

秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应

李文渊¹ 张照伟^{1,2} 高永宝^{1,2} 谭文娟¹ 姜寒冰¹ 郭周平¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 古亚洲构造域和特提斯构造域叠加作用的秦祁昆造山带, 在中国显生宙大陆壳形成中起着重要作用。其构造演化复杂, 成矿作用多样, 古生代及中、新生代为重要成矿时期, 并伴有元古宙的重要成矿事件。通过秦祁昆造山带成矿事件的研究, 将成矿事件与所处的构造位置紧密联系, 发现重要成矿事件均对应特殊的构造响应。其中, 西昆仑古元古代塔什库干磁铁矿, 是一个重要的成“铁”事件; 阿尔金与东昆仑构造带交汇的祁漫塔格矿集区是一个重要的构造结, 新发现的重要矿产是构造转换、多期次构造作用的产物; 祁连山北邻龙首山中产出的金川巨型岩浆铜镍矿床, 是元古宙大规模幔源物质上涌的岩浆事件; 马元铅锌矿是比较典型的 MVT 型矿床类型, 与秦岭的构造演化历程相一致。

关键词: 秦祁昆造山带; 构造演化; 构造结; 成矿事件; 构造响应

中图分类号: P617; P56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)05-1135-15

夹持于古亚洲构造域与特提斯构造域之间的秦祁昆造山带, 好比一条“腰带”, 把中国大陆分为南、北两部分。由于东、西两侧有大的刚性块体相抵, 中间的祁连造山带、东昆仑造山带就像“腰带”的结, 向北凸出。同时, 秦祁昆造山带也是一条“金腰带”, 据统计中型以上矿床 158 处, 是中国最重要的成矿区带之一^[1-2]。因此, 单独划为“秦祁昆成矿域”, 与其他成矿域相并列。虽然在现今地貌上, 秦岭、祁连山、昆仑山连为一体, 但是其东、中、西各段造山带构造演化史是不同的; 成矿上存在显著不同, 也反映了构造演化上的差异。姜春发(1993)为强调其居中位置和山脉整体以及统一名称, 首先将其称之为中央造山带^[3]。对其超高压/高压变质带、蛇绿岩/蛇绿混杂岩和构造单元的深入研究^[4-8], 激起了对秦祁昆造山带的研究热情和诸多争议。争议的焦点主要是秦祁昆造山带整体的地质意义, 南、北陆块群汇聚碰撞成山的时限, 是分段碰撞造山还是整体碰撞, 以及秦祁昆造山带在全球超大陆拼合、裂解中的位置和变化等^[9-15], 而所有这些认识均制约着重要成矿作用的研究。近年来秦

祁昆造山带新发现的具有代表性矿床, 其成矿构造背景与目前的认识存在一定的分歧。本文将重要成矿事件与所处构造背景进行关联研究, 旨在探讨秦祁昆造山带重要成矿作用与构造演化的耦合关系。

1 大地构造特征

秦祁昆造山带的北缘自西向东大致以库地断裂、北阿尔金断裂、祁连山北缘断裂、秦岭北缘栾川断裂为界, 分别与塔里木和华北地区陆块南缘相邻; 南部则以康西瓦断裂、阿尼玛卿断裂和勉—略断裂为界, 与羌塘地块和扬子陆块北缘相接, 处于中国南北大陆几大陆块最为重要的镶嵌部位。从构造展布形式上看, 秦祁昆造山带空间上有一种局部紧束和部分扩散的特征。塔里木地块南抵使西昆仑造山带呈紧束的构造面貌, 鄂尔多斯和四川地块相抵使西秦岭也呈紧束的构造形式。而北邻阿拉善地块, 南依松潘—甘孜褶皱带的北祁连和东昆仑造山带则表现为向北扩散的特征^[16](图 1)。反映了祁连和东昆仑造山带中有硬的柴达木地块, 而相邻的构造单元又非

收稿日期: 2011-03-01; 改回日期: 2011-08-17

基金项目: 国家科技支撑重点项目课题(2006BAB01A01 和 2006BAB01B08)和国家自然科学基金(40772062)、中国地质调查局地质大调查项目(1212010620507、1212011121088、1212011121092、1212010911032、1212011120483)资助。

作者简介: 李文渊, 男, 1962 年生, 博士, 研究员, 从事岩浆作用矿床及区域成矿研究; E-mail: xalwenyuan@126.com。

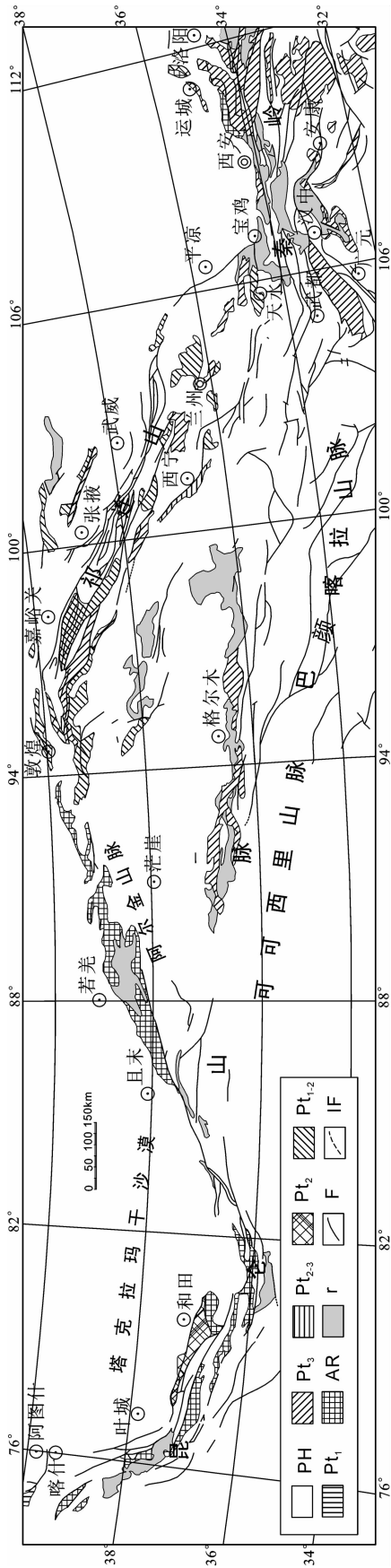


图 1 秦祁昆造山带前寒武纪地质略图
 PH—显生宙地层; Pt_3 —新元古界; $Pt_{2,3}$ —中—新元古界; Pt_1 —古元古界; Pt_2 —中元古界; $Pt_{1,2}$ —古—中元古界; Pt_1 —古元古界; AR—太古宇; r—中—新元古代
 岩体; F—断裂带; IF—推测断裂带

Fig.1 Precambrian geological map of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts
 PH—Phanerozoic strata; Pt_3 —Neoproterozoic; $Pt_{2,3}$ —Meso- and Neoproterozoic; Pt_2 —Mesoproterozoic; $Pt_{1,2}$ —Meso- and Paleoproterozoic;
 Pt_1 —Paleoproterozoic; AR—Archaean rocks; r—Meso- and Neoproterozoic rock; F—Fault belt; IF—Inferred fault belt

较大的刚性块体的特征。秦祁昆造山带整体沿西昆仑、阿尔金、祁连山,向南延入三江呈一巨型“S”形重力梯级带。程裕淇等(1994)^[17]认为,秦祁昆地区是由原始“秦昆洋”、古“秦祁洋”、古特提斯洋在不同时期、不同位置更叠演变的记录,也是塔里木、华北、扬子和羌塘—唐古拉 4 个陆块在不同时期相互作用和叠加的结果。殷鸿福等(1998)^[8]提出,由秦祁昆、大别苏鲁组成的中央造山带是由一系列微板块加上分别位于其北面和南面的两条不同时期的小洋盆组成。微板块群的主体是柴达木、秦岭、大别—苏鲁,加上中祁连,以浅海相和陆相沉积为特点。因此,秦祁昆地区的板块运动具有多岛洋、软碰撞、多旋回造山的特点。其构造演化大致划分为 3 个大的阶段:(1)早古生代洋—陆演化阶段;(2)晚古生代海—陆演化阶段;(3)印支期以后陆内演化阶段。

