

文章编号: 1000-0550(2009) 03-0494-09

# 准噶尔盆地乌夏前陆冲断带构造活动—沉积响应<sup>①</sup>

冯建伟<sup>1</sup> 戴俊生<sup>1</sup> 鄢继华<sup>1</sup> 黄立良<sup>2</sup> 王 军<sup>1</sup>

(1 中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061; 2 新疆油田公司勘探开发研究院 新疆克拉玛依 834000)

**摘 要** 通过研究乌夏前陆冲断带二叠系构造层序特征、沉积相特征、断裂特征及最具断裂构造活动指向性的扇体发育特征, 认为二叠纪构造演化受海西运动晚期的影响经历了强烈俯冲碰撞造山期、弱冲断夹短暂伸展火山期和强烈冲断复活期三个阶段, 并形成了众多走向不同却又彼此相互切割叠加的逆冲断裂, 影响着地层的沉积与剥蚀, 控制着断裂带和扇体的形成和演化。结果表明由早至晚扇体由山前向盆内呈前展式夹短暂退覆式叠置迁移特点, 相应地, 二叠纪以形成北东向和北东东向断裂为主, 并从山前向盆地方向依次发育, 其间夹杂短暂的后展式发育, 构造活动强度逐渐由北西向南东方向迁移。因此, 绝大多数同生断裂控制了扇体的沉积边界和分布, 部分控制了其厚度和发育方向, 扇体的迁移与控扇断裂的活动迁移具有很好的吻合性, 断裂活动是控制乌夏地区沉积的主要因素。结果表明: 二叠纪时期乌夏地区主要发育水下扇—扇三角洲—冲积扇—湖泊沉积体系, 从下至上经历了饥饿深水阶段、复理石阶段和磨拉石阶段构造, 其中扇体发育代表了最典型的沉积特征。

**关键词** 乌夏前陆冲断带 二叠纪 扇体发育 同生断裂

**第一作者简介** 冯建伟 1979 年出生 男 博士后 地质 E-mail: daifengjianwei@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

从全球著名的特提斯构造带到环太平洋构造带, 发育了众多的前陆盆地, 而处于前陆盆地活动翼的前陆冲断带, 更是油气聚集的主要场所。我国前陆盆地油气资源总体均较丰富, 主要分布于中西部地区的四川盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等盆地的 12 个前陆冲断带上<sup>[1]</sup>。对于前陆冲断带的构造活动与沉积作用的关系研究, 即构造—沉积响应的研究, 是前陆盆地分析的核心问题之一, 近年来已逐渐成为研究的热点。20 世纪 80 年代之前, 国际沉积学界主要进行构造环境对砂岩成分的控制、构造格局对沉积相演化的影响两方面研究并由 Gretener<sup>[2]</sup>首次从逆冲推覆作用提出前陆盆地连续形成和波浪式发展的概念和模式。进入 20 世纪 80 年代, 国外开始探讨沉积作用和盆地演化对造山带逆掩与推覆构造的响应关系<sup>[3,4]</sup>, 并陆续总结利用前陆盆地地层确定毗邻造山带逆冲推覆作用的方法; 20 世纪 90 年代以来, 国外进行了前陆盆地构造沉降和沉积演化的二维和三维模拟, 讨论了压性构造对盆地边缘扇体及冲积体系的控制作用<sup>[5,6]</sup>; 国内在前陆盆地盆山转换盆山耦合及对含油气系统的控制作用与青藏高原隆升方面, 取得了一些研究成果<sup>[7,8]</sup>, 但对前陆冲断带逆冲断裂活动的沉积响应论述极少。

乌夏地区位于准噶尔盆地西北缘东北部, 处于哈拉阿拉特山前, 全长 80 km, 是一个受多期构造叠加影响的逆冲断褶区<sup>[9]</sup>, 由西向东, 其走向先呈北东向, 中间转为近西东向, 尾部继而转为近西东向, 围绕主断层发育了许多与其平行或斜交的次级断层, 共同构成一系列断阶, 宽度约为 16 km, 平面上呈弧状。根据沉积、构造变形特征及地球物理信息所反映出的差异, 认为该区断裂构造具有南北分带、东西分区的特点<sup>[9,10]</sup>, 从北向南依次为山前冲断带、断褶带和南部单斜带三个次级构造单元, 从西向东进一步分为百乌断褶区、乌尔禾断褶区、乌夏冲断区和夏子街断褶区四个更次级构造单元(图 1)。乌夏地区在晚石炭世海西运动以来, 经历了晚海西、印支、燕山运动继承性发育, 在燕山 III 幕晚期最终被覆盖定型, 经历了完整的前陆盆地、陆内拗陷等不同发育旋回阶段, 并形成了众多走向不同却又彼此相互切割叠加的逆冲断裂, 影响着地层的沉积与剥蚀, 控制着断裂带的形成和演化, 可以说断裂活动代表了构造活动。尤其是二叠纪时期, 乌夏地区处于盆山接触部位, 具前陆冲断带的典型特征, 其逆冲断裂具有明显的同沉积性质与多期叠瓦冲断活动特点, 冲断隆升、风化剥蚀、搬运与沉降充填是一个有机的地球动力学过程, 在这一相

