

普光气田的天然气可能是无机成因的

石兰亭^{1,2} 郑荣才¹ 张景廉² 卫平生² 张虎权²

(1.成都理工大学 2.中国石油勘探开发研究院西北分院)

石兰亭等.普光气田的天然气可能是无机成因的.天然气工业,2008,28(11):8-12.

摘要 普光气田天然气的成因由于地质储量和气源等认识有待深入而备受关注。普光气田的深部中地壳存在一个低速层,该低速层是一个塑性层,具流变性质,是充满气体及离子的热液流体。一方面,热液流体与橄榄岩等超基性岩发生蚀变反应,生成 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 及V、Ni等;另一方面, CO_2 (或 CO)与 H_2 在中地壳的恰当温度、压力下,在V、Ni等金属的催化下,发生费—托合成烃的反应。这时,携带 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 的热液体上升到沉积地层,当遇到碳酸盐岩时,便发生 Mg^{2+} 交代或 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 交代形成铁白云石及盐岩等,当遇到碎屑岩(硅酸盐)时,便发生绿泥石化(Mg^{2+} 交代)、伊利石化(K^+ 交代)、蒙脱石化(Mg^{2+} 交代)作用并生成盐类矿物。费—托反应生成的烃可沿断裂系统上升到储层中(如白云岩及砂岩)而成藏。研究结果表明,普光气田天然气的成因及成藏模式可能就是通过上述途径实现的,即普光气田的天然气可能是无机成因的。川东地区还是一个地球强烈排气的区域,那些尚没有圈闭成藏的天然气影响了当地气候(如酷热、森林大火等)。结论认为:寻找普光气田型的天然气藏(生物礁—白云岩—膏盐组合)是21世纪四川盆地天然气勘探的主要目标。

主题词 普光气田 气藏形成 无机成因 低速带 塑性流体 费—托反应 生物礁 白云岩

一、引言

最近,马永生教授撰文,论述了“四川盆地普光大型气田的形成机制”^[1],笔者拟从新的视角来分析普光气田的深部地质、地球物理背景,并论述普光气田的天然气可能是无机成因的。

自普光气田发现以来,以马永生教授为主的项目组先后在《地质论评》、《地质学报》、《石油实验地质》、《石油大学学报》、《石油与天然气地质》、《地学前缘》、《海相油气地质》等刊物发表了一系列论文^[2-12],全面论述了普光气田的沉积、层序地层、储层、礁滩及成藏模式,也有专门论述二叠系长兴组生物礁的^[13]。但深入讨论普光气田气源的文章则还没有。蔡勋育等从沥青地球化学的角度认为该气田气体源于上二叠统烃源岩干酪根^[7];马永生根据烃源岩的演化史、储层流体包裹体分析资料所确定的油气成藏期,提出普光气田的主力烃源岩为中、下志留统及二叠系^[1-12],但这种分析有诸多的不确定性。马永生在文献^[12]中认为,普光气田天然气干燥系数大,乙烷含量过低,无法准确分析碳同位素组成,而天然气又受到TSR的蚀变和改造。因此仅凭甲

烷的碳同位素值难以确定其气源。

鉴于上述情况,金之钧教授等曾撰文认为“普光气田的气源不清”^[14]。并指出这是海相油气勘探的主要问题之一。因此,深入探讨普光气田天然气的气源及成因十分必要。

二、普光气田的储层与盖层

普光气田是一个生物礁滩型气田。

1. 白云岩储层

普光构造位于碳酸盐岩台地边缘,主要发育鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩和糖粒状残余鲕粒白云岩。这种白云岩总厚度约250 m,为普光气田的主力储层。如此巨厚的白云岩, Mg^{2+} 的来源一直困扰着沉积学家及石油地质学家(孙枢、张景廉,《白云石、白云岩成因研究述评》,2004年)。根据笔者的研究,当地幔热液上升到底辟于花岗岩层与玄武岩层的超基性岩时,会发生广泛的蛇纹石化,释放出大量的 Mg^{2+} 与 Fe^{2+} 。这种热液继续上升,如进入碳酸盐岩地层便发生白云石化、铁白云石化;如上升到硅酸盐岩地层则发生绿泥石化;而当陆相地层也有碳酸盐岩时,则会发生白云石化,如柴达木盆地西部的

