

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

塔里木盆地塔中45井区碳酸盐岩储层的 深部流体改造作用

王嗣敏^{1,2)} 金之钧¹⁾ 解启来^{1,3)}

1) 石油大学盆地与油藏研究中心,北京,102200; 2) 吉林大学地球科学学院,长春,130061

3) 中国科学院广州地球化学研究所,510000

内容提要 塔里木盆地塔中地区发育巨厚的下古生界海相碳酸盐岩,是该地区油气勘探的重要目标层系。塔中45井在上奥陶统灰岩储层内获得高产油气流。研究发现其含油气层段因萤石脉的改造而发育成为优质储层,这在已发现的塔中地区下古生界碳酸盐岩储层中为一独特储集体类型。综合多方面地质依据对萤石成因的分析结果表明,该储集层段是与该地区二叠纪岩浆作用有关的深部流体活动对碳酸盐岩储层改造的结果。深部流体通过溶蚀作用、交代作用和充填作用等对碳酸盐岩储层进行改造,形成深部流体改造型碳酸盐岩储集体。这一新的储集体类型的确立,对塔中地区下古生界碳酸盐岩层系油气勘探有着重要的现实意义。

关键词 塔里木盆地 塔中 碳酸盐岩储层 深部流体 萤石

塔中地区广泛发育巨厚的下古生界海相碳酸盐岩,其巨大的潜在资源量始终为勘探家们所瞩目。自塔中1井潜山凝析气藏发现以来,塔中低隆下古生界碳酸盐岩一直是该区油气勘探的重要目标层系。许多学者注意到塔中地区的油气分布主要受控于古隆起的演化、沉积相带的展布、断裂及构造裂缝的发育和成岩作用(翟光明等,1999;吕修祥等,1999;黄传波,2000),从而发育风化壳岩溶型、生物礁型及构造裂缝型等几类储集体。然而,塔中45井的钻探则揭示出了一种新的储集体类型,尽管一些学者认为该储集体与构造岩溶、埋藏岩溶或低温热液交代有关^①,但对流体包裹体、地质及地球化学等资料的分析结果表明其是与二叠纪岩浆作用有关的深部流体改造型碳酸盐岩储集体。这一新认识对有着广泛岩浆活动的塔中地区西部以及塔里木盆地其他地区下古生界碳酸盐岩层系油气勘探有着极其重要的意义。

1 塔中45井碳酸盐岩储层特征

塔中45井奥陶系碳酸盐岩储层发育在上奥陶统良里塔格组(O₃灰岩段),地震资料揭示储层段处于塔中I号巨型断裂派生断层面上盘断背斜内,岩石类型主要为泥晶灰岩、粉晶灰岩、粒屑灰岩及生屑灰

岩。

富萤石灰岩段(6080~6150m)是该井油气最主要的赋存部位。萤石呈两种状态产出:微细晶萤石存在于萤石脉与围岩接触带上,岩心观察见萤石交代方解石呈方解石假象,镜下可见萤石交代方解石呈港湾状及交代残余结构;萤石粗晶与方解石粗晶共生,充填一半充填于灰岩溶蚀洞穴内,萤石、方解石解理发育,镜下见萤石内发育大量网状微裂缝。

储层常规岩心物性分析,孔隙度0.66%~2.20%,一般小于2%,平均1.44%;渗透率 $0.006 \times 10^{-3} \sim 2.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,说明基质孔隙并不发育。主要有效储集空间为未被充填的残余孔洞和方解石、萤石的微裂缝、解理、晶间孔及溶孔。该类储集体储集空间类型主要为裂缝-孔洞型。取心段岩心观察见有大量半充填—未充填孔洞,大洞可达40mm×50mm×110mm。镜下可见灰岩构造微缝和粒屑灰岩晶间孔发育,萤石内微孔亦发育,常被网状微裂缝切割。网状微缝、微孔的连通性较好。钻井取心时缝洞内有原油外渗,洞壁可见黑色干沥青。显微荧光分析结果在微裂缝内可见黄绿色荧光的可动油残迹。

