

编号: 0258-7106(2011)02-0197-10

# 甲玛与世界级铜矿的初步对比及下一步找矿工作建议\*

王登红<sup>1</sup>, 唐菊兴<sup>1</sup>, 应立娟<sup>1</sup>, 芮宗瑶<sup>1</sup>, 郑文宝<sup>2</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 成都理工大学, 四川 成都 610059)

**摘 要** 西藏甲玛铜多金属矿床随着勘探工作的深入取得重大成果, 已成为冈底斯斑岩铜矿带内最重要的大型矿床之一。通过对世界级铜矿含义的解析, 与北美、南美、环太平洋西南部及其他主要产区的世界级铜矿进行对比, 认为甲玛铜多金属矿床以矽卡岩型、斑岩型和角岩型三位一体、形成于晚第三纪青藏高原隆升阶段为显著特点, 具有成为世界级铜、金、银、钼多金属矿床的潜力。在下一步的勘查过程中, 需要进一步加强对矽卡岩型铜矿石成矿机制的研究和勘探, 加强隐伏岩体含矿性的研究与评价, 加强铜、金、银、钼多种金属物质大规模聚集的成矿机制的研究, 并需要打破“热液矿床大不了”的潜意识, 建立起新的资源评价体系。

**关键词** 地质学; 世界级铜矿; 甲玛; 北美; 南美; 环太平洋; 冈底斯

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

## A preliminary comparison between Jiama and worldclass copper deposits and an analysis of the prospecting potential

WANG DengHong<sup>1</sup>, TANG JuXing<sup>1</sup>, YING LiJuan<sup>1</sup>, RUI ZongYao<sup>1</sup> and ZHENG WenBao<sup>2</sup>

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

### Abstract

The Jiama copper polymetallic deposit in Tibet has expanded its resources successfully through recent exploration and thus become one of the most significant large-size porphyry copper deposits in Gangdese. Based on an analysis of the definition of worldclass copper deposit and a comparison with worldclass copper deposits in North America, South America, southwest Circum-Pacific region and other areas, the authors hold that the Jiama copper polymetallic deposit has the potential of a worldclass copper, gold, silver, molybdenum polymetallic deposit in that it is characterized by three ore types (skarn, porphyry and hornfels) in one deposit which were formed at the uplifting stage of Qinghai-Tibet Plateau in Late Tertiary. In the future exploration, three aspects are worthy of especial attention: research and exploration of metallogenic mechanism of the skarn type copper ore; research and assessment of ore-bearing potential of buried rock bodies; research on metallogenic mechanism of large-scale concentration of copper, gold, silver, molybdenum and other metals. The subconscious of “no large-size hydrothermal ore deposit is existent” must be broken and a new assessment system for mineral resources should be established.

**Key words:** geology, worldclass copper deposit, Jiama, North America, South America, Circum-Pacific, Gangdese

\* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号: K0911) 中国地质大调查项目(编号: 1212010633903, 1212010535804) 中央公益性行业科研专项课题(编号: 200911007-02) 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(编号: 2011CB403103) 中金集团重点勘探项目(编号: E0804)的联合资助

第一作者简介 王登红, 男, 1967 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究。Email: wangdenghong@sina.com

收稿日期 2010-11-24; 改回日期 2010-12-31。许德煊编辑。

随着地质找矿工作的深入,中国近年来在铜矿勘查方面取得的成果有目共睹。尽管如此,随着国民经济的快速发展,中国仍然是铜的进口大国。寻找更多、更大、更好的铜矿,依然是中国地质工作者当前面临的艰巨任务。

位于青藏高原的甲玛铜多金属矿床就是近年来取得重要进展的大型铜矿之一。从 2008 年初的铅锌资源量 108 万吨,到 2010 年 10 月初的铜当量数百万吨,可谓是中国铜矿勘探史上的奇迹。那么,甲玛是否具备世界级铜矿的可能性呢? 本文将甲玛矿床与世界上几个重要的铜矿进行了对比,结合铜矿成矿理论方面的新认识,对这一问题进行了初步探讨,为下一步的勘查工作提供一些依据。

## 1 甲玛铜多金属矿床的类型

对自然界的客观事物进行分类,是自然科学工作的最高层次之一,只有全面认识了所研究的客观事物的各个方面才有可能对其实现科学的分类。矿床分类也是如此,不同的专家和部门从不同的角度,对同一类事物(矿床)提出了不同的分类方案。比如,仅就铜矿而言,从事采选冶的工业部门早在 50 多年前就提出了较为成熟的铜矿床工业类型;从事成矿理论研究的专家侧重于矿床的成因类型;从事大地构造研究的专家自板块构造学说兴起之后又提出了矿床的大地构造环境分类(Sillitoe, 1972);从事区域成矿规律研究的专家也提出了成矿系列的划分方案(成矿系列也是矿床的一种自然分类,陈毓川等,2007);近年来,由于地质找矿工作的需要,从事成矿预测的专家又从新的角度提出了铜矿床的预测类型划分方案(陈毓川等,2010)。那么,甲玛矿床究竟属于哪种类型呢? 从成因的角度,它无疑属于热液型矿床的大类;从成矿系列的角度,它属于青藏高原核心部位冈底斯成矿带与新生代中酸性岩浆活动有关的铜多金属成矿系列(王登红等,2005);从采矿、选矿和冶炼的角度,对甲玛矿床的类型归属则出现了不同的看法,即究竟是矽卡岩型,还是斑岩型或者是角岩型,或者是“矽卡岩-斑岩-角岩”三位一体型(王登红等,2010)? 对于这一工业类型的准确定位,将对今后勘查工作的部署起到决定性的影响:即如果是矽卡岩型为主,则以接触带为主要的勘查方向;以角岩型为主,则以外接触带为主要勘查方向;以斑岩型为主,则以内接触带(岩体)为主要勘查方向。

