

羌塘盆地构造应力场初步分析

黄继钧, 李亚林

(成都理工大学地球科学学院, 成都 610059)

摘要: 地处青藏高原腹地的羌塘盆地构造以 EW 向褶皱和逆(冲)断层及 NW 向、NE 向平移断层为主, 偶见 NW 向、NE 向褶皱和近 SN 向正断层。据构造组合分析、构造解析研究、数理计算及有限单元法模拟, 盆地构造变形应力场最大主应力方位以近 SN 向为主, 伴有 NW—SE 向、NE—SW 向和近 EW 向。表明自印支运动以来长期处于 SN 向强烈挤压, 伴随间歇性(或派生) NE—SW、NW—SE 和近 EW 向挤压。

关键词: 青藏高原; 羌塘盆地; 构造应力场

中图分类号: O241.82, TE121.2

文献标识码: A

1 羌塘盆地构造格架

羌塘盆地位于青藏高原腹地羌塘—昌都地块中西段, 其北以拉竹龙—金沙江缝合带为界与可可西里—巴颜喀拉地块毗邻; 其南以班公湖—怒江缝合带为界与拉萨地块毗邻^[1]。盆地基底由元古宙变质岩系组成, 盖层由中泥盆统一第三系构成。盆地内可划分为中部隆起、羌南坳陷和羌北坳陷三个一级构造单元。隆起和坳陷内被次一级凸起和凹陷复杂化^[2]。盆地内褶皱和断裂构造较发育。褶皱以 EW 向为主, 偶见 NW 向、NE 向和近 SN 向; 断层以 NWW—近 EW 向逆(冲)断层、NW—SE 向、NE—SW 向平移断层为主及少数 SN 向正断层。羌北坳陷基底具三凸四凹特征, 盖层构造具明显的 EW 向分带性, 自北而南可划分为北部边缘逆冲推覆断褶带、北部复背斜带、中部复向斜带、南部复背斜带, 南部边缘逆冲推覆断褶带^[3]。

2 盆地构造应力场特征

地壳上现今构造形迹都是地质历史时期构造运动的产物和历次构造运动的综合反映, 其本身的几何特征、力学性质、组合规律反映了形成时的构造应力场的特征。

2.1 盆地褶皱构造反映的应力场

盆地褶皱按其方向绝大多数为 NWW—近 EW 向, 偶见 NE 向、NW 向和近 SN 向。根据野

收稿日期: 2005-03-25

基金项目: “藏北沱沱河地区新生代伸展构造特征与长江源水系的形成”项目(40202022)资助。

作者简介: 黄继钧(1940-), 男, 教授, 从事构造变形、构造应力场及控岩控矿理论研究。

外实测两翼产状 $\omega_1 < Q_1$ 、 $\omega_2 < Q_2$ (ω 为倾向、 Q 为倾角), 利用赤平投影和公式^[4-6]求出褶皱形成时应力状态。其中 σ_1 方向为近 SN 向、倾角近水平, 偶见 NW—SE 向、NE—SW 向和近 EW 向; σ_2 近水平, σ_3 近直立 (图 1)。显示运动轴直立, 为纵弯褶皱。

根据盆地褶皱两翼岩层面产状及层面上擦痕产状 (侧伏向和侧伏角) 利用赤平投影求得褶皱形成时应力状态, σ_1 方向同样近于 SN 向、倾角近水平 (图 1)。

根据全盆地褶皱反演形成时的应力状态产状经电算结果表明, σ_1 的方位主要为 NNE—近 SN 向, 且接近水平; σ_2 方向主要为 NWW—近 EW 向, 基本上也接近水平; σ_3 基本直立。这表明盆地主变形期以 NNE—近 SN 向水平挤压为主。SN 向发生收缩应变, EW 向伸长, 褶皱运动轴直立向上, 为纵弯褶皱。

