

404254



中国陆相油气的 形成演化和运移

中国科学院兰州地质研究所

甘 肃 人 民 出 版 社

中国陆相油气的形成演化和运移

中国科学院兰州地质研究所

甘肃人民出版社出版

(兰州庆阳路230号)

甘肃省新华书店发行 兰州新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张17.25 插页4 字数384,000

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数1—2,800

书号: 13096·61 定价: 2.30元

前 言

建国三十年来，在陆相沉积盆地中发现了大量油气田，石油产量突破亿吨大关，从而破除了陆相不能生油或贫油的观念，丰富了石油成因理论，扩大了找油找气领域。

“陆相生油”是我国独特的地质规律，也是世界各国所罕有的。二十多年来，我所在陆相成油理论方面作了一些工作。五十年代编写出《中国西北区陆相油气田的形成及其分布规律》一书，六十年代完成了《青海湖综合考察报告》。近年来，应用新方法、新技术，在陆相有机质的特征，油气的形成和演化、油气源对比、油气运移以及油气形成的古气候、水介质、水动力、地球化学相等方面都取得了一些新的进展，充实和发展了陆相生油的理论。

为了加快实现科学技术现代化，努力发展我国独特的石油成矿理论，我们把历年来的成果和资料进行了总结，编写出《中国陆相油气的形成演化和运移》一书。

全书共分七章。第一、二、三章从含油气盆地构造特征、古气候、古湖泊、水介质、水动力、地球化学相等各种因素，并结合有机质的特征，充份论证了陆相潮湿拗陷中油气的形成。第四章应用大量色谱、红外，质谱、顺磁等分析资料，讨论了陆相油气的形成和演化。第五章综合我国各含油气盆地大量原油分析资料，详细讨论了陆相原油的地球化学特征及其与海相原油的差异。第六章运用特征有机化合物、稀有气体同位素及原油孢粉等资料对我国某些含油气盆地的油源岩及油气类型进行了划分和对比。第七章根据原油物理化学性质及特征有机化合物的变化并结合地质发展史初步探讨了陆相沉积盆地中油气的运移。最后还总结了大油田形成的地质和地球化学条件。

陆相生油涉及到许多学科领域。由于我们理论知识不足，实验条件较差，工作地区有限，其中难免有不符合客观实际的地方。错误之处，恳切希望得到批评指正，以便今后再版时补充、修改，进一步提高。

中国科学院兰州地质研究所

目 录

第一章 油气形成的构造和古气候条件	(1)
第一节 含油气盆地的构造特征	(1)
一、普遍有中央隆起	(1)
二、沉积凹陷中心的转移	(3)
三、断块差异升降形成分割性凹陷	(3)
四、多构造运动多沉积旋回	(4)
五、沉降速度差异	(4)
第二节 油气形成的古气候条件	(5)
一、现代气候分带及沉积特征	(6)
(一)寒冷潮湿气候带	(6)
(二)温暖潮湿气候带	(6)
(三)温暖半干燥气候带	(8)
(四)温暖干燥气候带	(8)
二、中国中生代气候分带及沉积特征	(9)
三、古气候演变对元素有机质演变的控制作用	(18)
(一)气候旋回与元素演变	(18)
(二)气候旋回与有机质演变	(21)
第二章 油气形成的沉积环境	(25)
第一节 湖泊的形成演化及其类型	(25)
一、基底特征和成盆方式	(25)
二、湖泊的形成和发展	(26)
(一)单旋回演化	(26)
(二)多旋回演化	(28)
三、湖水来源及水质演化	(29)
(一)湖水来源	(29)
(二)湖水含盐量及其演变	(30)
四、湖泊类型及其特征	(35)
(一)与潮湿和半潮湿气候有关的淡水——微咸水湖泊	(35)
(二)与潮湿气候有关的淡水湖沼	(36)
(三)与半干燥和干燥气候有关的微咸水——咸水湖泊	(36)
(四)残留海盆或海水短暂连通的近海湖泊	(36)
第二节 沉积水动力及地球化学相	(38)

一、湖相生油岩沉积的水动力条件	(38)
(一)湖泊的水动力状况	(38)
(二)沉积环境及沉积特征	(40)
(三)沉积相特征	(44)
(四)有机质聚集有利相带	(48)
(五)湖水动力研究的几个重要问题	(48)
二、地球化学相	(52)
(一)沉积环境与环境指标	(52)
(二)沉积环境与有机质	(59)
第三章 陆相潮湿拗陷中的有机质	(67)
第一节 不同气候带中有机质的特征	(67)
一、上三叠统生油层	(67)
二、侏罗系生油层	(69)
三、白垩系生油层	(69)
四、第三系生油层	(72)
第二节 不同沉积相中有机质的类型	(74)
一、陆相沉积中的有机质	(74)
二、海陆交互相及海相沉积中的有机质	(84)
第三节 陆相潮湿拗陷	(91)
一、陆相潮湿拗陷的类型	(91)
(一)近海潮湿拗陷	(92)
(二)内陆潮湿拗陷	(92)
二、陆相潮湿拗陷的形成和分布	(92)
(一)晚三叠世陆相潮湿拗陷	(92)
(二)侏罗纪陆相潮湿拗陷	(94)
(三)白垩纪陆相潮湿拗陷	(94)
(四)第三纪陆相潮湿拗陷	(94)
第四章 油气的形成与演化	(95)
第一节 近代湖泊有机质的演化	(95)
一、近代湖泊沉积物中有机质	(95)
二、早期成岩作用中有机质的演化	(95)
三、正构烷烃的演化及淤泥热解实验	(103)
第二节 我国第四纪天然气形成的特征	(106)
一、生气层的沉积环境及有机质特征	(106)
二、天然气的组成特征	(106)
第三节 油气的形成与演化	(107)
一、陕甘宁盆地油气的演化	(107)
(一)中生界油气的形成与演化特征	(107)

