

辽北张强地区燕山期以来主要构造运动期最大主应力的测定

孙宝珊¹⁾ 丁原辰¹⁾ 任希飞¹⁾ 邵兆刚¹⁾ 周新桂¹⁾ 任德生²⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081;

2) 辽河石油勘探局工程技术研究院地应力所, 盘锦, 124010

内容提要 辽北张强地区晚侏罗世以来经历了4期主要构造运动: 燕山早中、晚中、晚期和喜马拉雅晚期, 通过声发射(AE)法测得相应4期的最大主应力值分别为106.2 MPa、87.3 MPa、57.1 MPa及33.4 MPa, 同时还测得现今地应力最大主应力值为17.4~23.3 MPa。发现有岩浆活动的构造运动期古应力最大主应力值偏大。油田内含油构造和出油井现今地应力最大主应力值偏低。本区油气成藏期古应力状态的最大主应力值是87.3 MPa。

关键词 构造运动期 声发射 地应力测量 古构造应力场

一个地区构造运动期的正确划分及其相应的最大主应力值确定, 是定量认识其构造发展史、盆地演化史的前题, 对深入研究矿产资源的分布规律、成矿成藏史、矿产预测、勘探开发和揭示环境地质特征以及减灾防灾工作都具有重要意义。构造运动及其期次划分是研究区域构造发展史的一项基础性工作, 通常主要研究其发生时期、影响的地域、运动产物及其表现特征等, 而对各构造运动期应力状态还没引起重视。构造应力状态是构造应力场的重要内容之一。对构造应力场的研究取得了一些成果(李四光, 1973, 1976; 沈淑敏, 1980; 乐光禹, 1985; 万天丰等, 1989; 武红岭等, 1990; 曾秋生, 1990; 陶明信, 1992; 万天丰, 1993; 刘建中, 1993; 邓俊国等, 1993; 杨武年等, 1997; 侯贵廷等, 1998; 武红岭, 1999; 秦勇等, 1999; 傅强等, 1999)。曲国胜等(1997)将张强地区晚侏罗世以来构造运动划分为4期, 指出了相应各构造期主应力作用方式和方向。本文给出了张强油田及其外围声发射法测定的各主要构造运动期最大主应力值, 筛分出张强地区不同构造运动期的相应有效最大主应力值, 揭示了研究区历史应力变化特点, 其中燕山早中、晚中期最大主应力值较高, 与相应时期构造运动强度相适应。

1 张强地区地层层序和主要构造运动期划分

1.1 张强凹陷大地构造位置

张强凹陷是辽河油田外围中生代含油气断陷盆地之一, 地处辽宁省彰武县、康平县与内蒙古自治区科尔沁左旗交界地带。大地构造处于新华夏系第二沉降带与巨型天山—阴山EW向构造体系复合部位^①, 即新华夏系一级负向构造带与纬向系一级正向构造带重叠复合地区, 属松辽盆地南端。该凹陷形状狭长, 轴向NNW, 南北长90 km, 东西宽9~17 km, 面积约1100 km²。凹陷东西两侧由NNE向边界断裂控制, 南北两边分别是EW向赤峰—开原断裂和西拉

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号49572144)和中国石油天然气集团公司“八五”科技攻关项目的成果。

