

# 羌塘盆地岩石有限应变及地壳缩短分析

黄继钧<sup>1)</sup>, 李亚林<sup>2)</sup>

1) 成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059; 2) 中国地质大学(北京)青藏高原地质研究中心, 北京, 100083

**内容提要:**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。盆地自印支期以来长期处于SN向强烈挤压, 其岩石应变特征显示SN向缩短, EW向伸展, 并具继承性、递进性应变, 及由盆地周边造山带向盆地腹部岩石应变强度递减的趋势。盆地自印支运动以来SN向地壳缩短具递减性, 地壳缩短率分别为上三叠统为38%、侏罗系为24%~26.3%, 第三系为17.47%~19.2%。

**关键词:** 青藏高原; 羌塘盆地; 岩石有限应变; 地壳缩短

物体本身形状或大小的变化称物体的畸变。度量畸变程度的量叫应变。物体发生畸变时, 物体内各质点的相对位置发生了变化。

应变分线应变和剪应变。当伸长度和剪应变无限小地接近零时, 称无限小应变, 而当伸长度和剪应变超过一定数值时, 则称为有限应变(郑亚东等, 1985)。

岩石的变形程度通常用岩石的应变来度量。岩石有限应变测量就是利用岩石中某些标志体(如化石、鲕粒、矿物颗粒等)的形态、分布和物性来确定岩石的应变状态。岩石有限应变测量有助于认识岩石中构造的形成机制, 通过应变测量可以确立岩石中的应变状态, 从而帮助我们了解岩石中许多构造的性质和形成机制。有助于恢复岩石变形前的形态。许多岩石的沉积特征(磨圆度、分选性、择优取向及厚度等)是恢复古地理环境, 分析大地构造性质的重要依据。然而变形后的岩石状态, 如厚度, 往往不同于原始厚度, 有些地方加厚, 有些部位变薄, 如果不能恢复其原来的面貌就难以作出中肯的分析。有限应变测量有助于我们了解这些原始特征; 区域性的系统应变测量可以建立区域的应力场, 这不仅有助于查明大地构造环境, 而且还可以进行某些定量计算, 如造山带的地壳缩短量、剪切带的剪切位移量等。所以, 岩石有限应变测量是现代构造地质研究中不可缺少的组成部分(黄继钧等, 2000)。

岩石变形总要经历一定过程, 从始态至终态经

过一系列变形阶段。变形的全过程称为递进或递进变形。递进变形可视为岩石的初始状态依次叠加上无数无限小增量应变而组成。递进变形总的结果产生一总应变或全量应变。全量应变为一有限小应变, 即有限应变。所谓大应变变形就是指的有限应变。构造地质学上研究的变形就是大应变变形(大于1%~3%)。

## 1 羌塘盆地构造基本特征

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。盆地基底由元古代变质岩系组成, 盖层由中泥盆统——第三系组成。盆地内可划分为中部隆起、羌南拗陷和羌北拗陷三个一级构造单元。隆起和拗陷内被次一级凸起和凹陷复杂化。盆地内褶皱和断层较发育, 褶皱以EW向为主, 偶见NW向、NE向; 断层有EW向逆(冲)断层、NW向、NE向平移断层和近SN向正断层。羌北拗陷基底具三凸四凹特征, 盖层构造具明显的分带性, 自北而南可划分为北缘逆冲推覆断褶带, 北部复背斜带、中部复向斜带、南部复背斜带、南缘逆冲推覆断褶带(Huang Jijun, 2000)(图3)。