作者简介:石兰亭,1963年生,高级工程师,博士研究生;主要从事石油地质、油气藏描述等工作。地址:(730020)甘肃省兰州市雁儿湾路535号。电话:(0931)8686135。E-mail:lanzhou_sl@163.com

古近系、济阳拗陷古近系、江汉盆地古近系、南阳盆地古近系及酒泉盆地下白垩统的白云岩^[15]。在普光气田,埋深5 000 m的白云岩孔隙度最大可达27.9%,最大渗透率可达 $1\,000\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,而这种热液交代的白云岩在国内尚不多见^[14]。

2. 膏盐盖层

四川盆地的三叠纪是一个主要的成盐期。对于膏盐,一直被认为是蒸发成因的,几乎从未被怀疑过。

随着油气勘探的深入,发现含盐盆地的古气候并非干旱,而是十分湿热,盐岩分布受深大断裂控制;滨里海盆地十分发育的盐穿刺构造,北非中生代盆地的盐底辟、盐穿刺构造,西南非 Aptian 期盆地的盐构造等均表明:这些盐可能是热的浓卤水所生成的,它们由富含 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 的地幔流体所生成,这便是热卤水成盐模式^[16]。因此目前在沉积相研究中,常常把膏盐认作是干旱环境形成的蒸发岩,这显然是一个错误,需要予以更正。正是这种热卤水形成的膏盐对油气藏起到了十分重要的封盖作用。

3. 生物礁(滩)—白云岩—膏盐

根据上述白云岩、膏盐的形成模式,以及国外碳酸盐岩油气勘探的经验,张景廉等陆续发表了3篇论文,论述了在中国西部寻找古生代大型油气田的勘探方向,即要在碳酸盐岩地区寻找大油气田,第一

需要找生物礁滩(有好的构造),第二找礁体内白云岩(好的储集体),第三找巨厚的膏盐(好的封盖层)^[17-19]。普光气田就满足上述条件。

三、普光气田深部地壳构造特征

1. 宣汉—灵宝地质地球物理剖面

20世纪80年代,原地质矿产部第一综合物探大队、第二综合物探大队进行了四川宣汉到河南灵宝剖面的地质、地球物理调查工作^[20]。

从图1可以看出:①商丹断裂一带有正磁异常;②在宣汉一带有一个重力低异常;③从四川宣汉到陕西山阳,在深20~25 km处有一个较稳定的低速层,其 $v=5.7\sim 6.0\text{ km/s}$,其上部的 $v=6.3\sim 6.5\text{ km/s}$ (地质解释为角闪岩相),下部 $v=6.5\sim 6.7\text{ km/s}$ (地质解释为麻粒岩相)。在图1中我们注意到,在山阳深约25 km处有一条断层,沿低速层平缓延伸直到宣汉地区附近,看来这是一个拆离构造,它在深部遇到低速层(塑性层),角度变得十分平缓。

2. 中地壳低速层与天然气生成模式

根据沃里沃夫斯基、萨尔基索夫对世界上9个大油气田的研究表明,这种盆地的深部中地壳断续分布有低速—高导层。对这种低速—高导层有诸不同的地质解释,沃里沃夫斯基等认为:上地幔的超基性岩浆上升底辟到花岗岩与玄武岩“层”中,由于

