

鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和 运移方向的确定与勘探方向

赵孟为

(德国哥廷根大学地质与岩石圈动力学研究所)

本文根据镜质体反射率、K-Ar 年龄和磷灰石裂变径迹资料,从恢复鄂尔多斯盆地的沉降抬升史与地热史入手,讨论了油气形成与运移的时间、运移方向及其油气勘探方向。油气形成与初次运移和首期二次运移的主要时间在 170~160Ma(中侏罗世末),23Ma(中新世)以来,又发生了一次区域性的第二期二次运移。盆地中东部的各种圈闭,尤其是奥陶系顶部风化壳,均属有利的勘探目标;而其东侧的圈闭则有可能更为有利。

关键词 油气形成 油气运移 勘探方向 鄂尔多斯盆地

作者简介 赵孟为 男 39 岁 博士 石油地质

确定油气形成与运移时间和运移的方向是石油地质学的基本理论问题,对于油气勘探既有重要的理论意义,又有实际的应用价值。不少学者曾论及鄂尔多斯盆地油气形成的时间问题(蔡乾忠,1983;刘培龙,1985;裴锡古等,1987;费安琦等,1987;Sun ZC et al,1989),虽然提出的时限不尽相同,有的倾向于“二次深成”(蔡乾忠,1983;刘培龙,1985);有的则强调长期逐渐的热演化(裴锡古等,1987;费安琦等,1987;Sun et al,1989),但其出发点都基于埋藏受热导致油气生成的模式。然而,对于盆地内有机质的热演化是否就是埋藏受热的结果及其油气生成所对应的深度和温度等基本问题始终缺乏必要的论证和有利的证据。近年来镜质体反射率和伊利石 K-Ar 年龄研究结果表明:无论是有机质的热演化,还是伊利石的形成过程,均不是埋藏受热的结果,而是由一期构造热事件引起的(Zhao MW,1984,1995;赵孟为,1995,1996)。为此,本文拟从这一新的角度出发,讨论油气形成与运移时间和运移方向问题及其勘探意义。

1 油气形成的温度区间和油气形成与运移时间的确定

以往普遍认为,影响油气形成的主要因素是温度和时间(Connan J,1974;Hood A et al,1975;Bostick NH et al,1979;Waples DW,1980;Tissot BP et al,1984)。在有机质转化为油气的过程中,温度的不足可以通过较长的演化时间得以补偿。其中温度是主要因素,它以指数关系影响着这一过程;而时间的作用则是线性的(Waples DW,1980;Tissot BP,1984)。但是,如果温度特别低,即使演化时间再长,有机质也不可能转化为油气。例如,莫斯科石炭纪褐煤由于埋深小,经历的温度低,尽管经过了 260Ma 的演化时间,其碳化程度却仍很低(镜质体反射率 $<0.6\%$)(Karweil J,1956),因而始终达不到生成油气的阶段。所以,温度是油气生成的决定性因素。近年来,Quigley 等人的研究成果表明(Quigley T M et al,1987、

1985),对沉积盆地中的有机质热演化而言,时间因素往往可以忽略不计,而只需考虑温度的大小。对应于生油的温度区间(即“油窗”)主要在 100℃~150℃;而天然气生成的温度区间(即“气窗”)150~220℃(Quigley T M et al,1987、1988)。

显然,按照上述观点,生油气层在地史中进入并处于油窗和气窗之中的时间就是油气形成的时间。油气初次运移发生在油气生成的主要阶段;而这一阶段又对应于二次运移的主要时间(Tissot B P,1984;邸世祥,1988)。换句话说,初次运移和二次运移的主要时期与油气生成的主要时间是一致的。假如在此之后,盆地中再次发生大规模构造运动,仍可导致油气发生二次运移。而这次构造运动的时间就是另一期二次运移的时间。由此可见,综合分析盆地的沉降抬升史与地热史,可以确定出油气形成与运移的时间。

2 盆地沉降抬升史与地热史

根据镜质体反射率、伊利石 K-Ar 年龄和磷灰石裂变径迹资料恢复了天深 1 井和麒参 1 井的沉降抬升史和地热史(图 1、2)。前者位于盆地西部的天环向斜之中;后者则位于盆地中东部的陕北斜坡东部(Zhao M W,1994)。

