

维也纳盆地石油地质特征与勘探潜力探讨

张红伟^{1,2} 李江海^{1,2,†} 张立伟³

1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871; 3. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100871; † 通信作者, E-mail: jhli@pku.edu.cn

摘要 通过分析维也纳盆地的地层和断裂发育特征, 总结该盆地的石油地质特征, 并对该盆地的勘探潜力进行探讨。维也纳盆地是位于东阿尔卑斯与西喀尔巴阡褶皱带之间的走滑拉分盆地, 具有波西米亚和古生界至中生界双重基底, 构造演化分为侏罗纪伸展断陷、白垩纪至早中新世逆冲推覆和中新世中期盆地拉分3个阶段。维也纳盆地自下而上形成3个构造层, 分别为侏罗系至白垩系原地沉积层、二叠系至古近系外来推覆体沉积层和新近系沉积层。维也纳盆地发育上侏罗统泥灰岩和古近系页岩两套烃源岩, 上侏罗统启莫里阶Malmian组泥灰岩是主要的烃源岩。储层分布于三叠系至新近系中新统的各个层段, 其中最重要的储层为中新统浅水三角洲相砂岩, 其油气储量占总储量的76%, 其次为三叠系亮晶白云岩。区域盖层为新近系页岩。综合评价认为, 中生界外来推覆体(复理石浊积岩和三叠系白云岩)和原地中生界沉积物(即第二、第三构造层)是最重要的勘探潜力区。

关键词 油气地质; 勘探潜力; 维也纳盆地; 走滑盆地

中图分类号 P553

Petroleum Geology and Exploration Potential of Vienna Basin

ZHANG Hongwei^{1,2}, LI Jianghai^{1,2,†}, ZHANG Liwei³

1. The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE), School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2. Institute of Oil and Gas, Peking University, Beijing 100871; 3. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100871; † Corresponding author, E-mail: jhli@pku.edu.cn

Abstract The oil geology feature of Vienna Basin was summarized and potential of exploration was discussed by analysing the strata of Vienna Basin and fracture development characteristics. Vienna Basin is a pull-apart basin located between the East Alps and West Carpathian. Its basement is composed of the Hercynian Bohemian Massif and Paleozoic and Mesozoic strata. The tectonic evolution can be divided into three stages, including Jurassic extensional rifting, Cretaceous-Early Miocene over-thrusting and Middle Miocene pull-parting stage. There are three structural lays from top to bottom, Jurassic-Cretaceous autochthonous, Permian-Paleogene allochthonous Alpine nappes and Neogene sediments. There are two sets of source rocks: the upper Jurassic marls and Paleogene shale, among which, the Upper Jurassic Kimmeridgian Malmian marls are considered to be the major source rocks. Reservoirs occur at various horizons from Triassic to Neogene Miocene strata, among which, the most important reservoirs are Miocene sandstones that deposit in shallow-water delta environment and contain 76% of all reserves, and the minor reservoirs are the Triassic dolosparite. Neogene shales provide the regional top-seal. After evaluation, it is considered that Mesozoic allochthonous nappes (flysch turbidite and Triassic dolomite) and Mesozoic autochthonous succession (the second and the third structural layer) are the most prospective for exploration.

Key words petroleum geology; exploration potential; Vienna Basin; pull-apart basin

维也纳盆地(Vienna Basin)作为欧洲唯一的走滑拉分盆地,储量规模列欧洲 48 个含油气盆地第 16 位,具有较高的含油气性指标^[1],其油气丰度位于欧洲第二位,仅次于北海盆地^[2]。维也纳盆地的勘探始于 1856 年,1914 年开钻第一口井并获得油气产量,1930 年在维也纳盆地北部奥地利地区的 Zistersdorf 成功出油^[3]。1985 年开钻的 Zistersdorf UET2a 井深度达到 8553 m,并有油气显示,在深盆气勘探方面取得突破性进展^[4]。维也纳盆地迄今已发现 124 个油气田^[2],其中最大的 Matzen 油气田,其油气可采储量超过 5.2 亿桶^[5],约占维也纳盆地油气可采总储量的 60%。鉴于国内学者对维也纳盆地的研究相对匮乏,本文在大量收集资料的基础上,对维也纳盆地的石油地质特征和勘探潜力进行探讨。

1 地质背景

维也纳盆地位于中欧东部(16°—18°E, 47.5°—49.5°N),是一个典型的新近纪走滑拉分盆地^[6]。盆地呈菱形,长约 200 km,宽约 60 km,面积约 6500

km²,大致呈北东-南西向展布^[5](图 1)。在构造位置上,维也纳盆地位于阿尔卑斯、喀尔巴阡造山带和潘诺地块的接合处,西南边界为东阿尔卑斯山,东北边界为西喀尔巴阡褶皱带,北部为阿尔卑斯-喀尔巴阡前渊和波西米亚地块,南部为潘诺盆地^[8]。在地理位置上,维也纳盆地 40%的面积位于奥地利东部,30%的面积位于捷克东南部,30%的面积位于斯洛伐克西南部^[9]。

2 盆地构造演化

维也纳盆地具有双重基底^[1],其下基底为波西米亚结晶基底,形成于前寒武纪末期;上基底为古生界-中生界基底,分别由晚石炭世华力西造山运动中形成的高度变形的厚层变质岩和三叠统碳酸盐岩组成。沉积盖层的构造演化可划分为 3 个阶段(图 2)^[2,10]:伸展断陷阶段(主要形成侏罗系原地沉积物)、逆冲推覆阶段(主要形成阿尔卑斯-喀尔巴阡中生界外来推覆体)和中新世中期拉分盆地阶段^[11]。中新世晚期(Badian-Sarmatian 期,16~8 Ma)走滑拉分作用下形成维也纳盆地^[12]。

