

铜矿贸易与质量检验

Copper Ore Trade and Quality Inspection

© 刘心同 孙 健 主编



铜矿贸易与质量检验

刘心同 孙 健 主编

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铜矿贸易与质量检验 / 刘心同, 孙健主编. —青岛:
中国海洋大学出版社, 2016.10
ISBN 978-7-5670-1252-3

I. ①铜… II. ①刘… ②孙… III. ①铜矿床-贸易
-研究-中国②铜矿物-质量检验-基本知识 IV.
①F752.654.2②TG146.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第237426号

出版发行 中国海洋大学出版社
社 址 青岛市香港东路23号
出 版 人 杨立敏
网 址 <http://www.ouc-press.com>

邮政编码 266071

电子信箱 pankeju@126.com
订购电话 0532-82032573 (传真)

策划编辑 潘克菊

责任编辑 施 薇

电 话 0532-85901040

印 制 青岛新华印刷有限公司

版 次 2016年10月第1版

印 次 2016年10月第1次印刷

成品尺寸 185 mm × 260 mm 1/16

印 张 14.25

字 数 354千

印 数 1-1000

定 价 38.00元

编委会

主 编：刘心同 孙 健

主 审：宋振乾 常福金 张成标

审 订：纪启永 刘倩倩

编 委：（按姓氏笔画为序）

丁仕兵 王洛高 左兆迎 刘 稚 张岳胜 张 艳

杨 洁 杨 蕾 姜世明 柳庆芳 赵 军 梁 洁

管 嵩

前 言

铜作为一种重要的有色金属,是重要性仅次于原油的基本战略物资,被广泛应用于工业国防和日常生活的各个方面。2002年,我国铜消费量达到250万吨,占全球铜消费量的17%,首次超过美国,成为世界最大铜消费国。

我国目前已探明铜储量占世界总储量的比例不高,已探明铜储量仅占世界总量的5.53%,铜冶炼所需铜矿大量依赖进口。近年来,我国铜矿对外依存度始终保持在70%左右,呈现出进口数量大、贸易方式多样、原产地分布广等特点。2015年铜矿进口量达到1329万吨,是目前全球最大的铜矿进口国。

随着全球铜矿多年持续大量开采,优质铜矿资源越来越少,进口铜矿的质量和环保问题越来越突出,含铜品位偏低、有害元素和放射性含量超标等情况时有发生,个别不法商人甚至以废充矿、恶意短重,以此谋取不正当经济利益,严重影响了国家生态环境安全和国内收货人的经济利益。对此,出入境检验检疫部门作为进出口商品质量安全监管部门,依法加强进口铜矿关键质量和环保项目监管,及时查处各种贸易欺诈行为,有效防范了不符合要求的劣质铜矿入境。

为帮助相关机构、企业和个人对铜矿国际贸易和质量检验知识有更深入的了解,增强企业规避贸易风险能力,提高我国进口铜矿质量水平,笔者结合日常工作积累编写了本书。本书共8章,从铜矿生成类型溯源,分析了不同产地铜矿的品质特点,系统总结进口铜矿贸易和质量现状,重点阐述了进口铜矿品质检验、环保项目检测和矿物属性鉴别的理论和方法,并收集整理口岸检验检疫机构检出的大量有参考价值的典型案例,以期读者从事铜矿贸易和质量检验工作提供参考。

