

四川盆地油气地质特征

——纪念黄汲清先生百岁诞辰

王金琪

(中国石化 西南石油局, 四川 成都 610081)

摘要: 该文首先阐述黄汲清先生四川盆地油气多旋回理论, 列举六大旋回特征。认为四川油气地质的主要矛盾是储层普遍致密化, 裂缝研究和寻找孔隙性储层是两条必经之道。深埋还导致四川盆地必然以天然气为主, 具有早聚晚藏的基本特点。该文简略讨论了石油资源问题, 提出大力运用新技术将会充分释放四川盆地油气潜能。

关键词: 多旋回; 普遍致密化; 裂缝规律; 早聚晚藏; 针对性新技术

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

1 缅怀黄汲清先生

黄汲清先生是四川盆地石油地质当之无愧的奠基人。解放前即做过系统调查研究工作。解放后不久, 受邓小平同志的委托, 主持西南地质工作, 率先组织强大阵容并亲自带队, 在龙门山前、龙泉山、乐山、永川等地进行石油地质调查。离川进京后, 仍不断关注四川盆地勘查工作。

黄先生博大精深的大地构造理论, 早已享誉国内外, 更可贵的是其与时俱进的治学品格, 能不断修正、深化自己的论点。例如, 他为早在 1938 年“钻探四川油田之我见”^[1]一文中的海相生油观点, 多次自我批评: “1938 年以前, 我考察过的油田只限于美国和苏联境内, 其石油和天然气都来自海相生油岩, ……产生了海相地层才是生油层的经验主义见解, 这是应该批判的”^[2]。“1941~ 1943 年的野外实践和室内研究使我大开眼界, 从而改变观点, 认识到陆相地层也可以形成重要生油层”。黄先生成为了陆相生油论的最早倡导者之一。解放后积极主张在华北、东北等陆相盆地进行油田勘探, 为我国石油事业作出了巨大贡献。

在中国几大盆地勘探实践中, 发现多层系含油气现象很普遍, 他概括说: “特别在四川盆地, 多旋回含油气层表现得非常明显 ……鄂尔多斯台坳沉

积岩从寒武系到白垩系都有油气显示 ……苏北、华北盆地、准噶尔、塔里木盆地等, 都是多旋回生、储油气地区”^[3]。对四川油气圈闭类型, 他很早就提到“与古背斜油藏、与古断块有关的油藏、岩性尖灭油藏, 与不整合面有关的油藏。当然这些类型的油气藏不是孤立的, 而是互相联系的”^[2]。黄先生非常重视地史进程中的油气状况, 这正是四川等多旋回盆地的要害, 比一般生、储、运、圈简单组合油气藏要曲折复杂得多。多旋回油气成矿理论正在迅速发展完善中, 但是, 由于风云变化, 大师的研究备受干扰, 于 1958 年不得不离开石油地质岗位, 1966~ 1972 年间甚至被迫停止了所有业务工作。1974 年作者拜见老师时, 他已 70 高龄, 怆然曰: “我现在是光杆一个”。改革开放后, 虽然给大师以种种荣誉, 但多旋回油气地质理论仍没能得到充分发展, 是科技界的重大损失。

2 四川油气多旋回特征表现非常明显

多旋回大地构造控制四川盆地的油气多期生、移、聚、滞、再聚等活动历程(图 1)。

a) 加里东旋回(-C-S): 四川地台及台缘坳陷展布清晰(图 1a), 旋回末川中古隆起, -C-S 地层都有剥蚀(图 2a)。台缘及台内坳陷生油岩厚度大、品质好, 总生油量居各大旋回之冠。期内油气生、

