

文章编号:0253-9985(2011)05-0777-10

塔中低凸起的构造属性和解释方法

管树巍¹, 杨海军², 韩剑发², 李本亮¹, 罗春树²

(1. 中国石油 勘探开发研究院 盆地构造与油气成藏重点实验室, 北京 100083;

2. 中国石油 塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:塔中低凸起是中奥陶世—晚泥盆世早期塔东南前陆冲断体系的一部分。这个时期塔中地区的断裂以北倾反冲为主,并可能与深部由南向北逆冲的主控断裂交汇,形成向北扩展的楔形构造前锋。塔中低凸起历经多期断裂作用,在不同地层单元内部形成了特有的构造形态,如震旦系—奥陶系构造层内主要发育北西向的挤压断层相关褶皱,志留系—泥盆系构造层内主要发育北东向的负花状构造和拉分地堑,石炭系—二叠系构造层内主要发育由岩浆刺穿或底辟形成的正花状构造和垮塌构造。多期断裂作用也造成了早期构造通常被晚期构造切割与破坏而在地震资料上难以识别的问题,构造解释工作应尽量在纵横比例相等的地震剖面上进行,以直观显示并准确识别这些构造层内部的变形形态,并从资料可信度高的位置入手,由已知到未知,逐步获得资料不好地区的断裂解释方案。

关键词:构造属性;前缘隆起;构造层;断裂解释;塔中低凸起

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Structural properties and interpretation methods of the Tazhong Low Salient

Guan Shuwei¹, Yang Haijun², Han Jianfa², Li Benliang¹ and Luo Chunshu²

(1. Key Laboratory of Basin Structure and Petroleum Accumulation, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Tazhong low salient is part of the foreland thrusting system in the southeastern Tarim Basin from Middle Ordovician to early Late Devonian. During this geologic period, the faults in Tazhong area were dominated by north-dipping and thrusts, and might intersected the deep north-thrusting major fault, forming a north-propagating wedge structure front. The low salient in Tazhong area experienced multistage tectonic movements, resulting in different structural geometries in different stratigraphic units. For example, NW-trending compressional fault-related folds dominate the Sinian-Ordovician structural layer; NE-trending negative flow structures and pull-apart grabens are predominant in the Silurian-Devonian structural layer; while positive flow structures and collapse structures resulted from magma invasion or diapir are prevalent in the Carboniferous-Permian structural layer. The early structures are commonly destroyed by the later structures duo to multistage faulting, making it difficult to identifying them on seismic section. Therefore, structure interpretation should be based on the seismic profiles with approximate the same vertical and horizontal scales, so as to correctly define the deformation features in these structural layers and extrapolate into areas where seismic data quality is low.

Key words: structural property, forebulge, structural layer, fault interpretation, Tazhong Low Salient area

塔中低凸起位于塔里木盆地腹部,是加里东晚期形成的克拉通内古隆起^[1-18]。关于塔中低凸起的成因,大多数学者主要从周边大地构造背

景的演变去讨论^[1-8],虽然积累了大量的研究成果,但塔中低凸起形成的动力学机制却不甚明朗。隆起是挤压体制下的产物^[2,6],既然塔中低

收稿日期:2010-09-25;修订日期:2011-09-01。

第一作者简介:管树巍(1970—),男,高级工程师,盆地构造和勘探方法研究。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05003-001);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2006CB202301)。

凸起的形成受塔中 1 号断裂控制,那么这条断裂的位移源自于哪一个挤压冲断系统,塔中低凸起在这一冲断系统内部的构造属性是什么,解决这些问题是探寻塔中地区断裂体系内在规律的必经之路。

塔中地区的勘探历经 20 余年,地震处理攻关和新技术应用一直没有间断,但对断裂体系认识不够清楚仍是制约这个地区勘探进程的主要问题之一。如很多钻井揭示到的断裂在地震资料中并不能得以有效识别,而这些在地震上没有表现为明显的同相轴错断、却又存在的次级断裂恰恰决定并改善了储集层的性能;再如,塔中地区与下古生界碳酸盐岩相关的岩溶发育,一些非构造因素造成的同相轴不连续现象却又经常被解释为断裂,它们在平面上的组合与真实的断裂体系之间具有不协调性,二者交织在一起,干扰了勘探人员对整个断裂体系的判断和认识。诚然,局部的断裂精细刻画离不开高质量的地震反射资料,但对

于两万多平方千米的塔中低凸起来说,摸清晰断裂体系的内在规律最终必须建立在基础研究之上。按照这个思路,我们通过早古生代塔东南前陆冲断系统的解释和厘定,解析塔中低凸起的构造属性及其形成的动力学机制,然后以塔中 1 号带连片三维地震为依据描述不同阶段断裂作用在 3 套构造层内的表现特征,在此基础上总结了几点断裂解释方法,期望以此推动塔中地区断裂体系研究能上一个新的台阶。

1 塔中低凸起构造属性

我们利用塔中、塘古和塔东南地区的二维和三维地震资料,连接了 7 条南北向的区域测线,通过系统的构造解释,尝试将塔中地区纳入早古生代塔东南前陆冲断体系,从宏观上探讨塔中低凸起的构造属性及其形成的动力学机制。以下选取其中的 3 条剖面讨论这个问题(图 1,图 2)。