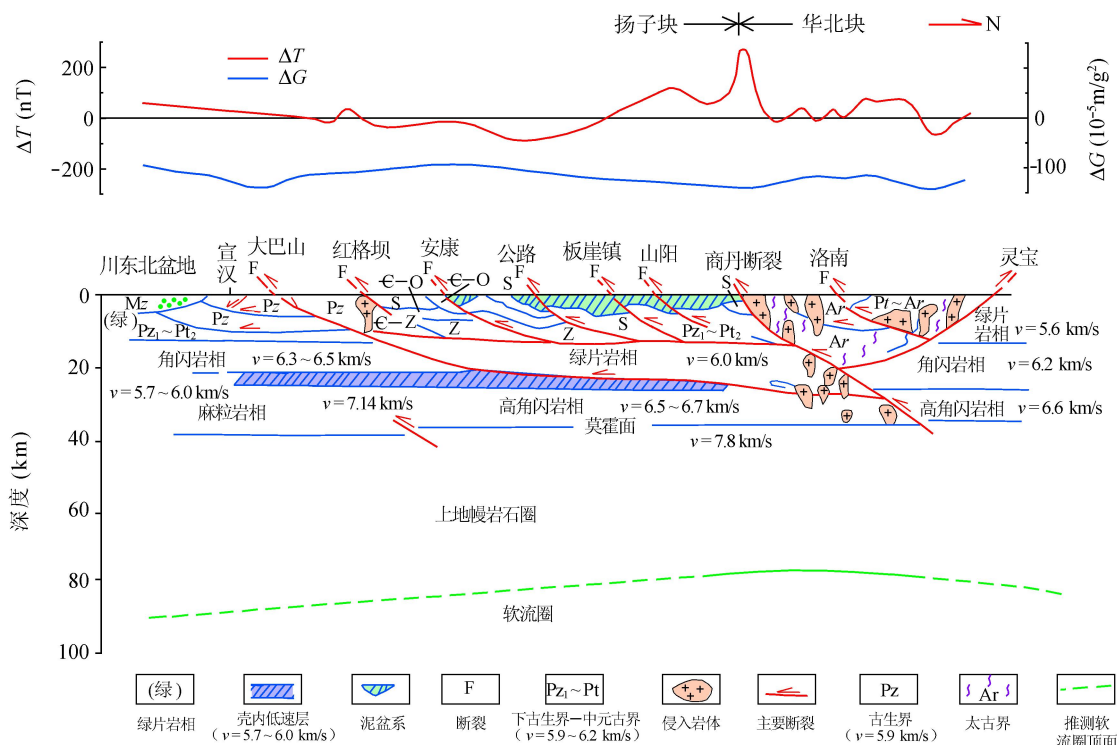


图1 宣汉—灵宝地质地球物理综合解释剖面图

(据原地质部第一综合物探大队,1986年;原地质部第二综合物探大队,1987年,改编)

地幔热液的蚀变,超基性岩成为蛇纹石,即所谓蛇纹石化橄榄岩^[21]。这种地幔热液通常是富含卤素的卤水,富含 K^+ 、 Na^+ 、 CO_2 (或 CO)、 H_2 等^[22]。在超基性的橄榄岩蚀变成蛇纹石的过程中,释放出大量的Fe、Mg、Ni、V等金属离子。

因此,富含 CO_2 (或 CO)、 H_2 的流体在Fe、Ni、V等金属元素的催化作用下(在中地壳合适的温度与压力下)可发生费—托合成烃的反应。 CO_2 (或 CO)、 H_2 的比例不同,金属催化剂的种类不同,反应的温度,压力不同均会影响产物烃的组成,并且影响到烃的碳同位素组成^[23-24]。详细论述可见文献^[25]。

