

韩强, 李宗杰, 王超, 等. 塔里木盆地沙雅隆起北部一元古宙潜山气藏地震解析、地层特征与时代研究[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 486-499.
Han Qiang, Li Zongjie, Wang Chao, et al. Characteristics and age of a Proterozoic buried hill reservoir in the northern Shaya uplift of the Tarim Basin[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 486-499(in Chinese with English abstract).

塔里木盆地沙雅隆起北部一元古宙潜山气藏 地震解析、地层特征与时代研究

韩 强¹ 李宗杰¹ 王 超² 杨子川¹ 闫 亮¹ 孟庆龙¹ 李弘艳¹ 赵 渊¹

(1. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 文章利用钻井岩心、岩石薄片、测井、地震资料对塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥气田潜山的地层格架、岩石岩相特征进行分析, 并通过钻井岩心样品的锆石 U-Pb 年代学和野外地质露头地层对比研究, 对这套潜山地层的时代进行了限定。研究结果表明三道桥潜山是一套厚度在 700~800 m, 浅变质的海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积, 3 个碎屑锆石样品的最小谐和年龄为 (1522±16) Ma, 表明其沉积或成岩时代应不早于中元古代。该潜山是迄今为止塔里木盆地内获得工业油气的最古老的潜山。

关键词: 塔里木盆地; 沙雅隆起; 元古代潜山; 地层特征; 锆石 U-Pb 年代学

中图分类号: P597; P53 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016) 02-0486-10

Characteristics and age of a Proterozoic buried hill reservoir in the northern Shaya uplift of the Tarim Basin

HAN Qiang¹, LI Zong-jie¹, WANG Chao², YANG Zi-chuan¹,
YAN Liang¹, MENG Qing-long¹, LI Hong-yan¹, ZHAO Yuan¹

(1. Institute of Exploration and Development of Northwest Branch, Sinopec, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: In this paper, the stratigraphic framework of the SDQ buried hill reservoir was built through using the drilling cores, loggings and seismic data of northern Shaya uplift in the Tarim Basin, and the rock lithofacies were analyzed through drilling cores and petrographic thin section. The stratigraphic age was determined through the U-Pb zircon geochronology of the drilling core samples, and was compared with the outcrops of the Kuruketag area in northeast Tarim Basin. The result shows that the SDQ buried hill is composed of some metamorphic marine sedimentary clastics and carbonate rocks, whose thickness is between 700 to 800 m. The minimum zircon concordia age is about 522±16 Ma from 3 clastics rock samples, which indicates that the deposition or diagenetic age should not be earlier than the middle Proterozoic. The SDQ buried hill reservoir is the oldest buried hill reported in the Tarim Basin.

收稿日期: 2015-03-04; 改回日期: 2016-01-26

基金项目: 国家重大专项课题“海相碳酸盐岩层系大中型油气田分布规律及勘探评价”(2011ZX05005-002)资助。

作者简介: 韩强, 男, 1980 年生, 硕士, 高级工程师, 长期从事石油地质研究工作; E-mail: hanqiang105289562@qq.com。

Key words: Tarim Basin; Shaya uplift; Proterozoic buried hill; characteristics of the strata; zircon U-Pb geochronology

About the first author: HAN Qiang, male, born in 1980, senior engineer, master, engages in the study of petroleum geology; E-mail: hanqiang105289562@qq.com.

Fund support: Supported by Major National Projects of Evaluating Large or Medium Oil and Gas Fields in Marine Carbonate Strata (No. 2011ZX05005-002).

三道桥气田是2010年中石化西北油田分公司在新疆塔里木盆地库车县境内发现的一个潜山凝析气藏,部署在该潜山上的桥古1井酸压改造后6 mm油嘴日产气39175 m³,日产油10.39 m³,显示了良好潜力。该潜山位于沙雅隆起北部的二级构造单元雅克拉断凸西段,北邻库车坳陷,南为哈拉哈

