

中亚陆间区南带上古生界构造和油气远景(代序)

张抗

ZHANG Kang

中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院,北京 100083

Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC, Beijing 100083, China

摘要:安加拉-阿尔丹和华北-塔里木两大克拉通之间地壳相对活动性的地区,地质界多称为中亚陆间区,其南带大部分在中国境内。近年来,中国开始把其上古生界作为油气新区、新领域。多数人认为,其在晚古生代已形成过渡型地壳区,其中有许多地块已逐步拼合,在其上发育裂谷型沉积地质体,未受到区域变质,若干实体变形微弱并被上覆层掩盖而得到保存。源于上古生界的油气既可赋存在其内,也可运聚于中生界或基岩内,在其西段已发现了大中型油气田群。但其整体地质研究程度偏低,仍有许多重大区域地质、油气地质问题存在歧见。针对其近年来的进展、存在的问题和油气远景评价作了概括性的评论。

关键词:中亚陆间区;上古生界;大陆裂谷;后期改造;含油气远景;非常规油气

中图分类号:P534.4;P54;P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2018)01-0001-06

Zhang K. A discussion on the Upper Paleozoic tectonics and petroleum prospect of southern central Asia intercontinental area. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(1): 1-6

Abstract: The southern central Asia intercontinental area, which is mainly located in China, lies in a relatively active crust area between the Angara-Aldan and North China-Tarim craton. In recent years, the Upper Paleozoic strata have been regarded as a new field of oil and gas exploration. Most researchers regard this area as a transitional crust which is characterized by weakly deformed strata and good preservation due to upper cap rocks. The oil and gas which originated from Upper Paleozoic could be accumulated in situ and also immigrate into Mesozoic batholith. Several large and medium gas fields have been found in the western part of this area. Additionally, there still exist some controversies on the regional geology and petroleum area. This paper provides a generalized comment on the progress, existing problems and hydrocarbon prospective area.

Key words: central Asia intercontinental area; Upper Paleozoic; continental rift; late reformation; oil and gas potential; unconventional petroleum

1 中亚陆间区——上古生界油气勘探的新区

对亚洲大地构造研究,多强调新元古代—古生代相对活动性的差别,并以此作为一级构造单元划分的主要依据。亚洲北部存在巨大的具稳定大陆型地壳的安加拉-阿尔丹块体(亦称西伯利亚地台),亚洲中部存在规模较小的具稳定大陆型地壳的华北(亦称中朝地台)-塔里木块体,两者之间的广大

地带被称为中亚陆间区(或中亚造山带、中亚地槽区)。中亚陆间区以具相对活动性为特征,具有过渡型地壳。这意味着其内可发育规模偏小的减薄的陆壳块体(中间地块),其间可有或大或小的大洋型地壳(陆间小洋盆)。这个总体呈弧形东西向展布的地区可分为北、南两带,分别位于上述2个巨大块体的南、北两侧,它们皆可与西太平洋边缘的中段(南海至印度尼西亚)类比。在中亚陆间区的南、北两带之间可能存在一个规模较大、分布较连续的

收稿日期:2017-07-06;修订日期:2017-08-26

作者简介:张抗(1940-),男,硕士,教授级高级工程师,从事油气发展战略研究。E-mail:13681093321@163.com

洋壳区,至少在早古生代—晚古生代初期可与现在的大西洋(窄洋)对比,该洋壳区从西向东于晚古生代—侏罗纪呈剪刀状闭合消亡,使亚洲主体拼合成一个完整的大陆型地壳区。

中亚陆间区南带主体在中国北部,向西涉及中亚诸国,向北包括蒙古国和俄罗斯亚洲部分的南缘^[1]。按传统的构造认识,该带在中国多称为天山—兴蒙造山带或褶皱带。基于这一认识,在石油地质上认为其古生界已变质并有强烈变形,属于中生代盆地的基底,没有油气远景,其代表性的地区是松辽盆地和二连盆地。即使其中最大的块体准噶尔地区,也认为下石炭统已褶皱变质,应属盆地基底^[2-3]。

