

塔东地区主要不整合面剥蚀量的恢复及成因机制

吴 斌^{1,2,3}, 何登发³, 何金有³, 刘丽芳¹

(1 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2 中国石油大学(北京)博士后流动站, 北京 102249;

3 中国地质大学能源学院, 北京 100083)

摘 要:地层剥蚀量的恢复对于构造演化史研究和油气勘探至关重要。通过对高分辨率地震数据的精细解释,在塔东地区识别出 9 个不整合面,其中与周缘造山作用相关的不整合面包括:志留系与上奥陶统、上泥盆统与前上泥盆统、三叠系与前三叠系、侏罗系与前侏罗系、古近系与白垩系、新近系与古近系等 6 个主要不整合面。基于平衡剖面技术,通过趋势厚度法,恢复了塔东地区主要不整合面的剥蚀厚度。研究表明:受天山造山带和阿尔金造山带俯冲、碰撞造山运动的影响,志留系与上奥陶统、上泥盆统与前上泥盆统之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东低凸起和若羌凹陷,并且后者的剥蚀作用最强;三叠系与前三叠系之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在孔雀河斜坡一带;侏罗系与前侏罗系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东低凸起、若羌凹陷和孔雀河斜坡等地区都较强;古近系与白垩系、新近系与古近系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东地区均发生,但整体剥蚀厚度不大。

关键词:剥蚀量;不整合面;趋势厚度法;平衡剖面技术;塔东地区

中图分类号:P512.2;P736.1

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.06008

地层剥蚀是多期次、多旋回沉积盆地中普遍存在的现象,强烈的剥蚀对整个盆地的沉积史、构造演化史、热史产生重要的影响。剥蚀量的大小、范围、剥蚀年代和时间间隔与油气运移、聚集和保存条件存在密切联系,因此,地层剥蚀量的恢复对于确定构造演化史和油气勘探至关重要^[1]。塔里木盆地塔东地区自震旦纪以来,先后经历了加里东运动、海西运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等多次构造运动,形成了多个区域性的不整合面^[2]。不整合面的叠加使不同时期剥蚀厚度

的恢复成为一个难点,前人对塔里木盆地的剥蚀量恢复做了大量工作,主要集中在区域构造带或地层分析上^[3-5],尚未开展对塔里木盆地塔东地区主要不整合面剥蚀量恢复研究。

剥蚀量恢复方法主要有:①地质法,包括趋势厚度法^[6]、沉积速率法^[7,8]、波动分析法^[9];②地球化学法,包括镜质体反射率法^[10-12]、流体包裹体法^[13]、磷灰石裂变径迹法^[14,15];③地球物理法,包括泥岩声波时差法^[16,17]、砂岩孔隙度法^[18,19]等。但是,这些方法需要在一定地质条件的约束下才能使用。其中泥岩声波时差法、砂岩孔隙度法、镜质体反射率法、流体包裹体法及磷灰石裂变径迹法等方法仅适用于不整合面以上的新沉积地层对不整合面以下老地层施加的压力小于被剥蚀地层对老地层施加的压力这一情况^[20]。因为地层在

收稿日期:2018-03-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB201101);中国博士后科学基金(2017M611129)

作者简介:吴 斌(1985—),男,在站博士后,主要从事沉积盆地构造特征研究工作。E-mail:wubin20@enooc.com.cn

埋藏过程中,孔隙度、古地温和镜质体反射率的演化是不可逆的,并且钻井和测试数据非常有限,这些数据只能恢复某一个时期单一不整合面处的剥蚀量,但是对于叠合不整合面处的剥蚀量的恢复则完全不同,早期沉积和剥蚀记录完全被后期构造运动所破坏,使其不能恢复某一个时期的剥蚀厚度,因此,这几种方法是不适用于大范围、具有多期构造运动的研究区。沉积速率法和波动分析法的使用主要受限于很难得到地层的年龄值。趋势厚度法可以在二维空间和三维空间上通过地层记录完整的凹陷区来恢复地层记录缺失的隆起区处的剥蚀厚度。该方法尤其适用于叠合不整合面处地层剥蚀量的恢复。

笔者综合高分辨率的地震数据和测井数据,基于平衡剖面技术,通过趋势厚度法,恢复了塔东地区主要不整合面的剥蚀厚度,并探讨塔东地区主要不整合面剥蚀量的分布与周缘造山作用的关系。

1 地质背景

塔里木盆地塔东地区东起罗布泊凸起、西至满加尔凹陷西部、北接塔北隆起、南抵若羌凹陷一带,隶属塔里木板块。受北部天山、伊宁—准噶尔板块、欧亚板块及南部阿尔金、拉萨地块、羌塘地块、印度板块的俯冲和碰撞的影响,形成了复杂的构造格局^[21](图1a)。塔东地区划分为若羌凹陷、罗布泊凸起、古城低凸起、塔东低凸起、罗布泊凸起、满加尔凹陷、英吉苏凹陷及孔雀河斜坡等8个二级构造单元,主要发育2套断裂系统:南部车尔臣断裂系统和北部孔雀河断裂系统(图1b)。

研究区内目前已证实存在的地层自下而上有元古界震旦系;下古生界寒武系、奥陶系、志留系;上古生界泥盆系、石炭系、二叠系;中生界三叠系、侏罗系、白垩系;新生界古近系、新近系、第四系等。

