

文章编号: 0253-9985(2006)02-0131-12

# 多种能源矿产赋存与盆地成藏(矿)系统

刘池洋, 赵红格, 谭成仟, 王建强

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 含油气盆地研究所, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 沉积盆地是诸多沉积矿产生成、赋存的基本单元和成藏(矿)的大系统, 具有既相对独立又统一的成藏(矿)环境和动力学背景, 有其自身的成矿特点和规律, 可命名为盆地成藏(矿)系统(单元)以与造山带等成矿系统相并列和区别。目前国内外的矿产勘查、开采利用和研究揭示, 油、气、煤和铀主要赋存在沉积盆地中。这 4 种重要能源矿产同盆共存富集存在普遍、含矿层位联系密切、空间分布复杂有序、赋存环境和成藏(矿)作用有机相关、成藏(矿)-定位时期相同或相近, 表明其间有着密切的内在联系和统一的地球动力学背景。在盆地演化和后期改造过程中, 油、气、煤、铀等沉积矿产同盆生成共存、相互作用、各自成藏(矿)和改造定位。它们生成-成藏(矿)和定位的主要期次, 与盆地演化-改造的阶段及主要地质事件有明显的响应联系和密切的耦合关系。文中讨论了其中部分相关前沿科学问题, 初步建立了鄂尔多斯盆地演化-改造阶段及其主要地质事件与油、气、煤、铀成藏(矿)作用期次的时序对应关系。

**关键词:** 油-气-煤-砂岩铀矿; 同盆共存; 成藏(矿)机理; 盆地动力学; 盆地成藏(矿)系统; 多种能源; 鄂尔多斯盆地  
**中图分类号:** TE111.3 **文献标识码:** A

## Occurrences of multiple energy mineral deposits and mineralization / reservoiring system in the basin

Liu Chiyang Zhao Hongge Tan Chengqian Wang Jianqiang

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

**Abstract** Sedimentary basin is the basic unit of the generation and occurrence of various sedimentary mineral deposits and is also a large reservoiring/mineralization system. It has both relatively independent and unified mineralization environments and dynamic settings and has its own mineralization characteristics and patterns. It can be named as basin reservoiring/mineralization system/unit for differentiating from the other mineralization systems such as orogen mineralization system. Recent mineral exploration, exploitation and research both at home and abroad show that oil, gas, coal and uranium deposits mainly occur in sedimentary basins. These four major mineral deposits commonly coexist and get enriched in the same basin. Their producing formations are closely related and their space distributions are complicated but ordered. The environments of their occurrences are intrinsically related with reservoiring/mineralization processes and the time of reservoiring/mineralization and finalization to be the same or similar. All these features indicate that they have close intrinsic relationships and a unified geodynamic setting. The sedimentary minerals, such as oil, gas, coal and uranium, are generated and coexist in the same basin, interact with each other and separately accumulate and are finally allocated through reformation in the process of basin evolution. The main times and stages of generation-reservoiring/mineralization have evident responsive relations and close coupling relations with the main geologic events and basin evolution and reformation stages. This paper discusses some relevant frontier scientific issues and preliminarily establishes the chronogenesis and corresponding relationships between basin's evolution-reformation stages and

收稿日期: 2006-01-10

第一作者简介: 刘池洋(1953-), 笔名刘池洋, 男, 教授、博士生导师, 盆地动力学、油气地质与勘探、构造地质、能源地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214600); 长江学者和创新团队发展计划资助项目(RT0559)和国家自然科学基金项目(40372096)

major geologic events and the reservoiring/mineralization of oil, gas, coal and uranium deposits

**Key words** oil-gas-coal-sandstone uranium deposit coexistence in the same basin; reservoiring/mineralization mechanism; basin dynamics; basin reservoiring/mineralization system; Ordos basin

## 1 沉积盆地在地学研究中的重要地位

地球表面可分为大陆和大洋两大地貌-构造单元。其中海洋约占地球表面积的 71%<sup>[1]</sup>。从地貌形态和正在接受沉积等方面考虑,大洋似可看作一种特殊的巨型沉积盆地或由若干个沉积盆地组成的超级盆地(群),故又常称其为大洋盆(地)。

大陆由沉积盆地、造山带和地盾 3 种属性不同的构造单元构成。其中沉积盆地所占面积最大。据统计,海拔在 500 m 以下的平原和丘陵约占陆地总面积的 52.2%<sup>[1]</sup>,大部为沉积盆地;海拔低于 200 m 的平原面积约占一半<sup>[1]</sup>,几乎全为正在沉降、接受沉积的冲积平原或三角洲和湖盆,即正在发展的沉积盆地。在海拔 500 m 以上的山地和高原,仍有较大面积为沉积盆地。若将经后期改造但仍有沉积矿产勘探远景的残留沉积盆地(体)计算在内,盆地的面积约占大陆总面积的 4/5。所以,无论在全球地质和地球动力学还是在大陆地质和大陆动力学研究中,沉积盆地均处于极为重要的地位。

盆地沉积地层翔实地记录了地球最外圈层的演化历史、构造运动过程和各种地质活动、气候与环境演变。此记录时间连续、信息丰富。其中有些信息,如大多数盆地仍较好地留存有的其形成演化的深部结构特征,可弥补随地球动力学环境改变诸多造山带深部已“脱胎换骨”仅留其浅表层外壳形迹而难以反映其形成时深部动力环境之不足;再如盆地现今深部作用等方面的信息,是其他构造单元无法替代的。研究这些记录,有助于进一步深化诸多地学动力学过程的研究,并在某些领域可望取得突破性进展。这些具有重要科学意义的动力学过程包括全球过去的气候演变和环境变迁、地史上的海平面变化、地壳的隆升与沉降、地幔的对流和深部地质作用以及它们对相邻更大区域构造运动的响应关系等。

沉积盆地又是一个聚宝盆,蕴藏着丰富的、人类必需的多种矿产资源,如水、油、气、煤、膏盐等非金属矿产和铀矿、铅锌矿等金属矿产。它们是

人类衣、食原料的主要生产地,也是人类生息、活动的主要场所。这些地区通常是地震、滑坡、泥石流、地裂缝和海啸等自然灾害多发区。人类的活动和集中居住,也影响局部及区域气候和环境的变化,同时带来地表和地下不同程度、多种形式的环境污染。这一切对人类生存环境形成威胁的自然现象和人为行为,其威胁的特点和程度又因盆地地质特征的不同而有区别<sup>[1]</sup>。

