喜玛拉雅平行于造山带伸展
——是垮塌的标志还是挤压隆升过程的产物?

张进江 丁 林 钟大赉 周 勇
(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要 喜玛拉雅造山带内普遍发育垂直于造山带的伸展构造. 曲松、普兰、洛扎、聂拉木和亚东等地的研究表明它们代表平行于造山带的伸展, 伸展形成的盆地内发育与伸展同期的垂直于造山带的挤压构造, 伸展构造的形成时代为 16~ 13 Ma, 与整个东南亚强烈挤压期一致, 所以它们是造山期同收缩伸展. 伸展期的主导构造运动为挤压和隆升, 伸展构造是造山带应变分解所致, 而不是高原下降的标志.

关键词 喜玛拉雅造山带 同收缩伸展构造 隆升

青藏高原隆升是当今国际地学界研究热点, 与隆升相关的伸展构造是其中一个重要内容, 因为伸展构造是隆升的必然结果[1~3]. 青藏高原的伸展构造主要有两种类型(图 1): 一种为走向与造山带平行的藏南拆离系; 另一种走向与造山带垂直, 包括雅鲁藏布江缝合带以北的裂谷系和喜玛拉雅造山带内的低角度正断层. 藏南拆离系和北部裂谷系的研究已较深入[1,4,6~8], 但造山带内低角度拆离断层的研究则始于 90 年代中期[9~11]. 有关垂直于造山带伸展构造的意义还存在不同观点, 一种观点认为它们标志着高原达到最大高度并开始下降[12], 如对喜玛拉雅中段 Thakkhola 盆地(图 1) 边缘拆离断层的研究证明其活动时代为 14 Ma 左右, 并认为青藏高原由此开始下降[9,13]; 另一种观点认为它们是同造山快速隆升的表现[14]. 本文通过对喜玛拉雅西北段曲松、西段普兰、东段洛扎以及中段聂拉木和亚东等地垂直于造山带伸展构造的研究, 对平行于造山带伸展的地质意义进行讨论.

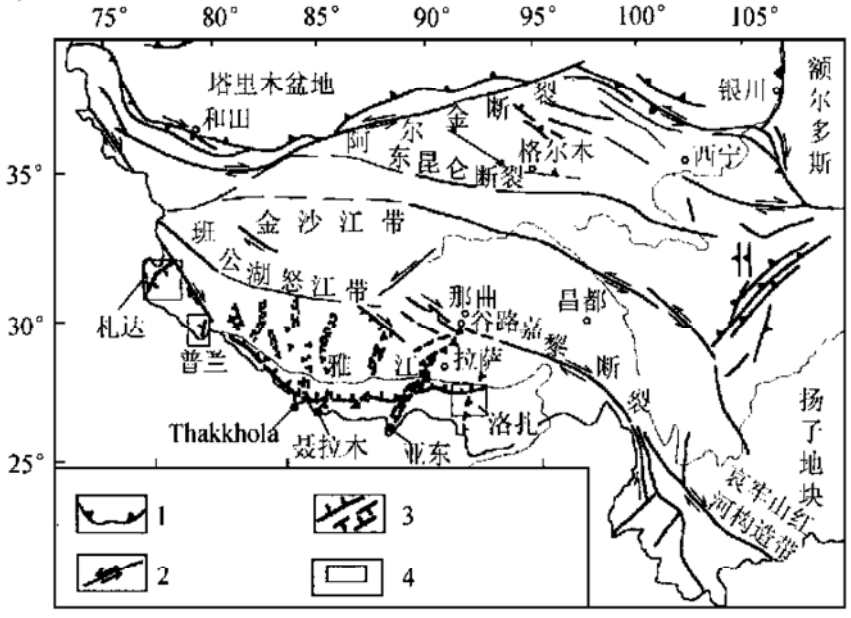


图 1 青藏高原构造地质略图及藏南伸展构造体系示意图
1——逆冲断层, 2——走滑断层, 3——伸展构造, 4——重点工作区

1 曲松拆离断层

曲松拆离断层出露于喜玛拉雅西北段, 位于我国西藏札达县西北部曲松乡与克什米尔交界处(图 1 和 2) . 作为札达盆地的西北边缘, 曲松拆离断层走向为 N50°E, 断层面产状为 140° ∠30°, 包括下盘构造岩在内, 断层带宽约 3 km, 构造特征为典型拆离断层体系.

