

康玉柱. 全球油气地质几个重大问题的思考[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 811-818.

Kang Yuzhu. A discussion on some key problems about the global petroleum geology[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 811-818(in Chinese with English abstract).

## 全球油气地质几个重大问题的思考

康玉柱

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 经多年研究和实践, 认为全球有关油气地质差别很大, 从地壳运动动力、海陆变迁与大陆地块形成演化、原型盆地类型、油气资源潜力及油气发展战略和方向出发, 提出几个重大问题进行初步讨论, 如地球构造运动起源、地球海陆变迁特征、古生界变质作用、矿产资源形成与破坏、油气战略思考和调整方向。多年来, 对上述几个重大问题的探索和科学研究, 特别对全球油气勘探发展战略和方向具有重大指导意义。

**关 键 词:** 全球油气地质; 构造运动; 海陆变迁; 油气资源

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)04-0811-08

## A discussion on some key problems about the global petroleum geology

KANG Yu-zhu

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on years' study and practice, the author considers that conditions of global petroleum geology are varied. In the light of dynamic mechanism of plate motion, type of ancestral basin, hydrocarbon resource potential, development strategy and trend for the oil-gas resources, the authors put forward some important problems for tentative discussion, which include original unity of mechanisms of global tectogenesis, sea-land changes, Palaeozoic metamorphism, formation and destruction of resources and development strategy and trend for the oil-gas resources. The study and discussion of these problems in recent years are of important guiding significance especially for development strategy and trend for the oil-gas resources.

**Key words:** global petroleum geology; tectogenesis; sea-land changes; oil and gas resources

**About the first author:** KANG Yu-zhu, male, born in 1936, professor, academician of Chinese Academy of Engineering, mainly engages in the study of petroleum exploration and structural geology; E-mail: kangyz.syky@sinopec.com.

收稿日期: 2015-05-05; 改回日期: 2015-05-21

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120965)资助。

作者简介: 康玉柱, 男, 1936年生, 教授级高级工程师, 中国工程院院士, 主要从事石油勘探和构造地质综合研究;

E-mail: kangyz.syky@sinopec.com。

## 1 地球运动的起源

李四光先生指出地球自转速度变化是地球运动的重要动力。一个旋转物体的角动量是守恒的<sup>[1-3]</sup>, 一般用公式表示如下:

$$wI=C$$

式中:  $w$  为旋转物体的角速度;  $I$  为旋转物体绕其旋转轴的转动惯量;  $C$  为常数。

当  $I$  发生变化时,  $w$  必以反比例发生变化, 就是说, 当  $I$  减小时,  $w$  必然增大。如果地球的质量向地球的中心移动时,  $I$  就必然减小。这种变化, 可能起源于几种不同的作用: ①整个地球收缩(收缩论); ②在地壳上显现出来的大规模沉降(垂直运动论); ③在地球内部可能发生的重力分异运动和密度不等的熔岩的对流, 等等。不管哪一种假定接近于实际, 只要这些作用中的任何一种, 或在它的某一阶段, 能够让地球的质量向它的中心收敛达到一定的程度, 地球的角速度也就会加快到一定程度, 以致地球整体的形状不得不发生变化。在地球的表层或地壳的上层, 当抗拒这种变化的强度小于地球内部时, 特别是等地温面上升时, 一定强度的水平力量就容易在地壳上层产生推动效果, 以适应地球新形状的要求。很明显, 这种作用所引起的力量, 是由于地球角速度加快而加大的离心力和重力的综合作用而产生的水平分力。这个水平分力恰恰符合于地壳中某些部分水平运动的要求, 特别是形成山字型构造的要求。

同时, 地壳或者它的上层对它的基底固着的程度, 不是均匀的。假如地壳表层2个相毗连的部分, 不以同一步调随着地球的旋转加速前进的话, 那么这2个部分之间, 就会发生指向东西的挤压或张裂。如果在东面的部分不像在西面的部分那样随着地球的旋转加快而变快, 它们之间就会沿着南北向伸展的地带, 在水平面上发生挤压和扭裂。如果在西面的部分不像在东面的部分那样随着地球的旋转加快而变快, 它们之间就会沿着南北伸展的地带, 在水平面上发生张裂和扭裂。在这种情况下, 走向大致为北东和北西的两组裂面, 由于地球角速度的变化, 不仅走向为东西的构造体系和山字型的构造体系等等可以伴随产生, 而且走向南北的构造体系, 也可以随之产生。