2.2 盆地断层反映的应力场

盆地内断层较发育, 主要为 EW 向逆 (冲) 断层, NW 向、NE 向平移断层和少数近 SN 向正断层。断层经历多次活动, 每次活动都将对断层本身的形态特征、力学性质进行一次改造, 并在断裂破碎带及两侧围岩中留下相应的构造痕迹。

根据野外观测收集到的断层产状、断裂破碎带的断层角砾、构造透镜体 [AB] 面产状、断层上下盘岩石中派生构造 (裂隙、牵引褶皱及断面擦痕) 产状用赤平投影求得断层形成时或重新活动时应力状态 (表 1), 表明盆地主要经受过 NNW 向、近 SN 向及 NNE 向水平挤压, 偶有近 EW 向挤压 (图 2)。这与由褶皱求得的应力状态一致。

现场调查盆地断层面上常见两组擦痕, I 组近于上冲, 向南西侧伏, 侧伏角 80° , 反映 σ_1 为 $160^\circ \angle 20^\circ$, II 组向 280° 方向侧伏, 侧伏角 10° , 示上冲反扭, 反映 σ_1 为 $40^\circ \angle 12^\circ$ 。I 组被 II 组掩盖, 表明 NW—SE 向挤压早于 NE—SW 向挤压。

2.3 盆地节理反映的应力场

盆地拗陷中节理较发育, 经地层复平后, 按倾向和倾角可分为 8 组分别用 I、II、III、IV 代表 (表 2)。并根据切割关系充填物特征、发育程度、力学性质及两盘运动特征, 分期配套为 4 组压扭性共轭 “X” 节理。其成生或重新活动顺序为 [II—III 和 I—II] $\rightarrow$ [III—IV] $\rightarrow$ [II—IV] $\rightarrow$ [I—IV]。

根据共轭 “X” 节理优势产状 $\omega_1 < Q_1$ 、 $\omega_2 < Q_2$ (ω 为节理倾向、 Q 为节理倾角) 用赤平投影方法和公式^[4-6]求得主应力方位分别为近 SN 向、NW—SE 向、NE—SW 向和近 EW 向 (表 2), 盆地拗陷中三叠系肖茶卡组、侏罗系、第三系康托组、喷呐湖组之间为角度不整合接触, 各构造层组中节理发育情况基本一致, 表明盆地内不同时代变形时受力状况基本一致, 这进一步说明羌塘盆地主变形期为燕山、喜山期。

3 羌塘盆地主变形期构造应力场反演

3.1 羌塘盆地主变形期边界条件

羌塘盆地主变形期为燕山晚期—喜山中期。此期间羌塘盆地北以拉竹龙—金沙江缝合带与可可西里—巴颜喀拉地块毗邻, 南以班公湖—怒江缝合带与刚底斯—念青唐古拉地块 (拉萨地块) 毗邻, 处于南北刚性地块夹持之下。其内部具隆拗、和 NE 向、NW 向和 EW 向断层切割。

