

中国铜矿成矿规律概要

应立娟^{1,2)}, 陈毓川¹⁾, 王登红¹⁾, 唐菊兴¹⁾, 陈郑辉¹⁾, 王成辉¹⁾

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

2) 长安大学资源学院, 西安, 710064

内容提要:中国铜矿资源丰富。本文在对全国 814 处铜矿床及其他 5000 余个矿(化)点资料系统梳理的基础上,完善了对中国铜矿产预测类型的划分方案,分为 10 个类型,认为斑岩型、矽卡岩型应该作为重点预测类型;其中又以斑岩型铜矿资源最主要,集中分布于冈底斯、昌都-三江、德兴、东天山等地区;成矿时代以新生代和中生代最为重要。系统搜集了全国范围内有关铜矿床的成矿年代学资料,划分为 4 个铜的主要成矿期;厘定出 27 个以铜为主的矿床成矿系列,提升了我国铜矿成矿规律研究的程度,为我国铜矿资源的潜力评价预测工作提供了理论依据。

关键词:铜矿;斑岩型;预测类型;成矿规律;成矿系列

铜是我国仅次于铁和铝之后居第三位的重要金属。我国铜供应短缺,长期依赖进口已成定局,铜矿的找矿问题已成为国家地质大调查中的重点课题。据 2012 年全国矿产储量通报,全国探明铜资源储量 $9036.9 \times 10^4 \text{ t}$,比 2001 年增长近 $3000 \times 10^4 \text{ t}$ 。近十余年中,我国在 2005 年前探明铜储量消耗很快,但之后由于地质工作的大量投入,以西藏驱龙、甲玛、雄村等为代表的一批新铜矿的发现而增长较迅速。为此,对我国铜矿的成矿规律重新进行深入的研究总结,具有重要的理论和现实意义。本文即是对 2006~2013 年期间全国铜矿成矿规律研究成果的一个概略性总结。

1 我国铜矿资源概况

铜在我国各省、市、自治区均有数量不等的探明资源储量分布(表 1)。探明铜资源储量占全国探明总储量 10% 以上的有西藏、江西和云南,以西藏自治区最多,探明储量占全国总储量的 23%,达 $2043 \times 10^4 \text{ t}$ 。地质大调查以来,铜矿找矿勘探的重大突破,使西藏探明的铜资源储量自 2008 年以来超过了江西和云南。铜探明资源储量占全国总储量百分比在 5% 至 10% 之间的省区有内蒙古、新疆、安徽和黑

龙江。从矿产地个数来看,全国铜矿区在 2012 年达到 1915 处,尤其是在 2005 年之后增加较快。本次研究过程中,搜集和整理了 5981 处铜矿产地资料信息,覆盖全国 31 个省、市、自治区(图 1)。其中 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的超大型铜矿床 3 个, $50 \times 10^4 \text{ t}$ 以上至 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 的大型铜矿床 47 个, $10 \times 10^4 \text{ t}$ 以上至 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 的中型铜矿床 120 个, $1 \times 10^4 \text{ t}$ 至 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 的小型铜矿床 644 个,矿床累计 814 处,其他矿点和矿化点 5156 处,共计 5970 处。

虽然近年来我国铜矿找矿取得了重大突破,但还没有找到千万吨级的铜矿,跟国外一些世界级铜矿相比还存在品位偏低、开发条件差等不利因素(王登红等, 2011)。世界铜矿资源主要集中在智利、澳大利亚、秘鲁、美国、墨西哥、俄罗斯等国家,其中智利是世界上铜矿资源最丰富的国家。从 1996 年至 2013 年,世界铜储量呈递增趋势,尤其是在 2002 年之后,储量增加较大,2010 年之后,储量亦增加较大。世界铜矿山产量从 1994 年至 2013 年,也是较稳定地持续增长,产量稍有波动,但波动不大。截至 2013 年,世界铜储量在各个主要国家的资源情况和矿山铜产量见表 2。智利一直保持着铜矿资源大国的地位,同时也是铜的生产大国。智利国内丘基卡

注:本文为中国地质大调查“我国重要矿产和区域成矿规律研究”项目(编号 1212010633903)、“中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(中国矿产地志)”项目(编号 1212011220369)、“中国分矿种(组)矿产地质总结研究”(编号 12120114039601)、国家自然科学基金项目(编号 41302058)和成矿作用与资源评价重点实验室开放基金(编号 ZS1103)联合资助成果。

收稿日期:2014-05-05; 改回日期:2014-09-29; 责任编辑:周健。

作者简介:应立娟,女,1981 年生。助理研究员,主要从事矿床学研究。Email:biyuntian518@sina.com。

马塔(Chuquicamata)是世界上最大的露天开采铜矿矿山之一,同时还有埃尔特尼恩特(El Teniente)、埃斯康迪达(Escondida)等多个大型铜矿山。中非地区的赞比亚-扎伊尔铜带、中非铜带、刚-赞铜钴,亦是世界上最大、最富的铜矿产地之一,近年来勘探投入增加,找矿成果显著,累计探明的铜储量约 $150 \times 10^6 \text{ t} \sim 170 \times 10^6 \text{ t}$ (与朱裕生研究员私人通讯)。

表 1 中国各省(市、区)铜矿区数量与储量情况表^①

Table 1 Copper mines and resources in China^①

省、市、区	铜矿区数量	探明资源储量($\times 10^4 \text{ t}$)	百分比(%)
西藏	37	2043.41	22.61
江西	87	1267.5	14.03
云南	211	1262.27	13.97
内蒙古	155	654.05	7.24
新疆	171	536.98	5.94
安徽	180	455.59	5.04
黑龙江	28	424.32	4.7
甘肃	82	355.12	3.93
广东	66	246.51	2.73
湖北	126	235.87	2.61
山西	34	233.87	2.59
四川	76	220.64	2.44
青海	47	212.3	2.35
福建	55	206.67	2.29
河北	22	111.5	1.23
湖南	62	93	1.03
山东	67	89.54	0.99
陕西	38	65.86	0.73
河南	85	61.14	0.68
江苏	28	57.9	0.64
辽宁	41	50.95	0.56
吉林	60	50.82	0.56
广西	72	33.24	0.37
浙江	31	24.37	0.27
贵州	29	13.53	0.15
上海	1	12.19	0.13
海南	8	9.17	0.1
北京	8	6.63	0.07
宁夏	6	1.91	0.02
重庆	2	0.05	0.0006
合计	1915	9036.9	100

2 铜矿类型

2.1 铜矿床类型

陈毓川等(2010a)认为我国铜矿的工业类型齐全,最主要的有斑岩型、矽卡岩型、层状型(包括变质岩层状型和含铜砂页岩型)、火山沉积型和铜镍硫化物型(表 3)。上述 5 种类型的铜储量占全国铜矿总储量的 90%以上。

表 2 2013 年世界主要铜资源国家的铜储量和铜矿山产量表^②

Table 2 Copper reserves and production in the major countries around the world by 2013^②