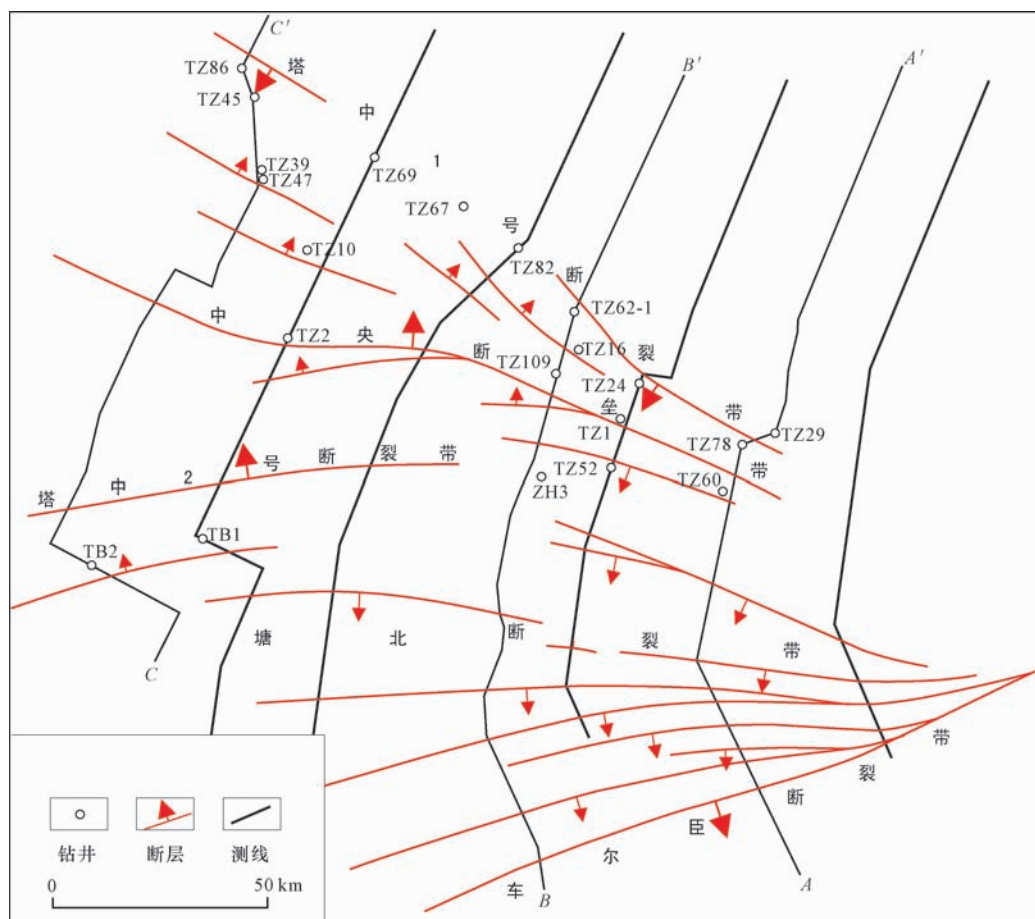


图 1 塔中地区上奥陶统良里塔格组断裂体系

Fig. 1 Fault system of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong area

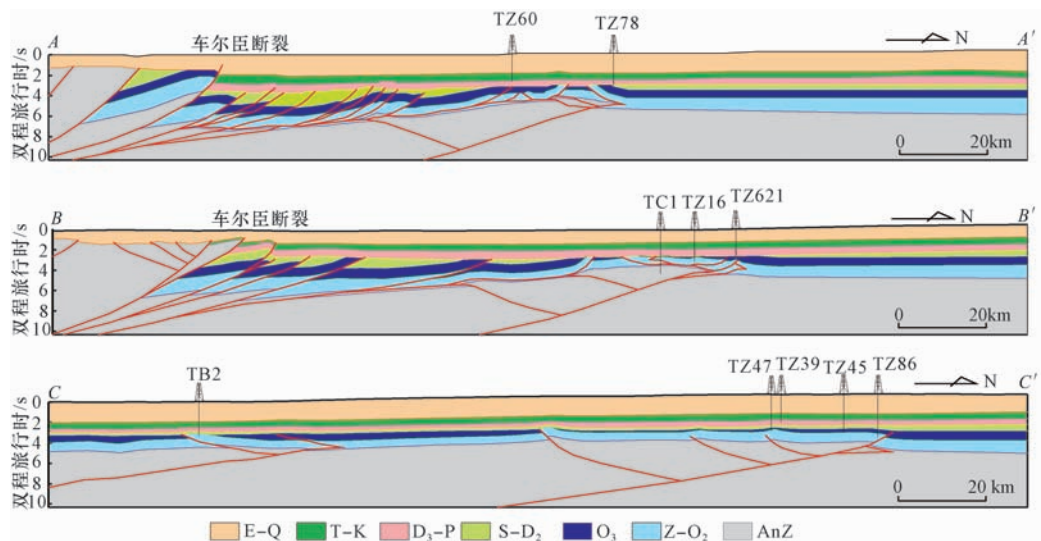


图2 塔东南-塔中地区构造解释剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Structures interpreted on seismic section in Tadongnan-Tazhong area(see Fig. 1 for location)

E. 第三系;Q. 第四系;T. 三叠系;K. 白垩系;D₃. 上泥盆统;P. 二叠系;S. 志留系;D₂. 中泥盆统;

O₃. 上奥陶统;Z. 震旦系;O₂. 中奥陶统;AnZ. 前震旦系

剖面A-A'位于塔中低凸起东段,过塔中60井和塔中78井。在地震资料上可识别出塔东南至塔中地区向北逆冲的叠瓦冲断系统,但在塔中低凸起南翼则发育深切基底的北倾断层(塔中2号断裂)。塔中低凸起受一条倾角较其南翼略陡的南倾主断裂控制,这条断裂在上切至震旦系-寒武系后形成数条北倾的反冲断层,与沿着寒武系底部膏泥岩滑脱面向北逆冲的断层交汇到一起,导致塔中低凸起北翼的复杂化。塔中60号和塔中78号构造即位于南、北两组方向断裂对冲形成的复杂圈闭中。

剖面B-B'位于塔中低凸起中段,过塔参1井、塔中16井和塔中621井。该剖面构造特征与东侧剖面A-A'相似,但该位置塔东南前陆冲断系统的宽度已增大至140 km,而断裂数目却大为减少,反映自东向西构造变形强度的减弱。塔中低凸起南翼发育两条深切基底的北倾反冲断裂,这两条断裂在深部可能与塔中低凸起的主控断裂交汇,构成楔形构造。塔中低凸起顶部的北倾反冲断裂切割层位较浅,分别控制了塔参1号带和塔中16号带。