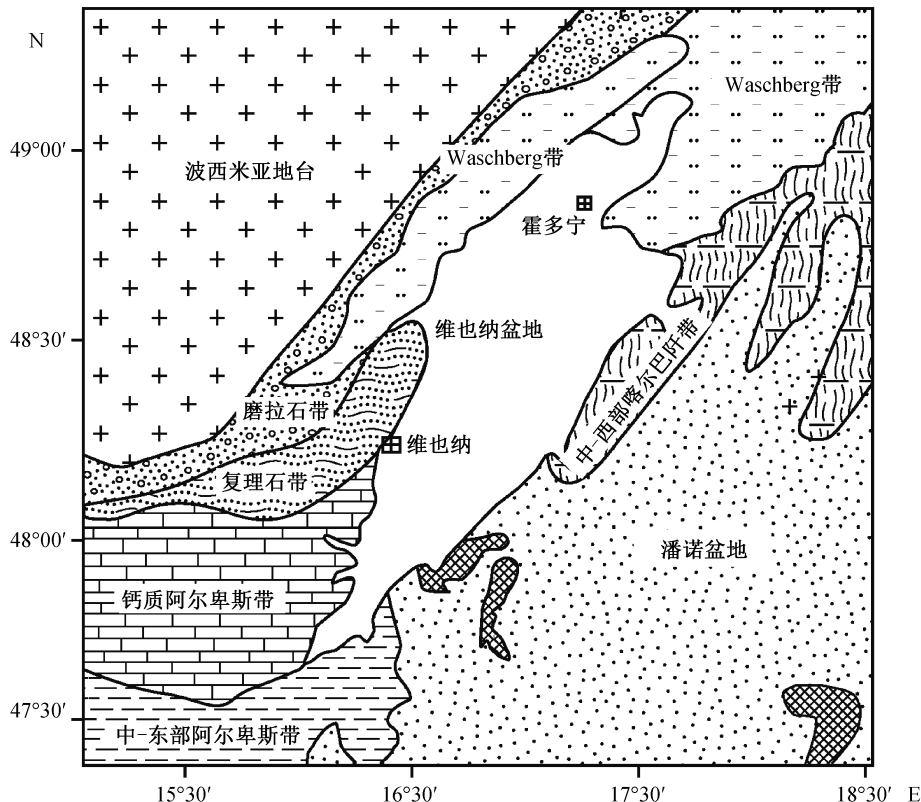


图 1 维也纳盆地位置^[7]

Fig. 1 Location of the Vienna Basin^[7]

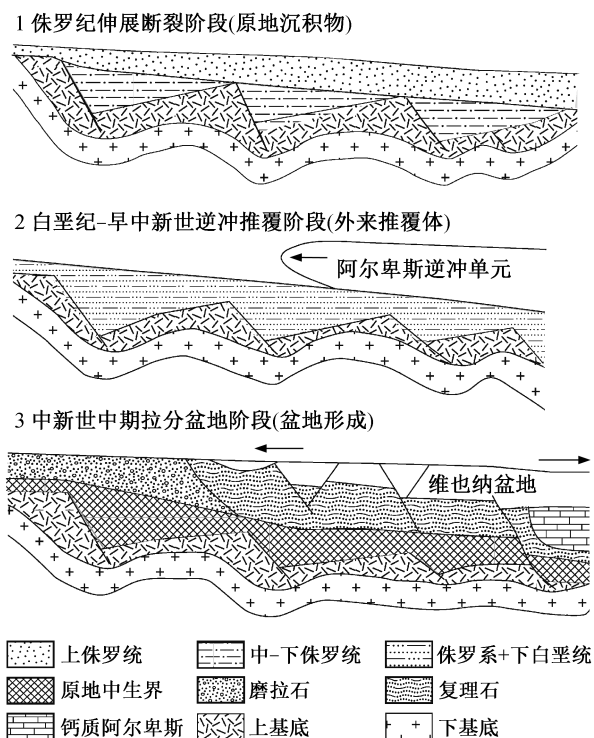


图2 维也纳盆地构造演化简图(据文献[2,10]修改)

Fig. 2 Map showing tectonic evolution of the Vienna Basin (after Ref. [2,10])

2.1 侏罗纪伸展断陷阶段

早侏罗世,随着 Penninic 洋的张开,维也纳盆地所在区域开始发生断陷作用^[13],沉积大量磨拉石和侏罗统原地沉积物。原地沉积物包括中-上侏罗统 Malmian 组泥灰岩、碳酸盐岩以及 Dogger 组白云岩、砂岩和三角洲碎屑岩,以 Malmian 组泥灰岩为主,位于阿尔卑斯-喀尔巴阡推覆体之下。早侏罗世断陷作用之后,中-晚侏罗世发生区域热沉降作用。

2.2 白垩纪至早中新世逆冲推覆阶段

早白垩世,本区发生隆升作用。随后,下白垩统和侏罗系地层遭到不同程度剥蚀。晚白垩世,由于欧洲板块与阿普利亚板块的持续碰撞作用,本区发生强烈挤压和逆冲变形,导致阿尔卑斯-喀尔巴阡褶皱带外来推覆体形成。该推覆体可划分为一系列逆冲单元,包括 Waschberg 单元、复理石带、钙质阿尔卑斯带杂砂岩单元和中阿尔卑斯推覆体,各个逆冲单元具有不同的构造和地层发育特征。在该阶段,隆起区的剥蚀物为推覆体前缘的磨拉石构造单元提供了物源^[14]。

随后,盆地进入沉降期,并持续到早始新世。

始新世末,钙质阿尔卑斯带逆冲推覆到磨拉石构造单元和复理石带之上,这一作用一直持续到晚渐新世至早中新世^[14],同时在早中新世形成东西向的“背驮式”盆地^[11]。