塘凹陷,是南部海相、北部陆相油气运移的有利指向区^[1-2],周围已发现雅克拉、东河塘、牙哈、英买32等油气田(藏)(图1-a、b)。

雅克拉断凸具有基底隆起的特征,最初形成时期可以追溯到塔里木运动,相当于华南的晋宁运动^[3],之后历经加里东、海西、印支等多期构造运动

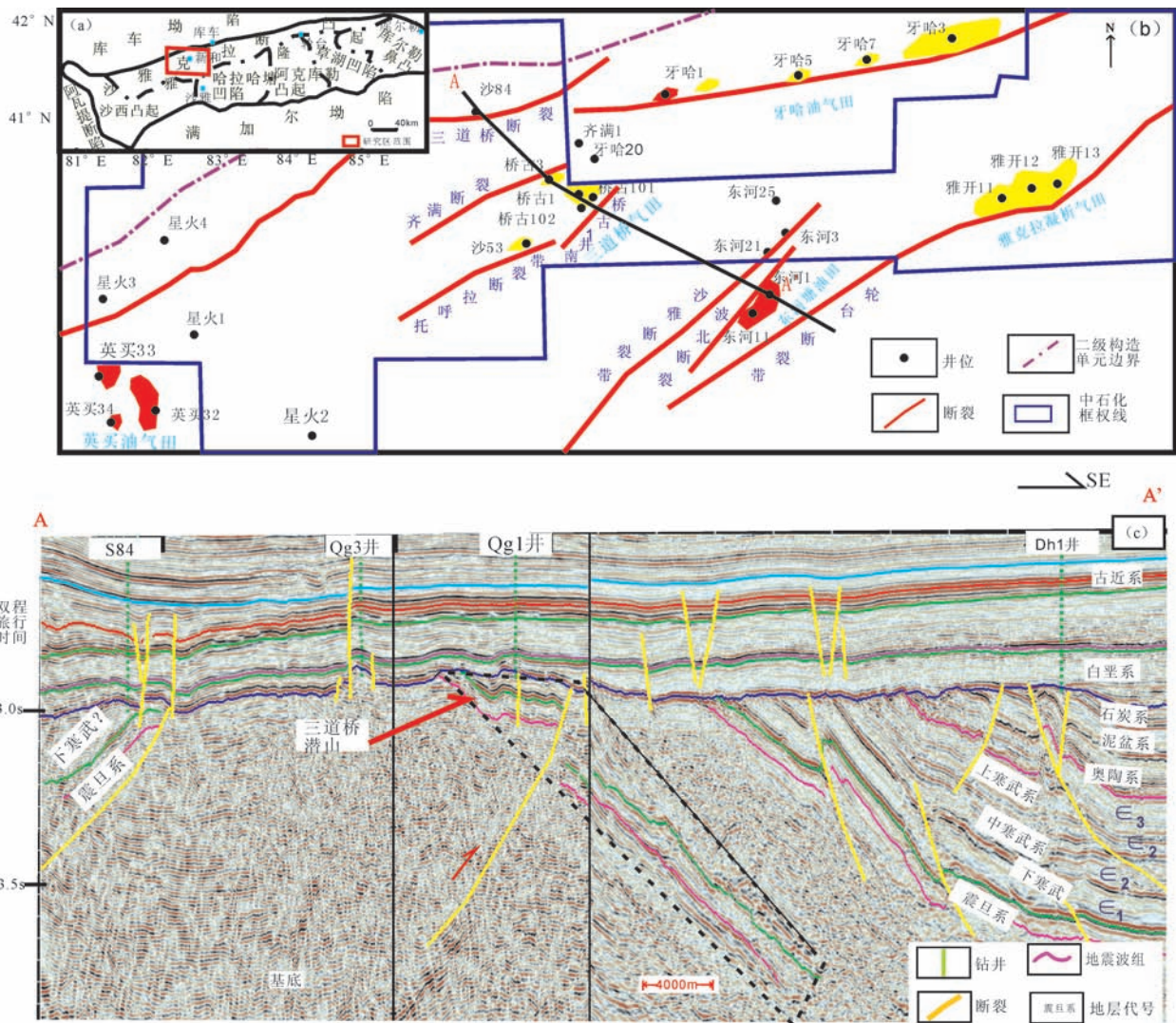


图1 塔里木盆地三道桥气田构造位置图

Fig.1 Location of the SDQ condensate gas reservoir in the Tarim Basin

的改造,前中生界被剥蚀严重。三维地震资料解释表明,研究区前中生界潜山现今的构造面貌是一个北东向展布的古隆起,高部位为前震旦系基岩,西北部沙84井区钻井揭示了一套深灰色含泥质泥晶灰岩,可能发育震旦系—寒武系,东南部的东河塘地区发育震旦系—石炭系。而三道桥潜山位于震旦系尖灭线以外的前震旦系分布区,是一个受逆冲断层控制的断块,断层下降盘在地震剖面上总体表现为—组时间厚度300~400 ms、中低频、连续性较好、南倾的地震反射波,上、下夹于前震旦系基底的空白反射波之间(图1-c)。该波组向东南延伸至雅克拉气田工区,分布稳定。长期以来,对该潜山地震波组的地质属性、时代归属认识不清,制约了油气勘探与开发。研究表明,塔里木盆地基底具有多期拼合的特点,在塔里木盆地东北缘沉积了巨厚前震旦系^[4],而在盆地内部未曾有过相关报道,沙雅隆起北部是否保留有前震旦系,对于沙雅隆起北部前震旦系基底组成研究具有重要意义。因此,本文开展该潜山地层特征对比和时代归属研究,以期对生产科研提供支撑。

1 潜山井-震地层特征

1.1 井-震地层格架

三道桥潜山是一个被前中生界侵蚀面(T_s^0 波)削截,南倾的单面山,内幕存在3个较为明显的波组抗界面,从上至下依次为 Td^{-1} 、 Td^{-2} 及 Td^{-3} (图2)。桥古102(Qg102)、桥古1(Qg1)、桥古101(Qg101)、桥古1-2(Qg1-2)及牙哈20(YH20)井5口钻井不同程度地钻揭潜山内幕,深度均在5500~6500 m。通过井-震标定,各波组的地质属性特征及测井电性特征如图2~3。

Td^{-1} 反射波:桥古102、桥古1及桥古101井钻揭,是上变质碎屑岩段与下伏碳酸盐岩段界面的地震响应,向北高部位被前中生界侵蚀面(T_s^0 波)削截,上变质碎屑岩段频率较低、振幅较强,下伏碳酸盐岩段为弱振幅的空白反射特征(图2)。上变质碎屑岩段桥古102井厚度为112 m,向桥古1、桥古101方向厚度减薄,桥古1-2及牙哈20井被剥蚀缺失。变质碎屑岩自然伽马曲线上表现为锯齿状中高值(90~200 API)、电阻率中高值特征(200 $\Omega \cdot m$)。碳

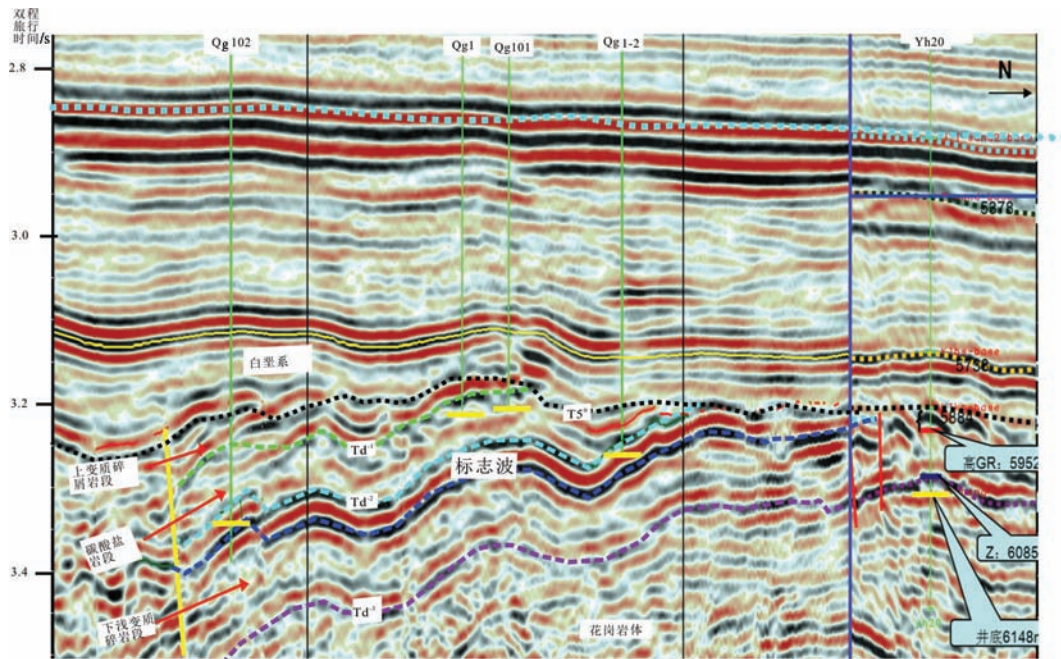


图2 三道桥潜山过桥古102—桥古1—桥古1-2—YH20井地震时间剖面

Fig.2 Seismic time section across Qg102, Qg1, Qg1-2 and YH20 wells in the SDQ buried hill within the northern Tarim Basin

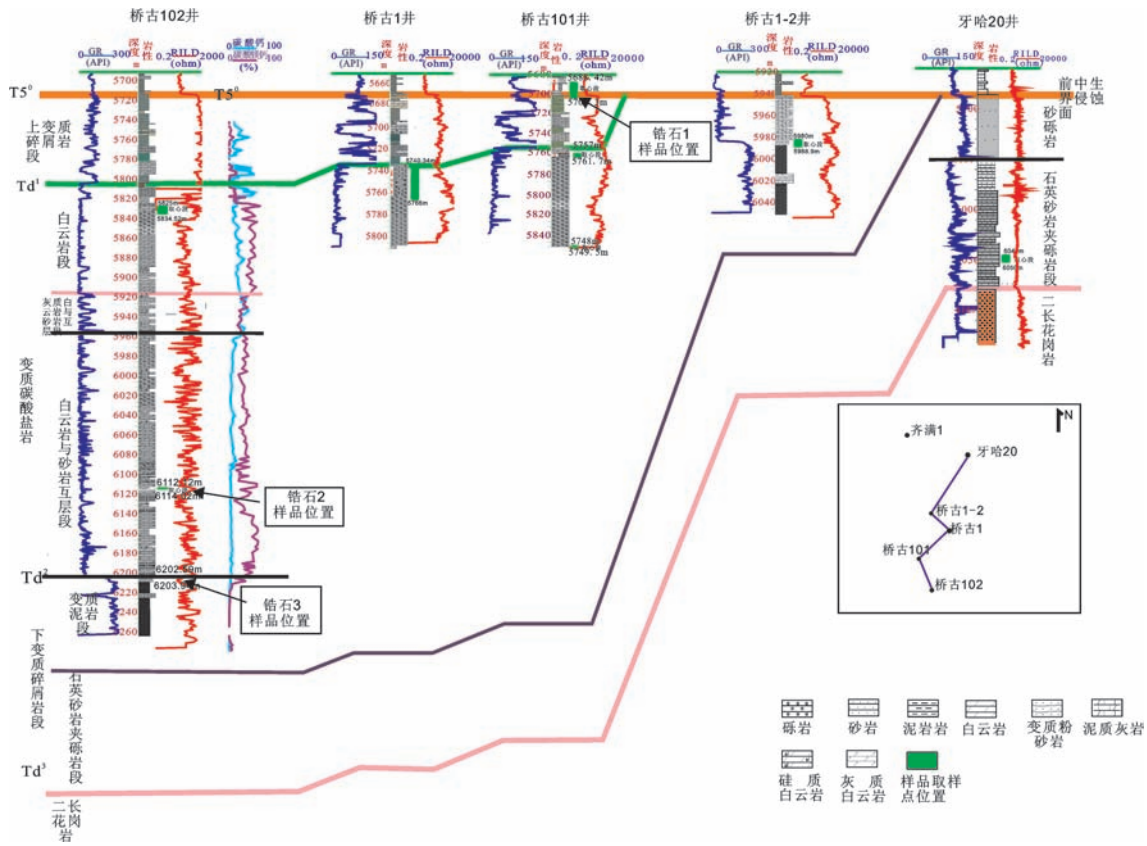


图3 三道桥潜山钻井地层对比及采样点位置

Fig.3 Stratigraphic correlation of wells around the SDQ buried hill in the northern Tarim Basin and the zircon U-P age sampling sites

