

略论海陆成矿问题

裴荣富, 梅燕雄, 魏 然*, 邹 斌, 赵 苗, 李振清, 王浩琳

中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘 要: 地壳通过不均一性分异形成大陆型地壳和大洋型地壳, 陆核及地块的形成、大陆裂解与增生、洋壳的新生与消减、陆-陆碰撞拼接形成具有不同构造特征的海陆构造区。中国海陆构造演化经历了太古宙陆核形成、元古宙陆块形成、震旦纪至三叠纪联合大陆形成、中生代联合大陆解体 4 个阶段, 形成北方(准噶尔—大兴安岭)、北部(塔里木—华北)、南部(扬子—华南)、南方(冈底斯—喜马拉雅), 东部(滨西太平洋)5 个大陆及陆缘构造区。太古宙花岗绿岩带、元古宙裂谷(裂陷)带、显生宙大陆边缘是最重要的海陆成矿环境。海陆成矿有利因素的耦合对成矿至关重要, 而最佳耦合的机制及其发生在海陆构造区的时空位置是圈定有利成矿靶区、引导找矿突破的关键科学问题。

关键词: 海陆构造演化; 海陆成矿作用

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.102001

Brief Discussion of the Continental and Oceanic Metallogeny

PEI Rong-fu, MEI Yan-xiong, WEI Ran*, ZOU Bin, ZHAO Miao, LI Zhen-qing, WANG Hao-lin

Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Inhomogeneous differentiation split the Earth's crust into continental and oceanic crusts. The various structural features of the continental and oceanic tectonic belts were formed through the continental nucleus, platform, continent splitting, continental accretion, oceanic crust forming, and subduction or continent-continent collision. China's continental and oceanic crust structural evolution has experienced four stages: nucleus forming in Archean, platform forming in Proterozoic, Pangaea forming from Sinian to Triassic, and Pangaea splitting in Meso-Cenozoic eons. There are five marginal tectonic belts: Dzungaria–Great Khingan, Tarim–North China, Yangtze–South China, Gangdise–Himalaya, and West margin Pacific. The Archean granitoid-greenstone belts, Proterozoic rift zone, and Phanerozoic continental margin are important environments for continental and oceanic metallogeny. It is very important for metallogeny that advantaged metallogenetic multi-factors are coupled. Their coupling mechanism and space-time distribution in continental-oceanic margins are key to outlining advantaged metallogenetic areas.

Keywords: continental and oceanic tectonic evolution; continental and oceanic metallogeny

1 大陆和海洋的对立与转化

在地壳的形成与发展过程中, 由于地球圈层的不谐调运动, 以及地壳作为地球表层活动性较强的薄壳, 导致其在空间上出现不均一性分异的现象。地壳最明显的不均一性分异表现为大陆型地壳的裂

解和大洋型地壳的形成。由于陆壳自身的构造变动以及洋壳向陆壳的俯冲作用, 可以形成过渡型地壳。其中, 大陆一侧的过渡带即为大陆边缘。一些大陆边缘仅为陆壳和洋壳的简单连接带, 有的则可以发育有边缘海(弧后盆地)和岛弧-海沟体系。

大陆与海洋的对立, 大陆地壳与海洋地壳的对

本文由中国地质调查局地质调查项目“中国矿产地质志”(编号: DD20221695)和“全国海陆矿产资源图件编制更新”(编号: DD20221696)联合资助。

收稿日期: 2022-08-15; 改回日期: 2022-10-06; 网络首发日期: 2022-10-21。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 裴荣富, 男, 1924 年生。中国工程院院士。长期从事成矿学和矿产勘查地质学研究。E-mail: peirf@sohu.com。

*通讯作者: 魏然, 女, 1983 年生。助理研究员。从事矿物学及矿床成因研究。E-mail: weiranyspa@126.com。

立,是地壳的第一级分异,它们在一定条件下也可以相互转化。大陆地壳分布在大陆和被海水覆盖的大陆架、大陆坡,其组成复杂,经历了悠久的地质历史演化,包括前寒武纪形成的陆核、陆块和显生宙形成的褶皱带、造山带。海洋地壳则分布于海水较深的洋盆,其组成较简单、时代较新,它是近两亿多年来通过海底扩张作用产生的,更老的洋壳通过俯冲消减作用进入地幔或残留在造山带。大陆裂解导致洋壳的新生和扩张,大洋中脊就是洋壳新生并向两侧扩展的地带。远离大洋中脊一侧的大洋边缘,则可能出现洋缘海沟和俯冲带,导致洋壳的消减、大洋关闭和大陆的增生。