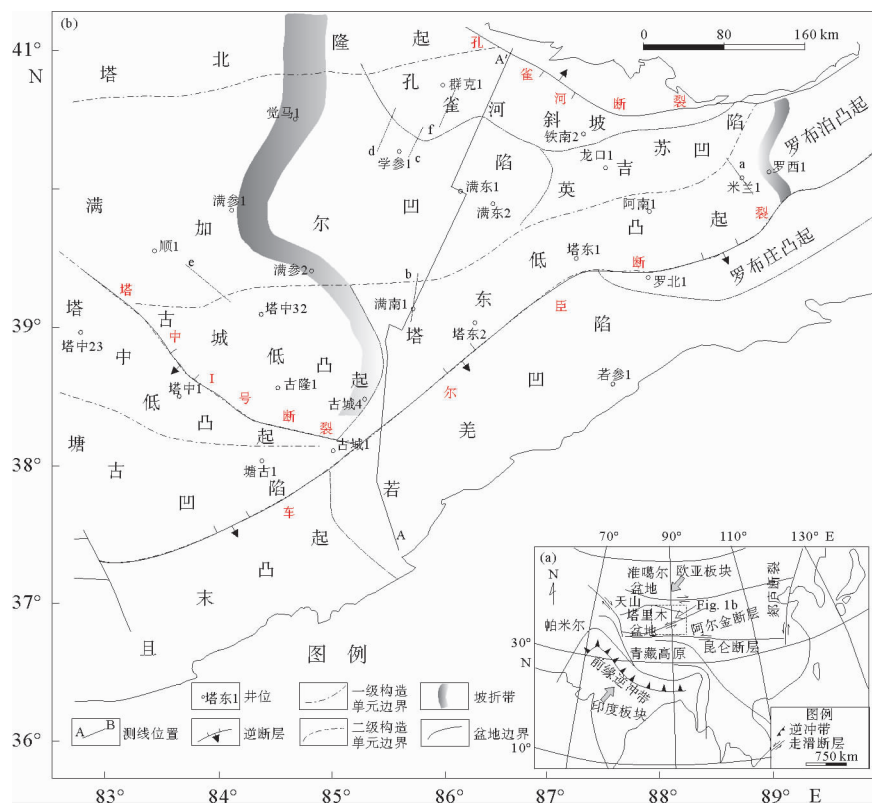


图1 (a)中亚地区的构造格架图(据文献[22]);(b)塔里木盆地塔东地区的构造格架图

Fig. 1 (a) Tectonic sketch map of Central Asia (from reference [22]); (b) Tectonic sketch map of the Tadong area, Tarim Basin

2 不整合面特征

塔东地区自震旦纪以来,经历了多次构造运

动,形成了规模不等的角度不整合和平行不整合,通过地震剖面的解释,在塔东地区识别出9个不整合面,包括: $Z/\text{An}Z$ 、 $\epsilon/\text{An}\epsilon$ 、 S/O_3 、 $(D_3d+C)/\text{An}D_3d$ 、 $T/\text{An}T$ 、 $J/\text{An}J$ 、 $K/\text{An}K$ 、 E/K 、 N/E (图2)。

