

松辽盆地东缘营城组节理构造特征、 分布规律及其储层预测

孙庆春, 孙晓猛, 王璞珺, 刘万洙, 金凤兰, 白雪峰

吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

摘要: 首次较系统地统计了研究区节理产状、规模、开度、密度以及分布规律, 阐述了其储层意义。根据节理产出层位、切割关系和区域构造背景分析, 将研究区节理的形成期次划分为营城期、营城末期和白垩世晚期3个期次。利用共轭节理产状和节理面性质, 计算出营城期具有近东西向伸展和挤压相互交替的构造应力场; 营城组末期具有NE-SW向挤压构造应力场; 晚白垩世晚期具有NW-SE向挤压构造应力场。营城组中的节理形成与分布主要与前两期挤压应力场有关。在此基础上, 对徐家围子地区营城组节理分布规律进行了预测, 为天然气储层分布规律研究提供可视化对比依据。

关键词: 松辽盆地东缘; 营城组; 节理; 节理预测

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2007)06-1091-06

Joint Structure Features, Distribution Regularity and Reservoir Prediction of Yingcheng Formation in Eastern Songliao Basin

SUN Qing-chun, SUN Xiao-meng, WANG Pu-jun, LIU Wan-zhu, JIN Feng-lan, BAI Xue-feng

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: It was the first time to carry out the systematical statistical analysis on the joint occurrence, scale, width, density and distribution regularities to elaborate the reservoir significance. According to the analysis of joint position, the inter-cutting relationship and the regional tectonic settings, the formation epochs of joints in the target area were divided into three epochs, namely, Yingcheng epoch, the last stage of Yingcheng epoch and the late stage of K₂. By using conjugate joint occurrence and joint nature, basing on the statistics and calculation, Yingcheng epoch had nearly EW direction tectonic stress field with stretch and compression alternatively, NE-SW direction tectonic stress field was formed in the last stage of Yingcheng epoch, NW-SE direction compressional tectonic stress field was formed in the last stage of K₂. It was considered that the joint formation and distribution of Yingcheng Formation were mainly related with the first two compressional tectonic stress fields. The joint distribution regularities of Yingcheng Formation in Xujiaweizi region were predicted, which provides the visual correlation for the study on the distribution regularities of natural gas reservoir.

Key words: Eastern Songliao Basin; Yingcheng Formation; joint; joint prediction

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 孙庆春(1984-), 男, 黑龙江绥化人, 硕士研究生, 主要从事构造地质学的研究, E-mail: sunqingchun1984@163.com

通讯联系人: 孙晓猛(1954-), 男, 吉林白山人, 教授, 博士, 主要从事区域构造、地层古生物和盆地地质研究, E-mail: sunxiaomeng5210@163.com.

在节理比较发育的火山岩中,节理是油气最大和最重要的储集空间,也是油气最好的运移空间。由于目前地震剖面还不能达到识别节理的精度,因此,如何了解和预测盆地深部火山岩中节理的分布规律,是困扰石油工作者进行石油勘探与开发的难题之一。作者对松辽盆地东缘九台地区营城组建组剖面及其邻区的节理进行了详细的野外地质调查,首次较系统地研究了节理特征及时空分布规律,并与徐家围子地区进行对比,其目的是对徐家围子地区营城组节理分布规律进行预测,为天然气储层的研究提供可视化对比依据。

按照成因,节理可分为原生节理和次生节理。原生节理包括侵入岩的原生破裂构造、火山岩柱状节理等;次生节理主要包括构造节理、释重节理和外动力地质作用形成的节理。本文主要研究由构造作用所形成的构造节理(图 1)。

1 区域构造背景

研究区位于吉林省九台—舒兰地区,区域大地构造单元隶属于兴—蒙造山带中的松嫩—张广才岭地块,由西向东依次分布松辽盆地、大黑山地垒、佳—伊断裂带和张广才岭隆起 4 个三级构造单元^[1]。由于研究区紧邻西拉木伦河板块拼接带,并夹持于 NE—NNE 向的四平—哈尔滨断裂和佳木斯—伊通断裂以及 NW 向大安—扶余—其塔木、九台—左家断裂之间,所以,EW 向断裂、NE—NNE 向断裂和 NW 向断裂都十分发育。营城组中不同方向的区域节理也十分发育,暗示出深大断裂不仅控制了区域断裂和次级断裂的形成和分布,同时也控制了区域节理的性质、产状和分布规律^[1]。

