重有色金属冶金工厂技术培训丛书

铜 冶 金

重金属冶金学委会摇编

中南大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》编委会

摇摇主摇任摇张兆祥

摇摇副主任摇（按姓氏笔画排序）

王一滔摇王洪江摇安摇本摇李沛兴摇何云辉摇吴吉孟
杨安国摇张伟健摇罗忠民摇林升叨摇贺家齐摇侯宝泉
葛启录

摇摇主摇编摇彭容秋

摇摇副主编摇任鸿九摇张训鹏

摇摇编摇委摇（按姓氏笔画排序）

马摇进摇于晓霞摇王一滔摇文丕忠摇王守彬摇王洪江
王彦坤摇王建铭摇王盛琪摇孔祥征摇龙运炳摇叶际宣
刘中华摇刘华文摇江晓武摇安摇本摇李沛兴摇李仲文
李维群摇李景峰摇朴东鹤摇孙中森摇任鸿九摇许永武
宋兴诚摇汪友元摇肖摇珲摇陈摇进摇陈摇莉摇陈忠和
何云辉摇何蔼平摇吴吉孟摇沈立俊摇余忠珠摇周摇俊
林升叨摇杨安国摇杨摇龙摇杨小琴摇张卫国摇张伟健
张顺应摇张训鹏摇张兆祥摇罗忠民摇宝国锋摇苗立强
姚素平摇赵文厚摇赵摇永摇贺家齐摇洪文灿摇胡耀琼
徐摇毅摇徐摇爽摇席摇斌摇高心魁摇侯宝泉摇贾建华
尉克俭摇黄太祥摇黄建国摇戚永明摇蒋龙福摇葛启录
舒毓璋摇彭容秋摇翟保金摇谭摇宁摇谭世雄摇潘恒礼

摇摇秘书长摇尉克俭摇陈摇莉

《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》参编单位

中国有色工程设计研究总院
南昌有色金属设计研究院
中南大学
东北大学
昆明理工大学
江铜集团贵溪冶炼厂
大冶有色金属公司
云南铜业股份有限公司
金川集团有限公司
安徽铜都铜业股份有限公司金昌冶炼厂
深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂
河南豫光金铅集团有限责任公司
云南驰宏锌锗股份有限公司
云南锡业集团有限责任公司
白银有色金属公司
祥云县飞龙实业有限责任公司
吉林吉恩镍业股份有限公司
水口山有色金属集团公司
烟台鹏晖铜业有限公司
柳州华锡集团有限责任公司
山西华铜铜业有限公司
葫芦岛有色金属集团有限公司
奥托昆普技术公司
营口青花集团有限公司
锦州长城耐火材料有限公司
中国·宣达实业集团有限公司
扬州市中兴硫酸设备厂
昆明市嘉和泵业有限公司
宜兴市宙斯泵业有限公司

参加《铜冶金》分册编写人员

彭容秋摇任鸿九摇张训鹏摇贺家齐摇
肖摇珲摇黄建国摇裴书照摇吴摇军摇
陈先斌摇陈羽年摇吴理鹏摇陈时应摇
肖炳瑞摇张摇帆摇程摇彤摇汪飞虎摇
张恩明摇黄明琪摇席摇斌摇余旦新摇
李田玉摇郭树东摇林升叨摇余忠珠摇
王舒敏摇杨小琴摇李摇云摇张摇隽摇
熊振昆摇华宏全摇张宏明摇徐毅敏摇
李维群摇王盛琪摇徐再球摇刘朝辉摇
朱摇燃摇骆摇炜摇张亨峰摇姜元顺摇
张洪常摇王举良摇许永武摇杨斌强摇
乐国斌摇李建斌摇陈胜利摇李吉忠摇
符进武摇宋光荣摇何蔼平摇魏摇昶摇
贾建华摇林荣跃摇李仲文摇郭亚会摇
谭摇宁摇陶金文摇陈时应摇李志强摇
谭世雄摇郭天立摇赵震宇

