

Research Status and Advances of Unconformities in Petroliferous Basins

Ying Guo¹, Jinlong Ni², Yong Yang³

¹Institute of Geology and Paleontology, Linyi University, Linyi Shandong

²Shandong Provincial Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

³Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing

Email: guoying@lyu.edu.cn

Received: Nov. 9th, 2018; accepted: Nov. 23rd, 2018; published: Nov. 30th, 2018

Abstract

As the expanding of oil and gas exploration in complex conditions, conventional reservoirs and subtle reservoirs which were related to unconformities had become the major exploration targets. That not only shows a wide exploration prospects, but also puts forward higher requirements for the related theories and applications of unconformities. At present, the studies of unconformities in petroliferous basins are at the relatively rapid development stage, and many theories and methods of comprehensive studies have initially formed. However, owing to actual geological conditions and the cognition degree of different study areas, the research works about unconformities are often lacking of systematicness and universality. In other words, it limits the application and popularization of the research achievements about unconformities. On the basis of literatures studies both at home and abroad, 1) this paper describes the development history and the type of unconformities in petroliferous basins, and carries on its classification; 2) summarizes the unconformities characteristics in geometry, spatial location and time, and analyzes the basic characteristics of unconformities and its space distribution; 3) analyzes the levels of unconformities in the light of the tectonic connotation and its performances; 4) finally, this paper discusses the formation mechanism and its control factors of unconformities in different types of basins and geological conditions, and considers that analyzing unconformities in the actual work needs comprehensive determination of its genesis.

Keywords

Petroliferous Basins, Unconformities, Unconformities Classification, Basic Characteristics, Level of Unconformities, Unconformities Mechanism

含油气盆地地层不整合研究现状及进展

郭颖¹, 倪金龙², 杨勇³

¹临沂大学地质与古生物研究所, 山东 临沂

²山东科技大学山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛

³中国地质科学院地质力学研究所, 北京

Email: guoying@lyu.edu.cn

收稿日期: 2018年11月9日; 录用日期: 2018年11月23日; 发布日期: 2018年11月30日

摘要

随着研究程度不断提高, 油气勘探向着复杂条件不断扩展, 与不整合面有关的常规油气藏和隐蔽油气藏作为油气勘探的主要领域, 显示出广阔的勘探前景, 同时也对不整合相关理论和应用的研究提出了更高的要求。目前, 国内外关于含油气盆地中不整合的研究处于相对快速发展的阶段, 初步形成了利用各种资料综合研究的理论和方法, 但是受限于实际研究区的地质条件和认识程度, 关于不整合的研究工作缺乏系统性和普适性, 在一定程度上限制了研究成果的应用和推广。本文在查阅国内外相关领域研究成果的基础上, 概述了含油气盆地不整合的发展历程、类型划分方案并对其进行了归类; 归纳了不整合在几何形态、空间位置和时间延续等方面的变化特点, 分析了不整合的基本特征及其空间展布规律; 初步总结了不整合等级划分依据及其所代表的构造内涵; 最后探讨了不同盆地类型和地质条件下不整合的形成机制及其控制因素, 提出了实际工作中需要综合各方面资料确定不整合成因的建议。

关键词

含油气盆地, 地层不整合, 类型划分, 基本特征, 级别划分, 成因分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着研究程度不断提高, 油气勘探向着复杂条件不断扩展, 现阶段我国很多油气田已经进入以隐蔽油气藏为主要目标的油气勘探开发阶段[1], 与不整合面有关的常规油气藏和复杂隐蔽油气藏作为油气勘探的主要领域, 占有重要的地位且具备广阔的勘探前景, 这也使得与不整合相关的理论研究和实践应用等工作显得尤为重要[2] [3]。

地层不整合的定义是指上下两套不同时代地层之间, 因发生过沉积间断或者地层剥蚀作用而形成的不协调的地层接触关系。经过油气的长期勘探证实, 沉积盆地的不整合研究对于认识含油气盆地的形成演化、地层圈闭的发育、油气的运移、聚集与保存等方面均具有十分重要的意义[3] [4]。近几十年来, 随着不整合研究的逐步深入, 国内外学者在解析不整合结构[5] [6]、确定不整合分布和剥蚀厚度[7] [8]、恢复原型盆地特征[9] [10]以及探讨不整合对油气成藏的控制作用[11] [12] [13]等方面, 开展了大量卓有成效的工作, 在不整合理论体系的完善以及油气勘探和开发中发挥了重要的指导作用。

当前, 对于含油气盆地中不整合研究的手段日趋丰富, 逐渐形成了利用各种资料综合研究的方法。然而, 这也使得有关不整合的研究工作因百家争鸣而缺乏系统性和规范性, 在某种程度上限制了研究成果的传播和应用。针对以上研究现状及其存在的实际问题, 在调研国内外相关领域研究成果的基础上,

本文主要针对不整合的类型划分、基本特征、级别划分和成因机制等方面,对含油气盆地地层不整合研究现状及进展进行初步总结和深入分析,以期推动不整合研究理论体系的进展及其在油气勘探领域中应用的加强。

2. 不整合的类型划分

地层不整合现象记载的是不整合界面所隔开的上下两套地层之间存在的间断特征,可以表现为构造形态、地层岩性、岩相古地理以及古生物组合等方面的差异性。对于不整合的研究与认识可追溯到 18 世纪,1788 年 James Hutton [14]通过对苏格兰 Siccar Piont 泥盆系老红砂岩覆盖与志留系地层不协调的接触现象进行研究,第一次认识到了地层记录中不整合构造及其所代表的时间间断的意义,然而在当时这一观点和成果并没有引起广泛的关注。20 世纪 30 年代以来与不整合相关的多个油气田被相继发现,才使得关于不整合的研究与应用受到了足够的重视[15]。20 世纪 50 年代之后不整合研究进入了快速发展的阶段,众多学者依据自己工作的需要提出了多种不整合分类方案并取得了丰硕的成果。总体来看,现有的不整合类型划分方案主要有 3 种理论依据:1) 地层接触关系;2) 地层接触关系和地震反射特征;3) 不整合成因、地层接触关系和地震反射特征相结合(表 1)。