① 辽宁省地质局区域地质调查队, 1979. 辽宁省构造体系图。

本文1998年11月收到, 1999年7月改回, 周健编辑。

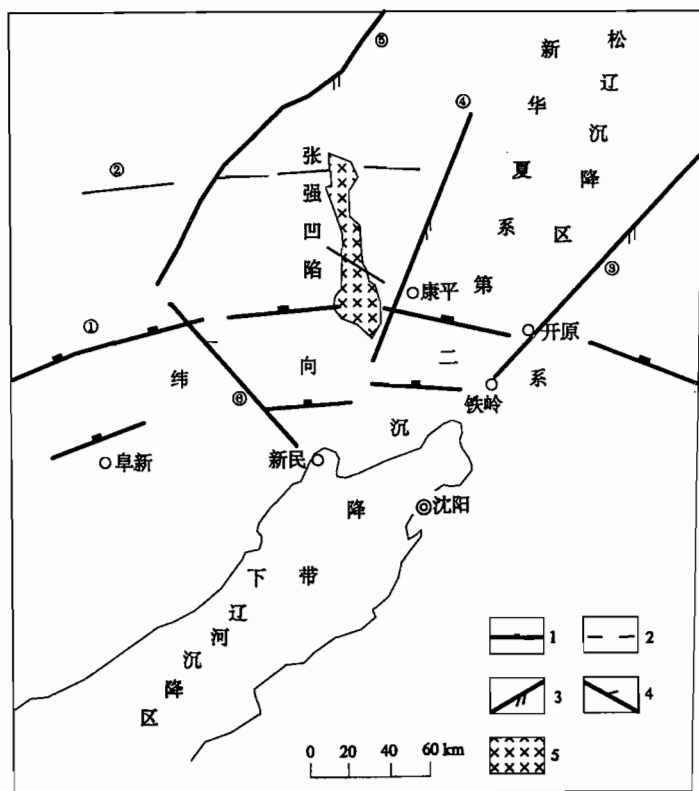


图1 张强凹陷大地构造位置图

Fig. 1 Tectonic situation of the Zhangqiang depression

1—EW向压性断裂;2—区域EW向断裂;3—新华夏系压扭性断裂;4—新华夏系张扭性断裂;5—凹陷区;①—赤峰—开原断裂带;②—西拉木伦断裂;③—依兰—伊通断裂;④—方家屯—大辛屯断裂;⑤—西缘断裂;⑥—柳河断裂

1—EW trending compressive fault; 2—regional EW trending fault; 3—Neocathaysian compresso-shear fault; 4—Neocathaysian tenso-shear fault; 5—depression; ①—Chifeng—Kaiyuan fault belt; ②—Xar Moron fault; ③—Yilan—Yitong fault; ④—Fangjiatun—Daxintun fault; ⑤—Xiyuan fault; ⑥—Liuhe fault

组及第四系(图2)。

1.3 张强地区燕山期以来主要构造运动期次划分

1.3.1 张强凹陷构造特征

张强凹陷位于EW向构造带赤峰—开原断裂带与西拉木伦断裂带影响带之内,北西侧与东北侧在新华夏系彰武盆地西缘断裂和方家屯—大辛屯NNE向断裂控制地域之中(图1)。华力西期及其以前的EW向构造控制凹陷基底,晚侏罗世—早白垩世受新华夏系控制。晚白垩世以来长期处于抬升阶段,盆地发展结束,遭受剥蚀。

基底构造表现为NNW向长条状箕状凹陷特点。该凹陷具东高西低、南深北浅的形态,凹陷中南部还出现局部东西向高凸起。基底发育4组断裂:EW向、NE、NW向及近SN—NNW向追踪断裂。这些构造形迹组合反映基底受EW向构造带控制。

木伦断裂(图1)。东西边界的两条NNE向压扭性断裂,为新华夏系成分。东侧的方家屯—大辛屯断裂,影响前震旦系,控制中生代沉积,切割中生界和火成岩。彰武盆地西缘的NE向断裂,控制了一系列近SN向和NNE向小凹陷的分布。EW向开原断裂,是基底断裂,具多期活动的特点,挤压现象明显。断裂带以北为古生代地槽区,南侧属华北地台。晚古生代伴有一些花岗岩和基性、超基性岩带形成。燕山运动时期,该断裂带既控制晚侏罗世盆地又切割了侏罗系,晚侏罗世花岗岩带分布其内。断裂带为“法库隆起”北界断裂,控制隆起带在中、新生代时持续上升,构成了松辽平原南缘和下辽河平原北缘的天然屏障。西拉木伦EW向断裂为区域EW向构造带,控制张强凹陷北界。

1.2 地层层序概述

张强凹陷是在海西期褶皱基底和前寒武纪基底上发生和发展起来的晚侏罗世—早白垩世断陷盆地。中、新生代地层发育不全,钻井所揭露的地层自下而上依次为侏罗系上统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、白垩系下统泉头

凹陷带内中、新生界盖层显现为新华夏系构造特点。它由 4 个 NNW 向二级构造带组成, 自西而东为断阶带、多字型褶皱带、断裂背斜带及斜坡带。其中多字型褶皱带内洼陷带生油岩系发育。