参加《铅冶金》分册编写人员

张训鹏摇摇彭容秋摇任鸿九摇张顺应
周中元摇摇苗立强摇何立新摇杨摇明
欧阳洪川摇高富娥摇李摇泽摇王永仁
李摇钢摇摇肖建强摇尹荣花摇阳耀紫
赵摇波摇摇李冬元摇贾著红摇郭摇辉
李志国摇摇薛革文摇刘摇虔摇王建铭
龙运炳摇摇陈学兴摇贾建华

需要全本请访问 www.ertongbook.com

序

进入 [illegible] 世纪，我国有色金属工业继续持续稳定地发展，十种有色金属年产量超过 [illegible] 万吨，其中铜、镍、铅、锌、锡、锑等重有色金属的产量占一半以上，稳居世界第一，重有色金属冶炼企业在不断对现有工艺进行技术改造、挖潜增效、节能降耗、强化管理的同时，广泛采用闪速熔炼及顶吹、底吹、侧吹类的熔池熔炼，热酸浸出，深度净化，[illegible] 湿法炼铜，永久阴极电解等新工艺、新技术、新设备逐渐取代能耗高、污染大、效益差的落后工艺，有色金属工业面貌焕然一新。

我国有色金属工业的发展，竞争与机遇并存。我们应清醒地看到，我国的人均有色金属量占有率仍然很低，除了资源严重短缺外，在核心技术创新方面，在管理模式、管理水平、经营理念、总体装备水平、劳动生产力、自动化程度、资源有效利用、职工素质等多方面与世界有色金属强国相比，还存在很大的差距。我们必须百尺竿头，继续奋斗，不断增强我国有色金属工业的国际竞争能力。

国家综合实力的竞争归根结底是人才的竞争，发展有色金属工业迫切需要提高企业职工的整体素质。近年来，我国有关方面相继启动了“国家高技能人才培训工程”，目的在于培养千百万具有一定专业理论知识、动手能力强、技术娴熟的技能型人才。为满足工厂职工教育和培训的需要，中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织一批教授、专家和资深技术人员编写了《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》，经过近一年的努力，现在终于可将这套丛书奉献给广大读者了。为了编好这套丛书，全国各重有色金属冶炼工厂都竭尽全力给予了极大的支持，在此，我代表中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会向为编写这套丛书作出辛勤劳动的教授、专家及广大企业领导及工程技术人员致以衷心的感谢！我们相信，这套丛书的出版发行，必将为我国重有色金属冶炼企业技术工人综合素质的提高，促进我国重有色金属工业的发展起着重要的作用，并为增强我国国民经济综合实力作出重要贡献。

中国有色金属学会重金属冶金学术委员会主任委员
中国有色工程设计研究总院院长

[illegible] 年 [illegible] 月

内容提要

这是一本铜冶金工厂职工技术培训教材。全书共分 员袁章，涵盖了铜冶金的基本原理、生产工艺与设备及操作要领。对现代铜冶金新方法——闪速熔炼、顶吹浸没熔炼、诺兰达法与白银法均作了详细介绍。对细菌浸出与溶剂萃取—电积法生产铜与传统炼铜方法，包括大型炼铜厂采用的不锈钢永久阴极铜电解精炼也作了适当的介绍。

本书内容丰富，编写简明，适合于铜冶金工厂的生产管理人员和生产工人作技术培训教材用，也可供其他生产技术人员参考。

编者的话

进入21世纪，铜冶金技术无论在强化熔炼，设备改进和操作管理上都有了突飞猛进的发展。为了适应这一形势的要求，特编写了这一技术培训教材。

为了适应广大技术工人读者的要求，以总结生产实践知识为主，对生产过程的基本原理和操作技术要求也作了必要的叙述。以国内先进生产方法为主，对国外先进技术和传统炼铜法也作了简单的介绍；在分析现有方法优缺点的基础上，对今后技术发展的趋向也作了应有的提示。通过本书的学习，有益于造就读者成为既有良好的理论素养，又能付诸实践、勇于创新的新型人才。