而从甲玛矿床目前已控制的矿化格局来看,无论是角岩、矽卡岩还是斑岩,都是不可忽视的,各类矿石所蕴藏的资源量都是巨大的(唐菊兴等,2010)。矽卡岩和角岩毫无疑问已经通过钻探有了初步的控制,斑岩体或者隐伏岩体在 2010 年施工的钻孔中也已经揭露,只是由于埋藏较深,目前还不能控制其空间分布范围,但中酸性岩体的存在则是毫无疑问的。比如,ZK813 钻孔在大约 582 m 以下的深度,不但见到了斑岩体,而且见到了斑岩本身被网脉状石榴子石等矽卡岩矿物交代的现象(图 1),即形成了内矽卡岩带。更有意义的是,在这样的深度,岩体中仍然存在张性裂隙,裂隙中充填有辉钼矿石英脉(图 2),说明在岩体之后仍然有成矿作用发生,甚至在深部还存在更晚的岩浆活动,也就是说,岩体之下还有与成



图 1 甲玛矿区 ZK813 钻孔中斑岩的矽卡岩化现象

Fig. 1 Skarnization in porphyry from ZK813 drill hole



图 2 甲玛矿区 ZK813 钻孔内斑岩中的含钼石英脉

Fig. 2 Mo-bearing quartz vein in porphyry from ZK813 drill hole in the Jiama ore district

矿作用有关的隐伏岩体。

总而言之,甲玛矿床在成因上属于岩浆热液型铜矿的大范畴;在构造上与青藏高原的隆升演化历史密不可分;在工业上属于多类型组合;从预测的角度可以建立一个独立的“甲玛式”铜多金属矿产资源预测类型(陈毓川等,2010),对应于成矿系列中的“甲玛式”矿床式(王登红等,2005)。所谓的“甲玛式”铜多金属矿床,就是指产于冈底斯成矿带,与新生代酸性岩浆活动密切相关,矽卡岩、角岩和斑岩型矿石三位一体的铜多金属矿床类型。就目前的研究程度而言,甲玛式铜多金属矿床与驱龙式铜多金属矿床属于同一个矿床成矿系列,但可作为两个矿床式,其主要区别在于,驱龙式以斑岩型矿石为主,甲玛式则以矽卡岩型矿石为主,但并不排除在驱龙地区存在矽卡岩型和角岩型矿石,也不排除在甲玛矿区存在可与驱龙相比肩的斑岩型矿石资源量的可能性。

## 2 世界级铜矿的含义

既然甲玛式铜多金属矿床属于热液型矿床,在一般人的印象中,热液型矿床似乎“长不大”。那么,有必要将甲玛矿床与世界上一些重要铜矿床进行一下对比。首先要探讨一个概念,什么是世界级铜矿?迄今,尚无人对此下一个大家都能接受的法定性定义。Laznicka(1999)、裴荣富等(1998)把千万吨级以上的铜矿归属于世界最大铜矿之列。陈毓川等(1994)、涂光炽(2000)把金属储量超过大型矿床储量下限数倍至数十倍的巨大规模矿床,称为超大型矿床,并且把中国大型矿床储量下限的5倍作为超大型矿床的储量下限。

本文认为,可以从不同的角度对世界级铜矿下不同的定义,如,从资源量的角度(资源量大者不一定品位高)、从目前产量的角度(产量最大者不一定资源量也最大)、从全球构造背景的角度、从成矿理论研究重要性的角度等等,都可以给出不同的界定,但一般要综合考虑各种因素,其中,资源量无疑是最重要的一个指标。考虑到目前对世界级铜矿并无明确的概念性界定和量化指标,为讨论方便,本文取探明铜资源量千万吨以上者来讨论。严格来说,资源

量稍不足千万吨,但其他因素特别重要者亦可归入世界级铜矿的行列。比如,俄罗斯的诺里尔斯克矿床,虽然其铜金属储量不到千万吨(912万吨,转引自施俊法等,2006),但毫无疑问是一个世界级铜镍矿。就矽卡岩型铜矿床而言,世界上也很少有超过200万吨金属量者,因此,完全可以把500万吨储量尺度的矽卡岩型铜矿也纳入世界级铜矿之列。表1为世界上最重要的500万吨以上铜矿的品位/吨位资料。由表1可见,这些铜矿在成因上属于不同类型,在成矿背景上分布于全球不同的构造背景,具有一定的代表性。已知的这些世界级铜矿,主要分布在环太平洋成矿域,而同样属于以新生代成矿为特色的特提斯-喜马拉雅成矿域则罕见世界级铜矿,仅有伊朗的Sar Cheshmeh和巴基斯坦的Reko Diq。伊朗的Sar Cheshmeh斑岩铜矿的成矿时代与甲玛铜矿相似,均属于中新世,且矿石矿物也以黄铜矿和辉钼矿为主,与石英脉关系密切(Hezarkhani,2006)。

因此,冈底斯成矿带中驱龙、甲玛等铜矿的发现无疑是弥补了青藏高原内的空缺,对于重新认识世界铜矿的分布格局具有重要意义。从这一角度看,驱龙和甲玛矿床无疑具有世界级铜矿的战略地位。

## 3 甲玛矿床与北美世界级铜多金属矿床的对比

北美的世界级铜矿主要集中在美国西南部(包括宾厄姆、比尤特、莫伦锡、萨福德、圣马纽埃-卡拉马祖、圣塔里塔、雷伊、特温比尤特斯、迈阿密和卡塞格伦德等),邻近巴拿马的塞罗科罗拉多和墨西哥的卡纳内阿也都是千万吨级的世界级铜矿。这些矿床以斑岩型为主,也常见矽卡岩型(如亚利桑那州的比尤特、莱克肖(Lakeshore)、萨福德地区(Safford district)等),并且常常是出现多种金属元素组合,金、银、铅锌等的储量也相当大,如比尤特的Ag金属量是4 211 t,莫伦锡的Ag金属量是2 000 t,席尔维塔(Helvetia)的Ag金属量是2 826 t<sup>①</sup>。钼是常见元素,一般不超过5万吨,但可以形成独立的世界级斑岩钼矿(如Climax)。金也常见,一般也不超过10 t,但在铜多金属矿集区北部的卡林地区形成了以金为主的世界级金矿集区(王登红,2000)。

北美西南部的世界级铜矿主要形成于拉拉米

王登红. 2001. 铜矿的勘查与评价——兼论西部找铜的思路. 见:中国地质调查局主编. 矿产资源调查评价理论与方法技术. 77-85. 内部出版物.

