

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

鄂尔多斯盆地奥陶系丘形反射的解释及其与礁的关系

蒲仁海

徐怀大

(西北大学地质系,西安,710069) (中国地质大学能源地质系,北京,100083)

内容提要 鄂尔多斯盆地 T_9 — T_{10} 地震反射波组之间的奥陶系碳酸盐岩中存在着许多丘形反射,其中一部分属于以藻类生物为主的藻丘类型,一部分为东部盐凹中的盐丘,一部分为奥陶系顶古风化壳残丘,其它丘形反射为绕射波、回转波、或者为地表静校不当引起的假象。奥陶系的礁丘一般规模很小,岩性以粘结岩为主,其孔隙发育好坏同风化残丘一样,主要取决于次生溶蚀作用。但礁丘生长过程中由于受海面波动影响,曾发生过多次暴露,形成多期溶孔。礁丘和古残丘都是寻找油气的较有利地带。

关键词 礁丘 盐丘 风化残丘 礁演化 奥陶系 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地 T_9 — T_{10} 地震反射波组之间为分布广泛的下一中奥陶统碳酸盐岩,厚300~800 m±。其下伏寒武系台地碳酸盐岩及陆缘碎屑岩地层,厚300~500 m±;上覆太原组—山西组(C_3t — P_{1s})海陆过渡相碎屑岩及煤系,厚200~300 m±。盆地内缺失志留系、泥盆系和部分下一中石炭统,在奥陶系顶形成一个经过长期风化淋滤的区域性平行不整合。在测网密度为1 km×1 km~4 km×4 km的许多地震剖面上,存在着大量的奥陶系碳酸盐岩丘形反射。它们是否代表生物礁的反射以及含油性如何?这是许多地质和地球物理工作者极为关心且有较大分歧的问题。其焦点在于:①从全球古生物演化来看,奥陶纪的生物是否具有生成礁的能力以及奥陶系的礁有何特点;②从礁与古地理环境的关系来看,鄂尔多斯的古地理背景是否具有利于礁发育的生态环境;③这些碳酸盐丘形反射是否具有其它多种成因。本文在前人研究的基础上,力图对这三方面的问题作一探讨,并对这些碳酸盐丘形成油气藏的可能性进行分析。

1 前寒武纪—奥陶纪礁的演化与特征

有人怀疑早奥陶世可能还没有形成礁的生物类型和环境条件。实际上礁早在古一中元古代就有形成。在加拿大、中国新疆柯坪等许多地方,元古宙的叠层石相当发育。在寒武纪和早古生代,叠层藻形成的礁给人很深的印象,这些叠层藻组合,在剖面上形成一个显著的凸起,从地貌上看酷似以后地质时期的骨架礁。

据 James 报道^[1],早寒武世的礁,更准确地说生物丘,发现于西伯利亚地台最早的寒武系中,它甚至比三叶虫出现得还早。这些直径只有数米的小岩隆主要由灰泥和钙藻组成。古杯轴珊瑚是这些丘中最突出的生物碎屑成分,其次有棘皮类、腕足类和软舌螺类的碎屑围于丘的周围。许多小的生物丘可以叠置成一个较大的生物丘。

随着古杯轴珊瑚在早寒武世末期的绝灭,礁丘就失去了它的主要骨骼成分。因而中寒武世

的礁以藻礁为主。

晚寒武世—早奥陶世又有越来越多的有骨骼无脊椎动物出现,使得以藻类为主体的礁逐渐多样化了。这时比较重要的造礁生物有石海绵、似层孔虫、后生动物、粗枝藻等,有时还有原始珊瑚^[2~4]。早奥陶世以后的礁,由于各种复杂生物组合的出现,开始显示出良好的垂向和侧向生态分带性。