(二) 古生界油气的形成与演化	(111)
二、酒西松辽等盆地油气的演化	(137)
(一) 酒西花海盆地	(137)
(二) 松辽盆地	(138)
(三) 渤海湾盆地	(142)
第四节 油气演化的阶段	(145)
第五章 陆相原油的地球化学特征	(147)
第一节 原油的物理化学特征	(147)
一、原油的物理性质	(147)
二、原油的烃族组成	(152)
(一) 原油的馏份分布	(152)
(二) 原油的族组成	(152)
(三) 汽油的烃类组成与结构特征	(157)
(四) 煤、柴油的烃族组成	(166)
(五) 重油的组成	(167)
三、原油的卟啉与钒镍元素含量	(168)
第二节 原油的化学组成与成油环境	(173)
一、原油性质与成油环境	(173)
(一) 硫含量	(173)
(二) 胶质、沥青质含量	(175)
(三) 蜡含量	(176)
二、原油的烃族组成与成油环境	(177)
(一) 烃族组成	(177)
(二) 正烷烃的分布	(178)
(三) 类异戊二烯烷烃的分布	(179)
三、原油的碳同位素组成	(187)
四、环己烷与甲基环戊烷的比值	(193)
第三节 保存条件与原油性质的变化	(194)
一、深成演化作用与原油性质的变化	(194)
(一) 汽油的烃组成和结构的变化	(194)
(二) 原油组成的变化	(195)
二、表生氧化作用与原油性质的变化	(197)
第六章 油源的判断	(205)
第一节 油源对比	(205)
一、原油之间的对比	(205)
(一) 原油“全烃”色谱	(205)
(二) 类异戊二烯烷烃	(208)
二、原油与生油层的对比	(213)

(一) 姥姣烷/植烷、姥姣烷/正十七烷和植烷/正十八烷比值	(213)
(二) 金属卟啉化合物	(219)
(三) 三萜烷、甾烷	(220)
(四) 正构烷烃及红外光谱	(221)
三、氫同位素的分布及天然气形成的年龄	(224)
四、利用原油孢粉鉴别油源岩	(225)
第二节 生油量计算	(226)
第七章 油气的运移	(230)
第一节 石油的初次运移	(230)
一、粘土失水与初次运移	(230)
二、排出孔隙水与初次运移	(233)
第二节 陆相油气运移的基本特征	(234)
一、碎屑岩中油气的运移	(235)
二、大型砂岩体中油气的运移	(239)
三、断裂带中油气的运移	(244)
第三节 油气的多期运移	(247)
一、多旋回多生油层造成了油气多次运移	(247)
二、油气多期运移的特征	(249)
(一) 同区域构造运动相一致	(249)
(二) 油气性质有一定差异	(250)
(三) 各期含油面积互相叠加	(252)
三、油气运移的分期	(254)
第四节 大油田形成的地质地球化学条件	(254)
一、必须有优良的生油岩体积构成丰富的油源	(255)
二、必须有较好的储集层巨大的聚油面积	(258)
三、圈闭形成期与油气生成运移期相配合	(260)
四、生、储、圈、保的相互配合	(262)
初步结论	(265)
参考文献	(267)
编后记	(269)

第一章 油气形成的构造和古气候条件

陆相沉积盆地中，有机质的聚集和保存，油气的形成，究竟是受哪些因素的控制，目前国内外石油地质工作者对此持有不同意见。一九五九年，我所在《中国西北区陆相油气田的形成及其分布规律》一书中提出：“内陆潮湿拗陷”是陆相油气形成的基本规律。经过二十多年石油勘探的实践和油气形成理论的深入研究，这一理论得到进一步证实和发展。目前我国和世界上绝大多数陆相油气田都是与陆相潮湿拗陷有关。因此，深入研究各种陆相沉积盆地中有机质的类型及其特征，探讨油气形成的地质和地球化学条件，如构造、岩相、古气候、水介质、水动力、地球化学相等，对于解决石油成因问题，阐明陆相油气田的形成分布规律并进行含油气远景预测都具有十分重要的意义。

第一节 含油气盆地的构造特征

印支运动以后，中国境内，除西藏、华南等少数地区有海相沉积外，广大地区均上升为陆，形成许多中生代陆相沉积盆地。中国西北区，由于台块区的下降和褶皱区的上升，再加上X—型基底断裂的影响，形成许多北西西向菱形盆地。中国东部地区，由于受北北东向基底断裂和断块活动的影响，形成许多“多”字形盆地。而华南地区，由于地台活化，也形成了一些小型断陷盆地。这些盆地的形成和发展严格地控制着中生代陆相生油层及油气田在时间和空间上的分布。

中国陆相含油气盆地具有多种多样的类型（图1—1），各个含油气盆地中，隆起、拗陷的形成和发展一般具有如下特征：

一、普遍有中央隆起

大型含油气盆地中的中央隆起，把盆地分隔成南北或东西两个拗陷，形成不对称的盆地（表1—1）。

准噶尔盆地南缘乌鲁木齐山前拗陷，从中生代到新生代，一直处于深拗陷区，地壳长期下陷，延续时间达2.25亿年。

柴达木盆地在中新生代沉积过程中，由于有中央隆起存在，把盆地分隔成南北两个拗陷。侏罗、白垩纪时，南北拗陷幅度相差不大。老第三纪时，北部拗陷下降较深，沉积较厚。从新第三纪到第四纪，西南拗陷下降较深，沉积较厚。因而在中央隆起两侧都形成了长期继承性拗陷，其延续时间长达0.7亿年。不过总的看来，柴达木盆地中、新生代拗陷最深、沉积最厚的地区仍然是在盆地西南缘茫崖山前拗陷带。

