ISSN 1009-2722
CN37-1475/P
海洋地质前沿
Marine Geology Frontiers
第 36 卷第 6 期
Vol 36 No 6

廖　晶，龚建明，陈建文，等. 印度扇近海盆地重力滑动构造新发现[J].海洋地质前沿，2020，36(6)：76-79.
DOI：10.16028/j.1009-2722.2020.049

印度扇近海盆地重力滑动构造新发现

廖　晶[1,2]，龚建明[1,2*]，陈建文[1,2]，梁　杰[1,2]，孟　明[1,3]

（1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071；2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071；3 中国地质调查局中国地质科学院，北京 100037）

1　构造背景

印度扇位于印度板块、阿拉伯板块和欧亚板块交汇处，是世界上第 2 大海底扇，物源主要来自印度河，可进一步划分为上扇、中扇和下扇。印度扇近海盆地位于巴基斯坦专属经济区内，属于上印度扇，水深 1 000～3 000 m，盆地可划分为 3 个一级构造单元，从北向南依次为默里脊、派肯坳陷和索拉什特拉隆起，呈两隆夹一坳的构造格局（图 1）。研究区位于派肯坳陷北缘，毗邻默里脊，是油气勘探的深水区。

印度扇沉积地层主要为新生界，厚度可达 11 000 m，先后经历了裂陷、热沉降和印度扇发育 3 个构造演化阶段。晚白垩世末期到早古新世为裂陷阶段，发生大规模岩浆活动，形成德干火山岩；古新世到始新世为热沉降阶段，在德干火山岩海山上建造了碳酸盐岩台地和生物礁，在派肯坳陷沉积了古新—始新统泥页岩；从渐新世到第四纪为印度扇发育期，由于印度板块与欧亚板块碰撞拼合，大量沉积物进入印度扇近海盆地，形成了印度扇巨层序（图 2）。地层厚度由北向南整体减薄。古新—始新统泥页岩受

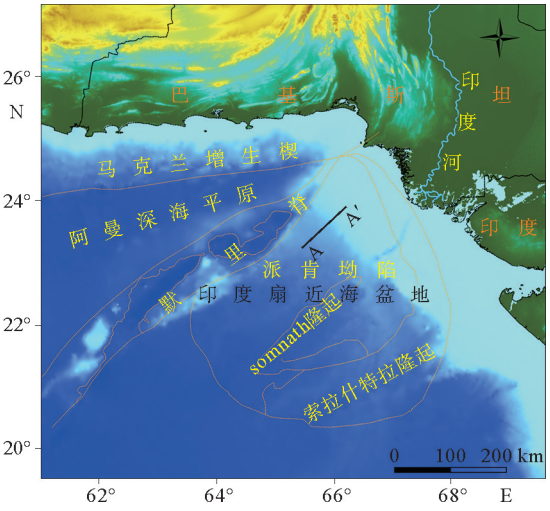

图 1　印度扇近海盆地构造单元及剖面位置

Fig.1　Structure elements of the Offshore Indus Basin and location of the seismic profile

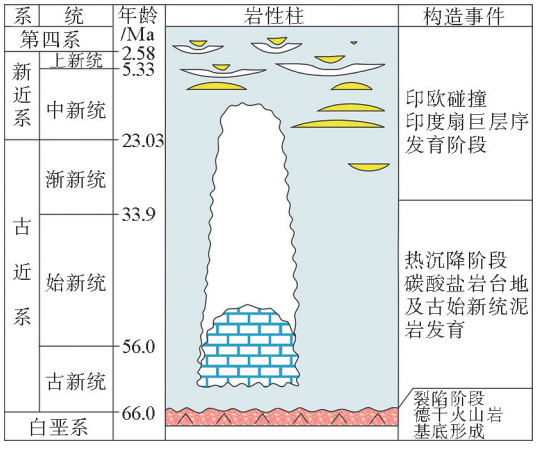

图 2　印度扇近海盆地地层发育图

Fig.2　The stratigraphy chart of the Offshore Indus Basin

收稿日期：2020-05-08

资助项目：国家重点研发计划（2018YFC0310000）；地质调查项目（DD20190581）；国家自然科学基金（41406080）

作者简介：廖　晶（1984—），男，硕士，高级工程师，主要从事构造地质、天然气水合物成藏方面的研究工作. E-mail：qdliaojing@gmail.com

* **通讯作者**：龚建明（1964—），男，博士，研究员，主要从事油气及天然气水合物成藏研究工作. E-mail：gongjianm@aliyun.com.cn

