

文章编号: 1000-0550(2003)03-0423-05

塔里木盆地奥陶系生物礁露头的地球物理特征^①

罗平 张兴阳 顾家裕 汪圣国 林鹏

(中国石油勘探开发研究院 油气储层重点实验室 北京 100083)

摘要 奥陶系生物礁为塔里木盆地重要的储集层,明确露头上生物礁的内部结构及发育规模,探索露头和井下生物礁对比研究的新手段有重要意义。应用探地雷达及自然伽马能谱仪对塔里木盆地巴楚达吾孜塔格奥陶系露头进行了探测。研究表明,探地雷达剖面上多数生物礁为扁平透镜状或层状,这与露头上观察的结果有所差别;高分辨率雷达剖面揭示出较出露生物礁发育程度更大、个体更小的疙瘩状礁体或礁团块;礁体内部的分层性及礁体内部水道充填体的斜层理在雷达剖面上反映明显,雷达分辨率可达到分米级别。礁灰岩的自然伽马值高于亮晶砂、砾屑灰岩,而低于泥晶灰岩、棘屑灰岩、泥晶生屑灰岩、泥灰岩的放射性。生物礁在自然伽马曲线上表现为漏斗形、钟形或箱形;自然伽马曲线也反映出礁体内部的分层性。露头和轮南井下奥陶系生物礁的自然伽马放射性特征有一定的相似性,这为露头和井下生物礁的对比研究提供了有力的辅助手段。

关键词 探地雷达 自然伽马能谱 露头 塔里木盆地 奥陶系生物礁 储层

第一作者简介 罗平 男 1956年出生 高级工程师 沉积储层

中图分类号 P588.24⁺8 P631.3⁺25 文献标识码 A

塔里木盆地奥陶系为主要的碳酸盐岩油气产层层位,产层岩性以台地滩相灰岩及礁(丘)相灰岩为主。就轮南的油气产层而言,除两口井外,其余15口井主要产于奥陶系一间房组含礁颗粒灰岩段。此岩性段广泛分布于巴楚隆起西北和塔北隆起,且岩性、岩相极为稳定,也是最典型的区域性对比标志层^[1]。在巴楚达吾孜塔格、勒牙依里塔格至唐王城一带,一间房组含礁颗粒灰岩段出露完好,达吾孜塔格山体两侧则出露了塔里木盆地奥陶系目前发现最好的生物礁剖面。本文应用探地雷达及自然伽马能谱采集仪对奥陶系露头进行了试验性探测,以利用地球物理方法明确露头上生物礁的内部结构及发育规模,并探索进行露头和井下生物礁对比研究的有力手段。

1 地质背景

研究区为位于新疆巴楚县城东北50 km处的达吾孜塔格,构造位置上位于塔里木盆地巴楚断隆西北缘,西北和东北分别与柯坪断隆和阿瓦提凹陷毗邻(图1)。受近南北向良里塔格低角度逆冲断层影响,研究区内奥陶系地层重复迭置,出露地层包括中下奥陶统上丘里塔格群顶部、中奥陶统一间房组及上奥陶系吐木休克组和良里塔格组。一间房组从下至上可分为四个岩性段:第一段为浅灰色中层砂砾屑灰岩夹薄层泥晶颗粒灰岩;第二段含礁颗粒灰岩段,颗粒灰岩为灰色

中厚层棘屑灰岩和泥晶粒屑灰岩,发育个体较小的生物礁,也就是我们的研究对象。第三段为灰色中厚层泥晶生屑灰岩,发育燧石结核及燧石条带。第四段为灰色中厚层泥晶粒屑灰岩。

2 生物礁的探地雷达特征

2.1 探地雷达基本工作原理

探地雷达(Ground Penetrating Radar,简称GPR)或地质雷达(Georadar)方法是一种用于确定浅层地下介质分布的广谱(1MHz-1GHz)电磁技术^[2]。目前,国

