

四川盆地东南部 不同类型背斜裂缝及油气富集规律

路 中 侃

地质力学在地质工作中已广泛应用,尤其是在金属和非金属的固体矿床方面的实践,已有成效。在指导流体矿床——石油和天然气的勘探开发,国内已有不少成功的例子。

本文从最基本的构造形迹——裂缝(节理)出发,阐述不同应力形成的背斜裂缝特征和石油及天然气的富集规律。

一、概 况

四川盆地隶属于新华夏系第三沉积带。晚三迭纪末开始,才具有构造、沉积盆地的双重意义。

盆地范围内,沉积了震旦系至第三系一万余米。有机岩多,油气资源丰富。

盆地东南部展布背斜一百五十余个,方向性强,排列有序(图1)。

从背、向斜和断裂的展布方向与构造复合,反映了不同方向背斜的形成时间有先后之别,依次为东西向、北东和北北东向、南北向。

已发现的油气藏,主要是裂缝性油气藏。张性和扭张性构造缝,裂缝张开性好,是石油和天然气的主要渗滤通道;扭性和扭压性缝紧闭,不起渗滤作用。

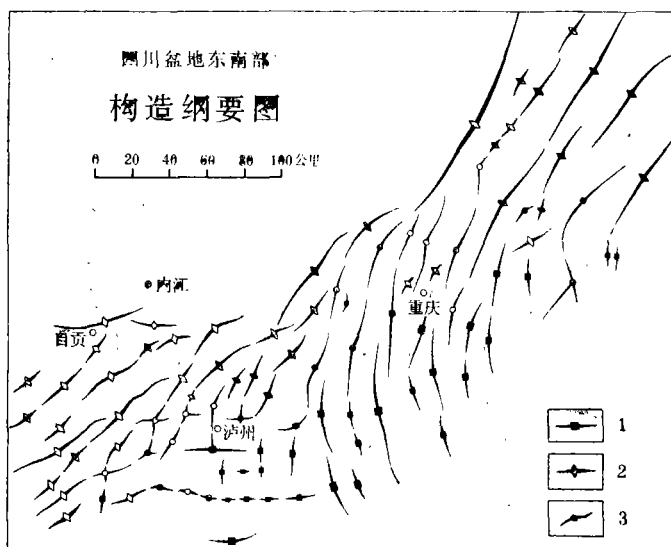


图1 四川盆地东南部构造纲要图(背斜构造的走向、类型)

1.直压性构造 2.扭动型构造 3.扭动与直压复合型构造

二、不同力学性质裂缝特征

裂缝(节理)是岩层中常见的地质现象,在四川盆地的各类储集岩内也是普遍发育的。它按一定的方式,有规律地分布,是在特定的应力条件下产生的,与背斜有密切的成生联系。

1.扭性缝:即初序次的平面“×”剪切裂缝,走向稳定,与背、向斜长轴斜交。裂缝平直紧闭,平面延伸长,纵向穿层深,裂面常见水平擦痕(照片1)。

2.压性缝:即剖面“×”剪切裂缝,与岩层面斜交,裂缝紧闭,裂面具有垂向擦痕。



照片1 卧41井傍，两组扭裂缝



照片2 纳15井北东250米追踪纵张裂缝



照片3 垫江朝阻大堰之纵张缝

3. 张性缝：分为纵张和横张缝。

纵张缝走向平行背斜长轴，若背斜轴线发生弯曲，裂缝走向亦随之变化。平面延伸常追踪两组扭裂缝（照片2），有时又侧列分枝，不规则延伸（照片3）。纵向穿层一般终止于中性面。裂缝壁粗糙不平，裂缝呈上大下小的楔状，有时被方解石或其他物质充填、半充填。

