

56.575083
01078

石油地质学译文集

第三集



科学出版社

53

石油地质学译文集

第三集

甘肃省石油地质研究所 译

科学出版社

1976

内 容 简 介

《石油地质学论文集》自第三集始改为《石油地质学译文集》。

本集选译了近年来美国、法国、日本、委内瑞拉、澳大利亚、荷兰和苏联等国有关石油地质研究的论文 26 篇，有关进展的综述文章 3 篇。这些论文，主要是关于石油地质学上有机地球化学的研究，大致反映了近十年来有机地球化学在石油地质学上研究的进展。其中有 5 篇关于石油成因研究方面的新成果；有 3 篇有机地球化学的分析方法；有 1 篇关于计算机在石油地质学上的应用；另有 2 篇关于古河流和三角洲中石油聚集的研究报告。

这些文献提供了大量实际资料 和 提出了某些新的理论，介绍了最新的研究方法和分析技术。可供广大石油地质工作者、有关高等院校师生和科学研究人员参考。

石 油 地 质 学 译 文 集

第 三 集

甘 肃 省 石 油 地 质 研 究 所 译

科 学 出 版 社 出 版

北 京 朝 阳 门 内 大 街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行 各 地 新 华 书 店 经 售

1976 年 7 月 第 一 版 开 本：787×1092 1/16

1976 年 7 月 第 一 次 印 刷 印 张：20

印 数：0001—2,750 字 数：465,000

统 一 书 号：13031·441

本 社 书 号：664·13—24

定 价：2.45 元

译者说明

本书共选译近十年来国外有关石油地质研究论文 26 篇(各篇参考文献从略),另外编译了有关研究进展的综述文章 3 篇。其内容主要是关于石油有机地球化学方面的论文,大致反映了近年来有机地球化学在石油地质学研究中的—些进展情况。其中还有 5 篇石油地质学的基本课题——石油成因研究的成果;有 3 篇有机地球化学的分析方法;有 1 篇关于计算机在石油地质学上的应用;另有两篇关于古河流和三角洲中石油聚集的研究报告。

在这些论文中,提供了大量的实际资料;有的介绍了新的研究方法或分析技术;有的提供了某些新的观点。遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导,可以结合自己的生产实践、教学实际和科学试验,批判地吸收对我们有用的东西。

本译文集的所有附图,均照原图复制;所有地名除按《世界地图集》译出者外,一般采取音译。

在翻译过程中虽经一些校改,但因我们水平有限,错误和不足之处在所难免,望读者给予批评指正。

目 录

论石油生成的深度、时间和机理.....	G. T. 菲利皮(1)
石油形成的基本问题.....	E. 艾斯马 J. W. 贾格(25)
碳酸盐岩中石油的成因.....	J. M. 亨特(41)
高蜡原油对石油生成的意义.....	H. D. 赫德堡(57)
三角洲沉积物中的石油.....	E. H. 雷恩沃特(63)
古河流砂中石油的聚集——一种古地理方法.....	G. E. B. 科尼比尔(70)
计算机帮助绘石油构造图.....	J. W. 哈博 D. F. 梅里安(81)

* * *

有机地球化学的某些进展及其在石油地质学上的应用

.....	魏俊超 胡伯良 钱吉盛(88)
-------	-------------------

法国巴黎盆地下托尔页岩中烃类的成因和演化

.....	B. 蒂索特 Y. 卡里费特-德拜塞尔 G. 德鲁 J. L. 乌丁(104)
-------	---

澳大利亚昆士兰莫尼油田原油和页岩中烃类分布的比较

.....	R. T. 马修斯 B. J. 伯恩斯 R. B. 约翰斯(120)
-------	------------------------------------

澳大利亚昆士兰苏拉特盆地埃佛格林页岩中的烃类和脂肪酸

.....	R. T. 马修斯 X. P. 伊格瓦耳 K. S. 杰克逊 R. B. 约翰斯(130)
-------	---

古代沉积的有机地球化学——第二部分

.....	R. B. 约翰斯 T. 贝尔斯基 E. D. 麦卡锡 A. L. 伯林格姆 P. 豪格 H. K. 施诺埃斯 W. 里克特 M. 卡尔文(139)
-------	---

沉积岩中烃类的分布.....	J. M. 亨特(164)
----------------	---------------

灰岩中的有机质.....	H. M. 吉门(175)
--------------	---------------

加利福尼亚圣弗兰西斯科湾沉积物的正烷烃.....	K. A. 克文沃尔登(184)
--------------------------	------------------

泥岩中有机质的初期变质作用.....	D. R. 贝克 G. E. 克莱普尔(193)
--------------------	--------------------------

绿河页岩中异戊间二烯脂肪酸的产状.....	G. 埃格林顿 A. G. 道格拉斯 J. R. 马克斯韦尔 J. N. 拉姆齐(206)
-----------------------	--

二亿年前澳大利亚原油中的烃类.....	W. V. 霍文 P. 豪格 A. L. 伯林格姆 M. 卡尔文(209)
---------------------	--

碳酸钙参与下由脂肪酸形成烷烃.....	A. 希莫亚马 W. D. 约翰斯(217)
---------------------	------------------------

沉积物中正脂肪酸转化的证据.....	K. A. 克文沃尔登(221)
--------------------	------------------

西委内瑞拉石油和岩石中卟啉产状的地球化学问题.....	J. A. 格兰施 E. 艾斯马(241)
-----------------------------	-----------------------

