

文章编号: 1000-0550(2006)04-0483-05

碎屑岩压裂缝的特征、成因与油气勘探意义

郭沫贞¹ 朱国华¹ 寿建峰¹ 徐学成²

(1. 中国石油集团杭州地质研究所 杭州 310023; 2. 中国石油新疆油田公司准东采油厂 新疆阜康 831511)

摘要 碎屑岩压裂缝是一种岩石受到纵向或侧向应力时,碎屑岩中颗粒接触点处承受较大的压强而产生的颗粒内部裂缝,这种裂缝的分布大部分限于碎屑颗粒的内部,从而有别于由构造应力产生的构造裂缝。对我国西部地区油气盆地中碎屑岩压裂缝的研究表明,这种压裂缝的发育程度与粒级、碎屑颗粒组分、填隙物含量有密切的关系。它多发育于粗砂岩和砾岩中,发育压裂缝的碎屑颗粒主要为刚性颗粒及凝灰岩岩屑和火山岩岩屑,在相同粒级和碎屑颗粒组份构成相当情况下,压裂缝发育程度与岩石中填隙物所占的百分数成反比关系,填隙物占岩石的百分数越少,压裂缝越发育。此外这种压裂缝在没有构造应力而仅有纵向岩柱压力的条件下也可以产生,从而为油气聚集提供了新的储集空间和渗流通道,拓宽了深部油气勘探的领域;同时对提高油气采收率也有重要的意义。

关键词 压裂缝 粗粒级碎屑岩 深部油气勘探

第一作者简介 郭沫贞 男 1974年出生 工程师 硕士 油气地质学

中图分类号 TE122.2⁺3 **文献标识码** A

1 引言

裂缝性储层的形成多与构造作用和成岩作用有关^[1,2,3],而近期我们在研究工作中发现了一种在成因上有别于一般的构造缝和成岩缝的微裂缝。这种微裂缝主要是压碎作用所致,其压碎作用的应力可来自构造应力、上覆地层岩柱压力等各种成岩过程中产生的应力。此类裂缝一般仅限于岩石的碎屑颗粒内,大部分不切穿颗粒,发育程度与碎屑岩的粒级、碎屑颗粒组分、填隙物含量、碎屑颗粒接触关系及埋藏深度有密切的关系。这种因压碎作用而发育于粗粒级碎屑颗粒内部的微裂缝,称之为压裂缝。目前已在我国西部的油气盆地中发现了此类裂缝,如塔里木盆地乌什凹陷在埋深 6 000 m 以上的白垩系发育一套含砾中粗粒砂岩,在镜下碎屑颗粒之间的剩余原生孔及其它次生孔很少,但因其埋藏深度超过 6 000 m,岩石在巨大的上覆地层岩柱压力及地下其它方向的应力作用下,超过碎屑颗粒的临界压力而产生多组压裂缝。通过对此类以压裂缝为油气储集空间的储层试油,获得了日产油 174 吨,日产气 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的高产工业油气层。准噶尔盆地东部二叠系油藏也发育有这类压裂缝。该油田在开发过程中,通过压裂,使压裂缝得到沟通,提高储层的渗流能力,从而提高了油气采收率。因此研究碎屑岩压裂缝的发育规律对深层

油气勘探有比较大的现实意义。

2 碎屑岩压裂缝的特征

碎屑岩压裂缝最大的特征是:这种微裂缝只发育在岩石中那些相互接触的碎屑颗粒中(图版 I-1~8),且不同的碎屑颗粒中发育的裂缝没有统一的方向性,且大部分发育于岩石的碎屑颗粒内。

对不同地区、不同层位所发育的这种压裂缝的系统观察,这种压裂缝的特征如下:

(1)岩石中发育的压裂缝与构造裂缝不同,它大部分不切穿颗粒。不同碎屑颗粒中发育的压裂缝也没有统一的方向,但每个颗粒内的压裂缝的延伸方向大致垂直于接触部位颗粒的切线方向。