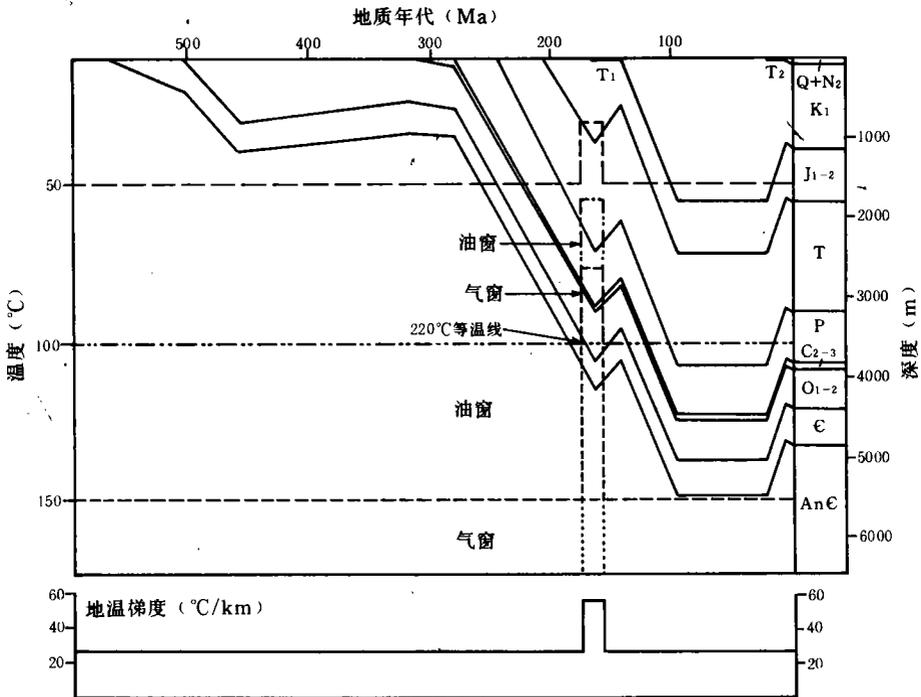


图 1 天深 1 井沉降抬升史和地热史

图中示意出石炭—二叠纪煤系和奥陶纪生气层与延长组生油层在 170~160Ma 分别进入气窗和油窗,对应于油气形成与初次运移和首期二次运移的主要时间(T₁)。23Ma 以来发生快速抬升剥蚀,对应于第二期二次运移的时间(T₂)。220℃等温线表示气窗上限,在正常地温梯度条件下位于 7000 多米深处。此图表明,如果没有 170~160Ma 的热事件,生气层不可能进入气窗,生油层也无法进入油窗

