

青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂

葛肖虹¹ 刘永江¹ 任收麦^{1,2}

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061 2. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034)

提要: 青藏高原最晚一期也是最强烈的一期隆升发生在1~0.8 Ma, 与印度洋中脊三联点附近的“亚澳”陨击事件有关。陨击事件引起印度洋的快速扩张并导致印度板块在锡瓦利克带的强烈(A型)俯冲, 正是这次俯冲引起了青藏高原及其外围山脉的快速隆升, 中国西北的盆—山地貌因此而形成, 其中东昆仑山推覆隆升近3 000 m, 向北推挤近400 km, 是柴达木盆地、河西走廊新生界构造变形的主因。因此, “亚澳”陨击事件的影响, 提供了青藏高原最晚一期隆升和中亚与中国西部大陆构造形成的大陆动力学背景; 根据近年对阿尔金断裂带内同变形期新生矿物的激光微区⁴⁰Ar/³⁹Ar测年结果, 阿尔金断裂走滑变形有可能起始于97~89 Ma, 它与喜马拉雅“西构造结”的形成(102~85 Ma)近于同步, 其累积错距达350~400 km, 晚白垩世—新生代同步错移了两侧原有的构造带和原型盆地, 这为中国西部找矿、找油气的战略评估提供了一个新的思路。

关键词: 青藏高原 隆升动力学 “亚澳”陨击事件 阿尔金断裂 同步错移

中图分类号: P542.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3657(2002)04-0346-05

青藏高原隆升引起全球气候、环境的变化, 隆升年代学与动力学的研究近年来已成为中外地质学家研究的热点; 同样, 青藏高原北部边界阿尔金断裂带由于其对中亚大陆构造划分上的重要意义, 断裂走滑、隆升的年代学研究, 也引起了中外学者的广泛关注。作者近十余年来一直从事阿尔金断裂和中国西部大陆构造的研究, 拟将最新认识提供同行切磋研讨。

1 青藏高原隆升的动力学背景

根据近年来环境、生物和年代学的最新资料, 青藏高原经历过45~38 Ma、25~17 Ma、3.4~1.7 Ma 3次隆升和其间两次大夷平过程, 每次隆升的高度不过2 000 m左右, 而夷平后所形成夷平面的海拔高度不足1 000 m^[1], 但是青藏高原及其相邻山脉最晚一期也是最强烈的一期隆升应该发生在1~0.8 Ma。由于此次隆升, 柴达木盆地和黄土高原沉积速率发生了急剧变化(1.1~0.9 Ma)^[2], 施雅风^[1]、李吉均^[3]提出的“昆仑—黄河”运动(1.2~0.6 Ma)也正是青藏高原环

境剧烈变化的时期。现今海拔5 000 m的昆仑山口和北羌塘盆地大面积出露的下更新统(羌塘群)是一套湖相地层, 其中发现了距今 2.08 ± 0.04 Ma的三趾马化石、古人类遗迹、阔叶植物(灌木、乔木)孢粉和介形虫、淡水双壳类等, 其生物—生态组合特征代表温暖潮湿的气候环境, 推断当时的海拔高度仅在700~1 000 m^[4-6], 与柴达木、共和盆地早更新世沉积极为相似, 因此当时三者很可能是近于同一高度的巨型盆地, 青藏高原并未形成, 昆仑山顶即高原顶面的急剧隆升应该发生在早更新世末—中更新世初(1~0.8 Ma), 因为0.8 Ma之后已经出现了青藏高原第四纪以来最大的冰川^[3]。由于大幅度抬升和环境的骤变, 生物面貌也发生了急剧变化, 明显依赖淡水的生物几乎全部绝迹, 而一些适应高原、高蒸发环境的双壳类*Pisidium*和腹足类*Radix plicatula*形成了高原机会种群^[4]; 根据古地磁资料昆仑山口当时的古纬度为32.10°, 现今纬度为35.69°, 说明早更新世末以后昆仑山口向北推移了近400 km^[7], 昆仑山推覆隆升2 000~3 000 m, 它向北的推挤压缩由于阿拉善

收稿日期: 2002-07-01; 改回日期: 2002-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(49772157)资助。