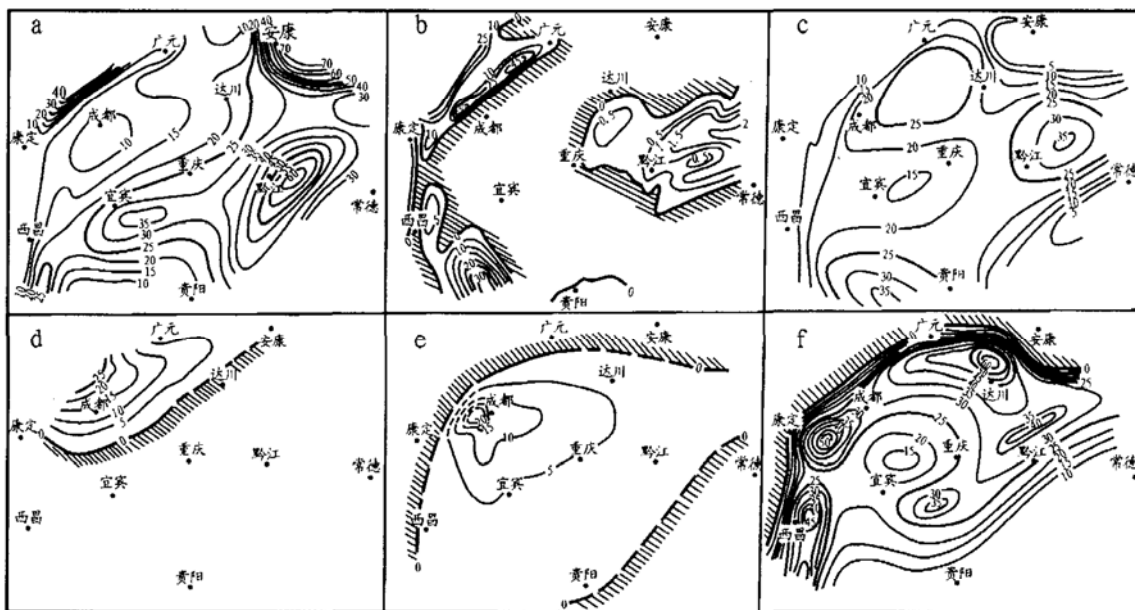


图1 四川盆地主要沉积旋回厚度略图

a. C-S; b. D+ C; c. P- T₂; d. 须下盆 T₃¹⁺²; e. 须上盆 T₃³; f. J- E

Fig. 1 Main sediments cycle depth in Sichuan Basin

排、运已开始活跃,川东最为有利。

b) 早海西旋回(D+ C): 四川中部隆起广泛上升暴露(图1b), 川东为极浅海潮坪, C₂ 残留白云岩溶蚀层后来成为重要的孔、洞储层。台缘坳陷进一步发展, 龙门山等大量油苗与此有关。

c) 晚海西旋回(P-T₂): 华南板块最广泛、最稳定的沉积和建设阶段, 厚度约为 2 000~ 3 500 m。泸州一带地层变薄(图1c), 实为随后印支运动剥蚀所致(图2)。本旋回深水槽区多良好的生油岩系; 浅水棚区则发育礁、滩(图3); 旋回后期多膏、盐岩等, 成为整个海相油气的区域封盖。

古生界烃源岩在此期内普遍处于生油旺季, 油气向川东、川中运移, 势头强盛, 可能聚集区域性大型油气田, 以古隆起和地层岩性圈闭为主。

d) 印支旋回(T₃): 古特提斯洋封闭, 大陆碰撞, “四川陆相盆地”形成。安县运动前的须家河组下盆(T₃¹⁺²) 仍表现为大陆西北边缘坳陷, 生油岩既厚又好, 向大陆逐步尖灭(图1d, 图2)。安县运动后的须上盆(T₃³) 在逆冲带山前为巨厚磨拉石; 向盆内为陆相湖沼沉积, 成为最初的“四川盆地”(图1e)。两个性质不同的盆地叠合, 组成著名的川西 T₃ 生烃坳陷。盆内泸州、开江等大型印支古隆起, 对海相油气聚集特别重要(图2)。

e) 燕山旋回(J-E): 中国东部和西部多期强烈造山运动, 四川盆地成为主要充填区。厚大红色建造(图1f, 图2) 对前期旋回中的油气造成极其严重的伤害, 如过于深埋、高温演化、储层致密化、深部构造格局改变(图2) 等, 原本富油盆地变得缺乏油气。