依据不整合界面上、下地层间的接触关系划分不整合类型的方案出现较早且容易理解,时至今日仍被国内外许多构造地质学课本所采用。1956 年 Billings [16]依据这一思路,提出了将不整合划分为角度不整合、假整合、局部不整合和非整合的方案。之后, Dunbar 和 Rodgers [17]对其进行修正,主张不整合划分为(角度)不整合、假整合(平行不整合)、准整合(沉积间断)以及非整合等类型。尹赞勋等[18]则认为广义的不整合主要有角度不整合、嵌入不整合、平行不整合和异岩不整合 4 种情况,同时建议将其分别简称为截合、嵌合、平合和异合。陆克政[4]在尹赞勋分类方案的基础上,将截合、平合和异合作为不整合划分的 3 种基本类型,按照不整合起伏、海侵和水域变化、分布范围、不整合界限清楚程度和地理位置等情况在基本类型之前冠以形容词,指示不整合存在的条件、特征和规模等。然而,地质条件的复杂性和多变性使得某些时候单纯从几何形态上界定不整合的类型非常困难,因此很多地质学家至今仍然习惯采用相对笼统的分类方案,即将不整合分为(角度)不整合、假整合、准整合和非整合[19]。

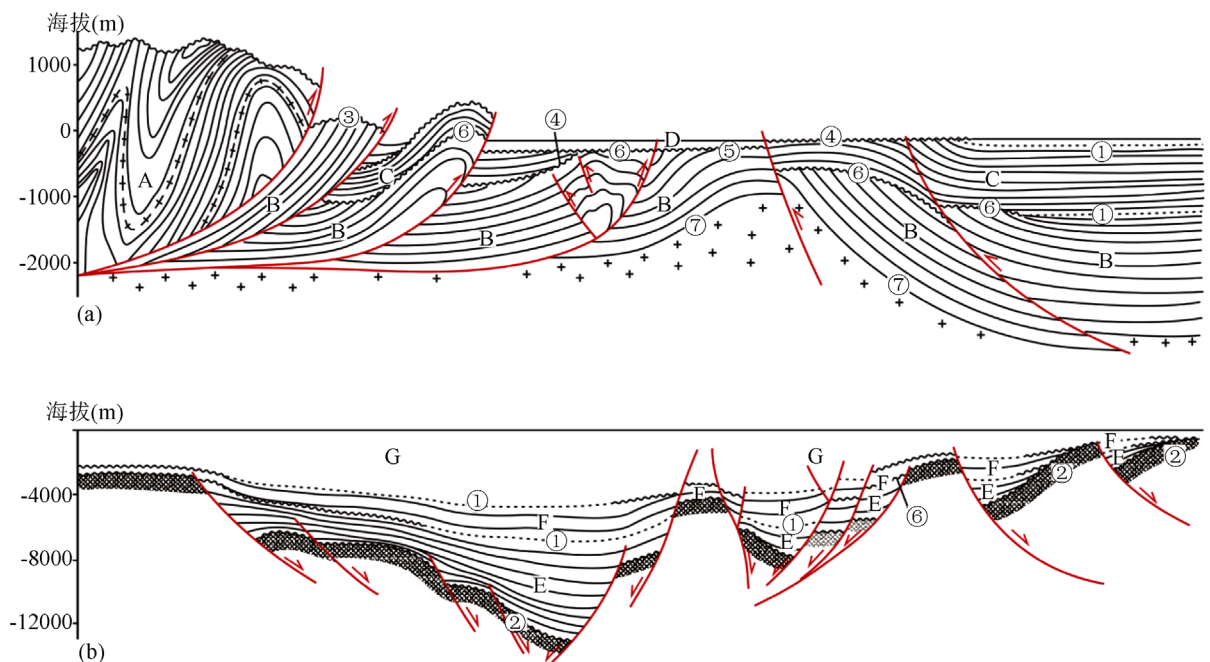
受地震地层学理论影响,侧重于根据地层接触关系与地震反射特征对不整合进行分类的方案逐渐增多。特别是 20 世纪 70 年代以来,地震地层学理论的迅速发展扩展了不整合面上、下地层的叠置样式,同时也丰富了不整合的分类方案。Vail 等[20]在层序地层研究中将不整合分成了整一型(整合)和不整一型(不整合)两种类型,并根据不整合上下地层所表现出的地震反射特征,再将其细分为削蚀、顶超、顶界整一、底界整一、上超、下超等 6 种模式。Brown 和 Fisher [21]认为不整合附近的地层主要表现为削截、上超、顶超和下超等特征,整体上可能有侵蚀型和沉积型两种不整合类型。Visher [22]则将不整合划分为间断、假整合、侵蚀不整合、准整合、角度不整合、非整合以及超覆不整合,然而这样的划分只考虑了不整合之上或之下单方面的因素,没有整体考虑不整合上下地层接触关系,不能满足含油气盆地分析的需要,因此根据地层接触特点提出了一系列新的分类方案。例如,牟中海等[23]在前人研究成果的基础上,借鉴地震地层学的术语将不整合划分为上超/削蚀型、整一/削蚀型、上超/整一型、整一/整一型等 4 种类型;高长海等[2]归纳了平行/褶皱型、平行/削截型、平行/平行型、超覆/褶皱型、超覆/削截型、超覆/平行型等 6 种不整合类型,提出了更为细致的方案。

