

亚洲地球动力系统的演进与东亚矿产资源效应

耿树方 刘平 王振洋 剧远景

(中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

提要:本文系统阐述了亚洲中部及邻区地球动力系统的演变进程及其所制约的区域地质和成矿特征,并提出了以下新认识和新观点:①在西伯利亚陆块与中朝—塔里木陆块之间的原“古亚洲洋”区域内是全球地史演化中具有双向侧向陆缘增生与垂向增生同时发展的“双向增生”独特地区。②“古中国陆块群”是位于劳亚古陆和冈瓦纳古陆之间独立存在的古陆。由于它的特殊位置而构成了古亚洲洋与特提斯洋的“分水岭”。③地球动力学的“内动力”归根到底来自地球自身的两个方面:一是地球自转和公转形成的离心力(拉张力)与挤压力,它是地球动力学的基础,二是地球内部永不衰败的“高热能库”。当当地震、火山等等,都是地下过饱和的高热能向地表释放的一瞬间转变为强动能的地质事件。④由地球动力系统演变打造的具有不同特征的断裂系统是控矿储矿的良好空间,因此“断裂系统找矿法”是简便有效的找矿方法之一。据此提出了 4 个理论指导找矿的试点和验证区。

关键词:亚洲;地球动力系统;矿产资源效应;双向增生区;古中国陆块群;断裂系统找矿法;理论指导找矿试点和验证区。

中图分类号:P511 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2010)04-0866-15

1 亚洲区域地质特点与地球动力系统的演进

笔者以近 20 年来在各项研究工作中收集积累的实际资料和综合研究成果^[1-5]为依据,编制了“图 1”。从图中可以明显地解读出亚洲区域地质及其动力系统发展演化的总体宏观特征。

1.1 亚洲大陆的三大陆块群

亚洲大陆主要以 3 个呈近东西方向(纬度方向)分布和排列的“陆块群”为基本格架构成,其间夹着不同地质时代的造山带(褶皱带)。其中的北部陆块群和南部陆块群是众所周知已有共识的“劳亚古陆”和“冈瓦纳古陆”。而对于中国所处的位置——“中部陆块群”则有不同的认识:有些学者认为,其中的华北(中朝)陆块属于北方的“劳亚古陆”,扬子陆块和塔里木陆块属于南方“冈瓦纳古陆”的一部分,南北之间有大洋相隔,直至三叠纪时二者拼合碰撞构成

了统一的中国古大陆。第一作者于 1986—1991 年参加原地矿部“七五”“秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究”项目并负责其中的“秦巴地区主要金属矿产成矿规律及找矿方向研究”课题时,曾经明确指出:为了搞清楚秦巴地区重大基础地质问题和区域成矿特征,必须跳出秦巴本身的范围,从秦巴“左邻右舍”入手,搞清楚“华北”与“扬子”之间的关系及其发展演化史,也就基本上搞清了秦巴本身的一些重大问题。遵循这一指导思想,我们首先进行了“华北”南缘和“扬子”北缘与秦巴之间的关系的系统研究,并于 1991 年提出了“扬子陆块(地台)与华北陆块(地台)属于同一个岩石圈板块”的新认识,论述了属于同一个岩石圈板块的 6 点理由(“扬子”与“华北”都有“鞍山式”铁矿;都有古元古代同期的孔兹岩系;秦岭没有典型的蛇绿岩套和重要铬铁矿床;四川盆地基底与鄂尔多斯盆地基底有相同形态特征的正航磁异常;秦岭洋拉张裂解的最大深度不

收稿日期:2010-05-20;改回日期:2010-07-20

基金项目:中国地质调查局基础地质综合研究项目(1212010811064)资助。

作者简介:耿树方,男,1934 年生,研究员,一直从事区域地质、成矿规律研究和地质矿产编图工作。

说明 DESCRIPTION

一、陆块群(古板块、克拉通)及基底年代
Clustered continents (paleo-plate, craton) and basement age

- I, 北部“劳亚古陆”所属陆块: I₁ 东欧, I₂ 西伯利亚,
I, North "Laurasia" includes: I₁ Eastern Europe, I₂ Siberian,
I₃ 科雷马, I₄ 布列亚-佳木斯, I₅ 哈萨克斯坦,
I₃ Kolyma, I₄ Bureya-Jiamusi, I₅ Kazakhstan
- II, 中部“古中国古陆”所属陆块:
II, Central "Paleo-China Palecontinent" Includes:
II₁ 华北(中朝), II₁ North China (Sino-Korea),
II₂ 扬子, II₃ 华夏, II₄ 塔里木, II₅ 图兰,
II₂ Yangzi, II₃ Cathaysia, II₄ Tarim, II₅ Tula
- III, 南部“冈瓦纳古陆”所属陆块: III₁ 印度, III₂ 掸邦,
III, South "Gondwana" Includes: III₁ India, III₂ Shan State,
III₃ 伊朗-阿富汗, III₄ 阿拉伯,
III₃ Iran-Afghanistan, III₄ Arabia

二、前中生代拉张裂陷带(离散带)
Extension faulted zone in Pre-Mesozoic (divergent belt)

- 1), 中元古代: 1)₁ 白云鄂博, 1)₂ 秦岭, 1)₃ 贺兰西缘, 1)₄ 华南,
1), Mesoproterozoic: 1)₁ Bayan Obo, 1)₂ Qinling, 1)₃ Western Helan, 1)₄ South China,
2), 新元古代后期: 2)₁ 温都尔庙-白乃庙, 2)₂ 华南,
2), Late Neoproterozoic: 2)₁ Wenduermiao-Banaimiao, 2)₂ South China,
3), 早古生代初期: 3)₁ 北秦岭, 3)₂ 南天山,
3), Early Palaeozoic: 3)₁ Northern Qinling, 3)₂ Southern Tianshan,
4), 晚古生代: 4) 扬子陆块西部。
4), Late Palaeozoic: 4) Western Yangtze Landmass.

三、俯冲(缝合)与碰撞(拼接)带(汇聚带)及时代
Subduction (suture) and collision (matching) belt (convergence) and age

- 1, 新元古代: 1a 呼玛-海拉尔-蒙古中央, 1b 秦岭-桐庐,
1, Neoproterozoic: 1a Huma-Hailaer-Central Mongolia, 1b Songshugou in Qinling,
1c 四堡-宜春-德兴-屯溪,
1c Sibao-Yichun-Dexing-Tunxi;
2, 早古生代: 2a 温都尔庙-白乃庙, 2b 北秦岭-北祁连, 2c 华南, 2d 西准噶尔-阿尔曼台-南蒙古,
2, Early Palaeozoic: 2a Wenduermiao-Banaimiao, 2b Northern Qinling-Northern Qilian, 2c South China, 2d Western Junggar-Aermantai-Southern Mongolian,
2e 南天山,
2e Southern Tianshan,
3, 晚古生代: 3a 乌拉尔, 3b 北天山-卡拉麦里-红石山-二连浩特,
3, Neopalaeozoic: 3a Ural, 3b Northern Tianshan-Kalamaili-Hongshishan-Erlianhot,
3c 红柳河-玉石山-西拉木伦(双向俯冲), 3d 东昆仑,
3c Hongliuhe-Yushishan-Xar Moron(double-direction subduction), 3d Eastern Kunlun
4, 中生代: 4a 扬子-华北, 4b 那丹哈达岭, 4c 金沙江-哀牢山,
4, Mesozoic: 4a Yangzi-North China, 4b Nandanhadaling, 4c Jinshajiang-Ailaoshan,
4d 龙木错-澜沧-掸邦, 4e 班公错-怒江-高黎贡, 4f 菲律宾,
4d Longmucuo-Lancang-Shan State, 4e Bangongcuo-Nujiang-Gaoligong, 4f Philippines,
4g 帕米尔-高加索(碰撞带), 4h 扎格罗斯,
4g Pamir-Caucasia (collision belt), 4h Zagros;
5, 中生代晚期-古近纪: 5a 雅鲁藏布-南迦巴瓦-邦尼亚山,
5, Late Mesozoic-Paleogene: 5a Yarlung Zangbo River, 5b 印度尼西亚, 5c 台湾,
5b Indonesia, 5c Taiwan,
6, 新近纪-更新世: 6 印度-欧亚碰撞带(西瓦利克碰撞带)。
6, Neogene-Pleistocene: 6 India-Eurasia collision zone (Waxilike collision zone)

四、重要走滑断裂带及逆冲断裂带
Important strike-slip fault zone and thrusting fault zone

- 走滑断裂: (1) 郯庐, (2) 阿尔金, (3) 塔什库干, (4) 红河。
Strike-slip fault: (1) Tan Lu, (2) Alkin, (3) Tashkurgan, (4) Red River.
- 逆冲断裂: ① 龙门山, ② 四川盆地北缘(大巴山),
Thrusting fault: ① Longmenshan, ② Northern edge of Sichuan Basin (Daba Mountain),
③ 贺兰山(鄂尔多斯盆地西缘), ④ 柴达木盆地西缘,
③ Helan Mountain (Western edge of the Ordos Basin), ④ Southwest edge of Qaidam Basin,
⑤ 塔里木盆地西缘, ⑥ 塔里木盆地北缘, ⑦ 准噶尔盆地南缘。
⑤ Southwest edge of Tarim Basin, ⑥ Northern edge of Tarim Basin, ⑦ Southern edge of Junggar Basin.