剖面C-C'位于塔中低凸起西段,过塔中86井、塔中45井、塔中39井、塔中47井和塘北2井,未揭示到塔东南地区。该位置的塔中低凸起变得异常宽缓,构造形态简单,主体部位被数条北倾的

反冲断层分割,分别控制了塘北2号带、塔中主垒带和塔中47号带,其中以塔中主垒带下伏的反冲断层规模最大,上覆地层褶皱变形最强。

根据这3条区域构造解释剖面,我们可得出如下结论:

1) 塔中低凸起为古生代塔东南前陆冲断体系的一部分,可能表现为前缘隆起的性质。其下伏的主控断裂深切基底,在深部可能归聚于一个主拆离面中。这条拆离面的深度在20 km以上,传递了来自于塔东南的构造位移,并导致了塔中低凸起的形成。

2) 塔中低凸起整体形态表现为南翼长而缓、北翼短而陡的不对称状。这个特征也揭示了深部主控断裂的冲断方向是由南向北的,并形成一些次级的北倾反冲断裂,如塔中2号断裂等;而塔中低凸起北翼的北倾反冲断裂一般与主控断裂交汇在一起,构成了向北扩展的楔形前锋构造。

3) 塔东南地区的断裂多已切穿中-新生界,且上覆地层变形强烈;而向南至塔中地区,断裂基本终止于上泥盆统底部,但其上覆褶皱变形可涉及到二叠系。此外,从区域地层展布特征来看,二叠系以下地层自北向南有缓慢抬升趋势(剖面B-B'中较明显)。这些特征表明了早古生代以来塔东南前陆冲断体系的多期继承性活动,以及由南向北构造变形强度的逐渐减弱趋势(图3)。

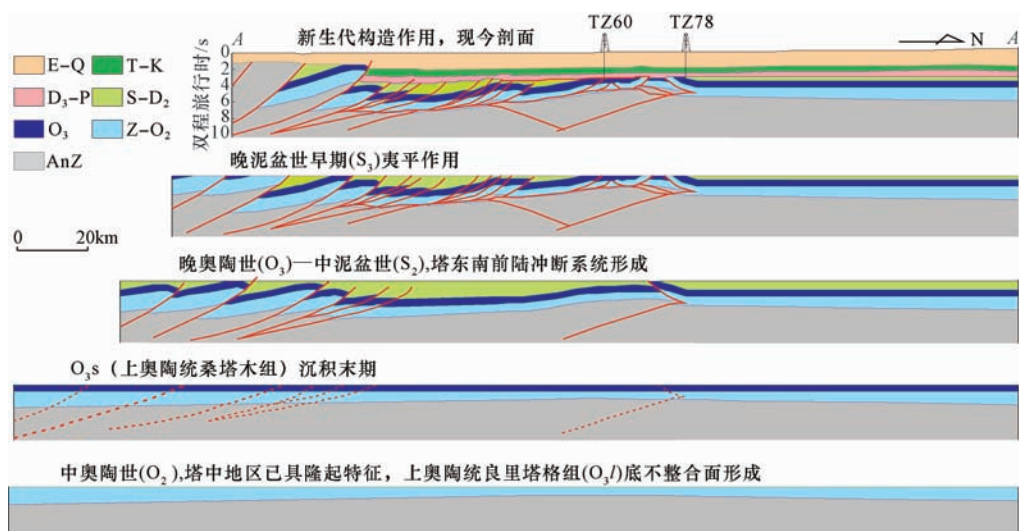


图3 塔东南-塔中前陆冲断体系的演化(剖面A-A',位置见图1)

Fig. 3 Evolution of the foreland thrust fault system in Tadongnan-Tazhong area (section A-A')

E. 第三系; Q. 第四系; T. 三叠系; K. 白垩系; D₃. 上泥盆统; P. 二叠系; S. 志留系; D₂. 中泥盆统;

O₃. 上奥陶统; Z. 震旦系; O₂. 中奥陶统; AnZ. 前震旦系

2 塔中低凸起构造层特征

塔中地区不同时期的断裂作用通常在不同地层单元内部形成特有的构造形态,这些具有不同构造形态的地层单元组合可称为构造层。同一构造层内的变形不仅在剖面上具有相似的特征,在平面上也沿某一方向呈规律性的展布。因此,正确识别构造层不仅利于界定断裂活动期次、总结各期断裂构造变形特征,也有助于在大的框架内提高地震构造解释的精度。塔中地区的构造层主要有3套。

2.1 震旦系—奥陶系构造层

震旦系—奥陶系构造层构成塔中低凸起的主体,是目前油气勘探最重要的领域,塔中主垒带、塔中16号带、塔中14号带、塔中10号带和塔中47号带等都属于该构造层。在地震资料上可识别出震旦系—下奥陶统由塔中低凸起两侧向主垒带减薄的趋势,而上奥陶统良里塔格组与下伏地层也见削蚀现象。因此,塔中地区在中奥陶世已具隆起特征,但塔中低凸起的主抬升期应在晚奥陶世末期(图3)。

震旦系—奥陶系构造层内部主要发育挤压型断层相关褶皱(图4a),褶皱形态表现为南翼陡而

短、北翼长而缓的不对称状,其较陡的南翼指示了深部由北向南的冲断作用。因此,塔中地区的中—晚奥陶世断裂以北倾为主,并在深部可能汇聚于寒武系底部膏泥岩滑脱面中,其由北向南冲断的动力来自于深部构造楔前缘的反冲作用。在塔中地区东部,随着冲断作用增强,构造楔前翼和顶部发育的反冲断层数目也明显增多(图4b)。这些反冲断裂控制了塔中低凸起上的主要二级构造单元,以中央主垒带规模最大、延伸最长,其余反冲断裂主要分布于其北侧,一般延伸20~40 km,分别控制了塔中14号带、塔中16号带、塔中10号带等的形成。中—晚奥陶世断裂组合在平面上呈北西向展布,向东收敛、向西撒开,并被后期北东向的志留纪—泥盆纪走滑断裂切割(图5)。