## 2 盆地有限应变测量

岩石有限应变测量方法虽然很多, 但都是建立

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40672086)资助的成果。

收稿日期: 2006-11-22; 改回日期: 2007-04-13; 责任编辑: 郝梓国。

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

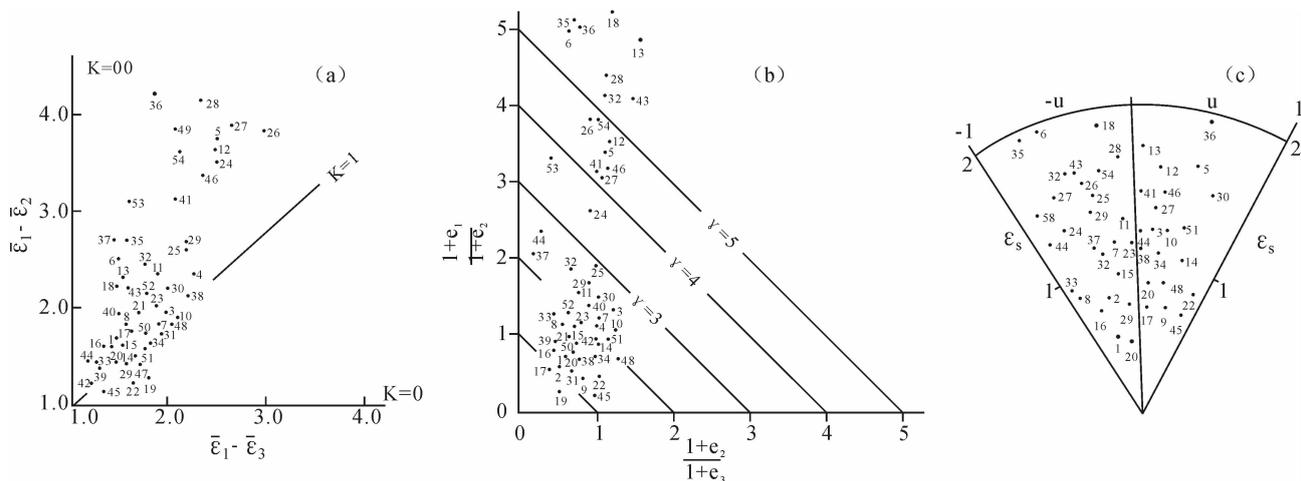


图1 羌塘盆地及邻区岩石有限应变轴率弗林图(a)、应变强度等值线图(b)、Nadei-Hossack图(c)

Fig. 1 Flinn diagrams of finite strain of the Qiangtang Basin and its adjacent area (a) isogram of deformation intensity (b) and Nadei-Hossack(c)

在平面二维分析基础上的。本文采用 Fry 于 1979 年提出的方法对盆地岩石有限应变进行了研究。

Fry 法假设前提是要求标志体中心变形前的分布统计上为各向同性。岩石在测量范围内是均匀的。那么以任何一点为中心,与其他各标志体中心间的距离在各方向上的相应点都是相等的。这样,标志体中心的分布如同无数半径不同的共心球体。变形后,这一共心球系变成共心椭球系,标志体中心位置的分布变为各向异性,沿 X 方向加长,沿 Y 方向缩短。

由于岩石变形前整体上是各向同性,细部是各向异性,因为具体到某一标志体中心周围时,在一定半径上有些方向有颗粒中心,有些方向则无。因而这些标志体的分布是一些星散点,而不是一连续圆。变形后也就不能构成连续椭圆。如果考虑到岩石统计上是均匀的,就可把不同具体点的资料加起来,就能构成或近于构成一连续的圆或椭圆。只考虑相邻点时,只能构成一椭圆;如果考虑不同距离上的周围点,则构成一同心椭圆系。

三维应变测量是在二维应变测量基础上进行的。将各点三个互相垂直面所得的应变椭圆有关参数、侧伏角及测面产状输入计算机进行高斯消去法解方程,求出应变椭球有关参数。

20 世纪 90 年代中后期在对羌塘盆地进行石油地质调查过程中,在不同构造部位较系统地采集了碎屑岩及鲕粒灰岩定向标本。在室内将标本切成三个互相垂直的定向薄片。对每一薄片作显微照像,对碎屑颗粒或灰岩中鲕粒进行统计,运用计算机进行处理、绘制 Fry 图,求出每个切片二维应变参数。

根据二维应变参数求出应变椭球有关参数:主应变轴  $1+e_x, 1+e_y, 1+e_z$  的大小和方向,椭球体中轴与长轴比  $a$ 、短轴与中轴比  $b$ ,自然应变之差  $\ln a = \bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2, \ln b = \bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3$ ,弗林指数  $K$ ,应变强度  $\gamma$ ,对数参数  $v$  (lode),剪应变强度  $v_0$ ,压缩百分比  $c$ 。

$$\text{其中: } a = \frac{1+e_1}{1+e_2}$$

$$b = \frac{1+e_3}{1+e_2}, k = \frac{a-1}{b-1}, \bar{\epsilon} = \frac{\sqrt{3}}{2} v_0,$$

$$v = a + b - 1,$$

$$v_0 = \frac{2}{3} \sqrt{(\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2)^2 + (\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3)^2 + (\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_3)^2}$$