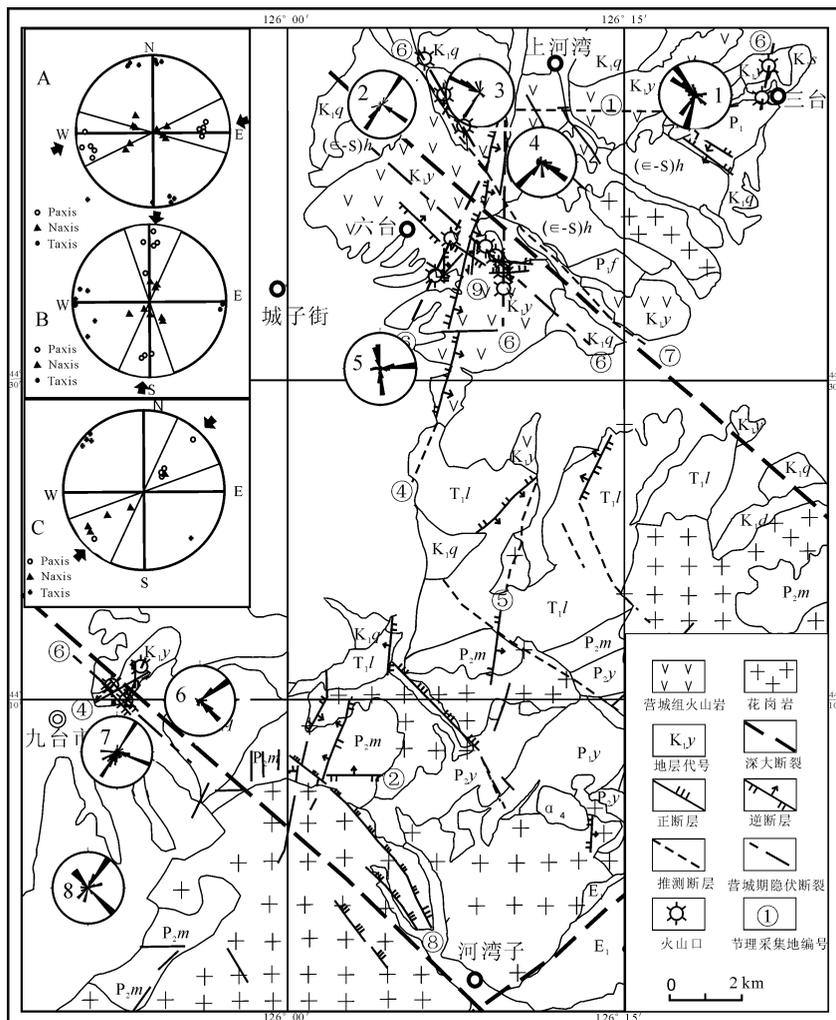


图 1 九台地区断裂系统分布及节理特征

Fig. 1 Distributing graph of fault system in Jiutai region and joint characteristic

A、B: 营城期应力场图; C: 营城末期应力场图; 1. 三台采石场倾向节理玫瑰花图; 2. 五台南山采石场倾向节理玫瑰花图; 3. 五台东山 1 号采石场倾向节理玫瑰花图; 4. 五台东山 2 号采石场倾向节理玫瑰花图; 5. 城子街石场村倾向节理玫瑰花图; 6. 营城煤矿 1 号采石场倾向节理玫瑰花图; 7. 营城煤矿 2 号采石场倾向节理玫瑰花图; 8. 九台收费站公路旁倾向节理玫瑰花图; 地层: (E-S)h. 寒武系—志留系呼兰群; P₁f. 下二叠统范家屯组; P₁y. 下二叠统一拉溪组; P₂y. 上二叠统杨家沟组; P₂m. 上二叠统马达屯组; T₁l. 三叠系卢家屯组; K₁s. 下白垩统沙河子组; K₁y. 下白垩统营城组; K₁d. 下白垩统登楼库组; K₁q. 下白垩统泉头组; E₁. 古新统; α₄. 海西期次安山岩