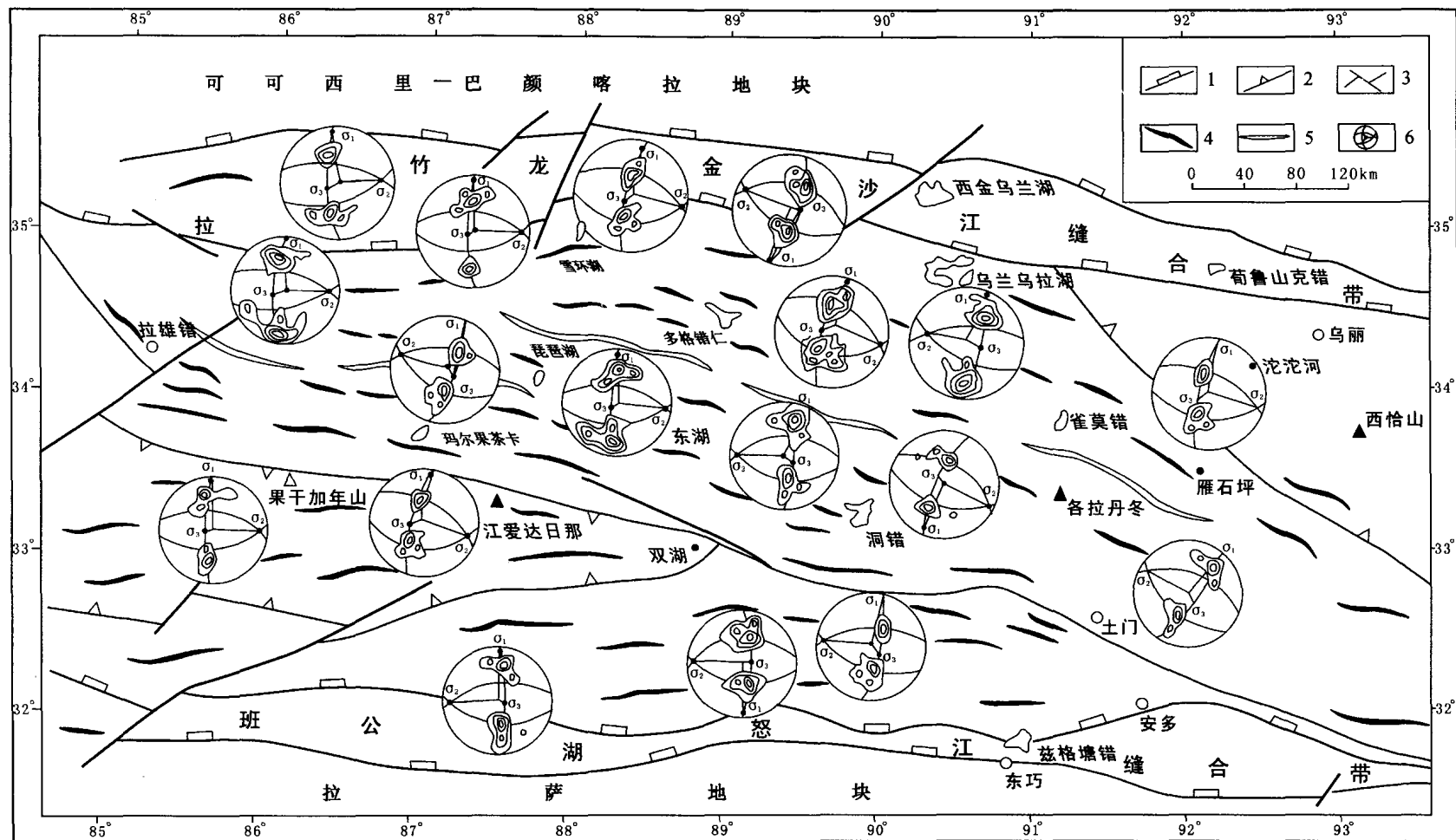


图1 羌塘盆地褶皱展布及应力场

Fig.1 Distribution of folds and stress field in the Qiangtang basin

1. 缝合带及盆地边界断裂带；2. 盆地构造单元边界断层；3. 主要断层；4. 背斜轴；5. 复向斜轴；6. 褶皱赤平投影及应力状况

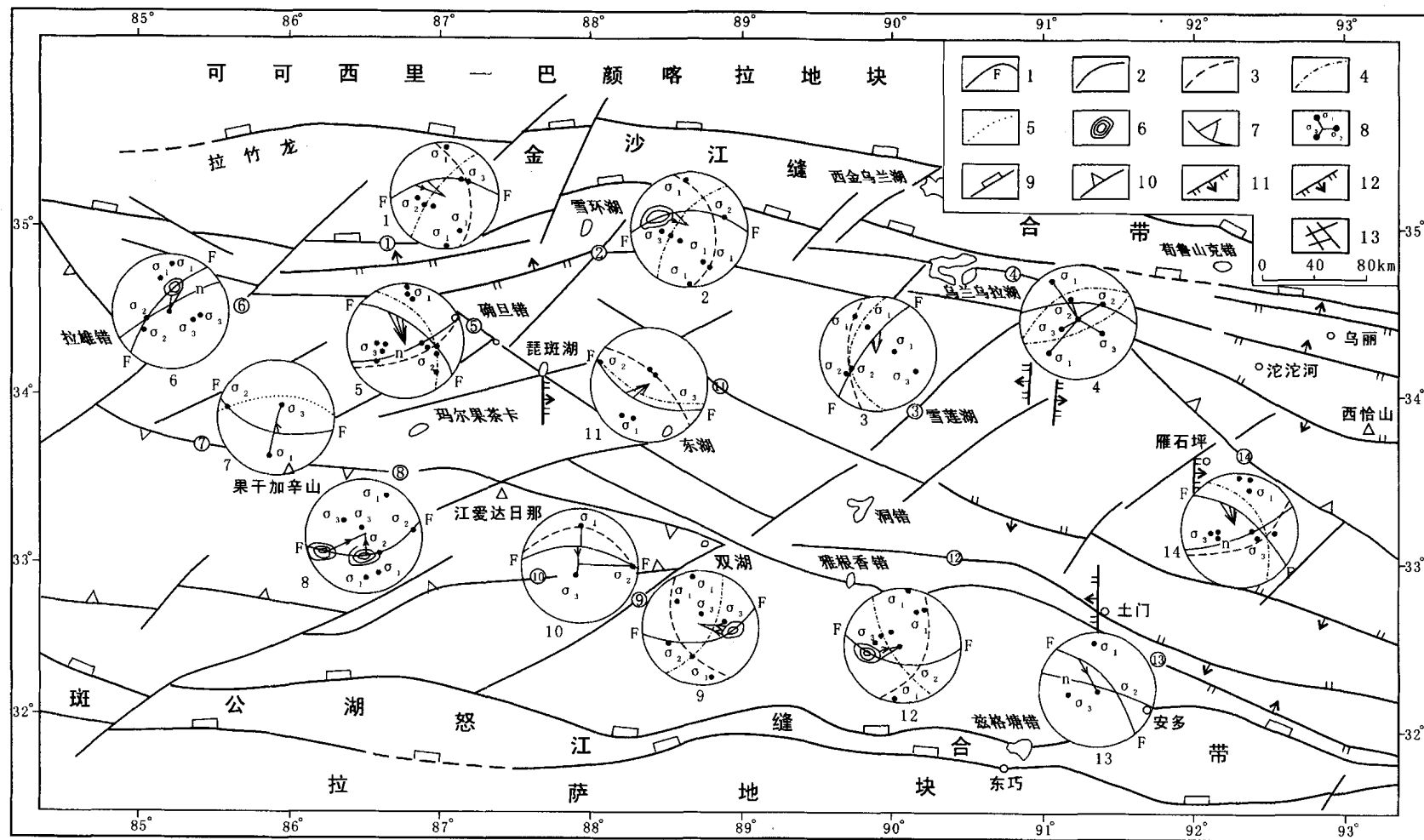


图2 羌塘盆地主要断层及应力场

Fig.2 Distribution of main faults and stress field in the Qiangtang basin

1. 断层投影; 2. 破碎带构造透体 (AB) 面投影; 3. 断裂派生张裂隙投影; 4. 断裂派生叶理、劈理投影; 5. 断裂牵引曲面投影; 6. 断面擦痕产状投影;
7. 断层上盘运动方向; 8. 断裂反映的应力状态; 9. 缝合带及盆地边界断裂; 10. 盆地内隆起边界断裂; 11. 逆断层; 12. 正断层; 13. 平移断层