后期印度扇巨层序的快速压实作用,易形成超压泥岩,为重力滑动构造系统的形成奠定了基础。

2　重力滑动构造整体特征

本文选取走向为 NE—SW 的地震剖面,该剖面展示了印度扇近海盆地重力滑动构造整体面貌(图 3)。

从横向上看,根据应力状态和地层变形特征可将剖面分为伸展区、过渡区及挤压区 3 部分,其中,伸展区长度约 35 km,过渡区长度约 15 km,挤压区长度约 50 km。

从纵向上看,剖面自下而上可分为 3 套层序:构造层Ⅰ、构造层Ⅱ、构造层Ⅲ,分别对应重力滑动前层序、重力滑动期层序、重力滑动期后层序。剖面新生界最大厚度>6 000 m(双程反射时间6 s),最厚处位于伸展区和过渡区,向南逐渐减薄。层序Ⅰ厚度约 0.5～2.5 s,最大厚度位于陆架坡折处。由于泥底辟上拱,刺穿了上覆地层导致地层加厚。层序Ⅱ厚度约 1.5～3.5 s,最大厚度位于伸展区、层序Ⅲ厚度较稳定,厚度 0.8～1 s,为重力滑动构造期后的前积序列。

剖面上断层可分为生长断层、逆断层及浅部正断层 3 类。其中生长断层与逆断层属于重力滑动构造体系,生长断层断距较大呈铲式,逆断层断距相对较小。浅部正断层断距小,属于后期弱压实作用形成,与深部重力滑动构造无关。滑脱面产状接近碟型,在伸展区向海倾斜、在过渡区近水平、在挤压区向陆倾斜。

2.1　重力滑动构造伸展区特征

伸展区位于陆架坡折以北,以发育大断距向南倾的生长断层和滚动背斜为典型特征(图 4)。

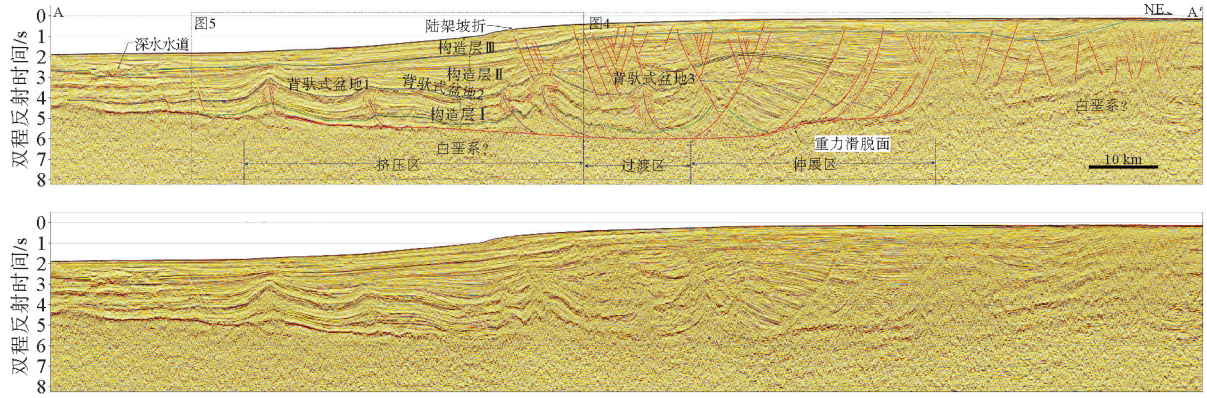

图 3　重力滑动构造剖面图(剖面位置见图 1)

Fig.3　Seismic profile of the gravity-driven system (location of the profile is shown in Fig.1)