深海源卟啉——查伦治圆丘含油岩心中的石油卟啉.....	E. W. 贝克(254)
-----------------------------	---------------

气体色谱和质谱在卟啉微量分析上的应用——古代生物残屑中卟啉同系

物的研究.....	D. B. 博伊兰 Y. I. 阿尔特基 G. 埃格林顿(257)
-----------	-----------------------------------

气体色谱-质谱联合鉴定沉积岩中的正构和支链烷烃.....	V. E. 莫塞勒斯基 W. D. 麦克劳德 B. 纳吉(265)
------------------------------	--------------------------------------

烃类的三维分布.....	J. C. 戴维斯(269)
石油和同位素地质学——关于石油成因的同位素技术.....	安藤直行(276)
碳同位素和石油起源问题.....	A. П. 维诺格拉多夫 Э. М. 加里莫夫(283)
稀有气体及其同位素在石油地质学上的运用.....	徐永昌(299)
石油地质中关于地温的一些研究.....	林禾杰(309)

论石油生成的深度、时间和机理*

G. T. 菲利皮

引 言

多年来,关于石油生成机理的论争充塞了大量文献。石油是生物化学作用形成的?石油部分地由提供原始沉积有机质的有机体的细胞衍化来的和部分地由生活在相当深的沉积物孔隙中的微生物细胞衍化来的?石油是由沉积物中有机质非生物化学反应生成的?石油的生成在地质层序中相对地是早期还是晚期?象这些问题一直留在文献中,没有满意的答案,因为缺乏足够的地球化学资料。本文是帮助解决这些问题的研究报告。

1941年以来,我们注意到相当多的含油盆地的页岩和泥质灰岩含有可观的原生烃类,含量超过几千ppm(菲利皮,1956)。在这篇文章中没有论述这个方法测定的岩石样品中抽提出来的烃类是原生的还不是原生的。在含油盆地的有正常非碳酸盐碳含量的沉积岩中,原生烃类有不容忽视的变化,含量从0.5—5%,但沸点超过325°C的烃类的上限数量级为几千ppm。另外也曾证实在页岩沉积岩中有少量的烃类(亨特和贾米森,1956;亨特,1961)。

表 1 现代沉积物平均的非碳酸盐碳含量和沸点超过 325°C 的原生烃类含量,
烃类/非碳酸盐比值

环 境 (位 置)	平均的非碳酸盐 碳含量 (%)	平均的烃类含量 (ppm)	烃类/非碳酸盐碳
土壤(得克萨斯)	1.2	60	0.0050
泥炭(佛罗里达)	37.0	350	0.0009
淡水湖(大湖,路易斯安那)	0.3	41	0.0137
近海岸泥滩(萨宗河口,得克萨斯)	0.9	23	0.0026
咸水湖(马德雷泻湖,得克萨斯)	0.4	20	0.0050
碳酸盐淤泥(佛罗里达)	1.2	20	0.0017
内三角洲(路易斯安那)	0.8	20	0.0025
三角洲(密西西比三角洲)	1.2	80	0.0067
前三角洲(密西西比三角洲)	0.8	80	0.0100
开流海沙洲(墨西哥湾)	0.9	30	0.0033
深海盆地			
(楚巴斯科海沟,墨西哥)	1.7	23	0.0014
(恰内耳群岛地区,加利福尼亚)	2.1	100	0.0048
(卡里亚科海沟,委内瑞拉)	3.4	140	0.0041

* 原载《Geochimica et Cosmochimica Acta》, Vol. 29, No.9, pp. 1021—1049, 1965; 题目“On the depth, time and mechanism of petroleum generation”; 作者 G. T. Philippi.

从一个叫做：“生油沉积的环境和起源”的现代沉积研究的 API 第 4 号方案中，特拉斯克和伍(1930)总结道：“液体石油大概不生成于沉积岩沉积作用的阶段，即使它们存在，也是非常少量的，无疑地少于十万分之三”。即使没有精密的沉积物中烃类的分析方法，在 1930 年特拉斯克和伍的论断一般是正确的，一直被承认。史密斯(1954)从三个奥里诺科三角洲的现代沉积物中发现烃类的含量为沉积物千重的 25—82 ppm。从西非沿岸的四个较深水的海洋沉积物中发现烃类的含量为 28—36 ppm。布卢默(1958)在这个实验室中观察到类似的现代沉积物中低的烃类含量(见表 1)。

表 2 列举了几个古代沉积物的标本，原生烃类含量从中等高到高。表 2 与表 1 的资料对比表明，几个古代沉积岩的原生烃类的含量大大高于现代沉积物。更加有意义的是许多古代沉积岩的烃类/非碳酸盐碳的比值是很高的。在古代沉积岩和现代沉积物中的烃类/非碳酸盐碳的比值有巨大的差别，这有力地说明石油的生成基本上是一个地下的过程。发生这个过程的深度、机理和持续的时间还没有清楚地了解。下面的部分提供这些问题的解释。