大陆边缘可以划分为离散型、会聚型、对接型、转换型四种类型。由于陆内地幔隆升,地壳发生拉伸构造作用,在离散型被动大陆边缘形成一系列陆缘裂谷、裂陷槽、拗拉谷,大陆裂谷可进一步发展成为大洋中脊。会聚型陆缘属主动大陆边缘。俯冲洋壳在洋中脊扩张的强力推动下,以不同的角度俯冲在陆缘陆壳的不同深度之下。由于俯冲带的深度、强度、速度和俯冲角度不同,导致会聚型陆缘的构造样式和成矿环境比离散型陆缘复杂。对接型陆缘是在大陆间洋壳双向消减后,两侧陆壳相向互动汇聚对接的表现,也称互动陆缘(汤中立等, 2002)。转换型陆缘在构造上表现为两陆块间洋壳消减和陆-陆对接的同过程或之后,受水平动力作用在陆-陆对接带上或其附近发生的大规模水平方向错移的断层带,也称走滑大陆边缘(翟裕生等, 2002)。

2 地质历史时期的海陆成矿作用

2.1 地球早期历史时期的海陆起源与演化

地球形成之初,尚处于大体积、低密度的准流体状态,温度较低,没有层圈分异及海陆分异。随着地球体积逐渐收缩、密度逐渐增大、温度逐步增高,地球内部物质达到熔融状态,铁、镍等物质沉向地心,形成原始地核,铁镁铝硅酸盐物质则向上集中,形成原始地幔-地壳,氢、氦、氮、氧、一氧化碳、甲烷、硫化氢等各种气体上升到地表形成原始大气圈。由于原始地球的地表温度高于水的沸点,当时的水都是以水蒸气的形态存在于原始大气圈中。以后地球温度再次降低,水蒸气冷凝成水降落地表,在低凹处形成原始海洋及水圈,未被原始大洋覆盖的地表高处则为原始大陆,但仍不属于真正的海陆分异(Touret et al., 2022)。

始太古代晚期至中太古代,原始地壳厚度小、地热梯度高,处于相对活动状态,地球表层的硅铝物质与镁铁物质进一步分离,经过反复熔融、上浮冷却,由分散状态逐渐聚合成具一定规模的硅铝质

初始大陆地壳,形成大陆地壳最早阶段的陆核。加拿大北部、澳大利亚西部、西格陵兰、非洲卡普瓦尔等地的陆核年龄为 4200~3000 Ma,以细菌形式出现的原始生命可能出现在距今 36 亿年。随后的大陆围绕其生长,同时产生较热的、较易浮的洋壳。在强烈活动的极不稳定条件下,成矿作用难以发生和保存。

2.2 前寒武纪超大陆旋回与海陆成矿作用

中新太古代是大陆生长的高峰期。加拿大、波罗的海、西澳大利亚、西伯利亚等地盾区和中国华北地区在中太古代末都有克拉通化的古老陆块,形成若干高活动性的微板块。频繁的微板块间的碰撞及岩浆活动,在新太古代末形成稳定、较广阔的凯诺兰和南方超大陆,大气圈中的含氧量也较快增加。

太古宙陆块主要由高级变质区和花岗-绿岩带组成,成矿作用主要与绿岩带有关,包括条带状铁矿、石英脉型金矿、火山成因块状铜锌硫化物矿床以及与科马提岩有关的镍矿等。通常认为,绿岩带不是大洋环境的产物,而是形成于边缘海盆-岛弧环境,也有人认为太古宙绿岩与显生宙蛇绿岩相似或相当。

