

青藏高原及邻区三阶段构造演化与成矿演化

李德威

中国地质大学地球科学学院, 青藏高原研究中心, 湖北武汉 430074

摘要: 青藏高原具有典型的三分时空结构和 3 种尺度动力学体系。青藏高原由 3 个构造结调整的 3 个盆山体系组成, 北部、东部和南部 3 个盆山体系分别受控于古亚亚洲洋及西伯利亚、西太平洋和特提斯三大构造域, 经历了前寒武纪超大洋—超大陆耦合、加里东期—印支期—燕山期和喜马拉雅早期自北而南的洋陆耦合和板内盆山耦合三大构造发展过程, 形成于地核流层驱动的地核(或全球)动力学过程、地幔流层驱动的地幔(或岩石圈)动力学过程和地壳流层驱动的地壳(或大陆)动力学过程, 构成历史地球系统动力学系统。青藏高原不是印度板块与欧亚板块碰撞的结果, 而是形成于下地壳流动驱动的板内盆山作用, 可分为以中、新生代有序向南迁移式构造隆升、水平运动、地质作用和成矿作用为特征的板内造山阶段和以脉动式快速隆升、垂直运动、地理作用和环境变化为特征的均衡成山阶段。构造谱系决定了成矿谱系, 区域构造叠加演化造成地壳成熟度的不断增加和矿床密集度的不断提高。青藏高原 3 个构造成矿演化阶段包括 1.8~1.4 Ga、500~420 Ma、300~260 Ma、180~120 Ma、65~30 Ma、23~7 Ma 等 6 个主金属成矿期, 1.8~1.4 Ga 超大陆裂解事件形成与深地幔火山岩浆作用有关的大红山式海相火山喷流沉积改造型铁铜矿、金川式与镁铁—超镁铁质岩有关的铜镍硫化物浆矿床, 500~420 Ma、300~260 Ma 和 180~120 Ma 特提斯裂解环境下形成罗布莎式地幔剪切—改造脉型(豆荚状)铬铁矿床、呷村式海相火山成因块状硫化物矿床等, 180~120 Ma、65~30 Ma 和 23~7 Ma 是青藏高原自北而南板内伸展环境下大规模成矿期, 形成驱龙式斑岩铜矿床、哀牢山式剪切带型金矿床、金顶式陆相盆地沉积型铅锌矿床, 构成一个完整的地球系统成矿动力学演化体系。

关键词: 板内造山; 板内成矿; 伸展成矿; 历史地球系统动力学; 青藏高原。

中图分类号: P541

文章编号: 1000-2383(2008)06-0723-20

收稿日期: 2008-02-15

Three-Stage Tectonic Evolution and Metallogenic Evolution in the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Area

LI De-wei

Faculty of Earth Sciences and Center for Tibetan Plateau Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Qinghai-Tibet plateau has trichotomy of temporal-spatial structure and three scales of dynamic system. The plateau includes northern, eastern and southern basin-mountain systems adjusted by three (northern, eastern and western) syntaxes that are separately controlled by Siberia plate, Pacific plate and India ocean plate, which underwent three tectonic stages including Precambrian supercontinent-superocean coupling, southward ocean-continent coupling of Proto-Tethys, Paleo-Tethys, Meso-Tethys, and Neo-Tethys that separately took place in the Caledonian period, Indosinian period, Yanshanian period and Early Himalayan period and intraplate basin-mountain coupling separately driven by laminar flow in core (core dynamics or global dynamics), laminar layer in mantle (mantle dynamics or lithospheric dynamics) and laminar flow in crust (crustal dynamics or dynamic dynamics), composing an earth system dynamics system. The Qinghai-Tibetan plateau is not the result of collision between the Indian plate and the Eurasia plate, but intraplate basin-mountain coupling driven by lower crust lateral flow from basin to plateau, which can be subdivided into two stages: intraplate orogeny characterized by tectonic uplift, horizontal movement, geological process and metallogenesis during 180-7 Ma southward migration from Qilian-Kunlun to Himalaya and isostatic mountain building characterized by pulsative integral quick uplift, vertical move-

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项(No. 2005CCA05600); 国家自然科学基金项目(No. 40572113)。

作者简介: 李德威(1962-), 男, 教授, 主要从事大陆动力学和成矿动力学的教学和研究。E-mail: dewei89@sina.com

ment, geographical process and environmental change since 3.6 Ma. Tectonic pedigree determines mineralizing pedigree. Multistage regional tectonic evolution causes the increase of crustal maturity and enhancement of mineral deposit density. Three stages of tectonic and metallogenic evolution in the Qinghai-Tibet plateau include six main mineralizing phases including 1.8–1.4 Ga, 500–420 Ma, 300–260 Ma, 180–120 Ma, 65–30 Ma, and 23–7 Ma, constituting a metallogenic dynamics evolutionary system, in which 1.8–1.4 Ga rifting event of supercontinent resulted in formation for Dahongshan-type reworked marine volcanic sedimentary iron-copper deposit, Jinchuan-type copper and nickel sulfide deposits associated with mafic and ultramafic rocks; 500–420 Ma rifting of Proto-Tethys, 300–260 Ma rifting of Paleo-Tethys, and 180–120 Ma rifting of Meso-Tethys and Neo-Tethys controlled Luobusha-type mantle shear and reworking vein (podiform) chromite deposits, Gacun-type volcanics-hosted massive sulfide (VHMS) deposits; 180–120 Ma intraplate extension in the northern plateau, 65–30 Ma intraplate extension in the central plateau and 23–7 Ma intraplate extension in the southern plateau formed the Qulong-type porphyry Cu deposits, Ailaoshan-type shear zone Au deposits, and Jinding-type continental sedimentary rock-hosted Pb-Zn deposits.

Key words: intraplate orogeny; intraplate metallogeny; extensional metallogeny; earth system dynamic evolution; the Qinghai-Tibet plateau.

年轻的青藏高原由于晚新生代的强烈隆升和剥蚀,造山带核部大面积出露古老的前寒武纪基底变形变质岩系,在两个极端时间之间的长期地质年代里,青藏高原经历了什么样的地质构造过程?表现出什么样的地质特征?受控于什么样的驱动机制?带来什么样的资源、环境效应?正是当代地球科学的重大前沿课题,也影响到我国资源、环境、灾害等国家战略目标。一些学者作过深入的研究和系统的论述(Xiao and Li, 1995; Yin and Harrison, 2000)。

过去普遍认为,青藏高原和喜马拉雅山脉是印度板块与欧亚板块碰撞形成的,空间上致力于寻找或确定哪条蛇绿混杂岩带是印度板块与欧亚板块碰撞的主缝合带,时间上试图划分出前碰撞、同碰撞和后碰撞(及碰撞后)各种事件。近年来,板块构造学说的陆-陆碰撞造山模式受到严峻挑战,青藏高原碰撞造山模式涉及当代地球科学的许多重大科学问题(李德威和庄育勋, 2006),例如,青藏高原岩石圈并非刚性,壳内低速层、壳内高导层、壳内多震层发育;隆升过程中构造变形和岩浆活动并非集中在板缘,而是弥散在整个青藏高原;沿不同缝合带发生的板块碰撞与青藏高原构造隆升、地壳加厚之间存在很大的时差;后碰撞既然是碰撞作用的持续,却不是一个连续的过程,两者的构造-岩浆-成矿属性完全不同,后碰撞带不是挤压状态而是地壳伸展,后碰撞的划分标准和时间界线不明确,很难分辨提特斯域多个碰撞带的后碰撞时空结构及其与青藏高原形成的关系;青藏高原内部广泛发育伸展构造及其与伸展构造有关的面状分布的壳源火成岩;青藏高原与周缘沉积盆地相伴而存、共同发展,结构上互补、物

质上交换、演化上同步、动力上转换,盆山结构叠加和改造了板块碰撞结构(李德威, 1993, 1995)。

长期以来,大陆成矿研究一直在板块构造理论的框架下进行,按板块活动环境和过程划分成矿类型(Sawkins, 1990),将板内伸展环境的成矿作用都归属于碰撞作用的持续(后碰撞或碰撞后成矿)。实际上,一个地质过程很难合理解释复杂大陆构造区带不同时期的成矿作用,特别是将不同时间、不同体制、不同类型的大陆矿床都归结到一个与板块碰撞有关的造山事件,完全脱离实际。例如,中国东部金属成矿大爆发发生在燕山期伸展构造环境(毛景文等, 2005),而各板块的碰撞最晚结束于印支运动,且燕山、长江中下游等地区根本不存在碰撞带。

青藏高原地处全球最大的阿尔卑斯-喜马拉雅成矿带的东段,成矿条件好、矿床类型多、形成时代新(李德威, 1994a),目前在青藏高原已发现一批具有世界级潜力的矿床(如驱龙斑岩铜矿、玉龙斑岩铜矿、尼雄砂卡岩富铁矿)和矿集区(如冈底斯、三江地区)。已有工作表明,很多矿床的形成与板块俯冲和碰撞无关,受板块碰撞运动之后的另一次性质完全不同的构造运动所制约,处于伸展构造背景而不是挤压状态,并有定向迁移规律。例如,青藏高原南部大规模金属成矿发生在中新世,与板块碰撞之间存在很大的时差,正好与板内造山、构造隆升、地壳加厚、热隆伸展、壳源岩浆活动同步,完全不同于板块碰撞的属性(李德威, 1994a, 2003, 2005a)。因此,研究青藏高原构造演化对成矿演化的控制作用,特别是研究板内成矿构造背景、伸展构造控矿与成矿作用、构造-岩浆-成矿系统的迁移规律,对于创立新

的成矿理论和加速建设我国紧缺矿产资源后备基地都具有十分重大的意义。

总之,板块构造理论和其他经典构造模式都不能合理解释青藏高原及邻区地质、地球物理、矿床、地震等现象和气候—生态—环境变化,青藏高原大陆动力学及地球系统动力学是当前以至今后一段时期内国际地质界的重大前沿课题,我国已投入了极大的人力和物力,积累了巨量的资料,更重要的是已经认识到了关键的科学问题,最亟需的是敢于理论创新,地质理论、成矿理论的创新必然带动矿产勘查和开发的高效发展。本文在野外地质调查和前人大量工作的基础上,试图以大陆动力学和系统地球动力学的思路(李德威,1995,2005a),进一步探讨青藏高原构造演化及其相关的成矿演化的过程、特点和规律。

1 青藏高原三阶段构造演化

大陆构造演化有其基本的规律,一般可划分为前板块基底形成阶段、板块造洋—造陆阶段和板内造山成盆阶段(李德威,1993,1995),不同构造阶段的构造格局和形成机制有所不同,构成一个历史地球系统动力学体系(李德威,1997,2005a)。

青藏高原宏观的构造演化可分为前寒武纪基底形成、板块体制洋陆转换和板内造山成盆 3 个阶段(李德威和李先福,1993;Li,1994c;李德威,2003;李德威和庄育勋,2006),各阶段具有完全不同的构造性质和地质特征(表 1)。

1.1 前寒武纪基底形成阶段

青藏高原周边造山带和内部隆起带不同程度地剥露出前寒武纪基底,由新太古—古元古代的变质杂岩和中、新元古代变沉积岩系组成,二者之间为强烈改造的角度不整合,记录了哥伦比亚超大陆和 Rodinia 超大陆的裂解—汇聚事件。

1.1.1 哥伦比亚超大陆演化阶段 青藏高原新太古—古元古代的中深变质杂岩主体上是由英云闪长质、奥长花岗质、花岗闪长质片麻岩组成的 TTG 岩石,其次为变质表壳岩系,二者变形变质强烈,深熔作用显著,构成无序的变质深成岩系,夹有榴辉岩、麻粒岩、榴闪岩的透镜体,常见斜长角闪岩脉,发生多期面理置换、韧性剪切、部分熔融,它们共同构成青藏高原的结晶基底。青藏高原北部的结晶基底地层有库浪那古岩群、金水口岩群、白沙河岩群、沙柳

河岩群、德令哈杂岩、米兰岩群、达肯达坂岩群、苦海岩群、马衔山岩群、陇山岩群、秦岭岩群、佛坪岩群等;青藏高原东部代表性结晶基底地层有宁多杂岩、康定杂岩等;青藏高原西部代表性结晶基底地层为布伦勒勒岩群;青藏高原中部代表性结晶基底地层为应当解体的念青唐古拉岩群,吴珍汉等(2004)获得冈底斯土那片麻岩的岩浆锆石 U-Pb 年龄为 1 766 Ma;青藏高原南部喜马拉雅造山带代表性结晶基底地层为聂拉木群解体之后的马卡鲁杂岩,通过 SHRIMP 测定马卡鲁杂岩中花岗质片麻岩的锆石 U-Pb 年龄为 2.1~2.5 Ga 和 1 827±25 Ma(李德威等,2004);更重要的是,多吉等(2007)在普兰县石英片岩中获得 4.1 Ga 岩浆成因的碎屑锆石,此外还有 3.6~3.2 Ga、2.7~2.2 Ga、1.8~1.6 Ga、1.3~0.9 Ga 和 0.7~0.4 Ga 的热事件。