根据角动量守恒的原则, 当地球角速度变小时, 绕其旋转轴的转动惯量就应该增大, 即它的质量的分布应该向外扩散, 亦即它的体积涨大或密度较小的物质大规模向地球上移动。关于地球转动惯量的变更引起角速度变化的看法, 30余年前, 在中国和匈牙利(施密特)不约而同地被提出, 不能说是偶然的。中国西南部及世界其他地区二叠纪时发育大量玄武岩流; 自古近纪初期以来, 在印度半岛就出露有面积约  $100 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上的德干暗色岩; 另外, 印度洋西部地区、大西洋北部许多地区、太平洋区所广泛分布的基性岩流以及在各个大规模造山运动时代侵入地壳上部各种密度较大的火成岩床和岩体等等, 都是地壳以下或地壳下部密度较大的物质大规模上升的陈述。

当地球中质量的分布发生变化, 同时又不断受到潮汐作用的影响, 从而使它的角速度变小时, 地球的扁度就会过大, 不能适应它的自转速度的要求, 因此, 就可能发生走向东西和走向南北的断裂和褶皱。

那么, 地球的角速度是否发生过变化? 古代日食的记录和近代若干天文家的观测, 对这一问题的答复是肯定的。他们大多认为地球的角速度有变慢的总趋势。实际上, 历史记录证明, 地球自转的速度是时慢时快的。在它的种种快慢变化中, 有一种“不规则”的变快变慢。虽然在历史时期, 这样不规则的变化程度不大, 但是我们并没有利用这种历史时代的变化来衡量地质时代可能发生的变化。就是说, 我们没有理由排除这种可能: 即在地质时代中, 地球自转速度的变化累积起来, 有时超过了地球表面形状还能保持平衡的临界值, 因此, 我们没有理由断定, 地球质量的集中达到让地壳表层发动运动的临界状态以前, 就会停止。

### 1.1 天体对地球的影响

地球的角速度改变和地壳中以及地壳下逐渐具备发动定向运动的条件的原因, 可能来自与地球有密切联系的天体, 特别是月球和太阳; 也可能来自地球自身的内部。先讨论来自天体方面的可能: 就地壳定向运动的要求来看, 一部分天体力学家, 其中如大家所熟悉的有泰勒、约理、李奇科夫等, 都认为月球对地球所发生的潮汐作用是地壳上发生构造运动的总原因。关于太阳的活动可能影响地壳运动的设想, 若干前苏联天文学家和天文地质学

家曾提出了论证。埃根松认为太阳的活动影响地球的角速度,司那尔斯基认为太阳的活动与地球磁场的强度的变化有关<sup>[1]</sup>。司那尔斯基应用了磁场削弱时,解脱了磁性的物质就会发热的假设和地球磁场变化的11年周期与太阳活动的11年周期相应的事实,他认为地壳中等温面的上升和下降,不是使这个磁场强度发生变化的原因,而是结果。这一新颖的假设,提出了磁场强度的变化在地壳中怎样创造条件使构造运动成为可能。

### 1.2 来自地球自身内部的原因

大家知道,地壳中广泛散布着放射性物质,这些放射性物质都不断地发热,在地表的温度大致不变,并且在岩石的传热率和地热梯度的一定条件下,地壳下部的温度就有逐渐增高的可能。约理抓住了这种可能性,做出了地壳下部的岩石大约每3000万年的时间就会发生一次熔解的结论。施密特在他的《地壳起源论》中<sup>[4]</sup>,关于放射性物质对地球的热历史的重要性,有更大的发展。在早期应用矿物的放射性鉴定地球年龄的霍姆斯<sup>[5]</sup>,在这一方面做了大量的工作。看来地壳中放射性元素的存在和它的热态毫无疑问是有密切关系的。可是,放射性元素在地壳各部分乃至地壳以下究竟是如何分布,却是悬而未决的问题。单从若干类型岩石标本的放射性来断定放射性物质在地壳中和地壳以下的分布规律是不可靠的。正如克拉斯可夫斯基所指出的那样,过去在地球各处所测定的有关地球热态的各项数据,有很多是不可靠的。

在这种情况下,约理和其他地质学家假定放射性元素在地壳中按一定规律分布所提出的等地温面变化的程度,都需要加以严密的检查和研究<sup>[1]</sup>。这种作用,主要是为地壳定向运动创造条件。因此,地球内部温度差异可导致地壳局部运动。

### 1.3 地壳厚度、密度的差异造成的地应力

在地球自转的过程中,由于地壳厚度和密度的不同而形成了挤压和拉张应力,这一应力会造就出各种构造变形。在随地球自转的过程中,地壳厚度大和岩石密度大的地区,对地壳厚度薄和岩石密度小的地区就会产生挤压应力而造成相应的变形。