主干断裂为近 SN—NNW 向, 次为 NW、NE 向, 也出现少许 EW 向断裂。这些断裂皆表现为正断层形态, 主要活动时期在晚侏罗世, 至早白垩世已

减弱。凹陷中众多的局部构造构成雁行状背斜带、断鼻构造带及断背斜构造, 展布方向以 NNW 向为主, 次为近 EW 向。这些局部构造主要发育在九佛堂组至沙海组沉积阶段, 阜新组沉积末期基本定型。

1.3.2 张强凹陷及邻区主要构造运动期次划分

70 年代初, 辽宁省第一区域地质测量队, 将本区晚侏罗世以来构造运动划分为晚侏罗世间(J_3 火山活动期间)、晚侏罗世末(J_3 末)、早白垩世(K_1)末和新第三纪(N_2)4 期^{①②}。

曲国胜(1997)通过对张强凹陷及邻区不同时期的构造形迹进行系统测量、统计以及分期配套等分析, 并结合年代学数据资料, 将该区构造应力场由新到老划分为 8 个期次: 新构造期(N_1 — Q)、早第三纪(E)、白垩纪(K)、晚侏罗世(J_3)、早燕山期(J_1 — 2)、华力西—印支期(P — T)、中—新元古代(P_{t2-3})和太古代末(Ar)。重点研究了各期次的构造应力作用方式和方向。

依据辽河油田的地层划分方案, 结合邻区地质构造资料和区域构造运动特征, 并根据地质界面, 将本区晚侏罗世以来构造运动分为 4 期, 如表 1 所示。

燕山早中期构造运动主要表现为义县组时岩浆活动强烈, 大量火山喷溢(图 2)和潜火山岩侵入, 九佛堂组与上覆沙海组以假整合或局部不整合关系接触, 此期为凹陷内断裂及局部构造强烈发育时期。燕山晚中期构造运动发生在阜新组沉积末期, 形成了本区主干断裂和褶皱构造格局, 白垩系下统与阜新组区域性不整合, 不论在凹陷内, 还是周围地区都普遍存在, 油田地层倾角测井资料揭示白垩系下统泉头组与阜新组呈不整合接触关系。早白垩世泉头组沉积末, 张强凹陷及邻区普遍发生褶皱抬升, 盆地发展结束, 长期遭受剥蚀。其褶皱被第四系不整合覆盖。喜马拉雅晚期运动在凹陷西侧的张家窑林场上新统致密状或杏仁状玄武岩直接压覆在义县组地层之上(图 3)。东部昌图康家窝棚玄武岩脉穿切了泉头组, 被第四系覆盖。

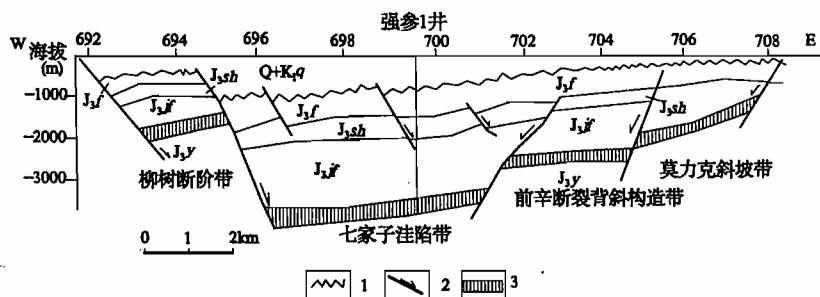


图 2 113.5 地震测线解剖图(据辽河油田资料)

Fig. 2 Explanation cross section of seismic profile 113.5

(after the data of Liaohe Oilfield)

1—不整合线; 2—正断层; 3—火山岩; J_3y —义县组; J_3jf —九佛堂组;

J_3sh —沙海组; J_2f —阜新组; K_1q —白垩系下统泉头组

1—Unconformable boundary; 2—normal fault; 3—volcanic rock; J_3y —Yixian Formation;

J_3jf —Jiufotang Formation; J_3sh —Shahai Formation; J_2f —Fuxin Formation;

K_1q —lower Cretaceous Quantou Formation

① 辽宁省第一区域地质测量队. 1972. 11-51-15(彰武)幅—11-51-21(新民)幅, 中华人民共和国地质图说明书.