编图: 耿树方 王振洋 2010年3月
Map compilation: Geng Shufang, Wang Zhenyang, March 2010
(注: 底图下载于网络)
(Note: basic map is downloaded from Internet)

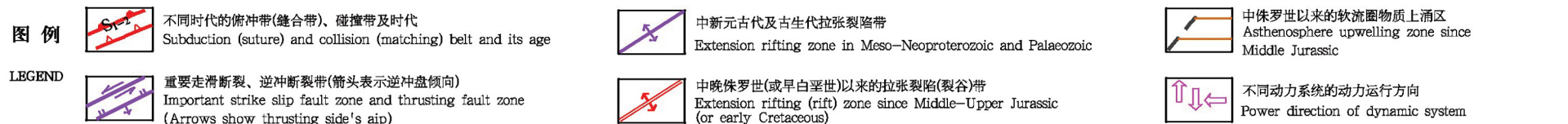
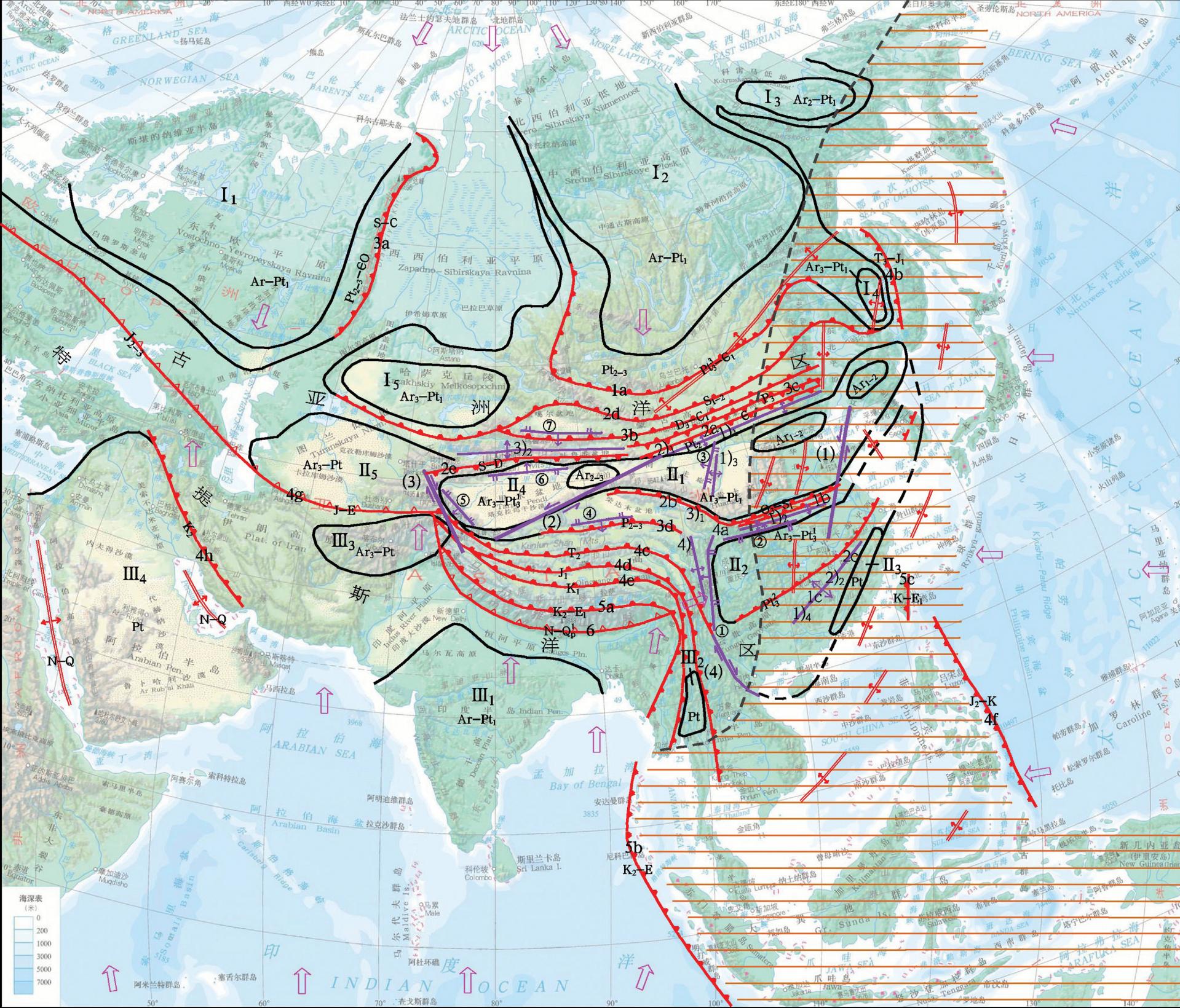


图1 亚洲地球动力系统演进与区域地质特征示意图

Fig.1 Sketch map of geodynamic system's evolution and regional geology's characteristics in Asia

超过 50 km,而岩石圈厚度一般都大于 100 km、“扬子”与“华北”从中元古代开始出现不同特征的岩浆活动和地球化学分异作用)。特别指出了秦巴地区经历过 3 次拉张裂解、4 次挤压碰撞和 5 个演化阶段,但始终没有出现标准的(典型的)蛇绿岩套,只有“洋盆化”中形成的类蛇绿岩(似蛇绿岩),说明“秦岭洋”属于“华北”与“扬子”之间的板内裂陷洋^[6,7]。

这一认识和观点,经过近 20 年来在更大范围内收集的实际资料和系统地综合研究表明,是符合亚洲大陆(特别是中国大陆)地史发展及其构造-岩浆-成矿特征的客观事实的(见“图 1”及后述),因此至今未改变。

既然扬子陆块与华北陆块曾经是同一个岩石圈板块,为什么二者之间存在着许多重大差别?这主要是因为二者的古陆核年代(即陆块基底起始的年代)不同的结果——华北(中朝)陆块的古陆核形成于 38~28 亿年的古—中太古代,在新太古代—古元古代时期陆缘增生迅速,至古元古代末期已经扩展到了包括当今的“扬子”、“塔里木”等区域。当古元古代后期华北陆块发生吕梁运动时伴随形成了秦岭裂陷

洋,使新太古代—古元古代时期“华北”的陆缘增生带成为了扬子、塔里木等陆块的古陆核,所以它们之间的陆核基底起始年代相差 10 亿年左右。正是由于陆核基底年代的这一差距,导致了从中元古代到中三叠世的发展演化进程中,各有其自身的演进历程和各不相同的多种特征。但是,无论后期的发展历程有多少不同的特点,却如同一个大家庭中的几个兄弟姐妹一样具有共同的“基因”和“血缘”关系,如扬子陆块的黄陵背斜新太古代—古元古代变质岩系中有“鞍山式”铁矿的铁硅质岩系层,而且其西北缘略阳地区的“鞍山式”鱼洞子铁矿^[1,2]已经开采了多年。扬子陆块与华北陆块产出同时期一样的“鞍山式”铁矿,是它们在新太古代—古元古代时期具有同一个“血缘”关系的证据之一。

据此,笔者将中国所处的位置中部陆块群称为“古中国陆块群”。其为一独立的陆块群,北为古亚洲洋,南为特提斯洋(图 2)。与北部的“劳亚古陆”和南部的“冈瓦纳古陆”相比,其规模很小、陆核基底也较年轻(很可能缺失老于 38 亿年的始太古代)。由此导致了它承受动力的强度“先天不足”——来自不同方

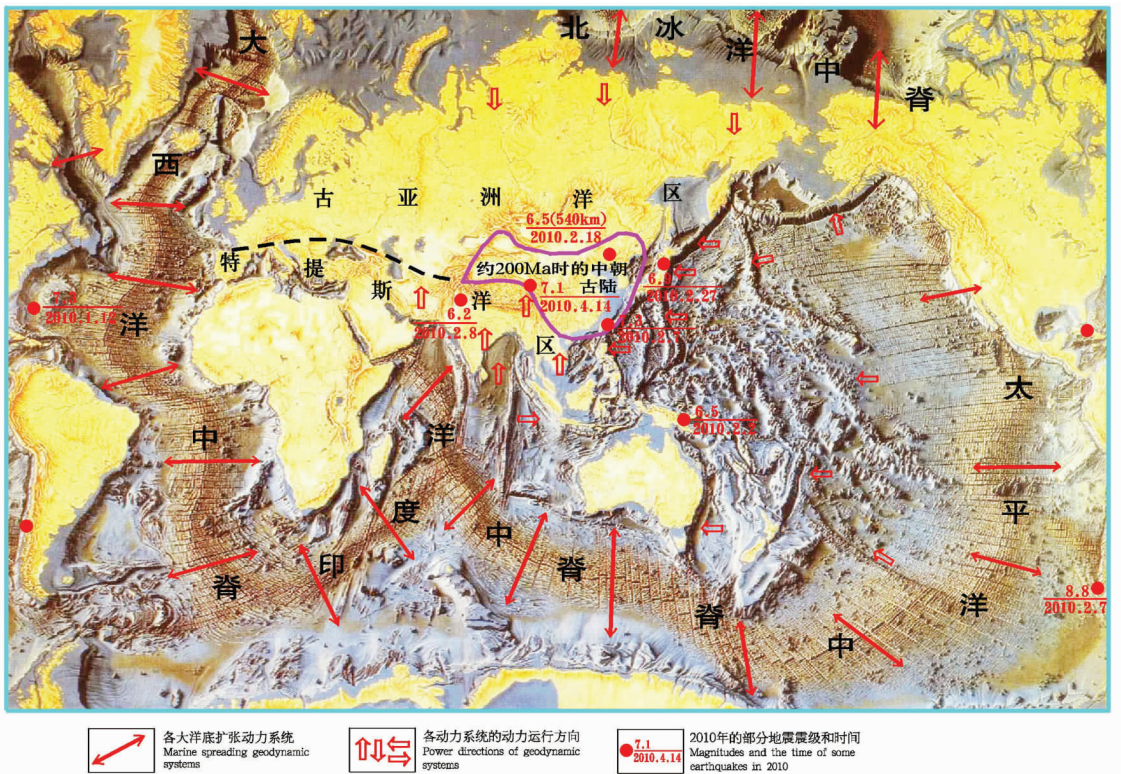


图 2 中侏罗世以来全球洋底扩张动力系统示意图

Fig.2 Sketch map showing the expanding dynamic system of global ocean floor since middle Jurassic

向的动力作用,均会对它产生不同程度的影响。而它又处在两个强大古陆之间,不得不承受着各方向的强力挤压或拉张,这正是“古中国陆块群”(即古中国古陆)活动性大、构造-岩浆-成矿作用复杂多样的根源。