1.1 曲松拆离断层的构造组成

根据岩石发育位置, 曲松拆离断层体系由下至上依次由以下构造部分组成(图 2 和 3) .

拆离断层下盘主要由一平行于拆离断层展布的电气石白云母浅色花岗岩体组成, 岩体主体未变形, 只在边部出现微弱流动面理构造. 花岗岩西北侧为由古生代至中生代碎屑和碳酸盐沉积形成的西藏沉积岩系[15].

岩体东南侧为沿拆离断层断续出露的糜棱状片麻岩带, 最大宽度达 3 km. 该套石榴石黑云母片麻岩经糜棱岩化形成眼球状糜棱岩, 发育产状为 140° ∠25° 的透入性面理. 其内石

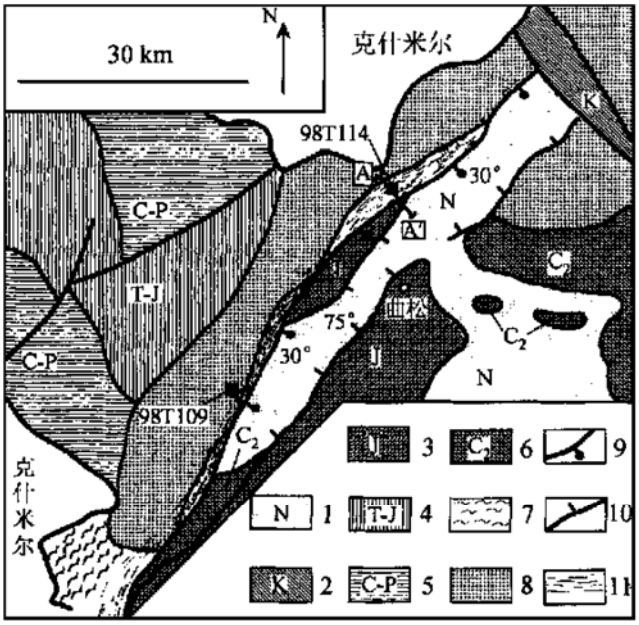


图 2 西藏札达曲松地区地质简图

1 ——泥岩、砂岩及砾岩, 2 ——页岩、砂岩, 3 ——灰岩, 4 ——灰岩夹砂岩, 5 ——泥岩、砂岩夹灰岩, 6 ——页岩和灰岩, 7 ——片麻岩, 8 ——花岗岩, 9 ——拆离断层, 10 ——高角度正断层, 11 ——糜棱状片麻岩. A-A′ 为图 3 剖面位置, 黑方框为测年用样品采集位置