在本书的编写中,孙圭研究员给予我们悉心指导和宝贵意见,我们深表感谢,同时,也深深感谢为本书出版提供帮助和关心的每一位领导和同事。

由于作者水平所限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2016年10月

目 录

第 1 章 铜矿基础知识 1

1.1 概述 1

1.2 铜的存在形式 2

1.3 铜的工业矿物及有关金属矿物 3

1.3.1 铜的工业矿物 3

1.3.2 其他金属矿物 10

1.4 铜矿的选矿工艺 13

1.4.1 浸染状铜矿石的浮选 13

1.4.2 致密状铜矿石的浮选 13

第 2 章 铜矿类型及世界铜矿床展布 15

2.1 铜矿类型及主要特征 15

2.1.1 斑岩型铜矿 15

2.1.2 砂页岩型铜矿 16

2.1.3 黄铁矿型铜矿 18

2.1.4 铜镍硫化物型铜矿 18

2.1.5 矽卡岩型铜矿 19

2.1.6 玄武岩自然铜型铜矿 19

2.1.7 铜金铀型铜矿 20

2.1.8 碳酸岩型铜矿 20

2.2 世界铜成矿带的展布 21

2.2.1 环太平洋中、新生代斑岩型铜矿成矿带 21

2.2.2 地中海北(或特提斯)——喜马拉雅斑岩型铜矿成矿带 21

2.2.3 古亚洲古生代斑岩型铜矿成矿带 22

2.2.4 中非赞比亚—民主刚果砂页岩型铜矿成矿带 22

2.2.5 欧洲黑色页岩铜矿成矿带 22

2.2.6 西班牙—葡萄牙火山块状硫化物型(黄铁矿型)铜矿成矿带 22

2.2.7 印度辛格布姆铜铀金成矿带 23

2.2.8 南澳奥林匹克坝铜铀金成矿区 23

2.3 五大洲主要铜矿床 23

第3章 铜矿贸易和质量现状	125
3.1 国际铜矿贸易概况	125
3.1.1 计价方式	125
3.1.2 结算依据	125
3.2 我国进口铜矿贸易现状	126
3.2.1 进口品种	126
3.2.2 进口数量	127
3.2.3 贸易方式	128
3.2.4 进口来源地分布	128
3.2.5 进口口岸	128
3.2.6 国内收用货单位情况	128
3.3 我国进口铜矿质量状况	130
3.3.1 质量检验情况	130
3.3.2 安全、卫生、环保项目检验情况	130
3.3.3 主要原产地铜矿质量分析	131
第4章 铜矿检验及属性鉴别	135
4.1 铜矿检验依据	135
4.1.1 铜矿检验法规标准	135
4.1.2 贸易合同	137
4.2 铜矿放射性检验	138
4.2.1 检验地点及场地要求	138
4.2.2 本底测量	138
4.2.3 集装箱运载铜矿的放射性测量	138
4.2.4 船运散装铜矿的放射性测量	139
4.2.5 检验结果的判定	139
4.3 铜矿品质检验	139
4.3.1 铜矿取样	139
4.3.2 铜矿制样	146
4.3.3 水分检测	147
4.3.4 品质指标检测	148
4.4 铜矿有害元素检验	148
4.5 铜矿重量鉴定	148
4.6 铜矿属性鉴别	149
4.6.1 现场鉴别	149
4.6.2 实验室鉴别	149

第 5 章 含铜物料检测方法.....	157
5.1 含铜物料中铜的检测方法.....	157
5.1.1 铜矿石标准检测方法	157
5.1.2 铜矿石扩展范围使用的检测方法	159
5.1.3 铜矿石文献报道方法	159
5.1.4 铜铈中铜的检测方法	159
5.1.5 含铜催化剂中铜含量的检测方法	161
5.1.6 铜阳极泥.....	162
5.1.7 铜冶炼渣中铜含量检测方法	163
5.2 含铜物料中金、银的检测.....	163
5.2.1 铜精矿及铜矿石中金、银检测标准方法	163
5.2.2 铜精矿及铜矿石中金银检测文献方法	164
5.2.3 扩展使用的铜精矿及铜矿石中金银检测方法.....	164
5.2.4 铜硫中金银检测方法	165
5.2.5 铜阳极泥中金银检测方法.....	166
5.3 含铜物料中氟的检测.....	166
5.4 含铜物料中铅、镉、汞、砷、铋的检测	166
5.4.1 铜精矿及铜矿石中铅、镉、汞、砷、铋的标准检测方法	166
5.4.2 铜精矿及铜矿石中铅、镉、汞、砷、铋的科技文献报道的检测方法	168
5.4.3 铜铈中铅、镉、汞、砷、铋测定的科技文献报道的检测方法	168
5.4.4 铜阳极泥中铅、镉、汞、砷、铋的检测方法	169
5.5 含铜物料中硫的检测.....	170
5.5.1 铜精矿及铜矿石中硫含量的检测方法	170
5.5.2 高频燃烧—红外吸收法测定硫含量	170
5.6 含铜物料中其他杂质元素的检测	171
第 6 章 有害元素的基础统计学描述、暴露评估分析.....	175
6.1 样品情况.....	175
6.2 进口铜矿整体质量及有害元素含量分析	176
6.2.1 进口铜矿有害元素含量的数据形态分析	176
6.2.2 进口铜矿有害元素的稳健统计描述	176
6.2.3 结论	186
6.3 进口铜矿环境有害元素的风险分析	186
6.3.1 进口铜矿有害元素相关性分析.....	186
6.3.2 进口铜矿有害元素的主成分分析.....	187
6.3.3 进口铜矿有害元素的因子分析.....	188

