卷 (Volume) 29,期 (Number) 1,总 (SUM) 104
页 (Pages) 24～34, 2005, 2 (Feb., 2005)

大地构造与成矿学
Geotectonica et Metallogenia

大陆边缘成矿

裴荣富,李进文,梅燕雄
(中国地质科学院 矿产资源研究所,北京 100037)

摘 要:大陆陆壳的形成与发展经历了陆核—地块(台)—联合大陆—大陆裂解—陆缘增生—碰撞造山的演化过程。地壳通过不均一性分异而形成大陆型和大洋型地壳,大陆裂解、洋壳向陆缘消减和陆-陆碰撞拼接则形成具有不同构造特征的大陆边缘。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,进一步区分出13个次一级的边缘构造区及其内的53个时空配置结构,并据现有矿产地计算了边缘构造区的矿产发现几率。将中国大陆边缘划分为离散型、会聚型、对接型和转换型4类,总结了其成矿系列类型专属;认为大陆边缘普遍性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大陆边缘区的时空位置是圈定有利成矿靶区的关键科学问题。

关键词:大陆边缘;时空配置结构;构造属性;成矿系列专属;成矿因素耦合
中图分类号: P541; P617 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-1552(2005)01-0024-11

大陆边缘处于不同大地构造单元的交接部位。长期以来的研究表明,大陆边缘构造复杂、岩浆活动强烈,是成矿作用最为活跃的地带之一,世界上众多大—超大型矿床分布于大陆边缘的事实也充分证实了这一认识。因此,认识和研究大陆边缘,包括其形成、演化、内部构造的时空配置结构以及构造属性和成矿系列专属等,具有重要的理论和现实意义。

1 大陆陆壳的形成与发展

认识大陆陆壳的形成与发展是研究大陆边缘形成与演化的基础。对于地球表层的地质历史,按中国古地理图集(王鸿祯,1985),可以将大陆陆壳的形成与发展分为4个阶段:

1.1 陆核形成阶段

陆核形成于太古宙。该阶段的地壳厚度小、地热梯度高,在整体上地壳处于相对活动状态,并由最初的硅镁质与硅铝质地块的分异和相互叠置作用形成一定规模的硅铝质地块集结的地体,最后构成相对稳定的地台核心——陆核形成。

1.2 地台形成阶段

始于古元古代,结束于南华纪前(800 Ma)。本阶段相对稳定地块不断扩大,在南华纪前形成巨大的稳定地台,地壳厚度增大,并引发岩浆侵入-喷发活动。本阶段又可分为古元古代(2500～1800 Ma)的过渡时期和中新元古代(1800～800 Ma)的稳定期。古元古代末,在陆核之间的海槽褶皱形成了褶皱带,并联结为原地台。其中,华北地台在中晚元古代由初部稳定的原地台转变为稳定地台区;扬子地台则由古陆核经边缘岛-弧体系增生后成为稳定地台。两类地台显示了不同古大陆及其边缘的增生与演化。

1.3 联合古陆形成阶段

该阶段从南华纪起至三叠纪止,初步形成由劳亚大陆和冈瓦纳古陆组成的联合古陆,两古陆间为广阔的特提斯洋。该阶段的重要构造特征是发生较大规

收稿日期: 2004-10-22
基金项目:本文是中国地质调查局地质调查项目"中国成矿体系与区域成矿评价"的部分研究成果.
作者简介:裴荣富(1924-),男,中国工程院院士,长期从事成矿学和矿产勘查地质学研究. Email: peirf@sohu.com

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

模的洋壳消减和陆缘裂解,如乌拉尔与蒙古—鄂霍次克海域的闭合,华南、东南亚与冈瓦纳的分离。

1.4　联合古陆解体阶段

该阶段是地质历史最后的 200 Ma,即众所周知的大规模海底扩张、联合古陆解体和大陆地块远距离迁移时期。其结果是大型平移断裂和超壳断裂发育,幔源岩浆活动强烈,洋壳俯冲达最大深度,并形成沟 - 弧 - 盆大陆边缘体系,发生陆缘增生和陆块多次碰撞并形成陆缘对接消减的陆 - 陆碰撞带,导致陆壳大规模隆升和大量构造 - 岩浆带发育。

上述大陆陆壳形成与发展的 4个阶段,可以概括为陆核—地块 (台) —联合大陆—大陆裂解—陆缘增生—碰撞造山的演化过程;而伴随着大陆陆壳形成、演化的每一过程,均有着不同类型的大陆边缘。

2　大陆边缘的形成与演化

在地壳的形成与发展过程中,由于地球圈层互动的不谐调 (同步)以及地壳作为地球表层的薄壳,活动性相对较强,必然导致其在空间上出现不均一性分异现象。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。大陆和大洋型两类地壳分异的界线不是截然的。不同性质的两类地壳在分异的相互转换过程中,由于陆壳自身的构造变动以及洋壳向陆壳的俯冲作用,在大陆和大洋两种类型的地壳之间多形成过渡型地壳。其中,大陆一侧的过渡带即为大陆边缘。随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带;有的则为较复杂,并可以发育有边缘 (弧后)海和岛 - 弧 - 沟体系。