由此可见,该井优质储层的发育与萤石的存在

注:本文为国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号 G19990433)资助成果。

收稿日期:2003-09-17;改回日期:2004-03-01;责任编辑:周健。

作者简介:王嗣敏,男,1963年生,博士,副教授。2000年在吉林大学获理学博士学位。现为石油大学(北京)博士后研究人员。主要从事盆地分析和石油地质方面的教学和科研工作。通讯地址:102249,石油大学(北京)盆地与油藏研究中心;Email:sm_wang@tom.com。

密切相关,这在塔中地区下古生界碳酸盐岩层系中尚属新的储集体类型。因此,对萤石成因的探讨是进一步揭示该类碳酸盐岩储层形成的关键。

2 深部流体对碳酸盐岩储层改造的证据——萤石成因讨论

一般来说,萤石的形成可与大气下渗循环水和岩浆期后热液等多种成因热液的交代作用有关。对于塔中45井萤石的成因,一些学者的研究认为属于热液交代成因,有的学者认为其形成温度低于130℃,且成矿流体来源于大气降水^①,或低温表生卤水与岩浆释气作用共同作用的结果(赵霞,2000)。结合塔中地区区域地质背景并综合岩心观察、包裹体测温 and 同位素分析等地球化学资料,笔者认为塔中45井上奥陶统碳酸盐岩储层内萤石的形成,是塔中地区二叠纪岩浆期后热液参与的深部热流体对碳酸盐岩储层改造的结果。其主要依据是:

(1)二叠纪时期,塔北、塔中地区广泛喷发了一套中酸性—基性火山岩并伴有同期中—浅成侵入岩。在塔中地区西部,二叠纪基性火山岩和浅成侵入岩都非常发育(图1),并有 $259.8 \pm 0.9 \sim 292.0 \pm 0.5$ Ma 的同位素年龄(陈汉林等,1997a,1997b),时代为早二叠世至晚二叠世早期。该期岩浆作用伴有相应的大规模深部流体活动。

(2)塔中地区有深部流体活动明显迹象。塔中地

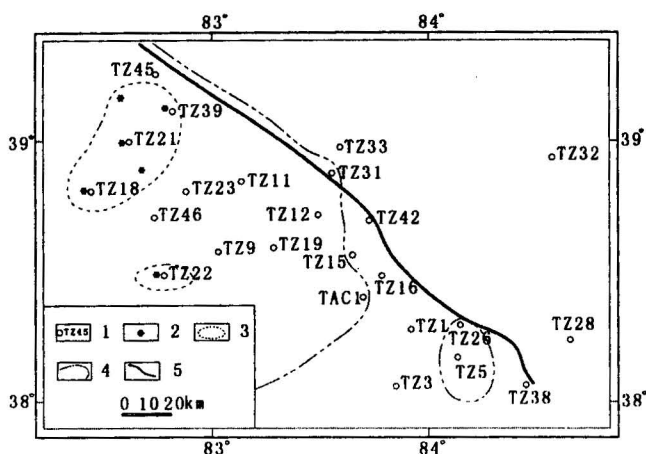


图1 塔中地区二叠纪岩浆岩分布及塔中45井位置图

Fig. 1 The location of well TZ45 and distribution of

Permian magmatic rock in the Tazhong region

1—塔中45井;2—古火山颈;3—侵入岩分布区;

4—火山岩分布区;5—I号断裂

1—Well TZ45; 2—volcanic vent; 3—intrusion zone;

4—volcanic zone; 5—No. 1 fault

区西部和I号断裂带附近多口探井见有萤石化、硅化、黄铁矿化及重晶石化等矿化蚀变现象。部分黄铁矿样品微量元素分析结果支持其热液成因;黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 分析结果也表明其与深部热液有关。通常,海相沉积的碳酸盐岩一般富集重稀土,LREE/HREE 比值较低。TZ45井储层灰岩和萤石的稀土元素地球化学特征表明,萤石和灰岩的稀土元素分馏现象明显,轻稀土富集,LREE/HREE 比值较高,并且灰岩和萤石有相似的配分模式(图2),表明灰岩可能受到深部热液活动的影响。萤石的形成很可能是携带有深部信息的富F热流体与碳酸盐岩作用的产物。塔中天然气中高 N_2 低 CO_2 及 $\delta^{13}\text{C}$ 特征也证实有无机成因 CO_2 的存在(王国安等,2001);甚至塔中地区生物礁的分布及膏盐的发育都与深部热卤水活动有关(张景廉等,2001)。上述事实表明这一地区存在着深部流体活动的明显迹象。区域构造背景上,深达盆地基底的巨型I号断裂带长期以来一直是塔中地区最重要的流体运移通道,塔中45井位于其主要派生断裂旁,构造裂缝又十分发育,客观上也为流体的运移提供了有利条件。