中奥陶世珊瑚、层孔虫的出现使骨架礁逐渐繁盛起来,直到志留纪泥盆纪达到了礁的鼎盛时期。

总结世界各地前人的研究成果^[4~8],早—中奥陶世的礁有以下几个特点。

(1)多数个体较小,厚度仅数米至数十米,仅少数达数百米以上。形态多为圆形、卵形等。

(2)单个礁丘中后生动物的含量可达40%~70%,类型多为石海绵,次为腕足类、三叶虫、苔藓虫、腹足类等。无论在丘内主体基质中还是在丘底部及两翼的碎屑颗粒灰岩中都含有丰富的棘屑及骨架藻,骨架藻包括美丽叠层藻(*Pulchrilamina*)、附枝藻(*Epiphyton*)、小球藻(*Renalcis*)、柱状分枝藻(*Nuia*)等。骨架藻的主要造丘作用是粘结及固定其它生物和沉积物,故礁丘的主要岩性为粘结岩,丘的底部一般为漂砾灰岩(float stone)或砂屑灰岩。

(3)一个小生物丘自底至顶的发育一般对应于海面下降过程,或者对应于由潮下环境开始生长—潮间环境达到顶界的过程。它们的生长受海面升降控制,多次海面升降旋回形成多个小生物丘的叠加。每次海平面下降后,礁丘被暴露遭受剥蚀在丘翼形成侵蚀谷,后期的海面回升又使这些河谷被骨屑灰岩或砂屑灰岩充填。

(4)礁丘一般在大陆边缘比较发育。但中奥陶世初期,许多大陆边缘遭受大陆碰撞和造山运动的破坏^[1],同时在大陆上的克拉通内部形成拗陷的某些部位,也具备了类似陆架边缘环境,适于礁生长,因此造成了礁在盆地内部的发育。如北美、西欧、北非及澳大利亚等地,都在此时形成了人们了解得较清楚的生物丘。

(5)奥陶纪的生物丘在纵向上已具较明显的分期性。Clappa^[4]和 James^[1]将其分为4期。①拓殖期:富含棘屑的砂形成丘的基底;②单殖期:丘仅以单枝或分枝的古杯海绵开始生长;③群殖期:各种环形、漏斗形、半圆形块状的石海绵(包括古环海绵、始海绵、管筒海绵、花瓣海绵等)同腕足类和具分枝结壳功能的苔藓虫一起形成单个丘的主体;④终殖期:枝状和杯状海绵在丘的较高部位表面形成坚硬的壳。

关于中国奥陶系礁的正式报道较少,新疆西北石油地质局翟晓先和贵州省05工程处周棣康等人在新疆巴楚地区野外露头的下奥陶统中,发现了海绵—藻礁^①。延伸长 >300 m,高 >80 m,内部除不到30%的孤立零星的骨骼海绵外,基质多由灰泥组成,属粘结岩礁。黄志诚等^[9]在下扬子地区多次发现晚奥陶世的礁,产于三居山组灰岩中,由丛状藻、苔藓虫、珊瑚、层孔虫等生物建造而成。

在鄂尔多斯盆地,于铜川黄堡、耀县等地发现有奥陶系的生物礁^[10],为丘形的珊瑚、层孔虫骨架礁,高度和宽度仅数十米。另外见许多宽百余米、高数十米的灰泥丘。钻井中也存在一些有关礁的证据。如打在地震丘形反射翼部的伊25井(图1)钻遇了礁丘底部和侧翼较为发育的残余砾屑粉—细晶白云岩,和丘内不含泥质而富含各种藻类(附枝藻、葛万藻、颗粒藻)^[11]的纯结晶碳酸盐岩。它们在自然伽玛曲线上出现极低值,电阻率曲线上出现高异常值。

① 翟晓先等. 新疆柯坪巴楚地区古生界沉积相研究. 1988.