国家	铜储量 ($\times 10^6 \text{ t}$)	百分比 (%)	铜矿山产量 ($\times 10^4 \text{ t}$)	百分比 (%)
智利	190	27.5	570	31.9
澳大利亚	87	12.6	99	5.5
秘鲁	70	10.1	130	7.3
美国	39	5.7	122	6.8
墨西哥	38	5.5	48	2.7
俄罗斯	30	4.4	93	5.2
中国	30	4.4	165	9.2
印度尼西亚	28	4.1	38	2.1
波兰	26	3.8	43	2.4
刚果(金沙萨)	20	2.9	90	5
赞比亚	20	2.9	83	4.6
加拿大	10	1.5	63	3.5
哈萨克斯坦	7	1	44	2.5
其他国家	90	13	200	11.2
世界总量	690		1788	

(1)斑岩型铜矿探明储量居首位,约占全国总储量的 41%,近年来探明储量仍有增长。主要集中于 3 个成矿带:阿尔卑斯-喜马拉雅成矿带(包括我国滇藏地区)、中亚-蒙古成矿带(包括我国新疆、甘肃、黑龙江)和环太平洋成矿带(包括我国东部广大地区)。成矿时代从寒武纪到第三纪,以喜马拉雅期和燕山期为主(芮宗瑶,1984;王登红等,2005)。

(2)矽卡岩型铜矿亦是主要类型,其探明储量约占我国总储量的 27%,尤其是冈底斯矽卡岩型铜矿资源量迅速增加。典型的矽卡岩型铜矿主要集中在长江中下游地区,成矿岩体以燕山期的花岗闪长岩为主,围岩以古生代以来的碳酸盐岩地层为主。品位较高,规模不等,常形成大的富铜矿床。

(3)层状型铜矿,包括变质岩中层状铜矿和含铜砂页岩型铜矿,约占全国总储量的 11%。变质岩层状铜矿往往由早期的海相沉积岩经变质形成,其成矿时代以元古宙和古生代最为重要,集中于康滇、狼山和中条山地区。含铜砂页岩型的成矿时代集中于中生代至第三纪,产于滇中盆地等。该类铜矿除了富含铜金属外,伴生有铅、锌、银、钴等,部分还富集多种稀散元素和放射性元素。

(4)火山沉积型铜矿占全国总储量的 5.5%,海相火山岩型铜矿资源较陆相火山岩型多。矿体多产于不同岩性的火山岩地层的接触部位,火山熔岩、火山碎屑岩层的顶部及其附近,以及上覆沉积岩层的界面上。矿体呈层状、透镜状,往往成群出现。成矿时代以古生代和古元古代为主,其次是太古宙。

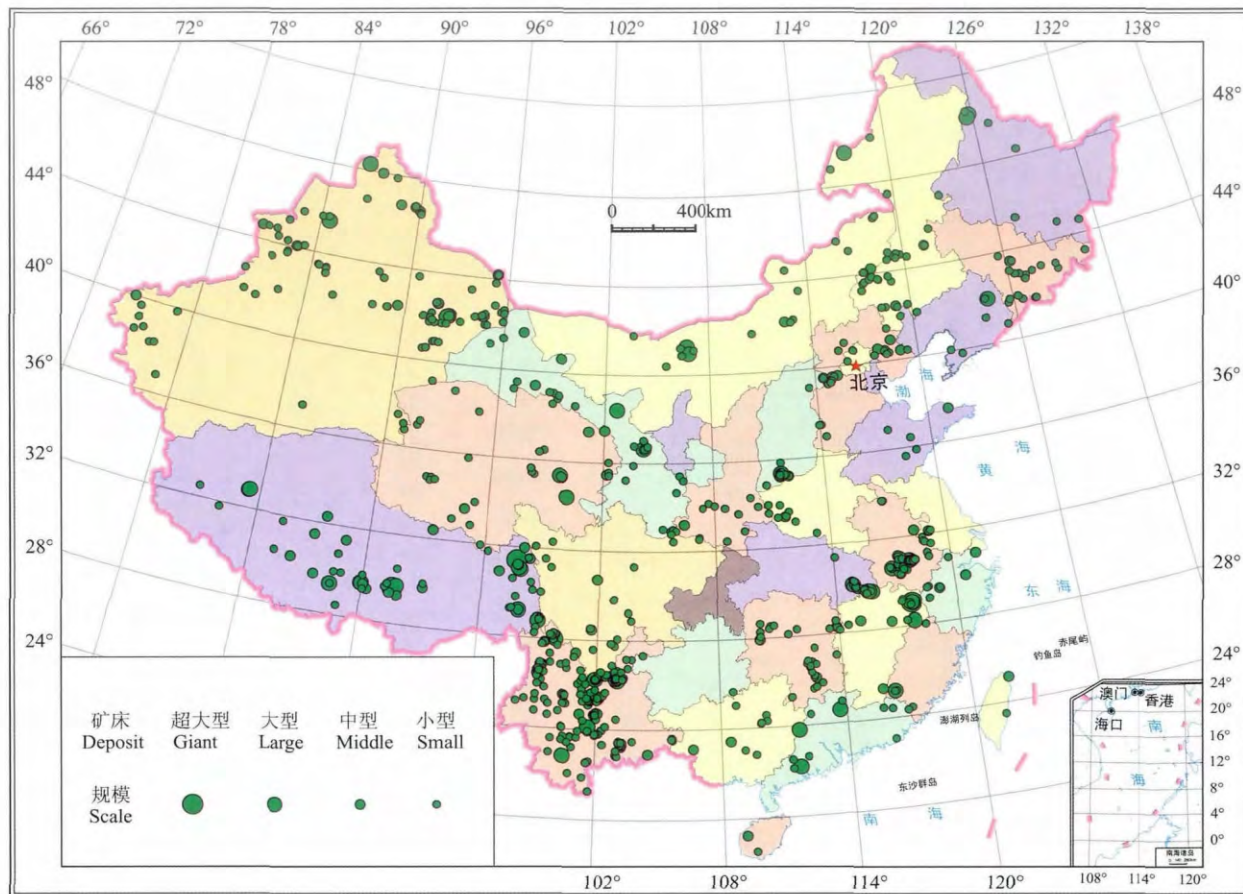


图 1 中国铜矿分布简图

Fig. 1 Map of major copper deposits in China

(5) 铜镍硫化物型铜矿, 占全国总储量的 6.4%, 与基性—超基性岩体紧密相关。主要集中于龙首山、东天山、张广才岭等地区, 成矿时代以元古宙为主。

我国铜矿的主要找矿目标亦是上述五大类。考虑到不同类型岩石建造的成矿专属性明显不同, 找铜也应强调岩石建造, 因此从找矿的角度可区分出表 3 所列的铜矿类型。

2.2 铜矿预测类型

前述矿床类型是对已知矿床的分类, 对于不同区域内待发现的矿床也可以进行分类, 即矿产预测类型(王登红等, 2013b)。我国铜矿资源预测类型划分为 10 类, 主要参考《重要矿产预测类型划分方案》(陈毓川等, 2010b) 中铜矿的预测类型划分方案。其中, 将(火山—)沉积变质型简略为沉积变质型, 但仍包括与海相火山作用有一定关系的铜矿床, 筏子坝式和西裘式从沉积变质型归至海相火山岩型, 认为海相火山作用是主要的成矿作用, 叠加有后期的变质作用。将岩浆型(基性—超基性铜—镍硫化物型)简略为岩浆型, 将砂岩型的陆相和海相铜矿

