

新西兰 TARANAKI 盆地 PAKAWAU 组和 KAPUNI 组中生物成因的沉积构造及其环境意义

晋慧娟 林禾杰

(中国科学院兰州地质研究所)

提要 新西兰 taranaki 盆地中的 Pakawau 组和 Kapuni 组属于晚白垩世—始新世。它们为一套含煤层的陆相—海陆交互相层系。该层系中生物扰动和虫孔十分发育。研究表明生物构造的发育程度和虫孔大小是判别古水体底部沉积物中氧溶量的有效标志。

关键词 水体底部氧溶量 生物成因的沉积构造 新西兰 Taranaki 盆地

第一作者简介 晋慧娟 女 56岁 研究员 沉积学

1989年11月—1990年1月笔者一行四人赴新西兰 Research School of Earth Sciences, Victoria University of Wellington 与 Dr.J.Conllen 合作,开展陆相沉积环境中油气生成理论的研究。本文是总项目中沉积专题的部分研究成果。

一、Taranaki 盆地简况

Taranaki 盆地位于新西兰北岛的西南侧。该盆地划分为两个次级构造单元,即东部的 Taranaki 地槽和西部的西部台地。该盆地形成于晚白垩世,基底为前白垩纪,其上覆沉积层的最大厚度可达 11 000m (图 1)。

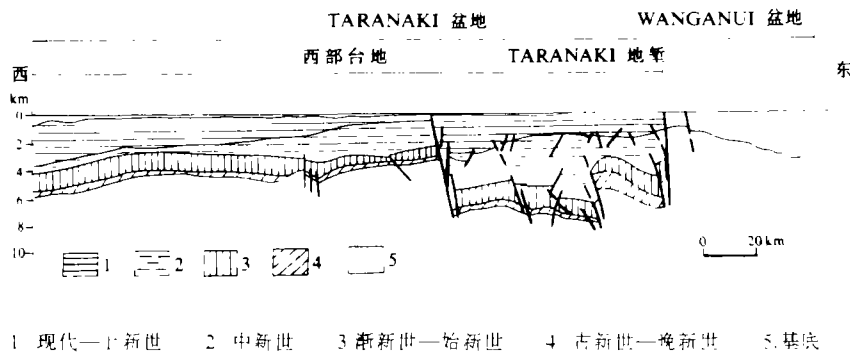


图 1 新西兰西部海域地质横剖面图

Fig.1 General geological section across the western margin of New Zealand (B. P. Shell and Todd.)

从盆地基底构造等值线图和地质横剖面图中可以看出, 基底地形大致为东部拗陷深度大于西部, 北部大于南部的一个不对称性盆地。该盆地是新西兰最有含油前景的沉积盆地, 目前已经发现 4 个油田, 原油具有比重大和含蜡量高的特点, 显示着陆相原油的一般特性。据推测, 晚白垩世的 Pakawau 组和古新世—始新世的 Kapuni 组为可能的油源层。这两个组在地表出露甚少, 钻井所揭露的岩层又多为间隔取心, 因而得不到系统的沉积层序资料及其相应的沉积环境标志, 这也是至今对这两个组沉积环境研究甚少的主要原因。本文对 Pakawau 组和 Kapuni 组沉积环境特征及其中生物成因的沉积构造方面的研究, 主要是借助于 Maui-A1 (G) 井、Tasman-1 井、Cook-1 井、Tane-1 井和 Kapuni-8 井共 5 口井的部分岩心进行的。5 口井的井位见图 2。

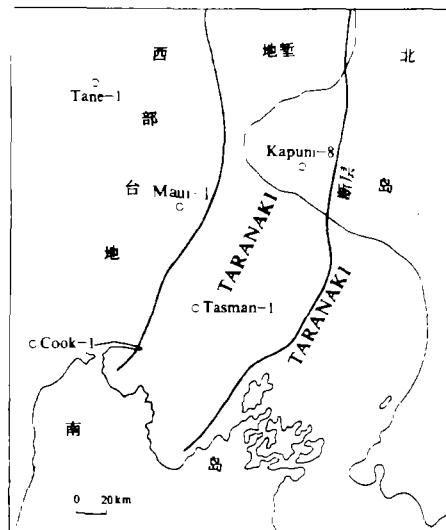


图 2 井位分布图

Fig.2 Location map of wells (J.D.Collen, 1988)