根据所得各参数作出应变轴率弗林图(图 1a),应变强度等值线图(图 1b),Nadei-Hossack 图解(图 1c),构造应变型式图(图 2)等。

## 3 应变分析

### 3.1 有限应变型式及分析

应变型式是指在一定区域范围内的应变图式。对应于一定的构造变形样式,必然存在相应的天然应变型式。

图 2 是在具代表性测点上进行三维有限应变测量基础上采用赤平投影方法作出的盆地应变型式图,其特征如下:

(1) 应变椭球的三个主应变轴方位随构造部位不同而发生有规律地变化。X 轴总体为近东西向、个别地区为北东向和北西向。基本上与盆地褶皱轴和主构造线方向平行;Z 轴方向基本上为近 SN 向,



与盆地应力场特征吻合。

(2) 盆地隆起区主要为三轴长椭球, K 值偏大(中部隆起 K 值 3.14~4.7, 平均 3.96, 东部开心岭一带 K 值最小为 0.98(一个测点), 最高为 5.52, 平均 3.8); 北羌塘拗陷总体接近平面应变, K 值在 0.9~3.3, 平均 2.1。不同构造单元应变型式又略有差别: 北缘逆冲推覆带 K 值 0.98~4.88, 平均 1.92; 北部复背斜带 K 值 0.45~4.5, 平均 2.5; 中部复向斜带 K 值 0.89~3.2, 平均 1.56; 南部复背斜带 K 值 0.93~3.3, 平均 2.21; 南缘逆冲推覆带 K 值 2.7~3.3, 平均 3。表明复背斜带和逆冲推覆带应变型式更偏向三轴应变长椭球。中部复向斜带更接近平面应变。南羌塘拗陷相对北羌塘拗陷三轴应变长椭球体明显, K 值平均为 3.68。

(3) 盆地周边造山带应变型式为较明显的三轴长椭球体: 拉竹龙—金沙江缝合带 K 值 4.7~7.88, 平均 6.56; 班公湖—怒江缝合带只有一个测点, K 值为 4.5; 拉萨地块也只有一个测点, K 值 5.52; 可可西里—巴颜喀拉地块 K 值 0.66~6.74, 平均 3.5。

(4) 不同构造层应变状态基本相似, 多以三轴长椭球为主, 为伸长型应变。

### 3.2 应变强度

从已获得的岩石应变数据分析, 羌塘盆地及邻区岩石应变强度具如下特征:

(1) 盆地较周边造山带应变弱: 拉竹龙—金沙江缝合带应变强度  $\gamma$  平均为 6.93; 班公湖—怒江缝合带和拉萨地块仅一个测点, 应变强度  $\gamma$  分别为 4.2 和 5.29; 可可西里—巴颜喀拉地块应变强度  $\gamma$  平均为 2.75; 羌塘盆地应变强度  $\gamma$  平均 2.28。

(2) 羌塘盆地内部不同构造单元应变强度不同, 总体显示为隆起区强度较拗陷区大; 中部隆起  $\gamma$  值 2.5~4.7, 平均 3.48; 东部开心岭一带  $\gamma$  值 1.79~5.29, 平均 3.99。拗陷区(南北拗陷)平均值 1.08~4.9, 平均 2.05。其中南羌塘拗陷应变( $\gamma$  平均为 4.04)较北羌塘拗陷应变( $\gamma$  平均 1.69)强。北羌塘拗陷由边缘向内部应变有逐渐减弱的趋势: 北部边缘逆冲推覆带  $\gamma$  值 1.8~2.52, 平均 2.08; 北部复背斜带  $\gamma$  值为 0.92~1.82, 平均 1.49; 中部复向斜带  $\gamma$  值为 1.08~2.03, 平均 1.33; 南部复背斜带  $\gamma$  值为 1.58~2.52, 平均 2.00; 南部边缘逆冲带  $\gamma$  值的 1.84~2.4, 平均 2.12。

