

文章编号:0258-7106(2004)01-0093-08

中国钴资源及其开发利用概况*

丰成友¹ 张德全¹ 党兴彦²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘 要 文章概述了中国钴矿床的类型、时空分布、最新研究进展及开发利用现状,指出世界上共(伴)生主要钴矿床类型在中国均已发现,可归纳为 4 大类,其中以岩浆型 Ni-Cu-Co 硫化物矿床、热液及火山成因钴多金属矿床最为重要;中国钴矿的形成可分为 6 个重要成矿期,划分出 7 个重要成矿带;尽管钴多以伴生组分产在镍、铜、铁等矿床中,但近年来中国先后发现了一些不同元素组合、不同成因类型的独立钴矿床。鉴于中国当前钴资源比较紧缺和钴消费快速增长,建议既要充分利用好国内外资源,又要加大钴资源勘查及开发利用力度,以满足国民经济发展的需要。

关键词 地质学 钴资源 钴矿分类 时空分布 主要进展 开发利用 综述

中图分类号: P618.62

文献标识码: A

钴作为重要的战略金属,由于其具有优良的物理、化学和机械性能,是生产耐高温、耐腐蚀、高强度和强磁性等材料的重要原料,因此,在全球范围内应用十分广泛(Hawkins, 2001)。国外钴资源丰富,储量约为 520 万吨,但绝大部分产在风化型红土镍矿、岩浆型硫化铜镍矿和沉积型砂岩铜矿之中,且 95% 以上集中分布在民主刚果、澳大利亚、古巴、赞比亚、新喀里多尼亚和俄罗斯等少数国家^①。与国外相比,中国钴资源紧缺,据统计,目前累计探明钴储量为 58.3 万吨,每年中国生产的钴约 700 t,而每年的钴消费却在 2 000 ~ 2 300 t 之间(刘大星, 2000),可见年消费的 60% 以上需靠进口补充。随着硬质合金、陶瓷,尤其是充电电池工业的迅猛发展,对钴的需求在急剧增加。所幸的是,近年来中国独立钴矿床勘查取得了重大进展,先后发现了一些不同元素组合、不同成因类型的钴矿床,由此也引起了人们越来越多的关注。本文即在综合研究了中国大多数主要钴矿床的基础上,对中国钴矿床的类型、时空分布和最新研究进展进行了概述,并阐述了其开发利用现状,以期推动中国钴矿成矿学的发展,对钴矿资源勘查及开发利用有所裨益。

1 钴的基本属性

钴是一种有色金属元素,英文名来源于德文“Kobold”,意为“妖魔”,1735 年由瑞典化学家布兰特发现并将其分离出来。钴在元素周期表上属第 VIII 副族,位于铁和镍之间,与铜近邻,因此在自然界中与这些金属在空间上密切伴生,其原子量为 58.93,电子构型为 $3d^7 4s^2$,有多种氧化态,常见且重要的是 Co^{2+} 和 Co^{3+} ,前者稳定,后者氧化性强,但均有较强的配位能力,可形成多种配合物。钴呈银白色,具有铁磁性和延展性,最高居里点为 $1\,121\,^{\circ}C$,熔点 $1\,495\,^{\circ}C$,沸点 $2\,927\,^{\circ}C$ 。

钴在地球上分布广泛,但含量很低,其地壳丰度仅为 25×10^{-6} ,在最常产出的超基性岩中平均含量也仅为 110×10^{-6} 。自然界中钴的赋存状态主要有 3 种:以独立钴矿物形式存在、以类质同像或包裹体形式存在和以吸附形式存在,其中以第 2 种形式最普遍(刘英俊等, 1984)。到目前为止,已发现钴矿物和含钴矿物百余种,主要为硫化物、硒化物、砷化物、硫砷化物、碳酸盐、硫酸盐和砷酸盐等,主要的钴

* 本文得到国家自然科学基金(编号:40302019)和国家地质调查项目(编号:DKD2001027-4)的资助

第一作者简介 丰成友,男,1971 年生,博士,副研究员,从事矿床地质、地球化学研究。E-mail:fengchy@yahoo.com.cn

收稿日期 2003-06-24; 改回日期 2003-09-19。李岩编辑。

① U. S. Department of the Interior. 2002. Cobalt[A]. In: Mineral Commodity Summaries[C]. 50 ~ 51.