床, 分别用陆相沉积型和海相沉积型表示, 将岩浆热液型(狭义)简略为岩浆热液型。典型矿床式除以矿床名称命名外, 也有以地区名称命名的, 如西南天山式、滇中式。单个矿床存在成因争议的, 以主要成矿作用作为划分依据。例如, 福建紫金山铜金矿床, 黄崇珂等(2001)将其归入与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床, 而赵一鸣等(2004)认为其为陆相火山岩型铜矿床, 本文认为陆相火山作用是主要的成矿作用, 因此将其归入陆相火山岩型。当同一个矿床存在两种或多种成矿作用, 例如, 斑岩型和矽卡岩型铜矿经常可共同产于同一矿床中, 亦可能成因相同, 仅赋矿围岩不同, 如城门山、丰山洞、甲玛、玉龙等。本文以主矿体的主要成矿作用为划分依据, 如将甲玛归入矽卡岩型, 而玉龙归入斑岩型。

将全国铜矿各预测类型列于表 4。从表 4 可见, 不同地区由于成矿条件的不同, 待寻找的铜矿目标也不同, 如岩浆型铜镍硫化物矿床就不是华东地区的主导找矿方向, 因而岩浆型铜矿不是华东的主要预测类型, 但这并不表示华东无此类铜矿。

表 3 中国铜矿类型划分方案(据陈毓川等,2010a 修改)

Table 3 Classification of copper deposits in China (after Chen Yuchuan et al. , 2010a)

重要性	矿床类型		矿床式(类型)	典型矿床	主要分布地区
主要	斑岩型铜矿		驱龙式斑岩铜矿	西藏驱龙	冈底斯
			玉龙式斑岩铜矿	西藏玉龙	三江地区
	砂卡岩型铜矿		德兴式斑岩铜矿	江西德兴富家坞、铜厂	赣东北
重要			土屋式斑岩铜矿	新疆土屋、延东	东天山
			多宝山式斑岩铜矿	黑龙江多宝山	东北
			乌奴格吐山式斑岩铜矿	内蒙古乌奴格吐山	大兴安岭
			铜矿峪式斑岩铜矿	山西铜矿峪	华北
			长江中下游式砂卡岩型铜矿	安徽铜官山,湖北铜绿山,江西永平、城门山	长江中下游
			燕山式砂卡岩型铜矿	辽宁华铜,黑龙江弓棚子,河北寿王坟	燕山地区等
			甲玛式砂卡岩型铜矿	西藏甲玛	冈底斯
	海相火山岩型铜矿		白银厂式火山岩型铜矿	甘肃白银厂、青海红沟	北祁连
			刘山岩式火山岩型铜矿	河南刘山岩	秦岭
			大红山式火山岩型铜矿	云南大红山	扬子陆块西南缘
			阿舍勒式火山岩型铜矿	新疆阿舍勒	阿尔泰及天山
			红透山式火山岩型铜矿	辽宁红透山	辽吉
	基性超基性 岩型铜镍矿		金川式铜镍矿	甘肃金川	华北陆块西南缘
			红旗岭式铜镍矿	吉林磐石红旗岭	张广才岭
			力马河式铜镍矿	四川力马河	四川攀枝花
			杨柳坪式铜镍矿	四川杨柳坪、云南金平	扬子西缘
			黄山式铜镍矿	新疆东天山黄山东、黄山	东天山
次要			喀拉通克式铜镍矿	新疆喀拉通克	南阿尔泰
	海相 (火山-) 沉积岩 型铜矿	海相杂色 岩型	东川式沉积岩型铜矿	云南东川落雪、汤丹、稀矿山,易门三家厂, 禄丰大美厂	云南东川-易门地区
		海相火山 沉积型	狼山式海相火山-沉积岩型铜矿	内蒙霍各乞、炭窑口、东升庙	内蒙古狼山-渣尔泰山
			中条山式海相(火山)沉积 岩型铜矿	山西胡家峪、篦子沟、桐木沟、老宝滩	山西中条山
			紫金山式火山热液铜矿	福建紫金山	闽西南
	陆相火山热液 型铜矿		银山式火山热液铜矿	江西银山	赣东北
			小西南岔式火山热液铜矿	吉林小西南岔	辽吉黑东部
			莲花山式火山热液铜矿	莲花山、闹牛山、布墩花	大兴安岭
			滇中式砂岩型铜矿	云南大姚六苴、郝家河,湖南车江,四川大铜厂	滇中盆地,湘西沅麻盆地,
	砂岩铜矿		风火山式砂岩型铜矿	青海风火山	会理盆地
			西南天山式砂岩型铜矿	新疆伽师、花园	青藏高原
	玄武岩铜矿		川滇黔式玄武岩型铜矿	云南威宁铜厂	西南天山
			十里坡式玄武岩型铜矿	新疆威宁铜厂	四川,贵州,云南,
	表生铜矿		石漠式铜矿	广东阳春石漠铜矿	新疆东天山 粤中坳陷

3 铜矿的时空分布规律

3.1 时空分布特点

基于对全国范围内有关铜矿床成矿年代学资料的系统搜集与整理(王登红等,2010a,2014),结合矿床成矿系列研究及前人成果,本文将中国铜矿的成矿时代划分为 4 个大的成矿期:前寒武纪(太古宙、元古宙)、古生代、中生代和新生代。4 个成矿期形成的铜矿主要预测类型、分布的Ⅲ级成矿区带及典型矿床列于表 5。根据 4 个成矿期铜矿的预测类型、空间分布和矿床规模等,编制中国铜矿成矿时代

分布图(图 2)。根据本次统计,前寒武纪矿产地 452 处,古生代 1776 处,中生代 2419 处,新生代 147 处,其余为时代不明。

3.2 时空分布规律

(1)中国铜矿的成矿时代集中于新生代,亦与世界铜矿主成矿期一致,即以喜马拉雅期为主。近年来冈底斯斑岩型、砂卡岩型铜矿找矿取得重大突破,大大增加了新生代铜矿资源量。这也改变了前人认为“中国铜矿主要形成于燕山期”的认识,但亦印证了前人“冈底斯存在较大铜矿资源潜力”的预测。

表 4 中国铜矿预测类型划分表(据陈毓川等,2010b 修改)

Table 4 Classification of copper prediction type in China (after Chen Yuchuan et al., 2010b)