① 中国石油总公司 2005~2009 年重点项目《准噶尔盆地西北缘滚动精细勘探项目》资助。

收稿日期: 2008-06-22 收修修改稿日期: 2008-09-27

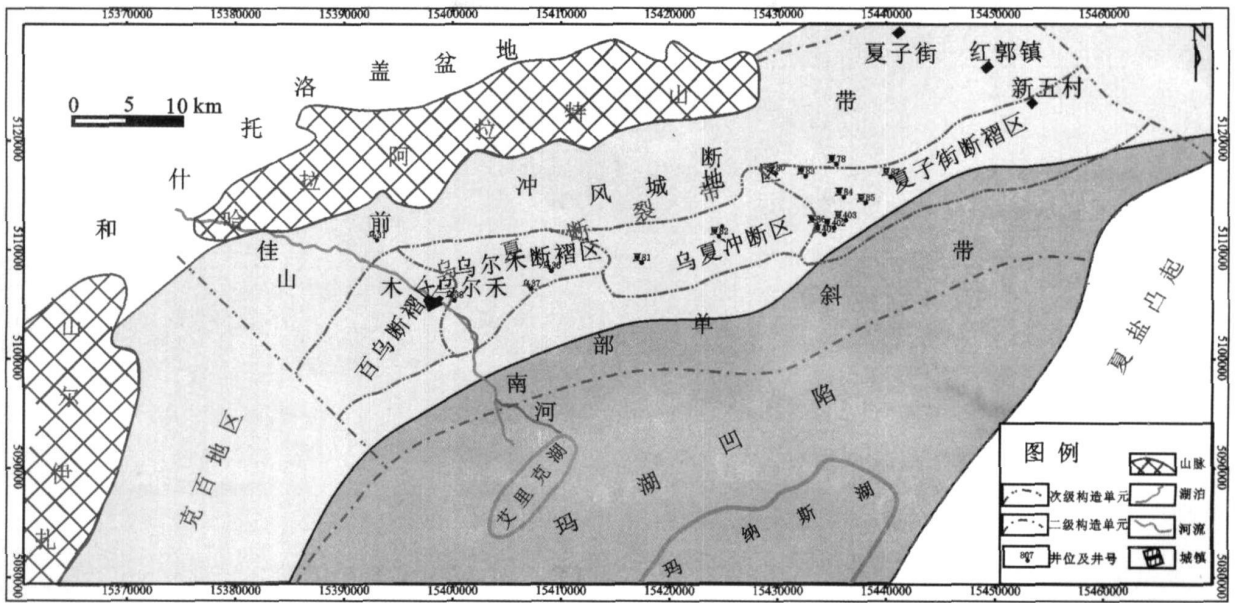


图 1 乌夏地区构造单元划分

Fig 1 Division of structural units in Wuxia area

关键条中断裂活动是主动的, 断裂活动的产物—扇体最有特色<sup>[8]</sup>。根据砾质粗碎屑沉积是构造事件响应的原理, 前陆盆地的冲断事件伴随着广泛的砾岩进积, 与物源区地层单元垂向叠置序列相反或相同的岩屑组剖面分布则是幕式构造旋回为出发点出发, 运用构造沉积学、沉积旋回学、数理统计、前陆冲断带油气勘探等新理论新技术, 研究了准噶尔乌夏前陆冲断带二叠纪逆冲构造事件与冲断活动的沉积响应耦合关系、逆冲推覆作用的地层沉积标识、前陆冲断活动对沉积作用的控制量化描述, 以期分析扇体的分布规律及对油气藏的控制, 从而为有利储集砂体和隐蔽油气藏的预测提供基础<sup>[8, 11]</sup>。

### 1 地层充填及构造层序

研究表明, 在晚石炭世西准噶尔洋壳向哈萨克斯坦板块之下俯冲、消减, 残余洋消亡、板块碰撞拼合、基底褶皱回返及周界山系强烈增生的构造背景的影响下<sup>[8]</sup>, 准噶尔盆地西北缘乌夏地区开始了前陆冲断带的形成和演化进程。经三维及二维地震资料解释、钻井资料区域系统对比, 二叠系垂向充填序列从下到上依次发育了佳木河组、风城组、夏子街组、下乌尔禾组、上乌尔禾组 5 套地层, 它们在不同构造单元分布不尽相同, 总体上表现为南厚北薄, 东厚西薄, 北高南低, 但东西方向上厚度变化平稳。佳木河组、风城组、夏子街组和下乌尔禾组 4 套地层在地震剖面上反射特

征明显, 连续性好, 由能量较强的层系组成, 各层系底部表现为 2~3 个明显的强相位, 层系间具明显角度不整合。上乌尔禾组在乌夏地区几乎剥蚀殆尽。

总体上, 乌夏地区二叠纪处于前陆盆地演化背景, 早二叠世发育了一套由火山—火山碎屑岩和正常碎屑岩沉积相<sup>[8]</sup>, 中晚二叠世主要发育了冲积扇相、扇三角洲相和湖泊相, 扇体是最主要的沉积类型, 因此扇体类型多样化、成因类型综合化、展布特征时空化、充填序列旋回化是对乌夏地区扇体特征最好的概括。乌夏地区的前陆盆地充填序列具明显的旋回式沉积特点, 明显受到了构造旋回的控制, 因此, 在一定地区, 经历了同一构造运动阶段, 具有相同的构造发育历史和构造特征的一套地层综合, 即构造层, 它们具有不同的沉积体系类型和分布样式, 反映出盆地的充填演化具有多期和幕式的变化过程。根据沉积建造类型、构造特征、地震反射特征、测井曲线特征和地层接触关系等, 可将乌夏地区二叠系地层从下到上分为三个构造层: 下二叠统佳木河组—风城组构造层、中二叠统夏子街组—下乌尔禾组构造层、上二叠统上乌尔禾组构造层(图 2)。从而结合原型盆地特征、沉降心迁移及主要构造事件将二叠纪构造演化划分为: 佳木河—风城期弱挤压前陆盆地火山活动阶段、夏子街—下乌尔禾期前展式挤压前陆盆地断褶构造阶段及上乌尔禾组强烈挤压前陆盆地鼎盛—消亡阶段, 至三叠纪进入陆内拗陷发育阶段, 乌夏地区此