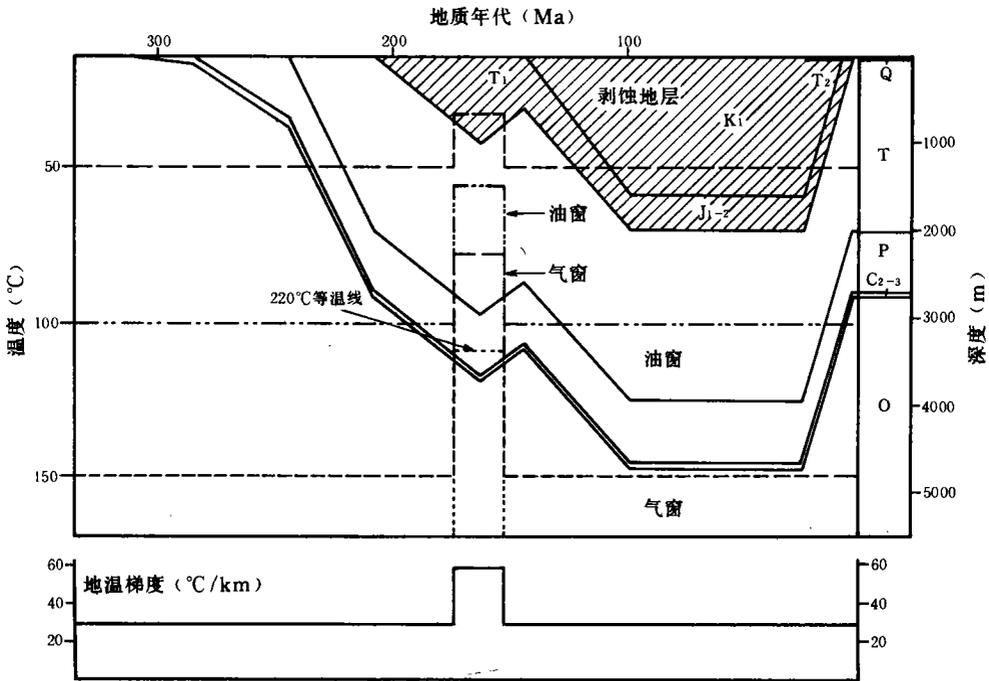


图 2 麒参 1 井沉降抬升史与地热史

图中示意出 170~160Ma 热事件发生时,延长组生油层和石炭—二叠纪煤层和奥陶纪生气层分别进入油窗和气窗,后者甚至超出气窗的范围,对应于油气形成与初次运移和首期二次运移的主要时期(T₁)。23Ma 以来的快速抬升使原已沉积下来的侏罗—白垩纪地层剥蚀殆尽,并对应于第二期二次运移的时期(T₂)。220°C 等温线代表气窗上限,在正常地温梯度条件下位于 7000 多米深处

庆 36 井三叠系镜质体反射率(R^o)值在 0.61%~1.06%之间,对应的最大温度为 90°C~160°C,由此推算出的古地温梯度可达 5.7°C/km(赵孟为,1994、1995、1996)。石炭—二叠纪煤系的 R^o 值较高,主要在 1%~3%,局部高达 4%~6%,构成 R^o 异常;对应的最大温度主要在 150°C~290°C之间,局部>330°C。 R^o 等值线在平面上的展布形态既不受构造单元的控制,也不受中生代沉积中心与沉降中心的控制。相反,却存在着 R^o 异常与重磁异常在空间上的对应现象。这些证据表明,有机质热演化不是埋藏受热的结果。

庆 36 井和天深 1 井泥岩与砂岩<0.2 μ m 粒级的伊利石 K-Ar 年龄集中在 170~160Ma 之间,在约 250km 的距离(庆 36 井和天深 1 井的井距)内和近 2000m 的深度范围内基本上没有什么变化,说明伊利石的形成过程也不是逐渐的埋藏受热引起的,而是一期短暂的热事件作用的结果(赵孟为,1994、1996)。

镜质体反射率和伊利石 K-Ar 年龄资料一致指示鄂尔多斯盆地曾发生过一期热事件,前者给出了热事件发生时地层所经历的最大古地温和古地温梯度(5.7°C/km);后者则指出了该事件发生的时间(170~160Ma)。据此,恢复了地热史(图 1、2)。这一期热事件发生的原因在于伴随着早期燕山运动期间盆地周缘大规模岩浆活动与盆地内部的构造活动,在中侏

罗世末(170~160Ma),盆地内部曾发生过一期大规模的隐伏岩浆侵入(赵孟为,1994、1996)。

磷灰石裂变径迹资料揭示,23Ma 以来曾发生了一期由于快速抬升剥蚀而引起的冷却事件,确定盆地抬升剥蚀的确切时间发生在 23Ma(中新世,见图 1、2)(Zhao M W et al, 1995),而不是像通常认为的那样发生在早白垩世末以来或更早(费安琦等,1987)。23Ma 以来的快速抬升在天深 1 井造成了约 800~1000m 的剥蚀量(图 1);而在麒参 1 井中则导致约 2000m 的剥蚀量,使该井中原本沉积下来侏罗—白垩纪地层剥蚀殆尽(图 2)(Zhao M W, 1995)。连接这两口井代表盆地中部东西方向的剖面构造恢复显示(图 3),在 23Ma 抬升剥蚀发生之前,中生界地层尚没有显著的厚度差别与现今的西倾状态(图 3 下图)。只是自中新世快速抬升剥蚀事件发生以来,盆地西部(天深 1 井)以 56m/Ma 的速率抬升;而东部(麒参 1 井)则以 95m/Ma 的速率抬升(Zhao M W, 1995)。抬升速率的差异导致东部侏罗—白垩系全部被剥蚀掉,从而使地层西倾,才表现出现今的构造面貌(图 3 上图)。这一抬升剥蚀事件是印度板块与亚洲板块碰撞过程中构造运动形式由挤压为主,自中新世以来转化为以地壳增厚为主的结果(Zhao M W, 1995)。