陆壳构造活动程度不同,大陆中心在前寒武纪时期即已形成稳定地核或地块,称为大陆区;稳定地块裂解后,其间活动性较强的褶皱区称为陆间区,常包含的大陆残留的前寒武纪基底称为中间地块区。按照上述大陆边缘区属陆 - 洋过渡区的概念,陆间区则应包括两侧大陆的边缘区和中间地块区。中间地块往往是由大陆边缘经裂解脱离大陆母体的块体,既可构成包含古大陆块体的成熟岛弧,如日本岛弧;也有远离大陆的洋壳因受构造作用,而形成不包括大陆块体的陆壳,称为不成熟岛弧,如斐济和汤加岛弧。大陆地壳在现代和地质历史演化进程中,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。洋壳大规模消减后,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的陆缘推移,也可在同一侧陆缘叠加推移而构成叠接消减带。洋壳向两侧陆缘消减—消失,最终导致陆 - 陆碰撞拼接,两陆缘洋壳消减的界线遗迹即为陆壳对接消减带。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。

由于陆缘和洋壳的相互构造作用,增长中的陆壳在拉伸构造条件下,其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,陆缘也因受强大挤压应力作用,易于形成释放该应力的边缘构造而出现大规模平移 (走滑)断裂带和巨型剪切构造带,这些构造带也是大陆边缘形成的另一类特殊的重要构造现象。

3　中国大陆边缘构造带与边缘构造区

按上述地壳和大陆边缘的形成与演化规律,可将在地球表壳上占据一定构造位置和范围的稳定大陆或几个稳定大陆周围或其间的活动区作为一个构造整体划分为大陆及大陆边缘构造带。在中国大陆,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为: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在中国东部与古太平洋毗邻的东部 (滨西太平洋)边缘构造带。在上述 5个大陆边缘构造带的内部,以稳定地块 (核)为中心,在地质历史发展的不同阶段,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),进一步形成 13个次一级大陆边缘构造区以及边缘构造区内的地台、隆起、裂 (坳)陷和褶皱等 53个时空配置结构 (图 1,表 1)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

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

Table 1 Schematics of Chinese continent marginal tectonic belt, marginal tectonic districts and its temporal-spatial texture and possibility of discovery of known ore deposits areas

大陆边缘构造带	大陆边缘构造区	时空配置结构	构造区面积规模 (km^2)	矿产地数(已知生产矿山)	有效益矿产地发现几率 ($X/100km^2$)
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	加里东期准噶尔地块(I_A)与阿尔泰褶皱带(I_{D1})和海西期地块与其周边的外准噶尔褶皱带(I_{E1})的时空配置	126600	24	0.02
	I_B 松辽(中间)地块边缘构造区	兴凯期松辽地块(I_B)与额尔古纳(I_{C1})及佳木斯(I_{C2})两褶皱带和海西期与兴安-内蒙(I_{E2})及张广才岭(I_{E3})两褶皱带的时空配置	291600	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(II_A)边缘与库鲁塔格裂陷(II_{A1})、塔北坳陷(II_{A3});加里东期与北祁连(II_{G1})、中祁连(II_{G2})和南祁连(II_{G3})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(II_{A4})。与西昆仑(II_{H1})、东昆仑(II_{H2})褶皱带的时空配置	518400	53	0.01
	II_B 华北地台边缘构造区	吕梁—晋宁期该地台(II_B)西部阿拉善地块(II_{B3})边缘裂陷区与加里东期北祁连(II_{G1})、海西期与东天山褶皱(II_{G1})、吕梁期地台中部五台—中条隆起(II_{B4})边缘裂陷区和古生代与东秦岭(II_{J2})褶皱带的边缘结构;地台东部胶辽隆起(II_{B5})的边缘裂陷区及古生代与内蒙南褶皱带(II_D)和中生代与燕辽坳陷(II_{Bb})的边缘时空配置	583200	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})等褶皱带时空配置	162000	11	0.007
	II_F 兰州地块边缘构造区	加里东期与北祁连(II_{HG})、中祁连(II_{HG})、南祁连(II_{HG3})和印支期与西秦岭(II_{HJ1})等褶皱带的时空配置	58320	8	0.014
修沟—玛沁③—山阳—桐城④地壳对接消诚带					
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})边缘时空配置	583200	263	0.05
	羌塘地块 III_B 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	388800	18	0.005
	松潘地块 III_{C1} 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	97200	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	194400	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	162000	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	389160	108	0.03
	V_B 东南沿海大陆边缘构造区	海西期南海褶皱带(V_{B1})、海西—印支期福鼎厦门褶皱带(V_{B2})、印支期右江褶皱带(V_C)、燕山期那丹哈达褶皱带(V_D)和喜马拉雅期台湾褶皱带(V_E)的时空配置	97200	101	0.1
总计			3752280	1181	0.03

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1注: 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地 (台)块、隆起、裂 (坳)陷以及与褶皱增生活化的时空分布;
4 - 大陆边缘构造区总面积规模是据其内部时空结构空间分布面积概略统计,单位为 km^2;
5 - 矿产地是指已建矿山的产地,即已发现的有效益的矿床,包括全国的黑色金属 3种,有色金属 11种,贵金属 2种,冶金辅助原料 3种,化工原料 8种,建材原料 11种,能源 2种共计 38种矿 1750个产地,其中分布在大陆陆缘构造区的共计 1181个产地;
6 - 矿产地发现几率 =矿产地数 /大陆边缘构造区面积规模,单位为 X/100km^2;
7 - 资料取自 1996年前.