矿石矿物有硫钴矿、硫铜钴矿、含钴黄铁矿、方钴矿、斜方砷钴矿、辉砷钴矿和钴华等。

2 中国钴资源概况

2.1 中国钴矿主要类型

与世界共、伴生钴矿相比(Smith, 2001), 中国钴矿床类型齐全。根据含钴岩系以及矿床成因分类原则, 可将中国钴矿分为 4 大类型, 其中以岩浆型 Ni-Cu-Co 硫化物矿床、热液及火山成因钴多金属矿床最为重要。

(1) 岩浆型 Ni-Cu-Co 硫化物矿床

是目前中国钴产量最多的矿床类型, 主要分布在甘肃北部、新疆东北部、吉林和四川南部等地区。本类矿床又可分为 2 种, 其一为产在大陆边缘和显生宙造山带环境中的与超镁铁岩-镁铁岩小侵入体密切相关的 Ni-Cu-Co 硫化物矿床, 以甘肃金川白家嘴子、吉林磐石红旗岭、新疆富蕴喀拉通克、哈密黄山和云南金平白马寨等矿床为代表(汤中立, 1996; 秦宽, 1995; 王登红等, 2000)。成矿岩浆为在深部熔离后贯入的, 矿石一般经历构造变形和改造, Ni 是主要的成矿元素, Cu 共生或伴生, Co 亦属伴生组分, 主要金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等。其二为与大陆溢流玄武岩有关的钒钛磁铁矿矿床, 典型矿床有四川的攀枝花、红格、白马、太和等(陈廷愚等, 1986)。该类矿床成矿时代集中于中元古代和晚古生代。

(2) 热液及火山成因钴多金属矿床

是中国又一重要的钴矿类型, 特别是近年来相继发现了一些大、中型独立的或以钴为主的此类矿床, 而且潜力巨大。该类矿床分布广泛, 遍及全国, 主要产在造山带及裂陷带中的细碎屑岩、碳酸盐岩及海相火山-沉积建造之中, 地层层位、岩性界面和断裂构造控矿作用显著, 矿体大多呈层状、似层状、透镜状, 成矿时代以元古代、晚古生代和晚中生代为主。事实上, 该类矿床是多种亚类型的综合, 包括夕卡岩型, 如湖北大冶铜绿山(赵一鸣等, 1990)、冀南及山东莱芜地区的中小型 Fe(Co) 矿床等; 海底喷流沉积(改造)型, 如青海驼路沟 Co(Au) 矿床(张德全等, 2002)、肯德可克 Co-Bi-Au 矿床(潘彤等, 2003),

中条山胡-崑型 Cu-Co 矿床(孙海田等, 1990)及陕西银洞子 Ag-Pb-Co 矿床等(罗学常等, 1997); 火山岩块状硫化物型, 如四川拉拉厂 Cu-Co-Au 矿床(陈根文等, 2001)、青海德尔尼 Cu-Co-Zn 矿床(王玉往等, 1997)和云南新平大红山 Fe-Cu-Co 矿床; 层控-热液叠加型, 如赣西五宝山、七宝山 Co-Pb-Zn 矿床(傅大捷, 1998; 周辉等, 2000)和湖南普乐、横洞钴多金属矿(宁钧陶, 2002); 火山气液-火山沉积型, 如海南石碌 Fe-Co-Cu 矿床(刘裕庆, 1981)和新疆磁海 Fe(Co) 矿床(薛春纪等, 2000); 浅成热液型, 如新疆阔尔真阔腊 Au(Co) 矿床(尹意求等, 2003); 斑岩型, 如西藏玉龙 Cu(Co) 矿床。

(3) 沉积岩容矿型层控 Cu-Co 矿床

与国外以沉积型砂岩容矿的 Cu-Co 矿床占主导地位不同, 中国目前已发现的此类矿床较少, 主要分布在滇中、吉南和辽东一带, 譬如云南永平厂街(薛步高, 2001)、吉林白山市的大横路及辽东裂谷底部的周家、上华和四道沟 M_2 等矿床(陈江, 1999; 郭文秀等^①)。该类矿床主要产于古陆块边缘裂谷或裂陷槽环境中, 形成时代从古元古代到晚第三纪, 但以古元古代为主。一般认为, 矿床形成于成岩-早期变质时期, 钴可能来自红层或基底超镁铁质岩石。

(4) 风化型红土 Ni-Co 矿床

主要分布在中国南方炎热、潮湿、高降雨量地区, 由橄榄玄武岩和超基性岩体风化作用形成, 前者如海南文昌蓬莱和安定居丁钴土矿, 后者如云南元江-墨江钴矿, 形成时代为第三纪之后。在特殊的气候条件下, 橄榄玄武岩、橄榄岩等经过强烈淋滤, 造成大量硅、镁组分流失, 而不溶组分则残留下来。在红土化作用过程中, 镍、钴、铁在风化壳中富集形成钴土矿床。

2.2 中国钴矿的时空分布

中国钴成矿可分为 6 个重要成矿期, 其中以中新元古代、晚古生代和中生代为主, 其次为古元古代、早古生代和新生代, 新生代主要形成风化型外生钴土矿。中国钴矿床主要成矿期与大地构造演化关系密切, 古元古代, 于中朝地台陆内裂谷中的海相火山-沉积岩系及细碎屑岩夹碳酸盐岩建造中形成了喷流沉积型和沉积岩容矿层控型 Cu-Co 矿床。中新元古代, 在扬子和塔里木地台的古陆块边缘的深断