虽然如此,但是它却在亚洲大陆发展演化进程的南-北衔接和大洋分区中起着十分关键的作用。

1.2 大洋区域划分和 3 大陆块群的陆壳增生演化进程

如果在大陆地壳形成的初期阶段(太古宙—古元古代)称为“泛大洋”时期,在中元古代时期华北(中朝)陆块形成之后,则可以华北—塔里木陆块为界,划分出古亚洲洋(北部)和特提斯洋(南部)。古亚洲洋的演化到晚中生代(侏罗—白垩纪)阶段通过蒙古—鄂霍次克洋和西西伯利亚海盆分别归属太平洋和北冰洋(西欧地区的海水归入了大西洋);特提斯洋则是有规律的由北向南演进,即:始特提斯—古特提斯洋(中元古代—古生代)→中特提斯洋(中生代)→新特提斯洋(新生代)(图 1),其海水最后分别归属印度洋和大西洋。

从图 1 可以清楚看出:在北部古亚洲洋演化进程中,在西伯利亚陆块与华北—塔里木陆块之间从两侧向中间侧向陆缘增生和垂向增生有规律的发展,从而使各自的陆壳范围不断扩大。其中的西伯利亚陆块从北往南有:中—新元古代陆缘增生带→呼玛—海拉尔—蒙古中部—阿尔泰新元古代末期及早寒武世俯冲带(蒙古中央构造带)→西准噶尔—阿尔曼太—蒙古南部志留纪俯冲带→北天山—卡拉麦里—红石山—二连晚泥盆世及早石炭世俯冲带。在华北—塔里木陆块北缘,从南向北分别有:狼山—白云鄂博中—新元古代陆缘增生带→温都尔庙—白乃庙寒武纪俯冲带→红柳河(柳园)—西拉木伦晚二叠世双向俯冲带。

从上述二陆块在晚二叠世通过西拉木伦双向俯冲达到相互拼合的演化经历中可以清楚看出两点:①在晚二叠世之前华北陆块始终与西伯利亚陆块远隔古亚洲洋相望,因此,华北陆块不是从“劳亚古陆”中分裂出来的块体,而是独立存在的古陆块;②至少从中元古代开始,华北陆块没有发生旋转运动,而是一直以水平“平移”运动为主导与西伯利亚陆块相对地控制着二者之间古亚洲洋的发展演化进程。

在华北陆块与扬子陆块之间,通过分析研究“秦

巴”与二陆块的相关关系便可看出:“扬子”是“亲”“华北”的,而不是“亲”“冈瓦纳”的。主要有以下几方面理由:

第一,新太古代—古元古代时期二者有共同的地质特征(如同产鞍山式铁矿等 6 个方面)^[6,7]。

第二,从古元古代末期二者分离到晚三叠世,秦巴地区发生的 3 次重大地质事件都是二陆块共同作用的结果:①在全球性的“罗迪尼亚”(Rodinia)超大陆形成时期,扬子陆块与华北(中朝)陆块接合碰撞(850~800 Ma),首次重新恢复了“古中国古陆”;②寒武—奥陶纪两陆块再次分离形成北秦岭二郎坪—北祁连“洋盆化”裂隙海槽(“坳拉槽”),之后至志留纪向华北陆块俯冲,形成了北秦岭—北祁连造山带及第一个巨大的(约 4000 km)超高压变质带^[8];③北秦岭造山带形成后使南秦岭裂解形成“南秦岭洋”,成为扬子陆块北缘的陆缘洋,直至中三叠世末期“扬子”陆块向“华北”陆块碰撞、再一次恢复了“古中国古陆”,并同时形成了第 2 个超高压变质带。

第三,王宗起等(2009)^[9]的最新研究成果中系统介绍了大巴山地区新发现的晚古生代古生物化石和地层剖面特征,进一步证实了整个古生代和早—中三叠世时期,“南秦岭洋”属于“扬子”北缘的陆缘区,因此“扬子”与“华北”之间只是隔“秦巴洋”相望,而不是“扬子”在遥远的冈瓦纳古陆地区。

关于扬子陆块与华夏陆块之间的关系问题,笔者认为,“华夏”曾经是“扬子”的一部分,中元古代裂解与“扬子”分离、并形成“华南洋”(坳拉槽),所以华夏陆块的“古陆核”时代应为“扬子”的基底古元古代—中元古代(也可能包括少量新太古代顶部的岩系)。在新元古代中期——也就是扬子陆块与华北陆块首次碰撞第一次恢复“古中国古陆”的同期(850~800 Ma),华南洋曾向扬子陆块俯冲,形成了四堡—宜春—德兴—屯溪俯冲带(即钦杭缝合带),但是其并未完全闭合,而是向南迁移成为“扬子”南缘与“华夏”北缘的陆缘带,直至奥陶纪晚期“华夏”向“扬子”挤压碰撞(即广西运动)、形成二者之间的华南早古生代造山带,从此华夏陆块重新回归到扬子陆块内,并共同进入了晚古生代以来统一的发展演化阶段。因此,华夏陆块的南界也是“古中国古陆”的南界。

1.3 特提斯洋的发展打造了中国南方和西南部大陆

古亚洲洋的演化使中国北方(西北、华北和东北)大陆不断发展扩大,而中国南方和西南部大陆的

形成和发展则与特提斯洋的发展演化紧密相关:

(1) 始特提斯—古特提斯洋在中国境内起始于“古秦岭洋”(图 1), 成为了扬子陆块从华北陆块中裂解出来后直至晚三叠世之前独立发展的基础。扬子陆块从中元古代至中三叠世, 其范围逐渐扩大、地壳不断增厚, 以及“扬子”与“华夏”的离散和汇聚, 都是始—古特提斯洋发展演进的结果。

(2) 中三叠世末期的印支运动既形成了金沙江—哀牢山俯冲带, 又使整个扬子陆块与华北陆块碰撞拼合, 从而使中国大陆进入了统一发展演化的地史阶段, 古特提斯洋随之演变成为中特提斯洋。

(3) 在中特提斯洋的发展阶段先后形成青藏地区早侏罗世末期的龙木错—双湖—澜沧江俯冲带和早白垩世末期的斑公错—怒江俯冲带。

(4) 晚白垩世以来的新特提斯洋(实际上已经融合归属到大西洋和印度洋), 先后完成了雅鲁藏布俯冲带以及印度大陆与欧亚大陆的碰撞(西瓦利克碰撞带)(图 1)。

1.4 太平洋的发展为东亚和中国东部大范围软流圈物质上涌提供了东侧的动力条件

地学界普遍认为: 中国东部中生代强烈的构造—岩浆活动和成矿作用, 是太平洋板块向东亚大陆俯冲的结果。然而近年来“中国岩石圈三维结构”的研究结果表明: 太平洋板块的俯冲界面很陡(约 70°)^[10]、俯冲地区距中国大陆较远(距福建省海岸最近的琉球海沟也有 900 多千米), 因此, 太平洋板块的俯冲作用对中国东部的直接影响范围不大, 从海岸到陆地不超过 200 km^[11]。在中国东北主要影响到吉林省东部珲春地区^[10](如深源地震: 2010 年 2 月 18 日发生 6.5 级地震, 震源深度约 540 km)。不过太平洋板块俯冲动力的“远程效应”却为东亚和中国东部大范围的软流圈物质上涌提供了东侧深部(200~400 km)的动力条件。

在东亚尤其是中国东部地区, 中侏罗世以来除去地球自转和公转引起的自身的动力系统外, 还受到了来自 4 个不同方向动力系统的影响(图 2): 东面太平洋板块从东向西俯冲的挤压动力作用; 西面印度大陆向欧亚大陆碰撞从南向北和从西往东的挤压动力作用; 北面西伯利亚陆块从北向南的挤压和蒙古—鄂霍次克晚中生代裂谷从北向南挤压的联合动力作用; 南面印度洋海底扩张导致的印度尼西亚俯冲带从南往北的挤压动力作用。这 4 种力在深部

分别向中国东部挤压, 按力的“扇形原理”(一端受挤压、另一端被拉张)——深部(200~400 km)受挤压, 导致软流圈物质上涌; 浅层被拉张, 形成中国东部中生代裂谷系, 从而为深部软流圈物质上涌提供有利的空间, 形成中国东部和东亚地区东西宽约 4000 km、南北长约 12000 km 的软流圈物质上涌区域(图 1)^[12], 从而导致了该区域强烈的构造、岩浆、成矿、地震、火山等复杂的多种地质作用。

由于以前对深部地质特征了解不多, 对中国东部中生代时期各不同动力系统的综合影响和制约作用的综合集成研究也较少, 只是单一从浅层地质特点在地理空间上看到太平洋板块向西岸的东亚大陆俯冲, 因此将中国东部地区中生代复杂的各种地质作用都归结为“太平洋板块俯冲”的结果。经过“中国岩石圈三维结构”研究、尤其将大量实际资料和成果与中生代各不同动力系统有机结合起来进行系统的综合集成研究后, 认识到了导致中生代以来中国东部复杂多样的构造—岩浆—成矿作用的直接原因是大面积强烈的软流圈物质上涌的结果。而之所以产生这样广泛强烈的软流圈物质上涌活动, 是由于在中国东部周围存在多向动力来源(动力系统)对其共同联合作用的结果, 太平洋板块俯冲动力只是其中的东侧力源^[13]。通过这一系统的研究, 现在对中国东部和东亚地区浅层复杂的地质作用与深部动力系统之间的“因果关系”的理解和认识, 更深化和提高了一步。

由于软流圈物质上涌的区域是在不同时代形成的大陆壳地区, 所以由它打造的各种地质作用都属于上叠(叠加)作用(图 1)。

1.5 中国及邻区地球动力系统特征

从以上不同方面分别论述的各项内容中可以看出(图 1): 至少从中元古代到中三叠世亚洲和中国大陆区各地史阶段的发展变迁一直受来自以南北方向(即经度方向)的动力系统为主所制约, 因此前侏罗纪的地质构造走向多呈近东西向(即纬度方向)。侏罗纪以来一方面继承了南北向动力系统, 一方面新生了近东西向动力系统的上叠(叠加), 并由此形成了北北东向的构造—岩浆带叠加在不同时代的近东西方向构造—岩浆带之上。这些新老动力系统的动力源自何处? 笔者认为: 这是大洋演变以及洋陆转换的结果, 而大洋演变的动力源又与地球自身在自转和公转运动中产生的拉张力(离心力)和挤压力密