所以,近三十多年来,从地球科学基础理论研究、矿产及水资源勘探利用、保护和改善人类生存环境三方面,不约而同地将关注的焦点和研究的热点转向沉积盆地。集地球科学研究和应用三大领域(科学研究、物质需求、生存环境)为一体,沉积盆地受到学术界、工业界和政府部门的广泛重视。随着全球生态环境的渐趋恶化、矿产资源的日益匮乏和自然灾害的不断增多,在美国等发达国家的地质研究计划中,沉积盆地均处于极为重要的位置。

## 2 多种能源矿产赋存特点与分布规律

### 2.1 多种能源矿产主要赋存在沉积盆地中

油、气、煤几乎完全赋存在沉积盆地中早已成为人们的共识。随着砂岩型铀矿在铀矿资源中地位和重要性的迅速提高,多种不可再生能源矿产主要赋存在沉积盆地中也已成为不争的事实。产在中、新生代盆地中的沉积型铀矿,特别是其中的砂岩型铀矿,已是世界上分布最广和主要勘查的铀矿床类型。

根据国际原子能机构统计<sup>[2]</sup>,1996 年全球成型铀矿床 582 个,有 250 个属砂岩型,占 43%,其中 4/5 以上分布在中、新生代盆地中。截至 1999 年,世界已知成本低于 130 美元/kg 的常规铀资源量总计为  $448.643 0 \times 10^4$  t,其中砂岩型铀矿名列第二。位居第一的是元古界的不整合面型和石英卵石砾岩型。若剔除仅在澳大利亚和加拿大元古界分别发现的这两类超大型铀矿床,在 2000 年,砂岩型铀矿的生产量占铀生产总量的 76%。随着地浸开采技术的进一步发展和推广,砂岩型铀矿

的产量占铀生产总量的比例将会更大。砂岩型铀矿的资源量占铀矿资源总量的比值, 在哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦等中亚各国为 87% ~ 100%, 在美国达 95%。在澳大利亚和加拿大等铀资源大国, 砂岩型铀矿也仍在正常生产。

我国铀矿勘查在 20 世纪 80 年代之前以岩浆岩型为主, 目前几乎已全部转入砂岩型。在北方, 中、新生代盆地的铀矿勘查已取得了一系列重大进展。目前, 已在伊犁、吐哈、鄂尔多斯等盆地发现(特)大型可地浸砂岩型铀矿; 在二连、松辽、准噶尔、塔里木、柴达木等盆地和河西走廊-阿拉善地区诸盆地的砂岩型铀矿勘查, 也都有重要发现或突破性进展。

2.2 同盆共存、富集存在普遍

值得注意的是, 目前世界上已发现砂岩型铀矿的盆地, 大多同时也是含油气或产煤盆地。据不完全统计, 目前至少在全球 54 个含铀盆地内已发现油、气藏(田)或煤矿, 其中 37 个盆地发现砂岩型铀矿与其他 2 种或 3 种有机能源矿产共存, 约占共存盆地的 69%。若将迄今尚未发现规模油气藏或煤矿(田), 仅有油、气、煤显示或有资源远

景的含铀盆地统计在内, 多种能源矿产共存盆地的数量和比例将会更多。这些多种能源矿产共存的盆地主要分布在北半球(占 81.5%), 以中、新生代盆地为主(占 94.4%)。

盆地内砂岩型铀矿的分布遍布全球, 但无论其矿床数量还是总资源量, 北半球(北纬 20° ~ 50°)均占主导地位, 其中以中-东亚巨型成矿域(带)<sup>①</sup>分布最为集中。该带东起我国松辽盆地, 西至里海, 东西连绵逾 6 000 km。在该成矿域分布有数十个(特)大型油田、气田、煤田和砂岩型铀矿, 其中多数盆地这 4 种能源矿产共存富集(图 1), 故称其为中-东亚巨型能源矿产成矿域(带)(简称中-东亚成矿域)。

在我国境内, 该成矿域自东而西分别有松辽、二连、鄂尔多斯、酒泉、吐哈、准噶尔、塔里木和柴达木等大、中型盆地, 其中云集了大庆、吉林、二连、长庆、玉门、吐哈、青海、新疆、塔里木、西北石油分公司等重要石油生产单位和国家及相关省区的大、中型煤炭企业, 分布有已探明的东胜、吐哈、伊犁、二连等大型-特大型可地浸砂岩型铀矿床。该成矿域已成为我国多种不可再生能源矿产重要的生产基地。

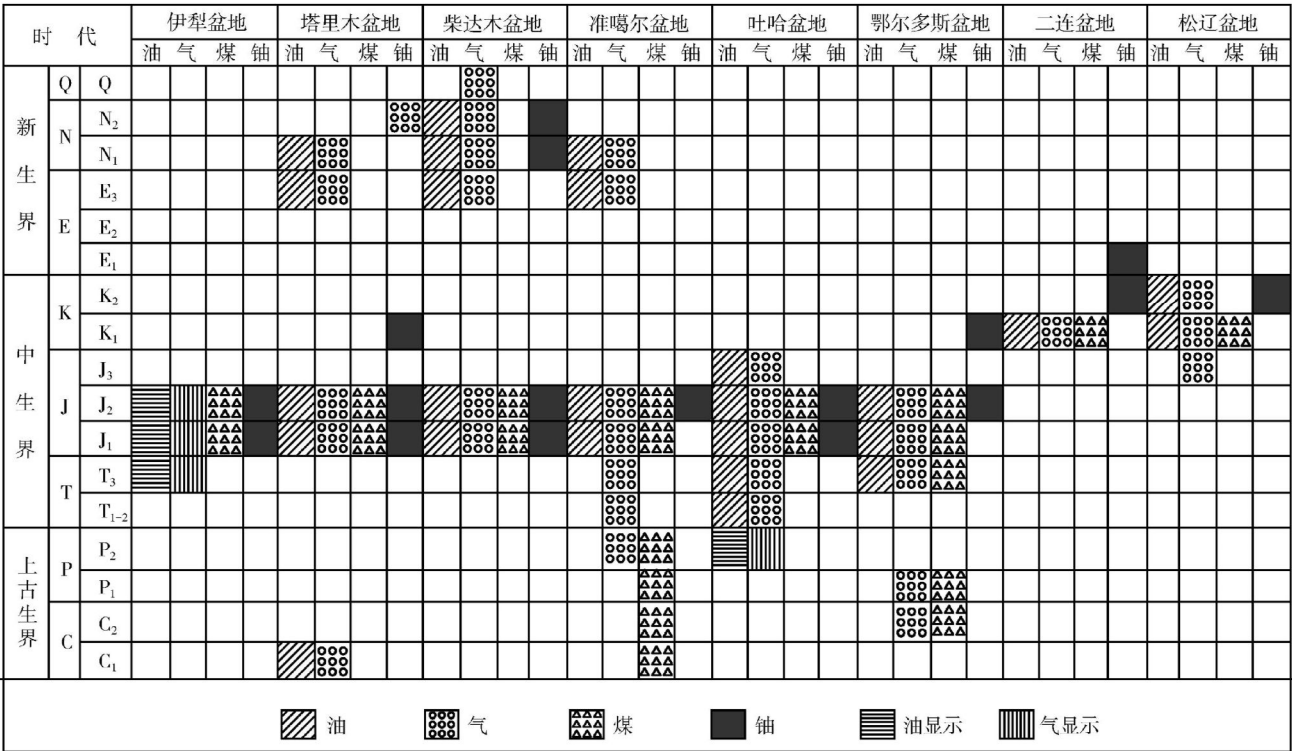


图 1 中国北方主要盆地多种能源矿产同盆共存含矿层位对比

Fig. 1 Comparison of producing formations of various energy mineral deposits coexisting in the same basin in northern China