陆松年(2002)对青藏高原北部前寒武纪构造演化进行了深入的研究。结晶基底中有少量 3 Ga 以前的年龄,出现 2.3~2.5 Ga 和 1.7~1.8 Ga 两个峰值,与喜马拉雅地区结晶基底的热事件可以对比,特别是后一组年龄分布十分广泛,与吕梁运动—中条运动相当,具有全球构造热事件意义,是古元古代末哥伦比亚超大陆聚合事件在中国西部地区的响应。

在空间上超大陆的聚合事件应当与同步的超大洋扩张事件伴生。在哥伦比亚超大陆聚合同时,龙首山—?—拉拉厂—大红山一带可能出现与超级地幔柱上升及超岩石圈伸展作用。龙首山岩群由一套混合岩、片麻岩、大理岩、石英岩、片岩和变质流纹英安岩组成,汤中立和白云来(1999)认为龙首山岩群东大山组原岩为基性火山沉积建造的碎屑岩—含铁石英岩,属于中太古代,后期侵入到龙首山群下部白家咀子组的金川含矿超基性岩体中,Sm-Nd 等时线年龄为 1 508±31 Ma;修群业等(2004)利用锆石 U-Pb 法获得龙首山岩群奥长花岗岩的成岩年龄为 2 015±16 Ma。滇中地区古元古代大红山岩群是一套以基性—中基性海相细碧角斑岩为主的变沉积建造。初步认为龙首山和大红山古构造带可能是青藏古陆块与华北和扬子古陆块之间的离散构造边界,是超大洋(始特提斯?)的组成部分。

青藏高原各区块基底结晶岩系在形成时代、物质组成和变形特征基本上可以进行对比,可能是哥伦比亚超大陆统一的结晶基底的一个组成部分。

1.1.2 Rodinia 超大陆演化阶段 古元古代末哥伦比亚超大陆聚合形成 Rodinia 超大陆,中元古早

表 1 青藏高原三阶段构造演化基本特征的对比

Table 1 Comparison of three-stage tectonic evolution features in the Qinghai-Tibet plateau

基本特征	前板块基底形成阶段	板块体制洋陆转换阶段	板内造山成盆阶段
时空结构	新太古代—新元古代超洋陆体系	原特提斯: 440~410 MaB. P. 古特提斯: 250~230 MaB. P. 中特提斯: 180~120 MaB. P. 新特提斯: 65~30 MaB. P.	青藏高原北部: 180~120 Ma 青藏高原中部: 65~30 Ma 青藏高原南部: 23~7 Ma 青藏高原整体隆升: 3.6~0 Ma
地貌特征	超大陆与超大洋结构	陆块与洋盆结构, 4 个古洋盆向南有序迁移	山脉与盆地结构, 青藏高原周边 3 个盆地体系和青藏高原内部被改造的盆岭结构
地层特征	变质杂岩、变沉积岩为主的基底地层组合	洋盆裂解: 与蛇绿岩有关的海相地层组合 洋陆转换: 区域性洋陆转换型磨拉石建造, 原(始)特提斯构造域早中泥盆世雪山群和晚泥盆世牦牛山组, 古特提斯构造域晚三叠世八宝山组, 中特提斯构造域晚白垩世竟柱山组、新特提斯构造域上新统罗布莎群等	盆山耦合: 邻近山脉源陆相沉积地层 均衡沉降: 盆缘盆山耦合型磨拉石建造, 青藏高原北部盆山系西城砾石层、玉门砾石层、积石山砾石层等; 青藏高原东部盆山系大邑砾岩、雅安砾石层、元谋砾石层; 青藏高原南部盆山系西瓦利克砾石层、贡巴砾石层等
岩石特征	中深变质岩系列、TTG 岩、孔兹岩系等	洋盆裂解: 蛇绿岩组合, 镁铁—超镁铁质岩 洋陆转换: 板缘带状分布的壳幔混源中基性花岗闪长岩、双变质带	盆地裂解: 陆相碎屑岩和火山岩沉积 盆山耦合: 板内弥散状分布的高钾火山岩, 造山带核部退变质岩系列及壳源酸性花岗岩
构造特征	流变褶皱, 地壳中—深层次韧性剪切带	板缘海相地层压扁褶皱、紧闭褶皱及面理置换; 以蛇绿岩为中心的背冲式逆冲断层系; 超镁铁质岩及铬铁矿透镜体化	盖层纵弯褶皱, 盆山过渡带倾向腹陆式叠瓦状逆冲断层系; 青藏高原内部及造山带核部热隆伸展构造系统; 盆山转换带共轭走滑断层系
地球物理特征	地球物理场已完全消失	地球物理场基本上消失	青藏高原发育壳内低阻层、低速层、反射层, 显示高热流、低磁场、低 Q 值、低泊松比和剩余重力正异常
矿产特征	金川式与地幔岩有关的铜镍硫化物矿床等	罗布莎式铬铁矿、呷村式海底喷流块状硫化物矿床等	驱龙式斑岩铜矿、哀牢山式金矿、金顶式陆相盆地沉积型多金属矿床等
地震特征	已完全消失	已消失	震源沿上、下地壳之间脆韧性过渡带成层分布, 青藏高原内部张性活动断层控震, 青藏高原周边压扭性活动断层控震

期青藏高原北部—北祁连一带古陆块裂解, 形成朱龙关群一套玄武岩发育的海相沉积建造, 与熬油沟蛇绿岩共生, 张招崇等(2001)通过 SHRIMP 确定熬油沟蛇绿岩时代为 1 777 Ma 左右。中元古中期裂陷中心向南迁移到东昆仑, 形成万保沟群玄武岩及碎屑岩建造和清水泉蛇绿岩, 获得万保沟群玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 谐和年龄为 $1\ 343 \pm 30$ Ma(魏启荣等, 2007)。这些洋盆可能具有始特提斯的性质, 与多期活动的龙首山大洋盆一起构成超大洋的组成部分, 伸展作用强度从龙首山洋→北祁连洋→东昆仑洋依次降低。

青藏高原中部和南部念青唐古拉岩群、松家山岩群、聂拉木岩群、迦巴瓦岩群、拉轨岗日岩群中可以解体出中、新元古代的变沉积岩组合。喜马拉雅造山带中、新元古代扎西惹嘎岩组底部出现由石英岩砾石组成的底砾岩, 与其下的新太古—古元古代马卡鲁杂岩之间为角度不整合接触, 代表一次重要的构造事件(李德威等, 2004)。扎西惹嘎岩组主要由含

石榴子石云母石英片岩、黑云母石英片岩、石墨片岩、片麻岩、大理岩和石英岩组成, 常见紧闭褶皱、鞘褶皱、顶厚褶皱, 是物质组成和变形样式不同于结晶基底的褶皱基底。这套角闪岩相—绿片岩相的富铝变沉积岩组合具有孔兹岩系特征, 总体处于相对稳定的古大陆边缘陆棚—浅海沉积。

十亿年左右的 Rodinia 超大陆聚合事件(格林威尔运动)在青藏高原北部地区有明显的响应。郭进京等(2000)获得的中祁连东段湟源群中变质火山岩的年龄为 910 ± 6.7 Ma, 侵位于湟源群中的响河花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 917 ± 12 Ma。于海峰等(1999)对阿尔金—柴北缘—甘肃北山构造—岩浆—变质带中同剪切伟晶岩脉和岩体定年, 认为华北与柴达木在 800~1 000 Ma 汇聚, 塔里木与柴达木在 913 Ma 斜接。陆松年(2002)将柴达木盆地北缘“达肯大坂群”解体, 确定其同位素年龄为 $1\ 020 \pm 41$ Ma 和 803 ± 8 Ma 深成侵入体。杨经绥等(2003)得到柴北缘榴辉岩围岩片麻岩 1 000 Ma 左

右的年龄。张传林等(2003)对西昆仑北缘中元古代变质双峰式火山岩中角闪石和黑云母进行 Ar-Ar 测年,分别获得坪年龄为 $1\ 050.85 \pm 0.93$ Ma 和 $1\ 021 \pm 1.08$ Ma。王国灿等(2004)在东昆仑中元古代小庙岩群片麻岩中获得 $1\ 035$ Ma 和 $1\ 074$ Ma 的锆石 U-Pb 峰值年龄。

冈底斯—喜马拉雅基底变质岩系中也有 Rodinia 超大陆聚合事件的年龄记录,多吉等(2007)获得的 6 组石英片岩锆石 U-Pb 年龄数据中,以 $1\ 056 \pm 38$ Ma 最显著。此外,青藏高原南部 $450 \sim 630$ Ma 的泛非构造事件也较明显。例如,许志琴等(2005)通过 SHRIMP 获得高喜马拉雅角闪岩相孔兹岩系锆石 U-Pb 年龄为 $529 \sim 457$ Ma, Yin An 在印度 shillong 高原变质基底中获得 11 Ga 和 5 Ga 的锆石 U-Pb 年龄(私人通讯)。

总之,青藏高原前寒武纪基底形成阶段,以古元古代哥伦比亚超大陆和中、新元古代 Rodinia 的裂解与聚合为主旋律,哥伦比亚超大陆统一的结晶基底经过 Rodinia 超大陆的裂解与聚合发生分异。初步认为,这个前板块超大陆—超大洋构造过程可能是受地核软层控制的全球动力学过程,地球外核流层与核外系统耦合过程中产生的超级地幔柱引起超岩石圈伸展裂陷及其相关的挤压汇合,造成地球的膨胀与收缩(李德威,1997,2005a)。

1.2 板块体制洋陆转换阶段

自从 Sengor(1979)提出特提斯域由古特提斯和新特提斯及其间的 Cimmerian 大陆组成以来,对特提斯的认识有了很大的发展。黄汲清和陈炳蔚(1987)认为古特提斯与新特提斯之间存在中特提斯,构成互换构造域。潘裕生(1994)通过对西昆仑蛇绿岩的研究论证青藏高原存在第五条缝合带,形成于 $800 \sim 450$ Ma 的原特提斯闭合于加里东运动。肖序常和李廷栋一直强调特提斯并不是宽阔的大洋,而是有限洋盆(Xiao and Li, 1995, 肖序常和李廷栋,2000)。潘桂棠等(1997)指出特提斯洋从萌生、扩展、萎缩、消亡到汇聚造山的演化过程受全球洋陆时空结构的控制。

笔者将青藏特提斯构造演化可分为自北向南迁移的 4 个洋陆转换期,即原特提斯消减与古特提斯同步扩张期、古特提斯消减与中特提斯同步扩张期、中特提斯消减与新特提斯同步扩张期和新特提斯消减与现代(印度洋)特提斯扩张期,这是一系列碰撞造陆过程,而不是碰撞造山过程。向南有序迁移转换

造成欧亚大陆南缘的侧向增生(李德威和李先福,1993;Li,1994c),欧亚大陆横向增生的岩石圈动力学过程控制着青藏高原板内盆山耦合的大陆动力学过程(李德威,1997,2005a)。下面结合近年来区调研研究成果,进一步探讨原特提斯、古特提斯、中特提斯和新特提斯的洋陆转换过程。

1.2.1 原特提斯洋陆转换 原特提斯分布在青藏高原的最北部,其范围包括喀喇昆仑、西昆仑、阿尔金、祁连山、东昆仑等地区。岩石圈伸展裂陷开始于寒武纪,于奥陶纪达到峰期,不同程度地发育多条蛇绿岩带,形成具有多岛洋或小洋盆—微陆块群组合的原特提斯。西昆仑以北由于叠加了中生代以来形成的塔里木盆地,原特提斯的形迹在地表出露不完整,仅出露库地—其曼于特蛇绿混杂岩带。青藏高原东北部从北往南大致可划分出阿拉善微陆块、北祁连主洋盆、中祁连微陆块、南祁连—柴北缘小洋盆、柴达木微陆块(被中—新生代沉积物覆盖,内部可能作进一步的划分)、东昆北微陆块、东昆南准洋盆。原特提斯域北祁连主洋盆广泛分布早奥陶世阴沟群、车轮沟群和早—中奥陶世中堡群一套以玄武岩为主的沉积建造,发育多条近东西走向的蛇绿混杂岩带,从北向南有榆树沟—九个泉—百泉门—老虎山蛇绿混杂岩带、大岔大坂蛇绿混杂岩带、边马沟—清水沟—百经寺蛇绿混杂岩带、玉石沟—川刺沟—小八宝蛇绿混杂岩带(张旗等,1997)。伸展裂陷作用北强南弱,扩张中心也有从北向南迁移的迹象,北祁连成熟洋盆形成于早奥陶世加里东运动早期,东昆南小洋盆中蛇绿岩赋存于奥陶—志留纪纳赤台群中。

