质烃源岩分布图

Fig. 3 Distribution of Cambrian good source rocks

盆地相泥页岩类烃源岩主要分布在塔里木盆地的东部(图3),有机质丰度较高,大部分样品有机碳含量大于1%(表1),厚度在120~415 m,平均为260 m。该套烃源岩目前处于过成熟阶段,以产干气为主。由其烃源岩演化史(图4)可知,在加里东期该套烃源岩处于生油高峰期,油源对比表明,志留系大面积分布的沥青主要来源于该套烃源岩^[2]。

图4 泥页岩类烃源岩 R_o 值随埋深变化(塔东1,2井)Fig. 4 R_o vs depth of mud shale source rocks (Tadong1 and 2 wells)

台地相碳酸盐岩类烃源岩主要产于局限台地内的蒸发泻湖相,蒸发泻湖有机相由于处于相对闭塞、滞流的深水沉积环境,因而烃源岩的有机质丰度较高。该相带分布于塔里木盆地西部(图 3),有机碳含量在和 4 井区平均值为 1.24%。目前,烃源岩处于高-过成熟阶段,产物为凝析油、湿气和干气,推测它在地质历史时期以生油为主。

开阔台地相烃源岩发育于半氧化-半还原环境,造成其有机质丰度低,如塔中 1 井寒武系碳酸盐岩有机碳含量平均值仅 0.13%。鉴于碳酸盐岩生油下限值应当与泥岩相当^[8,9],因而它显然不能归入有效生油岩范畴。

4 演化

根据全盆地寒武系残余地层厚度,结合构造演化史,估算各期不整合所造成的剥蚀量,得到各地层单元的残余厚度及相应的剥蚀厚度,在此基础上,结合实测的 R_o 值,可以估算寒武系烃源岩的热演化情况。寒武系碳酸盐岩烃源岩在玛扎塔格构造带南北两部分演化程度有差别^[9,10],在奥陶纪末期大部分区域尚未进入生烃门限;到志留纪末期,北部的区域达到成熟阶段,南部的大部分区域尚未成熟;在泥盆纪末,北部区域有部分已经进入高成熟阶段,南边全部进入生油门限,故该区在晚加里东期-早海西期应是主要的生油期;石炭纪末期,北部区域进入高成熟阶段,南部的成熟度继续加大;至二叠纪末期,北部区域寒武系烃源岩进入凝析油气生成阶段;现今寒武系烃源岩除北部区域小部分进入过成熟阶段之外,大部分区域仍处于高成熟阶段晚期,为生干气阶段(表 2)。

表 2 寒武系碳酸盐岩烃源岩热演化数据表^[8]

Table 2 Thermal evolution data of Cambrian carbonate source rocks^[8]

时 代	R_o / %	
	玛扎塔格南部	玛扎塔格北部
奥陶纪末	0.45~0.50	0.6~0.7
志留纪末	0.50~0.60	0.9~1.1
泥盆纪末	0.60~0.80	1.6~1.8
石炭纪末	0.65~0.80	1.7~1.8
二叠纪末	1.00~1.20	1.8~1.9

泥岩类烃源岩在晚奥陶世末期已有 60% 的源岩进入成熟和高成熟期,其中塔东和塔南地区普遍进入成熟阶段,小部分进入高成熟阶段;在早古

生代末,30% 以上的区域处于高成熟和过成熟阶段;晚古生代末期,60%~80% 的区域处于高成熟和过成熟阶段;现今,全区普遍处于高成熟和过成熟阶段(图 4)。

5 含油气系统

含油气系统是利用油源对比追踪技术、烃源岩生烃潜量指数、油气圈闭成因及有效性研究、油气运移聚集机制和油气系统模拟研究等关键技术,通过多学科综合研究,指导油气勘探。在盆地各勘探阶段,含油气系统的理论和方法都可得到应用^[12~14]。塔里木盆地以寒武系烃源岩为主的油气系统经历了复杂的演化史,因此油气分布很复杂^[4,8]。根据寒武系烃源岩的分布特征,在平面上,全盆地可以划分出两个含油气系统:盆地相泥页岩类烃源岩油气系统和台地相碳酸盐岩烃源岩油气系统。