①戴金星院士<sup>[3]</sup>的“中亚煤成气聚集域”和涂光炽院士<sup>[4]</sup>的“中亚成矿域”的东界, 分别大致在我国新疆东部和内蒙西部。我国的二连、松辽盆地已处亚洲东部, 故称中-东亚成矿域(带)

在该成矿域西部的哈萨克斯坦,探明的可地浸砂岩铀矿储量占世界的 1/4。该区也是世界重要的产油气区。

### 2.3 含矿层位联系密切

多种能源矿产不仅同盆共存富集,而且砂岩铀矿与油、气、煤的赋存层位联系也十分密切。综合研究和对比我国北方同一能源盆地共存的多种能源矿产的赋存层位可知,从东北松辽盆地,经二连、鄂尔多斯盆地和河西走廊-阿拉善中、小盆地群,到新疆诸盆地,在同一盆地中 4 种能源矿产赋存的层位大体相同,或彼此相间,或相邻、相近(图 1)。

根据初步研究,在多种能源共存盆地的各含矿层内,甚至可不同程度地直接见到其他能源矿产,或发现其存在的相关踪迹。

油和气、气和煤彼此同层或上、下分布已屡见不鲜,油和煤、油气煤同层也常有发现。在二连盆地,铀矿床的形成与油气田的改造密切相关,甚至在油气层含有富铀矿体。在伊犁等盆地,铀矿直接赋存在煤层之间或上、下。在吐哈盆地的砂岩型铀矿床中,见到与石油成生有关的沥青。在鄂尔多斯盆地北部东胜大型砂岩型铀矿的矿层(J<sub>2</sub>)中,可见有沥青脉。铀矿层的包裹体成分测试显示,气体组分为成熟度较高的煤成气,表明对该矿床形成有重要意义的后生还原性蚀变,很可能与天然气的逸散有关。可见,砂岩型铀矿的形成与有机矿产的聚散联系密切。

### 2.4 成藏(矿)-定位时期相同或相近

砂岩型铀矿以储矿主岩时代新和成矿时代新为特点。目前全世界发现的砂岩型铀矿其成矿时代绝大多数集中在新生代,特别是渐新世以来。

对我国北方主要产铀盆地已发现的砂岩型铀矿成矿年代的研究表明<sup>[5]</sup>,砂岩型铀矿的成矿作用主要发生在早白垩世晚期以来,可细分为 3~5 期,以新生代为主。各盆地的主成矿期和成矿期次虽不尽相同,但各成矿期与所在盆地油气的成藏-定位期却大多相同或基本一致<sup>[6~8]</sup>,显示出油、气、铀 3 种能源矿产的成藏(矿)过程及成藏-定位时期有着密切的联系和统一的地球动力学背景。

### 2.5 反例证明

由上述可知,油、气、煤、铀同盆共存、富集成

藏密切相关。这是偶然的巧合还是有必然的联系,必须综合研究、多方论证。除上述直接的诸多现象和特征外,以下反例也证实各能源矿产同盆赋存成藏似有密切的内在联系。

铀矿的成矿物质来源多样、分布广泛。若不考虑变质作用对铀矿床的改造,世界上铀矿床按成因可分为内生岩浆岩型和外生沉积岩型两大类。根据目前我国铀矿的勘查现状和对已探明铀资源量的统计,岩浆岩(花岗岩、火山岩)型铀矿主要分布在南方,约占该类型已探明资源量的 80%。这与该区印支-燕山期岩浆活动强烈有关。与这些内生岩浆岩型铀矿床相邻的中、新生代盆地虽具有丰富的成铀矿物质来源,但是除四川含油气盆地川北地区和滇西个别小盆地外,其中尚未发现砂岩型铀矿床,良好的铀矿化异常也较少见。而现已探明的砂岩型铀矿资源量的 95% 以上分布在北方诸多中、新生代陆相盆地中。

这启示我们,成铀矿物质的贫富是能否形成矿床的重要因素和必要条件,但不是决定因素和唯一条件。铀矿物质只有在特定的环境和条件下,才可能富集成矿床。为什么我国的砂岩型铀矿青睐北纬 35° 之北的北方盆地,且常与油、气、煤等能源矿产同盆共存富集,这与已经查明和证实的我国中、新生代陆相盆地的油气北富南贫、煤炭北多南少惊人地一致,表明其间有着密切的深层次内在联系和相关的成矿环境。

综上所述,多种能源矿产同盆共存富集存在普遍、含矿层位联系密切、空间分布复杂有序、成藏(矿)-定位时期相同或相近,表明其间有着密切的内在联系,统一的形成环境和地球动力学背景,蕴含着深刻的科学内涵,值得进一步深入研究和探讨<sup>[9]</sup>。

## 3 沉积盆地动力学与盆地成矿系统

### 3.1 沉积盆地动力学

能源盆地是沉积盆地的主要组成部分,以其展布面积大、发育时间长而在盆地动力学和大陆动力学甚或地球动力学研究中占有重要的地位。大、中型沉积盆地的形成、发展、演化和改造,总体受地球深部系统内动力地质作用(热力、应力、重力和物质转化等)的控制;而盆地内沉积物的充填、埋藏和成岩,则是在盆地形成的统一动力学背

景下, 总体受地球表层系统(岩石圈浅表层、水圈、大气圈和生物圈)外动力地质作用(风化、生物、剥蚀、搬运、沉积、埋藏等)的制约。沉积矿产在此过程中于盆地内成生、共存、聚散、成藏(矿)和定位。所以, 沉积盆地将地球深部系统的内动力地质作用和地球表层系统的外动力地质作用有机耦合, 自然地构成了一个各圈层内、外地质动力相互作用的统一盆地动力学系统。此系统的活动虽有其明显的相对独立性, 但总体属地球动力学大系统的重要组成部分, 是(沉积)盆地动力学的内涵<sup>[9]</sup>。