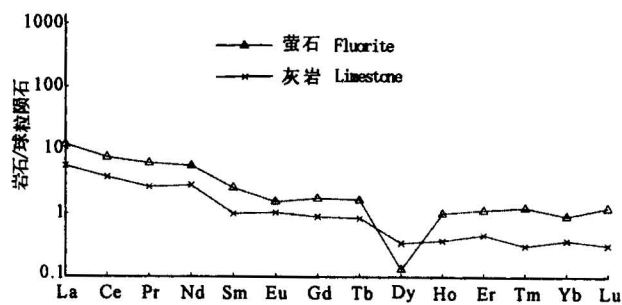


图2 塔中45井灰岩和萤石的稀土元素配分模式

Fig. 2 REE patterns of limestone and fluorite in well TZ45

(3)同位素年龄数据表明萤石的形成时间为晚二叠世,与塔中西部岩浆活动基本同期。不同成因的萤石利用Sm-Nd法进行定年的结果是可靠的(Chesley et al., 1991, 1994)。Rb-Sr和Sm-Nd法测试结果表明,塔中45井储层段萤石的等时年龄介于263~241 Ma 之间^①,说明萤石形成于晚二叠世。这一时间恰是塔中地区西部岩浆活动的晚期。显然,萤石的形成与该区二叠纪岩浆活动有关。

(4)流体包裹体测温结果表明萤石与深部热流体活动有关。塔中45井及邻近探井萤石和围岩流体包裹体测温,获得三组均一化温度,第一组为70~

98℃,第二组为92~152℃,第三组为153~310℃(表1)。少数温度数据可高达350℃以上。其他文献的研究结果也证实塔中45井萤石可有几组不同的均一化温度,部分数据超过200℃,甚至可达290℃^⑨,说明塔中45井区经历过多期热流体活动。但对塔中45井区埋藏史和热演化史分析表明,如此高的温度并不是通过地层埋深增温获得的与地质时期中的高温过程和深部热流体活动有关。

表1 塔中45井及邻区包裹体均一温度

Table 1 Homogenization temperature of gas-liquid inclusions in well TZ45 and its adjacent area

井号	深度(m)	时代	岩性	第一组温度(℃)	第二组温度(℃)	第三组温度(℃)
TZ45	6085.40	O ₃	萤石	82~94	112~152	256~310
TZ45	6041.60	O ₃	灰岩		92~114	162~194
TZ12	5012.70	O ₃	灰岩	70~80	104~112	153~260
TZ10	4168.50	C	灰岩	76~98		236~279
TZ18	4757.48	O ₁	粉晶灰岩	76~94	102~147	183~260
TZ30	4910.15	O ₃	灰岩		101~121	162~246

(5)高反射率沥青及其年龄值表明萤石的形成与热流体的活动有关。塔中45井缝洞壁上的高反射率沥青,反射率在1.05%~1.26%之间。这些沥青的Th-Pb和U/Pb法等时年龄为243±10.5Ma,亦形成于晚二叠纪世^⑩,与萤石为同期产物。沥青与自生方解石或萤石共生,它们的形成时间相近,说明高反射率沥青是油受高温热流体的热蚀变而形成。