② 辽宁省第一区域地质测量队. 1971. K-51-X(康平)—K-51-X1(四平)幅, 中华人民共和国地质图说明书.

表 1 张强地区晚侏罗世以来主要构造运动期划分表

Table 1 Division of major tectonic phase since Late Jurassic in Zhangqiang

地层系统					接触关系	构造运动期
界	系	统	组或群	代号		
新生界	第四系		平原组	Q	不整合	喜马拉雅晚期
	上第三系	上新统		N ₂	不整合	燕山晚期
中生界	白垩系	下统	泉头组	K _{1q}	上超不整合	燕山晚中期
	侏罗系	上统	阜新组	J _{1f}	剥蚀	燕山早中期
			沙海组	J _{1sh}	整合 平行不整合 局部不整合	
			九佛堂组	J _{1j}	平行不整合 局部剥蚀	
			义县组	J _{1y}	不整合	
古生界	奥陶系至志留系		黄顶组	O-S		华力西期

据辽河油田、辽宁省地质矿产局区域地质调查队资料编。

2 张强地区主要构造运动期最大主应力值

2.1 声发射法测定古今最大主应力值

笔者在油田 9 口井(图 3), 27 个井段采集了岩心岩样。在凹陷西侧地表露头区 9 个地点(图 3)采选 3 个层系的岩石样品。从取出的岩样上, 按 3 个任意方向, 以摇臂钻床钻取 $\Phi 20 \times 50$ mm 试样, 每个方向至少 3 个试样, 每个测点不少于 10 个试样。将试样两端面磨平, 使其不平行度误差不超过 $5 \mu\text{m}$ 。然后将试样置入专门研制的加载装置中, 在 300 KN 液压万能试验机上加载, 以声发射仪和计算机组成的测试系统作加载下的岩石声发射测试。模拟实验证实误差通常小于 10%。测试在中国地质科学院地质力学研究所声发射实验室进行, 由丁原辰和邵兆刚分析。测样原理和方法详见丁原辰等(1991, 1994, 1996, 1997)。测量结果见表 2、3。

2.2 张强地区燕山期以来 5 期构造运动的最大主应力值

在测得不同地点、不同层系的应力值后, 用古今应力值筛分和历史应力分期法(孙宝珊等, 1996), 确定了现今最大主应力值和历史四期相应的最大主应力值。古今应力值区分主要从地表岩石的测试结果与钻孔深处岩心的测试结果对比及声发射累积数与外加压应力响应曲线上的斜率特征点识别古今应力(丁原辰等, 1994, 1996)。在筛分了现今应力数据组后, 再对测取的各个古应力值, 择属其对应的构造运动期。详细分期时遵循由新到老, 由浅到深逐时代(或运动阶段)、逐层系进行对比、分析。从测得的数据中先统计出新近时代岩石试样的测试数据, 再向时代老的岩层依次进行统计, 因为较新的岩石不可能记忆早于该时代的应力活动, 即时代愈新记忆历史应力期次愈少; 相反, 岩石愈老记忆历史应力期次就愈多。这样, 一般说来, 分别对各时代地层岩石试样做古应力测值统计, 便可确定出对应各不同构造运动期次的最大主应力值。同时参考构造运动性质、影响范围、运动的强弱变化以及不同的构造部位和岩石含流体的情

表2 科尔康油田各井段历史和现今应力最大主应力和单轴抗压强度数据表(未考虑孔隙压力)
Table 2 Stress magnitudes of current and of paleotectonic phases statistically determined from the probability of memorized maximum principal stress in the Keerkang oilfield and uniaxial compressive strength