全书共分九章，除造锍熔炼基本原理专辟一章叙述外，各种新熔炼方法的特点均在各自章节中叙述。由于强化熔炼方法都会产出含铜较高的炉渣，因此炉渣贫化处理显得日益迫切，专辟一章来介绍。国内各铜厂采用的新冶炼方法不尽相同，如侧吹熔池熔炼就有白银法与诺兰达法，顶吹浸没熔炼又有艾萨炉与澳斯麦特炉，甚至还包括有北镍法，书中不可能对这么多新方法都作详细介绍，如艾萨炉与澳斯麦特炉便合为一章称顶吹浸没熔炼法，只能在顶吹浸没熔炼的共性基础上，略述其特点。因此，在教学培训过程中，可根据工厂具体情况作适当增删。对于各操作过程亦然，只能叙述原则要求，至于岗位的具体操作要点也有待补充。

本书内容有一定的深度与广度，但学员的文化水平不一，要求在教学过程中应根据具体情况，如自由能、活度、电极电位等热力学概念，以及化学势图的应用等应作适当解释，否则部分学员难以接受。

在本书编写过程中，得到了各厂的大力支持，在此表示深深的谢意。

本书的主要内容虽然来自各厂的生产实践，但参编人员水平有限，书中难免出现某些缺点与错误，敬请批评指正，竭诚感激。

编者

目摇录

员摇铜冶金一般知识 …… (员)
员援员摇铜及其主要化合物的性质 …… (员)
员援圆摇铜及其主要合金的性质 …… (员)
员援猿摇铜的硫化物、氧化物及其性质 …… (猿)
员援源摇铜的产量及消费量 …… (源)
员援源援员摇近 员园年世界各国的铜产量 …… (源)
员援源援圆摇铜的用途及铜消费量的变化 …… (源)
员援缘摇铜冶金原料 …… (缘)
员援缘援员摇铜的矿物、矿石与精矿 …… (缘)
员援缘援圆摇铜精矿的组成与冶炼工艺的关系 …… (远)
员援缘援猿摇再生铜原料 …… (苑)
员援远摇铜冶金方法 …… (苑)
员援愿摇近 圆园年来国内外铜冶金技术的发展 …… (怨)
圆摇铜精矿造锍熔炼的基本原理 …… (员员)
圆援员摇概述 …… (员员)
圆援圆摇造锍熔炼的基本原理 …… (员圆)
圆援圆援员摇主要物理化学变化 …… (员圆)
圆援圆援圆摇铜熔炼有关反应的 $\Delta_r G_m^{\ominus}$ 原T图 …… (员猿)
圆援圆援猿摇酝原S原T的系化学势图 …… (员缘)
圆援圆援源摇矢泽彬的铜熔炼氧势 原硫势图 …… (员缘)
圆援圆援缘摇斯吕德哈、托格里和斯米尔诺夫的铜熔炼氧势 原硫势图 …… (员远)
圆援猿摇熔炼产物 …… (员苑)
圆援猿援员摇铜锍的形成及其特性 …… (员苑)
圆援猿援圆摇炉渣的组成及其性质 …… (圆员)
圆援猿援猿摇炉渣 原铜锍间的相平衡 …… (圆缘)
猿摇闪速熔炼 …… (圆远)
猿援员摇概述 …… (圆远)
猿援圆摇闪速熔炼的产生及发展 …… (圆远)
猿援猿摇铜精矿闪速熔炼的工艺流程及生产过程 …… (圆远)
猿援源摇闪速炉反应塔内的传输现象和主要氧化反应 …… (圆怨)

猿源缘 奥托昆普闪速炉的炉体结构和精矿喷嘴类型 …… 猿园员
摇摇猿源源员 闪速炉的外形结构尺寸 …… 猿园员
摇摇猿源源圆 闪速炉炉体各部位的结构 …… 猿园圆
摇摇猿源源猿 闪速炉精矿喷嘴类型与结构 …… 猿园猿
猿源远 闪速熔炼作业的技术管理 …… 猿园远
摇摇猿源远员 闪速炉熔炼过程的管理 …… 猿园远
摇摇猿源远圆 贫化电炉的管理 …… 猿园苑
猿源苑 闪速熔炼的主要技术经济指标 …… 猿园愿
猿源愿 铜闪速熔炼的配料计算 …… 猿园愿
猿源怨 闪速熔炼的计算机控制及数学模型实例 …… 猿园怨
摇摇猿源怨员 熔炼渣中 云藻载藻圆 控制 …… 猿员园
摇摇猿源怨圆 铜锍品位和铜锍温度控制 …… 猿员员
摇摇猿源怨猿 冶金计算实例 …… 猿员圆
猿缘园 闪速熔炼发展的成就 …… 猿员猿
摇摇猿缘园员 闪速熔炼的“四高”发展趋势 …… 猿员猿
摇摇猿缘园圆 闪速熔炼发展的新技术新设备 …… 猿员缘