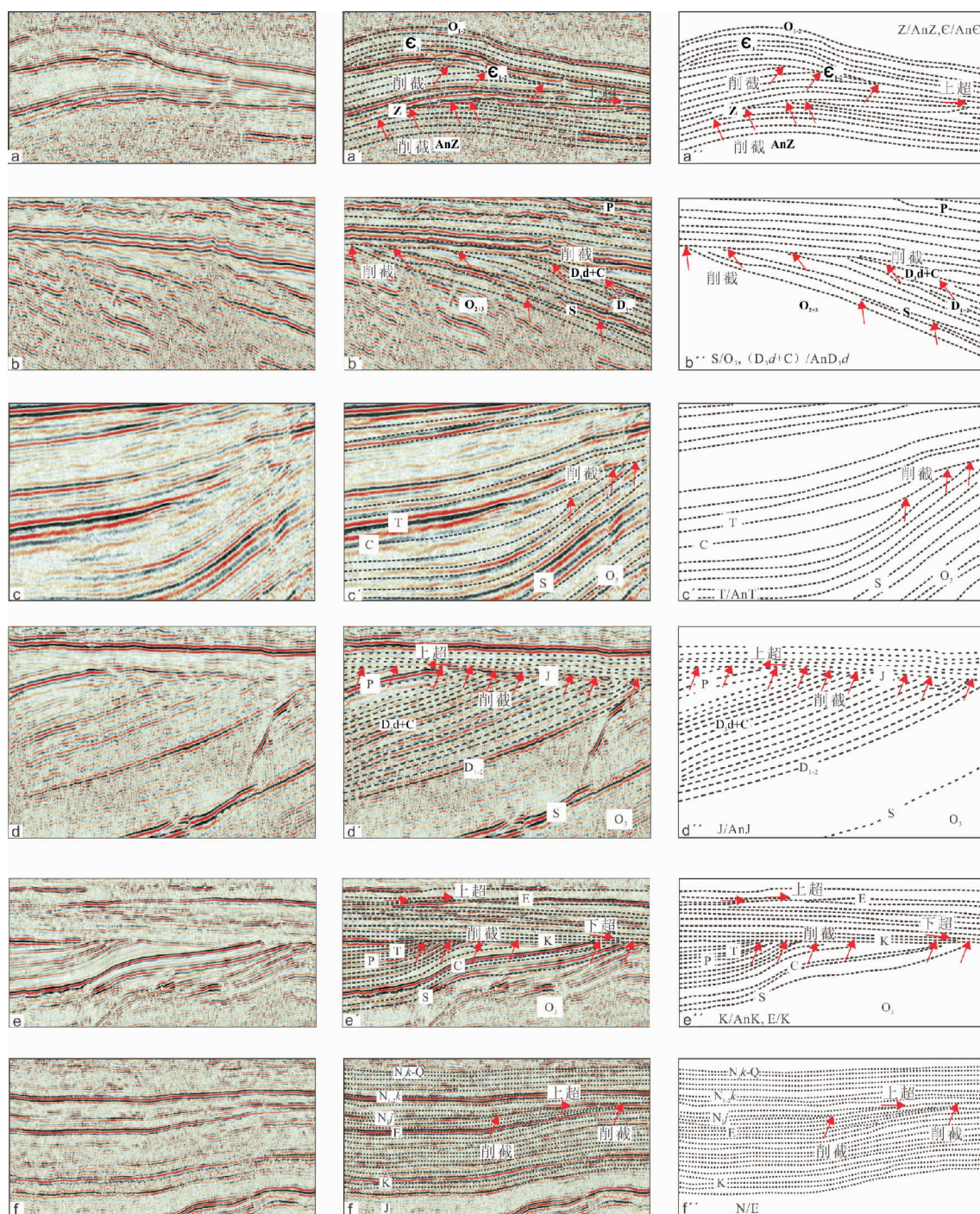


图2 塔里木盆地塔东地区不整合面特征($Z/\text{An}Z$ 、 $\epsilon/\text{An}\epsilon$ 、 S/O_3 、 $(D_3d+C)/\text{An}D_3d$ 、 $T/\text{An}T$ 、 $J/\text{An}J$ 、 $K/\text{An}K$ 、 E/K 、 N/E 位置见图1)

Fig. 2 Reflection of unconformities ($Z/\text{An}Z$ 、 $\epsilon/\text{An}\epsilon$ 、 S/O_3 、 $(D_3d+C)/\text{An}D_3d$ 、 $T/\text{An}T$ 、 $J/\text{An}J$ 、 $K/\text{An}K$ 、 E/K 、 N/E) on seismic profiles of the Tadong area, Tarim Basin (see Fig. 1 for location of the section)

震旦系与前震旦系之间的角度不整合接触(Z/AnZ)主要发育在塔东低凸起的北部,在斜坡部位可见向隆起方向的超覆现象(图2a)。寒武系与前寒武系的角度不整合接触(E/AnE)主要分布在满加尔凹陷向古城低凸起和塔东低凸起过度的斜坡上,具有明显的削截关系(图2a),而向满加尔凹陷内部和孔雀河斜坡寒武系与前寒武系之间为平行不整合接触。志留系与上奥陶统的角度不整合接触(S/O_3)主要分布在古城低凸起和塔东低凸起的北斜坡,在地震剖面上,清晰地可见上奥陶统的地震反射波组遭受削截,志留系由北向南超覆(图2b)。满加尔凹陷、英吉苏凹陷和孔雀河斜坡表现为平行不整合接触。 $((D_3d+C)/AnD_3d)$ 主要分布在古城低凸起和满加尔凹陷的东部。在地震剖面上,上泥盆统的地震反射波组削截下伏中上泥盆统、志留系和中上奥陶统的地震反射波组(图2b)。三叠系与前三叠系的角度不整合接触(T/AnT)主要分布在满加尔凹陷的中西部和古城低凸起。在地震剖面上,三叠系的地震反射波组削截下伏二叠系和上泥盆统一石炭系的地震反射波组(图2c)。侏罗系与前侏罗系的角度不整合接触(J/AnJ)主要分布在塔东地区东部。在地震剖面上,下伏奥陶系、志留系、中上泥盆统、上泥盆统一石炭系、二叠系、三叠系等地震反射波组明显受由北东向南西方向削截,侏罗系上超于下伏地层(图2d)。白垩系与前白垩系的角度不整合接触(K/AnK)在塔东地区广泛发育。在满加尔凹陷,白垩系的地震反射波组削截下伏地层(图2e),由南向北超覆于侏罗系之上。白垩纪末期,塔东地区的周缘发生剧烈的构造运动,广泛发育古近系与白垩系的角度不整合(E/K)。在地震剖面上,古近系的地震反射波组削截下伏白垩系的地震反射波组。新近系与古近系的角度不整合(N/E)广泛分布于整个塔东地区,在孔雀河斜坡尤为明显,在地震剖面上,该不整合面削截下伏古近系(图2f)。

通过对塔东地区不整合面分布和特征的分析,认为塔东地区存在代表6期主要构造变革的6个主要不整合面,包括:①志留系与上奥陶统的不整合,代表加里东运动中期,塔东地区东、西分带格局向南、北分带转化;②上泥盆统与前上泥盆

统的不整合,代表海西运动早期,塔东地区从南、北分带向东高西低的格局转化;③三叠系与前三叠系的不整合,代表了海西运动晚期,塔东地区由海相沉积转变为陆相沉积;④侏罗系与前侏罗系的不整合,代表了印支运动时期,孔雀河斜坡、塔东低凸起隆升剥蚀,从区域隆升向区域沉降转换;⑤古近系与白垩系的不整合,代表燕山运动,反映了晚白垩世末期的区域性的抬升与剥蚀;⑥新近系与古近系的不整合,代表喜马拉雅早期运动,此后,塔东地区大规模的沉降、逆冲。本文选取这6个反应主要构造运动的不整合面为研究对象,进行剥蚀量的恢复。

