

文章编号: 1001-6112(2008)05-0429-06

## 盆地理学和盆地工学

高长林, 刘光祥, 黄泽光, 潘文蕾, 方成名

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:** 如何开展含油气盆地的系统研究, 存在着一系列不同认识。通过对含油气盆地系统研究的分析、对盆地评价技术规范的理解、对含油气盆地在自然科学中的分类对比, 认为含油气盆地系统研究应包括两大部分, 一是盆地理学, 二是盆地工学。所谓盆地理学, 就是运用现代地质学、地球物理学和地球化学理论, 对盆地进行本体论(研究油气盆地的本原问题)、认识论(认识油气盆地的来源和认识油气盆地的研究方法)和性情论(人对油气盆地的心、情、性的理解等)的系统研究, 获得有关油气盆地形成演化和烃类形成过程的内在规律。所谓盆地工学, 就是运用现代地质、地球物理、地球化学和应用数学的技术方法, 模拟盆地和油气的形成演化及其相互关系, 为油气资源评价提供技术支持。

**关键词:** 盆地理学; 盆地工学; 油气盆地系统

**中图分类号:** TE121.1

**文献标识码:** A

## BASIN PHILOSOPHY AND BASIN TECHNOLOGY

Gao Changlin, Liu Guangxiang, Huang Zeguang, Pan Wenlei, Fang Chengming

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** There are lots of different opinions in petroliferous basin system research. According to analysis of basin system, comprehension of standards of oil and gas resources assessment, classification and comparison of basins in science and technology, basin system research can be divided into 2 parts, i. e. basin philosophy and basin technology. With modern geology, geophysics and geochemistry theories, basin philosophy studies the ontology, epistemology and disposition of basins. Rules of basin evolution and hydrocarbon generation can be obtained by basin philosophy studies. With modern geology, geophysics, geochemistry and applied math theories, basin technology studies evolutions of basin and hydrocarbon, providing technique supports for resource assessment.

**Key words:** basin philosophy; basin technology; oil and gas basin system

中国地质结构的复杂性, 造就了中国沉积盆地的特殊性, 也造就了中国油气分布规律的多样性。为了认识中国油气盆地, 国内外学者做了大量卓有成效的工作<sup>[1~7]</sup>。然而, 多年来由于不同学者对盆地有不同理解, 对盆地做过多样的定义。朱夏<sup>[1]</sup>将其理解为“在地质历史一定阶段的一定运动体制下形成发展的统一的沉降大地构造单元”。张渝昌<sup>[8]</sup>提出: “可以从盆地各种结构中按照不同的盆地沉降作用及其组成实体的演化关系分划出若干个单一的结构单元, 而每一种结构都是同某一阶段沉降动力机制相关。这种单一的结构单元是一种构造形式, 也是一个沉积实体, 称之为盆地的‘原型’。按地球动力学机制来区分和类比的应当是这些原

型, 而不是它们的组合——盆地”。陆克政等<sup>[9]</sup>认为: “含油气盆地是含有油气的盆地, 即指已经发现有油气的盆地。确切地说, 含油气盆地是具备成烃要素、有过成烃过程并已发现有商业价值的油气聚集的沉积盆地”。多年来, 对油气的需求越来越大, 因此对含油气盆地的研究也越来越重要。盆地作为油气资源勘探的基本单元, 必须对其开展盆地理学和盆地工学系统研究, 才能在理论与实践中的重要成果。

### 1 油气盆地系统研究

油气盆地研究已进入系统研究阶段, 就盆地系统观念而言, 新的理论见解是多方面的, 引发油气

收稿日期: 2008-06-02; 修订日期: 2008-07-31。

作者简介: 高长林(1945—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事构造地球化学和盆地分析研究工作。E-mail: gaocl@mail.wuxisuo.com。