上述模式可解释碳酸盐岩不能成为有效烃源岩的困惑^[24],也解释了普光气田如此一个大气田“气源不清”的疑惑^[14]。

3. 低速层与白云岩、膏盐的生成

另一方面, Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 及卤素等上升到上地壳的沉积地层,当有碳酸盐时,便发生 Mg^{2+} 交代,形成白云石(岩), K^+ 、 Na^+ 及卤素便形成盐岩等;当进入硅酸盐等泥质矿物时, Mg^{2+} 则形成绿泥石及蒙脱石, K^+ 交代形成伊利石, Na^+ 交代则形成钠长石(如酒泉盆地)。

这一模式成功地解释了巨厚白云岩及膏盐的生成,更解释了白云岩不仅存在于海相地层,也可存在于陆相地层的现象。这一模式还解释了陆相碎屑地层广泛发育的伊利石化、蒙脱石化、高岭石化等。

4. 天然气成藏模式

图1可解释普光气田天然气的成藏模式。中地壳的低速层为天然气的发生器;所生成的天然气沿断层上升,当有合适的圈闭便可形成气藏(图2)。若断层开启,直到地表便造成天然气的大量泄漏,(下节会讨论)。而图2的大湾构造与毛坝场构造的 F_{12} 、 F_9 、 F_7 断裂如果与普光构造 F_{14} 断裂是同一个系统,就会有气藏。因此,笔者认为,川东地区石炭系的天然气,也可用上述模式来解释其形成机理。关

键是构造、圈闭、储层以及盖层的耦合。

普光气田不仅储量大,其丰度也远远高出川东其他气田^[1],就在于它的优质储层(白云岩)、优质盖层(膏盐)和有效圈闭(生物礁滩),更重要的是有充足的无机成因的气体。

5. 成藏模式讨论

张景廉曾就克拉2气田、威远气田的成藏模式进行了讨论^[26-27],相比起来,普光气田与克拉2气田和威远气田有一些共同之处:克拉2构造储集了 $2\,800\times 10^8\text{ m}^3$ 的优质天然气,储集层是砂岩(少量白云岩),盖层是厚逾200 m的膏盐层;威远气田则储集于震旦系藻白云岩中,也可称作为藻礁,基底为一个花岗岩体,此岩体富含烃。上述2个气田天然气均源于中地壳,且中地壳均有低速、高导层。

四、川东地区是一个地球强烈排气区

2006年,川东地区接连发生一些特异的自然现象及地质灾害,值得关注。

(1) 森林大火

2006年8月28日,重庆大足县玉龙镇南家煤矿区发生森林大火,当地政府曾组织2千余名军民扑火;2006年8月30日,重庆北碚和渝北区交界的大耳镇发生森林大火,威逼相国寺气田相4井,曾有20余米高的火舌,大火到9月2日方被扑灭。

(2) 瓦斯爆炸

2006年5月20日,四川达州市一家低瓦斯煤矿发生了瓦斯爆炸。

(3) 酷热

据报道,重庆市2006年夏季有持续近2个月的酷热,最高温度曾达到 $44.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。酷热导致大旱,农业生产遭受严重损失。这种酷热难以用传统的气象学理论予以合理解释。

(4) 天然气井喷、井漏及溢流

2003年12月23日,四川开县罗家16H井发生特大 H_2S 井喷事故。与罗家16H井同属一个气田、同一气藏的罗家11H井测试日产气量达 $300\times 10^4\text{ m}^3$,无阻流量超过 $1\,000\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;2006年3月25日,四川开县高桥镇罗家2号井发生井漏,与上述事故发生地相隔仅几米;2006年12月21日,四川宣汉清溪1井发生天然气溢流事件,直到2007年1月3日第3次压封井,才使溢流得到控制。