(2)压裂缝一般发育在粒级较粗的砂砾岩和砾岩中。图 1 为准噶尔盆地东部二叠系梧桐沟组一段二、三砂层组的不同粒级压裂缝发育程度的统计结果,其中该层段共有 24 块细砾岩、砂砾岩铸体薄片,经统计其压裂缝极其发育,面密度平均达 17.4 条/片;有 12 块砾状砂岩、含砾砂岩铸体薄片中,经统计其压裂缝面密度平均为 7.6 条/片;有 10 块粗砂岩铸体薄片,其压缝碎面密度平均为 2.8 条/片,有 47 块中砂岩铸体薄片,其压缝碎面密度平均仅为 0.8 条/片;而在 17 块细砂岩铸体薄片中,压裂缝极不发育,其压缝碎面密度为 0 条/片。从图 1 中可以看出,压

裂缝主要发育在砾岩、砂砾岩中,砾状砂岩、含砾砂岩和粗砂岩次之,而中砂岩和细砂岩中基本不发育压裂缝,压裂缝的发育程度与粒级关系极为密切。

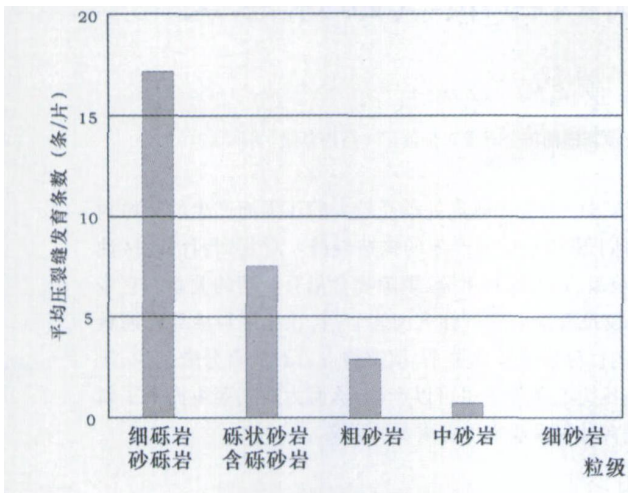


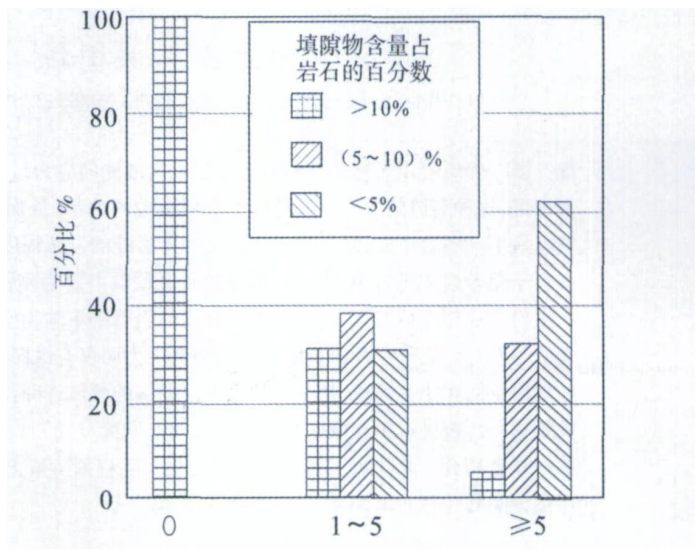
图 1 碎屑岩压裂缝发育程度与级关系

Fig 1 The relationship between degree of crushed fracture and grain size in elastic rock

(3)碎屑岩的岩石碎屑组分不同,压裂缝的发育程度也不同。压裂缝常常发育在以刚性碎屑组分为主的岩石中,图版 I -6~8 为塔里木盆地乌什凹陷中埋藏深度在 6 000 m 以上白垩系含砾中粗砂岩铸体照片。该白垩系含砾中粗砂岩碎屑组分以石英、长石为主,可以看到,在上覆地层纵向岩柱的压力下,这些颗粒压裂缝极其发育。但当刚性颗粒与凝灰岩岩屑和火山岩岩屑混杂时,凝灰岩岩屑和火山岩岩屑中容易产生压裂缝。图版 I -3~5 为准噶尔盆地东部二叠系细砾岩、砂砾岩铸体照片。该碎屑组分主要为中酸性火山岩及凝灰岩岩屑,含量高达 85%,石英和长石含量在 15%。其压裂缝主要发育在火山岩及凝灰岩岩屑中。长石颗粒也易产生裂缝,但这些裂缝主要与长石的解理有关,与压裂缝产生的方向有所差异。