① 郭文秀, 刘建民. 2001. 吉林省大横路 Cu-Co 矿床地质特征及控矿因素. 辽吉地区地质与矿产研讨会论文集. 中国地质调查局. 6~

裂带和裂谷中分别有大量的小岩体侵入和强烈的海底火山喷发,于是形成了镁铁质-超镁铁质岩容矿的岩浆型 Ni-Cu-Co 矿床和火山岩块状硫化物矿床。早古生代,由扬子、塔里木和中朝陆块组成的古中国大陆解体为系列陆块群,之后发生造山作用。晚古生代,北部古亚洲大陆初步形成,末期俯冲造山,在这期间,不仅发生了大陆裂解和多旋回叠复造山作用,而且还发生了强烈的构造活动和岩浆作用,引起大规模钴矿化,形成不同类型与矿化组合的钴矿床,包括沿陆缘深断裂带产出的基性-超基性岩 Ni-Cu-Co 矿床和含钴钨钛磁铁矿矿床、海底喷流沉积(改造)型矿床、火山岩块状硫化物矿床、火山气液-火山沉积矿床和低温热液矿床等。中生代,受西太平洋板块活动影响,地台活化并伴随强烈的中酸性岩浆活动和矿化作用,主要形成了夕卡岩型、层控-热液叠加型和沉积砂岩型钴矿。

在地理位置上,中国共(伴)生钴矿床分布较为

广泛,主要集中在甘肃、新疆、青海、山西、四川、吉林、云南、海南等省、自治区,其次为河北、山东、湖北、江西、安徽、陕西、广西、湖南等省、自治区。按照矿床集中分布和产出的大地构造位置,大致可分为7个重要成矿带(图1)。

准噶尔北缘—北天山成矿带 位于中国新疆东北部,主要产出与镁铁-超镁铁质岩石有关的 Ni-Cu-Co 硫化物矿床,钴虽为伴生,但储量巨大,已发现喀拉通克、黄山和黄山东3个大型矿床及土墩等数个中小型矿床。通常认为,岩浆岩带是于古生代碰撞造山期后的“弛张期”侵位的,含矿岩体沿深断裂带及其次级断裂断续分布,成矿年龄为280~300 Ma(毛景文等,2002;秦克章等,2002)。此外,该带内还产有哈密磁海次火山热液型 Fe(Co) 矿床。

华北地台中段成矿带 西起甘肃金昌,东至山东莱芜一带。本区古-中元古代沉积了一套海相火山-沉积岩系,并有基性-超基性小岩体侵入,中生代

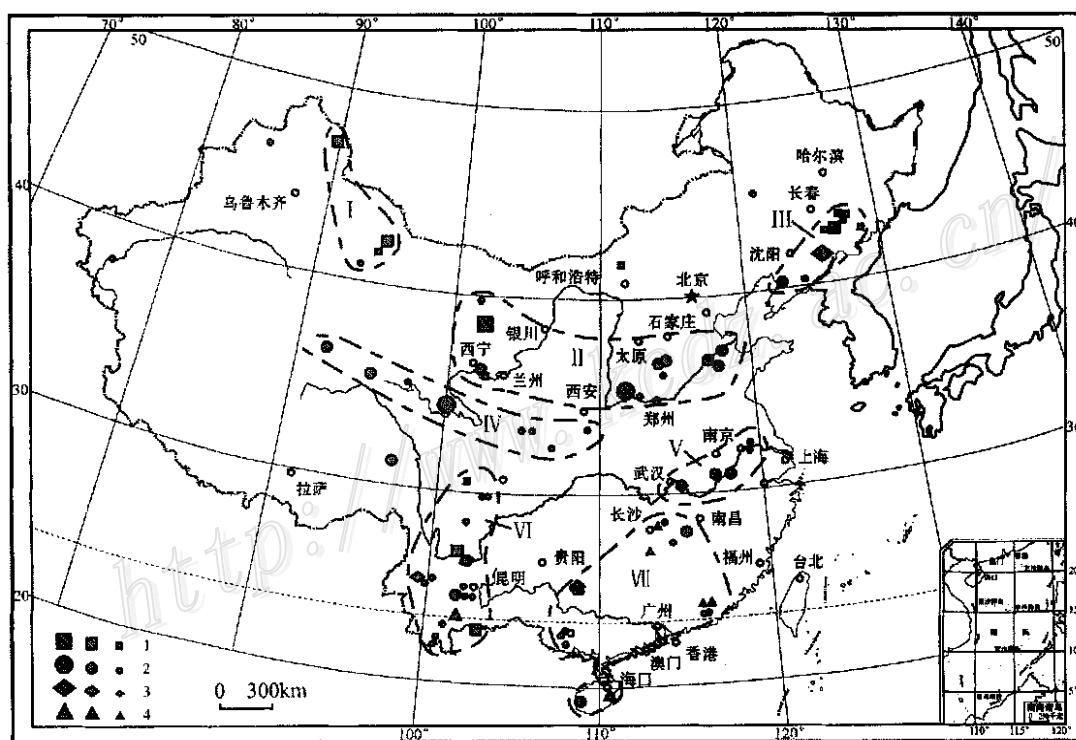


图1 中国钴矿分布略图

成矿带: I—准噶尔北缘-北天山; II—华北地台中段; III—华北地台北缘东段; IV—昆仑-西秦岭; V—长江中下游; VI—扬子地台西缘; VII—华南。1—岩浆型 Ni-Cu-Co 硫化物矿床; 2—火山成因 Co 多金属矿床; 3—沉积岩容矿层控型 Cu-Co 矿床; 4—风化型红土 Ni-Co 矿床