早古生代早期原特提斯的岩石圈伸展导致相邻地区的挤压、相关块体的碰撞和与 Rodinia 超大陆演化有关的始特提斯的同步闭合,在阿尔金—柴北缘—秦岭一带出现具有挤压性质的构造—岩浆—变质事件。例如,阿尔金西段角闪岩相片麻岩中榴辉岩的全岩—金红石—石榴石—绿辉石 Sm-Nd 等时线年龄为 500 ± 10 Ma、锆石 U-Pb 年龄为 503.9 ± 5.3 Ma(Zhang *et al.*, 1999)。柴北缘片麻岩中含柯石英榴辉岩的锆石 U-Pb 定年获得的超高压变质年龄为 452 ± 13.8 Ma, SHRIMP U-Pb 定年获得秦岭含金刚石片麻岩中锆石的超高压变质年龄 502 ± 45 Ma,榴辉岩中锆石的超高压变质年龄为 493 ± 170 Ma(杨经绥等,2003)。

原特提斯于志留纪消减和萎缩,充填了以北祁连下志留统肮脏沟组、中志留统泉脑沟山组、南祁连

下志留统巴罗根郭勒群、东昆仑志留系赛什腾组代表的浊流沉积。

原特提斯的洋陆转换主要发生在志留纪末的加里东运动晚期,也有从北向南迁移的趋势。北祁连大部分地区缺失上志留统,其他地方为滨海相沉积,早、中泥盆世雪山群或老君山组是典型的洋陆转换型粗碎屑磨拉石建造,这套以陆相为主含有海陆交互的砾岩角度不整合在前泥盆系之上,原特提斯域进入了板内构造环境;柴北缘及东昆仑地区晚泥盆世牦牛山组陆相厚层砾岩、砂砾岩角度不整合在前泥盆系不同时代的地层之上。西昆仓库地北花岗闪长岩的结晶年龄为 $471 \pm 5 \text{ Ma}$ (Xiao *et al.*, 2005), 指示原特提斯向北消减。

1.2.2 古特提斯洋陆转换 古特提斯分布在青藏高原的北部和东部地区,受中、新生代上叠断陷盆地的叠加和改造,断续出露多条蛇绿混杂岩带,从北向南包括阿尼玛卿、甘孜—理塘、拉竹龙—西金乌兰—玉树—金沙江—哀牢山、龙木错—双湖—吉塘—澜沧江等蛇绿岩混杂带,代表了古特提斯的多岛小洋盆系。它们基本上同步裂解、扩张、萎缩和消亡,表现为泥盆纪至石炭纪岩石圈伸展造成晚古生代冈瓦纳大陆北缘地壳减薄和裂隙;晚石炭—早二叠世强烈扩张形成洋壳;早—中三叠世洋盆萎缩充填巨量的复理石浊积岩,张雪亭等(2005)认为是巴颜喀拉残留洋盆的沉积物;中三叠世末古特提斯洋闭合(潘桂棠等,1997;张国伟等,2004),晚三叠世古特提斯洋盆消亡,局部出现浅海复理石和风暴岩沉积,大部分地区已经完成洋陆转换,沉积了以八宝山组为代表的洋陆转换型磨拉石建造,与下伏地层呈角度不整合接触。我们在区调中发现东昆仑原来大面积的海西期花岗岩实际上属于印支期,正是古特提斯洋壳板块俯冲和相关的陆(弧)陆碰撞的产物。

古特提斯最北部的阿尼玛卿蛇绿混杂岩带在马尔争—布青山—花石峡—阿尼玛卿山一带出露较好,向东通过玛沁地区德尔尼蛇绿岩可能与勉县—略阳蛇绿构造混杂带相接,向西没有出露完整的蛇绿岩岩石组合,组成阿尼玛卿蛇绿混杂带的二叠纪马尔争组呈东西走向的狭长断片状产出,在红石山一带前人原定的上石炭统变玄武岩、变碎屑岩组合、变碳酸盐岩组合各岩性界面之间均以逆断层接触,可能是马尔争构造混杂岩。

甘孜—理塘蛇绿混杂岩带由蛇绿混杂岩、构造混杂岩、火山混杂岩组成(江元生,1996)。由于被巴

颜喀拉山群浊积岩所覆盖和受新生代活动断层的改造,出露范围较小,可能是拉竹龙—西金乌兰—玉树—金沙江—哀牢山主洋盆的一个分支。拉竹龙—西金乌兰—玉树—金沙江—哀牢山蛇绿混杂岩带规模大,蛇绿岩套岩石组合完整,蛇绿混杂岩带挤压构造变形强烈,各岩性单元之间均为逆断层接触。

古特提斯最南部的龙木错—双湖—吉塘蛇绿混杂岩带向南东与澜沧江—昌宁—双江—孟连蛇绿岩混杂带相连。Li *et al.* (2006)在龙木错—双湖蛇绿混杂岩带板块缝合带南侧白云母蓝闪石片岩和石榴石白云母片岩中发现透镜体产出的榴辉岩,并获得蓝闪石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为 220 Ma,白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄 221.9 Ma,榴辉岩相变质作用的温度不超过 500 °C,压力为 1.56~2.35 GPa,反映了古特提斯中三叠世末的洋陆转换。

1.2.3 中特提斯洋陆转换 以班公湖—怒江蛇绿混杂岩带为代表的中特提斯具有独立的时空结构,不能作为新特提斯的组成部分,但是,它的消减过程与新特提斯扩张过程密切相关。

与原特提斯和古特提斯相比,中特提斯的结构相对较简单,主洋盆沿着班公湖、洞错、东巧、丁青、嘉玉桥、八宿一带分布,内部有分支复合,构成多岛小洋盆。西段在作为班公湖蛇绿混杂带的主带的柴朱日、茶罗、界哥拉、热邦错一线以北,沿着班公湖北岸麦克尔、拉木吉雄、查拉木、巴尔穷北一线出露宽度 10~25 km 的蛇绿混杂岩带(曹圣华等,2004)。狮泉河蛇绿岩带作为班公湖—怒江蛇绿岩带的南亚带,与班公湖蛇绿岩带之间为冈底斯北带巨大的燕山晚期中酸性侵入体(邱瑞照等,2005);中段在东巧—安多以南出现果忙错—纳木错蛇绿混杂岩带。

中特提斯自东而西封闭,时差不大,经过了晚三叠世裂解、早侏罗世扩张、中—晚侏罗世萎缩和早白垩世消亡的 4 个演化阶段。上三叠统确哈拉群一套大陆边缘海相碎屑沉积不整合在前二叠系之上(陈玉禄等,2005),表明晚中生代的冈瓦纳大陆北缘于晚三叠世发生岩石圈尺度的伸展,地壳减薄、海盆形成;早侏罗世岩石圈在扩张中心形成洋壳,出现蛇绿岩组合;中侏罗—晚侏罗世中特提斯洋盆萎缩,中上侏罗统雁石坪群为巨厚的碎屑岩和碳酸盐岩建造,被充填的洋盆逐渐变浅,转向河流—三角洲相红色碎屑岩沉积;早白垩世中特提斯俯冲消减,上盘带状分布强过铝花岗岩;早白垩世晚期结束海相沉积;上白垩统竟柱山组、玉多组等砂砾岩角度不整合在蛇

绿岩及老地层之上,标志中特提斯的洋陆转换已经结束。在中侏罗—早白垩世的板块俯冲和碰撞过程中,班公湖—怒江缝合带两侧不同程度地发育同期的岛弧型钙碱性火山岩和花岗闪长岩,表明中特提斯洋向南北双向俯冲。

1.2.4 新特提斯洋陆转换 新特提斯沿着雅鲁藏布江缝合带分布,洋盆内部结构相对简单,在西段出现以达巴—普兰—当穷—窝尔巴错—休古嘎布蛇绿岩带为标志的分支。

新特提斯沿走向有分段性(李德威,1994b)。东段(谷露—羊八井—亚东地堑以东)蛇绿岩体呈透镜状断续分布,玄武岩和硅质岩很少,纯橄岩和辉长岩发育,常见地幔韧性剪切带及橄榄石糜棱岩,成矿性好。中段(当穹错—许如错—锁作地堑与谷露—羊八井—亚东地堑之间)蛇绿岩体规模大,变质橄榄岩体呈板状、透镜状产出,蛇绿岩层序较全,玄武岩和硅质岩发育,含矿性较差。西段(当穹错—许如错—锁作地堑以西)蛇绿岩体规模较小,零星分布,呈透镜状产出,蛇绿岩层序发育不全,地幔韧性带不发育,含矿性较差。蛇绿岩沿走向的差异变化主要受新特提斯形成和演化本身的控制,也与板内构造过程中喜马拉雅弧形造山带向南差异扩张有关,雅鲁藏布江东西两侧靠近构造结,强烈的挤压作用造成蛇绿岩挤出剥蚀、断层缺失、构造肢解和透镜体化;中段由于喜马拉雅山体向南强烈扩张造成北喜马拉雅及冈底斯的上地壳伸展,蛇绿岩体侵位后的改造较弱。

新特提斯主洋盆经历了早侏罗世裂解(大陆边缘沉积)、中侏罗—早白垩世差异扩张(蛇绿岩)、晚侏罗—晚白垩纪新特提斯向北差异俯冲(岛弧型火山花岗岩)和古新世—始新世先后碰撞(碰撞型花岗岩)的过程,局部表现出分段差异开合,东、西两段裂解较早,关闭较早;中段裂解较晚,关闭也较晚。Zhou *et al.* (2002)获得东段罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 等时线年龄值为 177 ± 31 Ma,钟立峰等(2006)通过 SHRIMP 测得罗布莎蛇绿岩中锆石 U-Pb 年龄为 162.9 ± 2.8 Ma,表明东段蛇绿岩形成于中侏罗世。王冉等(2006)对中段吉定蛇绿岩中辉长岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,得出加权平均年龄为 128 ± 2 Ma,与中段其他蛇绿岩的年龄基本一致,集中在 $130 \sim 120$ Ma 的年龄结果表明新特提斯中段强烈扩张时代为早白垩世。冈底斯东段南部晚侏罗—早白垩世桑日群弧火山岩是板块俯冲的标志。莫宣学等(2003)在研究林子宗群与下伏设

兴组的区域性角度不整合的过程中,获得林子宗群底部火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 64.43 Ma,推测是印度板块与亚洲板块开始碰撞的年龄。上新统罗布莎群砾岩标志洋陆转换已经结束。西构造结帕米尔地区榴辉岩的峰期变质时间为 $40 \sim 55$ Ma (Tonarino *et al.*, 1993),东构造结南迦巴瓦地区麻粒岩变质年龄为 40 Ma 左右 (Ding *et al.*, 2001), Li *et al.* (2003)测得喜马拉雅中段高压基性麻粒岩中一组年龄为 29.5 ± 0.4 Ma,在定日、岗巴一带发育始新世海相地层朋曲组 and 遮普惹组,最高海相层位为始新世普里亚本末期约 34 Ma (李祥辉等, 2001)。由此推测,新特提斯东、西段于 40 MaB. P. 完成洋陆转换,而中段于 30 MaB. P. 最终完成洋陆转换,青藏高原全面进入陆内发展阶段。

青藏高原保存有数十条不同时代的蛇绿混杂岩带,归属于 4 个主要的特提斯域,在岩石圈尺度的特提斯开合转换演化过程中,冈瓦纳北界不断向南迁移,并没有统一的印度板块与欧亚板块的主碰撞带,只有不同时期的碰撞带或缝合带,因此,长期以来对冈瓦纳大陆的北界到底是可可西里—金沙江带、龙木错—双湖—澜沧江带、班公湖—怒江带还是雅鲁藏布江带的争论应当从特提斯向南有序迁移演化的角度进行认识。

1.3 板内体制造山成盆阶段

碰撞带及其两侧区域性分布的磨拉石建造标志着洋陆转换已经结束,进入板(陆)内构造演化过程。青藏高原的板内构造演化可分为以应力作用和水平运动为主导的板内造山期和以重力均衡作用和垂直运动为主导的板内成山期,2 个地质过程具有完全不同的地质—地理特征(表 2)。

1.3.1 青藏高原板内造山期 青藏高原板内造山作用及相关的成盆作用也是向南有序迁移 (Li, 1994c),可以划分出 $180 \sim 120$ Ma 青藏高原北部和东部板内造山、 $65 \sim 30$ Ma 青藏高原中部板内造山、 $23 \sim 7$ Ma 青藏高原南部板内造山 3 个次级阶段,形成多期伸展性盆岭构造体系,出现多组不同时代的盆山系(如祁连山—河西走廊盆地、西昆仑—塔里木盆地、龙门山—四川盆地、东昆仑—柴达木盆地、唐古拉山—羌塘盆地、喜马拉雅山—印度恒河盆地),中新世在青藏高原内部构成三山(昆仑山、唐古拉山、喜马拉雅山)夹两湖(古北湖、古南湖)地貌构造格局。限于篇幅,各阶段的时空结构和地质依据另文详细论述 (Li, D. W., 待刊)。