2.2 志留系—泥盆系构造层

中泥盆世末期的海西早期构造运动使塔中低凸起东部大幅度隆升,志留系和泥盆系遭受强烈剥蚀,总体构造形态表现为向东抬升、向西北倾没的大型鼻状构造,塔中低凸起最终定型^[1-8]。塔中地区的走滑断裂体系主要是在这个时期形成的,具有以下特征。

1) 主干断裂:在地震资料上易于识别,为高角度近似直立断面,切割了晚奥陶世断裂,直插入基底,向上一截至于石炭系底部,垂向断距由上

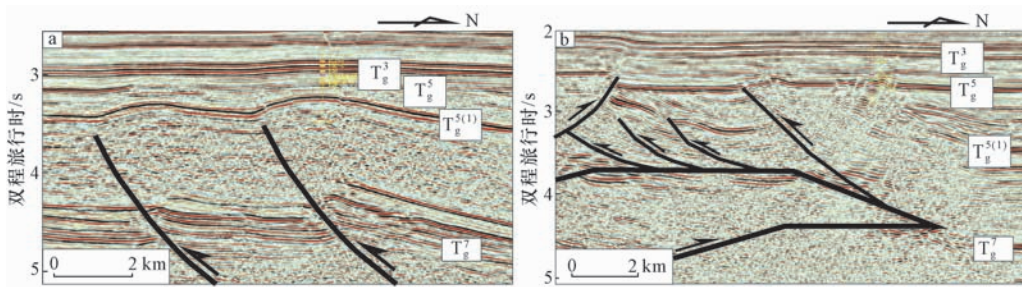


图4 塔中地区中段(a)和东段(b)震旦系—奥陶系构造层内部断裂特征

Fig. 4 Fault characteristics of the Sinian-Ordovician structural layer in the middle(a) and east(b) segments in Tazhong area

T_g^3 . 石炭系底; T_g^5 . 志留系底; $T_g^{5(1)}$. 上奥陶统桑塔木组底; T_g^7 . 震旦系底

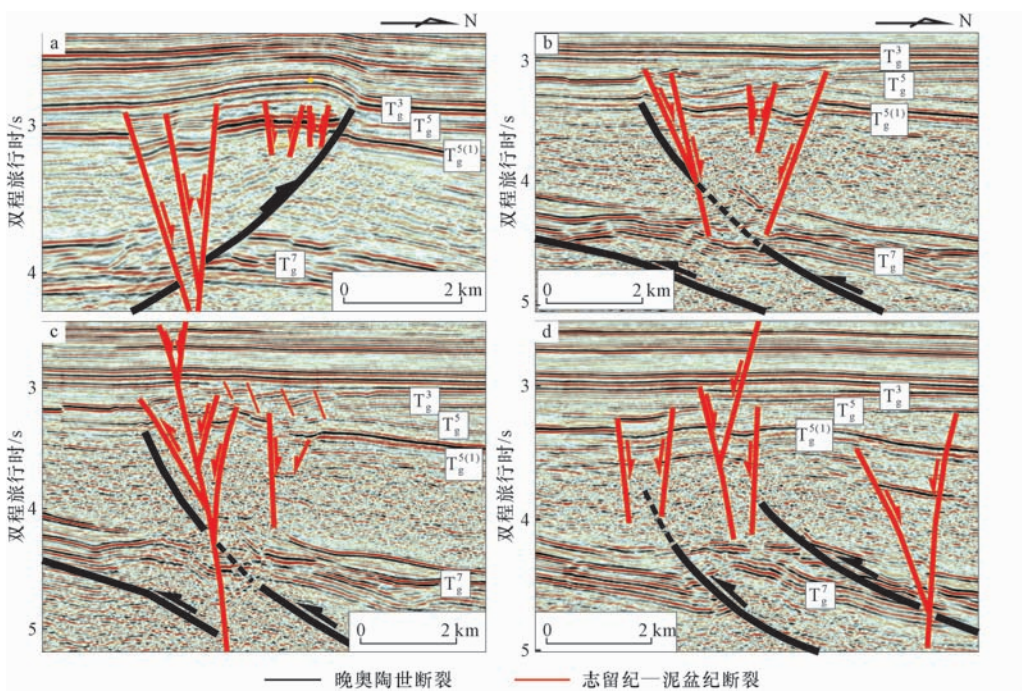


图5 塔中地区被切割的震旦系—奥陶系构造层

Fig. 5 The Sinian-Ordovician structural layer cut by the later faults in Tazhong area

a. 塔中主垒带; b—d. 塔中10号带

T_g^3 . 石炭系底; T_g^5 . 志留系底; $T_g^{5(1)}$. 上奥陶统桑塔木组底; T_g^7 . 震旦系底

至下逐渐增大。断层两侧地层产状有变化,以正断层为主,断裂形态较单一,延伸较远,剖面上呈负花状构造(图5),平面上多为北东向和北北东向展布。

2) 羽列断裂:主要沿主干断裂西侧或在主干断裂的尾端(北端)发育,向北撒开,前者呈羽状,后者呈扫帚状。羽状断裂的延伸长度通常为主干断裂的一半;扫帚状断裂则为主干断裂的延续,扫帚端的长度多为主干断裂的1/2至1/3不等。这类断裂主要为正断层性质,在剖面上可解释为负花状构造样式,也有表现为地堑或半地堑式构造