表 1 世界上铜金属量超过 500 万吨的铜矿简表<sup>①</sup>  
Table 1 Worldwild copper deposits with metal over 5 million tons

国家	矿床	类型	储量/万吨	品位/%	时代	备注
智利	Chuquicamata	斑岩型	6935	0.56	早第三纪	
智利	El teniente	斑岩型	6776	0.68	晚第三纪	
扎伊尔	Kolwezi	砂页岩型	3500	4.5	晚元古代	
澳大利亚	Olympic dam	铜铀金型	3200	1.6	中元古代	
智利	La Escondida	斑岩型	2880	1.60	第三纪	1177/2.16
印度尼西亚	Grasberg	斑岩-矽卡岩	2761	1.1	第三纪	1995 年扩大
智利	Los Pelambres	斑岩型	2700	0.9		1994 年后扩大
智利	Collahuasi	斑岩型	2480	1.0	第三纪	20 世纪 90 年代
德国	Mansfeld	砂页岩型	2200	>1.0	二叠纪	
美国	Bingham	斑岩型	>2121	0.9	晚第三纪	
智利	Ujina	斑岩型	2000	1		1991 年后扩大
美国	Duluth	铜镍硫化物	2000	0.5	元古代	
美国	Butte	斑岩型	1800	0.8	晚白垩世	
巴拿马	Cerro Colorado	斑岩型	1800	1.5	晚第三纪	
俄罗斯	Udokan	砂页岩型	1800	1.5	早元古代	
智利	RadomiroTomic	斑岩型	1571	0.69		20 世纪 90 年代
智利	Chuqui Norte	斑岩型	1571	0.69	早第三纪	20 世纪 90 年代扩大
赞比亚	Nchanga	砂页岩型	1550	4.11	元古代	
波兰	Lubin	砂页岩型	1500	2.0	二叠纪	
蒙古	Oyu Tolgoi	斑岩型	1495	1.02~1.3	古生代	有增加
伊朗	Sar Chesmeh	斑岩型	1440	1.2	新生代	
墨西哥	波兰奥	沉积型	1360	4.81		
墨西哥	Cananea	斑岩型	1340	0.7	早第三纪	
美国	Morenci	斑岩型	1300	1.0	早第三纪	
蒙古	Erdenet	斑岩型	1300	0.68~0.89	二叠纪	有增加
赞比亚	Konkola	砂页岩型	1292	3.8	元古代	
菲律宾	Tampakan	斑岩型	1200	0.48	第三纪—第四纪	1991 年发现
智利	Mansa Mina	斑岩型	1170	1.3	第三纪	1990 年
乌兹别克斯坦	Kalmakyr	斑岩型	1125	0.45	石炭纪	1925 年发现
阿富汗	Akinak	砂页岩型	1100	2.0	晚元古代	1973 年发现
西班牙	Rio Tinto	黄铁矿型	1020	0.7	早石炭世	
加拿大	Sudbury	铜镍硫化物	1000	0.8~1.9	元古代	
蒙古	Erdenityin Obo	斑岩型	1000	0.3~1.5	二叠纪	
美国	Belt	砂页岩型	500~1000	0.5~1.0	元古代	
赞比亚	Mufulira	砂页岩型	980	3.47	元古代	
巴西	Salobo 3A	砂页岩型	966	0.85	早元古代	
中国	德兴矿田	斑岩型	961	0.46	侏罗纪	
俄罗斯	Noril'sk-Talnakh	铜镍硫化物	912	4.1	二叠纪	
加拿大	Highland Valley	斑岩型	900	0.45	三叠纪	
赞比亚	Baluba	砂页岩型	896	2.8	元古代	
赞比亚	Nkana	砂页岩型	877	2.81	元古代	
智利	El Salvador	斑岩型	860	1.13	晚白垩世—早第三纪	600/1.5
智利	El Abra	斑岩型	807	0.59	第三纪	
阿根廷	Bajodela Alumbrera	斑岩型	800	0.51		20 世纪 90 扩大
智利	Disputada	斑岩型	800	1.0	早第三纪	
美国	Safford	斑岩型	800	0.4	第三纪	
秘鲁	Antamina	矽卡岩型	793	1.61		20 世纪 90 年代
秘鲁	La Granja	斑岩型	793	0.61		1994 年后扩大
哈萨克斯坦	Kounrad	斑岩型	>790	0.9	早石炭世	1928 年发现
秘鲁	Cerro Verde	斑岩型	782	0.8	早第三纪	

① 王登红,余金杰. 2002. 斑岩铜矿的勘查与评价. 见:中国地质调查局编. 国内外斑岩型铜矿研究进展. 209-215. 内部出版物.



续表 1  
cont. Table 1

国家	矿床	类型	储量/万吨	品位/%	时代	备注
美国	White Pine	砂页岩型	780	1.2	晚元古代	
秘鲁	Topquepala	斑岩型	760	0.95	早第三纪	
巴拿马	佩塔基亚	斑岩型	715	0.49		20 世纪 90 年代扩大
美国	San Manuel-Kalamazoo	斑岩型	708	0.75	晚白垩-世	
哈萨克斯坦	Dzhezkazgan 矿田	砂页岩型	676	1.54	石炭纪	1908 年发现
秘鲁	Cuajone	斑岩型	664	0.73	早第三纪	20 世纪 90 年代
印度	Malanjhand	斑岩型	655	0.83	中元古代	
印度尼西亚	Kucing Liar	矽卡岩型	653.7	1.31	新生代	1996 年发现
中国	西藏玉龙	斑岩-矽卡岩型	650	0.94	第三纪	
巴基斯坦	Reko Diq	斑岩型	648	0.5	第三纪	1997 年发现
美国	Santa Rita	斑岩型	630	0.78	早第三纪	
美国	Ray	斑岩型	630	0.79	早第三纪	
哥伦比亚	Pantanos	斑岩型	625	1.0	早第三纪	
阿根廷	Agua Rica	斑岩型	615	0.51		20 世纪 90 年代
智利	埃尔塞耳瓦多	斑岩型	600	1.5~1.6		
秘鲁	Cuajone	斑岩型	600	1		
菲律宾	Atlas Biga	斑岩型	593	0.45	拉拉米期	
美国	Twin Buttes	斑岩型	590	0.7	早第三纪	
哈萨克斯坦	Aktogoy	斑岩型	588	0.385	石炭纪	1974 年发现
智利	Zaldivar	斑岩型	570	0.57	第三纪	20 世纪 90 年代扩大
墨西哥	La Caridad	斑岩型	560	0.7	早第三纪	
澳大利亚	Mount Isa	砂页岩型	550	3.0	早元古代	
美国	梅扎马	斑岩型	536	0.36		
美国	Miami	斑岩型	530	0.9	晚白垩世—早第三纪	
南斯拉夫	Maidan Pek	斑岩型	510	0.8	早第三纪	
加拿大	Windy Craggy	黄铁矿型	507	1.52	三叠纪	
印度尼西亚	Batu Hijau	斑岩型	500	0.8	第三纪	1987 年发现
智利	Andina	斑岩型	500	1.25	早第三纪	
美国	Casa Grande	斑岩型	500	1.0	第三纪	
扎伊尔	Kipushi	砂页岩型	500	2.5	元古代	