沉积盆地是诸多沉积矿产同盆成生、赋存的基本单元和成藏(矿)的大系统, 盆地动力学系统则为沉积矿产统一的赋存-成藏(矿)大环境和动力学背景。所以, 盆地的形成过程自然就构成了一个统一地球动力学环境演变-各圈层内、外地质动力相互作用(盆地沉降、充填、埋藏成岩、演化和改造)-多种能源等沉积矿产同盆共存富集成藏(矿)的相关链。各链节又自然地显示出级别不同、因果有关、联系密切、彼此响应-制约的互动大系统。沉积盆地为此大系统中衔接维系各链节的关键环节(图 2)。所以, 只有以盆地为主要研究对象, 才可能将地球深部系统的内动力地质作用和地球表层系统的外动力地质作用有机耦合, 从而全面探讨盆地形成的地球动力学环境, 进而深刻揭示多种能源矿产形成的统一动力学背景。

### 3.2 盆地成藏(矿)系统(单元)

沉积盆地内多类沉积矿产的形成有其鲜明的个性, 可将其共性归纳为以下几点。

#### 1) 成矿环境和影响因素

①以常温常压或低温低压为特色, 这是与造

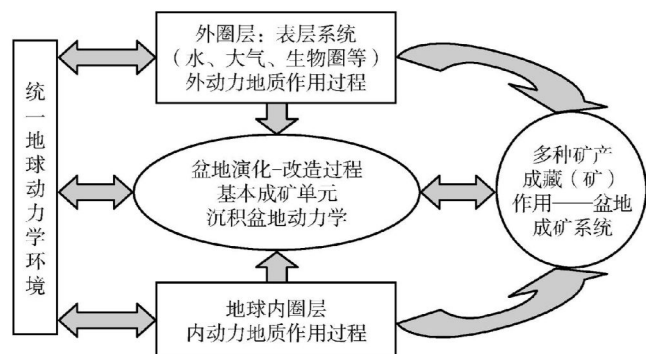


图 2 地球动力学与沉积盆地动力学和盆地成藏(矿)系统的关系

Fig. 2 Relation between basin reservoiring/mineralization system and geodynamics and dynamics of sedimentary basins

山带等成矿系统的显著不同之处。

②在沉积矿藏成藏(矿)和定位的全过程中, 由水为主体的各类流体以多重身份始终参与其中[既影响各类矿产的形成环境, 又是该环境的重要组成部分; 既是成藏(矿)物质搬运、聚散和成藏(矿)的动力, 又直接参与成藏(矿)物质的交换甚或物质转化和反应; 同时, 又与周邻岩石和各矿产相互作用], 起着极为重要的作用, 成为不同类别(有机-无机能源、金属-非金属矿产)、不同相态(气、液、固态)、多种能源矿产(油、气、煤、铀)之间联系的纽带和桥梁。

③热力作用, 或由区域地热场和局部热事件引起的岩石热演化, 对成矿物质的转化和矿产的生成、性质及产状有重要影响; 同时通过制约流体的相态和流动方向, 又直接控制或间接影响着成矿物质的迁移、聚散、成矿和分布。特别是对有机能源矿产, 热动力作用直接参与和宏观控制其形成, 总体决定成矿物质反应和转化的程度、阶段与相态等。

#### 2) 成矿作用和过程

①各类沉积(能源)矿藏的形成一般都经历了原始成矿物质聚积、转化成矿-富集成藏(矿)和改造定位 3 个阶段。不同矿产各阶段又各有其特点。

②充填堆积的原始成矿物质为矿产形成的物质基础, 并未形成(也并非都能形成)矿产, 只有在沉积埋藏后随地球化学环境和温压条件等的变化, 才开始向各种(能源)矿产转化, 进而运聚, 最后才富集成藏(矿)。

砂岩型铀矿的形成也经历了随地质环境变化由散-变-聚-富的过程, 但其原始成矿产物的聚集不限于沉积充填阶段, 在其储矿层沉积之后甚至沉积作用结束、盆地消亡之后, 仍继续有分散的后成外生成矿物质输入-聚集-成矿, 而且盆地后期改造阶段对铀矿床形成的贡献往往更大。

③原始成矿物质聚集与矿藏形成-定位之间间隔的时间较长, 时差可达几亿年。如古生代和中生代的烃源岩, 分别在中、新生代晚期才大量生烃、运聚成藏, 其油气藏定位的时间更晚。

④矿藏的规模、形态和分布位置等易随地质构造环境的变化而发生改变(易变性)。其中, 以流体(如油、气、水)和其形成具流体性能或受流体影响明显的矿产(如铀矿以及膏盐)尤甚。

⑤以上特点决定了现存矿藏的成藏(矿),特别是定位的时期相对较晚,有时很晚。

### 3) 成矿背景

各类矿产的成矿期次、成矿特点、组合关系和分布规律受区域地球动力学背景和盆地演化-改造过程影响明显。据此背景和过程等受控因素的不同,盆地成藏(矿)系统可进一步分为多种特征不同的类型和系列,它们有其自身的成矿特点和规律,具有相对独立的、统一的成藏(矿)环境和动力学背景。这些鲜明的个性与造山带和地盾等成矿系统显著不同,应将其作为一种独立的成矿系统(单元)列出,命名为盆地成藏(矿)系统(单元),以与其他成矿系统相并列和区别。

对盆地成藏(矿)系统进行专门研究和总结,探讨和揭示各种沉积矿藏同盆共存的内在联系、相互作用、组合模式与分布规律,必将会对多能源科学的研究和已有认识产生新的思考和启迪,丰富和发展成矿理论,从而推动多种能源科学理论体系的建立,推进单能源学科的进一步发展、完善,促进和指导多种矿产的协同勘探和综合开发。

## 4 前沿问题与研究启迪

同盆共存的油、气、煤和铀等各种能源矿产,目前一般勘探程度较高,研究开展广泛。然而,多年来由于受各类矿种各自独立勘探开发和其相关学科分门别类研究的限制,加之对砂岩型铀矿的规模勘探和系统研究主要是近 20 多年来才逐步重视和渐处主导地位,故将相对独立、较为完整的单种能源学科彼此渗透、融合并进行交叉、综合研究均十分薄弱,对各类能源矿产的内在成因联系,特别是与砂岩型铀矿的联系总体探索甚少,也很少将多种主要能源矿产共存富集置于盆地形成演化的统一时空过程和环境中进行整体研究。因而,对多种能源矿产共存的内在成因联系及形成环境目前尚不清楚。在此,着重讨论其中部分重要的前沿科学问题。

