

沉积盆地成藏(矿)系统

刘池洋 张复新 高 飞

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

摘要:沉积盆地集有机和无机、金属与非金属矿产于一盆,构成了相对独立的矿产赋存单元和成藏(矿)大环境;称之为沉积盆地成藏(矿)系统。盆地成矿系统一般处于低温、低压环境和开放体系中;成矿流体、生物-有机质(流体)在其中起着极为重要的作用,且常受温度变化的明显影响;成矿作用一般与岩浆活动无直接成因联系。

形成沉积矿产的成矿物质,初始赋存大多呈分散状;从其初始聚集到成矿作用发生和矿藏形成,所处环境发生了显著的变化;一般都经历了原始成矿物质聚集→转化成矿→富集成藏及改造定位 3 个阶段。成矿物质运移的动力主要来自压实作用和异常压力、构造作用、渗流携带作用、分子扩散、挥发作用和浮力等;运移的途径主要为孔隙、构造作用形成的断裂和非构造产生的微裂隙及不整合面等。矿源岩与储集层的关系多样,可有自生自储、新生古储、古生新储等组合。沉积矿产的聚集成矿场所,一般为由渗透性差的泥岩、膏盐层等封盖的圈闭构造(背斜、断层、岩性等),或处于地球化学环境、构造特征、岩性-岩相等突变的边界-转化带。原始成矿物质聚集与矿藏形成一定位之间间隔的时间一般可较长,时差可达几亿年。沉积矿藏形成通常具动态成矿过程,一般成矿期次多和后期改造明显;既可使已形成的矿藏多期叠加进一步富集,也可使其遭受改造而发生改变或形成次生矿藏。以上特点决定了沉积矿藏的形成,特别是其定位时代相对较晚。同盆共存的各类沉积矿产资源丰富、特征多样;其成矿作用和分布组合关系复杂,具有共存多样性、共亲和性和排他性等特征。以上特征在不同类型沉积矿产似不尽相同,各自还有其个性特点。

根据地球构造动力学环境的不同,可将盆地成矿系统分为裂隙伸展、聚敛、转换、克拉通等类型;各类环境中矿产的成矿特点、类型和分布组合等有别。受地史上地球表层水圈、大气圈和生物圈演化及其不可逆性的明显影响,盆地外生沉积矿藏的形成及特征一般具有明显的阶段性和随时间发展,矿种更为复杂多样等特征。盆地系统沉积矿产的富集成矿同时也具有明显的空间分区性及偏富极的特点。

沉积盆地成藏(矿)系统有其自身的成矿特点和成藏(矿)环境,应将其作为一种独立的成矿系统提出,以与造山带和地盾等成矿系统相并列和区别。对其专门研究,必将揭示各种沉积矿藏同盆共存的内在联系、成藏模式和分布规律,丰富和发展已有成矿理论体系,为盆地内多种矿产兼顾,科学高效勘探和综合预测奠定理论基础。

关键词:沉积盆地成藏(矿)系统;有机能源矿产;沉积型金属床;低温成矿环境;生物-有机质(流体)成矿作用

中图分类号:TE122.3⁺¹ **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0365-10

大陆由沉积盆地、造山带及地盾 3 种属性和特征显著不同的构造单元所构成。其中沉积盆地所占面积最大。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。海洋总面积约占地球表面总面积的 71%^[1]。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沉积盆地域(群),故又常称其为大洋盆

(地)。可见,在大陆或世界地质和地球动力学研究中,沉积盆地处于极为重要的地位。

沉积盆地矿产资源丰富,油气、煤、油页岩[□]、沥青、膏盐、水晶、玛瑙、粘土矿、明矾石矿、重晶石—毒重石矿等非金属矿产和砂岩型铀矿、砂岩型铜矿、热泉型—银矿、砂金矿、铬铁砂矿、磁铁—钛铁砂矿、大洋锰结核、沉积钒矿、金属硫化物的黑白烟囱、铝土矿、铝土型锆矿、铝土型镓矿、煤型锆矿

收稿日期:2007-06-01; **改回日期:**2007-06-10

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号 2003CB214600)、教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0559)和国家自然科学基金项目(40372096)资助。

作者简介:刘池洋,笔名刘池洋,男,1953 年生,教授,博士生导师,国家 973 项目首席科学家;主要从事盆地动力学、油气地质与勘探、构造地质、能源地质等方面的教学与科研工作;E-mail:lcy@nwu.edu.cn。

和煤型铀矿床^[9]等金属矿产以及水资源等汇集共存于一盆^[9]。这些能源和非能源、金属与非金属矿产同盆共存,共同构成了一个矿产资源丰富、类型多样、相对独立、矿作用有不同程度的成因联系与耦合关系、矿产统一的矿产赋存单元和成藏(矿)大环境。称之为盆地成藏(矿)系统^[4]。

盆地成藏(矿)系统概念的提出,旨在突出其个性;以与造山带和前寒武纪地盾等已有各类成矿系统^[5-9]相区别。这有利于更深刻理解和认识盆地成藏(矿)系统的特点和成矿规律,促进沉积型矿产勘探的成效。同时旨在强调盆地中不同类型、不同成因沉积型矿产的成藏(矿)不是孤立存在和单独出现;其形成和分布相互关联、彼此影响,有一定规律性;某一种能源矿产的发现,本身就可能隐含着其他沉积矿产存在与否或其特征等有关重要信息。这将为盆地内多种沉积矿产兼顾,全方位、立体式、科学高效、协同勘探和综合预测奠定理论基础,使人们期盼已久的一叶知秋、举一反三、由此及彼、探深找盲矿的资源预测和综合勘探成为可能。

笔者主要讨论沉积盆地成矿系统的成矿特点及影响因素、成矿作用和过程及其成矿环境与背景。

1 成矿特点及影响因素

沉积型矿产的形成和富集,是在盆地演化的统一内动力地质作用环境中,明显受地球表层系统(岩石圈表浅层、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、成岩)的制约。这是各类沉积矿产共存的地质基础和背景。在盆地环境和其形成演化-改造过程中形成的各类沉积矿产,与其他构造单元环境矿产的形成,必然会有其独特个性。而形成于盆地内的各类沉积矿产之间,无疑又会有鲜明的共性。这些共性可归纳为以下几点:

1.1 低温低压环境

在沉积盆地成藏(矿)系统,成矿环境和成矿作用以常温常压、低温低压或中低温中低压为特色。这是与造山带等成矿系统中岩浆或变质成矿作用的显著不同之处^[9]。

盆地在表生沉积和表浅部埋藏压实及成岩和次生富集成藏(矿)的环境,以常温常压或低温低压为特色,一般温度低于 50~70℃,压力较小,沉积物缺失明显的变质特征。

沉积地层随着埋藏深度增加,温度和压力逐步增大,有机成矿物质遂发生明显转化。进入 30~50℃,褐煤形成;在 150℃煤化程度为瘦煤;到 190~240℃,煤已变质成半无烟煤-无烟煤。石油一般在 60~150℃生成;到 150~200℃(可上延到 250℃)烃源岩已属过成熟,所生烃类的相态主要为干气和低-中变质的沥青。目前,世界上最深的油、气藏分别在美国墨西哥湾盆地和西内盆地,深度分别为 6 540 m 和 8 083 m。据此推断,在地下深处压力较高的环境中,液态和气态烃完全消失的温度可分别高于 200℃和高达 350℃^[10]。

涂光炽等^[11]论及的沉积改造矿床改造阶段及后成矿床成矿阶段的温度一般在 70~250℃;金的沉积改造矿床多在 250~350℃^[11]。如在沉积岩型铅锌矿床中,除现代海底热水型

外,另外 3 类(沉积喷流型、密西西比型和砂岩型)的成矿温度均在 80~150℃^[12,13]。

近年国内外众多的矿床分析、实验模拟及相关测温的研究结果表明,一些过去认为是高中温热液矿床,实际上是在低于 200℃条件下形成的^[14]。如 Au, Ag, U, Pb, Zn, Pt 族, REE 等成矿元素,在低温条件下的地球化学习性相当活跃,它们在浅成低温条件下可出现大规模矿化富集,许多非金属矿床密集区也是低温地球化学作用的直接产物^[15]。

涂光炽等^[11]指出:在中低温条件下,无机成矿元素或成矿物质可在地质作用改造条件下,形成较大规模的层控矿床,是因其较活泼的地球化学行为。在中低温条件下,这些活泼元素(1)可以形成易溶络合物,呈金属浓度较大的络合物搬运;(2)在自然界大多是变价元素,随环境变化而改变其价态;呈高价时易搬运迁移,变为低价时沉淀聚集;(3)部分成矿元素具不同程度的挥发性,较易活化转移,如 Hg 等^[11]。

概而述之,沉积盆地成藏(矿)系统的温度一般低于 200℃(或 250℃);在特定的环境和特别的矿床可向上扩展到 350℃。这与造山带成矿系统的低(中)温成矿温度大体一致^[11-14],但二者的成矿方式大有不同。造山带成矿系统所处构造背景活动性强,内生成矿作用为主或影响明显^[9,13]。

1.2 开放体系(环境)

在盆地中,普遍存在成矿物质的带入和带出;对矿藏所属空间而言,甚至存在矿体本身,如流体矿产石油、各类天然气等的带入和带出。

盆地中不同沉积型矿产形成环境的开放程度是不同的;且随成矿阶段的不同而发生变化。如盐类、铝土矿床属于完全开放系统;砂岩型铀、砂岩型铜矿床的形成由开放逐步过渡为半开放-半封闭系统;油气与煤等资源的形成于相对较封闭的系统中。一般而言,盆地内沉积型矿产形成的初期,特别是成矿原始物质的聚集,完全处于开放环境,形成富含分散成矿物质的源岩等有利成矿建造;随着深埋、压实、成岩-成矿作用的进行,遂逐步演变为半开放至半封闭环境。

变质矿床形成时,虽出现新的矿物共生组合、重结晶和变质热液,但总的来看,成矿物质的带入和带出是十分有限的,其形成的介质条件总体属封闭体系^[11]。岩浆作用的成矿环境也大致如此。显然,这变质或岩浆成矿系统与盆地成藏(矿)系统的环境是截然不同的。

1.3 成矿流体的重要作用

在沉积矿藏成藏(矿)和定位的整个过程中,以水为主体的各类流体是最为活跃的介质,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;既是连结某种成矿作用的矿源、运移和储矿 3 个关键环节的纽带,又为不同类别(有机-无机能源、金属-非金属矿产)、不同相态(气、液、固态)、多种沉积矿产之间联系的媒介和桥梁,在其中起着极为重要的作用^[3,4]。

越来越多的研究揭示,绝大多数矿产的形成都与成矿流体的活动有关。成矿流体是萃取、溶解、搬运和浓集成矿物质的媒介^[3-5]。大规模流体活动或流体的稳定、充足程度是整个矿床(田)形成过程中各环节的关键和主要控制因素^[9]。

由前述可知,一些在200℃之内或温度稍高的热液,完全有可能为盆地中埋藏较深的沉积物在压实成岩过程中排出的流体。当其在对流循环中淋滤了围岩中成矿物质的时候,这些热液可为矿化度较高、富含金属元素的热卤水。

1.4 生物-有机质-有机流体成矿作用明显

近年对各类矿床的深入研究和对比揭示,生物和有机质(流体)对成矿作用影响普遍、意义重大^[16-18]。由于生物、有机质及含有机质流体在盆地中较普遍存在和活动,因而其对沉积矿产的形成影响尤甚。其影响常因环境不同和地质时代演变而差异明显。

被埋藏的生物可直接转化为矿产,如油气、煤及油页岩、沥青等有机能源矿产。这为沉积盆地成矿系统所独有。

除直接形成能源矿产外,生物、有机质和相关有机流体的成矿作用也十分显著;改变成矿环境的地质、物理和化学条件;直接及间接与多种成矿物质进行物理与化学作用,如对成矿组分的萃取、吸附、迁移、沉淀有积极作用,直接导致成矿作用发生^[16,17]。

如有机质可吸附较多的成矿物质。在河口沉积物中,Hg多被有机质吸附。在不同吸附剂对Hg的吸附能力排序中,有机质吸附能力最强,远强于粘土矿物和胶体^[11]。

有机质和粘土、胶体矿物等较强的吸附性能和有机质浅埋分解所产生的还原环境,可使沉积及遂埋藏时煤系地层和烃源岩中铀等金属元素含量明显增高。从而在同生、准同生阶段,有机与无机、金属和非金属成矿物质同(邻)层富集共存。

1.5 温度变化的重要影响

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、生成和矿产性质及产状有重要影响;同时通过控制流体的溶解度、相态和流动方向等,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。对烃源岩、煤随温度增高而发生的明显变化前已述及。

1.6 成矿作用与岩浆活动无直接成因联系

沉积矿产的成矿物质主要来自盆地形成演化期间沉积的矿源层、邻近地层或蚀源区;在成盆期后的盆地改造阶段,汇入盆地的流水仍可从处于表生环境的周邻露头区携带成矿物质进入储矿层。此成矿物质来源和后成、外生成矿作用,与陈毓川等^[4]划分的沉积、表生和含矿流体3种成矿作用有关;而与成矿物质主要来自深部及基底和内生、同生成矿的岩浆作用成矿显著不同。