表 2 青藏高原板内两阶段构造演化地质特征的对比

Table 2 Comparison of two-stage intraplate tectonic evolution in the Qinghai-Tibet plateau

基本特征	板内造山期	板内成山期
时间界线	青藏高原北部:180~120 Ma 青藏高原中部:65~30 Ma 青藏高原南部:23~7 Ma	3.6~0 Ma 包括 3.6 Ma、2.5 Ma、1.8 Ma、1.2 Ma、0.8 Ma、0.15 Ma 等 脉动隆升期
作用范围	分区不均匀作用,自北向南有序迁移	整个青藏高原
隆升高度	一般小于 2 000 m,夷平后小于 1 000 m	大于 6 000 m,隆升过程伴生剥蚀作用和伸展作用
隆升速率	较慢,均速小于 0.3 mm/a	极快,均速大于 1 mm/a
作用方式	构造隆升,地质作用,周边盆地同步构造沉降	均衡隆升,地理作用,周边盆地边缘拗陷带同步均衡沉降
构造性质	以水平运动为主,以地质作用、成矿作用为特征	以垂直运动为主,以地理作用、环境变化为特征
地壳结构	盆地地壳厚度开始分异	盆地地壳厚度显著分异,形成巨型地壳透镜体
地貌标志	盆岭构造,高差不大	巨大统一的高原,中国大陆西高东低,盆山原大梯度地势
地层标志	造山带上部地层(盖层)被剥蚀,周边盆地 陆相碎屑沉积	造山带揭顶,基底被剥蚀,周边盆地出现来自造山带中、 下地壳的砾石,盆缘巨厚的砾石层
古生物标志	中新世晚期三趾马动物群化石出现在青藏高原 南部(吉隆、聂拉木、札达、比如)和北部(贵德、 共和等)	生物区系地区分化,喜马拉雅以南多为喜湿热生物, 青藏高原为高原草甸和寒漠动物群,昆仑-阿尔金- 祁连山多为耐旱型生物
岩石标志	面状分布的板内壳源火山岩浆岩系列, 常与伸展构造有关	没有大规模的火山岩浆活动,青藏高原以剥蚀为主, 内部断陷湖盆及沉积,周边盆缘巨厚砾石沉积
构造标志	多期伸展性盆岭构造,统一的青藏高原内部伸展 构造;盆山过渡带冲断层系;盆山转换带共轭走 滑断层系	青藏高原内部浅层高角度活动正断层;走滑断层复活、 转换和反转;青藏高原盆山过渡带挤压褶皱-断层系和 重力滑动构造(如滑覆、滑坡)
盆山耦合	板内造山与板内造盆同步	均衡快速成山与盆地边缘均衡拗陷同步
主要效应	构造热活动、金属成矿、油气成藏等	地貌巨变、气候变化、生态变化、水系变迁等

1.3.2 青藏高原板内成山期 板内造山期形成的盆岭构造格局并没有构成统一的青藏高原,也没有形成高大的青藏高原。青藏高原北部的临夏盆地、中部的布龙盆地、夏曲卡盆地、措勤-比如盆地和南部的吉隆盆地、扎达盆地晚中新世河湖相沉积中含有三趾马动物群化石(郭铁鹰等,1991)。板内造山作用形成的盆岭构造经过 7~3.6 Ma 的夷平作用,形成具有红色风化壳特征的低位夷平面,创造了三趾马动物群生活的温湿气候,出现海拔大多为数百米的低山森林草原环境。

3.6 Ma 的青藏运动开始进入以重力均衡驱动的整体、快速、脉动隆升成山过程,可划分出 3.6 Ma、2.5 Ma、1.8 Ma、1.2 Ma、0.8 Ma、0.15 Ma 等一系列成山事件,逐步形成了现今的青藏高原,并带来地质、地貌、灾害、水系、气候、生态、环境的变化(Li, D. W., 待刊),产生喜马拉雅弧形山系及其共轭走滑断层(Li and Yin, 2008)。

总之,青藏高原板内构造环境的时空结构是在青藏特提斯洋陆转换基础上发生的以水平运动为主导的板内地壳尺度同步造山-成盆事件,从燕山期→喜马拉雅早期→喜马拉雅晚期自青藏高原北部→青藏高原中部→青藏高原南部呈现不均匀的有序演

变。3.6 Ma 左右的青藏运动是板内隆升事件的转折,从较缓慢的、不均匀的、以水平运动为主导的构造隆升转变为快速的、整体的、以垂直运动为主导的均衡隆升,并在周边沉积盆地同步响应。

2 青藏高原三阶段成矿演化

大陆内部、大洋内部和大陆边缘不同构造部位控制有规律的金属矿床系统。金属矿床作为特殊的岩石类型,是成矿元素在构造演化一定阶段的特定地质构造背景下受构造-热动力作用富集形成的地质体,在不同尺度的构造成矿系统中呈现有规律的时空配置(李德威,1993;李德威和李先福,1993)。矿床可作为地球动力学过程的一个有机组成部分,也是大地构造环境的重要指示标志(Groves and Bierlein, 2007)。中国大陆复杂的构造格局及其演化历史造就了中国矿床资源的特色(Zhai and Deng, 1996)。青藏高原三阶段构造演化制约了三阶段的成矿演化,反之,矿床类型及其成矿系列也可作为确定构造岩浆活动强度和划分构造演化阶段的一种标志。

2.1 前寒武纪超大陆旋回成矿阶段

前寒武纪超大陆旋回与金属矿产的关系十分密

切(Barley and Groves, 1992). 青藏高原前寒武纪地层主要出露在各造山带的核部, 海拔高, 难度大, 范围小, 制约了成矿规律的研究和找矿勘探的实施, 蕴藏着巨大的找矿潜力。

2.1.1 哥伦比亚超大陆旋回的成矿作用 2.0~1.4 Ga是超大陆旋回中与非造山岩浆活动有关的全局重要的成矿期(Barley and Groves, 1992). 青藏古陆块与华北、扬子古陆块之间的龙首山—?—拉拉厂—大红山裂陷带可能是超岩石圈尺度的伸展构造, 具有形成超大型矿床的成矿构造背景。

川西—滇中南北构造带在古元古代可作为青藏古陆块与扬子古陆块的构造边界, 后来经历了多次伸缩转换, 发生多期构造岩浆成矿事件。南北带南部的古元古代大红山岩群变基性—中基性海相细碧角斑岩及碎屑岩建造提供了形成似层状超大型大红山铁铜矿床的物源, 经过初始同生富集后发生强烈的变质改造和顺层拆离改造, 是主要的成矿作用, 主矿体沿着大红山岩群内部岩石物性和强度差别很大的曼岗河组与肥味河组之间的剥离断层产出(李德威等, 1998). 该带北部四川会理拉拉厂铜铁矿床也产于岩石圈伸展裂陷环境, 涉及地幔成矿作用。

古元古代沿着华北古陆块与青藏古陆块之间的超岩石圈尺度的伸展产生龙首山古大陆边缘裂陷边界, 发生海底深源热液活动, 形成东大山含磁铁石英岩的喷流沉积建造, 经过变质改造后形成东大山超大型铁铜矿床。汤中立和白云来(1999)认为龙首山地区东大山铁成矿组合和金川镍铜成矿组合是华北板块西南边缘太古宙—中元古代裂解期前成矿系统。

2.1.2 Rodinia 超大陆旋回的成矿作用 青藏高原北部中、新元古代与 Rodinia 超大陆裂解有关的大型伸展裂陷带具有形成大型、超大型矿床的良好成矿环境, 矿床类型以硫化镍矿床、铁矿床为主, 成矿过程包括同生成矿和后期的改造成矿, 并被成矿后的构造改造。

中元古代龙首山洋规模扩大, 可能与核幔作用有关的超级地幔柱上升有关, 由此产生的超岩石圈巨型伸展作用造成大量含镍铜的深地幔岩浆上涌, 经过深部熔离后沿着张性破裂系统贯入富集形成金川超大型铜镍硫化物矿床。同期滇中构造带继续伸展裂陷, 形成中元古界昆阳群含矿建造, 在因民组砂板岩与落雪组白云岩之间, 黑山头组砂岩、板岩、石英岩与大龙口组灰岩之间, 美党组板岩与柳坝塘组碳酸盐岩之间均发育有利于岩浆活动和成矿作用的

剥离断层, 反映不同时期的伸展同生成矿和改造成矿过程(李德威等, 1998)。

新元古代伸展成矿作用也随着构造迁移而向西南迁移, 在北祁连山西段的镜铁山群中形成“镜铁山式”铁矿, 镜铁山矿田包括桦树沟、黑沟两个大型铁矿床和柳沟峡、白尖中型铁矿床。矿床成因属于典型的海底喷流沉积型(汤中立和白云来, 1999)。

Rodinia 大陆聚合事件在青藏高原北部地区的构造—岩浆响应强烈, 其成矿作用与超大陆裂解事件相比, 要小一些。这一时期的主控矿成矿构造也是陆(板)缘或陆(板)间伸展活动带。

再次强调的是, 青藏高原内部存在哥伦比亚和 Rodinia 超大陆裂解与聚合有关的构造—岩浆—沉积—成矿事件, 也有很好的成矿环境, 应当加大力度寻找与东大山铁铜矿床、东大山铁矿床、金川铜镍硫化物矿床相类似的大型、超大型矿床。例如, 喜马拉雅变质基底含有磁铁石英岩, 具有形成这类矿床的地质条件, 亚东等地已发现铁矿, 印度在同一构造带上已经取得了很大的突破。

2.2 板块体制洋陆转换成矿阶段

Sawkins(1990)系统总结了板块构造系统(如洋中脊、大陆边缘、俯冲带、碰撞带、转换断层等)中矿床的分布规律和基本特征。青藏高原显生宙板块活动十分强烈, 出现向南有序迁移的洋陆转换时空结构, 相应地出现成矿作用的有序迁移。

2.2.1 原特提斯洋陆转换成矿 早古生代原特提斯由多个小洋盆和微陆块组成, 成矿作用主要发生在早古生代早期的洋盆裂解过程中, 由岩石圈伸展作用控制的蛇绿岩组合和海相碎屑岩—火山岩组合显示同生成矿和改造富集特征, 早古生代北祁连主洋盆、南祁连—柴北缘小洋盆和东昆南准洋盆伸展裂陷峰期阶段成矿性好, 是北祁连一个重要的成矿爆发期, 形成了与海相火山沉积及后期改造富集的镜铁山、白银厂、蛟龙掌、清水沟、白柳沟、折腰山、铜拉、浪力克、下柳沟、下沟、错沟、小铁山、弯阳河、香子沟、银碛沟、猪嘴哑吧等块状硫化物铜铅锌多金属矿床, 与古洋盆裂陷过程中镁铁—超镁铁质岩浆作用有关的大道尔吉、玉石沟、五岔、小八宝、安南坝等铬镍钴铜铂石棉矿床。笔者认为, 大道尔吉、玉石沟等蛇绿岩中的铬铁矿并不是形成于挤压碰撞环境, 与罗布莎豆荚状铬铁矿床一样, 是岩石圈伸展过程中沿地幔剪切带破裂系统贯入脉状矿床, 经过后期碰撞构造改造后成为透镜网络系统(李德威和李先

福, 1993). 早古生代南祁连—柴北缘也具有同样的成矿环境, 形成锡铁山铅锌矿床、滩间山金矿床、拉鸡山铜金镍矿床等。

志留系板块俯冲成矿作用相对早期的伸展成矿作用较弱, 在中祁连出现与俯冲作用有关的岩浆热液成矿组合, 如塔尔沟—小柳沟钨矿、桦树沟—柳沟峡铜矿、大东沟—吊大坂铅锌矿等(汤中立和白云来, 1999). 丰成友等(2002) 通过绢云母 Ar-Ar 法测得柴北缘赛坝沟金矿蚀变糜棱岩型金矿石的年龄为 426 ± 2 Ma. 其后的板块碰撞环境成矿作用更弱。

2.2.2 古特提斯洋陆转换成矿 古特提斯的多岛小洋盆结构复杂, 拉竹龙—西金乌兰—玉树—金沙江—哀牢山主洋盆构造演化过程中成矿作用强, 东段工作程度较高, 发现的矿床多, 西段应当有很好的找矿远景。阿尼玛卿、甘孜—理塘、双湖—澜沧江等构造带也有较好的成矿条件。