在有关奥陶系礁的文献中,不同作者对他们所看到丘形体有不同的提法,如藻礁(algal reef)、礁丘(reef mound)、丘(mound)、生物丘(bioherm),但都是把它们归于生物礁或岩隆(buildup)这一范畴来讨论的。地震剖面上发现的碳酸盐岩丘在不知其确切成因以前,暂称为岩隆较合适。

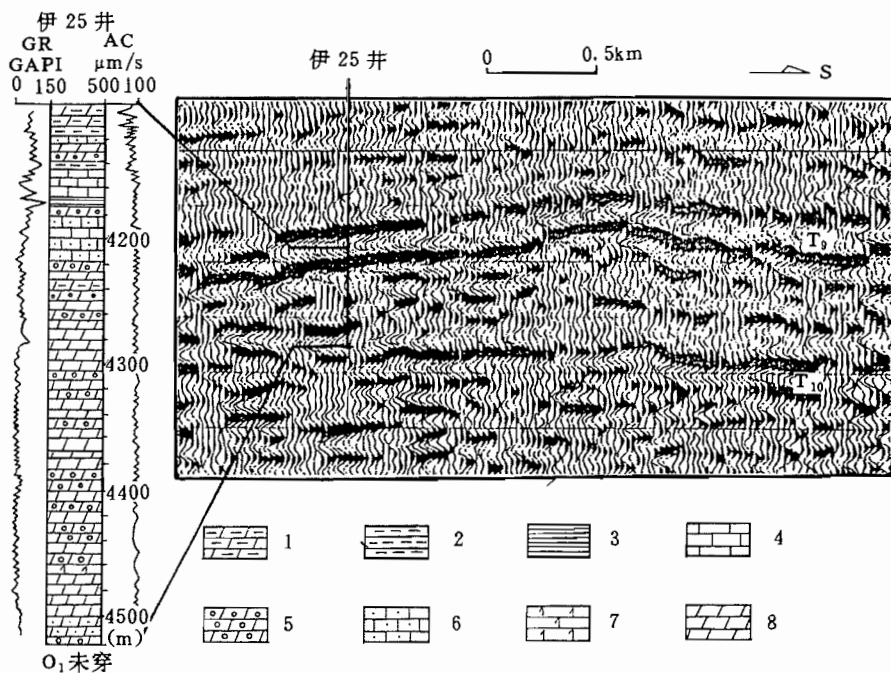


图1 丘形反射与内部岩性

Fig. 1 A mound reflection and its interior lithology

1—泥云岩;2—泥岩;3—页岩;4—藻灰岩;5—残余砾屑粉细晶云岩;6—砂屑灰岩;7—云灰岩;8—藻云岩
1—Muddy dolomite; 2—mudstone; 3—shale; 4—algal limestone; 5—powder to fine crystalline relict dolerudite;
6—calcareneite; 7—dolomitic limestone; 8—algal dolomite

2 奥陶纪古地理背景和丘形反射的分布

根据冯增昭^[12]、刘文均等人先后对鄂尔多斯奥陶纪沉积相与岩相古地理的研究,结合古构造对古地理及生物礁发育的控制以及地震相等研究成果^[13]^①,可将鄂尔多斯奥陶纪的古地理面貌自西向东分为贺兰山坳拉槽带、西缘缓坡陆棚带、中央低隆带、东部局限台地带(图2)。在盆地中部至北部,各相带大致呈南北向展布。

贺兰山坳拉槽带:主要为半深海斜坡相,岩性有滑塌大角砾碳酸盐岩^[14]、浊积岩、块状白云岩夹灰岩、粉砂质泥页岩等。奥陶系最大厚度可达2000 m。

西部缓坡陆棚带:界于贺兰山坳拉槽与中央隆起带之间,为一向西缓倾的浅海陆棚相,由西向东厚度渐小。该带的地震振幅连续性比中央隆起带之上变强、频率也变高,二者之间有一隐伏的同生断裂,起着枢纽作用,将此带与中央隆起带分开。

① 刘景平. 鄂尔多斯早古生代沉积发育特征和区域构造轮廓. 陕甘宁石油普查通信, 1987, 25: 1~17.