明显受断裂活动控制的各类断陷盆地或与构造活动带临近的盆地边部,在盆地发育期间常伴随有性质和规模不同

的岩浆活动。这些岩浆活动或(伴随的)热液活动,一般对成矿环境和成矿作用会有一定间接影响甚或较明显影响,但鲜有直接成矿或直接参与成矿作用。

2 成矿作用和过程

2.1 初始成矿物质的赋存大多呈分散状

在盆地中,不同矿产成矿物质的来源、聚集、形成和赋存状态差别较大。相对于相邻非矿源层而言,矿源层内原始成矿物质的丰度要高得多;但其初始成矿物质的迁移和分布大多呈分散状。

油气煤等有机矿产的原始成矿物质,均呈分散状赋存在细粒沉积物中,且完全形成于源岩层沉积阶段。在分散固态有机质被沉积埋藏后,随地球化学环境和温压条件等的变化,开始向各种有机能源矿产转化。其中液态油和气态天然气进一步运移、聚集,遂在有利储层和圈闭中富集成藏(矿)。

无机成矿物质在矿源岩中也大致呈细分散状,并以吸附态(主要被有机质和粘土、胶体矿物吸附)、微粒矿物或类质同象形式存在^[11]。但其成矿物质的来源较为广泛,且一般具有多期性及长期性。

如砂岩型铀矿、铜矿等金属矿产成矿物质的来源即具有以蚀源区一元为主,时兼有多元性和多(长)期性:分散的初始成矿物质可沉积同生带入、浅埋藏准同生成矿物质重新组合、表层后生渗入和基底或深部次生侵入等。进而通过在盆地边缘沉积相分选预富集、埋藏和成岩-后生作用,在地球化学环境发生变化的地带(包括受赋存或迁移而来的油气-煤还原作用的影响)而沉淀、聚集、成矿。这与油气有机矿产由分散到富集成藏的过程和特点明显不同。

新近在鄂尔多斯盆地北部准格尔煤田黑岱沟矿上石炭统太原组巨厚煤层中,发现与煤共(伴)生的超大型铀矿床^[12]。镓属典型的分散元素,自然界中很难形成独立矿床和独立矿物;对镓在煤中独立成矿的机理鲜有研究。对其形成环境和区域背景及与煤层、铝土矿层共(伴)生等特点的初步分析认为,应是在分散元素镓相对富集的背景下和表生环境中,经过多种地质作用、多期次、不同形式的改造、迁移-富集而逐渐成矿的。该矿床的发现对分散金属元素在沉积环境中高度富集成矿提供了难得的剖析实例,具有重要的科学意义和应用价值。

这同时提示人们,煤及油气(层)中伴(共)生的金属元素的富集或成矿,是一个值得重视、具有广阔应用前景的研究领域和重要的研究方向。

2.2 从矿源聚集到成矿环境发生转变

沉积盆地系统原始成矿物质的来源和汇集可分为外源和内源两大部分。外源主要通过不同方式搬运、充填到盆地中的沉积物和流体而带入;物源区成矿组分与成矿元素的丰度对原始成矿物质的贫富和赋存状态有重要影响。内源组分及成矿物质多以生息繁衍在盆地内的生物和其活动、作用的

产物为主,如烃源岩中有机质的来源。外源和内源原始成矿物质的汇集,主要发生在表生、氧化、常温常压环境中,通过岩石圈表层、水圈、大气圈和生物圈间相互作用所完成。

随着沉积物的埋藏、压实和成岩作用的相继或断续发生,原始成矿物质所处的环境氧逸度降低,由氧化环境向还原环境、从开放系统往半开放-半封闭系统转变;温度和压力增高,流体性质也发生相应变化。于是,不同类型的有机物质分别向油、气或煤转化。在自然界金属成矿元素大多为变价元素;处于高价氧化状态易溶搬运;在低价还原状态溶解度降低而沉淀;Pb、Zn一般虽不是变价元素,但在氧化条件下溶解度急剧增加易于搬运,在还原条件下溶解度降低导致沉淀^[1]。

所以,从成矿物质初始聚集到成矿作用发生和矿产形成的整个过程,成矿物质所处的环境发生了显著的变化。这是盆地成矿系统矿产形成的一大特点。

2.3 成矿过程的3阶段

沉积矿藏的形成,一般都经历了原始成矿物质聚积(预富集)→转化成矿-富集→成藏(矿)-改造定位3个阶段。

如沉积阶段预富集的分散有机质,必须经过埋藏-成岩阶段才可能转化(并非都能转化)为成矿物质——油气、煤。固体煤矿在此阶段即已形成;而流体油气则需经过进一步运移,在有储盖层和圈闭的有利场所才聚集成藏,且随后还可能发生多次不同形式的改造和不同规模的聚、散、失。

原始有机成矿物质聚集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埋藏之后,一般在盆地演化的末(晚)期和成盆期后相继发生。在大中型盆地,各阶段发生的时限可能会因地而异,各地各阶段发生的时限前后会有重叠。在叠合盆地和后期改造较明显的改造盆地,油气成矿过程的3阶段可能会多次出现,各期次各阶段具体时限的厘定较为复杂。

砂岩型铀矿、铜矿等金属矿床的形成,也经历了随地质环境变化由沉积阶段成矿物质预富集、在埋藏成岩阶段迁移—聚集—淀积和成矿及改造定位的过程。但各阶段发生的具体时限却不易划分。因其成矿物质的汇聚不限于沉积充填阶段,常具多期性和长期性。在其容矿层沉积之后,甚至盆地沉积作用结束、盆地消亡之后或成矿期间,通过地表水汇流下渗、潜水径流、建造封存水活动等方式,仍可继续有分散的后成外生或内生成矿物质输入,进而接续聚集—成矿。在盆地的后期改造阶段,输入的成矿物质对铀、铜等矿床形成的贡献往往更大^[3,4]。

在盆地沉积矿藏的形成过程中,3个阶段相继发生、密切相关,然而特征有别;并可能在空间上彼此叠替,时间上多次出现;不同矿产各成矿阶段又自有其特征和个性。

沉积矿产成藏(矿)的过程和主要阶段,与盆地演化-改造的过程和阶段及主要地质事件有密切的耦合关系。后者是前者发生的基础和背景,前者对后者有明显的响应^[19]。盆地演化和后期改造各阶段的主要地质事件在空间上是不均匀的,

