

中国大陆边缘构造属性与超巨量金属工业堆积

裴荣富, 李进文, 梅燕雄, 王永磊, 李莉, 王浩琳

(中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 研究了大陆边缘的形成与演化, 以中国大陆已存在的3条陆壳对接消减带为界, 划分了5个大陆边缘构造带、13个次一级的边缘构造区及其内部的58个时空配置结构, 并据区内现有金属矿产地计算了其发现几率。依据大陆边缘的形成、演化及其动力学特征, 将中国大陆边缘划分为离散型、汇聚型、对接碰撞型和转换型4类, 并总结了其成矿专属。大陆边缘虽然有利成矿, 但是超巨量金属工业堆积应取决于其成矿有利因素是否达到最佳耦合。提出了最佳耦合应是异常地质事件激发正常成矿作用发生“引潮共振”^①的结果。

关键词: 大陆边缘; 时空配置结构; 构造属性; 超巨量金属工业堆积; 异常成矿作用

中图分类号: P544.4; P618.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2007)02-0137-11

大陆边缘是指洋-陆转换的过渡区, 不完全等同于大地构造单元划分的界线。长期以来的研究表明, 大陆边缘构造复杂、岩浆活动强烈, 是成矿作用最活跃的部位, 全球大至超大型矿床多产于大陆边缘(裴荣富, 1997)。因此, 深入研究大陆边缘的形成、演化及其内部构造演化的时空配置结构, 特别是探讨其成矿专属性与超巨量金属工业堆积, 具有重要的理论意义和实际应用价值。

1 大陆边缘的形成与演化

在地壳形成与发展过程中, 由于地球圈层互动的不谐调(同步)以及地壳作为地球表层薄壳的活动性相对较强, 易于导致其在空间上出现不均一性分异(裴荣富等, 2006a, b), 最明显地表现为大陆型地壳的裂解和大洋型地壳的形成(黄汲清等, 1980; 任纪舜等, 2006)。大陆和大洋型地壳的分异界线不是截然的。两类不同性质的地壳在分异、转换过程中, 由于陆壳自身的构造变动以及洋壳向陆壳的俯冲、消减作用, 在两者之间多形成过渡型地壳, 位于大陆一侧的过渡带即为大陆边缘(王鸿祯等, 1981, 1982)。依全球地质构造动力作用的不同,

大陆边缘在不同构造部位的构造样式也不尽相同。有的大陆边缘仅为陆壳和洋壳的简单连接; 有的则为较复杂, 并发育有边缘(弧后)海和岛弧-沟体系(裴荣富, 2004a)。

陆壳不同部位的构造活动程度不同, 大陆中心是前寒武纪时期即已形成稳定地核或地块, 称为大陆区; 大陆裂解、又经迁移和陆-陆对接后, 位于陆块间活动性较强的褶皱区称为陆间区, 其中常包含大陆残留的前寒武纪基底称为中间地块。按照上述大陆边缘属陆-洋过渡区的概念, 陆间区则应包括两侧大陆的边缘和中间地块, 而中间地块往往是由大陆边缘经裂解脱离大陆母体的块体。在地质历史演化进程中, 大陆地壳在空间分布上都应存在上述大陆-陆缘-陆间的结构构造特征。上述大陆边缘构造的展布, 可用于辨识边缘海和弧外侧洋壳消失、蛇绿岩套以及陆缘区转化为陆壳褶皱带等大陆边缘的增生过程; 而大陆边缘增生和洋壳消减是统一构造作用过程中的不同表现形式。洋壳俯冲消减后, 俯冲带即转变为陆缘区地壳增生的界线遗迹。这种遗迹可以在不同阶段向两侧陆缘推移或向一侧陆缘叠加推移而构成叠接消减带(accretional

收稿日期: 2007-03-01; 修回日期: 2007-03-20

基金项目: “中国成矿体系与区域成矿评价”的部分研究成果; 国家自然科学基金委员会项目(编号40572061)资助

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。通讯地址: 100037, 北京市百万庄大街26号, 中国地质科学院矿产资源研究所; Email: peirf@sohu.com

① “引潮共振”为气象学词汇, 意为气象界发现与近代东太平洋底深断裂有关的厄尔尼诺、拉尼娜事件引发正常天气共振形成异常天气, 促使超世量强降雨成灾。

crustal consumption zone)。洋壳向两侧陆缘俯冲、消减、最终消失,导致两侧陆-陆拼接碰撞,而消减的洋壳和两侧陆壳拼接的遗迹即为陆壳对接消减带 (crustal consumption zone)。叠接带、对接带对认识大陆边缘古地理、古构造的形成与发展具有重要意义,也是划分大陆边缘界线的重要标记(王鸿祯等, 1985)。

在拉伸构造条件下,陆内和陆缘可以发育裂陷海槽(带)和裂谷,若进一步扩张发展可出现洋壳并形成洋壳沉积组合,但周围无边缘海和外海。裂陷海槽受构造作用也可形成陆内的陆缘褶皱带。大陆内的陆缘及其在裂陷海槽发展过程中,断裂构造非常发育,而且常出现同沉积断裂,并控制陆缘沉积作用。另外,陆缘因受强烈挤压应力作用,易于出现释放该应力的大规模平移(走滑)断裂带和巨型剪切构造带,这类构造也是大陆边缘另一类特殊的重要构造现象。

2 中国大陆边缘构造带(区)的划分及其已有成矿有利度

根据上述大陆边缘的形成与演化规律,可以将地球表壳上占据一定构造位置和范围的稳定大陆周围或稳定大陆间因构造活动形成的不同时空配置区作为一个构造整体,同时按不同构造作用时空配置形成的演化遗迹——对接消减带划分大陆不同序次的边缘构造带(区)。

中国大陆由北到南,以艾(比湖)-居(廷海)-索(伦)-西(拉木伦)-修(沟)-玛(沁)-山(阳)-桐(域)和班公错-怒江3条陆壳对接消减带为界线可以划分第一序次:北方(西伯利亚-蒙古)大陆边缘构造带、华北-塔里木大陆边缘构造带、南部大陆边缘构造带、南方(冈瓦纳)大陆边缘构造带以及中国东部与古太平洋毗邻的东部(滨西太平洋)边缘构造带。上述5个大陆边缘构造带以稳定地块(核)为中心,在其边缘历经吕梁、晋宁、兴凯、加里东、印支、海西、燕山和喜山8个地质时期向外侧增生(活动)过程中,又进一步形成13个第二序次的大陆边缘构造区,边缘构造区内部由于大陆边缘、中间地块、隆起、裂(拗)陷和褶皱等在不同历史时期的相互作用,从而又构成58个时空配置结构(表1,图1),表1和图1中的符号可以