### 1.4 地球内部圈层构造

地球本身由内向外具有圈层构造,内部为地心,主要为极高温岩浆,向外为地幔,外部为地

壳。在地球自转过程中三个圈层构造固结状态不同,如球心为流体状态的浆,地幔为半流体状态,外部地壳为固体。因此,它们之间造成速度差,加上南北极与赤道运动速度也不同,故它们之间也产生地应力作用。

### 1.5 大陆(地块)在地质历史演化中是不会漂移的

在20世纪20年代早期,魏格纳重新包装后提出大陆漂移的假说曾流传一时;到现在还有个别人认为大陆可漂移<sup>[5]</sup>。

笔者根据地球运动应力的产生、地壳运动的特征及近百万年来地壳上发生的构造运动、大地震、海水进退、火山喷发等各种现象,认为地球上各陆块(地块)不能产生大规模的漂移,只能是由于水平挤压力造就深大断裂活动,产生的上升沉降作用、走滑作用和俯冲作用。特别当张性深大断裂拉开后,地幔内的岩浆会发生侵入或喷出;随后它们像凝胶一样将断裂封住。大陆地块在地质历史时期中变化多端。这种变化主要不是地块本身大距离位移变化,更不是大陆在漂移,而是海洋在变迁。海水的进退使各陆块被海水淹没程度和大陆出露的程度在变迁,也就是说,海洋变迁造就了各陆块的变迁。如2011年日本福岛地震发生的大规模海啸淹没了不少陆地,而使日本岛陆地面积变小,但这不是日本岛在漂移。由此推断,在漫长的地质历史中各地块的变化位移主要是海陆变迁的结果。

当然,由于地应力作用产生的深大断裂具有如下特征:①挤压性,可以使一部分地块俯冲到另一个地块之下;②挤压可以造山(隆起);③走滑断裂,可以使断裂两盘滑动几千米,但这种相对运动,对地球整体而言,都属于局部的运动。而在一定历史时期中,海洋变迁才会对陆块变迁影响最大,如不同时期各大陆的变迁。

## 2 全球海陆变迁特征

通过对全球各地质时代沉积岩分布及构造运动状况及不同时间剥蚀量大小等因素分析认为,震旦纪陆地面积较大,早古生代寒武纪陆地面积最少,海洋面积最大。奥陶纪陆地比寒武纪增加。志留纪是早古生代陆地面积最大的时期。晚古生代泥盆纪陆地面积最小,二叠纪陆地面积最大,中生代以来陆地面积在不断增加,海水面积在不断缩小。



古近纪已初步形成了现今几大洲陆地的雏形<sup>[1,6,7]</sup>。海陆变迁的主控因素:海陆变迁绝对不是大陆在漂移,是由以下几个因素作用所致:

第一,地壳地应力挤压作用使地壳不同部位抬升,另一部分沉降。海水流向沉降区,隆起变成陆地。地壳抬升和沉降运动,在不断的和不均衡进行着,所以海水进退在相应进行。另外,影响全球海水进退的因素还有全球冰期海水面积变小,陆地面积增大,如晚震旦世、晚奥陶—早志留世、晚石炭世—早二叠世、早第四纪等(图1~4)<sup>[8-10]</sup>。

第二,地应力作用使地壳产生多方向大型断裂,促进地壳相对运动如沿断裂相对升降或相对平移,促进地块相对抬升和沉降或平移运动。

### 3 全球古生界未发生过区域性变质作用

近年来,对中国及全球主要造山带和大型盆地油气地质调研后,有些专家学者认为不少古生界发生区域变质作用<sup>[11-19]</sup>。经过研究过发现这些造山带或盆地古生界未发生过区域变质作用。如中国东北大兴安岭、长白山造山带、新疆的阿勒泰、天山、昆仑、阿尔金、祁连山—秦岭等造山带内,仅在大型断裂带和岩浆岩接触带附近,古生界沉积岩发生了局部动力或热力变质作用。动力及热力变质作用,一般宽度5~50 m,最宽可达上千米。远离断裂带及

接触带未发现变质作用,动力变质的岩性不一,多为千枚岩、板岩,部分可成为片岩类。

在中国各大型沉积盆地(松辽、渤海湾、南华北、鄂尔多斯、四川、准噶尔、塔里木、柴达木、走廊、江汉等盆地)古生界未发生区域变质作用。俄罗斯东、西伯利亚盆地古生界为一套海相—海陆交互的碳酸盐岩及碎屑岩沉积未发现区域变质作用。相当于震旦纪的里非期,未发现任何变质作用。北美洲大陆的美国、加拿大主要大型盆地古生界未发现区域变质作用<sup>[20-26]</sup>。