塔里木、华北和扬子三大陆块之间关系的重新认识,则进一步明确了中央造山带中微地块的归属。陆松年等(2003)依据克拉通化的时限、中—新元古代早期热—构造事件、南华纪裂解事件群和冰碛层层位及时代等,认为塔里木陆块更接近于扬子陆块,而相别于华北陆块。这一认识基本论据是,塔里木陆块和扬子陆块都是经过晋宁运动(1000~850 Ma)后完成了克拉通化过程,而华北陆块是吕梁造山运动(2000~1850 Ma)后完成的;华北陆块长城纪(1800~1600 Ma)广泛发育有裂解事件为特征的热—构造事件组合,此后一直处于稳定的构造环境,而塔里木陆块和扬子陆块则于中元古代末—新元古代早期表现有大量的热—构造事件;塔里木陆块和扬子陆块在南华纪出现有大规模的裂解事件,而华北陆块没有相应表现;塔里木陆块和扬子陆块冰碛层层位分别为特瑞爱肯组和南沱组,处于南华系顶部(700 Ma),华北陆块冰碛层层位为罗圈组和正目观组,处于震旦系顶部(600~650 Ma)^[18]。由此认为,华北和扬子陆块在中元古代末—新元古代早期未曾发生过汇聚,早古生代才开始靠拢,北秦岭微地块由扬子陆块组成拼贴于华北陆块的南缘,以印支期勉—略洋的消亡,华北陆块才与扬子陆块对接^[9]。万天丰和朱鸿(2007)^[15]对中国各陆块的古地磁数据的统计研究,也得出同样的结论,早古生代中国大陆各地块总体上呈现为离散状态,晚古生代东昆仑与西昆仑地块的位置都很不相同,西昆仑倾向于塔里木陆块,而东昆仑则是亲冈瓦纳的。

秦祁昆中央造山带中,迄今已辨认出 6 条重要的早古生代缝合带,3 条晚古生代—早中生代蛇绿(混杂)岩缝合带(图 2)^[20-23]。另外,秦祁昆中央造山带中寒武纪是洋壳发育的重要时期,奥陶纪岛弧火山岩/大陆岩浆弧广泛发育,志留纪洋盆闭合形成陆—陆/陆—弧碰撞造山,泥盆系不整合于下古生界之上。但东西、南北洋盆打开和闭合的时限有所差异,东段洋盆打开的早,西段晚,而西段闭合又晚于东段,即西段洋盆持续的时间更长。“多岛洋”是目前的基本认识,但是华南陆块北缘秦岭造山带中有两条早古生代缝合带,而塔里木陆块东缘的祁连、东昆仑造山带中有多达 4~5 条早古生代缝合带,难以对应认识,也就难以重塑其当时“多岛洋”的东西展布格局。

总的来说,秦祁昆造山带前寒武纪构造演化有待于深入研究。虽然前人对于该造山带的古生代东、中、西三段均有研究,但它们之间的关系还处于讨论中。同时,阿尔金与东昆仑构造带交汇的祁漫塔格地区地质构造复杂,岩浆活动频繁,作为重要的“构造结”受到广泛关注。

2 成矿特征

秦祁昆成矿域是中国重要的矿产资源基地,近年来各个重要成矿带找矿效果突出,西昆仑塔什库尔干地区铁矿、祁漫塔格地区的白干湖钨锡矿、祁连地区小柳沟矽卡岩—石英脉型钨(锡、钼)矿和秦岭地区马元密西西比河谷型(MVT)铅锌矿等都是具有远景规模的新发现(图 3)。已发现的矿床(点)显示出各成矿带区域成矿特征各异。

西昆仑成矿带在空间上,内生矿产受次级断裂控制,常呈带状集中分布于大断裂带或次级断裂的交汇处,以及受这些断裂控制的岩体或岩体周围。成矿时代上,沉积变质型铁矿主要产于古元古代布伦阔勒群硅铁建造中;与中酸性火成岩有关的内生矿产(铁、铜、铅锌等)成矿时代主要集中在中元古代、晚古生代晚期及中生代中期;沉积型铜矿见于石炭系中;沉积型铁矿主要有产于志留系及侏罗系的菱铁矿;塔木—卡兰古—库斯拉甫一带的层控型铅锌矿床与石炭系有关;脉状锑矿集中在二叠系黄羊岭群中的砂岩和泥质岩中;上其汗和阿克塔什—萨洛依一带的块状硫化物矿床主要与石炭纪火山岩有关。

阿尔金成矿带主要有中元古代沉积变质型 Mn

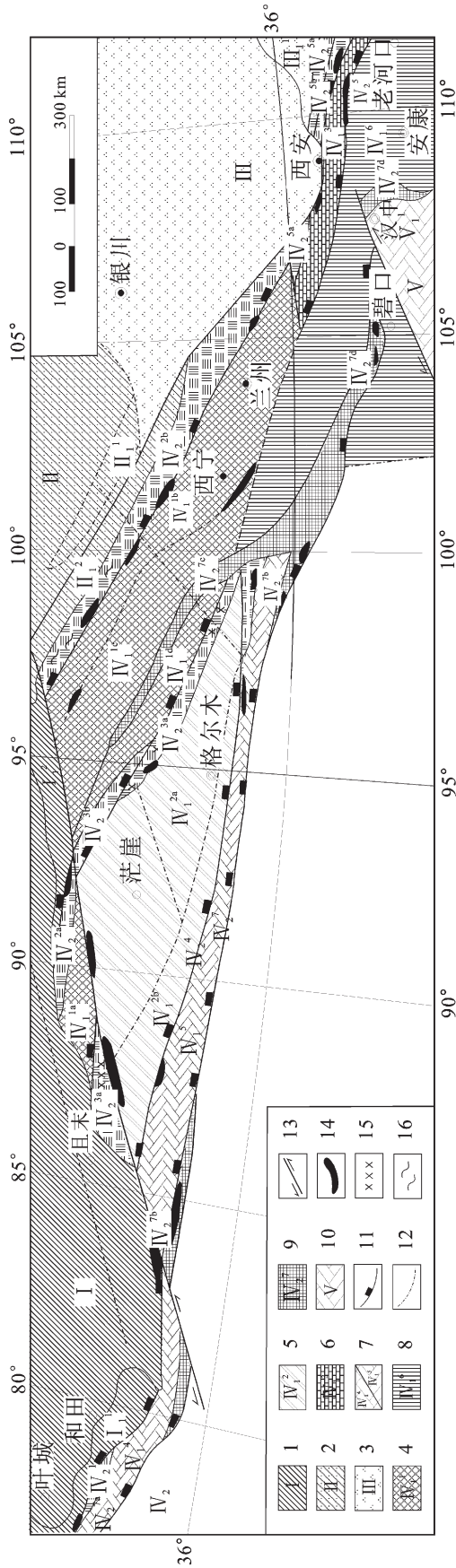


图2 秦祁昆造山带古生代重要缝合带地质分布示意图(据陆松年等,2006)
 1—塔里木陆台;2—阿拉善地块;3—华北陆台;4—中阿尔金—祁连—全吉地块;5—柴达木地块;6—北秦岭地块;7—西(东)昆仑昆仑变质地质体;8—南秦岭;9—康—玛—略缝合带;10—扬子陆台;11—缝合带主断裂;12—物探断裂;13—板内平移断裂;14—蛇绿混杂岩;15—榴辉岩;16—蓝片岩带

Fig.2 Distribution of Paleozoic suturing belts of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts
 1—Tarim platform;2—Alxa block;3—North China platform;4—Middle Altun—Qilian—Qianji block;5—Qaidam block;6—North Qinling block;7—West (east) Kunlun metamorphic terrane;8—South Qinling;9—Kang—Ma—Lue suture zone;10—Yangtze platform;11—Main fault of suture zone;12—Geophysical fault;13—Translational fault in plate;14—Ophiolite mélange;15—Eclogite;16—Blueschist belt