横张缝走向垂直背斜长轴，特征与纵张缝相似，但规模较小。根据横张缝的发育程度和部位，分为如下两种情况：

（1）背、向斜范围内都有分布，产状稳定，穿层较深，追踪平面扭裂缝平行排列，似有等间距性，属于初序次的横张缝。

（2）在背斜顶部偏缓翼、轴线弯曲外突处，横张缝常密集成带，反映了局部张力的作用，是与二次纵张缝同时产生。

4. 扭张缝：先扭后张，裂缝张开，擦痕方向与扭动方向一致，裂缝上盘斜落（图2）。

5. 扭压缝：先扭后压，裂缝紧闭（图3）。

根据钻井试采资料研究，背斜地面和地腹裂缝组系方向和力学性质具有一致性，是同一应力场作用下的结果。这个认识在中梁山背斜上得到了验证。褶皱强烈的中梁山高背斜，是著名的中梁山煤矿（二迭系乐平统）所在地，地下坑道四通八达。地面、地

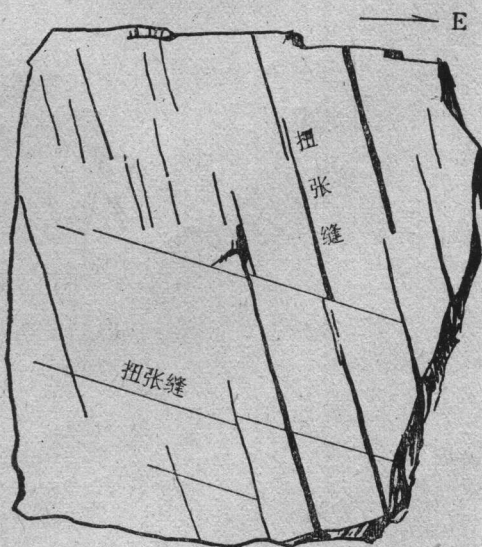


图2 黑天池附近裂缝素描

腹背斜形态基本一致,都发育有方向和力学性质相同的纵张缝、横张缝和一对共轭扭裂缝。

三、张性和扭张性缝是流体的渗透通道

四川盆地碳酸盐岩和碎屑岩的岩块渗透性能很差,平均渗透率小于1千分达西(见表)。实际上,在勘探过程中高、中产气井

各类储集岩岩块渗透率

储集层	T_{3x}^2	T_{1j}^1	P_1^3
岩性	砂岩	白云岩 石灰岩	石灰岩
岩块渗透率 (千分达西)	<1	<0.1	<0.01

屡见不鲜,从这些气井的关井压力恢复曲线反求渗透率达数十至数百个千分达西,只有张性和扭张性缝才具有这样大的渗透能力。

1. 有无张性缝对产层渗透率影响很大

老翁场气田6号井 P_1^3 产层,67个石灰岩样品渗透率小于0.1千分达西。另有张性缝的两个岩样其渗透率高达3.85和86.48千分达西,是区域背景值(渗透率小于0.1千分达西)的30至860倍。

中坝气田 T_{2L}^3 产层,白云岩岩块渗透率小于0.1千分达西。但有张性缝的岩样其渗透率也高达26.68和128.51千分达西。

2. 张性缝的宽度和数量决定了气井产能

广福坪气田1号井 T_{1j}^1 产层,25.58米岩心有张性缝155条。从这一地区钻井资料和油气产能综合分析裂缝数量多、张开宽度大,井漏、井喷、产大气;裂缝数量少、张开宽度小,气显示很差。

3. 张性缝造成钻具放空和洗井液漏失

放空和井漏是钻井过程中常见的现象。

纵向上,碳酸盐岩和碎屑岩内都有发生,横向上没有固定层位性。

纳溪气田14号井, T_{3x}^5 砂岩产层,7 $\frac{3}{4}$ "(18.4厘米)钻头两次放空,分别为0.7米和0.5米,井喷后测试,产天然气和地层水。

老翁场气田3号井, J_2s^2 砂岩井漏严重,漏速80-150米³/时,共漏失清水2692.65米³、泥浆797.99米³,用水泥29.65吨、粘土9.51米³堵漏成功。

上述井漏和放空都发生在砂岩中,砂岩的渗透率小于1千分达西,不会造成恶性井漏。同时深埋地腹的砂岩层,也不具形成渗漏的基础和条件。毫无疑问,砂岩层的放空和井漏是张开的张性缝和扭张性缝所造成。