预测类型	西北	华北	东北	西南	中南	华东
沉积变质型		胡-篚式、霍各乞式	红透山式、大横路式	大红山式、东川式、拉拉式	(海南石碌式)	
岩型	(金川式、黄山式)	(桃科式)、(小南山式)	(赤柏松式)、(红旗岭式)	(力马河式)、(杨柳坪式)	(大坡岭式)	
斑岩型	土屋式、公婆泉式、包古图式	小寺沟式、白乃庙式、乌奴格吐山式、铜矿峪式	多宝山式	玉龙式、普朗式、驱龙式、雄村式	大宝山式、丰山洞式	德兴式、沙溪式、安基山式
海相火山岩型	白银厂式、筏子坝式、阿舍勒式、德尔尼式、红沟式	刘山岩式		大平掌式、(呷村式)	玉水式	西裘式、岭后式
陆相火山岩型			(小西南岔式)	峨眉山式		(金瓜石式)、(铜井式)、(银山式)、紫金山式
矽卡岩型	辉铜山式、索尔库都克式、维权式、(小柳沟式)	寿王坟式、大湾式、刁泉式	铜山式	羊拉式、甲玛式、红山式	石碣式、铜绿山式	铜陵式、城门山式
陆相沉积型	风火山式、六盘山式、西南天山式			滇中式	麻阳式	
海相沉积型	特格里曼苏式					
岩浆热液型		莲花山式			两江式	永平式
风化壳型					石碣式	

表 5 中国不同预测类型铜矿的时空演化表

Table 5 Time and space evolution of different prediction type copper deposits in China

序号	成矿时代	主要预测类型	分布区带	典型矿床
1	新生代	斑岩型、矽卡岩、岩浆热液型、陆相沉积型	拉萨地块Ⅲ-43、昌都-兰坪-普洱Ⅲ-36、盐源-丽江Ⅲ-75、狮泉河-申扎Ⅲ-41、库东Ⅲ-16、阔克沙岭Ⅲ-12 长江中下游Ⅲ-69、萍乡-德兴Ⅲ-71、永安-梅州-惠安Ⅲ-82、南岭Ⅲ-83、楚雄Ⅲ-76、滇东南Ⅲ-89、昌都-兰坪-普洱Ⅲ-36、德格-义敦-香格里拉Ⅲ-32、羌南Ⅲ-37、拉萨地块Ⅲ-43、额尔古纳Ⅲ-47、燕辽Ⅲ-57	驱龙、甲玛、冲江、白容、厅宫、玉龙、马拉松多、多霞松多、白秧坪、吴底厂、西范坪、马厂箐、滴水、克孜力坎、特拉克、花园、伽师
2	中生代	矽卡岩型、斑岩型	南阿尔泰Ⅲ-2、唐巴勒Ⅲ-4、觉罗塔格Ⅲ-7、北祁连Ⅲ-21、桂西-黔西南-滇东南Ⅲ-88 康滇Ⅲ-76、狼山-渣尔泰山Ⅲ-58、中条山Ⅲ-63、铁岭-靖宇Ⅲ-56	铜官山、冬瓜山、铜绿山、德兴、永平、紫金山、大宝山、园珠顶、郝家河、松树脚、老厂、卡房、马拉格、仁达、羊拉、金满、普朗、雪鸡坪、多不杂、波龙、雄村、克鲁、乌奴格吐山、刁泉、木吉村、寿王坟、小寺沟
3	古生代	海相火山岩型、岩型		阿舍勒、喀拉通克、包古图、延东、土屋、黄山、白银厂、镜铁山、浪力克、钦甲、两江
4	前寒武纪	沉积变质型		东川、大红山、易门、霍各乞、炭窑口、胡家峪、篦子沟、铜矿峪、红透山、大横路

注:Ⅲ-43 等代码为全国统一的Ⅲ级成矿区带编号,详见徐志刚等(2008)。

(2)中国铜矿的预测类型以斑岩型最重要,其成矿时代主要为新生代和中生代,集中分布于冈底斯、昌都、德兴等地区。

(3)中国铜矿第二重要的预测类型为矽卡岩型,其成矿时代亦集中于新生代和中生代,且多形成富矿。由于西藏甲玛矽卡岩型铜多金属矿床的突破,使得新生代矽卡岩型铜资源量迅速增加,使其与中生代矽卡岩型铜矿并驾齐驱。

(4)中国铜矿各成矿期分别有对应的主要预测类型,特点明显:前寒武纪主要对应岩浆型铜镍硫化物矿床、沉积变质型;古生代主要形成海相火山岩型;中生代和新生代主要形成斑岩型和矽卡岩型。

(5)中国铜矿床最早形成于太古宙,以后几乎各个时代直到第四纪均有产出,但各个时期的成矿强

度却有很大差别,各个时期的铜矿类型又各有特点。中国铜矿床形成时代已知最老的是辽宁清源县红透山沉积变质型铜矿,形成于新太古代;最新的是台湾金瓜石等地的铜金矿,形成于第四纪(郭文魁等,1978;宋叔和,1989;黄崇轲等,2001)。

4 中国铜矿的成矿系列与成矿体系

矿床的成矿系列(简称成矿系列)理论是我国地质学家在长期地质找矿勘探工作和矿床地质研究过程中总结提出来的。它将在一个区域中与某一地质成矿作用有关,在空间、时间、成因上有联系的一组矿床,作为一个整体加以研究(陈毓川等,2007)。根据矿床成矿系列的物质组成,选取以铜为主或为优势矿种的成矿系列共计 27 个及其代表性的典型矿