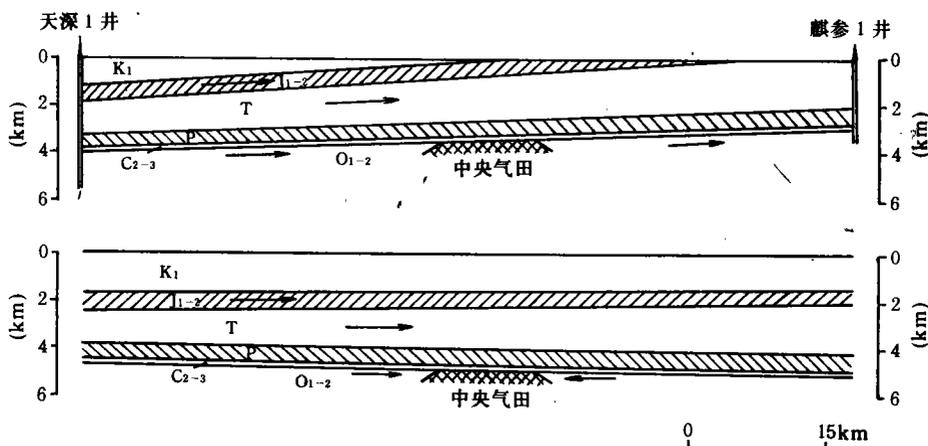


图 3 连接天深 1 井和麒参 1 井代表盆地中部东西方向的剖面

下图表示 23Ma 时地层尚未发生抬升剥蚀时情况,表明当时盆地东西部地层尚没有显著的厚度差别与地层的西倾。箭头表示 170~160Ma 时油气二次运移的方向。上图表示现今的构造面貌是 23Ma 以来东西部差异抬升剥蚀的结果。箭头表示 23Ma 以来第二期油气二次运移的方向。图 3 表明中央气田及其东侧的圈闭是有利的勘探目标

3 油气形成与运移的时间

鄂尔多斯盆地的主要生油岩为晚三叠世延长组,生气层是石炭—二叠纪煤系与奥陶纪碳酸盐岩(Sun Z C, 1989; Yang J, 1995; Pei X, 1995)。由图 1、2 可知,这些生油气层是在中侏罗末(170~160Ma)热事件发生期间分别进入油窗和气窗,从而产油产气的。生气层甚至有可能超出气窗的范围,而导致油气裂解(图 2)。假如这一期热事件没有发生,生气层,尤其

是石炭—二叠纪煤系,则根本没有机会进入气窗(图 1、2),鄂尔多斯盆地也就不可能形成大油田,其含油气远景则要差得多。在图 1、2 上还可以看出,无论是三叠纪末(208Ma),还是早白垩世末(98Ma),生气层在正常地温梯度条件下均不可能进入气窗,因而无论是“一次深成变质”,还是“二次深成变质”(蔡乾忠,1983;刘绍龙,1985)看来都不太可能导致大量生气。尽管地层在早白垩世末(98Ma)达到其最大埋深,并且一直持续到 23Ma,但由于这时热事件早已结束,地温梯度已恢复到正常状态,故地层那时所经历的温度远小于热事件发生时所经历的最大古地温(图 1、2),所以生油气层显然已不可能重新生油产气。在热事件发生的同时,盆地大部发生构造抬升,并导致沉积中心和沉降中心发生了迁移(Sun Z C,1989)。因此,可以断定这一时期应当是鄂尔多斯盆地油气生成与初次运移和(首期)二次运移的主要时期(图 1、2 的 T_1)。

23Ma 以来,鄂尔多斯盆地再次发生构造活动,导致东西部发生差异抬升剥蚀(图 1~3),致使地层发生区域性西倾,势必引起一次区域性的第二期油气二次运移(图 1、2 上的 T_2)。

4 油气二次运移的方向与勘探意义

确定了油气形成与运移的时间,便可进一步确定哪些圈闭有利于油气聚集——即那些在油气形成与运移发生之前或期间产生的圈闭。显然,根据上述分析,23Ma 之前,甚至 23~5Ma 期间形成的各类圈闭均是可能的有利于油气聚集的场所。所以,从油气形成与运移时间和圈闭形成时间上的匹配关系来看,几乎所有在盆地演化过程中的各个时期所形成的各种不同的圈闭都应是潜在的勘探对象。而处于油气二次运移指向上的圈闭则最可能形成油气藏。