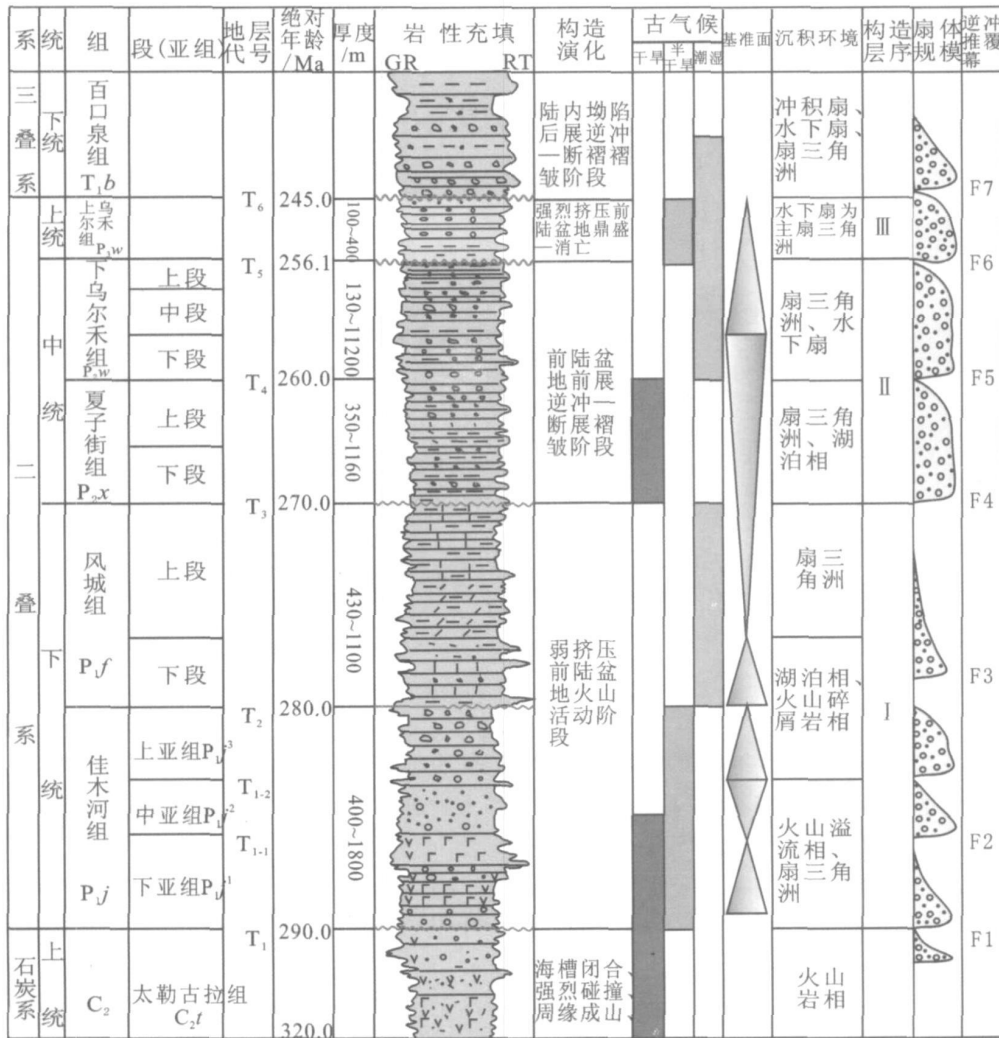


图 2 乌夏地区二叠系充填序列及构造层序划分

Fig 2 Permian filling series and structural sequence in Wuxia area

时处于泛盆沉积环境,因此,乌夏地区从晚石炭世至二叠纪末期经历了一个前陆盆地系统发生、发展到消亡的完整过程。

## 2 同生断裂活动性定量表征及扇体发育演化

### 2.1 二叠纪各时期扇体展布及时空演化

针对佳木河组地层钻并资料少的特点,采用地震相分析手段,从地震资料中提取平均反射强度、相关长度、弧线长度等多种属性进行聚类分析<sup>[12]</sup>,研究沉积体系平面展布特征。佳木河组早中期扇体不发育,分布十分局限,只在乌尔禾地区发育小规模扇三角洲沉积,主要受火山活动影响,在地震剖面上常呈连续性较好的平行或亚平行较强反射,说明当时水体较

深。佳木河组晚期发育扇三角洲相,在下段扇体发育的基础上又在于乌尔禾西部地区和夏子街地区发育了三个规模不等的扇体,其规模由西向东依次增大,并依次沿断裂分布,主要受控于活动断裂,垂向上为一先变细后变粗的退积—进积型旋回。佳木河组时期扇体的长轴方向以北东向为主,其次为北西向,根据物源方向及原型盆地恢复结果认为当时乌夏地区为一凹陷,受基底褶皱变形及断裂活动的影响,在东西方向上表现为凹凸不平,粗碎屑物质沿造山带注入,从而不同的地势起伏形成了不同方向发育的扇体。风城组早期扇三角洲发育也相对局限,规模最大的是在乌尔禾及以西地区,次为风城地区和夏子街地区,总体上沿盆地边缘发育,地震剖面上表现为中强振幅平行、亚平行连续反射。风城组晚期陆源碎屑沉

积物供应明显增加, 扇三角洲体规模变大, 在各个地区均有发育, 扇体长轴方向仍以北东向和北西向为主。夏子街组早期仍以扇三角洲相为主, 也有冲积扇发育, 扇体规模及沉积范围较风成组明显增大, 风城地区及以北发育冲积扇, 在乌尔禾和夏子街地区扇三角洲大面积连片发育, 长轴方向为北东方向, 乌尔禾西部地区扇体规模相对小, 长轴方向为北西和正北方向, 但都沿断裂走向排列, 垂直于断裂走向发育、生长, 明显受哈拉阿拉特山物源和北东向断裂控制, 表明当时乌尔禾地区和夏子街地区为北东向展布的长条形沉降中心。夏子街组晚期物源供应能力减弱, 物源方向受构造活动影响以北东向为主, 扇体规模减小, 以扇三角洲沉积为主, 4 个规模不等的扇体沿乌尔禾地区、夏子街西部地区和夏子街东部地区依次展布, 表明当时北东向沉降中心主要在夏子街地区。下乌尔禾组早期扇三角洲发育规模再次扩大, 在整个乌夏地区广泛发育, 物源主要以垂直于哈山的方向向盆地供应, 中期物源供应能力减弱, 扇体规模减小, 物源方向受构造活动影响以北东向为主, 晚期延续了中期的沉积特点, 扇三角洲以北东向自哈山向盆地输送碎屑物质, 扇体规模略有扩大, 总体上, 夏子街组最多可以识别出 3 个扇体发育旋回, 具 3 期发育特点, 是扇体