西晋太康元年以来,我们的祖先在自流井气田用冲击钻打井数万口, T_{1j}^3 石灰岩产层张开的裂缝非常发育。如双全井井深1005米,张开裂缝宽0.65米,新双盛井井深995米,张开裂缝长2.8米。一般钻遇裂缝气量大增,这些张开的裂缝,也造成了大量的放空和井漏。

四、不同类型背斜裂缝特征

及油气富集规律

根据形成背斜的应力方式,将川东南地区背斜划分为直压型、直扭型、直扭与直压复合型三种类型(图1)。它们各具独特的裂缝模式,有不同的油气富集特点。

1. 直压型背斜:形成的应力方式为侧向挤压(图3)。

构造裂缝特征:

背斜呈东西或近南北向展布,有时两个方向构造复合。轴线和轴面比较平直,两翼地层倾角不对称,南陡北缓或西陡东缓。背斜间和背斜上次级高点呈串珠状正鞍相接。

背斜上分布纵张缝、横张缝和一对共轭扭裂缝。张性缝张开性好,是流体的主要渗

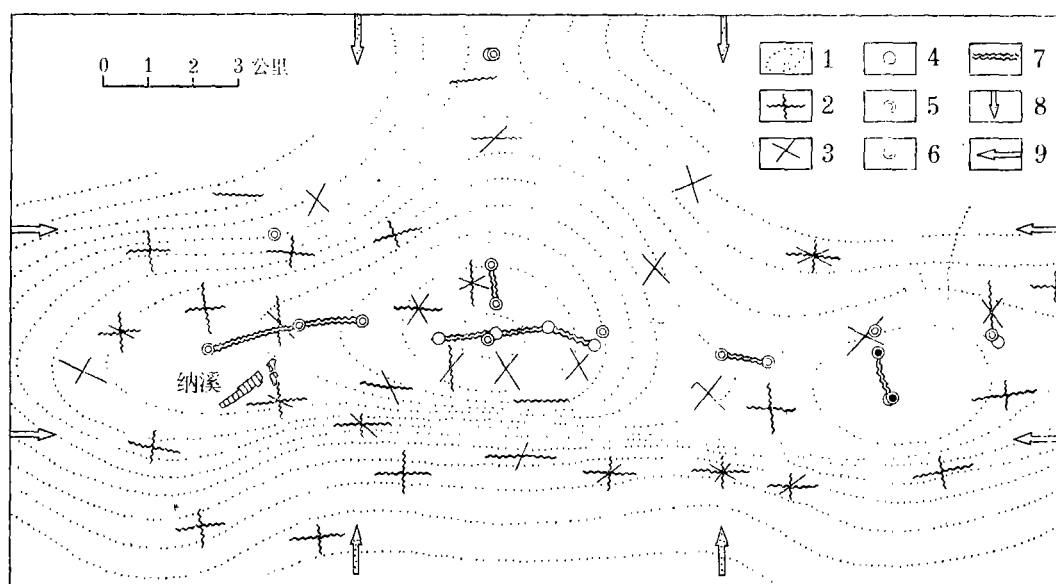


图3 纳溪气田地面地下构造裂缝关系图

1.构造等高线 2.纵横张裂缝 3.共轭扭裂缝 4. T_1j^1 气井 5. T_1f_1 气井 6. P_1 气井 7.表示井间连通 8.早期最大主应力 9.晚期最大主应力

滤通道；扭性缝紧闭，不起渗滤作用。

油气试采特征：表现为多裂缝系统、小裂缝系统。

(1) 同一气藏原始地层压力不一，相差悬殊，往往每口井就是一个压力系统，各井之间互不连通。在漫长的地质历史中，地层压力没有达到平衡，岩块起了分割作用。

(2) 气井单位压降采气量小、压降储量小、裂缝系统空间小。如纳溪气田8号井，为一独立裂缝系统，单位压降采气量 $16.8 \text{ 万米}^3/\text{公斤}/\text{厘米}^2$ ，其产层裂缝系统容积仅 57.45 万米^3 。