表 2 某些古代沉积物中的非碳酸盐碳含量、沸点超过 325°C 的原生烃类和烃类/非碳酸盐碳比值

时代和地层(位置)	平均的非碳酸盐碳含量 (%)	平均的烃类含量 (ppm)	烃类/非碳酸盐碳
上中新世——油集 D 和 E (文图拉和洛杉矶盆地, 加利福尼亚)	3.12	1577	0.050
中新世——特利萨 (双溪·塔汉油田, 南苏门答腊)	0.89	896	0.101
白垩纪——怀特·斯佩克斯 (阿尔伯达, 加拿大)	2.02	1572	0.078
白垩纪——格兰内罗斯(科罗拉多东北)	3.08	1239	0.040
白垩纪——拉吕纳 (拉巴斯油田, 委内瑞拉)	3.67	2360	0.064
白垩纪——相当于拉吕纳 (卡萨布油田, 哥伦比亚)	1.54	1146	0.074
二迭纪——洛纳德 (特拉华盆地, 得克萨斯)	1.66	875	0.053
密西西比期——洛德盖博耳 (蒙大拿东部)	0.79	267	0.034
奥陶纪——温尼佩格(蒙大拿东部)	0.53	394	0.074

现代沉积物中高沸点的正烷烃成分

史密斯(1954)指出,现代沉积物中烃类含有三个主要类型——芳香烃、环烷烃和正烷烃——象原油。纵使现代沉积烃类全部的成分外表类似于原油,但一个对它们的详细成分较精密的研究揭示了十分重要的差别。史蒂文斯、布雷和埃文斯(1956),布雷和埃文斯(1961)首先指出,以现代沉积物为一方和以古代沉积岩为另一方,在 C₂₂—C₃₄ 碳数范围的正烷烃成分有巨大的差别。他们观察到在现代沉积中奇数碳正烷烃分子以很强的优势超过那些偶数碳正烷烃分子;然而相反,在原油和几个古代沉积岩中奇数和偶数碳分子的浓度大致相等。

现代沉积物中正烷烃的奇数碳原子分子很强的优势说明这些正烷烃是由许多有生命

的有机质综合而成的,它们特别只含有奇数碳的正烷烃分子。例如,特别分析了全部天然蜡的样品,表明有一个很强的奇数碳原子的优势(沃思,1956)。由于它们的生物成因,从现代沉积物中取得的正烷烃是一个从许多种有生命的有机体衍生来的混合物,因此显示出一个很强的奇数碳分子的优势。许多古代沉积物和原油中的正烷烃如此不同于现代沉积物的正烷烃,存在着平滑的碳原子数分布曲线,这一事实主要地是由于石油生成的过程所致,将在下一部分进行说明。

现代沉积物中高沸点环烷烃环数的分布

除正烷烃外,由于它们在石油成因问题中的重要性,还研究了从现代到中新世晚期沉积物中高沸点的环烷烃。为了这个目的,从沉积物的总烃类抽提物中,用液体色谱小心地除去芳香烃,然后用尿素氧化的方法除去正烷烃,从而首次制备了异链烷烃-环烷烃的浓缩物。用这种方法获得的异链烷烃-环烷烃的浓缩物在布卢默(1962)设计的一种有效的显微蒸馏釜中蒸馏成下述的馏分:

馏 分	1	2	3	4
	-325°C	325—370°C	370—420°C	420—470°C

馏分1由于实验程序的原因,在蒸馏中遭到了损失,所以仅仅对馏分2、3和4进行了详细的研究。它们的碳原子数在 C_{19} — C_{32} 之间,这是在高至中润滑油范围内。异链烷烃-环烷烃馏分2、3和4用质谱法进行了分析(奥尼尔,1954;奥尼尔等,1955;希斯勒等,1957;胡德和奥尼尔,1959)。象这样,测定了异链烷烃(零环)和每个分子有一环、二环、三环……到超过八环的环烷烃的百分数。用这个方法测定了每个环烷烃的链。

四个不同环境的现代沉积物样品的研究结果表示在图1。数据资料列于表3。这些结果表明异链烷烃-环烷烃浓缩物组成随着沉积环境有显著的变化。现在知道,许多原生质(可能大部分)有机体含有极少量的烃类,其成分随着种类的不同而不同(西拉哈纳,1938;史密斯,1954;拉森和豪格,1956;史蒂文斯、布雷和埃文斯,1956;布卢默、马林和托马斯,1963)。象这样,现代沉积物中的烃类是从许多种类型的有机体的原生质衍生而来的,其中包括生活在一定的沉积环境中的微生物和流入的陆生植物。所以,如图1所示的四个现代环境中的烃类组成上的显著差别主要是由于不同的环境条件和生态学。

加利福尼亚洛杉矶和文图拉盆地石油的地下生成作用

图2是一张加利福尼亚洛杉矶和文图拉盆地油田分布图。在这图上,标明了本文所讨论的油田和野猫井的名字。图3表示洛杉矶和文图拉盆地地质学上使用的地层名称和地层的细分层。