燕山运动实际破坏了华南许多大油气区^[4]。抬升暴露和深埋僵滞的恶果是一样的。

但川西坳陷区的燕山沉积隆起和其他圈闭, 促使丰富的 T₃ 油气得以聚集, 为晚期构造提供气源。另外, 破坏华南油气田的燕山运动, 到川东已是强弩之末, 许多长条形背斜构造有了皱形。

f) 喜马拉雅旋回(E₃-O): 南北大陆碰撞及持续俯冲挤压, 盆地边缘强烈褶皱、逆冲、抬升, 西部产生大规模推覆和滑覆, 早期台缘多期聚集的油气遭到严重的破坏, 油苗、沥青很多。但喜山运动对盆地内部内有重要的建设性, 形成定型几百个背斜构造, 重新塑造了四川盆地(油) 气面貌。主要作用有: 相应的断层、裂缝以及地下水重新活跃的溶蚀作用, 部分储层得以改善, 油气出现新的运移聚集; 普遍隆升且幅度大, 原溶于地层水中的气得到脱溶机会; 许多背斜拱升很高, 有些古生界也可勘探(川东、川西等地古生界曾埋深达 10 000 m)。

3 四川油气的主要矛盾是储层普遍致密化

黄汲清先生多次指出: “四川储层太致密是个大问题”。长期勘探实践使我们认识到: 深入研究裂缝规律和寻找局部孔隙性较好的储层, 是两条必经之道, 两者配合更是发展大储量气田的主要方向。

a) 四川盆地大部分油气田是裂缝性的。砂岩除浅层次生气藏外, 全以裂缝为主, 产层基质平均孔隙度仅4%左右; 大多数碳酸盐岩基质平均孔隙度还

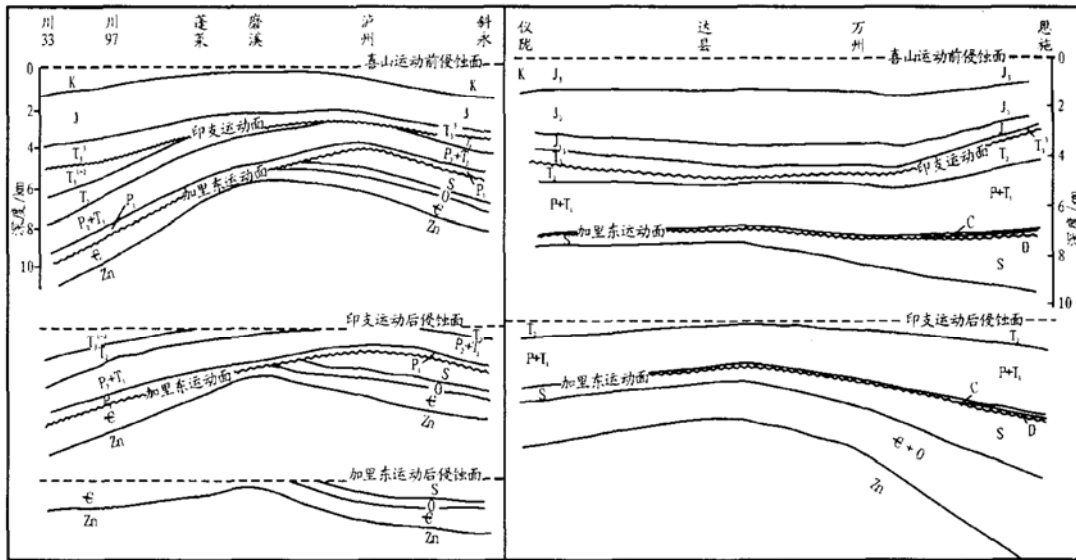


图 2 四川盆地发展古构造剖面示意图

Fig. 2 Profile of paleostructure, Sichuan Basin

不到 2%。在超致密砂岩勘探中,曾概括为“无缝则死、有缝就活、网络大活”^[5]。根据大量产气井分析,认为最有效的是背斜相关力学产生的构造缝。例如向两翼断层逆冲背斜的拱起或膝状部位,张性缝最发育。平面上呈弧形构造的前缘,张性缝密度大,中坝气田高产井分布规律非常清楚。另外,构造挠折带往往控制裂缝发育区,局部背斜陡缓转换和区域挠折带都是如此。川中油区最富集的桂花油田,并不存在像样的背斜构造,油源和储层也不算最好,但位于川中区域挠折带上,在单斜和向斜都获得一批很好的油井。裂缝除力学外因,还与岩性、层状结构、弹性等有关。根据四川盆地构造特征,引用高新技术判读深部裂缝系统,发现这类隐蔽油气藏前途极为广阔。