在塔里木盆地中央台块的南北均有边缘拗陷的存在。大型拗陷的形成和发展也是不平衡的，侏罗、白垩纪时，库车边缘拗陷下降较深，沉积较厚。第三纪和第四纪时，西

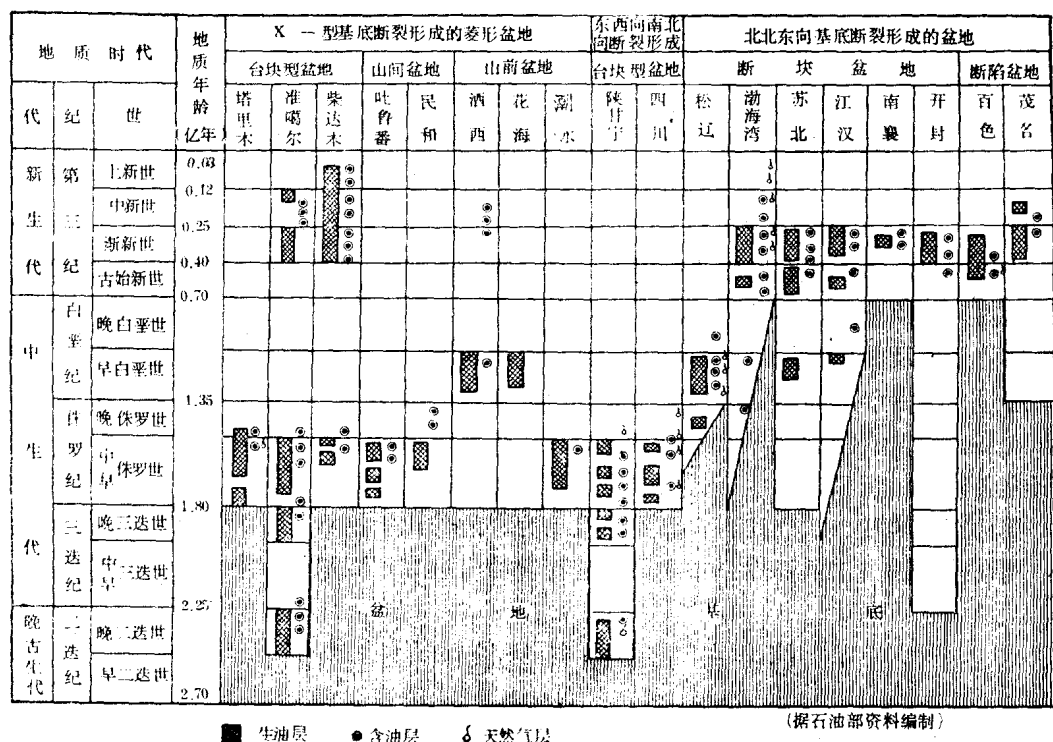


图 I—1 中国陆相含油气盆地类型图

表 I—1 西北三大盆地中、新生界沉积厚度表

时 代 地 层 厚 度(米)	塔里木盆地		准噶尔盆地		柴达木盆地	
	西南部	库车	南部	西北部	西南部	北部
第四系—新第三系	3,000—7,000	1,500	4,000—5,000	300	6,000	5,700
老第三系	1,200	500	1,000	400—800	1,800	2,800
白垩系	600	1,000	1,700	500	700	800
侏罗系	3,000	2,000—3,000	3,000—4,500	1,500—2,000	1,400—2,600	1,500—2,500
三叠系	缺失	1,200—1,500	1,500—2,100	1,500	缺失	缺失
中新生界总厚	9,000—10,000	7,000	12,000	5,000	9,500	8,500

南边缘拗陷下降较深，沉积较厚。因而在中央台块的北缘形成了中生代长期继承性深拗陷（延续时间为1.1亿年）；而在中央台块的南缘则形成了新生代长期继承性深拗陷（延

续时间为0.7亿年)。不过总的看来,塔里木盆地中、新生代拗陷最深、沉积最厚的地区仍然是在盆地西南边缘拗陷带。

松辽盆地在白垩纪时,中央隆起呈北北东向展布,把盆地分隔成东西两个拗陷,其中以西部拗陷下降较深,沉积较厚,延续时间为0.65亿年。

从中国西北区的大地构造特征来看,无论发育在台块区、过渡区或褶皱区的各种类型含油气盆地中均有长期继承性拗陷的存在,对有机质聚集、保存和油气的形成都是极为有利的条件。

二、沉积凹陷中心的转移

中国西北区各个含油气盆地中,由于盆地外围山系的不均衡上升和盆地基底的差异升降,各时代的沉积凹陷中心也在不断转移,并具有多种多样的形式:

(1)平行于外围褶皱山系的转移,准噶尔盆地南缘乌鲁木齐山前拗陷,三叠纪沉积凹陷中心在乌鲁木齐以东。侏罗、白垩纪时,转移到乌鲁木齐以西玛纳斯一带。第三纪时转移到玛纳斯以西独山子一带。由于沉积凹陷中心的转移,生油层的分布亦随之变化。

(2)从中央向两侧转移。民和盆地在侏罗、白垩纪时,沉积凹陷中心位于盆地中央部位。第三纪以后,由于中央带逐渐隆起,沉积凹陷中心即逐渐向南、北两侧转移,把盆地分隔成南、北两个凹陷。

(3)逆时针方向转移:陕甘宁盆地在晚三叠世 T_3y^2 时,沉积凹陷中心位于盆地西南部。从 $T_3y^3 \rightarrow T_3y^4 \rightarrow T_3y^5$ 逐渐向东北方向转移。侏罗纪时,虽然形成许多分割性凹陷,但是沉积凹陷中心已经转移到盆地西部。

