第17卷第4期 石油实验地质 Vol.17,No.4
1995年12月 EXPERIMENTAL PETROLEUM GEOLOGY Dec.,1995

四川二叠系碳酸盐岩裂缝系统成因模式探讨

樊生利 童崇光

(中原石油勘探局勘探开发研究院,河南濮阳 457001) (成都理工学院石油系,610059)

本文提出了四川盆地二叠系碳酸盐岩储层裂缝系统的成因模式,即在致密的碳酸盐岩条件下,首先由构造作用发育构造裂缝,构造裂缝被溶蚀、扩大,各种次生孔、洞、缝大量形成,并充分勾通起来,形成具有储渗流体能力的裂缝系统。在长期的构造运动和成岩作用反复改造下,裂缝系统不断形成并可能被充填。目前有效的裂缝系统是多旋回构造运动和成岩作用反复进行的最后结果,其分布既有规律性,也存在着非均质性或随机性。

关键词 碳酸盐岩致密储层 构造裂缝 次生孔洞缝 裂缝系统 成因模式

第一作者简介 樊生利 男 35岁 高级工程师 石油地质

二叠系碳酸盐岩是四川盆地的主要天然气产层之一。它属于裂缝型储层类型,在致密碳酸盐岩背景下,发育由次生孔、洞、缝组成的具有储渗流体能力的裂缝系统(裂缝圈闭)。这种裂缝圈闭成为四川二叠系碳酸盐岩天然气藏的几乎唯一的圈闭类型。寻找二叠系气藏的关键在于掌握和预测裂缝系统的分布规律。在这方面,已做了大量卓有成效的研究和实践,并在勘探上取得很大成功。但是,裂缝系统是如何形成的呢?对这一问题的认识深化必将有助于提高对裂缝系统分布规律的认识,有助于天然气勘探。本文试通过对典型地区的研究,探讨四川二叠系碳酸盐岩裂缝系统的成因机制和模式。

1 二叠系沉积特征

在广泛海侵的背景下,四川盆地二叠纪发育了一套以碳酸盐岩为主的沉积。下二叠统(阳新统)除梁山组为滨海、沼泽环境的页岩、铝土质泥岩外,栖霞组、茅口组为正常浅海台地环境的碳酸盐岩沉积,岩性稳定,厚度300～350m。以富含多种生物碎屑的泥晶灰岩为主,阳三(3)、阳三(2)、阳二(2)段岩性质较纯,局部可出现亮晶有孔虫红藻灰岩,属相对较高能的浅滩环境沉积。这些层段是阳新统的天然气主要产层段。阳三(1)和阳二(1)段含泥质较重,局部夹白云岩。上二叠统(乐平统)龙潭组为海陆交互环境含煤砂、页岩沉积,厚50～200m;长兴组为浅海台地环境富含硅质结核和条带的生物灰岩,质纯,厚50～200m,是盆地内的主要含气层。

2 二叠系裂缝系统成因模式探讨

通过对华莹山阎王沟剖面、川弥87井和工40井岩心观察以及取样进行的薄片、铸体薄片、扫描电镜分析观察,取得了丰富的第一手资料,归纳如下。

(1)阳新统碳酸盐岩主要经历了深埋藏成岩作用，表现为岩石胶结致密，原生孔隙几乎消失，重结晶作用普遍而强烈，压溶缝合线广泛发育，溶蚀与充填作用都很显著等。由此发育大量多种类型的成岩次生孔隙，多属微米级孔，孔径一般1～10μm。它们是各种成岩作用综合作用的结果(图1)。

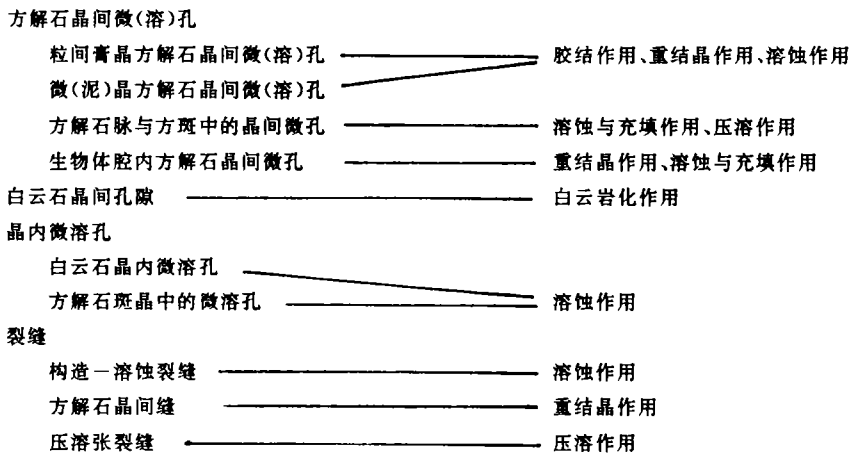

图1 四川盆地二叠系阳新统主要孔隙类型及其与成岩作用的关系

(据樊生利等，1991，略有改动)