2.3 中新世中期拉分盆地阶段

该阶段沉积物迅速沉积,在沉积中心地层最大厚度超过 5 km^[6,8],而整个中生界-新生界地层的厚度只有大约 10 km。该阶段断裂和构造活动强烈,在中新世中期形成一系列北东-南西向的左旋走滑断层,同时伴生一系列右旋走滑断层。中新世晚期继承中新世中期的构造格局,同时构造活动减弱,之后进入稳定的沉降时期^[15]。

3 断裂发育特征

根据地震资料解释,维也纳盆地内发育多种形式的断裂,主要有 3 种,分别为走滑断层、正断层和花状构造,其中走滑断层和正断层控制着整个盆地的构造形态,如图 3 中断层 I 和 II 均为走滑断层,其中断层 I 断距较小,从盆地南西端延伸到盆地内部,将 Styrian 增生楔从阿尔卑斯褶皱带中分离出来。断层 II 也是从南部开始发育,导致维也纳盆地中新世的地层中发育花状构造,该构造决定了维也纳盆地菱形的拉分构造形态,并导致沉积厚度由南向北增厚,花状构造的上部被第四系沉积物覆盖。断层 III 为跨越整个盆地的走滑断层和正断层,与阿尔卑斯-喀尔巴阡褶皱带的滑脱方向一致,控制着盆地沉积中心的分布^[16]。

4 盆地沉积充填

在纵向上,除波西米亚基底和古生界-中生界基底外,维也纳盆地自下而上可以划分为 3 个构造层系^[17],分别为侏罗纪至白垩纪原地沉积层、二叠纪至古近纪外来推覆体沉积层以及新近纪沉积层(图 4)^[4]。

4.1 侏罗纪至白垩纪原地沉积层

原地沉积物在波西米亚基底之上发育,用岩相古地理方法恢复这些原地沉积物为磨拉石带和阿尔卑斯-喀尔巴阡推覆体之下的侏罗纪和白垩纪沉积物,其性质与前陆带的沉积物类似^[4]。原地沉积物自下而上发育 Dogger 组三角洲碎屑岩、白云岩、砂岩以及 Malmian 组碳酸盐岩、泥灰岩^[8]。

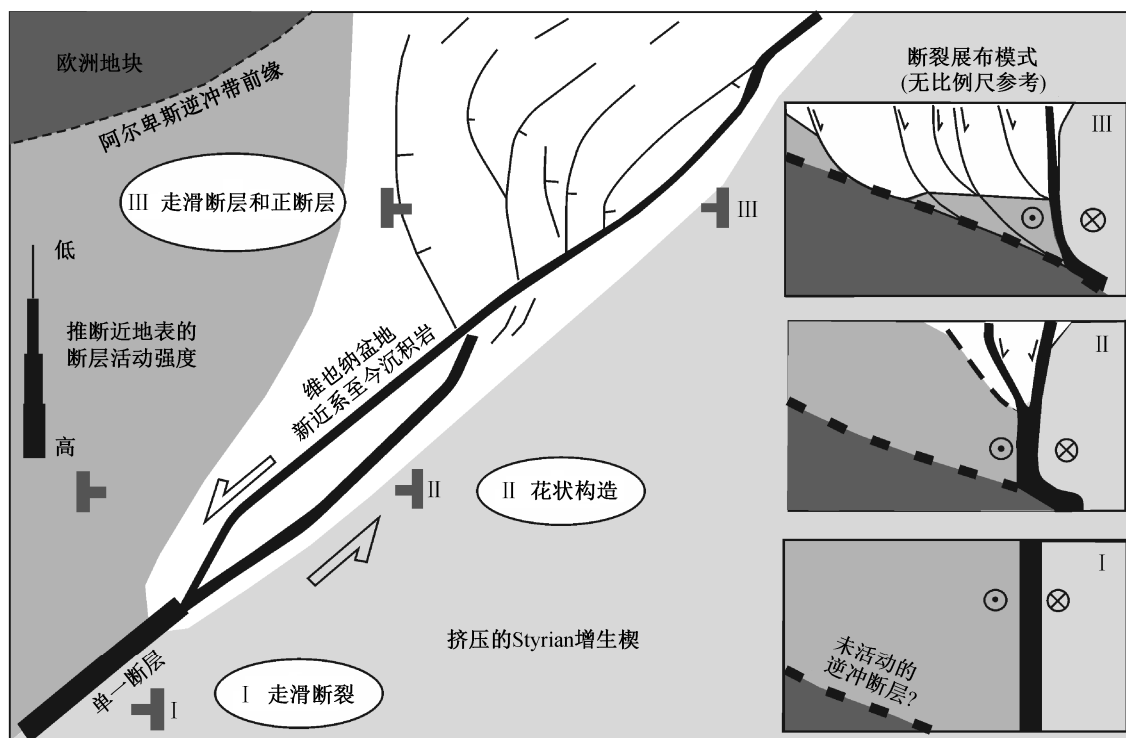


图 3 维也纳盆地断裂发育样式^[16]
Fig. 3 Fault styles of the Vienna Basin^[16]

4.2 二叠纪至古近纪外来推覆体沉积层

外来的钙质阿尔卑斯推覆体从盆地南部逆冲到原地沉积物之上,并在逆冲过程中发生变形,钙质阿尔卑斯推覆体主要由二叠纪至白垩纪的岩石组成,其间夹杂时代较晚(早白垩世至渐新世)的复理石带地层。该构造层主要在外喀尔巴阡褶皱增生楔和西喀尔巴阡中部碰撞边缘挠曲断层形成的沟槽内发育,并发育一系列北西—南东向的逆冲断层和南北向的正断层^[8]。