近二三十年来,以不整合成因、地层接触关系和地震反射特征相结合的标准进行不整合分类的方案逐渐增多,定义了更为丰富的不整合类型。艾华国等[24]研究认为不整合类型包含了褶皱不整合、断褶不整合、平行不整合、削截不整合和超覆不整合等 5 种。吴亚军等[11]结合构造、沉积和复合作用等不整合成因机制将不整合细分成 6 种类型,分别是褶皱不整合、断褶不整合、底辟不整合、超覆不整合、平行

Table 1. Classification of unconformities in petroliferous basin
表 1. 含油气盆地不整合类型分类方案

分类依据	资料来源	发表时间	不整合分类方案	
地层接触关系	文献[16]	1956	角度不整合、假整合、局部不整合、非整合	
	文献[17]	1957	(角度)不整合、假整合(平行不整合)、准整合(沉积间断)、非整合	
	文献[18]	1978	截合(角度不整合)、平合(平行不整合)、异合(非整合)、嵌合(不整合面上下地层平行而接触面不平行)	
	文献[4]	1980	截合、平合、异合(非整合)、嵌合	
	文献[19]	2011	(角度)不整合、假整合、准整合、非整合	
	文献[20]	1977	削蚀、顶超、顶界整一、底界整一、上超、下超	
地层接触关系和地震反射特征	文献[21]	1979	削截、上超、顶超、下超	
	文献[22]	1984	间断、假整合、侵蚀不整合、准整合、角度不整合、非整合、超覆不整合	
	文献[23]	2005	上超/削蚀型、整一/削蚀型、上超/整一型、整一/整一型	
	文献[2]	2013	平行/褶皱型、平行/削截型、平行/平行型、超覆/褶皱型、超覆/削截型、超覆/平行型	
不整合成因、地层接触关系和地震反射特征	文献[24]	1996	断褶不整合、断褶不整合、平行不整合、削截不整合、超覆不整合 构造不整合 褶皱不整合、断褶不整合、底辟不整合	
	文献[11]	1998	沉积不整合 超覆不整合、平行不整合 复合不整合 渐进不整合	
	文献[25]	2006	平行不整合、削截不整合、超覆不整合、褶皱不整合、断褶不整合、伸展不整合(破裂不整合)、生长不整合 超覆不整合	
	文献[5]	2006	退覆/削截不整合 褶皱不整合、断褶不整合、单斜削截不整合、底辟不整合 平行不整合 复合递进型同构造不整合	
	文献[26]	2007	构造成因	削截不整合、褶曲不整合
			火山地震成因	底辟不整合、震积不整合
岩溶成因			古岩溶不整合	
沉积成因			超覆不整合、假整合	
文献[10]	2013	平行不整合	平行不整合、平行侵蚀不整合	
		角度不整合	超覆不整合、单斜不整合、递进的同构造角度不整合、褶皱不整合、断褶不整合	
			异岩不整合(非整合) 异岩褶皱(或单斜)不整合、异岩地层超覆不整合	

不整合和渐进不整合等。尹微等[25]认识到某些分类方案在应用上的不足,将伸展不整合(破裂不整合)和生长不整合的概念引入了不整合分类方案,丰富了不整合的类型样式。然而有学者认为,不整合主要有超覆不整合、退覆/削截不整合、平行不整合和复合递进型同构造不整合四大类,根据研究精度的需要,退覆/削截不整合还可以再分为多个更为精细的类型[26];也有学者重新定义了削截不整合、褶曲不整合、底辟不整合、震积不整合、古岩溶不整合、超覆不整合和假整合等 7 种不整合类型,并将构造作用、火山地震、岩溶和沉积并称为不整合四大成因类型[5]。何碧竹等[10]总结调研前人大量研究成果,提出平行不整合、角度不整合和异岩不整合为不整合的三种基干类型,其中平行不整合包括狭义的平行不整合和平行侵蚀不整合;角度不整合可分为超覆不整合、单斜不整合、递进的同构造角度不整合、褶皱不整合和断褶不整合;异岩不整合包含了异岩褶皱(或单斜)不整合和异岩地层超覆不整合(图 1(a)、图 1(b))。



(a) 挤压型盆地; (b) 裂陷型盆地; A-G 为分别为 7 套地层; ①为平行不整合; ②为超覆不整合; ③为单斜不整合; ④为递进式同构造角度不整合; ⑤为褶皱不整合; ⑥为断褶不整合; ⑦为异岩不整合。

Figure 1. Two-dimensional schematic diagram of unconformities types
图 1. 不整合结构类型二维模式示意图

3. 不整合的基本特征

不整合是一个带有时空属性的概念, 具有几何变量、空间变量和时间变量三个层次的变化[12]。在含油气盆地中, 不整合伴随着盆地的演化在几何形态、空间位置和时间延续等方面呈现多种结构样式, 表现出分层性、继承性和迁移性等基本特征, 多种不整合在空间上的复合或者时间上的叠加还可以组合形成特定的展布规律[11] [27]。