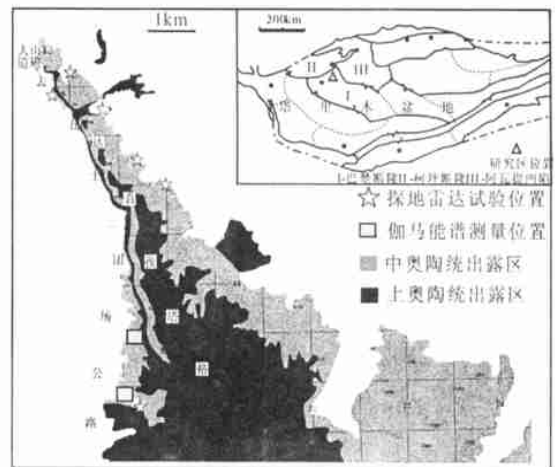


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

① 国家973项目(批准号:G1999043311)资助

收稿日期:2002-08-21

外已将探地雷达技术广泛应用于露头地质研究的多个领域,如沉积相、层序地层学、储层建模、岩溶研究及构造研究等^[3-7]。它最大的优点是能够对地下浅层进行高精度成像,分辨率可达到厘米级,探测深度最大可达到50余米。它能以与地震技术相似的方式进行地下浅层高分辨率成像,也能建立真正意义上的三维露头储层模型。

探地雷达利用一个天线发射高频宽频带电磁波,另一个天线接收来自地下介质界面的反射波。电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态而变化。因此,根据接收波的旅行时间(亦称双程走时)、幅度与波形资料,可推断介质的结构^[2]。对野外采集的数据在室内进行类似地震资料常规处理后以雷达剖面的形式显示成果,也可以进行类似地震资料特殊处理的方法进行相应的处理。

2.2 探地雷达剖面上生物礁的特征

探地雷达反射波的幅度、相位、频率等属性是电磁波所经过相邻两介质的电性质(介电常数、电导率、磁导率的差异)的表现。尽管生物礁灰岩与围岩(粒屑灰岩)之间电性差异不如砂、泥岩之间的电性差异那样明显,但生物礁内部的非成层性及杂乱状堆积在雷达剖面上有明显反映。

剖面解释时,首先选择沿露头断崖顶面的探测剖面进行解释,这样可将露头地质剖面与雷达剖面进行对比,明确各种地质现象的雷达剖面特征。如图2所示,横坐标为测量点号,点距约2cm;纵坐标为雷达波双程反射时间,单位为ns,灰岩地层约20ns相当于1m的深度。生物礁在雷达剖面上表现为内部同相轴

零乱,反射弱或无反射。而周围粒屑灰岩成层性明显。礁体与上下地层的接触界面显得零乱,而围岩层间同相轴平整连续。对雷达剖面进行初步解释后获得以下地质信息:

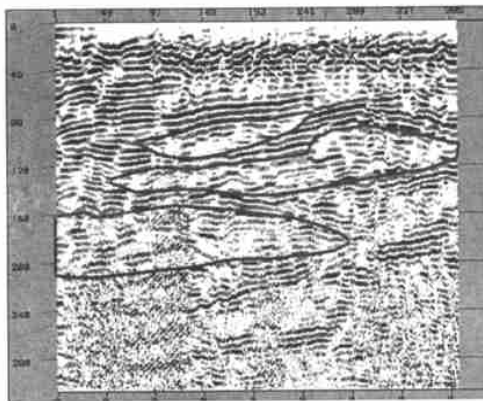
(1) 生物礁在露头上多表现为“土豆”状的短轴透镜体。由于生物礁在露头上多不可能出露完整,露头剖面上可能只是生物礁一角某个截面的一部分,并不是生物礁完整的剖面形态。雷达剖面就不受礁体出露情况的限制,选择足够长的测线,就可以反应礁体某一方向的完整剖面。而在地表进行网格化探测,就可以明确礁体各个方向上的真正剖面形态,也就能明确礁体的立体形态。探测结果表明,多数生物礁体横向厚度变化平缓,呈扁平的透镜状或层状(图2A),这与露头上观察的结果有差异。