大致勾画出大陆与大陆边缘的活动范围。

2.1 北方(西伯利亚-蒙古)大陆边缘构造带

该边缘构造带分布在西伯利亚与华北-塔里木两古陆间的陆间区,属艾-居-索-西对接带以北的西伯利亚古陆南侧与古亚洲洋毗邻的大陆边缘。在中国境内,该大陆边缘仅包括西伯利亚古陆裂解后残余的准噶尔和松辽两中间地块及其在加里东期和海西期分别与阿尔泰和准噶尔褶皱形成的准噶尔边缘构造区(表1,图1-I_A)以及在兴凯期-海西期分别与额尔古纳、佳木斯、伊尔茨、兴安-内蒙、张广才岭褶皱形成的松辽地块边缘构造区(表1,图1-I_B)。两边缘构造区内部,按地块与褶皱在不同时代的相互构造作用又形成7个时空配置结构(表1,图1-I_{D1}, I_{D2}, I_{E1}, I_{C1}, I_{C2}, I_{E2}, I_{E3})。

现以大陆边缘构造区的周长与宽度计算其产出面积,准噶尔地块边缘构造区的总体分布面积约为126 600 km²,该区内已知其产出金属矿产地有29个,据之可估计该边缘构造区的现有金属矿产地发现几率仅约0.02/100 km²;松辽地块边缘构造区的面积约为291 600 km²,已知矿产地为138个,其发现几率亦仅约为0.05/100 km²。两边缘现有几率中等,还应有大的找矿前景。

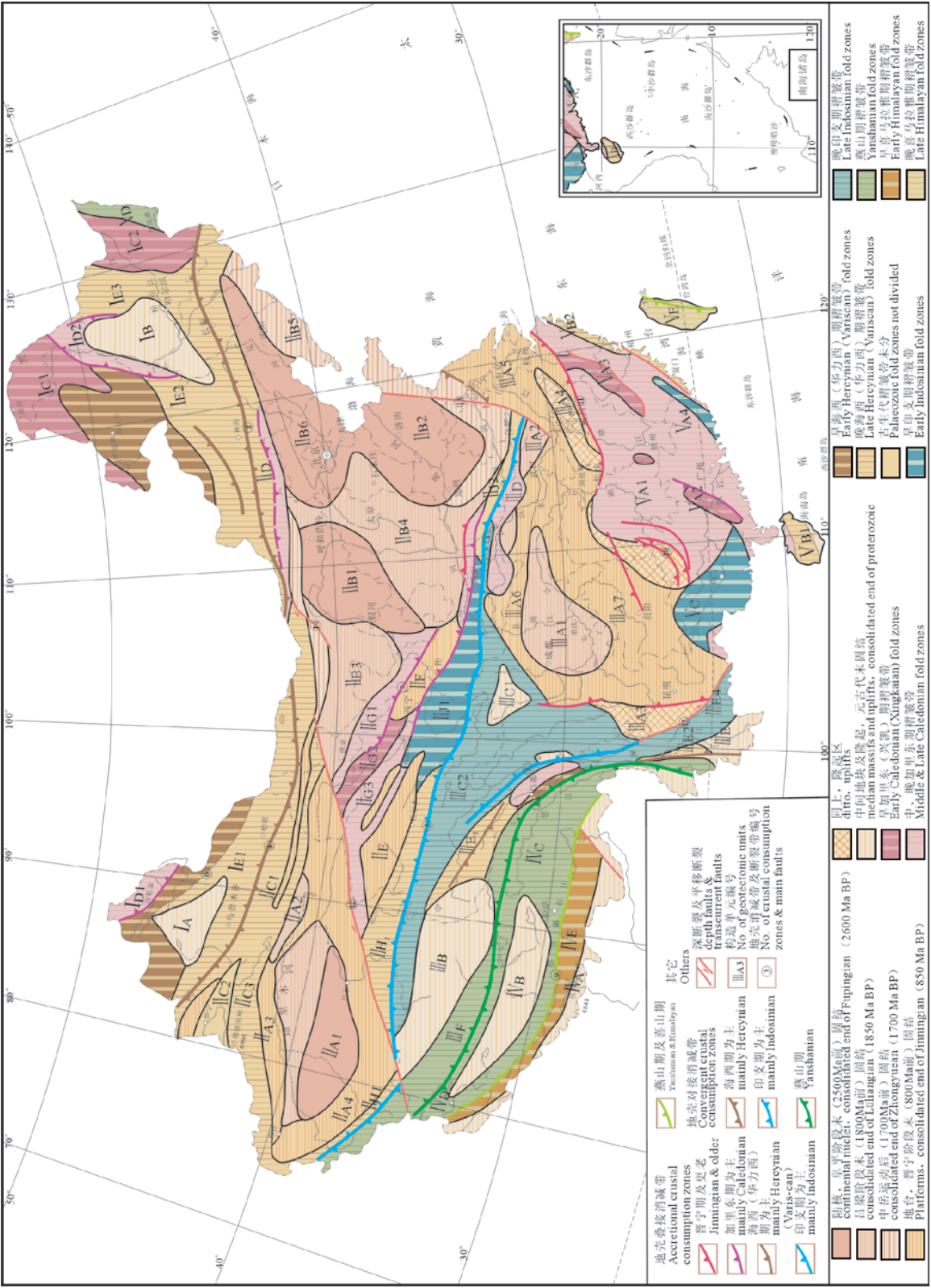
2.2 华北-塔里木大陆边缘构造带

该大陆边缘构造带以华北-塔里木稳定陆块为中心,包括其北侧艾-居-索-西对接带以南的陆块增生带和其南侧修-玛-山-桐对接带以北的陆块增生带。其分布由华北延展至新疆长约4 500 km,边缘宽360~540 km,范围十分广阔。根据不同地史时期陆块外侧的增生(活动)构造形成的地台裂陷带、拗陷区、隆升区、褶皱带或次一级褶皱带,可以进一步划分出塔里木地台、华北地台、柴达木和兰州地块4个二级边缘构造区(表1,图1-II_A, II_B, II_E, II_F)。按上述边缘构造区分布面积及现有矿产地数量的计算原则,塔里木边缘构造区总面积约为518 400 km²,已知矿产地为53个,其矿产地发现几率仅为0.01/100 km²,相对较小,相对于该边缘构造区的广阔规模,应具有较强的找矿远景。华北地台边缘构造区早在吕梁-晋宁期开始,直至中、新生代长期增生形成多达8个边缘隆拗、褶皱带的时空结构配置,面积规模约达583 200 km²,已知矿产地多达391个,其发现几率可达0.07/100 km²,是最有

表 1 中国大陆边缘构造带、边缘构造区及时空配置结构和已知矿产地发现几率略表
Table 1 Tectonic belts, tectonic regions, space-time distribution structures for the continental margins of China and probabilities of discovering deposits