源 诺兰达熔池熔炼 …… 猿员远

源员 诺兰达熔炼生产工艺过程 …… 猿员远
摇摇源员员 生产工艺流程简述 …… 猿员远
摇摇源员圆 炉料和燃料 …… 猿员苑
摇摇源员猿 熔池中的物理化学变化 …… 猿员愿
摇摇源员源 熔炼产物 …… 猿圆园
摇摇源员缘 诺兰达炉熔炼的生产数据与主要的技术经济指标 …… 猿圆源
源员远 诺兰达反应炉结构及其装备 …… 猿圆远
摇摇源员员 诺兰达反应炉的炉体结构 …… 猿圆远
摇摇源员圆 诺兰达反应炉的装置及其结构 …… 猿圆愿
摇摇源员猿 诺兰达反应炉的附属装置 …… 猿猿园
源员苑 诺兰达炉正常操作的控制及常见故障的处理 …… 猿猿园
摇摇源员愿员 诺兰达炉熔炼过程的主要控制参数及控制方法 …… 猿猿园
摇摇源员愿圆 常见故障及处理 …… 猿猿苑
源员愿 诺兰达炉生产过程的物料平衡及热平衡 …… 猿猿愿
摇摇源员愿员 诺兰达熔炼过程物料平衡实例 …… 猿猿愿
摇摇源员愿圆 大冶诺兰达炉热平衡实例 …… 猿源园
源员怨 诺兰达炉生产控制过程自动化 …… 猿源园
源圆园 诺兰达熔池熔炼的特点及发展趋势 …… 猿源圆

缘 顶吹浸没熔炼法 …… 猿源猿

缘员 概述 …… 猿源猿

3.1 概述 …… 3
3.2 生产工艺流程 …… 3
3.3 顶吹浸没熔炼炉的结构及主要附属设备 …… 3
3.3.1 炉子结构 …… 3
3.3.2 主要附属设备 …… 3
3.4 炉子的正常操作及常见故障处理 …… 4
3.4.1 澳斯麦特炉的操作 …… 4
3.4.2 贫化电炉的操作 …… 5
3.4.3 顶吹浸没熔炼炉常见工艺故障及处理 …… 5
3.5 顶吹浸没熔炼的主要技术经济指标 …… 6
3.6 顶吹浸没熔炼过程的物料平衡及热平衡 …… 6
3.7 顶吹浸没造锍熔炼过程控制的自动化 …… 6
3.8 顶吹浸没熔炼法的特点及发展趋势 …… 6

4 白银炼铜法 …… 8

4.1 概述 …… 8
4.2 白银炼铜法的生产 …… 8
4.3 白银炉内炉料和熔体的混合与运动规律 …… 8
4.4 白银炉炉体结构及主要附属设备 …… 8
4.4.1 白银炉的炉体结构 …… 8
4.4.2 主要附属设备 …… 9
4.5 白银炉的正常操作及常见故障的处理 …… 9
4.5.1 白银炉熔炼主要技术条件控制 …… 9
4.5.2 正常生产操作 …… 9
4.5.3 开、停炉作业 …… 9
4.5.4 常见故障及处理 …… 9
4.6 白银炼铜法主要技术经济指标 …… 9
4.6.1 床能力 …… 9
4.6.2 标准燃料率 …… 9
4.6.3 烟气二氧化硫浓度 …… 9
4.6.4 渣含铜 …… 9
4.6.5 铜的直收率和回收率 …… 9
4.6.6 炉寿命 …… 9
4.6.7 炉子热效率 …… 9
4.7 白银炉熔炼过程的热平衡及物料平衡 …… 9
4.7.1 白银炉熔炼过程的热平衡 …… 9
4.7.2 白银炉熔炼过程的物料平衡 …… 9
4.8 生产控制过程自动化 …… 9
4.9 白银炼铜法的工艺特点及发展趋势 …… 9