注：部分矿床据施俊法等(2006)，并补充了其他新资料。应注意的是，同一矿床由于统计方法和年份的不同，其品位、吨位资料可能与上表所列有所不同。

期，相当于燕山晚期—喜马拉雅早期，同位素年龄为 73~53 Ma( Clark, 1993; Laznicka, 1999 )，明显早于同一地区斑岩钼矿、卡林型金矿的成矿期( Climax 的成矿期集中在 33~24 Ma 的早第三纪晚期 )。这一时期在区域构造上具有特殊性，最明显的是不同于南美的板块俯冲构造环境，而是以地壳的区域性整体升降( 科罗拉多高原 )为特色，古生代以来的地层无论是在区域上( 如大峡谷切割出来的剖面 )还是在矿区内( 如 Ray 斑岩铜矿区。图 3，图 4 )都可以看到是水平产出的，没有明显的大型区域性变形构造( 如褶皱 )。Ray 铜矿位于美国西南部亚利桑那州 Ray 县 Mineral River 地区，位于凤凰城东南约 75 英里处。一般认为，1905 年发现的 Bingham 是第一个斑岩铜矿，但早在 1870 年就将 Ray 作为一个含银铜矿区进行了勘查，直到 1906 年由 Ray 铜业债券公司找到含

铜 2% 的矿床。近百年来，该矿床虽然几易其主，但开采工作一直没有中断，到 1981 年已累计开采了 32 750.7 万吨矿石( Keith, 1983 )，约合铜 278.4 万吨、钼 3 275 吨、银 301 吨、金 2 吨。1989 年以前探明和开采的储量是 630 万吨铜，平均品位 0.79%。与其他斑岩铜矿不同的是，Ray 矿区的绝大部分铜矿资源并不赋存于斑岩体本身，而是赋存在围岩中。

相比之下，甲玛铜多金属矿区目前已控制的资源量主要赋存在矽卡岩体中，矽卡岩作为一个整体由钻孔控制的面积达数平方公里，厚度可达百米以上，已经成为中国最大的矽卡岩型铜矿之一。在甲玛矿区，地表出露的斑岩体规模很小，类似于 Ray；深部亦已找到斑岩体，也含矿。甲玛矿床这种矽卡岩型+斑岩型矿石的组合特征与北美类似，除了铜之外，铅-锌-银-钼的多矿种组合也与北美类似，但成

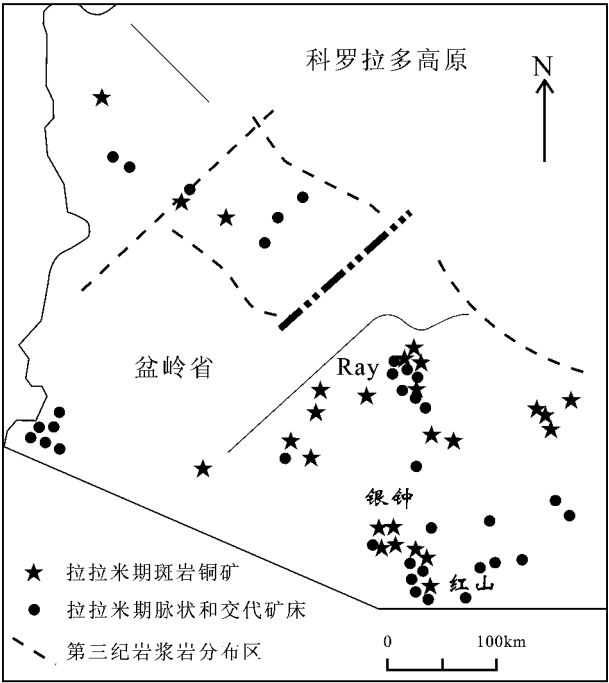


图 3 北美凤凰城一带铜多金属矿集区概图  
(据 Titley et al. ,1981)

Fig. 3 Sketch map of copper polymetallic ore concentration near Phoenix Town ,USA( after Titley et al. ,1981)

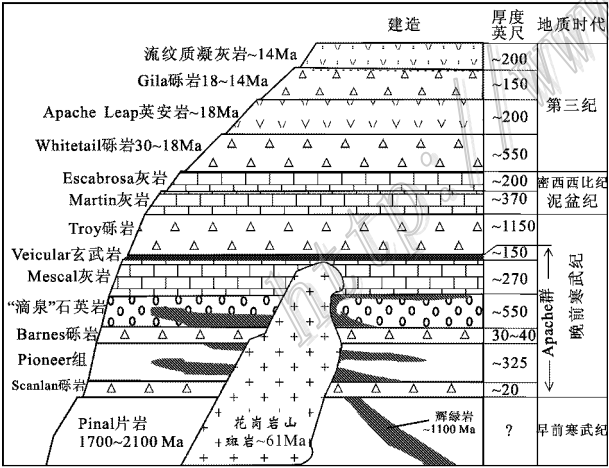


图 4 美国 Ray 斑岩铜矿区地层及侵入岩关系图  
(剖面示意图,据 Ray 矿山资料)

Fig. 4 Relationship between stratigraphy and intrusive rocks in the Ray porphyry copper deposit region ,USA  
(diagrammatic cross-section , according to data from Ray mine)