表 1 羌塘盆地部分断层反映的应力状态

Table 1 Stress state reflected by some faults in the Qiangtang basin

断层 名称	透镜体				擦 痕				上下盘裂隙				叶理、劈理				牵引褶皱						
	运动 方向	应力状态			运动 方向	应力状态			运动 方向	应力状态			运动 方向	应力状态			运动 方向	应力状态					
		σ_1	σ_2	σ_3		σ_1	σ_2	σ_3		σ_1	σ_2	σ_3		σ_1	σ_2	σ_3		σ_1	σ_2	σ_3			
黑虎河断层	70° 40°	228° 10°	130° 27°	347° 70°									20° 50°	200° 20°	290° 1°	70° 20°							
长龙河断层	175° 45°	5° 15°	110° 20°	240° 60°									50° 45°	220° 18°	125° 15°	35° 70°							
长蛇山断层	150° 20°	355° 8°	95° 55°	255° 30°																			
向阳湖断层	340° 50°	160° 20°	248° 1°	340° 70°	355° 50°	160° 20°	65° 8°	320° 70°	290° 40°	205° 1°	112° 40°	295° 50°											
					65° 5°	40° 12°	145° 50°	300° 35°		160° 1°	70° 1°	直立											
										275° 30°	310° 20°	210° 35°	60° 50°										
长方湖断层									55° 32°	220° 8°	125° 40°	310° 50°											
									360° 55°	180° 20°	90° 5°	240° 70°											
									45° 40°	205° 13°	112° 35°	330° 60°											
白龙冰河断层													250° 15°	235° 5°	328° 40°	145° 45°							
甜水河断层													225° 30°	250° 12°	122° 23°	355° 50°							
													275° 60°	230° 31°	140° 51°	350° 33°							
独泉池断层	42° 20°	250° 80°	360° 70°	160° 18°					55° 60°	270° 36°	32° 30°	150° 40°											
									28° 30°	2° 12°	105° 75°	275° 60°											
									227° 25°	254° 13°	160° 25°	9° 61°											
独雪山河口断层													157° 55°	340° 25°	79° 15°	192° 81°							
大熊湖西岸断层	235° 30°	35° 12°	32° 35°	145° 55°																			
长梁山北断层																	163° 9°	72° 29°	263° 60°				
																	165° 20°	68° 31°	280° 40°				
祖尔肯乌拉山 东麓断层	105° 50°	45° 25°	150° 30°	285° 50°					30° 50°	55° 30°	175° 35°	305° 45°											
									255° 75°	93° 20°	185° 5°	310° 70°											
沱沱河断层					330° 60°	125° 35°	10° 30°	250° 40°	96° 75°	165° 85°	5° 3°	275° 20°											
雅晓断层	150° 38°	5° 20°	105° 32°	245° 50°					170° 60°	205° 10°	115° 20°	320° 70°					160° 45°	202° 20°	100° 25°	327° 55°			

(分子代表主应力方位角, 分母代表主应力倾角)

表 2 羌塘盆地节理反映的应力场

Table 2 Stress state reflected by joints of the Qiangtang basin

期 次		节理配套	应 力 状 态		
			σ_1	σ_2	σ_3
Ⅳ		I ₁ —Ⅳ ₁	113°∠15°	275°∠75°	20°∠3°
		I ₂ —Ⅳ ₂	280°∠15°	105°∠65°	14°∠3°
Ⅲ		Ⅱ ₁ —Ⅳ ₁	235°∠40°	62°∠50°	327°∠5°
		Ⅱ ₂ —Ⅳ ₂	56°∠40°	235°∠50°	330°∠3°
Ⅱ		Ⅲ ₁ —Ⅳ ₁	120°∠10°	285°∠80°	30°∠5°
		Ⅲ ₂ —Ⅳ ₂	295°∠20°	122°∠70°	25°∠5°
Ⅰ	I ₂	I ₁ —Ⅱ ₁	358°∠20°	179°∠70°	88°∠20°
		I ₂ —Ⅱ ₂	179°∠15°	5°∠75°	267°∠5°
	I ₁	Ⅱ ₁ —Ⅲ ₁	19°∠20°	190°∠70°	285°∠3°
		Ⅱ ₂ —Ⅲ ₂	190°∠20°	8°∠70°	280°∠1°