6.3.4 结论	188
6.4 铜矿中环境有害元素的安全控制限量(95%UCL).....	189
6.4.1 铜矿中铅含量的安全控制限量(95%UCL).....	189
6.4.2 铜矿中砷含量的安全控制限量(95%UCL).....	190
6.4.3 铜矿中镉含量的安全控制限量(95%UCL).....	191
6.4.4 铜矿中氟含量的安全控制限量(95%UCL).....	193
6.4.5 铜矿中汞含量的安全控制限量(95%UCL).....	194
6.4.6 结论	196
第7章 进口铜矿放射性评估与管理	197
7.1 主要铜矿区放射性风险等级划分	197
7.1.1 低放射性风险铜矿区.....	197
7.1.2 高放射性风险铜矿区.....	197
7.2 进口铜矿 γ 辐射剂量率的模拟取样估计	197
7.2.1 采样与数据处理.....	198
7.2.2 结果分析.....	199
7.3 进口铜矿天然放射性限值管理措施	204
第8章 铜矿检验典型案例.....	205
8.1 有害元素超标案例.....	205
8.1.1 砷含量超标.....	205
8.1.2 铅含量超标.....	206
8.1.3 氟含量超标.....	206
8.1.4 镉含量超标.....	206
8.1.5 汞含量超标.....	207
8.2 放射性超标案例.....	207
8.3 夹带固体废物案例.....	208
8.3.1 违规进口铜矿渣	208
8.3.2 违规进口固体废物铜的氧化皮.....	208
8.3.3 夹带禁止进境类固体废物	209
8.3.4 夹带土壤、杂草等检疫性有害生物	209
8.4 以次充好案例.....	210
8.5 短重欺诈案例.....	210
参考文献	213

第1章 铜矿基础知识

1.1 概述

铜是一种存在于地壳和海洋中的金属元素。铜元素在地壳中的含量约为 0.01%；在个别铜矿床中,铜的含量可以达到 3%~5%。自然界中的铜,多数以化合物即铜矿物存在,铜矿物与其他矿物聚合成铜矿石,开采出来的铜矿石经过选矿而成为含铜品位较高的铜精矿,铜精矿经过冶炼提纯成为精铜及铜制品。纯铜为暗红色,比重为 8.89,熔点为 $1\ 083.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$,具有导电率高(仅次于银)、导电性强、延展性好等特性。铜可与多种金属制成合金,如铜锡合金称为青铜、铜锌合金称为黄铜、铜镍锌合金称为白铜等。

铜矿是可以利用的含铜的自然矿物集合体的总称,铜矿石一般是铜的硫化物或氧化物与其他矿物组成的集合体。铜的工业矿物有自然铜、黄铜矿、辉铜矿、黝铜矿、蓝铜矿、孔雀石等;已发现的含铜矿物有 280 多种,主要的只有 16 种。全世界探明的铜矿储量约 6 亿多吨,储量最多的国家是智利,智利号称“铜矿之国”,约占世界储量的三分之一。我国有不少著名的铜矿,如江西德兴、安徽铜陵、山西中条山、甘肃白银、云南东川、西藏玉龙等地的铜矿。我国开采的主要是黄铜矿(铜与硫、铁的化合物),其次是辉铜矿和斑铜矿。自然铜矿物有各种各样的颜色:黄铜矿呈亮黄色;斑铜矿呈暗铜红色,氧化后变为蓝紫斑状的锈色;辉铜矿(硫化二铜)铅灰色;铜蓝(硫化铜)靛蓝色;黝铜矿呈钢灰色至铁黑色;蓝铜矿(古称曾青或石青)呈鲜艳的蓝色。

铜是人类发现最早的金属之一,也是人类广泛使用的第一种金属;同时,铜元素也是人体所含微量元素之一,属于重金属元素行列。早在史前时代,人们就开始采掘露天铜矿,并用获取的铜制造武器、器具和其他器皿,铜的使用对早期人类文明的进步影响深远。我国是世界上最早使用湿法炼铜的国家,开采冶炼铜矿的历史悠久,可追溯到春秋时代,距今 2700 多年,夏代(公元前 21—前 16 世纪)已进入青铜时代。大冶有色金属公司铜绿山矿在生产过程中发现的古铜矿遗址,经考古发掘,已清理出从西周至西汉千余年间不同结构、不同支护方式的竖井、斜井、盲井数百座,平巷百余条,以及一批春秋早期的炼铜鼓风竖炉,随同出土的还有大量的用于采矿、选矿和冶炼的生产工具。遗址旁近 2 平方千米的地表堆积着约 40 万吨以上的古代炼渣,经分析渣样铜含量小于 0.7%,表明我国古代铜矿采冶的规模之大和高超的技术水平。