所产生的成藏(矿)效应也必然因地而异。这种差异将直接控制和显著影响各类矿床,特别是各种流体矿藏的形成、赋存、聚散、成藏(矿)-定位和分布。

2.4 运移的动力和途径

含矿流体的运移,是矿源岩成矿物质向储矿层富集的主要搬运形式,是(沉积)矿藏形成重要而关键的环节;其运移的规模和方向明显受运移的动力和途径制约。

(1) 运移的动力

压实作用和异常压力:在沉积物埋藏压实过程中,因重力负荷增加、孔隙减少而驱使孔隙流体不断排出迁移。由于压实程度、孔隙和温度变化等的不均一性,沉积地层在某些时间和局部层段会因欠压实而产生异常高压。此高压的幕式释放,将促使流体发生动态排出和运移。异常高压主要发生在压实程度较高阶段和渗透性差的细粒岩层中,因而其压力释放对恰逢生烃高峰期的烃源岩中油气的排出和运移意义重要。从沉积层中排出和运移的流体成矿物质(如油气),或流经过程萃取成矿物质而形成的含矿流体,向上和向四周运移,在孔隙度高、裂隙发育、适于成矿物质聚集的地带富集成矿。如沉积型铅锌矿就主要是这样形成的^[12-13]。

构造作用:构造应力及其产生的不同形式的变形和高差变化,总体控制着区域流体运动的动力和方向,宏观影响着温-压条件的变化,直接制约着成矿流体迁移的通道和容矿空间的分布及优劣,因而是流体运移的主要驱动力。

渗流携带作用:地表水和大气降水等向盆地潜流渗入,在流蚀源区和含矿岩系萃取各种盐类和成矿物质,当成矿物质达到过饱和,或在环境变化的适合条件下,流体中成矿物质反复沉淀、富集成矿。

分子扩散:流体中含矿物质的浓度不同时,会产生高浓度流体中的成矿物质向低浓度流体扩散。在地下深处渗透性较差、流体运动缓慢的成岩后生阶段,这是流体中成矿物质迁移的一种重要方式。如油气,特别是天然气分子扩散对成藏意义更为重要。

挥发作用和浮力:盆地沉积层中挥发作用主要发生在各种天然气(煤型气、CO、CH₄、H₂S、H₂O、CO₂)及少数元素中。石油和各种天然气的密度小于水,浮力可使其向上运移。这对其本身成矿具有富集和逸散两种不同的作用。但上升的成矿物质,对浅成及表生氧化物质的还原作用和化学反应,可使处于高价态下渗的成矿物质还原为低价态而沉淀成矿,同时出现碳酸盐、硫化物、硅酸盐矿物的晶出和分带。

(2) 运移的途径

沉积建造中的孔隙是成矿流体的天然通道和最为常见的运移途径;同时也是常见的赋矿空间。油气藏、砂岩型铀矿床和铜矿床等矿产均是如此。

构造作用形成的断裂和节理,不仅本身为重要的运移通道,而且将不同深度、不同岩性岩层中的孔、缝、洞相连,构成立体式的流体交换网络,促使了更广阔范围的流体运移。

在地下较深处,较普遍存在着与异常高压有成因联系的

非构造微裂缝。当地下较深部地层中孔隙流体异常压力很(较)高(达到上覆静水压力的1.6~2倍^[10])时,在烃源岩等细粒岩层中就可以产生张性微裂而释放异常高压和排出流体;随后微裂缝又闭合。异常高压的形成和释放是幕式、间歇进行的,因而微裂缝则出现幕式张而复闭和闭而复张^[11]。

在泥质烃源岩中,油气的生成等作用产生流体异常高压和微裂缝的重要原因,后者又是油气初次运移的重要动力和通道。二者因果相关、相继同步进行,使生烃和排烃连续进行^[10]。

地层中的层理、不整合面以及岩石中的缝合线等,也可成为流体运移的途径。特别是在地层倾角较大时,不整合面和层理对含矿流体运移的影响不可忽视。

2.5 矿源岩与储集层组合关系多样

除煤等特别固体矿产外,对与流体成矿作用联系密切的沉积矿产而言,只要岩石有孔、缝、洞,携带成矿物质的流体可以进入其中,就均有成为储矿层的可能。

油气以沉积岩砂岩及碳酸盐岩为主;孔缝洞发育的各类岩浆岩和变质岩,均可成为油气储层。如渤海湾盆地辽河、渤中和济阳等拗陷发现的岩浆岩储层;酒泉盆地鸭儿峡油田和渤中拗陷的基岩油气藏均以变质岩为储层。所以,流体矿产油气的烃源岩与储集层的时代关系多样,在断陷盆地断层两盘垂直落差较大的地带更是如此。在中国含油气盆地有自生自储(大庆油田等)、新生古储(任丘油田等)、古生新储(老君庙、克拉2号油气田等)等成藏组合。

一般认为,金属矿产矿源岩与容矿层往往呈同层或邻层的近源关系,因而其成矿物质运移距离较短。如砂岩型铀、铜等矿床。事实上,金属矿床容矿层中提供的成矿物质,是流体从沉积物源区和流经的岩层中以溶解、萃取等形式运移而来的。所以,其成矿物质来源多元,搬运距离有远有近;矿源岩与储集层的组合关系更为多样。若成矿期有断距较大断裂活动参与;其组合关系就更为复杂。

2.6 聚集成矿场所

不同沉积矿产对其聚集成矿场所的要求有所差异,但其共同点是:均需要有孔隙较发育的储矿岩层和容矿空间,并被岩性、构造或地球化学突变层(带)所围限圈闭。

孔隙较发育、渗透性较好的砂岩层、孔缝洞较发育的碳酸盐岩、火山岩及变质岩等岩层和各类构造破碎带,均可成为与流体成矿作用有关的沉积矿产的储矿岩层。这些储矿岩层被渗透性差的岩层封盖,在背斜、断层等构造圈闭和岩性尖灭、地层遮挡等圈闭中,形成容矿空间。若其在成矿流体可及的范围内,就有可能形成油气藏、砂岩型铀、铜等矿床。

不同沉积矿藏对封盖层的要求不尽相同。油气藏和砂岩型铀矿等金属矿床,大多都要求在储矿岩之上存在渗透性差的岩层。如泥页岩,以阻止油气、矿质气液的逸散和成矿物质与邻层的连通,对成藏、成矿起着较关键作用。

膏盐层本身为盆地重要的有用沉积矿产,也是油气藏极佳的盖层。但由于其易溶性和特有的地球化学性能,在金属-非金属矿产形成中常扮演了其他更为重要的角色。含硫类等组分的流体可形成硫矿床;且常为砂岩型铀、铜矿床成矿过程中硫和盐类的来源,大大补充了活动流体中多种碱金属及阴离子等组分含量,显著提高了下渗水萃取含矿层中金属等成矿物质能力,对于矿床形成有时起着举足轻重作用。