Fig.1 Sketch geological map showing distribution of cobalt deposits in China

Metallogenic belts: I—Northern Junggar-North Tianshan; II—Central part of the North China platform; III—Eastern part of the northern margin of the North China platform; IV—Kunlun-West Qinling; V—Middle-lower reaches of the Yangtze River; VI—Western margin of the Yangtze platform; VII—South China. 1—Magmatic sulfide deposits; 2—Hydrothermal and volcanogenic cobalt poly-metallic deposits; 3—Strata bound Cu-Co deposits hosted by sedimentary rocks; 4—Lateritic Ni-Co deposits

以来受陆缘构造活动影响,发生了广泛的构造-岩浆活动及成矿作用。古元古代产有陆内裂谷环境的海底喷流沉积型 Cu-Co 矿床(中条山胡-崑型),也是中国形成最早的钴矿床,中元古代有陆缘断裂带镁铁-超镁铁质岩石中的 Ni-Cu-Co 硫化物矿床(甘肃金川),中生代于冀南和山东莱芜地区产有多个中小型夕卡岩 Fe(Co) 矿床。

华北地台北缘东段成矿带 产出 2 种主要类型矿床,其一为产于古元古代裂谷次级断陷盆地内的含碳细碎屑岩夹碳酸盐岩建造中的层控型 Cu-Co 矿床(如大横路),另一种为晚古生代陆缘断裂带中与镁铁质基性-超基性岩有关的 Ni-Cu-Co 矿床(如红旗岭等)。

昆仑-西秦岭成矿带 是近年新发现的重要钴成矿带,由前寒武纪变质岩基底和变质的古生代海相火山-沉积建造组成,经历了多旋回复合造山作用过程。除产在蛇绿岩中的德尔尼大型 Cu-Co-Zn 块状硫化物矿床外,最近几年,钴矿勘查又有新进展,分别发现了青海驼路沟 Co(Au)、肯德可克 Co-Bi-Au 和陕西银洞子喷流沉积型独立或伴生矿床,青海督冷沟和甘肃康县阳坝火山岩块状硫化物 Cu-Co 矿床以及陕西勉-略-阳三角地带的热液脉状和岩浆型钴多金属矿床(点)(姚文光等,2002;邱柱国等,1993;韩润生等,2000)。此外,在该成矿带以西的新疆境内还有塔木-卡兰古密西西比河谷型矿床。这些矿床的成矿时代集中在早、晚古生代。

长江中下游成矿带 位于扬子准地台东北端,靠近中朝准地台东南部,是中国重要的铁、铜、金、钴成矿带,以燕山期为主的中酸性岩浆侵入活动强烈。该成矿带中的钴矿大多以伴生形式产在夕卡岩型 Fe-Cu-Au 矿床之中,主要有湖北大冶铜绿山、安徽的马鞍山和铜陵药园山、江苏的六合冶山和丹阳韦岗等矿床。

扬子地台西缘成矿带 位于川西南-滇中一带,相当于过去所说的康滇地轴。基底由中元古代海相(火山)沉积变质岩系组成,印支运动后大部分地区转为内陆断陷盆地,其中发育巨厚陆相沉积。古、新元古代产有古陆边缘裂陷槽环境的火山岩块状硫化物钴多金属矿床(四川拉拉厂、云南大红山和易门伴生钴矿化),晚古生代有与溢流玄武岩有关的攀枝花巨型含钴钒钛磁铁矿床及白马寨等含钴铜镍硫化物矿床,中生代有少量陆相砂岩型铜(钴)矿床。

华南成矿带 主要为晚加里东期的褶皱系,印支期后进入大陆边缘活动带发展阶段,印支期前以 E-W 向构造为主的古亚洲构造格架和印支期以来的近 SN 向和 NE 向构造复合叠加,燕山期岩浆侵入活动十分强烈,形成了元古宙裂陷槽浅变质碎屑岩、碳酸盐岩环境的火山沉积-变质热液改造型 Fe-Cu-Co 矿床(海南石碌)和层控-热液叠加型钴多金属矿床(赣西五宝山、七宝山和湖南普乐、横洞等)。

2.3 中国钴矿勘查的最新进展

钴由于具有强迁移能力,在地壳中的含量很低,且 90% 呈分散状态,因此,一般认为很难形成独立的经济矿床,大多是以铜镍、铜、铁等矿床的伴生金属产出。但是,近几年来在中国华北地台北缘东段、西部中央造山带、赣西和湘东北等地区相继发现了一批大、中型不同元素组合、不同成因类型的独立工业矿床,如吉林大横路,青海的驼路沟、肯德可克和督冷沟,赣西的五宝山、七宝山,湘东北的普乐、横洞等,这些矿床类型皆为当地乃至全国初次发现,有的甚至世界少见。现有的勘查实践及综合研究表明,这类独立钴矿床资源潜力大,矿石品位较高、质量好,可综合回收的组分多,大多数已经完成或正在进行选矿性试验,具有广阔的工业利用前景。中国钴矿床勘查取得的重大进展,对开拓独立钴矿床成矿研究和弥补国内钴资源长期供应不足,均具有十分重要的理论和现实意义。其中的典型独立钴矿床地质特征见表 1。