大陆边缘构造带 ^①	大陆边缘构造区 ^②	时 空 配 置 结 构 ^③	构造区面积 (km ²) ^④	矿产数(已知生产 矿山) ^⑤	有效益矿产地现 发现几率 (X/100km ²) ^⑥
I 北方(西伯利亚—蒙古)大陆边缘构造带	I _A 准噶尔(中间)地块边缘构造区	加里东期该地块与阿尔泰褶皱带(I _{D1})和海西期与其周边的外准噶尔褶皱带(I _{E1})的时空配置	126 600	24	0.02
	I _B 松辽(中间)地块边缘构造区	兴凯期该地块与额尔古纳(I _{C1})及佳木斯(I _{C2})两褶皱带、加里东期与伊尔茨褶皱带(I _{D2})和海西期与兴安—内蒙(I _{E2})及张广才岭(I _{E3})两褶皱带的时空配置	291 600	138	0.05
艾比湖—居延海 ^① —索伦—西拉木伦 ^② 地壳对接消减带					
II 华北—塔里木大陆边缘构造带	II _A 塔里木地台边缘构造区	晋宁期该地台与库鲁塔格裂陷(II _{A1})、塔北坳陷(II _{A3})两裂陷区; 加里东期与北祁连(II _{G1})、中祁连(II _{G2})和南祁连(II _{G3})三褶皱带; 海西期与北天山(II _G)、中天山(II _{C2})、南天山(II _{C3})褶皱带, 以及地台南缘的铁克里—阿尔金隆起与西昆仑(II _{H1})、东昆仑(II _{H2})两褶皱带的时空配置	518 400	53	0.01
	II _B 华北地台边缘构造区	吕梁—晋宁期该地台和西部阿拉善地块(II _{B3})边缘裂陷区、加里东期与北祁连(II _{G1})、海西期与东天山(II _{G1})两褶皱带、吕梁期地台中部与五台—中条隆起(II _{B4})边缘裂陷区和古生代与东秦岭(II _{J2})褶皱带以及与地台东部胶辽隆起(II _{B5})边缘裂陷区; 古生代与内蒙南褶皱带(II _D)和中生代与燕辽坳陷(II _{Bb})的时空配置	583 200	391	0.07
	II _E 柴达木地块边缘构造区	加里东期与南祁连(II _{G3})、海西期与昆仑(II _{J2})、印支期与西秦岭(II _{J1})三褶皱带时空配置	162 000	11	0.007
	II _F 兰州地块边缘构造区	加里东期与北祁连(II _{G1})、中祁连(II _{G2})、南祁连(II _{G3})和印支期与西秦岭(II _{J1})三褶皱带的时空配置	58 320	8	0.014
修沟—玛沁 ^③ —山阳—桐城 ^④ 地壳对接消减带					
III 南部大陆边缘构造带	III _A 扬子地台边缘构造区	加里东期川中地块(III _{A1})与北部台缘坳陷(III _{A6})、大别隆起(III _{A2})与安康桐柏褶皱带(III _D)、江南隆起(III _{A4})与下扬子坳陷(III _{A5})及上扬子坳陷(III _{A7})的时空配置以及古生代~印支期康滇隆起(III _{A3})与西盟褶皱(III _{E2})及思茅褶皱带(III _{E4})的时空配置	583 200	263	0.05
	III _B 羌塘地块边缘构造区	海西期与开沁岭褶皱带(III _{E3})、印支期与巴彦喀喇沙鲁里褶皱带(III _{C2})、燕山期与喀喇昆仑褶皱带(III _F)的边缘时空配置	388 800	18	0.005
	III _C 松潘地块边缘构造区	印支期地块与巴喀喇沙鲁里褶皱带(III _{C2})边缘时空配置	97 200	5	0.005
斑公错—怒江 ^⑤ 地壳对接消减带					
IV 南方(冈瓦纳)大陆边缘构造带	IV _A 喜马拉雅地块边缘构造区	喜马拉雅期地块与雅鲁藏布褶皱带(IV _E)的边缘时空配置	194 400	21	0.01
	IV _B 冈底斯地块边缘构造区	燕山期地块与拉萨那曲褶皱带(IV _C)和阿里褶皱带(IV _D)的边缘时空配置	162 000	40	0.02
V 东部(滨西太平洋)边缘构造带	V _A 华夏古大陆边缘构造区	加里东期与云开隆起(V _{B1})、建瓯隆起(V _{A3})、湘桂褶皱带(V _{A1})和闽粤褶皱带(V _{A4})边缘时空配置	389 160	108	0.03
	V _B 东南沿海大陆边缘构造区	海西期与南海褶皱带(V _{B1})、海西—印支期与福鼎厦门褶皱带(V _{B2})、印支期与右江褶皱带(V _C)、燕山期与那丹哈达褶皱带(V _D)和喜马拉雅期与台湾褶皱带(V _E)的时空配置	97 200	101	0.1
总 计	13	58	3 752 280	1 181	0.03

①大陆边缘构造带是根据地壳对接带为界划分的一级陆缘构造单元; ②大陆边缘构造区是根据古大陆陆缘构造带内部在不同历史时期构造活化形成的二级陆缘构造单位; ③大陆边缘构造区内部时空配置结构是其内部各历史时期大陆边缘、中间地块、隆起、裂(坳)陷和褶皱增生活化的时空布局; ④大陆边缘构造区总面积规模是据其内部时空配置的空间分布面积概略统计, 单位为km²; ⑤矿产地是指全国已建矿山的产地, 包括黑色金属、有色金属和贵金属矿产, 共计1 750个产地, 其中的1 181个产地(占全国的67.5%)产在大陆边缘构造区; ⑥矿产地发现几率=矿产数/大陆边缘构造区面积规模, 单位为X/100 km²; 分为三级: ≥0.1, 0.01~0.1和0.007~0.01, 但用于评价其找矿前景则应与之相关, 即相对小、大、很大; 资料取自1996年前。



图中大陆边缘构造带、构造区和地块、褶皱带、隆起、裂(拗)陷等符号的名称参见表1

图1 中国大陆边缘构造带与边缘构造区简图 (据王鸿祯, 1985修改)

Fig.1 Sketch map of marginal tectonic belts and tectonic regions of the continent of China (modified from Wang Hongzhen, 1985)

找矿远景的边缘区。柴达木和兰州两地块的边缘构造区属加里东、海西褶皱带中的中间地块及隆起区,前者形成3个时空配置结构(表1,图1-II_{G3}, II_{J1}, II_{J2}),后者形成4个时空配置结构(表1,图1-II_{G1}, II_{G2}, II_{G3}, II_{J1}),构造区的面积规模分别为162 000 km²和58 320 km²,发现的金属矿产地各为11个和8个,相应产出的现有几率很小,分别为0.007/100 km²和0.01/100 km²,其找矿前景很大,有待深入的勘查研究。