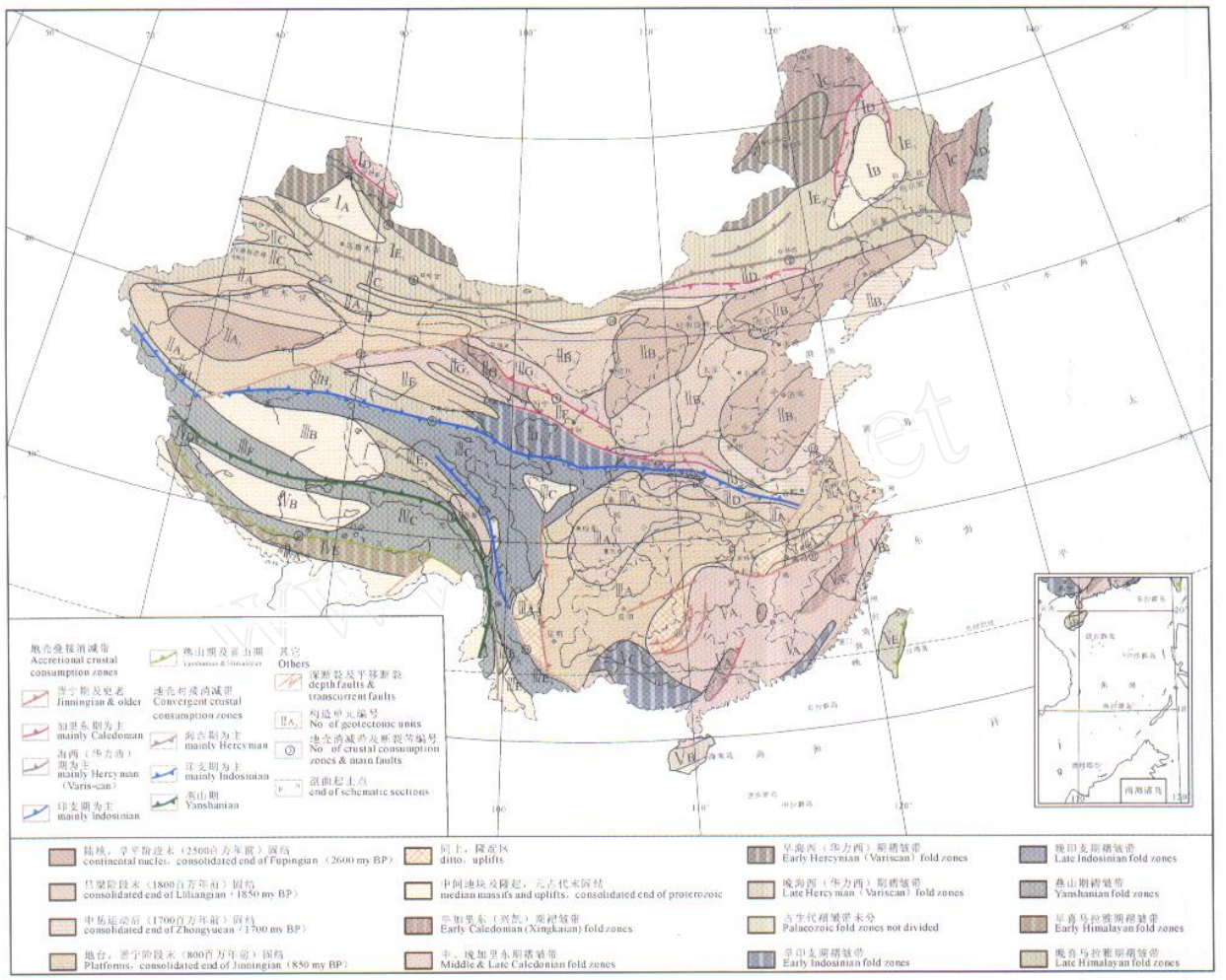


图 1　中国大陆边缘构造带与边缘构造区简图 (据王鸿祯, 1985修改)

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

Fig. 1　Schematic map of Chinese continent marginal tectonic belt and marginal tectonic districts

(after Dr. Wang Hongzhen, 1985 revised)

3.1　北方 (西伯利亚 —蒙古)大陆边缘构造带

该边缘构造带为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和在兴凯期 —海西期分别与额尔古纳、佳木斯、兴安 —内蒙、张广才岭褶皱形成的松辽地块边缘构造区。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 6个时空配置结构。

若以大陆边缘构造区的周边长度与褶皱活动区的宽度计算边缘构造区的面积,准噶尔地块的总体

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

分布面积约达 129600 km^2,在该构造区内已知产有 29个矿产地,计算可得该边缘构造区的现有矿产地发现几率为 0.02/100 km^2。另外,松辽地块边缘构造区的面积规模为 291600 km^2,已知矿产地为 138个,其发现几率约为 0.05/100 km^2,有进一步勘查的潜在远景。