新太古代超大陆形成后,在古元古代即发生裂陷、裂解和离散,古元古代末再度形成哥伦比亚超大陆,包含乌尔、内纳、阿特兰提卡三大陆块群。中元古代中晚期,发生大规模的非造山岩浆活动,广泛发育环斑花岗岩、基性岩墙群等,哥伦比亚超大陆裂解。中元古代末,以北美格林威尔造山带为代表,发生大规模的碰撞造山运动,形成罗迪尼亚超大陆,包含西伯利亚、澳大利亚、劳伦、波罗的海、卡拉哈里、刚果诸陆块。新元古代,罗迪尼亚超大陆裂解。新元古代末至古生代初,发生泛非造山运动,形成由澳大利亚、东南极、印度、阿拉伯、东北非、西北非、南非、亚马逊等陆块组成的冈瓦纳超大陆。

元古宙海陆构造演化主要表现为超大陆的裂解、离散与汇聚、增生,由此引起的重大地质事件及生物演化、地质构造环境变化对成矿作用具有重要控制作用。超大陆的裂解、离散可能与地幔柱上涌或深部放射性热源有关,或者受到地外物体的冲击。大规模的非造山岩浆活动与大量矿床的形成有关,包括基性-超基性岩有关的铬铁矿、钒钛磁铁矿、铜镍硫化物矿床,与碳酸岩有关的铈稀土矿床,陆内盆地及陆缘盆地发育的砾岩型金铀矿床、砂页岩型铜矿、Sedex 型铅锌矿、苏必利尔湖型条带状铁矿、层控不整合型铀矿、沉积锰磷矿等。超大陆的汇聚、增生环境则形成与造山作用有关的热液金

矿、火山成因块状硫化物矿床。

2.3 显生宙板块构造与海陆成矿作用

显生宙一系列重大地质事件频繁发生, 相对稳定的陆块与活动带的并存与对立, 大陆板块与大洋板块的相互作用、聚合离散以及陆壳增生, 导致地球面貌、海陆分布、地壳结构和构造格局发生深刻变化。

古生代初, 全球存在一个联合的冈瓦纳超大陆和一个较分散的北部陆块群, 其间为广阔的泛大洋。寒武纪至二叠纪, 冈瓦纳超大陆和北部陆块群继续分化、移动、聚集, 二叠纪末形成统一的潘吉亚超大陆。古生代海陆构造演化主要表现为约拔脱斯洋、阿巴拉契亚洋、中欧洋、乌拉尔洋、中亚-蒙古洋等相继关闭, 形成阿巴拉契亚-加里东褶皱造山带、欧洲海西褶皱造山带、乌拉尔褶皱造山带、中亚-蒙古褶皱造山带, 导致北美、北欧、南欧、西伯利亚、中朝-塔里木等陆块的拼合并与南部的冈瓦纳大陆连成一体。

中生代, 潘吉亚超大陆裂解、分离, 逐渐形成现今诸大陆及各大洋。中生代海陆构造演化主要表现为特提斯洋、太平洋的消减及关闭, 大西洋、印度洋的打开, 美洲大陆与欧洲大陆、非洲大陆的分离, 印度与非洲大陆、南极大陆、澳大利亚大陆的分离, 阿尔卑斯-喜马拉雅褶皱造山带及环太平洋褶皱造山带的形成, 印度次大陆与亚洲大陆的碰撞, 共同形成现今的海陆分布及板块构造格局。

显生宙是海陆成矿作用的高峰期。尽管其时间跨度不足地质历史的五分之一, 显生宙矿床却占全球矿床总量的 75%以上。从古生代向中生代, 成矿作用强度逐步增加, 矿床类型逐步增多。

在大陆裂谷环境中, 通常产有与基性-超基性岩有关的钒钛磁铁矿矿床, 与碳酸岩、碱性岩有关的铁、铌、稀土、铀、磷矿床, 与金伯利岩有关的金刚石矿床, 与碱性花岗岩有关的锡矿床。现代东非裂谷系的高盐度卤水湖, 正在形成富含金属的卤泥沉积物。在大洋中脊环境, 除形成含金属沉积物外, 新生的洋壳产有塞浦路斯型铜锌块状硫化物矿床和铬铁矿、镍、钴、石棉等矿产, 它们在洋壳消亡后保存在板块缝合带的蛇绿岩套中。在活动大陆边缘环境, 岛弧岩浆带产有斑岩铜矿、含铜黄铁矿、热液铅锌银矿和钨锡钼矿以及矽卡岩型铁铜矿等各类矿床, 碰撞造山带产有与花岗岩类有关的钨、锡、铍、铌、稀土矿床。在被动大陆边缘环境, 盛产石油、天然气、天然气水合物和滨海砂矿、层控铅锌矿, 产有与海相沉积岩有关的铁、锰、钒、银、稀土、磷、滑石、重晶石矿床和与海陆过渡相沉积岩有关的煤、铝、铁、耐火黏土、硫、高岭土矿床。