4.3 新近纪沉积层

新近纪沉积岩以不整合形式覆盖在外来的并变形的阿尔卑斯推覆体沉积物之上,几乎未受到构造作用的影响,仅在与逆冲断层带的相邻区域发生微弱变形。新近纪最大沉积层厚度超过 5 km^[8],岩性主要为砂岩、泥灰岩和少量碳酸盐岩。该沉积层底部为 Karpatian 阶沉积岩,沉降环境为湖泊和河流环境。到 Badenian 早期,盆地北部发生海侵作用,致使 Sarmatian 期变为微咸沉积环境。之后,随着盐度持续降低,在 Pannonian 期又变为湖泊和河流沉积环境^[18]。

5 石油地质特征

5.1 烃源岩

维也纳盆地生烃源岩有两套,其中最重要的一套生烃源岩发育在原地中生界地层中,以上侏罗统启莫里阶 Malmian 组泥灰岩和页岩为主(图 5)^①,是维也纳盆地全部石油以及大部分热裂解气的主要来源^[19-20]。上侏罗统 Malmian 组泥灰岩中 TOC 含量为 0.3%~5.0%,平均 1.5%~2.0%,干酪根为 II 型或 III 型,镜质体反射率在生油窗顶部为 0.74%,底部为 1.42%。4000~6000 m 为生油窗,6000 m 以下主要生成热裂解气,平均镜质体反射率大于 1.6%^[10]。

第二套生烃源岩为古近系页岩,为盆地内生物成因气的主要来源,为次要烃源岩。平均 TOC 含量为 2%~3%,干酪根类型为 I 型或 II 型。饱和烃中的姥鲛烷含量大于植烷,表明沉积环境为偏氧化环境。天然气色谱显示发育高碳正烷烃,指示干酪根来源于植物和微生物的混合有机质,且正烷烃的含量随着成熟度增加而减少。镜质体反射率显示该时代的烃源岩,即使最深部的样品,成熟度也刚刚达到生烃门限^[10],因此,该时代烃源岩仅生成少量

① IHS Energy. IHS Vienna Basin [DB]. IHS Basin Monitor22217 fie, pdf, 2009 (unpublished PDF database)

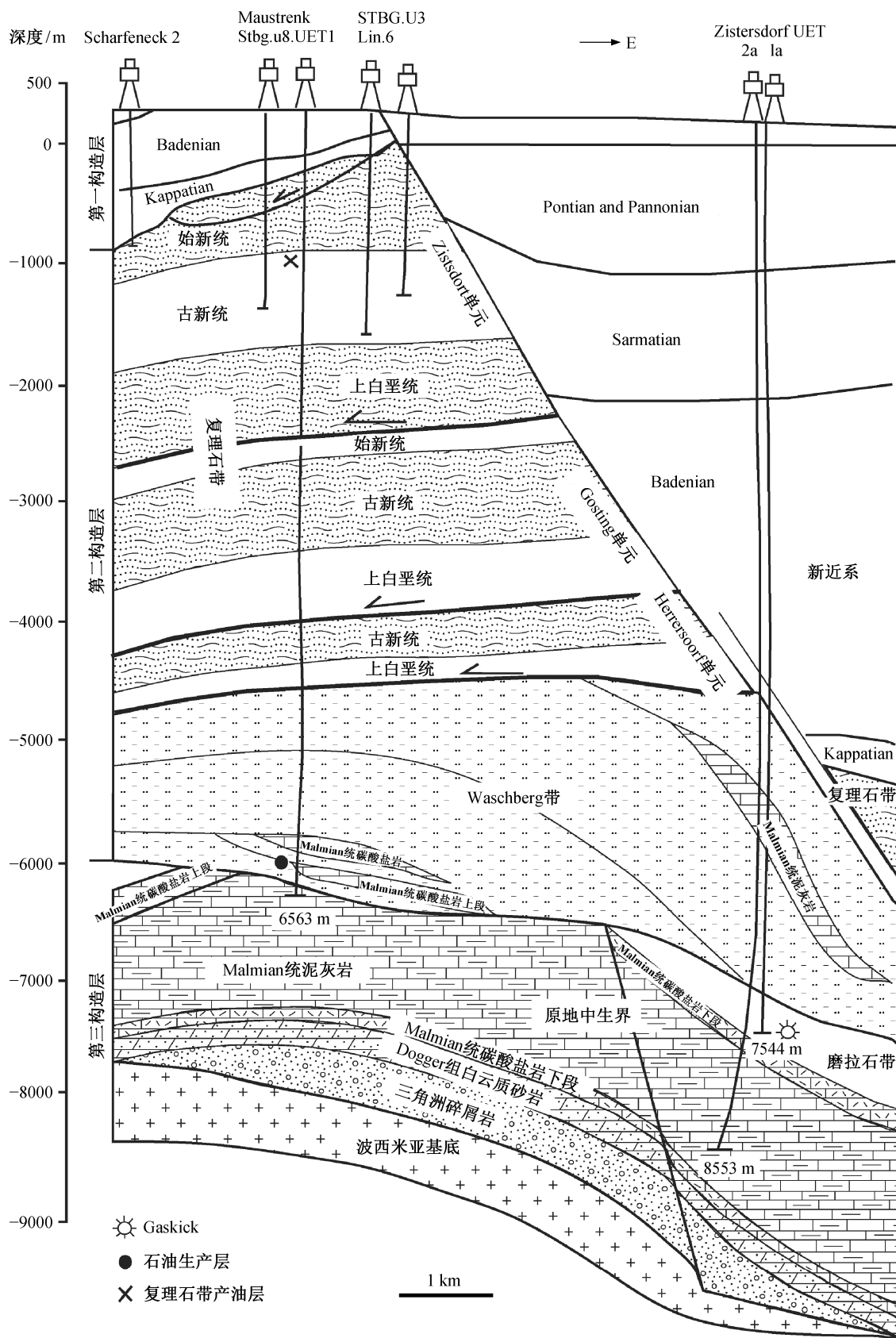


图4 维也纳盆地构造分层剖面图^[4]
Fig. 4 Tectonic profile of the Vienna Basin^[4]