(4)“跷跷板”式的转移:柴达木盆地在侏罗、白垩纪时,南北拗陷沉降幅度接近于平衡。第三纪渐新世沉积凹陷中心在盆地西南部,到上新世,逐渐向中部和北部转移。再到第四纪时,沉积凹陷中心又转移到盆地南缘三湖凹陷带。塔里木盆地在三叠纪时,沉积凹陷中心在库车边缘拗陷。侏罗纪时,南北拗陷沉降幅度接近于平衡。白垩纪时,沉积凹陷中心转移到库车边缘拗陷。到第三纪和第四纪时,沉积凹陷中心又转移到盆地西南缘,并具有强烈拗陷的特点。

沉积凹陷中心的转移控制着生油层在时间和空间上的分布。

三、断块差异升降形成分割性凹陷

地台活化、断块差异升降可以使整个盆地解体形成许多分割性凹陷,同时也可形成一些断陷盆地。

陕甘宁盆地在侏罗纪时,由于地台活化、盆地解体,形成许多局部性的含煤盆地。第三纪以后,又由于受基底断裂活动的影响而形成许多断陷盆地(如渭河断陷、银川断陷及包头断陷等)。并且越向盆地中心,拗陷幅度越减弱。

我国东部地区在北北东向基底断裂的影响下,常形成一系列呈北东向展布的“多”字形盆地。渤海湾盆地是我国东部最大的一个含油气盆地,它是由冀中、黄骅、临清、济阳、渤中、“东北一号”等六个大型拗陷所组成。在每一个大型拗陷中,又常形成许多次一级的隆起和凹陷,并呈北东向展布。整个渤海湾盆地以渤中拗陷下降最深,沉积

最厚，生油岩系也最发育。在大型拗陷中，生油层厚度变化很大，生油条件也有很大差异。以济阳拗陷为例，东营凹陷及沾化凹陷生油条件良好，而车镇、临南、阳信及磁镇等凹陷则生油条件都比较差。

四、多构造运动多沉积旋回

中新生代构造运动的发展明显控制着沉积旋回的演变。频繁的构造运动带来的上升和下降都决定着组成沉积物质的相应变化，形成地质剖面上的沉积旋回。

我国各含油气盆地，从中生代到新生代，明显可分四个沉积旋回：第一沉积旋回是三叠纪，第二沉积旋回是侏罗纪，第三沉积旋回是白垩纪，第四沉积旋回是第三纪。由于构造旋回与气候旋回的演变并不完全一致，因而在中新生代地质历史中形成了多种类型的沉积旋回。概括起来，有以下三类：

- (一) 洪积相 → 淡水微咸水湖相 → 洪积相
河流相 → 平原河流相
- (二) 洪积相 → 淡水湖相 → 淡水湖相 → 洪积相
河流相 → 微咸水湖相 → 沼泽相 → 河流相
- (三) 洪积相 → 微咸水湖相 → 微咸水湖相 → 洪积相
河流相 → 盐湖相 → 河流相

前两种沉积旋回是在潮湿和半潮湿气候下形成的，后一种沉积旋回是在半干燥和干燥气候下形成的。一般在潮湿、半潮湿气候和构造旋回中期形成的淡水、微咸水湖泊中，有机质含量很高，沥青化程度也较强，是生油有利层段。而在构造旋回早期和晚期形成的洪积相、河流相及滨湖相中，碎屑岩增多，是储油有利层段。因此，深入研究沉积旋回的类型、特征及其在地质历史中的演化，对于了解含油气盆地中生、储、盖组合特征及分布规律都具有十分重要的意义。

五、沉积速度差异

中国中新生代以来，由于构造运动的发展很不平衡，各个含油气盆地中，沉降幅度与沉降速度的变化也有很大差异（图 I—2）。

侏罗纪时，西部地区的台块型含油气盆地（如准噶尔、塔里木、柴达木及四川等盆地）和东部地区的断块型含油气盆地（如松辽、渤海湾、苏北及“五七”等盆地），沉降幅度都比较大，沉积速度也比较快。两者对比，沉降幅度与沉降速度接近于平衡。

侏罗纪以后，我国东、西构造运动的发展很不平衡。从白垩纪到老第三纪，以东部地区的松辽、渤海湾、苏北及“五七”等盆地沉降幅度比较大，沉积速度也比较快。新第三纪和第四纪时，又以西部地区的塔里木、准噶尔及柴达木等盆地沉降幅度比较大，沉积速度也比较快。