矿时代(中新世)明显晚于北美的拉拉米期,其青藏高原区域性陆内隆升(造原运动)的构造背景与北美科罗拉多高原相比,则既有共性也有个性。

#### 4 甲玛矿床与南美世界级铜多金属矿床的对比

南美超过 500 万吨级的铜矿主要分布于安第斯造山带,其成矿时代集中在 44~36 Ma 的早第三纪中期(Clark, 1993),明显晚于北美的拉拉米期(65 Ma 前后)。甲玛矿床的成矿时代(集中在 16~14 Ma 的晚第三纪)显然晚于南美斑岩铜矿 20~30 Ma,更晚于北美的斑岩铜矿(晚 40 Ma 以上)。

在构造背景上,安第斯造山带目前仍处于太平洋板块向南美大陆俯冲的构造体制下,总体上处于大尺度的挤压应力状态,但不排除阶段性的、局部的拉张或应力短期集中释放的可能性。因此,南美的斑岩型铜矿一直被认作是洋陆俯冲机制的产物。有趣的是,安第斯成矿带内的斑岩铜矿虽然呈 NS 向分布,但其中部的楚基卡玛塔、拉埃斯康迪达和埃尔阿布拉等 3 个最大的千万吨级的斑岩铜矿不仅比南端和北段的同类矿床年轻得多(晚可达 10 Ma),而且,其成矿流体的锶初始值也明显偏低(图 5)。这可能说明在板块俯冲机制下,对于铜资源的大规模聚集来说还有其他的制约因素<sup>①</sup>。南美安第斯造山带的板块俯冲并非只在 44~32 Ma 之间发生,即板块在 44 Ma 之前、32 Ma 之后照样发生着俯冲,但为什么 44 Ma 之前、32 Ma 之后均无相当规模的超大型斑岩铜矿产生呢?为探讨其原因,王登红等(2005)曾提出存在地幔柱影响的可能性。与此不同,甲玛铜矿形成于 16~14 Ma 的晚第三纪,此时,特提斯洋已基本消失,印度大陆和欧亚大陆已完成全面对接,大地构造演化进入陆-陆俯冲和地壳全面增厚、喜马拉雅山脉持续隆升(由山脉变为高原)的阶段,迄今尚未发现地幔柱影响成矿的明显线索,其成矿流体和成矿金属物质的来源虽然尚未完全查明,但总体上以壳源为主。其矿石中铂族元素的含量很低[即使是矽卡岩型矿石,其 Pt 含量一般也不超过地壳丰度( $5 \times 10^{-9}$ )],低于长江中下游矽卡岩型铜矿约 1 个数量级( $23 \times 10^{-9} \sim 34 \times 10^{-9}$ ) (梁有彬等,1998)。

① 王登红,余金杰. 2002. 斑岩铜矿的勘查与评价. 见:中国地质调查局编. 国内外斑岩型铜矿研究进展. 209-215. 内部出版物.

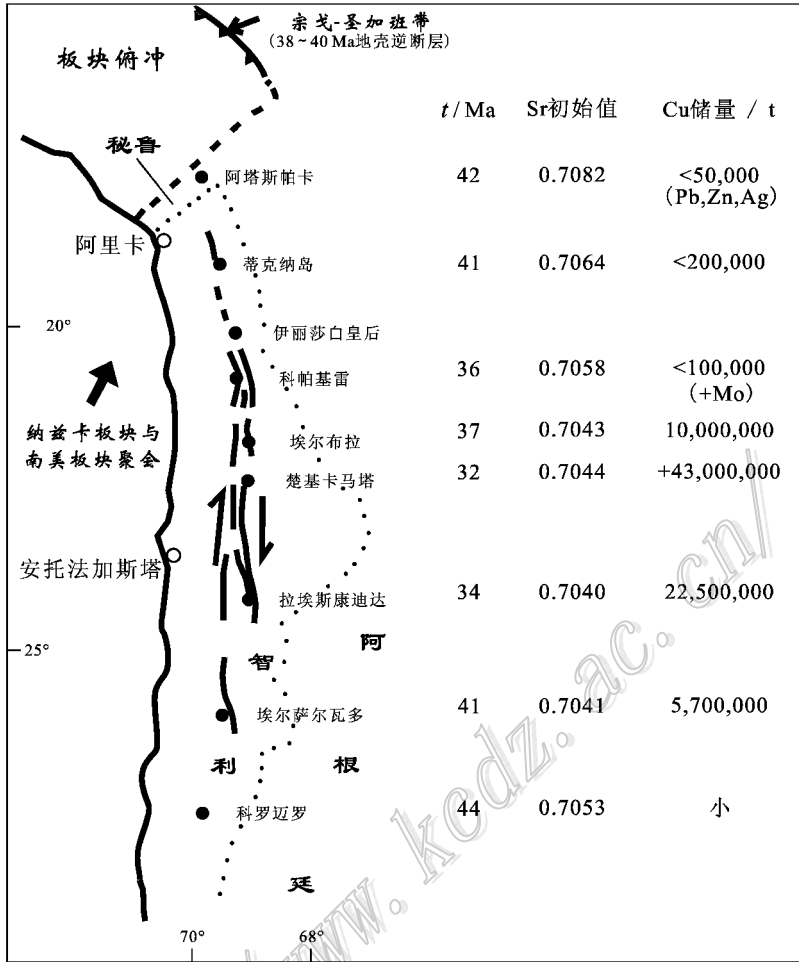


图 5 智利西部岛弧带斑岩铜矿分布概图( 据 Clark ,1993 )  
Fig. 5 Distribution of porphyry copper deposits in the island arc belt of western Chile( after Clark , 1993 )

5 甲玛矿床与环太平洋成矿域西南部世界级铜多金属矿床的对比

环太平洋成矿域西南部地区主要指印度尼西亚、菲律宾、巴布亚新几内亚等地。印度尼西亚的格拉斯贝格( Grasberg )1995 年时已控制的铜资源量达 2 142万吨( 平均品位 1.26% ,如果以平均品位 1.1% 圈定则可达 2 761 万吨 ) ,此后 ,资源量不断增加 ;库辛利尔( Kucing Liar )的铜储量为 653.7 万吨( 平均品位 1.31% ) ;巴图黑教( Batu Hijau )1991 年已控制的铜资源量为 500 万吨 ,但品位偏低( 0.45% ~ 0.8% ) 。菲律宾的坦帕坎( Tampakan )也达 1 200 万吨铜储量 ,但品位只有 0.48% ;著名的远东南( Far South East )的铜储量为 420 万吨( 平均品位 0.81% )