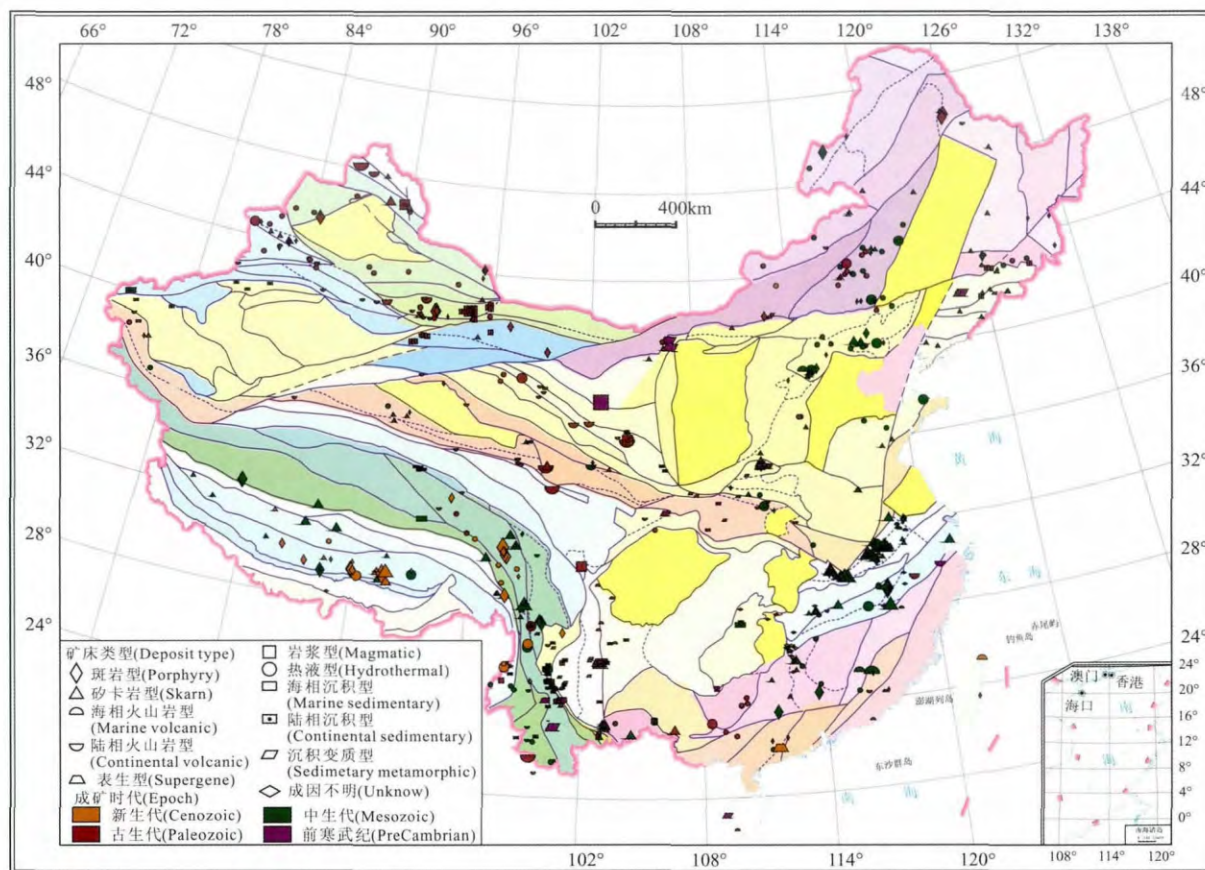


图 2 中国主成矿期的代表性铜矿床分布图

Fig. 2 Major copper deposits in China

床列于表 6。

矿床成矿谱系是矿床成矿系列理论的组成部分,区域矿床成矿谱系是一个区域内地质构造演化过程中成矿作用的演化及时空结构特征,体现了一个特定的区域内所经历的全部地质历史过程中成矿作用的演化过程及成矿产物的时空分布、内在联系的规律^⑨。中国成矿体系是指中国境内各个地质历史时期所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的地质要素所共同构成的整体。此处的地质要素包括成矿时代、成矿时的大地构造背景、成矿地质环境、与成矿有关的地质作用及其过程等(陈毓川等,2007)。

以空间为横轴,以时间为纵轴,在中国成矿体系的基础上,以中国铜矿为主的矿床成矿系列为单元,建立中国铜矿的成矿谱系图(图 3)。中国铜矿的成矿系列亦按照成矿时代排序,太古宙(Ar)→古元古代(Pt_1)→中元古代(Pt_2)→新元古代(Pt_3)→早古生代(Pz_1)→晚古生代(Pz_2)→早中生代(Mz_1)→晚中生代(Mz_2)→新生代(Kz)。同时亦结合矿床的主要成矿作用,铜矿的成矿作用以岩浆作用(I)和沉积作用(S)为主。

5 讨论

5.1 超大型铜矿床的成矿条件

国内通常把储量超过大型矿床储量 10 倍以上的矿床称为超大型矿床,即超大型铜矿床指储量大于 $500 \times 10^4 t$ 的铜矿床,例如西藏的驱龙、玉龙与江西的德兴(涂光炽,1989;陈毓川等,1994;涂光炽和赵振华,2003;《矿产资源工业要求手册》编委会,2010)。超大型铜矿床在国民经济中的重要性不言而喻,研究其成矿条件,为寻找更多超大型铜矿床,扩大我国铜矿资源储量,具有理论和实践的双重意义。超大型铜矿床的形成需要多种有利成矿因素的组合,本文认为其主要成矿条件有以下几个方面:

(1)巨量的铜以及运移铜的介质和驱动铜运移的能量。铜在地壳中的含量为 55×10^{-6} ,但在地壳中易富集成矿(刘英俊等,1987)。流体往往是运移铜的良好介质,具有携带铜的化学活动性能。铜的运移需要巨量的能量,不断地供给使铜的整个成矿系统持续运动。它们的来源往往是多样的,且是巨量的。

表 6 中国以铜矿为主的矿床成矿系列简表(据陈毓川等,2007 修改)

Table 6 Metallogenic series of copper ore deposits in China (after Chen Yuchuan et al., 2007)