3.1. 不整合的分层性

在垂向上, 构造运动形成的不整合由 3 层“宏观”结构构成, 分别为不整合面的下伏岩层、上覆岩层及其不整合面(上覆和下伏地层之间的接触界面)。大量盆地实例显示, 不整合面的下伏地层一般可能经历了地层掀斜、断裂活动、褶皱作用以及底辟作用等多种构造变形样式, 结合不同构造形式的变形强度、被削截的层位、被剥蚀的厚度以及构造变动之后残余盆地的范围等资料综合分析, 可以定量或者半定量评价区域构造运动的性质、强度和作用范围, 从而表征出不同时期构造运动的特征、时限和内涵[10]。受地质历史时期构造作用的影响, 不整合面之下地层构造变形往往比较复杂, 而不整合面之上地层的层序结构相对较为简单, 一般呈现为超覆、顶超或平行特征[3] [20] [28]。然而从横向上来看, 不整合下伏地层因地层被抬升、剥蚀而使得地表形态形成差异性, 当不整合面形成之后, 再沉积的不整合上覆地层具有如下规律: 1) 紧邻不整合面的初始沉积地层, 往往先充填地势低洼地区再充填凸起或平台地区; 2) 地势低洼地区不整合面上初始沉积物粒度较粗而凸起地区较细; 3) 地势低洼地区不整合面上的初始沉积地层较老而凸起上较新; 4) 由地势低洼地区向凸起方向, 不整合面上初始沉积地层的层序结构具有从超覆向平行逐渐过渡的变化趋势。不整合 3 层结构中的不整合面是一个物理界面, 具有空间上几何形态方面的变化特征, 同时不整合面记录了地层中的沉积间断, 所以它也承载着时间的信息。此外, 该界面又蕴

含了一定的厚度含义，在地质结构上常表现为风化岩石层，其上和其下发育残积层和半风化岩石层，体现了不整合面的“微观”结构，有研究者将其称为不整合结构体或者不整合微观组构[12] [29] [30]。但是，不整合面的“微观”结构有时并不能完整保存，可能缺失部分风化岩石层，甚至缺失半风化岩石，从而造成不整合面“微观”结构划分差异较大。

3.2. 不整合的继承性

不整合的继承性发育是含油气盆地不整合形成演化的一个重要特征。一般而言，一次构造运动可以形成一个不整合面，但一个不整合面却可能并不仅仅代表了一次构造运动的结果，这即体现了不整合继承性发育的构造内涵。不整合的继承性是不整合面在早期构造运动改造的基础上，经后期构造运动继续作用而产生的结果，其最直接的证据就是发育叠合不整合，表现为在同一地区多个不整合面的叠加。

不整合的继承性往往在构造运动强且不整合改造强度大的地区比较多见，比如挤压型盆地边缘或者内部的古隆起、伸展型盆地的中央隆起带等[31] [32]。叠合不整合发育区地层遭受长期和多期强烈隆升剥蚀，指示了地质历史时期中盆地经历了多阶段运动体制的变革、叠加和改造作用。同时，由于叠合不整合存续时间相对较长、受改造的程度较大，在空间上还可以与其他不整合类型构成一定的组合和分布样式。林畅松等[33]通过大量的地质剖面精细解析并结合野外露头的观察，提出了古隆起带不整合的分布模式，认为古隆起带及其邻区不整合的发育呈分带性特征(图 2)：1) 隆起高部位经历长期或多次构造抬升，发育有多个构造不整合叠加复合的现象，称为不整合叠合带。其中，剥蚀范围大、剥蚀厚度大、剥蚀时间较长的不整合一般认为是主要构造变革期的产物；2) 隆起高部位与坳陷区之间的部位，在地震上表现为不整合之下地层被削蚀尖灭或者不整合之下地层向上逐渐超覆尖灭，构成或三角状的不整合组合带，称为不整合三角带；3) 从古斜坡带向坳陷区延伸过渡的区域称为带平行不整合和整合带，不整合面上下产状相同或者趋近于基本相同。

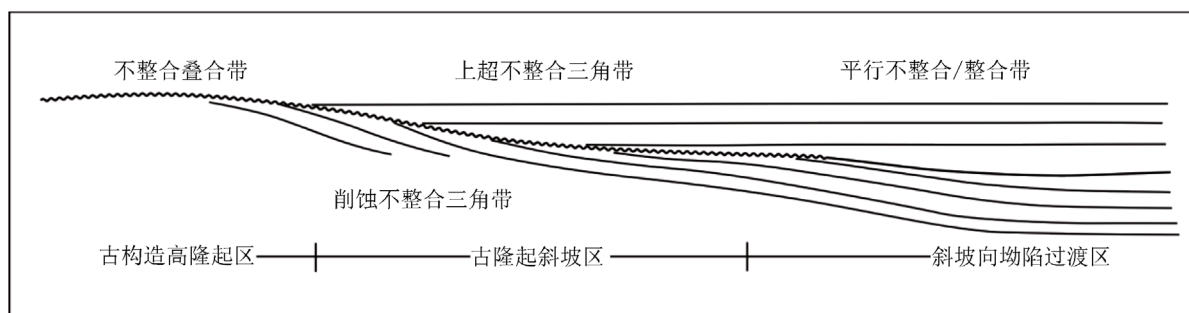


Figure 2. The unconformities distribution patterns of palaeo-uplift belt and its adjacent areas [7] [33]

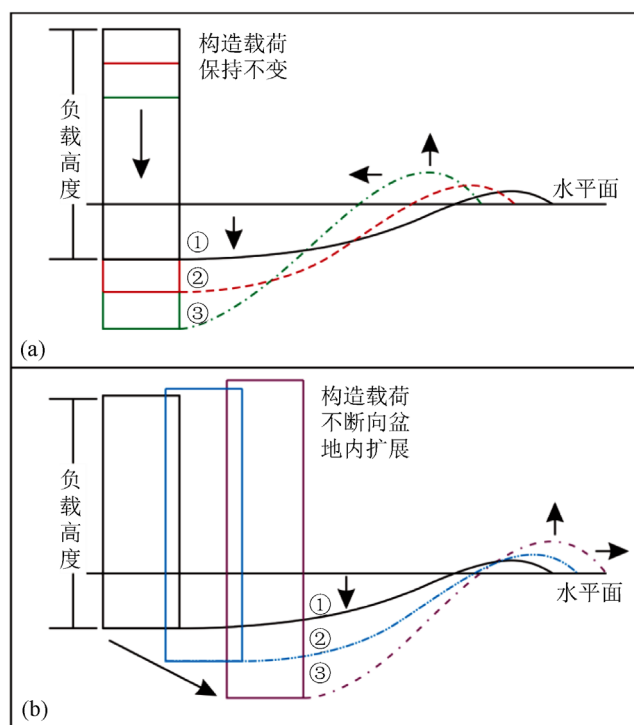
图 2. 古隆起带及其邻区不整合分布模式(据文献[7] [33]改)