(5) 川东地区深部地球排气

上述现象看似互不相关,实际上它们是互相有联系的。张景廉分析了大兴安岭地区及广东三水地

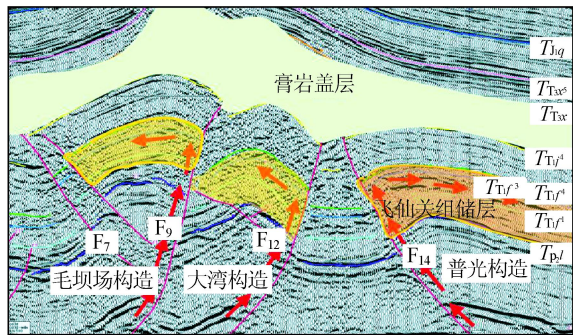


图2 普光—大湾—毛坝场构造成藏模式剖面图(据马永生)

区的森林大火,可能与地球深部气体有关^[28-29];而酷热,作为一种自然灾害,杜乐天教授认为是地球排气作用所致^[30](杜乐天,《对当代西方地球科学理论的怀疑与新见》,《地学哲学通讯》,2006(1):11-18)。上已述及的森林大火中20余米高的火舌,显然参与有燃烧的天然气。四川开县、宣汉地区的天然气井喷、井漏、溢流事件表明:该地区深部有强大的气源体,一方面表现为高压气流,另一方面表明了天然气是可以再生的^[31]。

综上所述可以认为,川东地区是一个地球强烈排气区。事实上,在中央电视台的天气预报节目中,我们不时可看到川东地区的森林火险预报(或兴安岭地区),那是卫星热红外探测的情报,表明这里正在排气,其原因便在于中地壳是一个巨大的气源,一部分气体储集于构造中成为气藏、气田,而另外相当一部分气体则到达地表而散失了。

据赵文智等^[32]的研究,目前我们在川东地区共发现气田14个,探明天然气地质储量 $5\,950\times 10^8\text{ m}^3$,尚没有包括 H_2S 、 CO_2 的储量;这些便是参加成藏作用的天然气,更多的天然气则是参与了上述自然现象。据计算,四川盆地(江油—渠县以南,华蓥山断褶带以西,隆川—自贡—沐川一线以北)的下古生界海相地层在阳新世前的油气散失量为 $256\times 10^{12}\text{ m}^3$ ^[33]。这种计算包括了剥蚀作用对早期油气藏的破坏,但至少表明了油气散失是十分严重的。

(6)川东地区天然气的碳同位素组成

戴金星院士在北京“中国油气论坛2007”会议上公布了川东北地区一些气田的碳同位素数据;普光气田甲烷 $\delta^3\text{C}_1 > -29\text{‰}$,毛坝气田甲烷 $\delta^3\text{C}_1 = -23\text{‰}\sim -28\text{‰}$,河坝气藏甲烷 $\delta^3\text{C}_1 = -26\text{‰}$,LG气藏甲烷 $\delta^3\text{C}_1 = -23\text{‰}$;他认为,这些甲烷的碳同位素组成相当重,为煤成气(戴金星,《中国天然气勘探的现状及其特征》,“中国油气论坛2007”,北京,2007年)。

据马永生研究成果^[34],宣汉—达州地区天然气甲烷的碳同位素组成较重,大多集中在 $-29\text{‰}\sim -34\text{‰}$ 之间;东岳寨气田有3个气样的碳同位素组成呈反序分布 $\delta^3\text{C}_1 > \delta^3\text{C}_2 > \delta^3\text{C}_3$ 。上述现象曾被解释为高成熟度^[35]或混源作用^[36]。

笔者认为,川东地区天然气甲烷的碳同位素组成特征恰恰表明了这些气体可能为无机成因的。碳同位素组成用于判断天然气的成因尚存在诸多问题,笔者拟另文讨论。

五、勘探前景

据最新报道,普光气田大湾2井在飞仙关组一段—二段,井深4 804.4~4 900 m获日产 $58.6\times 10^4\text{ m}^3$ 的天然气流。普光气田储量进一步扩大。截至2007年2月,普光气田探明储量达到 $3\,561\times 10^8\text{ m}^3$ ^[37],预计探明储量还将进一步增加。