### 4.1 深部铀异常与古铀矿床形成

在油气、煤和铀等主要能源矿产中,砂岩型铀矿的形成个性明显。其成矿物质的来源十分广泛,具多元性和多(长)期性,可沉积同生带入、表层后生渗入和下(深)部次生侵入。这与其他能源

矿产明显不同,但与水资源颇为相似。砂岩型铀矿本身为固体矿产,但在表生作用中易氧化为  $U^{6+}$  而溶于流体中被搬运,故其成矿物质的汇聚和富集、成矿及叠加定位,甚至开采均具有流体矿产的特性。在地壳中,铀矿床成矿物质来源和分布的广泛性、活跃的化学性质和便于运移及渗入等性能,决定其具有成矿的长期性、多期性、易变性和晚期-超晚期矿床定位等特点。

由于受地浸开采技术和与之相适应的钻探深度的限制,目前发现的砂岩型铀矿床的埋深一般小于 500 m,大多在 400 m 以内。对埋深大于 500 m 的较深部是否有铀矿床存在、如何形成,在地质历史相同或相似的环境中是否可同样形成铀矿,这些古铀矿是如何保存或改造的等问题,却鲜有人议。尽管较深部的铀矿床按现阶段的开采技术难以利用,但其对铀矿床形成机理的揭示、成矿模式及类型的建立、浅表层铀矿床成矿物质的来源等关键问题的研究,具有重要意义。

新近笔者等对鄂尔多斯盆地古生界气区和中生界油区的研究发现,在深度 1 600~2 300 m 之间不同时代、不同岩性的多个层段中,均发现有由铀元素含量异常引起的放射性异常。各层段异常值的大小、厚度和平面分布不尽相同。其中以下白垩统异常值最大、最厚和分布最广;中、上三叠统次之。此项研究揭示,在盆地演化的不同阶段,均有铀矿床形成的可能;深部各层段铀元素的富集或铀矿的存在,又有可能成为浅表层铀矿床形成的成矿物质来源。

### 4.2 各类矿产相互作用、彼此影响

目前,对油、气、煤之间成生、共存关系的研究虽成果极丰,但对各种有机能源矿产之间关系的研究并不“平等”,也不平衡。如常常研究油或煤对气的贡献,而很少考虑气对油或煤的影响或所提供的相关重要信息;从煤的组成和演化等方面探讨煤与气或油的成生关系甚多,而根据烃源岩类型和生烃理论研究不同类型煤的形成及其关系甚少;往往是发现煤成气(油)藏(田)之后去寻找烃源岩,而缺乏主动地从煤系特征和演化去预测和勘探煤成气(油)藏(田);较少关注所发现的煤成气储量远少于预测资源量中的预期值这一重要现象,对其形成原因的探究也常浅尝辄止。

砂岩型铀矿与有机能源矿藏关系的研究十分

薄弱,现始起步探索,且多集中在油气等有机矿产对铀矿床形成的影响等方面。砂岩型铀矿,特别是埋藏较深的或地史上古铀矿床的形成和存在对油、气、煤成藏(矿)作用的影响几乎无人问津。

最近,苗建宇博士<sup>①</sup>进行的多组生烃热模拟实验揭示,在同样温度下,增添一定量的铀矿石后不同类型烃源岩的生烃量均明显增加;干酪根类型不同,生烃量增加的多少和温度区间及其相互关系也有明显差别。这表明,铀元素的存在对烃源岩的生烃有重要的催化作用和积极的影响。结合上述较深部铀元素富集的事实,自然就提出了一个值得深思和进一步探究的问题:如鄂尔多斯盆地这类多种能源矿产共存、富集的能源盆地,油气资源的丰富是否与铀异常的广泛存在有着重要的内在联系?有机与无机、金属和非金属能源矿产的同存,是否促使了各种能源矿产的共荣?这显然是一个具有重大科学意义和应用前景的前沿科学问题。

可见,多种能源矿产同盆形成、相互作用、彼此影响和共存富集,其间的关系是多向的、作用是相互的。厚此薄彼可能会影响研究结论和评价预测结果的全面性和客观性。

### 4.3 多种能源矿产同盆共存的内在联系

盆地内油、气、煤、铀共存富集,是沉积环境中有机质演化和无机铀等金属元素聚迁及其相互作用、彼此影响的结果。有机-无机地球化学过程的耦合促进了铀的成矿作用,也影响着盆地内有机能源矿产的形成、演化和成藏(矿)作用。

在自然界中,铀总是以四价或六价离子与其他元素化合。其主要地球化学特点是  $U^{6+}$  与  $U^{4+}$  相互转化。在氧化环境中活跃的  $U^{6+}$  溶于富含氧的流体中被大量搬运,在还原环境中转化为  $U^{4+}$  沉淀,形成主要铀矿物。值得注意的是,在铀矿床中常有比例不等的固态  $U^{6+}$  存在,其分布有一定规律,大多在矿体的边部,应是处于向  $U^{4+}$  转化的临界状态(时期或环境)的产物。探究其形成和分布具有重要意义。

要使  $U^{6+}$  还原,必须有还原剂或还原环境。已证明可作为铀酰还原剂的物质甚多,如有机质、自生硫化物等。其中以有机质和其产物最为常见和重要。

铀与有机质或有机矿产并无亲缘关系。但“在各类沉积岩中,铀的主要地球化学特征和有机质有着密切的关系”。“有机物质的络合作用对铀的地球化学行为有着重大影响。”在“砂岩沉积的还原环境中,有机质起了铀的吸附剂及还原浓缩剂的作用”。“许多实验证明,有机质中聚铀能力最强的是腐殖质,其次是腐泥质”<sup>[10]</sup>。

所以,(强)还原环境下形成的油、气、煤类有机矿产,为铀的富集成矿提供了必需的还原环境。特别是油、气类流体有机质,易于流动、运移和聚散的性能,可使其远离形成时的还原环境而直接进入浅表层氧化等其它环境中,形成环境突变带。从而为油气所经地带和逸散方向提供还原介质,使溶液中的  $U^{6+}$  快速还原成  $U^{4+}$  沉淀成矿;同时使该区带的环境和岩矿发生后生还原性蚀变或形成地球化学还原障,极大地促进和加速了砂岩型铀矿的形成和富集。

前已述及,油、气、煤和铀同盆共存富集存在普遍,其含矿层位、空间分布、成藏(矿)-定位时期、赋存环境和成藏(矿)作用联系密切。可见,很可能是相互依存的赋存环境将有机(油、气、煤)与无机(铀矿)、非金属和金属能源矿产有机地联系在一起,构成了多种能源矿产同盆共存、富集成藏的局面和基础(图 3)。这就类似于同一群落生态中的生物多样性和生物链之间的关系。相关同存的各类生物(类似于各种能源矿产)之间未必有必然的亲缘关系或变异演化,但其同存共荣、和谐相处却有着重要的内在联系和直接或间接的依存关系。