作者简介: 葛肖虹, 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 从事区域大地构造学教学与研究工作。

地块及其以北大陆的阻挡,引起了河西走廊、柴达木盆地新生界的构造变形和祁连山挤出式的双向推覆隆升,早更新世末成为上述两盆地中—新生界构造的最终定型期,从更广阔的领域看,塔里木、吐—哈、准噶尔盆地中—新生界构造的最终定型期也是在早—中更新世。迄今多数学者把早—中更新世青藏高原的推覆隆升事件归结为印度板块沿锡瓦利克带向中亚大陆陆内(A型)俯冲的产物^[8,9],其影响波及到整个中国西北地区,引起了上述柴达木、河西走廊、塔里木、吐—哈、准噶尔盆地新生界的构造变形与相邻山脉祁连山、天山、阿尔泰山的挤出式双向推覆隆升,形成了中国西北的盆—山地貌,也造成了中国西北大范围的干旱与沙漠化^[10]。那么,又是什么动力学背景引起了印度板块早—中更新世在锡瓦利克带脉冲式的陆内俯冲?20世纪80年代以来天文—地质学家在印度洋周边的澳大利亚、非洲东缘、马达加斯加岛、马来西亚甚至南海盆地发现大量微玻璃陨石,年龄0.83~0.7 Ma,其总重量达1亿吨^[11,12]。20世纪90年代至今,许多学者陆续在南海、海南岛、台湾发现这一时期的微玻璃陨石,年龄大致厘定在0.8 Ma左右^[13,14],多数陨石学家认为微玻璃陨石是巨大陨石撞击地球时溅射出去的大量熔融物质在高空迅速冷凝而成的玻璃物质^[15]。因此,真正陨石撞击的动量可能要比上述大出十几至几十个数量级,这次陨石的撞击许多学者认为可能发生在印度洋脊三联点附近(67°E, 20°S)(图1),以“亚澳”(Australasian)陨击事件命名^[16,17]。

这次陨击事件的影响显然不止于印度洋周边,布容与松山期磁极反转(M-B)的时限恰好是0.78 Ma,在“亚澳”陨击事件之后,这是一种巧合,还是一种因果联系?值得思考和研究。Glass等人^[12]认为0.7 Ma以前的“亚澳”陨击事件不仅造成地表生物的灭绝,而且使地核流体运动状态发生变化,从而引起了地磁极性的倒转(M-B)。根据Dressler(1987)对Sudbury陨坑成因的分析,陨石撞击可以穿透上地壳和部分下地壳达56 km的深度,如果陨石撞击在印度洋洋壳,那就可能穿透地壳达于上地幔,然后均衡反弹回来造成地幔物质的上涌^[17-19],因此作者认为,这次陨击事件很可能是引起现今印度洋脊三联点地幔热柱上隆的真正原因,也是造成印度洋壳脉冲式扩张、印度板块加速向北运移的根源。无独有偶,根据古地磁测算印度板块从38 Ma到1 Ma期间

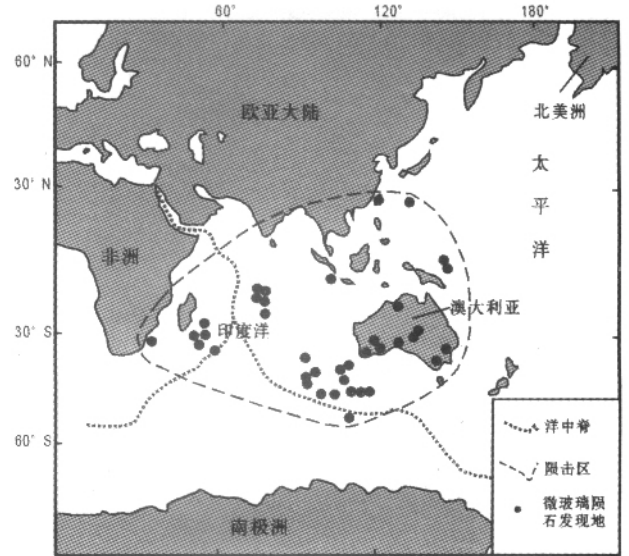


图1 亚澳陨击事件中心示意图(据Glass B.P.,1982修编)