## 4 全球主要含油气盆地类型划分

全球地质构造十分复杂,多构造体系发育,形成了7大地块,发育上千个盆地。以盆地结构特征为本,将盆地划分为3大类型:古生代克拉通盆地、中生代断陷盆地和中生代前陆盆地。各盆地之间,地质条件和成藏条件差别较大,要想阐明油气分布规律,经多年研究和实践认为,以盆地类型为基础,以油气成藏因素为核心,以构造体系控油为条件,油气藏主要分布于古生代克拉通盆地、中生代断陷盆地和中生代前陆盆地<sup>[22-30]</sup>。

### 4.1 古生代克拉通盆地

克拉通盆地,系有广泛沉积、规模较大,以浅海沉积为主,构造活动相对稳定,岩浆活动较弱,多成为碟状、大而平缓的沉积盆地。该类盆地主要发育

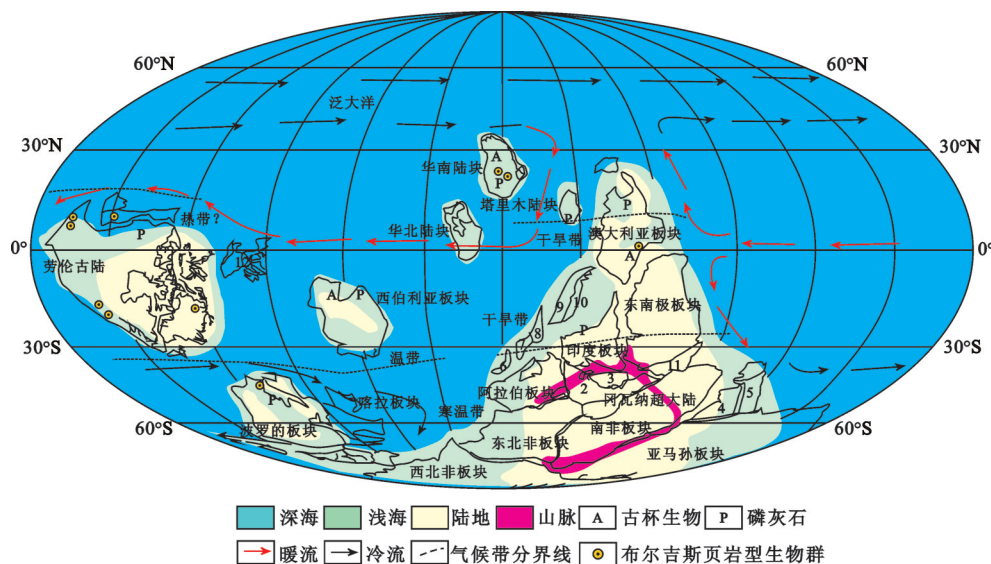


图1 早—中寒武世(530~500 Ma)全球沉积相图<sup>[9]</sup>

Fig.1 Sedimentary facies of Lower-Middle Cambrian (530~500 Ma) of the earth

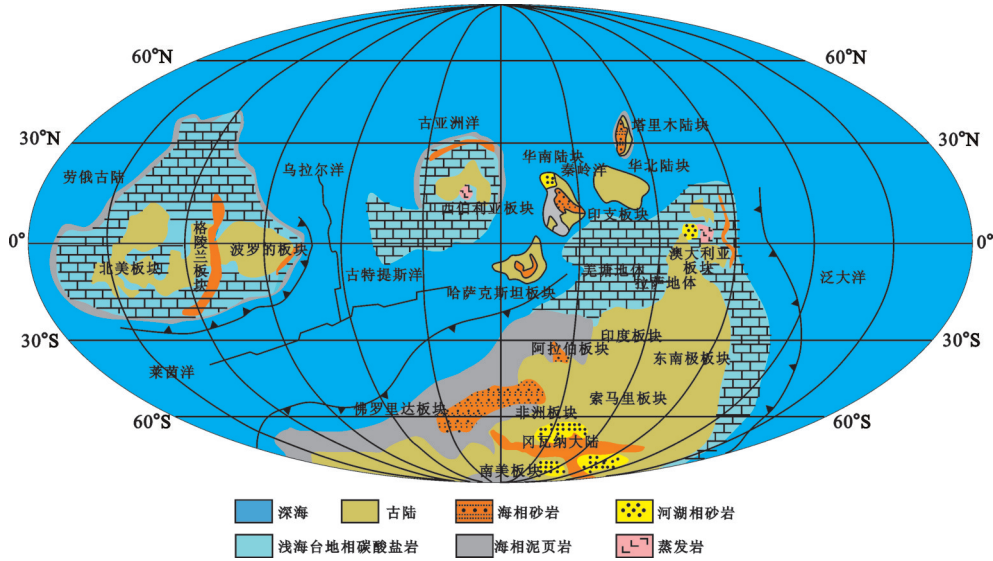


图2 早—中志留世(443~428 Ma)全球沉积相图<sup>[9]</sup>  
 Fig.2 Sedimentary facies of Lower-Middle Silurian (530~500 Ma) of the earth