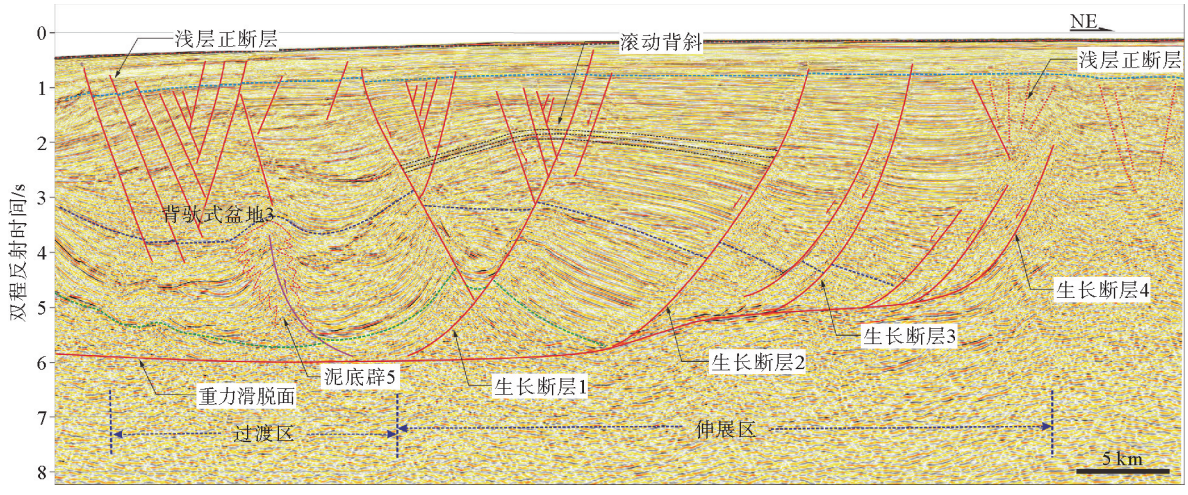

图 4　伸展区构造特征(剖面位置见图 3)

Fig.4　Structural characteristics of the extensional zone (location of the profile is shown in Fig.3)

伸展区共有 4 条大型生长断层，均切穿构造层Ⅰ及构造层Ⅱ，未切穿海底，断层倾角约 25°，向下逐渐收敛于重力滑脱面，其中生长断层 2、3、4 断距较大，最大断距约 500 m(双程反射时间 0.4 s)，生长断层 1 断距较小，生长断层仅在构造层 II 发育期活动，向南逐渐过渡为挤压构造。4 条生长断层的组合样式为多米诺式，生长断层与次级断层呈“Y”形或反“Y”形等，本区主断面介于铲式和坡坪式，更接近铲式正断层，按照倪金龙等的分类方法属于铲式多阶型生长断层体系。

滚动背斜(逆牵引构造)是生长断层的标志性伴生构造，位于生长断层的下降盘，形态不对称，背斜顶部产状平缓，翼部随深度增加产状逐渐变陡，滚动背斜走向与断层走向一致，当生长断层停止活动时，滚动背斜也停止发育。由于生长断层的活动，构造层Ⅰ发生旋转翘倾，伸展区构造层Ⅰ均向北倾，倾角 10～20°，当断层在构造层Ⅱ沉积时持续活动，生长断层 4 附近沉积最厚约 4 500 m，最终发育为顶薄翼厚的滚动背斜，褶皱轴面大致位于生长断层 1 处。