金属矿床的形成,除上方的封盖条件外,下方或侧翼岩性-岩相、构造或地球物理化学条件,特别是地球化学环境的边界-转化带^[20-23]或突变层(带),同样为成矿作用重要而不可或缺的条件。如砂岩型铀、铜矿床往往形成于具氧化还原过渡带特征的地球化学环境突变带(障)位置。

2.7 矿源岩与矿藏形成间隔时间长

原始成矿物质聚集与矿藏形成-定位之间间隔的时间较长,甚或时差可达几亿年。这是沉积矿产又一大特点。如古生代或中生代的烃源岩,可分别在中生代晚期,甚或新生代晚期才大量生烃、运聚成藏;之间相隔时间可达1亿年甚或更长。其油气藏(田)定位的时间更晚^[24]。

如酒泉盆地的早白垩世烃源岩,于第三纪晚期生排烃,储集在新近纪末-第四纪初形成的老君庙背斜之中。塔里木盆地北部满西地区的哈德逊亿吨级油田,油源层为中上奥陶统(435~465 Ma),其成烃和成藏主要发生在5 Ma以来^①。烃源岩形成与生烃-成藏间隔的时间达4亿多年。

对于砂岩型铀、铜矿床,沉积铝土矿床,铝土型锆矿和煤型镓矿床等金属矿床,成矿大多发生在中-新生代或晚古生代。但许多矿源岩直接来自太古代或元古代变质-岩浆建造,需要经过相当长时间的风化、剥蚀和各种地球化学作用,方可将有用成矿组分彻底分解出来,最终通过沉积作用达到预富集效果或直接成矿。

2.8 成矿期次多——成矿的多期性和叠加性

对油气有机流体矿产而言,烃源岩的成熟生烃主要受温度的控制。形成时代较老而成熟度不高的烃源岩,随盆地构造变动而会发生多次升降和地温场变化,相应就发生多次生烃、多期运移-聚集和多期成藏。中国的含油气盆地,大多都具有多期成藏的特点^[25-26]。

砂岩型铀矿等与流体成矿作用联系密切的金属矿床,由于成矿物质来源的多期性和长期性,其成矿作用也必然具多期性。

成矿作用的多期性和成矿物质的多期叠加成矿,是沉积矿产成矿物质富集和矿藏形成的重要方式和途径。

2.9 后期改造明显——动态成矿过程

沉积矿藏(床)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(易变性),甚或破坏、消失。其中以流体(如油、气)和其形成具流体性能或受流体影响明显(如铀矿以及膏盐等)的矿产尤甚^[25-26]。

①梁狄刚,一个古老生油层晚期成藏的实例,2003。

对于砂岩型铀矿等形成与流体成矿作用联系密切的金属矿床,在有外来含矿氧化流体和深部氧化还原过渡带,或深部、或侧下方还原性气体的联合作用,方可使成矿物质沉淀聚集。这一过程基本在沉积-埋藏-成岩作用阶段和不同性质流体交换范围内完成。但若其所处环境发生变化,如储矿层抬升又重新进入受表生或表浅层氧化作用为主的环境,这些对环境敏感的变价元素,就会发生新的迁移,从而使原矿床的规模、形态等发生改变,甚至破坏或消失。现今所存在的这类金属矿床,除少数处于较稳定的构造环境外,大多数形成时间较晚。因而其遭受后期改造的期次少,被改造的强度较弱。

所以,沉积矿藏(床)的形成过程、规模、形态和分布位置等是动态的。在成矿期后的改造过程中,矿藏(床)可再生叠加成矿,也可形成新的次生矿藏或消失。中国大陆活动性强,盆地后期改造强烈而普遍。重视和专门研究后期各种改造作用对沉积矿床成矿作用的正反两方面影响,具有重要理论和现实意义。

2.10 矿藏定位时间晚

以上特点决定了沉积矿藏(矿)的形成,特别是矿藏(矿)的定位时代相对较晚,有时很晚。

如中国的含油气盆地,大部分油气成藏时期较晚^[24,27],其成藏-定位主要发生在 20 Ma 以来;部分盆地和地区油气藏(田)目前仍处于调整和形成中^[24]。

在东起中国松辽盆地,西止里海,东西连绵逾 6000 km 的中东亚成矿域,砂岩型铀矿床主要形成于中生代晚期以来,以新生代(晚期)为主,大部分矿床晚近时期甚至现今仍在成矿^[28]。

盆地演化末(晚)期和之后,为沉积矿产重要的成藏(矿)和定位期。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。

所以,沉积矿藏(矿)形成后的保存和保存条件的研究是必要而重要的^[5,24]。

2.11 各类矿产分布和成矿作用的联系

盆地内沉积矿产资源丰富、类型多样;然而不同类型矿产之间的联系或关系类型却千变万化、差别颇大。

万变不离其宗。既然各类沉积矿产在盆地发生、演化及改造中形成和共存,就必然有着重要的内在联系和直接或间接的依存关系。这就类似于同一群落生态中的生物多样性和生物链的关系;各类生物之间虽有必然亲缘关系或直接变异演化联系者甚少,而具亲和性、同存共荣者和有食物链式依存关系者居多;也有具排他性、有此无彼、互不同存者,等等。这些联系是多种沉积矿产同盆共存、组合分布,或群落生态中各类生物同存共荣、分区生存的必然性和其研究的重要性及必要性。

对这些关系的梳理、厘定和其形成环境的研究、揭示,无疑对各类矿产形成(生物生存)的机理和其分布及预测提供

了科学依据和理论基础。

如在全球范围内,普遍发现汞矿与油气盆地关系密切。在该类金属矿区,容矿层往往富含有机质。但这些金属矿床却与油气藏和煤田并不同盆共存。这种成因相关但又赋存相左现象是何原因^[9],可否作为找矿勘探依据,值得研究。

如中国大陆主体在全球砂岩型铀矿集中分布的纬度(北纬 20~50°)带内。中国前新生代内生铀矿集中分布在南方^[29]露头区,与其相邻的众多中新世陆相盆地具有丰富铀成矿物质来源。但中国目前已探明的砂岩型铀矿的资源量 95%以上却分布在北纬 35°之北的北方中生代陆相盆地中,且常与油、气、煤等能源矿产同盆共存富集。这种砂岩型铀矿的分布格局,与已经查明和证实的中国中生代陆相盆地的油气北富南贫、煤炭北多南少惊人的一致,表明其间有着密切的深层次内在联系。

无独有偶,中亚为世界铀资源最丰富的地区之一,现已探明 7 个铀矿区。其中 5 个沉积型铀矿区集中分布在中南部诸盆地,这些盆地大多已探明有丰富的油气、煤资源。然而与哈萨克斯坦北部 2 个内生铀矿区毗邻的田吉兹盆地,面积 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$,没有油气发现,也未发现外生铀矿床^[28]。