切相关。众所周知,地球自转和其围绕太阳公转的轨道都是椭圆形的,因此在地球自转和公转过程中距太阳的远近有所不同;当距离太阳最远时,太阳对地球的引力减小,地球的运行速度减慢;当距太阳最近时,太阳对地球的引力增大,地球的运行速度加快。每当地球由正常的匀速运行而减慢或者加快时,必然伴随出现挤压力或者拉张力,加之地球自身在快速自转和公转的正常匀速运行中也存在拉张力(赤道地区线速度最大,离心力即拉张力也最大)和挤压力(高纬度的两极向低纬度区挤压)。由上述两个方面动力的“联合”构成了地球自转和公转运行中形成的拉张力(离心力)和挤压力。这个拉张力和挤压力是永恒的,也是为后期再生(新生)的各项动力系统“垫底”的,笔者称这个动力系统为“本底动力”(包括“本底拉张力”和“本底挤压力”)^[9]。这是地球动力系统动力源之一,而且是最基础和永恒的动力源。

动力源之二是来自地球内部永不衰败的巨大的“高热能库”。地质历史中陆壳的多次拉张裂解、离散和陆块的多次俯冲拼合、碰撞,无一例外的都是深部过饱和的高热能冲破地壳薄弱地带(地区)向表层释放能量的结果,而巨量的高热能在转换为强大动能的时刻就是发生地壳运动(无论是拉张裂解或者是俯冲碰撞)最强烈的时期。所以每次构造-热事件活动都是地球热能转换为动能的表现。地壳的稳定阶段实际上是地球内部热能聚集时期。当深部热能又达到过饱和时,再次发生构造运动。

从图 1 清楚地看出,侏罗纪之前各地质时期的俯冲带(或缝合带)沿一定方向有规律的排列,表明了地球自身将上述两大动力源——深部的高热能转换为浅层的强动力源和地球自转与公转产生的“本底”力源有机地融合,从而呈现出阶段性有规律的中国及邻区地质演化史。但是至侏罗纪时,由于全球大陆壳格架基本形成并且固结,上述两种动力源自然要迁移到地壳薄弱的大洋区和大陆内的地壳薄弱地带。所以当今天世界各地的全部地震和火山喷发等重大地质灾害,仍然是上述两种动力源联合作用的结果。

晚三叠世—早侏罗世是地球动力系统和区域地质特征转换的过渡阶段。对于中侏罗世以来动力系统方向的改变,是由于大西洋、印度洋、太平洋和北冰洋海底扩张方向及其所产生的动力系统运行方向不同所导致的结果。图 2 显示:大西洋底扩张(大洋

中脊)的动力系统运行方向以东西向为主,导致非洲大陆与南美洲分离;印度洋底扩张的动力系统运行方向以南北向为主,导致印度等南亚及西亚大陆与南极大陆分离,并由于印度等南亚和西亚大陆向北推移与欧亚大陆拼合碰撞后仍然不断地强烈挤压,形成世界“第三极”青藏高原和帕米尔构造结;太平洋底扩张的动力系统运行方向也以东西向为主,并由于大洋中脊靠近东岸,导致东岸不仅形成了巨大高耸的海岸山系(安第斯山系和科迪勒拉山系),同时成为当今最强烈的地震带和活火山活动带。其动力系统的“远程效应”扩展到西岸的东亚地区,形成了马里亚纳海沟和日本列岛岛链等“沟弧盆”体系;北冰洋底扩张的动力系统运行方向也以南—北向为主,恰与地球自转和公转中高纬度向低纬度(赤道方向)挤压的“本底”动力方向一致,这两种同方向动力联合推动了西伯利亚陆块不断地向南(中国大陆)挤压。因此中侏罗世以来,中国大陆(尤其是中国东部)受到来自东、南、西、北各方向动力系统的联合挤压(图 2),从而导致中国东部以及整个东亚地区大范围的软流圈物质上涌(图 1),形成了强烈的构造-岩浆-成矿作用,叠加到前侏罗纪形成的各不同陆块和造山带之上。

1.6 亚洲地球动力系统的演进打造了亚洲大陆基本构造格架特征

将上述亚洲地球动力系统的演变进程统一展现在图上,可以清晰地显示出它所打造的亚洲大陆基本构造格架特征。这一构造格架主要由四部分构成(图 3),即:①前寒武纪陆块区,②古生代(含早—中三叠世)造山带,③中—新生代(不含早—中三叠世)造山带,④由于中—新生代软流圈物质上涌而形成的东亚大陆中—新生代构造-岩浆-成矿作用叠加(上叠)造山带。这四部分不仅综合反映了亚洲地球动力系统及其构造格架的总体面貌,而且为矿产资源预测提供了理论支撑和成矿地质背景。

2 亚洲深部动力作用与浅层的矿产资源效应

以上比较系统地概略阐述了由亚洲地球动力系统的演变所形成和制约的区域地质特征及其发展演化历史,目的是在提高基础地质研究程度的基础上为矿产资源勘查提供理论支撑和科学依据,以便为促进资源勘查和提高找矿效率获得实际成效。笔者

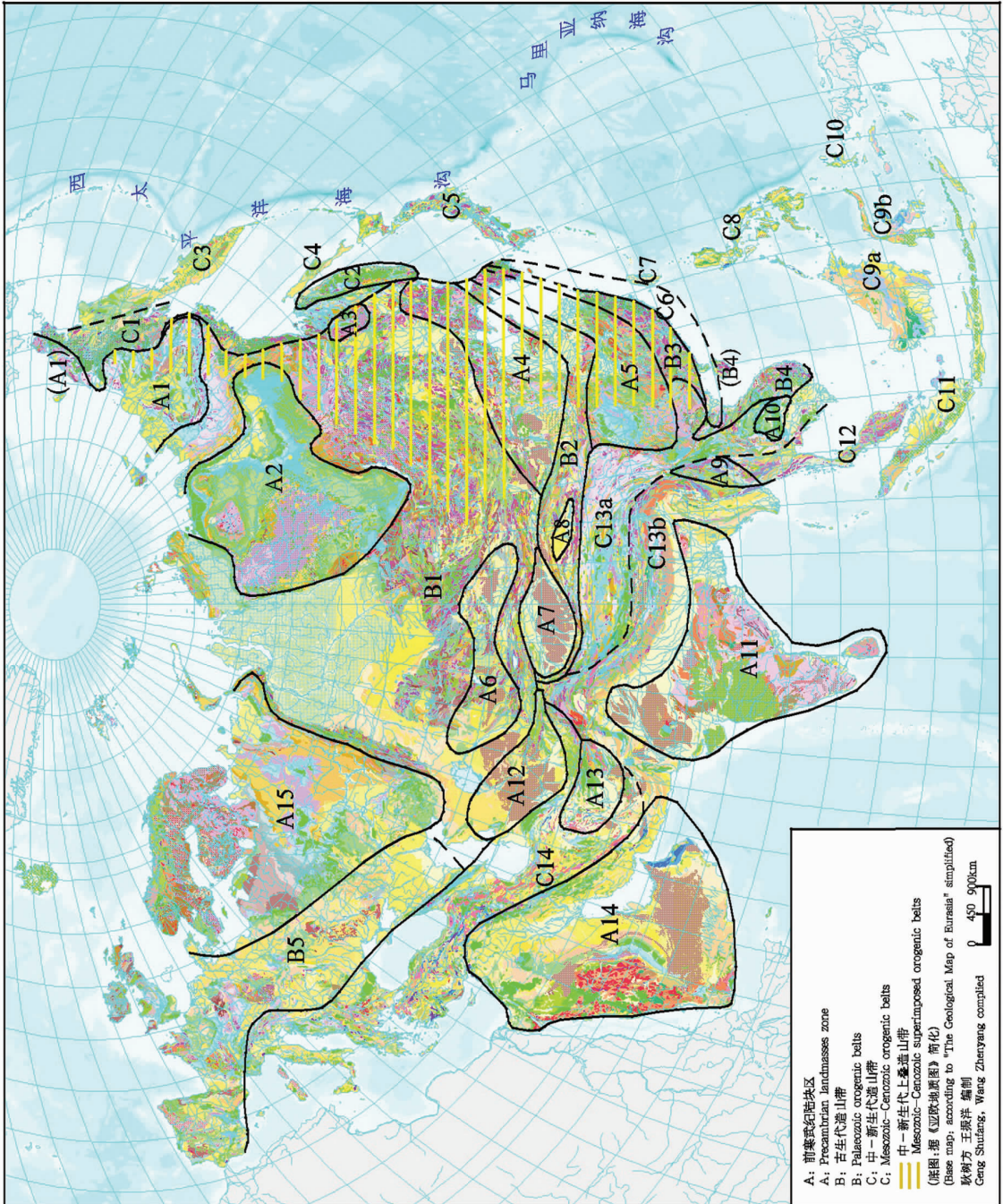
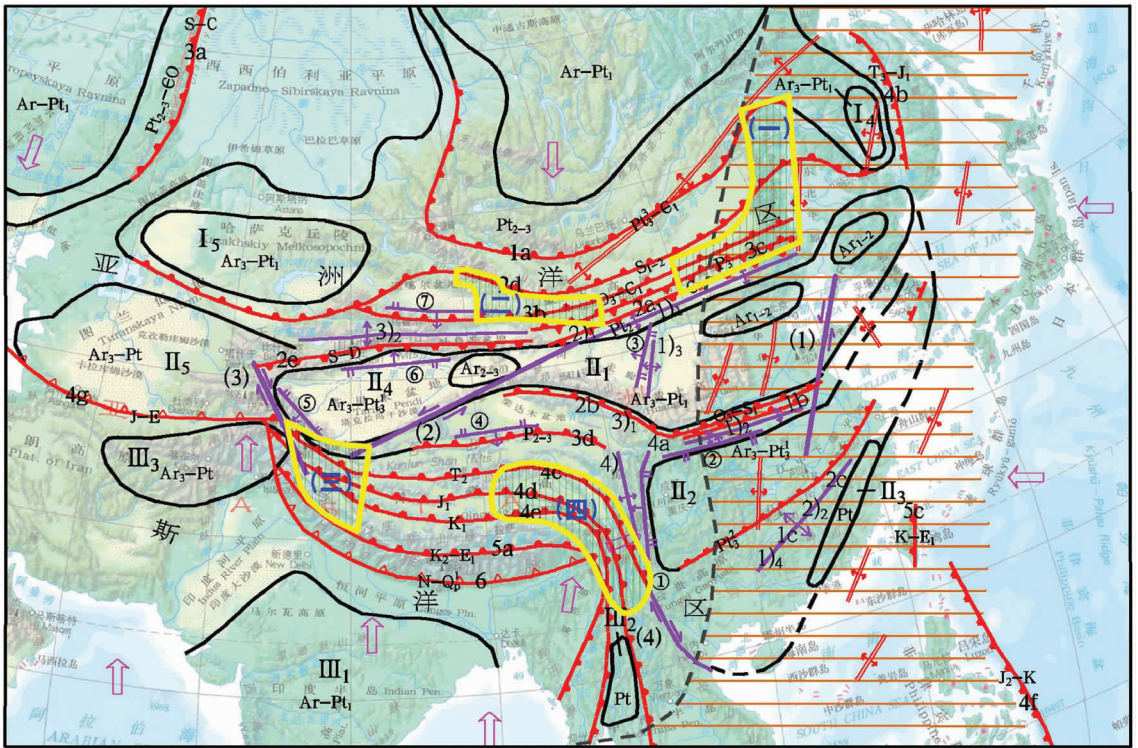


