

引用格式: 常艳,杜晓慧,张百忍. 国外低品位铜矿分布与利用技术现状[J]. 中国地质调查,2016,3(3): 62-66.

# 国外低品位铜矿分布与利用技术现状

常艳,杜晓慧,张百忍

(中国地质图书馆,北京 100083)

**摘要:** 我国是矿产资源大国,但随着国民经济的高速发展,我国对铜矿的依存度逐年上升,据海关统计,目前已达70%,因此我国大力提倡绿色矿业,发展适宜处理的低品位、难选冶铜矿的提取技术及矿渣和尾矿的综合利用,提高铜矿利用率。通过从 MRDS、MEG 和 InfoMine 等矿产数据库中提取矿床数据,对国外低品位铜矿床的分布、可利用情况、矿床类型、开采利用技术及成矿控制因素等方面开展调查统计分析,并选取重要矿床进行典型案例分析,为我国低品位铜矿综合利用提供可借鉴的依据。

**关键词:** 低品位; 铜矿; 综合利用

**中图分类号:** P618.41; P617

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2016)03-0062-05

## 0 引言

铜是我国国民经济建设中相当重要的金属原料,铜矿石多年来一直列于我国矿产资源中的紧缺矿产,每年都需大量进口<sup>[1]</sup>。中国铜矿资源缺乏,具有富矿少、贫矿多、矿床规模小等特点<sup>[2]</sup>,无论是矿床类型、储量还是开发利用条件、技术,与世界铜工业发达国家相比均处于劣势。因此,开展国外低品位铜矿资源发展现状分析调研,为我国开展相关工作提供信息支撑和借鉴是一项十分重要的工作。

本文低品位铜矿指矿石中 useful 组分的品位或主要有用矿物的单位含量在我国现行规范推荐的最低工业品位之下、边界品位之上的铜矿资源。按照我国主要矿产一般工业指标,采用铜品位 0.2%~0.5% 为界定标准,划定低品位铜矿。本文以 Mineral Resources Data System (MRDS)、MEG 和 InfoMine 矿产数据库作为主要信息来源,对全球低品位铜矿床分布、可利用情况、选矿方法及受控因素等方面进行统计分析,为我国了解国外低品位铜矿的分布与利用技术现状提供基础资料。

## 1 国外低品位铜矿的分布

全球铜矿资源分布广泛,遍及六大洲,有 150

多个国家都有铜矿资源,部分国家可采年限达 100 a 以上。全球铜矿储量智利居世界第一,其次为秘鲁、澳大利亚、墨西哥、美国、中国、俄罗斯、印度尼西亚、波兰、赞比亚、哈萨克斯坦和加拿大,上述 12 个国家铜储量合计占世界总储量的近 90%<sup>[3]</sup>。

对 MRDS 数据库中分布的 1 712 个铜矿床品位数据进行分析(图 1),低品位铜矿矿床数量为 502 个,占矿床总量的 29.32%;品位介于 0.5%~2% 的铜矿床数量为 798 个,占总矿床数量的 46.61%;品位大于 2% 的铜矿床数量为 224 个,占铜矿床总量的 13.08%。国外低品位铜矿床主要分布在加拿大、澳大利亚、智利、巴西、玻利维亚、缅甸和保加利亚(表 1),这些铜矿床的开采类型为地表开采(152

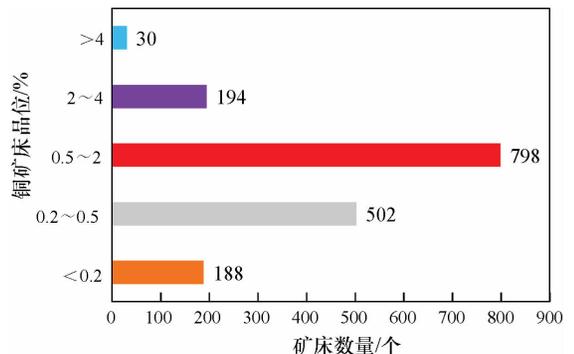


图 1 国外铜矿床品位-数量统计分布图

Fig. 1 Statistic distribution of grade and quantity of foreign copper ore deposits