序号	编号	铜成矿系列(组)	典型矿床
1	Kz-17	冈底斯-雅鲁藏布江碰撞带与构造-岩浆作用有关的成矿系列	驱龙、甲玛
2	Kz-16	西南三江与陆内造山过程-岩浆作用有关的成矿系列组	玉龙、多霞松多、马厂箐、西范坪
3	Mz ₂ -44	东南沿海与燕山期火山-侵入活动有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Hg、W、Sn、Mo、Nb、Ta、萤石、叶蜡石、明矾石、沸石、膨润土矿床成矿系列	紫金山、玉水
4	Mz ₂ -38	江南地轴与燕山期壳源花岗岩有关的 Cu、W、Sn、Mo、Hg、Sb、Be、Nb、Ta、Pb、Zn 萤石矿床成矿系列	德兴、银山、永平、大宝山
5	Mz ₂ -37I	长江中下游与燕山期壳幔源侵入-喷出岩有关的 Fe、Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 多金属矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	铜官山、铜绿山、冬瓜山
6	Mz ₂ -31	小兴安岭-张广才岭与燕山期陆相火山喷发-岩浆侵入活动有关 Cu、Mo、Pb、Zn、W、Ag、Au 矿床成矿系列	弓棚子、小西南岔
7	Mz ₂ -29	大兴安岭与燕山期中酸性-碱性侵入岩-喷出岩有关的 Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、Sn、W、Fe、S、稀有、REE 矿床成矿系列	乌奴格吐山、莲花山
8	Mz ₂ -25	扬子地台西南缘与侏罗-白垩纪陆相沉积作用有关 Cu、芒硝、石盐矿床成矿系列	六苴、大铜厂
9	Mz-24I	巴颜喀拉(-三江中上游)与中生代沉积-岩浆-构造作用有关的 Cu、Sn、Ag、石膏、油页岩矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	纳日贡玛
10	Mz ₂ -19	昆仑-阿尔金残余海、山间盆地中与沉积-蒸发作用有关 Cu、煤、石膏矿床成矿系列	克孜勒萨依
11	Mz ₁ -9I	三江地区与印支(-燕山)期火山-沉积-岩浆侵入作用有关的 Cu、Fe、Pb、Zn、Ag、Au、石膏矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	雪鸡坪、红山、呷村
12	Mz ₁ -5	中国东北部(吉黑)与印支期陆相火山喷发-岩浆侵入活动有关 Cu、Ni、Co、Pb、Zn、Ag、Au 矿床成矿系列	华铜、向阳、白岭
13	Pz ₂ -10I	兴安岭-张广才岭-太平岭与海西旋回岩浆-沉积作用有关的 Cu、Cr、Fe、Ti、Mo、Au、Ag、Be 水晶、石墨、碳酸盐岩、陶粒页岩、煤矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	大宝山、铜山
14	Pz ₂ -6I	东天山与海西旋回构造-岩浆作用有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Mo、W、Sn、Au、Ag、Ni、Co、V、Ti、蛇纹石、滑石矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	土屋、延东
15	Pz ₂ -2	新疆北部与晚古生代幔源基性超基性岩(地幔柱?)有关的 Cu、Ni、Co、PGE 矿床成矿系列	黄山、喀拉通克
16	Pz ₂ -1	阿尔泰与海西旋回构造-岩浆作用有关的 Cu、Ni、Pb、Zn、Au、Ag、Co、PGE、Be、Li、Nb、Ta、宝石矿床成矿系列	阿舍勒
17	Pz ₁ -10I	柴北缘-祁连与加里东旋回岩浆、沉积、变质作用有关 Cr、Fe、Cu、Ni、Pb、ZnW(Mo)、Au、REE 矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	白银厂、浪力克
18	Pt ₃ -11S	昆仑新元古代构造旋回 Cu、Pb、Zn、稀有金属、云母、水晶、宝石硫矿床成矿系列组-火山沉积成矿系列	阿克陶玛拉
19	Pt ₃ -9I	东南天山新元古代构造旋回矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	兴地塔格
20	Pt ₃ -8I	西天山新元古代构造旋回矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	喇嘛萨依
21	Pt ₃ -6	康滇地轴与新元古代岩浆岩有关 Cu、Fe、Ni、Sn、PGE 矿床成矿系列	冷水箐
22	Pt ₂ -4	扬子地台中部(江南地轴)与中元古代岩浆作用有关的 Cu、Ni、Sn、非金属矿床成矿系列	大坡岭、四堡
23	Pt ₂ -3-5	扬子地台东南部与中、新元古代火山-沉积变质改造作用有关 Cu、Au、矿床成矿系列组	西裘
24	Pt ₂ -3	扬子地台西南部与中元古代火山-沉积变质改造作用有关的 Fe、Cu、REE 矿床成矿系列	东川、易门、大红山、拉拉
25	Pt ₂ -2I	华北地台西部与中元古代裂陷拉张环境火山-沉积变质改造作用有关 Fe、Cu、Pb、Zn、REE、稀有、Au、硫铁矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	金川
26	Pt ₁ -4I	华北地台西部(山西裂谷?)与古元古代构造旋回有关的 Cu、Co、Au、非金属矿床成矿系列组-岩浆成矿系列	胡家峪、篦子沟
27	Ar ₃ -1	华北地台中东部(辽吉、冀东、鲁西花岗-绿岩带中)与新太古代前期(2.8-2.7Ga)构造旋回有关的 Fe、Cu、Zn、Au 多金属矿床成矿系列组	红透山

(2)源、运、储的有效组合。巨量的铜、运移铜的介质和驱动铜运移的能量为形成超大型铜矿床提供了首要条件,其次是铜运移所需的通道。大型构造往往是天然的通道,而各种次级构造为铜的最后聚

集沉淀提供了场所。

(3)良好的保存条件。矿床形成后,仍会遭受一系列的地质作用,包括所在区域的隆升或凹陷、构造变形、岩浆活动以及地表风化改造等。即使形成了

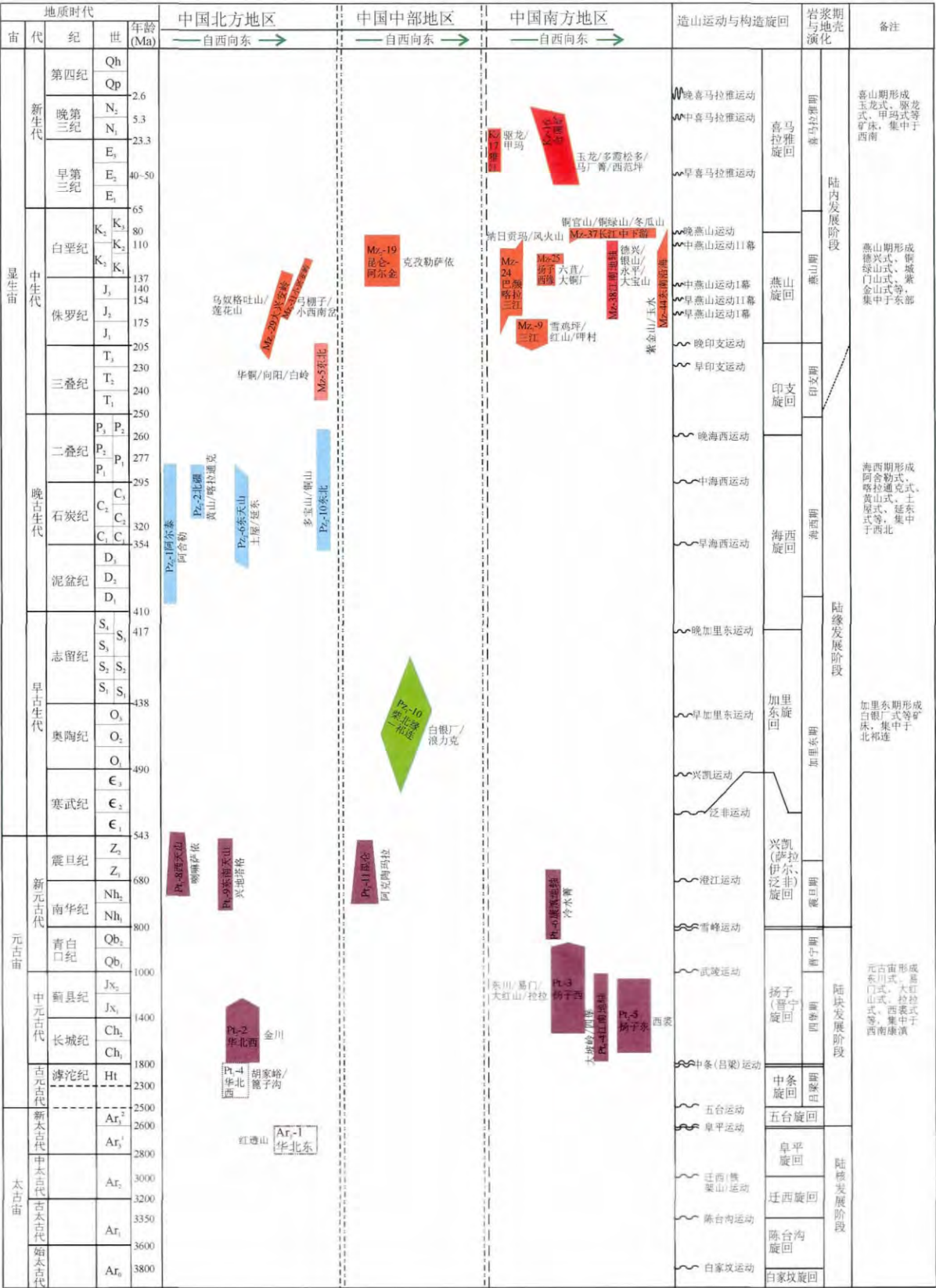


图 3 中国铜矿成矿谱系图(据陈毓川等,2007 修改)