按天然气的无机成因观点,川东地区将会有更大发现。一方面生物礁常呈带状分布^[19],还会有更多生物礁体被发现;另一方面,油气是可以再生的^[31],如前所讨论的川东地区地球强烈排气区。目前在川东找到的气田,如滚子坪、罗家寨、铁山坡、渡口河、铁山、福成寨、卧龙河、大池干井、沙坪场、五百梯、龙门、西河口、高峰场及普光气田等均是被圈闭成藏的天然气,而更多的天然气可能都已散失。普光气田之所以在诸多气田中“鹤立鸡群”,在于它有优质的储层及盖层,外加有一个优良的生物礁构造。这在陆相地层也如此,克拉2气田便是由于巨厚的膏盐封盖而保存了巨量的天然气^[38-39]。推而广之,川东地区的石炭系作为储层的气田也均是无机成因的,为同一气源。

如果说,20世纪50年代以来的半个世纪,我们的石油工业是靠浅部地震找构造发展到20世纪90年代的利用地震—测井—层序地层等找岩性地层圈闭而进行油气勘探的话,那么到了21世纪,我们的石油工业将靠深部地震(超过10 km)探测中地壳的低速—高导层,进而寻找大型、超大型油气田。凭借这一创新思维,中国及世界的油气前景将迎来第二次革命。重要的是,生物礁中的白云岩作为储层,不会随深度增加而使储层物性变差。因此,在生物礁中找油气将是21世纪油气藏勘探的主要目标之一。鄂尔多斯、塔里木盆地的下古生界也是如此^[19-40]。

六、结 论

普光气田深部的中地壳有低速—高导层,这是无机油气的发生器,重要的是有断层把低速—高导层与上地壳的P—T地层连通,白云岩作为优质储层,膏盐作为优质盖层,又有生物礁作为一个构造,使普光气田的储量丰度达到 $55\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$,居川东各气田之首,探明地质储量也位列川东各气田之首。川东地区的石炭系、二叠系、三叠系的气田均为同一气源,为无机成因。川东地区是地球强烈排气区,这些天然气是尚未被圈闭的天然气。川东地区将有更大的气田被发现,而川东地区深部生物礁大