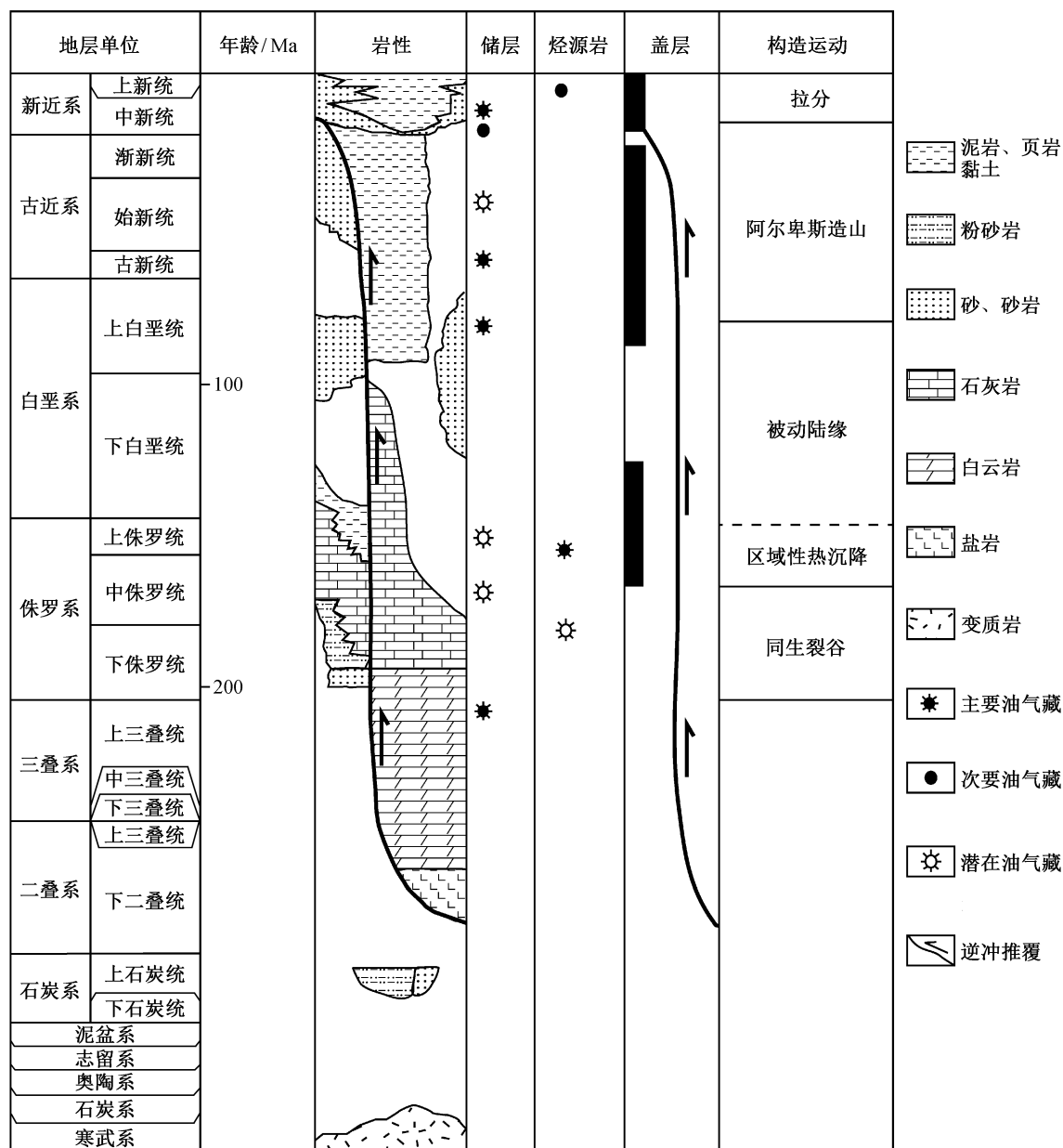


图 5 维也纳盆地地层综合柱状图^①

Fig. 5 Comprehensive strata log diagram of the Vienna Basin^①

生物气。

5.2 储层

维也纳盆地的重要储层共有 3 套(表 1), 分别为三叠系白云岩(占油气总储量的 19%)、白垩系至古近系灰色至黑灰色粗砂碎屑岩(占油气总储量的 5%)和中新统浅水三角洲相砂岩(占油气总储量的 76%)^[21](图 5), 储层的空间分布与形成盆地的构造活动有关。

5.2.1 三叠系储层

三叠系的储层为钙质阿尔卑斯构造单元, 包括 Wetterstein, Hauptdolomit 和 Dachstein 组地层, 其中 Hauptdolomit 组是主要的储层单元。三叠系储层发育在碳酸盐岩陆棚中, 形成于构造相对稳定时期, 由泥晶白云岩和亮晶白云岩组成, 并含硅质(伊利石和石英)和有机质。储层具有强烈的非均质性, 孔隙由微裂缝组成, 并含少量基质孔隙。由于裂缝

① 同 884 页脚注①。

表 1 维也纳盆地不同时代储层中的油气分布^①
Table 1 Reservoir oil distribution within different periods in the Vienna Basin^①

地层	石油/MMbo	凝析油/MMbc	天然气/Bscf	油气总量/MMbo	占总储量比例/%	油气田数
三叠系	52.80	2.23	1543.54	329.93	19	11
侏罗系	0.60	0.17	0.10	0.79	0	4
上白垩统至古近系	57.12	0.02	194.45	91.77	5	23
新近系	765.21	5.55	3267.39	1352.68	76	125