但越来越多的地质资料与勘探实践在逐渐改变着人们的认识:该区至少是上古生界存在未经区域变质、未见强烈形变的沉积岩系(可夹火山岩类),甚至可见源于该套地层的油气显示。这意味着其是相对稳定的地块,可能具有一定的含油气远景。21世纪初,中国的油气勘探开发实体已全部企业化,他们或从商业风险考虑不愿意进行研究,或无力进行系统的偏基础性的油气新区新领域研究(之前这一工作主要由地质部/地质矿产部的油气普查队伍承担)。国土资源部的相关单位承担了该任务,2005年,国土资源部油气战略中心开展了中国北方华北—塔里木以外地区上古生界油气远景评价,并涉及柴达木盆地,超出了中亚陆间区或天山—兴蒙造山带的范畴。2007年以来,中国地质调查局启动了一批新区、新层系油气基础地质调查项目,开展了新疆北部、银额盆地、内蒙古东部石炭系—二叠系油气基础地质调查,在对该区油气评价的相关论文中,笔者用了较模糊的称谓:“大北方”^[4]。为了总结“十二五”期间这项工作的成果,《地质通报》再次出版专辑并仍邀请笔者撰写序言性的文章,笔者便将论题限制在中亚陆间区(南带)之内,拟重点讨论该区基础地质研究的进展、对油气地质成果的评价及存在的问题。

2 对晚古生代构造发育史的不同认识及存在问题

2.1 该区整体是活动性强的地槽、褶皱造山带

传统认为,该区晚古生代仍属相对活动区,经历了萨拉伊尔、加里东、海西等多旋回发育的造山运动;区内几个与区域构造走向大致平行的大断裂

带是不同时期构造间的缝合线和不同时期板块(洋壳)间的俯冲带,其上发育着代表残余洋壳的蛇绿岩套,有的可见影响数十甚至数百千米的逆掩—推覆体;伴随褶皱造山的是强烈变形、区域变质、以侵入岩为主的强烈岩浆活动;在中生代(侏罗纪)转化为相对稳定的地台并发育具含油气远景的中、新生代盆地。

应该说,这一传统的认识仍广泛地流行在构造地质和油气地质学界,见于众多文章提到的构造概况的描述中。尽管其构造理论从传统的地槽—地台说演变为板块说,名词系统发生了变化,但其核心涵意并无实质性改变。应该说,这一传统思路反映了该区的构造活动性总体强于南侧的华北—塔里木地区的实际情况。

2.2 构造属性总体是稳定性增强的大陆裂谷

2.2.1 趋于成熟的大陆型地壳区

如果把中、新元古代以来至古生代看作一个地壳开合的巨旋回^[5],那么可以认为,晚古生代中亚陆间区已经进入旋回后期以闭合为主要趋势、大陆壳区增大增厚趋于成熟的时期。即使在以拉张开裂为主要趋势的时期,该陆间区也不是单纯的洋壳,其中存在不少地壳较厚的过渡型地壳。其初期形态可能是点或链状的“洋岛”,而后可形成面状海台(submarine plateau),这就是构造地质学上所称的具多个(中间)地块的“多岛洋”。中亚陆间区南带在晚古生代,特别是晚石炭世以来,越来越多且地壳越来越厚的多个中间地块已基本拼合、联合成具有相对统一性的大陆壳区,最终使南带和北带自西向东完成剪刀式的闭合,伴随这个过程的是大陆壳在次级开合旋回下的再次拉张,形成大陆裂谷系。

需要说明的是,大陆壳的拼合、联合可以有多种形式。初期可以是简单“松散”的连接而无“碰撞”,在古地理上可保留二者接合部的海洋,甚至其上可有半深海、深海相沉积。即使在挤压下两陆块碰撞,也可因挤压程度不同而有软碰撞与硬碰撞之分,因而地壳块体之间(可以是陆壳间也可以是陆壳与洋壳间)的结合碰撞不一定伴随造山,造山带仅是强烈挤压下的硬碰撞才出现的极端形式。同理,强烈的逆掩推覆、线性褶皱和动力变质也只是挤压变形的极端形式,其只出现在强烈挤压背景下的有限地区。进一步说,造山也好,强烈形变也好,在走向上可有明显的变化,其常局限于某一或某些

地段,往往不能推延到整个地块结合带。

2.2.2 大陆裂谷发育的阶段性的

中亚陆间区南带晚古生代作为巨型开合旋回中的次级旋回,其构造演化大体可分为3个阶段:晚泥盆世—早石炭世、晚石炭世—早二叠世、中二叠世—晚二叠世,其完全闭合和区域性隆升可延至早、中三叠世。