盆地向更全面、多层次的评价技术方法方向发展。在国内,赵重远等<sup>[10]</sup>强调油气盆地研究方法是系统工程,提出了背景、形变、沉积、水动力、热力、油气和改造等7个子系统,注重盆地油气预测分析在方法上与环境条件的统一或综合。武守诚<sup>[11]</sup>从盆地构造动力、沉积、热动力、水动力与资源等5个方面归纳了中国油气盆地的3种构造模式、4类古气候、古地理沉积、4类热流、4类水动力,并在系统综合基础上提出了中国沉积盆地油气聚集的基本模式,强调了在计算机上深入进行盆地数值模拟的广阔前景。张渝昌等<sup>[12]</sup>确认了历史阶段原型的性质分布和不同原型并列叠加的效果分析是盆地动态分析的基本方法,探讨了如何从少量已知信息内涵外延建模进行油气聚集规律预测,并依勘探进程提供油气勘探决策运用,进而提出运用盆地原型PVT约束的数学模拟方法进行油气盆地“系统整合和动态成藏”是油气勘探战略决策极其重要的研究方向。在国外,美国AAPG出版了全球不同地域典型盆地丛书,从盆地阶段划分入手,比较分析不同时期大地构造环境与阶段沉降的成因,然后从层序沉积、构造风格和热演化联系烃源岩品质、成熟度以及储—盖分布关系,进而提出具体油气运移模式,提供了可比照的经验、数据和技术。美国地球动力学委员会专门发布白皮书,要求从多学科发展与沉积盆地关联的壳幔对流格架、生烃运移、水动力化学、沉积和孔—渗热演化以及沉积表生动力记录技术。

### 1.1 朱夏提出的盆地研究程式

朱夏先生提出的 T(环境)—S(作用)—M(响应)程式(图1)<sup>[1]</sup>内涵和外延因素所表述的既是盆地大地构造与油气聚集的关系,也是含油气盆地的系统研究方案。

### 1.2 武守诚提出的油气盆地资源评价系统

武守诚<sup>[13]</sup>研究认为,油气资源评价是石油地质学与系统工程学相结合的产物。提出了油气资源评价系统研究的基本理论、方法和技术途径(图2)<sup>[13]</sup>。图2中,第一行P—BP—PP—T表示系统研究的“对象”,第二行GT—TSM—R体系为系统研究的“基本原理”,第三行P—BC—SRTST—OGWP及其他为系统研究的“途径与方法”。可见武守诚提出的油气资源评价系统研究方法是理论和工程相结合的。

## 2 评价技术规范对盆地研究的要求

为规范石油天然气勘探工作,我国制定了《中

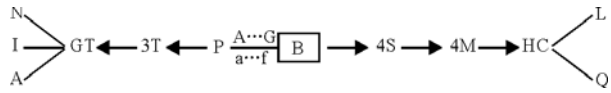


图1 油气盆地 TSM 系统研究程式<sup>[1]</sup>

B表示盆地(basin),箭头向左和向右分别表示盆地与大地构造和油气聚集的关系。其左面所列P的分式和上下符号表示盆地是原型(prototype)并列叠加的组合。一个盆地的原型组合方式取决于不同历史阶段的大地构造环境(T),其演变的阶段性可分别归属于古全球构造体制 A(ancient global tectonics)、新全球构造体制 N(new global tectonics)及其过渡阶段 I(intermediate stage)。影响原型形成的大地构造环境主要有三大因素(3T),即地壳沉降时期(time)及其所处大地构造位置(tectonic setting)和热体制 (thermal regime),反映了原型形成时期的构造—热体制,是地球动力作用在这一时期岩石层(圈)物质运动的总和。当大地构造环境变化时,不同世代的原型构造—热体制则阶段性演变。朱夏从全球构造演变关系提出中国盆地可划分为两大阶段,即与古全球构造体制相关的古生代油气盆地和与新全球构造体制相关的新生代油气盆地,盆地阶段性在转化上不必同时,可以出现过渡期,历史地控制和改变着不同世代原型的构造—热体制及其油气形成和富集条件。在 B 右面箭头所列的是盆地地质作用(S)与油气响应(M)之间的关系,其地质作用主要概括为4个方面(4S),包括盆地沉降(subsidence)、沉积(sedimentation)、应力配置(stress condition)和风格(style),而油气响应则包括物质(material)、成熟(maturity)、运移(migration)和保存或调整(maintenance and modification)等4个方面(4M),彼此相互关联、相互作用可构成若干子系统,在构造—热体制约束下形成系统网络。但是随着大地构造环境的变化,盆地不同世代原型并列叠加组合方式不同,盆地的地质作用—油气响应关系是动态的,因此需要通过一定构造环境形成的原型自身,比拟其构造—热体制及其约束的 S—M 关系,认识历史阶段油气形成的规律,进而掌握盆地组合的整体,了解原型动态变化的油气分布规律,有助于评价预测油气资源量(Q)及其聚集位置(L)