### 4.4 油气逸散与流岩作用证据

目前对有机流体在铀成矿作用中的具体行为和贡献尚缺乏深入研究。究其原因,主要是在铀矿床储矿层及其附近大多没有直接可见的油气或含油气层或油气藏(田)。

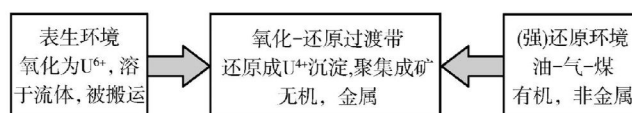


图 3 油、气、煤、铀同盆共存与赋存环境关系示意图

Fig. 3 Schematic diagram showing relationship between occurrence environment and coexistence of oil, gas, coal and uranium deposits in the same basin

① 苗建宇. 多种能源矿产国家(973)项目阶段成果, 2005

砂岩型铀矿集中分布的地区或盆地,一般新生代构造运动较为活跃,且在一定地域内有较明显的地貌高差。油气为流体矿产,油气成藏及其分布位置是动态的,随时间的发展和所处环境的改变,常常会发生规模、位置等方面的变化,甚至消失<sup>[7~9]</sup>。对全球 350 个大油田的研究发现,这些油田的寿命均较短暂,其中值年龄平均为 35 M a。这些油田均处于动态变化之中,破坏率很高,其中有 1/3 的油田存在聚集成藏后遭破坏的证据<sup>[11]</sup>。砂岩型铀矿一般形成于盆地演化末期或后期的盆地抬升改造阶段,这正是油气大规模脱溶、运聚和散失的时期。可见,在含油气盆地内,现今缺乏直接油气显示的层段或没有油气藏(田)分布的地区,并不能代表地质历史上也是如此。砂体中铀元素沉淀和氧化带型铀矿化形成所需的有机质含量不宜过低或太高,一般认为含量在 0.1% ~ 3.0% 之间有利于铀的矿化发育<sup>[12]</sup>。若确如此,砂体中此有机质的含量在油气运移或逸散

统油砂为源于煤系源岩的较高成熟度轻质油向上运移、经历生物降解和轻烃类再次充注的结果<sup>[15]</sup>。根据油砂下伏地层的时代和煤系地层热演化程度对比认为,该油气是南部石炭-二叠系气区的煤成气向北运移逸散到地表形成的凝析油。区域地质构造演化表明,包括东胜铀矿区在内的乌兰格隆起发育较早,为油气(特别是天然气)长期运移的指向。在该区及其附近,中生界漂白砂岩等蚀变现象分布较广泛<sup>[15]</sup>。结合多种地球化学测试结果和综合地质分析认为,东胜大型砂岩型铀矿的形成与其南部天然气向北大规模运移逸散有密切关系。

#### 4.5 盆地成藏期次与演化-改造阶段的响应关系

同盆共存的多种能源矿产生成、聚散、成藏(矿)和定位及其时空匹配和动态消长变化等,总体受盆地动态演化及改造过程和内外动力地质作用的控制。其成藏(矿)过程和主要期次与盆地演

的有无,并不能客观判断其成藏作用在成藏过程中形成的作用或贡献大小。油气在其经过的途中,除同时代形成的极为有限的包裹体可能偶然捕获极为有限的油气外,一般在浅表层常很少有油气原物残留,在地表也许会遗留分布有限、产状各异的油苗,但天然气(藏)的散失几乎不留任何残余。在浅表层记录和反映油气经过的行迹,大多是油气与水岩相互作用形成的各种还原蚀变等后生产物<sup>[13]</sup>。后者应是证明油气是否曾存在或经过、是否对铀矿形成有贡献的重要依据。当然,砂岩的各种还原蚀变现象也是探索油气逸散及其规模和方向不可多得的证据。

在鄂尔多斯盆地中北部东胜(超)大型砂岩型铀矿和周邻地区约 1 300 km<sup>2</sup> 的范围内,已发现 45 处油气显示<sup>[14]</sup>。地球化学分析结果显示,下白垩

统油砂,并在地表上广泛分布。

除砂岩型铀矿外,原始成矿物质聚积的时间和空间一般较易确定,主要受沉积作用控制。后两个成矿阶段发生在成矿物质沉积埋藏之后,主要在盆地演化的末(晚)期和后期改造阶段。由于受所处盆地演化和改造阶段的多期性、相应物理化学环境变化的复杂性和空间分布的多样性等控制,对后两个阶段的具体时限、期次和主次的厘定难度颇大。

鄂尔多斯盆地中、新生代演化和改造的各阶段及其主要地质事件,与多种能源矿产聚散-成藏(矿)和定位及其期次密切相关。限于篇幅,在此仅将其时序对应关系简要总结于表 1。

盆地演化和后期改造各阶段的主要地质作用在空间上是不均匀的,所产生的成藏(矿)作用也

表1 鄂尔多斯盆地演化-改造阶段和主要地质事件与成藏(矿)作用时序综合对比  
Table 1 Comprehensive comparison between the evolution-reformation stages and the main geological events in Ordos basin

| 成矿作用 |   | 油              | 气              | 煤          | 铀                              | 年代/Ma                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | T <sub>2-3</sub> z | T <sub>2-3</sub> y | J <sub>1</sub> | J <sub>1</sub> f | J <sub>2</sub> y | J <sub>2</sub> z—J <sub>2</sub> a | J <sub>3</sub> | K <sub>1</sub> z | K <sub>2</sub> | E <sub>1</sub> | E <sub>2</sub> | E <sub>3</sub> | 改造期 | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | Q |
|------|---|----------------|----------------|------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|---|
| 成矿作用 | 气 | 烃源岩、油页岩、储、盖层形成 | 下生上储条件和古地貌圈闭形成 | 储层及源岩和盖层发育 | T <sub>2-3</sub> y低熟油生成、排、运、聚集 | 生油高峰、运、聚、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、运、聚集、成藏、排、 |                    |                    |                |                  |                  |                                   |                |                  |                |                |                |                |     |                |                |   |

必然因地而异。这种差异将直接控制和显著影响各类矿床,特别是诸流体矿产的赋存、成藏(矿)-定位和分布。

#### 4.6 盆地演化末(晚)期和之后:重要的成藏-定位期

沉积矿产成藏和定位主要发生在盆地演化末(晚)期和之后。这是多数盆地油气生成、聚散和成藏-定位的关键时刻,也是铀矿最重要的成矿阶段,同时为煤质、煤级演变和同盆共存的各类能源矿产相互作用的主要时期<sup>[16]</sup>。在此时期发生的地质和改造作用形式多样,对各种能源矿产成藏和定位的影响也各不相同。其中,区域隆升和剥蚀对多种能源矿产的成藏(矿)作用和分布特点有重要的影响<sup>[16]</sup>。