3.2 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,包括北侧艾-居-索-西对接带以南的陆块增生带和南侧修-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达约 4500 km,边缘宽约 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、坳陷区、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。按上述边缘构造区分布面积规模的计算原则,塔里木边缘构造区的总体规模约为 518400 km^2,已知的矿产地数目为 53个,矿产地数与边缘构造区规模相比,矿产地的发现几率仅为 0.01/100 km^2,相对于该边缘构造区的广阔规模,应具有较大的找矿远景。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个边缘隆坳、褶皱带的结构配置,面积规模达 583200 km^2,已知矿产地多达 391个,矿产地发现几率可达 0.07/100 km^2,是最有找矿远景的边缘区。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个时空结构,后者形成 4个时空结构,构造区的面积规模分别为 162000 km^{2}和 58320 km^2,发现的矿产地各为 11个和 8个,相应产出几率分别约为 0.007/100 km^{2}和 0.01/100 km^2,有待于进一步研究和勘查。

3.3 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、坳陷、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个隆坳和褶皱带不同配置的时空结构,总体面积规模可达 583200 km^2,现知矿产地为 263个,成矿产出几率约为 0.05/100 km^2,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个隆坳边缘配置的时空结构,两者的矿产地发现几率均为 0.005/100 km^2,找矿潜力尚需进一步开发。

3.4 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斑公错—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、冈底斯地块两个边缘构造区,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;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;两者的总体面积规模各为 194400 km^{2}和 162000 km^2,已分别发现 21个和 40个矿产地,发现几率为 0.01/100 km^{2}和 0.02/100 km^2,成矿远景相对较大。

3.5 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和东南沿海边缘构造区,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,其空间总体面积规模为 389160 km^2,按已有的 108个矿产地,其矿产地发现几率为 0.03/100 km^2;后者由海西—喜山期多期形成多达 5个隆坳空间配置结构,按其空间分布的总体面积规模 97200 km^{2}和现有矿产地 101个计算,其矿产地产出几率为 0.1/100 km^2,是已知成矿远景最大的。

总之,从上述中国大陆边缘构造带和边缘构造区的划分以及矿产地产出的几率来看,边缘构造区成矿总体比陆内有利。上述矿产地是参照蒋志等编制的中国地壳演化与矿产地分布图统计的,共计 1750处,包括黑色金属 3种:铁、锰、铬;有色金属 11种:铜、铅、锌、钨、锡、钼、汞、锑、镍、钉、铝;贵金属 2种:金、银;冶金辅助原料矿产 3种:耐火粘土、萤石、菱镁矿;化工原料矿产 8种:硫、磷、重晶石、硼、芒硝、钠盐、天然碱、钾盐;建筑原料及其他矿产 11种:水泥灰岩、石材、玻璃硅原料、高岭土、膨润土、石膏、石墨、石棉、滑石、白云母、金刚石;能源矿产 2种:煤、石油。其中,不同历史时期产出在古大陆增生(活化)边缘的裂陷区和褶皱带内的矿产地有 1181个,占中国大陆 1750个矿产地的 67%,即大陆边缘

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发现的矿产地占全国大陆的近 7成。又据大陆边缘构造带的总体面积规模为 3752280 km^2,按现产出的 1181个矿产地统计,则大陆边缘构造带发现有效益矿床的几率为 0.03/100 km^2。其中东南沿海、华北地台、扬子地台、华夏古陆和冈底斯地块边缘构造区的几率最大,分别为 0.1/100 km^2、0.07/100 km^2、0.05/100 km^2、0.03/100 km^2 和 0.02/100 km^2。因而深化研究大陆边缘有利成矿的机制应是今后大陆边缘找矿可持续发展的重大科学问题。

4　大陆边缘的构造属性与成矿系列类型专属

在上述大陆陆壳的形成与发展、大陆边缘的形成与演化研究和大陆边缘构造带和构造区的划分及其成矿有利度分析的基础上,再从大陆边缘的地质动力学视角,结合成矿系列类型的成矿专属性,将中国大陆边缘划分为离散型、会聚型、对接型和转换型 4类。

4.1　离散型陆缘及其成矿系列类型专属

由于陆内地慢隆升,地壳发生拉张减薄、裂解,使陆缘呈被动离散趋势,称为被动型陆缘,一般多发育在大陆边缘外侧及其斜坡带。由于拉张构造作用,离散型陆缘多形成一系列陆缘裂谷、裂陷槽、坳拉谷,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。与这一构造系统有关的成矿作用主要表现为与伸展构造活动有关的陆缘坳陷沉积成矿和与超壳断裂沿陆缘裂谷—裂陷槽引发软流圈物质上涌和热幔环流形成幔源岩浆深部熔离成矿和新元古代大陆边缘裂解的火山喷发沉积成矿为主。前者以华北地台西南缘与祁连褶皱边缘构造带形成的沉积变质成矿系列类型为主的东大山 BIF型铁矿以及与镁铁质—超镁铁质岩浆有关的成矿系列类型 (如金川镍、铜、钴、铂矿)为代表;后者以柴达木地块边缘构造区与中祁连褶皱边缘构造区的镜铁山—柳沟峡铁矿成矿系列为代表;另外,在华北地台北缘中西段狼山—集宁—二连,为跨越华北古陆北缘至海西褶皱带南缘的具有代表性的离散型古大陆边缘的构造格架,由南向北、即由陆向洋主要逐级显现为华北古陆、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、白乃庙—白云都西隆起、温都尔庙—爱力格陆缘裂陷的半地堑型构造样式,形成以东升庙、炭窑口铅、锌、铜、硫矿和白云鄂博铁、稀土矿为代表的喷流沉积矿床。