图 3 亚欧大陆主要陆块和造山带示意图
Fig.3 Sketch map showing the main landmasses and orogenic belts in the Eurasia continent



说明：图例同图1；(一)、(二)、(三)、(四)表示4个试点检验区的示意图。

图4 “地球动力系统演变制约了地质-成矿作用”的找矿试点(检验)区分布示意图

Fig.4 Sketch map showing distribution of test (examination) zones for “geodynamic system evolution that restricts geological-metallogenesis”

从图 1 中初步选取 4 个地区(图 4)作为“理论指导找矿”的试点区,来验证“地球动力系统的演变制约了浅层地质-成矿作用”的理论观点是否符合中国地质及成矿特征的客观实际情况。

上述这 4 个地区的选取依据是其动力系统在时间(时代)上有多次演变,空间上相对集中。今后在这 4 个地区内只要加大勘查投入(包括外资和民企投入)和勘查力度,可能会分别找到不同矿种的多个中-大型、超大型矿床。现对这 4 个地区有利于成矿的区域地质条件和理论依据分别概述如下。

2.1 大兴安岭地区

该区的范围北起黑龙江畔、南至北纬 42°(围场-喀喇沁旗)、西起中俄-中蒙边境-二连浩特、东抵松辽盆地西缘(图 4(一))。从新元古代末期-早寒武世的呼玛-海拉尔-蒙古中央带发生俯冲开始,由北向南依次为:奥陶-志留纪俯冲带(在蒙古国境内强烈)、泥盆-石炭纪俯冲带(二连-贺根山-索伦山俯冲带)、二叠纪西拉木伦双向俯冲带、

白乃庙-温都尔庙寒武纪(向华北陆块)俯冲带。在古生代这 5 次有规律的动力系统演化的基础上,上叠(叠加)了晚侏罗世-早白垩世(J₃-K₁)蒙古-鄂霍次克裂谷带和白垩纪-古近纪松辽(盆地)裂谷带与大兴安岭-太行山重力梯级带。本区从寒武纪以来至少经历了 7 次重要动力系统的反复作用。由此形成了古生代各时期的侧向陆缘增生岩系和垂向地幔型岩浆岩有规律的展布。其中从奥陶纪到二叠纪有多层海相火山-沉积岩层,是区内重要的含矿-成矿层位。晚侏罗世-早白垩世(J₃-K₁)火山岩是蒙古-鄂霍次克大陆裂谷带形成的双峰式火山岩,其火山-次火山岩类也是重要的含矿-成矿层位。区内强烈的岩浆侵入活动以晚古生代和侏罗-白垩纪为主,为成矿作用增加了成矿物质和提供了丰富的热源与热流体。由于多次动力系统的演变,使本区不同时代、不同方向的断裂系统相互重叠和交叉,从而为岩浆活动和成矿物质聚集提供了良好的空间。

在这些有利的区域地质条件下,本区最重要的

成矿矿种是铜、铅、锌、金、银,其次是铁、钼、钨、锡、铀和铀钼。最主要的矿床类型是斑岩型(以铜、金为主)、海相火山-热液型(以铜、铅、锌等多金属为主)、热液交代型和热液脉型(以铅锌、金、银、铀、钼为主),其次为块状硫化物型(以铜、铅、锌为主)、矽卡岩型(以铁、钨、锡、钼为主)。在局部地区可能赋存细碧-角斑岩型(或类细碧-角斑岩型)矿床(以铜铅锌银、或铁铜金为主)。上述各类矿床的成矿时代均以晚古生代(即“华力西期”)和侏罗-白垩纪(燕山期)为主。但由于区内的动力系统多次频繁演变,尤其是晚二叠世西拉木伦双向俯冲带导致的华北(中朝)陆块与西伯利亚陆块最终拼合碰撞后,三叠纪时期本区处于由“洋”转换为“陆”的过渡阶段,因此在华北陆块北缘和西拉木伦俯冲(拼合)带两侧,形成碰撞期(“造山期”)后的三叠纪花岗岩。同时,本区处于东亚及中国东部中侏罗世以来软流圈物质上涌的区域内(图 1),而且直到近代仍有软流圈物质上涌的明显表现(如,发源于大兴安岭的多条河流中都有第四纪“河谷玄武岩”,大兴安岭东侧、松辽盆地北端五大连池玄武岩的喷发时间为 1719—1721 年,距今只有 289 年)。由于这两个地质特点和前述的新元古代后期与早古生代的动力系统演变,所以本区除主要成矿时代为晚古生代和侏罗-白垩纪外,还应存在早古生代、三叠纪和古近纪的成矿作用。区内最有利的成矿聚集区(找矿“靶区”)是成矿作用前已经形成的不同时代、不同性质和不同方向的“断裂汇集区”。

早在 1974 年笔者编制的我国首张“中国斑岩型铜(钼)矿带分布示意图”上就曾绘制出了 2 条矿带(2 与 3),提出大兴安岭是极为有利的成矿地带,并指出成矿时代主要是华力西期和燕山期(图 5)^[4]。以前发现的重要矿床较少的原因,一方面是由于本区表层覆盖、交通不便等导致的工作程度低,另一方面在对本区区域地质特征和地球动力系统的认识上不准确也是重要原因;长期以来(乃至当今)许多学者把大兴安岭地区归属于“太平洋板块作用”的范畴内,并与东南沿海的浙闽火山岩带进行对比,所以对其成矿特征的认识和成矿带的展布方向产生了误解。事实上,大兴安岭地区的地质-成矿作用始终属于古亚洲动力系统中的蒙古向东延伸的部分(即近东西方向),当今大兴安岭北北东方向的地理走向是由于中侏罗世以来中国东部软流圈物质上涌导致白

垩纪-古近纪形成北北东向松辽裂谷、并相应地产生了大兴安岭-太行山重力梯级带向西推挤,使得“松辽”下降成“盆”,“兴安”抬升为“岭”,打造了“盆山耦合”的现今地貌形态。所以大兴安岭是由于中国东部软流圈物质上涌形成的北北东向裂谷系所伴生的产物,而不是太平洋板块俯冲作用的结果。事实上,整个中国东部晚中生代以来的北北东方向盆-山对应(耦合)关系,都是直接受软流圈物质上涌的动力系统制约的,太平洋底扩张和板块俯冲动力系统,只是为东亚和中国东部软流圈物质上涌提供了深部地区来自东侧的“远程效应”挤压力(图 2)。

2.2 东准噶尔-东天山-北山地区

该区的范围(图 4(二))从东经 89°以东、北纬 47°以南到吐鲁番-哈密盆地北缘,向东延伸为中蒙国界以南、北纬 42°以北,直至甘肃北山到东经 100°地区。在此区域内(即东准噶尔-东天山-北山)与成矿作用有关的动力系统演化进程和区域地质特征主要表现在古生代时期。从西准噶尔到东准噶尔都分布有奥陶纪蛇绿岩与早志留世下部(布龙组)的硅质岩组合,构成了本区早古生代阿尔曼太蛇绿岩带和俯冲(缝合)带,此带向东发展成为南蒙古的重要构造-成矿带(图 4 中的 2d)。早志留世上部(恰尔尕也组)是一套紫红色、灰绿色砂岩-砾岩组合,表明本区早志留世后期已经上升为陆地遭受剥蚀。由此俯冲带往南、即北天山-东准噶尔东南缘,泥盆纪-早石炭世不仅发育巨厚的海相中酸性火山岩-碎屑岩组合,同时形成了东准噶尔卡拉麦里-红石山蛇绿岩和俯冲(缝合)带。此带向东穿越蒙古南部到达二连-贺根山-索伦山(图 4 中的 3b)。需要引起注意的是,在东准噶尔东南缘及三塘湖地区,石炭纪和早二叠世时期曾发生过 3 次动力系统的演变,导致早石炭世下部(塔木岗组)与上部(黑山头组或者姜巴斯套组)之间、上部与晚石炭世(巴塔玛依内山组)之间和晚石炭世与早二叠世(三塘湖组)之间都存在明显的不整合。泥盆纪、石炭纪和早二叠世发育的具有不同性质和特点的火山-碎屑岩组合都是区内有利的成矿层位或围岩。从三塘湖往东到甘肃北山南部地区,以及红柳河(柳园)经玉石山直至西拉木伦河,发育晚古生代末期华北陆块与西伯利亚陆块最后拼合碰撞的西拉木伦双向俯冲带(图 4 中的 3c)。本区古生代时期共出现了 4 次重要的动力系统演变,打造了区内活动陆缘的火山-碎屑岩组