这样，中国东西盆地的发展就以四川和陕甘宁盆地为“支点”作“跷跷板”式的运动。

如果从生油条件分析，一般在沉降幅度比较大、沉积速度比较快的大型含油气盆地

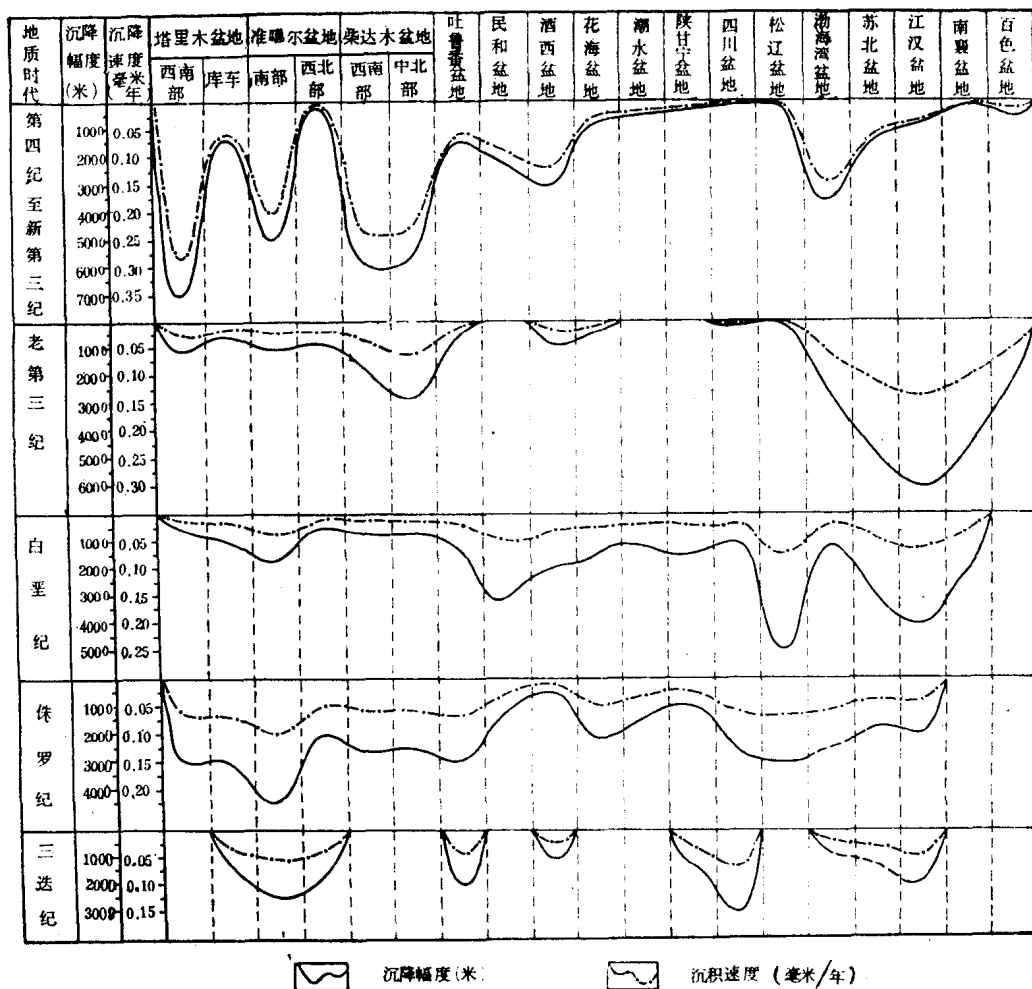


图 I-2 中国各含油气盆地沉降幅度及沉降速度图

中，有机质的聚集、保存和转化条件都比较好。

我国陆相含油气盆地数量之多、面积之大、分布范围之广是世界上所罕有的。据统计：沉积面积大于300,000平方公里的含油气盆地有两个，大于200,000平方公里的含油气盆地有三个，大于100,000平方公里的含油气盆地也有两个，其它还有许多中小型含油气盆地。研究结果证明：凡是发育在台块区和边缘拗陷区的同生沉积盆地，拗陷幅度深、沉降速度快，生油条件都比较好。在一个大型含油气盆地中，长期继承性拗陷和沉积凹陷中心区是油气形成比较有利的地带。

第二节 油气形成的古气候条件

陆相沉积中有机质的多寡主要取决于沉积物形成的古气候和水介质条件。大气环流的改变，不仅影响湖盆水介质中酸碱度、含盐度和氧化还原环境的变化，而且也影响各

种生物的生长和繁殖。

为了探讨中生代陆相沉积盆地中古气候、水介质的演化及其与油气形成的关系，我们首先简要地介绍一下现代气候分带及湖泊沉积的一般特征。

一、现代气候分带及沉积特征

地球表面气候带的变化主要受纬度、气流、海洋、地形等多种因素的控制。纬度和气流决定气候带的分布，而水域和地形则往往形成局部性的气候区。

大气环流是由于赤道和极地区间温度差和压力差所引起的。赤道地区，由于接受太阳辐射能量最多，温度最高，空气受热上升，地表形成低气压区。两极附近，接受太阳辐射能量最少，温度低，地表形成高压区。赤道上的空气上升到对流层上部便流向两极，在流动中慢慢冷却，到了两极，空气下沉，在地面变冷后，又从地面流向赤道。这样，在赤道和两极之间便形成了封闭的环流圈。从赤道地区上升的气流，水份多，降雨量大，所以在热带和亚热带地区往往形成潮湿气候带。当气流从对流层上部流向两极时，空气中仍然保持着一定的湿度；但从两极再流向赤道时，空气中的水份即大大减少，这样就在南北纬 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间的中、低纬度带形成了干燥气候带。地球表面不仅有水平气候分带，而且还有垂直气候分带。分布在干燥气候带的湖盆，如果盆地外围山系上升到垂直潮湿气候带以上，则山区气候比较潮湿，有大量雨水和雪水流入盆地，使湖盆内部水量增多，水质淡化，从而改变了湖区的气候条件。所以在干燥气候带内往往形成一些局部性的潮湿、半潮湿气候区。

海洋潮湿气流不断吹向大陆，使大陆沿海一带气候湿润，雨量增多，从而形成许多淡水——微咸水湖泊。

为了研究气候带的变化及现代湖泊沉积的一般特征，我们根据候德封、H·M·斯特拉霍夫、R·C·贝尔格、A·N·彼列尔曼、K·N·卢卡舍夫、H·B·加尔摩诺夫及O·A·阿列钦等的资料，汇编成《欧亚大陆现代气候分带及地表元素分布图》，从这张图上（图1—3），可以看出：各个不同气候带的湖泊类型及地球化学特征，都有明显差异。