总之,离散型陆缘的拉张构造成矿堆积环境为裂谷 (深断裂)—坳拉谷 (同生断裂)—拉分盆地 (边缘断裂)和陆棚—大陆架半地堑构造系统,成矿物质为幔—壳多源并以 Pb、Zn、Cu、Fe、REE、Mn、Al、P为主,高—中温地热流体 (包括热卤水),构造岩浆为深成—火山喷出作用,同时,同沉积成矿作用很发育,成矿专属主要是与裂谷作用有关的铅、锌、铜、铁、硫、稀土成矿系列类型。

4.2　会聚型陆缘及其成矿系列类型专属

会聚型陆缘与离散型陆缘的地动力性质不同,而且在构造上以压性为主,属主动大陆边缘。主动的会聚型挤压动力与被动的离散型拉张动力的性质是彼此相背的,但两者在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—古元古代初期到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洋的沟-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驰状态的构造样式;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。其中,中国大陆最典型的主动型陆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。这里特别应指出的是中国大陆滨西太平洋的陆缘,因中、新生代构造-岩浆成矿叠置到中国大陆外侧不同构造背景的成矿场地之上,因而其成矿必然出现由洋缘到陆缘环太平洋的由内带到外带的分带 (图 2a)和叠置在大陆边缘不同构造背景上的由俄罗斯远东—中国东北—华北—华南—东南亚—澳大利亚的由北到南分带的双向分带 (图 2b)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

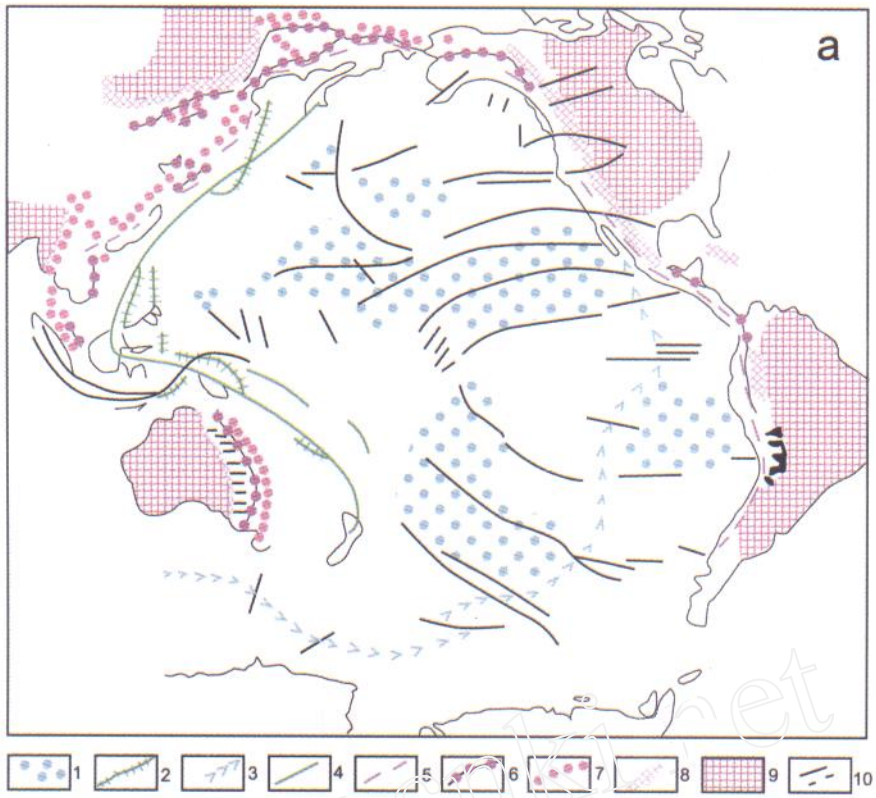


图 2a 环太平洋由洋壳—洋缘—陆缘的内—外分带

1 - 海底资源成矿体系; 2 - 洋隆成矿体系; 3 - 大洋中脊成矿体系; 4 - 洋缘成矿体系 (内带); 5 - 沟、弧、盆成矿体系 (内带); 6 - 叠加在陆内的陆缘—洋缘成矿体系 (外带); 7 - 陆缘和洋缘成矿系 (外带); 8 - 大陆边缘构造 - 岩浆弧成矿体系 (外带); 9 - 南北美—西伯利亚—中朝—澳大利亚地台; 10 - 大洋海岭及断裂系统

Fig. 2a Inner and outer zoning from ocean crust-ocean margin-continental margin in Circum - Pacific Ocean

这一双向分带在中国东部大陆边缘的影响范围可达兴安岭—大别山—雪峰山东侧一线,由于其叠置在大陆边缘的活化强度不同,以致向西发展的边界也多呈参差不齐展布。

总之,会聚型陆缘拉伸构造的成矿堆积环境为沟 - 弧 - 盆体系的火山岛弧链和大陆边缘弧构造 - 岩浆带,成矿物质以与洋壳俯冲深熔的钙碱性岩有关的 Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Mo、Bi为主,成矿作用与火山 - 侵入岩密切相关,并且多是在前中生代已有成矿场地之上,主要形成与叠加改造的多成因矿床有关的成矿系列类型专属。