(3) 盆地内不同构造层岩石有限应变存在差异, 侏罗系中  $\gamma=2-3$ , 白垩系  $\gamma=1-2$ , 第三系  $\gamma=1-2$ 。总趋势是老构造层岩石应变相对新构造层岩

石应变强, 具递进应变特征, 这与测区经历多次近 SN 向继承性挤压相吻合。

(4) 单个褶皱发育地段为平面应变, 且近褶皱轴部应变程度大, 翼部应变程度小, 说明应变与褶皱作用有关, 褶皱处于纵弯阶段, 未进入压偏阶段。

(5) 断层附近岩石应变普遍较远离断层部位岩石应变强。

### 3.3 岩石压缩百分比

从不同部位岩石压缩百分比率分析, 羌塘盆地及邻区岩石压缩百分比率具如下特征:

(1) 盆地周边造山带岩石压缩百分率总体高于盆地岩石压缩百分率。拉竹龙—金沙江缝合带岩石压缩百分率  $C=58\%$ , 班公湖—怒江缝合带和拉萨地块只一个测点, 分别为 38% 和 52%, 可可西里—巴颜喀拉地块为 36%, 羌塘盆地平均为 41%。

(2) 羌塘盆地内部不同构造部位岩石压缩百分率不同, 隆起区高于拗陷区, 拗陷区内内边缘高于内部, 并具有由边缘向内部逐渐降低的趋势。中部隆起区  $C$  值 35%~57%, 平均 43%; 东部开心岭一带 25%~52%, 平均 46%; 羌北北部边缘逆冲推覆带  $C$  值为 44%~68%, 平均 52%; 北部复背斜带  $C$  值 41%~60%, 平均 50%; 中部复向斜  $C$  值 20%~41%, 平均 31%; 南部复背斜  $C$  值平均 44%。这与盆地变形及应力场特征吻合。反映盆地变形受南北向挤压、应力由南北边缘向中部传递的特征。

(3) 盆地内不同构造层岩石压缩百分率存在一定差异: 三叠系肖茶卡组( $T_3x$ )  $C=35\%$ 、侏罗系  $C=30\%$ 、白垩系  $C=24.8\%$ 、第三系  $C=18\%$ 。可可西里盆地中三叠系(巴颜喀拉群)岩石压缩百分比为 36%, 第三系雅西措组岩石压缩百分率分 18%~21%, 五道梁组岩石压缩百分率为 15%~28%(黄继钧, 1997; Huang Jijun, 2000)与羌塘盆地岩石压缩百分率基本接近。而拉竹龙—金沙江缝合带三叠系(若拉岗日群、苟鲁山克错组)岩石压缩百分比为 38%。

## 4 地壳缩短分析

### 4.1 根据共轭剪切角变化估算地壳缩短量

共轭剪切断层和共轭剪切裂隙是地壳中最常见的构造型式之一。早期形成的共轭断裂与共轭裂隙受到晚期构造应力作用, 会随岩石一起发生变化, 导致共轭剪切角变化。共轭剪切角的变化与构造应力、构造变形量呈函数关系(Dewey et al., 1988), 故可根据共轭剪切角的变化估算地质历史时期的构造变形量与地壳形变量。

共轭剪切角与构造应力的关系服从 Navier-Coulomb 准则,

$$|\tau_f| = \tau_0 + \tan\phi \cdot \sigma_n$$

式中  $\tau_0$  为岩石固有的剪切强度,  $\phi$  为岩石内摩擦角,  $\sigma_n$  为剪面上压应力,  $\tan\phi \cdot \sigma_n$  为剪切面上摩擦阻力。

若剪切面和最大主压应力( $\sigma_1$ )夹角为  $\beta$ , 则  $\beta = 45^\circ - \frac{1}{2}\phi$ 。共轭剪切面的锐夹角( $2\beta$ )称为共轭剪切角。

在岩石平面均匀压扁条件下, 早期形成的共轭剪切面随地壳岩石一起发生压扁变形, 导致共轭剪切角变化。设变形前后共轭剪切角增量为  $2\alpha$ , X 方向变形量为  $e_x$ ; Y 方向变形量为  $e_y$ , 则(吴珍汉等, 2001)。

$$e_x = [\sin(\alpha + \beta) \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan 2\alpha) / \sin\beta] - 1$$

$$e_y = [\sin(\alpha + \beta) \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan 2\alpha) / \cos\beta] - 1$$