样式。但这类断裂在地震资料上多为无明显同相轴错断的塌陷,因此在构造解释中通常被疏漏(图6)。

3) 拉分地堑:以塔中12至塔中84井区之间的两个拉分地堑最为典型(图7),在平面上呈菱形,其南、北边界受多级正断层控制。这两个拉分地堑也最充分地说明了中泥盆世北东向走滑断裂体系的左行特性。

2.3 石炭系—二叠系构造层

在塔中低凸起西段,主垒带以南隐伏一火成

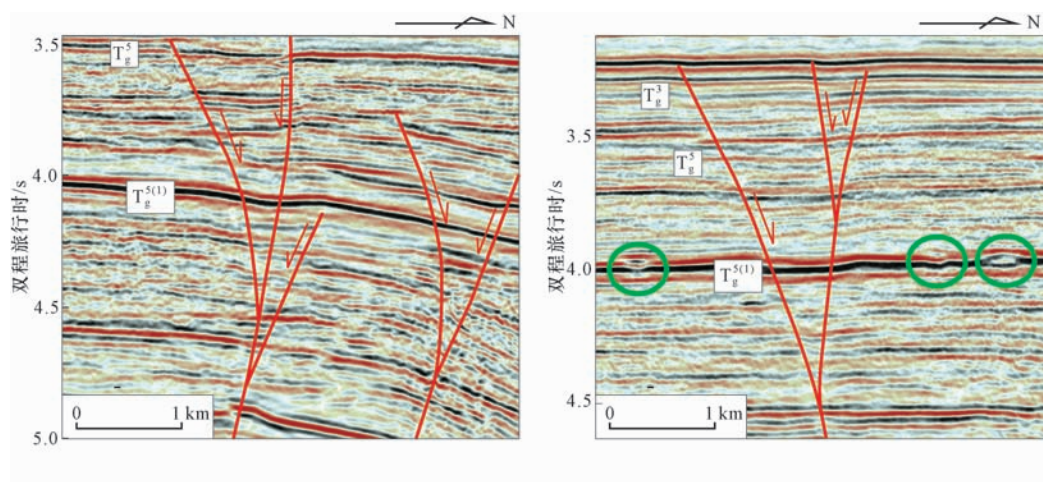


图 6 塔中地区羽列断裂在地震剖面上未表现为明显的同相轴错断

Fig. 6 Feather faults without significant event discontinuity on seismic profiles in the Tazhong area

T_g^3 : 石炭系底; T_g^5 : 志留系底; $T_g^{5(1)}$: 上奥陶统桑塔木组底

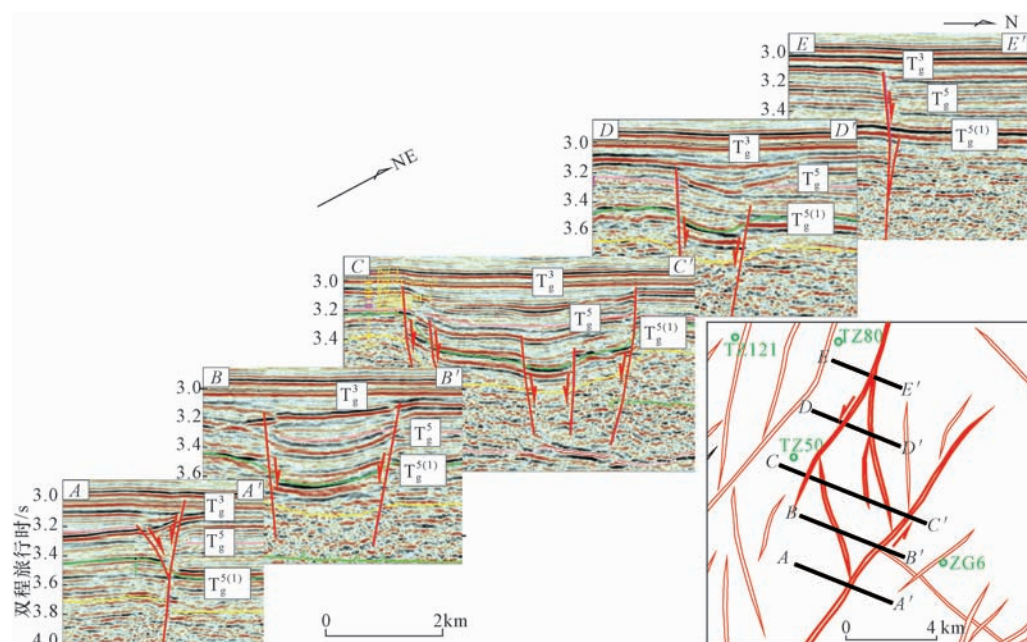


图 7 塔中地区 TZ50 至 ZG6 井区之间的拉分地堑

Fig. 7 Pull-apart grabens between TZ50 and ZG6 wellblocks in the Tazhong area

T_g^3 : 石炭系底; T_g^5 : 志留系底; $T_g^{5(1)}$: 上奥陶统桑塔木组底

岩体发育带,沿断裂带向浅层侵入到二叠系底部,为早二叠世塔里木盆地西部地区火山活动的结果^[1-8,17]。地震解析出存在二叠纪岩浆刺穿活动 20 多处,其规模和范围不等,在塔中三维区呈点状或条带状,以塔中西段 47-21 井区最为典型。二叠纪岩浆活动对早期断裂活动具有继承性。岩浆刺穿对早期断裂进行叠置和改造,岩浆侵入和底辟作用致使地层隆升,形成一系列逆断层性质的

“正花状构造”;在刺穿构造顶部常见有拱张形成的正断层系,岩体侵入部位上方的三叠系内部仍然见到的正断层可能为岩浆冷却后的垮塌所形成。由于岩浆侵入引起的热液岩溶作用,地层的波阻抗属性发生改变,因而发生岩浆侵入的部位地震反射杂乱。塔中地区石炭纪一二叠纪断裂组合平面上呈北西走向、并向西撒开,无论在平面上还是剖面上都切割了震旦系—奥陶系构造层和志