2.3 南部大陆边缘构造带

该大陆边缘构造带以扬子大陆稳定陆块为核心,包括北侧修-玛-山-桐对接带以南的增生带、班公错—怒江对接带以东的陆块增生带以及印支和燕山褶皱带中的羌塘和松潘两中间地块,主要分布在华南和西南的青藏地区。根据陆块外侧增生作用形成的地台、隆起、拗陷、褶皱区和褶皱带可进一步划分为:扬子地台、羌塘地块和松潘地块3个二级边缘构造区。其中,扬子地台边缘构造区从加里东至印支期,在构造区内部共形成10个隆起和褶皱带不同构造配置的时空结构(表1,图1-III_{A1}, III_{A6}, III_{A2}, III_D, III_{A4}, III_{A5}, III_{A7}, III_{A3}, III_{F2}, III_{E4}),总体面积可达583 200 km²,现知金属矿产地为263个,成矿产出几率为0.05/100 km²,稍次于华北地台边缘;羌塘和松潘两边缘构造区仅在海西、印支和燕山期分别形成4个隆起边缘构造配置的时空结构(表1,图1-III_{E3}, III_{C2}, III_F),两者的矿产地发现几率均仅为0.005/100 km²,找矿潜力很大,应进一步大力开发。

2.4 南方(冈瓦纳)大陆边缘构造带

该大陆边缘构造带分布在中国西南的班公错—怒江对接消减带以南,包括喜马拉雅地块向北增生和冈底斯中间地块在拉萨那曲(燕山)褶皱带中的边缘构造部位。根据地块与中、新生代褶皱的形成演化,进一步划分出喜马拉雅地块(表1,图1-IV_A)、冈底斯地块(表1,图1-IV_B)两个边缘构造区,其中,喜马拉雅地块边缘构造区仅在喜山期与雅鲁藏布褶皱带形成1个结构的空间配置(表1,图1-IV_E);冈底斯地块边缘构造区在燕山期与那曲和阿里褶皱带形成两个空间配置结构(表1-IV_C, IV_D);两者的总体面积规模各为194 400 km²和162 000 km²,已分别发现21个和40个金属矿产地,发现几率分别为0.01/100 km²和0.02/100 km²,找矿

远景相对较大。

2.5 东部(滨西太平洋)大陆边缘构造带

该大陆边缘构造带主要分布在包括海南岛和台湾在内的中国东南部以及中国东北部的滨太平洋地区,是中国大陆从加里东期开始至喜马拉雅期的长期向洋增生带。根据不同地质演化历史,可进一步划分为华夏古陆边缘构造区(表1,图1-V_A),和东南沿海边缘构造区(表1,图1-V_B),其中,前者在加里东期形成4个隆起和褶皱带空间配置的边缘结构(表1,图1-V_{B1}, V_{A1}, V_{A3}, V_{A4}),其空间总体面积规模为389 160 km²,按已有的108个矿产地,其矿产地发现几率为0.03/100 km²;后者由海西—喜山期多期形成多达5个隆起空间配置结构(表1,图1-V_{B1}, V_{B2}, V_C, V_D, V_E),按其空间分布的总体面积规模97 200 km²和现有矿产地101个计算,其金属矿产地产出几率为0.1/100 km²,是已知矿产地产出几率最大的边缘区。

总之,从中国大陆边缘构造带(区)和时空配置结构的划分以及对其现有有效益矿产地发现几率的统计,无疑可以认为中国大陆边缘构造带(区)总体的找矿潜力都是大的,但是如何发现其能够形成巨量金属堆积还需深入研究其构造属性与成矿。

3 中国大陆边缘的构造属性与成矿

根据大陆边缘形成与演化的地球动力学,可以将中国大陆边缘的构造属性划分为离散被动型、会聚主动型、对接碰撞型和转换型4类(王鸿祯等,1981,1982;黄汲清和任纪舜,1980;裴荣富,2004a)。

3.1 离散型陆缘与成矿

离散型陆缘是受陆内地幔隆升,由垂向演化为侧向伸展动力作用,趋使地壳发生降升—裂解—伸展,使陆缘呈被动离散趋势,也称被动型陆缘,一般多发育在大陆外缘及其斜坡带,多形成一系列陆缘裂谷、裂隙槽、拗拉谷,尤其以犁式(Plow type)断裂构造系统发育的半地堑(semi-graben)型拉张台地为特征。

与离散型陆缘有关的成矿作用主要有:与伸展构造活动有关的陆缘拗陷沉积成矿;与陆缘裂谷—裂隙、超壳断裂有关的幔源岩浆深部熔离成矿和与大陆边缘裂解的火山喷发沉积成矿。陆缘拗陷沉积

成矿主要以华北地台边缘构造区形成的沉积变质成矿系列为代表,如东大山BIF型铁矿;幔源岩浆深熔成矿以金川镁铁质-超镁铁质岩浆有关成矿系列为代表;火山喷发沉积成矿以柴达木地块边缘构造区的火山喷发沉积成矿系列为代表,如镜铁山-柳沟峡铁矿。另外,在华北地台边缘构造区中西段的狼山-集宁-白乃庙,具有代表性的离散型古大陆边缘的构造格架,由南向北、即由华北古陆北缘至海西褶皱带南缘,逐级为华北古陆-东升庙-渣尔泰陆内裂谷-乌拉山-色尔腾山-大青山陆内隆起-霍各乞-白云鄂博陆缘裂谷-白银都西陆块-温都尔庙-爱力格陆缘裂陷等一系列的时空配置结构。这一连续变化的构造样式是形成超区量金属堆积的重要成矿场地(裴荣富等, 1998)。

3.2 汇聚型陆缘与成矿

会聚型陆缘的构造性质不同于离散型陆缘。它是在挤压构造体制下形成的主动大陆边缘。主动的会聚型挤压与被动的离散型拉张在两者动力的发生发展演化过程中,有时是互为继承的。例如,华北古陆西南缘在新太古代-古元古代初期-中元古代的裂解期为被动陆缘,至新元古代和寒武-奥陶纪转换为主动陆缘系统,即由开始的古大洋发展成祁连山的沟-弧-盆体系的成矿系统和相继的陆内碰撞造山成矿系统(汤中立, 2002)。

根据会聚陆缘的形成与演化,首先出现的是陆壳与洋壳的汇聚。这种会聚是高密度的洋壳向低密度的陆壳之下俯冲,在陆缘与洋缘的交界处形成俯冲带。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,因而对陆壳挤压作用力的大小和影响的范围也不同。一者使陆缘因受挤压的反作用,促使主动型陆缘呈现松弛状态的构造样式;再者俯冲洋壳在不同深度熔融,在陆缘形成构造-岩浆链的影响范围也不同。因而会聚型陆缘的构造样式和成矿环境比离散型陆缘复杂。