3.3. 不整合的迁移性

不整合的迁移性指不同时期相同的不整合类型在地理位置上由成因联系的变化，它是多期构造运动或同期构造运动多次活动的结果[11]，其中，前陆盆地前缘隆起之上不整合的迁移特征最为典型。前陆盆地演化的经典模式认为，岩石圈对造山带构造负载作用的初始弹性响应是在负载附近产生下坳的挠曲盆地，而在远离负载带的方向上，盆地的沉降深度逐渐降低并形成前缘隆起。由于隆起之上构造变动相对强烈，所受的削截程度也相对较高，容易形成明显的不整合构造。在理想条件下，如果岩石圈仅具有弹性层性质，那么造山带的构造负载保持不变时，岩石圈会保持相对的稳定，盆地内前缘隆起不会发生进一步的变形。然而，实际上岩石圈一般表现粘弹性变形性质，特别是在应力长时间的作用之下，岩石圈

深部的流动使板片弯曲产生应力松弛,导致盆地加深,前缘隆起抬升并向构造负载方向运移[34],因此隆起顶部不整合面的位置也随之发生迁移(图 3(a))。

然而在构造研究实例中,受盆地演化历史及差异构造变形的影响,前陆盆地的演化可能还存在另外更为复杂的模式。以塔里木叠合盆地为例,地质历史时期盆地周缘经历多次洋盆闭合和俯冲碰撞作用,每一次收缩作用都会引起新逆冲岩席向前推进加载,使得岩石圈多个挠曲加载过程相互叠加。特别是晚古生代以来褶皱逆冲岩席持续向盆内推进,使得盆地边界不断向盆内收缩[35] [36]。此时,盆地周围造山带的负载不断增加,重力引起的巨大拖拽作用力使得前陆盆地挠曲程度增加,前缘隆起程度也逐渐增大,带动塔西南地区地层不整合向盆地内部迁移(图 3(b))。此外,汤良杰等研究发现叠合盆地在莫霍面之上可能发育深层、中层和浅层 3 个层次的滑脱带,分别控制形成盆山耦合有关的拆离断层、基底层系的滑脱断层和浅层次滑脱构造[37],使得地层呈现多层次差异变形,可能也是促使塔里木前陆盆地系统中前缘隆起向盆内迁移的控制因素之一。



(a) 前陆盆地演化的经典模式; (b) 前陆盆地演化的新模式; ①②③表示前陆盆地演化的先后位置。

Figure 3. Migration patterns of the frontal uplift in foreland basin [34] [35] [36]

图 3. 前陆盆地前缘隆起迁移模式(据文献[34] [35] [36]改编)

4. 不整合的级别划分

地层间的不整合接触关系是构造运动和地质历史的记录,包含了丰富的地质信息。国内外众多学者根据研究的需要,从不同角度对不整合展开了大量的研究,但对于不整合级别划分的工作却涉及较少。目前,不整合级别的划分主要是依据野外露头或地震剖面等资料上所表现出的削截、侵蚀程度、分布范围和侵蚀间断时间长度等特征进行[38] [39]。

以塔里木盆地为例,在现有的研究精度上一般可以划分为 4 个等级[38]。I 级不整合为盆地构造旋回

的分界面, 主要受控于全球大陆或区域板块的拼合和聚敛活动, 一般为盆地级别的不整合。Ⅱ级不整合是盆地演化阶段的分界面, 与区域构造活动或全球海平面变化有关, 一般是盆地级的层序界面。Ⅲ级不整合是区域型层序内部的分界面, 受局部构造活动或区域相对海平面变化影响, 为局部构造活动抬升、变形所形成的不整合, 分布范围相对较小。Ⅳ级不整合是两个Ⅲ级不整合之间发育的次一级的不整合接触面或者沉积间断面, 受到沉积物供应速率(构造幕作用)的变化或小的海(湖)面波动控制。因地震分辨率的限制, 有时Ⅳ级不整合在地震剖面上无法识别, 需要利用钻井、地震和露头等资料进行对比确认。以Ⅳ级不整合为界的沉积层序之间, 无论在沉积格局还是沉积类型上没有明显的变化, 只是在垂向上表现出内部多次的水进-水退旋回式的沉积, 横向上表现为沉积相带的横向迁移和局部的地层缺失。

盆地的构造与层序的演化与不同时期大地构造格局变迁和地球动力学机制转换有关[36] [38], 并最终受天文旋回周期的制约[40] [41], 因此沉积盆地中形成了一系列由不同规模的不整合面所限定的构造层序。曾有学者在塔里木盆地的构造地层层序划分中, 将不整合级别与构造层序级别的对应性进行研究, 认为Ⅰ级不整合即为一级层序的控制界面, 在级别上相当于巨层序(Megasequence)或者巨层序组(Super Sequence set)的边界; Ⅱ级不整合为二级层序的控制边界, 对应于超层序(Supersequence)或超层序组(Supersequence set)边界; Ⅲ级不整合为三级层序的控制边界, 对应于层序(Sequence)或层序组(Sequence set)边界; Ⅳ级不整合为四级层序的控制边界, 对应于层序(Sequence)或准层序组(Parasequence)边界[38]。然而, 薛良清等则认为塔里木盆地构造层序边界等级与不整合分布范围有关, 一级构造层序界面中不整合面占到75%以上, 二级构造层序界面中不整合面分布面积大于50%小于75%, 三级构造层序界面中不整合面分布范围小于50% [39]。另外, 全球含油气盆地层序型式多样, 经历的构造背景也各不相同, 不整合面和地层层序边界是在的对应关系是否具有对应性, 可能还需要在今后的研究中进一步归纳和总结。