合、碳酸盐岩组合和志留纪、泥盆纪、石炭纪以及二叠纪的侵入岩,均很发育,从而为成矿作用提供了十分有利的区域地质条件。

在上述有利的区域地质环境中,本区属于“图 4(二)”和“图 5”8 号与 6 号矿带的范畴。成矿时代以志留纪和晚古生代为主。古生代的成矿特征在许多方面与大兴安岭地区相似。如:主要矿种是铜、铅、锌、金、镍,其次是钴、钼、银、钨、锡;主要矿床类型是斑岩型(以铜、镍、钴为主)、矽卡岩型(以铁、多金属、钨锡为主)、岩浆型(以铜、镍、钴为主)、海相火山热液型(以多金属、铁为主)、热液交代型和热液脉型金、铅、锌、银为主。这些不同类型矿床的成矿时代,石炭纪是成矿高峰期;另有少量矿床形成在奥陶—志留纪。但在北山地区,由于存在中元古代和早古生代活动陆缘的火山—沉积组合岩系,中—新元古代和早古生代也是重要的成矿期。

需要特别指出的是:西起准噶尔盆地东缘,东至松辽盆地西缘,沿中蒙国境线两侧,是一条近东西向的晚古生代巨型重要成矿带(图 1,图 4)。在此成矿带区域内,蒙古超大型的斑岩型铜金矿欧玉陶勒盖距中国边境线只有 85 km 左右。而在中国境内,由于沿中蒙边境地带晚白垩世以来大小不同的沉积盆地和近代沙漠的掩盖、交通不便等,地质研究程度较低等原因发现的矿产地较少。如果希望在这条巨型重要成矿带的中国境内实现找矿突破的话,笔者建议国家在这条带上尽快加大投入,并进行统一部署,可按“连续作业、分三步走”的原则实施找矿—探矿计划。即:第一步,开展地面物探(以各种电法和磁法为主)和化探“扫面”,寻找有利于有色金属、贵金属和黑色金属成矿的异常区;第二步,在物、化探圈出的异常区立即开展以找矿为目的的非正规 1:5 万或者 1:2.5 万地质调查,并在填图过程中对重要异常点进行必要的槽探、浅井乃至浅钻的工程揭露(因为该成矿带地表掩盖较多);第三步,对地表揭露的重要异常点,立即开展钻探等大量的勘探施工工作。如果对施工点选择准确(即,对地质—成矿条件分析研究的正确)时,浅则 300~400 m、深则 600~800 m,就能够发现具有开采价值的良好矿体。

笔者相信该成矿带成矿远景的规模完全可与藏南冈底斯成矿带相比,甚至将会超过藏南。而该区修路、运输等等的施工条件比藏南方便得多,因此其经济意义将比藏南更大。

在此成矿带内,如果能够切实加大投入和正确实施“三步走”原则,预计每年可以探得中型以上矿床 3~5 个。

2.3 西昆仑—西藏西部地区

该区的范围(图 4(三)):北起塔里木南缘,往南到西藏西南部的玛旁雍错(湖)之西,沿新疆叶城—西藏噶尔—日喀则公路两侧各 100~150 km 地带之内。

西昆仑是塔里木盆地基底出露区之一,从中元古代到二叠纪,本区有过多次地球动力系统的演变,现已发现和保存的残留洋壳有新元古代和石炭纪两套蛇绿岩组合。至于中—新生代地球动力系统的演变,在图 4 已经清晰展现出来。从三叠纪以来由北向南有规律出现的金沙江(西端)、龙木错(湖)—澜沧江、斑公错(湖)—怒江、雅鲁藏布 4 个俯冲带和西瓦利克碰撞带。由于印度洋底扩张导致的印度板块(陆块)向欧亚大陆挤压和碰撞(图 2),在打造青藏隆升成为世界第三极和形成帕米尔构造结的同时,也把上述 5 个构造带挤压到了现今的狭窄空间(图 4),这反而有利于找矿工作的开展。除这些重要的俯冲(缝合)带外,在西昆仑还存在多条不同性质、不同时代和不同方向的断裂带,如著名的康西瓦断裂带与阿尔金断裂带的交汇带和北西向塔什库尔干走滑断裂与近东西向的俯冲(缝合)带的交汇带都集中出现在该区内。沿新疆—西藏公路从松西(龙木错)开始南行至巴噶(玛旁雍错)的“试点区”内,公路两侧各约 100 km 内,除了出露侏罗纪和白垩纪的蛇绿岩带外,还发育侏罗—白垩—古近纪的侵入岩和火山—沉积岩系。

综上所述,从中元古代到早更新世,在本“试点区”内曾发生过至少 8~10 次(或更多)地球动力系统的演变,它可能是中国大陆上地球动力系统演变次数最多和最集中的典型地区,由此也为成矿作用提供了极有利的区域地质条件。此外,还有一项有“特殊意义”的有利条件,这就是至今在较浅层地区仍然存在高温熔融体:图 6^[1]中显示了 10 km 深度区地温达到了 240°~250°C;20 km 深度达到了 475°~500°C(图 7);到达 30 km 深度时,本“试点区”的地温已达到 700°~800°C(图 8),表明已进入了熔融区域内,这对浅层的成矿作用是极有利的温度条件。在 1974 年笔者编制的“中国斑岩型铜(钼)矿带分布示意图”上,本区的南部属于 16 号矿带的两段(图 5),并提

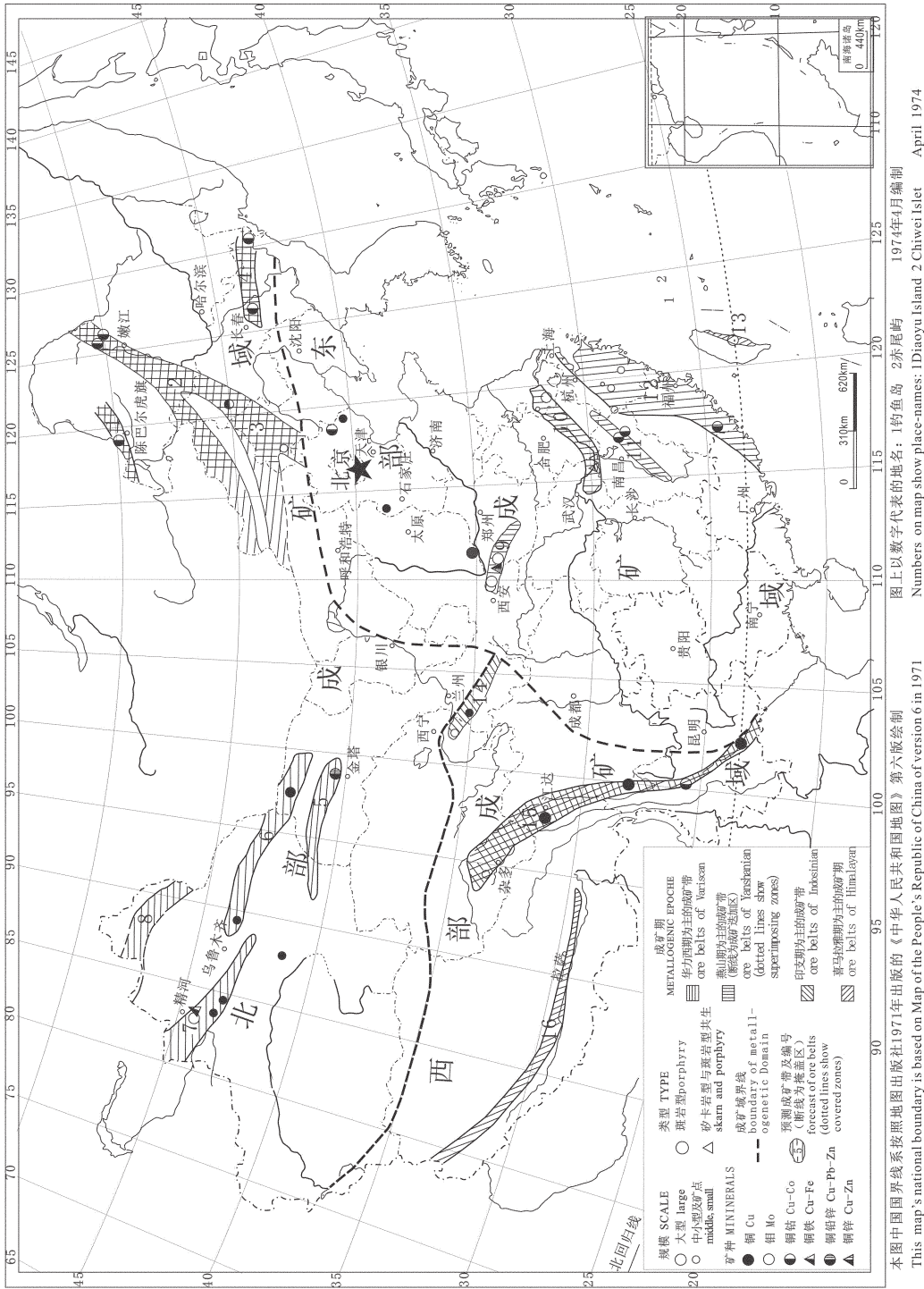


图 5 中国斑岩型铜(钼)矿带分布示意图
 Fig.5 Sketch map showing distribution of porphyry Cu (Mo) ore belts in China