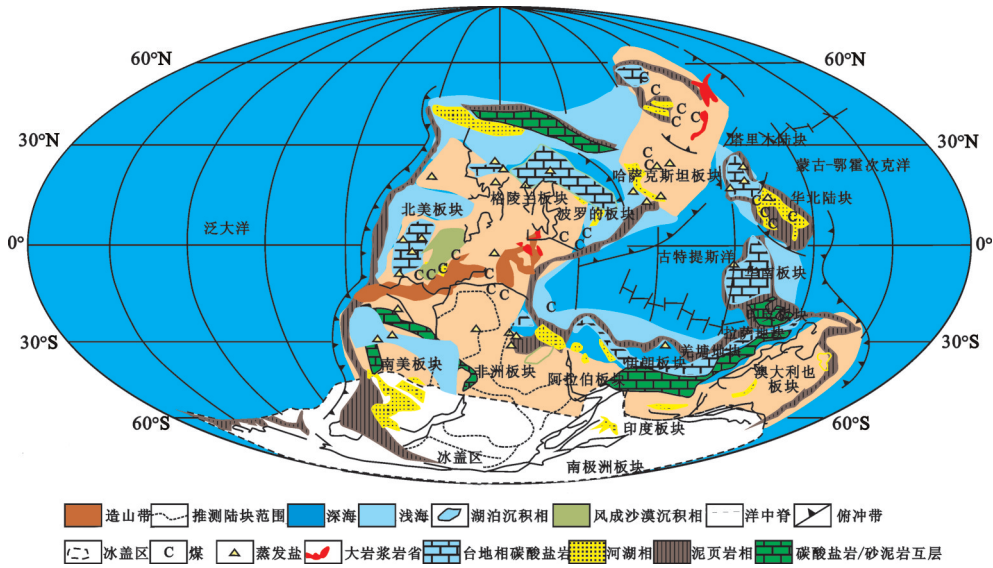


图3 晚石炭世(331~299 Ma)全球沉积相图<sup>[9]</sup>  
 Fig.3 Sedimentary facies of Late carboniferous of the earth

在古生代和中生代早期。全球克拉通盆地分布广泛,在各大地块均有,如中国塔里木、四川、鄂尔多斯,俄罗斯西伯利亚,美国密执安、二叠盆地,中东波斯湾,非洲利比亚等。

#### 4.2 中生代断陷盆地

断陷盆地,是在拉张背景下受地壳和岩石圈伸展、变薄作用下,在正断裂控制形成的,一般经历早期断陷、晚期拗陷2个阶段。全球断陷盆地十分发育且

主要发育在中生代。随着断陷发展,基底滚动式沉降,造成挠曲顶部的塌陷,形成复杂的块断结构。

#### 4.3 前陆盆地

前陆盆地,是造山带隆升向台内逆冲形成前缘拗陷。全球前陆盆地有2大类,海相前陆盆地和陆相前陆盆地。其充填物主要来源于相邻造山带,沉积剖面为箕状,厚度从造山带向台内变薄。这类盆地主要发育中生代,集中在中国西部,中东、俄罗