以上现象表明,铀成矿物质的丰度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;铀成矿物质只有在特定的环境和条件下,才可能富集成矿床。

3 成矿环境与背景

3.1 不同环境有别

沉积盆地内同盆共存的各类矿产的成矿期次、成矿特点、组合关系和分布规律等,总体受盆地类型等地球动力学环境演化的影响明显。只有将多种沉积矿产形成-富集-成藏置于盆地形成、演化和改造的动态过程和统一动力学背景之中,才可能揭示各类沉积矿产同盆共存富集的基本规律和成藏(矿)机理及其主控因素。

如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,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^[3,28]。

根据地球构造动力环境的不同,可将盆地成藏(矿)系统分为裂陷伸展、聚敛、转换、克拉通等类型。各种类型又可进一步分为规模不等、级别不同的成矿构造单元。

中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^[5,24]。盆地的原始面貌和其中的沉积矿产(特别是流体矿产)的赋存状态常会随时空变迁而发生改变。在探讨各种沉积矿产同盆共存关系、富集环境和成藏(矿)机理时,应剔除后期改造的影响,再现不同阶段的原始盆地地貌和历史过程,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沉积矿产成藏(矿)中的正、反两方面作用。

3.2 时间上的阶段性

地球表层水圈、大气圈和生物圈的演化,直接控制着岩

石圈表浅层的物理化学环境,明显影响着外生矿床(藏)形成和特征。因而在地质历史的不同阶段,产生类型不同、特征有别的外生沉积矿床(藏)。

有机矿产油气、煤的形成及富集程度,受生物演化影响明显,主要形成和赋存在古生代以来发育的沉积盆地中。在陆生植物大量繁衍的石炭—二叠纪和侏罗纪,为全球的两大主要聚煤期。在生物繁衍鼎盛的早白垩世,所沉积地层蕴藏了全球的石油丰富。

铀元素属亲氧元素。外生铀矿床的形成和类型,与地球表层环境的演变关系密切。在早中元古代,始有微生物作用,在高 CO_2 和低 O_2 环境中,盛行物理风化,形成石英卵石砾岩型铀矿床。到中元古代中期—晚元古代,大气和水中自由氧含量增多(多于现代20%), CO_2 相对减少,气候从潮湿温暖转变为炎热干旱,形成不整合面型铀矿床。晚中生代—新生代,温暖潮湿和半干旱炎热气候交替,大气氧明显增高,到早白垩世达到最大值,为渗入成矿作用创造了条件,形成大量砂岩型铀矿床,发育含铀磷块岩^①。

除表生环境演变外,地球演化的重要阶段和演化中发生的重大地质事件,使地球表层系统发生重大变革,同时也伴有大规模成矿作用。例如,晚元古代—中寒武世,中国和澳洲、印度、越南大量磷矿床的形成,与当时生命大爆发,即海洋中菌、藻类微生物的空前繁茂及小壳化石第一次出现有关^[18,20]。

3.3 空间上的分区性及偏富极

几乎所有矿产的富集成矿都有明显的分区性,在一个盆地或成矿区(带)、成矿域均是如此。

尽管已发现的砂岩型铀矿遍布全球,但其富集成矿区的集中分布却有明显的分区性。无论砂岩型铀矿床的数量,还是总资源量,北半球(北纬 $20\sim 50^\circ$)均占主导地位。其中以中亚—东亚分布最为集中,中亚最丰富。中亚目前已探明砂岩型铀矿床数逾百个,铀矿床储量占全球总工业铀储量的35%以上;仅在哈萨克斯坦境内探明的可地浸砂岩铀矿储量就占世界的 $1/4$ ^[3,28]。

再如古砾岩型金铀矿仅发育于非洲(南非、加纳)和南美(巴西),而未见于欧亚及北美;钾盐矿床多见于北半球(两个超大型钾盐矿,一个在加拿大,一个在西伯利亚),而且大中型钾盐矿也多分布于欧亚大陆^[30]。

世界上各类超大型矿田(床)的储量极富而数量极少。其数量仅占世界上已发现矿床总数的7%,然而其所拥有的矿产储量却达65%^[20-23]。

超大型矿田(床)极为罕见,甚或独一无二。如全球已探明石油剩余储量的 $2/3$ 在中东波斯湾盆地,估计再不会发现与之资源规模相当的第二个油区。笔者称此现象为偏富极。“偏”者,异常、超常也。其他如加拿大中北部和澳大利亚北部不整合脉型铀矿富集区^[30]、俄罗斯的天然气等。

对大型、超大型矿田(床)的成矿机理的探索,长期以来

人们乐此不疲,但迄今尚无实质性突破。已有研究所总结的成矿条件、环境和控矿因素等,并不足以揭示其矿产资源如此超常富集;也不能说明同样具备这些条件和因素的矿区,为什么却没有巨量的储量。所以,对大型、超大型矿田(床)的形成环境和成矿过程、机理、模式的探索,仍将是一个重大而艰巨的研究命题。

3.4 随时间发展而复杂性更明显

总的来看,从成矿的矿种和矿床类型等方面综合考虑,似乎有成矿时代愈老,矿种愈少的演化趋势^[30]。换言之,随着地球演化历史的变新和时间发展,成矿物质(矿种)由少到多;矿床类型由简到繁;成矿频率内低到高;聚矿能力由弱到强的发展趋势^[30]。这反映了成矿系统有由初级堆积成矿—过渡型化学改造成矿—高级溶炼成矿的发展趋势^[31]。沉积盆地成藏(矿)系统各类沉积矿产也总体显示出这一演化趋势。

4 结语

综上所述,沉积盆地成藏(矿)系统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,命为盆地成藏(矿)系统,以与其他成矿系统相并列和区别。

对沉积盆地成藏(矿)系统进行专门研究和系统总结,探讨和揭示各种沉积矿藏同盆共存的内在联系、相互作用、组合模式和分布规律,必将会对各相关矿产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;从而推动盆地成藏(矿)系统科学理论的建立,促进单矿种学科的进一步发展、完善;同时促进和指导盆地系统多种矿产的协同勘探和综合开发。

对盆地内由断裂等不同途径引起的深部地质作用,如岩浆活动、热力作用、大规模热液流体活动等成矿过程中的作用及其贡献,不同学者认识有别。笔者认为,这些作用一般对成矿环境和成矿作用会有一定间接影响甚至明显影响,但较少直接成矿或直接参与成矿作用。对此,仍需进一步研究。

有必要指出,尽管有些层控等矿床的形成经历了与岩浆活动、构造变动或变质作用有关的高—较高温(热液)压的成矿作用的影响和改造,已不属前述盆地成矿系统范畴。但这些矿床的形成与早期盆地沉积特征和成矿物质的分散状聚积有着密切的联系。若无前者,后期各种地质作用引发的高—较高温(热液)压成矿作用也未必都能形成矿床。

这与沉积岩和沉积盆地分别是副变质岩和造山带的早期物质形成和演化阶段一样,盆地成矿系统的成矿物质聚集和成矿作用也是高—中温压环境中层控等相关矿床形成过程不可分割的有机组成部分。沉积盆地演化阶段矿产的(预)

①赵凤民.有关铀成矿作用的几个问题.西北大学学术报告,2006.