4.3 对接型陆缘及其成矿系列类型专属

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, 2002)。华北陆块与柴达木陆块间的祁连洋即具有洋壳双向俯冲和两侧陆缘相向汇聚的构造。其中,华北地台西南陆缘由于祁连洋壳向北俯冲而形成大量钙碱性 - 中基性火山 - 侵入岩浆陆缘弧,局部出现双峰式火山岩 (白银—清水沟—昌马),并逐渐推移至祁连洋中,形成主动型的沟 - 弧 - 盆陆缘系统,发生海底火山喷流成矿作用,形成白银厂—清水沟铜多金属矿床,陆缘弧后的扩张形成九个泉、石居里和猪嘴哑吧铜多金属矿床,陆缘弧形成红沟、胶龙湾铜矿床等;南侧的柴达木—中祁连地块因祁连洋洋壳向南俯冲,陆壳裂解形成北祁连西部微陆块、中祁连与柴达木分离和南祁连弧后盆地。在这一洋壳双向俯冲过程中,以形成与中酸性构造 - 岩浆活动有关的中小型斑岩体、脉岩和相关的钨、铅锌、铜矿为主,在洋壳俯冲带则形成蛇绿岩型铬矿和洋岛蛇绿岩型铬矿,最后祁连洋洋壳双向俯冲重复多次地叠接消减持续发展后,大洋封闭、两侧的大陆发生陆 - 陆碰撞,形成陆壳对接消减带。陆 - 陆碰撞的强烈挤压,多引发陆缘出现大型推覆构造、大型逆冲断层、地壳隆升、岩层强烈变形变质,形成构造地层混杂的岩石组合,并发生局部地壳重熔和同构造火成岩类侵位等。例如华北陆块南缘,南秦岭于晚古生代 (350 Ma)开始与扬子陆块发生陆 - 陆碰撞,造成地层挤压褶皱、变质隆升以及大规模碰撞型