收稿日期: 2016-03-11; 修订日期: 2016-04-26。

基金项目: 中国地质调查局“我国低品位、难选冶矿产可利用性评价(编号: 1212011220806)”项目资助。

第一作者简介: 常艳(1982—),女,工程师,主要从事情报研究工作。Email: changyan1008@163.com。

个,占比 34%)、地表/地下开采(61 个,占比 14%)  
和地下开采(233 个,占比 52%)3 种。

表 1 国外低品位铜矿区域分布情况

**Tab.1 Distribution of foreign low-grade copper ore deposits**

序号	国家(英文)	国家(中文)	矿床数量/个	所占比例/%
1	Canada	加拿大	686	74.0
2	Chile	智利	62	6.7
3	Australia	澳大利亚	61	6.6
4	Brazil	巴西	49	5.3
5	Bolivia	玻利维亚	46	5.0
6	Burma	缅甸	11	1.2
7	Botswana	博茨瓦纳	9	1.0
8	Bulgaria	保加利亚	3	0.3

表 2 全球铜矿资源量、矿床数量统计结果

Tab.2 Statistic of resources and quantity of world copper ore deposits

统计项	不同品位铜矿床统计量值				
	≤0.2%	(0.2%, 0.5%]	(0.5%, 2%]	(2%, 4%]	>4%
矿床数量/个	30.00	348.00	600.00	156.00	25.00
矿床数占比/%	2.59	30.02	51.77	13.46	2.16
储量/亿 t	0.63	3.24	3.62	0.30	0.17
储量占比/%	7.91	40.70	45.48	3.77	2.14
资源量/亿 t	2.90	10.43	12.72	1.52	0.37
资源量占比/%	10.38	37.33	45.53	5.44	1.32

## 2 国外低品位铜矿可利用情况

根据我国工业要求手册,0.2% < 铜品位 ≤ 0.5% 的为低品位铜矿。由表 2 可知,国外低品位矿床数量占 30.28%,但储量占 44.75%,资源量占 41.74%,具有一定的开发潜力。这些铜矿资源是否得到了有效的开发利用,还需要对开发利用情况开展进一步研究。

通过国外低品位铜矿床的开发情况(图 2)可知,低品位铜矿床中,大部分矿床处于已利用开采阶段,还有一部分处于可行性研究和预可行性研究阶段。不同开发利用状态矿床储量和资源量占比结果(表 3)表明,已利用开采阶段的矿床数量占 64.84%,储量和资源量分别占总储量和总资源量的 41.68% 和 52.98%,无论是矿床数量,还是储量和资源量,占比均较高。

通过剔除中国数据前后对比(图 2,表 3)可

结合 MEG 中矿床品位、储量和资源量数据(表 2)可知,铜矿储量为 7.96 亿 t,资源量为 27.94 亿 t。其中,品位低于 0.2% (含 0.2%) 的矿床有 30 个,储量为 0.63 亿 t,资源量为 2.90 亿 t;品位介于 0.2% ~ 0.5% (含 0.5%) 之间的矿床有 348 个,储量为 3.24 亿 t,资源量为 10.43 亿 t;品位介于 0.5% ~ 2% (含 2%) 之间的矿床有 600 个,储量 3.62 亿 t,资源量 12.72 亿 t;品位介于 2% ~ 4% (含 4%) 的矿床有 156 个,储量为 0.3 亿 t,资源量为 1.52 亿 t;品位大于 4% 的矿床有 25 个,储量为 0.17 亿 t,资源量为 0.37 亿 t。

以看出,对整个统计分布规律没有造成趋势性影响。

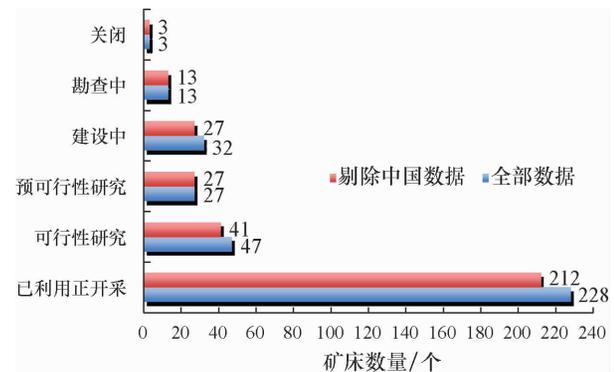


图 2 低品位铜矿床开发数量现状

Fig.2 Development situation of low-grade copper ore deposits

低品位铜矿资源量占全球总资源量的 41.74%,其中大部分资源量都是可开采状态,由此可知,国外低品位铜矿的利用程度较高。

表3 不同开发利用状态的铜矿床储量、资源量占比

Tab.3 Ratio of reserves and resources of copper ore deposits in different development situation (%)