(2) 雷达剖面上反映出比出露生物礁发育程度更大、个体更小的疙瘩状礁体或礁团块,个体厚度多为1~2m,横向延伸长度<10m。它们多分布于露头上观察到礁体的上方或侧上方,部分横向相连,纵向叠置分布(图2A),与下伏较大的礁体共同组成横向分布稳定的富礁层。

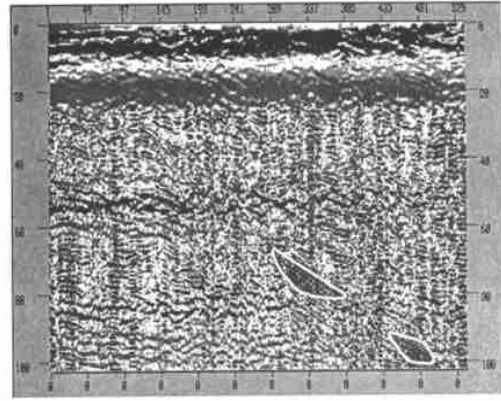
(3) 生物礁内部发育水道充填体,500MHz雷达剖面上可反映水道充填体内的斜层理,分辨率可达到分米级别(图2B)。

(4) 用500MHz中心频率探地雷达在生物礁顶面进行探测的结果表明,较大的生物礁体内部存在分层性,上下层之间存在明显的反射薄弱面(图2B),反映出生物礁生长过程的阶段性。

由此可见,探地雷达为我们进行露头生物礁研究提供了有力的辅助手段。



A. 100MHz 探地雷达剖面上生物礁特征



B. 500MHz 探地雷达剖面上反映出的生物礁内水道充填体及分层特征

图2 探地雷达剖面上生物礁的特征

Fig. 2 Characteristics of reefs in ground penetrating radar profiles

3 生物礁的自然伽马特征

3.1 露头生物礁的自然伽马特征

不同地层或岩性的放射性存在差异, 应用伽马能谱资料可进行诸如生油层研究、沉积微相研究、泥质含量的求取等多方面研究。应用成都理工大学核技术实验室研制的野外自然伽马能谱数据采集仪, 对研究区下奥陶统顶部至上奥陶统底部露头进行了探测, 重点在于查明露头上生物礁的自然伽马能谱响应样式。

采集仪分为主机及探头两部分, 一人可以进行操作。选择 100s 的探测时间窗, 采集了岩石中伽马射线脉冲的总计数量、铀计数量、钍计数量和钾计数量。经对达吾孜塔格山体西侧 1 号山谷(DWV1)和 4 号山谷(DWV4)奥陶系露头剖面的伽马能谱探测, 得出以下

认识:

(1) 对 134 个探测点 536 个数据的分析表明, 不同岩石类型的伽马能谱计数率存在差异。根据野外观察及室内 70 片薄片的鉴定资料, 可在探测区下奥陶统顶至上奥陶统底区分出 7 种主要岩石类型。如表 1 所示, 为不同岩石类型伽马能谱探测结果统计表。野外探测时, 尽量选择在探测点处采集薄片样品, 以确保岩性—电性对比统计的可靠性。由表 1 可知, 铀、钍、钾放射性的计数率与自然伽马总放射性的计数率总体上为正相关。礁灰岩的自然伽马放射性与泥晶砂、砾屑灰岩的放射性相近, 高于亮晶砂、砾屑灰岩的放射性, 而低于泥晶灰岩、棘屑灰岩、泥晶生屑灰岩、泥灰岩等多数岩类的放射性(表 1)。