(6)岩浆活动期后易形成高含氟热流体。岩石学和矿床学研究结果证实,岩浆岩中氟的丰度较高,并且成矿流体和成矿物质常与岩浆晚期结晶分异作用有关,高温成矿流体中常富含F、CO₂、H₂S等组分(赵霞,2000),可产生高温钾化、硅化、萤石化等作用而形成萤石矿床(肖荣阁等,2001;吕志成等,2001)。我国萤石矿床的成因大多数为热液脉型充填式矿床,这些热液脉状矿床的大多数又处于岩浆岩出露区(曹俊臣,1994)。塔中地区西部二叠纪时期岩浆活动强烈,广泛分布火山岩和大量潜火山一中浅成侵入体(图1),因此,塔中45井萤石的成因也就不言而喻。

综合以上证据,塔中45井的萤石段储层是深部热流体对碳酸盐岩改造的结果。

3 碳酸盐岩储层改造作用机理

根据岩心和薄片观察并结合已有证据综合分析,塔中45井深部流体对碳酸盐岩储层的改造是通过溶蚀作用、交代作用和充填作用等方式进行的。

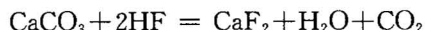
3.1 溶蚀作用

酸性深部热流体沿断层通道进入裂缝发育的碳酸盐岩地层内,首先沿裂缝发生强烈的溶蚀作用,使先成裂缝进一步扩大形成溶蚀缝洞系统。深部流体通过两种途径参与溶蚀作用,其一是物质上的参与,岩浆晚期结晶分异出的热流体提供的F、CO₂等多种挥发份使热液呈酸性,从而极易对碳酸盐岩进行溶蚀;其二是能量上的贡献,携带巨大热能的高温深部热流体进入盆地会对上涌通道附近的围岩和盆内流体进行加温,增强了热流体的溶蚀作用能力。岩心观察和成像测井图像均显示,储层段溶蚀孔洞非常发育,说明曾经有过非常强烈的溶蚀作用发生。

3.2 交代作用

交代作用是物质交换的过程,流体所含成分在对围岩进行交代时,除矿物成分本身发生变化外,往往还会使交代后新矿物的占位空间发生改变,从而引起储层物性发生变化。镜下薄片观察可见萤石对方解石的交代现象,以及萤石与脉状粗晶方解石共生充填于灰岩裂缝。

萤石交代作用的基本化学反应方程式是:



即一个CaCO₃分子被交代后形成一个萤石分子(CaF₂)。由于方解石与萤石在晶胞体积上存在着很大的差异,根据晶胞参数计算结果,一个萤石分子的体积仅是一个方解石分子体积的73.6%,也就是说方解石被等量萤石交代后孔隙空间可增加26.4%。可见,通过萤石的交代作用对碳酸盐岩储层储集空间改善的贡献也是非常明显的。

3.3 充填作用

深部流体对碳酸盐岩储层的改造还包括充填作用。随着流体温度的降低和交代作用的进行,大量的萤石、方解石及少量石英、天青石等矿物开始在溶蚀缝洞中结晶析出,在不同部位占据了部分或全部缝洞空间,从而对储层的储集性能造成了一定程度的破坏。岩心观察发现,塔中45井萤石段内发育大量未充填残留孔洞,孔洞内可见萤石或方解石自形晶呈晶簇生长,代表生长空间充足条件下的慢速结晶作用。

3.4 深部流体对塔中45井碳酸盐岩储层改造模式

结合区域地质背景分析,深部流体对塔中45井碳酸盐岩储层的改造模式是:早二叠世至晚二叠世早期,塔中地区西部发生强烈的岩浆作用,火山活动和潜火山一中浅成侵入作用频繁。随着岩浆活动强度的逐渐减弱,在晚二叠世早期岩浆晚期结晶分异

作用形成的富 F 等挥发份的酸性热流体沿深断裂通道上涌进入盆地,这些富 F 的酸性热流体直接进入或与盆地流体混合后形成的酸性热流体进入裂缝发育的碳酸盐岩地层后,首先是沿先期形成的裂缝发生强烈的溶蚀作用和交代作用(萤石化、硅化等),随后在适当的部位结晶析出发生充填作用,从而形成萤石、方解石和石英脉及大量的残留孔洞,这一过程极大地改善了碳酸盐岩储层的储集性能,从而成为优质储层。