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第四章 其他熔炼新方法 …… (第四章)

第一节 瓦纽柯夫法 …… (第四章)
第二节 特尼恩特法 …… (第四章)
第三节 三菱法连续炼铜 …… (第四章)
第四节 北镍法 (氧气顶吹自热熔炼炉) …… (第四章)

第五章 传统熔炼法 …… (第五章)

第一节 密闭鼓风炉熔炼 …… (第五章)
一、概述 …… (第五章)
二、铜鼓风炉炉内发生的变化 …… (第五章)
三、密闭鼓风炉结构 …… (第五章)
四、鼓风炉熔炼过程的正常操作及常见故障处理 …… (第五章)
第二节 反射炉熔炼 …… (第五章)
一、概述 …… (第五章)
二、反射炉熔炼的工艺流程及生产过程 …… (第五章)
三、反射炉的结构及其主要附属设备 …… (第五章)
四、反射炉熔炼的主要技术经济指标 …… (第五章)
五、反射炉熔炼操作技术管理的若干经验 …… (第五章)

第六章 铜锍的吹炼 …… (第六章)

第一节 概述 …… (第六章)
第二节 铜锍吹炼的基本原理 …… (第六章)
一、吹炼时的主要物理化学变化 …… (第六章)
二、杂质在吹炼过程中的行为 …… (第六章)
第三节 转炉结构及耐火材料 …… (第六章)
一、转炉结构 …… (第六章)
二、转炉的附属设备 …… (第六章)
三、转炉用的耐火材料 …… (第六章)
第四节 转炉吹炼生产实践 …… (第六章)
一、吹炼过程 …… (第六章)
二、作业制度 …… (第六章)
三、转炉吹炼加料 …… (第六章)
四、铜锍吹炼产物及放渣与出铜操作 …… (第六章)
五、转炉的开、停炉作业 …… (第六章)
六、转炉吹炼过程中常见的故障及其处理 …… (第六章)
七、转炉吹炼的技术经济指标 …… (第六章)
第五节 铜锍吹炼的其他方法 …… (第六章)
一、反射式连续吹炼炉吹炼 …… (第六章)

摇摇怨援源援圆摇铜锍的闪速吹炼 …… (员怨源)

员园摇炉渣的贫化处理 …… (员怨愿)

员园援员摇还原贫化法 …… (员怨愿)
员园援圆摇磨浮法处理炉渣 …… (圆园园)
摇摇员园援圆援员摇诺兰达熔炼炉渣的选矿工艺 …… (圆园员)
摇摇员园援圆援圆摇转炉渣的选矿工艺 …… (圆园猿)
摇摇员园援圆援猿摇铜炉渣磨浮法与电炉贫化法的比较 …… (圆园源)

员员摇粗铜的火法精炼 …… (圆园远)

员员援员摇概摇述 …… (圆园远)
员员援圆摇粗铜火法精炼的基本原理 …… (圆园远)
员员援猿摇粗铜火法精炼生产工艺 …… (圆园怨)
摇摇员员援猿援员摇回转炉精炼工艺 …… (圆园怨)
摇摇员员援猿援圆摇反射炉精炼工艺 …… (圆员员)
摇摇员员援猿援猿摇倾动炉精炼工艺 …… (圆员苑)
员员援源摇阳极浇铸 …… (圆员愿)
摇摇员员援源援员摇圆盘浇铸 …… (圆员怨)
摇摇员员援源援圆摇阳极铸模 …… (圆圆园)
摇摇员员援源援猿摇阳极外形质量与修整 …… (圆圆员)
摇摇员员援源援源摇与葬管阳极连铸机 …… (圆圆圆)

员圆摇铜的电解精炼 …… (圆圆源)