盆地相泥页岩类烃源岩油气系统以满加尔凹陷为生烃中心,已发现油气的储层主要为寒武系-奥陶系碳酸盐岩和志留系、石炭系(主要为东河砂岩)、三叠系和侏罗系砂岩(图 5)。该烃源岩经历了晚加里东期、晚海西期、燕山期和喜山期 4 个成藏阶段,导致沥青砂、干沥青、重油藏、油藏、凝析油气藏和干气藏等各种相态油气藏的形成和分布。晚加里东期形成的油气藏可能都已破坏,是本系统的主要成藏期,形成塔中和塔北大面积分布的志留系沥青砂岩,目前已在塔中地区志留系中发现商业油气流,在塔中 45 井周围及跃南 1 井-羊屋 1 井一线以南可能仍存在正常原油储集区。晚海西期是该系统现存海相原生油藏的主要形成期,塔中地区的大部分油藏、英买力奥陶系油藏、东河砂岩油藏及哈得 4 井 C_{III}油藏等都可能是这一阶段的产物。燕山期是该系统一次调整和再成藏的重要时期,轮南奥陶系的部分油藏可能是这一阶段形成的。喜山期是该系统气藏形成和油藏调整的重要时期,满加尔凹陷内寒武系烃源岩以产干气为主,对塔中和塔北已形成的油气藏发生气洗和气侵,如吉拉克干气藏等。因此,盆地相泥页岩类烃源岩油气系统有晚加里东期、晚海西期、燕山期和喜山期 4 次成藏,其中晚海西期和喜山期为其关键时刻(图 5)。

巴什托普背斜油气藏、山 1 井气藏与和田河气田的地球化学研究表明,油气源来自寒武系台地

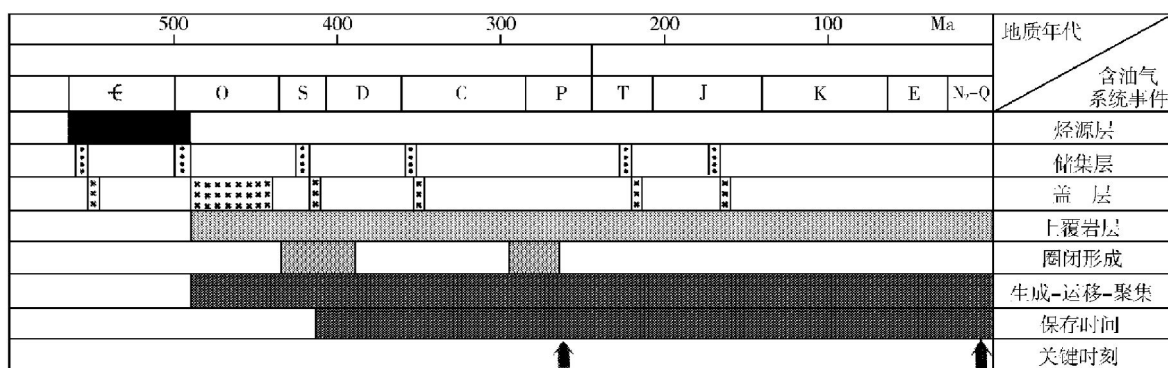


图5 盆地相泥页岩类烃源岩油气系统事件图

Fig. 5 Events of petroleum system with basin facies mud shales to be the source rocks

相烃源岩^[1], 是寒武系台地相碳酸盐岩烃源岩油气系统的产物^[15]。该系统的生烃中心位于巴楚凸起, 主要储集层为下奥陶统和石炭系。晚加里东期, 该类烃源岩大部分进入生油高峰, 产生的原油通过断层进入奥陶系储层中聚集成藏, 巴什托普背斜中原油主要在这一时期充注。晚海西期由于火山活动, 该系统进入生凝析气阶段, 但圈闭不稳