大洋盆地广布铁锰结核、富钴结壳, 大陆地表则形成众多的与风化作用有关的稀土、钨锡、高岭土矿床和与陆相沉积有关的金、金刚石、铜、铀、盐类、煤、石油、天然气矿床(Goldfarb et al., 2014)。

3 中国海陆构造与成矿

3.1 中国海陆构造的地质历史演化

中国海陆构造的地质历史演化可以分为太古宙陆核形成、元古宙陆块形成、震旦纪至三叠纪联合大陆形成以及中生代联合大陆解体四个阶段(王鸿祯, 1985; 杨遵仪等, 1989; 程裕淇, 1994)。

华北地块的冀东、鞍山-本溪等地在古一中太古代已形成一定规模的陆核, 它们在新太古代进一步增大、加厚, 地壳刚性增强。塔里木、扬子地块可能有小块陆核形成, 但占主导地位的仍然是大洋地壳。

元古宙是陆核进一步克拉通化形成稳定陆块的时期, 又可分为古元古代过渡期和中新元古代稳定期。古元古代, 滹沱、青龙、辽河等地发育坳拉谷, 陆核之间及周围的海槽褶皱形成造山带并联结为原地台, 达到初步稳定。中新元古代, 原地台进一步发展成为稳定的陆块(地台区), 或者由陆核经过边缘海-岛弧的碰撞增生成为稳定陆块。华北、塔里木、扬子陆块克拉通化, 冈底斯、羌塘、准噶尔、松辽等地可能存在中新元古代陆壳, 其他地区均属洋壳海域。

震旦纪至三叠纪, 华北、塔里木、扬子陆块为泛大洋所分隔, 由于古板块活动, 历经陆、海的开合。随着中亚-蒙古洋等关闭, 形成古中国地块, 并与西伯利亚、冈瓦纳等大陆连成一体, 形成统一的联合大陆。

中生代, 联合大陆解体。中国东部大陆发生强烈活化, 形成大量的构造-岩浆带及拗陷-断陷盆地、边缘海。西北地区形成大规模的盆地和山系, 西南地区发生碰撞造山, 导致陆壳的大规模隆升和青藏高原的形成。

3.2 中国海陆构造分区

以艾比湖—居延海—索伦—西拉木伦、修沟—玛沁—山阳—桐城、班公湖—怒江三条陆壳对接消减带为界线, 可以划分出北方(准噶尔—大兴安岭)陆缘构造区、北部(塔里木—华北)大陆及陆缘构造区、南部(扬子—华南)大陆及陆缘构造区、南方(冈底斯—喜马拉雅)陆缘构造区, 东部(滨西太平洋)陆缘构造区叠置其上(王鸿祯, 1985; 杨遵仪等, 1989)。

北方(准噶尔—大兴安岭)陆缘构造区基本上是古生代陆缘增生褶皱区, 包含准噶尔、松辽两个前寒武纪中间地块。其北部的额尔古纳、阿尔泰属于

加里东褶皱带,大兴安岭、张广才岭等其他地区属于海西褶皱带。北部(塔里木—华北)大陆及陆缘构造区包括华北-塔里木地块、其南北两侧的陆缘增生褶皱带,以及柴达木中间地块。华北地块的主体由鄂尔多斯、冀鲁两个太古宙陆核及联结它们的古一中元古代褶皱带组成,其上为中新元古界似盖层及古生界盖层。塔里木地块为新生界沉积物覆盖,其中南部可能存在太古宙陆核。北侧陆缘增生褶皱带包含北天山、南内蒙古生代褶皱带,南侧陆缘增生褶皱带包含祁连、昆仑、秦岭古生代褶皱带。