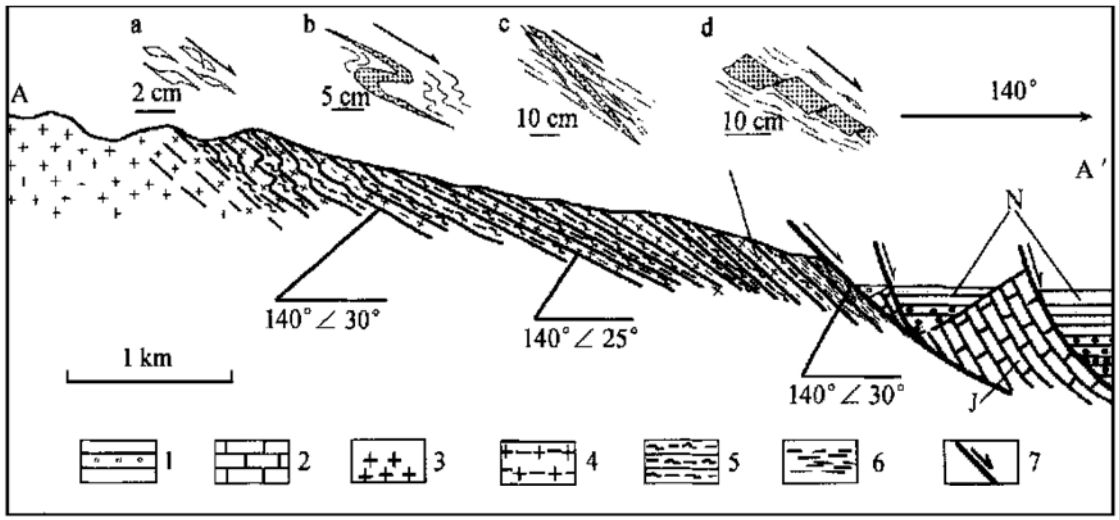


图 3 曲松拆离断层构造剖面图(位置见图 2)

1 ——泥岩、砂岩及砾岩, 2 ——灰岩, 3 ——花岗岩, 4 ——糜棱状花岗岩, 5 ——糜棱状片麻岩, 6 ——构造片岩, 7 ——正断层. a, b, c 和 d 为断层运动学指向标志

英颗粒发生完全重结晶形成石英条带, 长石发生部分重结晶形成核幔构造, 云母的常见构造为云母鱼构造. 该套岩石的矿物组合(石英+ 长石+ 黑云母+ 白云母+ 石榴石) 证明它们可能为沉积岩变质形成, 并向上过渡为绿片岩相变质沉积岩. 糜棱状片麻岩带的另一重要组成为顺

层浅色花岗岩脉, 脉体宽度 10~ 50 cm 不等. 花岗岩脉一般顺糜棱面理侵入并与后者一起褶皱, 有的脉体沿糜棱岩的伸展褶劈理贯入. 根据构造特征和短距离的变质相变, 该糜棱状片麻岩的成因可能与伸展构造强剪切作用及岩浆加热有关, 因为在亚东-谷路拆离断层(图 1) 中发育相同的糜棱状变质构造, 并被解释为同构造成因[10, 16]. 出于平衡剖面的考虑, 将下盘浅色花岗岩西侧与低级变质西藏沉积系的直接接触解释为, 浅色花岗岩和糜棱状片麻岩的出露可能为伸展过程中下盘反卷所致, 与亚东-谷路西侧变质岩的出露机制相同[10].

糜棱状岩带顶部紧邻断层面发育一层厚约 10 m 的构造片岩, 为绿片岩相变质沉积岩, 原岩属西藏沉积岩系. 岩石发生脆-韧性变形形成密集劈理, 其内矿物除石英被微弱拉伸形成微弱面理外, 其他矿物均为脆性或脆-韧性变形. 拆离断层面发育于构造片岩之上, 宏观上形成一系列断层三角面, 产状 140° ∠30°.

拆离断层上盘, 即拆离断层东南的札达盆地主要由两部分岩石组成. 一部分为以掀斜断块形式分散出露于札达盆地内的低级变质古生代~ 中生代碳酸盐和碎屑沉积, 在远离拆离断层的部位, 断块内部保存了造山运动形成的褶皱和劈理, 运动方向为由北东向南西的逆冲. 靠近拆离断层则叠加了拆离过程中形成的劈理, 断块底部发生碎裂作用形成厚约 2~ 5 m 断层角砾岩, 角砾岩由角砾和其间胶结物形成, 角砾主要是灰岩, 粒径最大可达 5 cm, 胶结物为钙泥质. 上盘岩石的另一部分为断块间湖相沉积的札达群未变质砂岩、泥岩和砾岩, 其内发育大量的介壳和腹足类化石, 本次研究还在其中首次发现鱼类化石, 其时代为中新世.

综上所述, 曲松拆离断层上下盘岩石变质程度和变形特征截然不同, 拆离断层内部构造岩自下而上依次经历了韧性(糜棱状片麻岩) 到韧-脆性变形(构造片岩) , 最终是上部的脆性变形(断层角砾岩) , 证明该断层为一典型的拆离断层[17].