3 剥蚀量恢复方法

塔里木盆地塔东地区现今的地质结构是在长期地质演化过程中,不同阶段不同类型的原型盆地复合与叠加的结果^[23],从而使塔东地区的斜坡区和隆起区产生叠合不整合面,对于叠合不整合面处的早期沉积和剥蚀记录完全被后期构造运动所破坏,通过趋势厚度法可以很好地从地层记录完整的凹陷区来恢复地层记录缺失的隆起区处的剥蚀厚度,从而更加合理、更加有效的恢复叠合不整合面处的多期剥蚀过程。利用趋势厚度法恢复地层的剥蚀量要综合考虑顶、底界面的恢复(图3)。

(1)趋势厚度法恢复目的层底界面是指目的层刚开始沉积的底界面。该底界面与上覆目的层之间没有沉积间断,因此目的层底界面与上覆同一时期形成的地层的产状、沉积特征是相关的,所以对于目的层底界面的恢复要综合考虑上覆地层的地震反射特征(平行、上超、发散或者顶超)(图3)。

(2)趋势厚度法所恢复目的层顶界面是指目的层在沉积后剥蚀前的顶界面。如果没有发生剥蚀,目的层的顶界面与上覆地层底界面是一致的;如果地层发生剥蚀,就需要通过趋势厚度法恢复目的层的顶界面,在此过程中,通过区域大剖面找到地层的剥蚀初始点就尤为重要。目的层顶界面代表地层沉积结束层界面,其与下伏同一时期形成的地层的产状、沉积特征也是相关的,所以对于目的层顶界面的恢复也要综合考虑下伏地层的地震反射特征(平行、上超、发散或者顶超)(图3)。

(3)地层剥蚀厚度的恢复要遵循从新地层到

老地层逐一恢复^[24]。根据这一原则,基于平衡剖面技术,通过趋势厚度法,依次恢复新近系与古近系、古近系与白垩系、侏罗系与前侏罗系、三叠系与前三叠系、上泥盆统与前上泥盆统、志留系与上奥陶统等6个主要不整合面界面所对应的剥蚀厚度

度(图4)。

(4)骨架剖面网格矫正:对剖面上恢复的主要不整合面的剥蚀量进行平面上的横向闭合校正,最终确定塔东地区主要不整合面剥蚀厚度的平面分布特征。

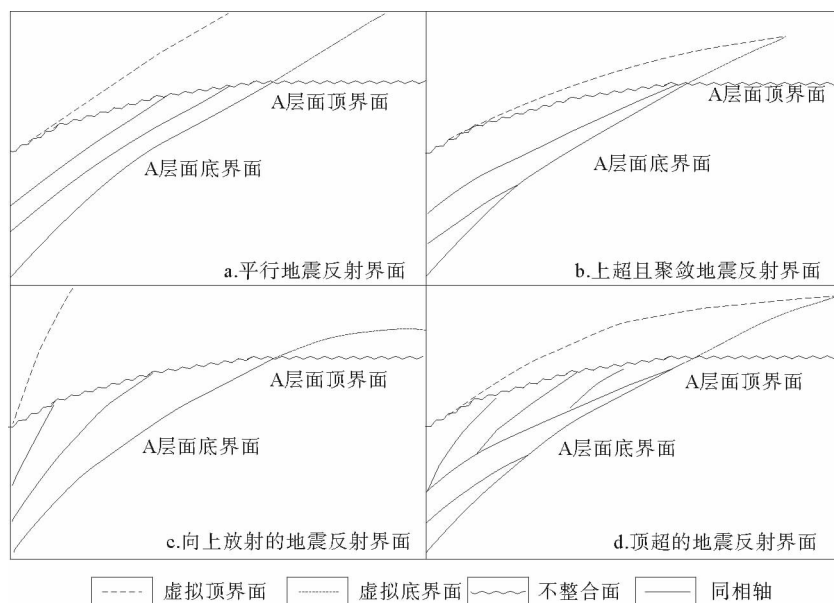


图3 不同的地震反射特征和趋势厚度恢复示意图(据文献[24])

Fig. 3 Sketches showing the seismic reflection and reconstruction of trend thickness (from reference [24])

4 剥蚀量的平面分布特征

本次研究主要选取塔东地区20条主干剖面进行了主要不整合面的剥蚀量恢复,并对恢复的结果进行闭合校正,最终确定塔东地区主要不整合面的剥蚀厚度的平面分布特征,研究表明:

志留系与上奥陶统之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东地区的南部,最大剥蚀厚度可达1400 m,向东剥蚀厚度减小,一般在200~600 m,以草2—塔中32井—塔东1井—若参1井—英东2井为界限,东北面未遭受抬升剥蚀,并且沉积了巨厚的上奥陶统陆棚相的混积岩(图5a)。上泥盆统与前上泥盆统之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东地区的南北两侧,具有南强北弱,西强东弱的特征(图5b)。车尔臣断裂以南,剥蚀厚度最大可达7000 m,并呈现由西向东逐渐减小的趋势;车尔臣断裂以北,塔中低凸起剥蚀厚度为1500~2000 m左右,向东古城低