此外,在中国西部昆秦造山带,自西向东不仅新发现了数个大、中型共(伴)生钴矿床和矿化点,而且还断续分布有近千公里的钴化探异常,这里的成矿地质构造条件十分优越,具有寻找新类型独立钴矿床的巨大潜力。

3 钴的开发利用

3.1 钴的提取方法

目前,提取钴的原料主要有 3 种:①镍系统、铜系统或锌系统生产中的副产出的钴;②国内自产的钴硫精矿;③国外进口的钴原料和含钴废料。正是由于含钴矿物及回收的二次钴料种类多、成分差异大,所以从中提取钴的方法也较多,归纳起来大致有两种,一种是矿石或含钴废料经火法预处理,使钴初步富集,然后通过湿法提取;另一种是全湿法生产钴,先将钴原料经湿法浸出,使钴进入溶液中,经脱

表 1 中国新发现的主要独立钴矿床地质特征简表

Table 1 Geological characteristics of major independent cobalt deposits newly discovered in China

特 征	吉林大横路	青海驼路沟	青海肯德可克	赣西五宝山	湘东普乐、横洞
构造环境	辽吉裂谷带	东昆南裂陷带	祁漫塔格弧后裂陷带	萍乐拗陷带	长平断陷带
矿化组合	Cu- Co	Co(Au)	Co- Bi- Au	Co- Pb- Zn	Co
$w_{Co}/\%$	0.035 ~ 0.080, 最高 0.596	0.023 ~ 0.108, 最高 0.58	0.023 ~ 0.053	0.403, 最高 1.15	0.036
规 模	大型(5×10^4 t)	中型(1.71×10^4 t)	中型(1.54×10^4 t)	中型(0.24×10^4 t)	中型(1.24×10^4 t)
容矿围岩	大栗子组含碳细碎屑岩夹碳酸盐岩	石英钠长岩、绢云石英片岩	铁石达斯群火山岩及夕卡岩化硅质岩	安源组石英砂砾岩	跳马涧组硅化构造角砾岩
矿体形态	呈层状、似层状, 长 360 ~ 1400 m, 平均厚 8.68 ~ 35 m	呈似层状、透镜状, 长 182 ~ 1302 m, 平均厚 1.31 ~ 12.78 m	呈层状、似层状, 长 68 ~ 130 m, 厚 2 ~ 6 m	呈似层状、透镜状, 最长 > 352.5 m, 平均厚 10 m	呈层状、似层状, 长 240 m, 厚 1.27 ~ 17.63 m, 平均厚 5.65 m
矿物组合	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、绢云母、黑云母、石英	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、毒砂、石英、钠长石、绢云母、方解石	黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉铜矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石榴子石、透辉石、方解石、石英、绢云母	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、石英、玉髓、方解石、白云石、绿泥石	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英、绿泥石、方解石
含钴矿物	硫镍钴矿、辉钴矿、方钴矿、含钴黄铁矿	含钴黄铁矿、硫钴矿、硫铜钴矿	方钴矿	辉钴矿、辉砷钴矿、钴毒砂、含钴黄铁矿	含钴黄铁矿、辉钴矿
成矿时代	古元古代	早古生代	早古生代	中生代	中生代
成因类型	层控、沉积型	喷流沉积型	喷流沉积(改造)型	层控-热液叠加型	层控-热液叠加型
资料来源	郭文秀等(2001)	张德全等(2002)	潘彤等(2003)	傅大捷(1998)、周辉等(2000)	宁钧陶(2003)

除杂质制备纯净钴溶液,再经电解制得金属钴。随着科技的发展,钴的提取技术也有了新的进展(刘大星,2000),包括:①硫酸加压浸出技术,它是一种强化冶金方法,反应速度快、浸出率高,有利于环保并能有效地分离杂质。在国外,像日本、澳大利亚、加拿大和古巴等的一些厂家采用此技术从镍钴硫化物和红土型 Ni-Co 矿中提取钴。中国的金川有色金属公司也于 20 世纪 80 年代后期使用这种技术,使钴浸出率达到 94%;新疆阜康冶炼厂采用常压-加压硫酸选择性浸出技术处理高冰镍,20 世纪 90 年代初已实现工业化。②溶剂萃取技术在湿法冶金中得到广泛运用。在中国,早期钴生产中溶液净化和镍钴分离一般采用沉淀法,但渣量大、金属损失大而且分离不彻底,从 20 世纪 60 年代开始进行了溶剂萃取和离子交换净化分离金属的实验研究和生产应用,现在该方法在国内的大多数钴厂中被采用。③用生物技术从含钴硫化物矿石中提取钴已获工业应用,法国 BRGM 公司在乌干达建成了世界首座以生物浸出技术从含钴黄铁矿中提取钴的工厂,并于 1999 年