本文所讨论的全部地下样品是惯常的岩心样品,它们在分析前都经过刮擦和清洁。仅仅报道了这些样品已经测定的烃类固有的性质。

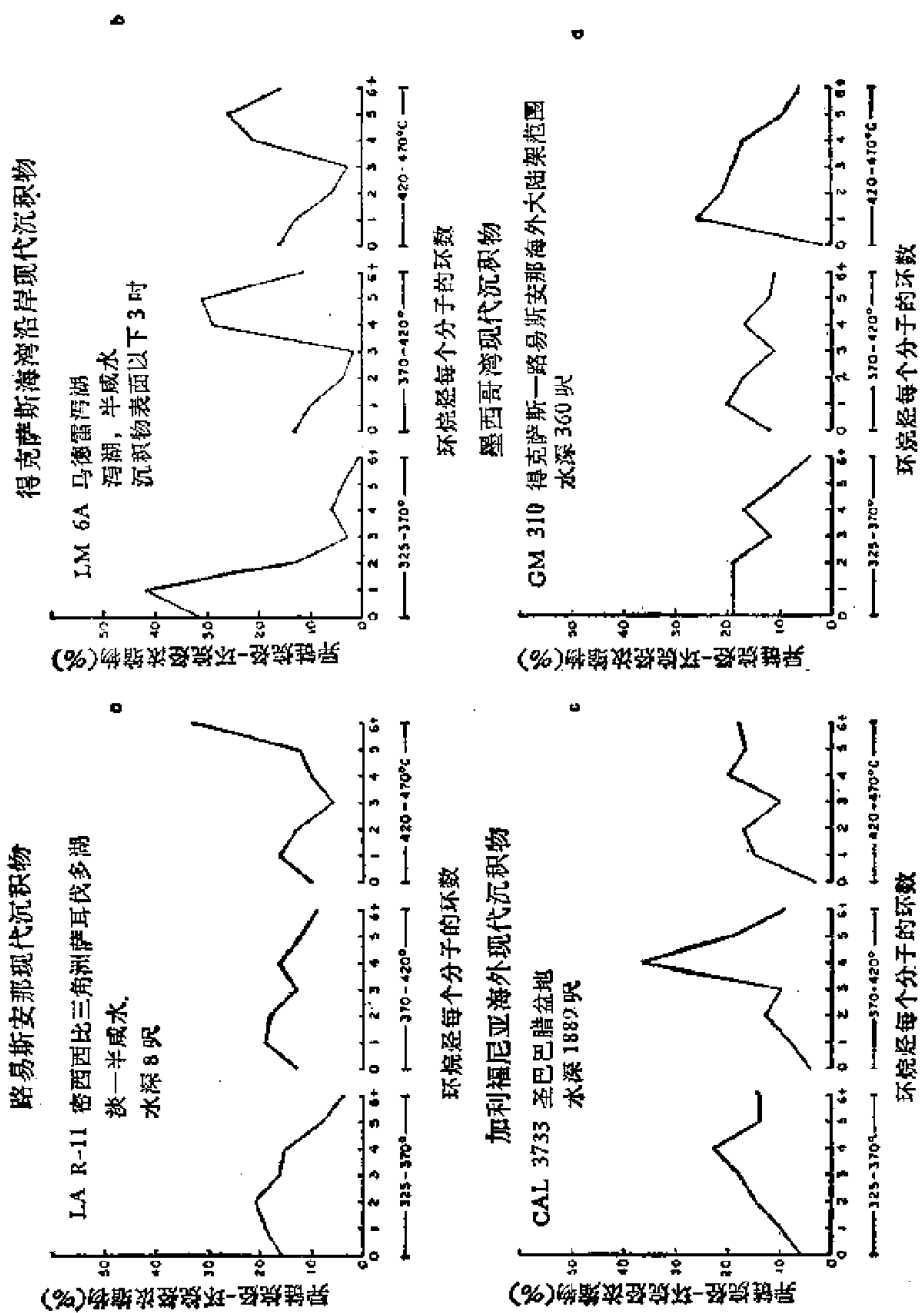


图 1 现代沉积物的异链烷烃-环烷烃浓缩物中异链烷烃(零环)和每个分子带 1-环、2-环、3-环等环的环烷烃的百分含量

年龄*	时 代			文 图 拉 盆 地	洛 杉 矶 盆 地
- 1	第四纪	更新世	上 部	“阶地沉积物”	帕洛斯·佛德斯
			下 部	圣佩德罗 索格斯 圣巴巴 皮科	圣佩德罗
- 11	第三纪	上新世	上 部		皮 科
			下 部	雷佩托	雷佩托
- 25	第三纪	中新世	上部 [A B C D E F]	圣玛格丽塔 莫代罗 芒托 特潘 特布洛	普恩特 芒托 特潘 雷加
			中部		
		下部	林 康 瓦奎罗斯	瓦奎罗斯	
		新新世	塞斯普 科沃特 科德利 科洋提 科马拉 科朱 科萨	塞斯普 圣地亚哥	
- 40	第三纪	始新世			
古新世			马提尼兹	西耳弗拉多	
- 60	白垩纪				
- 70			奇 科	威里姆斯 拉德 特拉布科	
- 135	侏罗纪或更老			“基岩杂岩”	基岩杂岩

* 年龄从现代开始以百万年计(按霍姆斯,1960)。

图 3 洛杉矶和文图拉盆地

图 4 和图 5 的图解表明沸点超过 325° 的原生烃类的 (1) 正烷烃组成、(2) 异链烷烃-环烷烃组成、(3) 烃类/非碳酸盐碳的比值和 (4) 总烃类含量随着深度和时代而变化。分析的地下样品是从洛杉矶和文图拉盆地取的典型页岩, 时代自上而下更新世, 上、下上新世, 到上中新世的 E 层。为了对比, 在图 4 和图 5 顶部包括了加利福尼亚海上取的现代样品的资料。现代样品的位置如图 2 所示。同样, 为了对比, 在图 4 和图 5 低部也画了一些典型原油的正烷烃和异链烷烃的分布。