2.2 重力滑动构造挤压区特征

挤压区以超压泥岩强烈变形、发育小断距逆冲断层、泥底辟、断层相关褶皱、背驮式盆地及同沉积背斜为主要特征(图 5)。

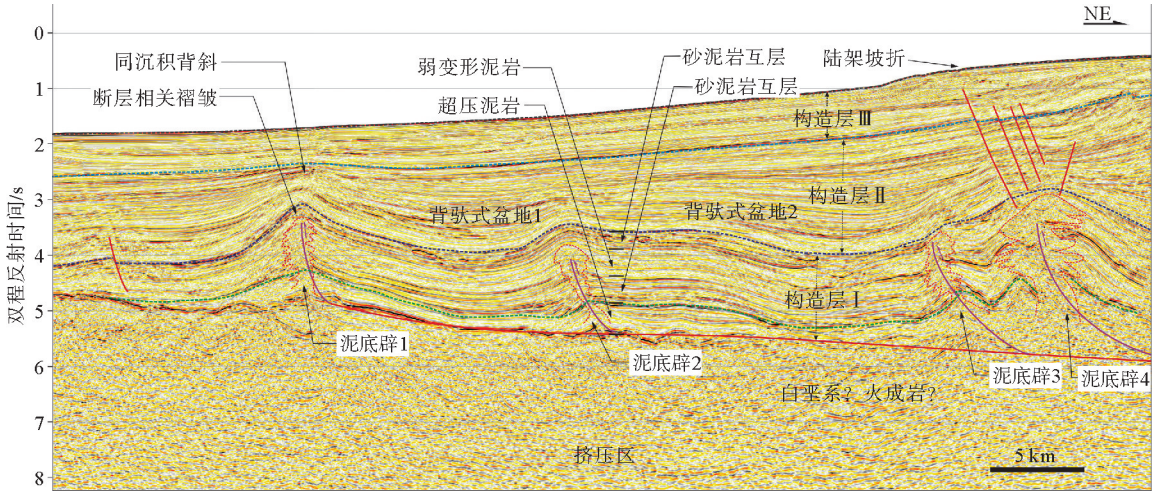

图 5 挤压区构造特征(剖面位置见图 3)

Fig.5 Structural characteristics of the compression zone (location of the profile is shown in Fig.3)

根据挤压区地震剖面反射特征，构造层Ⅰ可分为 4 组地层，自下而上分别为：底部强烈流动变形泥岩；中下部弱变形砂泥岩互层；中上部弱流动变形泥岩；上部弱变形砂泥岩互层。由于滑脱面位于超压泥岩层下部，因此该套泥岩吸收了重力滑动构造的大部分应变，导致强烈流动变形，向上刺穿形成 4 排泥底辟(泥底辟 1～4)，中上部泥岩也表现出弱流动特征，但未刺穿顶部岩层，其变形属于应变调节。两套砂泥岩互层地层由于地层能干性较强，仅发生弯曲褶皱，无流动现象。

中部(构造层Ⅱ)以由南往北依次发育同沉积背斜、背驮式盆地、滚动背斜为特征。北部发育浅层正断层。同沉积背斜主要位于泥底辟之上，为下伏地层隆起同期形成，具有顶薄翼厚特征，由于逆冲断层持续向南活动，这些背斜北翼倾角较大，背斜北翼可能发育滑塌沉积等。背驮式盆地沉积厚度变化较大，在背斜顶部该构造层较薄，在两背斜之间厚度较大，最大厚度介于泥底辟 2～3，厚度约 2 200 m(双程反射时间 2 s)。

浅部地层(构造层Ⅲ)几乎无构造变形，以平行层序为主，在测线南部发育大型深水水道。在陆架坡折区发育进积体。

3　讨论

印度扇近海盆地的重力滑动构造是由于印度扇巨厚沉积引起的,然而古印度扇的位置比现今更靠北,已完全卷入马克兰增生楔内部,当印度板块继续向北俯冲导致印度扇向南移,在构造层 II 期进入本区沉积后才形成了大型生长断层及重力滑动体系。随着印度扇沉积主体在构造层 III 期已向南远离本区,构造层 III 并未发生明显变形。因此,整个重力滑动构造直接受控于印度扇沉积主体的时空演化,而印度扇的时空分布又受印度板块向欧亚板块碰撞阶段的影响,早期位于研究区以北,随着印度板块的俯冲加剧,印度扇主体逐渐南移。

滚动背斜是重力滑动中的生长构造,背斜顶部随深度增加而顺生长断层逐渐偏移。一般情况下,滚动背斜所在的下降盘沉积厚度很大,滚动背斜距油源近,与沉积同时形成,同生断层可作为油气运移有利的通道,常形成富集高产的油气藏。

由于地震测网密度较低,本研究仍诸多待研究的问题:剖面各反射界面确切的地质年代;欧亚板块与印度板块碰撞活动与印度扇迁移的耦合关系;重力滑动构造的定量化分析等。

4　结论

印度扇近海盆地发育重力滑动构造,该构造可分为伸展区、过渡区及挤压区。伸展区以发育大断距向南倾的生长断层和滚动背斜为典型特征;挤压区以超压泥岩强烈变形、发育小断距逆冲断层、泥底辟、断层相关褶皱、背驮式盆地及同沉积背斜为主要特征。该滑动构造受控于印度扇的时空演化,伸展区滚动背斜及挤压区断层相关褶皱可能是油气聚集的理想场所。