(2)野外露头和井下岩心中存在着大量的毫米至厘米级甚至更大的方解石脉和方斑，前者大多平直延伸，有明显的方向、组系特征，显然是构造成因裂缝，后被方解石充填，有的被溶蚀扩大，成为不规则的方解石脉，方斑往往与方解石脉有联系，亦即与构造裂缝有联系。

(3)薄片镜下观察，裂缝非常发育，多数也被方解石充填。很多样品中的微裂缝呈雁行排列，明显是构造剪切应力作用下形成的。常见有两组方向的裂缝互相切割或一组切割另一组是多期构造裂缝发育的证据(图2)。方斑几乎在每个样品中都可见到，常常表现出与裂缝的联系。方斑的溶蚀－充填特征是明显的。

(4)扫描电镜观察，灰泥普遍重结晶成微亮晶，方解石晶体有明显的溶蚀现象，并发育晶间微溶孔，孔间为约0.2μm的微细缝隙连通(图3)。在构造裂缝处溶蚀作用更强烈，裂缝被溶蚀扩大，发育成溶蚀缝和洞，并有向岩溶方向发展的趋势(图4)

(5)白云化作用常见到沿裂缝带进行，并发育晶间孔隙。

(6)缝合线很多情况下与构造裂缝有成因联系，或与裂缝相伴出现，或者互相交叉。有些缝合线明显地是由构造裂缝转化而来的，如平直的裂缝有小锯齿，有时缝合线中又发育裂缝，有时方解石脉中又有缝合线。

此外，钻井中放空、井漏、井喷现象屡见不鲜，表明地下阳新统碳酸盐岩中存在着溶洞和高孔高渗透段。而且往往在出现这些显示时，岩屑中就会有大量的方解石脉、半自形、自形方解石晶体。

大量的岩石和钻井资料证实，二叠系碳酸盐岩裂缝非常发育，其性质大多属构造裂缝，构造裂缝被溶蚀扩大，次生孔、洞、缝、缝合线广泛发育，且互有密切联系。以此为依据，设想

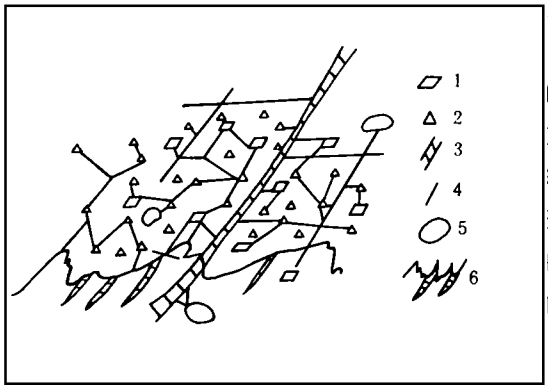

图 5a　阳新统碳酸盐储层裂缝系统模式示意图

1. 晶间孔；2. 晶间、晶内微(溶)孔；3. 张开、半张开裂缝；4. 各种微裂缝；5. 溶孔(洞)；6. 缝合线及其伴生张裂缝

岩石，如果没有裂缝，地下水就不能伸入到岩石内部，从而减缓溶蚀、重结晶、交代等成岩作用的进行，这必然不利于孔隙的形成和裂缝的扩大。因为成岩作用是在有水的情况下进行的，裂缝是最有效的地下水渗滤通道，且决定了碳酸盐溶解物质的带出与带进。另一方面，发育裂缝的岩石，如果没有地下水的循环，不经过一系列的成岩作用，就不可能形成次生的孔、洞、缝，岩石的储集空间有限。

阳新统沉积以来，经历了 4 次大的构造运动。每次构造事件必将对储层岩产生一定影响。这种影响表现在储层岩石的变形和断裂，产生构造裂缝；表现在岩石的成岩作用的过程和产