中亚陆间区南带的大部分地区早古生代开合旋回大致终结于早、中泥盆世(不同地区可有所差异)。因而在地层发育齐全的强烈拗陷区可见志留系与下泥盆统之间呈整合接触,当然,在经历了泥盆纪隆起的更广阔的地区,可表现为晚泥盆世—早石炭世地层直接与下伏地层呈不整合接触,其间缺失了不少地层。同样,在晚泥盆世—早石炭世,裂谷继承早古生代的沉积区发育的地区,可见上泥盆统法阶与下石炭统图内阶呈连续沉积的整合接触关系。反映晚泥盆世—早石炭世裂谷的特点,其早期地层分布局限,随时间的推移层位较高的地层向两侧超覆,因而在缺失了早期地层的地区,该期沉积亦与下伏地层呈不整合接触。

随着区域拉张作用的增强,晚石炭世—早二叠世裂谷的发育有2种形式:一种为继承前期裂谷叠加发育,但沉积区明显扩大,甚至与前期局限性沉积组成了断陷—拗陷二元组合;另一种为在不整合侵蚀面上形成新的裂谷。中二叠世—晚二叠世裂谷也表现出类似的发育模式,但更多地是表现为大面积的超覆式拗陷。顺便指出,裂谷发育的复杂性除了表现为不同裂谷系、走向上不同段落(断陷/沉积中心)间发育的差别外,还表现为沉积的横向转移,早期裂谷可能夭折而“提前”转为隆起。无论从分布范围看,还是从后期较好的保存条件看,油气地质的主要目标显然是偏上部的上石炭统一上二叠统。

争论较多的是该开合旋回的结束时间。本区大面积缺失三叠系,但在内蒙古中部已发现早三叠世老龙头组碎屑岩与晚二叠世地层呈整合接触^[4],这才是区域地质研究上有关键意义的剖面。故作为开合旋回末期的隆升阶段应延至三叠纪,很可能到中三叠世。从大区域上看,分布局限的上三叠统(断陷)的发育与侏罗系有更密切的关系,应归于新的裂谷发育旋回。顺便指出,许多人不理解构造阶段的划分为何与按生物演化而划分的阶段之间在

时间起始上不完全一致,其实,这是一个常见的现象,详细研究证实,至少在中国区域地质发展史上屡见不鲜^[6]。

2.2.3 大陆裂谷的相对活动性

晚古生代大陆裂谷的性质使其地层与南侧华北—塔里木克拉通的同期地层有巨大差异。就石炭系而言,华北区的本溪组、太原组海陆交互层地层可在数百千米的大范围逐层对比,表现出相当强的稳定性。而本区的石炭系,即使是海相也表现出厚度、岩性的急剧变化,直观表现是相邻地区相应时代地层因岩性不同而冠之以不同组名,且常对其时代的上下限争议不休。

与该区中—新生代大陆裂谷不同,晚古生代裂谷的拉张/大洋化程度较高,在拉张程度最高的时期可能出现局部性的陆间小洋盆,出现深海沉积。相应,在其闭合后沿块体间的边界可出现断续分布的基性、超基性岩。其相对活动性更明显的表现是强烈的岩浆活动,在沉积岩系内出现大量的火山岩、火山凝灰岩和多期的岩浆侵入,特别是末期可形成侵入岩基和岩浆岩带。与较强的挤压背景相应,可出现较强的后期改造,特别是在块体边界及大型断裂附近出现较强的变形和动力变质,动力变质和岩浆活动的热接触变质相叠加,给初期的研究者造成本区上古生界曾出现区域变质的印象。

2.3 区域构造研究中存在许多问题

2.3.1 地块的划分及其拼合史

限于资料和研究程度,不同学者对晚古生代地块的命名、数量、范围、拼合时间及影响均有不同的认识^[4]。在中国讨论较多的是东段的佳蒙(佳木斯—兴蒙)地块^[7],其东界和南界较清晰。但向北是否直接与中亚陆间区南、北带间的缝合带相接还是隔着另一个地块群?其向西是以狭长的“细腰”与额济纳地块连接还是斜列状相错?进而言之,在蒙古国中部到中国额尔古纳是否还存在一个规模与佳蒙地块相当的地块群?在中亚陆间区南带西段讨论较多的是准噶尔地块(群),其可能包括伊宁、吐哈、三塘湖等地区,但向东与额济纳(银额)地块间是相连接还是隔以破碎的北山块体群?或者说,北山地区是“原位”的地体还是后期插入准噶尔和额济纳间的“外来”地体?这些都是研究者未说清的问题。