5. 不整合的成因分析

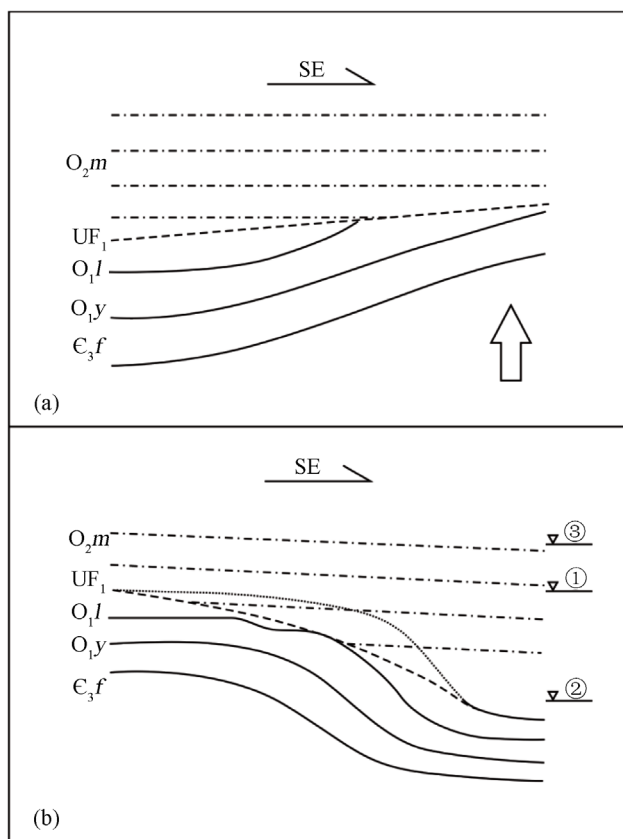
近几十年来, 随着层序地层学的快速发展以及向临近学科的辐射, 依据不整合面及其对应的整合面来划分和追踪等时的层序地层单元, 成为了石油地质勘探领域核心的研究内容, 这也使得不整合的成因被赋予了更为丰富的内涵。

从层序地层学的角度来看, 既然不整合可以作为不同级别层序的边界, 那么其成因不外乎来自构造沉降、全球海平面升降、沉积物供给速率和气候变化等4个方面。起初研究者针对被动大陆边缘盆地研究时认为, 全球海平面下降是不整合层序界面形成的主控因素, 构造活动只是起到加强或者削弱层序边界形成的作用[20]。但是, 由此引发了较为广泛的争议, 进而导致相对海平面(沉积基准面)变化概念的提出, 认为不整合层序界面的形成是盆地构造升降和海(湖)平面变化综合作用的结果。也曾有学者提出, 陆相盆地控制不整合形成的主要因素是构造活动, 非构造因素引起的湖平面的上升以及气候等因素处于非常次要的位置[26]。林畅松[33]通过对我国东、西部各类型盆地研究后认为, 构造作用和海(湖)平面变化是控制盆地沉积充填过程和沉积物分布最基本的两个因素, 其中构造作用的结果可能表现的更为直接和重要。

不管是裂陷盆地还是前陆盆地中, 具有区域对比意义的界面大都是以构造不整合面为界, 这些与构造变动有关的不整合面上下地层显示出协调的接触关系。众多研究表明, 裂陷型盆地重要的构造不整合面成因包括: 裂陷期向拗陷期的构造转化、软流圈隆起和绝热熔融作用引起的区域性热隆升、大规模的火山作用、幕式裂陷过程、断块掀斜旋回或同构造引起的差异沉降等[33] [42]。挤压型盆地演化历史相对漫长, 特别是中国西部的挤压型盆地往往发生过多期次的构造变革, 因此构造不整合的发育和分布与盆地地球动力学背景发生重要变革或盆山转换作用有关, 表现为前陆带的多期挤压逆冲、前隆构造挠曲剥蚀、同沉积褶皱发育和早期正断层的挤压反转等[32] [43] [44] [45]。另外, 从不整合形成环境来看, 国

内外地质学家基本认同陆上不整合面的形成主要受构造抬升和全球海平面下降的控制[10] [12] [45], 水下不整合面的形成由海侵作用、事件流、陆源碎屑注入、碳酸盐岩矿物溶解以及盆地构造活动等机制所致[46]。特别要提到的是, 凝缩段地层之下的淹没不整合作为一种特殊的不整合, 往往没有经历过侵蚀改造, 而是因环境突然变深而沉积物供应不足所产生的时间滞后效应而形成[47]。

实际上, 各类型不整合形成方式及其上下地层的叠置样式常受某一种或者某几种因素综合影响, 很难准确区分它们究竟属于哪种成因, 在实际研究中还需要结合各方面资料综合分析。例如, 关于华北地区奥陶系亮甲山组顶部不整合面(UF₁)的成因解析[15]: 从区域对比来看, 这一不整合面之下由 NW 向 SE 方向地层缺失逐渐增多, 可以认为是华北地台东南部基底隆升造就 NW 低 SE 高的古构造格局, UF₁ 东南部地层遭受剥蚀最为严重(图 4(a)); 但是结合岩相古地理信息, 马家沟组沉积期海水由 SE 向 NW 侵入, 那么 UF₁ 应该是海平面下降形成的切蚀水平岩层并向海方向倾斜的界面, 界面之上再次经历海进作用形成新的地层(图 4(b))。