Fig. 1 TSM-system programme for the study of petroliferous basins

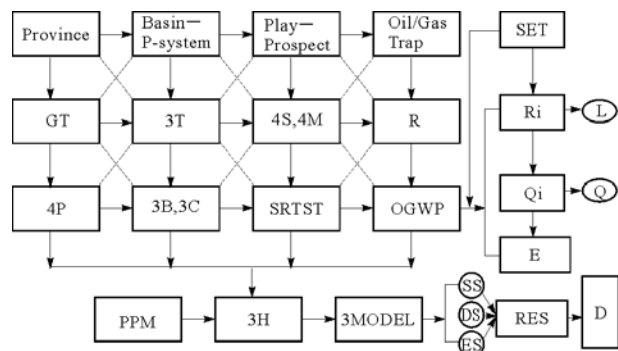


图2 油气盆地资源评价系统研究<sup>[13]</sup>

Province. 油气区; Basin. 盆地; P-system. 含油气系统; Play. 区带; Prospect. 圈闭; Oil/Gas Trap. 油气藏; GT. 全球构造; 3T. 构造位置、时间、热体制; 4S. 沉降、沉积、应力、样式; 4M. 物质、成熟度、运移、保持; R. 储集层; 4P. 古地磁、古气候、古生态、古地理; 3B. 拉张、挤压、扭曲边界; 3C. 沉降中心、沉积中心、生油中心; SRTST. 油源、储集层、圈闭、保存、配套史; OGWP. 油、气、水、压力; PPM. 原型、叠加、改造; 3H. 构造史、沉积史、油气聚集史; 3MODEL. 构造、生储油、油气聚集模型; SET. 系统工程技术; Ri. 地质风险; Qi. 资源量; E. 经济评价; L. 油气田位置; Q. 资源的数量质量; SS. 统计方法; DS. 数字模拟; ES. 专家系统; RES. 资源评价系统; D. 决策

Fig. 2 Research on resources evaluation for petroliferous basins

华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T 5519—1996)盆地评价技术规范<sup>[14]</sup>,将盆地评价全过程划分为早期和中、后期2个阶段,其主要地质任务分别为:

盆地评价早期阶段:一是运用盆地分析方法综合评价,优选出具有含油气远景的盆地(或拗陷,或凹陷),经技术经济可行性论证后,提出下阶段的勘探计划和部署意见;二是通过盆地模拟方法,进一步优选出有利的含油气区带,为开展圈闭评价做好准备。

盆地评价中、后期阶段:运用盆地模拟和其他综合评价方法,优选出有利含油气区带,提出进一步勘探部署建议。

规范中对评价工作总结报告的结构和层次要求如下:盆地概况和勘探程度;盆地石油地质特征;资源预测与评价;评价经验与勘探效果分析;下一步勘探规划。

上述资料表明,石油天然气勘探规范是应石油天然气工业的需要而制定的,是工业生产需要,此类规范是我国首创,对油气勘探具有重要指导意义。

### 3 含油气盆地在自然科学中的分类

在《中国图书馆分类法》中,一是将含油气盆地列为工业技术大类;二是列为天文、地球科学类的理学范畴<sup>[15]</sup>。

对上述分类可作如下理解:一是石油地质专业机构把含油气盆地研究列入工业技术大类,但也有学者认为可列入天文、地球科学类的理学范畴。

## 4 盆地理学和盆地工学

### 4.1 理学和工学

武书连等<sup>[16,17]</sup>在对中国大学评估时认为,理学包括数学、物理学、化学、天文学、地理学、大气科学、海洋科学、地球物理学、地质学、生物学、系统科学、科学技术史等12个一级学科,共有51个二级学科;工学包括力学、机械工程、光学工程、仪器科学与技术、材料科学与工程、冶金工程、动力工程及工程热物理、电气工程、电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、计算机科学与技术、建筑学、土木工程、水利工程、测绘科学与技术、化学工程与技术、地质资源与地质工程、矿业工程、石油与天然气工程、纺织科学与工程、轻工技术与工程、交通运输工程、船舶与海洋工程、航空宇航科学与技术、兵器科学与技术、核科学与技术、农业工程、林业工程、环境科学与工程、生物医学工程、食品科学与工程等32个一级学科,共有116个二级学科。