在鄂尔多斯盆地的演化和改造过程中,长期、差异性、幕式整体抬升和强烈而不均匀的剥蚀为其显著特点,在盆地演化末(晚)期和后期改造中表现尤甚,先后形成了 3 期夷平面、1 期高原面和多级河流阶地<sup>[17, 18]</sup>(表 1)。

对流体矿产油气而言,该时期的区域性差异隆升和剥蚀总体使地层和油气藏的温压降低,从而导致源岩的生烃作用减缓甚或停止,引起油气藏中的油、气、水更完全地分层、进一步调整和逸散,总体不利于油气藏的继续形成、扩大和保存。但与此同时,又发生地层水、源岩和其他岩石中油气的脱溶和排出,仍有一定规模的油气继续排运、供给或重新聚集,从而部分弥补了源岩生烃减少或停止之不足,对油气藏(甚至大油气藏,特别是大气田)的保存或保持和次生油气藏的形成做出贡献<sup>[16]</sup>。如盆地后期抬升阶段天然气的脱溶,对西西伯利亚盆地中世界最大的白垩系乌连戈伊气田的形成有重要贡献<sup>[19, 20]</sup>。

较深部油气向上和侧向的重新运移和聚散,对表浅层铀元素的富集和成矿有重要影响。固体煤层的抬升,加强了其与潜水和大气的作用,煤质或赋存状态会发生相应的改变,甚至会抬升至地表发生自燃或遭较强剥蚀而殆尽,同时脱溶、解吸和排出一定规模的煤成气和煤层吸附气使之成为气藏新的气源,并为铀矿形成提供还原剂。

整体差异隆升和与其密切相关的区域流体运动-交换和风化、淋滤及剥蚀等,本身就是铀矿形成、叠加或再富集的主要时期和重要条件。在地

质历史上,盆地差异性整体抬升、剥蚀和夷平面的幕式发生必然导致铀矿床成矿的多期性。同时,后期抬升也会促使深部各层段早期富集的铀元素向浅部运移、聚集,形成次生铀矿床或与正在形成的铀矿床叠加复合。

#### 4.7 成矿环境和形成背景

北半球砂岩型铀矿在数量和总资源量上均在全球占主导地位,这与该区域新生代以来发生的阿尔卑斯-喜马拉雅构造运动和拉拉米运动有着密切的成因联系。中亚地区为世界上最大的砂岩型铀矿集中区。该区集中分布的数十个大型、超大型砂岩型铀矿床,全部产在喜马拉雅运动期发育起来的天山造山带和年青的土伦地块夹持的次造山带内及附近。据此,总结出中亚地区的次造山带控矿理论(模式)。

在砂岩型铀矿集中分布的北半球或中-东亚成矿构造域,由于地球动力学环境和盆地演化-改造过程的不同,砂岩型铀矿的形成环境、基本特征以及与其他能源矿产具体的共存关系和组合特点也各有千秋。通过对其综合研究对比后笔者认为,相对稳定的区域构造背景和适度(中等强度)的构造变动(活化)是砂岩型铀矿形成的必要条件。这也是大中、型油气田或油气区形成和保存的必要条件。基于中亚地区的次造山带控矿理论(模式)中 500~2 000 m 高差的次造山带概念,其应用是有条件的,适用范围是有限的。如该模式中的地貌高差,就不完全适合于我国东胜等铀矿区。中亚地区的地貌高差与上述适度构造变动等必要条件并不矛盾,然而它仅是其表象和一种表现形式。在中亚地区,铀的富集成矿实质上是与印度板块碰撞产生的远程效应,即中等强度的较新构造运动有关。

我国境内主要盆地砂岩型铀矿的形成和特征与北美、中亚西部和俄罗斯诸国具代表性的砂岩型铀矿有较大差异,可能分别体现了不同的形成环境、控矿因素和过程,代表了不同的砂岩型铀矿类型。换言之,国外对砂岩型铀矿的研究成果和认识并不完全符合中国的地质条件和砂岩型铀矿的实际。从中国盆地地质的实际出发,对我国砂岩型铀矿的形成及其与其他能源矿产之间的共存分布关系进行研究,将会丰富和发展包括砂岩型铀矿在内的能源科学理论,同时会有效地指导我

国多种能源矿产的勘探。

我国大陆有别于世界主要大陆的显著地质特点是活动性强、深部作用活跃、盆地后期改造强烈<sup>[8 21~25]</sup>。盆地的原始面貌和其中的能源矿产(特别是流体矿产)的赋存状态常会随时空变迁而发生改变。在探讨多种能源矿产同盆共存关系、富集环境和成藏(矿)机理时,应剔去后期改造的影响,再现不同阶段的原始盆地面貌和历史过程,从动态演化的高度揭示其内在成因联系和构造变动及改造在油、气、铀、煤成藏(矿)中的正、反两方面作用。

## 5 结论

1) 沉积盆地是大陆上与造山带和地盾相并列的 3 种构造单元之一,在地球科学理论研究和应用各领域均处于极为重要的地位。

2) (沉积)盆地动力学可定义为直接控制和

各种还原蚀变等后生产物,动态地分析和评价油气的逸散及其规模和对铀等无机金属矿产成矿的贡献。

8) 多种能源矿产的成藏(矿)过程和主要期次,与盆地演化-改造的阶段及主要地质事件有明显的响应联系和密切的耦合关系。

9) 盆地演化末(晚)期和之后,是各类能源矿产成藏、定位和相互作用的主要时期。在此时期发生的区域隆升和差异剥蚀,对多种能源矿产的成藏(矿)作用和分布特点有重要的影响。

10) 相对稳定的区域构造背景和适度(中等强度)的构造变动(活化),是砂岩型铀矿形成和大、中型油气田或油气区形成及保存的必要条件。

## 参 考 文 献

- 1 刘德生,段绍伯,唐小妹,等.世界地理[M].北京:高等教育出版社,1988  
Liu Desheng Duan Shaobai Tang Xiaomei et al World geography

地,盆地动力学可定义为直接控制和间接控制、空间分布复杂有序、赋存环境和成藏(矿)作用有机相关、成藏(矿)-定位时期相同或相近,其间有着密切的内在联系和统一的地球动力学背景。