中央隆起台地边缘相带:该带大致分布于庆阳、环县、盐池、布里克、布仑庙一带,南部东捌向黄陵方向延伸,地震剖面上有隐约的丘形(原始的灰岩丘形反射被白云岩化所造成的振幅减弱而模糊了)^①。丘形反射的东侧有自西向东的前积反射。据该区钻井和桌子山露头岩性观察,该带主要发育了砾屑细晶白云岩、泥晶灰岩、藻灰岩等,多是一些与藻礁及附近相带有关系的岩性。

东部半局限—局限台地相:

地震上为乱岗平行反射相区。平行反射代表台地内部潮坪体系特征,乱岗反射(变振幅微波状不连续)则反映了不均匀的白云化特征。向西次生白云化增强乱岗结构突出。向东准同生白云岩增多,次生白云岩减少,并出现潮上带膏云岩或膏盐岩,使地震振幅增强,平行结构显著。

丘形反射在中央隆起台地边缘相分布较多较集中外,在其它地区也有零星分布。

3 丘形反射的类型与解释

(1)与礁有关的反射:通过前面的讨论,可以看出奥陶系形成礁的可能性是存在的。对于碳酸盐岩隆的反射与识别特征,Bubb 和 Hatlelid^[15]、周长祥^[16]已总结过。在鄂尔多斯盆地有6个与奥陶系礁有关的反射标志,分别为丘形及顶部披盖、厚度加大、两侧上超、低速眼状效应、内部反射变弱或空白、平顶礁等(图3,4)。

在某些高分辨率剖面上,还可见礁的多期生长(图5)。这些礁丘反射多位于 T₉ 不整合面之下,宽度一般小于1 km,大者宽3~4 km,丘中心的地层时间厚度一般比两侧多出 50ms±、约 100 m±。这一规模尽管不算太小,但比露头的藻丘一般要大,其原因可能是地下所见丘较完整,并呈多期叠加,这一现象在地表由于出露有限而难以观察到。

钻井中由于取心较少,还没有找到有骨架生物组成的丘,而以丘底常见的砾屑灰岩和丘内的粘结灰岩的藻丘为主,如前述伊25井所钻的丘(图1)。与礁丘有关的反射沿中央隆起带较为发育。

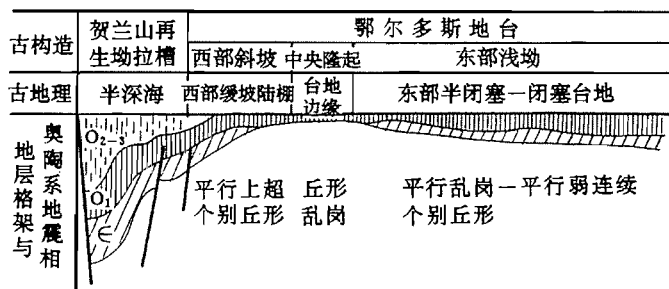


图2 鄂尔多斯盆地奥陶系古构造、古地理格架及地震相特征

Fig. 2 Ordovician paleotectonic and paleogeographic architecture and seismic facies, Ordos basin

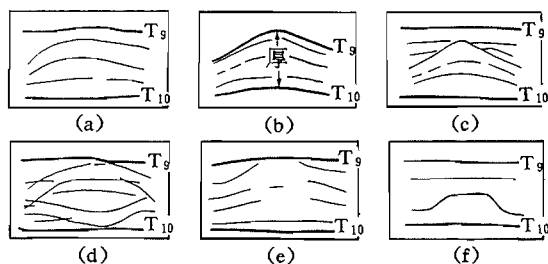


图3 礁丘反射类型示意图

Fig. 3 Reflection types of reef mounds

a—披盖;b—厚度加大;c—两侧上超;d—低速眼状效应及邻侧不规则干涉与绕射;e—内部反射空白或杂乱;f—平顶礁反射
a—Drape; b—thickness accretion; c—flank onlap; d—eye-shaped reflection caused by low velocity and adjacent irregular interference and diffraction; e—interior void or chaos reflection; f—flat-top reef

① 方丹 J.M. 碳酸盐岩环境地震地层学. 何庆先译. 国外地质科技, 1989, (5): 85~92.