在地下石油生成作用中烃类/非碳酸盐碳比值的变化

在图 4 和 5 的右端, 图解清楚地论证了烃类含量和烃类/非碳酸盐碳的比值两者随着沉积物埋藏深度和时间有很大的增加。然而, 增加十分缓慢, 直到上中新世的页岩 [D 和 E 层, 按照霍姆斯(1960)测定的年代大概为一千五百万年] 才形成了足够的烃类, 使烃类/非碳酸盐碳的比值上升到 0.030—0.120 之间, 这是我们在古代生油岩中常常观察到的数值(见表 2)。

在图 6 中画了图 4 和图 5 的每个沉积岩样品和石油样品总的烃类组成。由总的芳香

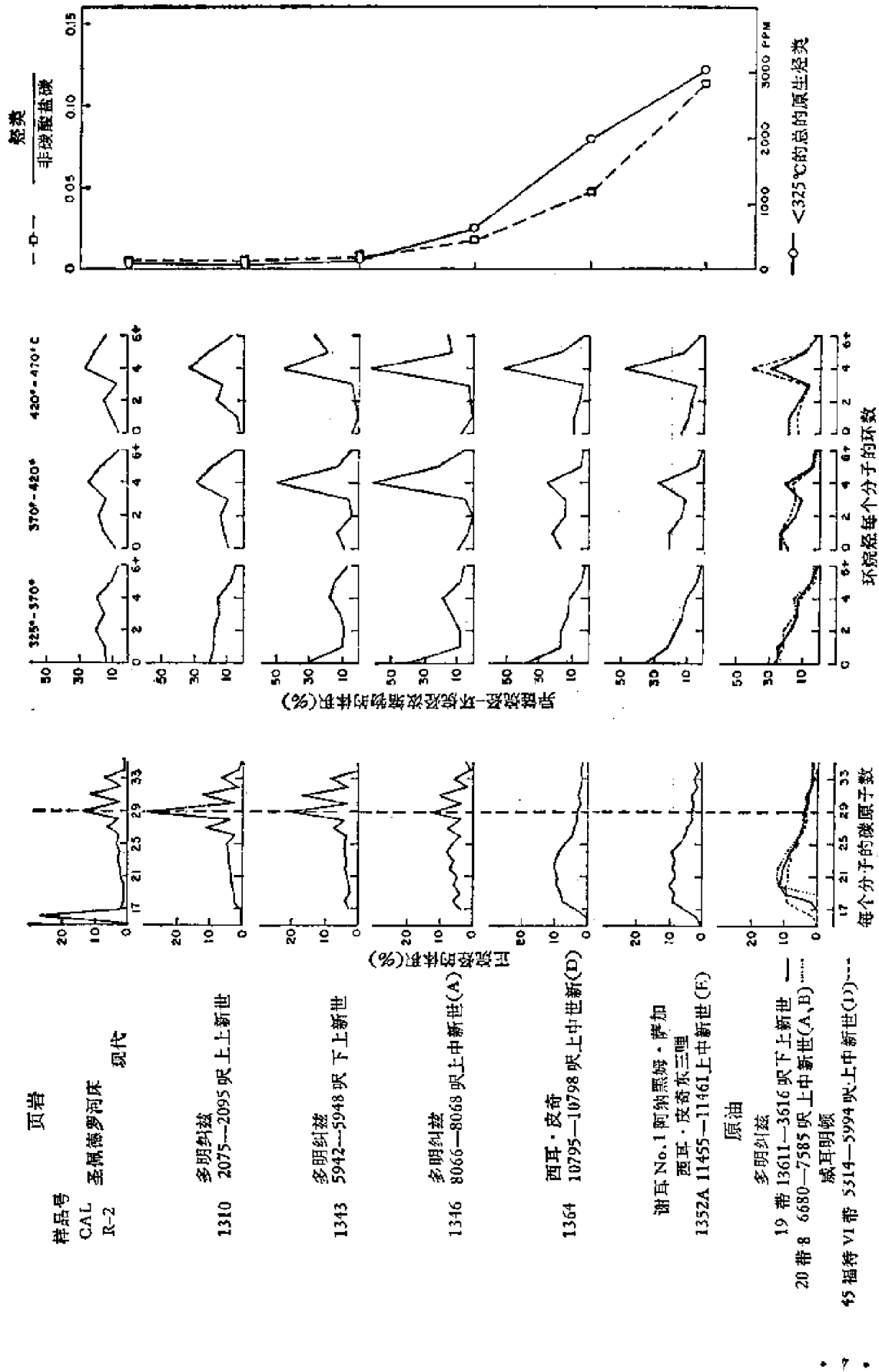


图 4 从加利福尼亚洛杉矶盆地非烃有机质为埋藏深度和时间的函数看石油烷烃和环烷烃的成因和发展

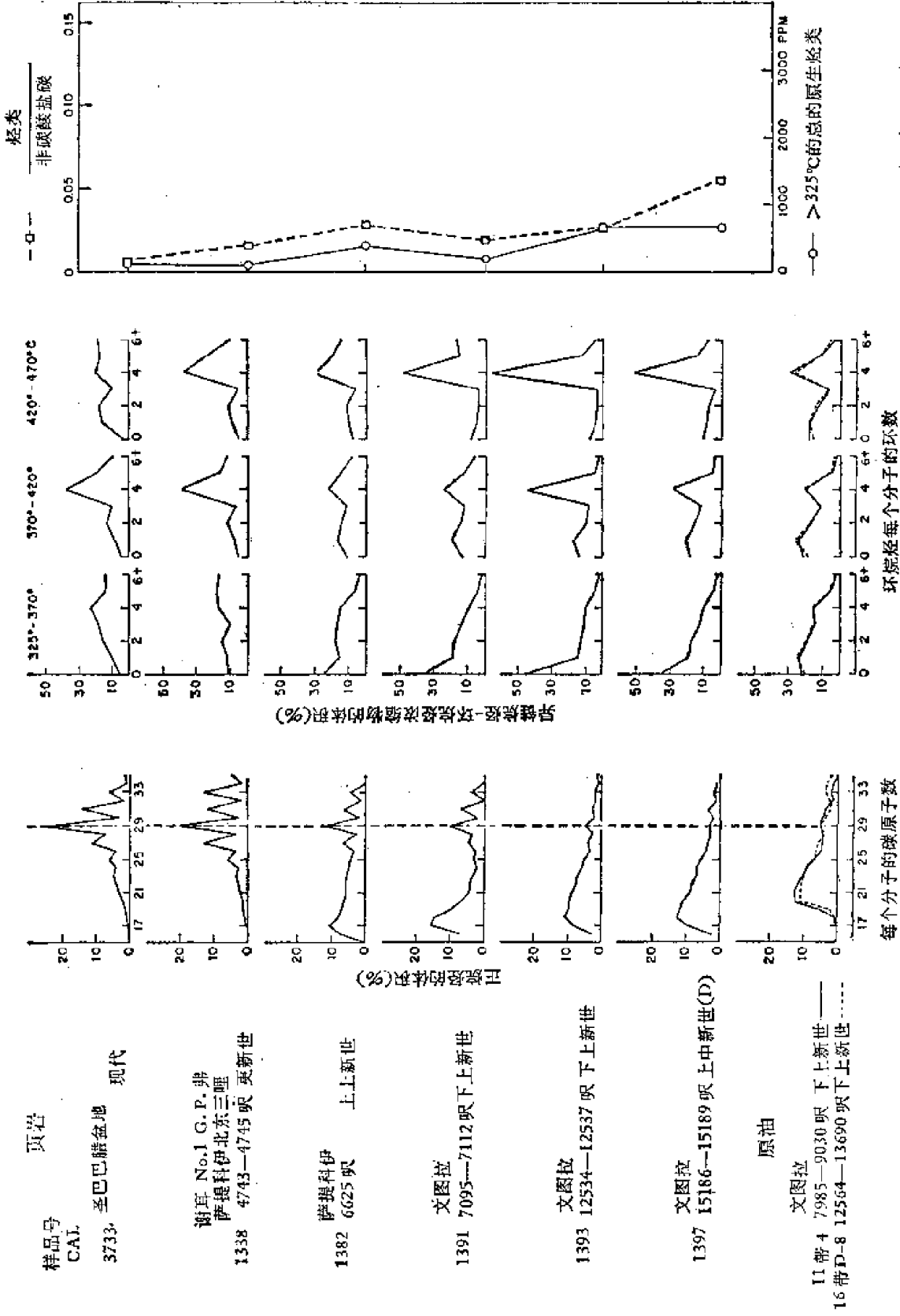


图 5 从加利福尼亚文图拉盆地非烃有机质为埋藏深度和时间的函数看石油烷烃和环烷烃的成因和发展

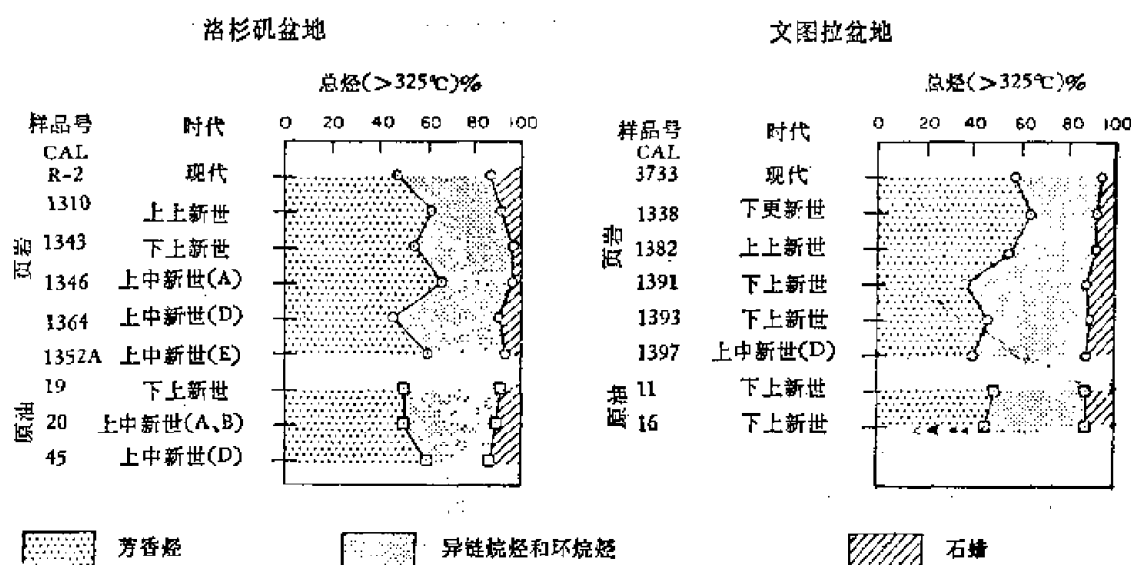


图 6 随着深度和时代沉积烃类的总组成的变化和同一地区典型的蜡质原油的比较

烃百分含量、总的异链烷烃和环烷烃的百分含量以及总的石蜡百分含量（尿素络合物，大部为正烷烃）限定了总的烃类组成。图 6 表明总的烃类组成随着深度和时代即使有也是很很小的一点变化。这表示在地下石油生成的过程中高沸点的芳香烃、异链烷烃加环烷烃和石蜡已经全部形成，并接近于常量比值。综合图 6 和图 4、图 5 右端图示的情况指出：芳香烃的含量、异链烷烃加环烷烃的含量和石蜡的含量随着沉积物的深度和时代有很强的增加。这适用于洛杉矶盆地，同样也适用于文图拉盆地。

当地下石油生成的时候沉积物的正烷烃成分的变化

在石油生成过程中，虽然沉积物中沸点超过 325°C 的烃类组成似乎没有可观的变化，但较精密的详细的组成研究揭露了随着时代和深度有一个十分重要的和有规律的变化。在前面部分已讨论过史蒂文斯、布雷和埃文斯(1956)和布雷及埃文斯(1961)发现在现代沉积与古代沉积和原油之间的正烷烃成分有十分重大的差别。罗宾逊、卡明斯和丁宁(1963)发现在始新世绿河油页岩的一个 900 呎短剖面中，随着深度的增加正烷烃的奇数/偶数比值减小。本文将探讨在石油生成过程中从一个典型的正烷烃分布向另一个的逐渐转化作用。在图 4 左上端画了一个从洛杉矶盆地沿海的圣佩德罗河取的典型的现代样品中正烷烃的分布曲线。