南部(扬子—华南)大陆及陆缘构造区以扬子地块为核心,包括东南侧的华南古生代褶皱带和西侧的三江、松潘—甘孜褶皱带及羌塘中间地块。南方(冈底斯—喜马拉雅)陆缘构造区包括冈底斯、喜马拉雅两个中新生代褶皱带。

东部(滨西太平洋)陆缘构造区是中新生代环太平洋构造带的一部分,叠置于上述各构造区之上。印支运动之后,中国及亚洲东部大陆与太平洋板块发生强烈作用,导致大规模的构造岩浆作用及一系列拗陷-断陷盆地的形成。

3.3 中国海陆成矿的若干特征

海、陆的起源和演化贯穿地质历史演化的全过程,对成矿作用具有重要的控制作用。在前寒武纪陆核、陆块(地台)发展时期,太古宙花岗-绿岩带和元古宙裂谷、裂陷槽是重要的成矿环境,形成鞍山阿尔戈玛型条带状铁矿床、红透山铜锌硫化物矿床、夹皮沟绿岩带金矿床和袁家村条带状铁矿床、翁泉沟硼铁矿床、海城菱铁矿矿床、白云鄂博铁铌稀土矿床、金川铜镍矿床、东升庙铅锌硫矿床等。

在显生宙联合大陆形成及解体时期,大陆的裂解、分离和汇聚、增生与大洋的打开、闭合均伴有重要的成矿作用,大陆边缘是最重要的海陆成矿环境。

中国大陆最典型的主动型大陆边缘是滨西太平洋的中新生代造山带,该造山带以火山岛弧链的沟-弧-盆体系和大陆边缘弧构造-岩浆活化带最为发育。这两个体系的构造-岩浆场地为中国大陆边缘与中酸性侵入岩有关的金、锑矿成矿系列和铜、钼、铅、锌(铁)矿成矿系列等类型的成矿专属奠定了基础。

中国最典型的陆-陆碰撞成矿带为印度-亚洲大陆碰撞形成的青藏高原喜马拉雅碰撞造山带。以印度河-雅鲁藏布江为主洋盆的特提斯洋从三叠纪晚期(印支期)洋盆开始消减,白垩纪晚期封闭后实现陆-陆碰撞,晚白垩—近纪初已发展为残余海盆发展阶段,至新生代碰撞造山达到高潮(任纪舜和肖黎薇, 2004),历经印支、燕山和喜马拉雅多期脉动式汇聚造山过程。在这一脉动造山过程中,伴随有

高钾富碱斑岩的浅成侵位,并具有似埃达克岩亲合性。它们可能是在碰撞造山过程的大陆板片俯冲引起地壳缩短增厚,并诱发软流圈上侵和构造圈热侵蚀,促使下地壳石榴石角闪岩熔融而形成似埃达克质岩浆,沿表壳走滑断裂和基底断裂交汇处侵位,并在局部拉张的应力释放环境下形成斑岩岩浆-热液成矿系统,其中偏酸性二长花岗斑岩形成斑岩铜矿,偏中性二长斑岩形成斑岩金矿(侯增谦等, 2004)。另外,陆-陆汇聚的强大应力在通过地壳加倍加厚和侧向拆离得以释放的同时,也伴随着大规模同碰撞冈底斯花岗岩带的形成。

大陆边缘具有广阔的成矿空间和多种成矿系列类型的成矿专属条件。翟裕生等(2002)认为,大陆边缘产出超大型矿床的有利基本因素为:深浅成矿作用易于沟通、成矿流体汇聚场所、成矿物源丰富多样、热动力异常、大构造密集长期活动、壳幔物质循环作用显著、多种成矿的地质环境、漫长地质历史、多种临界转换成矿动力控制、多期叠加成矿和矿床的适度保存等。我们认为,大陆边缘有利成矿的关键,除上述 10 个基本有利因素外,更重要的是这 10 个因素在一定地质进程内必须达到耦合才能成矿,不耦合不成矿,一般耦合成中小型矿,最佳耦合才能成大-特大矿。若能发现最佳耦合的机制及其发生在大陆边缘区的时空位置,则应是圈定有利成矿靶区的关键科学问题。