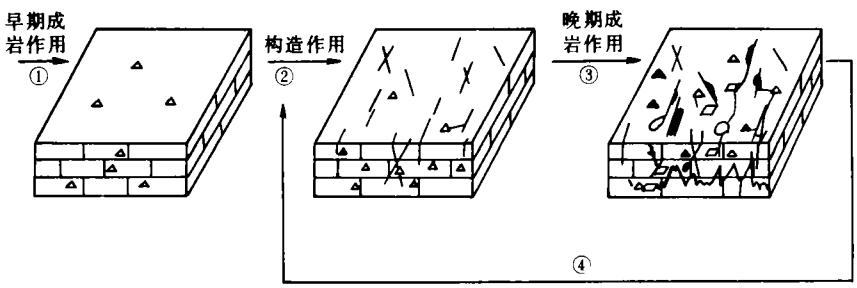

图 5b　阳新统碳酸盐岩裂缝系统成因模式图(图例见图 5a)

①沉积物变成坚硬的岩石，原生孔隙被胶结物充填，岩石致密，但可发育一定的方解石晶间微孔，岩石储集空间有限；②岩石破裂发育构造裂缝，基质中的晶间微孔段有限地连通起来，储集空间仍有限，但渗透性能明显增强；③构造裂缝被溶蚀、改造，溶蚀与充填同时或前后进行，具不均质性，白云化，岩石进一步重结晶有利于晶间和晶内(微)孔的形成，压溶缝合线大量形成，岩石中的构造裂缝，次生孔洞缝充分连通起来，形成裂缝系统；④下一次构造运动，岩石形成新的构造裂缝，并再一次经受成岩作用的改造，先期形成的裂缝系统可以被充填，储层的非均质性增强

生的结果，或者说表现在成岩作用的广度和深度以及方向上，如重结晶，溶解与充填，白云化与去白云化，构造裂缝溶蚀扩大与充填，次生孔、洞、缝的形成与充填；表现在所有的构造裂缝、被溶蚀改造了的构造－溶蚀缝以及成岩次生孔(微孔)、洞、缝的连通组合上。因此，认为裂缝系统是由构造运动起因，遂发生了构造裂缝的形成、改造，次生孔、洞、缝的形成及它们的连通组合等一系列事件的产物。这是一个有机的统一的过程。由于构造运动的多期发展，导致构造裂缝的多期形成和成岩作用的多旋回进行，次生孔、洞、缝及裂缝系统处于不断的形成和破坏之中。

川黔运动(陈显群等，1987)，在区域上可能表现为隆起兼有拉张的机制，从而以产生张性断裂和裂缝体系为主。可能存在局部的挤压区，产生压性断裂和裂缝。在四川南部和滇黔桂地区有大面积玄武岩喷发。在四川盆地内部除了在华蓥山断裂东侧地面和川东井下发现玄武岩和辉绿岩以外，在该断裂西侧的大足－隆昌地区地震资料下古生界中存在反射异常

体，经分析认为是一种地质体，可能为“岩浆侵入体”。在“侵入体”的上方往往出现断褶构造，尤其二叠系阳新统断褶最显著，并出现明显的振幅异常（减弱或消失），研究和钻探证实，这