由于铜具有多种优良特性而用途很广,铜工业是当前国民经济中的重要行业。在我国现有 124 个行业中,有 113 个部门使用铜产品,占现有行业数的 91%。铜被广泛应用于建筑、电气、运输、机械制造、信息、能源、军事等领域。据铜工业协会的资料,铜的主要需求领域为建筑材料占 16%、动力工程占 15%、汽车制造占 12%、电机设备和空调系统占 8%、制造生产设备占 6%、电子设备占 5%、运输设备占 3%。最近 10 年信息通讯技术(计算机、移动电话)飞速发展,也是铜需求量的稳定增长点。我国铜消费从 2000 年以后,都一直保持年均 15% 的增长速度。2002 年我国的铜消费量达到 250 万吨,首次取代美国成为世界第一大铜消费国。根据世界金属统计局(WBMS)数据,2015 年我国铜表观消费量年增 14.8 万吨至 1 145.1 万吨,占全球需求量的 50%。

1.2 铜的存在形式

铜在自然界里可呈自然铜状态,亦可以 Cu^+ 和 Cu^{2+} 状态形成化合物。铜是一种典型的亲硫元素,化学性质稳定,主要形成硫化物矿物的黄铜矿;只有在强氧化条件下才可形成氧化物,如赤铜矿。铜在各种岩石中含量差别很大,铜含量较高的为玄武岩($80 \sim 100 \text{ mg/kg}$),较低的为正长岩(5 mg/kg)、碳酸盐岩(5 mg/kg)。

铜在内生作用中主要形成硫化物和硫砷化物与其他金属(如铁、钴、镍、铅、锌、钼等)硫化物伴生。在岩浆中,铜一般不进入硅酸盐矿物内,仅在中酸性岩浆岩中进入黑云母内,如我国德兴铜矿床,矿岩体中的黑云母含铜 $160 \sim 500 \text{ mg/kg}$,含美国宾汉姆(Bingham)矿床含矿岩体中的黑云母含铜 $1\,900 \text{ mg/kg}$ 。铜在中酸性岩浆演化过程中进入热水溶液,在适当的条件下形成硫化物或硫砷化物的沉淀,富集成热液矿床,所以与热液有关的铜矿床中常含有砷。

在表生作用下,铜的硫化物不稳定,经氧化分解成 CuSO_4 ;由于 CuSO_4 易溶于水,遇碳酸盐类矿物便反应形成碳酸盐次生铜矿物,如孔雀石、铜蓝矿等。在干旱条件下,由于蒸发作用,使含 CuSO_4 的水溶液达到饱和,形成铜砷矾或以含水硫酸盐的形式沉淀形成胆矾、铜叶绿矾等。在检验铜矿石时,经常看到绿色及蓝色的矿物,说明都是矿床靠近地表部分形成的次生铜矿物。在原生矿床顶部下渗 CuSO_4 ,进入还原环境形成次生硫化物如辉铜矿、铜蓝等。

在沉积作用中,铜可以微小的硫化物形式与泥砂一起沉积,或以离子、分子形式被黏土或有机质吸附,或与在岩层内活动的 S^{2-} 结合成硫化物沉淀于岩石的孔隙中。这些形式富集的铜便成为沉积铜矿床或称层控铜矿床。在沉积作用中,铀也可以被黏土或有机炭还原吸附。在已知的沉积或沉积变质铜矿床或称层状铜矿床中常伴生有铀,就是在缺氧的还原条件下沉积的黑色泥岩同时吸附铀与铜形成的,这就是沉积铜矿床往往含铀的原因。例如,青海省大柴旦湖的泥含铀为 0.014%,小柴旦湖的泥含铀为 0.01%,甘肃省