Fig. 3 Metallogenetic lineage figure of copper ore deposits in China (after Chen Yuchuan et al. , 2007)

超大型的铜矿床,其保存条件对矿床仍至关重要。只有全部保存且现今接近地表的超大型铜矿床,是最理想的可供勘探和开采的目标(翟裕生等,1997)。

总之,超大型铜矿床的形成是一个长期、复杂的地质过程,其成矿因素、演化过程及形成后的改造与保存都是重要的影响因素(陈毓川等,1994;裴荣富等,2013)。

5.2 深部找矿问题

随着我国铜矿找矿勘查工作的不断扩大与深入,深部找矿问题已经成为扩大我国铜矿资源储量的重要方面。我国铜矿的深部找矿工作应注意以下几个问题:

(1)重视成矿理论认识对深部找矿的指导作用。成矿理论认识的提高,有利于正确判断深部矿体的形态与产状。例如,新疆阿舍勒铜矿区,前人认为 I 号矿体呈似层状或大的透镜状,产于玄武岩与流纹质火山碎屑岩的接触界面上,与地层整合接触,同步褶皱,矿体在水平断面上形似“月牙状”,在横断面上呈“鱼钩状”,埋深于 888~110 m 水平标高间,向斜倒转翼和回转端矿体厚度最大,正常翼矿体厚度最小。但王登红等(1995)认为 I 号矿体在深部继续向下延伸,深部仍有较大潜力。2010 年以来,开展深部找矿,加大深孔钻探的力度,在矿区北部一号铜锌矿床 I 号矿体深部,打到富铜硫矿体,新增铜资源量 30 多万吨。一号矿床共有 4 个矿体, I 号矿体为主矿体。因此,结合成矿理论认识对深部找矿的指导,应在宏观上开展面上的战略性选区,在危机矿山开展“攻深找盲”,并在部署新区工作时即应考虑到矿体的埋藏深度、“第二富集带”、“第三富集带”等问题(王登红等,2013a)。同时,开展点上的技术攻关,对已知铜矿产地开展深部勘查,可在典型矿床研究的基础上加大勘查深度,重点矿床的探测深度可至 3000 m。另外,对已知但铜不作为主要矿种的矿产地,亦可开展深部勘查,共/伴生的多金属往往具有明显的垂向分带与水平分带。例如,西藏甲玛铜多金属矿床,前人曾将其作为铅锌矿开采利用,但随着对矿床成矿过程的不断深入理解,钻探工程向深部延拓,证实其是以铜为主的多金属矿床,且具有明显的分带性:垂向上从下往上具有 $\text{Mo} \rightarrow \text{Cu}(-\text{Au}-\text{Ag})$ 的元素分布规律;侧向上,从岩体向外接触带具有 $\text{Mo}(-\text{Cu}) \rightarrow \text{Cu}(-\text{Mo}-\text{Au}-\text{Ag}) \rightarrow \text{Cu}-\text{Pb}-\text{Zn}(-\text{Mo}-\text{Au}-\text{Ag})$ 的分带(唐菊兴等,2011,2013)。已知铜矿产地的外围,亦可作为铜矿勘查的新点,结合已知矿产地的地质特征,开展深部找矿工作。

(2)在深部找矿过程中充分运用找矿模型,以“五层楼+地下室”找矿模型为例。“五层楼”模式作为我国矿床学界和找矿勘查学界长期总结的经验模式得到了广泛的运用,近年来,随着深部找矿成果的显现,已发展成为“五层楼+地下室”找矿模型。该模型不仅适用于江西省的石英脉型钨矿床,在江西德兴、西藏玉龙、驱龙和甲玛等斑岩型-矽卡岩型铜矿床中,该模型亦具有适用性。在以脉状矿体为主的老矿区,因以往的勘查深度不足而难以证明深部找矿远景时,可利用该模型思路,注重寻找深部层状矿体。该找矿模型,也适用于工作程度很低的地区,在部署工作伊始就可以适当考虑增加一些深部钻孔以探索层状矿体或者层状矿体出现所必须的地质条件,如层状破碎带、沿层交代的矽卡岩以及顺层侵入的岩体等。例如,在对西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区进行勘查时,通过对成矿地质条件的研究,从对出露地表的层状铅锌矿的补充勘探,转向深部铜多金属矿体的勘查。钻孔详细的地质编录,亦发现层状矽卡岩多金属矿体之上存在由密集细石英脉组成的钼矿体,其产状大致与层状矿体垂直,亦显现出“五层楼+地下室”的现象(王登红等,2010b)。

(3)综合利用地、物、化、遥等方面的信息与技术开展深部找矿。地质、物探、化探、重砂、遥感等综合信息可反映控矿因素,综合利用其信息有利于预测隐伏矿体、盲矿体和难识别矿床等,尤其适合于深部找矿。例如开展斑岩型铜矿的勘查,可利用遥感数据资料,圈出重点靶区,采集土壤和岩石的地表化学样品,分析主要成矿元素,圈出异常区,结合磁异常,布置钻探工程,不仅有利于浅部斑岩型铜矿体的勘查,对深部矿化体的分布可提供更确切的综合信息。

应加大钻探技术的研究与应用开发。深部找矿,无疑离不开钻探。目前在我国,一方面 5000 m 深度全孔取芯的科学超深钻已取得了成功,而另一方面,固态矿产钻探深度仍集中在 500 m 以浅的水平。因此,须加大 1000~3000 m 中深尺度钻探取芯技术的研究力度,开展配套的综合测量和评价技术研究,包括地球物理和地球化学的测量、解译技术,在尽量少打深孔(考虑到成本问题)的前提下,获得最多的信息。结合地表开展的系统研究,保证孔位定得科学、经济、有效。因此,在技术方法方面的创新需突出从传统化探找“晕”到现代化探找“源”,从传统物探直接找矿到现代物探找含矿地质体(王登红等,2010b)。

6 结论

(1)在分析全国已知近 6000 处铜矿产地资料的基础上,总结了矿床类型,完善了对中国铜矿预测类型的划分方案,分为 10 个类型。斑岩型最重要,集中形成于新生代和中生代,分布于西南和长江中下游等地区。

(2)划分出 4 个大的铜矿成矿期:前寒武纪(太古宙、元古宙)、古生代、中生代和新生代。冈底斯斑岩型和矽卡岩型铜矿资源量的增加,使新生代成为最主要的铜矿成矿期,这也表明中国铜矿主要成矿时代亦与世界铜矿一致,即以喜马拉雅期为主。