在首期二次运移(图 1、2 的 T_1)时,盆地东西部石炭—二叠纪煤系和奥陶纪生气层产生的天然气二次运移的方向均指向当时处于古隆起位置上的中央气田(Yang J,1995;Song G,1995)(图 3 下图);而延长组和延安组生油岩产生的油的二次运移方向主要指向东,因为地层厚度恢复结果表明,三叠系东厚西薄,侏罗系微向西倾(图 3 下图);而且正是在这一时期盆地的沉积中心由早中侏罗世位于东南部转移到盆地西部,使后来早白垩世的沉积中心和沉降中心相一致(Sun Z C,1989),表明当时地层在区域上已微微西倾。

在第二期二次运移(图 1、2 的 T_2)时,如前所述,盆地发生了东快西慢的差异抬升剥蚀,导致地层显著西倾,使得油气二次运移的方向一致地指向东(图 3 上图)。

综上所述,盆地中东部以中央气田为代表的奥陶系顶部风化壳经历过 1 亿多年的风化剥蚀,具有良好的储集条件与盖层条件(Yang J,1995;Pei X,1995;Song G,1995),形成的时间早,在两期二次运移期间均处于天然气运移的指向上(图 3),因而是最佳的勘探目标。中央气田以东的区域——陕北斜坡东部和晋西挠褶带延在第二期二次运移的指向上,而上储层越向东越浅,越有利于勘探开发,是潜在的具有良好前景的勘探区域。在麒参 1 井中已获得工业气流(裴锡古等,1987)就是一个很好的例证。

在以往的勘探过程中,似乎对晋西挠褶带没有引起足够重视,将该区归为“差的勘探区”(裴锡古等,1987);仅曾在此寻找过石炭—二叠系内的煤层甲烷(翟永昌等,1988)。其原因可

能主要在于该区三叠系与古生界出露地表,故认为三叠纪末就已抬升(费安琦等,1987),从而缺少“深成变质”的条件。实际上,根据磷灰石裂变径迹资料分析(Zhao M W et al,1995),推断该区也曾存在过侏罗—白垩纪沉积,只是由于 23Ma 以来的快速抬升而使之剥蚀殆尽。在此过程中该区处于天然气第二期二次运移的指向上(图 3 上图),虽然上古生界抬升出地表而可能导致部分天然气散失,但下古生界地层大都没有出露地表,而且可以卷入到背斜构造之中;尤其是其中的古风化壳埋深浅,很有可能形成气藏。所以,晋西挠褶带上有可能存在背斜气藏与地层圈闭型气藏,故应归为潜在的有利勘探地区;而勘探重点则应当是下古生界圈闭。

由于延长组与延安组生成的石油两期二次运移的方向均指向东(图 3),而且越往东地层埋藏越浅,因此,一般说来,东部的油藏较之西部的更有利于勘探开发,虽然在东部三叠系和侏罗系地层出露于地表而会使石油散失,但这些陆相地层的岩性在横向上变化较大,故油气二次运移距离不会太大,因而不会造成大量石油在地表逸散。岩性圈闭应为主要勘探对象。

5 结论

鄂尔多斯盆地油气形成与初次运移和首期二次运移的主要时间在 170~160Ma。23Ma 以来,又发生了一次区域性的第二期二次运移。根据油气形成与运移时间和圈闭形成时间的匹配关系,盆地演化过程中各时期形成的各种圈闭都有可能形成油气藏。

盆地中东部以中央气田为代表的奥陶系顶部风化壳是天然气勘探的有利地区。晋西挠褶带很有可能存在下古生界的背斜气藏与地层圈闭型气藏,属潜在的有利勘探地区,在今后的勘探中应当给予足够的重视。

(收稿日期:1996年4月5日)