酸盐岩为自然伽马低值带尖刺状高值(5~150 API)、锯齿状中高电阻率特征(20~20000 Ω·m)(图3)。

Td²反射波:桥古102、桥古1-2井揭示,但均未钻穿下伏地层,是厚层碳酸盐岩段与下伏变质泥岩亚段界面的地震响应,是高速到低速的反射界面,形成了“一谷两峰”的标志波^[5],反射波组振幅强、频率低、波形稳定、连续性好,同样向北高部位被前中生界侵蚀面(T_s⁰波)削截。桥古102井揭示碳酸盐岩厚度较大,约400 m,桥古1-2井被剥蚀减薄至40 m,牙哈20井缺失。浅变质粉砂岩测井曲线上表现为箱型高自然伽马特征(250 API),电阻率中高值(200~20000 Ω·m)(图3)。

Td³反射波:牙哈20井钻揭,是浅变质石英砂岩夹砾岩亚段与二长花岗岩界面的地震响应,反射波组振幅、频率中等,波形较稳定,连续性较好,二长花岗岩为杂乱弱反射,浅变质碎屑岩为弱反射特征,成层性相对较好。浅变质石英砂岩夹砾岩测井曲线上表现为自然伽马锯齿状中高值(100~200

API),中高电阻率值。其下伏的二长花岗岩的测井曲线上表现为相对低伽马(110~150 API),高电阻率(100~1000 Ω·m),局部夹高伽马齿状薄层(>300 API)。

综上所述,三道桥潜山是在二长花岗岩基底之上沉积的一套厚度为700~800 m的浅变质沉积岩,从古到新依次发育下变质碎屑岩段、碳酸盐岩段及上变质碎屑岩段,地层岩性段之间的井-震界线清楚。其中下变质碎屑岩段可进一步划分出变质石英砂岩夹砾岩段、砂砾岩段及变质泥岩段3个亚段,厚层碳酸盐岩段根据石英砂岩夹层含量、碳酸钙、碳酸镁含量的变化分为白云岩、灰质白云岩与砂岩互层、白云岩与砂岩互层段3个亚段(图3)。

1.2 岩石学特征

钻井取心井段所揭示的地层岩石学及岩相学特征如下:

(1) 下变质碎屑岩段

该段厚度为200~300 m,与下伏二长花岗岩呈

不整合接触,牙哈20井底部砂砾岩可能具有不整合面“底砾岩”特征^[6]。由石英砂岩夹砾岩段、砂质砾岩段及变质泥岩段3个亚段组成,岩石类型主要有浅灰色砂砾岩(图4-a)、变质石英砂岩(图4-a)、变质粉砂岩及灰黑色变质泥岩(图4-b、图5-a)。代表了早期滨海相—浅海陆棚相的沉积特征^[7]。

(2)碳酸盐岩段

该段厚约400 m,与下伏变质泥岩段在测井曲线上呈突变接触,表明海水快速退去的地质过程。从钻井取心段的岩石学特征、测井曲线电性特征来看,由上到下大致可分为白云岩段、灰质白云岩与砂岩互层段、白云岩与砂岩互层段3个岩性段(图3)。其中白云岩段与砂岩互层段的岩石类型主要

有石英岩、变质石英砂岩、砂质粉晶白云岩、云质中—粗粒石英砂岩等,局部可见10~20 cm厚度不等的硅质岩(图4-d),可能为台地边缘的混积陆棚沉积^[8]。白云岩与砂岩互层段之上大概有50 m厚的白云质灰岩与砂岩互层。该段在碳酸盐岩含量曲线上,碳酸钙的含量明显高于碳酸镁钙含量(图3)。白云岩段岩石类型主要为灰色—深灰色泥—粉晶白云岩、泥晶白云岩,钻井岩心中常见方解石、石膏、石英等矿物(图4-e~g),反映了浅水的碳酸盐岩台地沉积^[9-10]。白云岩段是三道桥气田的主要油气产生层。从地层垂向序列来看,碳酸盐岩段从混合沉积到碳酸盐岩台地沉积,代表了水体逐渐变深的过程。该段桥古102井2个用于锆石分析样品的岩石



图4 三道桥潜山的部分钻井取心段岩心照片

a—砂砾岩(牙哈20井,6050 m);b—变质泥岩(桥古1-2井,5986.5 m);c—云质不等粒石英砂岩,裂缝发育(桥古102井,6202.05 m);d—硅质岩(桥古1-2井,5981m);e—深灰色泥晶白云岩,裂缝充填方解石(桥古102井,5828 m);f—灰色泥晶白云岩,夹深灰色硅质条带(桥古1井,5842 m);g—深灰色含石膏泥晶白云岩(桥古101井,5760 m);h—棕红色泥晶白云岩(桥古101井,5761 m);i—变质粉砂质泥岩(桥古101井,5702 m)

Fig. 4 Lithological assemblages of well cores from some wells in the SDQ area of northwestern Tarim Basin

a—Basal conglomerate(well YH20, 6050 m); b—Metapelite shale(well Qg1-2, 5986.5 m); c—Dolomitic seriate quartz sandstone, fracture-developed (well Qg102, 6202.05 m); d—Silicalite(well Qg1-2, 5981 m); e—Gray micritic dolomite, crack filled with calcite (well Qg102, 5828 m); f—Gray micritic dolomite, Dark gray siliceous bands(well Qg1, 5842 m); g—Dark gray micritic dolomite, containing gypsum(well Qg101, 5760 m); h—Redish brown micritic dolomite (well Qg101, 5761 m); i—Metamorphic silty mudstone(well Qg101, 5702 m)

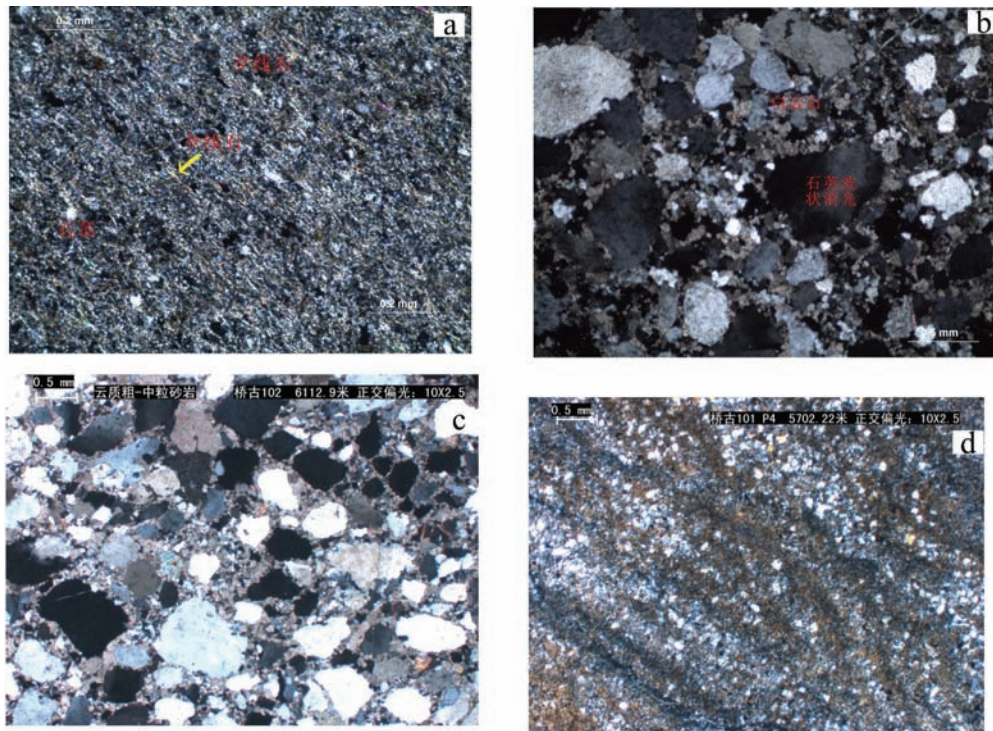


图5 三道桥潜山部分钻井取芯段的岩石薄片照片

a—变质泥岩(桥古1-2井,5986.50 m);b—变质石英砂岩,石英波状消光(桥古102井,6202.05 m);c—变质中—粗粒石英砂岩(桥古102井,6112.9 m);d—变质粉砂质泥岩(桥古101井,5702 m)