Fig. 1 Sketch map showing the location of the Australasian meteorite impact event (modified from B.P. Glass, 1982)

曾因与亚洲大陆的碰撞一直以20 mm/a的平均速率持续向北楔进^[20],而现今速率为60~70 mm/a^[21-22]。这种楔进速率的突增发生在什么时间?迄今没有准确报道,作者认为它很可能发生在“亚澳”陨击事件期间1~0.8 Ma。显然,这种由“亚澳”陨击事件引起的印度板块脉冲式楔进,提供了它在锡瓦利克带脉冲式的陆内俯冲、青藏高原隆升和整个中亚与中国西部大陆构造形成的大陆动力学背景。

2 阿尔金断裂走滑变形时期与影响

作为青藏高原的西北边界,阿尔金断裂是中亚大陆上一条重要的构造带,新生代以来它是印度板块与中亚大陆板块碰撞过程中形成的一条巨型走滑断裂带,GPS测量结果表明它也是青藏高原岩石圈物质向东蠕散的一条边界^[22],但是长期以来对断裂变形的起始年代存在着争议^[23-26],根据近年我们对阿尔金断裂中段400 km跨距内,走滑断裂韧性变形带加里东期花岗岩、下—中侏罗统碎屑岩同变形期新生矿物(云母)的激光微区⁴⁰Ar/³⁹Ar测年结果,走滑断裂可能起始于97~89 Ma^[27],与喜马拉雅“西构造结”的形成(102~85 Ma)近于同步^[28-29],即自晚白垩世以来由于即墨里陆块与中亚大陆的先期碰撞所引起的左旋走滑断裂,近年来国外学者也获得了比较接近的数据^[30]。嗣后受到46~35 Ma