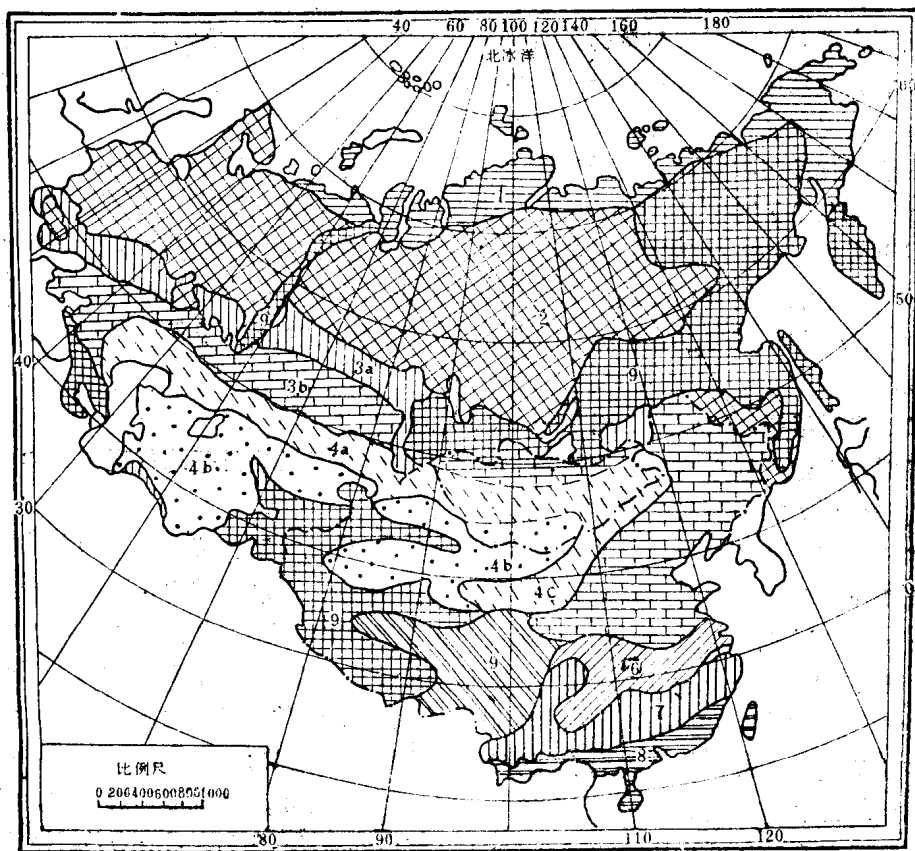
（一）寒冷潮湿气候带 [图1—3(1)]

寒冷潮湿气候带分布于北纬 70° 度以北苏联北部靠近北海一带。这里最热月平均温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$ ，年平均降雨量为 $200\sim 400$ 毫米，湿度差是正的。由于气候严寒、终年积雪，生物不甚繁茂，地球化学作用相当微弱，所以广大地区均为碎屑岩堆积。不过在温暖季节，当冰川溶化时，在低洼之处亦往往形成一些沼泽和湖泊。沼泽、湖泊中的水溶液通常为超淡水，重碳酸钙型，呈弱酸性反应， H^{+} 离子和胶体较多， Fe^{2+} 在胶体的保护下可以很好的迁移，所以在沼泽相中常有兰铁矿 $[\text{Fe}_3(\text{Po}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ 沉积。

（二）温暖潮湿气候带 [图1—3(2)]

温暖潮湿气候带分布于北纬 $53^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间。这里最热月（七月）平均气温为 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，年平均降雨量为 $450\sim 600$ 毫米，湿度差也是正的。

温暖潮湿气候带中泥炭沼泽和淡水湖泊都很发育。在沼泽相中 H^{+} 离子和有机酸很多，溶液呈酸性反应，pH值一般为 $5.5\sim 6.0$ ，有时可降低到 $4\sim 4.5$ 。由于介质酸性较强， Fe^{2+} 具有很强的迁移力，当pH值升高到 $7.2\sim 7.4$ 时，则产生菱铁矿 (FeCO_3) 和兰铁



地球化学分带

气候分带

- 1 碎屑岩带
- 2 高岭石-菱铁矿带
- 3 碳酸盐带
- 3a 蒙脱石-碳酸盐带
- 4a 硫酸盐带
- 4b 钾、镁、钠、氯化盐带
- 4c 硫酸盐带
- 5 碳酸盐带
- 6 腐粘土带
- 7 高岭石粘土带
- 8 铁铝矾土带
- 9 腐植质堆积带
- 9 高山堆积带

- 1 潮湿带 (苔原气候)
- 2 潮湿带 (森林气候)
- 3a 半潮湿带 (森林草原气候)
- 3b 半干燥带 (草原气候)
- 4a
- 4b 干燥带 (荒漠气候)
- 4c
- 5 干燥带
- 6 半潮湿带
- 7 潮湿带
- 8
- 9 潮湿气候带

温带

亚热带

(据德封、H·M斯特拉霍夫、R·C贝尔格、A·N彼列尔曼、K·N卢卡舍夫等资料编)

图 I—3 欧亚大陆现代气候分带及地表元素分布图

矿 $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ 沉积。此外，在沼泽相中还含有大量腐植质，这些腐植质堆积后即可形成泥炭，其中并含有较多的磷 (P_2O_5)。

发育在潮湿半潮湿气候带的重碳酸钙型湖泊,有淡水——微咸水介质,淤泥水呈弱酸性——弱碱性反应。在湖泊中央地带,由于还原作用较强,淤泥中含有丰富的有机质,其中氢的含量比泥炭高,碳的含量比泥炭低,腐泥是石油生成的良好母质。在湖盆边缘地带,由于氧化作用较强,有大量褐铁矿〔 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 〕、氧化铁矿(Fe_2O_3)及沼锰矿($\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)沉积,有时还含有少量的磷(P_2O_5)。