1.2 运动学指向

曲松拆离断层的走向(N50°E) 与喜玛拉雅造山带走向近垂直, 糜棱状片麻岩中线理的产状基本顺断层倾向, 所有与倾向线理相关的运动学标志均指示顺倾向正断下滑, 所以该拆离断层代表平行于造山带的伸展.

指示顺断层倾向正断的运动学标志包括: (1) 糜棱状片麻岩中不对称眼球构造和小型褶皱(图 3 中 a) ; (2) 图 3 剖面下部顺糜棱面理侵位浅色花岗岩脉的褶皱(图 3 中 b) ; (3) 剖面上部产状陡于糜棱面理并被浅色花岗岩脉贯入的伸展褶劈理(图 3 中 c) ; (4) 花岗岩脉被拉断和切割形成的布丁构造和多米诺构造(图 3 中 d) .

1.3 拆离断层活动时代

曲松拆离断层下盘的浅色花岗岩体平行于拆离断层产出, 岩体主体未受变形而其边界发育流动构造, 流动线理与片麻岩中拉伸线理产状一致. 岩体与上覆糜棱状片麻岩间为片麻岩与浅色花岗岩脉互层的过渡带而无明显边界. 过渡带中绝大多数的岩脉平行于糜棱面理侵入并和糜棱面理一起褶皱, 上部一些岩脉顺伸展褶劈理贯入, 一些脉体形成布丁或多米诺构造, 运动学性质与片麻岩相同. 所以, 浅色花岗岩侵位与拆离断层作用是同时发生的, 花岗岩的年龄就是拆离断层的活动年龄.

我们对下盘浅色花岗岩主体(98T109) 和糜棱状片麻岩中浅色花岗岩脉(98T114) 的白云母进行了 K-Ar 年代测定, 采样位置见图 2, 测定结果列于表 1, 从中可以看出拆离断层的活动年代为 16~ 15 Ma.

表 1 与曲松拆离断层相关的浅色花岗岩 K-Ar 年龄测定结果[a)]

样品号	矿物	K/%	$^{40}Ar/mol\cdot g^{-1}$	$^{40}Ar/\%$	表面年龄/Ma($\pm 1\sigma$)
98T109	白云母	8.67	2.508×10^{-1}	65.59	16.61 ±0.39
98T114	白云母	8.60	2.343×10^{-1}	72.64	15.64 ±0.28

a) 测试单位为中国地震局地质研究所

1.4 拆离断层上盘札达盆地内的挤压构造

曲松拆离断层的东南为札达盆地, 其内沉积时代为中新世, 与拆离断层活动时代一致, 盆地西北缘受拆离断层控制, 沉积厚度呈现向东南的同沉积增厚, 说明盆地成因为伸展构造所致. 虽然盆地为伸展盆地, 但其内却发育同沉积挤压性构造, 挤压方向垂直于造山带. 例如沉积层内发育许多轴向平行于喜玛拉雅造山带的同沉积褶皱, 特别是其内大型低角度逆冲断层(见封面图), 明显为同沉积断层, 断层走向与造山带平行. 说明盆地在由伸展构造作用形成的同时, 遭受了垂直于造山带的挤压作用, 即伸展构造与造山挤压同时发生, 为造山期同收缩伸展.

2 普兰正断层体系

普兰正断层体系位于喜玛拉雅造山带西段普兰盆地的东边缘(图 1 和 4), 断层的上盘是第三纪普兰群砂岩夹砾岩和第四纪砾岩、砂岩, 普兰群发生褶皱, 第四纪为水平岩层, 两者为角度不整合, 下盘是片麻岩和片麻状花岗岩. 断层走向 NNE, 基本与造山带走向垂直, 倾向 NWW, 倾角约 40°, 运动学分析证明其代表平行于造山带的伸展运动. 顺断层面发育浅色花岗岩, 其内白云母的 K-Ar 年龄约为 16 Ma. 普兰群的褶皱轴向与造山带平行, 盆地沉积和断层活动时代与札达盆地及曲松拆离断层相同, 所以伸展构造和盆地形成期同样遭受了垂直于造山带的挤压作用.