二、生物成因的沉积构造对沉积环境解释的意义

所谓生物成因的沉积构造是泛指生物在生长或生活过程中, 遗留在沉积物表面或内部的各种痕迹, 由于 Taranaki 盆地 Pakawau 组和 Kapuni 组中的生物扰动构造和生物潜穴十分发育, 因此本文重点对这两种生物成因构造进行讨论, 对这两种生物构造进行分类及其成因的研究, 无疑对该区沉积环境的解释会有有益的启示。

(一) **生物扰动构造** 在 Pakawau 组和 Kapuni 组的较细粒沉积物中, 常见到原生沉积构造遭到不同程度的破坏和变形, 这是由于生物在活动过程中, 对沉积物表面及其内部进行扰动的结果。由于生物在沉积物中只保留着无定形的扰动现象, 并没有留下可供鉴定的遗迹, 因此这种生物扰动构造只能依据形态特征作进一步的分类, 它们并不具有鉴定属种的价值。根据生物扰动构造的形态现将 Pakawau 组和 Kapuni 组的生物扰动大致划分为三类。

1. 均匀状 常发育在具纹层的灰色泥质粉砂岩中, 由于生物的扰动使纹层遭到破坏, 基本形成不显纹层的泥质粉砂岩 (图版 I, 1a)。

2. 模糊状 这种生物扰动构造赋存于具纹层的灰黑色泥岩和粉砂质泥岩中, 它们被生物扰动之后, 又被粉砂质充填, 其结果导致粉砂质充填物与宿主岩石的泥质物混合在一起, 因而成为不具清晰边界的模糊状扰动构造 (图版 I, 2b)。

3. 斑块状 由于生物扰动形成一些颜色、结构、成分与宿主岩石迥然不同的斑点和斑块, 它们呈不规则状断续地分布在沉积物中, 扰动后的充填物与宿主岩石具有较清晰的边界。这种生物扰动在 Pakawau 组和 Kapuni 组中十分普遍, 它们常发育在灰黑色泥质粉砂岩内 (图版 I, 1b, 2a)。

由于生物在沉积物中扰动的程度千差万别, 为了对其破坏程度有一个定量的比较, 也可采用原生层理受生物破坏面积百分数将生物扰动的强度划分为 4 个级别 (表 1)。

表 1 生物扰动强度分类

Table 1 The classification of bioturbation intensity

生物扰动强度	原生层理破坏程度	生物扰动构造级别
弱	1-30%	弱生物扰动构造
中等	20-60%	中等生物扰动构造
强	60-95%	强生物扰动构造
完全	> 95%	均匀层理

(二) 潜穴 (虫孔) 由于这种遗迹具有固定的外形, 所以可将它们视为遗迹化石的一种。潜穴是动物在尚未固结的松软沉积物内部居住、觅食或摄食时留下的各种管道, 后被充填物充填。根据其形状及其与层面的关系可作形态上的进一步分类。在 Pakawau 组和 Kapuni 组内所发现的潜穴都是最简单的垂直、斜交和水平潜穴, 呈直管状、不具分枝。

1. 不具衬壁的垂直或斜交层面小型管状潜穴 潜穴管的长度一般不超过 1cm, 直径仅数毫米, 潜穴管内多充填粉砂, 常和生物扰动构造相共生 (图版 I, 4)。

2. 不具衬壁的水平潜穴 也属于小型潜穴之列, 这是造迹生物在沉积物内部基本沿水平方向 (大致与沉积物层面平行) 掘穴所形成的潜穴管, 管内同样被粉砂质充填。这种潜穴管在岩层断面上的外形有时呈似透镜状层理、脉状层理, 两者的主要区别在于被粉砂质充填的水平潜穴内部绝不会出现透镜状和脉状层理内部所具有的那种前积纹层 (图版 I, 5)。

3. 具衬壁的大型垂直潜穴 这种潜穴少见, 仅在 Maui-A1 (G) 井中 2750.6m 区间内的含砾粗砂岩中才偶有发现。该潜穴管的直径为 1cm 左右, 延伸长度可达 10 余厘米, 管壁是由犬齿状的暗色排泄物粘结而成 (图版 I, 6)。

(三) 生物成因的沉积构造的环境意义 大量文献报道表明, 生物构造用以解释沉积古地理环境是行之有效的, 除此之外, 它们在进一步判明有关的环境因素方面也起着积极的作用。