三江地区石炭—二叠纪岩石圈伸展裂陷环境是主导的成矿构造, 主要矿床类型是海相火山沉积型块状硫化物矿床, 仅三江地区就有义敦呷村超大型银多金属矿床、澜沧老厂大型银铅锌铜矿床、铜厂街铜锌矿床、思茅大平掌铜多金属矿床等。昆仑地区与岩石圈伸展有关的矿床块状硫化物矿床有铜峪沟、卡拉玛、阿克塔什、赛什塘、上其汗、切列克契、日龙沟、塔木其、骆驼沟等铜铁铅锌多金属矿床。

古特提斯板块俯冲背景下的上盘地壳伸展区形成斑岩铜矿床、矽卡岩型铜铁锡矿床和弧盆海相沉积矿床。位于金沙江蛇绿混杂岩带东侧的中甸普朗、雪鸡坪等斑岩铜矿形成古特提斯洋陆转换向板内盆山耦合过渡的转折时期; 位于金沙江构造带西侧的羊拉铜矿, 表现为海西期喷流沉积成矿、印支期接触交代成矿、燕山早期斑岩成矿及喜山期构造热液成矿(陈开旭等, 2002), 主期斑岩成矿作用发生在印支期洋陆转换之后的板内构造环境; 昆仑晚古生代弧后盆地中出现黑黑孜干式海相沉积型铁矿床。在板块碰撞过程中没有发生大规模的金属成矿。

2.2.3 中特提斯洋陆转换成矿 班公湖—怒江构造成矿带形成于中特提斯的洋陆转换, 经过了青藏高原隆升阶段的改造, 是一个有潜力的成矿带。在早侏罗世岩石圈伸展裂陷环境形成了东巧、依拉山、丁青等铬铁矿, 集中分布在班—怒带的中段, 脉状铬铁矿体经过碰撞作用改造成大小不等的透镜体。该带在中特提斯洋盆伸展环境形成的海相火山型块状硫化物矿床蕴藏巨大的潜力, 已有很多的矿化信息。

班公湖—怒江构造成矿带可能是铁铜金多金属巨量富集带。地质大调查已经显示该带中西段的日土—措勤—申扎—那曲一带是富磁铁矿集中区, 目前已发现尼雄、当曲、弗野、碾廷、梅花山、当曲、丛巴日、偏曲、碾廷、帮爱、所曲等铁矿。措勤尼雄超大型铁矿床产于中上二叠统下拉组、敌布错组与早白垩世末期尼雄花岗岩(K-Ar 法年龄为 $106 \sim 114$ Ma) 的接触带, 成矿作用发生在中特提斯洋陆转换与板内盆山耦合的构造转折时期(曹圣华等, 2007)。日土弗野富铁矿产于早白垩世末期花岗闪长玢岩与二叠世吞龙共巴、龙格组大理岩化灰岩的外接触带。安多帮爱乡聂荣所曲铁矿则产于侏罗系灰岩与燕山晚期花岗岩的接触带。在该带东段的腾冲滇滩—燕洞一带, 燕山晚期花岗岩与二叠系碳酸盐岩接触带的矽卡岩成矿作用也很强烈, 铜厂山铅锌矿是典型实例。

班公湖—怒江构造成矿带同期还出现斑岩型铜矿, 目前在带西段北侧发现多不杂大型斑岩型铜矿, 南侧找到中型革吉尕尔穷斑岩型铜金矿。曲晓明和辛洪波(2006) 通过 SHRIMP 测定两个含矿斑岩锆石 U-Pb 年龄分别为 127.8 ± 2.6 Ma 和 112.0 ± 2.3 Ma, 晚于 145 Ma B. P. 的板块碰撞。与同期形成的矽卡岩型铁矿床一样, 其成矿构造环境属于板缘还是板内值得深入研究, 笔者初步认为是受南侧新特提斯扩张控制的中特提斯域板内成矿。

2.2.4 新特提斯洋陆转换成矿 雅鲁藏布江蛇绿岩带东段产出我国目前最大的罗布莎铬铁矿床, 研究发现, 豆荚状铬铁矿体是洋盆扩张期部分熔融的地幔岩浆充填到伸展性韧性与脆—韧性叠加的剪切带裂隙系统中形成脉状铬铁矿体, 成矿后的板块碰撞过程中由挤压变形分解作用形成的透镜状网络系统, 矿石结构为豆状、浸染状, 保留韧性剪切标志及定向流动特征(李德威和李先福, 1993)。因而, 产于蛇绿岩带的豆荚状铬铁矿是典型的被碰撞构造强烈改造的岩石圈尺度的伸展成矿。目前在雅鲁藏布江蛇绿带中段仁布和西段阿里拉昂错—东坡等地发现铬铁矿, 但规模远小于东段罗布莎—香卡山—康金拉一带。

冈底斯东段早—中侏罗世叶巴组为一套英安岩、玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩组合, 形成于新特提斯洋岩石圈尺度的伸展构造环境, 叶巴组及相关地层是寻找与海相火山作用有关的大型和超大型块状硫化物矿床极为有利的层位。

新特提斯洋向北俯冲过程中上盘地壳伸展状态

下形成的弧盆系出现构造—岩浆—沉积—成矿组合,冈底斯带某些沉积—改造型矿床和砂卡岩型矿床形成于这种构造环境,东段的当雄—嘉黎弧后盆地已发现尤卡朗、拉屋、昂张、亚贵拉、洞中松多等铅锌铜多金属矿床,可能是沉积—构造—热液改造成因,中西段找矿前景很大。板块碰撞过程中没有发生大规模的成矿,碰撞花岗岩局部有夕卡岩型铜铁金矿化,受逆冲断层控制的唐格、者拉等铜铁多金属矿点可能与碰撞作用有关。

有的矿床可能是多期成矿或改造成矿。郭建慈等(2006)认为普兰马攸木金矿床经历了古近纪雅江洋盆俯冲碰撞、中新世碰撞后伸展和晚上新世以来快速隆升的三阶段成矿过程。

2.3 板内体制盆山耦合成矿阶段

对于大多数大陆构造成矿区带,板内盆山系统是地球系统演化的第三阶段,地壳成熟度高,成矿环境好,因而,板内成矿是最重要的成矿期,特别是具有多个块体、经过长期演化、受到三向作用的中国大陆,板内成矿占主导地位。

青藏高原的板内成矿十分典型,青藏高原南部和三江地区板内成矿极其重要,笔者已作初步探讨(李德威,1994a;2003;2005a,2005b)。本文根据板内构造演化对成矿演化的制约,将青藏高原板内构造成矿演化分为两个阶段和4个时期,板内造山成盆阶段的时空结构为(180~120 Ma)→(65~30 Ma)→(23~7 Ma)自青藏高原北部→青藏高原中部→青藏高原南部有序演变,是以水平运动为主的构造活跃期和金属成矿爆发期;3.6 Ma以来青藏高原以垂直运动为主的均衡成山阶段,3.6 Ma、2.5 Ma、1.8 Ma、1.2 Ma、0.8 Ma、0.15 Ma等一系列脉动式成山过程中内生成矿作用不显著,外生成矿作用强,生态环境变化大。限于篇幅,在此仅作简要论述。

2.3.1 青藏高原北部和东部 180~120 Ma 板内成矿

青藏高原最北部的祁连山在新元古代发生超洋陆转换,早古生代叠加岩石圈开合作用,两期大尺度伸展背景下发生了大规模金属成矿。晚古生代以来处于板内状态,在特提斯的作用下,出现海西—印支—燕山期的板内成矿,如北祁连西段寒山剪切带型大型金矿床。

青藏高原北部及东部原特提斯和古特提斯洋陆转换发生在加里东期至印支期,但是板内造山成盆作用主要发生在燕山期,一系列中生代陆相盆地与造山带之间存在密切的时空关系和成因联系。青藏

高原北部及东部中生代盆山体系的形成与中特提斯洋板块向北俯冲、太平洋板块向西俯冲和西伯利亚板块向南俯冲有关,共同的上盘广泛发育地壳尺度的伸展性盆岭构造,因而在青藏高原北部、东部甚至新疆广大地区广泛分布侏罗系煤层。

板内造山成盆期也是主成矿期,以地壳热隆伸展和壳源成矿系统为特征。可可西里盆地发育风火山式晚白垩世陆相沉积砂岩型铜矿床。昆仑、秦岭、松潘—甘孜、龙门山等燕山期造山区发生大规模金属成矿,主要矿床类型有:(1)斑岩型钼、铜矿床,如东沟、金堆城超大型斑岩型钼矿床,马华东等(2004)在木孜塔格幅、鲸鱼湖幅区调中发现火箭山斑岩铜矿;(2)剪切带型金矿床,如陕甘川金三角有阳山、东北寨、玛曲、马脑壳、草地等金矿床,原特提斯泥盆纪残余洋盆和古特提斯三叠纪残余洋盆中深水浊积岩复理石建造是重要的成矿源岩,燕山期地壳尺度伸展构造背景下发生的韧性和脆—韧性剪切作用及其相关的岩浆活动改造成矿,矿化主要是沿韧性剪切带中糜棱面理分布的微细浸染型(卡林型)和沿脆韧性剪切中裂隙系统充填的石英脉型金矿床;(3)伟晶岩型矿床,如丹巴花岗伟晶岩型白云母矿床;(4)渗滤交代型汞矿床,如西秦岭兴海—同德—泽库一带汞矿床,包括崖湾、穆黑沟等大型汞矿床。

2.3.2 青藏高原中部及三江地区 65~30 Ma 板内成矿

青藏高原中部及三江地区的羌塘、唐古拉、北冈底斯、哀牢山、昌都—思茅、左贡—保山等块体66~30 Ma的板内构造岩浆活动和成矿作用叠加在印支期和燕山期完成洋陆转换的古特提斯和中特提斯构造域之上,板内地壳伸展及其造山成盆的大陆动力学过程受新特提斯洋陆转换的岩石圈动力学过程的控制(李德威,2005a,2005b)。

该区65~30 Ma板内成矿大爆发涉及多种矿床类型,主要有:(1)斑岩型铜矿床。最典型的是玉龙斑岩铜矿带,包括玉龙、莽总、扎那杂、多霞松多、马拉松多以及纳日贡玛等斑岩铜金矿床,其成因与板内伸展造山环境下加厚下地壳部分熔融过铝斑状花岗岩有关,主成矿期为40~35 Ma(马鸿文,1990)。Wang *et al.* (2005)获得该带马厂箐和铜厂斑岩铜矿 Re-Os 同位素年龄为 33.9 ± 1.1 Ma 和 34.4 ± 0.5 Ma。(2)剪切带型(包括蚀变岩型、石英脉型)金矿床。金沙江带的哀牢山是这类矿床的集中区,有老王寨、冬瓜林、墨江、金厂、大平等金矿床。毕献武等对老王寨、墨江和大坪等金矿中成矿期石英进行

ESR 定年,得到成矿时代为 50 MaB. P. (Bi *et al.*, 1996). 此外,班公湖—怒江成矿带砂金广泛分布,板内剪切带型岩金矿床是勘查方向,已发现丁青县扎格拉大型岩金矿床,班—怒带可能是青藏高原极其重要的贵金属成矿带之一。(3)陆相盆地沉积改造型矿床。如滇西兰坪中、新生代陆相盆地中金顶超大型铅锌矿床、白秧坪大型银矿床等。(4)石英脉型钨锡矿床, Qiu(1996)通过⁴⁰Ar-³⁹Ar 测定怒江带泸水钨锡矿床中石英流体包裹体的年龄为 38.6±1.9 Ma。(5)矽卡岩型多金属矿床。目前昌都、冈底斯、保山等地区有同期的夕卡岩型矿床,在玉龙成矿带矽卡岩型矿床与斑岩型铜矿床之间有密切的联系。(6)浅成低温热液型金锑矿床。羌塘、冈底斯、三江等地区具有形成与板内伸展背景高钾火山岩有关的浅成低温热液型金锑矿床的地质条件,唐古拉美多锑金矿床可能属于此类。(7)富碱斑岩型金矿床,如金沙江—哀牢山构造成矿带的北衙、马厂箐金矿床。

2.3.3 青藏高原南部 23~7 Ma 板内成矿 近年来开展的地质大调查开创了青藏高原南部矿产资源勘查的新局面,在冈底斯带和喜马拉雅发现了许多国家紧缺的工业矿床。笔者曾对青藏高原南部的成矿背景、成矿条件、矿床类型、成矿规模、成矿时代等作过论述,强调主成矿期为 17~15 Ma 的板内热隆伸展成矿(李德威,1994a,1994b,2004,2005a,2005b),在此再作如下补充:

(1)成矿背景:晚新生代陆壳改造中生代洋壳及新生的下地壳改造早期的地壳和岩石圈是形成大型和超大型斑岩铜矿的最有利的构造背景。从印度—恒河盆地流经喜马拉雅山的下地壳热流物质改造了雅鲁藏布江缝合带中挤入地壳的洋壳地幔岩石,造成下地壳部分熔融的埃达克质含矿花岗岩岩浆沿着冈底斯南部呈带状分布,导致下地壳部分熔融的岩浆中含有与古洋盆演化有关的亏损上地幔的成分,引起同期活动的冈底斯与喜马拉雅在火山岩浆作用和成矿作用上的巨大差别,例如中新世冈底斯南部形成有地幔物质参与的巨量斑岩铜矿而喜马拉雅则是以中地壳熔融为主的壳源花岗岩。有关问题将详细讨论。

(2)成矿条件:地壳伸展作用是板内成矿最重要的因素。伸展构造的断层组合、扩容空间、降压熔融、热水活动等都有利于岩浆作用和成矿作用。中新世青藏高原南部是盆岭式伸展构造体系,伸展构造呈现有规律的组合,从高喜马拉雅—特提斯喜马拉雅

—冈底斯—南羌塘依次出现变质核杂岩(高喜马拉雅变质核杂岩)—拆离断层(藏南拆离系)—热隆伸展的岩浆带(冈底斯南缘花岗斑岩带)和火山岩断陷盆地(鄂郁盆地、林周盆地等)—断陷湖盆(羌塘超级古大湖),各种板内伸展构造单元具有不同的控矿成矿意义,控制了花岗岩锡矿床、层状(控)多金属矿床、剪切带型金矿床、斑岩型铜钼矿床、矽卡岩型铜铁铅锌矿床、浅成低温热液型金多金属矿床、火山—岩浆热液型铜铁铅锌金矿床、沉积—改造型铅锌银矿床、沉积矿床等多种类型的矿床,构成板内伸展构造动力成矿系统。造山带厚壳环境下形成的变质核杂岩和拆离断层无法用经典的安德森断层模式进行解释,应当是中、下地壳流层部分熔融低密度物质上升的结果(李德威,1995)。

(3)矿床类型:李德威(1994a)曾将青藏高原南部分为 4 个成矿带,除了雅鲁藏布江成矿带是板缘成矿外,其他 3 个带主要是 17~15 Ma 的热隆伸展成矿,冈底斯带主要矿床类型是斑岩铜矿、火山岩铁矿、接触交代型多金属矿床;北喜马拉雅东段主要是剪切带型金锑矿,找矿方向主要是三叠系浊积岩中石英脉型和浸染状矿化;北喜马拉雅西段为剥离断层控制的层控矿床和接触交代型多金属矿床;高喜马拉雅应当有变质铁矿(亚东一带最有前景)、花岗岩锡矿、剪切带型金矿床。近年来的工作证实了这种矿床的分带性,除冈底斯带斑岩铜矿和接触交代型多金属矿床取得重大突破外,北喜马拉雅东段金锑矿也有进展(郑有业等,2007)。青藏高原中新世成矿包括更多的矿床类型,如冈底斯成矿带弄如日式浅成低温热液型金锑矿床、澜沧江走滑断层系中临沧拉分盆地中与陆相煤系地层有关的超大型锆矿床、龙门山东缘牦牛坪式与岩浆碳酸岩有关的稀土矿床等。

(4)成矿规模:处于全球最重要的阿尔卑斯—喜马拉雅构造成矿带上的青藏高原南部具有极好的成矿环境,应当存在(超)大型多金属矿床(李德威,1994a)。近年来冈底斯驱龙、尼雄、雄村、冲江、桑穷勒、朱诺等地的铜铁铅锌矿床和北喜马拉雅浪卡子—措美—哲古错一带金锑矿床的发现填补了这个世界级成矿带在关键地段的空白。青藏高原还有很大的找矿潜力,仅就中新世的成矿而言,应当加强高喜马拉雅、北喜马拉雅西段、冈底斯西段、三江西南部的研究和勘查,注意寻找与热隆伸展有关的有色金属矿床、稀有金属矿床、稀土矿床、铀矿床等。

(5)成矿时代:青藏高原南部有 2.5~2.1 Ga、1.9~1.7 Ga、550~450 Ma、170~120 Ma、120~70 Ma、65~40 Ma、23~12 Ma、3.6 Ma 等重大构造事件,每个构造事件的地质属性和成矿意义有所不同。2.1~2.5 Ga 和 1.7~1.9 Ga 的超大陆裂解与聚合事件具有较强的成矿作用,由于赋存在海拔高的基底变质岩系中,研究和勘查难度大;450~550 Ma 的泛非事件研究薄弱;170~120 Ma 的新特提斯裂解事件地幔成矿作用较强,以罗布莎铬铁矿为代表;120~70 Ma 洋壳板块向北俯冲的上盘地壳伸展性弧盆系中有利于壳幔混源矿床的形成;65~40 Ma 的板块碰撞环境不利于矿床的形成;23~12 Ma 的板内造山、下地壳韧性流动、上地壳热隆伸展构造背景下发生巨量成矿,以驱龙等斑岩铜矿为代表,板内热隆伸展成矿的峰期年龄是 17~15 Ma;3.6 Ma 开始的青藏高原整体快速均衡隆升事件的环境效应强,成矿主要限于盐类矿床、热泉矿床、砂金矿床。

(6)成矿机制:青藏高原南部中新世最重要的、成因分歧最大的矿床是冈底斯斑岩铜矿,侯增谦等(2003)认为是印度大陆与亚洲大陆碰撞环境成矿,芮宗瑶等(2006)提出在新特提斯洋壳尚未消失过程中印度大陆壳俯冲到亚洲大陆壳之下的“A”型俯冲成矿。笔者认为冈底斯斑岩铜矿是板内热隆伸展成矿(李德威,1994a),在印度洋板块向北俯冲的背景下发生印度—恒河盆地形成和喜马拉雅—冈底斯板内造山,中新世印度—恒河盆地伸展减薄过程中热软化的下地壳流向喜马拉雅和冈底斯,经过雅鲁藏布江蛇绿岩带时改造了中生代洋壳地幔橄榄岩,在冈底斯南带加厚的下地壳中发生部分熔融,形成在地壳内发生壳幔混熔的埃达克质岩浆,从下地壳软流层中部分熔融出来的低密度混源岩浆上升形成渠流,下地壳对上地壳发生热垫作用,造成上地壳热隆伸展,含矿埃达克质混源岩浆进入上地壳伸展构造多级断裂系统,发生大规模的同板内造山构造岩浆动力成矿(李德威,2004,2005b)。

2.3.4 青藏高原 3.6 Ma 以来板内成矿 青藏高原大规模的整体快速隆升始于 3.6 Ma,一系列脉动式成山作用造成地貌、水系、气候、生态、环境的巨大变化,也有一定的成矿效应。由于青藏高原 3.6 Ma 以来的构造性质是以垂直运动为主的成山作用,构造岩浆活动较弱,隆升剥蚀作用较强,所以内生成矿作用弱,外生成矿作用强。

青藏高原 3.6 Ma 以来的外生成矿主要是快速

隆升背景下蒸发作用形成的沉积盐类矿床和剥蚀作用形成的砂金矿。青藏高原一系列的成山作用极大地改变了东亚的气候和环境,造成亚洲内陆干旱化,古大湖不断萎缩,有利于在西藏、青海、新疆、甘肃等地区形成盐湖,干旱化程度不同造成青藏高原北部的盐湖比其南部更为发育。郑绵平等(1989,1995)深入研究了青藏高原的盐湖,系统总结了青藏高原盐湖资源的成矿规律和找矿准则,指出扎布耶超大型锂硼盐湖矿床为多级浅盆成矿。柴达木盆地是盐湖集中区,常产于上更新统砂质粘土中,主要有察尔汗、大浪滩、昆特依、马海、一里坪、吉乃尔湖、察汗斯拉图、一里沟、茶卡、柯柯、大柴达、小柴旦、宗家—巴隆、哈图等钾、镁、硼、锂等矿产,伴生芒硝、天然碱、石膏和钠盐。

此外,青藏高原砂金广泛分布,成带发育,原特提斯域北祁连、古特提斯域可可西里—东昆仑—松潘—甘孜、中特提斯域日土—改则—尼玛—文部—申扎—班戈—聂荣—玉树、新特提斯域浪卡子—琼结—曲松一带砂金集中,主要沿着黑河、黄河上游、岷江上游、楚玛尔河、通天河、大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等水系的 2—7 级支流分布。

青藏高原 3.6 Ma 以来的内生成矿主要是热隆伸展背景下形成的热泉型铯、硼、锂、铷、硫、金矿床,通常受青藏高原中南部等距性近平行排列的近南北走向活动地堑和活动的断陷盆地所控制。谷露—羊八井—亚东地堑中著名的羊八井地热田是一个分层热水动力系统(多吉,2003),与北部的谷露热泉型铯矿床有关。塔格架、色米、布雄、古堆、郎久等热泉型矿床都与地壳热隆伸展有关,腾冲活动火山区热泉型金矿可能涉及更深层次的热活动。

3 结论与讨论

(1)一般认为,青藏高原是印度板块与欧亚板块碰撞形成的,晚新生代各种地质、地球物理、矿床、地震、生态环境等现象都解释为板块碰撞的持续作用—后碰撞过程。实际上,青藏高原及邻区的构造演化是一个由前寒武纪超洋陆转换、特提斯洋陆转换和板内盆山耦合三阶段构成的历史地球系统动力学过程,不同阶段、不同尺度的层块系统之间相互作用,其形成机制可能是地核流体层的流动及溢出的超级地幔柱推动了超洋陆转换,产生超大陆和超大洋;地

慢软流圈的流动带动岩石圈的板块运动,产生同步的造陆造洋事件,造成欧亚大陆向南的横向增生;下地壳的层流导致了同步的板内造山成盆事件,造成青藏高原地壳的垂向增生(李德威,1995,1997;2005a)。青藏高原现今面貌是“三世同堂”,构造谱系清晰,其中青藏高原作为特提斯的“儿子”,板内盆山体系保存最完整,显赫的形象掩盖了前辈的真实面目;特提斯洋陆转换是历史地球系统动力学过程中的一个中间环节,它改造了前寒武纪超洋陆体系,也程度地被后期构造改造,从原特提斯→古特提斯→中特提斯→新特提斯改造程度依次降低;爷辈的基底残缺不全,恢复超洋陆体系难度较大。

(2)构造谱系决定了成矿谱系,地壳成熟度制约了成矿成熟度,陆壳改造洋壳导致板内伸展构造背景下出现金属成矿大爆发。青藏高原及邻区的成矿演化是一个受控于地球不同构造软层的历史地球成矿动力学系统,其时空结构为前寒武纪超洋陆转换成矿、特提斯阶段洋陆转换成矿和板内构造阶段盆山耦合成矿,3个成矿阶段包含1.8~1.4 Ga、500~420 Ma、300~260 Ma、180~120 Ma、65~30 Ma、23~7 Ma等6个主成矿期,其中1.8~1.4 Ga是超大陆裂解环境,500~420 Ma和300~260 Ma特提斯裂解环境,180~100 Ma可分解出中特提裂解(180~160 Ma)、新特提斯裂解(145~120) Ma和青藏高原中、北部板内伸展(180~120 Ma)等成矿背景,65~30 Ma和23~7 Ma是青藏高原中、南部和三江地区板内伸展环境下成矿大爆发期。板缘和板内成矿都是向南有序迁移。

(3)不同尺度的伸展构造是青藏高原及邻区的主控构造,引张动力成矿是最重要的成矿作用(傅昭仁等,1992;李德威,1993,1994a,2005b)。矿床成矿系列对于认识成矿规律和指导找矿实践都有重要的意义(陈毓川等,1998),以前多从建造上入手,也可以尝试从构造上探讨伸展、挤压、剪切构造体制的矿床成矿系列。在青藏高原及邻区3个尺度的动力学演化过程中,伸展构造控矿成矿作用十分明显,组成不同级次的成矿系列。前寒武纪超洋陆转换阶段大洋盆的超岩石圈尺度伸展控制了大红山式火山沉积含铁建造、金川式深源地幔镁铁—超镁铁质岩浆成矿建造和东大山式含磁铁矿石英岩的活动海相沉积建造;特提斯洋陆转换阶段小洋盆的岩石圈尺度伸展控制了罗布莎式地幔岩浆铬铁矿、呷村式海底喷流块状硫化物矿床;洋壳板块俯冲的上盘由于地幔热

流物质上涌而地壳整体处于热隆伸展状态,弧盆体系中产出普拉式斑岩铜矿、黑黑孜干式海相沉积型铁矿床;洋陆体系向盆山体系转折时期形成尼雄式矽卡岩型富铁矿床、多不杂式斑岩铜矿床;板(陆)内盆山耦合阶段上地壳伸展形成驱龙式斑岩铜矿床、哀牢山式剪切带型金矿床、金顶式陆相盆地沉积型多金属矿床。

提出如下3个科学问题:

(1)从板块洋陆体系进入板内盆山体系的主要标志是碰撞带及其两侧区域性分布的磨拉石建造,但是从板前超洋陆体系进入板块洋陆体系的标志并不确切。元古代哥伦比亚和Rodinia超大陆裂解与聚合事件是否是显生宙特提斯向前演化的扩展,由原特提斯向北增加中、新元古代始特提斯和古元古代冥特提斯,在古亚洲构造域与特提斯构造域之间建立一种亲缘关系,哥伦比亚和Rodinia超大陆—超大洋也属于板块体制下的大型洋陆体系;特提斯演化的另一端是新特提斯向南迁移出现印度洋现代特提斯,从而青藏高原及邻区的宏观构造演化可归属于一个超级的特提斯系统,只是在不同构造部位、不同构造阶段和不同构造尺度上体现出差异。

(2)包括Sagaing断裂带在内的巨型南北构造带新生代右行走滑运动造成青藏高原与中国中、东部及东南亚地区之间巨量水平位移,并产生显著的地震效应和资源效应。England and Molnar(1990)最早认识到青藏高原东部物质向东南方向挤出产生的一系列NW-SE向左行走滑断层是近南北向右旋剪切带的次级构造。笔者认为,从中国南北构造带到Sagaing断裂带是一个中新世以来强烈活动的巨型右行走滑断层带,影响到整个亚洲的构造格局,主要运动学标志有:西金乌兰—金沙江、班公湖—怒江、雅鲁藏布江缝合带为标志分别错动约1300、1100、900 km;陕甘川“金三角”矿集区与滇黔桂“金三角”矿集区都是与三叠系深水浊流沉积复理石建造有关的燕山期热隆伸展—韧脆性剪切作用下金矿成矿大爆发,南北复式走滑断层带新生代的右行错动距离约1000 km;如果龙首山与拉拉厂—大红山是古元古代超大洋的同一个组成部分,右行位移量在1500 km左右。南北构造带巨大的右行水平位移量被Sagaing、高黎贡、嘉黎、巴塘—怒江、龙陵—澜沧江、金沙江—红河、鲜水河—安宁河—小江、汶川—茂县—青川、映秀—北川和江油—都江堰等断层吸收,具有如下地质特征:①从南部的Sagaing断层到

北部的龙门山断层系,右行走滑位移量逐渐降低;②这个活动的巨型走滑断裂系统也是中国大陆内部强度和密度最大的地震带;③改变了东特提斯残余洋陆体系和塔里木—天山—准噶尔盆山体系的分布状态,造成强烈的挤压变形;④造成东特提斯系多条古构造线呈向北东方向弧形凸出的“Z”形,将先期形成的蛇绿混岩杂带、岩浆岩带、成矿带等配套成巨大的牵引构造系统;⑤引起青藏高原和塔里木向北大幅度移动,改变了古纬度相同的塔里木古陆块与扬子古陆块的展布格局;⑥在中生代板内伸展体制的阿尔泰—准噶尔—天山—塔里木—昆仑盆山系叠加了新生代强烈的挤压变形,形成一系列反转构造;⑦错动了同是中生代伸展体制的青藏高原北部盆山体系和华南盆山体系;⑧影响到塔里木、柴达木、准噶尔等中国西北盆地群的近南北向挤压缩短和华北盆地群的伸展裂陷;⑨叠加在青藏高原东部和北部中生代不同类型的板内构造系统之上,形成上述巨型大陆走滑构造组合的动力来源于印度洋晚新生代向北的扩张或地幔底辟引起印度—恒河盆地莫霍面上隆及其下地壳向北流动。

(3)多级构造向南迁移的动力学机制和深部过程。板内盆山体系向南迁移受控于特提斯洋陆体系向南迁移,南侧洋盆的伸展与北侧洋盆的挤压正好符合岩石圈尺度的动力转换,但是洋盆得失过程并不完全同步,出现北侧洋盆闭合较早而南侧洋盆裂陷较晚的现象,而且特提斯越老越明显,是否说明在古洋盆出现之前的古大陆水平伸展作用已经很强。这种构造迁移可能与地幔软层和地核软层物质流动的方式和过程有关,其深部层流、渠流、环流、对流的机制和转换关系有待深入研究。

本文综合利用了前人的研究成果,特别是近年来地质大调查的许多优秀成果,特此致谢。

References

- Barley, M. E., Groves, D. I., 1992. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. *Geology*, 20(4): 291—294.
- Bi, X. W., Hu, R. Z., He, M. Y., 1996. Age determination of Ailaoshan gold metallogenic belt by ESR method and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 41(18): 1546—1549.
- Cao, S. H., Li, D. W., Yu, Z. Z., et al., 2007. Metallogenic and geological characteristics of the Nixiong superlarge magnetite deposit in the Gangdese, Tibet. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(3): 328—334 (in Chinese with English abstract).
- Cao, S. H., Luo, X. C., Tang, F. L., et al., 2004. Time-space structure and evolution of the arc-basin system on the southern side of the Bangong Co-Nujiang junction zone. *Geology in China*, 31(1): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Chen, K. X., Lu, Y. F., Wei, J. Q., et al., 2002. Geological background and polychronic mineralization of Yangla copper deposit, in Deqing, north-western Yunnan. *Mineral deposits*, 21(Suppl.): 361—364 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. C., Pei, R. F., Song, T. R., et al., 1998. Preliminary discussion on deposit metallogenic series in China. Geological Publishing House, Beijing, 1—104 (in Chinese).
- Chen, Y. L., Zhang, K. Z., Li, G. Q., et al., 2005. Discovery of an uniformity between the Upper Triassic Quehala Group and its underlying rock series in the central segment of the Bangong Co-Nujiang junction zone, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 24(7): 621—624 (in Chinese with English abstract).
- Ding, L., Zhong, D. L., Yin, A., et al., 2001. Cenozoic structural and metamorphic evolution of the eastern Himalayan syntaxis (Namche Barwa). *Earth and Planetary Science Letters*, 192: 423—438.
- Duo, J., 2003. The basic characteristics of the Yangbajing geothermal field—A typical high temperature geothermal system. *Engineering Science*, 5(1): 42—47 (in Chinese with English abstract).
- Duo, J., Wen, C. Q., Guo, J. C., et al., 2007. Discovery of 4.1 Ga detrital zircon in Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 19—22 (in Chinese).
- England, P. C., Molnar, P., 1990. Right-lateral shear and rotation as the explanation for strike-slip faulting in eastern Tibet. *Nature*, 344: 109—110.
- Feng, C. Y., Zhang, D. Q., Li, D. X., et al., 2002. Geological characteristics and ore-forming age of Saibagou gold deposit, Qinghai Province. *Mineral Deposit*, 21(1): 45—52 (in Chinese with English abstract).
- Fu, Z. R., Li, D. W., Li, X. F., et al., 1992. Analysis of metamorphic core complex, decollement fault and their control on ore mineralization. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—110 (in Chinese).
- Groves, D. I., Bierlein, F. P., 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems. *Journal of the Geological Society*, 164(1): 19—30.
- Guo, J. C., Duo, J., Wen, C. Q., et al., 2006. Mineralization

- background and stages of the Mayum gold deposit, Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26 (1): 60—66 (in Chinese with English abstract).
- Guo, J. J., Zhao, F. Q., Li, H. K., et al., 2000. New chronological evidence of the age of Huangyuan Group in the eastern segment of Mid-Qilian massif and its geological significance. *Regional Geology of China*, 19(1): 26—31 (in Chinese with English abstract).
- Guo, T. Y., Liang, D. Y., Zhang, Y. Z., et al., 1991. Geology of Ngari, Tibet (Xizang). China University of Geosciences Press, Wuhan, 103—104 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z. Q., Lu, Q. T., Wang, A. J., et al., 2003. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen. *Mineral Deposit*, 22(4): 319—333 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. The evolution of the Tethys in China and adjacent regions. Geological Publishing House, Beijing, 1—109 (in Chinese).
- Jiang, Y. S., 1996. Types and genesis of melange in Gargê area in the Garzê-Litang junction. *Acta Geologica Sinica*, 16(3): 199—203 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Zhai, Q. G., Dong, Y. S., et al., 2006. Discovery of eclogite and its geological significance in Qiangtang area, central Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 51(9): 1095—1100.
- Li, D. W., 1993. Metallogenic dynamics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 18(4): 407—413 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1994a. Metallogenic conditions and prospect analysis in southern Tibet. *Journal of Guilin College of Geology*, 14(2): 131—138 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1994b. Discovery of mantle ductile shear zone in ophiolite along Yarlungzangbo River, Tibet and its significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(4): 455—460 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1994c. The outline of evolution for the Qinghai-Tibet Tethyan domain since Late Palaeozoic. In: Wan, T. F., ed., Annual report of lithosphere tectonic and dynamics opening laboratory. Seismological Press, Beijing, 163—169.
- Li, D. W., 1995. On continental tectonics and its dynamics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20(1): 19—26 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1997. Philosophical exploration of continental dynamics. *Exploration of Nature*, 16(2): 107—110 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2003. A new model for uplifting mechanism of Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 593—600 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2004. Late Cenozoic intraplate orogeny and dynamic metallogeny in the southern Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 361—369 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2005a. Out line of earth system dynamics. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 285—294 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2005b. Theoretical prediction and scientific exploration: The Gangdese porphyry copper deposits in Tibet as an example. *Geological Science and Technology Information*, 24(3): 48—54 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Temporal-spatial structure of intraplate uplift in the Qinghai-Tibet plateau. *Acta Geologica Sinica-Engl*, (in press).
- Li, D. W., Li, X. F., 1993. Investigation and practice of four-dimensional dynamic metallogenic theory—An example from Luobusha chromite deposits in Tibet. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—88 (in Chinese).
- Li, D. W., Liao, Q. A., Yuan, Y. M., et al., 2003. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granulites at Rimana (southern Tibet) in the central segment of Himalayan orogen. *Chinese Science Bulletin*, 48(23): 2647—2650.
- Li, D. W., Yin, A., 2008. Orogen-parallel, active left-slip faults in the eastern Himalaya: Implications for the growth mechanism of the Himalayan arc. *Earth and Planetary Science Letters*, 274: 258—267.
- Li, D. W., Zhang, X. H., Liao, Q. A., et al., 2004. New results and main progress in geological survey of the Dingjie County and Chentang District sheets. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 438—443 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Zhao, W. X., Zhang, T. P., et al., 1998. Structural setting of multi-scale geological anomaly in central Yunnan Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(2): 137—140 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Zhuang, Y. X., 2006. Scientific problems of conti-

- mental dynamics in the Qinghai-Tibet plateau. *Geological Science and Technology Information*, 25(2): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Wang, C. S., Hu, X. M., 2001. Latest non-carbonate marine sediment in Tibet; Significance to closure of the Neo-Tethys Sea. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 314—321 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. N., 2002. Preliminary study of precambrian geology in the north Tibet-Qinghai plateau. Geological Publishing House, Beijing, 1—125 (in Chinese).
- Ma, H. D., Yang, Z. J., Wei, X. C., 2004. New results and major progress in regional geological survey of the Muztag and Jingyu Lake sheets. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 570—578.
- Ma, H. W., 1990. Petrology and mineralization of granites in Yuhong porphyry copper belt, Tibet. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—158 (in Chinese).
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Zhang, Z. H., et al., 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169—188 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Deng, J. F., et al., 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135—148 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al., 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethys. Geological Publishing House, Beijing, 1—218 (in Chinese).
- Pan, Y. S., 1994. Discovery and evidence of the fifth suture zone of Qinghai-Xizang plateau. *Acta Geophysica Sinica*, 37(2): 184—192 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, H. N., 1996. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the quartz samples from two mineral deposits in western Yunnan (SW China) by crushing in vacuum. *Chemical Geology*, 127(1—3): 211—222.
- Qiu, R. Z., Deng, J. F., Zhou, S., et al., 2005. Ophiolite types in western Qinghai-Tibetan plateau—Evidences from petrology and geochemistry. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 277—291 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X. M., Xin, H. B., 2006. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 25(7): 792—799 (in Chinese with English abstract).
- Rui, Z. Y., Hou, Z. Q., Li, G. M., et al., 2006. A genetic model for the Gandise porphyry copper deposits. *Geological Review*, 52(4): 459—466 (in Chinese with English abstract).
- Sawkins, F. J., 1990. Metal deposits in relation to plate tectonics. Second edition. Springer-Verlag, Berlin, 1—461.
- Sengor, A. M. C., 1979. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications. *Nature*, 279(5714): 590—593.
- Tang, Z. L., Bai, Y. L., 1999. Geotectonic framework and metallogenic system in the southwest margin of North China paleocontinent. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 271—284 (in Chinese with English abstract).
- Tonarini, S., Villa, I. M., Oberli, F., et al., 1993. Eocene age of eclogite metamorphism in Pakistan Himalaya; Implications for India-Eurasia collision. *Terra Nova*, 5: 13—20.
- Wang, D. H., Qu, W. J., Li, Z. W., et al., 2005. Mineralization episode of porphyry copper deposits in the Jinshajiang-Red River mineralization belt; Re-Os dating. *Science in China (Ser. D)*, 48(2): 192—198.
- Wang, G. C., Wang, Q. H., Jian, P., et al., 2004. Zircon SHRIMP ages of Precambrian metamorphic basement rocks and their tectonic significance in the eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province, China. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 481—490 (in Chinese with English abstract).
- Wang, R., Xia, B., Zhou, G. Q., et al., 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for gabbro from the Jiding ophiolite in Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 51(14): 1776—1779.
- Wang, Y. S., 1996. Types and genesis of melange in Garge Area in the Garze-Litang junction. *Acta Geologica Sichuan*, 16(3): 199—203 (in Chinese with English abstract).
- Wei, Q. R., Li, D. W., Wang, G. C., 2007. Geochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks from the Wanbaogou Group in east Kunlun orogenic belt. *J. Mineral. Petrol.*, 27(1): 97—106 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z. H., Meng, X. G., Hu, D. G., et al., 2004. New results and major progress in regional geological survey of the Damxung County Sheet. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 484—491 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Liu, D. Y., et al., 2005. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogen, China: A Paleozoic-Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *Journal of Geology*, 113(6): 687—705.