(3)根据矿床成矿系列的物质组成,厘定出以铜为主或为优势矿种的成矿系列共计 27 个。

(4)基于对全国铜矿成矿规律的新认识,认为东部深部找矿和西部拓展新区都是铜矿找矿的主导方向,西部地区可以在拓展新区的一开始就借鉴“五层楼+地下室”等模式指导找矿,以期更快地推动找矿突破。

致谢:衷心感谢陈毓川先生在中国铜矿成矿规律总结过程中给予的谆谆指导,谨以此文庆祝陈先生 80 华诞。

注 释

- ① 国土资源部. 2012. 全国矿产资源储量通报.
- ② U. S. Department of the Interior. U. S. Geological Survey. 2014. Mineral Commodity Summaries, 48~49.
- ③ 陈毓川,王登红,王平安,毛景文. 2001. 矿床成矿系列及成矿谱系研究的进展及范例. 见:中国地质调查局编,矿产资源调查评价理论与方法技术论文集,25~33.

参 考 文 献

- 《矿产资源工业要求手册》编委会. 2010. 矿产资源工业要求手册. 北京:地质出版社.
- 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. 中国地质, (1): 22~25.
- 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(上下册). 北京:地质出版社.
- 陈毓川,王登红,陈郑辉,徐志刚,李建康,宗瑶,盛继福,徐珏,袁忠信,白鸽,朱明玉,李厚民,高兰,李华芹,屈文俊,陈文,王彦斌,张永生,叶会寿,应立娟,王成辉,刘善宝,付旭杰. 2010a. 全国重要矿产和区域成矿规律研究技术要求. 北京:地质出版社.

- 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,张建. 2010b. 重要矿产预测类型划分方案. 北京:地质出版社.
- 郭文魁,常印佛,黄崇珂. 1978. 我国主要类型铜矿成矿和分布的某些问题. 地质学报, 52(3): 169~181.
- 黄崇珂,白治,朱裕生,王惠章,尚修治. 2001. 中国铜矿床. 北京:地质出版社.
- 刘英俊,曹励明. 1987. 元素地球化学导论. 北京:地质出版社, 176~192.
- 裴荣富,梅燕雄,翟泓滢,王浩琳. 2013. 大型-超大型矿床找矿新认知. 矿床地质, 32(4): 661~664.
- 芮宗瑶. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京:地质出版社.
- 宋叔和. 1994. 中国矿床. 北京:地质出版社.
- 唐菊兴,邓世林,郑文宝,应立娟,汪雄武,钟康惠,秦志鹏,丁枫,黎枫估,唐晓倩. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型. 矿床地质, 30(2): 179~196.
- 唐菊兴,郑文宝,陈毓川,王登红,应立娟,秦志鹏. 2013. 西藏甲玛铜多金属矿床深部斑岩矿体找矿突破及其意义. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1100~1110.
- 涂光炽. 1989. 关于超大型矿床的寻找和理论研究. 地球科学进展, (6): 14~20.
- 涂光炽,赵振华. 2003. 中国超大型矿床. 北京:科学出版社.
- 王登红. 1995. 新疆阿舍勒火山岩型块状硫化物铜矿床成矿机制与成矿模式. 中国地质科学院博士学位论文.
- 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. 中国新生生成矿作用. 北京:地质出版社.
- 王登红,陈郑辉,陈毓川,唐菊兴,李建康,应立娟,王成辉,刘善宝,李立兴,秦燕. 2010a. 我国重要矿产成矿年代学研究新数据. 地质学报, 84(7): 1030~1040.
- 王登红,唐菊兴,应立娟,陈郑辉,许建祥,张家菁,李水如,曾载琳. 2010b. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义. 吉林大学学报:地球科学版, 40(4): 733~738.
- 王登红,唐菊兴,应立娟,芮宗瑶,郑文宝. 2011. 甲玛与世界级铜矿的初步对比及下一步找矿工作建议. 矿床地质, 30(2): 197~206.
- 王登红,陈毓川,王瑞江,黄凡,王永磊. 2013a. 对南岭与找矿有关问题的探讨. 矿床地质, 32(4): 854~863.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,盛继福,朱明玉,刘喜方,张长青,王成辉,王永磊. 2013b. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1092~1099.
- 王登红,李华芹,屈文俊,何晗晗,秦燕,刘新星,黄凡,王成辉,李超,陈郑辉,李建康,张长青,王永磊,梅玉萍,应立娟,李立兴,赵芝,赵正,付勇,孙涛,侯可军. 2014. 全国成岩成矿年代谱系. 北京:地质出版社, 1~438.
- 王之田. 1994. 大型铜矿地质与找矿. 北京:冶金工业出版社.
- 王之田,秦克章. 1988. 中国铜矿床类型,成矿环境及其时空分布特点. 地质学报, (3): 257~267.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京:地质出版社.

翟裕生,张湖,宋鸿林,邓军,程小久. 1997. 大型构造与超大型矿床. 北京:地质出版社.

赵一鸣,吴良士,白鸽,袁忠信,叶庆同,黄民智,芮宗瑶,盛继福,林文蔚,邓耸平,毛景文,毕承思,党泽发,王龙生,张作衡,陈伟十. 2004. 中国主要金属矿床成矿规律. 北京:地质出版社.

赵振华,刘秉光. 2001. 我国与寻找超大型矿床有关的基础研究进

展. 地球科学进展, 16(2):184~188.

中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所主编,北京矿产地质研究所,中南工业大学地质系,昆明工学院地质系,吉林矿产地质研究所合编. 1987. 国外主要有色金属矿产. 北京:冶金工业出版社.

钟汉,姚凤良. 1987. 金属矿床. 北京:地质出版社.

Metallogenic Regularity of Copper Ore in China

YING Lijuan^{1,2)}, CHEN Yuchuan¹⁾, WANG Denghong¹⁾, TANG Juxing¹⁾,
CHEN Zhenghui¹⁾, WANG Chenghui¹⁾

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Department of Mineral Resources, Chang'an University, Xi'an, 710064*

Abstract

Copper resources in China are rich, but imported copper resources are still required. Based on data of 814 copper ore deposits and other ore (mineralized) occurrences, ten prediction types of copper ore have been updated. Porphyry and skarn copper ores are taken as the key prediction types. Porphyry copper resources are the most important one which concentrates in Gangdese, Changdu-Sanjiang, Dexing and East Tianshan. The Cenozoic and Mesozoic are the major metallogenic epochs. Four main metallogenic epochs are been studied based on the copper ore geochronological data. Based on the study of metallogenic series of metal deposits in China, twenty-seven metallogenic series of copper ore deposits are proposed. This is suggested to deepen the study of metallogenic regularity of copper ore and provide the theory guide for copper resources prediction in China.

Key words: Copper; porphyry copper type; prediction type; metallogenic regularity; metallogenic series