4 结论与讨论

塔中45井上奥陶统碳酸盐岩储层段内获高产工业油气流,这与萤石的交代和充填作用对储层储集性能的改善密切相关。结合区域地质背景对萤石的成因分析表明,萤石段储层的发育是与塔中地区西部二叠纪岩浆作用有关的深部流体对碳酸盐岩的溶蚀、交代和充填作用改造的结果,由此揭示出深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用可造就出储渗条件极其优越的碳酸盐岩储层,并可形成具有重要意义的油气藏。

奥陶系碳酸盐岩是塔中地区最重要的勘探目标层系之一。目前,虽然有多口探井见油气显示,但奥陶系碳酸盐岩层系内10口获工业油气流的探井中有9口沿 I 号断裂带附近分布。由于这一地带也是塔中碳酸盐岩台地边缘相带展布方向,因此,在勘探思路,以往人们更注意沿 I 号断裂带寻找与构造裂缝型、风化壳岩溶型和礁丘沉积相控制型储层有关的油气藏。深部流体改造型碳酸盐岩储集体的确立,对塔中地区、乃至塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩层系的油气勘探都有重要的现实意义。它为下古生界碳酸盐岩层系内的油气勘探开阔了新的视野,预示着塔中地区西部尤其是受二叠纪岩浆作用所影响的广大地区及 I 号断裂带西段邻近地带等地区都有着良好的油气勘探前景。

应该引起足够重视的是深部流体改造型碳酸盐岩储集体是一类复杂的储层类型,它可能会有多种变化模式。同时还应认识到这类储层具有很强的非均质性,认识这类储层发育和分布的规律应从对深部流体活动规律的认识着手。因此,加强相关的基础性研究,在区域上搞清深部流体的活动和分布规律、流体作用的类型、流体运移的输导体系、裂缝的发育与分布规律以及构造活动和油气充注的时空配置关系等,对寻找和勘探与深部流体改造型碳酸盐岩储集体有关的油气藏是十分必要的。

注 释

- ①王飞宇,孙玉善,张宝民. 1999. 塔中地区下古生界优质碳酸盐岩储层形成与烃类流体的关系. 塔里木石油勘探开发指挥部,石油大学(北京).
- ②范善发,等. 1998. 塔里木盆地成烃地球化学研究. 中国科学院广州地球化学研究所,中国科学院兰州地质研究所.

参 考 文 献

- 曹俊臣. 1994. 热液脉型萤石矿床萤石气液包裹体氢、氧同位素特征. 地质与勘探, 30(4): 28~29.
- 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 贾承造, 魏国齐, 汪振国. 1997a. 塔里木盆地二叠纪基性岩带的确定及大地构造意义. 地球化学, 26(6): 77~87.
- 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 竺国强, 贾承造, 魏国齐, 汪振国. 1997b. 塔里木盆地地质热事件研究. 科学通报, 42(10): 1096~1099.
- 黄传波. 2000. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩油气藏形成条件. 新疆石油地质, 21(3): 188~192.
- 吕修祥, 金之钧, 皮学军, 李启明. 1999. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩油气聚集与分布. 中国科学(D 辑), 29(4): 358~361.
- 吕志成, 段国正, 郝立波, 李殿超, 董广华. 2001. 北方造山带东北段中生代构造—流体—成岩成矿体系及其演化. 大地构造与成矿学, 25(2): 161~170.
- 王国安, 申建中, 季美英. 2001. 塔北、塔中天然气中 CO₂ 的碳同位素组成及成因探讨. 地质地球化学, 29(4): 36~39.
- 肖荣阁, 张宗恒, 陈卉泉, 张汉城. 2001. 地质流体自然类型与成矿流体类型. 地学前缘, 8(4): 245~251.
- 翟光明, 王建君. 1999. 对塔中地区石油地质条件的认识. 石油学报, 20(4): 1~6.
- 张景廉, 金之钧, 杨雷, 芮岳东. 2001. 塔里木盆地深部地质流体与油气藏的关系. 新疆石油地质, 22(5): 371~375.
- 赵霞. 2000. 塔里木盆地塔中45井及柯坪西克尔萤石成因的讨论. 西北地质, 33(3): 5~8.