参 考 文 献

- 1 蔡乾忠. 华北地台石炭二叠系煤成气赋存地质条件及其勘探前景. 石油与天然气地质, 1983, 4(1): 34~44
- 2 刘绍龙. 华北石炭二叠系煤成气的勘探远景. 石油学报, 1985, 6(3): 11~18
- 3 裴锡古等. 鄂尔多斯盆地上古生界煤成气藏形成条件及勘探方向. 油气资源评价研究丛书 4, 煤成气地质研究, 北京: 石油工业出版社, 1987, 9~20
- 4 费安琦等. 构造-热演化模型及其在鄂尔多斯地区煤成气研究中的应用. 油气资源评价研究丛书 4, 煤成气地质研究, 北京: 石油工业出版社, 1987, 194~202
- 5 Sun Z C et al. The Ordos Basin—A typical example of an instable cratonic interior superimposed basin. in Zhu X, ed, Chinese sedimentary basins, Elsevier, Amsterdam, 1989, 63~75
- 6 Zhao M W. Beitrage zur thermischen Geschichte, den Palaeofluidsystemen und der Diagenese des Ordos Beckens (China). *Goettinger Arb. Geol. Palaeont*, 1994, 62, 97
- 7 赵孟为. 划分成岩作用与埋藏变质作用的指标及其界限. 地质论评, 1995, 41(3): 238~244
- 8 赵孟为. H J Behr. 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史. 石油学报, 1996, 17(1): 15~23
- 9 赵孟为等. 鄂尔多斯盆地志留—泥盆纪和侏罗纪热事件: 首次伊利石 K-Ar 年龄证据. 地质学报, 1996, 70(2): 186~

- 10 Zhao M W et al. Apatite fission track analysis of the Ordos Basin; Interpretation and Implication. 成都理工学院学报, 1995, 23(增刊): 201~202
- 11 Connan J. Time-temperature relation in oil genesis. *AAPG Bull.*, 1974, 58: 2516~2521
- 12 Hood A et al. Organic metamorphism and the generation of petroleum. *AAPG Bull.*, 1975, 59: 986~996
- 13 Bostick N H et al. Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura Basin. in D. F. Oftz, ed, Low temperature metamorphism of kerogen and clay minerals, Los Angeles, 1979, 65~96
- 14 Waples D W. Time and temperature in petroleum formation, application of Lopatin's method to petroleum exploration. *AAPG Bull.*, 1980, 64: 916~926
- 15 Tissot B P and Welte D M. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 1984, 699
- 16 Karwei J. Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. *Dtsch geol Gesell. Z.*, 1956, 107: 132~139
- 17 Quigley T M et al. Kinetic theory of petroleum generation. in B. Doligez, ed, Migration of hydrocarbons in sedimentary basins. Editions Technip, Paris, 1987, 649~666
- 18 Quigley T M and Mackenzie A S. The temperatures of oil and gas formation in the sub-surface. *Nature*, 1988, 333: 549~552
- 19 邱世祥. 油气运移, 见: 赵重远主编, 石油地质学进展. 北京: 地质出版社, 1988, 51~77
- 20 Yang J. Situation and prospect for petroleum exploration of the Central Gasfield in Shaan-Gan-Ning Basin. *China Oil & Gas*, 1995, 2: 10~13
- 21 Pei X. Gas Source Research of the Central Gasfield in Shaan-Gan-Ning. *China Oil & Gas*, 1995, 2: 20~22
- 22 Song G. Analysis on trap conditions of the Central Gasfield in Shaan-Gan-Ning Basin. *China Oil & Gas*, 1995, 2: 18~20
- 23 翟用昌, 罗昌图. 鄂尔多斯盆地东部石炭二叠系煤层甲烷. 石油与天然气地质文集, 第1集, 中国煤成气研究. 北京: 地质出版社, 1988, 251~260

TIMING OF HYDROCARBON GENERATION AND MIGRATION AND DETERMINATION OF MIGRATION DIRECTION AS WELL AS EXPLORATION DIRECTION IN THE ORDOS BASIN

Zhao Mengwei

(Institute of Geology and Dynamics of Lithosphere, University of Geottingen, Geottingen, Germany)

Abstract

On the basis of vitrinite reflectance, K-Ar ages and apatite fission-track data, the time of hydrocarbon generation and migration, migration direction and hydrocarbon exploration direction are discussed starting with the reconstruction of the subsidence and uplift history and geothermal history of the Ordos Basin. The major time of hydrocarbon generation and primary and secondary migration was in 170~160 Ma (the end of the Middle Jurassic). After 23 Ma (the Miocene), a regional secondary migration of the second phase took place. All kinds of traps in the middle and eastern parts of the basin, especially the crust of weathering at the top of the Ordovician, belong to favourable targets for exploration. And the traps on the eastern side may be more favourable.