凸起的剥蚀厚度为2000~3500 m,到塔东低凸起剥蚀厚度减小,为1500~2500 m之间,在英东1井—米兰1井一带,剥蚀厚度减小为500~1000 m;而在顺1—满东1—孔雀1井近东西向区一带没有剥蚀。三叠系与前三叠系之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔里木盆地塔东地区的东北部,孔雀河斜坡的地层被大量剥蚀,剥蚀厚度>400 m,塔东低凸起及若羌凹陷一带的剥蚀厚度比较小,在200~400 m之间,向东剥蚀厚度增大。学参1—塔中32井—塘沽1井一带的西南侧则没有剥蚀(图5c),剥蚀强度转变为北强南弱。侏罗系与前侏罗系之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东地区的南部和东北部,车尔臣断裂以南,剥蚀厚度为1000~7500 m,呈现出由东向西逐渐减小的趋势;车尔臣断裂以北,剥蚀厚度向东逐渐减小,在英东1井附近的剥蚀厚度为2000 m左右;在东北侧的孔雀河斜坡的剥蚀厚度最高达3000 m左右,未发生剥蚀作用的是满加尔凹陷地区(图5d)。古近系与白垩系之

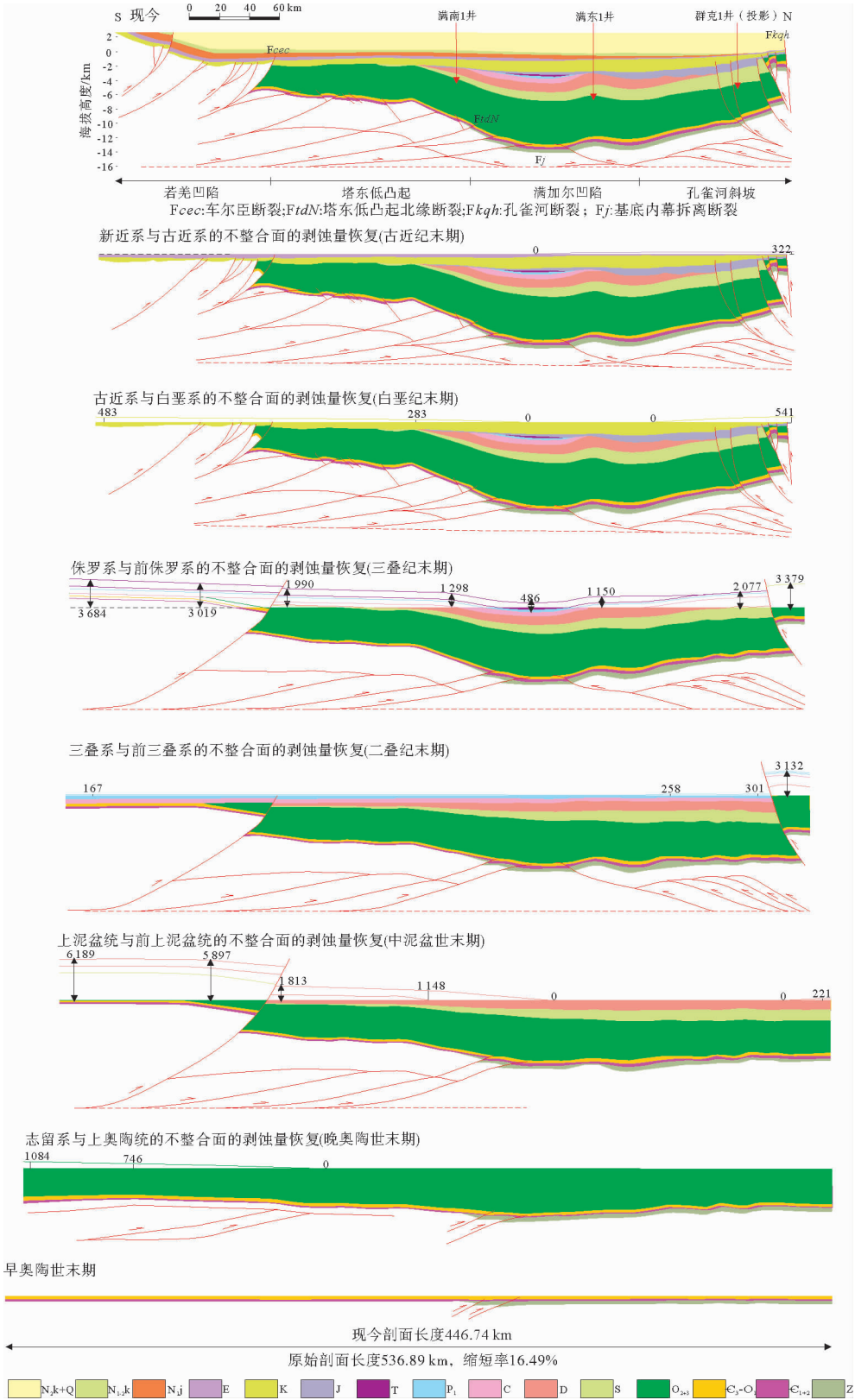


Fig. 4 N-S tectonic reconstruction cross sections for the middle and eastern Tadong area, Tarim Basin (see AA' in Fig. 1 for the location of sections)

间不整合面产生的剥蚀厚度的分布在塔东地区具有两边强中间弱的剥蚀特征(图 5e)。在罗西 1 井—满东 2 井—学参 1 井一带构造影响小基本没有剥蚀。新近系与古近系之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在满加尔凹陷的东北部和孔雀河