发育，导致渗透率高达几百毫达西^[22]。

5.2.2 新近系储层

新近系储层主要为中新统碎屑岩，其形成与中新世构造活动密切相关。阿尔卑斯-喀尔巴阡构造带剪切应力场的变化导致维也纳盆地沉积中心向东南方向迁移^[5]，随后又发生三角洲进积作用。大多数中新统储层在浅水(300 m 以上)三角洲环境中沉积，为白色至黑灰色的粗粒-中粒-细粒砂岩，主要为岩屑长石砂岩、长石质岩屑砂岩和亚长石砂岩，具有晶格支撑结构。储层性质通常受生物扰动作用和胶结作用控制。砂岩通常与低渗透率的页岩或方解石胶结的砂岩互层，孔隙度较高，为 20%~30%，渗透率可达几千毫达西^[23]。

5.3 盖层及圈闭

新近系发育多套区域性页岩盖层，与中新统储层(Eggenburgian-Pannonian 阶)互层或不整合接触，其下中新统页岩成为三叠系白云岩和下中新统白云岩碎屑储层的局部盖层(图 5)，并构成下中新统砂岩储层的层内建造盖层^[19]。

古新统页岩和胶结砂岩构成上白垩统白云岩碎屑储层和三叠系白云岩的盖层。三叠系白云岩主要被上覆的上白垩统或中新统页岩覆盖。海相侏罗系灰岩和页岩或被同时代非渗透的层位覆盖，或被上覆逆冲推覆体覆盖。非渗透的阿尔卑斯-喀尔巴阡推覆体可能成为次级推覆体储层的重要盖层。

维也纳盆地的圈闭类型有构造圈闭、岩性圈闭

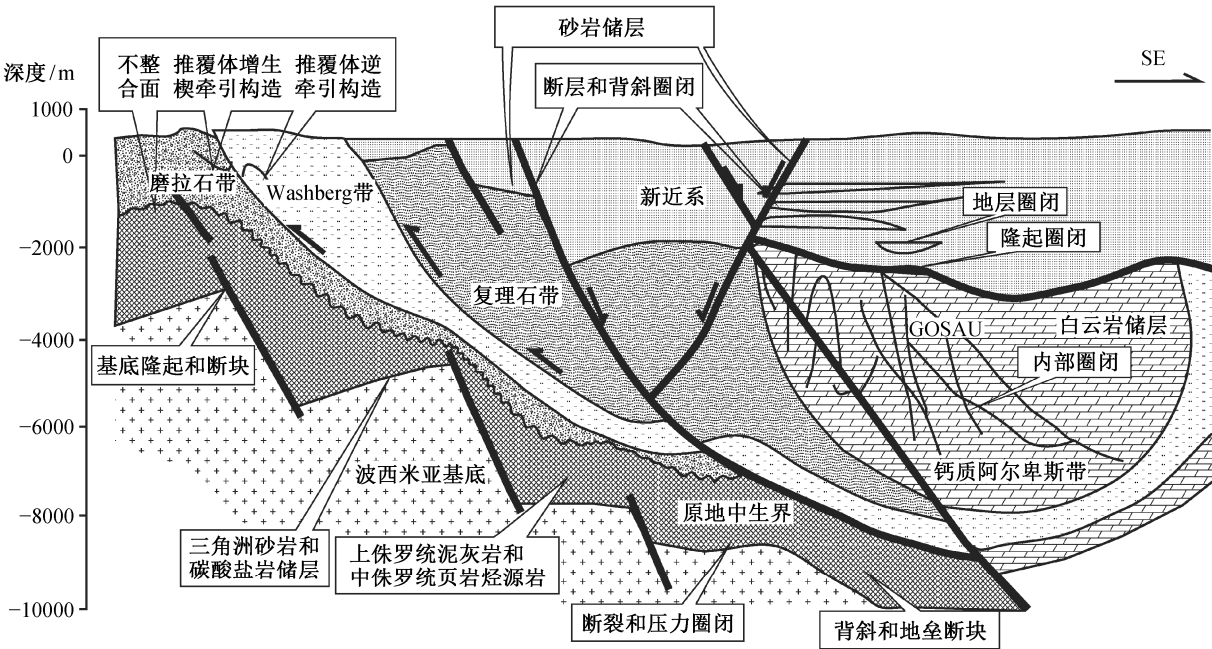


图 6 维也纳盆地含油气系统剖面图(据文献[19,24]修改)
Fig. 6 Petroleum system profile of the Vienna Basin (after Ref. [19,24])

① 同 884 页脚注①。

和复合圈闭等(图 6)^[19,24]。构造圈闭包括两大类,其中一类为构造背斜和与断层相关的圈闭,另一类为古潜山圈闭。岩性圈闭主要存在于新近系地层中,构造潜山圈闭主要存在于钙质阿尔卑斯带中,而构造背斜圈闭和断层圈闭在新近系和其下伏推覆体中都存在^[15]。

6 油气成藏特征及油气富集规律

维也纳盆地的油气藏主要为外来钙质阿尔卑斯推覆体中的三叠系碳酸盐岩油气藏和中新统的碎屑岩油气藏。外来钙质阿尔卑斯推覆体中的三叠系碳酸盐岩油气藏的储层为白云岩,微裂缝发育。白云岩储层在白垩纪至中新世早期逆冲到原地中生界沉

积物之上,并形成背斜圈闭和断层圈闭,上覆古新统页岩和胶结的砂岩以及下中新统页岩具有很好的封堵性,是其良好的盖层。中新统碎屑岩油气藏储层为砂岩,以岩性圈闭为主,盖层是上覆页岩。烃源岩为上侏罗统启莫里阶 Malmian 组泥灰岩和页岩,在距今 15 Ma 达到生油高峰期,沿断层和裂缝侧向运移,运移距离为 2~4 km^[19]。中新世中期是盆地构造活动强烈时期,形成的断层沟通烃源岩与储层^[4],油气通过断层进入上述圈闭形成油气藏。为此,维也纳盆地的油气成藏模式为“下生上储”,通过断层或者疏导层沟通烃源岩和储层。