(a) 构造抬升成因; (b) 海平面变动成因; ①②③表示海平面变化的先后位置; C₃f 为凤山组; O₁y 为冶里组; O₁l 为亮甲山组; O₂m 为马家沟组。

Figure 4. The schematic genetic interpretation of the Liangjia-shan Formation unconformities in Lower Ordovician, North China [15]

图 4. 华北地区下奥陶统亮甲山组顶部不整合(UF₁)成因图解(据文献[15]改)

6. 讨论与结论

通过文献调研和统计分析, 目前含油气盆地不整合通常可以划分为 3 大类, 其划分的依据分别是地

层接触关系、地层接触关系及其地震反射特征，以及综合考虑不整合成因、地层接触关系和地震反射特征等。划分时考虑的因素越全面，不整合划分的越精细，对于盆地构造演化也分析越详细。伴随着含油气盆地的演化和地质构造的变迁，不整合在盆地几何形态、空间位置和时间延续三个层次上呈现出不同的变化，表现为多种地质结构组合样式，显示出分层性、继承性和迁移性等基本特征。虽然不整合具有丰富的构造内涵并具有明显的等级差异，但是受现有勘探精度的制约，不整合的等级与地层层序边界还没有形成一致的对应关系，给实际研究和生产造成了一些限制，今后工作中需要逐步解决这一长期存在的难题。理论上，不整合的形成、演化和改造作用整体受构造作用和海(湖)平面变化两个因素所控制，气候和环境等因素所产生的控制作用相对较为次要；实际上，影响各类型不整合形成方式及其上下地层的叠置样式的因素有多种，甚至是几种因素共同影响所产生的综合结果，实际研究中很难准确区分它们究竟属于哪种成因，需要结合各方面资料综合分析、仔细判别。

基金项目

本论文受国家自然科学基金(41688103)、山东省自然科学基金(ZR2017PD001, ZR2018MD010, ZR2018BD013)联合资助。

参考文献

- [1] 庞雄奇, 陈冬霞, 张俊. 隐蔽油气藏的概念与分类及其在实际应用中需要注意的问题[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 1-8.
- [2] 高长海, 彭浦, 李本琼. 不整合类型及其控油特征[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(6): 1-7.
- [3] 何碧竹, 许志琴, 焦存礼, 李海兵, 蔡志慧. 塔里木盆地构造不整合成因及对油气成藏的影响[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 253-265.
- [4] 陆克政. 关于不整合的分类和含油盆地不整合的分布[J]. 华东石油学院学报, 1980, 4(3): 10-19.
- [5] 杨勇, 查明, 洪太元, 刘冠德. 不整合分类研究进展与新型分类方案[J]. 地层学杂志, 2007, 31(3): 288-295.
- [6] Ghienne, J., Moreau, J., Degermann, L. and Rubino, J. (2013) Lower Palaeozoic Unconformities in an Intracratonic Platform Setting: Glacial Erosion versus Tectonics in the Eastern Murzuq Basin (Southern Libya). *International Journal of Earth Sciences*, **102**, 455-482. <https://doi.org/10.1007/s00531-012-0815-y>
- [7] 刘景彦, 林畅松, 彭丽, 陈清清, 张响响, 周小军. 构造不整合的分布样式及其对地层圈闭的制约——以塔里木盆地中泥盆世末为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 268-275.
- [8] Tassone, D.R., Holford, S.P., Stoker, M.S., Green, P., Johnson, H., Underhill, J.R. and Hillis, R.R. (2014) Constraining Cenozoic Exhumation in the Faroe-Shetland Region Using Sonic Transit Time Data. *Basin Research*, **26**, 38-72. <https://doi.org/10.1111/bre.12052>
- [9] Lin, C.S., Yang, H.J., Liu, J. Y., Rui, Z.F., Cai, Z.Z. and Zhu, Y.F. (2012) Distribution and Erosion of the Paleozoic Tectonic Unconformities in the Tarim Basin, Northwest China: Significance for the Evolution of Paleo-Uplifts and Tectonic Geography during Deformation. *Journal of Asian Earth Sciences*, **46**, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.10.004>
- [10] 何碧竹, 焦存礼, 许志琴, 刘士林, 蔡志慧, 李海兵, 张淼. 不整合结构构造与构造古地理环境——以加里东中期青藏高原北缘及塔里木盆地为例[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 2184-2198.
- [11] 吴亚军, 张守安, 艾华国. 塔里木盆地不整合类型及其与油气藏的关系[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(2): 9-13.
- [12] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 142-149.
- [13] 冉怀江. 南图尔盖盆地萨雷布拉克地区侏罗系沉积层序及地层不整合圈闭[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(2): 6-12.
- [14] Hutton, J. (1788) Theory of the Earth, or, an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe. *Royal Society Edinburgh Transactional*, 109-304. <https://doi.org/10.1017/S0080456800029227>
- [15] 刘波, 王英华, 钱祥麟. 华北奥陶系两个不整合面的成因与相关区域性储层预测[J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 26-31.
- [16] Billings, M.P. (1956) Structural Geology. Prentice Hall, Prentice, 20-100.