2 节理储层构造特征

火山岩储集空间按成因可划分为原生孔隙、次生空隙和裂隙 3 种^[2], 按类型主要分为孔隙与裂隙型组合或纯裂隙型及基质溶孔与裂缝组合、斑晶溶孔与裂缝组合等^[3], 松辽盆地火山—断陷期的构造活动使火山岩产生大量次生节理缝。由表 1 可以看出, 九台地区不同营城组采石场中存在多组共轭节理: 第一组共轭节理倾向北西(300°~330°)与南西

(195°~210°), 节理可视长度一般大于 15 m, 开度 1~15 mm, 密度 7~12 条/m; 第二组共轭节理倾向南东(115°~133°)与北东(30°~52°), 节理可视长度大于 12 m, 开度 1~12 mm, 平均为 5 mm, 密度 5.6~10.2 条/m; 第三组共轭节理倾向南西(230°~242°)与南东(140°), 共轭节理可视长度大于 10 m, 开度一般 1~10 mm, 密度 3~10 条/m。3 组共轭节理均非常发育, 可以构成良好的油气储集空间。

表 1 九台市不同地点营城组节理几何学特征参数

Table 1 The joint geometry parameter characteristic statistic of Yingcheng Formation in different places of Jiutai

序号	节理测量地点	优势节理组 及产状/(°)	长度 /m	开度 /mm	间距 /cm	密度 /(条·m ⁻¹)	σ ₁ /(°)	σ ₂ /(°)	σ ₃ /(°)
1	石场 6 队— 7 队间	330∠82, 213∠65	0.2~1 最长>12	1~15	1~90	7.0	93∠30	261∠58	2∠10
2	五台村东山	300∠58, 210∠80	2~15 最长>15	1~12	2~40	8.9	72∠28	298∠57	168∠15
3	五台村南山	130∠73, 35∠85	1~10 最长>12	1~10	1~30	9.5	261∠16	100∠72	6∠8
4	三台村	330∠75, 210∠80	2~18 最长>25	1~15	1~25	12	86∠30	316∠59	180∠8
5	营城煤矿 1 号采石场	130∠76, 52∠85	1~12 最长>15	1~10	1~25	7.3	271∠12	61∠76	3∠7
6	营城煤矿 2 号采石场	115∠74, 30∠87	1~10 最长>12	1~10	20~60	5.6	251∠13	107∠74	344∠9
7	九台收费站	315∠86, 65∠65	1~15 最长>15	1~12	1~22	10.2	187∠24	38∠62	282∠14
8	五台村东山	285∠85, 163∠82	1~25 最长>25	1~20	10~30	8.0	44∠13	216∠13	313∠2
9	通力 1 号采 场	295∠60, 168∠80	0.5~22 最长>25	2~20	4~32	8.6	43∠56	247∠49	139∠14
10	通力 2 号采 场	300∠70, 148∠65	0.8~15 最长>20	2~15	1~25	10.2	57∠78	227∠21	319∠2
11	石场 1 队	355∠80, 85∠79	1~18 最长>20	1~20	2~40	9.2	222∠15	44∠74	316∠1
12	九台收费 站—九台间	230∠81, 140∠88	1~20 最长>20	1~10	1~20	10	3∠18	219∠80	95∠6
13	西营城粮库	242∠68, 140∠81	1~5 最长>10	1~5	10~30	3.0	9∠23	239∠65	101∠9
14	九台鞭炮场	320∠85, 270∠88	2~5 最长>5	1~15	15~40	2.5	206∠5	347∠84	113∠4

注: 1~11 号岩石地层为营城组; 12~14 号岩石地层为泉头组。

通过岩心图象裂缝参数分析得出节理面密度 $13.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$, 节理线密度为 $8.2 \text{ 条}/\text{m}$, 节理面孔隙度为 1.57% 。此外, 3 组不同方向的共轭节理相互切割, 使营城组火山岩被切割成“豆腐块”状, 造成不同方向的节理以及其它原生孔隙、次生空隙相互连通, 构成了深层油气最好和最重要的运移通道。

3 节理的分期及其构造应力场

研究区营城组火山岩中节理十分发育, 同一观测点可见多组共轭剪节理共存现象, 是多期构造应力场活动的产物。因此, 在进行构造应力场研究之前, 必须对节理形成期次进行划分。具体方法是: 首先, 对于同一层位, 切错和限制其它共轭节理组的节理形成期次较晚; 其次, 对于不同层位, 由于所处的地球动力学背景不同, 形成的断层、褶皱和共轭节理产状也往往不同, 因此, 可对不同层位共轭节理采取由新到老层层剥离的方法来确定节理的形成期次。采用上述方法, 将研究区节理的形成期次划分为早白垩世营城期、营城末期和晚白垩世晚期 3 个期次。