井号	段	岩性	时代	深度 (m)	历史应力1值历史应力2值历史应力3值历史应力4值				现今应力最大主应力值		
					测值 (MPa)	构造 期	测值 (MPa)	构造 期	测值 (MPa)	σ_1 平均 值(MPa)	σ_c (MPa)
B1	1-2	灰绿色含砾细砂岩	J _{3sh}	762.3~766.5	33.9				53.5	19.1	38.2~53.5
	1-3	灰色细砂岩	J _{3sh}	827.6~832.2	33.9				108.9	19.7	86.6~108.9
B2	2-1	灰色粉砂岩	J _{3sh}	878.7~888.2	36.0				99.3	19.3	59.8~99.3
	2-2	灰绿色泥灰岩	J _{3sh}	931.1~933.5	39.5				63.7	18.5	63.7
	2-3	玄武岩	J _{3sh}	935.0~938.0	31.3				195.1	20.8	178.3~195.1
	2-4	火山角砾岩	J _{3sh}	968.6~970.7	32.2		89.2		100.6	19.5	87.5~100.6
	2-7	鞍山岩	J _{3sh}	972.8~974.6	38.8				114.6	17.5	70.0~114.6
	2-8	黑色细砂岩	J _{3jf}	1278~1280	35.5		86.4		135.6	20.8	87.2~135.6
B3	3-1	灰绿色砂岩	J _{3sh}	1042.5~1044.9	31.7				84.4	22.2	70.0~84.4
	3-2	灰绿色粉砂岩	J _{3sh}	1058.8~1062.8	34.3				70.3	24.8	66.2~70.3
	3-3	凝灰质砂岩	J _{3y}	1323.7~1325.0	34.0		90.2		156.9	22.9	89.1~156.9
B4	4-1	中基性火山角砾岩	J _{3sh}	865.5~869.3	33.1				41.8	15.1	34.1~41.8
	4-3	鞍山岩	J _{3y}	1010.9~1013.3	33.1		84.2		115.2	18.6	101.9~115.2
B5	5-6	火山岩	J _{3y}	967~968	32.2		89.6		102.9	21.6	70.3~102.9
	5-7	鞍山岩	J _{3y}	1037.6~1038.7	32.2		91.8		188.4	23.0	184.6~188.4
	5-8	鞍山岩	J _{3y}	1037.6~1038.7	32.7		89.1		189.1	25.5	102.5~189.1
	5-9	鞍山岩	J _{3y}	1037.6~1038.7	33.1		81.5		191.0	23.3	189.4~191.0
	5-10	鞍山岩	J _{3y}	1037.6~1038.7	34.6		83.9		168.1	22.7	69.3~168.1
B6	6-1	细砂岩	J _{3sh}	920~950	30.6				156.0	17.4	48.4~156.0
	6-2	细砂岩	J _{3sh}	920~950	30.6				17.4	17.4	48.4~156.0
B7	7-1	岩屑砂岩	J _{3sh}	865~866	36.2				71.9	23.3	50.9~71.9
	7-2	鞍山岩	J _{3y}	1052~1055	33.8		85.9		121.3	22.3	65.6~121.3
B8	8-1	鞍山岩	J _{3y}	894~900	32.6		83.3		128.3	19.2	56.0~128.3
	8-2	鞍山岩	J _{3y}	894~900	31.9				84.0	19.2	60.6~84.0
	8-3	鞍山岩	J _{3y}	948~950	32.6		90.1		199.1	18.6	111.7~199.1
B9	9-3	含砾砂岩	J _{3sh}	868~872	33.1				39.2	17.8	31.2~39.2

注:历史应力1值加权平均为33.4 MPa,历史应力2值加权平均为57.1 MPa,历史应力3值加权平均为87.3 MPa,历史应力4值加权平均为106.2 MPa。

B9在图3中为B4-51-49; σ_1 —最大主应力; σ_c —岩石抗压强度

表 3 张强凹陷周缘地区历史应力最大主应力测值统计分期表

Table 3 Division of paleotectonic phases statistically determined from the probability of memorized maximum principal stress in the Zhangqiang depression and its adjacent area

