



"十三五"国家重点图书出版规划项目

重有色金属冶金

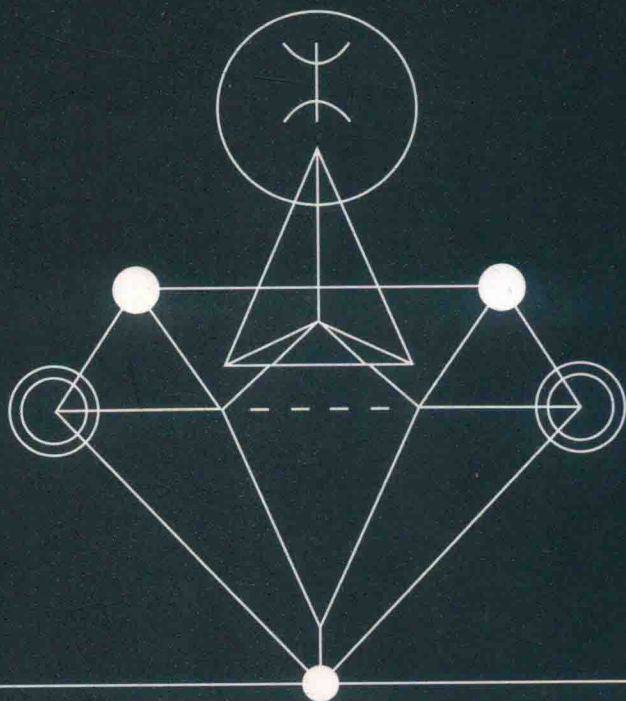
生产技术与管埋手册 铜卷

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写

唐谟堂 总主编

尉克俭 副总主编

吴 军 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

"十三五"国家重点图书出版规划项目

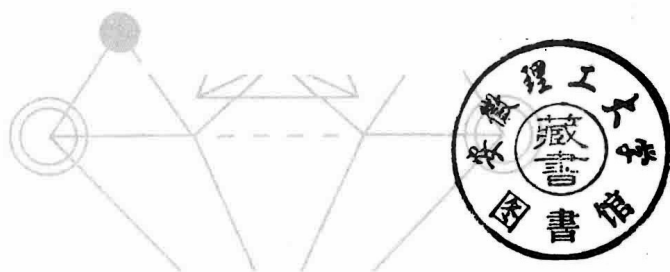
重有色金属冶金 生产技术与管理手册

铜 卷

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写

唐谟堂 总主编 尉克俭 副总主编 吴 军 主编

Handbook for Metallurgical Production Technology
and Management of Heavy Nonferrous Metals
Copper Volume



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

·长沙·

图书在版编目 (C I P) 数据

重有色金属冶金生产技术与管理手册 铜卷 / 唐谟堂
总主编. --长沙: 中南大学出版社, 2019. 3
ISBN 978 -7 -5487 -3549 -6

I. ①重… II. ①唐… III. ①铜—重有色金属—有色
金属冶金—生产技术—手册 ②铜—重有色金属—有色金属
冶金—生产管理—手册 IV. ①TF81 -62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 018669 号

重有色金属冶金生产技术与管理手册
ZHONGYOUSEJINSHU YEJIN SHENGCHAN JISHU YU GUANLI SHOUCHE
铜 卷
TONG JUAN
唐谟堂 总主编

☐责任编辑 史海燕
☐责任印制 易建国
☐出版发行 中南大学出版社
社址: 长沙市麓山南路 邮编: 410083
发行科电话: 0731 - 88876770 传真: 0731 - 88710482
☐印 装 湖南省众鑫印务有限公司

☐开 本 710 × 1000 1/16 ☐印张 20.25 ☐字数 394 千字
☐版 次 2019 年 3 月第 1 版 ☐2019 年 3 月第 1 次印刷
☐书 号 ISBN 978 -7 -5487 -3549 -6
☐定 价 60.00 元

重有色金属冶金生产技术与管理手册

铜 卷

编委会



主 任	陆志方		
副 主 任	唐谟堂	尉克俭	龙子平
	张 麟	崔志祥	史谊峰
委 员	李维群	吴 军	刘传转
	李啸东	周松林	温建康
	都立珍	陈 莉	金哲男
秘 书 长	陈 莉		
总 主 编	唐谟堂		
副总主编	尉克俭		
主 编	吴 军		

内容简介



《重有色金属冶金生产技术与管理手册》总结了我国 60 多年来,特别是近 30 多年来在重有色金属冶金技术、单元过程(工序)生产实践与管理方面的经验和进步,及大量技术数据和实例。全书共六卷,按铜卷、镍钴卷、铅卷、锌卷、锡锑铋卷和综合利用及通用技术卷先后出版。

本手册与以前出版的手册或相关书籍有显著区别,其主要特点和创新是突出设备运行及维护,突出生产实践与操作,突出计量、检测和自动控制,突出单元生产过程(工序)管理。

铜卷共 6 章。第 1 章绪言,简要介绍了铜的性质、资源、生产方法及基本原理和应用;第 2 章火法冶炼原生铜,包括造锍熔炼、铜锍吹炼、炉渣处理及渣铜回收、粗铜火法精炼和电解精炼 5 个部分;第 3 章介绍先进湿法炼铜工艺在我国大规模的应用;第 4 章再生铜冶炼,介绍的引进卡尔多炉和自建的竖炉以及我国研发的 NGL 炉冶炼再生铜;第 5 章介绍铜生产安全及劳动卫生;第 6 章介绍铜冶炼环境治理与保护。本手册是一部大型工具书,可供冶金、检测与自动控制、企业管理专业人员参考,亦可作为上述专业职业院校的教材,更可供冶炼厂基层单位(车间、工段)生产人员学习借鉴。