构造应力场不仅控制了节理的形成和分布规律, 为油气提供了重要的储集空间和运移通道, 而且还为油气的运移提供了驱动力, 决定了油气的运移方向, 并对油气藏的保存和破坏起着重要影响^[4]。因此, 构造应力场对于油气基础地质研究和油气勘探具有重要意义。利用共轭节理判断主应力方位, 分析构造应力场是一种可靠和实用的方法^[5,9]。本文采用 3 种方法确定构造应力场主应力方位: ①擦痕和阶步清楚的节理, 采用 P-T 法^[7-9] 应力场反演技术, 即对于单个节理, σ_1 沿擦痕方向但与节理面交 30° 的方向展布; 对于多个节理, 取每个节理 σ_1 的公共方向^[7]; 或者对于单个节理, σ_1 在由节理面及擦痕方向决定的 T 象限内, σ_3 在 P 象限内, 对于多个节理, 取每个节理 T 象限的交集和 P 象限的交集分别作为 σ_1 和 σ_3 的方向^[8]。②同一露头上具有 X 型共轭关系但擦痕和阶步不清楚的节理, 按照 Anderson 模式确定 σ_1 及 σ_3 方向, 即 σ_1 与锐角等分线一致, σ_3 与钝角等分线一致, σ_1 所在盘向锐角角顶方向滑动。③根据追踪张节理产状判断 σ_3 方向, 即 σ_3 方向总是垂直张节理面。对已经确定具有共轭关系的剪节理, 采用计算机赤平投影网(Wullff 网, 下半球投影^[10])计算主应力方位。

3.1 营城期节理特征及其构造应力场

早白垩世火石岭期—营城期属于松辽盆地的断

陷期, 盆地以伸展断陷为主, 形成大量张性断层。朱德丰等根据盆地内部地震剖面解释成果^①, 鉴定出在营城期中不仅形成众多张性断层, 而且也形成大量的逆断层、断弯褶皱、断展褶皱和反转构造等挤压构造, 并确认在营城期发生了 5 期近东西向挤压逆冲事件; 反映出松辽盆地在营城期处于近东西向伸展和近东西向挤压相互交替的构造应力场之中。这种区域构造应力场决定了节理的形成和分布规律。

将九台地区营城组不同地区采石场中 3 组共轭节理进行赤平投影, 获得了共轭节理形成期的构造应力场方向(表 1)。倾向北西($300^\circ \sim 330^\circ$)与南西($195^\circ \sim 213^\circ$)或南东($115^\circ \sim 133^\circ$)与北东($30^\circ \sim 52^\circ$)两组高角度共轭节理(表 1 序号 1~6)的最大主压应力(σ_1)方向为近东西向, 最小主压应力(σ_3)方向为近南北向, 反映了东西向挤压和南北向伸展的特点; 倾向北西($310^\circ \sim 322^\circ$)与北东($65^\circ \sim 75^\circ$)两组高角度共轭节理(表 1 序号 7)的最大主压应力方向为近南北向, 最小主压应力(σ_3)方向为近东西向, 反映了南北向挤压和东西向伸展的特点。

这种构造应力场特征反映出在营城期本区既不是大部分地质学家所认为的处于单一近东西向伸展应力场之中^[11-13], 也不是处于简单的近东西向挤压应力场之中^[14], 而是既存在近东西向伸展应力场, 又存在近东西向挤压应力场, 两种应力场相互脉动式交替变化是造成本区不同方向节理十分发育的最主要原因。

3.2 营城末期节理特征及其构造应力场

在营城组火山岩中, 除了上述 3 组共轭节理外, 还分布倾向北西($285^\circ \sim 300^\circ$)或南东($148^\circ \sim 168^\circ$)以及倾向北北西($348^\circ \sim 355^\circ$)或东($85^\circ \sim 90^\circ$)的两组共轭剪切节理(表 1 序号 8~11)。它们的共同特点是切割了早期节理, 并且张节理追踪两组共轭剪节理面形成追踪张节理, 张节理又被基性岩脉所侵入。两组共轭节理的最大主压应力方向为北东向或南西向, 与基性岩脉走向完全一致, 反映了北东—南西向挤压的特点。由于基性岩脉侵入的最高层位是营城组三段火山岩, 在泉头组中未见到这两组共轭节理, 这就限定了它们应该形成于营城末期。

3.3 晚白垩世晚期节理特征及其构造应力场

在泉头组红色碎屑岩中分布两组共轭剪切节

① 朱德丰, 任延广, 杨永斌, 等. 松辽盆地北部深层天然气勘探突破方向研究. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 2003.