对上述资料可作如下理解:一是石油天然气勘探属工学范畴;二是石油地质学是地质学的一个分支,其理论研究应属理学范畴。

### 4.2 盆地理学

理学有2种理解<sup>[18~23]</sup>:一是指现代社会中的理学,通常是指研究自然物质运动基本规律的科学,如数学、物理、化学、生物、天文、地质、地理等;二是指古代的理学,即宋朝以后的新儒学,又称道学。嘉祐治平年间(1056—1067),理学获得了极大的发展,形成了以王安石(荆公)新学、司马光(温公)学、苏轼蜀学、二程(程颢、程颐)兄弟洛学为代表的理学四大派。后来洛学由朱熹发扬光大,在明朝成为官学。古代理学讨论的问题主要有:本体论问题,即世界的本原问题;认识论问题,即认识的来源和认识方法问题;性情论问题,即人性的来源和心、性、情的关系问题。

何治亮<sup>[24]</sup>认为:“油气盆地分析的实质是求解盆—烃关系式。沉积盆地或油气盆地应包含本体论和认识论两方面的含义。本体论的盆地包括盆地在自然序次中的位置、盆地自身系统、盆地中的地质事件,还包括盆地的类别、相和模式等。认识论的盆地则包括作为控制论中黑箱的盆地、盆地信息的获取与处理、研究的内容与思路以及发现的模式等。盆地分析则是本体论与认识论的辩证统一。油气盆地分析是一门研究油气形成正演过程的系统工程方法。盆地分析者在掌握、分析和研究各种资料的基础上,以现代基础地质和油气地质理论为指导,通过归纳演绎、综合分析、抽象类比、假说、想像、直觉和灵感等方式,获得有关盆地背景—类型—沉降—沉积—埋藏—成烃—成藏等过程的认识(复杂盆地还包括复合—叠加—改造—破坏—次生成藏等),掌握盆地形成演化和成烃过程的内在规律,为勘探决策者提供具最小勘探风险的勘探目标。油气盆地的资源基础、人类社会对油气的需求与勘探研究群体的倾心工作所构成的三角关系的良性互动,是盆地分析与勘探评价的核心所在。盆地分析成果的广度和深度、内涵与外延是盆地分析者个性和风格的体现。盆地油气的开发首先是人的开发,其中最关键的是开发者的自我解放与自我开发”。何治亮提出的盆地分析网格如图3所示<sup>[24]</sup>。实际上,何治亮<sup>[24]</sup>也讨论了性情论在盆地分析中的作用问题,认为这可以是研讨盆地理学的一种研究思路。

### 4.3 盆地工学

经多年油气勘探实践,已建立了以构造划分为



图3 盆地分析网络<sup>[24]</sup>

Fig. 3 Sketch map showing network of basin analysis

基础的盆地、区带、圈闭评价体系；近年来随着现代盆地分析、层序地层学和含油气系统的发展，建立了基于动力学的盆地、含油气系统、含油气区带、圈闭评价体系，同时还建立了一系列相关关键技术<sup>[24~28]</sup>。

赵文智等<sup>[29]</sup>指出，在开展含油气盆地评价时，常针对具体盆地，以活动论思想为指导，以现代实验技术为手段，对含油气盆地的关键方面进行重点研究，建立了以原型盆地分析为基础、以有机岩相

带预测与烃源岩地化评价为手段、以含油气系统剖析为核心、以目标评价为目的的含油气盆地评价的主要方法(图4)<sup>[29]</sup>。

徐旭辉等<sup>[30,31]</sup>提出，TSM盆地模拟涉及到广泛的地质模型，涵盖了从盆地沉降与沉积—构造作用到油气生成和油气成藏及其之间的关系。要实现这一庞大、复杂的油气盆地模拟，需要一个代表各类盆地原型的模型库。按照埋藏史、热史、生烃