以上所述,是潮湿气候带地球化学作用的一般特征。但是发育在碳酸盐区的湖泊,则是另外一种湖水呈弱碱性反映,无论湖水或淤泥水中都含有大量碳酸盐,沉积物中缺乏有机质,Fe、Mn、P、Al的含量也很低。由于水溶液中Ca离子很多,胶体活动也受到了限制。

(三)温暖半干燥气候带〔图 I—3(3)〕

温暖半干燥气候带分布于北纬 $50^\circ \sim 53^\circ$ 之间。这里最热月平均气温为 $20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$,年平均降雨量为250~450毫米。

半干燥气候带的湖泊具有多种多样的类型,如碳酸盐型、硫酸盐型和氯化物型等,不过其中以碳酸盐型湖泊居多数。在碳酸盐型湖泊中,湖水通常为重碳酸钙型,PH值为7.2~7.6,有时可升高到8.8。含盐量和矿化度都比较低,其中有大量 CaCO_3 和 MgCO_3 沉积,并有蒙脱石粘土伴生。当PH值小于6时,Cu、Pb、Cd、Ca、Sr、Ba、Cr等元素是迁移的。PH值大于7时,上述各种元素的活动性减弱,而 CrO_4^{2-} 、 $\text{M}_2\text{O}_4^{2-}$ 、 VO_4^{3-} 、 AsO_4^{3-} 等络阴离子仍然具有比较强的迁移力。在硫酸盐型和氯化物型湖泊中,湖水一般是 Na_2SO_4 和 MgCl_2 型,PH值为8,有时可达10—11,含盐量和矿化度都很高(最高可达120~250克/升),其中并有 Na_2SO_4 、 CaSO_4 及 NaCl 等盐类矿物沉积。

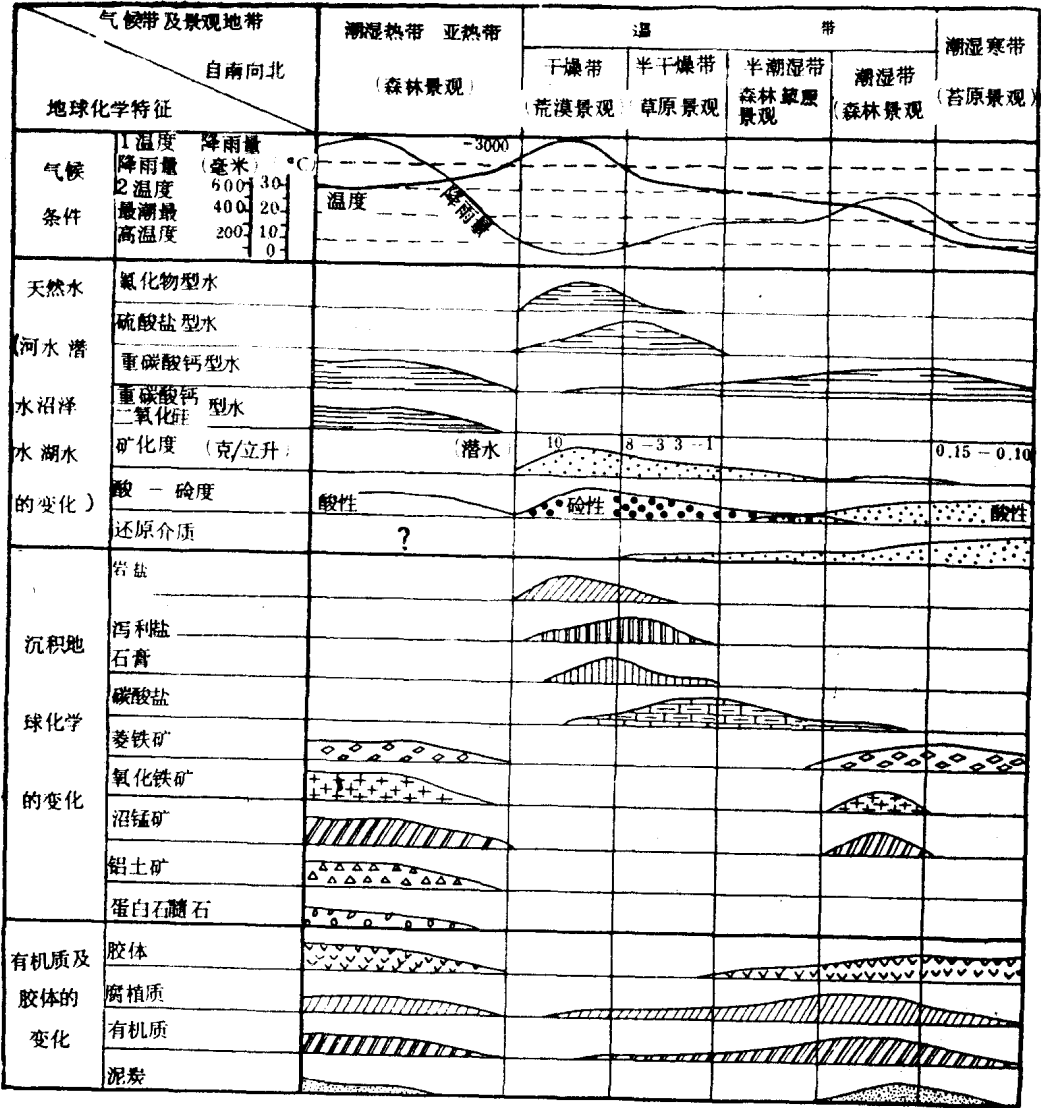
(四)温暖干燥气候带〔图 I—3(4)〕

温暖干燥气候带分布于北纬 $37^\circ \sim 50^\circ$ 之间,如苏联中央亚细亚和中国西北区都是属于这类地区。这一带的气候比较干燥,其最热月(七月)平均气温为 $32^\circ\text{C} \sim 36^\circ\text{C}$,最高可达 50°C ,年平均降雨量都在250毫米以下,有些地方仅有100毫米,或者更小。由于蒸发量远远大于降雨量,所以湿度差常常是负的。