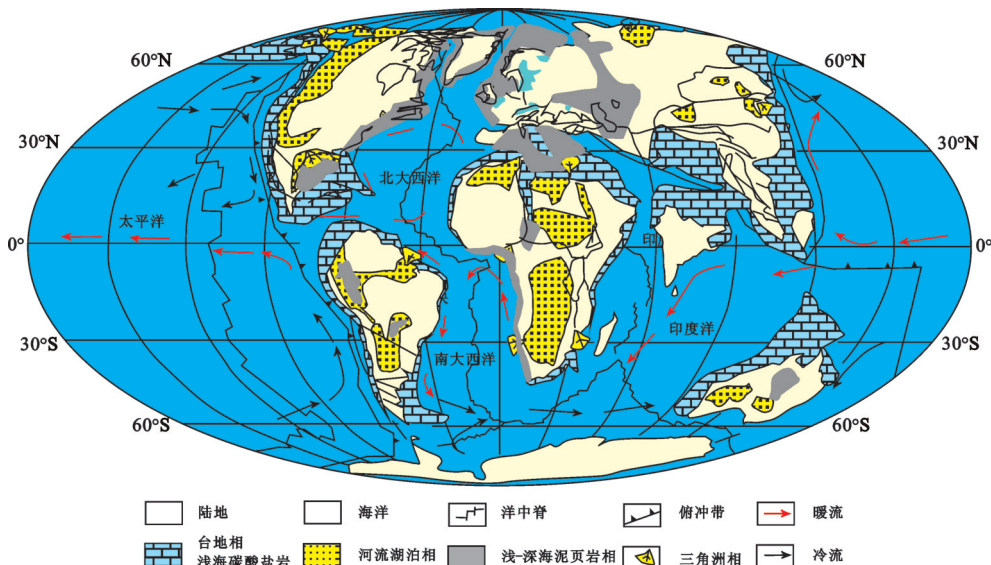


图4 始新世(58~49 Ma)全球沉积相图<sup>[9]</sup>

Fig.4 Sedimentary facies of Late Eocene (58~49 Ma) of the earth

斯、美洲、非洲等地区。

## 5 油气及矿产资源的生成和破坏从未停止过

地球的运动和在地球上的生物、矿物, 每时每刻都在变化、发生着生存—发展—灭亡的全过程。地球的地质年代以百万年为单位记录着历史变迁, 有些生物和矿物变化时间很漫长, 人类生活的几十年瞬间的没有察觉而已。

### 5.1 石油、天然气的生成与破坏无止境地进行着

有人说油气是不可再生的资源, 从节约能源的角度出发还可以理解。但从理论和实践上讲是错误的说法, 油气可以再生的依据如下:

(1) 一些海洋中不断有气泡产生。如中国渤海湾、东海、北部湾, 美国的西海岸气泡不断从海底出来, 第一是海洋在不断生成天然气; 第二, 气藏被破坏所致。

(2) 中国柴达木盆地中部第四系天然气田的出现, 更说明新生代天然气生成。

(3) 中国东部沿海地区第四系沼泽气普遍存在。

(4) 世界上在一些造山带前缘的新生代地层中发现泥火山, 不断向外排气, 如: 准噶尔盆地南缘独山子地区古近—新近系多处有泥火山, 显示该地区天然气藏已被破坏和正在被破坏的重要标志。

(5) 构造运动是油气成藏和破坏的关键因素, 研

究表明自古生代以来在全球有过4次油气成藏过程和多次油气藏破坏的过程。如塔里木盆地自早古生代至今有4次成藏期, 如晚加里东—早海西、晚海西、印支—燕山期及喜山期。中国已发现3次油气藏破坏期。发现多个大型古油藏如贵州麻江古油藏是印支期被破坏形成的。准噶尔克拉玛依大型沥青脉为古近—新近纪古油藏破坏形成的, 塔里木盆地志留—泥盆系沥青砂岩为海西晚期古油藏被破坏的结果。

### 5.2 所有矿产的成矿和破坏从未停止过

(1) 地球上的沉积作用时刻在进行着, 沉积过程中的矿产形成也在不停的进行着, 如海洋中沉积矿产, 湖泊中、河流中的沉积矿产一直在形成着。

(2) 火山喷发的过程亦是有关金属矿产形成的过程, 火山喷发一直未停止过, 与其有关的矿产也在形成中。

(3) 岩浆岩侵入地壳的过程中可形成多金属矿床。

(4) 构造运动使大陆造山带长期隆升剥蚀, 导致原生矿产暴露地壳被风化淋滤而破坏, 这一过程也从未停止过。

总之, 地球上的油气和矿产资源生成和破坏, 从未停止过, 而且还要进行下去。

## 6 油气资源勘探开发的战略思考

全球油气勘探开发处于高峰期, 该高峰期至少到2050年, 那么对这段时期内油气勘探开发形势如



何认识?

### 6.1 全球油气勘探开发程度低

近年来全球油气勘探开发以中生界为主,古生界油气勘探程度低,古生界勘探区域较小,只有美国、中国、俄罗斯、加拿大等一些国家和地区进行不同程度的勘探开发工作,其他广大地区工作甚少。其次,海洋勘探程度低,海洋面积总体大于陆地面积2倍,但由于工作和技术条件限制已实施勘探的面积很小。仅在各大陆沿海附近进行勘探,远离大陆,特别是深海勘探工作较少。最后,非构造类型油气勘探程度低。据国土资源部统计,在全球389个盆地中,有146个盆地处于中—高勘探阶段,有196个盆地处于中等勘探阶段,有47个盆地处于低勘探阶段。