1. 生物扰动构造的发育程度与古水体底部的含氧状况有关 归纳 Pakawau 组和 Kapuni 组的岩石类型大致可以划分为 4 类, 即: 煤层、黑色块状炭质泥岩和具纹层的灰黑

色炭质泥岩; 具透镜状和波状等层理的灰黑色泥质粉砂岩; 细—粗砂岩; 含砾粗砂岩, 这4种岩石类型中的生物扰动程度不同, 煤层、炭质泥岩内由于含大量的有机质, 它们在埋藏过程中因有机质的分解, 要消耗大量游离氧致使沉积物造成缺氧环境, 底栖生物在这种环境中难以生存, 故基本不见生物扰动构造。Savrda (1984) 认为, 加里福尼亚盆地中保存完好的纹层沉积物含氧量小于 $0.1-0.2\text{ml/l}$, 由此推断, Pakawau 组 Papuni 组中较其有机质含量更高的煤层和炭质泥岩, 其含氧量无疑要低于 $0.1-0.2\text{ml/l}$ 。与此相反, 上述两组内含游离氧较丰富的泥质粉砂岩中大量生物扰动构造的存在, 则可以认为是富氧环境的标志。因此, 生物扰动发育程度与岩石类型间的依存关系, 实际是表征水体的含氧量程度。但是, 应该看到, 虽然生物构造的发育程度对判断缺氧—富氧环境的界线较为简便、有效, 但是当沉积物中含氧量极为充分时, 利用上述标志来判断沉积期间的相对含氧程度则显得无能为力。

2. 潜穴大小与沉积物中含氧量的关系 对 Pakawau 组 Kapuni 组中的潜穴大小与岩性关系进行统计后发现, 具衬壁的大型居住潜穴往往赋存于含氧充足但环境恶劣的粗碎屑岩中。如 Maui—A1 (G) 井的大型垂直潜穴是产于含砾粗砂岩内, 其底部显示着明显的冲刷面, 其上具有清晰的正粒序层理, 这些特征表明它们是在具有强烈底部冲刷、块速堆积环境中形成的, 这种环境虽然含氧充足, 但强烈的水底冲刷使生物难以生存, 即便个别生物保存下来, 为了适应环境、保存自己, 必须向沉积物深处掘穴, 形成简单的直形管穴居, 深居于管内的生物靠滤食水流带来的各种有机物维持生命。相似的潜穴也可以形成于滨海环境, 据统计, 滨海和潮坪环境中的潜穴长度要比潮下环境长三倍, 这是由于潮坪环境的各种水流作用强盐度等因素变化大, 长的潜穴也是保护自己的一种防护措施。因此可以看出, 河流或砂坝与滨海潮坪环境水体底部沉积物不但都具有充足的含氧量, 同时也是处于强烈的水流冲刷环境, 尽管这两种环境的性质截然不同, 但形成了相似的长的潜穴管。据此, 长潜穴管的产出, 可以作为氧气充足、环境动荡的指相标志。与上不同的是, Pakawau 组和 Kapuni 组中所有小型潜穴都产于泥质粉砂岩和粉砂质泥岩层内, 这种沉积物中的有机质含量较高, 但含氧量无疑比前者低。根据上述现象, 提出一个值得注意的问题: 氧气充足、水体动荡的环境中形成的潜穴要比含氧量相对较低、水体较平静的环境中形成的潜穴直径大、延伸长, 这种现象不是偶然的。Rhoads 等 (1971, 1975) 指出: 随着底部水中溶解氧的减少, 能够在下伏底质中栖息的生物体型也将缩小, 并由这些生物产生的生物构造也相应缩小。笔者认为, 这种解释对判断 Pakawau 组 Kapuni 组的含氧状况是适用的。如果说, Rhoads 等总结的是海相地层中的规律, 那么对于环境更易变化的陆相地层, 除底部水中氧容量是控制潜穴大小的主要因素外, 环境的动荡程度也应是另外一个主要因素。

综上所述, 可以认为: 煤层、炭质泥岩中没有生物扰动构造, 属缺氧的安静环境, 其含氧量一般低于 $0.1-0.2\text{ml/l}$; 生物构造极发育但潜穴类型为小型的泥质粉砂岩和粉砂质泥岩为中等含氧量和较平静的环境; 其大型垂直潜穴的粗碎屑岩表明为含氧充足、动荡的沉积环境。