维也纳盆地的油气田主要分布在盆地中部,南部有零星分布。受构造控制,在平面上沿断裂带呈

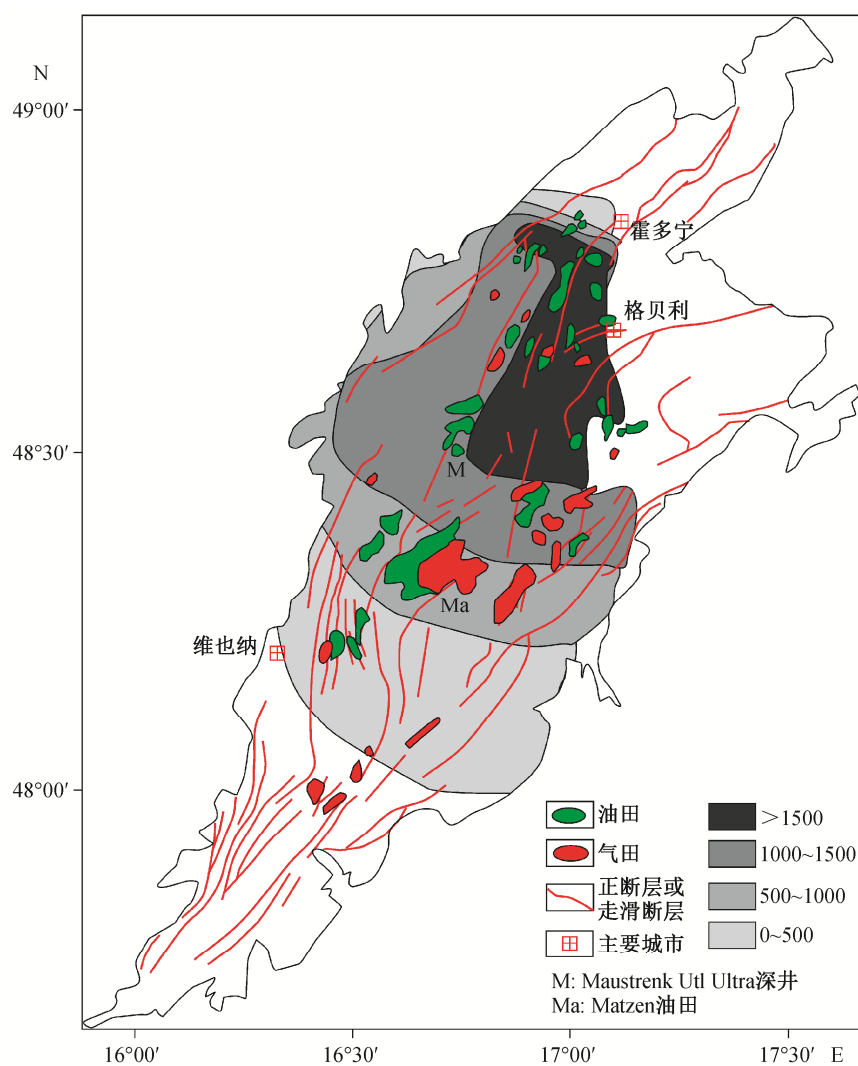


图 7 维也纳盆地油气分布及 Malmian 组烃源岩厚度分布图(据文献[8,25]修改)
Fig. 7 Distribution of oil and gas and thickness of Malmian formation's hydrocarbon source rock in the Vienna Basin (after Ref. [8,25])

北东-南西向带状分布(图 7)^[8,25]。盆地北部没有油气藏分布,在盆地南部发现的零星气藏则是由古近系页岩供烃,在中新统碎屑岩中形成油气藏。总体来看,维也纳油气田分布受烃源岩控制,靠近烃源岩则形成油气藏,远离烃源岩则缺乏油气藏,符合源控论的分布特征。总之,影响维也纳盆地油气富集的因素是多方面的,其中最重要的是与晚期造山运动相关的走滑断层控制油气的生成和运移^[8]。

7 油气勘探潜力探讨

纵向上,维也纳盆地的勘探目标自下而上集中在 3 套构造层中,即下部的阿尔卑斯-喀尔巴阡原地沉积层、中部的阿尔卑斯-喀尔巴阡外来沉积层和上部新近系沉积层。早期勘探目标仅集中在浅部的第一构造层(在该构造层内发现 Matzen 油田),至今该构造层的勘探程度已进入成熟阶段^[26]。20 世纪 50 年代开始勘探第二构造层,包括新近系之下的复理石带和钙质阿尔卑斯带,勘探深度为 2600~6300 m 之间。在该构造层内,主要在复理石油积岩和三叠系白云岩中发现石油,在破碎的白云岩储层中发现天然气。目前,第三构造层勘探程度较低,是主要的潜力层位^[4]。中新世中期构造运动以后,侏罗系生成的油气沿深大断裂运移,通过阿尔卑斯推覆体进入新近系储层,因此,已发现的油气田主要是构造和断裂控制的构造油气藏,很少发育岩性油气藏。

虽然维也纳盆地勘探程度已经非常高,但随着技术和勘探理念的改进,仍可以发现潜力地区作为未来勘探目标,特别是在新近系盖层之下的第二、第三构造层中(即中生界外来推覆体和原地中生界沉积物中)^[4,8]。利用三维地震资料对含油层位充分、详细的层序地层解释,有可能在新近系浅海相和河流-三角洲砂岩构造或地层圈闭中发现勘探目标。外来推覆体单元的潜力位置依然位于上白垩统至古近系油积岩和三叠系白云岩储层中,提高地震解释精度有可能在中生界推覆体顶部发现更多的构造圈闭,同时应用水平井技术可以提高这些目标区的经济效益。奥地利在 20 世纪 80 年代应用深井钻探技术,实现天然气探明储量的大幅增加。截至目前,维也纳盆地有 4 口超深井(6563~8553 m)达到原地中生界沉积层^[8]。1985 年,由 OWV 公司作业的 Zistersdorf UET2a 探井(8553 m,世界上第二深的商业开发井)^[27],在阿尔卑斯-喀尔巴阡山脉推覆体之