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

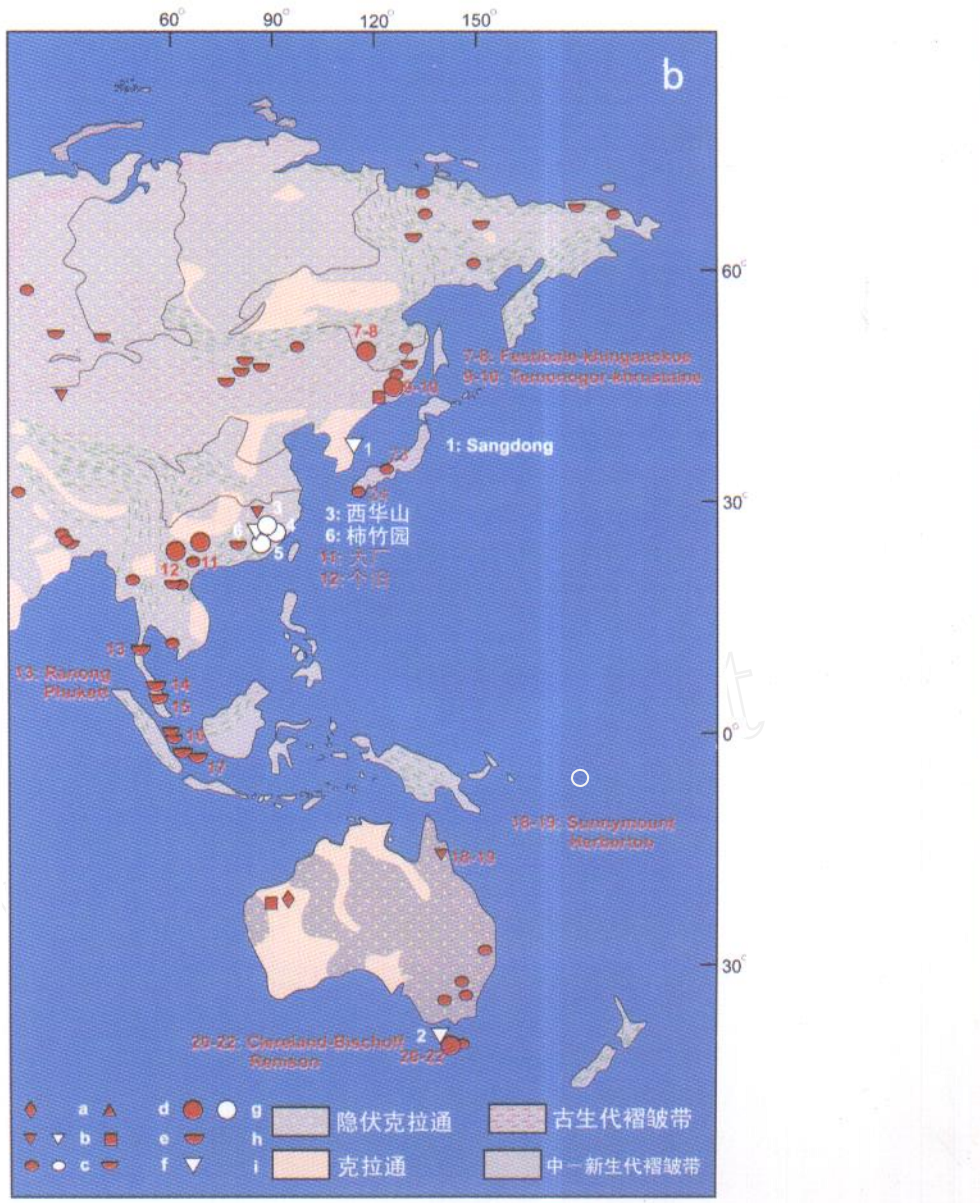


图 2b　示环太平洋亚澳钨锡成矿体系的由北东—南西的(俄)远东—中国东北—华北—华南—东南亚—(澳)昆士兰—塔斯马尼亚成矿分带

a-伟晶岩型; b-高温(热液)交代型; c-热液型; d-火山成因型; e-斑岩型; f-砂矿型; g、h、i-大-超大型矿床,实心代表锡矿,空心为钨矿

Fig. 2b　Far East of Russia - North East - North - South of China - South East Asia - Queensland - Tasmania of Australia zoning from NE - SW along West Pacific Rim

图 2　环太平洋成矿分带的双向分带

Fig. 2　Metallogenic zoning in both directions of the Circum-Pacific Ocean metallogenic belt

花岗岩岩浆活动,在对陆间于泥盆纪海盆中形成的同生—准同生层控铅锌矿床进行热动力改造的同时,又促发前泥盆系矿源层中 Au、Hg、Sb、Cu活化而形成微细粒浸染型金矿和层控热液型铜、金、铁、钼矿床(翟裕生, 2002)。

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。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,并具有似埃达克岩浆亲合性。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

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, 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。

总之,对接型陆缘的成矿堆积环境具有后会聚型陆缘 (Post convergent continental Margin)成矿特征,是陆缘构造岩浆弧和沟 -弧 -盆岩浆链会聚 —对接 —碰撞成矿的总成,主要是与蛇绿岩有关的铬、铂成矿系列和与斑岩有关的铜、铅、锌、金、银成矿系列等类型的成矿专属。

4.4 转换型陆缘及其成矿系列类型专属

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, 2002)。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对接碰撞带之上,从而多形成宽广而延长很大的复杂构造带。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作用。同时,由于水平错移动力作用,多在表壳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分,如中国东部的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。如中国东部最大的广义绿岩带金矿 ——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。

还需特别强调的是,横亘于青藏高原西北部边界的阿尔金断裂构造带也应是由 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 1600 km,宽度一般为 150～300 m之间,产状一般为 250°～265°∠25°～40°。关于阿尔金断裂的成因,虽然有不同看法,但应认识它是经历长期地质历史演化形成的,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、复活性以及对火山 -侵入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。

总之,转换型陆缘是同会聚陆缘 (Syn-convergent continental margin)对同对接应力的继承和发展,以大规模的走滑断裂系统对会聚强压的应力释放为特征。在成矿作用上,多是诱发前期成矿或叠加成矿,同样以后汇聚陆缘形成的成矿作用为主,其成矿系列类型专属多包括对会聚类型陆缘成矿系列类型的改造和发展。

5 大陆边缘有利成矿因素和科学问题讨论

根据上述大陆边缘构造带和边缘构造区成矿有利度分析,结合其成矿系列类型专属,可以认为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。多年来,已有很多学者对大陆边缘成矿作用发表了大量论述,且均认为大陆边缘有利于成矿。其中,翟裕生 (2002)总结出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。这些因素无疑是大陆边缘有利成矿因素的大全,但是,它们都是有利成矿作用“源”、“运”、“储”三步曲的普遍性认识,特别是大陆边缘构造带和边

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

缘构造区的成矿有利度虽然相对较大,但其成矿几率也还是很小的,因而仅应用上述普遍性有利成矿因素在成矿几率很小的大陆边缘找矿可能还是难以很好奏效的。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。但是,这一最佳耦合靶区时空位置又如何选定呢?深入研究 10个有利成矿因素的最佳耦合机制当然是当前大陆边缘成矿的重要科学问题,但同时还应研究大陆边缘有关矿集区的内部结构,发现其中最密集的矿汇 (Ore cluster)区,然后按矿汇区中矿床的最大储量相对丰度及其与其成矿时限的相关关系,从中发现在一定时限内相对的最大金属堆积强度的矿床产出的位置,即为最佳耦合时空部位。这一把多种成矿有利因素转化为应用成矿时限与储量相对丰度的相关关系来辨认诸多成矿有利因素能够达到是佳耦合机制的研究方法,有待结合大陆边缘构造区矿集区时空结构的深入分析予以开发,特别应重视促发最佳耦合机制中的异常地质事件的成矿作用 (裴荣富, 2004)。

参考文献:

侯增谦,杨岳青,曲晓明,黄典豪,吕庆田,王海平,余金杰,唐绍华. 2004. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统. 地质学报, 78(1): 109 - 120.

候增谦,钟大贲,邓万明. 2004. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式. 中国地质, 31(1): 1 - 14.

蒋志主编. 1996. 中国地壳演化与矿产分布图. 北京:地质出版社.

潘桂棠,徐强,侯增谦,王立全,杜德勋,莫宣学,李定谋,汪名杰,李兴振,江新胜,胡云中. 2003. 西南"三江"多岛弧造山过程成矿系统与资源评价. 北京:地质出版社, 80 - 93, 112 - 116.

裴荣富,吕凤翔,范继章,方如恒,齐朝顺. 1998. 华北地块北缘及北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京:地质出版社, 91 - 103.