2.3.2 地块间的边界性质

上述问题的解决直接涉及对区内几条大断裂带

的认识。中国地质学家在内蒙古划分出数条基本平行区域构造的大断裂带,并多赋于其地壳缝合带的重要地位。近年来出现的新资料使人们对其提出不少质疑。首先,沿某些断裂出现的基性、超基性岩、硅质岩是“蛇绿岩套”吗?它们可以证明存在数百千米的“残余洋壳”吗?其次,它们可能在早期(如早古生代)有强烈活动,但在晚古生代还能有那样的影响吗?

研究者早就注意到华北克拉通北侧的地壳缝合带及伴生的增生杂岩带,即西拉木伦构造带,认为其是中亚陆间区南带与华北克拉通之间在晚古生代早期拼合的产物。与之相应的是塔里木以北的天山带(包括博格达),其可能是继承早古生代发育的陆间裂谷而在晚古生代中期闭合。那么,在上述2个带之间的地段,中亚陆间区南带与华北克拉通之间的关系是什么性质,其与东、西两端的2个拼合带的时空关系如何?进一步看,一般认为中亚陆间区南带与北带之间的陆间洋,自西向东在二叠纪—侏罗纪剪式闭合,但涉及许多国外资料,具体过程有待研究。

2.3.3 岩浆活动的影响及其与沉积的关系

前已述及,本区晚古生代岩浆活动较强烈是其特点之一,而这方面研究较薄弱,部分原因在于对岩浆活动与沉积演化间的研究长期被人为割裂,前者多服务于内生矿产资源,而外生矿产资源的研究者对其并不重视,甚至把它视为负面影响,往往一见侵入岩和火山岩就“回头”。近年来,油气地质工作者不仅开始关注岩浆活动对古地热和岩石变质变形的影响,更注意到侵入岩和火山岩风化壳可形成良好储层,以及火山活动对生烃岩系有机质发育的正面作用^[8]。此外,从作为区域地质研究基础的大区域地层对比看,对火山岩系的研究往往是认识不同岩石地层单元间关系、准确厘定其时代的重要依据。侵入岩和火山岩地球化学研究亦为其区域构造演化的背景提供了有力的佐证。顺便指出,在以上这类研究中来自地质调查局和高等院校的团队有特殊的优势,对此应鼓励其发挥作用。

3 油气地质进展与存在的问题

3.1 油气地质进展不平衡

3.1.1 西段

对中亚陆间区南带的油气地质研究程度以西段为高、东段次之,中段较差。

西段的准噶尔,作为该陆间区的中间地块,不

但早已在西北部发现有以二叠系为源岩的油田,而且确定其内部存在大面积分布的该套地层,并被公认为中国最佳二叠系烃源岩分布区。近年来在克拉美丽隆起两侧和乌伦古坳陷,发现了以石炭系为主要烃源岩的中型、大型气田群,证实了该区晚古生代存在北西西向裂谷系断陷沉积,而盆地内的二叠系是其后期向地块内超覆的坳陷型沉积,二者构成断陷—坳陷二元结构。这些认识和勘探成果进而扩展到吐哈和三塘湖地区。准噶尔东北、西北两侧出露的老山和正在进行油气工作的小盆地,以及哈萨克斯坦境内斋桑盆地发现的石炭系油田亦为区域上古生界研究提供了许多新资料。显然,充分认识该区的油气地质条件成为中亚陆间区南带油气研究的入门,成为其良好例证。西段的银额地区经过以中国地质调查局西安地质调查中心为首的项目团队多年艰苦工作积累,已获得重大进展。除基础地质的工作成果外,值得提出的是以下两点:①在区域重磁电等工作基础上完成的地震工作,在少量钻井的验证下证实,在中新生界之下有较大面积的石炭系—二叠系存在,其埋于中生界之下且构造形变较弱,许多地段保持近水平产状。换言之,该区存在可供勘探的上古生界实体。②在已见到源于这套地层的井下油气显示、甚至工业油气流,其中有的赋存于该套地层内^[9-10],有的或向上运聚于中生界或侧向运聚于前石炭系基岩内。它们证实了本区的油气远景,可以将其上古生界作为新区、新领域,深入开展系统的油气区域评价工作。