气田的勘探将是未来的主要目标之一。

参 考 文 献

- [1] 马永生.四川盆地普光超大型气田的形成机制[J].石油学报,2007,28(2):9-14.
- [2] 马永生,郭旭升,郭彤楼,等.四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J].地质论评,2005,51(4):477-480.
- [3] 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2005,79(6):858-865.
- [4] 马永生,傅强,郭彤楼.川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J].石油实验地质,2005,27(5):455-460.
- [5] 蔡立国,饶丹,潘文蕾.川东北地区普光气田成藏模式研究[J].石油实验地质,2005,27(5):462-467.
- [6] 马永生,牟传龙,郭彤楼.四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J].地学前缘,2005,12(3):179-185.
- [7] 蔡勋育,马永生,李国雄.普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J].石油大学学报,2005,27(1):43-45.
- [8] 马永生,牟传龙,郭旭升.川东北地区长兴组沉积特征与沉积格局[J].地质论评,2006,52(1):25-29.
- [9] 蔡勋育,朱扬明,黄仁春.普光气田沥青地球化学特征与成因[J].石油与天然气地质,2006,27(3):340-347.
- [10] 刘殊,唐建明,马永生,等.川东北地区长兴组—飞仙关组礁滩相储层预测[J].石油与天然气地质,2005,27(3):332-339.
- [11] 马永生,牟传龙,谭钦银,等.关于开江—梁平海槽的认识[J].石油与天然气地质,2006,27(3):326-331.
- [12] 马永生.四川盆地普光大气田的发现与勘探[J].海相油气地质,2006,11(2):35-40.
- [13] 孙珍芹.四川盆地普光气田长兴组生物礁研究[J].南方油气,2006,19(2-3):15-18.
- [14] 金之钧,蔡立国.中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J].石油与天然气地质,2001,27(6):722-730.
- [15] 张景廉,曹正林,于均民.白云岩成因初探[J].海相油气地质,2003,8(1/2):109-115.
- [16] 张景廉,郭彦如,卫平生,等.三论油气与金属(非金属)矿床的关系:油气与膏盐[J].新疆石油地质,1999,20(4):310-313.
- [17] 张景廉.生物礁与油气田、金属矿床的相互关系讨论[J].海相油气地质,2001,6(1):53-59.
- [18] 张景廉.从滨里海盆地上古生界油气探索中国海相碳酸盐岩油气勘探科学思维[J].海相油气地质,2002,7(3):50-58.
- [19] 卫平生,刘全新,张景廉,等.再论生物礁与大油气田的关系[J].石油学报,2006,27(2):38-42.
- [20] 孙肇才.碰撞山链与前陆盆地的演化[C]//孙肇才,张渝昌,主编.中国含油气盆地分析——朱夏学术思想研讨文集.北京:石油工业出版社,1993:60-86.
- [21] Б С 沃里沃夫斯基, Ю М 萨基索夫.世界最大含油气盆地[M].任俞,译.北京:石油工业出版社,1991:1-71.
- [22] 杜乐天.烃碱流体地球化学原理[M].北京:科学出版社,1996:383-399.
- [23] 吕功煊,丑凌军,张兵,等.深层及非生物成烃的催化机制[J].天然气地球科学,2006,17(1):14-18.
- [24] 张景廉.论石油的无机成因[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [25] 张景廉,于均民.论中地壳及其地质意义[J].新疆石油地质,2004,25(1):90-94.
- [26] 张景廉.克拉2大气田成因讨论[J].新疆石油地质,2002,23(1):71-73.
- [27] 张虎权,卫平生,张景廉.也谈威远气田气源——与戴金星院士商榷[J].天然气工业,2005,25(7):4-7.
- [28] 张景廉.阿尔山森林大火兴许天然气作怪[N].中国矿业报,1998-07-29(3).
- [29] 张景廉.森林大火后的思考[J].地学前缘,1999,6(增刊):257.
- [30] 杜乐天,欧光习.盆地形成及成矿与地幔流体间的成因联系[J].地学前缘,2007,14(2):215-224.
- [31] 方乐华,张景廉.油气是可以再生的[J].石油勘探与开发,2007,34(4):508-511.
- [32] 赵文智,汪泽成,王红军,等.近年来我国发现大中型气田的地质特点与21世纪初天然气勘探前景[J].天然气地球科学,2005,16(6):687-692.
- [33] 康义昌.论四川加里东古隆起形成大中型气田的有利地质条件与勘探目标[M]//胡朝元,主编.中国中部大气田研究与勘探.北京:石油工业出版社,1995:136-145.
- [34] 马永生.普光气田天然气地球化学特征及气源探讨[J].天然气地球科学,2008,19(1):1-6.
- [35] 黄籍中.再论四川盆地天然气地球化学特征[J].地球化学,1990,20(1):32-43.
- [36] 王世谦.四川盆地侏罗系—震旦系天然气的地球化学特征[J].天然气工业,1994,14(6):1-5.
- [37] 王孝祥.海相油气勘探成果获国家科技进步一等奖[J].中国石油石化,2007(5):14.
- [38] 张朝军,田在艺.塔里木盆地库车坳陷第三系盐构造与油气[J].石油学报,1998,19(1):6-10.
- [39] 陈书平,汤良杰,贾承造,等.库车坳陷西段盐构造及其与油气的关系[J].石油学报,2004,25(1):30-34.
- [40] 郑和荣,吴茂炳,郭兴威,等.塔里木盆地地下古生界白云岩储层油气勘探前景[J].石油学报,2007,28(2):1-8.

(修改回稿日期 2008-09-01 编辑 居维清)