利用状态	矿床数量比例		储量比例		资源量比例	
	全球	不包括中国	全球	不包括中国	全球	不包括中国
关闭	0.87	0.92	0.00	0.00	0.12	0.13
建设中	9.26	8.25	60.26	39.21	19.75	16.59
勘查中	3.76	3.98	0.01	0.01	0.42	0.45
可行性研究	12.43	13.76	20.44	14.10	15.72	16.30
已利用正开采	65.90	64.84	12.13	41.68	51.41	52.98
预可行性研究	7.80	8.26	7.15	5.03	12.59	13.56

### 3 国外低品位铜矿矿床类型

国外低品位铜矿的主要矿床类型有斑岩型铜矿、火山成因的块状硫化物铜矿、细脉浸染型铜矿及矽卡岩型铜矿等,其中斑岩型铜矿和火山成因的块状硫化物铜矿为主要成矿类型,分别占入库统计矿床数量的56.8%和9.9%;此外,对成因分析可知,矿床形成的影响因素有岩浆热液作用、变质作用和次生作用,其中,岩浆热液作用占统计数量的77.1%,是低品位铜矿的主要成因类型。

“斑岩铜矿”最早出自20世纪初美国西南部(亚利桑那州和新墨西哥州)的斑岩铜矿带,其原意是指产于强烈绢云母和石英化中酸性斑岩里的细脉浸染型铜矿。由于该类矿床的矿化并非都产于斑岩体内,目前多数学者考虑其矿床名字的连贯性、完整性,将全部或部分矿体产于中酸性(斑)岩体(部分矿体产于围岩中)的铜矿床称之为斑岩型铜矿<sup>[4]</sup>。

虽然斑岩型铜矿品位低,但矿化均匀,以其规模大、埋藏浅、易开采而成为主要的铜矿床类型(约占全球铜储量的50%)。在时间分布上,斑岩型铜矿形成时代主要集中在中—新生代,其次是古生代。在空间分布上,主要集中在3条大的成矿带上:环太平洋成矿带、特提斯—喜马拉雅成矿带和古亚洲成矿带(即中亚成矿带)<sup>[4]</sup>。

目前国内外研究学者普遍认为,斑岩型铜矿的主要成因类型是岩浆热液作用。斑岩型铜矿和斑岩钼矿、斑岩锡矿、斑岩铁矿一样,成矿过程中都要有水、矿化剂和成矿金属的加入,还要有促使其活化迁移的热源和驱动力。热源一般靠地下岩浆和热流体,驱动力除了热源外,构造活动和脉动也是重要因素<sup>[5-6]</sup>。

### 4 低品位铜矿利用技术

本文将MRDS、MEG和InfoMine入库的低品位铜矿床中利用技术数据提取出来,并进行统计分析,剔除掉破碎、磨碎、半自磨、球磨等加工流程数据后,得到国外低品位铜矿利用技术占比数据(表4)。统计结果显示,国外低品位铜矿利用技术中,浮选和溶剂萃取仍是矿石加工选矿利用的主流,堆浸在内的湿法冶金仅次于传统方法,在矿石加工利用中的占比也逐步增大。浮选、溶剂萃取、堆浸和湿法冶金占统计总量比例高达92.49%。

表4 国外低品位铜矿利用技术占比  
Tab.4 Statistics of utilization technology for foreign low-grade copper ore deposits

序号	利用技术(英文)	利用技术(中文)	比例/%
1	Flotation	浮选	52.74
2	Solvent - Extraction Electrowinning	溶剂萃取 - 电积	29.45
3	Heap Leach	堆浸	7.53
4	Hydrometallurgical	湿法	2.74
5	Gravity	重力	2.05
6	In - Situ Leach	原地浸析	2.05
7	Bio - Leaching	生物浸出	1.37
8	Bio - Oxidation	生物氧化	0.69
9	Carbon - In - Leach	炭浸法	0.69
10	Dense Media Separation	重介质分离	0.69

### 5 低品位铜矿床成矿控制因素

本次统计的低品位铜矿床中,有83个矿床有成矿控制因素分析数据,通过对这些数据分析统计得出,主控因素主要有4类(表5),分别受断层、层位、岩体及裂隙等因素控制。本文从数据库中筛选