在图 5 的左上端表示了从文图拉盆地沿海的圣巴巴腊盆地取的现代样品中相类似的正烷烃分布曲线。在图 4 和图 5，文图拉盆地在 4743—4745 呎的下更新世海相页岩和洛杉矶盆地甚至在 5942—5948 呎深处的下上新统页岩中，正烷烃几乎没有发生任何变化(布卢默, 1958)。所以，随着烃类开始形成，以烃类/非碳酸盐碳比值的增加为标志，正烷烃的组分开始变化。例证是文图拉盆地(图 5)的萨提科伊和文图拉油田上、中上新统的样品和洛杉矶盆地的上中新统 A 层的样品。在这些较深的和地质上较老的样品中开始了石油生成的过程，但决不是完全的。在 C₁₈—C₂₂ 之间的正烷烃已经形成，同时发生在 C₂₇—C₃₃ 之间的奇数碳分子的优势消失；但是，仍可断言这还有别于原油。

表 3 加利福尼亚洛杉矶和文图拉盆地的页岩和某些现代

样品编号	油田 野猫井 或位置	时代	深度 (呎)	非碳酸 盐 碳 (%)	CaCO ₃	烃类 >325°C (ppm)	总类 非碳酸 盐 碳	石蜡 $\frac{2C_{29}}{C_{28}+C_{30}}$
					20 CO ₂ (%)			
洛 杉 矶 盆 地 页 岩 样 品								
R-2	圣佩德罗 河 床	现 代	水 深 2,800	1.91	10.8	91	0.0048	5.1
1310	多明纠兹	上上新世	2,075—2,095	1.59	2.5	67	0.0042	9.3
1378	"	下上新世	3,800—3,802	1.71	10.9	201	0.12	7.5
1343	"	"	5,942—5,948	1.97	12.1	139	0.0071	6.1
1374	"	"	5,980	2.11	9.9	181	0.0086	6.2
1375	"	上中新世(A ₂)	6,650	2.98	10.2	276	0.0093	5.9
1376	"	" (A _b)	7,137—7,144	2.00	6.6	235	0.012	4.5
1346	"	" (A)	8,066—8,068	3.50	7.6	641	0.018	3.5
1347	谢耳 No. 1 阿纳黑姆·萨加	下上新世	9,019—9,025	4.06	6.4	707	0.017	2.8
1348	"	上中新世(A)	9,317—9,320	4.72	5.7	832	0.018	2.7
1349	"	上中新世(A)	9,613—9,630	3.38	4.7	1138	0.034	1.42