Fig. 5 Microphotographs of thin sections from some wells in the SDQ area of northwestern Tarim Basin

a—Metapelite(well Qg1-2,5986.50 m); b—Metamorphic quartz sandstone, wavy extinction of quartz(well Qg 102,6202.05 m); c—Metamorphic coarse grained quartz sandstone (well Qg 102,6112.9 m); d—Metamorphic silty mudstone(well Qg 101,5702 m)

学特征如下。

变质石英砂岩:桥古102井揭示,取样深度6202.05 m,岩石呈浅灰色,致密坚硬。薄片石英含量高达85%,胶结物以白云石为主,含量约15%。石英颗粒磨圆好,分选差,粒度在0.1~0.5 mm。石英具有波状消光,次生加大等现象(图5-b)。

变质中—粗粒石英砂岩:桥古102井揭示,取样深度6112.9 m,岩石呈浅灰色,致密坚硬(图4-c)。薄片岩石具有变余砂状结构,石英含量高达85%,但颗粒之间不接触,胶结物以白云石为主,含量在10%左右。石英磨圆度较好,分选较差,粒度在0.1~0.5 mm(图5-c)。

(3) 上变质碎屑岩段

上浅变质碎屑岩钻井揭示最大厚度112 m,与下伏碳酸盐岩段在测井曲线上呈突变接触,代表水体突然变深的退积过程。岩性主要为变质泥岩、变

质粉砂质泥岩和碳酸盐岩组成,其中碳酸盐岩可能为白云质灰岩,桥古102井碳酸盐岩含量曲线中,碳酸钙含量较高(图3)。该段桥古101井1个用于锆石分析样品的岩石学特征如下。

变质粉砂质泥岩:桥古101井钻揭,采样深度5702.22 m,薄片岩石具有变余泥质结构,岩石主要由石英(35%)、白云石(55%)及少量方解石组成,次要矿物有绿泥石。可见裂缝中充填暗色泥质,宽度0.05~0.1 mm,石英颗粒局部具有定向排列(图5-d)。

综合以上分析,三道桥潜山地层主要是一套滨海—浅海相碎屑岩—碳酸盐岩沉积,可识别出2次海进沉积旋回。部分钻井取芯段泥岩中见到砂线石、砂岩中石英普遍见到波状消光、石英颗粒定向排列,说明碎屑岩遭受一定的热变质作用改造^[1]。碳酸盐岩变质程度不均一,底部互层砂岩中可见明显变质矿物、砂岩中石英波状消光的变质现象,中

上段大套碳酸盐岩段变质程度较低。

2 锆石测年

2.1 分析方法

为了厘定三道桥潜山的时代,先后选取了变质泥岩(样品 Qg101, 5702 m)、中-粗粒石英砂岩(样品 Qg102-1, 6112.9 m)和石英砂岩(样品 Qg102-2, 6202 m)3个浅变质碎屑岩样品分别进行 LA-ICP-MS 和 SHRIMP 测年,样品位置见图3。桥古101井1个样品分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)完成 LA-ICP-MS 锆石测年。锆石 U-Pb 定年所用激光剥蚀系统为 Geolas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a, 采用国际标准锆石 91500 做外标进行同位素质量分馏校正。普通铅校正采用的方法, U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重均采用 Isoplot 程序^[12]。桥古102井2个样品锆石 SHIMNP U-Pb 测年在地科院北京离子探针中心完成, 阴极发光(CL)照片在北京大学造山带地壳演化重点实验室和环境扫描电子显微镜实验室完成。样品分析流程见[13], 年龄谐和图绘制和年龄权重也均采用 Isoplot 程序。

锆石的原位定年和微量元素分析结果见表1和表2。

2.2 锆石年龄

变质粉砂质泥岩(样品 Qg101, 5702 m): 该样品中的锆石呈柱状或浑圆状, 大小不一, CL 图像显示部分锆石发育岩浆生长环带, 有些锆石呈暗灰色, 内部无清晰结构(图6)。16个锆石测年样品 U 和 Th 含量分别为 $70.5 \times 10^{-6} \sim 442 \times 10^{-6}$, $17.1 \times 10^{-6} \sim 405 \times 10^{-6}$, 相应的 Th/U 比值为 0.11~1.29, 平均为 0.71。获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值介于 2751~1522 Ma, 除一个分析点在 2200 Ma 附近的谐和线以下外, 其余分析点集中在谐和线上或在谐和线附近, 这些数据分布在一条很好的不一致线, 偏离谐和线的数据可能由于不同程度的铅丢失所致(图7-a)。

浅变质中-粗粒石英砂岩(样品 Qg102-1, 6112.9 m): 样品的锆石粒度多数在 60~100 μm , 几乎所有锆石都有较好的磨圆度, 次圆状, 少数呈圆状, 表明经过了一定距离的搬运。有的锆石发育振荡环带, 有的存在核以及明显的变质边(图6)。21个锆石样品 U 和 Th 含量分别为 $53 \times 10^{-6} \sim 606 \times 10^{-6}$,

$34 \times 10^{-6} \sim 442 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.14~1.57, 平均为 0.76。获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值介于 2873~1663 Ma, 除个别分析点在偏离谐和线以下外, 其余分析点集中在谐和线上或在谐和线附近(图7-b)。

变质石英砂岩(样品 Qg102-2, 6202.5 m): 22个锆石样品 U 和 Th 含量分别为 $53 \times 10^{-6} \sim 834 \times 10^{-6}$, $26 \times 10^{-6} \sim 286 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.15~1.46, 平均为 1.04。获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值介于 2935~1914 Ma, 除个别分析点在偏离谐和线以下外, 其余分析点集中在谐和线上或在谐和线附近, 偏离谐和线的数据可能由于不同程度的铅丢失所致(图7-c)。

上述结果表明, 碎屑锆石的年龄分布从太古宙一直持续到中元古代早期, 3个碎屑锆石获得最小年龄值分别为 1914 Ma、1663 Ma 及 1522 Ma, 年龄依次变小与地层由老变新顺序相一致, 未发生地层反转。最年轻的碎屑锆石为 1522 Ma, 表明其沉积时间不早于 1522 Ma(图6)。在碎屑锆石年龄统计直方图中, 主要出现了 2.8~2.3 Ga 和 2.0~1.8 Ga 2个年龄峰值, 这与前人研究库鲁克塔格及阿尔金等地区所报道的太古宙及古元古代花岗岩或变质岩的 U-Pb 年龄相吻合^[14-17]。库鲁克塔格及阿尔金等地区太古代 TTG 质岩石的锆石年龄时间主要集中在 2.8~2.3 Ga; 古元古代 2.0~1.8 Ga 锆石年龄可能记录在塔里木发生了一期重要的构造变质事件, 可能与哥伦比亚大陆形成有关。这些年龄可能反映的是碎屑岩母岩的成岩年龄或变质年龄, 历经过与上述地区相似的构造热事件。

3 讨 论

3.1 潜山地质结构

结合以上钻井分析, 三道桥气田潜山的下伏地层为巨厚的花岗岩体, 前人报道的花岗岩 U-Pb 年龄在 1.8 Ga 左右, 代表了花岗岩的变质年龄, 花岗岩的结晶年龄可能在 2.0 Ga 以上, 是沙雅隆起北部古老的陆壳^[18]。而潜山下降盘的上覆地层, 从地震反射来看有 2 种可能, 一种可能是基底花岗岩体(图8-A), 另一种可能是前震旦系阿克苏群(图8-B)。