出几个典型的低品位铜矿床进行分析,通过分析认为,岩体是铜矿床的主要控制因素,而构造对岩浆演化和成矿具有明显影响。

表5 低品位铜矿成矿控制因素

Tab.5 Controlling factors of low-grade copper ore deposits

控矿因素(英文)	控矿因素(中文)	矿床数量
Fault	断层	16
Bedding	层位	16
Fractures	裂隙	7
Lithology	岩体	9

### 5.1 菲律宾阿特拉斯铜矿

菲律宾群岛出露石炭系至第四系火山沉积岩。石炭系—侏罗系主要由砂岩、砂砾岩等沉积岩组成;白垩系—古新统由深海、半深海沉积岩及玄武岩、安山岩组成;古新统一上新统为玄武岩、安山岩、火山碎屑岩及海相碎屑沉积岩;上新统一更新统主要由安山岩、玄武岩、英安熔岩和流纹英安熔岩、碎屑岩及沉积岩组成<sup>[7]</sup>。

菲律宾受太平洋板块向西俯冲的影响,发育一系列N、NW、NNW向的弧形构造。其中,吕宋岛中央—马斯巴特—莱特—棉兰老岛圣阿古斯丁角的弧形左行走滑断层几乎贯穿整个菲律宾,对菲律宾侵入岩、火山岩及矿产的分布起到重要的控制作用。

菲律宾岩浆活动强烈,形成众多的超基性、基性、中性及酸性系列侵入岩。菲律宾斑岩铜、金成矿带以铜(金)矿床为主,铅锌矿次之,北起吕宋岛中科迪勒拉山脉,南至马德雷山脉、莱特山脉,全长大于1 000 km,由北向南逐渐变宽,为菲律宾主要金属成矿带,分布大量的铜(金)矿床,其中吕宋岛中科迪勒拉山脉、西内格罗斯南部和宿务岛中部是本带斑岩型铜矿的密集区,其控矿因素主要有以下3个方面。

(1)构造控矿。受区域断裂及火山活动的共同作用,区内断裂构造发育,构造线方向以NE向为主,少量为近EW向及NWW向。与成矿关系最为密切的断裂为NE向,是区内主要的导岩导矿构造,控制着本区地层、岩浆岩和铜矿化带的展布,为成矿作用提供了通道。矿床的产出部位多受两组或多组断裂构造的控制(比加矿床位于NE向和近NW向两个构造交汇处附近),矿化带中受裂隙控制的各种热液脉体十分发育,富矿体的产出明显受

构造裂隙控制(卢托潘矿床矿化富集受NE、NW及EW向3组相互交叉的断裂以及NW向“马尾”构造的控制)。

(2)岩浆岩控矿。区内的岩浆活动主要为古新世的中性闪长岩,侵入岩体的上升入侵为铜、金元素的活化、迁移和富集提供了充足的热源和矿源。

(3)白垩系火山碎屑岩控矿。古新世闪长岩体侵入作用萃取了火山碎屑岩中的含矿物质,经迁移、富集、沉淀而成矿。白垩系火山碎屑岩是该区矿床的主要围岩,也是成矿的主要场所。卡门矿床70%的矿化分布于火山碎屑岩中,卢托潘矿床为50%,比加矿床为30%。因此,白垩系火山碎屑岩为矿床的形成提供了矿源和场所,是该区斑岩型成矿的最有利围岩。

### 5.2 智利丘基卡马塔铜矿

丘基卡马塔斑岩铜—钼矿山位于智利 Antofagasta 东北大约 240 km 处。丘基卡马塔矿床矿石的富集取决于许多因素,首先应归结于作为岩浆源的岩基已有铜的强烈富集;其次,西部断裂有很大意义,因为它连结了矿床与岩浆源,同时促使含矿溶液向上运动而达到岩基的穹隆部位;再次,相互交替的硅化与角砾化过程对于成矿沉积地段的形成也有重要的作用;最后,在降水的作用下铜受到淋蚀并再沉积<sup>[8]</sup>。

### 5.3 菲律宾 Comval 铜金矿

菲律宾境内的 Comval 铜金矿位于棉兰老岛(民答那峨岛)康波斯特拉谷省(Compostela Valley)的 Camanlangan,距菲律宾共和国达沃市(Davao)东北方向 90 km。铜和金的成矿作用和矽卡岩型变质作用有关,特点是发育磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、石榴石和绿帘石<sup>[8]</sup>。