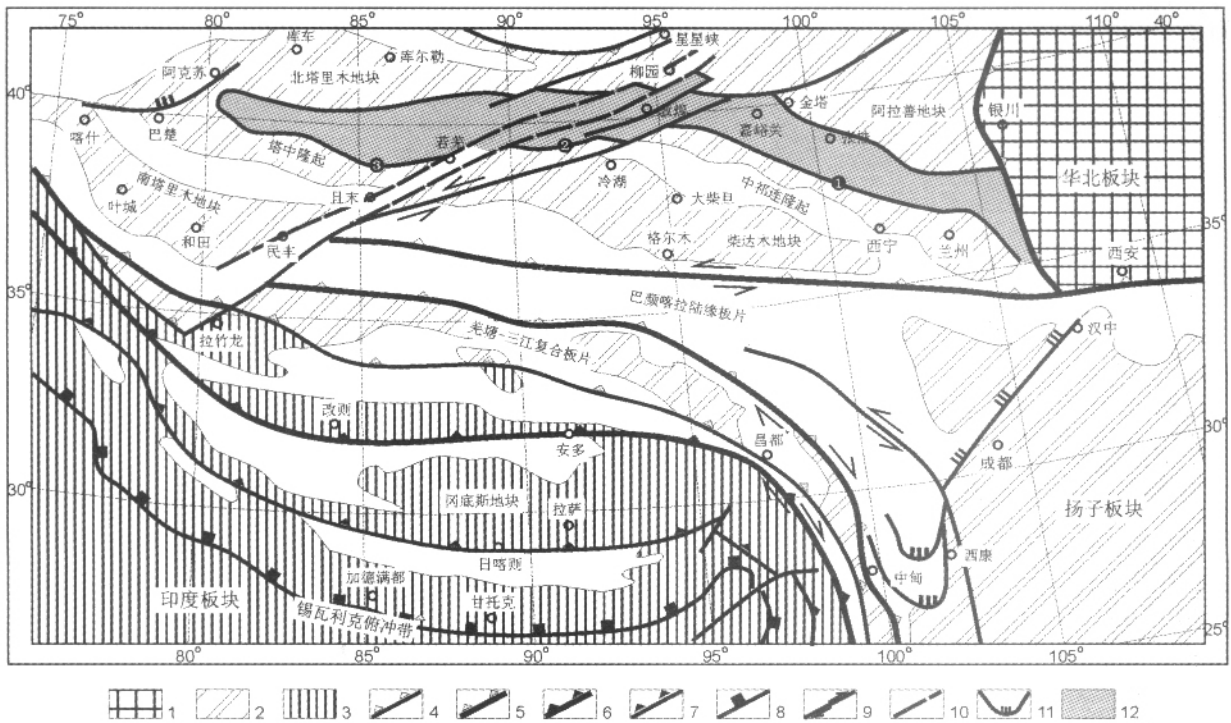


图2 中国西部及邻区大地构造略图

Fig. 2 Tectonic sketch map of western China and its surrounding areas

克拉通类型 :1—华北型 2—扬子型 3—冈瓦纳型

板块消减聚合带 :4—华力西期 5—印支期 6—燕山期 7—喜山期

喜山期活动构造 :8—锡瓦里克(A型)俯冲带 9—剪切平移断裂 10—实测推断断层 11—推覆构造、逆冲断层

震旦纪—早古生代裂陷构造 :12—震旦纪—早古生代北祁连—满加尔“红海型”裂陷洋槽—小洋盆

构造—岩相带缩距边界 :①—昌马—黑河断裂带 ;②—巴什考贡断裂带 ;③—塔中隆起北缘断裂带

印度板块与中亚大陆沿雅鲁藏布江地缝合线全面碰撞的构造叠加,笔者也获得了相应的⁴⁰Ar/³⁹Ar测年表面年龄数据^[27]。迄今中外学者对断裂变形测定的年龄,大致可以分成4组,即46~35 Ma、24~22 Ma、3~2.6 Ma、1~0.7 Ma^[30],它们分别对应着青藏高原的4次隆升事件^[1,31]和“东喜马拉雅构造结”的变形—变质事件^[32],说明伴随着青藏高原每次挤压隆升事件(它们应该和印度板块脉冲式陆内俯冲有关),阿尔金断裂都有一次脉冲式的走滑错移。根据笔者对阿尔金断裂两侧相同构造—岩相带黑河断裂与巴什考贡断裂以及新生代盆地的错移研究,其累积错距达350~400 km^[33],这和近年许多中、外学者的研究成果近似^[34~37],而晚新生代期间错距几十至100 km不等,断裂在晚白垩世—新生代同步错移了两侧原有的构造带和原型盆地^[38~40]。因此,在讨论中国西部大陆构造格架的形成时,对前寒武纪地块(包括

Rodinia大陆恢复)和古生代构造带进行构造复位或恢复晚中生代以前的原型盆地时,都不能不首先考虑晚中生代以来由于阿尔金断裂所引起的大尺度构造位移。比如,北祁连山震旦纪—早古生代裂陷洋槽—小洋盆,经过构造复位它应该对应于塔里木地块北部震旦纪—早古生代的满加尔油积岩坳陷,它们共同构成了震旦纪—早古生代期间“西域板块”^[41]内一条“红海式”的陆内裂陷洋槽^[41,42](图2)。这也为对前晚中生代—新生代中国西部大陆构造格架的认识,提出了许多新的思考。

3 意义

青藏高原及其相邻山脉最晚一期也是最强烈的一期隆升应该发生在1~0.8 Ma。“亚澳”陨击事件提供了青藏高原隆升和整个中亚与中国西部大陆构造形成的大陆动力学背景。阿尔金断裂是中国西部构

造划分具有重要意义的构造边界,从晚中生代—新生代的左行走滑,同步错移了“西域板块”和北亚陆区。因此,在讨论中亚与中国西部大陆构造格架的形成时,必须考虑被阿尔金断裂错移了的两侧原有构造带和晚中生代以前原型盆地的岩相—古地貌貌,只有重新进行构造复位的对比研究,才能真正搞清它们彼此之间的关系,恢复晚中生代以前中国西部的大陆构造格架,也才可能对中国西部找矿、找油气方向,有一个清醒的战略评估。