沉积范围最广泛的一个层组, 也是扇体发育的高峰期。

根据佳木河组早中期、佳木河组晚期、风城组早期、风城组晚期、夏子街组早期、夏子街组晚期、下乌尔禾组早期、下乌尔禾组中期、下乌尔禾组晚期 9 期扇体分布进行叠合, 发现扇体在各时期的展布形态和范围与生长控盆断层的活动规律有着最直接的关系。二叠系扇体在各组中均有分布, 早期发育零散, 中晚期连片性好, 叠置程度较好, 局部较差。在乌尔禾地区、风城地区、夏子街地区各期扇体的叠置及迁移规律不尽相同。乌尔禾地区在佳木河期由早至晚扇体的发育由弱到强, 在风城组期、夏子街组期和下乌尔禾组期却由强到弱; 风城地区、夏子街地区在二叠纪早期由早至晚扇体的发育由弱到强, 中晚期有强到弱, 总体上扇体的发育遵循弱—强—弱的规律, 具分段性、周期性特点, 至二叠纪末期为一泛盆沉积环境, 扇体范围逐渐缩小。各地区中以乌尔禾地区东部、风城地区西部扇体的发育时间最持续, 继承性最好, 风城地区东部次之, 夏子街地区较差, 且具有明显的波动性特点(图 3)。

从扇体的时空迁移来看, 二叠纪由早至晚扇体由山前向盆内逐渐推进, 扇体面积不断扩大, 最终退缩, 在夏子街期和下乌尔禾期又夹杂着短暂的由盆内向

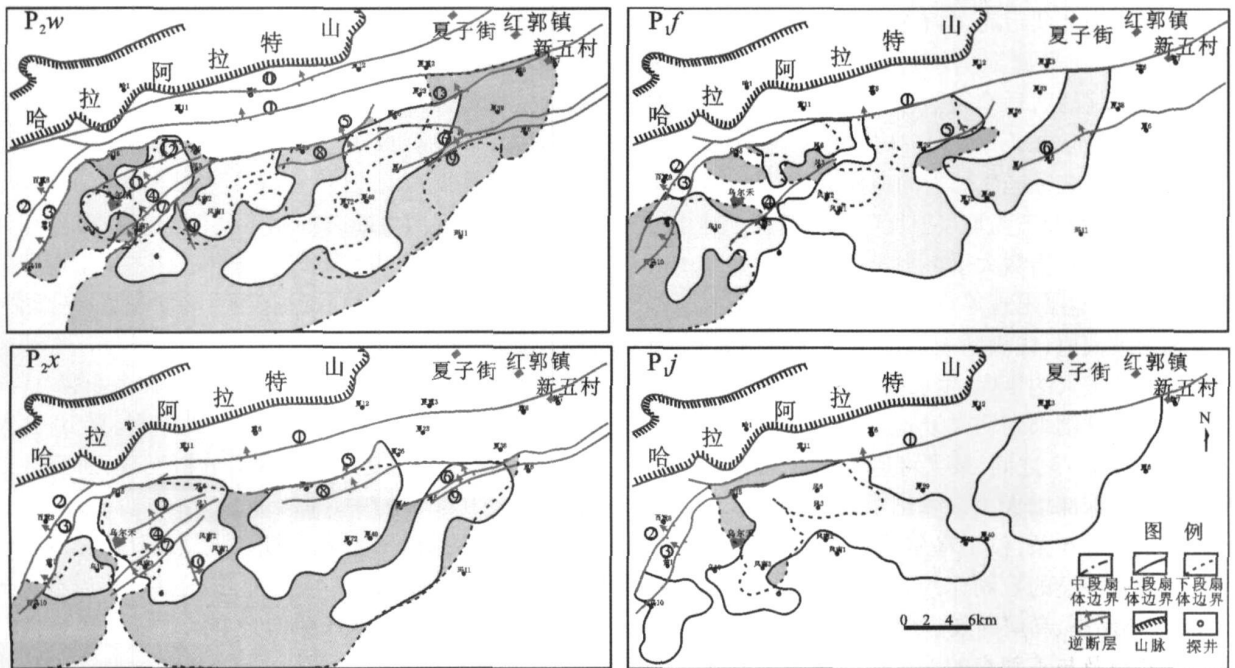


图 3 乌夏前陆冲断带二叠纪各时期同生断裂及扇体演化图

Fig 3 Growth faults and fans migration in Permian of Wuxia fault belt

- ① 乌兰林格断裂; ② 西百乌断裂; ③ 百乌断裂; ④ 乌南断裂; ⑤ 夏红北断裂东段; ⑥ 夏 5 井断裂; ⑦ 风南 3 井断裂; ⑧ 夏 10 井断裂; ⑨ 夏红南断裂; ⑩ 玛 2 井断裂; ⑪ 乌尔禾断裂; ⑫ 风 2 井断裂; ⑬ 夏 59 井断裂;

山前,面积变小的波动变化。二叠纪早期扇体的生长方向,即长轴方向主要为北西向,中晚期变为北东向为主,且规模明显变大。从地域分布来看,乌尔禾西部地区扇体叠置性相对差,并局部向盆内退缩,而乌尔禾东部地区、风城地区和夏子街地区叠置性好,明显由山前向盆内扩展、推进。这反映了扇体的迁移和叠置具有区域性差异,反映了在乌夏地区构造活动强度逐渐由北西向南东方向迁移的背景下,扇体的沉积具有前展式夹短暂退覆式叠置迁移特点。

## 2.2 同生断裂活动性定量表征及控扇规律

乌夏地区断裂活动极为发育,绝大部分为逆冲断裂,数量多,活动强度大,一级至二级断裂有 9 条,包括三、四级断裂共 24 条以上,其中控盆断裂具有同沉积性和阶段性,为同生断裂。二叠纪断裂以一、二级为主,每条断裂均具有一定的延伸长度,在不同程度上呈现弧形,弧顶指向盆地内侧,断面倾向指向盆地外侧,即老山方向。断裂的走向主要为北东东向和北西向,主要包括乌尔禾地区、风城地区和夏子街地区的乌兰林格断裂、西百乌断裂、百乌断裂、乌南断裂、风南 3 井断裂、乌尔禾断裂、风 2 井断裂、玛 2 井隐伏断裂、夏红北断裂、夏 10 井断裂、夏 5 井断裂、夏红南断裂、夏 59 井断裂等,是乌夏地区构造的主体,只有玛 2 井断裂为北西走向,具有横向调节逆冲构造的性质,这些断裂在平面上呈平行式、雁列式展布、交叉式,整体上呈弧状,后来被近东西向和北西向断裂所切割<sup>[13]</sup>,从而形成了一系列古构造。