### 6.2 全球油气资源潜力巨大

全球常规油气待发现的油气资源,据美国能源署(EIA)和美国地质调查局(USGS)评价,全球石油可采资源是5653亿桶,液态天然气可采资源为1667亿桶<sup>[31-35]</sup>。全球非常规油气可采资源为8568亿t油当量,而且全球非常规油气勘探才刚刚起步;古生界分布广、勘探程度低,但古生界油气资源大于中、新生界;海域中的油气资源是陆上的1~2倍,特别是深海油气资源丰富。因此,全球油气资源潜力巨大。

### 6.3 油气资源勘探开发趋势

针对当前油气勘探进展和趋势,从勘探开发地质层位选取上,应该由中生界大步跨向古生界,寻取油气战略突破。从勘探开发区带扩展方面,应有较为单一陆地勘探转向海—陆,甚至深水区,力争实现油气勘探领域多元化。从储油气层到生油气层,从局部圈闭到大面积储集层,从构造油气藏、岩性油气藏到非常规“连续型”油气聚集,从高点找油气到下洼、下坡找油气,从常规油气资源到非常规油气资源,非常规油气从起步到发展,2050年后逐步实现接替,已经成为全球油气勘探的趋势。

## 7 结 论

(1)论述了李四光地质力学理论方法的现代意义,积极地探讨和论述大陆地壳水平运动问题,并结合中国大陆实际,发展了陆内碰撞变形理论,全球大陆构造体系在内的地质力学理论和方法。

(2)以盆地类型为基础,以油气成藏因素为核心,

以构造体系控油为条件,油气藏主要分布于古生代克拉通盆地、中生代断陷盆地和中生代前陆盆地。

(3)从全球构造运动的特征、海水进退的变化、沉积地层的形成与展布特征、盆地的形成等诸方面论述了油气资源的形成与分布关系,并提出油气勘探进展和趋势。

**致谢:**审稿专家对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

### 参考文献(References):

- [1] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 7.  
Li Siguang. Introduction to Geomechanics[M]. Beijing: Science Press, 1973: 7(in Chinese).
- [2] 李四光. 区域地质构造分析[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 11.  
Li Siguang. Analysis of Regional Tectonics[M]. Beijing: Science Press, 1974: 11(in Chinese).
- [3] 李四光. 地质力学方法[M]. 北京: 科学出版社, 1976.  
Li Siguang. Geomechanical Technique[M]. Beijing: Science Press, 1976(in Chinese).
- [4] 戈尔德施密特. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1954.  
Goldschmidt V M. Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1954 (in Chinese).
- [5] 魏格纳. 海陆的起源[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.  
Wegener. The Origin of Sea and Continent[M]. Beijing: Peking University Press, 2006(in Chinese).
- [6] 童晓光, 关坛森. 世界石油勘探开发图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.  
Tong Xiaoguang, Guan Tansen. The Atlas of Exploration and Exploitation of Petroleum in the World[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002(in Chinese).
- [7] 康玉柱, 黄有元, 黎邦荣, 等. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 北京: 地质出版社, 1992.  
Kang Yuzhu, Huang Youyuan, Li Bangrong, et al. Oil and Gas Fields in Paleozoic of Tarim Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992(in Chinese).
- [8] 李国玉. 世界石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 2.  
Li Guoyu. Worldwide Oil Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 2(in Chinese).
- [9] 李江海, 姜洪福. 全球古板块再造、岩相古地理及古环境图集[M]. 北京: 地质出版社, 2013.  
Li Jianghai, Jiang Hongfu. The Atlas of Paleo - plate Reconstruction, Lithofacies Paleogeography and Palaeoenvironment in the World [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013(in Chinese).
- [10] 李国玉, 金之钧. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.  
Li Guoyu, Jin Zhijun. The Atlas of Petroliferous Basins in the World[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005(in Chinese).
- [11] 黄汲清. 中国大地构造特征研究[M]. 北京: 地质出版社, 1984.  
Huang Jiqing. Research of the Tectonic Characteristics of