斜坡附近,剥蚀厚度小,约为 0~300 m(图 5f)。

综上所述,志留系与上奥陶统、上泥盆统与前上泥盆统之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东低凸起和若羌凹陷,并且后者的剥蚀作用最强;三叠系与前三叠系之间不整合面产生的剥

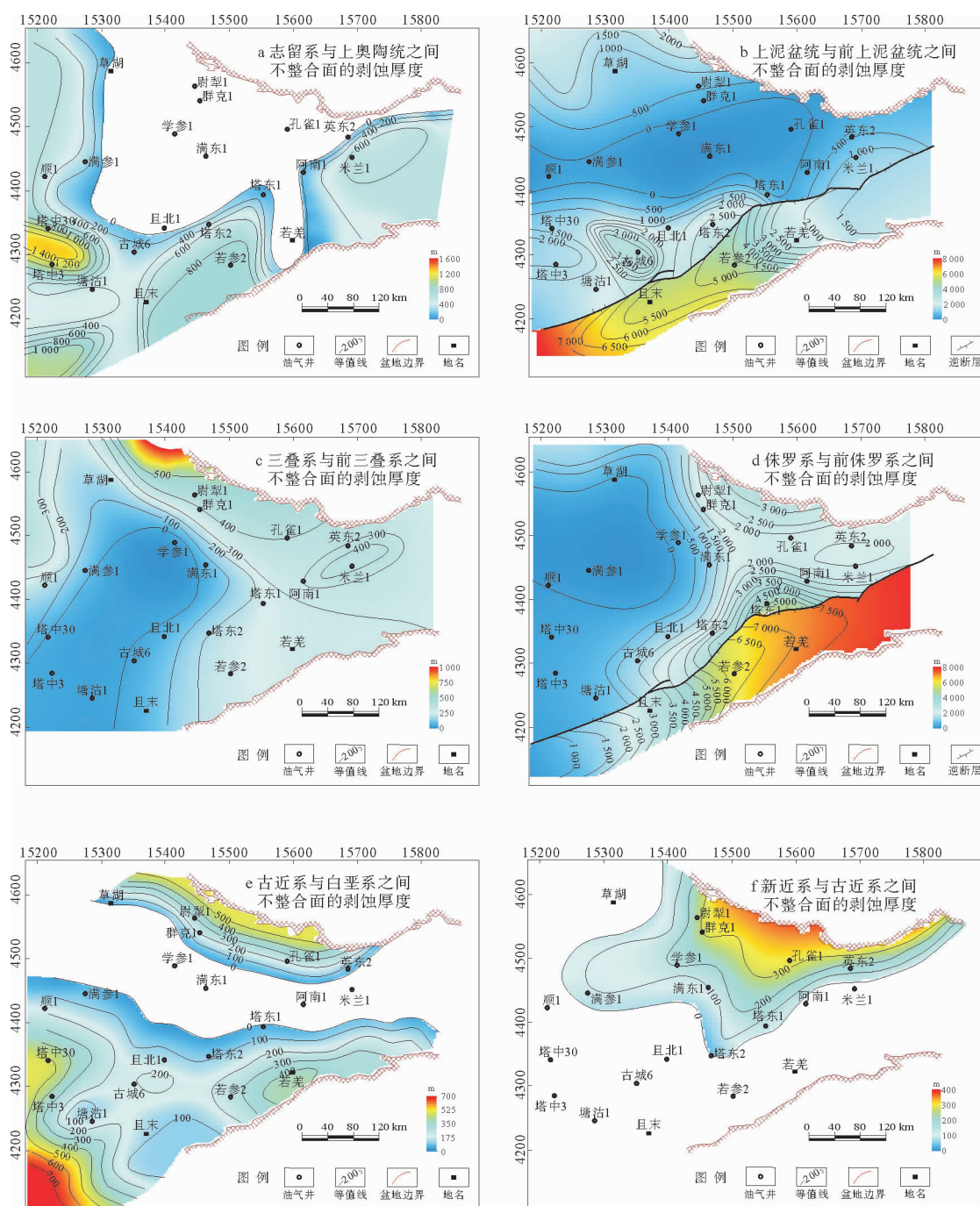


图 5 塔里木盆地塔东地区主要不整合面剥蚀厚度图

Fig. 5 Total restored thickness of eroded strata along the main unconformities in the Tadong area, Tarim Basin

蚀作用主要发生在孔雀河斜坡一带;侏罗系与前侏罗系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东低凸起、若羌凹陷及孔雀河斜坡等地区都比较强;古近系与白垩系、新近系与古近系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东地区均发生,但整体上剥蚀厚度不大。

5 成因机制探讨

与区域构造背景对比,塔东地区主要不整合面剥蚀量的分布特征,反映并约束了周缘造山带的构造事件^[25-27]。造山带的形成与盆地内构造变形相互制约、相互响应,表现出相得相生的密切关系。