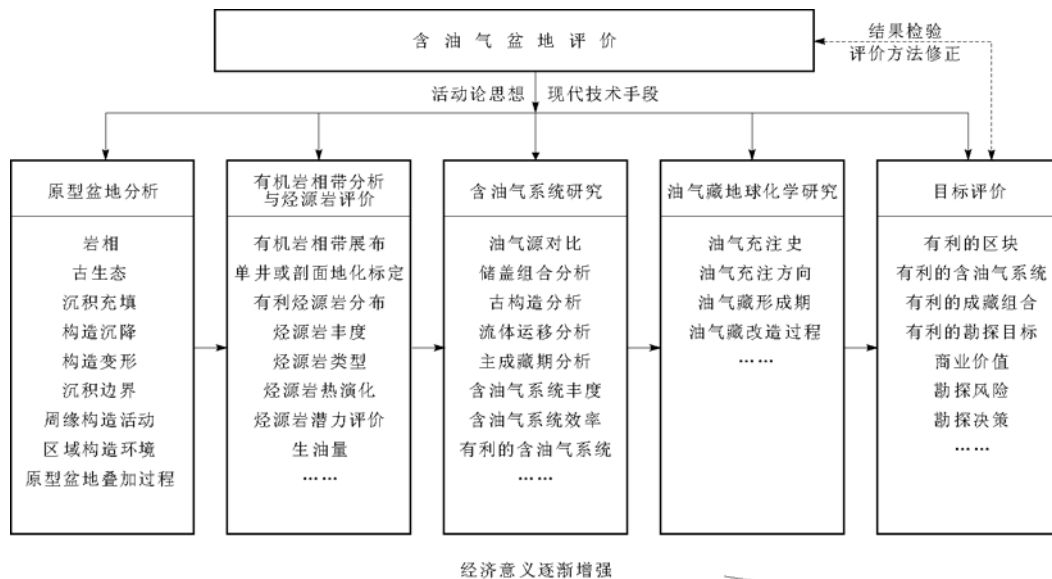


图4 现代含油气盆地评价的一种方法<sup>[29]</sup>

Fig. 4 A modern method for evaluation of petroliferous basins

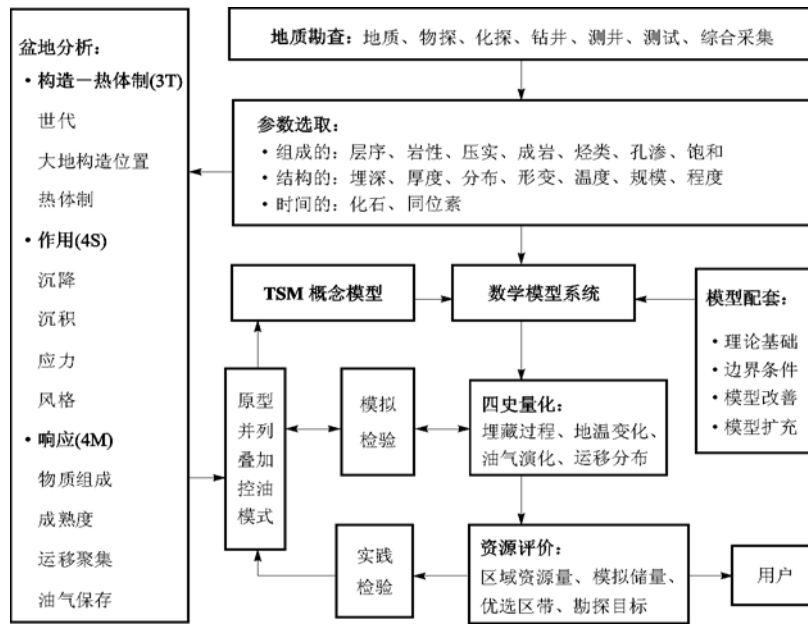


图 5 TSM 盆地数值模拟流程<sup>[30]</sup>

Fig. 5 TSM basin numerical simulation process

史和运聚史,初步建立了一套 TSM 盆地动态模拟资源评价系统模型库。含油气盆地在一定的构造—热体制下沉降形成负向构造单元,通过沉积作用在负向单元中充填沉积物,这些物质在后续的地质历史中发生形变、剥蚀、压实成岩等作用,地球内部的热能也在地层中发生作用,构成了油气物质演化的物质基础和边界条件。地质作用模拟模型表达了盆地沉降、沉积充填、剥蚀和热演化等一系列过程。TSM 盆地数值模拟流程如图 5 所示<sup>[30]</sup>。