- China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984(in Chinese).
- [12] 康玉柱. 油气地质力学[M]. 北京: 地质出版社, 2013.  
Kang Yuzhu. Petroleum Geomechanics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013(in Chinese).
- [13] 康玉柱. 中国主要构造体系与油气分布[M]. 新疆: 新疆科技卫生出版社, 1999.  
Kang Yuzhu. The Relation between the Dominant Structural Systems and the Petroleum Distribution in China[M]. Xinjiang: Xinjiang Science and Hygiene Publishing House, 1999(in Chinese).
- [14] 任纪舜. 中国大地构造及其演化 1: 400 万中国大地构造图简要说明[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 12.  
Ren Jishun. The Geotectonic Evolution of China[M]. Beijing: Science Press, 1980: 12 (in Chinese).
- [15] 关士聪. 中国海陆变迁、海域沉积相与油气[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 3.  
Guan Shicong. Chinese Sea-Land Changes, Marine Sedimentary Facies and Petroleum[M]. Beijing: Science Press, 1984: 3(in Chinese).
- [16] 康玉柱, 孙红军, 康志宏, 等. 中国古生代海相油气地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2011.  
Kang Yuzhu, Sun Hongjun, Kang Zhihong, et al. Paleozoic Marine Petroleum Geology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011 (in Chinese).
- [17] 康玉柱. 中国古生代海相成油特征[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技出版, 1995.  
Kang Yuzhu. Oil Generation from Paleozoic Marine Facies in China[M]. Urumqi: Xinjiang Technique Press, 1995(in Chinese)
- [18] 康玉柱, 蔡希源. 中国古生代海相成油形成条件与分布[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技出版社, 2002.  
Kang Yuzhu, Cai Xiyuan. Formation and Distribution of Paleozoic Marine Petroleum Reservoir in China[M]. Urumqi: Xinjiang Technique Press, 1995(in Chinese).
- [19] 康玉柱. 中国主要盆地油气分布规律及勘探经验[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技出版社, 2004.  
Kang Yuzhu. The Distribution and Exploration of Petroliferous Basin in China[M]. Urumqi: Xinjiang Technique Press, 2004(in Chinese).
- [20] 甘克文, 胡见义. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.  
Gan Kewen, Hu Jianyi. The Atlas of Petroliferous Basin in the World[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992(in Chinese).
- [21] 王志欣, 金之钧. 西伯利亚地台及其边缘拗陷油气地质特征[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.  
Wang Zhixin, Jin Zhijun. Petroleum Geologic Features of Depression in Siberian Platform and Margin[M]. Beijing: China Petroleum Chemical Press, 1997(in Chinese).
- [22] 白国平. 中东油气区油气地质特征[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.  
Bai Guoping. Petroleum Geologic Features of the Middle East[M]. Beijing: China Petroleum Chemical Press, 2007(in Chinese).
- [23] 刘洛夫, 朱毅秀. 滨里海地区油气地质特征[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.  
Liu Luofu, Zhu Yixiu. Petroleum Geologic Features of Caspian Basin[M]. Beijing: China Petroleum Chemical Press, 2007(in Chinese).
- [24] 金之钧. 亚洲石油与地质特征与油气分布规律[M]. 北京: 中国石化出版社, 1997.  
Jin Zhijun. Petroleum Geologic Features and Distribution of Petroleum in Asia[M]. Beijing: China Petroleum Chemical Press, 1997(in Chinese).
- [25] 胡见义, 徐树宝. 东北亚地区含油气远景评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.  
Hu Jianyi, Xu Shubao. Longrange Evaluation for Oil-Bearing in Northeast Asia[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996(in Chinese).
- [26] 关增森. 非洲油气资源与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.  
Guan Zengsen. Oil & Gas Resources and Exploration in Africa[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007(in Chinese).
- [27] 熊利平, 王骏, 殷进垠. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 641-646.  
Xiong Liping, Wang Jun, Yin Jinyin. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation in West Africa[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 641-646(in Chinese with English abstract).
- [28] 胡文海. 美国油气分布规律和勘探经验[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.  
Hu Wenhai. Petroleum Distribution and Exploration in America[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995(in Chinese).
- [29] 吴耀文. 世界产油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.  
Wu Yaowen. The World's Field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995(in Chinese).
- [30] 康玉柱, 张大伟, 赵先良, 等. 中国非常规油气地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2015.  
Kang Yuzhu, Zhang Dawei, Zhao Xianliang, et al. Unconventional Petroleum Geology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015(in Chinese).
- [31] Steve S, Richard M, Roger B, et al. Oil futures: A comparison of global supply forecasts[J]. Energy Policy, 2010, 38(9): 4990-5003.
- [32] U. S. Geological Survey (USGS). U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000—Description and Results. U. S. Geological Survey (USGS) Digital Data Series 60 [EB/OL]. 2000. <http://pubs.usgs.gov/dds/dds-060/>.
- [33] U. S. Geological Survey (USGS). An Estimate of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources of the World[EB/OL]. 2012. <http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3042/fs2012-3042.pdf>.
- [34] McGlade C E. A review of the uncertainties in estimates of global oil resources[J]. Energy, 2012, 47(1): 262-270.
- [35] HÖök, Aleklett. Hydrocarbon liquefaction: Viability as a peak oil mitigation strategy[EB/OL]. 2013. <http://mpira.ub.uni->