References

- Cao Junchen. 1994. Fluorite inclusion hydrogen and oxygen isotopic features of hydrothermal vein fluorite deposits. *Geology & Exploration*, 30(4): 28~29 (in Chinese).
- Chen Hanlin, Yang Shufeng, Dong Chuanwan, Jia Chengzao, Wei Guoqi, Wang Zhenguo. 1997a. Confirmation of Permian basite zone in Tarim basin and its tectonic significance. *Geochimica*, 26(6): 77~87 (in Chinese with English abstract).
- Chen Hanlin, Yang Shufeng, Dong Chuanwan, Zhu Guoqiang, Jia Chengzao, Wei Guoqi, Wang Zhenguo. 1997b. Study on geothermo events of Tarim basin. *Chinese Science Bulletin*, 42(10): 1096~1099 (in Chinese).
- Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. 1991. Samarium-Neodymium direct dating of fluorite mineralization. *Science*, 252: 949~951.
- Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K, et al. 1994. Direct dating of Mississippi Valley type mineralization: use of Sm-Nd in fluorite. *Econ. Geol.*, 89: 1192~1199.
- Huang Chuanbo. 2000. Conditions for forming carbonate oil and gas reservoirs in Cambrian—Ordovician of Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 21(3): 188~192 (in Chinese with English abstract).

- Lü Xiuxiang, Jin Zhijun, Pi Xuejun, Li Qiming. 1999. Oil & gas accumulation and distribution of Lower Paleozoic carbonate in Tarim basin. *Science in China (Series D)*, 29(4): 358~361 (in Chinese).
- Lü Zhicheng, Duan Guozheng, Hao Libo, Li Dianchao, Dong Guanghua. 2001. The interaction system between Mesozoic tectonics, fluids, petrogenesis and mineralization in the northeast of the northern orogenic belt, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(2): 161~170 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guo'an, Shen Jianzhong, Ji Meiyang. 2001. Carbon isotopic composition and origin of carbon dioxide in natural gases in northern and central Tarim basin. *Geology Geochemistry*, 29(4): 36~39 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Rongge, Zhang Zongheng, Chen Huiquan, Zhang Hancheng. 2001. Types of geological fluids and ore forming fluid. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 245~251 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Guangming, Wang Jianjun. 1999. Analysis of petroleum geology in Tazhong region. *Acta Petrolei Sinica*, 20(4): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinglian, Jin Zhijun, Yang Lei, Rui Handong. 2001. A relation between the deep geofluids and reservoir in Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 22(5): 371~375 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xia. 2000. Discussion on fluorite genesis of well TZ45 and Xiker, Keping, Tarim basin. *Northwestern Geology*, 33(3): 5~8 (in Chinese).

Transforming Effect of Deep Fluids on Carbonate Reservoirs in the Well TZ45 Region

WANG Simin^{1,2)}, JIN Zhijun¹⁾, XIE Qilai^{1,3)}

1) Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing, 102200

2) College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, 130061

3) Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou, 510000

Abstract

Lower Paleozoic marine carbonate rock with a great thickness is universally distributed in the Tazhong region of the Tarim basin. Carbonate rock is always an important oil and gas exploration target in this region. Well TZ45 was successful in prospecting Upper Ordovician carbonate rock reservoirs and has discovered high-yield hydrocarbon flows. This study revealed that oil-bearing strata in this region are an excellent reservoir. This is a special new kind of reservoir formed by the transformation of infilling fluorite veins. It is different from the Lower Paleozoic carbonate reservoirs found in the Tazhong region. Analysis of the genesis of fluorite in consideration of various geological evidences indicates that the reservoir resulted from the transforming effect of Permian magmatism-related deep fluids on carbonate rock reservoirs. The latter were transformed by the former through dissolution, metasomatism and infilling, so that carbonate rock reservoirs and oil-gas pools related to deep fluid transformation were form. The classification of such a new type of reservoirs and oil-gas pools is of important and practical significance to oil and gas exploration in Lower Paleozoic carbonate strata in the Tazhong region, especially in vast areas influenced by Permian magmatism, and in the west segment of the No. 1 fault zone in this region.

Key words: Tarim basin; Tazhong; carbonate rock reservoir; deep fluid fluorite