为了定量表征同生断裂的逆冲活动强度,采用生长指数,即逆断裂下盘地层厚度与上盘未剥蚀地层厚度的比值。生长指数大于 1,代表断裂开始发育的时间,即上升盘地层出现厚度减薄的最老年代;生长指数表现为最大值,代表断裂活动最强烈时期,即上升盘地层减薄最大的年代;生长指数等于 1 代表断裂活动终止。计算结果表明乌夏地区二叠系逆断裂的生长指数多在 1~3 之间,最大可达 5 左右,断裂的垂直地层断距向深部增大。二叠纪早期乌夏地区内活动明显的断裂有 6 条,位于乌尔禾和夏子街地区,它们对沉积都有明显的控制作用,乌兰林格断裂、西百乌断裂、百乌断裂、乌南断裂、夏红南断裂和夏红北断裂是由主断裂及其斜交的派生断裂组成。断裂生长指数最大的是乌尔禾地区的风南 3 井断裂,达 2.3,其次是夏红北断裂东段,达 1.93,夏红南断裂西段生长指数达 1.43(图 4)。二叠纪中晚期,断裂的活动方式以水平推覆为主,垂直运动为辅,断裂多为低角

度的逆掩推覆形态,水平位移较大。这一阶段,活动明显的断裂增至 13 条,其中新产生 7 条,这与乌兰林格断裂活动性大幅度增强的趋势关系密切。在乌尔禾地区,百乌断裂作为一主断裂活动呈先变强后变弱的趋势,乌南断裂活动呈变强趋势,风南 3 井断裂活动先变弱后变强;在风城地区,夏红北断裂、夏 10 井断裂东段活动幅度先达变强后减弱,生长指数最大达到 2.45,并认为夏红北断裂控制形成了夏 10 井断裂;在夏子街地区,夏红南断裂活动性见增大趋势,生长指数达到 1.54,同时夏 5 井断裂活动也呈逐渐变强的趋势。新增断裂生长指数的变化可以代表二叠纪中晚期构造活动强度增大至高潮的趋势,尤其是具有横向调节作用的玛 2 井断裂的产生更说明了强烈持续挤压冲断的构造环境下由于不同地区岩石力学性质的差异断裂逆冲幅度存在差异。分析发现,在同一时期由乌尔禾地区→风城地区→夏子街地区断裂生长指数呈略微增加的趋势,反映构造活动逐渐变强;不同时期的同一构造分区,随着时代变新,同生断裂生长指数具有增大趋势,反映冲断推覆活动逐渐增强,最终变弱,标志着前陆盆地系统逐渐走向消亡。总体上,二叠纪以形成北东向和北东东向断裂为主,并从山前向盆地方向依次发育,其间夹杂短暂的后展式发育。石炭期末—二叠纪早期是断裂发育的最早时期,二叠纪中晚期是高峰期,断裂数目明显增多,断裂活动性最强;二叠纪构造活动中心在乌尔禾地区表现为由北西→南西→北东方向迁移,在风城地区、夏子街地区表现为由北西→南东迁移。

绝大多数同生断裂控制了扇体的沉积边界和分布,部分控制了其厚度和发育方向。佳木河组期和凤城组期扇体受乌兰林格断裂、西百乌断裂、百乌断裂、乌南断裂、夏红北断裂及夏 5 井断裂的控制,夏子街组期和下乌尔禾组期扇体主要受乌兰林格断裂、百乌断裂、乌南断裂、玛 2 井断裂、夏红北断裂、夏 10 井断裂、夏 5 井断裂和夏红南断裂。分析发现,研究区二叠纪同生断裂多为一、二级断裂,活动性强,继承性好,并多期活动。二叠纪早期以强烈弧陆碰撞后短暂的弱挤压—伸展交替环境为主,构造活动仍以石炭期末强烈碰撞造山活动产生的大型断裂—乌兰林格断裂、西百乌断裂及百乌断裂为主,乌南断裂、夏 10 井断裂东段及夏 5 井断裂处于休眠状态,直到风城组晚期板块之间活动重新开始,这些断裂复活,在前缘控制形成了北东向展布的沟谷地形,部分控制了夏子街地区扇体的长轴发育方向,同时夏 10 井断裂和乌南

断裂控制了乌尔禾地区扇体的形状和边界。夏子街组期不仅断裂数量较前期明显增加, 构造活动也转变为强烈的挤压推覆, 在乌兰林格断裂、百乌断裂及夏红北断裂的控制下形成了多条新断裂, 控制着整个地区扇体的展布和生长方向, 主要在夏子街组期和下乌尔禾组期活动, 且活动性逐渐增强。夏红北和夏 10 井断裂仍继承了风城组早期的特点, 呈后导叠瓦构造形式向盆内推进, 与夏红南和夏 5 井断裂一起控制着风城地区北部和夏子街地区地区西部的水下扇体边

界。当时夏子街背斜为一北东东向展布的长轴生长背斜, 也受到夏红南断和夏 5 井断裂的控制作用, 在以北地区形成沉降中心, 控制了扇体的边界、生长方向及厚度, 尤其是在高水位期更加明显。玛 2 井断裂、乌尔禾断裂、风 2 井断裂、风南 3 井断裂以及夏 59 井断裂从夏子街期开始逆冲活动, 并显示了波动性特点, 由于规模较小, 对大、中型扇体的控制作用不明显, 但对扇体不断向盆内推覆、迁移的总体趋势控制也不可忽视, 最终形成了乌夏地区扇体的长轴串珠