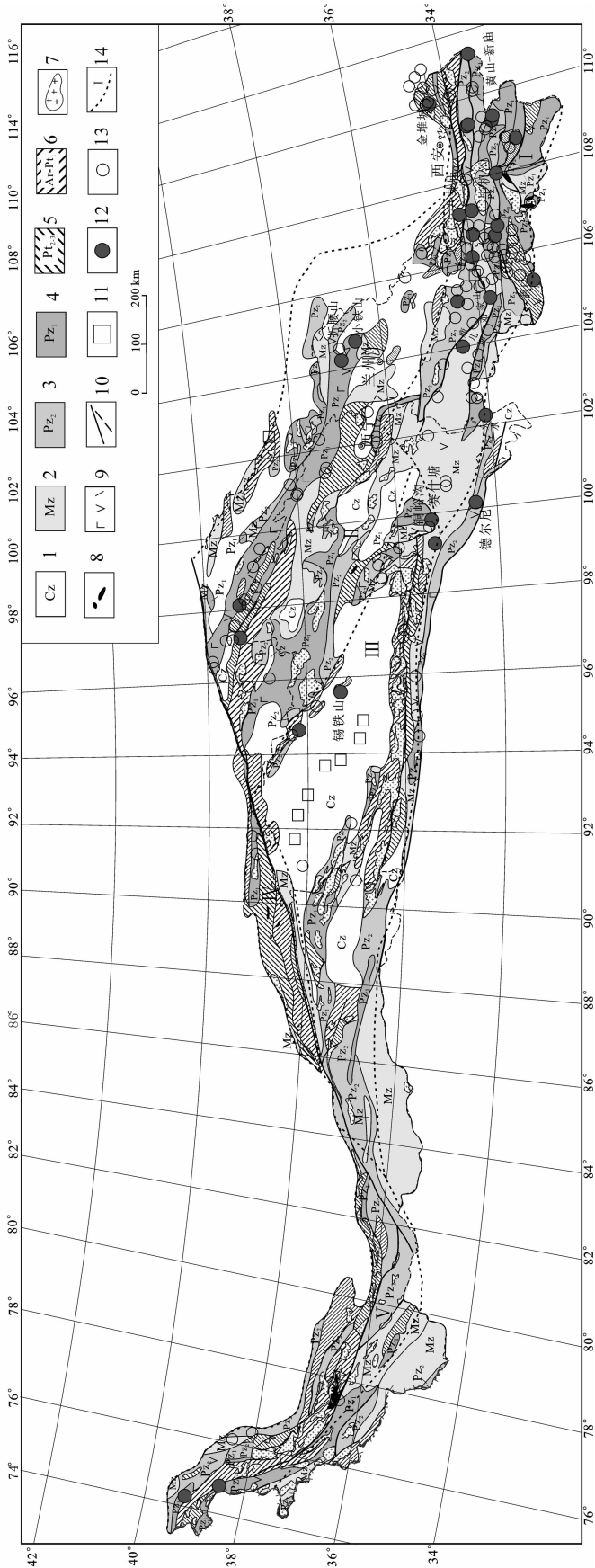


图 3 秦祁昆造山带主要金属矿产地质分布图

1—新生界;2—中生界;3—上古生界;4—下古生界;5—中新元古界;6—古元古—太古宇;7—中酸性岩;8—基性—超基性岩;9—火山岩;10—断层;11—超大型矿床;12—大型矿床;13—中型矿床;14—成矿区带界线及编号;I—秦岭成矿带;II—祁连成矿带;III—东昆仑成矿带;IV—阿尔金成矿带;V—西昆仑成矿带

Fig.3 Distribution of main metal resources in Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3—Late Palaeozoic; 4—Early Palaeozoic; 5—Meso-Neo-Proterozoic; 6—Paleo-Proterozoic-Archaeozoic; 7—Intermediate-acid rock; 8—Basic-ultrabasic rock; 9—Volcanic rock; 10—Fault; 11—Superlarge deposit; 12—Large-size deposit; 13—Medium-size deposit; 14—Boundary of ore-forming belt and its serial number;

I—Qinling metallogenic belt; II—Qilian metallogenic belt; III—East Kunlun metallogenic belt; IV—Altun metallogenic belt; V—West Kunlun metallogenic belt

矿床、与奥陶纪火山活动有关的 Cu-Pb-Zn 块状硫化物矿床、与火山作用有关的 Fe-(Cu) 矿床、与加里东期—华力西期岩浆侵入作用有关的斑岩型铜多金属矿床、与加里东期基性—超基性岩有关的岩浆熔离型矿床或热液蚀变型 Au 矿床、与华力西期钾质花岗岩有关的 Au 和 Ag-Cu 矿床、与印支期二长花岗岩有关的矽卡岩型 Cu-Pb-Zn 多金属矿床等多种类型。

东昆仑成矿带以早古生代和晚古生代—早中生代的构造岩浆活动对区内大成矿作用尤其重要。早古生代早期,在昆北陆缘裂谷中,有 SEDEX 型铅锌矿床产出,如肯德可克铁多金属矿;而在昆南的洋盆、岛弧和弧后盆地,则有 VHMS 型铜、钴矿床,如驼路沟钴矿、督冷沟铜钴矿等。早古生代晚期,随着洋盆的俯冲消减,东昆仑进入陆—陆碰撞造山阶段,形成白干湖志留期末矽卡岩—石英脉型钨锡矿,并导致金在构造带中的富集和矿化,形成开荒北、五龙沟等金矿。晚古生代—早中生代,由于受南部阿尼玛卿—巴颜喀拉洋的俯冲消减,在东昆仑北部的矿产多与岩浆活动有关,热液型、斑岩型、接触交代型铜、铅锌矿床密集分布,如都兰地区及祁漫塔格地区的铜多金属矿等。

祁连山是一个复合型的造山带,经历了大陆裂谷、洋壳削减俯冲、弧—陆碰撞、陆—陆碰撞和陆内推覆造山等构造作用。古元古代初始陆壳形成阶段,多形成一些铁矿化,该阶段岩石建造厚度大,钨、铜、金、铅、锌等元素丰度高。中元古代陆壳活动带增生时期在火山—沉积层序下部的基性火山凝灰岩内,形成了陈家庙铁铜矿床,在火山—沉积层序上部的泥质沉积层内,形成了镜铁山铁铜矿床、柳沟峡中型沉积变质型铁铜矿床以及多处小型铁铜矿床(矿点)等最具特色的矿床类型,是祁连山重要的成铁时期;新元古代在紧依祁连山北侧龙首山中形成有世界级的金川巨型岩浆铜镍硫化物矿床,笔者认为金川矿床形成的元古宙,祁连山和龙首山是一体的,因此将金川矿床列为祁连山成矿带的重要成矿事件。在早古生代裂谷带的次级拗陷盆地内,形成了大东沟、吊大坂等铅锌矿床、矿点。早古生代裂谷—俯冲—碰撞造山阶段是祁连构造—成岩—成矿的高峰期,许多铜(镍)、钨、铅锌、金等矿床就是在此时期形成的。以海相火山岩型矿床和矽卡岩型钨多金属矿床为主的矿床类型尤为突出。晚古生代—中生代陆内造山作

用阶段,形成了韧性剪切带和华力西期—印支期碰撞型花岗岩带。前者形成造山型金矿,包括构造蚀变岩型和石英脉型金矿;后者的高侵位浅成花岗岩类侵入体常形成斑岩型铜矿及矽卡岩型钨矿床。

秦岭造山带的形成大体经历了 4 个不同发展演化阶段。长城纪前为古陆核形成和克拉通化发育演化过程,中新元古代为大陆裂解和部分洋盆发育演化阶段;中—晚古生代却存在两种不同的构造或动力学机制,一种是山丹断裂和勉略宁断裂或两条缝合带所代表的洋—陆碰撞挤压造山机制,另一种是广泛发生在中南秦岭地区于一些古老隆起基底上发育起来的中—晚古生代裂陷盆地的伸展动力学机制,而中生代以后则进入陆内造山演化阶段。与此过程相关的成矿事件也大体存在 4 个对应时段:早期成核阶段以古元古代鱼洞子群的硅铁建造中的铁矿为代表;中新元古—早古生代的成矿事件分岩浆型钒钛磁铁矿床(毕机沟)、铬铁矿床(松树沟)、铜镍矿(金盆)、火山岩型铜金多金属矿床等(铜峪)和与黑色岩系有关的锰、磷、铅锌、铀、金等沉积型矿产,以及近年来发现的后生成因的马元 MVT 型铅锌矿床,这应当是秦岭造山带较优势和特色矿产系列之一;另一个峰期时段是以中—南秦岭地区的中—晚古生代伸展裂陷海盆沉积型铁矿(大水沟)、铅锌矿(白河、旬阳、镇安)、银铅矿和热液型汞锑矿、金矿成矿事件较为典型,也应是秦岭造山带较优势的成矿组合之一;而第四个峰期时段的成矿作用主要是与印支末期—燕山期的强烈构造—岩浆作用密切相关,并以斑岩型钼多金属矿、斑岩型及热液型银多金属矿、微细浸染型金矿、石英脉型与构造蚀变岩型金矿、低温热液汞锑矿等尤为重要^[24]。

秦祁昆成矿域金属矿床成矿时代与中亚成矿域和特提斯成矿域均有差异^[25-27]。中亚成矿域以晚古生代为主要成矿时期,以洋陆碰撞成矿为主要成矿特色;特提斯成矿域则以中生代为主要成矿时期;而秦祁昆成矿域则主要是古生代和中新生代成矿为特色^[28],介于中亚和特提斯成矿域之间,成矿时期主要为中生代、晚古生代、早古生代和新生代,还有元古宙的重要成矿表现(图 4)。