编号	地点	岩性	时代	历史应力 1 值			历史应力 2 值			历史应力 3 值			历史应力 4 值			单轴抗压强度 σ_c (MPa)
				测值 (MPa)	平均值 (MPa)	构造 期	测值 (MPa)	平均值 (MPa)	构造 期	测值 (MPa)	平均值 (MPa)	构造 期	测值 (MPa)	平均值 (MPa)	构造 期	
1	柳树屯西 300 m	棕色含砾 粗砂岩	K ₁	45.7 36.5 45.5	42.5		55.7 56.3 55.0	55.6								45.8~91.4
3	柳树屯乡 前鸭蛋山	灰白色晶屑 岩屑凝灰岩	J ₃ y	75.9			40.6			88.7			122.9 136.1	129.5		150.2~272.2
6	西一棵树 北采石场	黑色致密 玄武岩	N ₂	72.9												214.1~320.7
7	西一棵树 屯公路西 小山顶	黑色致密 玄武岩	N ₂	73.5												130.5~340.6
8	西一棵树 小山脚下	棕色杏仁状 玄武岩	N ₂	34.9												51.9~60.5
9	东扎气屯北 头小河边	紫红色砂岩	K ₁	73.1 74.0	73.5		55.0 55.5	55.3								110.5~172.5 128.1~183.0

况,核查测试结果和分期方案。

本区各构造运动期最大主应力值是(表 2、3):① 现今地应力最大主应力值:17.4~23.1 MPa。② 喜马拉雅晚期(N₂):油田为 33.4 MPa;油田外围地表:42.5~73.5 MPa。③ 燕山晚期(K₁末):油田为 57.1 MPa;油田外围地表:55.3~55.6 MPa。④ 燕山晚中期(J₃f末):油田为 87.3 MPa;油田外围地表:88.7 MPa。⑤ 燕山早中期(J₃内)应力值:油田为 106.2 MPa;油田外围地表:129.5 MPa。⑥ 本区油气主要成藏期最大主应力值:87.3 MPa。

3 讨论

关于义县组、九佛堂组、沙海组及阜新组地质时代,有白垩纪和晚侏罗世两种认识。笔者暂持后一观点。不论哪种划分方案,这套地层上下、内部的接触关系依旧,运动界面仍存,相对运动期次先后次序不变,因而所对应的最大主应力值不会易位。

张强地区 5 期应力数据,反映构造运动期时代越早,最大主应力值越高的特点。但这不是普遍规律,例如渤海湾地区冀东油田^①用声发射法测得 3 期最大主应力值中,新第三纪应力值高(46.20 MPa),老第三纪应力值(34.6 MPa)中等,而现今应力值低(32 MPa)。

有岩浆活动的构造期,其最大主应力值相对偏高(表 2、3)。火山岩和火山碎屑岩的测值偏高,是因为其抗压强度大,能测出其高应力,还是岩浆活动本身就反映了构造运动强烈而应力值高,需要今后大量对比研究有岩浆活动的构造期与无岩浆活动的构造期的最大主应力值。

声发射法测量的科尔康油田现今最大主应力经过孔压校正后,其数值与石油天然气总公司采油所刘建中用差应变法测定该油田的现今地应力数值^②和水压致裂应力测量结果非常相

① 孙宝珊等. 1998. 老爷庙地区断裂系统及成因研究报告. 中国地质科学院地质力学研究所.

② 刘建中等. 1986. 辽河油田应力场数值模拟及应力分布研究.