(4)压裂缝的发育程度与单位面积中岩石颗粒接触点的多少有关。通过镜下对这种压裂缝的大量观察,发现对于那些填隙物在岩石中所占百分数小,单位面积中颗粒接触点少的岩石,颗粒接触点处这种压裂缝易发育;反之,若填隙物在岩石中所占百分数大,单位面积中颗粒接触点多的岩石,压裂缝不易发育。图 2 为准噶尔盆地东部沙南油田二叠系梧桐沟组粗砂以上粒级碎屑岩压裂缝发育程度与填隙物在岩石中所占百分比的关系图。从图 2 中可以看出,在镜下每块铸体薄片发育压裂缝大于 5 条的,其填隙物

占岩石百分比以小于 10% 为主,占到统计样品 37 块的 95%;而镜下压裂缝不发育的,其填隙物占岩石百分比全部大于 10%。因此,压裂缝的发育程度与碎屑岩中填隙物含量也有关系。



每块铸体薄片压裂缝平均发育条数

图 2 压裂缝发育程度与填隙物在岩石中所占百分数的关系

Fig 2 The relationship between degree of crushed fracture and the content of interstitial material

3 碎屑岩压裂缝的成因分析

压裂缝的分布具有普遍性,目前已在准噶尔盆地的西北缘(图版 I -1,2)、盆地东部(图版 I -3~5)和盆地腹部以及塔里木盆地的乌什凹陷(图版 I -5~8)发现了大量的压裂缝。

通过对这种压裂缝的特征分析,压裂缝主要发育在岩石中缺乏杂基、相互接触的颗粒中,且颗粒之间接触点越少,粒级越粗,越发育。这种特征是由压裂缝的成因决定的。一般来说,岩石中碎屑颗粒裂缝的产生是碎屑颗粒所承受的压强超过其临界压强而产生的。因此,岩石是否产生压裂缝与岩石所承受的压强有密切关系。在一定的外力作用下,接触面积与压强成反比,接触面积越大,压强越小;接触面积越小,压强越大,易产生破裂。图 3 可以说明这一点。假设颗粒按立方体形式排列,垂向压力 F 作用在 1 cm^3 颗粒粒径为 5 mm 的砾岩中和粒径为 0.5 mm 的砂岩中,在垂向上 1 cm^2 的砾岩,上下颗粒接触点共有 4 个,而砂岩共有 400 个接触点,则砾岩颗粒接触点处的压强是砂岩接触处的 100 倍,若碎屑岩受到侧向应力作用时,其结果也是一样的。正是由于粗粒级中颗