假如潜山下降盘的上覆地层是花岗岩, 说明是受逆冲断层活动导致了地层震旦系重复, 而桥古1井区的地层特征与邻区钻井和塔里木盆地北缘露头的震旦系差异较大, 地层重复的解释不合理。三

表1 桥古101井碎屑锆石U-Pb同位素分析数据
Table 1 U-Pb data for zircons from the QG101 well of the SDQ area in northern Tarim Basin

样品 测点号	Pb	Th	U	Th/U	同位素比值				同位素年龄/Ma							
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
变质粉砂质泥岩 (Qg101)																
Qgl-3	451	245	340	0.721	0.1602	0.0037	10.203	0.243	0.4594	0.006	2457	39	2453	22	2437	27
Qgl-4	97.7	17.1	149	0.115	0.1603	0.0042	9.9832	0.2714	0.4483	0.0053	2459	45	2433	25	2388	23
Qgl-5	454	408	417	0.978	0.1638	0.0044	8.4854	0.2436	0.3734	0.0056	2495	45	2284	26	2045	26
Qgl-7	207	153	166	0.922	0.1133	0.0033	4.8525	0.1429	0.3105	0.005	1854	53	1794	25	1743	24
Qgl-8	398	186	333	0.559	0.1601	0.0036	10.2135	0.2347	0.4584	0.0047	2457	38	2454	21	2432	21
Qgl-9	294	111	164	0.677	0.1808	0.0045	13.0247	0.3345	0.5172	0.0064	2661	40	2681	24	2687	27
Qgl-12	178	160	124	1.29	0.0942	0.0031	3.5622	0.1197	0.2731	0.0046	1522	62	1541	27	1557	23
Qgl-13	84	50.5	70.5	0.716	0.102	0.0041	4.6513	0.1798	0.3306	0.005	1661	108	1759	32	1841	24
Qgl-15	218	131	177	0.74	0.107	0.0031	5.0762	0.1495	0.3419	0.0046	1750	58	1832	25	1896	22
Qgl-16	243	172	299	0.575	0.115	0.0034	5.1266	0.1594	0.3203	0.0051	1881	52	1841	26	1791	25
Qgl-17	402	204	442	0.462	0.135	0.0033	6.9192	0.1702	0.3679	0.0038	2165	42	2101	22	2019	18
Qgl-18	653	292	390	0.749	0.191	0.0044	14.0726	0.3696	0.5278	0.0075	2751	38	2755	25	2732	32
Qgl-19	546	405	664	0.61	0.1195	0.0027	4.7375	0.1129	0.2846	0.0036	1950	41	1774	20	1615	18
Qgl-20	190	160	190	0.842	0.1118	0.0032	4.7235	0.1344	0.3051	0.0048	1829	52	1771	24	1716	24

表 2 桥古 102 井碎屑岩锆石 SHRIMP U-Pb 同位素数据
Table 2 SHRIMP zircon U-Pb isotopic data for the pre-Sinian clastic rock of qg102 well in the SDQ area of northern Tarim Basin

分析点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$	同位素比值			±%	error	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	表面年龄/Ma				
					$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$				$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
QG102-1-1	0.14	157	476	0.34	129	0.16404	0.45	7.134	0.86	0.3154	0.74	0.854	1767±11	2497.7±7.5	2537±28
QG102-1-2	0.04	80	53	1.57	21	0.157	0.97	9.97	1.7	0.4606	1.3	0.81	2442±27	2424±16	2426±38
QG102-1-3	0.05	117	99	1.23	28.1	0.1134	10	5.19	2	0.3316	1.7	0.859	1846±27	1855±18	1836±34
QG102-1-4	0	137	264	0.54	81.4	0.11837	0.55	5.857	0.95	0.3588	0.77	0.811	1977±13	1931.8±9.9	1951±20
QG102-1-5	0.12	329	443	0.77	112	0.11338	0.57	4.61	2.4	0.2951	2.4	0.972	1667±35	1854±10	1643±40
QG102-1-6	0.04	75	151	0.51	51.2	0.1519	0.62	8.283	1.2	0.3955	0.99	0.847	2148±18	2367±11	2401±42
QG102-1-7	0.04	189	199	0.98	56.4	0.11186	0.7	5.074	1.1	0.329	0.79	0.748	1833±13	1830±13	1814±18
QG102-1-8	--	152	169	0.93	66.2	0.16567	0.56	10.44	1.2	0.4569	1	0.878	2426±21	2514.4±9.3	2671±38
QG102-1-9	0.09	138	104	1.37	29.6	0.1112	1.1	5.083	1.4	0.3293	0.96	0.668	1835±15	1831±19	1800±23
QG102-1-10	0.29	81	75	1.12	19.1	0.1021	1.4	4.133	1.8	0.2934	1.1	0.602	1659±16	1664±27	1643±27
QG102-1-11	0.03	122	206	0.61	89.7	0.17347	0.47	12.12	0.91	0.5066	0.77	0.852	2642±17	2591.5±7.9	2558±27
QG102-1-12	0.09	442	437	1.04	161	0.15844	0.49	9.35	1.3	0.4281	1.2	0.928	2297±24	2439.1±8.4	2465±34
QG102-1-13	0.03	118	149	0.82	75.9	0.2058	1.1	16.78	1.4	0.5912	0.85	0.595	2994±20	2873±19	2949±31
QG102-1-14	0.06	34	241	0.14	69	0.1137	0.65	5.224	0.99	0.3332	0.75	0.754	1854±12	1859±12	1794±38
QG102-1-15	0.05	106	161	0.68	63.1	0.16621	0.56	10.42	1.1	0.4547	0.9	0.847	2416±18	2519.9±9.5	2438±29
QG102-1-16	--	54	108	0.52	31	0.1127	0.94	5.18	1.3	0.3333	0.97	0.717	1855±16	1843±17	1803±32
QG102-1-17	0.13	190	402	0.49	118	0.16315	0.46	7.69	0.84	0.3418	0.7	0.836	1896±12	2488.6±7.8	2435±24
QG102-1-18	0.01	200	606	0.34	180	0.11714	0.48	5.579	1.1	0.3454	0.96	0.893	1913±16	1913.1±8.7	1873±22
QG102-1-19	0.41	231	367	0.65	85.1	0.1751	0.58	6.49	1.2	0.2688	1.1	0.879	1535±15	2607.1±9.6	1735±27
QG102-1-20	0.13	39	92	0.44	41.5	0.1934	0.69	14.07	1.2	0.5277	1	0.828	2732±23	2771±11	2676±59
QG102-1-21	0.13	76	80	0.98	23	0.1112	1.2	5.141	1.6	0.3328	1.1	0.675	1852±17	1833±21	1780±27