3.1.2 东段和中段

中亚陆间区南带的东段指松辽盆地及周缘。该区区域地质研究程度较高,油气地质的进展表现在两方面:①有相当数量的钻井钻到前中生界(有的钻及厚度达数百米),并与较多的地震资料相互验证,有些地区可绘出上古生界顶面埋深图和残余厚度图。在松辽盆地中央隆起区、盆地边缘及周边中生界相对隆起区埋藏较浅,目前钻井可及^[11]。②在若干钻井上古生界发现油气显示,或获低产油气流。在一些中生界油气藏中也发现了来自上古生界原油混入的地球化学证据(这类现象亦见于银额盆地),提醒我们要重视古生“中”储的现象。值得重视的是西侧上二叠统林西组标准剖面发现海相化石(即使像某些人认为的那样仅作为海泛的“夹层”),海相层的存在提高了对其生烃能力和页岩气

前景的评价。

中亚陆间区南带的中段指二连盆地(包括其西部川井坳陷带)及周缘。这段构造较复杂,不同走向的构造线相交切,再加上其相当部分位于蒙古国境内,中国学者的研究受到限制,基础地质和油气地质研究程度均差,存在的疑问较多。该带地面地质调查发现,石炭系—二叠系发育未变质的暗色泥岩,可作为潜在的烃源岩,并在石炭系地表剖面发现碳酸盐岩溶蚀孔缝中的油苗显示。

3.2 地层对比

3.2.1 需深化地层对比

众所周知,研究区内各部分间的地层对比是石油地质研究的基础,前期对此已作了大量工作,搭起了分阶段对比的框架,在推动认识的深化上具有一定作用。但显然还存在许多问题。这表现在不同构造区、不同地块、不同裂谷系之间的地层对比尚有不同方案,特别是火山岩系和具很少化石的“哑地层”对比难有定论。对此需要开展更深入的工作。

作为裂谷发育的特征是横向上地层的明显变化。这意味着沉积中心和超覆地区的地层不但岩性有差异,而且在同一期地层沉积的具体起止时间也有差异。因而细致的地层对比不仅要做到阶而且要分期、时。只有精细的区域地层工作才能适应油气工作的要求。从这个角度来说,地层的研究任重道远。认识到地层对比中的某些不确定性,特别是由于资料太少,目前勾绘的古地理图中可能有较多的问题,不妨将其看作是框架性的设想,一个有待补充修正的中间性成果。

3.2.2 钻井地层对比将面临更大困难

即使可以在品质良好的地震剖面上获得可靠的石炭系—二叠系反射波,但因为其下部层位存在不同程度的超覆,其顶部又普遍存在剥蚀,再加上内部各发育阶段之间多普遍存在的区域性不整合,亦同样存在剥蚀和超覆问题。使得在部署钻孔时很难准确预测其中生界下的地层层位、更难进行井下层位划分,使井位设计很难。可以设想,即使完钻后,钻井地层时代的厘定和对比这样的基础问题都难有及时准确的定论,更何况对其生储盖组合和储层变化的研究。

3.3 后期改造研究

对原型沉积盆地古地理古构造的研究只是油气探索进程的一小半工作,更重要的在于其后期改

造,在于沉积实体的保存、成岩、变质和变形。首先,应看到前人认为该区属造山带、岩石有强烈变形变质的认识反映了一些地区的实际。应把块体边界、大断裂带和侵入岩体周围存在此类特征的地区圈定出来,并关注它们对作为油气勘探目标的相对稳定区的影响。其次,对保存下来的沉积实体所经历的多次隆升、剥蚀和再被埋藏予以高度的关注,这是直接决定有机质演化、油气运聚保存的关键问题。油气勘探者强调的“保存条件不好,一票否决”的含义正在于此。此外,勘探实体的埋深也是决定勘探投入的重要参数,太深则在目前和近期难于投入钻井;埋深过小也显然会影响作为高原的本区油气保存。应该说,后期改造是该区研究的薄弱环节,随着探索的深入,目标越来越逼近油气赋存,后期改造和油气保存条件会被置于更重要的位置。