中国大陆最典型的主动型陆缘是中国东部边缘的构造带的东南沿海大陆边缘构造区,主要表现为与滨西太平洋(古太平洋)的中、新生代造山带有关的成矿作用。该造山带以火山岛弧链的沟-弧-盆和大陆边缘弧的构造-岩浆活化带两成矿体系

最为发育。这两体系的构造-岩浆场地为中国大陆边缘与中基性侵入岩有关的Cu(Au)-Mo-Pb(Ag)-Zn(Fe)成矿系列与中酸性侵入岩有关的W(Sn)-Mo-Bi-Be-U-Nb-Ta-Au-REE成矿系列。而且,因中、新生代构造-岩浆成矿叠置到中国东部大陆边缘,甚至陆间-陆内,从而形成了中国东部蔚为壮观的广阔的滨西太平洋成矿带。

3.3 碰撞型陆缘与成矿

碰撞型陆缘是大陆间洋壳在一侧陆缘连续消减后,不仅驱动两侧陆壳对接,而且达到强力拼贴和碰撞,其动力性质虽然在初始与汇聚型相同,但最终出现陆-陆对接,由汇聚发展为碰撞,其成矿也不同于汇聚型。

中国最典型的陆-陆碰撞成矿带莫属印度-亚洲大陆碰撞形成的青藏高原喜马拉雅碰撞造山带,实际上这也是一种陆-陆汇聚而达到对接碰撞的陆缘。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-古近纪初已为残余海盆发展阶段,至新生代碰撞造山达到高潮(任纪舜, 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(Jordan, 1997; Oreilly, 1977)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, 2004)。另外,陆-陆汇聚的强大应力在通过地壳双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。

3.4 转换型陆缘与成矿

转换型陆缘在构造上表现为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, 2002),形成于两陆块间洋壳消减和陆-陆对接的同过程或之后。由于走滑断裂动力作用方向由垂直应力转换为平行应力,并叠加在叠接消减和碰撞带之上,从而多形成宽广而延展很长的复杂构造带。它

可深切到地幔,伴有明显的热力异常并诱发与金属成矿有关的构造岩浆活动。同时,由于水平错移动力作用,多形成与沉积作用成矿有关的、尤其是有利油气成矿的拉分(裂)盆地(Pull apart basin)、斜挠曲盆地(Oblique flexural basin)和前陆盆地。

转换型陆缘在世界的各大陆边缘构造带上都有出现,但其产出构造位置多局限在几个特定的陆缘构造部位。如郯庐断裂带为位于欧亚板块东部陆缘受滨西太平洋洋缘向西同消减期和期后的强大水平动力作用的应变部位,左行滑移距离达400~500 km,不仅对区域岩石圈结构和物质转移有较大影响,也是诱发成矿作用的重要构造,中国东部最大的广义绿岩型金矿——胶东金矿即与其密切相关;三江地区受印度-亚洲大陆对接碰撞后,也产生大规模走滑断裂带,并形成藏东地区与走滑剪切构造有关的成矿体系,其中主要为车所-德钦右行走滑断裂和温泉右行走滑断层及其派生的一系列左行雁行分布的NW—NNW褶皱和相应的断裂,这些断裂是超大型玉龙斑岩铜矿的重要控矿构造。在走滑断裂体系形成过程中,由于水平和斜向分应力作用产生的拉分盆地或斜挠曲盆地多堆积巨厚含盐建造和滑塌堆积层,为超大型金顶铅锌矿床的成矿推覆构造奠定有利成矿环境。再有,因走滑应力引发的拉分和扭曲推覆作用形成的哀牢山断裂系统,尤其是其中的前缘推覆体和右行斜列冲断层是哀牢山金矿的主要控矿构造。

还需要指出的是,横亘于青藏高原西北部边界的阿尔金断裂构造带也应由NEE—SWW向走滑断裂形成的转换陆缘。该断裂是塔里木和柴达木两地块的分界,全长约1 600 km,宽度在150~300 m之间,产状为 $250^{\circ}\sim 265^{\circ}\angle 25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。关于阿尔金断裂的成因,虽然有不同看法,但普遍认为它是历经长期地质历史演化而形成的,包括早古生代的陆-陆碰撞期,泥盆纪—石炭纪的右行走滑期,晚二叠世—三叠纪昆仑大洋闭合和金沙江洋盆消亡期,早白垩世断裂活化期和新生代的强烈右行走滑期。总之,该断裂具有长期性、复活性以及火山-侵入岩岩浆盆地沉积的控制作用,沿该断裂两侧地区是我国西部成矿的有利地区。近期,发现在内蒙中西部产出与其类似的转换断裂,并一直延展到蒙古境内的欧玉—陶勒盖超大型斑岩铜金矿,可能为阿尔金断

裂派生。

4 中国大陆边缘异常成矿与超巨量金属工业堆积

根据上述大陆边缘构造带和边缘构造区成矿有利度以及其构造属性与成矿的分析,中国大陆边缘具有广阔的成矿场地准备(ground preparation)和多种有利成矿因素的成矿条件。而且,据中国大陆有效益的1 750个金属矿产地的初步统计,其中的67.5%产于大陆边缘区(带)内,特别是一超大型矿床更是多产于大陆边缘。那么,是什么原因造成了大陆边缘的超巨量金属工业堆积呢?研究发现(裴荣富等, 1990, 1997, 2002, 2004b, 2006a, b),在一定地史时期发生于大陆边缘的特殊地质事件激发正常成矿“引潮共振”发生异常成矿可能是促成超巨量金属工业堆积的根本原因。地质事件激发成矿作用异常导致超巨量金属工业堆积类似气象界提出的拉尼娜、厄尔尼诺事件造成异常天气的暴雨成灾。

4.1 成矿地质事件

现以华北地台边缘构造区为例,在对该区进行金属成矿的四个等级体制成矿研究的基础上,结合已掌握的750个同位素年代资料,初步归纳其成矿地质事件如表2。

从表2可以看出,华北地台边缘区在地质历史演化早期(3 500~2 500 Ma)与太古宙古陆核边缘形成的花岗-绿岩型铜、锌、金矿,与条带状铁建铁矿和与麻粒岩-片麻岩中的变成型石墨矿可能均与“氧大气变态”(oxyatmversion)事件(裴荣富等, 2004b)、即过氧事件有关;元古宙克拉通增生期的“还原大气变态”(Redoxyatmversion)事件(裴荣富等, 2004b)、即缺氧事件与碳酸盐岩-黑色岩系中火山-喷流沉积铅、锌、硫成矿、炭泥硅质碎屑沉积铁、锰成矿、陆缘裂谷-深大断裂镁铁、超镁铁质与岩浆型钒钛磁铁矿矿床、铜镍硫化物矿床和碳酸岩型铁铌稀土矿床的形成有关;古生代—中生代活动陆缘出现洋缘沟-弧-盆构造体系和陆缘构造-岩浆链形成的与花岗岩浆类成矿有关的金、铜、钼、铅、锌等矿床可能与陆内构造圈热侵蚀(tectonosphere thermal erosion)有关(Jordan, 1977)。