实际上,赵文智等<sup>[29]</sup>提出的含油气盆地评价的思路和方法是一种以寻找工业油气藏为目的的研究思路,即也是盆地工学的研究思路。徐旭辉等<sup>[30~32]</sup>提出的 TSM 盆地数值模拟流程是一种理工结合的好办法。

## 5 结论和讨论

含油气盆地系统研究应是多个含油气盆地原型的油气地质学特征及其时—空组合关系的研究。包括两大部分,一是盆地理学,二是盆地工学(表 1)。所谓盆地理学,就是运用现代地质学、地球物理学和地球化学理论,对盆地进行本体论(研究油气盆地的本原问题)、认识论(认识油气盆地的来源和认识油气盆地的研究方法)和性情论(人们对油气盆地的心、情、性的理解等)的系统研究,获得有关油气盆地形成演化和烃类形成过程的内在规律,为油气勘探提供地质理论依据。所谓盆地工学,就是运用现代地质、地球物理、地球化学和应用数学

表 1 盆地理学和盆地工学主要研究内容

Table 1 Main research content for basin philosophy and basin technology

分类	序号	子系统	研究内容
盆地理学	1	盆地形成背景	板块构造、造山带与盆地关系、构造阶段、构造演化与盆地演化关系
	2	盆地演化	沉降机制、沉降时期、沉降速率、盆地原型及其并列叠加关系
	3	盆地变形	几何学、运动学、动力学、对盆内及其系统演化的控制
	4	沉积系统	沉积体系、层序地层学、储集和保存条件、沉积系统与盆地演化关系
	5	水动力	古水流系统、新水流系统、水动力条件、水动力与盆地演化关系
	6	热力学	现代大地热流、现代地温场、古地温、温度异常
	7	油气系统	烃源岩、储盖层和圈闭、油气运移和聚集、成烃过程
盆地工学	8	油藏地质	油气藏几何学、油气水流体地质、油气藏形成期、盆地受改造与油气藏保存关系
	1	盆地模拟技术	埋藏史、热史、生烃史、运聚史
	2	资源评价技术	地质风险分析、资源量估算、圈闭描述与综合评价、经济决策分析
	3	油气盆地评价的现代技术手段	盆地原型分析及其图件表述技术、有机相带和烃源岩评价技术、含油气系统和油气藏地球化学表述技术、勘探目标评价技术

的技术方法,模拟盆地和油气的形成演化及其相互关系,为油气资源评价提供技术支持。

表1资料表明,盆地理学研究主要包括8个子系统,分别是:盆地形成背景、盆地演化、盆地变形、沉积系统、水动力、热力学、油气系统和油藏地质;盆地工学研究主要包括3个子系统,分别是:盆地模拟技术、资源评价技术和油气盆地评价的现代技术手段。没有盆地便没有石油,盆地作为油气资源勘探的基本单元,必须对其开展盆地理学和盆地工学的系统研究。

由于石油工业上游产业自身具有商业机密性的特点,有关资料的交流很难顺畅,阻碍了盆地的系统研究。上述盆地工学研究应属石油工业部门研究的主体,具商业机密;而盆地理学研究应是社会科研的主体,具社会公益性。然而,在油气盆地系统研究中,既要重理,更要重工,理工结合,穷究于理,成就于工。笔者凭借粗浅的油气盆地知识,提出了盆地理学8个子系统和盆地工学3个子系统的重点研究范围,以期对盆地系统研究提供讨论构架。

致谢:谨以本文庆祝我国第一个盆地研究室(现中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所盆地研究中心)成立30周年。文中引述了朱夏、赵重远、张渝昌、武守诚、何治亮、赵文智、徐旭辉教授级高级工程师和江兴歌高级工程师等专家已发表的相关文章并进行了小讨论,在此表示感谢!