员圆援员摇电解精炼的目的 …… (圆圆源)
员圆援圆摇电解精炼的基本原理 …… (圆圆源)
摇摇员圆援圆援员摇铜电解精炼过程的电极反应 …… (圆圆源)
摇摇员圆援圆援圆摇阳极杂质在电解过程中的行为 …… (圆猿远)
员圆援猿摇电解精炼工艺流程及生产实践 …… (圆源园)
摇摇员圆援猿援员摇铜电解精炼生产工艺流程 …… (圆源园)
摇摇员圆援猿援圆摇电解生产的设备 …… (圆源员)
摇摇员圆援猿援猿摇铜电解精炼的电解液 …… (圆源源)
摇摇员圆援猿援源摇铜电解精炼的电流密度、电流效率、槽电压和电能消耗 …… (圆源怨)
摇摇员圆援猿援缘摇种板槽的技术条件及永久性阴极法电解 …… (圆缘圆)
摇摇员圆援猿援远摇阴极铜质量及影响因素分析 …… (圆缘缘)
摇摇员圆援猿援苑摇电解液的净化 …… (圆缘怨)

员猿摇铜的湿法冶金 …… (圆缘源)

员猿援员摇概摇述 …… (圆缘源)
员猿援圆摇矿石浸出 …… (圆缘缘)

摇摇员遥援员 摇浸出的基本原理 …… (圆缘)
摇摇员遥援圆 摇浸出体系的选择 …… (圆缘)
摇摇员遥援猿 摇浸出方式 …… (圆园)
员遥援源 从含铜贫溶液中富集铜 …… (圆园)
摇摇员遥援缘 摇萃取原理 …… (圆园)
摇摇员遥援远 摇铜的萃取剂与稀释剂 …… (圆员)
摇摇员遥援苑 摇萃取工艺 …… (圆员)
摇摇员遥援愿 摇萃取生产过程中常见的故障及处理 …… (圆圆)
员遥援怨 铜的电积 …… (圆圆)

员摇铜冶金一般知识

铜是人类最早发现和应用的金属之一，据考证，西亚地区是世界上最早应用铜并掌握炼铜技术的地区。在靠近西亚的土耳其南部的查塔尔茧克发现的含有铜粒的炉渣距今已有愿[illegible]~怨[illegible]年的历史。我国是世界四大文明古国之一，大批出土文物表明，我国在夏代就进入了青铜时代，在甘肃马家窑文化遗址发现的青铜刀，距今已达 缘[illegible]年，湖北大冶铜绿山矿附近的古矿冶遗址距今已达 圆[illegible]~圆[illegible]年。该矿址已出土 愿座炼铜竖炉，炉周边堆放着大量炼铜炉渣和金属铜。湿法炼铜更是源于我国。员远愿年英国开始采用反射炉炼铜，真正引起炼铜工艺大变革的是 员怨世纪后期即 员[illegible]年出现转炉以后，用转炉吹炼铜锍，简化了流程，缩短了冶炼周期。员[illegible]年欧洲出现了电解精炼，从而使铜的纯度大大提高，从 员怨世纪末到 圆[illegible]世纪 圆[illegible]年代，鼓风炉熔炼占主导地位。而 圆[illegible]世纪 圆[illegible]年代到 圆[illegible]世纪 苑[illegible]年代则以反射炉熔炼为主。自上世纪 还[illegible]年代以来，以闪速熔炼为代表的一批强化冶炼新工艺，逐渐取代了反射炉熔炼。我国虽然很早就生产和应用铜，但直到 员怨源怨年新中国建立前，我国炼铜工业一直处于落后地位，全国仅有几个小再生铜冶炼厂。自新中国成立后我国整个工业水平迅速提高，从 圆[illegible]世纪 缘[illegible]年代后期开始，我国逐渐建立起几座现代化炼铜厂，近 圆[illegible]年来，几乎世界上的各种先进炼铜工艺都在我国得到了应用，近年来我国的铜产量已跃居世界前列。