孔隙度约 4.5%,属超致密范畴,但这在碳酸盐岩可能成为产层。关键在于砂岩溶蚀性差,岩石孔道曲折度低,影响渗透率^[9],多在 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下,裂缝不发育,不可能成为工业产层。即使砂岩孔隙度达到“深盆气”要求的致密砂岩级别 ($\Phi \approx 6\% \sim 13\%$),渗透率也多小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,没有裂缝或压裂造缝,多为低产或不具工业标准,气藏也没有统一气水界面。四川超致密和致密砂岩气藏在盆内多为超高压,只有紧邻盆缘的中坝、平落坝等才为近常压。

近年来,在川西浅层生气藏中发现较好的孔隙性砂岩储层。该区构造活跃,油气垂直运移能力很强,深部超高压气上窜至浅层,在有封盖的孔隙砂岩中成藏,如新场蓬莱镇组河道砂岩孔隙度约为

更引人注目。碳酸盐岩储层平均孔隙度约 4%~6%,由于溶蚀连通,渗透率多大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,加以酸化,容易成为良好产层,甚至形成具统一气水界面的近常规气田。碳酸盐岩储层的颗粒结构和白云岩化是重要的基础,直接受控于浅海礁、滩等有利沉积相带(图 3)。由于孔隙性储层平衡能力强,气层压力多为正常梯度或稍高,其上盖层多为致密超高压,气藏封盖能力很强。而储、盖层压力梯度相似的黄泥堂等构造,气藏已散失了^[8]。

作为碎屑颗粒的砂岩反而令人烦恼,四川至今未发现原生孔隙性砂岩气藏。川西上 T_3 砂岩平均

改变了勘探局面。近 10 年来四川储量快速增长,孔隙性储层起了决定性作用。但是,从总体上看,四川储层物性普遍偏低,对已发现的孔隙性气田,裂缝沟通作用仍很重要。

4 四川盆地天然气早聚晚藏的普遍意义

四川多旋回盆地发展的结果,必然以天然气为主;早期聚集的油气经历深埋僵滞,通过晚期构造重新组合成天然气藏。这和单旋回盆地或适时性配套(生、储、运、圈)的油气藏有根本区别。我们曾长期

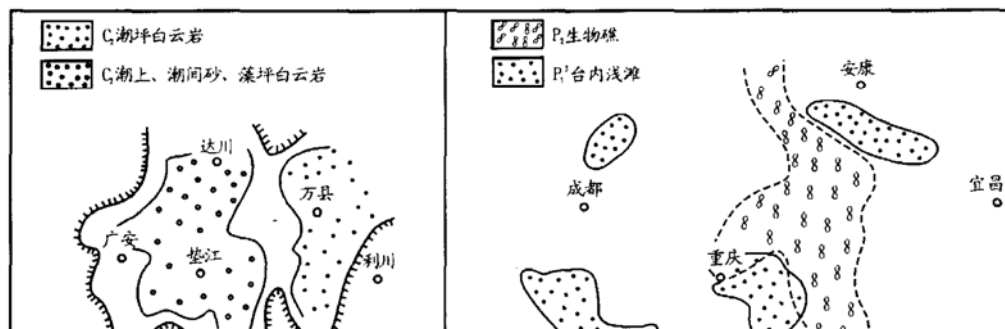


图 3 四川盆地东部海相沉积主要层段礁滩分布示意图

Fig. 3 Reef and bank distribution of main intervals of marine facies sediments in the east of Sichuan Basin

按常规油气规律去套地史曲折复杂的气藏,走了很多弯路。

a) 早期油气适时聚集成藏在沉积盆地中很普遍,在特定条件下可以保存到现在。如美国中陆、二叠盆地和俄罗斯地台等很早就形成了油气田,后期构造变动微弱、埋藏相对较浅,已发现一系列巨大油气田。有些古老油区到新生代上覆堆积很厚,只要深部圈闭未被破坏,储层尚未严重致密化(液体油抗