(3) 气井不能保持高产稳产。气井投产初期地层压力和产量都很高，短期内大幅度下降，随着裂缝系统内能量的速迅衰减，经数十天或数月，气井便产能大减或“寿终正寝”。

2.直扭型背斜：形成的应力方式为南北向反时针相对扭动（图4主高点以北）。

构造裂缝特征：

背斜呈北北东或北东向展布，轴线多弧形弯曲。两翼地层倾角不对称，一般北段西陡东缓，南段东陡西缓，背斜轴面呈弧形相曲。背斜间和背斜上次级高点雁列斜鞍相接。

背斜上分布纵张缝、横张缝、扭张缝和扭压缝。张性与扭张性缝相互交切，组成渗滤网，扭压缝紧闭，不具渗滤作用。

油气试采特征：表现为比较单一的大裂缝系统。

(1) 同一气藏原始地层压力一致。同时打开的井互相连通，原始地层压力相近，后期打开的井，地层压力偏低，有先期压降。

(2) 单位压降采气量大、压降储量大、裂缝系统空间大。气藏内裂缝连通良好，气源补给面大，天然气富集，单位压降采气量和压降储量高出直压型背斜数十倍。

(3) 气井高产稳产。如自流井气田 P_1^3 气藏，在长12公里，宽1.7公里范围内

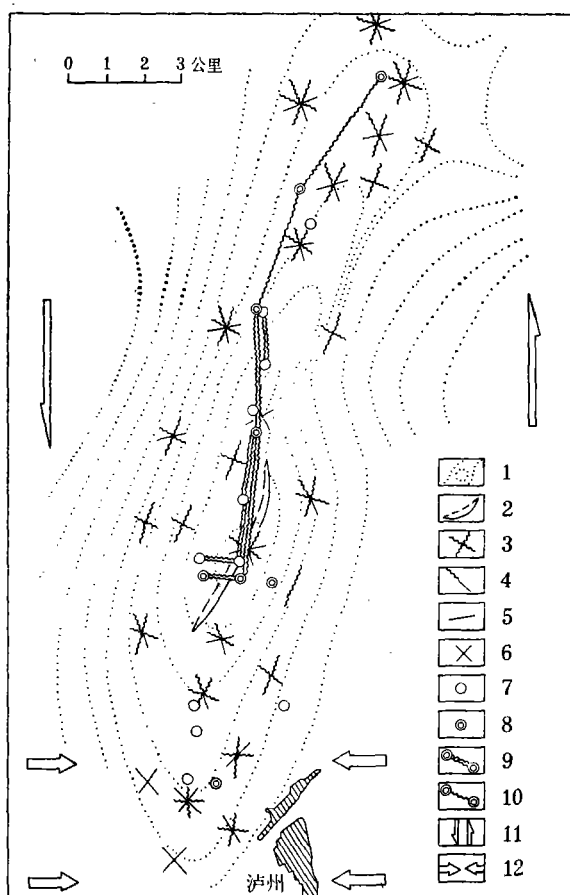


图4 阳高寺气田地地面地下构造裂缝关系图

1. 构造等高线 2. 断层 3. 纵、横张裂缝 4. 扭张缝
5. 扭压缝 6. 共轭扭裂缝 7. T_{1j1} 气井 8. P_1 气井
9. 表示井间连通 10. 井间连通不畅 11. 早期扭应力
12. 晚期压应力

裂缝连通良好，纵向穿层 200 余米，张性和扭张性缝在三度空间连通范围很大，给气井提供了高产稳产的物质保障。

3. 直扭与直压复合型背斜

构造裂缝特征：

具有直扭型和直压型背斜的构造裂缝两种成份，各保持其特殊性。

油气试采特征：大、小裂缝系统并存，互不干扰。

属于直压型背斜部位，为复杂的小裂缝

系统。气藏内原始地层压力不一，气井单位压降采气量和压降储量小，气井不能保持高产稳产。

属于直扭型背斜部位，为比较单一的大裂缝系统。气藏内原始地层压力一致，单位压降采气量和压降储量大，气井长期高产稳产。

如阳高寺气田 P_1^3 气藏，北北东向直扭部位的主高点与北高点，发育纵张缝、横张缝和扭张缝(图 5)，为一大裂缝系统。原始地层压力一致，单位压降采气量 886 万米³/公斤/厘米²，其中的阳 7 井自 1961 年 1 月投产以来，已稳产 18 年。阳 18 井以南为直压部位，只发育纵张缝和横张缝，有三个小裂缝系统，单位压降采气量较主高点以北小数倍至数十倍，没有一口井能保持高产稳产。