富集或成矿物质的聚集作用,对层控等金属、非金属矿床形成过程的全面认识和成矿机理的深刻揭示具有重要意义,对盆地成矿系统研究的另一方面重要意义。

参考文献(References):

- [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 Shaobo, Tang Xiaomei, et al. World Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 1988(in Chinese).
- [2] 代世峰, 任德贻, 李生盛. 内蒙古准格爾超大型铀矿床的发现[J]. 科学通报, 2006, 51(2): 177-185.
Dai Shifeng, Ren Deyi, Li Shengsheng. The discovery of super-lager gallium deposits in Junger, Inner Mongolia [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(2): 177-185(in Chinese).
- [3] 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 [C]//刘池洋主编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 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 multi-energy mineral deposits coexisting in the same basin[C]//Liu Chiyang (ed.) Advances in the Accumulation and Formation for Multi-energy Mineral Deposits Coexisting in the Same Basin. Beijing: Science press. 2005: 1-16(in Chinese).
- [4] 刘池洋, 赵红格, 谭成仟, 等. 多种能源矿产赋存与盆地成藏(矿)系统[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 131-142.
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Tan Chengqian, et al. Occurrences of multiple energy mineral deposits and mineralization/reservoiring system in the basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 131-142(in Chinese with English abstract).
- [5] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13-27.
Zhai Yusheng. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(1): 13-27(in Chinese with English abstract).
- [6] 翟裕生. 成矿系统及其演化—初步实践到理论思考 [J]. 地球科学, 2000, 25(4): 333-339.
Zhai Yusheng. Metallogenic system and its evolution: From preliminary practice to theoretical consideration [J]. Earth Science, 2000, 25(4): 333-339(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 对中国成矿体系的初步探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25(2): 155-163.
Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, et al. Preliminary study of Chinese mineralization system [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(2): 155-163(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1501-1508.
Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. On minerogenetic (metallogenic) series: Third discussion [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈衍景. 造山型矿床、帮矿模型及找矿潜力 [J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1181-1196.
Chen Yanjing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential [J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1181-1196(in Chinese with English abstract).
- [10] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
Li Mingcheng. Migration of Hydrocarbons [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [11] 涂光炽, 等. 中国层控矿床地球化学(第三卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 1-36.
Tu Guangchi, et al. Geochemistry of Stratabound Deposits in China (vol.3) [M]. Beijing: Science Press, 1988: 1-36(in Chinese).
- [12] 杨永强, 翟裕生, 侯玉树, 等. 沉积岩型铅锌矿床的成矿系统研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 200-205.
Yang Yongqiang, Zhai Yusheng, Hou Yushu, et al. Study of metallogenic systems of sediment-hosted lead and zinc deposits [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (3): 200-205 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张复新. 砂岩型铀矿与浅成低温热液矿床[C]//刘池洋主编, 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京: 科学出版社, 2005: 164-171.
Zhang Fuxin. Sandstone-type Uranium Deposits and Epithermal Deposit [C]//Liu Chiyang ed, Advances in the accumulation and formation for multi-energy mineral deposits coexisting in the same basin. Beijing: Science press. 2005: 164-171(in Chinese).
- [14] 涂光炽, 高振敏, 程景平, 等. 低温地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-5.
Tu Guangchi, Gao Zhenmin, Cheng Jingping, et al. Low-temperature Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-5 (in Chinese).
- [15] 朱创业. 成矿系统研究现状及发展趋势 [J]. 成都理工大学学报, 2000, 27(1): 50-53.
Zhu Chuangye. The present research situation and trend of ore forming system [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(1): 50-53(in Chinese with English abstract).
- [16] Patrick L, Andrew P. Organic matter in hydrothermal ore deposits [C]//Hubert L B, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits .3rd ed.[s.l.]: John Wiley & Sons, 1997: 613-645.
- [17] 殷鸿福, 张文淮, 张志坚, 等. 生物成矿系统论[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
Yin Hongfu, Zhang WenHuai, Zhang Zhijian, et al. Organic Mineralization System [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999(in Chinese with English abstract).
- [18] 叶连俊. 生物成矿作用的思考、论据与展望[C]//生物成矿作用研究. 北京: 海洋出版社, 1993: 1-5
Ye Lianjun. Thought, argument and prospects of biomineralization [C]//The Research of Biomineralization. Beijing: Ocean Press, 1993: 1-5 (in Chinese).
- [19] 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): 617-638.
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):