条件,但喜山运动前持续深埋, T₃ 砂岩普遍超致密,早期油气藏已处于僵滞状态。

b) 四川盆地喜山运动强烈而范围广阔,形成数百个局部构造圈闭,最终奠定了四川盆地油气格局。但晚期背斜和生、储、运等条件已经不相配套,情况非常复杂:第一,盆地生烃层主要是古生界和早中生界,到大批构造形成时,生气量已经不多,而且区域输导层多已失去作用,很难指望较大范围的油气向

部构造局部改变有天。例如,川中加里东古隆起在印支运动前曾形成过多期、多类型特大油气聚集。此后,区域构造高部位不断移动(图 2),最后在晚期幅度高大的威远背斜形成丰度不高的气田,其他可能保留下来的比较分散而复杂。泸州—开江印支古隆起后期构造基本格局未变,接受烃源条件特别有

径和沟壑的储存空间。一般受局部构造制约,也受区域断裂或挠折带的影响。第三,只有早期已聚集油气的地区,晚期才有可能形成富集气藏,如位于早期不利地区,晚期再好的构造也难为无米之炊。第四,晚期构造作用较强,如川西坳陷,断层和裂缝促进天然气垂直运移,容易形成浅层次生气藏^[10]。

致密化后,气的扩散将受到很大阻碍。因为在常温、常压下气体分子的平均自由程约为 10^{-7} m

以下, T_3 等地层保存尚好, 并有不小褶断构造显示, 是四川寻找油田的有利地区。

5 四川石油资源问题

根据四川盆地发展特点, 认为油藏只可能存在于以下两个领域中:

5.1 盆地中部侏罗系湖相油区

盆内最新的生油层(J_1 - J_2^1)位于后期相对隆起的盆中地区(图2a), 烃类演化处于生油峰期至凝析气阶段。可惜同期的储层成岩进度太快, 砂岩和石灰岩平均孔隙度仅2%左右。当时边缘山区向盆内输送碎屑颗粒不足, 上覆沉积物加压后, 缺乏颗粒支撑, 失水很快, 成为异乎寻常的超致密岩石。尽管油源条件有利, 油藏形成仍极为复杂。

a) 大安寨组(J_1^4): 滨、浅湖滩堆积介壳碎屑, 以西环带最好, 又位于区域构造上倾部位。灰岩很快被压实, 但在晚期构造受力有利部位, 特别是区域构造挠折带、裂缝发育, 经溶蚀后可成为较好的储层。总体成藏要素是: 生油强度、介屑灰岩厚度、裂缝及溶蚀作用。用已认识的规律扩大生产, 仍有很好的发展前景。

b) 千佛岩组(J_2^1): 井下砂岩多为细、粉粒级, 裂缝溶蚀作用不显著, 没有一个油藏累积产油超过 10×10^4 t。关键是用先进技术查明入湖大型河流的有利沉积相, 有可能取得重大突破。

c) 沙溪庙组(J_2^2): 河流相砂体增多, 颗粒变粗变杂, 相变频繁。只要有烃源断层或裂缝系统通到 J_1^4 和 J_2^1 油源层系, 就容易形成远源油藏, 如广安背斜南翼陡带和公山庙背斜断带油藏^[12]等。而且埋藏浅, 勘探成本低, 有很大潜力。

5.2 盆缘推覆断层下的油藏

盆地西北缘古生界及三叠系油源非常丰富。龙门山及其前山广泛分布油苗、沥青, 与安县运动逆冲破坏有关, 而山前则是 J_3 -K 深拗。龙门山中、南段安县运动以盆缘隆升为主, J 开始边缘相沉积变薄或缺失(但龙门山南段 K_2 -E 沉积很厚)。龙门山中段(彭州-邛峡) T_3 生油岩巨厚, 地史埋藏不深, 可能还处于生油阶段。地震剖面反映, 滑覆、推覆带

以下, 是四川寻找油田的有利地区。许多领域尚未被认识、被发现。二是大量油气资源封存在致密背景层中, 很难开发, 有些资源长期不能动用。首先要求运用先进的成藏理论梳理四川油气地质问题; 同时必须有针对性采用最新技术。当前主要抓两个方面:

a) 地震新技术在解决深部陡断构造和砂体展布外, 要努力研究不同岩性、不同致密程度储层油气地震响应特征; 解析深层裂缝系统, 溶蚀孔隙层和洞穴; 地层压力异常; 以及恢复古构造和岩相等信息资料。最近几年, 在碎屑岩和碳酸盐岩勘探中, 都取得了可喜进展^[13, 14], 油气新领域逐步被发现, 已经揭开四川迷宫一角, 须乘胜追击。

b) 四川盆地有巨量油气封存在微细孔隙中, 地层压力很高, 除晚期断裂、溶蚀沟通部分储层能获自然产能外, 大量资源仍滞留储层中, 难以开发。近年来在一些地区中、浅层充分发挥压裂增产新技术, 效果十分显著^[15], 前途喜人。