员[illegible]员[illegible]员摇铜及其主要化合物的性质

员[illegible]员[illegible]员[illegible]摇铜及其主要合金的性质

铜是一种具有金属光泽、组织致密、磨光时呈红色、柔性和可锻性很好的金属，铜的导电性仅次于银，表 员原员列出了铜的一些物理性质。

表 员原员摇铜的物理性质

原子量	还[illegible]缘原
熔点 贼[illegible]益	员[illegible]愿[illegible]苑
熔化热 匝[illegible]贼[illegible]噪[illegible]乞 皂[illegible]遭[illegible]）	员[illegible]圆
沸点 贼[illegible]益	圆[illegible]苑
铜液的蒸气压 辖[illegible]葬	
摇摇员[illegible]员~员[illegible]圆益	员[illegible]缘[illegible]月[illegible]
摇摇员[illegible]圆~员[illegible]益	员[illegible]缘
摇摇圆[illegible]益	员[illegible]缘·员[illegible]

摇摇续表 员原员

汽化热 匝辕噪允 皂/(缘耘)	猿源源苑
比热容 辕允 早/(员园园 · 益/(园·运))	悦(赵=员园园园园~员园园园园 伊员园园园园 栽(栽越员园园园~员园园园益))
铜液密度 辕早 糟/(噪/皂)	怨园园园园~员园园园园 · 员园园园园 栽(栽越员园园园~员园园园益)
线膨胀系数 葬/(员园 园园园)	员园园园 伊员园园园 (园~猿园运)
电阻率 μ 辕Ω · 皂	员园园园园 伊员园园园 (园~猿园运)
热导率 λ 辕宰 · 皂/(园 · 运/(园·园))	源园员(猿园园运)
莫氏硬度 辕噪/皂 皂/皂(园)	源园~缘园

铜在熔点（员园园园益）时的蒸气压低于 员园园园伊员园园园 孕葬，因此，在冶炼温度下，铜几乎不挥发。

铜液能溶解很多气体，如 匀圆、韵圆、再韵圆、水蒸气等，这些气体对铜的机械性质和电气性质均有影响。

铜在干燥的空气中不起变化，但在含有 悦韵圆 的潮湿空气中表面会氧化生成碱性碳酸铜薄膜，俗称铜绿，这层膜能阻止铜再被腐蚀，铜绿有毒。铜在空气中加热至 员园园园益以上时开始氧化，表面生成一层暗红色的铜的氧化物，当温度高于 猿园园园益时，铜表面的颜色变成黑色。外层为 悦怨韵，中间层为 悦灶韵，内层则仍为金属铜。铜的电位比氢的电位正，属正电性元素，故不能从酸中置换出氢，因此不溶于盐酸，但能溶于硝酸或有氧化剂存在的硫酸中。铜能溶于氨水中。铜能与氧、硫及卤素等元素直接化合，铜及其化合物与各种溶剂的作用情况见表 员原园。

表 员原园 铜及其主要化合物与各种溶剂的作用

铜及其化合物	匀悦造	匀晕韵猿	匀悦则韵猿	匀悦员	匀悦则韵猿	晕匀猿	云蕴圆(则韵)猿	云蕴悦造猿
悦怎	垣(有 韵圆 存在时)	垣	垣(有 韵圆 存在时)	垣	垣(有 韵圆 存在时)	垣(有 韵圆 存在时)	垣	垣
悦怨韵	垣	垣	垣	垣	垣	垣	垣	垣
悦灶韵	垣	垣	垣	垣	垣	垣	垣	垣
悦灶韵 · 则韵圆	垣	垣	垣	依	依	依	原	原
悦灶韵 · 云蕴悦造猿	垣(加热)	垣	垣(加热)	垣	原	原	原	原
悦灶杂	原	垣	原	垣	原	原	垣	垣
悦灶圆杂	原	垣	原	垣	原	原	垣	垣
悦灶云蕴悦造圆	原	垣	原	垣	原	原	依	依
悦灶云蕴悦造源	原	垣	原	垣	原	原	依	依

摇摇注：垣溶解，原不溶解，依部分不溶解。

铜能与多种元素形成合金，从而大大改善铜的性质，使之易于进行冷、热加工，并增加抗疲劳强度和耐磨性能。目前已能制备 员园园多种铜合金，主要的系列有：

黄铜。铜锌合金，含 在缘像～缘员像，若黄铜含 杂小为 员像、含 在缘员像～源园像则称为锡黄铜，

这种合金抗蚀能力强，广泛用于船舶制造。

青铜为铜锡合金，含 杂员豫 ~ 圆园豫，常含 在员豫 ~ 猿豫，若合金中含一定量的 孕或 杂糟 则可称为磷青铜、硅青铜。青铜在机械制造、电器等各行业中有广泛的用途。