三、环境解释的两个实例

鉴于 Taranaki 盆地中 Pakawau 组和 Kapuni 组在地表未见出露, 故本节的认识是基于这两个组的部分岩心进行的, 为了资料的齐全, 所选取的岩心段均为系统取心。

(一) Pakawau 组的环境特征

Tane-1 井井深 3686.6m—3694.9m 组成一个完整的沉积旋回，自下而上划分为三段：

下部细—粗砂岩段 井深 3691.5m—3694.9m，由灰白色细—粗砂岩组成，底部粗砂为块状层理，向上逐渐过渡为具中型交错层理的细砂岩，本段上部的灰白色细砂岩显示一些波状和透镜状层理。

中部粉砂岩段 井深 3690.6m—3961.5m，以灰色粉砂岩为主，具小型交错层理和平行纹层，顶部仅见 8cm 厚的灰黑色炭质泥岩。

上部粉砂质泥岩、泥岩与煤层交互层段 井深 3690.6m—3686.6m，原生沉积构造仅发育纹理，由于生物扰动大部分纹理遭破坏。

上述完整沉积旋回中，原生沉积构造自下而上的变化规律是：块状层理—中型交错层理—透镜状、波状层理共生的复合层理—小型交错层理—水平纹理—均匀层理。原生沉积构造的规律性变化和向上变细的粒度特征共同构成了典型的正旋回沉积序列（图 3），它反映着河流沉积体系水动力学变化特征，沉积序列底部缺失河床滞留砾岩以及序列上部越岸细粒沉积厚度大的特点，表明是蛇曲河高流态的曲流砂坝侧向迁移以及低流态越岸细粒沉积向上堆积的结果，沉积序列上部煤层应是洪泛平原或河漫滩沼泽环境中形成的。

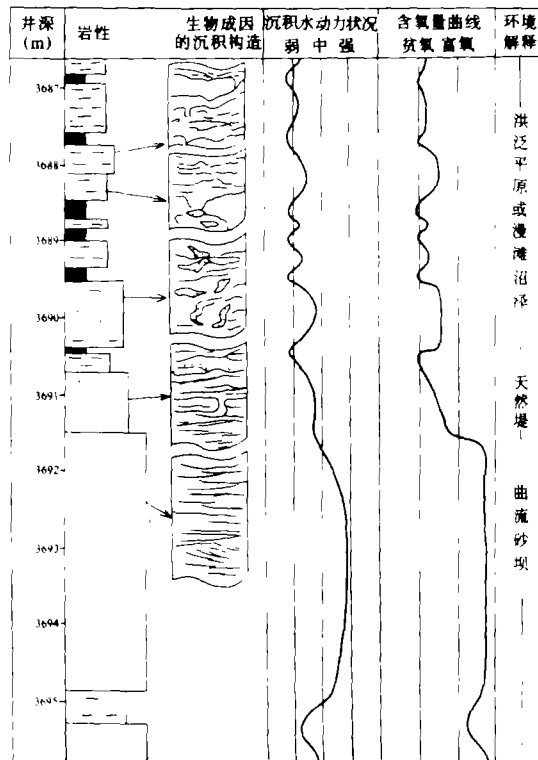


图 3 Tane-1 井部分层段环境特征综合解释

Fig.3 The complex explanation of environmental characteristics of some sections in Well Tane-1

从图 3 中还可以看出，一个完整的曲流砂坝沉积序列自下而上生物成因的沉积构造发育程度具有由弱至强的规律性变化，其中序列上部的煤层和炭质泥岩以及序列下部的粗砂岩中都不发育生物构造，前者是由于属贫氧环境，底栖生物难以在这种环境中生存，而后者虽然含氧量充足，但强烈的底部冲刷也使得生物难以生活，大量生物构造都产于含氧量中等的粉砂岩—粉砂质泥岩内。因此，根据垂向序列沉积物中生物构造的发育状况可以推断曲流砂坝环境中含氧量和水动力强度在垂向上的变化。

(二) Kapuni 组的环境特征

Kapuni-8 井所观察的岩心段属于 Kapuni 组。该岩心段井深为 4041.5—4059.8m，主要由细—粉砂岩、炭质泥岩和煤层组成，底部粉砂岩内含有再沉积的泥砾，此外，该岩心段尚具如下特征：