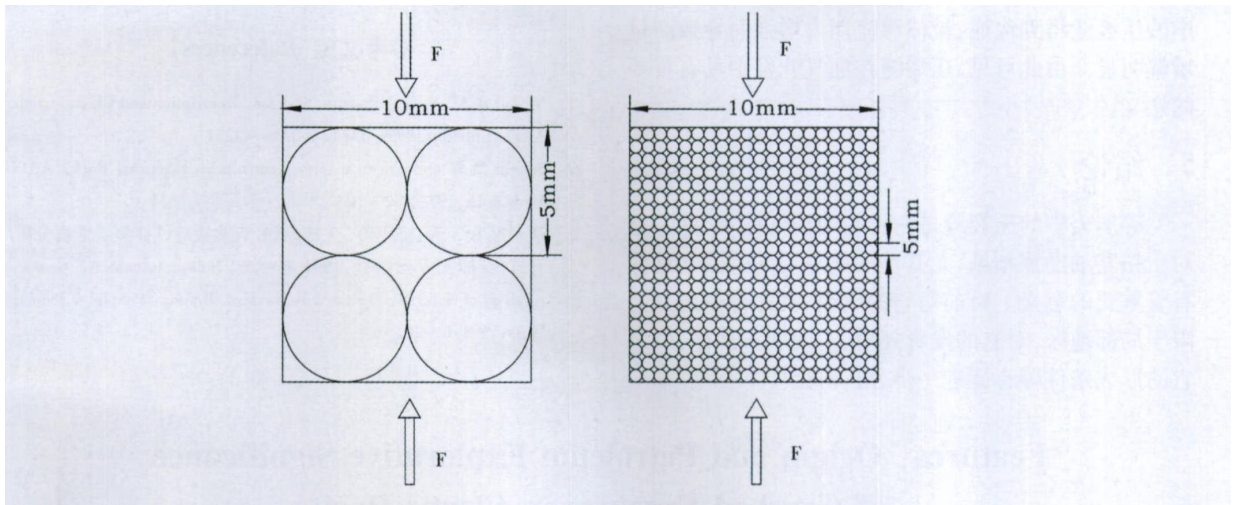


图 3 相同压力条件下粒径与压强的关系

Fig 3 The relationship between grain size in clastic rock and the intensity of pressure under the same press condition

粒所受的压强比细粒级颗粒要大的多,造成压裂缝在粗粒级中发育。

对于地下的岩石,受力比较复杂。当岩石中填隙物所占比例较少,岩石的碎屑颗粒又以刚性为主或以凝灰岩岩屑和火山岩岩屑为主,岩石在成岩环境中经历过超过岩石临界应力的作用时,粗粒级碎屑岩因其单位面积的颗粒接触点远小于细粒级碎屑岩,其接触点所承受的压应力远远大于细粒级碎屑岩,因而在粗粒级碎屑岩中碎屑颗粒容易沿平行压应力方向产生破裂,形成压裂缝。若这种压裂缝在后期成岩环境中得以保存,则可成为油气良好的储集空间和渗流通道。

4 碎屑岩压裂缝在油气勘探开发中的意义

由于这种压裂缝在没有其它应力而仅有纵向岩柱压力的条件下也可以产生,因此对于处于深部的粗粒级碎屑岩储层,这种压裂缝就更容易产生,为深部碎屑岩的油气聚集提供了空间和渗流通道,对深部油气勘探有重要的意义。目前已在塔里木盆地乌什凹陷的白垩系发现此类压裂缝储层(图版I-6~8)。该凹陷中有一口井在白垩系舒善河组,埋深在 6 030~6 055 m 井段的含砾中粗砂岩中试油,结果为日产油 174 吨,日产气 $2.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的工业油层。通过对其附近岩屑录井岩性相同的 6 080 m 左右的铸体薄片鉴定,岩性为长石石英砂岩,压实强烈,剩余原生孔极不发育,压裂缝成了主要的渗流通道和重要的储集空间。

这种压裂缝在油气开发中的意义已在准噶尔盆

地东部二叠系油藏中得以反映。该油藏的岩性主要为中砂以上粒级的岩性,储集空间为剩余原生粒间孔,其中砂砾岩-砾岩的压裂缝发育(图版 I-3~5)。通过压裂前后不同类型砂体产量变化情况的对比,发现压裂缝发育的砂砾岩-砾岩砂体其增产效果明显好于压裂缝不发育的中砂岩-砾状砂岩砂体。图 4 为压裂缝发育的砂砾岩-砾岩砂体与压裂缝不发育的中砂岩-砾状砂岩砂体在压裂后增产效果的对比图。图中压裂缝发育的砂砾岩-砾岩砂体,压裂后日增产量平均为 5.4 吨,而压裂缝不发育、剩余原生孔