(分子代表主应力方位角、分母代表主应力倾角)

由前面构造研究得知，羌塘盆地主变形期主要受由南向北的主动挤压及北部被动阻挡，整体处于 SN 向挤压环境。

3.2 羌塘盆地主变形期最大主应力 (σ_1)、最大剪应力 ($\tau_{\max}$) 和应变能 (ω)

在计算羌塘盆地主变形期应力场过程中，平面有限元计算外加力只考虑构造力，即 SN 向挤压力。设主变形期盆地南面边界受力 $P = 50\text{MPa}$ ，并取砂岩弹性模量 (据陶振宇，1976) 为 $2 \times 10^4\text{MPa}$ ，泊松比为 0.38；灰岩弹性模量为 $4 \times 10^4\text{MPa}$ ，泊松比为 0.26；断层岩弹性模量为 $7 \times 10^2\text{MPa}$ ，泊松比为 0.30。将断层作为盆地内部变形边界。求得，最大主应力 σ_1 最大剪应力 $\tau_{\max}$ 及应变能 ω 分别如图 3、图 4、图 5 所示。

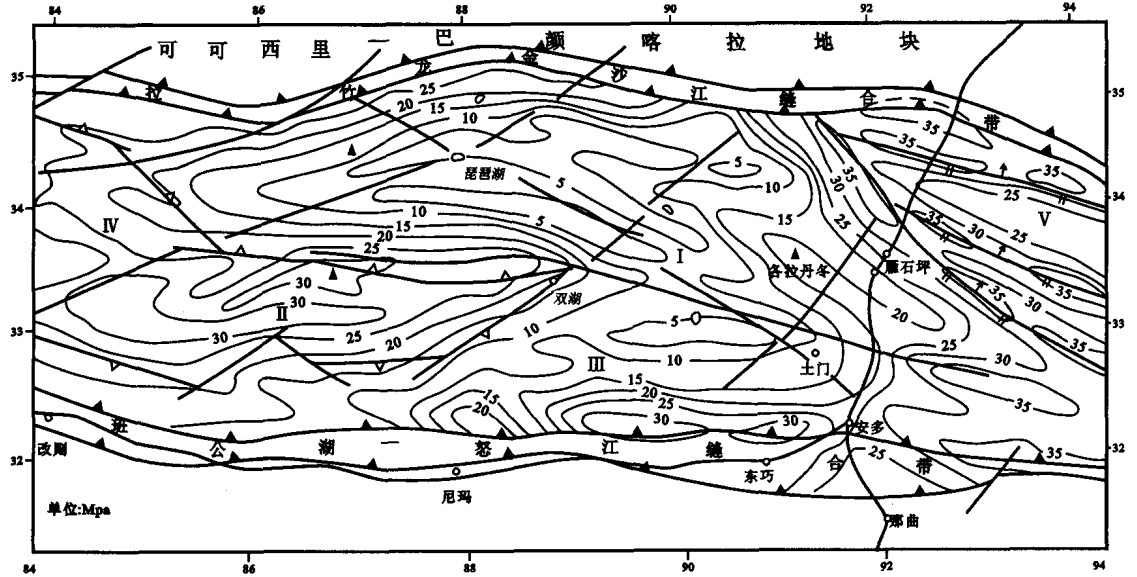


图 3 羌塘盆地主变形期 σ_1 等值线图

Fig.3 Contours of σ_1 during the main deformation period in the Qiangtang basin

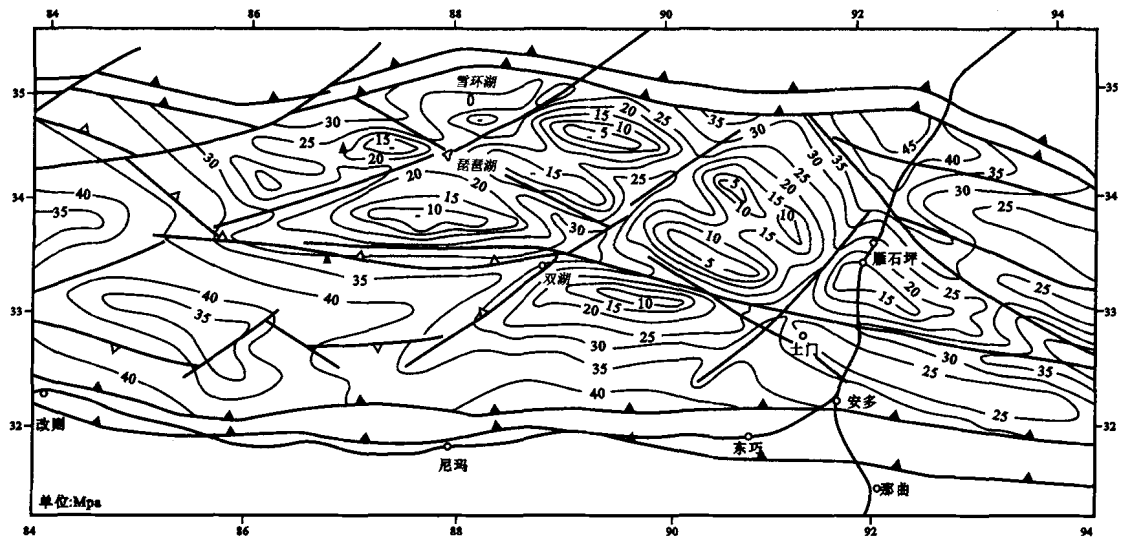


图 4 羌塘盆地主变形期 $\tau_{\max}$ 等值线图

Fig.4 Contours of $\tau_{\max}$ during the main deformation period in the Qiangtang basin