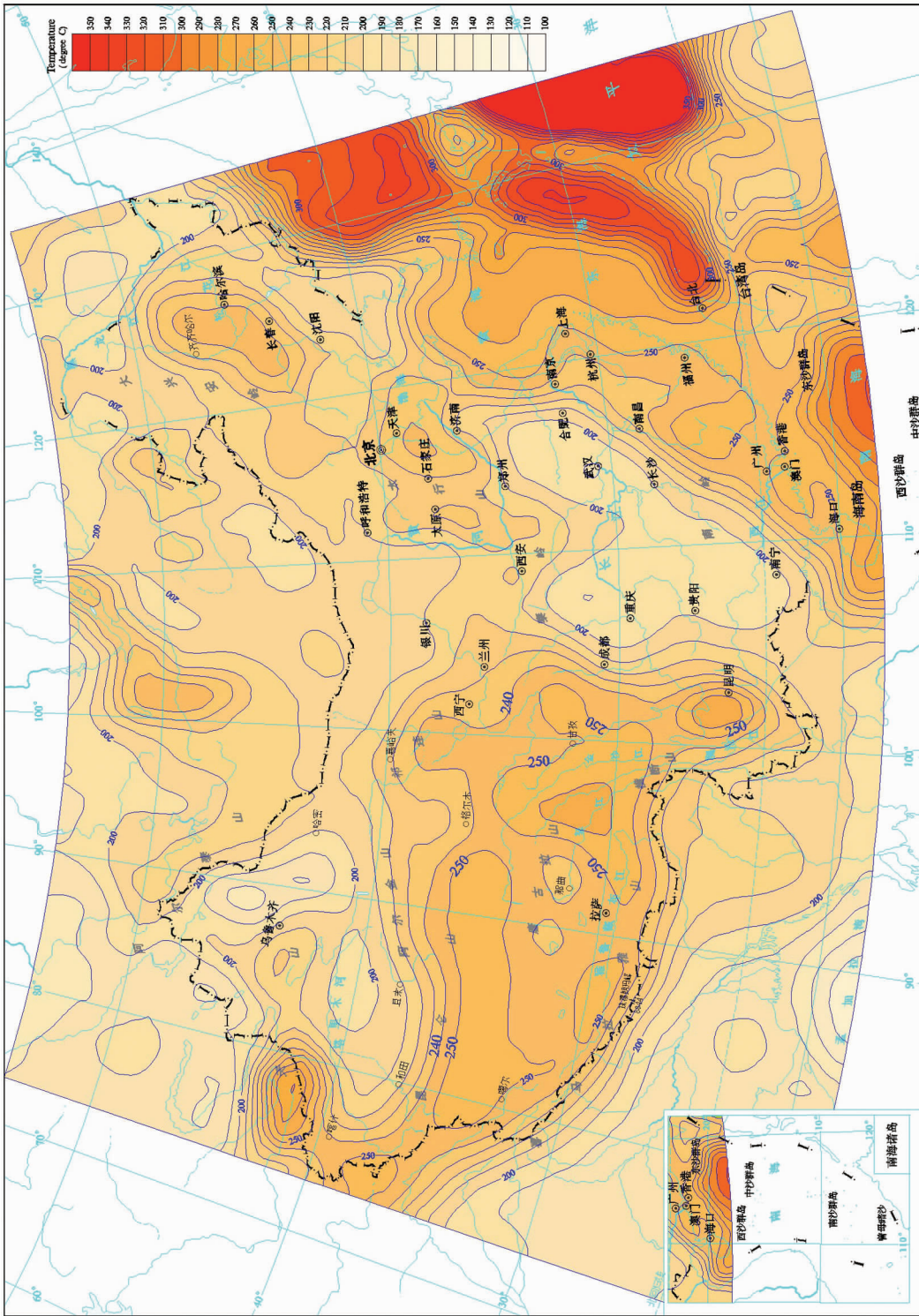


图6 中国大陆10 km深度地温分布图
(据汪洋, 2005)

Fig.6 Distribution of geotemperatures at the depth of 10km in Chinese continent (after Wang Yang, 2005)

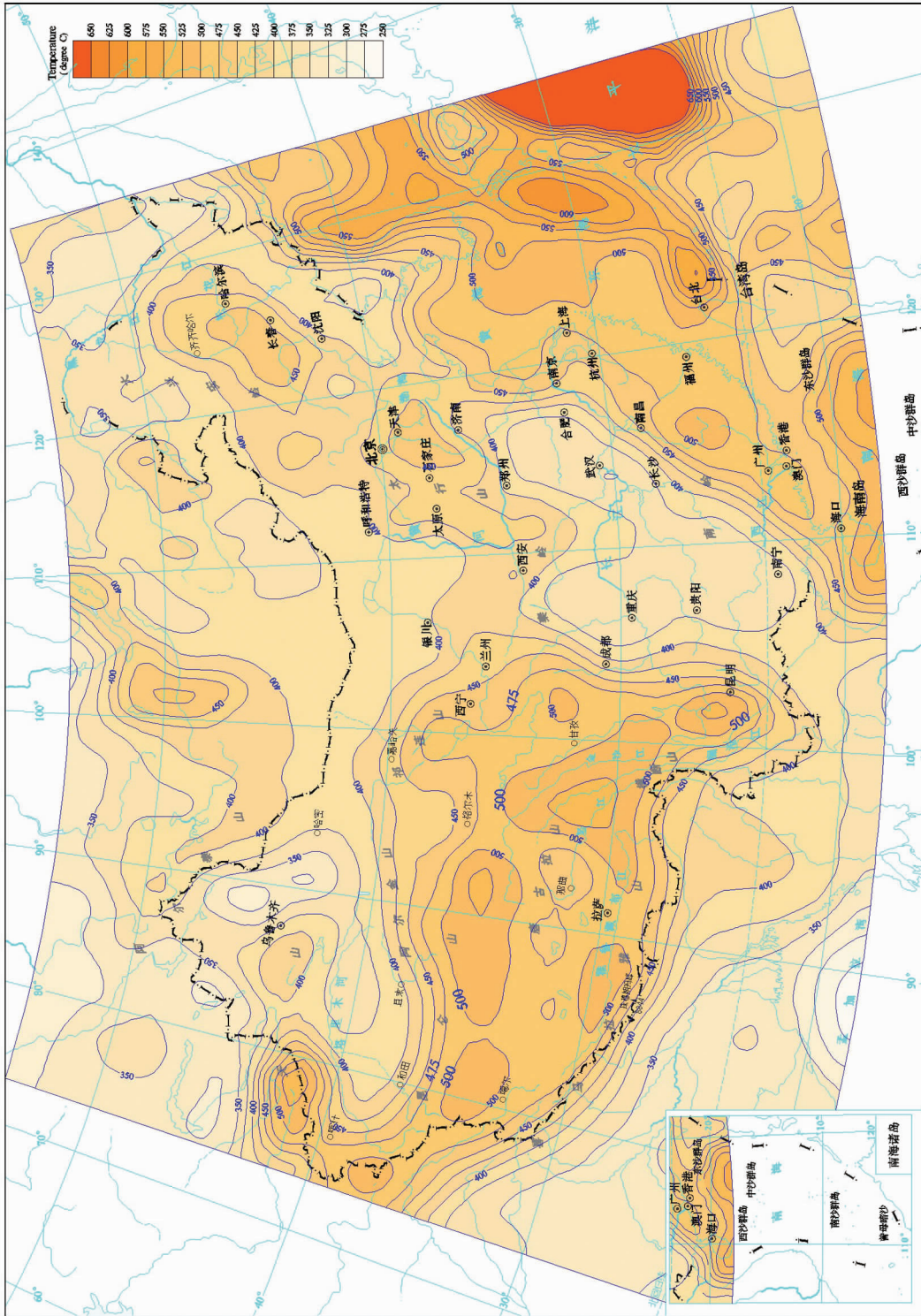


图 7 中国大陆 20 km 深度地温分布图
(据汪洋, 2005)

Fig.7 Distribution of geotemperatures at the depth of 20 km in Chinese continent (after Wang Yang, 2005)

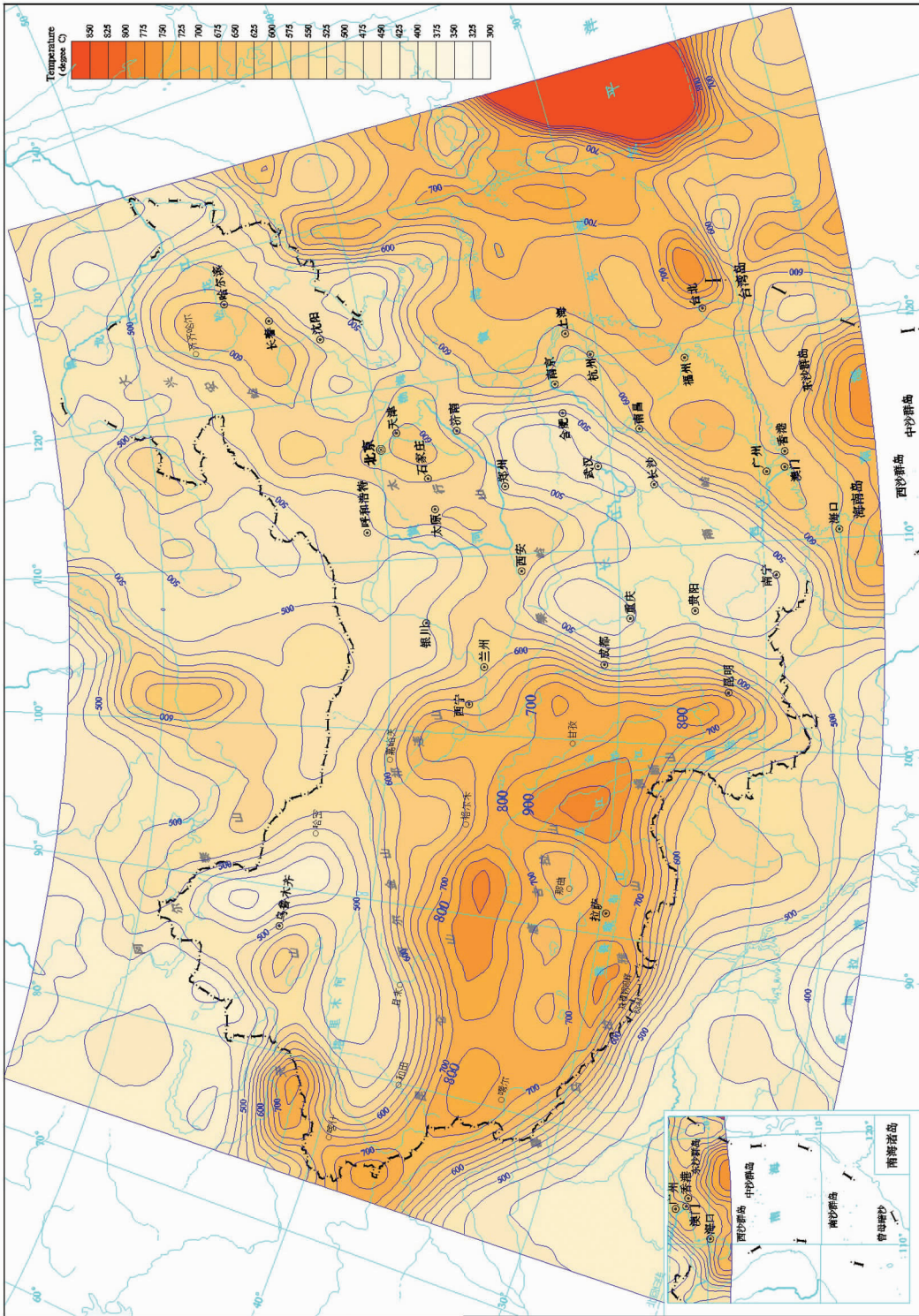


图 8 中国大陆 30 km 深度地温分布图
(据汪洋, 2005)