( 施俊法等 2006 )。总体来看 ,东南亚地区斑岩铜矿的规模和品位变化较大 ,普遍伴生金 ,金的储量往往在百吨以上 ,如格拉斯贝格有 2 610 t 金( 平均品位 1.04 g/t ) ,库辛利尔有 588.8 t 金( 平均品位 1.18 g/t ) ,巴图黑教有金 455 t ( 平均品位 0.7 g/t ) ,菲律宾远东南有 440 t 金( 平均品位 1.24 g/t ) ,坦帕坎有 346 t 金( 平均品位 0.35 g/t ) 。金和铜的地位几乎同等重要 ,其储量比可达 1 : 10 000 ,远高于南美 ,这是环太平洋成矿域西南部的一个显著特点。此外 ,这些矿床主要形成于新生代晚期甚至主要形成于第四纪 ,格拉斯贝格的成岩年龄为 3.23 ~ 2.83 Ma<sup>①</sup> ;与成矿关系密切的除了被破碎的斑状石英二长岩之外 ,火山机构及与之相关的粗面安山岩、凝灰岩和角砾岩组合也是其区别于北美和南美斑岩铜矿的显著

① 王登红 ,余金杰. 2002. 斑岩铜矿的勘查与评价. 见 : 中国地质调查局编. 国内外斑岩型铜矿研究进展. 209-215. 内部出版物.

特征之一。

甲玛矿区目前已探明的铜、金、银、钼金属量分别大于 450 万吨、100 吨、6 000 吨和 45 万吨<sup>①</sup>(唐菊兴等 2011),其中矽卡岩型矿石占了一半以上。诚然,随着深部找矿进展和甲玛矿区西部闪长玢岩中独立金矿体的发现,不同矿种的资源比例和矿床特征会发生变化,但矽卡岩型矿石占有重要地位、成矿时代偏早、且火山机构欠发育等,是甲玛矿床与环太平洋成矿域西南部斑岩型铜金矿的显著区别。

## 6 甲玛矿床与世界上其他地区世界级铜多金属矿床的对比

除了与环太平洋成矿域的斑岩铜矿在成因类型(非斑岩型、矽卡岩型)、成矿构造背景(非洋陆碰撞或板块俯冲环境)和成矿时代(非中-新生代)等方面具有明显的可比性之外,甲玛铜多金属矿床与其他地区的世界级铜矿差别明显,不具可比性。比如,加拿大的肖德贝里和俄罗斯的诺里尔斯克均存在近千万吨级的岩浆型铜矿,但它们都属于与基性-超基性岩浆活动有关的铜镍硫化物型矿床,与镍和铂族元素共生,可能与地幔柱有关;北美五大湖区的玄武岩型铜矿属于自然铜矿床(Keweenaw 有 800 万吨铜),

与元古代的大陆溢流型玄武岩有关;广泛分布于非洲、欧洲和美洲的砂页岩型铜矿也存在世界级铜矿,如扎伊尔的 Kolwezi 含铜 3 500 万吨,平均品位达 3.5%。澳大利亚的奥林匹克坝铜多金属矿床,与甲玛矿床也明显不同。

值得注意的是,中亚成矿域的斑岩型铜矿,如乌兹别克斯坦的卡利马克尔和哈萨克斯坦的科翁腊德、阿克托,虽然成矿时代不同(中亚的斑岩铜矿主要形成于石炭纪),但类型和构造环境具有可比性。尤其值得注意的是,中亚成矿域不但存在斑岩型铜矿,而且存在世界级的砂页岩型铜矿和规模巨大的块状硫化物型铜矿,而砂页岩型铜矿和块状硫化物型铜矿在冈底斯成矿带目前还是空白,需要在今后的工作中加以特别的关注。

## 7 找矿前景分析及实现世界级铜矿勘查目标的建议

总体来看,世界上最重要的铜矿在空间上主要分布在环太平洋成矿域、古亚洲(中亚)成矿域和特提斯-喜马拉雅成矿域,在时间上,主要形成于新生代(表 2),矿石工业类型以斑岩型为主。甲玛式铜多金属矿床位于特提斯-喜马拉雅成矿域,形成于新生

表 2 全球各时代的成矿强度  
Table 2 Mineralization intensity in each period in the world

成矿期	时间 /Ma	时间长度 /Ma	Cu /10 <sup>6</sup> t	Au /10 <sup>3</sup> t	Ag /10 <sup>4</sup> t	Cu 成矿强度 (Mt/Ma)	Cu 成矿强 度排序	Au 成矿强 (10 <sup>3</sup> t/Ma)	Au 成矿强 度排序	Ag 成矿强 (10 <sup>4</sup> t/Ma)	Ag 成矿强 度排序
第四纪	0~2	2	3.30	8.14	1.09	1.65	4	4.07	1	0.545	2
新第三纪	2~25	23	180	12.1	5.50	7.83	2	0.526	2	0.239	4
老第三纪	25~60	35	382	2.63	34.0	10.91	1	0.075	6	0.971	1
晚白垩世	60~100	40	41.8	0.646	2.03	1.05	5	0.016	9	0.051	5
早白垩世	100~150	50	27.6	4.26		0.55	7	0.085	5		
侏罗纪	150~210	60	26	2.59	2.00	0.43	9	0.043	7	0.033	7
三叠纪	210~245	35	135		18.2	3.86	3			0.520	3
二叠纪	245~290	45			0.70					0.016	10
石炭纪	290~354	64	61.9	5.56	1.70	0.97	6	0.087	4	0.027	8
志留纪-泥盆纪	354~440	86		2.34				0.027	8		
奥陶纪	440~500	60			2.16					0.036	6
寒武纪	500~550	50			0.813					0.016	11
新元古代	550~1000	450	228	2.30		0.51	8	0.005	11		
中元古代	1000~1600	600	76.1	1.57	3.29	0.127	11	0.003	12	0.005	12
古元古代晚期	1600~2000	400	52.8	2.65	9.73	0.132	10	0.007	10	0.024	9
古元古代早期	2000~2450	450	14.1	0.60	1.29	0.031	12	0.001	13	0.0029	13
太古代	2450~3000	550	3.5	51.9	1.46	0.006	13	0.094	3	0.0027	14
总平均	0~3000	3000	1232	97.29	83.96	0.41		0.032		0.028	