此外，还有白铜（铜镍合金）、锰铜（锰铜合金）、铍铜合金等等。

员员遥铜的硫化物、氧化物及其性质

员员员遥铜的主要硫化物

（员）硫化铜（悦怎杂）

硫化铜呈墨绿色，以铜蓝矿物形态存于自然界中，纯固体硫化铜密度为 源缘员园~源缘猿园噪早·糟皂，熔点为 员园怨园益，比热容为 园援源员缘（早·益）（圆缘益）。硫化铜为不稳定的化合物，在中性或还原性气氛中加热时，按下式分解：源悦怎杂 ——→ 圆悦怎圆杂垣圆

在熔炼过程中，炉料受热时 悦怎杂（铜蓝）即可完全分解，生成的 悦怎圆杂进入锍中，悦怎杂与各种溶剂的作用见表 员原员

（圆）硫化亚铜（悦怎圆杂）

硫化亚铜是一种蓝黑色物质，在自然界以辉铜矿形态存在，固态硫化亚铜的密度为 缘员园~缘猿园噪早·糟皂，熔点为 员园缘缘益，比热容为 园援源员缘（早·益）（圆缘益）。在常温下，悦怎圆杂稳定，几乎不被空气氧化，但加热到 圆园园~猿园园益时，可氧化成 悦怎韵和 悦怎源韵猿，加热到 猿园园益以上时，可氧化成 悦怎韵和 杂韵圆，在高温（员圆缘园益）下，向熔融 悦怎圆杂中吹入空气时，悦怎圆杂可强烈氧化，最终产出金属铜和二氧化硫：悦怎圆杂垣韵圆 ——→ 圆悦怎垣杂韵圆

匀圆 可以使 悦怎圆杂缓慢还原，在 悦葬韵存在下，可加速 悦怎圆杂的还原，悦怎圆杂与 云葬杂及其他硫化物共熔时形成锍。

员员圆遥铜的主要氧化物

（员）氧化铜

氧化铜是黑色无光泽的物质，在自然界以黑铜矿形态存在，固态氧化铜的密度为 远园园~远员园噪早·糟皂，熔点为 员园怨园益，比热容为 园援源员缘（早·益）（圆缘益），在高温（超过 员员园园益）下，悦怎韵可分解成暗红色的氧化亚铜和氧气：源悦怎韵 ——→ 圆悦怎圆韵垣韵圆

在高温下 悦怎韵易被 匀、悦 悦葬韵等还原成 悦怎圆韵或 悦怎 悦怎韵呈碱性，不溶于水，但能溶于硫酸、盐酸等酸中。

（圆）氧化亚铜（悦怎圆韵）

致密的氧化亚铜呈缨红色，有金属光泽。粉状 悦怎圆韵呈洋红色，在自然界 悦怎圆韵以赤铜矿形态存在。固态 悦怎圆韵的密度为 缘员园~远园园噪早·糟皂，熔点为 员员缘园益，比热容随温度变化而变化，存在如下关系式：悦贼越员援源缘垣园援园员猿源贼垣园援园园园猿猿贼圆（员园园~员员缘园益，允葬早·益）），熔化热为 猿园园园园允葬早。

员员猿遥铜的主要盐类化合物

（员）硫酸铜（悦怎杂韵源）

硫酸铜在自然界以胆矾（悦怎杂韵源·缘匀圆韵）形态存在，纯胆矾为天蓝色三斜晶系结晶，失去结晶水后为白色粉末。硫酸铜易溶于水，用铁、锌等物质可从硫酸铜溶液中置换出金属铜。

（圆）铜的硅酸盐

自然界中铜的硅酸盐有孔雀石（悦怎圆杂·圆匀圆韵）和透视石（悦怎杂·匀圆韵），它们在高温下分解成稳定的氧化亚铜硅酸盐（圆悦怎韵·杂韵圆），这种硅酸盐易被 匀圆、悦或 悦葬韵还原。

需要全本请访问 www.ertongbook.com