五、大、小裂缝系统形成机理

地应力使岩层发生褶皱、破裂等形变，不同的应力方式产生的形变特点有很大差异。因此，根据背斜和断裂等形变特点，可以追溯裂缝与构造的发生发展。

1. 直压型背斜

形成的应力方式为南北向或东西向水平侧压力。

在单向侧压力作用下，首先产生初序次的一对共轭扭裂缝及与压应力方向一致的横张缝(图 5 I)。在岩层逐渐褶皱过程中，产生了与压应力方向垂直的二次纵张缝和斜交岩层面，一对扭裂缝(图 5 II)。随着应力的持续和加强，斜交岩层的扭裂缝(压性缝)发展成压性逆断层(图 5 III)，并在断层两盘的拖拉褶曲上，进一步产生更低序次和低级别的两组张性缝，从而导致应力的释

放。

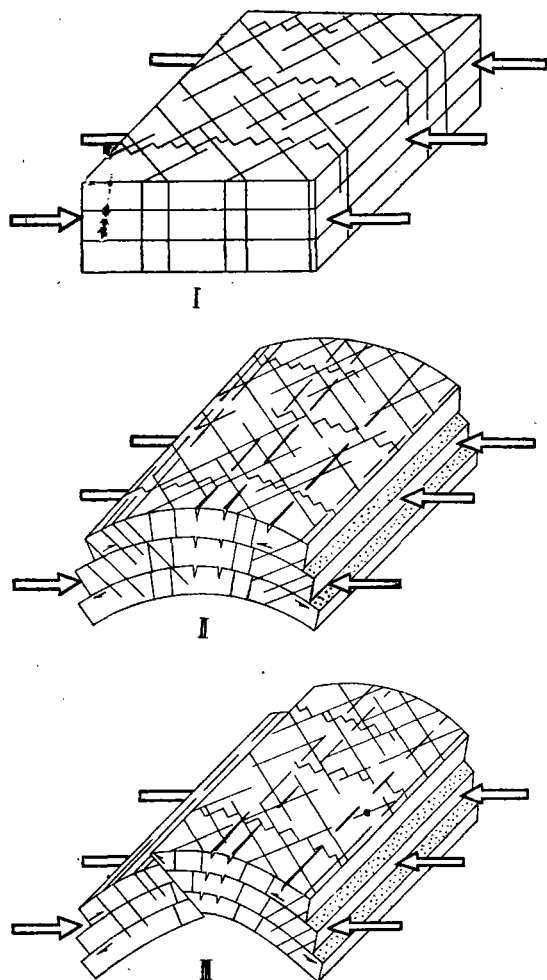


图5 裂缝系统发生发展示意图

I——岩层褶皱前，在侧压力作用下，产生初序次的一对共轭扭裂缝（垂直层面）及与侧压力平行的横张裂缝。

II——岩层褶皱过程中，产生与侧压力垂直的二次纵张裂缝和一对倾斜的共轭扭裂缝（斜交层面）。

III——沿倾斜扭裂缝产生压性冲断层，并在断层两盘的拖拉褶曲上，产生低序次和低级别的各组裂缝。

晚期东西向侧压力使已形成的东西向背斜产生多高点和南北向鼻状褶曲（图3南北向与东西向构造复合）。两

组扭性缝依然紧闭，背斜上只有纵、横张缝起渗滤作用。由于二者延伸短、穿层浅，连通范围不大，就奠定了为数较多、彼此孤立的小裂缝系统的地质基础。

2. 直扭型背斜

形成的应力方式为南北向反时针相对扭动。

在反时针扭应力作用下，压应分力指向北西西——南东东，裂缝产生的序次与直压型背斜相同。随着扭应力的持续和加强，在张应分力作用下，北北西扭性缝力学性质发生转化，变成扭张性缝；在压应分力作用下，北东东向扭性缝力学性质转化为扭压性缝（图6）。由于延伸远、穿层深的扭张缝交切规模小的纵张缝和横张缝，造成产层裂缝呈蛛网状连通，从而奠定了比较单一的大裂缝系统的地质基础。