1364	西耳·比奇	上中新世(D)	10,795—10,798	4.26	33.2	1985	0.047	1.17
1351	谢耳 No. 1 阿纳黑姆·萨加	"	11,000—11,003	4.32	7.3	2697	0.062	0.84
1352 A	"	上中新世(E)	11,455—11,461	2.68	31.0	3032	0.113	1.00
文 图 拉 盆 地 页 岩 样 品								
3733	圣巴巴腊 盆 地	现 代	水 深 1,889	2.27	—	133	0.0059	4.8
1338	谢耳 No. 1 G. P. 弗	更 新 世	4,743—4,745	4.07	8.5	116	0.015	6.0
1382	萨提科伊	上上新世	6,625	1.38	15.6	385	0.028	4.8
1385	萨提科伊	"	7,376—7,378	1.54	12.0	464	0.030	5.1
1391	文图拉	下上新世	7,095—7,112	1.05	13.4	202	0.019	3.8
1387	萨提科伊	上上新世	7,982	0.98	11.0	220	0.022	4.6
1392	文图拉	下上新世	10,813—10,817	3.11	14.3	472	0.015	2.4
1393	"	"	12,534—12,537	2.58	14.8	665	0.026	2.2
1394	"	"	13,301—13,304	4.18	9.9	964	0.023	2.6
1395	"	"	14,647—14,656	3.67	14.4	1215	0.033	1.57
1396	"	上中新世(D)	14,934—14,937	2.33	13.3	1021	0.044	1.92
1397	"	"	15,186—15,189	1.21	8.6	666	0.055	1.36
1398	"	"	15,296—15,299	1.99	11.3	932	0.047	1.43
1399	"	"	15,407—15,410	2.71	10.5	922	0.034	1.48
各 种 现 代 沉 积 物 样 品								
LA R-11	密西西比河 三 角 洲	现 代	萨耳伏多湖 海洋性半咸	1.74	5.6	126	0.0072	6.3
LM6A	马德雷泻湖	现 代	泻湖半咸水	0.61	33.2	23	0.0038	3.8
GM310	墨西哥湾	现 代	大陆棚, 水深 360 呎	0.78	9.8	51	0.0065	5.3