Fig.8 Distribution of geotemperatures at the depth of 30 km in Chinese continent (after Wang Yang, 2005)

出成矿时代以喜马拉雅期为主。

在上述一系列有利的地质条件下,笔者判定本“试点区”是以有色金属和贵金属为主的极重要的成矿带。其矿床类型以斑岩型和热液型(包括热液交代型和热液脉型)为主,其次为矽卡岩型和火山岩型(包括火山-沉积型)。

找矿工作部署如前所述,也是按“连续作业、分三步走”的原则实施找矿—探矿计划。本区的探矿深度,浅则 200~300 m、深则 400~600 m 即可探得良好的工业矿体。

在此“试点区”内,如果能够确保投入和切实实施“三步走”原则,预测每年可以探得中型以上矿床 2~4 个。

2.4 西南三江地区

范围(见“图 4”(四)):北纬 33~30°以南、东经 95~30°以东(即青海省治多—杂多及其以东),贡觉—芒康(即芒康山脉)以东至甘孜—理塘(即沙鲁里山)以西,沿金沙江—哀牢山俯冲带,包括澜沧江俯冲带和怒江俯冲带。

该区属于 15 号矿带(图 5),1974 年笔者曾绘出本区是一个非常重要的成矿带。成矿时代以印支期和喜马拉雅期为主。经过 30 多年的找矿实践证明,区内的有色金属和贵金属极为丰富,已经成为中国重要的矿产资源基地之一。区内资源之所以如此丰富,是由于在扬子陆块西缘从二叠纪拉张裂解离散后,在本区各地质时代都有强烈的构造-岩浆活动:中三叠世发生金沙(江)俯冲、早侏罗世发生澜沧(江)俯冲、早白垩世发生怒江俯冲、晚白垩世雅鲁藏布(江)俯冲,每次都受强烈挤压,古近纪和新近纪仍然发生不断的强烈挤压,直至当今。因此,西南三江地区是中国大陆上整个中-新生代时期一直遭受强烈挤压动力作用制约的典型地区。

此外,从图 6~8 中可以清楚看出:本区属于青藏高原高温地热区的一部分,10 km 深度区地温已达到 240°~250°C,30 km 深度区已经是 800°~900°C 的熔浆区。由此为内生矿产的生成提供了丰富的成矿物质和热源。

在本区内寻找新矿产基地,同样应该按“三步走”原则实施找矿计划。如果能够确保资金投入和正确施工,在本“试点区”内预计每年都能够探得中型以上矿床 3~5 个。

今年是李廷栋院士 80 华诞。笔者与李先生在一

起工作了多年(其中第一作者自 1960—1977 和 1992 年以来至今共 37 年,第二、三、四作者自 1992 年以来至今共 19 年)。在共同工作过程中,从他的言传身教和为人处事中学到的东西一言难尽、获益多多,他既是良师,也是益友。因此,我们以在与他共同工作的二三十年来积累的实际资料为基础,撰写此文,作为献给李院士的薄礼。

参考文献 (References):

- [1] 李廷栋,耿树方,严克明,等. 1:500 万亚欧地质图[M]. 北京:地质出版社,1997.
Li Tingdong, Geng Shufang, Yan Keming, et al. 1:5 000 000 The Geological Map of Eurasia [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [2] 李廷栋,耿树方,范本贤,等. 1:250 万中国西部及邻区地质图[M]. 北京:地质出版社,2006.
Li Tingdong, Geng Shufang, Fan Benxian, et al. 1:2 500 000 the Geological Map of Western China and Adjacent Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [3] 李廷栋,等. 中国岩石圈三维结构丛书(共 11 卷)[M]. 北京:地质出版社,2007.
Li Tingdong, et al. 3D Model of Lithospheric Structure in China Series (in 11 volumes) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007(in Chinese).
- [4] 李廷栋,耿树方,范本贤,等. 1:250 万亚洲中部及邻区地质图系[M]. 北京:地质出版社,2008—2010.
Li Tingdong, Geng Shufang, Fan Benxian, et al. 1:2 500 000 the Geological Map Series of Central Asia and Adjacent Areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008—2010 (in Chinese with English abstract).
- [5] 程裕淇,耿树方,谢良珍,等. 1:400 万中国地质图(第二版)[M]. 北京:地质出版社,2004.
Cheng Yuqi, Geng Shufang, Xie Liangzhen, et al. 1:4 000 000 the Geological Map of China(The second edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese with English abstract).
- [6] 耿树方,严克明. 扬子地台(陆块)与华北地台(陆块)属于同一个岩石圈板块[J]. 中国区域地质,1991, 2:98—113.
Geng Shufang, Yankeming. The Yangzi Platform and the North China Platform as of the same Lithosphere Plate[J]. Regional Geology of China, 1991, 2:98—113(in Chinese with English abstract).
- [7] 耿树方,等. 秦巴金属矿产成矿概论[M]. 北京:地质出版社,1994.
Geng Shufang, et al. Metallogenic Outline of Metallic Ore Deposit in Qinling—Daba region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese with English abstract).
- [8] 杨经绥,许志琴,裴先治,等. 秦岭发现金刚石:横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别[J]. 地质学报,2002,(4):485—495.
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi, et al. Discovery of diamond in

- north Qinling: evidence for a giant UHP belt across central China and recognition of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze Plates [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, (4): 485–495(in Chinese with English abstract).
- [9] 王宗起, 闫臻, 王涛, 等. 秦岭造山带主要疑难地层时代研究的新进展[J]. *地球学报*, 2009, 30(5):561–570.
- Wang Zongqi, Yan Zhen, Wang Tao, et al. New advances in the study on ages of metamorphic strata in the Qinling orogenic belt[J]. *Journal of Earth Science*, 2009, 30 (5):561–570 (in Chinese with English abstract).
- [10] 袁学诚. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因 [J]. *中国地质*, 2007, 34(5):737–758.
- Yuan Xuecheng. Mushroom structure of the lithospheric mantle and its genesis at depth:revisited [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (5):737–758(in Chinese with English abstract).
- [11] 邓晋福, 等. 中国华北地区岩石圈三维结构及演化 [M]. 北京:地质出版社, 2007.
- Deng Jinfu, et al. 3D Model and Evolution of Lithospheric Structure in North China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005(in Chinese with English abstract).
- [12] 朱介寿, 等. 中国华南及东南沿海地区岩石圈三维结构及演化 [M]. 北京:地质出版社, 2005.
- Zhu Jieshou, et al. 3D Model and Evolution of Lithospheric Structure in South and Southeast Coast of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005(in Chinese with English abstract).
- [13] 耿树方, 刘平, 王振洋, 等. 中国大陆侏罗纪以来六大动力体系和资源预测[J]. *中国地质*, 2009, 36(3):490–503.
- Geng Shufang, Liu Ping, Wang Zhenyang, et al. Six major dynamic systems since Jurassic in China's Mainland and resource prognosis[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3):490–503(in Chinese with English abstract).
- [14] 耿树方, 等. 初谈我国斑岩型铜(钼)矿区域成矿特征及找矿远景[J]. *地质矿产研究,地质科学院地质研究所*, 1976, (2):10–20.
- Geng Shufang, et al. Briefly discussing regional metallogenic characteristics and potentiality of porphyry Cu (Mo) deposit belt in China[J]. *Research of Geology and Mineral Resources, Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences*, 1976, (2): 10–20 (in Chinese with English abstract).

Geodynamic evolution in Asia and its effects of mineral resources

GENG Shu-fang, LIU Ping, WANG Zheng-yang, JU Yuan-jing

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

Abstract: This paper systematically deals with the process of geodynamic evolution in Central Asia and its adjacent areas as well as the regional geology and metallogenic characteristics conditioned by such action, and presents new cognitions and opinions as follows: ① The original Paleo-Asian Ocean zone between Siberian landmass and Sino Korean-Tarim landmass is the special zone of “double-direction accretion” which includes both double-direction side accretion and vertical accretion developed in the same time in the history of geology. ② The “clustered continents of Paleo-China” are independent paleocontinents between Laurasia and Gondwanan. Due to their special location, they form the watershed between Paleo-Asian Ocean and Paleo-Terhys. ③ In the final analysis, the “inter-power” of geodynamics comes from two sources: the first source is the centrifugal force (tension) and extrusion force formed by the rotation and revolution of the earth, constituting the basis of geodynamics. The second source is the eternal “high heat energy bank” in the earth's interior. The present earthquakes and volcanic activities all result from geological events of the instantaneous change from heat to powerful kinetic energy when the ultrasaturated high heat energy is released from the earth's surface. ④ These fracture systems with different characteristics caused by the geodynamic system are good ore-controlling and ore deposition space. Hence the “mineral prediction method with fracture system” is one of the simple and effective methods. On such a basis, four test and verification zones of mineral prediction are advanced.

Key words: Asia; geodynamic system; effects of mineral resource; double-direction accretionary zone; clustered continents of Paleo-China; mineral prediction method with fracture system; test and verification zone of mineral prediction

About the first author: GENG Shu-fang, male, born in 1934, senior researcher, long engages in the study of regional geology and metallogenic regularity as well as the compilation of geological and ore resource maps.