下的 Zistersdorf 构造上实现天然气勘探的重大突破。

储层品质也是影响深层推覆体勘探潜力的重要因素。维也纳盆地内好品质的储层包括破碎的外来三叠系白云岩、原地侏罗系三角洲和浅海相砂岩以及侏罗系台地相碳酸盐和泥灰岩。如果发现优质的储层,也很有可能发现具有商业价值的深层气^[8]。

参考文献

- [1] 史斗. 维也纳-摩拉瓦盆地油气形成模型. 天然气地球科学, 1993, 4(6): 92-96
- [2] 朱伟林. 欧洲含油气盆地. 北京: 科学出版社, 2011
- [3] Zötl J G. The spa Deutsch-Altenburg and the hydrogeology of the Vienna Basin (Austria). Environmental Geology, 1997, 29(3/4): 176-187
- [4] Wessely G. Geological results of deep exploration in the Vienna Basin. Geologische Rundschau, 1990, 79 (2): 513-520
- [5] Kováč M, Baráth I, Harzhauser M, et al. Miocene depositional systems and sequence stratigraphy of the Vienna Basin. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 2004, 246: 187-212
- [6] Royden L H. The Vienna Basin: a thin skinned pull-apart basin // Biddle K T, Christie-Blick N. Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation. SEPM Special Publication, 1985, 37: 319-338
- [7] Bernor R L, Kovar-Eder J, Lipscomb D, et al. Systematic, stratigraphic, and paleoenvironmental contexts of first-appearing Hippurion in the Vienna Basin, Austria. Journal of Vertebrate Paleontology, 1988, 8(4): 427-452
- [8] Picha F J. Late orogenic faulting of the foreland plate: an important component of petroleum systems in orogenic belts and their forelands. AAPG Bulletin, 2011, 95(6): 957-981
- [9] Fodor L. From transgression to transtension: oligocene-miocene structural evolution of the Vienna Basin and the East Alpine-Western Carpathian junction. Tectonophysics, 1995, 242: 151-142
- [10] Golonka J, Gahagan L, Krobicki M, et al. Plate-tectonic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region. AAPG Memoir 84, 2006: 11-46
- [11] Strauss P, Harzhauser M, Hinsch R, et al. Sequence stratigraphy in a classic pull-apart basin (Neogene, Vienna Basin) — a 3D seismic based integrated approach. Geologica Carpathica (Bratislava), 2006, 57(3): 185-197

- [12] Picha F J. Exploring for hydrocarbons under thrust belts — a challenging new frontier in the Carpathians and Elsewhere. AAPG bulletin, 1996, 80(10): 1547–1564
- [13] Freij-Ayoub R, Griffiths C, Ronalds B, et al. Petroleum exploration and production research in Australia. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 57(1): 1–7
- [14] Picha F J. Late orogenic strike-slip faulting and escape tectonics in frontal Dinarides-Hellenides, Croatia, Yugoslavia, Albania, and Greece. AAPG Bulletin, 2002, 86(9): 1659–1671
- [15] Hamilton W, Johnson N. The Matzen project — rejuvenation of mature field. Petroleum Geosciences, 1999, 5(2): 119–125
- [16] Hinsch R, Decker K, Wagreich M. 3-D mapping of segmented active faults in the southern Vienna Basin. Quaternary Science Reviews, 2005, 24: 321–336
- [17] Adámek J. The Jurassic floor of the Bohemian Massif in Moravia-geology and paleogeography. Bulletin of Geosciences, 2005, 80(4): 291–305
- [18] Rogl F, Ćoric S, Harzhauser M, et al. The Middle Miocene Badenian stratotype at Baden-Sooss (Lower Austria). Geologica Carpathica, 2008, 59(5): 367–374
- [19] Ladwein H W. Organic geochemistry of Vienna Basin: model for hydrocarbon generation in over thrust belts. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1988, 27(5): 586–599
- [20] Clayton J L, Koncz I. Petroleum geochemistry of the Zala Basin, Hungary. AAPG Bulletin, 1994, 78(1): 1–22
- [21] Johns W D, Hoefs J. Maturation of organic matter in neogene sediments from the Aderklaa oilfield, Vienna Basin, Austria. Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, 1985, 34(2): 143–158
- [22] Wiedl T, Harzhauser M, Piller W E. Facies and synsedimentary tectonics on a Badenian carbonate platform in the southern Vienna Basin (Austria, Central Paratethys). Facies, 2012, 58(4): 523–548
- [23] Gier S, Worden R H, Johns H, et al. Diagenesis and reservoir quality of Miocene sandstones in the Vienna Basin, Austria. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25: 681–695
- [24] Decker K, Peresson H, Hinsch R. Active tectonics and Quaternary basin formation along the Vienna Basin transform fault. Quaternary Science Reviews, 2005, 24(3): 305–320
- [25] Seifert P. Sedimentary-tectonic development and Austrian hydrocarbon potential of the Vienna Basin // Wessely G, Liebl W. Oil and gas in alpidic thrust belts and basins of Central and Eastern Europe. European Association of Petroleum Geoscientists Special Publication, 1996, 5: 331–341
- [26] Hamilton W, Johnson N. The Matzen project — rejuvenation of mature field. Petroleum Geosciences, 1999, 5 (2): 119–125
- [27] 任收麦, 王楠, 邱海峻, 等. 奥地利油气勘探开发及其对我国的启示. 中国矿业, 2010, 19(1): 17–20