投产。该方法与传统的通过沸腾焙烧将钴、镍、铜等有价值金属转为容易被浸出的氧化物和硫酸盐,然后从浸出液中回收钴的工艺不同,生物浸出法中的硫以元素硫的形式留在浸出渣中,浸出液采用溶剂萃取法除锌,然后沉淀氧化铜,再萃取分离钴和镍,该方法不仅成本低、投资少,更避免了因 SO₂ 和 As 的大量排放而造成的环境污染。

由于中国钴矿石品位相对较低,而且钴多以伴生金属产在铜、镍、铁等矿床中,因此提取钴的工艺流程较长,技术比较复杂,生产成本低。而国外一些产钴国家矿石品位高,特别是大量红土 Ni-Co 矿床的发现,使得生产工艺简单,生产成本较低,这对中国钴工业造成较大威胁。

3.2 钴的开发利用现状

钴作为一种有用元素,很早就被人们开发和利用了,早在公元前 2 250 年,钴就出现在古波斯的蓝色玻璃珠内,中国从唐朝起即在陶瓷生产中广泛运用钴的化合物为着色剂。由于钴具有优良的物理、化学和机械性能,是制造高强度合金、耐高温合金、

硬质合金、磁性材料和催化剂等的重要材料,因此,应用十分广泛。在中国,钴主要运用在硬质合金、陶瓷、磁性材料和充电电池等领域,其次是用于制造高温合金和催化剂等。钴在硬质合金生产中主要是以钴粉形式作为粘结剂,含量通常为 7%~10%;陶瓷工业中氧化钴是重要的颜料;磁性材料制作中主要用钴生产 Sm-Co 合金、Al-Ni-Co 合金以及稀土强力永磁材料;钴在充电电池领域的快速增长是因为笔记本电脑、移动电话等的大量使用,因为它们所用的锂电池是用 LiCoO_2 、 LiCo_xO_y 或 $\text{LiCo}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 作阴极材料的,此外,化学工业中钴主要用于石油和化学加工的催化剂、油漆和油墨的干燥剂、陶瓷底漆、油漆和塑料的颜料等。

钴除了在工业上的广泛用途外,对人体健康也起着不容忽视的作用,主要表现在以维生素 B_{12} 形式参与核酸、胆碱、蛋氨酸的合成及脂肪与糖的代谢,胰腺中含有大量的钴,用以合成胰岛素及糖、脂肪代谢所必须的酶。在动物界,缺钴可引起贫血,钴过多则可导致红细胞增多症;而在人类,钴可以治疗感染性贫血和肾脏疾病。另外, ^{60}Co 放射出的 γ 射线,可用来治疗癌症。

4 结 语

(1) 世界上主要的共(伴)生钴矿床类型在中国均已发现,中国钴矿可分为 4 大类,其中以岩浆型 Ni-Cu-Co 硫化物矿床、热液及火山成因钴多金属矿床最为重要。

(2) 中国钴矿形成时代可分为 6 个重要成矿期,其中以元古代、晚古生代和中生代为主,钴成矿与中国大地构造演化历史关系密切。根据钴矿集中分布和产出的大地构造位置特征,可将中国钴矿分为 7 个重要成矿带。

(3) 近年来,中国独立钴矿勘查与研究取得了重大进展,先后发现了一些不同元素组合、不同成因类型的钴矿床,这对开拓独立钴矿床成矿学研究和弥补国内钴资源长期供应短缺均具有十分重要的理论和现实意义。

(4) 钴作为一种重要的战略金属,应用十分广泛,但在中国紧缺。考虑到中国当前钴资源匮乏、需求增加以及生产技术复杂、成本高等因素,因此,建议一方面要充分利用好国内外两种资源,继续从国外进口钴原料和含钴废料,另一方面加大科技攻关