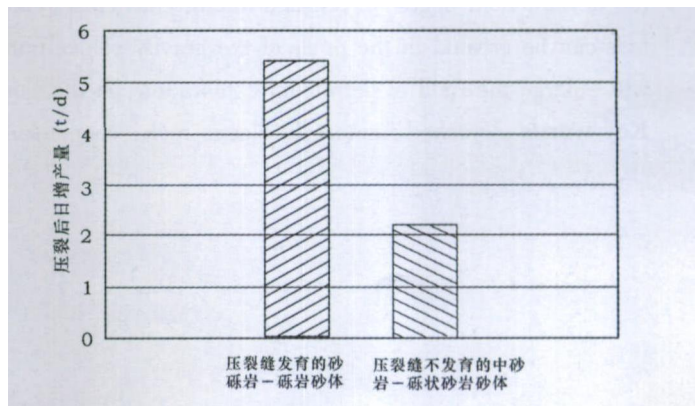


图 4 压裂缝发育的砂砾岩-砾岩砂体与压裂缝不发育的中砂岩-砾状砂岩砂体压裂后增产效果对比

Fig 4 the contrast of the raised oil production in different degree of crushed fracture in sandbody after fracturing in petroleum development

生孔发育的中砂岩-砾状砂岩砂体,压裂后日增产量平均仅为 2.2 吨。其原因在于压裂后砂砾岩-砾岩

中的压裂缝得到沟通, 流体渗流能力增强而导致产量增幅明显。由此可见, 压裂缝在油气开发中具有重要的意义。

5 结论

碎屑岩中的压裂缝是一种新的油气储集空间, 它对于拓宽油勘探领域, 尤其是深部碎屑岩的油气勘探有着重要的意义。目前对它的成因、发育特征研究只限于局部地区, 对它的发育规模、空间展布规律, 以及它的形成条件等有待进一步分析研究。

参考文献 (References)

- 1 Nelson R A. Natural Fracture Systems Description and Classification AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2214~2221
- 2 Stearns D W and Friedman M. Reservoirs in Fractured Rock AAPG Memoir 16, 1972, 82~100
- 3 纳尔逊 R A 著, 柳广弟, 朱筱敏译. 天然裂缝性储集层地质分析. 北京: 石油工业出版社, 1991. 6~26 [Nelson Ronald A. Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs Beijing: Petroleum Industry Press 1991. 6~26]

Features Origin and Petroleum Explorative Significance of Crushed Fracture in Clastic Rock