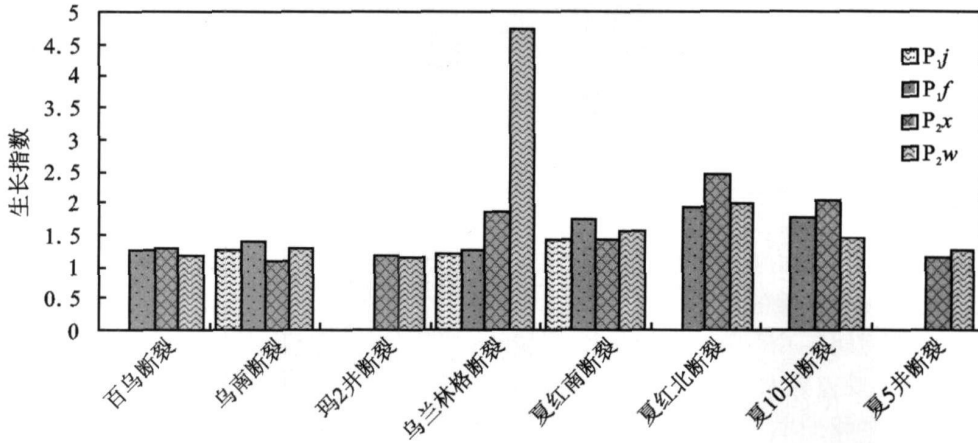


图 4 乌夏前陆冲断带二叠纪主要同生断裂生长指数分布直方图

Fig. 4 Histogram of activity exponential distribution of Permian syndimentary faults in Wuxia area

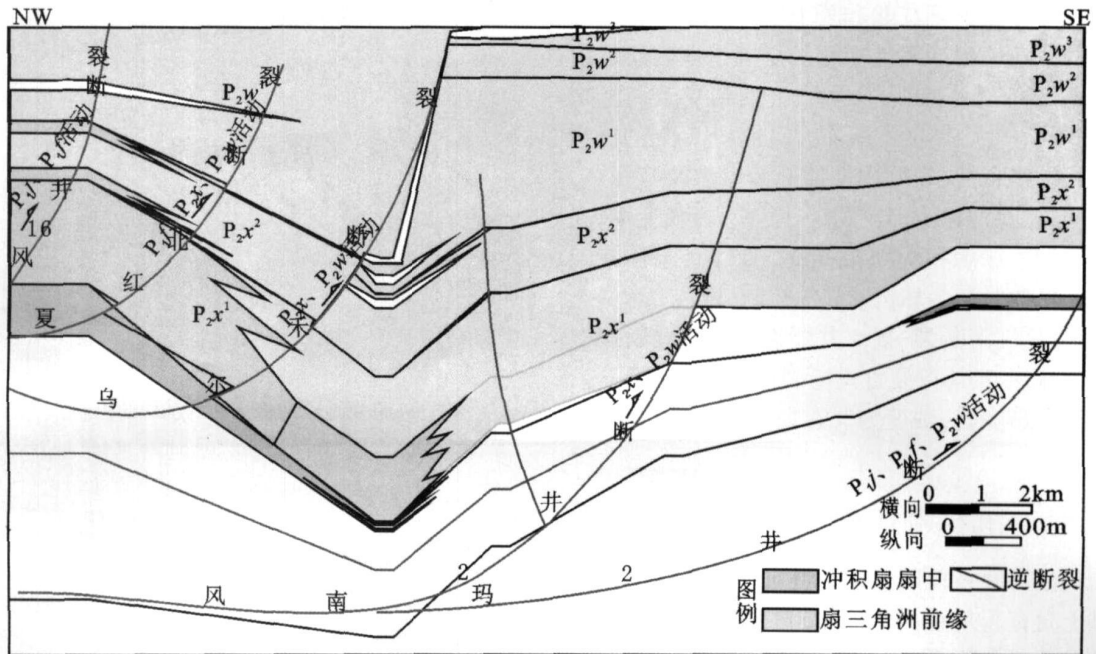


图 5 乌夏地区二叠纪同生断裂冲断活动及控扇作用

Fig. 5 Controls of the Permian syndimentary faults thrusting on the sedimentary migration of profile process of the fan bodies in Wuxia area

状北东向展布面貌。玛 2 井为具走滑性质的逆冲断裂,主要活动期限在下乌尔禾组期,在低水位期可作为扇体向前推进的良好通道,另一方面又起到了减缓冲断强度的作用<sup>[14]</sup>。到了上乌尔禾组期冲断活动明显减弱,为断裂活动的相对平静期,扇体的范围变小,显示了前陆盆地由壮年期向消亡期的过渡阶段,表现为粗碎屑沉积物不断减少,地貌崎岖不平的典型泛湖沉积特征。

从不同地区来看,乌尔禾地区断裂数量不断增加,规模变化不大,其活动迁移性与扇体的迁移特征基本一致,二叠纪早期扇体受乌兰林格断裂、百乌断裂及西百乌断裂的控制,中期受百乌断裂和乌南断裂的控制,晚期主要受百乌断裂东段控制,同时受到乌尔禾断裂、玛 2 井断裂等的联合改造作用,使得扇体长轴垂直于一、二级断裂生长和沉积,则平行于三、四级断裂延伸和扩展。由此,推测早中期乌尔禾背斜还未发育,乌尔禾地区为一平缓的斜坡区,主要水下扇和扇三角洲沉积,至晚期乌尔禾背斜开始形成。风城地区冲断活动强度早晚差异大,东两差异大,二叠纪早期冲断活动弱,地势较平坦,沉积岩相边界仅受乌兰林格断裂中段的控制,扇体面积小,主要发育一些陆上冲积扇,随着中晚期断裂活动的增强和向盆内不断推进,扇体范围迅速扩大,扇体类型丰富,厚度和持续时间主要受控于夏红北和夏 10 井的断裂,并出现短时间的波动性和退缩性变化。夏子街地区扇体由早到晚逐渐向盆内推进,从风城组期到夏子街组末期,面积不断扩大,厚度不断加大,与控扇断裂的迁移具有很好的耦合性,表明中期冲断活动波及范围广,持续时间长,晚期扇体仍较发育,但厚度开始变薄,夹杂较厚层的半深湖和浅湖相沉积。夏子街扇体在二叠纪早期主要受乌兰林格断裂的控制,长轴为近南北向,后期受夏红南断裂、夏 5 井断裂及夏 9 井断裂的幕式控制作用,前缘受夏红南断裂控制形成的夏子街生长背斜的影响,长轴变为北东向,表现为较强的波动迁移特点。