定, 没有大规模成藏, 但对早期奥陶系油藏有调整。喜山期由于挤压作用和前陆盆地的形成, 导致区域背景由北倾变为南倾, 寒武系烃源岩进入过成熟热演化阶段生成干气, 并沿断层向上运移聚集, 在奥陶系和石炭系储层中形成和田河气田、山1井气藏等。因此, 该系统成藏的关键时刻是晚加里东期和喜山期(图6)。

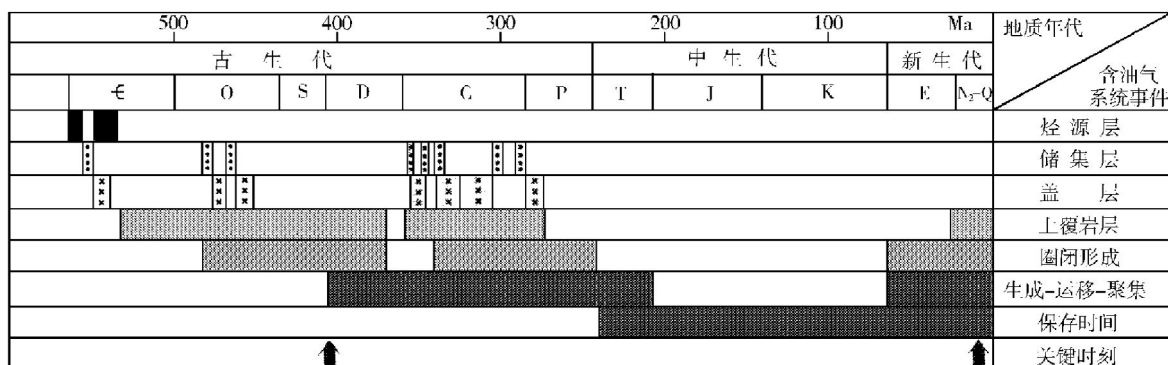


图6 台地相碳酸盐岩烃源岩油气系统事件图

Fig. 6 Events of petroleum system with platform facies carbonates to be the source rocks

参 考 文 献

- 赵孟军, 张水昌. 塔里木盆地天然气成因类型及成藏条件[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(2): 27~ 31
- 张宝民, 赵孟军, 肖中尧, 等. 塔里木盆地优质气源岩特征[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1): 33~ 37
- 徐旭辉. 塔里木古生代原型盆地分析的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 224~ 228
- 吕修祥, 胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 288~ 293
- 赵靖舟. 塔里木盆地北部寒武-奥陶系海相烃源岩重新认识[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 117~ 124
- 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相烃源岩[J]. 自然科学进展, 2001, 11(2): 261~ 268
- 余晓宇, 施泽进, 刘高波. 巴楚-麦盖提地区油气成藏的输导系统[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 346~ 350
- 张宝民, 肖中尧, 赵孟军, 等. 塔里木盆地寒武-奥陶系烃源岩特征及其发育的控制因素初探[A]. 见: 王宜林. 第五届全国沉积学及岩相古地理学学术会议论文集[C]. 新疆乌鲁木齐: 科技卫生出版社, 1997. 108~ 114
- 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~ 38
- 王飞宇, 边立曾, 张水昌, 等. 塔里木盆地奥陶系两类生烃母质[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(2): 96~ 102
- 周新源, 贾承造, 王招明, 等. 和田河气田碳酸盐岩气藏特征及多期成藏史[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊): 131~ 136
- 宋国奇. 成藏理论研究中的系统论——从含油气系统谈起[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 111~ 115
- 贾庆素, 周庆凡. 塔北地区含油气系统[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 103~ 105
- 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1~ 8
- 夏新宇, 曾凡刚, 洪峰. 中国陆表海碳酸盐岩有机质的生烃潜力[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 287~ 292