表2 华北地台边缘构造区金属成矿省成矿地质事件与成矿年代鉴证
Table 2 Metallogenic events and epoches for the metallogenic province along the margin of North China Platform

构造域(带)		构造作用		成矿地质-热事件 及地质表征	容矿岩类	成矿元素	成矿年代/Ma	代表矿床
滨西太平洋成矿构造域	中生代陆内活动带	挤压、伸展、剪切、碎裂	陆内构造圈热侵蚀	构造-重熔岩浆作用	流纹质火山岩、蚀变岩石英脉、斑状花岗岩	Au	121.71~100(K-Ar法) 197~165(K-Ar法) 163.8(Rb-Sr法)	二道沟、金厂沟梁、金厂峪、峪耳崖
				构造-同熔岩浆作用	爆破角砾岩、砂卡岩、斑状花岗岩	Mo, Fe, Cu, Mo, Pb, Zn, Ag Mn	149(K-Ar法) 211~186(K-Ar法) 193~104(K-Ar法)	大科庄、杨家杖子、兰家沟、寿王坟、八家子
前寒武纪地块成矿构造域	古生代陆缘陆间造山带	陆缘消减		洋缘沟-弧-盆火山喷发沉积 陆缘构造-岩浆链	花岗闪长斑岩	Cu-Mo	> 400	白乃庙
		陆间碰撞		碱性花岗岩	Au	350.9(U-Pb法)	东坪	
	元古宙大陆增生带	克拉通内裂谷带	还原大气 变态	陆缘海盆沉积	碎屑岩	Mn(Fe) Fe	1 100(K-Ar法) 1 922(U-Pb法)	瓦房子 宣龙
				陆缘裂谷深断裂	碳酸岩-黑色岩系	Pb-Zn-S	1 500(Pb-Pb法)、 2 190~1 920(Sm-Nd法)、 2 090~2 050(Pb模式)	高板河、青城、关门山大庙、赤柏松
					镁铁质岩浆岩	V-Ti-Fe Cu-Ni	1 590(Rb-Sr法) 2 240(K-Ar法)	
							陆缘裂谷深大断裂	碳酸岩-黑色岩系
太古宙陆核	克拉通边缘活化带	氧 大气 变态	海底喷流				硅铁建造	Fe(Au)
			高温高压形变	麻粒岩-片麻岩	Gr(石墨)	3 060(U-Pb法)	黄土天	

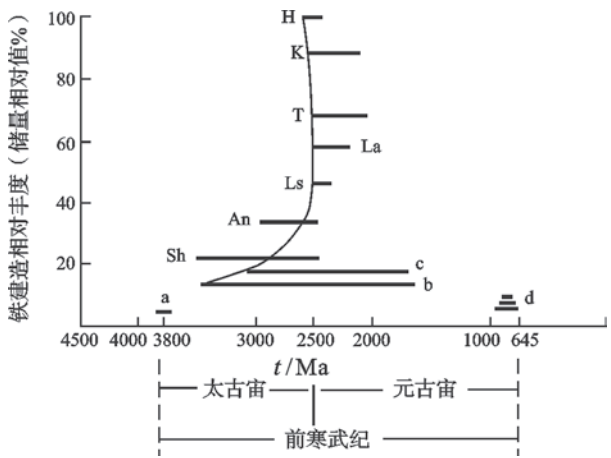
华北地台边缘区金属成矿省成矿地质-热事件的特点:

(1) 块状硫化物型铜锌矿床主要形成在28亿年前的新太古代,说明该区很早即出现海底喷流作用,但持续时间短、分布局限,而且没有铅元素产出,这可能与全球太古宙U-Pb蜕变程度未达到铅成熟期是一致的。

(2) 条带状硅铁建造及沉积变质型磁铁矿矿床早在25亿年前的中、新太古代就开始形成,与赞比亚、南非、西澳大利亚(Tendall, 1973)相当,而俄罗斯地台的克里沃罗格(Alexandrov, 1973)与美国上湖区铁矿直至古元古代才出现,加拿大拉巴多尔、瑞皮坦和巴西的乌如卡姆可延至中、新元古代。说明古中国地台氧化环境即“氧大气变态”的出现是较早的(图2)。

(3) 碳酸盐岩-黑色岩系建造中的铅锌硫化物矿床集中形成于21~15亿年,这和全球的成矿演化是相似的,如澳大利亚布罗肯山和加拿大沙利文等超大型铅锌矿床。但华北地台边缘区“还原大气变态”环境规模有限,海平面升降变迁不大,没有

大的构造沉陷带出现,蒸发岩和黑色岩系不很发育,但在陆缘的局部半封闭海湾的早期(约19亿年前)就出现了代表氧化环境的鲕状赤铁矿型宣龙



a-格陵兰(Greenland); b-津巴布韦(Zimbabwe); c-南非(South Africa);
d-拉皮坦、乌卡姆、达马拉(Lapitan, Ukam, Damla);
T-铁“四边形”区(Quadrilatero Fe); K-克里沃罗格(Krivoy Rog);
La-拉布拉多(La-Labrador); Ls-苏比利尔湖(Ls-Superior Lake);
Sh-水厂(Sh-Shuichang); An-鞍山(Anshan)

图2 前寒武纪BIF铁建造相对丰度与形成时限
Fig. 2 Relative abundance and metallogenic timing intervals of the global main banded iron formation

铁矿床,这是该成矿省氧化-还原大气变态事件相互间杂出现的特色。

(4) 在17~15亿年,华北地台北缘及其北侧金属成矿省出现的全球独一无二的与火成碳酸岩有关的铁、铌、稀土矿床,这是陆缘深大断裂与深源碳酸岩岩沟通的结果,但可能有前中元古代铁矿的沉积和加里东期陆缘岩浆作用改造等复杂的成矿演化系统。

(5) 华北地台边缘区北侧金属成矿省在古生代的成矿作用强度相对较弱,只是在加里东期和海西期出现陆缘叠接消减带,从而形成块状金属硫化物矿床的两次成矿(白乃庙-别鲁乌图),以及两次由海相演化为陆时而出现斑岩铜钼(白乃庙)矿床和斑岩金矿床(哈达庙)。特别应指出的是,古亚洲造山带在晚古生代发生陆间碰撞造山对稳定地台区的影响,表现为沿台缘深断裂的碱性杂岩的侵入及相伴的金矿床的产出。