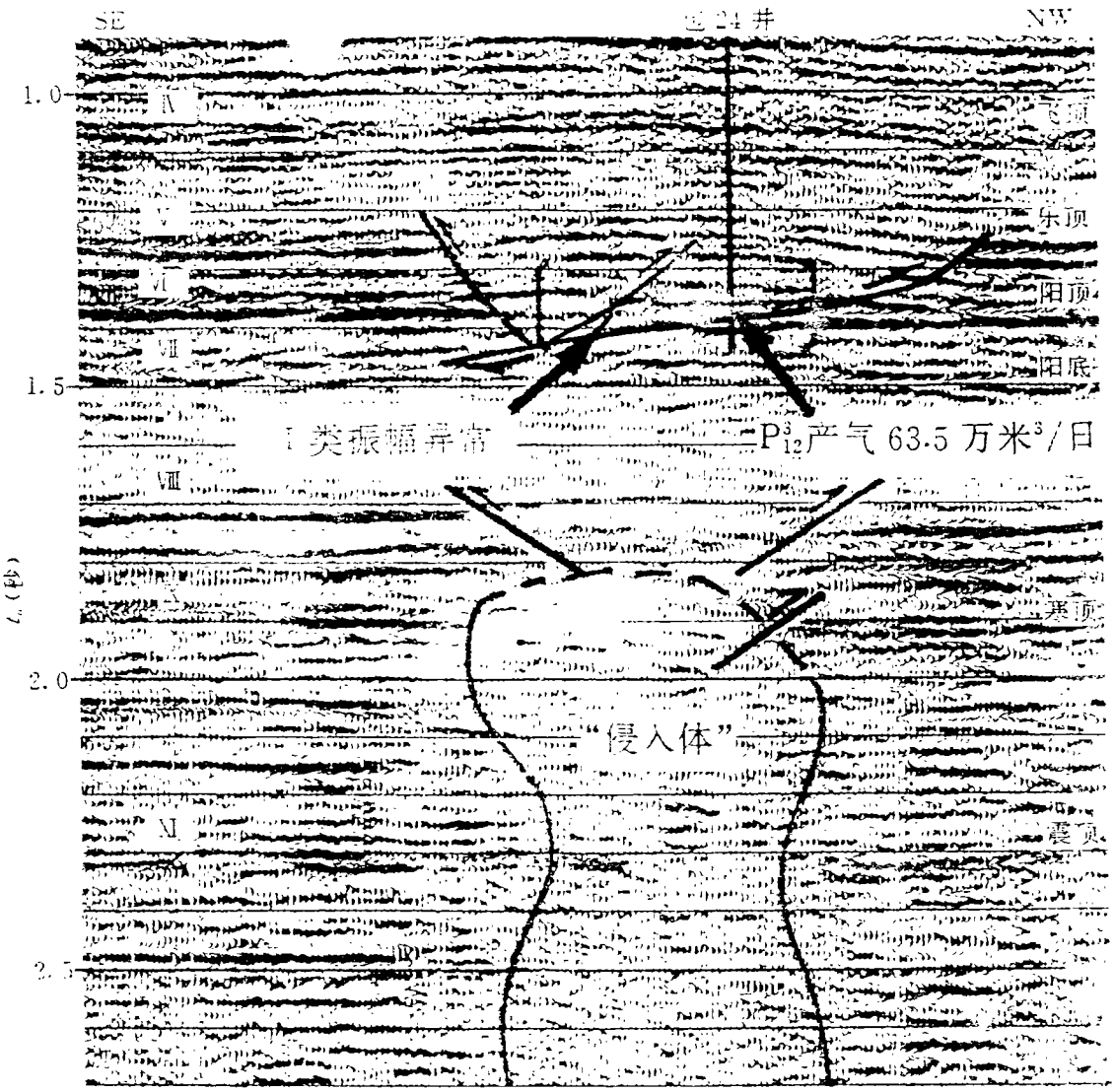

图 6　86－D544 测线 6 次覆盖水平时间剖面解释图

在下古生界中存在“侵入体”，上方二叠系－三叠系发育断鼻构造，在主逆断层上盘阳顶反射波出现振幅异常，包 24 井位于其中，测试日产天然气 $63.5\times10^{4}m^{3}$，证实为含气裂缝系统的反映

些振幅异常大多是含气裂缝系统的反映（图 6）。这表明岩浆活动对裂缝系统的形成也起到了积极的作用，这是因为除了岩浆上升活动可造成上覆地层的断裂和发育裂缝外，它本身又是一次热事件，地温梯度增高，地下水活动加剧，有利于溶蚀、交代等成岩作用的进行，阳新统受到有利于发育裂缝系统的改造。

印支、燕山和喜山运动是强烈的挤压运动，在水平挤压、剪切应力的作用下，阳新统断褶构造得到显著发展，形成更多的压剪性裂缝。岩石中存在的众多交叉的和一组切割另一组的裂缝可能就是这个时期先后形成的。大量裂缝的发育为溶蚀和深部岩溶提供了通道，储层多

次受到强烈的改造。在溶蚀等成岩作用进行次生孔、洞、缝形成的同时，会有反方向的充填作用的发生，先期形成的裂缝系统可能被充填。

总之，阳新统碳酸盐岩在长期的构造运动和成岩作用的反复改造下，构造裂缝不断形成，并不断被溶蚀、充填，次生孔、洞、缝也反复形成和被充填。今日之裂缝系统就是多旋回的构造和成岩作用的结果。这种多旋回的作用是阳新统裂缝系统发育和分布极不均质、有很大随机性的主要原因。