4 结论

(1)大陆与海洋的对立是地壳的第一级分异,它们的相互作用并在一定条件下相互转化贯穿历史的全过程,不同的海陆构造环境发育有特定的成矿作用。

(2)中国海陆构造演化经历了太古宙陆核形成、元古宙陆块形成、震旦纪至三叠纪联合大陆形成、中新生代联合大陆解体 4 个阶段,形成北方(准噶尔—大兴安岭)、北部(塔里木—华北)、南部(扬子—华南)、南方(冈底斯—喜马拉雅),东部(滨西太平洋)5 个大陆及陆缘构造区。

(3)太古宙花岗绿岩带、元古宙裂谷(裂陷)带、显生宙大陆边缘是最重要的海陆成矿环境。海陆成矿有利因素的耦合对成矿至关重要,而最佳耦合的机制及其发生在海陆构造区的时空位置是圈定有利成矿靶区、引导找矿突破的关键科学问题。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695 and DD20221696).

参考文献:

- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄卫. 2004. 西藏冈底斯中新生世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. 岩石学报, 20(2): 239-248.
- 任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1: 25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. 地质通报, 23(1): 1-11.
- 汤中立, 白云来, 徐章华, 李文渊, 李奋齐, 闫海卿, 黄承熊, 王志恒. 2002. 华北古陆西南缘(龙首山-祁连山)成矿系统及成矿构造动力学[M]. 北京: 地质出版社: 2-3, 207-211, 216-218, 356-372.
- 王鸿祯. 1985. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社.
- 杨遵仪, 程裕淇, 王鸿祯. 1989. 中国地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 翟裕生, 邓军, 汤中立, 肖荣格, 宋鸿林, 彭润民, 孙忠实, 王建平, 向运川, 黄华盛, 张正伟, 杨立强, 白云来, 陈丛喜, 丁武江, 王庆飞, 胡玲, 徐章华, 苗来成, 苏尚国, 李强. 2002. 古陆边缘成矿系统[M]. 北京: 地质出版社: 13-16, 73-75, 363-365, 371-384.
- tion and evolution of the continental crust: Retrospect and prospect[J]. Geoscience Frontiers, 13(5): 101428.
- REN Ji-shun, XIAO Li-wei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1: 250000 geological mapping[J]. Geological Bulletin of China, 23(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- GOLDFARB R J, TAYLOR R D, COLLINS G S, GORYACHEV N A, ORLANDINI O F. 2014. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia[J]. Gondwana Research, 25(1): 48-102.
- TANG Zhong-li, BAI Yun-lai, XU Zhang-hua, LI Wen-yuan, LI Fen-qi, YAN Hai-qing, HUANG Cheng-xiong, WANG Zhi-heng. 2002. Metallogenic systems and metallotectonic dynamics in the southwest margin (the Longshoushan Mountains and the Qilianshan Mountains) of north China paleocontinent[M]. Beijing: Geological Publishing House: 2-3, 207-211, 216-218, 356-372(in Chinese).
- WANG Hong-zhen. 1985. Atlas of the palaeogeography of China[M]. Beijing: Sinomap Press(in Chinese).
- YANG Zun-yi, CHENG Yu-qi, WANG Hong-zhen. 1989. The geology of China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- ZHAI Yu-sheng, DENG Jun, TANG Zhong-li, XIAO Rong-ge, SONG Hong-lin, PENG Run-min, SUN Zhong-shi, WANG Jian-ping, XIANG Yun-chuan, HUANG Hua-sheng, ZHANG Zheng-wei, YANG Li-qiang, BAI Yun-lai, CHEN Cong-xi, DING Wu-jiang, WANG Qing-fei, HU Ling, XU Zhang-hua, MIAO Lai-cheng, SU Shang-guo, LI Qiang. 2002. Metallogenic systems of paleocontinental margin[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

References:

- CHENG Yu-qi. 1994. Concise regional geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, MENG Xiang-jin, QU Xiao-ming, HUANG Wei. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 239-248(in Chinese with English abstract).
- TOURET J L R, SANTOSH M, HUIZENGA J M. 2022. Composi-