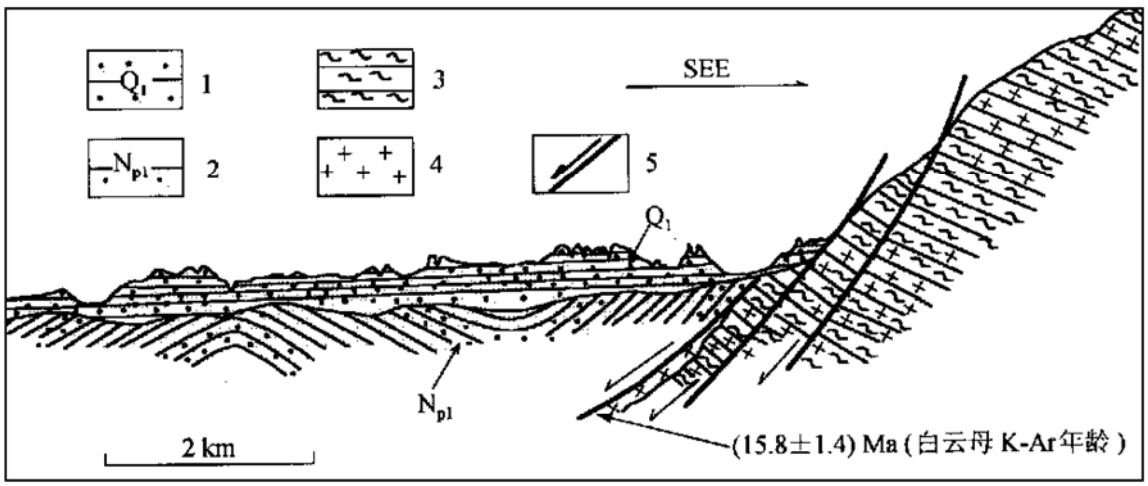


图 4 普兰正断层体系构造示意图(位置见图 1)

1——第四纪砾岩、砂岩, 2——第三纪普兰群砂岩、砾岩, 3——片麻岩, 4——花岗岩, 5——正断层

3 洛扎低角度滑脱构造

洛扎低角度滑脱构造发育在喜玛拉雅造山带东段洛扎县城以南(图 1 和 5), 为一厚数百米的大型韧性剪切带, 主要发育糜棱岩化的片麻岩和大理岩. 滑脱面走向与造山带垂直, 向 SEE 倾斜, 倾角很平缓, 一般在 10°左右. 糜棱状岩石中诸如不对称眼球构造和褶皱等运动学

标志, 以及同构造侵位浅色花岗岩脉被拉断形成的不对称透镜体, 均指示上盘向东南的下滑, 即代表平行于造山带伸展. 该滑脱构造的下盘也发育一浅色花岗岩体, 其产状、变形特征及其与上覆糜棱状围岩的关系与曲松浅色花岗岩一致, 即为同构造侵位, 侵位年代为 16~ 13 Ma[5, 18].