乐平统长兴组碳酸盐岩具有与阳新统相似的地层和岩石学特征。除未经历川黔运动的作用外，印支以来的构造运动均对储层进行了改造。其裂缝系统的形成机制应相似于阳新统。

3 二叠系裂缝系统分布规律

由于构造裂缝在裂缝系统的形成和发育过程中的主导控制作用，可以认为裂缝系统的分布在很大程度上决定了构造裂缝的分布。在川中、川南断褶区高中低背斜构造上，在构造应力作用下，发育各种性质的裂缝，它们互相交切构成网状系统，是裂缝系统发育的有利场所。由于在这种构造背景上发育的裂缝系统受背斜构造控制，从而整体上表现为背斜圈闭特征。但是实际上同一背斜构造不同部位的天然气产能高低差别很大，甚至相邻不远的井，有的为工业气井，有的则为干井，这正是阳新统裂缝系统发育的分布极不均质和随机性的表现。一个背斜圈 闭可能存在多个裂缝系统，它们可能连通，也可能不连通。在川中平缓地区，一般是在鼻状构造及断层附近裂缝较发育，如大足－隆昌地区(图 7)。该区为由 SWW 向 NEE下倾的平缓鼻褶，阳新统断褶相对最显著，发育大量中、小型逆断层。主逆断层倾向 SE－SSE，大多断开阳新统，向上向下分别在乐平统和志留系中消失。它们发育在鼻状构造的轴部偏东南翼，几乎都与构造轴线平行，在主逆断层的上盘、两主逆断层之间、交叉或转折处，是小断层及裂缝发育区。在小断层、构造裂缝发育区，地下水活动、溶蚀等成岩作用比较强烈，有利于形成裂缝系统。钻井已证实，在隐伏断层附近获工业气井的机遇率大(图 6)。以上充分说明，断褶构造及其导致的构造裂缝是裂缝系统形成和发育和主导控制因素。

4 结束语

本文在大量观察资料的基础上，提出了四川盆地二叠系碳酸盐岩储层裂缝系统的成因模式。尽管重点研究区限于华蓥山局部露头和川中东南缘大足－隆昌地区，但四川盆地二叠系碳酸盐岩沉积稳定，岩石学特征相同或相似，所经历的构造运动和成岩作用也都相同或相似，因此，所提出的裂缝系统成因模式应具有代表性。

二叠系裂缝系统的分布既有规律性，也存在着非均质性或随机性。正因为如此，必须加强地质综合研究，多种方法、手段预测裂缝系统分布。特别是深入细致开展含气裂缝系统的直接检测，提高勘探效益和经济效益。

感谢丁传柏、刘开时高级工程师等对本文研究内容的帮助和指导。

(收稿日期：1994 年 6 月 2 日)