塔东地区志留系与上奥陶统之间不整合面的形成及剥蚀量分布主要受控于早奥陶世末一晚奥陶世,北阿尔金洋向南俯冲^[28-31],使塔东地区南部遭受抬升剥蚀、形成奥陶系与上覆志留系呈角度不整合接触。奥陶纪—志留纪,中天山洋向南俯冲,塔里木地块的北部形成中天山岛弧,中天山南部的南天山洋形成弧后盆地^[32-34],使塔东地区的北部成为被动大陆边缘^[35],从而使塔东地区的东北部没有发生抬升剥蚀作用,并且形成奥陶系与上覆志留系呈整合接触(图5a)。上泥盆统与前上泥盆统之间不整合面的形成及剥蚀量分布,一方面受控于志留纪—泥盆纪,阿尔金洋逐渐消失,成为塔里木、阿拉善、东昆仑、柴达木地块之间的加里东造山带,另一方面受控于晚泥盆世—早石炭世,南天山洋向南俯冲,塔东地区北部变为活动大陆边缘,由于受这两方面的共同影响,导致塔东地区南部和北部遭受抬升剥蚀、形成上泥盆统与前上泥盆统的角度不整合接触(图5b)。三叠系与前三叠系之间不整合面的形成及剥蚀量分布主要受控于石炭纪—三叠纪,南天山洋由东向西逐渐闭合^[36,37],使塔里木板块北缘与中天山岛弧斜向碰撞,从而使塔东地区东北部遭受抬升剥蚀,形成三叠系与前三叠系之间角度不整合接触(图5c)。侏罗系与前侏罗系之间不整合面的形成及剥蚀量分布主要受控于晚三叠世—早侏罗世,羌塘地块与塔里木板块的陆陆碰撞拼贴事件控制,及昆仑、阿尔金及天山造山带的影响,从而使塔东地区南北两侧地层大量剥蚀,形成侏罗系与下伏

地层的区域角度不整合接触(图5d)。古近系与白垩系、新近系与古近系之间不整合面的形成及剥蚀量分布主要受控于燕山作用晚期—喜马拉雅早期,阿尔金造山带与天山造山带活动的影响,使塔东地区遭受抬升剥蚀,但剥蚀作用不强(图5e, 5f)。

6 结论

(1)通过对塔东地区不整合面的分布、特征及其成因分析,认为塔东地区有6个主要不整合面,包括:志留系与上奥陶统、上泥盆统与前上泥盆统、三叠系与前三叠系、侏罗系与前侏罗系、古近系与白垩系、新近系与古近系,它们分别对应加里东中期、海西早期、海西晚期、印支期、燕山期、喜马拉雅早期运动六期构造运动。

(2)通过塔东地区主要不整合面剥蚀量平面分布特征的研究,表明志留系与上奥陶统、上泥盆统与前上泥盆统之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在塔东低凸起和若羌凹陷,并且后者的剥蚀作用最强;三叠系与前三叠系之间不整合面产生的剥蚀作用主要发生在孔雀河斜坡一带;侏罗系与前侏罗系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东低凸起、若羌凹陷及孔雀河斜坡等地区都比较强;古近系与白垩系、新近系与古近系之间不整合面产生的剥蚀作用在塔东地区均发生,但整体上剥蚀厚度不大。

(3)塔东地区主要不整合面及其剥蚀量的分布,受控于周缘古洋盆的俯冲、关闭及碰撞造山运动的影响。塔东地区北部的剥蚀主要受控于天山造山带的俯冲、碰撞造山运动,南部的剥蚀主要受控于阿尔金造山带的俯冲、碰撞造山运动。

参考文献:

- [1] 郭飞飞,曹强,唐文旭.南黄海北部盆地东北凹陷地层剥蚀厚度恢复[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(5):99-103.
- [2] 何登发,贾承造,李德生,等.塔里木盆地多旋回叠合盆地的形成与演化[J].石油与天然气地质,2005,26(1):64-75.
- [3] 林畅松,李思田,刘景彦,等.塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化[J].岩石学报,2011,27(1):210-218.
- [4] 牟中海,陆廷清,谢桂生,等.塔西南地区二叠系剥蚀厚度恢