理。一组节理倾向 $230^{\circ} \sim 242^{\circ}$ 或 140° 方向,最大主压应力方向近南北向(表 1 序号 12, 13)。但与营城组产状相近的节理相比,泉头组节理不发育,说明营城组倾向北东和南东节理的主体在营城期业已形成,晚白垩世相同产状的共轭节理在营城组中只是起着叠加和强化作用。另一组共轭节理倾向 320° 或 270° ,最大主压应力方向为 SE 向(表 1 序号 14),与刘茂强等^[14] 研究结果相似。

4 徐家围子地区营城组节理储层分布规律预测

由于九台地区与徐家围子地区在营城期具有十分相似的区域构造背景,九台地区营城组中断层与徐家围子地区的断层具有可对比性^[1],因此,两地在营城期应处于相似构造应力场之中。据此,可以将九台地区营城组节理分布规律应用到徐家围子地区,对徐家围子地区营城组节理分布规律进行预测,为天然气节理储层分布特征的研究提供对比依据。

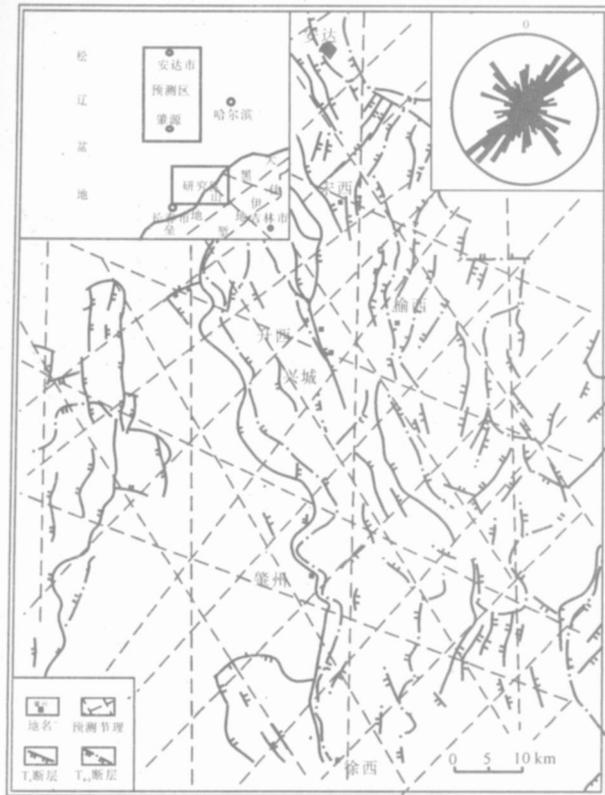


图 2 徐家围子地区营城组节理分布规律预测

Fig. 2 The predictive of the joint distribution regularities of Yingcheng Formation in Xujiaweizi area

营城组节理进行三维空间预测,仅能对节理进行平面分布规律预测。九台地区营城期形成的优势节理组按走向可分为北东向($30^{\circ} \sim 60^{\circ}$)、北西向($300^{\circ} \sim 330^{\circ}$)、北西西向($280^{\circ} \sim 300^{\circ}$)和近南北向 4 组。其中,北东向节理最为发育,其数量占据了本区节理的一半以上,是本区最为优势的节理;其次为北西向节理。4 组节理相互交叉构成节理网络(图 2)。除了表 1 中列出的陡倾节理外,本区还普遍存在一组倾角小于 30° 缓倾节理。陡倾节理之间以及陡倾节理与缓倾节理相互交叉、切割,致使营城组火山岩裂缝具有良好的连通性,构成了徐家围子地区天然气最重要的储层和最重要的运移通道。

5 结论

(1) 根据节理产出层位、切割关系和区域构造背景分析,将研究区节理的形成期次划分为营城期、营城末期和晚白垩世晚期 3 个期次。

(2) 利用共轭节理产状和节理面性质,计算出营城期具有近东西向伸展和挤压相互交替的构造应力场,营城组末期具有 NE—SW 向挤压构造应力场,晚白垩世末期具有 NW—SE 向挤压构造应力场。