干燥气候下的湖泊大都属于盐湖,盐湖中的水体一般具有强碱性(PH值 >11),含盐量和矿化度都很高。例如在半荒漠地带的盐湖中,水的矿化度为300~350克/升,而在荒漠地带的盐湖中水的最高矿化度为350~450克/升。发育在干燥气候带的盐湖,由于气候特别干燥,湖水不断蒸发,先后有各种盐类矿物沉积。一般在盐湖发展初期阶段,常常有苏打(Na_2CO_3)、芒硝($\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、钙芒硝($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)及石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)沉淀。而当盐湖发展到高级阶段,则有岩盐(NaCl)、光卤石($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)白钠镁矾($\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)及钾盐(KCl)等盐类矿物沉积。此外,在盐湖中还常含有I、Br、B、Li、Rb、Cs、Sr、Ba等稀有元素。

以上所述是干燥气候带地球化学作用的一般特征,但是自然界的现象是很复杂的,在干燥气候带内如果有局部潮湿、半潮湿气候区存在,或者临近潮湿带有大量迳流补给盆地,也可在干燥气候带形成淡水和微咸水湖泊,并具有半潮湿气候下的沉积特征。这种例子在中央亚细亚是很多的,例如苏联境内的里海虽然处于干燥气候带,但是湖水中的

矿化度并不高（10~12克/升），沉积物中含有丰富的有机质，并有沥青和烃类的形成（图 I—4）。



据A.N彼列尔曼K.N卢卡舍夫H.M斯特拉霍夫、N.B加尔磨诺夫O.A阿列钦等资料编制

图 I—4 欧亚大陆各气候带地球化学特征图

二、中国中生代气候分带及沉积特征

根据陆相沉积中各种古气候标志层，编制出中国中生代古气候图。从这些古气候图上，可以看出：中国境内，从中生代到新生代，由于大气环流的改变，气候带也在不断变化。

(一)晚三叠世

中国境内，西南地区以海相沉积为主；北部地区以陆相沉积为主，有时也有少量海

相沉积。由于气候普遍潮湿，无论在南方滨海沼泽相中，或者在北方陆相沉积盆地中，均有煤、油页岩、高岭石粘土及菱铁矿沉积。（图 I—5）

印支运动以后，地壳上升，海水陆续向南退出，中国境内除西藏、新疆及华南等少数地区外，绝大部分地区都已变为大陆。同时由于受地台活化的影响，开始形成许多中生代陆相沉积盆地。

（二）早、中侏罗世

是中新生代以来气候最潮湿的时期（图 I—6），全国各个陆相盆地中普遍形成许多淡水湖泊和沼泽。沼泽相中有大量煤、油页岩、高岭石粘土、菱铁矿及褐铁矿沉积，少数盆地有铝土页岩。

（三）中、晚侏罗世

全国形成三个气候带（图 I—7）：北部潮湿气候带，泥炭沼泽和淡水湖泊都很发育。沼泽相中也有煤、油页岩、高岭石粘土及菱铁矿沉积。南部潮湿气候带，多为海相沉积，仅在少数地区发现有煤层。中部半干燥气候带占据了中国的广大面积，在许多陆相盆地中均以红色建造为主，有大量泥灰岩、含铜砂岩及蒙脱石粘土沉积。陕甘宁盆地还发现有硅质鹅卵石层。

（四）早白垩世

全国仍有三个气候带（图 I—8）：北部潮湿气候带的许多陆相盆地中，以油页岩为主，夹少量薄煤层。南部潮湿气候带仍以海相沉积为主，局部地区有薄煤层。至于中部半干燥气候带，广大地区均为红色沉积，有大量泥灰岩、石膏及含铜砂岩。酒泉—民乐盆地及六盘山地区虽然处于半干燥气候带，但是由于受垂直潮湿气候带的影响，形成了局部潮湿、半潮湿气候区，并有少量油页岩、碳质页岩及菱铁矿沉积。根据徐仁、江德昕、杨惠秋等同志的孢粉研究，酒西盆地早白垩世植物群含有真蕨纲的海金沙、莎草蕨、*Anemia*、*Moheria*、紫萁、里白、蚌壳蕨、金毛狗等属，裸子植物的苏铁目、银杏目，松柏目的松属、雪松属和被子植物木兰属等，反映当时气候相当湿热和温湿。

（五）晚白垩世

中部干燥带逐渐扩大，南北两个潮湿带仅局限于西藏及东北的狭小地区（图 I—9）。北部潮湿气候带，除油页岩及高岭石粘土外，还有少量磷块岩。中部干燥气候带，广大地区均为红色建造，许多盆地中在泥灰岩和含铜砂岩层之上，经常出现大量石膏和岩盐，显示古湖盆发展已经进入高度咸化阶段。

第三纪古、始新世时，全国普遍为干燥气候。广大地区均为红色建造和含盐建造，有大量石膏、岩盐沉积。

（六）第三纪渐新世和上新世

全国又复形成三个气候带（图 I—10—11）：北部潮湿带、中部干燥带和南部潮湿带。我国东南沿海一带，由于受海洋潮湿气流的影响，形成了近海潮湿气候区。南北两个潮湿气候带，沼泽、湖泊都很发育。沼泽相中有大量煤、油页岩、高岭石粘土、菱铁矿及氧化铁矿；湖相沉积中形成了比较好的生油岩。在我国东南沿海一带近海潮湿气候区内，局部地区有硅藻土。中部干燥气候带，广大地区均为红色建造或含盐建造，石膏、岩盐分布比较普遍。柴达木盆地是盐类矿物最发育的地区，在中新统中有大量含铜