(2) 生物礁在自然伽马总量曲线上表现为漏斗

表 1 研究区不同岩石类型露头自然伽马能谱探测结果统计表

Table 1 Gamma-ray values of different lithology in outcrops of the study area

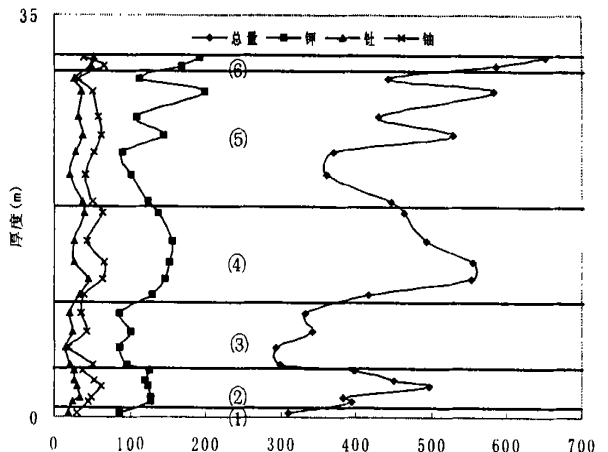
岩石类型 (测点数)	总量平均值 (计数/100s)	钾平均值 (计数 100s)	钍平均值 (计数/100s)	铀平均值 (计数/100s)
亮晶砂、砾屑灰岩(13)	380.3	105.3	28.1	43.9
泥晶砂、砾屑灰岩(21)	452.0	117.4	32.1	43.0
礁灰岩(25)	457.7	123.1	31.7	50.8
泥晶灰岩(21)	539.9	142.2	34.6	63.4
棘屑灰岩(9)	551.0	148.0	38.8	69.0
泥晶生屑灰岩(42)	572.7	159.8	39.1	66.5
泥质灰岩(3)	1119.7	273.7	79.7	140.0

形、钟形或箱形(图 3 第③、⑤层)。研究区生物礁露礁基为泥、亮晶棘屑灰岩或泥晶棘屑藻屑灰岩, 礁核上覆层为泥晶棘屑藻屑灰岩。礁体较礁基和上覆地层的自然伽马计数率(放射性)要高, 在自然伽马曲线上表现为钟形或箱形。在礁体与礁翼指状交叉部位, 在自然伽马曲线上也表现为指状(图 3 第⑤层)。

(3) 伽马能谱曲线上表现出部分礁体内部的分层性, 礁体下部的自然伽马总计数率比上部的要高, 自然伽马总量曲线呈台阶式的钟形(图 4)。究其原因, 造礁生物托盘类初始生长时, 受藻类粘结作用明显, 即生物礁下部以粘结作用为主, 地层中残留的灰泥、粘土等细粒物质的含量较高, 自然伽马放射性增强。随着礁体的进一步生长, 形成局部微小正地貌, 受波浪改造作用增强; 表现为藻类含量减少, 托盘类含量增多, 个体增大, 水道充填体发育。从而使地层中残留的灰泥、粘土等细粒物质的含量降低, 自然伽马放射性减弱。藻类有机质含量较大的因素也可能是礁体下部放射性较上部大的一个原因。

3.2 露头与井下生物礁自然伽马放射性的对比

对轮南 46、轮南 48 井奥陶系的自然伽马放射性



伽马放射性计数率(次/100s)

① 灰色亮晶砾屑灰岩; ② 灰—深灰色生屑泥晶灰岩与泥、亮晶生屑灰岩互层; ③ 灰白色托盘类礁灰岩; ④ 深灰色泥晶棘屑灰岩; ⑤ 灰色托盘类礁灰岩与泥晶生屑灰岩指状交叉; ⑥ 深灰色泥晶生屑灰岩