礼县吴茶坝的冲积扇上的黏土含铀高达 0.03%。甘肃迭部地区志留系炭质页岩铀平均含量为 30.4 mg / kg,铜平均含量为 52 mg / kg。瑞典奥陶系黑色页岩铀含量为 0.01%,铜含量为 0.1%。甘肃迭部一〇四碳硅泥岩型铀矿床,铜平均含量 0.33%,有的块段铜平均含量达 1%。有关对中生代陆相砂岩铀矿床的研究认为,铀在水溶液中以 U^{6+} 形式搬运,也往往以阳离子或阴离子的络合物的形式搬运,铀作为阳离子络合物与铜、铅、锌、钴、镍相似,作为阴离子络合物又与钒、硒、钼相似。铀的这种特性不仅说明砂岩铀矿床有多种元素伴生,也说明了某些沉积铜矿床与上述元素伴生的原因。

1.3 铜的工业矿物及有关金属矿物

1.3.1 铜的工业矿物

自然界中已发现 200 多种铜矿物,具有工业意义的有 16 种。

(1) 自然铜(Cu): 含铜量接近 100%,自然铜内常含 Fe、Ag、Au。自然铜是铜元素在自然界天然生成的,具有片状、板状、等粒状、树枝状等各种形状(如图 1-1、图 1-2)。晶体结构属等轴晶系,晶体呈立方体、五角十二面体及八面体的晶形;在立方体或五角十二面体晶面上有条纹,相邻两个晶面的条纹互相垂直。集合体呈致密块状、浸染状和球状结核体。颜色为铜红色,氧化后的自然铜呈棕黑色或绿色,条痕为绿色,显金属光泽。莫氏硬度为 2.5 ~ 3.0,比重为 8.5,具有延展性。自然铜常见于原生热液矿床、含铜硫化物矿床氧化带下部及砂岩铜矿床中,它们是各种地质作用过程中还原条件下的产物,常产于含铜硫化物矿床氧化带中,与赤铜矿、辉铜矿、孔雀石等共生。自然铜在地表及氧化环境中不稳定,易转变为铜的氧化物和碳酸盐,如赤铜矿、孔雀石、蓝铜矿等矿物。世界著名的自然铜产地有美国的上湖、俄罗斯图林斯克和意大利的蒙特卡蒂尼。我国的湖北大冶、云南东川、江西德兴、安徽铜陵、四川会理及长江中下游等地的铜矿床氧化带中皆有产出,湖南麻阳县九曲湾铜矿床也以自然铜为主要铜矿物。

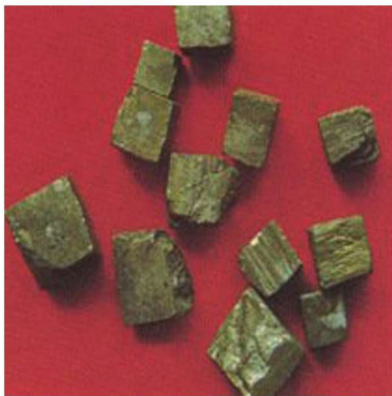


图 1-1 未氧化的自然铜

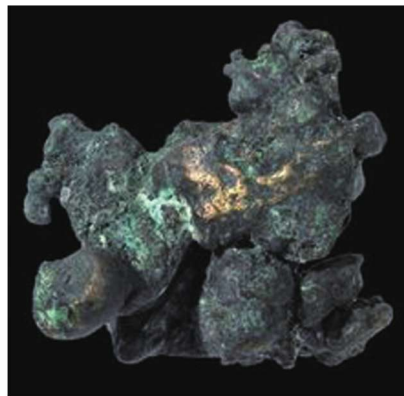


图 1-2 氧化的自然铜

(2) 赤铜矿(Cu_2O): 含铜量为 88.82%, 因分布少, 只作为次要的铜矿石。赤铜矿晶体属等轴晶系, 无解理, 呈立方体或八面体晶形, 或与菱形十二面体形成聚形(如图 1-3)。晶体沿立方体棱的方向生长, 形成毛发状, 或交织成毛线绒状形态, 也包括长条形闪闪发亮的晶体, 称毛赤铜矿。集合体呈致密块状、粒状或土状。新鲜断面呈鲜红色, 金刚光泽或半金属光泽; 长时间暴露于空气中, 即呈暗红色, 光泽暗淡; 条痕棕红色, 具贝壳状或不规则状断口。莫氏硬度为 3.5 ~ 4.0, 比重为 6.14。有时可做宝石, 但易碎。赤铜矿通常与自然铜、辉铜矿、黑铜矿、孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等伴生或共生于铜矿床氧化带。法国、智利、玻利维亚、南澳大利亚、美国等地有此类铜矿主要矿区。我国云南东川铜矿和江西、甘肃等地铜矿区也都有产出。