(6) 中-新生代广泛出现与重熔花岗岩质岩浆活动及热液流体活动有关的金矿床、与过渡型同熔中酸性岩浆活动及热液流体有关的铜、铁、铅、锌、钼矿床,特别是再生型金矿床,标识了中生代受陆内构造圈热侵蚀事件影响而发生强烈的构造岩浆活动,改造了前中生代古老地壳,使前寒武纪成矿又深深叠覆了中生代成矿烙印。其中,中国花岗-绿岩型金矿多以受中生代构造岩浆作用为特征,被称为广义绿岩带型金矿。

4.2 大气变态激发异常成矿

如何识别以大气变态为标记的成矿地质-热事件,是研究超巨量金属工业堆积的基础问题。矿床本身是记录地质演化历史中出现成矿地质-热事件的特殊标志。通过多学科的综合方法研究一定类型矿床的成矿年代,并应用该类型代表性矿床储量相对丰度的大小及其形成时限长短的相关关系,从而辨识爆发异常成矿作用的强度,是论证巨量金属堆积的新尝试(裴荣富等, 2002, 2004b)。

从图2可以看出,与“氧大气变态”有关的前寒武纪条带状硅铁建造型铁矿床,按其与世界最大的哈默斯利克(356亿吨)储量相对丰度估计值排序的克里沃洛洛(290亿吨)、铁“四边形”区(220亿吨)、拉布拉多(206亿吨)、苏比利尔湖(162亿吨)等超大型铁矿床的形成时限为50~35

Ma,与相对丰度不大的津巴布韦、南非等铁矿(<50亿吨)的形成时限长达1 850 Ma相比较,可以判断前者是在相对短时期内爆发异常成矿而造成巨量金属堆积的,尤以哈默斯利克和克里沃洛洛爆发成矿作用的强度更大,当然,这个时期也是人们所共识的古元古代(25~18亿年)全球普遍出现强烈“氧大气变态”期。

另外,从表1看,华北地台北缘及其北侧金属成矿省与“氧大气变态”有关的鞍山、水厂等大型BIF矿床主要形成于新太古代。水厂成矿时限长达10亿年,其氧大气变态激发异常成矿强度中等,储量丰度也不大;然而鞍山铁矿床成矿时限仅5亿年,应存在激发异常成矿的可能,所以在鞍(山)-本(溪)铁建造成矿区的成矿远景还将有扩大的可能。当然,中国古陆块相对国外而言不够稳定,爆发异常的持续性也相对有限。

4.3 “构造圈热侵蚀”激发异常成矿

构造圈热侵蚀事件是指地球圈层之间的不同步运动,岩石圈与软流圈之间的相对活化部位,被称之为构造圈(Jordan, 1977; 裴荣富, 2006a, b),因受地球自转的动力作用,沿着全球纬向构造带,形成传导不连续分布的地幔隆升带。隆升部位的陆壳,伴随深断裂相对地被根(植)入地幔,从而形成所谓的“幔根”构造(mantle rooted)(Kutina, 2003; 裴荣富, 2006a, b)。该构造部位受热幔环流发生壳-幔混熔引发大规模构造-岩浆热事件。华北地台边缘区在中生代除受古太平洋和新太平洋板块引发陆缘增生和陆内岩片叠复增厚、重熔,从而形成自西向东的古隆起-裂(谷)陷带-坳陷带的不同时代的多种类型的花岗岩浆侵位和喷出活动,大规模的陆内造山和强烈的岩浆活动造成岩石圈和软流圈之间的“构造圈热侵蚀”,发生大规模壳-幔溃变,形成多达10个以上的同熔和重熔构造-岩浆岩带。这样在大规模构造-岩浆热事件是爆发异常成矿的“原质”或称基因,它对超巨量金属堆积起到其重要的成矿“引擎”的作用。然而超大型矿床的形成还必须通过它与表壳的“行-列-汇”构造控矿样式相耦合。这也表明深部构造过程的岩浆热事件必须与表壳控矿构造发生“引潮共振”,达到最佳耦合才能形成超大型矿床。为此,激发常规成矿作用发生异常的“引潮共振”机制将是今后

发现超巨量金属工业堆积的重要研究方向。

5 结语

从中国大陆边缘构造带和边缘构造区的成矿构造背景和现有已知矿产地产出的几率来看,还有很大潜力有待开发。大量研究表明(翟裕生等, 2002),大陆边缘具有深部和浅部成矿作用易于沟通、成矿物源丰富多样、热动力作用和大型构造密集且长期活动、壳幔物质循环作用显著、多种成矿构造环境、多种临界转换成矿动力控制、多期叠加成矿等众多有利成矿因素。然而,超巨量金属的工业堆积和超大型矿床的形成,除众多有利成矿因素外,尤其重要的是,在成矿作用过程中,特殊地质事件激发正常成矿有利因素发生“引潮共振”促成成矿作用发生异常才能形成超巨量金属工业堆积。因此,深化认识发生于大陆边缘一定地质时期的特殊地质事件激发异常成矿应是今后大陆边缘成矿和找矿勘查研究的重大科学问题(裴荣富, 2004a)。

参考文献 [References]:

- Alexandrov E. A. 1973. The Precambrian banded iron formation of the Soviet Union. *Economic Geology*, 68: 1035–1062.
- 侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 2004. 青藏高原东缘斑岩铜铅金成矿带的构造模式. *中国地质*, 31(1): 1–14.
- [Hou Zengqian, Zhong Dalai, Deng Wanming. 2004. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai-Tibet plateau. *Geology in China*, 31(1): 1–14. (in Chinese with English abstract)]
- 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 1980. 中国大地构造及其演化——1:400万中国大地构造图简要说明. 北京: 科学出版社, 1–124.
- [Huang Jiqing, Ren Jishun, Jiang Chunfa, et al. 1980. The tectonics of China and its evolution (1:4000000, a brief explanation about the tectonic map of China. Beijing: Science Press, 1–124. (in Chinese)]
- 蒋志, 白万成, 董建乐, 等. 1996. 中国地壳演化与矿产分布图. 北京: 地质出版社.
- [Jiang Zhi, Bai Wancheng, Dong Jianle, et al. 1996. Atlas of mineral resources and crust evolution of China. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)]
- Jordan J. 1977. Lithosphere slab penetration into the lower mantle beneath the sea of Okhotsk. *J. Geophys. Res.*, 43: 473–496.
- Kutina J, Pei Rongfu, Heyl A V. 2003. The role of deep lithospheric structure in the genesis and distribution of giant and supergiant concentration of metals in the crust. *Glob. Tect. & Metal.*, 8 (3): 1–4.
- Oreilly S Y. 1977. Directors preface and introducing GEMOC. Annual Report of ARC National Key Centre for the Geochemical Evolution and Metallogeny of Continents, 1–2.
- 裴荣富, 吴良士. 1990. 我国开展寻找超大型矿床若干基础问题的讨论. *矿床地质*, 9(3): 284–289.
- [Pei Rongfu, Wu Liangshi. 1990. Some problems concerning fundamental researches on the prospecting for supergiant ore deposits in China. *Mineral Deposits*, 9(3): 287–289. (in Chinese with English abstract)]
- 裴荣富, 熊群尧. 1997. 中国特大型矿床成矿偏在性与成矿构造巨聚敛场. *矿床地质*, 18(1): 37–46.
- [Pei Rongfu, Xiong Qun Yao. 1997. Metallogenic preferentiality and metalotect convergence of unique ore deposits in China. *Mineral Deposits*, 18 (1): 37–246. (in Chinese with English abstract)]
- 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 1998. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社.
- [Pei Rongfu, Lv Fengxiang, Fan Jizhang, et al. 1998. Metallogenetic Series and Exploration of the Metal Deposits in North Margin of the North China Massif. Beijing: Geol. Pub. House. (in Chinese)]
- 裴荣富, 梅燕雄. 2002. 论异常成矿作用. *矿床地质*, 21 (增刊): 48–51.
- [Pei Rongfu, Mei Yanxiong. 2002. Study on anomalous ore-forming process. *Mineral Deposits*, 21 (Suppl): 48–51. (in Chinese)]
- 裴荣富, 李进文, 梅燕雄. 2004a. 大陆边缘成矿. *西部资源*, (2): 13–20.
- [Pei Rongfu, Li Jinwen, Mei Yanxiong. 2004a. Metallogeny of continental margin. *West Resource*, (2): 13–20. (in Chinese with English abstract)]
- 裴荣富, 梅燕雄, 李进文. 2004b. 特大型矿床与异常成矿作用. *地学前缘*, 11(2): 323–331.
- [Pei Rongfu, Mei Yanxiong, Li Jinwen. 2004b. Exceptional large ore deposits and anomalous ore-forming process. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 323–331. (in Chinese with English abstract)]
- 裴荣富, 梅燕雄, 李进文, 等. 2006a. 事件地质激发成矿作用异常与超巨量金属工业堆积. *地质学报*, 80 (10): 1510–1511.
- [Pei Rongfu, Mei Yanxiong, Li Jinwen, et al. 2006a. Event geology stimulating anomalous ore-forming processes and economic super-accumulation of metals. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1510–1511. (in Chinese with English abstract)]
- 裴荣富, 梅燕雄, 李进文, 等. 2006b. 壳幔不谐调(同步)运动和构造圈热侵蚀与成矿. *矿床地质*, 25(增刊): 87–90.
- [Pei Rongfu, Mei Yanxiong, Li Jinwen, et al. 2006b. Disharmonic crust-mantle movement and tectonospheric thermal erosion with metallogeny. *Mineral Deposits*, 25 (Suppl): 87–90. (in Chinese with English abstract)]
- 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神秘面纱. *地质通报*, 23(1): 1–11.
- [Ren Jishun, Xiao Liwei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping. *Geological Bulletin of China*, 23 (1): 1–11. (in Chinese with English abstract)]
- 任纪舜, 邓军, 肖黎薇, 等. 2006. 中国与世界主要含油气区大地构造比较分析. *地质学报*, 80(10): 1491–1500.
- [Ren Jishun, Deng Jun, Xiao Liwei, et al. 2006. Petroliferous Provinces in China and the World: A comparison from tectonic point of view. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1491–1500. (in Chinese with English abstract)]
- 汤中立, 白云来, 徐章华, 等. 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. 北京: 地质出版社, 2–3, 207–211, 216–218, 356–372.
- [Tang Zhongli, Bai Yunlai, Xu Zhanghua, et al. 2002. Metallogenic systems and metalotectonic dynamics in the southwest margin (the Longshoushan Mountains and the Qilianshan Mountains) of north China paleocontinent. Beijing: Geol. Pub. House, 2–3, 207–211,

- 216–218, 356–372. (in Chinese)]
- Tendall A F. **1973**. Precambrian iron-formations of Australia. *Economic Geology*, 68: 1025–1034.
- 王鸿祯. 1981. 从活动论观点论中国大地构造分区. 地球科学——武汉地质学院学报, (1): 42–66.
- [Wang Hongzhen. **1981**. Geotectonic units of China with the viewpoint of mobilism. *Earth Science—J. Wuhan Coll. Geol.*, (1): 42–66. (in Chinese with English abstract)]
- 王鸿祯. 1982. 中国地壳构造发展的主要阶段. 地球科学——武汉地质学院学报, (3): 155–177.
- [Wang Hongzhen. **1982**. The main stages of crustal development of China. *Earth Science—J. Wuhan Coll. Geol.*, (3): 155–178. (in Chinese with English abstract)]
- 王鸿祯, 楚旭春, 刘本培, 等. 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社.
- [Wang Hongzhen, Chu Xuchun, Liu Benpei, et al. **1985**. Atlas of the Palaeogeography of China. Beijing: Cartographic Publishing House. (in Chinese)]
- 翟裕生, 邓军, 汤中立, 等. 2002. 古陆边缘成矿系统. 北京: 地质出版社. 13–16, 73–75, 363–365, 371–384.
- [Zhai Yusheng, Deng Jun, Tang Zhongli, et al. **2002**. Metallogenic Systems of Palecontinental Margin. Beijing: Geol. Pub. House, 13–16, 73–75, 363–365, 371–384. (inChinese)]

Tectonic Attribution of Continental Margins of China and Super Accumulation of Metals

PEI Rong-fu, LI Jin-wen, MEI Yan-xiong, WANG Yong-lei, LI Li, WANG Hao-lin

(Institute of mineral resource, CAGS, Beijing, 100037, China)

Abstract: The crust was split into continental crust and oceanic crust by inhomogeneous differentiation. Continental margins with different tectonic features were formed by continent splitting, oceanic crust subduction or continent–continent collision. Five marginal tectonic belts, thirteen secondary tectonic regions and fifty–three space–time distribution structures are subdivided according to the distribution of three continent–continent collision belts. The probabilities for discovering deposits in tectonic regions are calculated based on existing deposits. Continental margins are divided into divergence type, convergence type, collision type and transform type, and their metallogenetic series specialization is summarized. It's very important for metallogeny that advantageous metallogenetic multi–factors are coupled. Super accumulation of metals is controlled by exceptional metallogenesis and special geological events are key to make metallogenesis exceptional.

Key words: continental margin; space-time distribution structure; tectonic attribution; super accumulation of metals; anomalous ore-forming process