1. 各种岩石类型中普遍含有植物碎屑，但未发现过海相实体化石。
2. 不具有海岸—陆架或潮坪环境的沉积序列和原生沉积构造序列。
3. 矿物成分成熟度和结构成熟度特征更具有陆相短距离搬运和快速沉积的特征，因为该岩心段中的砂岩成分及结构成熟度都较低。
4. 沉积序列和原生沉积构造序列在垂向上也显示着下粗上细的总变化趋势，因此也基本构成了垂向上的正沉积旋回。

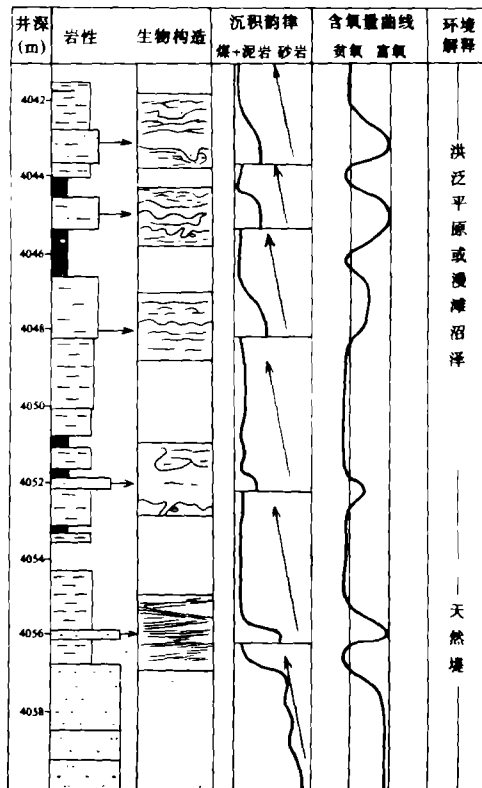


图 4 Kapuni-8 井部分层段环境特征综合解释

Fig.4 The complex explanation of environmental characteristics of some sections in Well Kapuni-8

但是, 该井岩心段与 Tane-1 井被研究的岩心段不同的是, 岩石粒度普遍较细, 原生沉积构造规模较小, 主要发育平行纹理、微细波状、小型透镜状层理和小型斜层理, 表明该沉积旋回是在弱动水沉积环境背景下形成的, 推测该岩心段主要属于天然堤—洪泛平原和温滩沼泽的成煤环境。

从图 4 中还可以看出, 根据岩性在垂向上的变化, 可将此岩心段进一步划分出 6 个小的沉积韵律, 每一韵律底部都为砂岩和粉砂岩, 向上被炭质泥岩和煤层所加积。所有的生物构造无一例外地产于各沉积韵律底部的粉砂岩层内, 而其顶部炭质泥岩和煤层中都不曾有生物活动的迹象, 因此根据生物构造的发育程度进而可以判明沉积物中的含氧状况。

研究过的 Pakawau 组和 Kapuni 组的岩心均呈灰—灰黑色以至黑色, 即便在洪泛平原环境中形成的泥岩也未曾发现过泥裂现象, 表明 Taranaki 盆地自晚白垩世开始直至始新世是高于温暖潮湿的古气候, 在这种古气候条件下, 大量植物的繁茂生长为形成煤层提供了丰富的物质基础。充沛的降雨不但使河流水系发育, 而且为形成湖泊创造了有利条件, 河湖沼泽为煤层的形成提供了有利的沉积场所。所以研究区内晚白垩世—始新世的古气候和古地理环境是煤成油(气)所必备的、不可缺少的先决条件。

还应提出的是, Pakawau 组和 Kapuni 组被研究的岩心段虽属陆相层段, 但在晚白垩世—始新世间, Taranaki 盆地曾发生过数次规模不等的海侵。例如 Tane-1 井, 在本文研究的陆相岩心段之上, 即沉积了海相夹层, 由于沉积环境的不同, 导致的砂岩储集性能的差别是十分明显的(表 2)。

表 2 TANE-1 井不同岩心段砂岩的孔隙度与渗透率*

Table 2 Porosity and permeability of sandstones in different core sections of Well Tane-1

井段	井深(m)	岩性	沉积环境	孔隙度(%)	渗透率(mD)
I	3514.6-2516.3	砂岩	浅海砂岛	26	400-800
II	3686.6-3695.5	砂岩	陆相点砂坝	10-11	1-4