3 成矿与构造响应

不同的地质构造环境控制着不同类型矿床的形成与改造。因此,重要的成矿事件应能反映特定的构

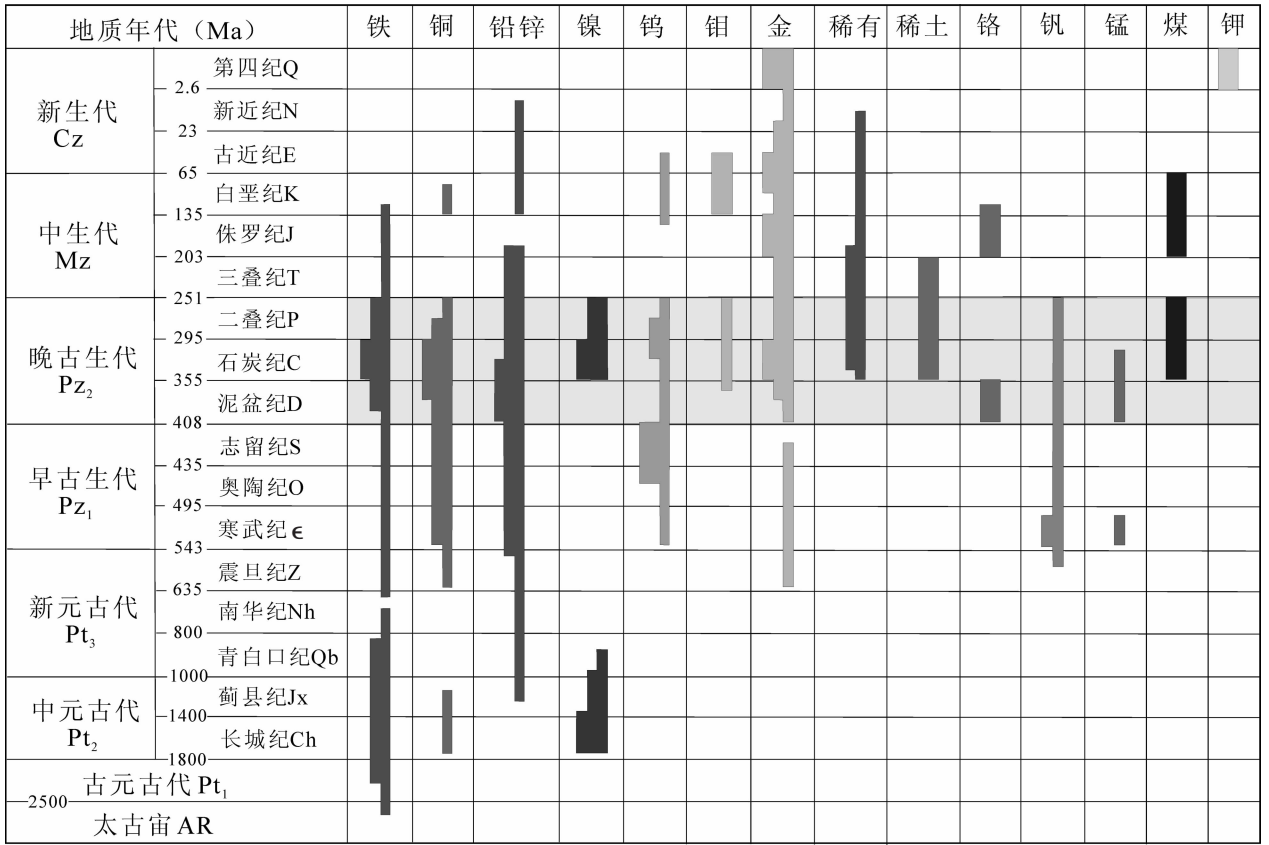


图 4 秦祁昆造山带重要金属矿产成矿时期分布示意图

Fig.4 Schematic geological map showing metallogenic epochs of primary metal resources in Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts

造环境及其演化和改造。西昆仑塔什库尔干铁矿集中分布区、祁漫塔格铜多金属矿集中分布区和秦岭马元 MVT 型铅锌矿集中分布区是近年来秦祁昆成矿域找矿成果最为显著的地段,而位于秦祁昆造山带中段北侧的金川巨型铜镍矿床则是最具经济价值的成矿实例。笔者选取上述 4 个重要成矿地段或成矿事例,研究其成矿作用,以期限定秦祁昆造山带漫长的构造演化中重要的构造节点或所代表的构造环境。

3.1 西昆仑塔什库尔干地区沉积变质型磁铁矿

该区属于喀喇昆仑造山带之塔什库尔干陆块,北东侧以康西瓦结合带和西昆仑构造带相接,南西侧以塔阿西结合带和明铁盖陆块相接^[29-30]。该区布伦阔勒群下部层位发育一套硅铁建造,宽 600~1000 m,主要岩石类型有大理岩、石英片岩、黑云石英片岩、花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、磁铁矿层等组成,为区内重要的含铁层位,构成一条富铁成矿带。已发现的磁铁矿产于喀喇昆仑构造带塔什库尔干微陆

块古元古代布伦阔勒群石英片岩中(图 5)。布伦阔勒岩群主体为一套高角闪岩相(局部含麻粒岩相)的高级变质、强变形的无序岩石组合,既有变质表壳岩系,也存在典型的硅铁建造和大量的古老变质侵入体,属古元古界,是塔什库尔干微陆块的结晶基底。塔什库尔干微陆块处于秦祁昆造山带西端,帕米尔构造结的东翼,境外有众多同类磁铁矿床产出。从地球早期的演化认识,大气圈中的氧逸度峰值大约在 2200 Ma 时期^[31-32],古元古代是重要的成“铁”时期,之后就很难有苏比利尔型带状铁矿层的发育。塔什库尔干古元古界布伦阔勒群底部的铁矿应是全球性的铁事件的产物,具有重要的找矿前景。

3.2 祁漫塔格铜多金属矿

祁漫塔格铜多金属矿集中分布区,是近年重要勘查地区,已发现众多矿床、矿点,显示了重要的找矿潜力。祁漫塔格地质上处于东昆仑、阿尔金构造带和柴达木地块等几个重要构造单元交汇的构造结

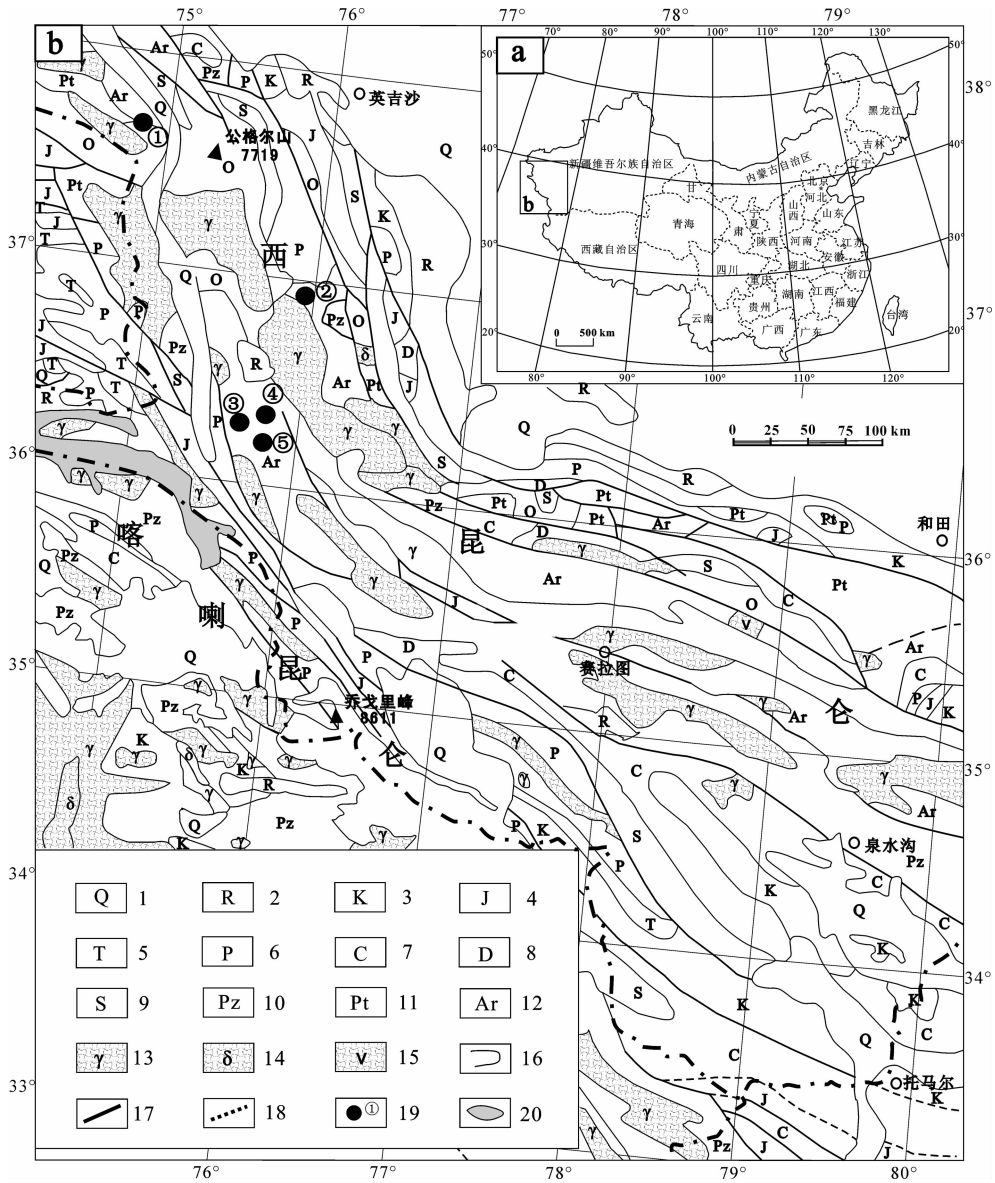


图5 西昆仑布仑口磁铁矿区域地质矿产图

1—第四系;2—古近—新近系;3—白垩系;4—侏罗系;5—三叠系;6—二叠系;7—石炭系;8—泥盆系;9—志留系;
 10—古生界;11—元古宇;12—太古宇;13—酸性侵入岩;14—中性岩;15—基性岩;16—地层界线;17—实测断层;
 18—推测断层;19—新发现矿床/矿点及编号(①切列克其铁矿;②塔合曼铁矿;③吉尔铁克铁矿;④老并铁矿;⑤赞坎铁矿);20—湖泊