便可计算初始共轭剪切角  $2\beta = 90^\circ$  条件均匀压扁变形的应变与地壳缩短率。由于初始共轭剪切角绝大多数为锐角, 即  $2\beta \leq 90^\circ$ , 这时只能计算最小应变, 在这种情况下, 以  $2\beta = 90^\circ$  代入上式, 所求出的便是岩石或地壳的最小应变。

羌塘盆地 NE 向和 NW 向共轭断裂共轭角经计算为  $140^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $100^\circ$ , 取其平均值  $120^\circ$ 。经计算, 羌塘盆地 SN 向地壳(岩石)缩短量为 21%, EW 向伸长量为 37%。

青藏高原腹地双湖地区 NE 向断陷盆地边缘断裂 ESR 年龄为 4~5Ma(Wu Zhenhan et al., 1999, 2001), 羊八井 NE 向裂陷盆地开始裂陷的热年代学年龄为 6~8Ma(Harrison et al., 1995, 2001), 格仁错—申扎 NW 向裂陷盆地开始裂陷的热年代学年龄为 6.5Ma。表明青藏高原腹地 NE—NEE、NW—NWW 共轭剪切断裂形成时代主要在 5~8Ma。形成后至今盆地及青藏高原腹地 SN 向缩短率为 21%、东西向伸长 37%。这与吴珍汉等(2001)所提供的可可西里地壳 SN 向缩短 25%~30%, 东西伸长 40%、中部羌塘地壳 SN 缩短 20%~30%、EW 伸长 25%~30%, 南部拉萨地壳 SN 缩短 10%~25%、东西伸长 10%~25%, 数据基本接近。

#### 4.2 平衡剖面恢复的缩短量

平衡剖面(balanced cross-section)是指可以把变形构造通过几何原则全部复原的剖面。原始沉积岩层的几何形态是简单的, 而岩层变形是遵循一定的几何规律, 变形后的构造应能按此规律恢复其原始状态, 即平衡态。羌塘盆地自晚三叠世以来, 经历

多次南北向继承性挤压。造成不同构造层递次叠加 SN 向缩短。

##### 4.2.1 上三叠统地壳 SN 向缩短

羌北坳陷中段南缘菊花山一带广泛出露肖茶卡组( $T_3x$ ), 地层褶皱成倒转背斜, 选取肖茶卡组下部深灰色、灰黑色块状灰岩和中上部灰白色细晶灰岩界面进行平衡剖面恢复, 其缩短率为 38.7%。

1997 年我们曾对可可西里盆地巴颜喀拉群上段与下段之界面( $T_{3gb}^2/T_{3bg}^1$ )为标志面进行平横剖面恢复, 其 SN 向缩短率为 38%<sup>①</sup>(Huang Jijun, 2000)。与羌塘盆地  $T_3x$  缩短率一致。

##### 4.2.2 侏罗纪地壳缩短

羌塘盆地侏罗系特别发育, 广泛分布。并发生了强烈的东西向褶皱变形和逆断层改造。

通过把已发生褶皱变形和断裂作用的岩层恢复到水平位置, 从而其长度在不同水平面上保持相同, 并保存了横剖面积, 以使地质横剖面得到平衡。为了求得羌塘盆地地壳缩短量, 我们沿  $E86^\circ 30'$ 、 $E88^\circ 30'$  及  $E90^\circ 30'$  分别编制盆地 SN 向横剖面, 并依据面积不变的原则, 分别选取  $J_{1-2}$  作平衡恢复(图 3), 结果表明盆地羌北坳陷西部 SN 向缩短率为 28.7%, SN 向缩短了 100.6km; 中部 SN 向缩短率为 24%, SN 向缩短了 92km; 东部 SN 向缩短率为 21.5%, SN 向缩短了 84.9km。盆地平均缩短率为 24.3%, 羌南坳陷侏罗系 SN 缩短率为 40%, 较羌北坳陷大(图 3)。