云质中-粗粒石英砂岩

续表2

分析点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{Th}/10^{-6}$	$\text{U}/10^{-6}$	同位素比值				表面年龄/Ma						
				$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$\pm\%$	$\pm\%$	ertcorr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
变质石英砂岩														
QG102-2-2	0.09	112	193	0.6	0.16178	0.53	10.58	1	0.4744	0.86	0.849	2503±18	2474.3±9.0	2428±32
QG102-2-3	0.08	77	154	0.52	0.1786	0.57	12.22	1	0.4961	0.85	0.83	2597±18	2640.3±9.5	2493±32
QG102-2-4	--	86	177	0.5	0.16466	0.52	10.97	0.97	0.4832	0.82	0.843	2541±17	2504.1±8.8	2464±39
QG102-2-5	--	286	202	1.46	0.12055	0.65	5.982	1	0.3599	0.79	0.771	1982±14	1964±12	1943±20
QG102-2-6	0.04	86	167	0.53	0.1671	0.97	10.93	1.3	0.4744	0.84	0.654	2503±17	2528±16	2416±32
QG102-2-7	--	66	99	0.69	0.162	0.7	10.46	1.2	0.4684	0.99	0.815	2477±20	2476±12	2447±33
QG102-2-8	0.43	120	194	0.64	0.1304	0.86	7.227	1.2	0.4019	0.81	0.687	2178±15	2104±15	2089±34
QG102-2-9	0.21	282	478	0.61	0.18016	0.35	11.247	0.77	0.4527	0.69	0.889	2407±14	2654.4±5.9	2406±23
QG102-2-10	0.07	63	424	0.15	0.137	0.48	6.984	0.82	0.3698	0.67	0.811	2028±12	2189.6±8.3	1839±34
QG102-2-11	--	195	245	0.82	0.1188	0.64	5.613	1	0.3427	0.81	0.785	1900±13	1938±11	1881±20
QG102-2-12	0.26	157	268	0.6	0.16399	0.54	8.838	0.96	0.3909	0.79	0.823	2127±14	2497.2±9.1	1668±23
QG102-2-13	0.12	155	834	0.19	0.11977	0.38	5.198	0.72	0.3148	0.61	0.848	1764±9.4	1952.7±6.8	1220±21
QG102-2-14	--	60	158	0.39	0.1172	0.89	5.35	2.1	0.3309	1.9	0.91	1843±31	1914±16	1898±61
QG102-2-15	0.02	113	218	0.54	0.2139	0.72	17.1	1.1	0.5797	0.77	0.732	2948±18	2935±12	2899±29
QG102-2-16	0.05	142	185	0.79	0.16264	0.53	10.56	0.97	0.4711	0.82	0.839	2488±17	2483.3±8.9	2417±43
QG102-2-17	0.01	134	362	0.38	0.16495	0.37	10.987	0.82	0.4831	0.74	0.892	2541±15	2507.0±6.3	2499±24
QG102-2-18	0.02	46	132	0.36	0.11748	0.85	5.558	1.3	0.3431	10	0.763	1902±16	1918±15	1851±30
QG102-2-19	--	26	53	0.51	0.1662	1	10.88	2.1	0.4746	1.8	0.869	2504±37	2520±17	2471±65
QG102-2-20	0.43	120	282	0.44	0.1801	0.65	6.662	1	0.2682	0.79	0.773	1532±11	2654±11	1752±32
QG102-2-21	0.01	65	229	0.29	0.11834	0.66	5.599	1.5	0.3431	1.4	0.901	1902±23	1931±12	1874±36
QG102-2-22	--	124	305	0.42	0.11813	0.56	5.656	0.96	0.3472	0.78	0.812	1921±13	1928.2±10	1849±20

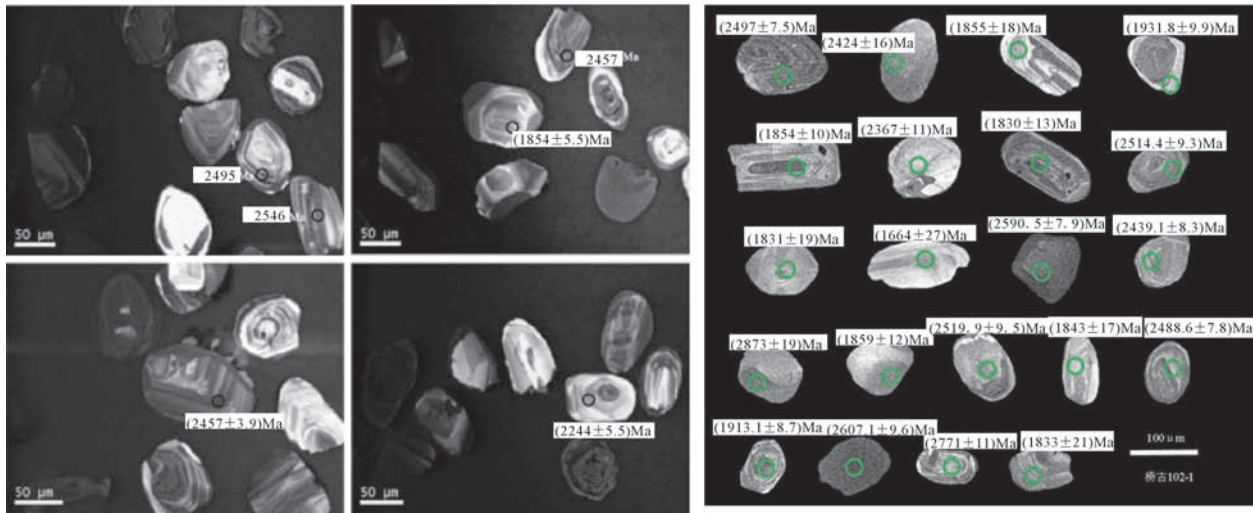


图6 桥古101和桥古102井锆石阴极发光电子图像及测试位置
Fig.6 Cathodoluminescence (CL) images of some zircons from qg101 and qg102 wells and their analyzed positions

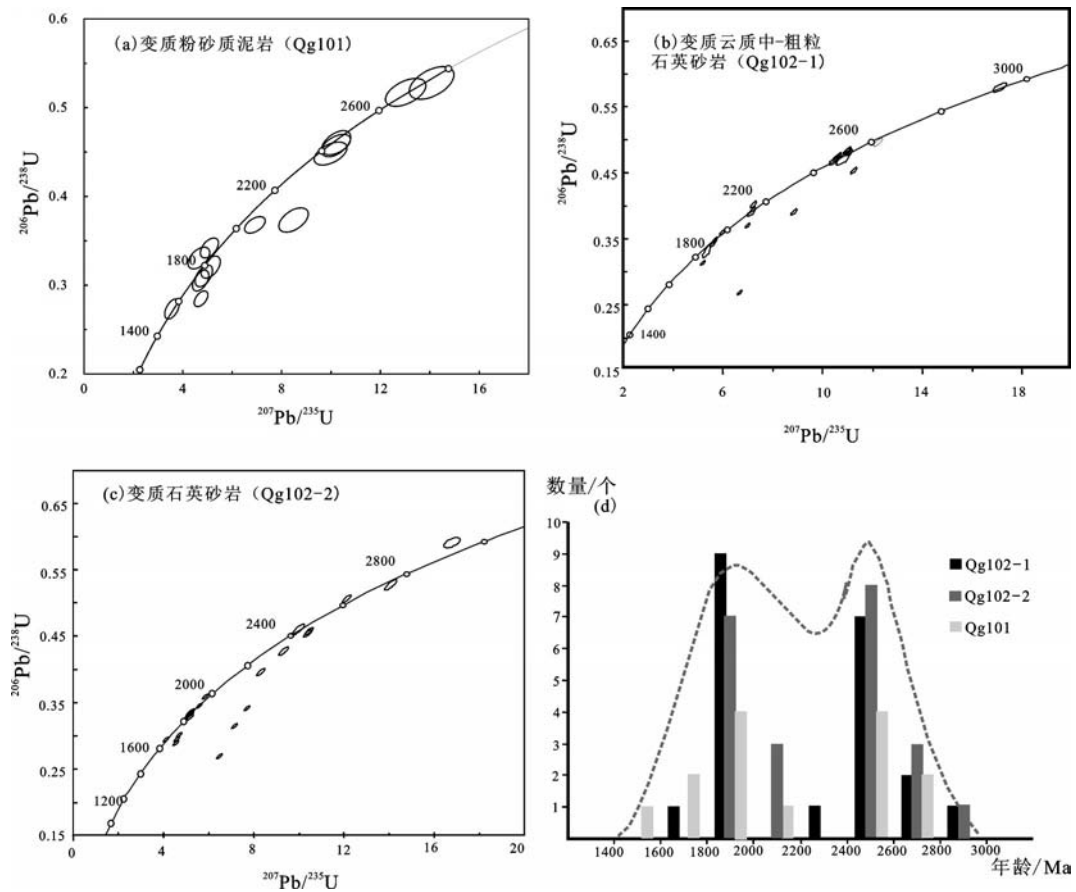


图7 三道桥潜山碎屑岩锆石年龄U-Pb谐和图及频率分布图
Fig.7 Histogram of zircon U-Pb ages of the metamorphic clastic rocks from the SDQ area
In northern Tarim Basin