留系—泥盆系构造层。

中生代以后塔中地区已经成为稳定的克拉通盆地,但是受周缘造山活动的影响,存在微弱的构造调整。根据古断裂的上方存在微弱的削蚀不整合面或地层减薄现象推断,前白垩纪古断裂仍存在一定的活动性。

3 塔中低凸起断裂解释方法与实例

塔中低凸起主体部位已为三维地震所覆盖,尤其是塔中1号坡折带近5 000 km²联片三维地震的实施,使得断裂体系在点、线、面、体4个层次已得到非常精细的刻画。但受地震勘探分辨率限制,大多数断距在数米甚至数十米级别的断裂在地震剖面中一般不表现为明显的同相轴错断,如很多钻井揭示到的或在岩心中观察到的断裂在地震剖面上并不能得以有效识别,而这一级别的断裂恰恰决定并改善了储集层的性能;另一方面,一些非构造因素(如碳酸盐岩溶作用)造成的同相轴不连续现象却又经常被解释为断裂,它们在平面上的组合与真实的断裂体系交织在一起,干扰了勘探人员对整个断裂体系的判断和认识。因此,虽然塔中地区的勘探已历经20年,持续投入和运用了最新的地震勘探技术,但断裂体系仍是制约勘探进程、困扰勘探人员的主要问题。在这种情况下我们认为,除应继续加强高精度地震攻关外,运用以下3条基本的构造解释技巧,将有助于提高地震资料中断层识别的准确率,并提高构造解释精度。

3.1 根据褶皱形态解释断裂

根据褶皱形态去解释断裂,这条原则来源于断层相关褶皱理论^[19-25]。在复杂构造地区,通过确定褶皱形态、断层形态和断层位移三者之间的定量关系,可以用于预测地震资料较差地区的构造形态。因此,无论是几何形态上还是运动学机制上,断层和褶皱都是相关的,即断裂的活动造成地层的错动和褶皱变形,而地层的褶皱形态又反映了断裂的运动学方式。

通常在地震剖面上或野外,地层的褶皱形态往往比其错动现象更容易观测到。因此,对于小断裂的识别和判断,在地层错动距离不明显或地震同相轴无明显错断的情况下,根据褶皱形态去解释

断裂是一种有效的途径。塔中低凸起历经多期构造作用叠加和改造,从而在纵向上形成多个构造层的叠置。这些在不同构造活动期沉积的地层具有独特的变形特征,成为断裂解释的重要依据。

1) 震旦系—奥陶系构造变形层:内部褶皱形态表现为南翼陡而短、北翼长而缓的不对称状的挤压褶皱,其较陡的南翼指示了深部由北向南的冲断作用(图4)。志留纪—泥盆纪断裂的切割作用通常破坏了震旦系—中上奥陶统构造层内挤压褶皱的完整性,使其在地震剖面上变得难以识别,从而增加了构造解释的难度(图5)。

2) 志留系—泥盆系构造变形层:地震剖面上主要表现为有明显同相轴错断或无明显同相轴错断的塌陷、地堑或半地堑结构,在狭窄的断裂带也可解释为负花状构造(图5—图7)。志留纪—泥盆纪断裂多呈正断层性质,并切割了下伏的震旦系—奥陶系构造变形层。

3) 石炭系—二叠系构造变形层:内部形态主要表现为岩浆侵入和底辟作用形成的刺穿构造,刺穿岩体的顶部通常发育塌陷引起正断层组合。断裂组合在平面上主要呈北西向展布,与塔中主垒带斜交。石炭系—二叠系构造变形层在塔中西段47—21井区最为典型。

3.2 在接近1:1的剖面上解释断裂

既然地层的褶皱形态反映了断裂的运动学方式和机制,那么在剖面上真实地显示构造形态并据此开展断裂解释就非常关键。塔中地区的地层不整合面及碳酸岩岩溶作用发育,其对应的地震反射轴往往存在起伏或不连续现象。当剖面的纵向比例小于横向比例(即横向拉伸状态),地震同相轴的起伏就显得宽缓;而当剖面的纵向比例大于横向比例(即横向压缩状态),特别时当纵、横比例达到5倍以上时(为在工作站显示屏上显示完整剖面,这种比例通常被采用),地震同相轴的起伏或不连续现象就有可能被解释者认为是构造现象,即不整合面的起伏和同相轴的不连续通常被解释为挤压作用和断层作用所致。因此,在剖面上近似以1:1的比例真实地显示构造形态,对于获得合理构造解释方案是有益的。

3.3 根据平面展布方向解释断裂

无论是在复杂边界条件还是在特定边界条件

下,构造变形皆有其规律可循,如塔中地区奥陶纪末断裂组合在平面上主要呈北西向展布,而志留纪—泥盆纪断裂主要呈北东向展布等。在构造解释中,将有疑问的“断裂”的断点在平面上组合,并与已确认的断裂体系进行对比,研究二者是否匹配,是验证断裂解释合理性的重要手段。塔中地区非构造因素(如碳酸盐岩溶作用等)或处理因素造成的同相轴不连续现象普遍,而这种不连续现象又易于被认为是断裂作用造成,如塔中45井区 $T_g^{5(1)}$ (上奥陶统桑塔木组底界)反射轴上的一个异常反射点一般被解释为断裂,但我们发现其在平面上的展布曲折并无规律性,且与北西和北东向的两组断裂组合不匹配,因此可以排除这种现象

是由断裂造成的(图8)。塔中35—塔中47井区北侧的异常反射点也同样如此。

按上述方法,我们对塔中主垒带北侧4000余平方的连片三维地震作了构造解释,并对 $T_g^{5'}$ 断点作了平面组合。为说明解释的效果,图9将塔中12—84井区的 $T_g^{5'}$ 断裂系统与塔里木油田公司 $T_g^{5'}$ 相干数据体切片的断裂解释作了对照,发现二者有良好的对应性。