### 3 构造—沉积响应模式

准噶尔二叠系前陆盆地是在准—哈被动大陆边缘基础上发育起来的一个周缘前陆盆地,乌夏地区就位于前陆冲断地区,狭义上属于准噶尔盆地西北缘与西准噶尔的交接带,从广义上来说属于哈萨克斯坦古地块、西伯利亚古地块及塔里木古地块的交汇部位,构造变形十分复杂(图 6)。

(1) 强烈俯冲碰撞造山期—饥饿深水阶段: 石炭纪末期—二叠纪初期在准—哈被动大陆边缘上初始负荷为俯冲杂岩体或增生楔,洋壳的俯冲、地块的强烈碰撞均发生在海平面以下,所以泻入盆地的沉积物极少<sup>[14]</sup>,这时期准噶尔盆地西北缘已褶皱成山,推覆体形成,同时伴随较广泛的火山活动,南边玛湖地区稳定持续下沉,成为当时的沉降中心之一,因此沉积了一套浅海相、海陆交互相地层,扇体类型主要为近岸水下扇和扇三角洲沉积。

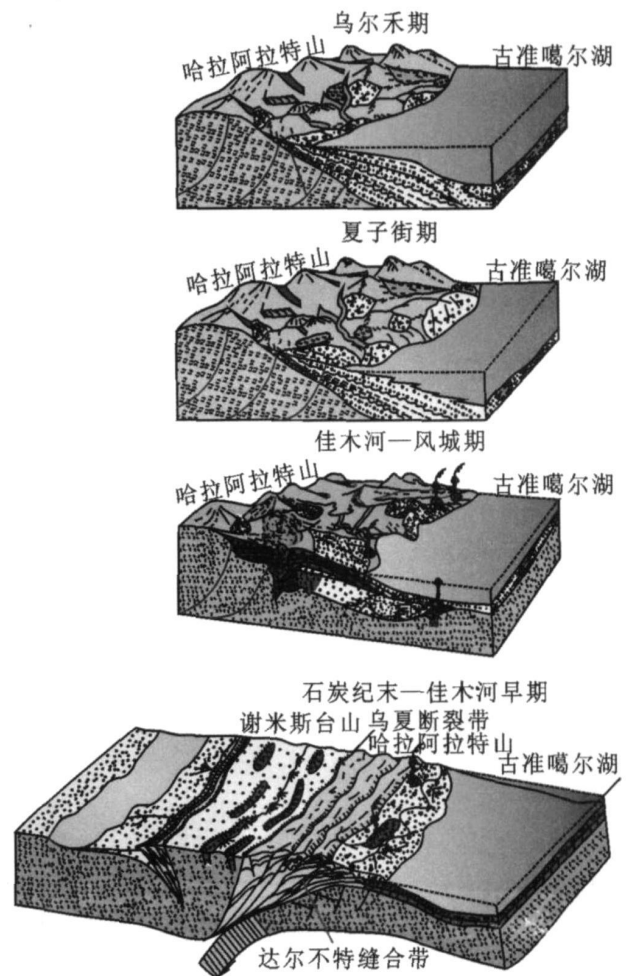


图 6 乌夏地区构造活动对沉积的控制作用模式

Fig 6 Models for sedimentary response of fan bodies migration to thrusting movement in Wuxia area

(2) 弱冲断夹短暂伸展火山期—复理石阶段: 早二叠世,随着初期强烈的冲断作用,促使地形上升到海平面之上,泻入盆地沉积增加,形成深海碎屑楔,发育复理石沉积,并与间歇喷发的中基性火山岩穿插分布,呈棱柱体状由盆地中心向造山带方向加厚,扇体类型主要为扇三角洲沉积。其中风城期为半封闭海

湾—咸化泻湖相沉积环境, 主要由灰黑色、黑色泥岩, 沉凝灰岩, 白云质泥岩, 硅化云化泥岩, 泥质白云岩、凝灰质泥岩等组成, 是研究区的主要生油层系。

(3) 强烈冲断复活期—磨拉石阶段: 二叠纪中晚期, 准噶尔盆地西北缘再次开始了以强烈挤压推覆为主的发展时期, 前陆盆地持续发育直到鼎盛时期。这一时期以强烈抬升作用为主, 断裂活动广泛, 火山活动减弱, 物源丰富, 近源高能搬运粗碎屑, 发育磨拉石沉积和陆相碎屑楔, 形成向上变细的扇三角洲平原沉积层序, 具有沉积厚度大、以混杂结构为主和搬运侵蚀能力强等特点。这时期的扇体类型较全, 主要为扇三角洲、冲积扇、近岸水下扇等沉积。

沉积物的搬运和沉积特点集中表明了由于盆缘边界断裂的强烈活动, 致使古斜坡迅速变陡、物源供给充足、搬运侵蚀能力增强, 从而形成这种岩性粗、结构杂的扇三角洲等扇体沉积体系<sup>[15]</sup>, 特别是扇体的叠置和前展式迁移及短暂后退波动式迁移特点与同生断裂的前展式冲断推覆活动的一致性和耦合性说明了乌夏地区断裂构造活动是控制地层沉积和扇体样式的首要因素, 其次是气候变化和物源供给强度。

## 4 结论

(1) 根据沉积建造类型、构造特征、地震反射特征、测井曲线特征和地层接触关系等, 可将乌夏地区二叠系地层从下到上分为三个构造层: 下二叠统佳木河组—风成组构造层、中二叠统夏子街组—下乌尔禾组构造层、上二叠统上乌尔禾组构造层。从而结合原型盆地特征、沉降心迁移及主要构造事件将二叠纪构造演化划分为: 佳木河—风成组弱挤压前陆盆地火山活动阶段、夏子街—下乌尔禾期前展式挤压前陆盆地断褶构造阶段及上乌尔禾期强烈挤压前陆盆地鼎盛—消亡阶段。

(2) 从扇体的时空迁移来看, 二叠纪由早至晚扇体由山前向盆内逐渐推进, 扇体面积不断扩大, 最终退缩, 在夏子街期和上乌尔禾期又夹杂着短暂的由盆内向山前, 面积变小的波动变化。扇体的迁移和叠置具有区域性差异, 反映了在乌夏地区构造活动强度逐渐由北西向南东方向迁移的背景下, 扇体的沉积具有前展式夹短暂退覆式叠置迁移特点。