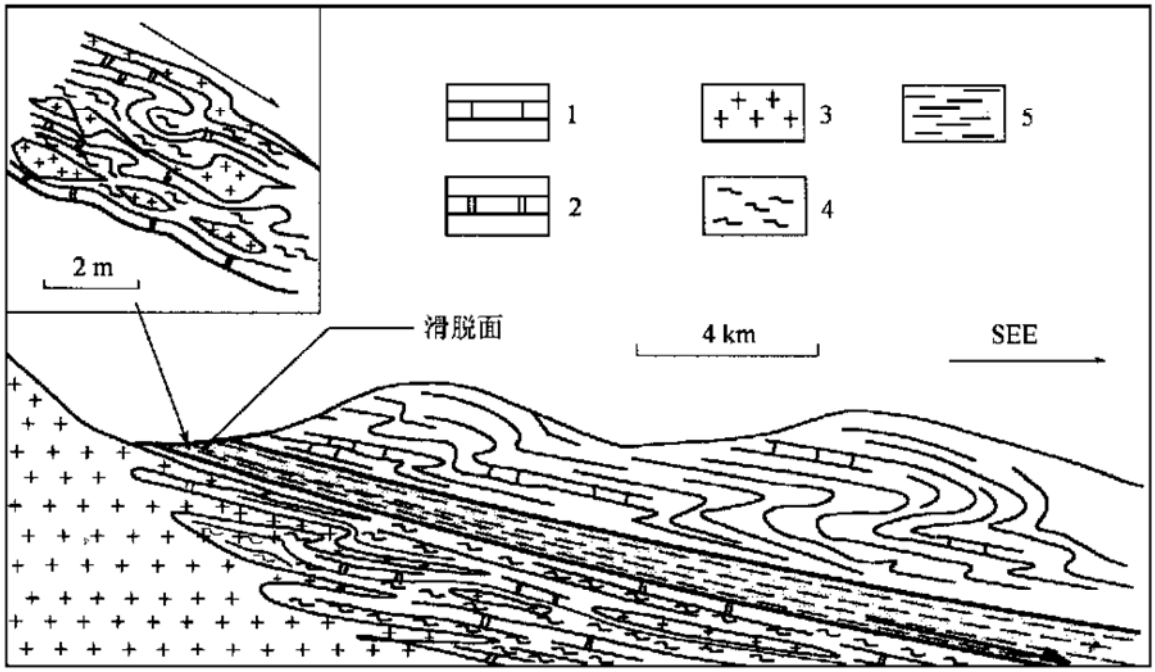


图 5 洛扎低角度滑脱构造(位置见图 1)

1——西藏沉积系, 2——大理岩, 3——浅色花岗岩, 4——片麻岩, 5——糜棱岩带

4 地质意义

喜玛拉雅造山带的西北段(曲松)、西段(普兰)和东段(洛扎)均发育与造山带垂直的伸展构造, 形成时间在 16~ 13 Ma 之间. 除此之外, 喜玛拉雅中段 Thakkhola 伸展构造与上述构造性质和活动年代相同[9], 在聂拉木和亚东发育两个最明显的横切喜玛拉雅造山带的裂谷(后者即为著名的亚东-谷路裂谷), 其中与伸展相关的浅色花岗岩年代分别为 15[5] 和 13 Ma[19]. 故此整个喜玛拉雅造山带在 16~ 13 Ma 间普遍遭受了一次强烈的平行于造山带的伸展.

虽然一些学者认为上述伸展构造的出现标志青藏高原和喜玛拉雅造山带已达到最大高度并开始下降[9, 12, 13], 但我们认为本文所述平行于造山带的伸展是发生于造山过程中的同收缩伸展, 伸展期间喜玛拉雅的主导运动为收缩隆升, 即这次广泛发育于喜玛拉雅平行于造山带的伸展活动代表的应是一次强烈的挤压隆升事件, 而不是高原下降的标志.

这些伸展构造发育于同造山收缩阶段的证据如下: (1) 所有这些伸展构造的伸展方向与造山带走向平行, 并与造山挤压方向垂直, 根据造山带伸展构造的阶段性及其构造与运动学特点, 这种平行于造山带的伸展方向是同造山伸展的重要特征[20~ 22]; (2) 与本文所述伸展构造伴生的札达、普兰盆地以及聂拉木、亚东和 Thakkhola 等盆地垂直于造山带的边界均由伸展构造控制, 盆地内沉积年代与伸展构造一致, 即盆地的发育与伸展构造直接相关, 但这些盆地内出现同沉积挤压变形. 如札达盆地中走向平行于造山带的同沉积褶皱和逆冲断层; 普兰盆地内也发育与造山带平行的褶皱. 故此在伸展构造导致盆地形成的同时, 盆地仍受到垂直于造山带的挤压作用.

值得注意的是, 在 15 Ma 左右, 由于印度洋板块运动速度和方向的变化使整个东南亚进入一个强烈挤压变形期[23], 故此, 我们认为喜玛拉雅造山带在 16~ 13 Ma 期间的主导构造运动为挤压隆升, 同期与造山带平行的伸展运动是这次强烈挤压隆升的变形分解, 这与 Seeber 和 P•cher[24] 最近的研究结果一致. 总之, 喜玛拉雅平行于造山带的伸展是侧向挤出的结果, 而不是高原垮塌下降的标志.