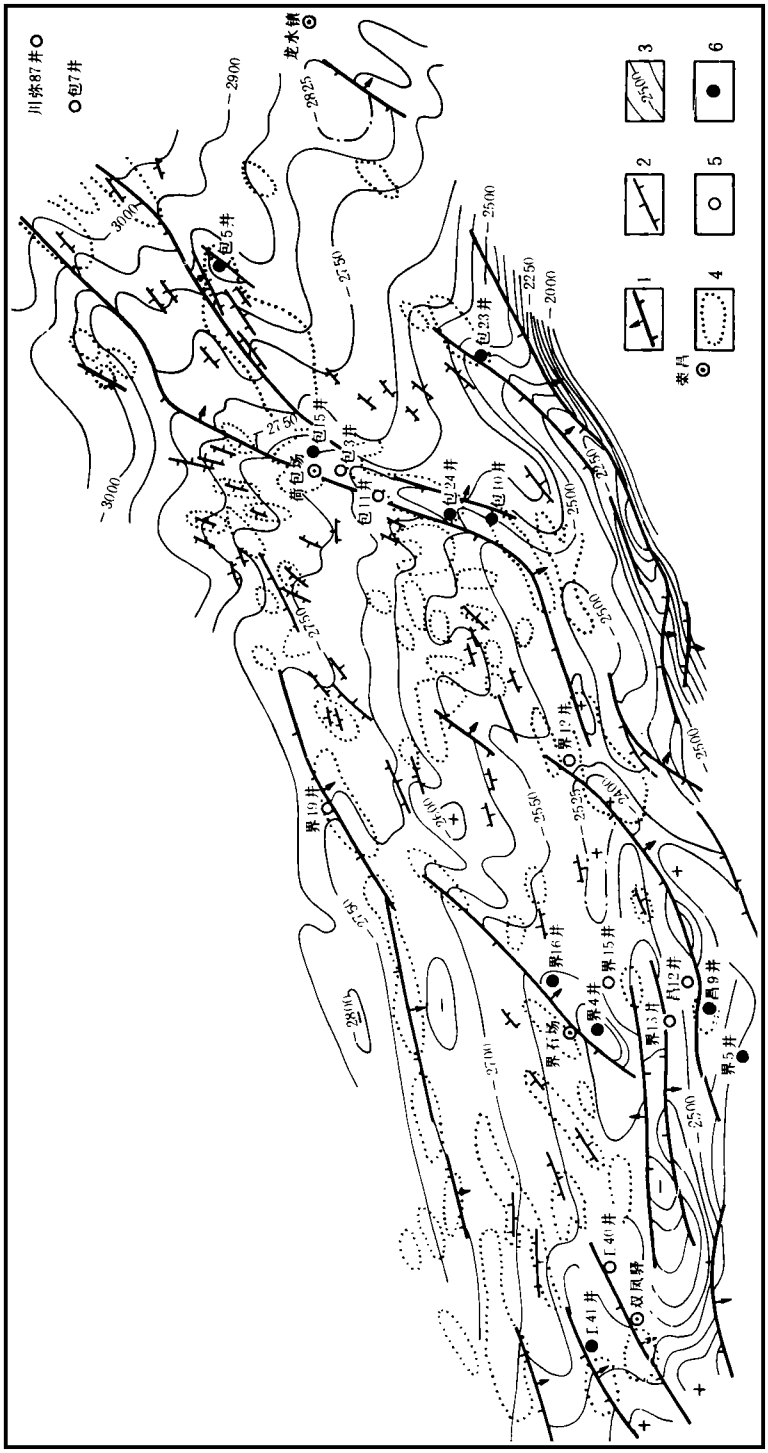

图 7　大足－隆昌地区二叠系阳新统顶面构造与潜在的裂缝圈闭叠合分布图

（据樊生利等，1991，修改重编）

1. 主逆断层；2. 小逆断层；3. 构造等值线(m)；4. 潜在的裂缝圈闭；5. 二叠系探井；6. 工业气井

参 考 文 献

1　曾允孚、夏文杰主编. 沉积岩石学. 北京：地质出版社，1986

2　樊生利、童崇光. 四川大足－隆昌二叠系碳酸盐储层裂缝系统的研究. 成都地质学院学报，1991，18(4)

3　陈显群等. 东吴运动质疑及川黔运动之所见. 石油与天然气地质，1987，8(4)

A DISCUSSION ON THE GENETIC MODEL OF CRACK SYSTEM IN THE PERMIAN CARBONATE ROCKS OF SICHUAN PROVINCE

Fan Shengli

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Bureau of Petroleum Exploration)

Tong Chongguang

(Chengdu Institute of Technology)

Abstract

The authors proposed a genetic model of crack system of the Permian carbonate reservoirs of the Sichuan basin. The model shows that structural fractures were developed in the dense carbonate rocks due to tectonic activity, then the fractures were dissolved and enlarged, and various secondary pores, cavities and cracks were formed and connected with each other, generating a crack system with the function of reservoir and permeability for fluid flow. The crack system can continuously be reformed and may be filled during the long tectonic activity and diagenesis. The present valid crack systems are the final result of multicycle tectonic movements and diagenesis. Their distribution is regular and anisotropic or probabilistic.

(上接 383 页)

CHARACTERISTICS OF ORGANIC MACERAL MATURITY AND EVALUATION OF COAL-RELATED HYDROCARBON PHASES

Wu Jun

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

Based on the distribution of reflectances of main macerals of coal, the formation of hydrocarbon in coal and the phases of coal-related hydrocarbon were evaluated. There is certain correlation between the evolution of optical character of organic maceral and the generation of oil and gas, and hydrocarbon-generating phases can be evaluated in terms of their composite characters. In this paper, the author detailed the coal-related hydrocarbon of the Longtan coal-bearing series of the Nantong Coal field, Southern China.