* 质谱峰的分析, 每个分子带有1-环、2-环等分子的百分数。

** 6-R是带6-环或更多的环的分子百分数。

沉积样品中沸点在 325°C 以上的原生烃类的分析

异链烷烃+环烷烃 (%)																					
馏分 2 (325-370°C)*						馏分 3 (370-420°C)*						馏分 4 (420-470°C)*									
0-R	1-R	2-R	3-R	4-R	5-R	6-R**	0-R	1-R	2-R	3-R	4-R	5-R	6-R**	0-R	1-R	2-R	1-R + 2-R	3-R	4-R	5-R	6-R**
洛 杉 矶 盆 地 页 岩 样 品																					
14	15	20	16	20	10	6	8	15	18	14	24	16	5	6	11	15	26	7	26	21	14
20	18	18	16	16	8	5	10	12	14	10	29	21	6	3	4	17	21	13	34	21	8
38	21	17	11	8	4	1	20	17	13	7	14	19	8	14	11	8	19	3	18	30	18
32	10	9	11	17	15	6	9	14	4	6	50	13	4	4	0	2	2	4	45	19	26
42	17	14	12	8	5	2	14	13	6	8	21	28	10	7	1	0	1	2	49	22	29
56	11	10	9	8	4	2	16	11	4	3	32	27	7	8	0	0	0	1	59	17	15
43	14	13	12	11	5	2	15	12	7	3	41	16	6	8	0	0	0	1	67	15	9
42	8	7	13	18	7	5	8	2	0	4	61	21	4	7	1	2	2	63	13	14	
49	10	10	11	12	5	3	17	12	7	12	36	12	4	9	1	2	3	2	67	13	6
60	8	9	9	8	3	3	20	14	7	10	32	10	7	11	3	2	5	2	61	12	9
41	12	11	12	16	5	3	13	12	6	8	53	6	2	8	1	1	2	70	16	3	
39	17	16	12	11	4	3	17	22	14	14	25	5	3	9	9	6	15	4	52	17	3
35	18	16	13	13	4	1	17	18	11	11	36	4	3	11	7	4	11	4	60	12	2
36	21	17	12	10	3	1	21	21	14	11	28	4	1	14	10	8	18	5	48	13	2
文 图 拉 盆 地 页 岩 样 品																					
6	10	15	18	23	14	14	4	8	13	10	37	19	9	3	15	17	32	10	20	17	18
11	12	15	10	17	18	17	6	8	12	7	39	16	12	5	9	11	20	5	37	23	10
25	16	18	17	15	6	3	11	17	15	12	22	15	8	8	10	11	21	6	30	20	15
23	19	20	15	14	6	3	12	22	19	16	17	11	3	11	16	14	30	7	25	16	11
36	19	17	13	9	4	2	13	19	14	12	24	12	6	8	5	4	9	4	48	15	16
35	17	17	12	18	5	3	16	19	14	10	17	17	7	9	10	9	19	5	31	23	13
48	15	14	10	8	3	2	17	18	14	9	31	8	3	8	4	8	12	4	62	10	4
45	15	13	11	10	4	2	14	7	10	8	44	5	2	8	4	3	7	3	66	12	4
25	19	16	12	21	5	2	9	5	7	6	65	6	2	8	3	6	9	3	68	10	2
25	18	17	16	15	6	3	13	20	15	15	26	7	4	9	12	10	22	7	39	17	6
45	14	15	13	9	3	1	25	20	17	14	17	5	2	11	12	10	22	7	46	11	3
36	19	17	12	10	4	2	18	20	15	11	28	5	3	10	8	7	15	3	51	14	7
31	19	18	13	13	4	2	14	20	19	12	25	6	4	6	6	12	18	4	42	27	3
34	17	16	14	12	5	2	12	18	14	12	34	7	3	6	5	5	10	3	48	29	4
各 种 现 代 沉 积 物 样 品																					
16	19	21	16	15	8	5	13	19	18	13	16	12	9	10	16	13	29	6	10	12	33
31	42	13	3	6	4	1	13	10	4	2	29	31	11	16	13	6	19	3	21	26	15
19	19	19	12	17	10	4	12	20	17	11	17	12	11	2	26	21	47	19	17	9	6