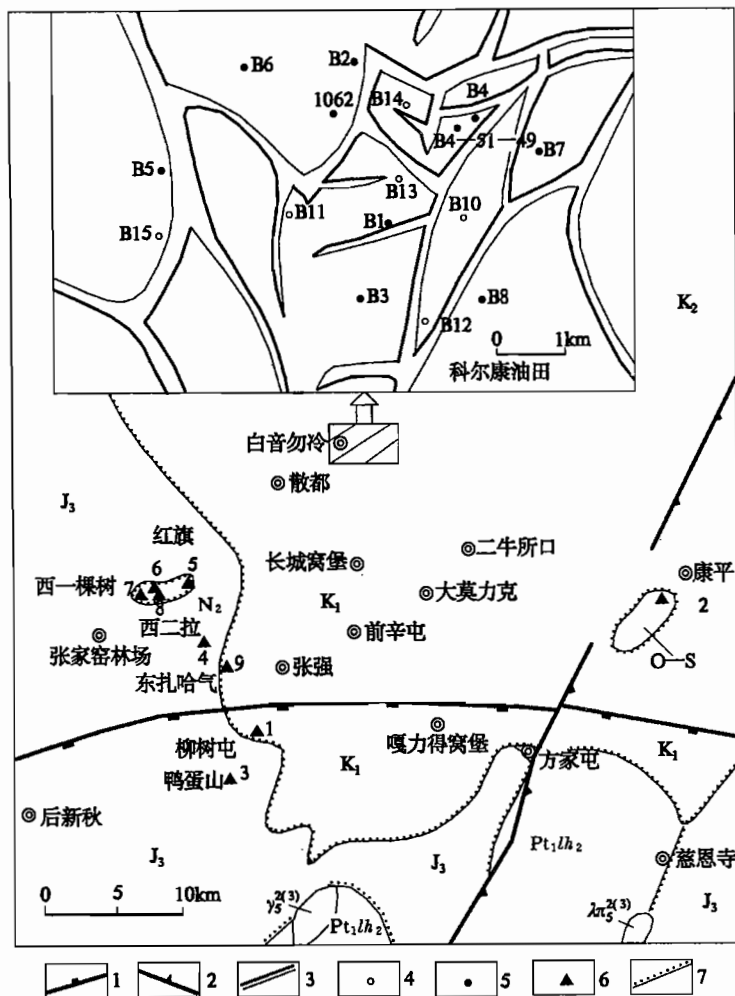


图3 张强凹陷科尔康油田
及外围声发射岩样
采集点位置图

Fig. 3 Map showing situation
of collecting sites of AE
samples in the Keerkang
oilfield of the Zhangqiang
depression and adjacent area

1—EW 向断裂; 2—新华夏系 NNE
向断裂; 3—正断层, 粗线示上盘;
4—井位; 5—声发射岩样采集井;
6—声发射岩样地表采样点; 7—不
整合线; Pt_1lh_2 —辽河群下亚群; O—
S—奥陶系志留系未分; J_3 —侏罗系
上统; K_1 —白垩系下统; N_2 —上第三
系上新统; $\gamma_5^{2(3)}$ —晚侏罗世花岗岩;
 $\lambda\pi_5^{2(3)}$ —晚侏罗世流纹斑岩

1—EW trending fault; 2—Neo-
cathaysian NNE trending fault; 3—
normal fault, heavy line shows hang-
ing wall; 4—well site; 5—well for
AE sample; 6—surface site for AE
sample; 7—unconformable bound-
ary; Pt_1lh_2 —Lower Subgroup of
Liaohe Group; O—S—Ordovician
and Silurian; J_3 —Upper Jurassic;
 K_1 —Lower Cretaceous; N_2 —
Pliocene; $\gamma_5^{2(3)}$ —late Jurassic granite;
 $\lambda\pi_5^{2(3)}$ —late Jurassic rhyolite

近(李志明, 1997; 丁原辰, 1998), 佐证了声发射法测定的应力值的可靠。

油田中含油气性好的白4井及白2井现今主应力值比其他非油气井的现今应力值偏低, 这一特点与塔北油田情况类似。看来很可能是找油预测的一种新信息。

研究中辽河油田李志明高级工程师、张金珠高级工程师、郑荣植高级工程师给予大力支持和帮助, 文中图件由地质力学所图文设计中心李耀辉工程师绘制, 在此致以谢意。

参 考 文 献

- 邓俊国, 刘泽容. 1993. 油气藏成藏期构造应力场与油气聚集. 地质论评, 39(4): 336~342.
- 丁原辰, 张大伦. 1991. 声发射抹录不净现象及其在地应力测量中的应用. 岩石力学与工程学报, 10(4): 321~326.
- 丁原辰, 王红才, 汪西海. 1994. 声发射估计岩石古应力的实验研究. 地质力学与地壳运动——地质力学开放研究实验室 1991—1992 年报. 北京: 地震出版社, 43~55.
- 丁原辰, 孙宝珊, 邵兆刚, 周新桂, 汪西海. 1996. 塔里木盆地北部油田古应力的 AE 法测量. 地质力学学报, 2(2): 18~25.
- 丁原辰, 任希飞, 邵兆刚. 1997. 以三轴三期模拟应力检验 AE 法测古应力可行性. 中国第七届声发射学术研讨会论文集, 156~164.
- 丁原辰, 孙宝珊. 1998. AE 法油田最大主应力值的测量及其与油产关系. 岩石力学与工程学报, 17(3): 315~321.
- 傅强, 王家林, 周祖翼. 1999. 利用岩矿记忆信息恢复基岩潜山裂缝储层形成的机制. 地质论评, 45(4): 434~438.