羌塘坳陷西北部白龙冰河地区广泛分布侏罗系, 并被褶皱成东西向复背斜, 其地层倾角在  $40^\circ \sim 60^\circ$  之间, 沿背斜轴向发育一系列走向逆断层, 选择  $J_3s/J_2x$  界面为标志层。经平衡剖面计算, 侏罗系缩短率为 26.3%, 与前述 24.3% 接近。

羌北盆地东北部雅晓—乌兰乌拉山一线, 羌北复背斜弯曲组与夏里组界面平衡剖面恢复, 其缩短率为 19.2%。

通过以上平衡剖面粗略计算表明, 自白垩纪以来, 羌塘盆地地壳因褶皱和逆断层而发生 SN 向缩短率在 20%~30%, 考虑到在 SN 向挤压下伴随东西向褶皱缩短和逆断层叠置缩短的同时, 尚发生 SN 向脆性走滑缩短, 二者叠加, 羌塘地区白垩纪以来地壳 SN 向缩短在 40%~50% 之间。这与 Kidd 等(2001)(黄继钧, 2000)通过双湖地区研究所得晚白垩纪—老第三纪时羌塘地壳 SN 向缩短率达 50% 相吻合。

##### 4.2.3 新生代地壳缩短分析

青藏高原新生代地壳变形和缩短量是青藏高原

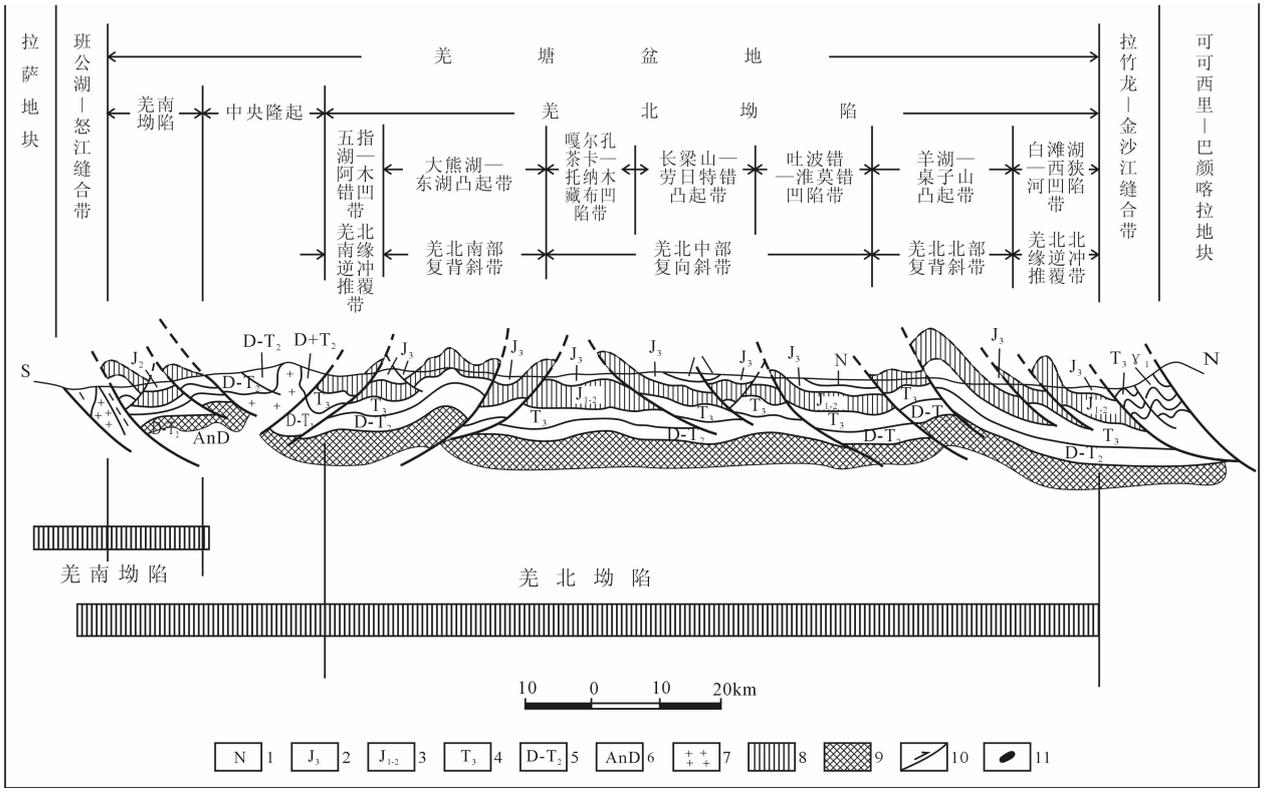


图3 羌塘盆地中段剖面图(上)及中一下侏罗统平衡剖面(下)