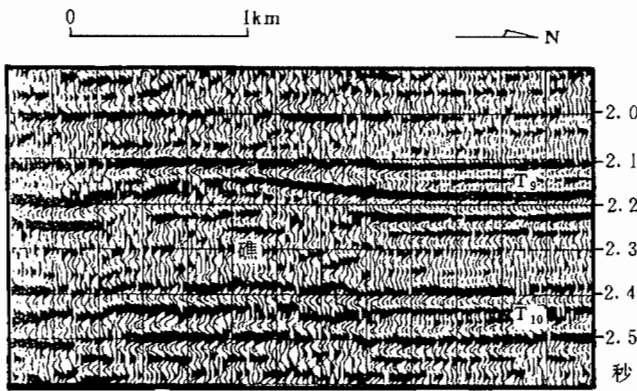


图4 布仑庙地区85-4-200测线上的礁丘反射，
底平上凸，顶有披盖上超，内部反射变乱

Fig. 4 A reef mound reflection on line 85-4-200 in Bulunmiao area, showing the characters of convex shape with flat bottom, drapes and onlaps on its top and interior chaos reflection

加剖面或偏移后没有被完全归位的剖面上，奥陶系顶不整合的某些岩性突变点处会形成一些丘形绕射波，或在曲率较大的低洼部位会形成回转波。当偏移较彻底时，它们会消失。因此这类丘形反射应是一种非地质现象^[17]。

(5) 静校不当形成丘形反射假象：在鄂尔多斯盆地尤其是南部的黄土地区，表层低速带厚度变化复杂。在低速带厚度减薄处，如果得不到适当的静校正，会导致深部地层的反射时间变小，形成一个丘形假象^[18]。这种假象容易被地质人员误认为低幅度构造。无论是在中日联合勘探的地震测线上，还是地质矿产部第三石油普查大队或长庆油田的测线上，都存在着这类丘形反射的假象。解释时应参考地表因素的变化注意对它们的识别。

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地奥陶系的丘形反射，至少有一部分属于以藻类生物为主的礁丘。其类型多相当于范嘉松所提的灰泥岩隆礁^[19]，它们沿中央隆起带较发育。由于丘的宽度一般不到1 km，生物骨架孔也不发育，因此形成礁油气藏的潜力不大。但许多礁丘在其生长期间和生长之后的奥陶纪末期直至石炭纪以前，均具备凸起地形特点。除顶界外，其内部也在海面升降的控制下出现过长期暴露淋滤和溶蚀。因此与其两侧位置相比，某些礁丘的次生溶蚀孔隙应具有变好的趋势。这一孔隙发育特征可以通过制作解释 G-log 反演和层间差异速度分析识别出来。多期性则可从某些井的取心薄片上呈现的多期溶蚀现象看出。伊25井岩心上有大的这种溶蚀孔，而孔率最大达20%以上，孔径可达1~5 mm，两次溶蚀较多见。该井有气显示异常，但无工业产能，也可能是由于井位距礁丘高点太远所致。就目前所知，全球仅在瑞典的波罗的海盆地地下奥陶统礁灰岩中见油，且产能低，日产仅数吨，钻井成功率也低^[20]。

(2) 位于 T₉ 波组附近的与奥陶系顶风化壳有关的古残丘，是一种较好的成藏环境。其孔隙性在风化壳附近发育较好，向下则会变差。目前长庆油田在盆地中部这种风化残丘中找到了与溶蚀孔和白云化晶间孔有关的天然气^[17]。但不能排除其中的某些丘也可能为礁丘成因。这些丘形体之上有太原组—山西组的煤系作为油气源岩层和盖层^[21]，下伏的奥陶系也具有一定的

(2) 盐丘：在东部盐凹中，有些小型低幅度丘形反射经钻井证实属于盐丘^[17]。

(3) 奥陶系顶不整合面风化残丘：这类丘形反射的特点是丘顶与 T₉ 波组重合，某些较大的残丘内部近水平的地层反射的两侧被不整合削截。由于成岩期白云岩化使整个碳酸盐岩地层反射振幅总体变弱，所以在地震剖面上某些小型低缓的古残丘与礁丘不易区别。但这种古残丘是确实存在的，古残丘的分布因受风化壳在暴露期间古水流系统的控制，古水流形成的侵蚀谷地之间即为古残丘。