力度,以发现更多新型钴矿床,提高钴的回收率 and 利用价值,为发展经济、建设小康社会服务。

References

- Chen G W and Xia B. 2001. Study on the genesis of Lala copper deposit, Sichuan Province[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 20(1): 42~44(in Chinese with English abstract).
- Chen J. 1999. Geological characteristics and prospecting of the stratabound copper-cobalt deposit at the bottom of Liaodong rift [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 8(6): 653~654(in Chinese).
- Chen T Y and Qi S M. 1986. Summary on associated useful elements of the Panzhihua V-Ti magnetite deposits[M]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, No.18. Beijing: Geol. Pub. House. 41~42(in Chinese).
- Fu D J. 1998. Geological features and genesis of the cobalt deposit of Wubaoshan in western Jiangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 12(2): 106~108(in Chinese with English abstract).
- Han R S, Jin S C, Liu C Q, et al. 2000. Deposit types and their characteristics in Tongchang orefield, Mian County- Lueyang- Yangpingguan area, Shaanxi[J]. Geology and Prospecting, 36(4): 11~15 (in Chinese with English abstract).
- Hawkins M. 2001. Why we need cobalt[J]. Institution of Mining and Metallurgy, Transactions, Section B: Applied Earth Science, 110: 66~70.
- Liu D X. 2000. Cobalt production, consumption and technical development at home and abroad[J]. Nonferrous Metallurgy, 29(5): 4~9(in Chinese with English abstract).
- Liu Y J, Chao L M and Li Z L. 1984. Elementary geochemistry[M]. Beijing: Sci. Press. 101~112(in Chinese).
- Liu Y Q. 1981. Sulfur isotope studies and origin of the iron-cobalt-copper deposit at Shilu, Hainan Island[M]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, No.2. Beijing: Geol. Pub. House. 49~63(in Chinese with English abstract).
- Luo X C, Hu M A, Wang S Y, et al. 1997. Metallogenic characteristics of submarine exhalation-sedimentary Ag-Pb polymetallic deposit in Yindongzi area, Shaanxi Province[J]. Earth Science—J. China Univ. Geosci., 22(2): 185~189(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Qu W J, et al. 2002. Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits, 21(4): 323~330(in Chinese with English abstract).
- Ning J T. 2002. Analysis on metallogenic geologic conditions of original Co-deposits in northeast Hunan[J]. Hunan Geology, 21(3): 192~195(in Chinese with English abstract).
- Pan T and Sun F Y. 2003. The mineralization characteristics and prospecting of Kendekoke Co-Bi-Au deposit in Dongkunjun, Qinghai Province[J]. Geology and Prospecting, 39(1): 18~22(in

- Chinese with English abstract) .
- Qing K Z, Fang T H, Wang S L, et al. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan mountains, NW-China[J]. Xinjiang Geology, 20(4) : 302 ~ 308 (in Chinese with English abstract) .
- Qin K. 1995. Geological features of magmatic sulfide Cu-Ni deposit at the Hongqiling, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 14(3) : 17 ~ 30 (in Chinese with English abstract) .
- Qiu Z G and Liu Y F. 1993. Geological characteristics and ore-forming mechanism of the Yangba Au-Co-Cu deposit at Kangxian, Gansu Province[A]. In: Paper Selection on Gold Deposits in Qinling-Dabashan Region[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 147 ~ 161 (in Chinese) .
- Smith C G. 2001. Always the bridesmaid, never the bride: cobalt geology and resources[J]. Institution of Mining and Metallurgy, Transactions, Section B: Applied Earth Science, 110: 75 ~ 80 .
- Sun H T and Ge C H. 1990. Hydrothermal exhalative copper deposits in Zhongtiaoshan district, Shanxi Province[M]. Beijing: Sci. & Techn. Pub. House (in Chinese) .
- Tang Z L. 1996. Magmatic mineralization preferentiality of the Jinchuan Cu-Ni sulfide deposit[J]. Acta Geologica Gansu, 5(2) : 73 ~ 85 (in Chinese with English abstract) .
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, et al. 2000. Cu-Ni-(PGE) sulfide metallogenic series in north Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 19(2) : 147 ~ 155 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Y W and Qin K Z. 1997. The extremely basic member of VAMSD deposit series - the Deerni large copper-cobalt deposit of Qinghai Province: Its geological characteristics and genetic type [J]. Mineral Deposits, 16(1) : 1 ~ 10 (in Chinese with English abstract) .
- Xu Y and Zhu X Y. 2000. Cobalt deposits in the central China orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 74(3) : 540 ~ 543 .
- Xue B G. 2001. Geological characteristics of cobalt resources in Yunnan and its exploring guide[J]. Geology of Chemical Minerals, 23(4) : 210 ~ 216 (in Chinese with English abstract) .
- Xue C J, Ji J S and Yang Q J. 2000. Subvolcanic hydrothermal metallogeny of the Cihai iron (cobalt) deposit, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 19(2) : 156 ~ 164 (in Chinese with English abstract) .
- Yao W G, Jia Q Z, Zhang H M, et al. 2002. Geological characteristics and genesis of Dulenggou copper and cobalt deposit in Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 21 (Supp.) : 523 ~ 526 (in Chinese) .
- Yin Y Q, Li J X, Tang H S, et al. 2003. Discovery of associated cobalt in Kuozhenkuola gold deposit and its geological significance for exploration[J]. Mineral Resources and Geology, 17(1) : 1 ~ 5 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang D Q, Wang Y, Feng C Y, et al. 2002. Geology and geochemistry of Tuolugou exhalative-sedimentary Co-Au deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 21(3) : 213 ~ 222 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y M and Lin W W. 1990. Skarn deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 183 ~ 190 (in Chinese) .
- Zhou H and Zeng S M. 2000. Genetic model of the Wubaoshan type cobalt deposit in Jiangxi and the geological-geochemical model for ore searching[J]. Jiangxi Geology, 14(4) : 271 ~ 274 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 陈根文, 夏 斌. 2001. 四川拉铝铜矿床成因研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(1) : 42 ~ 44 .
- 陈 江. 1999. 辽东裂谷底部层控铜钴矿床地质特征及找矿方向 [J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6) : 653 ~ 654 .
- 陈廷愚, 元绍玫. 1986. 攀枝花钒钛磁铁矿伴生有用元素概况[M]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 总第 18 号. 北京: 地质出版社. 41 ~ 42 .
- 傅大捷. 1998. 赣西五宝山钴矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿产与地质, 12(2) : 106 ~ 108 .
- 韩润生, 金世昌, 刘丛强, 等. 2000. 陕西勉略阳铜厂田矿床 (化) 类型及其特征[J]. 地质与勘探, 36(4) : 11 ~ 15 .
- 刘大星. 2000. 国内外钴的生产消费与技术进展[J]. 有色冶金, 29(5) : 4 ~ 9 .
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟. 1984. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 101 ~ 112 .
- 刘裕庆. 1981. 海南石碌铁钴铜矿床硫同位素研究和矿床成因讨论 [M]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 总第 2 号. 北京: 地质出版社. 49 ~ 63 .
- 罗学常, 胡明安, 王思源, 等. 1997. 陕西银洞子海底喷气沉积型银铅多金属矿床的主要成矿特征[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 22(2) : 185 ~ 189 .
- 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 2002. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 21(4) : 323 ~ 330 .
- 宁钧陶. 2002. 湘东北原生钴矿成矿地质条件分析[J]. 湖南地质, 21(3) : 192 ~ 195 .
- 潘 彤, 孙丰月. 2003. 青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 39(1) : 18 ~ 22 .
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 2002. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质, 20(4) : 302 ~ 308 .
- 秦 宽. 1995. 红旗岭岩浆硫化铜镍矿床地质特征[J]. 吉林地质, 14(3) : 17 ~ 30 .
- 邱柱国, 刘永丰. 1993. 甘肃康县阳坝金钴铜矿床地质特征与成矿机制[A]. 见: 秦巴金矿论文集[C]. 北京: 地质出版社. 147 ~ 161 .
- 孙海田, 葛朝华. 1990. 中条山式热液喷气成因铜矿床[C]. 北京: 科学技术出版社. 14 ~ 53 .
- 汤中立. 1996. 金川铜镍硫化物矿床岩浆成矿作用的偏在性[J]. 甘肃地质学报, 5(2) : 73 ~ 85 .
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 2000. 新疆北部 Cu-Ni-(PGE) 硫化物矿床成矿系列探讨[J]. 矿床地质, 19(2) : 147 ~ 155 .
- 王玉往, 秦克章. 1997. VAMSD 矿床系列最基性端员——青海省德尔尼大型铜钴矿床的地质特征和成因类型[J]. 矿床地质, 16(1) : 1 ~ 10 .