- [17] Dunbar, C. and Rodgers, J. (1957) Principles of Stratigraphy. John Wiley Sons, New York, 1-356.
- [18] 尹赞勋. 地层规范存在的问题[J]. 地层学杂志, 1978, 2(1): 1-6.
- [19] Davis, G.H., Reynolds, S.J. and Kluth, C.F. (2011) Structural Geology of Rocks and Regions. John Wiley & Sons, New York, 1-839.
- [20] Vail, P., Mitchum, R. and Thompson, S.I. (1977) Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 3, Relative Changes of Sea Level from Coastal Onlap. *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration, AAPG Memoir*, **26**, 63-97.
- [21] Brown, L.F. and Fisher, W.L. (1979) Seismic Stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration. AAPG Continuing Education Course, Note Series, Vol. 16, 1-181.
- [22] Visher, S. (1984) Exploration Stratigraphy. Penn Well Publishing Company, Tulsa.
- [23] 牟中海, 何琰, 唐勇, 陈世加, 浦世照, 赵卫军. 准噶尔盆地陆西地区不整合与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 16-20.
- [24] 艾华国, 兰林英, 张克银, 吴亚军. 塔里木盆地前石炭系顶面不整合面特征及其控油作用[J]. 石油实验地质, 1996, 18(1): 1-13.
- [25] 尹微, 陈昭年, 许浩, 司玉梅. 不整合类型及其油气地质意义[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 239-241.
- [26] 常波涛. 陆相盆地中不整合体系与油气的不均一性运移[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 19-23.
- [27] 张宇航, 汤良杰, 云露, 谢大庆, 邱海峻, 蒋华山. 塔里木盆地关键构造变革期不整合特征及其地质意义[J]. 世界地质, 2012, 31(2): 306-314.
- [28] 何碧竹, 焦存礼, 许志琴, 蔡志慧, 刘士林, 张英利. 阿尔金-西昆仑加里东中晚期构造作用在塔里木盆地塘古兹巴斯凹陷中的响应[J]. 岩石学报. 2011, 27(11): 3435-3448.
- [29] 隋风贵, 赵乐强. 济阳坳陷不整合结构类型及控藏作用[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2): 161-167.
- [30] 吴孔友, 邹才能, 查明, 高长海. 不整合结构对地层油气藏形成的控制作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 518-524.
- [31] Ni, J.L., Guo, Y., Wang, Z.M., Liu, J.L., Lin, Y.X. and Li, Y. (2011) Tectonics and Mechanisms of Uplift in the Central Uplift Belt of the Huimin Depression. *Journal of Earth Science*, **22**, 299-315. <https://doi.org/10.1007/s12583-011-0183-8>
- [32] 郭颖, 汤良杰, 余腾孝, 田亚杰, 岳勇, 陈刚, 龙禹. 塔里木盆地塘古巴斯坳陷玛东构造带断裂特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(4): 643-653.
- [33] 林畅松. 沉积盆地的构造地层分析——以中国构造活动盆地研究为例[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 185-194.
- [34] 陆克政. 含油气盆地分析[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2003: 98-124.
- [35] 郑孟林, 王毅, 金之钧, 李京昌, 张仲培, 蒋华山, 谢大庆, 郭忻. 塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 925-934.
- [36] 汤良杰, 张一伟, 金之钧, 贾承造. 塔里木盆地、柴达木盆地的开合旋回[J]. 地质通报, 2004, 23(3): 254-260.
- [37] 汤良杰, 黄太柱, 金文正, 吕志洲, 何春波, 宁飞, 王鹏昊, 陈群. 叠合盆地差异构造变形与油气聚集[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 13-22.
- [38] 王毅, 张一伟, 金之钧, 陆克政. 塔里木盆地构造 - 层序分析[J]. 地质论评, 1999, 45(5): 504-513.
- [39] 薛良清. 论沉积层序级别的划分[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(3): 26-30.
- [40] Hinnov, L.A. and Ogg, J.G. (2007) Cyclostratigraphy and the Astronomical Time Scale. *Stratigraphy*, **4**, 239-251.
- [41] Hilgen, F.J., Kuiper, K.F. and Lourens, L.J. (2010) Evaluation of the Astronomical Time Scale for the Paleocene and Earliest Eocene. *Earth and Planetary Science Letters*, **300**, 139-151. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.09.044>
- [42] Lin, C.S., Liu, J.Y., Zhang, Y.M., Xiao, J.X., Chen, J.Q. and Ji, Y.L. (2002) Depositional Architecture of the Tertiary Tectonic Sequences and Their Response to Foreland Tectonism in the Kuqa Depression, the Tarim Basin. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, **45**, 250-258. <https://doi.org/10.1360/02yd9027>
- [43] 李曰俊, 吴根耀, 孟庆龙, 杨海军, 韩剑发, 李新生, 董立胜. 塔里木盆地中央地区的断裂系统: 几何学、运动学和动力学背景[J]. 地质科学, 2008, 43(1): 82-118.
- [44] 吕明, 汤良杰, 岳勇. 塔里木盆地西南部麦盖提斜坡构造演化过程的记录——生长地层及生长不整合[J]. 地质论评, 2014, 60(1): 91-101.
- [45] Ichaso, A.A., Dalrymple, R.W. and Martinius, A.W. (2016) Basin Analysis and Sequence Stratigraphy of the Synrift-

tilje Formation (Lower Jurassic), Halten Terrace Giant Oil and Gas Fields, Offshore Mid-Norway. *AAPG Bulletin*, **100**, 1329-1375. <https://doi.org/10.1306/02251614081>

[46] 程日辉, 林畅松, 刘景彦. 盆地研究中不整合成因分析[J]. 世界地质, 1998, 17(3): 23-27.

[47] Schager, W. (1991) Depositional Basin and Environmental Change—Important Factors in Sequence Stratigraphy. *Sedimentary Geology*, **70**, 109-130. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(91\)90138-4](https://doi.org/10.1016/0037-0738(91)90138-4)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org