(4) 绕射波和回转波：在水平叠

生油能力^①,因此它们成为目前勘探的重点对象。

(3) 奥陶系碳酸盐岩在我国北方分布广泛,它们具广阔的找油前景和研究价值,其中生物丘与油气生、储、聚集之关系的研究应是一个重要的方面。在陕西铜川平凉组(O₂p)和内蒙古乌海桌子山地区的桌子山组(O₁z)等露头可见许多这种以灰泥为主的生物丘,其内有大量的藻类(蓝绿藻)。但目前国内对这些丘中造丘生物的属种、造丘机制等方面的认识还不够,尚需古生物学及沉积学专家进一步研究。

本文的完成受到了地质矿产部第三石油普查大队戈复兴、蒋旭民、赵建设、刘永富、景东民和长庆油田吴紫电、王大兴、张军、于忠平,中国地质大学蒋泰然、刘金辉等人的大力支持和帮助,特此致谢。

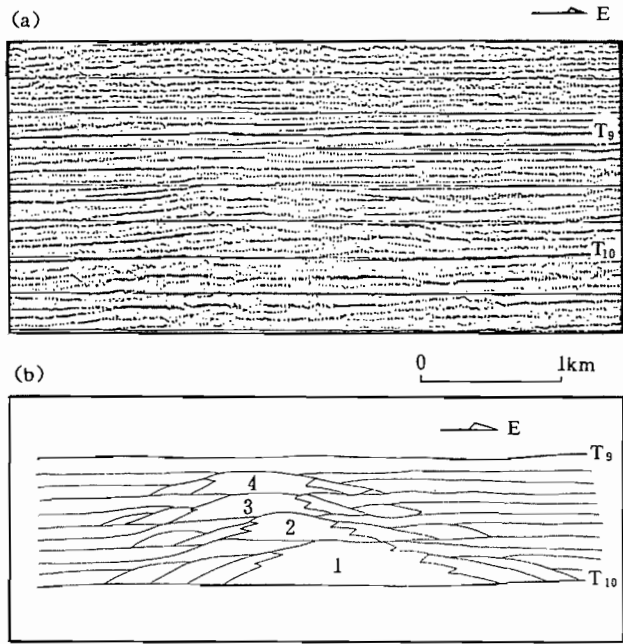


图5 高分辨率地震剖面上礁的多期叠加反射及地质解释
Fig. 5 Reflection of a reef having grown four stages on a high-resolution seismic profile and its geological interpretation

a—原始地震剖面; b—四期生物丘发育的解释
a—The original seismic profile; b—the interpretation of a bioherm of four stages

参 考 文 献

- 1 James N P. Reef environment in carbonate depositional environment. In: Scholle P A, Bebout D G, Moore C H. eds. AAPG Mem. , 1983, 33: 345~462.
- 2 Toomey D F, Ham W E. Pulchrilamina, a new mound-building organism from lower Ordovician rocks of west Texas and Southern Oklahoma. Journal of Palaeontology, 1967, 41(4): 981~987.
- 3 Riging R, Toomey D F. The sedimentological role of Epiphyton and Renalcis in lower Ordovician mounds, southern Oklahoma. Journal of Palaeontology, 1972, 46(4): 509~519.
- 4 Klappa C F, James N P. Small Lithistid sponge bioherms, Early Middle Ordovician Table Head Group, Western Newfoundland. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1980, 28(3): 450~451.
- 5 Ross R J, Ingham J K. Distribution of the Toquima Table Head (Middle Ordovician whiterock) Faunal realm in the northern hemisphere; Geological Society of America Bulletin, 1970, 81: 393~408.
- 6 AHR W M. Palaeoenvironment, algal structure, and fossil algae in the Upper Cambrian of Central Texas. Journal of Sedimentary Petrology, 1971, 41(1): 205~216.
- 7 Church S B. Lower Ordovician patch reefs in western Utah. Brigham Young University Geology Studies, 1974, 21: 41~62.
- 8 Wilson J L. Carbonate facies in geologic history. Berlin: Heidelberg, New York; Springer-Verlag, 1974. 96~102.
- 9 曾鼎乾, 刘炳温, 黄蕴明. 中国各地质时期生物礁. 北京: 石油工业出版社, 1988. 4~5页.
- 10 叶俭, 杨友运, 许安东, 郑葆英, 左智锋, 周义, 李晋僧, 李钟秀, 宋国初, 雍应新, 张葆荣, 张吉森. 鄂尔多斯盆地西南缘奥