5) 在盆地演化的不同阶段,均有铀矿床形成的可能。深部铀元素的富集或古铀矿的存在,对烃源岩的转化和生烃量有重要的影响,同时有可能成为表浅层铀矿床的矿源。

6) 盆地内共存富集的多种能源矿产,无机(铀矿)与有机(油、气、煤)矿产之间并无亲缘关系。是相互依存的赋存环境将其有机联系在一起,构成了多种能源矿产同存共荣、富集成藏的局面和基础。

7) 油气极易随所处环境的变化而改变其分布状态和位置,甚至消失。应通过研究和示踪其

- 5 夏毓亮,林锦荣,刘汉彬,等.中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学的研究[J].铀矿地质,2003,19(3):129~136  
Xia Yiliang Lin Jinrong Liu Hanbin et al Research on geochronology of sandstone-hosted uranium ore formation in major uranium-productive basins, northern China[J]. Uranium Geology, 2003, 19(3): 129-136
- 6 刘池洋,赵红格,杨兴科,等.油气晚期-超晚期成藏定位——中国含油气盆地的重要特点[A].见:中国工程院,环太平洋能源和矿产资源理事会,中国石油学会,编.21世纪中国暨国际油气勘探[C].北京:中国石化出版社,2003:57~60  
Liu Chiayang Zhao Hongge Yang Xingke et al The late and latest stage pool-forming and orientation of hydrocarbon: the important features of Chinese sedimentary basins[A]. In: Chinese Academy of Engineering Energy and Mineral Resource Council around Pacific Ocean, Chinese Petroleum Society, eds The 21st Chinese and international oil and gas exploration[C]. Beijing: China Petrochemical Press, 2003: 57-60

- 7 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价的思路 [J]. 石油与天然气地质, 2000 21(1): 11~14  
Liu Chiyang Yang Xingke Thinking for researches and oil-gas assessment of reformed basins [J]. Oil & Gas Geology, 2000 21(1): 11~14
- 8 刘池洋, 赵重远, 杨兴科. 活动性强, 深部作用活跃——中国沉积盆地的两个重要特点 [J]. 石油与天然气地质, 2000 21(1): 1~6  
Liu Chiyang Zhao Chongyuan Yang Xingke Strong activity and active deep action two important features of Chinese sedimentary basins [J]. Oil & Gas Geology, 2000 21(1): 1~6
- 9 刘池洋, 谭成仟, 孙卫, 等. 多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律研究 [A]. 见: 刘池洋, 编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展 [C]. 北京: 科学出版社, 2005 1~16  
Liu Chiyang Tan Chengqian Sun Wei et al The formational mechanism, accumulation and distribution patterns for multiple energy mineral deposits coexisting in the same basin [A]. In Liu Chiyang ed Advances in the accumulation and formation of multiple energy mineral deposits coexisting in the same basin [C]. Beijing: Science Press, 2005 1~16
- 10 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1984 216~228  
Liu Yingjun Cao Liming Li Zhaolin et al Element geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984 216~228
- 11 Macgregor D S Factors controlling the destruction or preservation of giant light oil fields [J]. Petroleum Geoscience, 1996 (2): 197~217
- 12 郭庆银, 刘红旭, 陈祖伊, 等. 以识别主砂体为主线的陆相盆地产铀远景评价体系 [J]. 世界核地质科学, 2004 21(2): 69~76  
Guo Qingyin Liu Hongxu Chen Zuyi et al Application of some advanced technologies in uranium industry [J]. World Nuclear Geoscience, 2004 21(2): 69~76
- 13 Beiter B, Chan M A, Parry W T. Bleaching of Jurassic Navajo sandstone on Colorado Plateau Laramide highs: evidence of exhumed hydrocarbon supergiants [J]. Geology, 2003 31(12): 1041~1044
- 14 刘友民. 陕甘宁盆地北缘乌兰格勒地区白垩系油苗成因及意义 [J]. 石油勘探与开发, 1982 3 39~42  
Liu Youmin Some notes about the oil seepage in Ulangar area northern Shan-Gan-Ning [J]. Petroleum Exploration & Development, 1982 3 39~42
- 15 马艳萍, 刘池洋, 王建强, 等. 盆地后期改造中油气运散的效应——鄂尔多斯盆地东北部中生界漂白砂岩的形成 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(2): (待刊)  
Ma Yanping Liu Chiyang Wang Jianqiang et al Effect of oil and gas migration and seepage in reconstructing basin formation of bleaching of the Mesozoic sandstone in northeast of Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006 27(2): (in press)
- 16 刘池洋. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点 [J]. 地学前缘, 2005 12(3): 113~124  
Liu Chiyang The weakness, difficulty and key point on study of basin tectonic dynamics [J]. Earth Science Frontiers, 2005 12(3): 113~124
- 17 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. 地质学报, 2006 80(5): (待刊)  
Liu Chiyang Zhao Hongge Gui Xiaojun et al Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006 80(5): (in press)
- 18 孙肇才. 简论鄂尔多斯盆地地质构造风格及其油气潜力 [J]. 石油实验地质, 2000 22(4): 291~296  
Sun Zhaocai Discussion on the geotectonic style of the Ordos basin and its hydrocarbon potential [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2000 22(4): 291~296
- 19 Cramer B, Poelchau H S, Gerling P, et al. Methane released from groundwater: the source of natural gas accumulations in northern West Siberia [J]. Marine and Petroleum Geology, 1999 16 225~244
- 20 Litke R, Cramer B, Gerling P, et al. Gas generation and accumulation in the West Siberian basin [J]. AAPG Bulletin, 1999 83(10): 1042~1065
- 21 刘池洋. 后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一 [J]. 石油与天然气地质, 1996 17(4): 255~261  
Liu Chiyang Strong late-reformation one of the important characteristics of sedimentary basins in China [J]. Oil & Gas Geology, 1996 17(4): 255~261
- 22 Landa P. Organic geochemistry of sedimentary uranium ore deposits [J]. Ore Geology Reviews, 1996 11(1-3): 33~51
- 23 Spirakis C S. Roles of organic matter in the formation of uranium deposits in sedimentary rocks [J]. Ore Geology Reviews, 1996 11(1-3): 53~69
- 24 陈祖伊. 亚洲砂岩型铀矿区域分布规律和中国砂岩型铀矿找矿对策 [J]. 铀矿地质, 2002 18(3): 129~137  
Chen Zuyi Regional distribution regularity of sandstone uranium deposits in Asian continent and prospecting strategy for sandstone uranium deposits in China [J]. Uranium Geology, 2002 18(3): 129~137
- 25 王正邦. 国外地浸砂岩型铀矿地质发展现状与展望 [J]. 铀矿地质, 2002 18(1): 9~21  
Wang Zhengbang Current status and prospects of uranium geology developments of foreign in-situ leachable sandstone type uranium deposits [J]. Uranium Geology, 2002 18(1): 9~21

(编辑 李 军)