4 结论

塔东南至塔中地区的3条区域地震解释剖面揭示出,塔东南早古生代前陆冲断体系已传递至

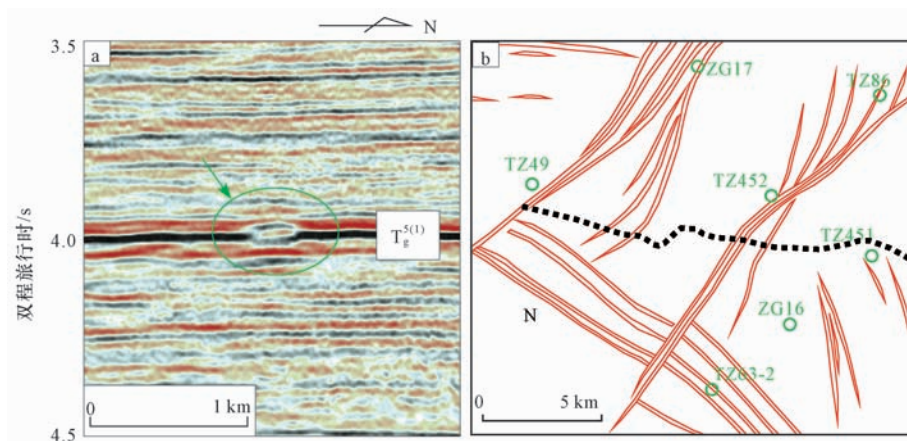


图8 塔中45井区异常反射点(a)及在断裂系统内的分布(黑色虚线)(b)

Fig. 8 Abnormal reflection point(a) and their distribution(black dashed line)(b) in the TZ45 wellblock

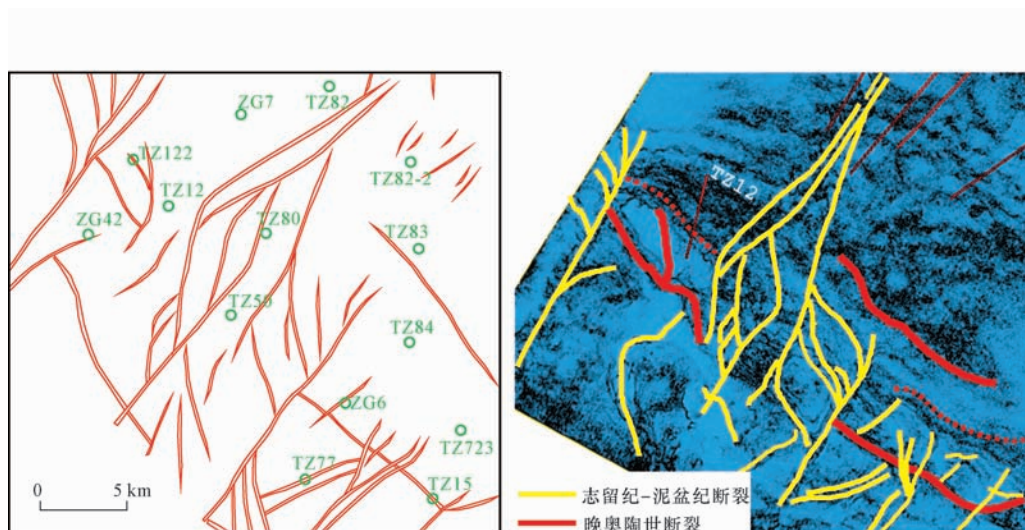


图9 塔中12—84井区断裂系统与 $T_g^{5'}$ 相干体切片解释成果对照

Fig. 9 Fault system in TZ12-TZ84 wellblock correlated with $T_g^{5'}$ coherence cube slice

塔中地区,塔中低凸起可能为这个冲断系统的一部分,表现为前缘隆起的性质。而大量的研究成果也表明,塔中低凸起经历了“寒武纪—早奥陶世的早期萌芽,中、晚奥陶世—志留纪的隆起形成与志留纪后隆起的稳定演化阶段”^[1-2],这个时间序列与塔东南早古生代前陆冲断系统的发育时间是匹配的。塔东南早古生代前陆冲断系统主要由一系列南倾的、向北逆冲的叠瓦断层系组成,但在塔中地区主要以北倾反冲断裂为主。这些反冲断裂可能在深部与由南向北逆冲的塔中低凸起的主控断裂交汇,从而构成向北扩展的楔形构造前锋。

塔中低凸起历经多期构造作用叠加和改造,在纵向上形成多个构造变形层的叠置。这些在不同构造活动期沉积的地层具有独特的褶皱形态,并在平面上呈有规律的分布,成为断裂解释的重要依据。因此,应尽量在纵、横比例相等的地震剖面上开展构造解释,以直观并正确地识别这些不同的构造层及其内部褶皱形态;然后从可信度高的地震资料入手,确定断裂构造变形样式和平面展布格局;再由已知到未知,逐步获得资料不好地区的断裂构造形态,并相互印证,最终有可能获得满意的、最接近真实的解释成果。