Fig.5 Regional geological map of the Bulunkou magnetite deposit, West Kunlun

1—Quaternary; 2—Paleogene—Neogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Triassic; 6—Permian; 7—Carboniferous; 8—Devonian; 9—Silurian;
 10—Paleozoic; 11—Proterozoic; 12—Archean; 13— Acid intrusive rocks; 14—Intermediate rocks; 15— Basic rocks; 16—Geological
 boundary; 17— Fault; 18—Inferred fault; 19—Newly—found Fe deposit and its serial number:
 (① Qieliekeqi; ② Taheman; ③ Jierteike; ④ Laobing; ⑤ Zankan); 20—Lake

(图6)^[33],以阿南断裂为界,以北西属阿尔金构造带的组成,主要由前寒武系构成,分布有与元古宙有关的迪木那里克沉积变质型磁铁矿;以东南则属于东昆仑构造带,从前寒武系到古生界和中新生界的岩层都有,发育有与中元古代大陆裂谷环境有关的维

宝 SEDEX 型铅锌矿。区内岩浆作用发育,阿南断裂附近既发育有与早古生代蛇绿岩有关的镁质镁铁—超镁铁岩体,又产出有中奥陶世含岩浆型钛磁铁矿矿体的镁铁—超镁铁杂岩。区内分布最为广泛的是中酸性侵入岩,从晋宁期到燕山期均有分布,但以古

生代和中生代为主,且与成矿关系密切,产出有白干湖矽卡岩型钨锡矿。区内火山岩主要是晚奥陶世、晚泥盆世和晚三叠世的产物,岩性从基性到酸性均有分布,东部鸭子泉和西部吐拉一带发现有疑似蛇绿岩,并有块状硫化物铜矿产出。这种不同时代地质体的镶嵌关系,代表了多期地质作用叠加的结果。

就目前资料,区内可划分为 4 个主要成矿期^[30]: (1)中元古代沉积变质型磁铁矿和 SEDEX 型维宝铅锌矿。迪木那里克中元古代沉积变质型磁铁矿可能是该区最古老的成矿事实,系塔里木陆块盖层沉积后遭受变质的产物,形成于相对稳定的构造背景,而形成于中元古代蓟县纪狼牙山组浅变质细碎屑岩和碳酸盐岩系中的 SEDEX 型维宝铅锌矿,则属古昆仑洋开始裂解大陆裂谷阶段的产物;(2)中奥陶世与镁铁-超镁铁层状侵入岩有关的岩浆钛磁铁矿,为

塔里木边缘裂解作用的产物。如由西安地质调查中心发现并已普查的长清铁矿,侵入岩测年表明为中奥陶世的产物 (462.1~469.9 Ma, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法^[34]);(3)志留期末矽卡岩-石英脉型钨锡矿、铁矿,志留期末古昆仑洋闭合后碰撞造山作用产生的云英闪长岩侵入古元古代金水口群,形成白干湖矽卡岩-石英脉型钨锡矿,获得与成矿关系密切的二长花岗岩、英云闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (429.5±3.2)Ma、(430.4±1.1)Ma^[35],这之前有吐拉、鸭子泉铜金矿和于沟矽卡岩型铁矿形成,它们同属古昆仑洋消减南岸中昆仑沟弧盆岩浆系的产物;(4)中晚三叠世斑岩-矽卡岩型铜多金属矿,中生代昆仑洋中晚三叠世向南俯冲形成的岩浆弧背景造就了卡尔却卡铜多金属矿床^[36](图 6)。上述矿床分别代表了区域不同构造演化阶段不同地质单元的产

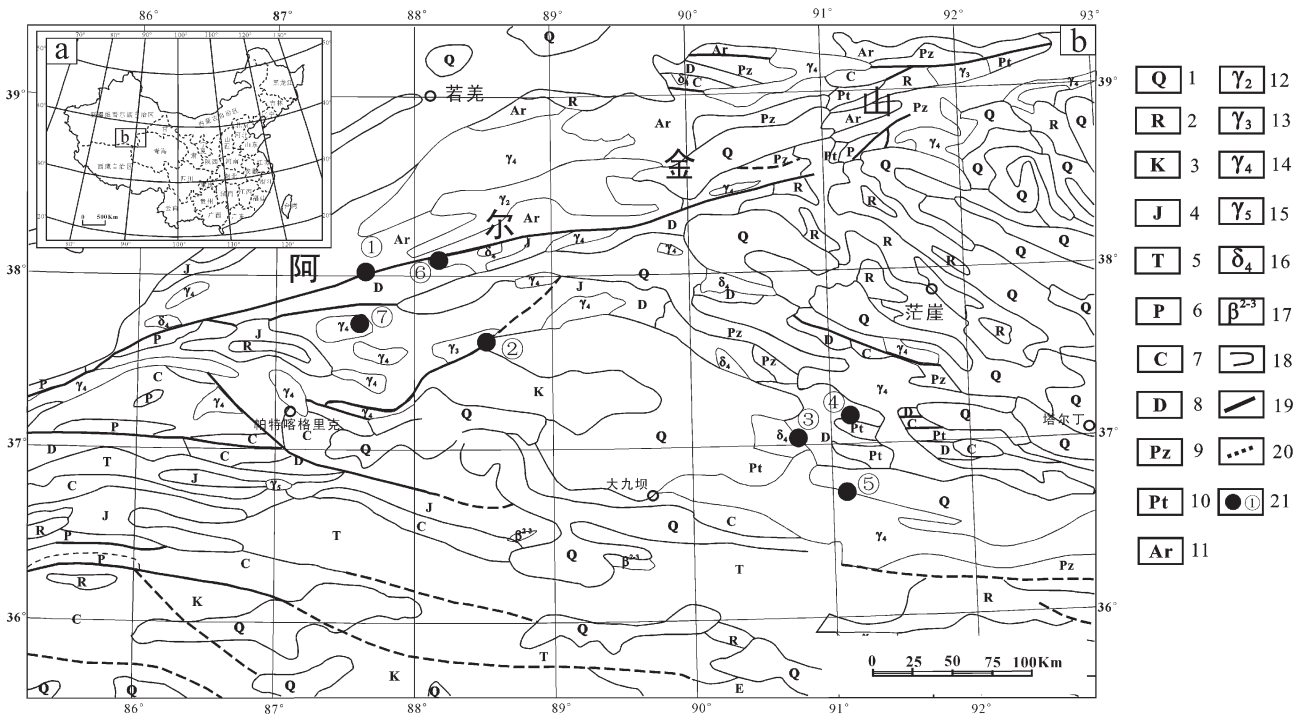


图 6 祁漫塔格矿集区地质矿产图

- 1—第四系;2—古近-新近系;3—白垩系;4—侏罗系;5—三叠系;6—二叠系;7—石炭系;8—泥盆系;9—古生界;10—元古宇;
- 11—太古宇;12—元古宙酸性岩;13—加里东期酸性岩;14—华力西期酸性岩;15—印支期酸性岩;16—华力西期中性岩;
- 17—古生代-元古宙玄武岩;18—地质界线;19—断层;20—推测断层;21—新发现矿床/点及编号(①长沙沟铜镍矿点;
- ②白干湖钨锡矿床;③肯德可克铁矿床;④维宝铅锌矿床;⑤卡而却卡铜矿床;⑥长清铁矿;⑦迪木那里克铁矿)

Fig.6 Geological map of the Qimantage ore concentration area, showing the distribution of mineral resources

- 1—Quaternary; 2—Paleogene-Neogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Triassic; 6—Permian; 7—Carboniferous; 8—Devonian;
- 9—Paleozoic; 10—Proterozoic; 11—Archean; 12—Proterozoic acidic rocks; 13—Caledonian acidic rocks; 14—Variscan acidic rocks;
- 15—Indosinian acidic rocks; 16—Variscan intermediate rocks; 17—Paleozoic-Proterozoic basalts; 18—Geological boundary;
- 19—Fault; 20—Inferred fault; 21—Newly-found ore deposit and its serial number: (① Changshagou Ni-Cu ore spot; ② Baiganhu Sn-W deposit;
- ③ Kendekeke Fe deposit; ④ Weibao Zn-Pb deposit; ⑤ Kaerqueka Cu deposit; ⑥ Changqing Fe deposit; ⑦ Dimunalike Fe deposit

物。现今祁漫塔格的构造格架是多期构造演化拼贴的结果,成矿分布上呈“八字型”构架,以鸭子泉白干湖断裂为界,北西-北西西向的东翼与南东-南东东向的西翼构成了不同的成矿组合。