据王登红等,2001,成矿时代划分及矿床数据引自 Laznicka,1999。

① 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭娜,郭科,郑文宝,秦志鹏,李磊,凌娟,叶江,黎枫估,姚晓峰,李志军,孙艳,王友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区 0-16-40-80、0-15 线矿段铜多金属矿勘探报告. 内部资料。



代的晚第三纪,矿石类型则以矽卡岩型为主,角岩型和斑岩型也很重要。考虑到其勘查工作尚未结束,深部斑岩型矿石的找矿前景良好,因此,该矿床一方面具有扩大资源量、达到世界级铜多金属矿床的潜力,另一方面也为冈底斯成矿带的地质找矿工作提供了新的范例。以下几点在今后的工作中值得注意:

(1) 加强对矽卡岩型铜矿成矿机制的研究和勘探。一般认为矽卡岩型铜矿规模不大,与斑岩型铜矿无法相比(长江中下游的武山、城门山、铜录山等典型的矽卡岩型铜矿均不超过200万吨铜金属量)。甲玛矿床目前已控制的矽卡岩型铜矿石的铜金属量已达290万吨,因此,它是中国目前最大的矽卡岩型铜矿。由于矽卡岩型铜矿石品位高,采选冶相对容易,经济效益明显高于斑岩型,在青藏高原地区,这无疑是最理想的铜矿类型。在甲玛矿区,林布宗组砂板岩、角岩在一定程度上起到了阻挡层的作用,其下的多底沟组灰岩易于被岩浆热液交代而形成矽卡岩;林布宗组与多底沟组之间的层间破碎带则有利于成矿流体的运移和成矿物质的聚集。正是这样独特的围岩与构造配置,为甲玛式矽卡岩型铜矿石的形成提供了有利条件。这样的成矿条件不可能仅局限于目前探矿权的范围内,在其他地区也可能同样存在,因此,在区域上具有重要指导意义。

(2) 加强隐伏岩体含矿性的研究与评价。尽管有利围岩与层间破碎带的耦合在区域上具有普遍性,但矿床始终具有局限性分布的特点,其根本原因还是岩浆岩体的存在与否。冈底斯成矿带内岩浆岩分布广泛,哪些与成矿有关,哪些与成矿无关,需要深入研究。在甲玛矿区,岩浆岩类型较齐全,酸性、中酸性、中基性和基性岩均有,钻孔揭露的岩体本身也已发生矿化,因此,究竟哪类岩浆岩是成矿的根本原因(成矿的发动机),分布在哪里,面积多大,含矿性好坏,均尚未查清。从角岩化范围和厚度看,深部的隐伏岩体应该还是比较大的,但由于深度加大之后钻探技术的局限而难以全面揭露隐伏岩体的空间分布范围,这就更需要加强对已有岩体含矿性的评价研究,查明岩浆活动的期次及各期次岩浆岩对于成矿的贡献,进而锁定最佳部位。以此为核心来部署钻孔,将使勘探工作的目标更加明确。

(3) 加强成矿机制的研究。即使外部条件优越,若无充足的成矿物质供应和有利的成矿物质聚集环境,要达到世界级铜矿的规模也是困难的。世

界上不同地区的斑岩铜矿和矽卡岩型铜矿,虽在类型、时代和构造环境等方面有一定的可比性,但往往在矿床规模和品级方面差别很大,其原因就在于每个世界级铜矿各有各的成矿条件和成矿机制,即成矿作用必然性与成矿条件偶然性的不同组合导致了矿床特征的千差万别。那么,决定甲玛式铜多金属矿床形成与否、规模大小、品位高低的关键性因素又是什么呢?除了有利的围岩、构造和岩浆岩条件之外,到底有多少铜、金、银、铅、锌、钼、钨等成矿物质聚集于此,则是更大的问题。对此,目前还无法回答,需要综合分析深入研究,但无疑是不可避免的重大问题。

(4) 破除对热液矿床的偏见,建立新的资源评价体系。毫无疑问,热液型矿床是可以形成世界级铜矿的,那么,除了寻找斑岩体之外,控制热液型成矿的各种机制和条件,都应该作为今后资源评价的因素。作为世界上最大的斑岩铜矿之一,控制楚基卡玛塔最终形成的因素已不仅仅是斑岩体,近NS向的区域性断裂对成矿所起的作用亦不可低估。江西德兴矿田的几个斑岩型铜矿也都就位于NE向和NW向断裂带的交汇部位。成矿流体锆初始值普遍低于0.706,说明有幔源成矿流体的介入;而铜又是地幔或幔源岩石中富集、壳源岩石中贫化的元素。因此,世界级铜矿的形成,也可看成是壳幔尺度地质流体大规模成矿的结果,即“大热液成大矿”。

总之,甲玛铜多金属矿床目前尚未结束勘探,其资源量仍在大幅增加,不但具有成为世界级铜矿的可能性,而且以其铜-钼-金-银-铅-锌多矿种组合、矽卡岩型-斑岩型-角岩型三位一体、成矿时代(晚第三纪)早于环太平洋成矿域西南部而晚于北美(拉拉米期)和南美(早第三纪)为特点,成矿构造背景属于青藏高原基本形成的整体隆升时期,不同于南美和环太平洋成矿域西南部,而与北美科罗拉多高原有一定的可比性。

## References

- Chen Y C, Zhu Y S and Gong Y F. 1994. The main characteristics of the large and super-large mineral deposits in China and their present exploration situation[J]. *Geology in China*, (1): 22-26 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, Xu Z G, Ren J S, Zhai Y S, Chang Y F, Tang Z L, Pei R F, Teng J W, Deng J F, Hu Y Z, Ren T X, Shen B F, Wang S C, Xiao K Y, Peng R M, Qian Z Z, Mei Y X,