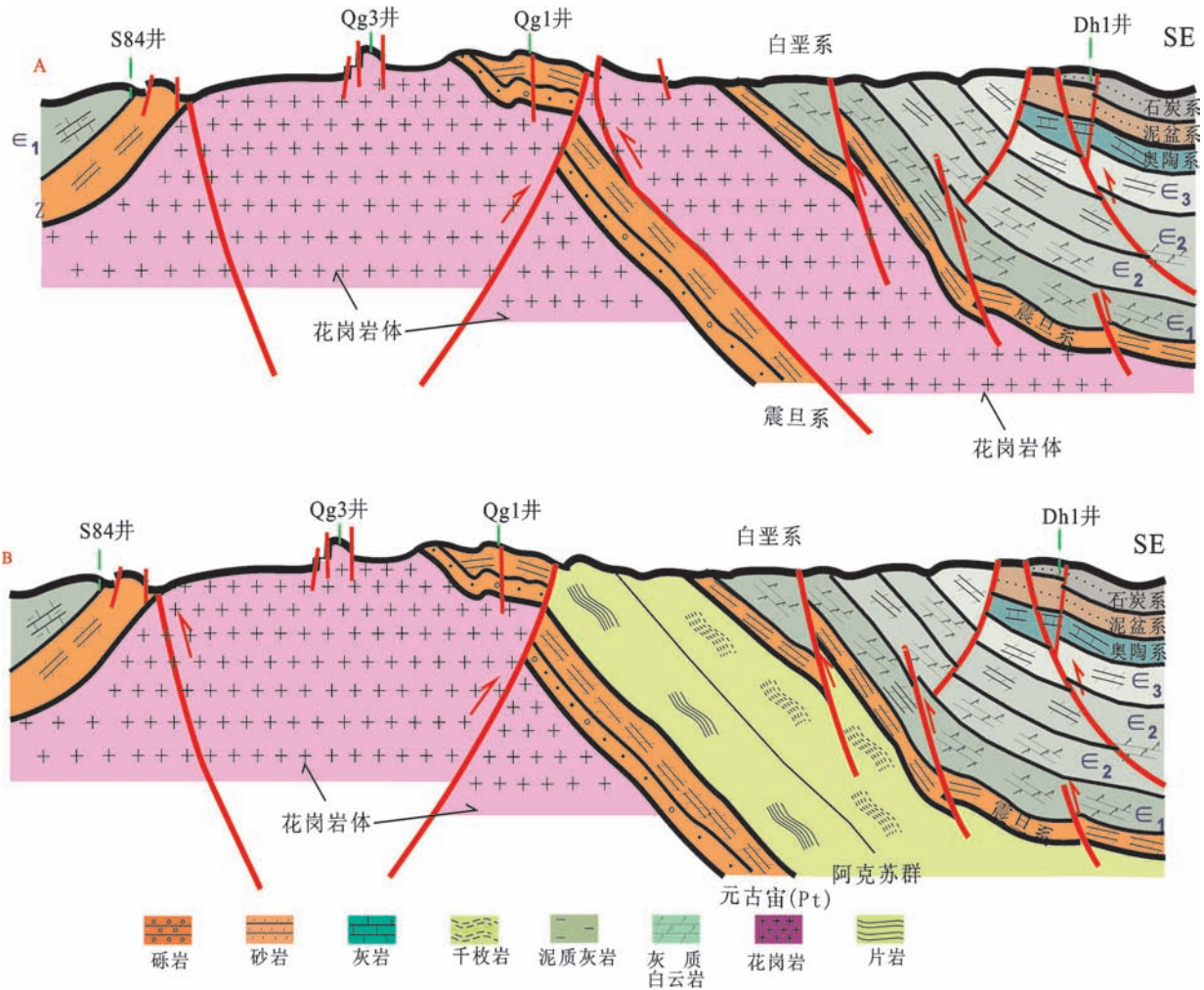


图8 塔里木盆地北部三道桥地区前中生界潜山地质结构示意图

Fig.8 Schematic diagram of geological structure of the Pre-Mesozoic buried hill in northern Tarim Basin

道桥地区以西的星火1井、以东雅克拉气田的沙4井均揭示了震旦系。其中星火1井揭示震旦系较全,厚度为256 m,可划分出震旦系奇格布拉克(Z_{2q})和苏盖特布拉克组(Z_{2s})2个组,厚度分别为240 m和16 m。奇格布拉克组主要由藻云岩及粉晶云岩组成,富含叠层石、核形石、葡萄石等局限台地的藻类岩石。苏盖特布拉克组岩性以褐色泥岩为主,底部为灰色变质含泥质细粒长石石英砂岩、灰白色含硅质粗粒石英砂岩。钻井揭示的震旦系与阿克苏地区出露的肖尔布拉克震旦系剖面的岩性组合、古生物特征是可对比的^[19-20]。而在桥古1井区笔者曾选送过多个样品进行古生物分析,但均未检测出。在岩石薄片观察中也发现生物遗迹。此外,前人对早震旦世巧恩布拉克组的钙质砂岩段的错

石U-Pb年龄为(774±18) Ma。这说明桥古1井所揭示的这套地层不是震旦系。

因此潜山下降盘的上覆地层很可能为阿克苏群。在雅克拉断凸中东段牙哈5井、牙哈2井及沙3井等多口钻遇,钻井揭示岩性主要为片岩、千枚岩。与塔里木盆地北缘阿克苏地区出露的阿克苏群变质岩上部的岩性较为接近^[21]。目前多数学者认为阿克苏群原岩形成时代可能为中元古代末期—新元古代早期^[22],据此推测,三道桥潜山沉积时代应该在阿克苏群之前。

3.2 与塔里木盆地北缘前震旦系对比

塔里木盆地北缘库鲁克塔格地区前震旦系广泛发育,剖面完整,从老至新出露有:太古宇达格拉克布拉克群杂岩、下元古界兴地塔格群、中元古界

波瓦姆群(库尔勒地区杨吉布拉克群)、爱尔塔干群,及新元古界帕尔岗塔格群,其岩性特征见表3。

达格拉克布拉克群是区内最古老的岩层,主要由斜长角闪岩和灰色片麻岩(TTG)所组成。不整合在托格杂岩之上的古元古代兴地塔格群主要由3套岩石组成,下部和上部为高级变质的碎屑岩,中部为橄榄大理岩,变质程度主要为角闪岩相。杨吉布拉克群、爱尔基干群和帕尔岗塔格群均为碎屑岩夹碳酸盐岩组合,绿片岩相变质^[24]。这3个群与蓟县剖面中的长城群、蓟县群及青白口群相当(表3)。

杨吉布拉克群主要为中浅变质的浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩、含铁石英岩,厚度在329~2550 m以上,爱尔基干群主要为浅海相碳酸盐岩沉积,厚度达917~2665 m,帕尔岗塔格群上部为浅海相碳酸盐岩沉积,下部为碎屑岩沉积,总厚750~1600 m。从地层厚度、岩性组合特征来看,三道桥潜山与新元古代的帕尔岗塔格群具有一定的可对比性,均为浅海相碎屑岩-碳酸盐岩组合。虽然无法确定三道桥潜山地层是否为青白口系,或者是塔东北海相沉积向盆地内的延伸,但至少能说明在沙雅隆起北部中新元古代发育浅海相沉积。

4 结 论

(1)三道桥潜山地层厚度在700~800 m,垂向上从古到新依次发育下变质碎屑岩段、碳酸盐岩段及上变质碎屑岩段,下变质碎屑岩段可进一步划分出变质石英砂岩夹砾岩段、砂砾岩段及变质泥岩段3个亚段,厚层碳酸盐岩段可细分为白云岩、灰质白云岩与砂岩互层、白云岩与砂岩互层段3个亚段。

(2)岩石学研究表明三道桥潜山地层主要是一套滨海-浅海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积,可识别出2次海进沉积旋回,这套地层后期经历了高温热接触区域变质,岩性变质程度不均一,以高温热变质为主的碎屑岩和变质程度较低的碳酸盐岩组成。