Fig.3 Geological cross section through the middle Qiangtang Basin (a) and Mid-Lower Jurassic balancing cross section (b)

1—新第三系;2—上侏罗统;3—中-下侏罗统;4—上三叠统;5—泥盆系-中三叠统;6—前泥盆系;

7—花岗岩;8—中-下侏罗统;9—基底;10—断层;11—超基性岩

1—Neogene; 2—Upper Jurassic; 3—Mid-Lower Jurassic; 4—Upper Triassic; 5—Devonian-Middle Triassic;

6—Pre-Devonian; 7—granite; 8—Mid-Lower Jurassic; 9—basement; 10—fault; 11—ultramafic rock

构造研究的重要内容,它涉及到高原地壳厚度和隆升的机制。羌塘盆地第三系较发育,其构造变形特征为开展新生代地壳变形缩短量提供了良好条件。

羌北坳陷东北部葫芦湖—豌豆湖新生代盆地内第三系双湖组特别发育,其中发育一套2~3m的含砾砂岩,为一良好标志层。利用线长平衡法对其进行复原,得23Ma(中新世初)以来,羌塘盆地早第三系地壳缩短率为18.3%~19.2%(黄继钧,2003)。

羌北坳陷西部菊花山—双泉湖一带喷呐湖组(N<sub>2s</sub>)和康托组(N<sub>1k</sub>)广泛分布,二者之间为角度不整合,并发育东西向褶皱,其地层倾角在20°~45°之间,选择N<sub>2s</sub>/N<sub>1k</sub>之间不整合面为标志层,应用平衡剖面原理计算其SN向缩短率为17.3%,表明羌塘盆地中新世地壳自上新世以来SN向挤压褶皱缩短率在17%左右。丁学林(1998)对玛尔盖茶卡地区康托组平衡剖面研究得其地壳缩短率为17.47%。若考虑剪切走滑变形对褶皱—逆冲变形

的叠加,则新生代构造变形造成的地壳缩短率为40%左右。其缩短速率为0.97mm/a。与吴珍汉等(2001)提供的羌塘盆地20~8Ma缩短速率1.42mm/a、8~0Ma缩短速率1.25mm/a接近。

综上所述,羌塘盆地不同构造层地壳缩短率有差别,具递减趋势。这与羌塘盆地自印支期以来继承性遭受SN向挤压相吻合。青藏高原羌塘地块北缘及祖尔肯乌兰山广泛喷发的碱性、钙碱性火山岩,其年龄在26~33Ma,属典型的大陆内碰撞后的喷发类型。前述浅层岩石变形构造组合和岩浆活动特征,均说明青藏高原新生代时期占主导地位的运动性质是挤压缩短。

将羌塘盆地腹地新生代红层盆地与可可西里盆地进行对比,在二道沟—五道梁一线,新近系五道梁群底部(底界20Ma)不整合面和巴颜喀拉群上段与下段之界面(T<sub>3gb</sub><sup>2</sup>/T<sub>3bg</sub><sup>1</sup>)为标志面进行横剖面平衡,计算出五道梁群缩短率为19%(Huang Jijun,2000),与羌