Comval 铜—金矿床中发现的矿床类型主要有 2 种:斑岩型铜—金矿床和浅成热液成因的金—银矿床。Comval 铜—金矿形成的控制因素主要有以下 2 个方面。

(1)构造控矿。该成矿带的发育归因于沿着菲律宾断裂带的复活活动,导致形成近于平行的断层系统和八字形断层,控制闪长岩和花岗闪长岩侵入岩体的侵位以及相关的玢岩和铜金成矿作用。

(2)岩浆岩控矿。成矿作用形成的磁铁矿和黄铜矿透镜体的分布局限在不同厚度和强度的矽卡岩型变质作用形成的晕圈内,并有火山岩夹层。

## 6 结论

本文通过对 MRDS、MEG、InfoMine 3 个主要的大型矿产数据库中的矿床数据进行机检、人工检索和大量的人工筛选,对国外低品位铜矿分布、可利用情况、矿床类型、矿床成因、利用技术和控矿因素进行了全面的统计。通过以上数据分析认为,国外低品位铜矿主要分布在加拿大、澳大利亚、智利、巴西、玻利维亚、缅甸和保加利亚,矿床主要以地下开采为主;矿床类型主要为斑岩型铜矿,其次为火山成因的块状硫化物铜矿、细脉浸染型铜矿、矽卡岩型铜矿,这些矿床主要是在岩浆热液作用下形成;国外低品位铜矿利用技术中,浮选和溶剂萃取仍是矿石加工选矿利用的主流,堆浸在内的湿法冶金仅次于传统方法,在矿石加工利用中的占比也逐步增大;矿床形成主要受岩体、构造等因素影响。

通过国内外对比认为,单纯从矿产资源和加工技术来看,我国的工艺水平处于国际第一梯队,这是我国资源特点决定的,也是中国矿业工作者共同努力的结果。但是从装备和自动化程度上看,我国与发达国家相比还存在很大的差距,这也是矿业全

行业生产率低、能耗高、消耗大、加工成本高、经济效益不好的原因之一。希望通过本文对国外低品位铜矿的分布和发展现状的对比分析,促使我国能够重视铜矿的综合利用,加强技术攻关,提高选冶技术、设备研发能力和自动化程度,为我国经济的快速发展提供保障。

### 参考文献

[1] 许德娟,朱佩思,陈永欣,等. 中国铜矿分析文献评介[J]. 大众科技,2013,15(7):58-63.

[2] 陈从喜. 中国铜矿资源的综合利用与绿色矿业[J]. 国土资源情报,2010(9):31-34.

[3] 元春华,韩九曦,刘大文,等. 全球铜矿资源潜力探析[J]. 中国矿业,2012,21(11):1-5.

[4] 马瑛. 斑岩铜矿的研究现状与展望[J]. 西部探矿工程,2007(9):89-92.

[5] 杜琦,马晓阳,韩成满,等. 斑岩铜矿成因探讨[M]. 北京:地质出版社,2008.

[6] 郭周平,赵辛敏,白赞. 北祁连山银灿铜矿矿床地质特征及成因[J]. 中国地质调查,2015,2(3):54-58.

[7] 徐书奎,刘娟. 菲律宾阿特拉斯铜矿地质特征及找矿方向[J]. 现代矿业,2012(1):47-49.

[8] Cube consulting Pty Ltd. Comval copper-gold project mineral resource estimates for the Tagpura, Maangob & Kalamatan prospects republic of the Philippines[R]. 2013.

## Reviews of distribution and utilization technology of international low-grade copper ore deposits

CHANG Yan, DU Xiaohui, ZHANG Bairen  
(National Geological Library, Beijing 100083, China)

**Abstract:** China is a country with rich mineral resources and the demand of copper resources in China increased substantially with the rapid economy development. According to the statistics from customs, China's copper import volume has reached to 70% of copper consumption. So Chinese government intent to promote the green mining industry, develop the copper extractive technique of low-grade and refractory ore and utilize tailings to improve the utilization rate of copper. According to the data from MRDS, MEG and InfoMine database, we analyzed the distribution, utilization, deposit types, exploitation technology and mineralization controlling factors of low-grade copper ore deposits. Several important mineral deposits were selected as typical case study. This work can provide some referential basis for utilization of low-grade copper ore.

**Key words:** low-grade; copper ore; comprehensive utilization