高新技术已逐步开启四川盆地新天地, 甚至油气储层、储量概念也已发生根本变化。预期油气资源新领域的突破将接踵而至。当然, 攻克难关并非一帆风顺, 必须持续深入, 尤其是埋藏较深的超致密储层, 勘探、开发两方面的技术都尚在探索中。

7 尾语

黄汲清先生特别关爱四川石油地质, 亲自做过大量实地调查和全面思考, 曾多次高屋建瓴地论述了四川油气的多旋回、储层物性差、圈闭类型多而隐蔽等特性, 都是四川面临的关键问题。抚今追昔, 倍感大师学术渊博和敬业精神。先生人格高尚, 一生探索地学真谛, 名闻中外。作者有幸, 求学时先生是教授, 出道时是直接引路人, 耳提面命, 终生受益。值大师百岁诞辰, 焚香祝寿先生在天之灵, 永享安息!

参考文献:

- [1] 黄汲清. 钻探四川油田之我见[J]. 地质论评, 1938(3): 555-576.

- [2] 黄汲清. 黄汲清石油地质著作选编[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 140- 160.
- [3] 黄汲清. 对四川盆地和鄂尔多斯台坳找油找气的初步意见[J]. 石油与天然气地质, 1980, 1(1): 15- 18.
- [4] 高瑞祺, 赵政璋. 中国油气新区勘探(第五卷)——中国南方海相油气地质及前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 147.
- [5] 王金琪. 川西坳陷须家河组(T_{3x})气藏再认识[J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 1- 6.
- [6] 彭大钧. 含油气盆地异常高压带[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 134.
- [7] 王一刚, 刘划一, 文应初, 等. 川东北飞仙关组储层分布规律, 勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 14- 19.
- [8] 易海永, 李爱国, 罗 潇, 等. 渝东地区石炭系气藏充满度的影响因素分析[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 20- 22.
- [9] 张博全, 王岫云. 油层物理学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 34- 60.
- [10] 王金琪. 油气活动的烟囱作用[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 193- 200.
- [11] 李明诚. 石油与天然气运移(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 27.
- [12] 谢继容, 张 健, 魏小薇, 等. 公山庙沙一段油气藏低渗透储层产油机理研究[J]. 天然气工业, 2003, 23(3): 26- 28.
- [13] 王罗兴, 谢 芳, 李 油. 川东北飞仙关组鲧滩气藏地震响应特征及勘探展望[J]. 天然气工业, 2000, 22(5): 26- 28.
- [14] 杨 诚, 黎从军. 川西致密碎屑岩气藏含气砂体地震描述技术[J]. 天然气工业, 1999, 19(增刊): 26- 65.
- [15] 青云固. 川西致密碎屑岩气藏水力压裂工艺技术进展[J]. 天然气工业, 2002, 22(3): 21- 24.

CHARACTERISTICS OF PETROLEUM GEOLOGY IN THE SICHUAN BASIN —COMMEMORATING MR. HUANG JIQING'S 100TH BIRTHDAY

WANG Jir-qi

(Southwest Petroleum Bureau, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: This paper first expounds the Polycycle Theory of Mr. Huang Jiqing related to oil and gas in the Sichuan Basin, then enumerates the development and characteristics of 6 great cycles. It confirms that, the principal contradiction of oil and gas in Sichuan is seriously tight reservoirs, and the research on fractures and looking for porous reservoirs are two paths we must follow. Due to the reservoirs deep buried and supertight, natural gas is dominant in the Sichuan Basin, with the characteristics of early accumulation and late trap. This paper simply discusses the problem of oil resource. With advanced technique will the petroleum potential of Sichuan Basin be fully released.

Key Words: polycycle; tight reservoir; regular pattern of fractures; early accumulation and late trap; advanced technique