- Du J G, Shi J F, Zhang X H, Zhu M Y, Xu J and Xue C J. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1005p (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H, Li H M, Xiong X X, Gao L, Xu Z G, Sheng J F, Xu J, Yuan Z X, Bai G, Zhu M Y, Rui Z Y, Ye H S, Liu X F, Zhang C Q, Chen Z H, Wang C H, Wang Y L, Ying L J and Zhang J. 2010. Classification of major mineral resources for prognosis[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 222p (in Chinese).
- Clark A H. 1993. Are outsize porphyry copper deposits either anatomically or environmentally distinct[ A ]? In: Whiting B H, Hodgson C J and Mason R, eds. Giant ore deposits[ M ]. El Paso, TX: Soc. Econ. Geol. Spec. Publ., (2): 213-283.
- Hezarkhani A. 2006. Hydrothermal evolution of the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions[ J ]. Journal of Asian Earth Sciences, 28(4-6): 409-422.
- Keith S B. 1983. Results of mapping project near Ray, Pinal County, Arizona[ R ]. Tucson: Ariz. Geol. Survey Open File Report. 83-14.
- Laznicka P. 1999. Quantitative relationships among giant deposits of metals[ J ]. Econ. Geol., 94(4): 455-474.
- Liang Y B, Liu T Y, Song G R and Jin Z M. 1998. Platinum group element deposit in China[ M ]. Beijing: Metallurgical Industry Press. 89-92 (in Chinese).
- Pei R H, Wu L S and Xiong Q R. 1998. Metallogenic preferentiality and exceptional metallogenic convergence of giant ore deposits in China[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Shi J F, Li Y Z, Jin Q H, Tang J R and Yao H J, eds. 2006. World mineral Fact: Asia[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 467-497 (in Chinese).
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits[ J ]. Econ. Geol., 67: 184-197.
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[ J ]. Acta Geoscientia Sinica, 31(4): 495-506 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Deng S L, Zheng W B, Ying L J, Wang X W, Zhong K H, Qin Z P, Ding F, Li F J, Tang X Q, Zhong Y F and Peng H J. 2011. An exploration model for Jiama copper polymetallic deposit in Maizhokunggar County, Tibet[ J ]. Mineral Deposits, 30(2): 179-196 (in Chinese with English abstract).
- Titley S R and Beane R E. 1981. Porphyry copper deposits[ J ]. Econ. Geol., 75( Anniversary Volume ): 214-234.
- Tu G C. 2000. Super-large ore deposits in China( I ) [ M ]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Wang D H. 2000. New advance in exploration of Carlin-type gold deposits and its significance[ J ]. Geology-Geochemistry, 28(1): 92-96 (in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C, Yang J M, Xu J, Xue C J and Yan S H. 2001. Discussion on metallogenic intensity and great outburst of mineralization in Himalayas[ A ]. In: Chen Y C and Wang D H, ed. Study on endogenic mineralization in Himalayas[ M ]. Beijing: Earthquake Press. 4-29 (in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C, Xu J, Zou T R, Xue C J, Luo J L, Luo Y N, Wu G Y, Li Z W, Yu J J, Yan S H, Yang J M, Fu X J, Fu X F, Fu D M, Chu Y S, Wei L and Li X Y. 2005. Cenozoic mineralization in China[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 853p (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Tang J X, Ying L J, Chen Z H, Xu J X, Zhang J J, Li S R and Zeng Z L. 2010. Application of "Five levels + Basement" model for prospecting deposits into depth[ J ]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 40(4): 733-738 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈毓川, 朱裕生, 龚羽飞. 1994. 中国大型超大型矿床的基本特征和勘查现状[ J ]. 中国地质(1): 22-26.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚, 任纪舜, 翟裕生, 常印佛, 汤中立, 裴荣富, 滕吉文, 邓晋福, 胡云中, 任天祥, 沈保丰, 王世称, 肖克炎, 彭润民, 钱壮志, 梅燕雄, 杜建国, 施俊法, 张晓华, 朱明玉, 徐珏, 薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[ M ]. 北京: 地质出版社. 1005 页.
- 陈毓川, 王登红, 李厚民, 熊先孝, 高兰, 徐志刚, 盛继福, 徐珏, 袁忠信, 白鸽, 朱明玉, 芮宗瑶, 叶会寿, 刘喜方, 张长青, 陈郑辉, 王成辉, 王永磊, 应立娟, 张健. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[ M ]. 北京: 地质出版社. 222 页.
- 梁有彬, 刘同有, 宋国仁, 金在森, 编著. 1998. 中国铂族元素矿床[ M ]. 北京: 冶金工业出版社. 89-92.
- 裴荣富, 吴良士, 熊群尧. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场[ M ]. 北京: 地质出版社.
- 施俊法, 李友枝, 金庆花, 唐金荣, 姚华军, 等编著. 2006. 世界矿情(亚洲卷 I)[ J ]. 北京: 地质出版社. 467-497.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫信, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[ J ]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴, 邓世林, 郑文宝, 应立娟, 汪雄武, 钟康惠, 秦志鹏, 丁枫, 黎枫信, 唐晓倩, 钟裕峰, 彭慧娟. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型[ J ]. 矿床地质, 30(2): 179-196.
- 涂光炽. 2000. 中国超大型矿床( I ) [ M ]. 北京: 科学出版社.
- 王登红. 2000. 卡林型金矿的找矿进展及其意义[ J ]. 地质地球化学, 28(1): 92-96.
- 王登红, 陈毓川, 杨建民, 徐珏, 薛春纪, 闫升好. 2001. 试论成矿强度与喜马拉雅期成矿大爆发[ A ]. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生矿作用研究[ M ]. 北京: 地震出版社. 4-29.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏, 邹天人, 薛春纪, 罗君烈, 骆耀南, 伍广宇, 李志伟, 余金杰, 闫升好, 杨建民, 傅旭杰, 付小方, 傅德明, 楚莹石, 魏琳, 李晓焰. 2005. 中国新生代成矿作用[ M ]. 北京: 地质出版社. 853 页.
- 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 陈郑辉, 许建祥, 张家菁, 李水如, 曾载琳. 2010. "五层楼+地下室"找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[ J ]. 吉林大学学报(地球科学版), 40(4): 733-738.