图 3 达吾孜塔格西侧 4 号山谷一间房组剖面自然伽马能谱曲线

Fig. 3 Gamma-ray spectral curves of Yijianfang Formation in

No. 4 valley of western Dawuzitage Mountain

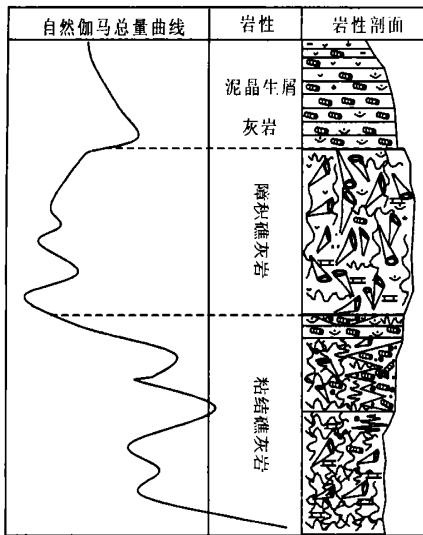


图4 达吾孜塔格东侧20号
生物礁露头岩性剖面及自然伽马曲线

Fig. 4 Lithological profile and gamma ray curve of No. 20 reef in western Dawuzitage Mountain

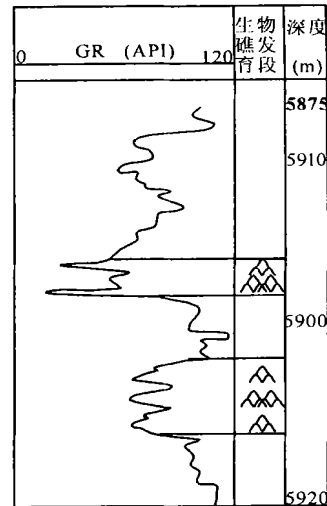


图5 塔里木盆地轮南46井
生物礁及自然伽马曲线响应特征

Fig. 5 Reefs and their gamma ray curve characteristics in Lunman 46 Taim Basin

研究表明^①, 苔藓虫礁灰岩的GR值与泥晶充填的颗粒灰岩类相近, 低于泥岩类及砂岩类, 而高于亮晶胶结的颗粒灰岩类; 托盘类礁灰岩高于亮晶胶结的颗粒灰岩类和泥晶灰岩类。在轮南16井中, 砂泥岩所夹生物礁在自然伽马曲线上表现为锯齿状箱形(图5), 而在其它四口井中颗粒灰岩所夹的生物礁在自然伽马曲线上表现并不明显。由此可见, 露头与井下生物礁在自然伽马放射性上存在一定的相似性, 但要在此基础上建立塔里木盆地奥陶系生物礁的自然伽马识别模式, 尚需进一步深入研究。

4 结语

塔里木盆地奥陶系生物礁是重要的油气储层, 然而由于礁体大小及地震资料分辨率所限, 生物礁在地震剖面上很难识别, 钻井资料也很难揭示生物礁的形态及规模。出露好的生物礁露头弥补了上述不足, 但对于生物礁的内部结构及三维形态的研究仍然受到限制。探地雷达应用于露头地质研究在国外已有十几年的历史, 以其高分辨率、高效率、便携可操作性、半定量的三维解释成果已逐渐为广大研究人员所认可。而目前国内还没有有关探地雷达应用于露头地质研究的报道。应用探地雷达对研究区奥陶系露头的探测表明, 探地雷达为我们进行露头生物礁研究提供了有力的辅助工具。探地雷达揭示出的生物礁形态、大小及发育规模与露头上观察到的结果存在差异, 而且雷达分辨

率可达到分米级别, 对于礁体内部的分层性和礁体内部水道充填体的斜层理有明显反映。探地雷达获得的生物礁的电磁属性也可能为地下生物礁的地球物理研究提供辅助资料, 这一领域的研究有待深入。

利用露头自然伽马能谱探测, 可以进行不同岩石类型的自然伽马放射性统计, 明确生物礁灰岩和其它岩石类型在自然伽马放射性上的区别。利用露头自然伽马曲线, 可以总结出生物礁的自然伽马曲线样式, 可以在一定程度上反映礁体内部的结构(分层性)。将自然伽马探测结果和井下资料进行初步对比分析表明, 露头 and 井下生物礁的自然伽马放射性存在一定的相似性。下一步将深化露头与井下的对比研究, 并在此基础上建立塔里木盆地奥陶系生物礁的自然伽马识别模式, 从而有助于井下未取心井段生物礁的识别以及对生物礁发育环境的研究。