- 侯贵廷, 张臣, 钱祥麟, 张宝兴. 1998. 华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场. 地质论评, 44(3): 309~314.
- 李四光. 1973. 地质力学概论. 北京: 科学出版社, 41~71.
- 李四光. 1976. 地质力学方法. 北京: 科学出版社, 173.
- 李志明, 张金珠等. 1997. 地应力与油气勘探开发. 北京: 石油工业出版社, 198~200.
- 刘建中, 张金珠, 张雪等. 1993. 油田应力测量. 北京: 地震出版社, 147.
- 乐光禹. 1985. 共轭雁行节理系的应力分析. 地质论评, 31(3): 217~223.
- 秦勇, 张德民, 傅雪海, 林大洋, 叶建平, 徐志斌. 1999. 山西沁水盆地中、南部现代构造应力场与煤储层物性关系之探讨. 地质论评, 45(6): 576~583.
- 曲国胜, 周永胜, 徐杰, 肖晓辉, 朱雯芳. 1997. 张强凹陷及邻区的构造应力分析. 地震地质, 19(4): 342~347.
- 沈淑敏. 1980. 南岭正弦状山字型构造应力场的初步分析及模拟实验. 地质学报, 54(3): 186~194.
- 孙宝珊, 丁原辰, 汪西海, 邵兆刚, 周新桂. 1996. 声发射法测量古今应力在油田的应用. 地质力学学报, 2(2): 11~17.
- 陶明信. 1992. 新疆乌鲁木齐—乌苏地区中、新生代构造应力场特征. 地质学报, 66(3): 206~218.
- 万天丰. 1993. 中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用. 北京: 地质出版社, 1~2.
- 万天丰, 朱鸿. 1989. 中国白垩纪—始新世早期构造应力场. 地质学报, 63(1): 14~25.
- 武红岭. 1999. 张性结构面的力学性质与主应力关系解析. 地质论评, 45(5): 449~455.
- 武红岭, 王连捷. 1990. 山字型构造体系的粘弹性应力应变分析. 地质论评, 36(3): 193~199.
- 杨武年, 朱章森. 1997. 遥感信息场分层解析与构造应力场定量研究. 地质学报, 71(1): 86~96.
- 曾秋生. 1990. 中国地壳应力状态. 北京: 地震出版社, 30.

A Measurement of Maximum Principal Stresses of Main Tectonic Phases in the Zhangqiang Area, Northern Liaoning Province Since the Yanshanian Movement

Sun Baoshan¹⁾ Ding Yuanchen¹⁾ Ren Xifei¹⁾ Shao Zhaogang¹⁾ Zhou Xingui¹⁾ Ren Desheng²⁾

1) Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081; 2) Institute of Geostress, Academy of Engineering Technology, Liaohe Bureau of Petroleum Prospecting, Panjin, Liaoning, 124010

Abstract

The Zhangqiang area has undergone 4 tectonic phases since the Late Jurassic: the early Middle, late Middle and Late phases of the Yanshanian, and the late phase of the Himalayan. By using the AE method, the authors have measured the corresponding maximum principal stress values of the 4 phases, which are 106.2 MPa, 87.3 MPa, 57.1 MPa and 33.4 MPa, respectively. Meanwhile, it has been determined that the present-day maximum principal stresses range between 17.4 to 23.3 MPa. It is also found that the values of palaeostress are larger for the tectonic phases accompanied by magmatic activities, while those of the present-day stress are smaller for oil-bearing structures and oil producing wells in the oil fields. The maximum principal stress occurring in the formation phase of petroleum accumulation in the area is 87.3 MPa.

Key words: tectonic phase; AE; geostress measurement; palaeotectonic field

作者简介

孙宝珊,男,1937年生。1961年毕业于长春地质学院。现任中国地质科学院地质力学研究所研究员。长期从事地质力学、油田地质构造、构造应力场、断裂封闭性研究。通讯地址: 100081,北京市海淀区民族大学南路11号,地质力学研究所。