* 据 Dr.J.Collen 提供

虽然海相砂岩段在陆相砂岩段之上相距 170 余米, 百余米之内孔隙度、渗透率发生如此巨大变化, 仅用成岩环境发生改变这一单一因素进行解释显然是不够的, 笔者认为, 陆相砂岩中的结构成熟度低、矿物成分混杂, 特别是泥质、易变形泥质岩屑、易水化的云母都是影响砂岩储集性能的重要因素。

因此, 为了在以陆相为主的 Pakawau 组和 Kapuni 组中寻找性能良好的储层, 进一步研究晚白垩世—始新世之间海侵的时、空分布是油气勘探必不可少的重要研究课题。

作者在新西兰工作期间, 一直得到 Dr.J.Collen 的热情帮助和密切合作, 与此同时, 也得到同行杨醒华、罗斌杰同志在工作上的支持, 在此一并致谢

收稿日期 1990 年 5 月 10 日

参 考 文 献

- (1) Rhoads D. C. and Morse J. W., 1971, Lethaia, Vol. 4, p. 413-428.
- (2) Rhoads D. C., 1975, The Study of Trace Fossiles, New York. Springer-Verlag. p. 147-160.

(3) Savrds C. E., Bottjer D. J. and Gorsline D. S., 1984, A. A. P. G., Vol. 68, p. 1179-1192.

(4) Savrds C. E. and Bottjer D. J., 1986, Geology, Vol. 14, No. 1, p. 3-6.

Biogenic Sedimentary Structure and Its Environmental Significance in Pakawau and Kapuni Group, Taranaki Basin, New Zealand

Jin Huijuan Lin Hejie

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Taranaki Basin is located in the northwest of the North Island in New Zealand. It was formed in the Late Cretaceous. The maximum thickness of the sediments reaches to 11,000m.

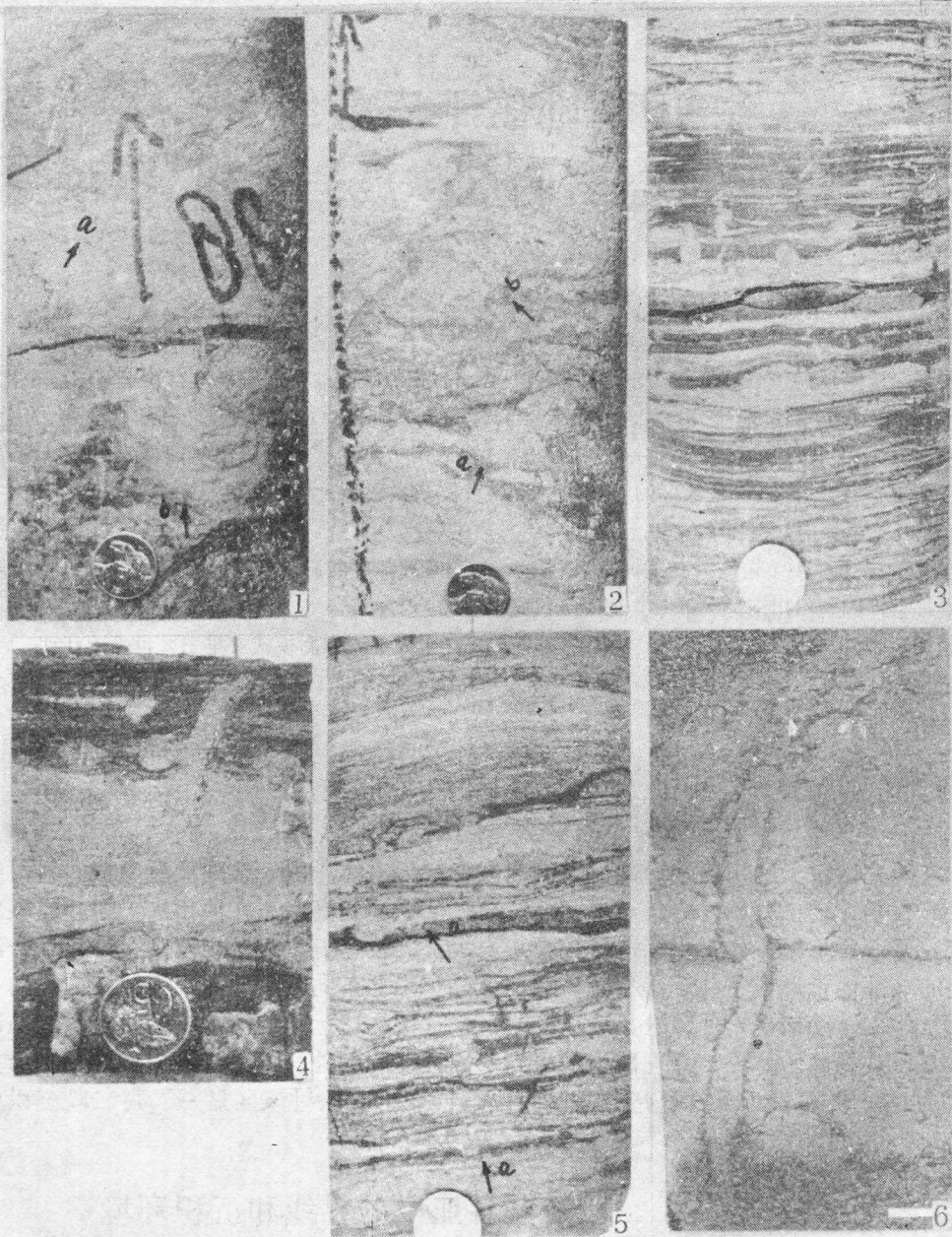
Taranaki Basin is one of the most prospective areas for petroleum in New Zealand, up to date, four oil (gas) fields have been drilled out, the crude oil show general features of terrestrial oil. On the base of present investigation results, it is suggested that Pakawau and Kapuni Group, which were deposited respectively in Late Cretaceous and Paleocene—Eocene Epoch, are the possible source rocks.