致谢 参加本次野外试验工作的还有中国地质大学(北京)的曾校丰、邓新生、钱荣毅、王亚军等人, 成都理工大学梁兴中教授提供了伽马能谱仪, 在此一并致谢。

参考文献(References)

- 1 顾家裕, 周兴熙, 刘文林等. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001[Gu Jiayu, Zhou Xingxi, Liu

① 朱忠德等. 巴楚—轮南地区奥陶系碳酸盐建隆及其储集性研究. 内部报告, 1999

- Wenling, *et al.*. The Lunnan buried hill and occurrence of oil and gas in the Tarim Basin[M] . Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 268]
- 2 李大心. 探地雷达方法与应用[M] . 北京: 地质出版社, 1994[Li Daxing. Methods and applications of ground penetrating radar[M] . Beijing: Geological Publishing House, 1994. 151]
- 3 Dagallier G, Laitinen A I, Malartre F, *et al.* Ground penetrating radar application in a shallow marine Oxfordian limestone sequence located on the eastern flank of the Paris basin NE France[J] . *Sedimentary Geology*, 2000, 130: 149~165
- 4 Aspöron U, Aigner T. An initial attempt to map carbonate buildups using ground-penetrating radar: an example from the Upper Jurassic of SW-Germany[J] . *Facies*, 2000, 42: 245~252
- 5 Corbeanu R M, Soegaard K, Szerbiak R B, Thurmond J B, *et al.* Detailed internal architecture of a fluvial channel sandstone determined from outcrop, cores and 3-D ground-penetrating radar: Example from the middle Cretaceous Ferron sandstone, east-central Utah[J] . *AAPG Bulletin*, 2001, 85(9): 1583~1608
- 6 McMechan G A, Loucks R G, Zeng Xiaoxian, Mescher P. Ground penetrating radar imaging of a collapsed paleocave system in the Ellenburger dolomite central Texas[J] . *Journal of Applied Geophysics*, 1998, 39: 1~10
- 7 Meschede M, Aspöron U, Reichert K. Visualization of tectonic structures in shallow-depth high-resolution ground-penetrating radar (GPR) profiles[J] . *Terra Nova*, 1999, 9(4): 167~170

Geophysical Characteristics of Ordovician Reef Outcrops in Tarim Basin

LUO Ping ZHANG Xing-yang GU Jia-yu WANG Sheng-guo LING Peng

(Key Laboratory for Oil and Gas Reservoirs, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

Abstract The Ordovician reefs are important hydrocarbon reservoirs in Tarim Basin. It is significant to explore new methods for the comparative study between outcrop reefs and those found in wells to understand their size and internal architecture. Ground penetrating radar (GPR) and gamma-ray spectrometer have been used to detect Dawuzitage Hills Ordovician outcrops in Bachu area, Tarim Basin. GPR data indicate that most reefs are flat and lenticular or layered, which is different from what have been found in outcrop surfaces by naked eyes. Small patches of reefs or reef bioherms have been widely revealed by high-resolution GPR profiles. The layering character and slant bedding of channel-filled intraclasts of reefs are obvious in GPR profiles with the decimeter resolution. The gamma ray value of reef bafflestone is higher than those of sparrenite and sparrudite, and lower than those of micritic limestone, wackstone, echinoderm grainstone and marlstone. In outcrop gamma-ray curves, reefs are of funneled, bell-shaped or box-shaped and layering feature of reef can also be reflected. The gamma radioactivity of reefs in outcrop and in wells of Lunnan area has similar characteristics. It provide good method for the comparative study between outcrop reefs and those found in wells.

Key words ground penetrating radar, gamma-ray spectral, outcrop, Tarim Basin, Ordovician reefs, reservoir