(3) 对徐家围子地区营城组节理分布规律进行了预测,北东向节理最为发育,其数量占据了本区节理的一半以上,其次为北西向节理。

参考文献(References):

- [1] 孙晓猛,朱德丰,郑常青,等. 松辽盆地东缘中生代断裂构造特征、形成期次及其储层意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1055—1063.
SUN Xiao-meng, ZHU De-feng, ZHENG Chang-qing, et al. Feature, epoch and reservoir significance of the Mesozoic faults at the eastern margin of the Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1055—1063.
- [2] 王璞珺,陈树民,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩相与火山储层的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 18—23.
WANG Pu-jun, CHEN Shu-min, LIU Wan-zhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18—23.
- [3] 刘万洙,王璞珺,门广田,等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 28—31.
LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, MEN Guang-tian, et

应该说明的是,目前的研究程度还不能达到对

- al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao Basin [J] . Oil & Gas Geology, 2003, **24**(1): 28—31.
- [4] 林景晔. 砂岩储集层孔隙结构与油气运聚的关系 [J] . 石油学报, 2004, **25**(1): 44—47.
LIN Jing-ye. Relationship of pore structure of sand reservoir with hydrocarbon migration and accumulation [J] . Acta Petrolei Sinica, 2004, **25**(1): 44—47.
- [5] 万天丰. 郯—庐断裂带的演化与古应力场 [J] . 地球科学——中国地质大学学报, 1995, **20**(5): 526—534.
WAN Tian-feng. Evolution of Tancheng—Lujiang fault zone and paleostress fields [J] . Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, **20**(5): 526—534.
- [6] 刘顺, 刘树根, 李智武, 等. 南大巴山褶断带西段中生代构造应力场的节理研究 [J] . 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, **32**(4): 345—349.
LIU Shun, LIU Shu-gen, LI Zhi-wu, et al. Analysis of joints from the Mesozoic tectonic stress field in the west section of south Dabashan fault—fold belt in China [J] . Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, **32**(4): 345—349.
- [7] Turner F J. Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles [J] . Am J Sci, 1955, **251**: 276—298.
- [8] Angelier J. Determination of the mean principal directions of stress for a given fault population [J] . Tectonophys, 1979, **56**: 17—26.
- [9] Angelier J. Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress—3. A new rapid direct inversion method by analytical means [J] . Geophys J Int, 1990, **103**: 363—376.
- [10] 周坤, 张宏颖. 白乃庙金矿区节理组合分析 [J] . 地质与资源, 2006, **15**(1): 48—52.
ZHOU Kun, ZHANG Hong-ying. Analysis on the joints of Bainaimiao gold deposit in Inner Mongolia [J] . Geology and Resources, 2006, **15**(1): 48—52.
- [11] 张宏, 马俊孝, 权恒, 等. 大兴安岭北段中生代火山岩形成的动力学环境 [J] . 贵金属地质, 1999(1): 56—64.
ZHANG Hong, MA Jun-xiao, QUAN Heng, et al. The dynamic background of Mesozoic volcanic activity in northern part of Daxing'anling Mountains [J] . Journal of Precious Metallic Geology, 1999(1): 56—64.
- [12] 张宏, 王小凤. 郯庐断裂系北段地质特征及中生代演化 [J] . 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所集刊, 1995(4): 50—778.
ZHANG Hong, WANG Xiao-feng. The evolution of the northern segment of Tan—Lu fault system in Mesozoic era [J] . Memoirs of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, 1995(4): 50—778.
- [13] 王小凤, 李中坚, 陈柏林. 郯庐断裂带 [M] . 北京: 地质出版社, 2000: 1—180.
WANG Xiao-feng, LI Zhong-jian, CHEN Bo-lin. Tancheng—Lujiang fault zone [M] . Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1—180.
- [14] 刘茂强, 杨丙中, 邓俊国, 等. 伊通—舒兰地堑地质构造特征及其演化 [M] . 北京: 地质出版社, 1993: 42—82.
LIU Mao-qiang, YANG Bing-zhong, DENG Jun-guo, et al. The feature of geological structure and its evolution of Yitong—Shulan graben [M] . Beijing: Geological Publishing House, 1993: 42—82.