致谢:成文过程中与中国科学院地质与地球物理研究所刘东生院士、钟大赉院士,中国地质大学万天丰教授进行过有益的讨论,获益匪浅,在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 施雅风,李吉均,李炳元,等.晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J].地理学报,1999,54(1):10~20.
- [2] Sun Jimin and Liu Tungsheng. Stratigraphic evidence for the uplift of the Tibetan Plateau between ~1.1 and ~0.9 ma ago[J]. Quaternary Research, 2000, 54: 309~320.
- [3] 李吉均.青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(1):1~9.
- [4] 阴家润,崔之久,葛道凯,等.昆仑山口第四纪化石组合的生态环境分析及其对昆仑山隆升的意义[J].地球科学——中国地质大学学报,1996,21(3):243~248.
- [5] 王建,席萍,刘泽纯,等.柴达木盆地西部新生代气候与地形演变[J].地质论评,1996,42(2):166~173.
- [6] Wang Jian, Wang Yongjin, Liu Chunze, et al. Cenozoic environment evolution of the Qaidam basin and its implications for the uplift of the Tibetan plateau and the drying of central Asia[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1999, 152: 37~47.
- [7] 钱方,张金起.昆仑山口羌塘组磁性地层与新构造运动[J].地质力学学报,1997,3(1):50~56.
- [8] 赵文津,纳尔逊 K D. 印度板块俯冲到藏南之下的深反射证据[J].地球学报,1996,17(2):131~137.
- [9] Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet plateau[J]. Science, 2001, 294(23):1671~1677.
- [10] 方小敏,史正涛,杨胜利,等.天山黄土和古尔班通古特沙漠发育及北疆干旱化[J].科学通报,2001,47(7):540~545.
- [11] 徐道一.天文地质学概论[M].北京:地质出版社,1983. 284.
- [12] Glass B P. Introduction to planetary geology[M]. London: Cambridge University Press, 1982.
- [13] Schuetzler C C and Garvin J B. The missing Southeast Asian impact crater: A progress report[J]. Eos, 1994, 75(44):409.
- [14] 王吉良,赵泉鸿,成鑫荣,等.南海中更新世微玻璃陨石事件的年龄估算:海陆对比复杂性的一个例证[J].科学通报,2000,45(23):2558~2562.
- [15] Richard A F Grieve. Extraterrestrial impact events: the record in the rocks and the stratigraphic column[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1997, 132(1~4): 5~23.
- [16] 万天丰,张长厚.板块构造动力学与微玻璃陨石撞击事件——工作假说[A].见:地质矿产部岩石圈构造与动力学开放研究实验室1995年年报[C].北京:地质出版社,1996. 176~180.
- [17] 石耀霖.天体撞击对岩石圈热结构的影响[A].见:地质矿产部岩石圈构造与动力学开放研究实验室1994年年报[C].北京:地震出版社,1995. 54~58.
- [18] 石耀霖.陨星撞击对地幔对流和板块运动的可能影响[A].见:地质矿产部岩石圈构造与动力学开放研究实验室1995年年报[C].北京:地质出版社,1996. 133~145.
- [19] Dresser B O, Morrison G G, Peredery M V, et al. The Sunbury structure, Ontario, Canada—A review[A]. In: Pohl J (ed), Research in Terrestrial Impact Structures[C]. Friedr, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1987. 39~68.
- [20] Wyllie P J. Experimental petrology and global tectonics: a preview. In Experimental petrology and global tectonics[J]. editor, Wyllie P J. Tectonophysics, 1973, 17. 189~209.
- [21] 丁国瑜,卢演俦.板内块体的现代运动[A].见:马杏垣主编.中国岩石圈动力学地图集[C].北京:中国地图出版社,1989. 21.
- [22] 马宗晋,陈鑫连,叶叔华,等.中国大陆区现今地壳运动的GPS研究[J].科学通报,2001,46(13):1118~1120.
- [23] 胡军.阿尔金断裂带及其区域意义[J].内陆地震,1997,1(1):1~9.
- [24] 周勇,潘裕生.阿尔金断裂早期走滑运动方向及其活动时间探讨[J].地质论评,1999,45(1):1~9.
- [25] 刘良,车自成,王焰,等.阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义[J].岩石学报,1999,15(1):57~64.
- [26] 李海兵,杨经绥,许志琴,等.阿尔金断裂带印支期走滑活动的地质及年代学证据[J].科学通报,2001,46(16):1333~1338.
- [27] 刘永江,葛肖虹,叶慧文,等.阿尔金断裂变形岩激光微区⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄及其构造意义[J].科学通报,2000,45(19):2101~2104.
- [28] 丁道桂,王道轩,刘伟新,等.西昆仑造山带与盆地[M].北京:地质出版社,1996. 8, 141~143, 219~220.
- [29] 金振民.喜马拉雅造山带西构造结合柯石英榴辉岩的发现及其启示[J].地质科技情报,1999,18(3):1~5.
- [30] Jolivet M, Brunel M, Seward D, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northern edge of the Tibetan plateau: fission-track constraints[J]. Tectonophysics, 2001, 343: 111~134.
- [31] 钟大赉,丁林,季建清,等.中国西部新生代岩石圈汇聚与东部岩石圈离散的耦合关系与古环境格局演变的探讨[J].第四纪研究,2001,21(4):303~312.
- [32] 丁林,钟大赉.西藏南迦巴瓦峰地区高压麻粒岩相变质作用特征及其构造地质意义[J].中国科学(D辑),1999,29(5):385~397.