- 617-638.
- [20] 翟裕生. 地史中成矿演化的趋势和阶段性[J]. 地学前缘, 1997, 4 (3-4):197-203.
Zhai Yusheng. Metallogenic evolution and megastages in Earth's history [J]. Earth Science Frontiers, 1997,4 (3-4):197-203 (in Chinese with English abstract).
- [21] 翟裕生, 邓军, 崔彬, 等. 成矿系统与综合地质异常[J]. 现代地质, 1999, 13(1):1-7.
Zhai Yusheng, Deng Jun, Cui Bin, et al. Ore-forming system and comprehensive geo-anomaly [J]. Geoscience, 1999, 13(1):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [22] 翟裕生. 矿床学的百年回顾与发展趋势 [J]. 地球科学进展, 2001, 16(5):719-724.
Zhai Yusheng. Hundred years' retrospect and developing trend of Mineral Deposit Geology [J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16 (5):719-724(in Chinese with English)
- [23] 翟裕生, 彭润民, 向运川, 等. 区域成矿研究法[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
Zhai Yusheng, Peng Runmin, Xiang Yunchuan, et al. The Research Method of Regional Metallogenesis [M]. Beijing:China Earth Publishing House, 2004(inChinese).
- [24] 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[C]//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. 21世纪中国暨国际油气勘探. 北京: 中国石化出版社, 2003:57-60
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xinke, et al. The late and latest stage pool-forming and orientation of Hydrocarbon: the important features of Chinese sedimentary basins [C]//Chinese academy of engineering, Energy and mineral resource council around Pacific Ocean, Chinese petroleum society. The 21st Chinese and International oil and gas exploration. Beijing: China Petrochemical Press, 2003:57-60.
- [25] 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. Late stage intense reformation—one of important features of Chinese sedimentary basins [J]. Oil and Gas Geology, 1996, 17(4):255-261(in Chinese with English abstract).
- [26] 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 Zhongyuan, Yang Xingke. Strong activity and active deep action: two important features of Chinese sedimentary basins [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21 (1):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [27] 戴金星, 卫延召, 赵靖舟. 晚期成藏对大气田形成的重大作用[J]. 中国地质, 2003, 30(1):10-19.
Dai Jinxing, Wei Yanzhao, Zhao Jingzhou. Important role of the formation of gas accumulations in the late stage in the formation of large gas fields [J]. Geology in China, 2003, 30 (1):10-19 (in Chinese with English abstract).
- [28] 刘池洋, 邱欣卫, 吴柏林, 等. 中-东亚能源矿产成矿域基本特征及其形成的动力学环境[J]. 中国科学, 2007, 37(专辑):1-16
Liu Chiyang, Qiu Xinwei, Wu Bolin, et al. The basic characteristics and formational dynamic environment of central-east Asia energy minerals metallogenic domain [J]. Science in China, 2007, 37,1-16(in Chinese with English abstract)
- [29] 黄净白, 黄世杰. 中国铀资源区域成矿特征 [J]. 铀矿地质, 2005, 21(3):129-138.
Huang Jingbai, Huang Shijie. Regional metallogenic characteristics of China's uranium resources [J]. Uranium Geology, 2005, 21(3): 129-138(in Chinese with English abstract).
- [30] 涂光炽, 李朝阳. 浅谈比较矿床学[J]. 地球化学, 2006, 35 (1):1-5.
Tu Guangchi, Li Chaoyang. Brief remarks on comparative metallogeny [J]. Geochimica, 2006, 35 (1):1-5 (in Chinese with English abstract).
- [31] 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
Li Renshu. Theory and Practice of Metallogenic System Analysis [M]. Beijing, Geological Publishing House, 1996 (in Chinese with English abstract).
- [32] 刘文汇, 张殿伟. 中国深层天然气形成及保存条件探讨[J]. 中国地质, 2006, 33(5):937-943.
Liu Wenhui, Zhang Dianwei. Generation and preservation conditions of deep-seated gas in China[J]. Geology in China, 2006, 33(5):937-943(in Chinese with English abstract).
- [33] 康玉柱. 塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30(3):315-319.
Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the large Tahe oilfield in the Tarim basin and its prospects[J]. Geology in China, 2003, 30(3):315-319(in Chinese with English abstract).

Sedimentary basin reservoir-forming/mineralization system

LIU Chi-yang, ZHANG Fu-xin, GAO Fei

(State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Institute of Oil and Gas,
Northwest University Xi'an, Shaanxi 710069, China)

Abstract: The sedimentary basin incorporates organic and inorganic, metallic and non-metallic mineral deposits, forming a relatively

independent mineral resource-hosting unit and an reservoir-forming (mineralization) macro-environment, which may be called the sedimentary basin reservoir-forming (mineralization) system. The system is generally located in a low-temperature, low-pressure environment and an open system, in which mineralizing fluids, organisms/organic matter (fluids) play a vital role and are significantly affected by temperature changes. Mineralization generally has no direct genetic relationship with magmatic activities.

The initial occurrences of mineralizing materials that form sedimentary deposits are mostly scattered; from their initial accumulation through mineralization to mineral deposit formation, marked changes take place in their environment. They generally experience a process from primitive mineralizing material accumulation → mineralization → enrichment, mineral deposit formation, reworking and reposition. The driving force of migration of mineralizing materials mainly comes from compaction and abnormal pressure, tectonism, seepage flow, molecular diffusion, volatilization and buoyancy force. The main passageways of migration are pores, faults formed by tectonic processes and microfractures and unconformity produced by non-tectonic processes. The relationships between mineral source rocks and reservoirs are highly varied, including such associations as self-generating and self-accumulation, late generation and early accumulation, early generation and late accumulation. The sites where sedimentary minerals are deposited are generally traps (e.g. anticlinal, fault and lithologic traps) sealed by mudstones and evaporites with poor permeability or abrupt boundary transformation zones of geochemical environment, tectonic features and lithology-lithofacies. Generally, the time interval between primitive mineralizing material accumulation and mineral deposit formation-redeposition may be long, even up to several hundred million years. The formation of sedimentary mineral deposits usually progresses through a mineralization process, generally characterized by multiple mineralization phases and marked reworking in the late phase, which results not only in repeated superimposition and further enrichment of a mineral deposit but also in its reworking and modification or formation of a secondary mineral deposit. The above-mentioned characteristics determine that the sedimentary mineral deposit forms and especially is sited relatively late. The useful sedimentary minerals in a basin are rich, with diverse features. Their mineralization and distribution pattern have complex relations and show the diversity of coexistence, synthetic affinity and exclusivity. The above-mentioned characteristics vary somewhat in different types of sedimentary mineral deposit and each type of deposit has its own characteristics.

According to different tectonic dynamic environments, the basin mineralization system may be divided into various types, such as the rift extension, convergence, transformation and cratonic types, and the mineral deposits in various environments differ in mineralization characteristics, types, distributions and combinations. Affected obviously by the evolution of the hydrosphere, atmosphere and biosphere on the earth's surface in the geological history and its reversibility, the formation of exogenous sedimentary mineral deposits of the basin is generally characterized by significant stages, development with time and more complex mineral types. The enrichment and deposit formation of sedimentary minerals in the basin system also show characteristics of obvious spatial regionalization and partial enrichment.

Owing to its own mineralization characteristics and reservoir-forming/mineralization environments, the sedimentary basin reservoir-forming/mineralization system should be proposed as an independent mineralization system that stand side by side with and is distinguished from other mineralization systems such as orogenic and shield mineralization systems. The special study of it will certainly reveal the intrinsic relation between various types of sedimentary mineral deposit and their coexisting basin as well as their reservoir-forming patterns and distribution characteristics and enrich and develop the system of mineralization theories. Moreover, it lays a theoretical foundation for overall consideration of multiple mineral deposits in the basin, scientific and high-efficiency mineral exploration and comprehensive prediction.

Key words: sedimentary basin reservoir-forming/mineralization system; organic energy minerals; sedimentary metallic mineral deposit; low-temperature mineralization environment; organisms-organic matter (fluid) mineralization

About the first author: LIU Chi-yang, male, born in 1953, professor and director of Ph.D students, mainly engages in the teaching and scientific research of basin dynamics, petroleum geology and exploration, structural geology and tectonics and energy geology; E-mail: lcy@nwu.edu.cn.