图 1-3 赤铜矿

(3) 黄铜矿(CuFeS_2): 是一种铜铁硫化物矿物, 含铜量为 34.56%, 常含微量的 Au、Ag 等; 正方晶系为四面体状, 多呈不规则粒状及致密块状集合体, 也有肾状、葡萄状集合体(如图 1-4)。黄铜矿呈黄色, 有时呈斑状锍色; 条痕为微带绿的黑色, 强金属光泽, 不透明, 莫氏硬度为 3.5 ~ 4, 比重为 4.1 ~ 4.3。黄铜矿产于多种类型铜矿中, 黄铜矿在地表易风化孔雀石和蓝铜矿。黄铜矿是分布最广的铜矿物, 是炼铜的最主要矿物原料, 我国商代或更早就已由黄铜矿等铜矿物炼铜。我国的主要产地集中在长江中下游地区、川滇地区、山西南部中条山地区、甘肃的河西走廊及青藏高原等, 其中以江西德兴、西藏玉龙等铜矿最著名。世界主要产地有西班牙的里奥廷托, 美国亚利桑那州的克拉马祖、犹他州的宾厄姆、蒙大拿州的比尤特, 墨西哥的卡纳内阿, 智利的丘基卡马塔等。

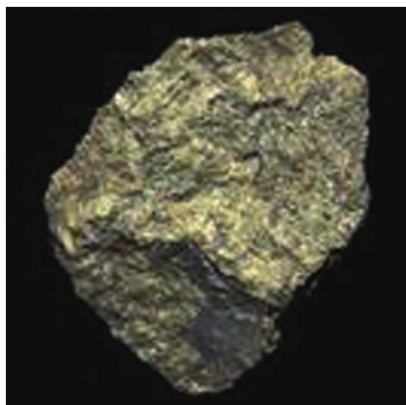


图 1-4 黄铜矿

(4) 斑铜矿(Cu_5FeS_4): 是铜和铁的硫化物矿物, 含铜量为 63.3%, 为炼铜的主要矿物原料之一(如图 1-5)。晶体呈四方晶系, 其高温变体为等轴晶系, 称为轴斑铜矿。表面易氧化呈蓝紫斑状的锈色, 因而得名。新鲜断面呈暗铜红色, 金属光泽, 莫氏硬度为 3, 比重为 4.9 ~ 5.0, 断口为贝壳状, 条痕灰黑色。常呈致密块状或分散粒状见于各类型的铜矿中, 与黄铜矿, 有时与辉钼矿、黄铁矿呈散染状分布于石英斑岩中; 还见于某些接触变质的矽卡岩矿床中和铜矿床的次生富集带中, 但不稳定, 容易被辉铜矿和铜蓝置换。在地表易风化成孔雀石和蓝铜矿。我国云南东川等铜矿床中有大量的斑铜矿。世界代表性产地是美国蒙大拿州的比尤特、墨西哥卡纳内阿和智利丘基卡马塔等。



图 1-5 斑铜矿

(5) 辉铜矿(Cu_2S): 辉铜矿大部分是原生硫化物氧化分解再经还原作用而成的次生矿物。铜量为 79.86%, 一般含 Ag, 是最重要的炼铜矿石。含辉铜矿晶体为斜方双锥晶系, 莫氏硬度为 2.5 ~ 3, 比重为 5.5 ~ 5.8。具贝壳状断口, 新鲜面铅灰色, 风化表面为黑色, 带有锈色。条痕暗灰色, 不透明, 金属光泽(如图 1-6)。见于热液成因的铜矿床中, 是构成富铜贫硫矿石的主要成分, 常与斑铜矿共生; 外生辉铜矿见于含铜硫化物矿床氧化带下部。世界著名产地有美国阿拉斯加州的肯纳科特、内华达州的伊利、亚利桑那州的莫伦西, 纳米比亚的楚梅布等。我国云南东川等铜矿床中也有大量辉铜矿。