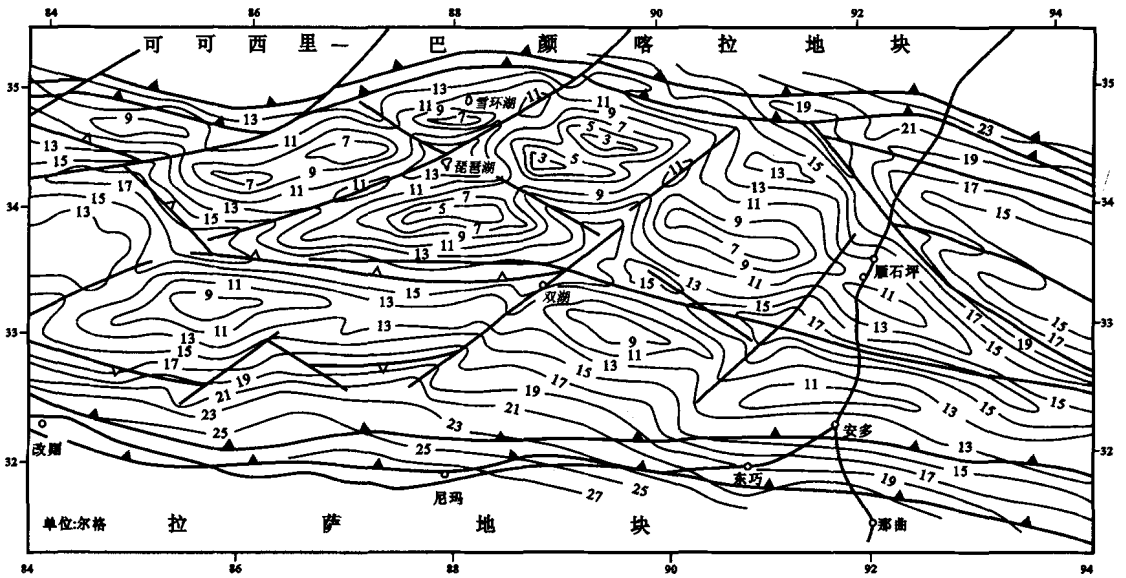


图 5 羌塘盆地主变形期应变能 (ω) 等值线图

Fig.5 Contours of ω during the main deformation period in the Qiangtang Basin

由图 3 可见，盆地主变形期最大主应力等值线沿 EW 向呈带状展布，隆起区主应力值大于拗陷压；拗陷区边缘主应力大于内部。在北羌塘拗陷白滩湖—多格错仁一带，甜水河—确旦错—诺拉岗日一带，雪源湖—黑砂石沟—东湖一带为低值区。南羌塘拗陷毕洛错—雅根香一带为低值区，这与前面所讨论的盆地变形改造强度区划相一致。

由图 4 可见盆地主变形期最大剪应力 $\tau_{\max}$ 等值线展布较复杂，北羌塘拗陷南北边缘 $\tau_{\max}$ 等值线呈 EW 向展布。在拗陷区总体显示为若干菱形低值区被 NE 向和 NW 向狭长线状高值区分隔，在吐波错、多色岭、白滩湖、东湖、双泉湖—黑砂石沟及温泉等区域为低值区，沿 NW 向和 NE 向断裂带为狭长线状高值带。在南羌塘拗陷总体近 EW 向展布，总体显示南高

北低, 同样, 毕洛错—雅根香错一带近 EW 向低值区。

由图 5 可见羌塘盆地主变形期应变能等值线总体呈现 EW 向带状分布。盆地南北边界及内部一级构造单元边界地带应变能较高。北羌塘坳陷内部主变形期应变能展布比较复杂, 在 EW 向带状分布的总背景之中, 出现多个被狭长线状高等值线带分隔的近菱形的低应变能等值线分布区域。黑砂石沟、白滩湖、玉瓶湖等地为最低值区域; 错尼—吐波错、多色岭、甜水河、劳日特错—错居日等地为次低值区; 南羌塘坳陷中部毕洛错—雅根香错一带应变能也较低。低应变能地区变形相对弱, 环境稳定 (安静), 有利油气储积。

参 考 文 献

- [1] 马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 青藏高原三维变形运动学的时段划分和新构造分区 [J]. 地质学报, 1998, 72 (3): 212 ~ 227.
- [2] 黄继钧. 羌塘盆地基底构造特征 [J]. 地质学报, 2001, 75 (3): 333 ~ 337.
- [3] 黄继钧, 伊海生, 林金辉. 羌塘盆地构造特征及油气远景初步分析 [J]. 地质科学, 2004, 39 (1): 1 ~ 10.
- [4] 刘肇昌. 地质构造分析中的数学计算 [J]. 地球学报, 1986 (2): 37 ~ 43.
- [5] 黄继钧. 纵弯叠加褶皱地区应力场研究 [J]. 地质科学, 2000, 35 (2): 140 ~ 150.
- [6] 黄继钧. 广西凤凰山银矿区构造应力场、应变场分析 [J]. 地质力学学报, 2001, 7 (1): 9 ~ 22.

ANALYSIS OF THE STRUCTURAL STRESS FIELD OF THE QIANGTANG BASIN

HUANG Ji-jun, LI Ya-lin

(Department of Geology, Chengdu university of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: EW-trending folds and reversed (thrust) faults and NW- and NE-trending strike-slip faults predominate in the Qiangtang basin in the interior of the Qinghai-Tibetan Plateau, and occasionally NW- and NE-trending folds and nearly N-S-trending normal faults may be found. Based on the structural combination analysis, structural analysis, mathematical calculation and finite element modeling, it is revealed that the orientation of the maximal principal stress of the structurally deformed stress field in the basin is nearly north-south, with attendant NW—SE, NE—SE and nearly E—W orientations, which indicates that the basin has long undergone N—S strong compression since the Indosinian movement, accompanied by intermittent (or derivative) NE—SW, NE—SE and nearly E—W compression.

Key words: Qinghai-Tibetan Plateau; Qiangtang basin; tectonic stress field; finite element method