- Xiao, X. C., Li, T. D., 1995. Tectonic evolution and uplift of the Qinghai-Tibet plateau. *Episodes*, 18(1-2): 31-35.
- Xiao, X. C., Li, T. D., 2000. Tectonic evolution and uplift mechanism of the Qinghai-Tibet plateau. Guangdong Scientific and Technological Press, Guangzhou, 1-313 (in Chinese).
- Xiu, Q. Y., Yu, H. F., Li, Q., et al., 2004. Discussion on the petrogenic time of Longshoushan Group, Gansu Province. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 366-373 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Liang, F. H., et al., 2005. Pan-African and Early Paleozoic orogenic events in the Himalaya terrane; Inference from SHRIMP U-Pb zircon ages. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 1-12.
- Yang, J. S., Zhang, J. X., Meng, F. C., et al., 2003. Ultra-high pressure eclogites of the North Qaidam and Altun Mountains, NW China and their protoliths. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 291-314 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211-280.
- Yu, H. F., Lu, S. N., Mei, H. L., et al., 1999. Characteristics of Neoproterozoic eclogite-granite zones and deep level ductile shear zone in western China and their significance for continental reconstruction. *Acta Petrologica Sinica*, 15(4): 532-538 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y. S., Deng, J. F., 1996. Outline of the mineral resources of China and their tectonic setting. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43: 673-685.
- Zhang, C. L., Yang, C., Shen, J. L., et al., 2003. Zircon SHRIMP age of Neoproterozoic gneissoid granites in the west Kunlun and its significance. *Geological Review*, 19(3): 239-244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Cheng, S. Y., Guo, A. L., et al., 2004. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the central orogenic system in Qinling-Dabie—With a discussion of the assembly of the main part of the continent of China. *Geological Bulletin of China*, 23(9-10): 846-853 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Zhang, Z. M., Xu, Z. Q., et al., 1999. The ages of U-Pb and Sm-Nd for eclogite from the western segment of Altyn Tagh tectonic belt—Evidence for existence of Caledonian orogenic root. *Chinese Science Bulletin*, 44(24): 2256-2259.
- Zhang, Q., Sun, X. M., Zhou, D. J., et al., 1997. The characteristics of North Qilian ophiolites, forming settings and their tectonic significance. *Advance in Earth Sciences*, 12(4): 366-393 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. T., Wang, B. Z., Yu, J., et al., 2005. Sedimentary characteristics of the Bayan Har remnant ocean basin, northwestern China. *Geological Bulletin of China*, 24(7): 613-620 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. C., Zhou, M. F., Paul, T. R., et al., 2001. SHRIMP dating of the Aoyougou ophiolite in the west sector of the north Qilian Mountains and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 222-226 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, M. P., Xiang, J., Wei, X. J., et al., 1989. Saline lakes on the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau. Beijing Scientific and Technological Publishing House, Beijing, 1-431 (in Chinese).
- Zheng, M. P., Wang, Q. X., Duo, J., et al., 1995. A new type of hydrothermal deposit: Cs sinter deposits. Geological Publishing House, Beijing, 1-114 (in Chinese).
- Zheng, Y. Y., Duo, J., Ma, G. T., et al., 2007. Mineralization characteristics, discovery and age restriction of Chalapu hardrock gold deposit, southern Tibet. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 185-193 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, L. F., Xia, B., Zhou, G. Q., et al., 2006. SHRIMP age determination of the diabase in Luobusa ophiolite, southern Xizang (Tibet). *Geological Review*, 52(2): 224-229 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S., Mo, X. X., Mahoney, J. J., et al., 2002. Geochronology and Nd and Pb isotope characteristics of gabbro dikes in the Luobusha ophiolite, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 47(2): 143-145.

附中文参考文献

- 曹圣华, 罗小川, 唐峰林, 等, 2004. 班公湖—怒江结合带南侧弧—盆系时空结构与演化特征. *中国地质*, 31(1): 51-56.
- 曹圣华, 李德威, 余忠珍, 等, 2007. 西藏冈底斯尼雄超大型富铁矿的成矿地质特征. *大地构造与成矿学*, 31(3): 328-334.
- 陈开旭, 路远发, 魏君奇, 等, 2002. 滇西北羊拉铜矿区地质背景及多期成矿作用. *矿床地质*, 21(增刊): 361-364.
- 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 等, 1998. 中国矿床成矿系列初论. 北京: 地质出版社, 1-104.
- 陈玉禄, 张宽忠, 李关清, 等, 2005. 班公湖—怒江结合带中段上三叠统确哈拉群与下伏岩系呈角度不整合关系的发

- 现及意义. 地质通报, 24(7): 621—624.
- 多吉, 2003. 典型高温地热系统——羊八井热田基本特征. 中国工程科学, 5(1): 42—47.
- 多吉, 温春齐, 郭建慈, 等, 2007. 西藏 4.1 Ga 碎屑锆石年龄的发现. 科学通报, 52(1): 19—22.
- 丰成友, 张德全, 李大新, 等, 2002. 青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代. 矿床地质, 21(1): 45—52.
- 傅昭仁, 李德威, 李先福, 等, 1992. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—110.
- 郭建慈, 多吉, 温春齐, 等, 2006. 西藏马攸木金矿成矿背景与成矿阶段. 沉积与特提斯地质, 26(1): 60—66.
- 郭进京, 赵凤清, 李怀坤, 等, 2000. 中祁连东段湟源群的年代学新证据及其地质意义. 中国区域地质, 19(1): 26—31.
- 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等, 1991. 西藏阿里地质. 武汉: 中国地质大学出版社, 103—104.
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等, 2003. 初论陆—陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例. 矿床地质, 22(4): 319—333.
- 黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京: 地质出版社, 1—74.
- 江元生, 1996. 甘孜—理塘结合带甘孜地区混染岩类型及成因分析. 四川地质学报, 16(3): 199—203.
- 李德威, 1993. 成矿动力学刍议. 地球科学——中国地质大学学报, 18(4): 407—413.
- 李德威, 1994a. 藏南成矿条件及找矿远景分析. 桂林冶金地质学院学报, 14(2): 131—138.
- 李德威, 1994b. 雅鲁藏布江蛇绿岩中幔型韧性剪切带的发现及其意义. 地球科学——中国地质大学学报, 19(4): 455—460.
- 李德威, 1995. 再论大陆构造与动力学. 地球科学——中国地质大学学报, 20(1): 19—26.
- 李德威, 1997. 大陆动力学的哲学探索. 大自然探索, 16(2): 107—110.
- 李德威, 2003. 青藏高原隆升机制新模式. 地球科学——中国地质大学学报, 28(6): 593—600.
- 李德威, 2004. 青藏高原南部晚新生代板内造山与动力成矿. 地学前缘, 11(4): 361—369.
- 李德威, 2005a. 地球系统动力学纲要. 大地构造与成矿学, 29(3): 285—294.
- 李德威, 2005b. 理论预测与科学找矿——以西藏冈底斯斑岩铜矿为例. 地质科技情报, 24(3): 48—54.
- 李德威, 李先福, 1993. 四维动态成矿理论的探索与实践——以西藏罗布莎铬铁矿为例. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—88.
- 李德威, 张雄华, 廖群安, 等, 2004. 定结县幅、陈塘区幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5—6): 438—443.
- 李德威, 赵温霞, 张天平, 等, 1998. 滇中多尺度地质异常的构造背景场. 地球科学——中国地质大学学报, 23(2): 137—140.
- 李德威, 庄育勋, 2006. 青藏高原大陆动力学的科学问题. 地质科技情报, 25(2): 1—10.
- 李祥辉, 王成善, 胡修棉, 2001. 西藏最新非碳酸盐海相沉积及其对新特提斯关闭的意义. 地质学报, 75(3): 314—321.
- 陆松年, 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 1—125.
- 马华东, 杨子江, 魏新昌, 等, 2004. 木孜塔格幅、鲸鱼湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5—6): 570—578.
- 马鸿文, 1990. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—158.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等, 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次和相应的地球动力学背景. 岩石学报, 21(1): 169—188.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等, 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程与火山作用响应. 地学前缘, 10(3): 135—148.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1—218.
- 潘裕生, 1994. 青藏高原第五缝合带的发现与论证. 地球物理学报, 37(2): 184—192.
- 邱瑞照, 邓晋福, 周肃, 等, 2005. 青藏高原西部蛇绿岩类型: 岩石学与地球化学证据. 地学前缘, 12(2): 277—291.
- 曲晓明, 辛洪波, 2006. 藏西班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境. 地质通报, 25(7): 792—799.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 李光明, 等, 2006. 冈底斯斑岩铜矿成矿模式. 地质论评, 52(4): 459—466.
- 汤中立, 白云来, 1999. 华北古大陆西南边缘构造格架与成矿系统. 地学前缘, 6(2): 271—284.
- 王国灿, 王青海, 简平, 等, 2004. 东昆仑前寒武纪基底变质岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义. 地学前缘, 11(4): 481—490.
- 王冉, 夏斌, 周国庆, 等, 2006. 西藏吉定蛇绿岩中辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 科学通报, 51(1): 114—117.
- 魏启荣, 李德威, 王国灿, 2007. 东昆仑万保沟群火山岩 (Pt₂w) 岩石地球化学特征及其构造背景. 矿物岩石, 27(1): 97—106.
- 吴珍汉, 孟宪刚, 胡道功, 等, 2004. 当雄县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5—6): 484—491.
- 肖序常, 李廷栋, 2000. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科技出版社, 1—313.
- 修群业, 于海峰, 李铨, 等, 2004. 龙首山岩群成岩时代探讨.

地质学报, 78(3): 366—373.

许志琴, 杨经绥, 梁凤华, 等, 2005. 喜马拉雅地体的泛非—早古生代造山事件年龄记录. 岩石学报, 21(1): 1—12.

杨经绥, 张建新, 孟繁聪, 等, 2003. 中国西部柴北缘—阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨. 地质前缘, 10(3): 291—314.

于海峰, 陆松年, 梅华林, 等, 1999. 中国西部新元古代榴辉岩—花岗岩带和深层次韧性剪切带特征及其大陆再造意义. 岩石学报, 15(4): 532—538.

张传林, 杨淳, 沈加林, 等, 2003. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义. 地质论评, 19(3): 239—244.

张国伟, 程顺有, 郭安林, 等, 2004. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合. 地质通报, 23(9—10): 846—853.

张旗, 孙晓猛, 周德进, 等, 1997. 北祁连蛇绿岩特征、形成环

境及其构造意义. 地球科学进展, 12(4): 366—393.

张雪亭, 王秉璋, 俞建, 等, 2005. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征. 地质通报, 24(7): 613—620.

张招崇, 周美付, Paul, T. R., 等, 2001. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP 分析结果及其地质意义. 岩石学报, 17(2): 222—226.

郑绵平, 向军, 魏新俊, 等, 1989. 青藏高原盐湖. 北京: 北京科学技术出版社, 1—431.

郑绵平, 王秋霞, 多吉, 等, 1995. 水热成矿新类型——西藏铯硅华矿床. 北京: 地质出版社, 1—110.

郑有业, 多吉, 马国桃, 等, 2007. 藏南查拉普岩金矿床特征、发现及时代约束. 地球科学——中国地质大学学报, 32(2): 185—193.

钟立峰, 夏斌, 周国庆, 等, 2006. 藏南罗布莎蛇绿岩辉绿岩中锆石 SHRIMP 测年. 地质论评, 52(2): 224—229.