- [33] 葛肖虹,刘俊来.北祁连造山带的形成与背景[J]地质前缘, 1999, 6(4):223~230.
- [34] Ritts B D and Biffi U. Magnitude of post-Middle Jurassic (Bajocian) displacement on the Altyn Tagh fault, NW China [J] Geological Society of America Bulletin 2000, 112: 61~74.
- [35] Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin, et al. A comparison between the tectonic units on the sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing[J] Acta Geologica Sinica. 1999, 73:193~205.
- [36] Yue, Yongjun, Bradley D R, Graham S A. Initiation and long-term slip history of the Altyn Tagh Fault[J] International Geology Review, 2001, 43: 1~7.
- [37] Zhang Jianxin, Zhang Zheming, Xu Zhiqin, et al. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, northwestern China[J] Lithos, 2001, 56: 187~206.
- [38] 葛肖虹.对中国西北部找油的战略思考[A]见:地质矿产部石油地质研究所编:石油与天然气地质文集[C]北京:地质出版社,1997, 6:12~18.
- [39] 葛肖虹,张梅生,刘永江,等.阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路[J]现代地质,1998,12(3):295~301.
- [40] 葛肖虹,任收麦,刘永江,等.中国西部大陆构造格架[J]石油学报,2001,22(5):1~5.
- [41] 葛肖虹,刘俊来.被肢解的“西域克拉通”[J]岩石学报,2000, 16(1):59~66.
- [42] 葛肖虹,刘永江,任收麦,等.对阿尔金断裂科学问题的再认识[J]地质科学,2001,36(3):319~325.

Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault

GE Xiao-hong¹, LIU Yong-jiang¹, REN Shou-mai^{1,2}

(1.College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2.Stratigraphic Research Center for Oil and Natural Gas, Ministry of Land and Resources, China)

Abstract: The last-phase and strongest uplift of the Qinghai-Tibet plateau occurred at 1–0.8Ma BP, which was related to the Australasian meteorite impact event in the triple junction of the Indian Ocean ridge. The impact event resulted in rapid spreading of the Indian Ocean ridge and strong A-subduction of the Indian plate beneath the Siwalik. The strong subduction gave rise to the rapid uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and its surrounding mountains, thus forming the basin-range geomorphology in western China. The eastern Kunlun Mountains were elevated approximately 3000 m by the thrust system and meanwhile moved~400km to the north, which should be responsible for the Cenozoic deformation in the Qaidam basin and Hexi corridor. Therefore, this impact event can interpret the last phase of the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and geodynamic background of the formation of continental tectonics of western China. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of neogenic minerals during deformation suggests that the strike-slip movement of the Altun (Altyn) fault may have started at 97–89Ma, occurring nearly synchronously with the formation of the “Western tectonic node” in the Nepal-western Kunlun area. The Altun strike-slip fault has a cumulative offset of 350–400 km and displaced the original tectonic belts and basins in the Late Cretaceous–Cenozoic, which provides a new idea for mineral, oil and natural gas searching in western China.

Key words: Tibet-Qinghai Plateau; uplift dynamics; Australasian meteorite impact event; Altun fault; synchronous displacement