① 云琼英. 鄂尔多斯地区下古生界生油岩特征. 陕甘宁石油普查通讯, 1987, 25: 39~51.

- 陶纪生物礁. 北京:地质出版社,1995.10~39页.
- 11 余素玉. 化石碳酸盐岩. 北京:地质出版社,1981.43~64页.
 - 12 冯增昭. 陕甘宁晋及内蒙古地区奥陶纪岩相古地理新探. 地质论评,1983,29(1):17~29.
 - 13 曾鼎乾. 世界礁油气藏文献汇编.(三),上,1996.330~342页.
 - 14 蒙特乔 E W, 库克 H E. 异地碳酸盐岩碎屑流——礁组合、滩或陆棚边缘的世界性标志. 梅志超译,冯增昭校. The 24th. IGC Section, 1972. 172~189.
 - 15 Bubb J N, Hatledid W G. 碳酸盐岩岩隆的地震识别见:佩顿 C E 编. 地震地层学. 牛毓荃等译. 北京:石油工业出版社, 1977.136~141页.
 - 16 周长祥. 礁的反射特征解释. 石油地球物理勘探,1986,21(1):69~76.
 - 17 长庆油田石油地质志编写组, 中国石油地质志,卷12,长庆油田,北京:石油工业出版社,1992. 181~204页.
 - 18 李正文,赵志超. 地震勘探资料解释. 北京:地质出版社,1988.34~37页.
 - 19 范嘉松,张维. 生物礁的基本概念、分类和识别特征. 岩石学报,1985,1(3):45~56.
 - 20 甘克文,李国玉,张亮成等. 世界含油气盆地地图册. 北京:石油工业出版社,1982.46页.
 - 21 王忠和. 陕甘宁盆地煤系煤岩特征及成烃能力研究. 石油勘探与开发,1990,17(6):1~12.

Interpretation of Seismic Reflection Mounds in Ordovician Carbonate Rocks and its relation to Reefs in the Ordos Basin

Pu Renhai

(*Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi, 710069*)

Xu Huaida

(*Department of Energy Geology, China University of Geosciences, Beijing, 100083*)

Abstract

There are numerous mound-shaped reflections of Ordovician carbonate rocks bounded by T_9 and T_{10} reflection waves on seismic profiles. Some of the mound-shaped reflections belong to reef dominated by algae; some represent salt mounds or residual hills of ancient weathering crust the Ordovician; and others represent diffracted waves and pseudomorphs caused by improper static corrections of terrain or weathered depth in the processing of seismic data. The Ordovician reef mounds are generally small in size and composed mainly bindstones; so, like weathered residual mounds, their porosity development depends mainly on secondary corrosion. But reef mounds may possess a better porosity because they were exposed and eroded repeatedly in their growth under the influence of sea level fluctuation. Both the reef mounds and weathering residual mounds are favorable sites for finding oil and gas.

Key words: reef mound; salt mound; weathering residual mound; reef evolution; Ordovician; Ordos basin

作者简介

蒲仁海,男,1962年生.1983年毕业于成都地质学院石油系,1990年毕业于中国地质大学(北京)石油地质专业,获硕士学位.现为西北大学在职博士生,从事地震地层学、沉积学、石油地质方面的科研与教学工作.联系地址:710069,西安市西北大学地质系;电话:(029)8302202(办),(029)8303606(宅);传真:0086-29-8303511;电子信箱:Geology@nwu.edu.cn.