参 考 文 献

- [1] 何登发,周新源,张朝军,等. 塔里木地区奥陶纪原型盆地类型及其演化[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊1): 126-135.
He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Chaojun, et al. Type and evolution of Ordovician original basin in Tarim area[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 126-135.
- [2] 何登发,周新源,杨海军,等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 207-221.
He Dengfa, Zhou Xinyuan, Yang Haijun, et al. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 207-221.
- [3] 何登发,李德生. 塔里木盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京:地质出版社, 1996: 1-171.
He Dengfa, Li Desheng. Structural evolution and hydrocarbon accumulation of Tarim Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-171.
- [4] 李明杰,郑孟林,冯朝荣,等. 塔中低凸起的结构特征及其演化[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 43-46.
Li Mingjie, Zheng Menglin, Feng Chaorong, et al. Structural characteristics and evolution of Tazhong low uplift[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2004, 19(4): 43-46.
- [5] 张振生,李明杰,刘社平. 塔中低凸起的形成和演化[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 28-31.
Zhang Zhensheng, Li Mingjie, Liu Sheping. Generation and evolution of Tazhong low uplift[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 28-31.
- [6] 贾承造,魏国齐,姚慧君,等. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 1997: 1-438.
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Yao Huijun, et al. Structural feature and hydrocarbon potential in Tarim Basin, China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-438.
- [7] 贾承造,魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油气性[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊1): 1-8.
Jia Chengzao, Wei Guoqi. Structural feature and hydrocarbon potential in Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S1): 1-8.
- [8] 郭光辉,李启明,肖中尧,等. 塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 124-130.
Wu Guanghui, Li Qiming, Xiao Zhongyao, et al. The evolution characteristics of paleo-uplifts in Tarim Basin and its exploration directions for oil and gas[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2009, 33(1): 124-130.
- [9] 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 288-294.
Lv Xiuxiang, Hu Xuan. Hydrocarbon accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 288-294.
- [10] 张小兵,赵锡奎. 塔里木盆地塔中构造演化与志留系油气关系[J]. 天然气勘探与开发, 2004, 6(2): 11-15.
Zhang Xiaobing, Zhao Xikui. Relationship between Tazhong tectonic evolution and Silurian hydrocarbon distribution in Tarim Basin[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2004, 27(2): 11-15.
- [11] 李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等. 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.
Li Yuejun, Wu Genyao, Meng Qinglong, et al. Fault systems in central area of the Tarim Basin: geometry, kinematics and dynamic settings[J]. Scientia Geologica Sinica, 2008, 43(1): 82-118.
- [12] 张仲培,王毅,云金表,等. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 316-323.
Zhang Zhongpei, Wang Yi, Yun Jinbiao, et al. Control of faults at different evolution stages on hydrocarbon accumulation in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 316-323.
- [13] 宁飞,汤良杰,张钰,等. 塔中隆起早古生代反转构造及其

- 石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 57-62.
- Ning Fei, Tang Liangjie, Zhang Yu, et al. Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong Uplift and their significance to petroleum geology[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 57-62.
- [14] 郭光辉, 汪海, 陈志勇, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩复杂油气藏的特性[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 763-769.
- Wu Guanghui, Wang Hai, Chen Zhiyong, et al. Characteristics of the complex Ordovician carbonate reservoirs in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 763-769.
- [15] 肖朝晖, 王招明, 姜仁旗, 等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 1-10.
- Xiao Zhaohui, Wang Zhaoming, Jiang Renqi, et al. Sequence stratigraphic features of the Cambrian carbonate rocks in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 1-10.
- [16] 王祥, 张敏, 刘玉华. 塔里木盆地塔中地区天然气成因及其差异[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 335-342.
- Wang Xiang, Zhang Min, Liu Yuhua. Origins of natural gas in Tazhong area, the Tarim Basin and their differences[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 335-342.
- [17] 丁道桂, 汤良杰. 塔里木盆地形成与演化[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996: 182-253.
- Ding Daogui, Tang Liangjie. Formation and evolution of Tarim Basin[M]. Nanjing: Hehai University Press, 1996: 182-253.
- [18] 康南昌. 阿尔金断裂系与塔中构造带的形成与演化[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(1): 48-52.
- Kang Nanchang. Altun fault system and formation and evolution of Tazhong structural belt[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(1): 48-52.
- [19] Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 283(7): 684-721.
- [20] Suppe J, Medwedeff D. Geometry and kinematics of fault-propagation folding[J]. Eclogae Geologicae Helveticae, 1990, 83(3): 409-454.
- [21] Shaw J H, Hook S C, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1994, 78(5): 700-721.
- [22] Shaw J H, Suppe J. Earthquake hazards of active blind-thrust faults under the central Los Angeles basin, California[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(B4): 8623-8642.
- [23] Shaw J H, Bilotte F, Brennan P A. Patterns of imbricate thrusting[J]. Geological Society of America Bulletin, 1999, 111(7): 1140-1154.
- [24] Shaw J H, Connors C, Suppe J. Seismic interpretation of contractional fault-related folds; an AAPG seismic atlas[M] // American Association of Petroleum Geologists Special Publication, 2004: 1-270.
- [25] Medwedeff D A, Suppe J. Multibend fault-bend folding[J]. Journal of Structural Geology, 1997, 19(3-4): 279-292.

(编辑 李 军)

(上接第732页)

- Depression[J]. Geological Review, 1994, 40(supplement): 97-105.
- [10] Vail P R, Mitchm R M J, Thomposon S H. Seismic stratigraphy and global changes of sea level//Part-4, In: C. E. Pation (Editor): Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration, m. Assoc. Pt. Geol. AAPG Memoir. 1977, 26: 26-98.
- [11] Howell J A, Aitken J F. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications[J]. Geological Society Special Publication, 1996, 104: 1-24.
- [12] 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 69-80.
- Cai Xiyuan, Li Sitian. High resolution sequence stratigraphy of lacustrine basin[M]. Beijing: Geology press, 2003: 69-80.
- [13] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1982: 67-220.
- Geological survey of Jiansu Province. Regional geology of Jiansu province and Shanghai city[M]. Beijing: Geology Press, 1982: 67-220.
- [14] 安徽地矿局. 安徽省岩石地层[M]. 中国地质大学出版社, 1997.
- Geological survey of Anhui Province. Petrology and stratigraphy of Anhui province[M]. Beijing: China University of Geology Press, 1997: 88-120.
- [15] 江苏地矿局. 江苏省岩石地层[M]. 中国地质大学出版社, 1997.
- Geological survey of Jiansu Province. Petrology and stratigraphy of Jiansu province[M]. Beijing: China University of Geology Press, 1997: 57-81.

(编辑 董 立)