3.3 金川巨型铜镍矿床外围

金川铜镍矿床是中国少数几个改变世界矿业格局的矿床,它的外围找矿涉及到其成矿背景和形成过程的进一步认识。近 10 年来,世界岩浆铜镍硫化物矿床有两项革命性的变革认识:(1)该类矿床产于大陆板块内部的岩浆带中;(2)该类矿床要成就较大规模的矿床,必然是大规模岩浆作用的结果,但成矿的岩体都不大^[57]。同时,人们还认识到世界上超大型岩浆 Ni-Cu-PGE 矿床都是地球演化历史上地幔柱作用的结果。大陆超地幔柱作用的典型表现大火成岩省(LIPs),面积至少超过 100 万 km²,厚达 5 km。代表大规模岩浆事件的大火成岩省(LIPs),形成大规模的岩浆 Ni-Cu-PGE 矿床,深部大的岩浆房中肯定有大规模的硫化物熔离作用发生,并形成富含镍、铜、钴和铂族元素的硫化物岩浆。

金川巨型岩浆 Ni-Cu-PGE 矿床形成于中元古代早期北祁连古大陆裂谷拉张初期穹隆隆起阶段。大地电磁测深(MT)结果表明,以往认为是金川含矿岩体导岩构造的龙首山北缘 F1 大断裂,实际是 10 km 深处向南收敛的电性薄层,是中生代印支期陆内造山作用逆冲构造的界面,龙首山是一自南而北被推覆拼贴在阿拉善地块上的构造岩片,龙首山南北界断层是岩片的顶底界面。金川含矿岩体及其外围龙首山镁铁-超镁铁岩体均作为构造岩片的地质组成至少于 10 km 深处被推向地壳浅部,经风化剥蚀而出露于地表。因此,岩体的空间形态是被改变了的,是最易于就位的层状或似层状岩体逆时针旋转而成陡倾斜,表现为现在向西南倾斜的板状或透镜状^[38-39]。

金川矿床所代表的岩浆事件,或者说元古宙的大火成岩省,至少包括祁连山、阿尔金造山带南部基底的范围(图 7)。因此,祁连-龙首山地区早于金川岩体的前寒武纪地质体都具有侵入金川同期含矿侵入体的可能。但前提是必须出露或隐伏的不是太深,才有工业意义。所以,拉水峡矿床所在的化隆地区,应是一个金川型矿床的找矿选区。地球物理、地球化学资料显示化隆微地块中存在隐伏的、一定规模的镁铁-超镁铁岩侵入体,并可能成矿。前面所说的阿

尔金南缘西段出露的前寒武纪铁质镁铁-超镁铁杂岩带,个别岩体具有一定的铜、镍和铂族金属矿化和钛磁铁矿,也是一个重要选区。它们很可能是元古宙与金川岩浆事件同期作用异地的产物。金川成矿作用所代表的大规模岩浆-构造事件,必然对秦祁昆造山带前寒武纪构造演化产生重大的影响。同时,由于中国大陆各地块位置的变化,现在紧依的两陆块前寒武纪未必就在一起,现在分割的陆块也有可能是前寒武纪同一陆块分裂、离散重新汇聚的结果。金川成矿事件地质产物的分布,由于离散或后期剥蚀而难以恢复,但其所代表的地质意义还应以更大的视野和活动论的观念来进一步认识。

3.4 马元 MVT 型铅锌矿

马元铅锌矿位于扬子地块北缘,仅赋存于汉南碑坝穹隆周缘震旦灯影组白云岩中。区域基底由中、新元古代火地垭群中、深变质火山碎屑岩系和晋宁-澄江期中酸性侵入岩、基性杂岩等构成,盖层由角度不整合于基底之上的上震旦统一寒武统浅海相碳酸盐岩-碎屑岩系构成。赋矿层位为震旦系灯影组,赋矿岩石主要为角砾状白云岩,矿体呈层状、似层状产出,矿体与上下盘岩层基本整合。矿体局部有分枝复合及膨大狭缩,膨大处往往形成矿囊。矿石组成简单,金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿,脉石矿物以白云石、重晶石、方解石、石英为主,次有沥青质、萤石等。矿石中硫化物矿物以不规则晶质粒状结构、角砾状构造为主。围岩蚀变较弱,具有中低温充填成矿特点。

马元铅锌矿为典型的 MVT 型矿床。矿化层沿上震旦统灯影组上段分布,矿层上盘为条带状白云岩,下盘为层纹状藻屑白云岩,而矿体出现在厚层状角砾白云岩中,矿液充填过程中基本对围岩的角砾无明显热蚀变,普遍发育有机质、沥青,矿石结构中可观察到“雪顶”特征。成矿构造可划分为 4 个阶段:深水静压裂张阶段、破裂阶段、位移阶段、垮塌堆积阶段(图 8)。

该区铅锌矿产于扬子板块北缘的上震旦统灯影组角砾状、裂隙状白云岩(断裂构造带)中,铅锌矿物呈胶结物充填于白云岩角砾和裂隙中。矿化严格受灯影组地层层位、岩性和层间滑脱构造破碎带控制。在震旦纪灯影期,深部基底中的铅锌等成矿物质沿断裂、裂隙经水循环带入海水,并在震旦纪沉积过程中与碳酸盐沉积物一起沉积、成岩,形成成矿(化)

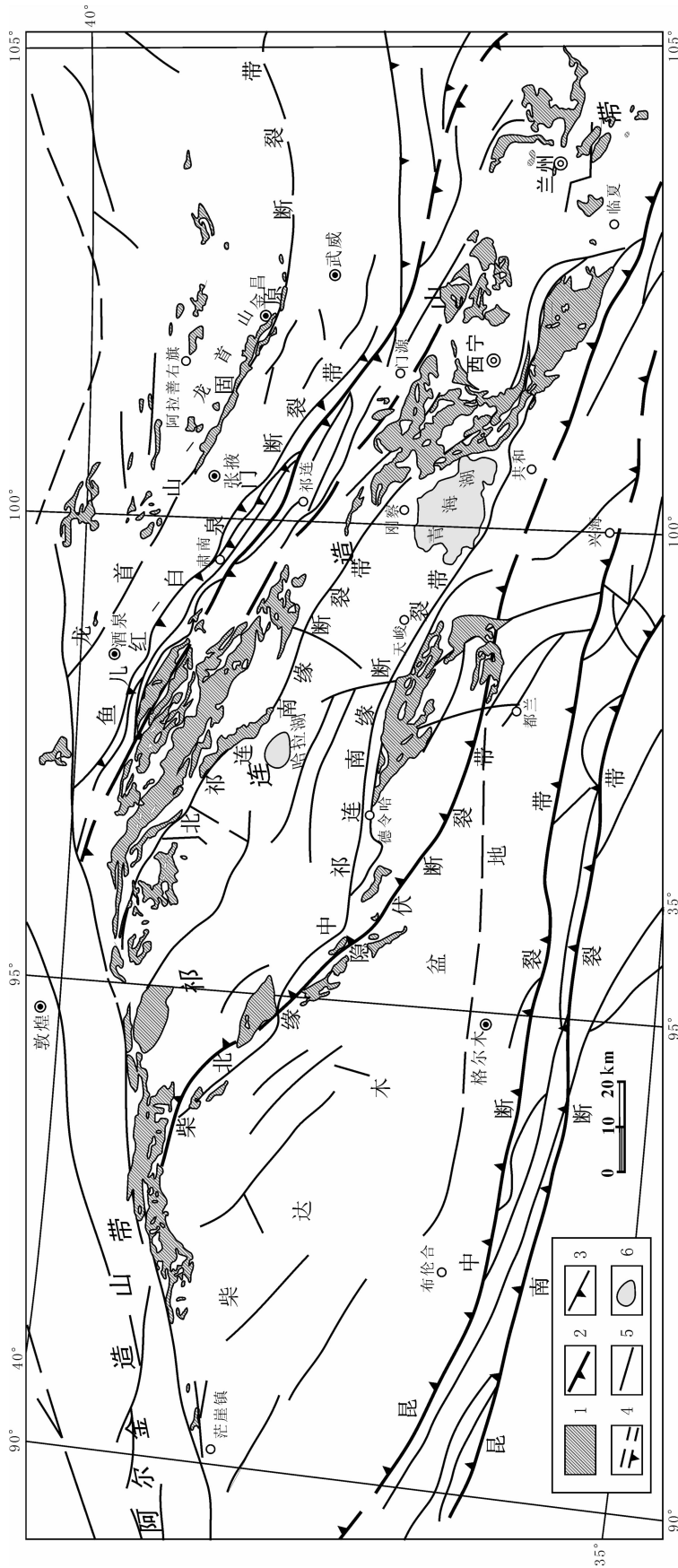


图 7 祁连—龙首山元古宙金川型铜镍矿找矿潜力分布图

1—铜镍找矿潜力分布区; 2—区域构造断层; 3—二级断层; 4—推断层; 5—断层; 6—湖泊

Fig.7 Distribution of prospecting potential areas of Proterozoic Jinchuan-type Ni-Cu deposits, Qilian-Longshou Mountains