#### 参考文献:

- 朱夏. 论中国含油气盆地构造[M]. 北京:石油工业出版社, 1986
- 李思田,吴冲龙. 沉积盆地演化的历史分析和“系统工程”研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(4): 348~355
- Allen P A, Allen J R. Basin analysis—Principles and applications[M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1990
- 孙肇才. 板内形变与晚期次生成藏:孙肇才石油地质论文选[M]. 北京:地质出版社, 2003
- 高长林,叶德燎,黄泽光等. 中国中生代两个古大洋与沉积盆地[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 95~102
- 高长林. 东、西秦岭和大别造山带构造演化差异与盆地[J]. 石油实验地质, 2006, 28(5): 498
- 高长林. 盆地原型之理解[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 385
- 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版社, 1997
- 陆克政,朱筱敏,漆家福. 含油气盆地分析[M]. 北京:石油大学出版社, 2003. 1~424
- 赵重远,刘池洋,任胜利. 含油气盆地地质学及其研究中的系统工程[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 1~10
- 武守诚. 中国油气盆地的系统研究[J]. 石油学报, 1993, 14(4): 20~34
- 张渝昌,徐旭辉,江兴歌等. 展望盆地模拟[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 29~37
- 武守诚. 我国油气资源评价的科学性问题[J]. 石油科技论坛, 2006, (4): 22~28, (5): 21~28
- 周志祥,杨继良,高明阳等. 中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T 5519—1996)盆地评价技术规范[S]. 1996. 1~8
- 中国图书馆分类法编辑委员会. 中国图书馆分类法[M]. 第四版. 北京:北京图书馆出版社, 1999. 303~351, 589~1010
- 武书连,吕嘉,郭石林. 2007中国大学研究生院前100名综合实力[J]. 中国高等教育评估, 2007, (4): 78~79
- 武书连,吕嘉,郭石林. 2007中国大学评价[J]. 科学与科学技术管理, 2007, 28(1): 165~174
- 王记录. 理学与朱熹的史学思想[J]. 上饶师范学院学报, 2007, 27(1): 31~37
- 张昭军. 程朱理学与湘军集团[J]. 求索, 2007, (1): 199~203
- 姚文放. 宋明思想大潮中的泰州学派美学[J]. 学术月刊, 2007, 39(12): 98~104
- 宋志明. 新理学对朱子理学的继承与发展[J]. 四川师范大学学报——社会科学版, 2006, 33(2): 5~7
- 傅小凡. 贯通形上形下的努力:试论真德秀对朱子理学本体论的发展[J]. 合肥学院学报——社会科学版, 2007, 24(3): 24~29
- 张品端. 朱子理学对法国启蒙思想家的影响[J]. 东南学术, 2004, (2): 117~123
- 何治亮. 本体论与认识论中的沉积盆地[J]. 中国西部油气地质, 2006, 2(1): 8~14
- 庞雄奇,陈发景. 含油气盆地地史、热史、生排烃史数值模拟研究与烃源岩定量评价[M]. 北京:地质出版社, 1993
- 王松琴,何灿群. 感性工学:以用户为导向的工效学技术[J]. 人类工效学, 2007, 13(3): 47~50
- 马永生,楼章华,郭彤楼等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 406~417
- Magoon L B. 含油气系统研究现状和方法[M]. 杨瑞召译. 北京:石油工业出版社, 1992
- 赵文智,何登发. 石油地质综合研究导论[M]. 北京:石油工业出版社, 1999. 3~149
- 徐旭辉,高长林,江兴歌等. 中国含油气盆地动态分析概论[M]. 北京:石油工业出版社, 2008
- 徐旭辉,江兴歌,朱建辉. TSM盆地模拟——在苏北溱潼凹陷的应用[M]. 北京:地质出版社, 1997
- 徐旭辉,江兴歌,朱建辉. 断陷—拗陷原型迭加系统的生烃史:以苏北盆地溱潼凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 225~230

(编辑 韩 或)