Pakawau and Kapuni groups are mainly composed of the deposits of continental facies and of marine and continental interactive facies. Biogenic sedimentary structures are very developed in the drilled cores of these two groups. Their types of causes of formation and developing degree may be regarded as the mark of oxygen content in sediments. The results of investigation show that the oxygen content is lower than 0.1-0.2ml/l in coal bed and carbonaceous mudstone with high content of organic matter and has not destroyed by bioturbation; and medium in muddy siltstone and silty mudstone with very developed biogenic structures and intergrowth of bioturbation and small scale borrows, while abundant in coarse clastic rocks with large scale vertical burrows.

According to the results of the above investigation and combining sedimentary sequence and primary sedimentary structure sequence, we carry on a comprehensive explanation of sedimentary environment to the partial cores of wells Tane-1 and Kapuni-8.

Well Tane-1 is taken as an example. This core section belongs to Pakawau Group, the lithologic character is fine-coarse sandstone at the bottom and turns gradually into siltstone, silty mudstone, carbonaceous mudstone and coal bed upwards. The relevant primary sedimentary structures are massive bedding, medium scale cross bedding, compound bedding of lenticular and wavy bedding, small scale cross bedding, horizontal laminated bedding, homogeneous bedding upwards. The regular change of primary sedimentary structure and the grain size character fining upwards are commonly composed of the typical normal fining upwards sedimentary sequence. This kind of sequence is just the product of hydrodynamic change of fluvial sedimentary system. Based on the characters of lacking of fluvial lag deposits at the bottom of sequence and thick over-bank fine sediments in the upper sequence, this core section should belong to the product of later-

al migration of meandering stream point bar and of accretion of over-bank fine sediments upwards. Biogenic sedimentary structures change regularly from weak to strong from bottom to top. However, biogenic sedimentary structures are not developed in coal bed and carbonaceous mudstone in the upper of the sequence and in coarse sandstone in the lower of the sequence. The former is because of the oxygen-poor environment, although the latter is oxygen-rich, the strong bottom washing made organisms difficult to survive. Large amounts of biogenic sedimentary structures are formed in muddy siltstone with medium oxygen content. Therefore, the change process of oxygen content is from strong to weak in vertical direction in the sediments of sedimentary sequence of meandering stream point bar. The oxygen content in coal bed and carbonaceous mudstone may be lower than 0.1ml/l.



1a. 均匀状生物扰动 1b,2a. 斑块状生物扰动 2.b. 模糊状生物扰动 3.4 垂直和斜交小型潜穴 5. 水平小型潜穴 1-5 硬币直径2cm 6. 具衬壁的大型垂直潜穴 白线长2cm