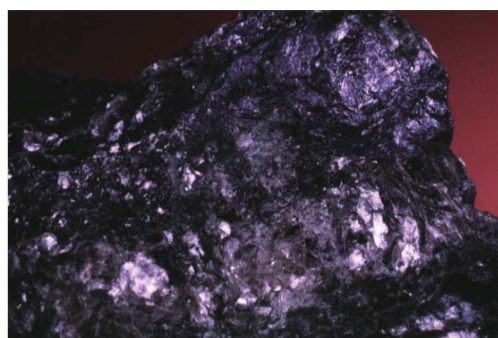


图 1-6 辉铜矿

(6) 铜蓝(CuS): 是一种成分为硫化铜的矿物, 含铜量为 66.5%。铜蓝内常含 Fe、Ag、Se, 呈靛蓝色, 具有金属光泽。晶体为六方晶系, 一般为片状, 像一层膜似的覆盖在其他矿物和岩石上, 也可以像一团灰烟一样(如图 1-7、图 1-8)。晶体为六方晶系, 呈六方片状, 具平行底面, 完全解理。金属光泽或光泽暗淡, 莫氏硬度为 1.5 ~ 2, 比重为 4.67, 条痕灰黑色, 不透明。铜蓝是铜硫化物矿床次生富集带最常见的一种矿物, 与辉铜矿伴生。代表性的产地如俄罗斯乌拉尔的布利亚温。热液成因的铜蓝罕见, 美国蒙大拿州的比尤特、前南斯拉夫的博尔等铜矿床中有产出。



图 1-7 铜蓝(灰烟状)



图 1-8 铜蓝(片状)

(7)方黄铜矿(CuFe_2S_3): 是一种铜和铁的硫化物矿物,属次要的少见铜矿物。通常与黄铜矿或磁黄铁矿产在一起,具有金属光泽,黄色或古铜黄色,含铜量为 23.4%。晶体为斜方晶系,常为拉长的扁平棱柱状,有时呈 V 型双晶或放射状六连晶或片状集合体,颜色为黄色或古铜黄色,条痕为黑色,不透明。莫氏硬度为 3.5 ~ 4,比重为 4.1。解理不完全,具有纵向条纹,金属光泽,贝壳状断口(如图 1-9、图 1-10)。常与黄铜矿、石英、自然金、菱铁矿、方解石、黄铁矿、磁黄铁矿及其他铜硫化物共生,有指示矿床特征的作用。主要产于与基性和超基性岩有关的铜镍矿床中,如我国甘肃金川、新疆哈密东黄山。

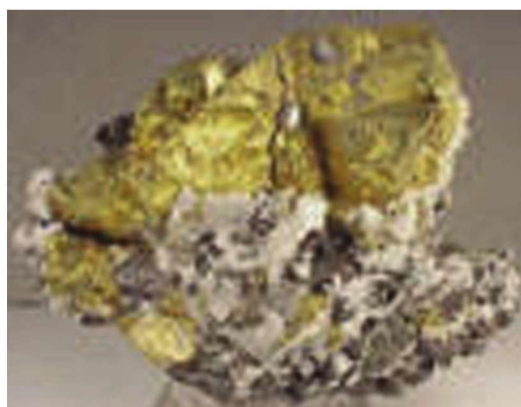


图 1-9 方黄铜矿



图 1-10 方黄铜矿

(8)黝铜矿($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{Si}_3$)、砷黝铜矿($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{Si}_3$): 是一种铜、锑的硫化物矿物,含铜量分别为 52.1%、57.1%。与铜、银、铅和锌的矿物共生,黝铜矿常含有一些砷,并随砷的含量增加向砷黝铜矿过渡。晶体属等轴晶系,单晶体常呈四面体,黝铜矿与砷黝铜矿成类质同像系列,它们成分中的铜可被 Ag、Zn、Hg、Fe 等类质同像置换;当某种元素达到一定含量时,则相应构成黝铜矿或砷黝铜矿的亚种,如银黝铜矿、黑黝铜矿(含汞)等。黝铜矿、砷黝铜矿呈钢灰色至铁黑色,半金属光泽,莫氏硬度为 3 ~ 4,比重为 4.6(砷黝铜

矿)至5.0(黝铜矿),通常呈致密块状或粒状(如图1-11)。见于铜、铅、锌、银等金属硫化物的热液矿床中。黝铜矿虽然是分布最广的一种硫盐矿物,但数量一般不大,通常与伴生的其他铜矿物一起作为铜矿石利用。银黝铜矿是提炼银的来源之一。美国爱达荷州的桑夏恩以产银黝铜矿著名,我国一些多金属矿床中有不同数量的黝铜矿产出。