(3)结合区域地质资料、潜山地震剖面结构特征及本次钻井岩心样品的锆石U-Pb年代学结果,三道桥潜山地层是沉积在古元古代花岗岩的结晶之上,阿克苏群之前的一套地层,说明沙雅隆起北部保留了元古宙的海相沉积。

(4)三道桥潜山地层与塔东北库鲁克塔格地区中、新元古代杨吉布拉克群和新元古代的具有一定

的可对比性,可能为中新元古代潜山,说明塔里木盆地北部存在元古代浅海相沉积,该潜山是迄今为止塔里木盆地内获得工业油气的最古老的潜山。

致谢:本文研究过程中得到了中石化勘探开发研究院副院长翟晓先,西北油田分公司陈惠超、云露等领导专家的指导和鼓励;审稿专家和编辑部李亚萍老师提出了宝贵修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 梁狄刚, 顾乔元, 皮学军. 塔里木盆地塔北隆起凝析气藏的分布规律[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 1-6.
Liang Digang, Gu Qiaoyuan, Pi Xuejun. Distribution law of the condensate gas reservoirs in Tabei Uplift[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(3): 1-6(in Chinese with English abstract).
- [2] 翟晓先. 塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 323-331.
Zhai Xiaoxian. Exploration practice and experience of Tahe giant oil- and- gas field, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 33(4): 323-331(in Chinese with English abstract).
- [3] 汤良杰. 略论塔里木盆地主要构造运动[J]. 石油实验地质, 1997, 23(11):108-114.
Tang Liangjie. An approach to major tectogenesis of Tarim Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 23(11): 108- 114(in Chinese with English abstract).
- [4] 高振家, 王务严, 彭昌文. 新疆阿克苏-乌什地区震旦系[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1985.
Gao Zhenjia, Wang Wuyan, Peng Changwen, Xinjiang Aksu-WuShen Sinian System [M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House 1985(in Chinese with English abstract).
- [5] 戴福贵, 杨克绳, 杨东燕. 塔里木盆地地震剖面地质解释及其构造演化[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 737-759.
Dai Fugui, Yang Kesheng, Yang Dongyan. Geological interpretation of the seismic profile in Tarim Basin and tectonic evolution of this area [J]. Geology in China, 36(4): 737- 759(in Chinese with English abstract).
- [6] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木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): 64-67.
He Dengfa, Jia Chenzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim basins[J]. Oil & gas Geology, 2005, 26(1): 64-67(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈洪德, 钟怡江, 许效松, 等. 中国西部三大盆地海相碳酸盐岩台地边缘类型及特征[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 609-621.
Chen Hongde, Zhong Yijiang, Xu Xiaosong, et al. Types and characteristics of carbonate platform margins of marine carbonate rock in three major basins in western China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 609-621(in Chinese with English abstract).
- [8] 冯增昭. 碳酸盐岩沉积环境及岩相古地理的研究[J]. 石油实验地

- 质, 1980, 3(3): 24–31.
- Feng Zengzhao. Carbonate sedimentary environment and lithofacies paleogeography[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 1980, 3(3): 24–31(in Chinese with English abstract).
- [9] 顾家裕, 马峰, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. *古地理学报*, 2009, 11(1): 21–27.
- Gu Jiayu, Ma Feng, Ji Lidan. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform Research[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(1): 21–27(in Chinese with English abstract).
- [10] 张师本, 倪寓南, 龚福华, 等. 塔里木盆地周缘地层考察[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 2–8.
- Zhang Shibei, Ni Yunnan, Gong Fuhua, et al. *Tarim Basin Peripheral Formation*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 2–8(in Chinese with English abstract).
- [11] 任留东, 耿元生, 王彦斌, 等. 关于东南极拉斯曼丘陵夕陵夕片麻岩类原岩恢复问题探讨[J]. *地学前缘*, 2007, 14(1): 74–84.
- Ren Liudong, Geng Yuanshen, Wang Yanbing, et al. On the protolith of the sillimanite gneisses in the Larsemann Hills, East Antarctica[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 74–84 (in Chinese with English abstract).
- [12] Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1/2): 59–79.
- [13] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[R]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, No.4.
- [14] 邬光辉, 李浩武, 徐彦龙, 等. 塔里木克拉通基底古隆起构造—热事件及其结构演化[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 1–18.
- Wu Guanghui, Li Haowu, Xu Yanlong, et al. The tectonothermal events, architecture and evolution of Tarim craton basement palaeo–uplifts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 1–18(in Chinese with English abstract).
- [15] 胡鸾琴, 韦建刚. 塔里木盆地北缘新太古代辛格尔灰色片麻岩形成时代问题[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 126–134.
- Hu Aiqin, Wei Jianjian. On the Age of the Neo–Archean Qingir Gray Gneisses from the Northern Tarim Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 126–134(in Chinese with English abstract).
- [16] Ge Rongfeng, Zhu Wenbin, Zheng Bihai, et al. Early Pan–African magmatism in the Tarim Craton: Insights from zircon U–Pb–Lu–Hf isotope and geochemistry of granitoids in the Korla area, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2012, 212–213: 117–138.
- [17] Ge Rongfeng, Zhu Wenbin, Wu Hailin, et al. Zircon U–Pb ages and Lu–Hf isotopes of Paleoproterozoic metasedimentary rocks in the Korla Complex, NW China: Implications for metamorphic zircon formation and geological evolution of the Tarim Craton[J], *Precambrian Research*, 2013, 231(2013): 1–18
- [18] 许志琴, 李思田, 张建新, 等. 塔里木地块与古亚洲/特提斯构造体系的对接[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 1–18.
- Xu Zhiqin, Li Sitian, Zhang Jianxin, et al. Paleo–Asian and Tethyan tectonic systems with docking the Tarim block [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 1–18(in Chinese with English abstract).
- [19] 何金有, 贾承造, 邬光辉, 等. 新疆阿克苏地区震旦系风化壳古岩溶特征及其发育模式[J]. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2513–2518.
- He Jinyou, Jia Chengzao, Wu Guanghui, et al. Characteristics and model of Sinian weathering paleo–karst in Aksu area, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(8): 2513–2518(in Chinese with English abstract).
- [20] 周肖贝, 李江海, 傅臣建, 等. 塔里木盆地北缘南华纪—寒武纪构造背景及构造—沉积事件探讨[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 900–911.
- Zhou Xiaobei, Li Jianghai, Fu Chenjian, et al. A discussions on the Cryogenian–Cambrian tectonic–sedimentary event and tectonic setting of northern Tarim Basin [J]. *Geology in China*, 39(4): 900–911(in Chinese with English abstract).
- [21] 齐秋菊, 张招崇, 董书云, 等. 西南天山阿尔金地区中元古代变质岩的地球化学特征及其构造背景[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 33(2): 172–183.
- Qi Qiuju, Zhang Zhaochong, Dong Shuyun, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Mesoproterozoic metamorphic rocks in Aksu area, southwestern Tianshan Mountains[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 33(2): 172–183(in Chinese with English abstract).
- [22] 白云来, 陈启林, 汤中立, 等. 塔里木板块东北边缘弧后裂谷系统基性、超基性岩特征[J]. *中国地质*, 2004, 31(3): 254–261.
- Bai Yunlai, Chen Qilin, Tang Zhongli, et al. Characteristics of basic–ultrabasic rocks in the back–arc rift system on the northeastern margin of the Tarim plate[J]. *Geology in China*, 2(1): 64–77(in Chinese with English abstract).
- [23] 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等. 中国西部地质概论——秦岭、祁连、天山地质[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 106–200.
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, et al. *Geological survey in the Western China—Qinling and Qilian, Tianshan*[M]. Beijing: Science Press, 2008: 106–200 (in Chinese with English abstract).
- [24] 陆松年, 于海峰, 李怀坤. 中国前寒武纪重大地质问题研究[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1–206.
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun. *Study of Precambrian Geological Problems in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1–206(in Chinese with English abstract).