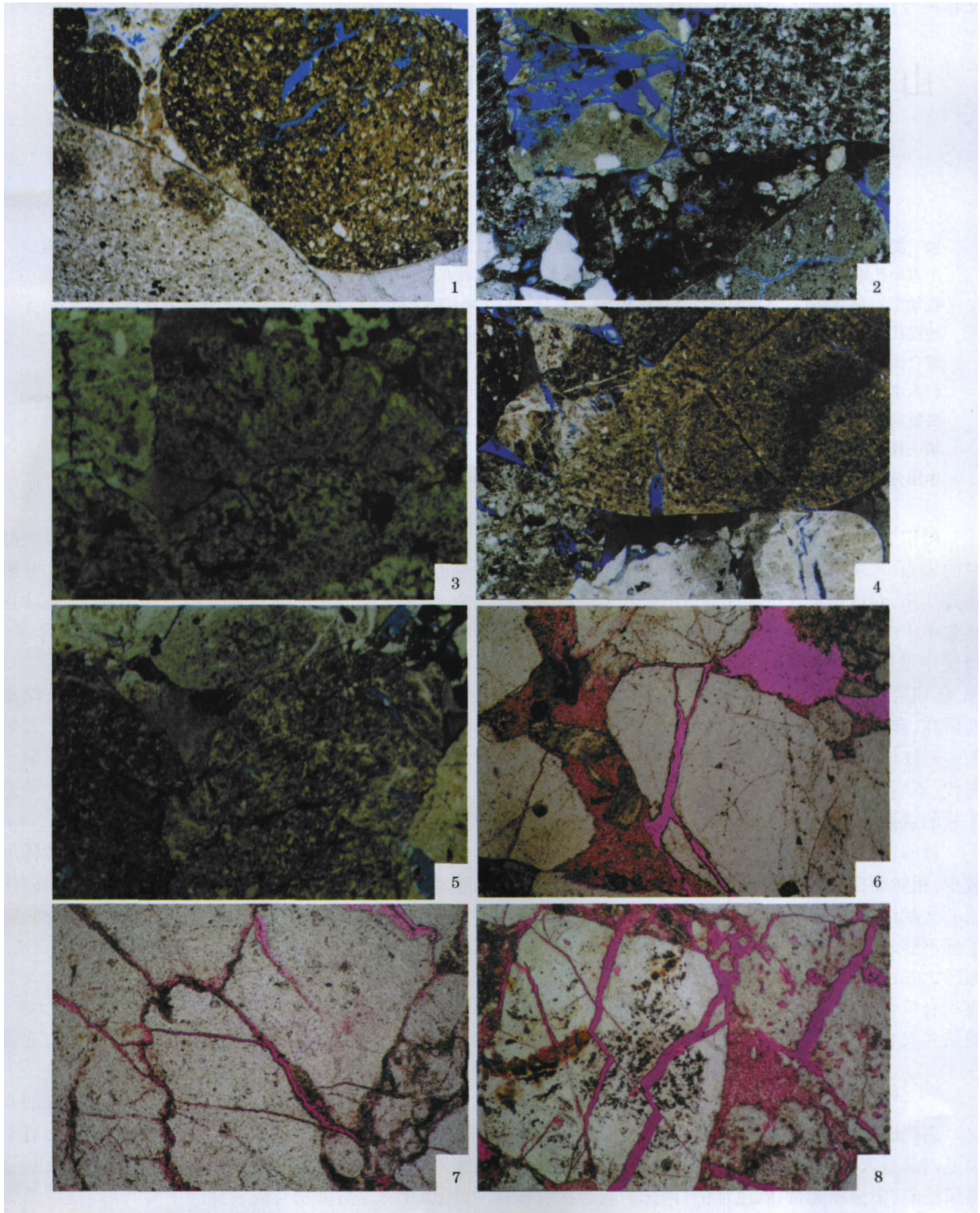
GUO Mo-zhen¹ ZHU Guo-hua¹ SHOU Jian-feng¹ XU Xue-cheng²

(¹ Hangzhou Institute of Petroleum Geology, CNPC, Hangzhou 310023;

² Zhundong Oil Production Plant, Xinjiang Oil Field Company, PetroChina, Fukang Xinjiang 831511)

Abstract Crushed fracture in clastic rock is created under great pressure from the gravity of over layer or giant stress by sides as the contact point of the grain bear big intensity of pressure than others. As the crushed fracture are distributed only within the grain it can be distinguished from the fracture created by tectonic stress. By studying the crushed fracture in clastic rock of the oil & gas-bearing basin in the western China, it can be seen that the development degree of the crushed fracture has close relation to grain size, type of detrital minerals and the amount of interstitial material. The crushed fracture is easier developed in the coarse-sand rock and conglomerate and the grains that developed crushed fracture are mostly rigid or come from tuff and lava. Under the same grain size and type of detrital minerals, the development degree of crushed fracture has close relation with the scale of interstitial material in rock. As the fracture can be created in the pressure of the gravity of overburden rock and the fracture provide space for oil and gas, it will enlarge the field of petroleum exploration, at the same time, it have great significance in improving oil recovery.

Key words crushed fracture in clastic rock, coarse-sand rock and conglomerate, deep petroleum exploration



图版 I 说明 1 准噶尔盆地, P_2 3 092.23 m \times 20, 细砾岩; 2 准噶尔盆地, T_1 762.07 m \times 20 砂砾岩; 3 准噶尔盆地, P_2 2 591.95 m \times 25 细砾岩; 4 准噶尔盆地, P_3 2 591.95 m \times 25 细砾岩; 5 准噶尔盆地, P_3 2 568.12 m \times 25 砂砾岩; 6 塔里木盆地乌什凹陷, K_1 6 083.9 m \times 78 含砾粗砂岩; 7 塔里木盆地乌什凹陷, K_1 6 082.02 m \times 78 含砾中粗砂岩; 8 塔里木盆地乌什凹陷, K_1 6 084.19 m \times 78 含砾中粗砂岩