图 1-11 黝铜矿

(9) 硫砷铜矿(Cu_3AsS_4): 砷矿的主要矿物组分之一,含铜量为48.42%、含砷量为19.02%,常有少量Sb、Zn、Fe及微量Ge、Ga、V、Sn、Te、Pt等。晶体为斜方晶系,常呈柱状、板状,集合体呈粒状。颜色为钢灰色、灰黑色或黄黑色(如图1-12)。弱金属光泽,莫氏硬度为3.5,比重为4.3~4.5。常与黄铜矿、黄铁矿共生。是中温热液铜矿床的特征矿物,可作为制取砷和铜的原料。主要产地为秘鲁的摩洛哥洽(Morococha)、基鲁必加(Quiruvilca)、佩斯科山(Cerro de Pasco),智利,阿根廷,菲律宾的吕宋岛,美国等。我国福建上杭县紫金山金铜矿区有硫砷铜矿。



图 1-12 硫砷铜矿

(10) 黑铜矿(CuO): 是一种铜的氧化物,它的晶体为灰到黑色,一般为土状产在铜矿的氧化区域,含铜量为79.9%。晶体属斜方晶系,常呈小板状、叶片状。贝壳状断口,条痕为黑色、钢灰色(如图1-13)。具金属光泽,莫氏硬度为3.5~4.0,比重为5.8~6.4。黑铜矿产在铜矿床氧化带,是辉铜矿风化产物。在矿床中常与斑铜矿、赤铜矿、自然铜、铜蓝、孔雀石等矿物共生或伴生。世界著名产地有我国云南、西藏等铜矿床地。



图 1-13 黑铜矿

(11) 孔雀石 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$: 是含铜的碳酸盐矿物,含铜量为57.3%。晶体属单斜晶系,往往成群或丛生,呈隐晶钟乳状、块状、皮壳状、结核状、葡萄状、肾状和纤维状集合体。颜色有翠绿、草绿、暗绿色等,条痕为淡绿色。具金刚、玻璃等光泽,半透明至不透明(如图1-14)。莫氏硬度为3.5~4.5,比重为

3.54 ~ 4.1。贝壳状至参差状断口。孔雀石形成于铜矿床蚀变和氧化带,常与蓝铜矿、赤铜矿、自然铜、辉铜矿、斑铜矿等共生。世界著名产地有赞比亚、澳大利亚、纳米比亚、俄罗斯、刚果(金)、美国等地区的铜矿床。我国主要产于广东阳春、湖北黄石和赣西北。



图 1-14 孔雀石

(12) 蓝铜矿 $[\text{Cu}_3\text{CO}_3(\text{OH})_2]$: 是一种碱性铜碳酸盐矿物,也叫作石青,含铜量为 55.2%。蓝铜矿可作为铜矿石来提炼铜,也用作蓝颜料,它还是寻找铜矿的标志矿物。晶体为单斜晶系,常为柱状、厚板状、粒状、钟乳状、土状等。颜色为深蓝色,浅蓝色条痕,有玻璃光泽,具贝壳状断口(如图 1-15、图 1-16)。莫氏硬度为 3.5 ~ 4,比重为 3.7 ~ 3.9。透明至半透明。产于铜矿床氧化带、铁帽及近矿围岩的裂隙中,是一种次生矿物,常与孔雀石共生或伴生,其形成一般稍晚于孔雀石,但有时也被孔雀石所交代。世界著名产地有赞比亚、澳大利亚、纳米比亚、俄罗斯、刚果(金)、美国等地区的铜矿床。我国主要产于广东阳春、湖北大冶和赣西北的铜矿床。



图 1-15 蓝铜矿



图 1-16 蓝铜矿

(13) 硅孔雀石 $[(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$: 硅孔雀石又名凤凰石,含铜量为 36.2%。在很多铜矿地区都会存在这种由铜矿分解而成的矿物,这是因为铜矿遇到含二氧化硅的水而发生化学变化产生的。硅孔雀石具有美丽的绿(或浅绿蓝)色。常为隐晶质或胶状集合体,常呈葡萄状、皮壳状、土状。颜色为绿色至浅蓝绿色,玻璃光泽,莫氏硬度为 2 ~ 4,比重为 1.93 ~ 2.4(如图 1-17、图 1-18)。主要产在铜矿床的氧化带中,常与孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、自然铜共生;此外,也常和玉髓相伴一起出现。