1-Ni-Cu prospecting potential area; 2-Regional structure fault; 3-Inferred fault; 4-Secondary fault; 5-Fault; 6-Lake

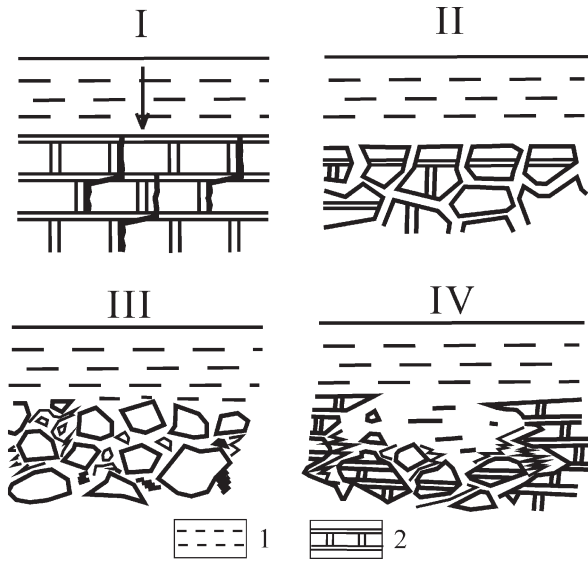


图8 马元 MVT 型铅锌矿矿区成矿构造特征示意图
1—热液流体; 2—白云岩; I—深水静压裂张阶段; II—破裂阶段;
III—位移阶段; IV—垮塌堆积阶段

Fig.8 Graphic expression of metallogenic conformation of the Mayuan MVT Zn-Pb deposit

1-Hydrothermal fluid; 2-Dolomite; I-Hydraulic stage;
II-Cracking stage; III-Mosaic stage; IV-Collapse stage

层;晚震旦世—奥陶纪(加里东期)的基底隆起等构造运动在灯影组白云岩中形成断裂、裂隙容矿空间,并使初始形成的铅锌等矿质活化进入构造热液迁移,与其中富集。

李厚民等(2007)^[40]利用闪锌矿的 Rb-Sr 等时线法获得的成矿年龄为(486±12)Ma,即成矿作用可能发生于早奥陶世。结合本区的大地构造演化背景,自震旦系灯影组沉积之后,主要经历了加里东期至海西期升降运动以及印支期的全面的褶皱造山运动。发生于早奥陶世的成矿作用,可能与加里东期南、北大陆开始俯冲汇聚作用导致的扬子板块北缘前沿不均匀隆升作用有关。大巴山地区发生了早古生代期间最早也是最强烈的一次隆升作用,即早寒武世末或中寒武世初至早奥陶世早、中期甚至中奥陶世。此次隆升作用在碑坝地区较周围地区相对隆升时间最长。因此,很可能是这次隆升活动导致了碑坝古陆边缘震旦系上统灯影组角砾岩的形成并伴随了成矿作用的发生。

马元铅锌矿代表了扬子地块北缘晚震旦世稳定的碳酸盐台地环境,垮塌堆积的角砾岩为成矿物质的聚集提供了有利条件。晚震旦世—奥陶纪是最重

要的改造、叠加成矿的构造活动期^[41]。

4 结 论

(1)秦祁昆造山带是中国南北大陆最为重要的镶嵌部位,表现为局部紧束和部分散开的特征。东段的秦岭造山带,中段的祁连、东昆仑、阿尔金造山带以及西段的西昆仑造山带存在不同的构造演化历史,形成了不同的成矿类型。印支期以后在陆内构造环境下,才连为一体,形成了贯穿东西的构造山脉。

(2)西昆仑塔什库尔干地区磁铁矿是一个重要的成“铁”事件。祁漫塔格地区作为阿尔金、东昆仑、柴达木地块西端的构造结,多期的构造转换过程导致了多期次、多成因的成矿过程。金川成矿作用是祁连山元古宙大火成岩省事件(或大规模岩浆事件),早于金川岩体的前寒武纪地质体中都可能具有侵入金川同期含矿侵入体的残存。马元及其周缘 MVT 型铅锌矿床的形成反映扬子陆块北缘及南秦岭新元古代的构造演化及后期的重要构造事件。

(3)从重要成矿事件的视角探讨秦祁昆造山带东、中、西三段的构造演化,具有重要的地质意义,进而促进秦祁昆造山带重要部位的找矿工作。

参考文献(References):

- [1] 姜春发. 中央造山带主要地质构造特征[J]. 地质研究, 1993, (27): 107-108.
Jiang Chunfa. The major geological and structural characters of Central Orogenic Belt[J]. Geology Research, 1993, (27):107-108(in Chinese).
- [2] 姜春发. 中央造山带金矿远景评估及找矿设想[J]. 黄金地质科技, 1994, 2:61-62.
Jiang Chunfa. The prospective evaluation and prospecting suggestion of gold deposit in the Central Orogenic Belt [J]. Geological Technology of Gold, 1994, 2:61-62(in Chinese).
- [3] 姜春发, 王宗起, 李锦轶, 等. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, et al. The Opening-Closing Tectonics of the Central Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000(in Chinese).
- [4] 边千韬, 赵大升, 叶正仁, 等. 初论昆祁秦缝合系 [J]. 地球学报, 2002, 23(6):501-508.
Bian Qiantao, Zhao Dasheng, Ye Zhengren, et al. A preliminary study of the Kunlun-Qilian-Qinling suture system [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(6):501-508 (in Chinese with English abstract).
- [5] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 中央造山带早古生代地体构造与高压/超高压变质带的形成[J]. 地质学报, 2006, 80(12):1794-1806.

- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, et al. The early terrene framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic belt at the central orogenic belt (COB) [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2006, 80 (12):1794-1806(in Chinese with English abstract).
- [6] 张旗, 周国庆, 王焰. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境[J]. *岩石学报*, 2003, 19(1):1-8.
Zhang Qi, Zhou Guoqing, Wang Yan. The distributions and ages and forming environments of ophiolites in China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [7] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. *中国地质*, 2009, 36(1):1-28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):1-28(in Chinese with English abstract).
- [8] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1998, 23(5):438-442.
Yin Hongfu, Zhang Kexin. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23 (5):438-442 (in Chinese with English abstract).
- [9] 葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 对中国大陆构造格架的讨论 [J]. *中国地质*, 2009, 36(5):949-965.
Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, et al. A discussion on the tectonic framework of Chinese mainland [J]. *Geology in China*, 2009, 36(5):949-965(in Chinese with English abstract).
- [10] 张国伟, 柳小明. 关于“中央造山带”几个问题的思考[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1998, 23(5):443-448.
Zhang Guowei, Liu Xiaoming. Some remarks on China central orogenic system [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23 (5):443-448 (in Chinese with English abstract).
- [11] 姜春发. 中央造山带几个重要地质问题及其研究进展[J]. *地质通报*, 2002, 21(8/9):453-455.
Jiang Chunfa. Several important geological problems about the Central Orogenic Belt and progress in its research [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8/9):453-455(in Chinese with English abstract).
- [12] 孙延贵, 田琪. 秦、祁、昆三大造山带的结合特征[J]. *青海地质*, 2001, 16(1):16-20.
Sun Yangui, Tian Qi. Features of junction of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts[J]. *Geology of Qinghai*, 2001, 16(1):16-20 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陆松年, 于海峰, 金巍, 等. 塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(4):317-326.
Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, et al. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(4):317-326(in Chinese with English abstract).
- [14] Li Z X, Svetlana V, Bogdanova, et al. Assembly, configuration, and breakup history of Rodinia: a synthesis [J]. *Precambrian Research*, 2008, 160(1/2):179-210.
- [15] 万天丰, 朱鸿. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆在造中的位置与运动学特征[J]. *现代地质*, 2007, 21(1): 1-13.
Wan Tianfeng, Zhu Hong. Position and kinematics of Chinese continental block in reconstruction of global Paleo-continents for Paleozoic and Triassic[J]. *Geosciences*, 2007, 21(1):1-13(in Chinese with English abstract).
- [16] 西安地质矿产研究所, 编. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
Xi'an institute of Geology and Mineral Resources. The Prospecting Potential of Mineral Resources in Northwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006 (in Chinese).
- [17] 程裕淇, 主编. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
Cheng Yuqi, et al. Outline to the Regional Geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [18] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 塔里木与扬子新元古代热—构造事件特征、序列和时代—扬子与塔里木连接(YZ-TAR)假设[J]. *地学前缘*, 2003, 10(4):321-326.
Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong. Characteristics, sequence and ages of Neoproterozoic thermo-tectonic events between Tarim and Yangzi blocks—A hypothesis of Yangzi-Tarim connection [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10 (4):321-326(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘育燕, 杨巍然, 森永速男, 等. 华北、秦岭及扬子陆块的若干古地磁研究结果 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1993, 18(5):636-641.
Liu Yuyan, Yang Weiran, Morinaga Hayao, et al. Some paleomagnetic results on North China, Qinling and Yangtze block [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1993, 18(5): 636-641(in Chinese with English abstract).
- [20] 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. “中央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述[J]. *地质通报*, 2006, 25(12):1369-1380.
Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, et al. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the “Central China Orogen” [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12):1369-1380(in Chinese with English abstract).
- [21] 邓万明. 喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1995, 11(增刊):98-111.
Deng Wanming. Geological features of ophiolite and tectonic significance in the Karakorum-West Kunlun Mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11 (Sup.):98-111 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张传林, 于海峰, 沈家林, 等. 西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄: 库地蛇绿岩的解体[J]. *地质评论*, 2004, 50(6): 639-640.
Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Shen Jialin. Zircon SHRIMP age determination of the Giant-crystal gabbro and basalt in Küda, West Kunlun: Dismembering of the Küda ophiolite [J]. 2004, 50(6): 639-640(in Chinese with English abstract).
- [23] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼

- 蛇绿岩:一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 2004, 31(3):225-239.
- Yang Jingsui, Wang Xibin, Shi Rendeng, et al. The Dur'ngoi ophiolite in East Kunlun, northern Qinghai-Tibet Plateau: a fragment of paleo-Tethyan oceanic crust [J]. *Geology in China*, 2004, 31(3):225-239(in Chinese with English abstract).
- [24] 王靖华, 张复新, 于在平, 等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J]. 中国地质, 2002, 29(2):192-196.
- Wang Jinghua, Zhang Fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. *Geology in China*, 2002, 29(2):192-196 (in Chinese with English abstract).
- [25] 涂光炽. 初议中亚成矿域[J]. 地质科学, 1999, 34(4):397-404.
- Tu Guangzhi. On the central Asia metallogenic province [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 34(4):397-404 (in Chinese with English abstract).
- [26] 朱永峰, 何国琦, 安芳. 中亚成矿域核心地区地质演化与成矿规律[J]. 地质通报, 2007, 26(9):1167-1177.
- Zhu Yongfeng, He Guoqi, An Fang. Geological evolution and metallogeny in the core part of the Central Asian metallogenic domain [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(9):1167-1177 (in Chinese with English abstract).
- [27] 朱永峰. 中亚成矿域地质矿产研究的若干重要问题 [J]. 岩石学报, 2009, 25(6):1297-1302.
- Zhu Yongfeng. Some important issues for the studies on the Central Asian metallogeny domain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(6):1297-1302 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁造山带重要成矿事件及其构造演化响应 [C]//陈毓川, 薛春纪, 张长青. 主攻深部 挺进西部 放眼世界—第九届全国矿床会议论文集. 北京:地质出版社, 2008:15-16.
- Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, et al., The important mineralization events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts [C]//Chen Yuchuan, Xue Chunji, Zhang Changqing. Endeavoring Deep Marching West Scanning World—Symposium of the Ninth Mineral Deposit Conference in China. Beijing: Geological Publishing House, 2008:15-16 (in Chinese with English abstract).
- [29] 肖序常, 王军. 西昆仑—喀喇昆仑及其邻区岩石圈结构、演化中几个问题的探讨[J]. 地质论评, 2004, 50(3):285-294.
- Xiao Xuchang, Wang Jun. Discussion on the lithospheric structure and evolution of the West Kunlun Mountains—Karakorum Mountains and their adjacent areas [J]. *Geological Review*, 2004, 50(3):285-294(in Chinese with English abstract).
- [30] 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化[J]. 地质科学, 1990, (3):224-232.
- Pan Yusheng. Tectonic features and evolution of the western Kunlun Mountain region [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1990, (3):224-232(in Chinese with English abstract).
- [31] Robb L J. Introduction to Ore-forming Processes [M]. Blackwell Publishing, 2008:1-373.
- [32] Rye R, Holland H D. Paleosols and the evolution of the atmosphere:a critical review[J]. *American Journal of Science*, 1998, 49: 621-672.
- [33] 李文渊. 祁漫塔格找矿远景区地质组成及勘查潜力 [J]. 西北地质, 2010, 43(4):1-9.
- Li Wenyuan. The geological composition and metallogenetic prospect in the Qimantage prospective region, East Kunlun [J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43(4):1-9(in Chinese with English abstract).
- [34] 马中平, 孙吉明, 李向民, 等. 阿尔金山南缘长沙沟镁铁-超镁铁质层状杂岩体的发现与地质意义—岩石学和地球化学初步研究 [J]. 岩石学报, 2009, 25(4):793-804.
- Ma Zhongping, Sun Jiming, Li Xiangmin, et al. Discovery of layered mafic-ultramafic intrusion in Changshagou, Altyn Tagh, and its geological implication: a pilot study on its petrological and geochemical characteristics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(4):793-1804 (in Chinese with English abstract).
- [35] 高永宝, 李文渊, 谭文娟. 祁漫塔格地区成矿地质特征及找矿潜力分析[J]. 西北地质, 2010, 43(4):35-43.
- Gao Yongbao, Li Wenyuan, Tan Wenjuan. Metallogenic characteristics and analysis of the prospecting potential in the area of Qimantage [J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43 (4):35-43 (in Chinese with English abstract).
- [36] 王松, 丰成友, 李世金, 等. 青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 2009, 36(1):74-84.
- Wang Song, Feng Chengyou, Li Shijin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and its geological implications [J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):74-84(in Chinese with English abstract).
- [37] 汤中立, 闫海卿, 焦建刚, 等. 中国岩浆硫化物矿床新分类与小岩体成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(1):1-9.
- Tang Zhongli, Yan Haiqing, Jiao Jiangang, et al. New classification of magmatic sulfide deposits in China and ore-forming process of small intrusive bodies [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25 (1):1-9(in Chinese with English abstract).
- [38] 汤中立, 李文渊. 金川硫化铜镍(含铂)矿床成矿模式及地质对比 [M]. 北京:地质出版社, 1995.
- Tang Zhongli, Li Wenyuan. The Metallogenic Model and Geological Vorrelation of Jinchuan Sulfide Cu-Ni Containing Pt Deposit [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [39] 李文渊. 北祁连山陆-陆碰撞的远程成矿效应—龙首山地区深成矿体定位及构造热液改造 [C]//邓乃恭, 雷伟志. 大陆构造及陆内变形暨第六届全国地质力学学术讨论会论文集. 北京:地震出版社, 1999:166-169.
- Li Wenyuan. The remote mineralization effect of continent-continent collision in North Qilian mountain—the location of deep ore bodies and structural hydrothermal transformation in

- Longshoushan area [C]//Deng Naigong, Lei Weizhi. The Continental Tectonics and Intra-Continental Deformation also Symposium of the Sixth Geomechanics Conference in China. Beijing: Seismological Press, 1999: 166-169(in Chinese).
- [40] 李厚民, 陈毓川, 王登红, 等. 陕西南郑地区马元锌矿的地球化学特征及成矿时代[J]. 地质通报, 2007, 26 (5):546-552.
- Li Houming, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. Geochemistry and mineralization age of the Mayuan zinc deposit, Nanzheng, southern Shaanxi, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (5) :546-552(in Chinese with English abstract).
- [41] 芮宗瑶, 叶锦华, 张立生, 等. 扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿床[J]. 中国地质, 2004, 31(4):337-346.
- Rui Zongyao, Ye Jinhua, Zhang Lisheng, et al., Pb-Zn deposits on the perimeter of the Yangtze craton and on the margins of its uplifts[J]. Geology in China, 2004, 31(4):337-346(in Chinese with English abstract).

Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts

LI Wen-yuan¹, ZHANG Zhao-wei^{2,1}, GAO Yong-bao^{1,2},
TAN Wen-juan¹, JIANG Han-bing¹, GUO Zhou-ping¹

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts were formed by the superimposition of Paleo-Asian and Tethys structural domains, which had played an important role in the formation of China's continent during Phanerozoic. The tectonic evolution is complex, and mineralization has diverse characteristics. The significant metallogenic periods are Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic, with the important ore-forming events occurring in Proterozoic. Based on studies of the ore-forming events of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts in relation to their structural environments, the authors have found that the main metallogenic events correspond to specific structural responses. Accordingly, the paleo-Proterozoic Bulunkou magnetite deposit in West Kunlun might have been an important iron formation event. The Qimantage ore concentrated area located along the convergence zone between Altun and East Kunlun tectonic belts is a main tectonic syntaxis. Newly discovered ore deposits were produced by the structure transition and multi-stage functions. The Jinchuan giant Ni-Cu deposit in the Longshoushan Mountain adjacent to the Northern Qilian Mountain is a product of magma upwelling of mantle-derived material in Proterozoic. The Mayuan Pb-Zn deposit is a relatively typical MVT deposit consistent with the structural evolution of the Qinling orogenic belt.

Key words: Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts; structural evolution; tectonic syntaxis; metallogenic event; structural response

About the first author: LI Wen-yuan, male, born in 1962, senior researcher, doctor, engages in the study of magmatic ore deposit and regional mineralization; E-mail: xalwenyuan@126.com.