塘盆地第三系缩短率14%~16%值相近。巴颜喀拉群SN向缩短率为38%(Huang Jijun, 2000)与羌塘盆地三叠系SN向缩短率38.7%一致。

根据古地磁测年数据羌塘盆地东北部, 豌豆湖—葫芦湖地区新生代盆地沱沱河组底界年龄约为40Ma左右, 根据盆地宽度估算SN向缩短量为20km左右(1/25万乌兰乌拉湖幅报告2002); 取羌塘盆地地质宽度为500~600km, 则40Ma以来缩短70~100km。缩短速度为1.11~1.5mm/a, 与吴珍汉等(2001)提供的羌塘盆地20~8Ma缩短速度1.42mm/a, 8~0Ma缩短速度为1.235mm/a相似。考虑到侏罗纪以来盆地SN向缩短为97km(东)~123km(中)~117.8km(西), 其缩短速度分别为0.6mm/a(东)~0.8mm/a(中)~0.7mm/a(西)。似乎表明羌塘盆地新生代SN缩短速度较快。王成善等(1998)<sup>①</sup>在可可西里盆地二道沟地区获得风火山群缩短率为40%(我们认为这可能偏大), 若以此计算, 南北向缩短了近35km, 新近系五道梁缩短量为15km, 可以认为青藏高原碰撞后的陆内变形可能主要是通过稳定地块间的活动边缘构造带调节的。其次, 以风火山群(古地磁测定底界年龄56Ma<sup>②</sup>), 为代表的地层变形强, 缩短主要通过地壳碎片的冲断、褶皱完成的。无论是地块活动带或地块内部, 新近系的构造地层单元变形都较弱。据观察, 羌塘盆地东北部的查保马组(Ec, 年龄40Ma左右)火山岩几乎是平坦的, 仅有断块隆升和掀斜, 未发生明显的SN向缩短, 初步认为SN向大规模的地壳缩短可能是在40Ma前完成的。

## 5 结论

(1) 盆地隆起区为三轴长椭球应变, 坳陷区接近平面应变。盆地周边造山带较盆地内部应变强; 不同构造层应变存在差异, 老构造层应变相对新构造层应变强, 具递减应变特征。

(2) 羌塘盆地不同构造层缩短率有差别, 由老至新具递减性。青藏高原新生代时期占主导地位的运动性质是岩石圈的挤压缩短。

(3) 板块碰撞后青藏高原的陆内变形主要是通过稳定地块间的活动边缘构造带的调节完成。青藏高原SN向大规模地壳缩短发生于40Ma前。

### 注 释

- ① 成都理工大学, 1997, 青藏地区可可西里盆地石油地质调查报告(上)(内部)。
- ② 成都理工大学区调队, 2002, 1/25万乌兰乌拉湖幅区域地质调查报告(待出版)。
- ③ 丁学林(1998), 西藏羌塘盆地北部第三纪沉积与高原隆升初探, 成都理工大学硕士论文, 1998。
- ④ 国土资源部科技项目: “重要盆地类型与高原隆升的关系”, 1998年度进展情况报告。

### 参 考 文 献

- 郑亚东, 常志忠. 1985. 岩石有限应变测量及韧性剪切带. 北京: 地质出版社, 1~99.
- 吴珍汉, 喘中海, 江万, 等. 2001. 中国大陆及邻区新生代构造-地貌演化过程与机理. 北京: 地质出版社, 48~61.
- 黄继钧. 2000. 纵弯叠加褶皱地区岩石有限应变特征. 地质论评, 46(2): 178~185.
- 王成善, 伊海生. 2001. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京: 地质出版社.
- 黄继钧, 伊海生, 林金辉. 2004. 羌塘盆地构造特征及油气远景初步分析. 地质科学, 39(1): 1~10.
- Huang Jijun. 2000. Finite strain measurement and shortening analysis in the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. Earth. Science Frontiers 7(suppl.), 149~150.

## Analysis of the Finite Strain of Rocks and Shortening of the Crust in the Qiangtang Basin

HUANG Jijun, LI Yalin

1) Department of Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059

2) Research Center for Tibetan Plateau Geology, China University of Geoscience, Beijing, 100083

### Abstract

The tectonics of Qiangtang basin lying in central Qinghai-Tibetan plateau is main of east-west folds, overthrust faults and north-west, north-east transcurrent faults, and occasionally north-west, north-east folds and near south-north normal faults can be found. For the basin has been great compressed by south-north stress since Indosinian movement, the feature of its rock's strain displays south-north compression and east-west extension, including inheriting and increasing strain, moreover, the strain of rock trends to decrease by degrees from orogen around the basin to central basin. The south-north crust in Qiangtang basin has been shortening successively since Indosinian movement, and respectively its shortening ratios are 38% at Trias, 24%~26.3% at Jurassic, 17.47%~19.2% at Tertiary.

**Key words:** Qinghai-Tibetan plateau; Qiangtang basin; rock finite strain; crust shortening