3.4 持续对油气远景的评价

3.4.1 坚定方向打好基础

越来越多的事例证实,新的油气发现,特别是新区新领域的开拓是发挥主动创新精神、坚持长期曲折探索的结果。对区域地质特点、地质演化史的认识越深入,越容易把握有机质赋存演化、油气聚集保存的规律,从而使油气发现、勘探能够沿着一条大致正确的路线进行。经过曲折失败、证实证伪,经过认识—实践—再认识—再实践,逐渐逼近油气田赋存的客观目标。将中亚陆间区南带的上古生界列为新区新领域并投入实物工作量已近十年了,资料的积累证实了其油气远景,西段(特别是准噶尔盆地)的进展展示了古裂谷发育和其中油气聚集的一种模式。这些都更坚定了油气工作的信心。但应该说,该盆地以东的广大地区还处于盆地研究的摸底阶段,对现今保存的上古生界残留沉积体的分布、埋深、厚度还没有全面的了解,更谈不上选区评价。因此,相当长的时期内仍要以石油地质基础研究为主。要求近年就发现油气,显然是求之过急、不切实际的。

3.4.2 不断向油气赋存的目标逼近

前期工作表明,仅从地表研究得到的资料有很大的局限性,如:即使以似乎“新鲜”的岩石样品得出的有机地球化学参数也会有很大误差。要使油气远景的评价得以深化,必须要有适当的物探(其中应配有地震勘探)和钻井工作量,这是深化认识的必要前提。目前的投资不足使这类工作的实施

受到很大限制。这就要求,一方面保持其“不断线”,使之不断向油气赋存的目标逼近,另一方必须非常谨慎高效地使用这些宝贵的工作量,并尽量深入地运用物探和钻井资料(包括前入已完成的工作所获得的资料)去推进认识。

在油气地质发展的现阶段,已经把常规和非常规油气并举作为勘探开发的“新常态”。在目前的新区新领域开拓中也必须自觉地贯彻这个方针。鉴于本区的实际情况,上古生界生成的油气可能有高的热成熟度,其气和凝析油很可能有较大的比例。相应地,其储层多处于致密状态。因此,在找油气突破口的选择上要充分注意到上述特点。为此,在相应的钻井和井下作业中要有与页岩油气、致密油气相配套的措施。此外,上古生界油气远景较好的地区多有中生界覆盖,在工作中要注意对其白垩系、侏罗系含油气性的综合评价。

参考文献

[1]吴根耀. 中亚造山带南带晚古生代演化:兼论中蒙交界区中晚二

叠世残留海盆的形成[J]. 古地理学报, 2014, 16(6): 907-925.

[2]大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷二)(上)[M]. 北京:石油工业出版社, 1993: 1-177.

[3]新疆油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十五)(上)[M]. 北京:石油工业出版社, 1987: 37-121.

[4]张抗. 中国大北方上古生界油气勘探新领域[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 803-810.

[5]张抗. 断块开合说——我国大地构造研究的新思维[J]. 地质论评, 44(5): 449-455.

[6]张文佑, 张抗. 从构造运动谈地质年代表的划分[J]. 地质科学, 1983, (4): 338-344.

[7]王成文, 金巍, 张兴洲. 东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识[J]. 地层学杂志, 2008, 32(2): 120-136.

[8]张抗. 中国北方裂谷型侏罗系含油气远景的再认识[J]. 地质通报, 2016, 35(2/3): 197-203.

[9]卢进才, 宋博, 牛亚卓, 等. 银额盆地哈日凹陷Y井天然气产层时代厘定及其意义[J]. 地质通报, 2018, 37(1): 93-99.

[10]卢进才, 魏仙祥, 魏建设, 等. 银额盆地哈日凹陷Y井油气地球化学特征与油气源对比[J]. 地质通报, 2018, 37(1): 100-106.

[11]沈安红, 徐坤, 杨建国, 等. 松辽盆地边缘地表石炭-二叠系划分对比、古环境研究及油气远景评价[M]. 北京:石油工业出版社, 2005: 1-215.