- 薛步高. 2001. 云南钴矿地质特征及找矿探讨[J]. 化工矿产地质, 23(4): 210 ~ 216.
- 薛春纪, 姬金生, 杨前进. 2000. 新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学[J]. 矿床地质, 19(2): 156 ~ 164.
- 姚文光, 贾群子, 张汉文, 等. 2002. 青海督冷沟铜钴矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 21(增刊): 523 ~ 526.
- 尹意求, 李嘉兴, 唐红松, 等. 2003. 新疆阔尔真阔腊金矿床中伴生钴的发现及其找矿地质意义[J]. 矿产与地质, 17(1): 1 ~ 5.
- 张德全, 王彦, 丰成友, 等. 2002. 骆驼沟喷气沉积型钴(金)矿床的地质-地球化学[J]. 矿床地质, 21(3): 213 ~ 222.
- 赵一鸣, 林文蔚. 1990. 中国夕卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社. 183 ~ 190.
- 周辉, 曾书明. 2000. 江西五宝山(式)钴矿床成矿模型及地质-地球化学找矿模式[J]. 江西地质, 14(4): 271 ~ 274.

Cobalt Resources of China and Their Exploitation and Utilization

Feng Chengyou¹, Zhang Dequan¹ and Dang Xingyan²

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Qinghai Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract

Cobalt is a very important kind of strategic metal used in a great variety of fields. This paper has summarized the classification, temporal and spatial distribution and recent exploration, exploitation and utilization of cobalt deposits in China. The major types of cobalt deposits in the world have been almost all found in China, and they can be classified into four types, of which magmatic Ni-Cu-Co sulfide deposits and hydrothermal and volcanogenic cobalt polymetallic deposits are most important. There exist six principal metallogenic epochs and seven important metallogenic belts according to concentrative distribution and tectonic positions of the cobalt deposits. Although cobalt often occurs as an associated metal in Cu-Ni, Cu and Fe deposits, the exploration of independent cobalt deposits has made good progress in China in recent years. This is evidenced by the discovery of varied element assemblages and different genetic types of cobalt deposits in such areas of China as the eastern part of the north margin of the North China platform, the Central China orogenic belt, western Jiangxi Province and northeastern Hunan Province. In view of the shortage of cobalt resources and the rapid increase of cobalt consumption in China, it is suggested that not only the cobalt resources at home and from abroad should be utilized in a better way but the exploration and development of the cobalt deposits should be strengthened as well.

Key words: geology, cobalt resource, classification of cobalt deposits, temporal and spatial distribution, major advances, exploitation and utilization