值得提出的是，在裂缝的发生发展过程中，裂缝受地下水的改造是普遍的，其中地下水对碳酸盐岩的溶蚀与充填更为显著。因此，直扭型背斜的张性和扭张性缝被次生充填时，油气试采特征也会表现为多裂缝系统或小裂缝系统。此外，较薄的产层（如 T_{II}^1 、 T_{II}^3 ）被断层分割，同样会形成多裂缝系统。

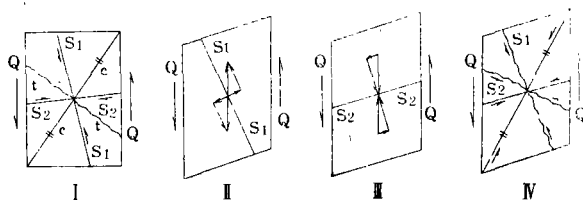


图6 在扭应力作用下一对共轭扭裂缝力学性质的转化示意图

QQ'—扭力； S_1 、 S_2 ——一对共轭扭裂缝；tt—横张缝；CC—压性缝；I. 开始形成时的各组裂缝；II. 扭裂缝 S_1 的转化；III. 扭裂缝 S_2 的转化；IV. 各组裂缝力学性质转化后的扭动方向。

直压型背斜褶皱强烈时,张性缝也可在较大范围内连通。

成文过程中,曾得到武汉地院刘和甫同志和单位领导的热情指导、审阅,并提出宝贵意见。笔者在此谨表谢意。参加工作的还有戴弹申、刘鸿端和魏长善同志。

参 考 文 献

- [1] 李四光 1973年 地质力学概论.科学出版社。
- [2] L. U. 狄塞牧尔: 构造地质学 张文佑译
1964 科学出版社。
- [3] 构造分析方法 1975年 武汉地院石油教研室译(第一集)。

简

讯

为迅速提高科技人员的技术水平,多出成果,多出人才,以适应石油地质实验工作现代化建设的需要。在地质部的支持下,地质部石油地质中心实验室在江苏无锡先后举办了“石油地质实验数学和计算机基础短训班”及“镜质体反射率测定短训班”。学员一律经考试择优录取。

石油地质实验数学和计算机基础短训班

石油地质实验数学和计算机基础短训班是为了在石油地质实验系统中推广和应用数学地质及电子计算机技术而举办的。于1979年9月5日正式开学,学员来自全国石油普查勘探战线,共40名。

短训班的正式课程和讲座共三类八门课程:

- (1) 数学基础理论: 主要有概率论及数理统计、线性代数;
- (2) 应用课: 主要是多维数据处理、模式辨认数学在石油地质中的应用;
- (3) 计算机程序设计语言: 主要BASIC、ALGOL60、FORTRAN三种语言。

为了办好这个短训班,特聘请北京工业大学数学系电子计算站五名老师(其中三名是教研室副主任)和北京计算中心一名副研究员来无锡讲授。

通过三个余月的课堂讲授和教学实习,效果良好。老师对学员要求严格,教学得法;学员们勤奋学习、刻苦钻研、成绩普遍优秀。

短训班于1979年12月25日结业,学员们满载而归,回到全国石油普查勘探战线,为现代化建设作贡献。

镜 质 体 反 射 率 测 定 短 训 班

镜质体反射率测定短训班于1979年12月12日至23日举办,学员也是来自全国石油普查勘探战线,共30名。

学习内容丰富多彩,从基本原理到具体实验操作,从地质意义到实际应用和评价,一一进行讲授和学习。培训的目的在于用煤岩学和有机地球化学相结合的方法研究沉积岩中分散有机物的成熟度,以识别和划分干酪根的类型以及煤化作用,从本质上判断生油层的机能,进而对石油普查勘探作出综合性的评价。