- 复[J]. 天然气工业, 2001, 21(2): 41-43.
- [5] 丁文龙, 漆立新, 云露, 等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区古构造演化及其对奥陶系储层发育的控制作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(8): 2542-2556.
- [6] 牟中海, 唐勇, 崔炳富, 等. 塔西南地区地层剥蚀厚度恢复研究[J]. 石油学报, 2011, 23(1): 40-44.
- [7] 王毅, 金之钧. 沉积盆地中恢复地层剥蚀量的新方法[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 482-485.
- [8] 张海军, 曹强, 孙建峰. 地层剥蚀厚度恢复研究——以南黄河北部盆地东北凹陷为例[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(5): 21-25.
- [9] 张一伟, 金之钧, 刘国臣, 等. 塔里木盆地环满加尔地区主要不整合形成过程及剥蚀量研究[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 449-456.
- [10] 胡圣标, 汪集翔, 张容燕. 利用镜质体反射率数据估算地层剥蚀厚度[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 42-45.
- [11] 邱春光, 王璞珺, 刘延莉. 滨北地区 T5 和 T4 不整合面剥蚀量恢复[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(6): 16-19.
- [12] 佟彦明, 吴冲龙. Ro 差值法恢复地层剥蚀量的不合理性[J]. 天然气工业, 2006, 26(5): 21-23.
- [13] 赵力彬, 黄志龙, 高岗, 等. 恢复地层剥蚀厚度的一种新方法——包裹体测温法[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(1): 15-19.
- [14] Himansu S S, Matthias J R, Barry P K, et al. Denudation history of Eastern Indian peninsula from apatite fission track analysis: Linking possible plume-related uplift and the sedimentary record [J]. Tectonophysics, 2013, 608: 1413-1428.
- [15] Kamp P J J, Liddell I J. Thermochronology of northern Murihiku Terrane, New Zealand, derived from apatite FT analysis [J]. Journal of the Geological Society, 2000, 157(2): 345-354.
- [16] 刘景彦, 林畅松, 喻岳钰, 等. 用声波测井资料计算剥蚀量的方法改进[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 302-306.
- [17] 纪友亮, 胡光明, 黄建军, 等. 渤海湾地区中生代地层剥蚀量及中、新生代构造演化研究[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 351-358.
- [18] 靳广兴, 卓勤功. 东濮凹陷东营组地层剥蚀厚度恢复[J]. 断块油气田, 2006, 13(6): 18-20.
- [19] 何将启, 周祖翼, 江兴歌. 优化孔隙度法计算地层剥蚀厚度: 原理及实例[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 561-565.
- [20] 牟中海, 陈志勇, 陆廷清, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系剥蚀厚度恢复[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(1): 35-37.
- [21] 刘朝露, 贾承造, 夏斌, 等. 塔东地区盆地耦合与油气成藏模式研究[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(5): 552-558.
- [22] Sun J M, Zhang Z Q. Syntectonic growth strata and implications for Late Cenozoic tectonic uplift in the northern Tianshan, China [J]. Tectonophysics, 2009, 463(1-4): 60-68.
- [23] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木多旋回叠合盆地地质结构特征[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 31-41.
- [24] Liu H, Wang Y M. Restoration of eroded stratal thickness in key periods of tectonic change in a multi-stage superimposed Tarim Basin in China [J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 1(2): 149-171.
- [25] Lin C S, Yang H J, Liu J Y. 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 [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 46: 1-19.
- [26] 何碧竹, 许志琴, 焦存礼, 等. 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.
- [27] 张宇航, 汤良杰, 云露, 等. 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] 张建新, 孟樊聪, 于胜尧, 等. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 558-564.
- [29] 戚学祥, 吴才来, 李海兵, 等. 北阿尔金喀孜萨依花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 859-866.
- [30] 康磊, 刘良, 曹玉亭, 等. 北阿尔金构造带红柳沟钾长花岗岩地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素组成[J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1066-1076.
- [31] 董顺利, 李忠, 高剑, 等. 阿尔金—祁连—昆仑造山带早古生代构造格架及结晶岩年代学研究进展[J]. 地质论评, 2013, 59(4): 731-746.
- [32] Charvet J, Shu L S, Laurent-Charvet S, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China [J]. Science China, 2011, 54(2): 166-184.
- [33] 汤良杰, 邱海峻, 云露, 等. 塔里木盆地北缘—南天山造山带盆—山耦合和构造转换[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 195-204.
- [34] 周肖贝, 李江海, 王洪浩, 等. 塔里木盆地南华纪—震旦纪盆地类型及早期成盆构造背景[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 290-298.
- [35] Wang X W, Chen F J. Sinian-Ordovician tectonic evolution of the North Tarim and South Tianshan region and its relation to oil and gas [J]. Geoscience, 1997, 11(3): 313-320.
- [36] Brookfield M E. Geological development and Phanerozoic crustal accretion in the western segment of the southern Tianshan (Kyrgyzstan, Uzbekistan and Tajikistan) [J]. Tectonophysics, 2000, 328(1/2): 1-14.
- [37] 李日俊, 杨海军, 赵岩, 等. 南天山区域大地构造与演化[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 94-104.

RESTORATION OF TOTAL THICKNESS ERODED BY MAIN UNCONFORMITIES IN TADONG AREA, TARIM BASIN AND GENETIC MECHANISMS

WU Bin^{1,2,3}, HE Dengfa³, HE Jinyou³, LIU Lifang¹

(1 CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100028, China; 2 Postdoctor at Center of China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3 School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Total thickness restoration of eroded strata is an important task for tectonic reconstruction and hydrocarbon exploration. In this study, nine unconformities have been identified in the Tadong area by seismics, of which six major ones are closely related to the orogenic processes in the peripheral mountains of the basin, which includes the unconformities between Silurian and Upper Ordovician, between Upper Devonian and Pre-Upper Devonian, between Triassic and Pre-Triassic, between Jurassic and Pre-Jurassic, between Paleogene and Cretaceous, and between Neogene and Paleogene. Using balanced sections, the total eroded thickness of the main unconformities is reconstructed by the method of trend thickness for the Tadong area of Tarim Basin. The result suggests that the denudation is strongly controlled by the subduction and collision of the Tianshan and the Altyn Tagh orogenic belts. The denudations between the Silurian and the Upper Ordovician, and between the Upper Devonian and the Pre-Upper Devonian occurs mainly on the Tadong Uplift and the Ruoqiang Depression, and the denudation between the Upper Devonian and the Pre-Upper Devonian is more intensive. On the contrary, the denudation between the Triassic and the Pre-Triassic is on the Kongquehe Slope. The denudation between the Jurassic and the Pre-Jurassic also mainly occurs on the Tadong Uplift, in the Ruoqiang depression and on the Kongquehe slope. The denudation between the Paleogene and the Cretaceous, and the one between the Neogene and the Paleogene occur as well in the Tadong area with weaker denudation.

Key words: denudation thickness; unconformity; trend thickness method; balanced section technique; Tadong area