(3) 二叠纪以形成北东向和北东东向断裂为主, 并从山前向盆地方向依次发育, 其间夹杂短暂的后展式发育。石炭纪末—二叠纪早期是断裂发育的最早时期, 二叠纪中晚期是高峰期, 断裂数目明显增多, 断

裂活动性最强; 二叠纪构造活动中心在乌尔禾地区表现为由北西→南西→北东方向迁移, 在风城地区、夏子街地区表现为由北西→南东迁移。

(4) 二叠纪时期乌夏地区主要发育水下扇—扇三角洲—冲积扇—湖泊沉积体系, 从下至上经历了饥饿深水阶段、复理石阶段和磨拉石阶段构造, 其中扇体发育代表了最典型的沉积特征, 断裂活动控制着断裂带和扇体的形成和演化

## 参考文献 (References)

- 1 佟殿君, 阳怀申, 吴梅莲, 等. 陆冲断带构造—沉积响应研究进展 [J]. 断块油气田, 2006, 13(1): 1-3 [Tong Dianjun, Yang Huaizhong and Wu Meilian, et al. Research progress on the response to the tectonics and sediment in foreland thrust belt [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2006, 13(1): 1-3]
- 2 Gretener P E 孔隙压力的基本原理通常所引起的后果及其地质意义 [M]. 陈荷立译. 北京: 石油工业出版社, 1982 [Gretener P E. Rationale of Pore Pressure Brought General Sequence and Its Geological Significance [M]. Translated by Chen Heli. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982]
- 3 Allen PA, Homewood P. Foreland Basin [M]. Fröburg: Switzerland: Special Publication of IIS, 1986
- 4 Kleinspehn K L, Paola C. New Perspectives in Basin Analysis [M]. New York: Springer-Verlag New York Inc
- 5 Miras Mounts. Foreland basement-involved structures [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82: 524-548
- 6 Couzens B A. The control of mechanical stratigraphy on the formation of triangle zones [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1996, 44(2): 165-179
- 7 赵小明, 王建雄, 牛志军, 等. 青海南部治多—杂多地区石炭纪—三叠纪砂岩地球化学特征与构造背景探讨 [J]. 沉积学报, 2008, 26(1): 12-17 [Zhao Xiaoming, Wang Jianxiong, Ni Zhijun, et al. Discussion on the tectonic setting and geochemical characteristics of sandstones from Carboniferous to Triassic in Zhiduo-Zaduo Area, Southern Qinghai [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(1): 12-17]
- 8 蔚远江, 何登发, 雷振宇, 等. 准噶尔盆地西北缘前陆冲断带二叠纪逆冲断裂活动的沉积响应 [J]. 地质学报, 2004, 78(5): 612-619 [Yu Yuanjiang, He Dengfa, Lei Zhenyu, et al. Sedimentary response to the activity of the Permian thrusting fault in the foreland thrust belt of the Northwest Junggar Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(5): 612-619]
- 9 何登发, 尹成, 杜社宽, 等. 前陆冲断带构造分段特征——以准噶尔盆地西北缘断裂构造带为例 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 95-98 [He Dengfa, Yin Cheng, Du Shekuan, et al. Characteristics of structural segmentation of foreland thrust belts—A case study of the fault belts in the northwest margin of Junggar Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 95-98]
- 10 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 前陆冲断带油气勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000 [Jia Chengzao, He Dengfa, Lei Zhenyu, et al.



- Exploration of Oil and Gas in Foreland Thrust Belts[M]. Beijing Petroleum Industry Press 2000]
- 11 刘银河. 准噶尔盆地侏罗系沉积构造与油气分布 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 12-14 [ Liu Yinhe. Jurassic sedimentation tectonics and petroleum distribution in Junggar basin [J]. Petroleum Exploration and Development 1999, 26(5): 12-14 ]
- 12 董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 699-702 [ Dong Chunmei, Zhang Xianguo, Lin Chengyan. Conception method and technology of the seismic sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2006, 24(5): 699-702 ]
- 13 陈业全, 王伟锋. 准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 5-7 [ Chen Yequan, Wang Weifeng. Structural evolution and pool-forming in Junggar Basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China 2004, 28(3): 5-7 ]
- 14 雷振宇, 鲁兵, 蔚远江, 等. 准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 86-91 [ Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern margin of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 86-91 ]
- 15 谭富文, 尹福光, 许效松, 等. 楚雄前陆盆地的构造特征与沉积演化 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 349-350 [ Tan Fuwen, Yin Fuguang, Xu Xiaosong et al. Relationship of tectonics to sedimentary evolution of Chuxiong Foreland Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 349-350 ]

## Sedimentary Response to Permian Structural Movements in Wuxia Foreland Thrust Belt of Junggar Basin

FENG Jian-wei<sup>1</sup> DAI Jun-sheng<sup>1</sup> YAN Jihua<sup>1</sup> HUANG Liliang<sup>2</sup> WANG Jun<sup>1</sup>

(1 Faculty of Georesource and Information in China University of Petroleum, Dongying Shandong 257064;

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Petroleum Administration Bureau, Karamay Xinjiang 834000)

**Abstract** By analyzing Permian structural sequence, sedimentation and faults characteristics, the author thinks that Wuxia area was a peripheral foreland restricted by nappe in Permian, there mainly developed submarine fans, fan deltas, fluvial fans and lakes, from under to upside, experienced deep sea stage, flysch stage and molasse stage, among which fans acted as typical lithomitic bodies. At the same time, structural evolution experienced intense diving-collision orogenesis stage, weakly compress occlude instant extend stage and revived strong thrust stage, generating many thrusting reverse faults to influence sedimentation and denudation and control formation and evolution of fault belt. It is showed that the Permian is characterized by a model of forward thrusting movement and gradual advancement migration of fan bodies. That is to say, with the forward thrusting movement of synsedimentary faults controlling the fans from mountainous region to the edge of the Junggar basin, fan bodies distributed in all fault belts gradually developed and advanced from the edge to the center of the Junggar basin and the fan bodies became larger, showing an obvious sedimentary response of gradual advancement migration. There is an excellent coupling between them, so faults activity can be looked upon as a main factor in controlling sedimentation in Wuxia area.

**Key words** Wuxia foreland thrust belt, Permian, fan development, synsedimentary fault