致谢 李大明教授在年龄测定方面给予了大力支持与帮助, 对此表示感谢. 本工作为国家重点基础研究专项经费、中国科学院青藏高原研究项目(KZ951-A1-204, KZ95T-06)和国家自然科学基金(批准号: 49802020)资助项目.

参 考 文 献

1 Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet. J Geophys Res, 1978, 83: 5361~ 5375
2 England P C, Houseman G A. The mechanics of the Tibetan plateau. Phil Tans R Soc Lond, 1988, 326: 301~ 320
3 Burchfiel B C, Royden L H. North-south extension within the convergent Himalayan region. Geology, 1985, 13: 679~ 682
4 Burg J P, Brunel M, Gapais D, et al. Deformation of the crystalline main central sheet in south Tibet (China). J Struct Geol, 1984, 6: 535~ 542
5 陈智梁, 刘宇平. 藏南拆离系. 特提斯地质, 1996, 20: 31~ 51
6 Fielding E J. Tibet uplift and erosion. Tectonophysics, 1996, 260: 55~ 84
7 Tapponnier P, Molnar P. Slip-line field theory and large scale continental tectonics. Nature, 1976, 264: 319~ 324
8 Chang Chengfa. Geology and Tectonics of Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1996. 111~ 131
9 Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Myr age from a new minimum age for east-west extension. Nature, 1995, 374: 49~ 52
10 Cogan M J, Nelson K D, Kidd W S F, et al. Shallow structure of the Yadong-Gulu rift, southern Tibet, from refraction analysis of Project INDEPTH common midpoint data. Tectonics, 1998, 17: 46~ 61
11 Alsdorf D, Brown L, Nelson K D, et al. Crustal deformation of the Lhasa terrane, Tibet plateau from Project INDEPTH deep seismic reflection profiles. Tectonics, 1998, 17: 501~ 519
12 Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Raising Tibet. Science, 1992, 255: 1663~ 1670
13 Searle M. The rise and fall of Tibet. Nature, 1995, 347: 17~ 18
14 England P C, Houseman G A. Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau. J Geophys Res, 1989, 94: 17561~ 17579
15 西藏自治区地质矿产局编. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 103~ 159
16 Pan Y, Kidd W S F. Nyainqentanghla shear zone: A late Miocene extensional detachment in the southern Tibetan Plateau. Geology, 1993, 20: 775~ 778
17 Davis G A, Lister G S. Detachment faulting in continental extension: perspectives from southwestern U. S. Cordillera. John Rodgers Symposium, Vol Spec Pap geol Soc Am, 1988, 218: 133~ 159
18 Debon R, Le Fort P, Sheppard S M F, et al. The four plutonic belts of the Transhimalaya-Himalaya: a chemical, mieralogical, isotopic and chronological synthesis along a Tibet-Nebal section. Juornal of Petrology, 1986, 27: 219~ 250
19 Maluski H, Matte P, Brunel M. Argon 39-Argon 40 dating of metamorphic and plutonic events in the North and High Himalayas belts (southern Tibet-China). Tectonics, 1988, 7: 288~ 326
20 张进江, 郑亚东, 刘树文. 小秦岭变质核杂岩的构造特征、形成机制及构造演化. 北京: 海洋出版社, 1998. 2~ 4
21 Brun J P, Driessche V D. Syn-shortening versus post-thickening extension in the lithosphere. Abstract Volume of BRGM, 1993: 25
22 Mattauer M A. compressional gneiss dome associated with longitudinal extension and later escape in the Montage Noir (French Variscan Massif Central). Abstract Volume of BRGM, 1993: 114~ 115
23 Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia. Tectonophysics, 1995, 251: 85~ 138
24 Seeber L, P•cher A. Strain partitioning along the Himalayan arc and the Nanga Parbat antiform. Geology, 1998, 26: 791~ 794

(1999-04-13 收稿, 1999-08-06 收修改稿)