裴荣富,梅燕雄,李进文. 2004. 特大型矿床与异常成矿作用. 地学前缘, 11(2): 323 - 331.

任纪舜,陈廷愚,牛宝贵,刘志刚,刘凤仁. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京:科学出版社, 1 - 20.

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之神秘面纱. 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. 北京:地质出版社, 2 - 3, 207 - 211, 216 - 218, 356 - 372.

王登红,陈毓川. 2001. 与海相火山岩作用有关的铁 - 铜 - 铅 - 锌矿床成矿系列类型及成因初探. 矿床地质, 20(2): 112 - 118.

王鸿祯主编. 1985. 中国古地理图集. 北京:地质出版社.

翟裕生,邓军,汤中立,肖荣阁,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,陈从喜,丁式江,王庆飞,胡玲,徐章华,苗来成,苏尚国,李强之,龚羽飞. 2002. 古陆边缘成矿系统. 北京:地质出版社, 13 - 16, 73 - 75, 363 - 365, 371 - 384.

References:

Hou Zengqian, Yang Yueqing, Qu Xiaoming, Huang Dihao, Lu Qingtian, Wang Haiping, Yu Jinjie and Tang Shaohua. 2004. Tectonic evolution and mineralization systems of the Yidun arc orogen in Sanjiang Region, China. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 109 - 120.

Hou Zengqian, Zhong Dalai and 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.

Jiang Zhi. 1996. Atlas of mineral resources and crust evolution of China. Beijing: Geological Publishing House.

Pan Guitang, Xu Qiang, Hou Zengqian, Wang Liquan, Du Dexun, Mo Xuanxue, Li Dingmou, Wang Mingjie, Li Xingzhen, Jiang Xinsheng and Hu Xunzhong. 2003. Archipelagic orogenesis, metallogenic systems and assessment of the mineral resources along the Nujiang - Lancangjiang - Jinshajiang area in southwestern China. Beijing: Geological Publishing House, 80 - 93, 112 - 116.

Pei Rongfu, Lu Fengxiang, Fan Jizhang, Fang Ruheng and Qi Chaoshun. 1998. Metallogenetic series of metallic mineral deposits and mineral exploration of north margin and its north side in North China platform. Beijing: Geological Publishing House, 91 - 103.

Pei Rongfu, Mei Yanxiong and Li Jinwen. 2004. Exceptional large ore deposits and anomalous ore - forming process. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 323 - 331.

Ren Jishun, Gen Tingyu, Niu Baogui, Liu Zhigang and Liu Fengren. 1990. Tectonic evolution of the continental lithosphere and metallogeny in eastern China and adjacent areas. Beijing: Science Press, 1 - 20.

Ren Jishun and 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

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- 11.

Tang Zhongli, Bai Yunlai, Xu Zhanghu, Li Wenyuan, Li Fenqi, Yan Haiqing, Huang Chengxiong and Wang Zhiheng 2002. Metallogenic systems and metallotectonic dynamics in the southwest margin (the Longshoushan Mountains and the Qilianshan Mountains) of north China paleocontinent. Beijing: Geological Publishing House, 2 - 3, 207 - 211, 216 - 218, 356 - 372 (in Chinese).

Wang Denghong and Chen Yuchuan. 2001. A preliminary study on the metallogenic series type of Fe - Cu - Pb - Zn ore deposits related to submarine volcanism and its origin. *Mineral Deposits*, 20(2): 112 - 118.

Wang Hongzhen. 1985. Atlas of the paleogeography of China. Beijing: Geological Publishing House.

Zhai Yusheng, Deng Jun, Tang Zhongli, Xiao Rongge, Song Honglin, Peng Runmin, Sun Zhongshi, Wang Jianping, Xiang Yunchuan, Huang Huasheng, Zhang Zhengwei, Yang Liqiang, Bai Yunlai, Chen Congxi, Ding Shijiang, Wang Qingwei, Hu Ling, Xu Zhanghu, Miao Laicheng, Su Shangguo, Li Qiangzhi and Gong Yufei. 2002. Metallogenic systems of paleocontinental margin. Beijing: Geological Publishing House, 13 - 16, 73 - 75, 363 - 365, 371 - 384.

METALLOGENY OF CONTINENTAL MARGIN

PEI Rongfu, LI Jinwen and MEI Yanxiong

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, *China)*

Abstract: The continental crust was formed through the continental nucleus, platform, Pangea, continental splitting, continental accretion, intercontinental collision and orogeny in its progress. The crust was split into continental crust and oceanic crust by inhomogeneous differentiation. Continental margins that have different tectonic features were formed by continental splitting, oceanic crust subduction or intercontinental collision. Five marginal tectonic belts, thirteen secondary tectonic regions and fifty - three space - time distribution structures were decided according to the distribution of three intercontinental collision belts. The probabilities for discovering ore deposits in tectonic regions were calculated based on existing deposits. Continental margins were divided into divergence type, convergence type, collision type and transform type, and their metallogenetic serial specialization was summarized. It's very important for metallogeny to occur where advantaged metallogenetic multiple factors were coupled. Their coupling mechanism and space - time distribution in continental margin are key to outlining advantaged metallogenetic area.

Keywords: continental margin; space - time distribution structure; tectonic attribute; metallogenetic series specialization; metallogenetic multi - factor coupling

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net