序言

Preface

20 世纪 80 年代以来,我国重有色金属冶金行业发生了翻天覆地的变化,技术进步在行业发展过程中发挥了主要的引领与推动作用。一方面,通过原始创新和集成创新,另一方面,通过引进、消化和再创新,行业取得了一大批重大成果,工艺技术和核心装备都已经从引进走向出口,实现了从跟进到引领的重大转变,推动我国重有色金属冶金领域的主体工艺和技术达到世界先进水平。

底吹和侧吹富氧熔池熔炼就是自主原始创新的典型范例:底吹富氧熔池熔炼从无到有,从半工业试验研究到产业化应用,从铅精矿的氧化熔炼到液态氧化铅渣的还原熔炼,再扩展到铜、金精矿的造钼熔炼,铜钼吹炼和阳极泥处理,为重有色金属冶金工艺技术和进步开辟了新途径。侧吹富氧熔池熔炼从铜、镍精矿造钼熔炼和钼吹炼到铅的冶炼,其装备技术也不断发展,从白银炉到金峰炉乃至浸没燃烧侧吹炉等,使侧吹富氧熔池熔炼工艺的应用快速拓展,全面应用在老厂改造和新厂建设中,技术水平大为提升。

闪速熔炼和基夫赛特冶炼法等悬浮冶金工艺以及顶吹熔池熔炼工艺是引进、消化和再创新的典型范例:闪速熔炼产能大,广泛应用于铜、镍精矿的造钼熔炼和铜钼吹炼。基夫赛特冶炼法实现了铅精矿及铅物料的直接冶炼,原料适应性强,综合利用好。顶吹熔池熔炼工艺,无论是艾萨法还是澳斯麦特法,首先应用于铜精矿的造钼熔炼和锡精矿的还原熔炼,随后扩展到铅冶炼和镍精矿的造钼熔炼以及铜钼吹炼,实现了从引进、完善、拓展到创新突破的水平提升。

镍铁冶金工艺与技术,从无到有,从小高炉、小电炉冶炼低品位含镍生铁,发展到转底炉、回转窑等煤基直接还原生产高品位镍铁。从与国外的技术合作,发展到自主设计开发、深入开展 RKEF 工艺与技术研究,使之实现产业化应用,在节能、环保、大型化等方面均取得长足的进步。此外,在碳化冶金以及原料干燥等预处理技术等方面,也都取得可喜的进步。

湿法冶金的电解工艺与技术,从小板到大板,从人工作业到自动化生产线,从始极片到永久阴极,从低电流密度到高电流密度,技术水平不断提升。湿法冶金的堆浸和槽浸工艺也有较大技术进步;硫化锌精矿、硫化铜钴矿、复杂金矿、

高镍铈和红土矿的中高压浸出均实现规模化生产,使伴生资源得到综合回收和利用。从控制手段到工艺作业条件,无论是应用的广度还是技术的整体水平,均实现了质的飞跃。此外,在溶剂萃取、电解液净化等方面,也都取得骄人的成绩。

在二次资源处理工艺与技术方面,从倾动炉、顶吹旋转转炉的技术引进到侧吹浸没燃烧技术的自主创新,从高品位紫杂铜的处理到低品位复杂物料的综合回收、再到硫酸铅泥膏的高效回收,从与硫化矿搭配处理到原料细分、短流程利用,二次资源利用的整体技术水平得到显著提升。

在装备技术方面,技术进步的成果更是令人赞叹:到目前为止,我国几乎已经占有了世界上重有色金属冶金领域所有主要工艺技术的规模之最,各种工艺最大的主体装备多数集中在我国,并且是由我们自己设计制造的。

技术进步推动了全行业的健康发展,科技创新支撑了行业技术的不断进步。创新是我们进步与发展的源动力。我国重有色金属冶炼行业的技术进步充分证明了这一点。为总结我国重有色金属冶炼行业的技术进步成果,反映冶金生产单元过程生产实践和管理方面的技术进步和经验,中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会集聚了行业一线的专家、教授编写了《重有色金属冶金生产技术与管理手册》。与此前出版的同领域各种技术手册、专著不同,本手册侧重于生产实践与操作,包括各单元过程工艺技术指标、设备运行及维护、操作步骤及规程、常见事故及其处理,以及过程物流、能源、质量、成本测控与管理。作为一种新的探索和尝试,希望能够给读者提供更多的资讯和帮助。

此书面世,有赖于全国各重有色金属冶炼企业给予的极大支持,得益于参编人员付出的艰辛努力,我代表手册组织单位向以总主编及各卷主编为代表的所有为此付出心血、提供支持的各位专家、教授、领导、同仁致以衷心的感谢!相信手册的出版发行,必将为推动行业技术与管理水平的持续提升、促进我国重有色金属冶金行业的创新发展发挥重要作用。

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会主任委员
中国有色工程有限公司党委书记、执行董事、总经理
中国恩菲工程技术有限公司董事长

陆志方

前言

Foreword

近 30 多年来,我国重有色金属冶金技术取得长足进步,20 世纪 80 年代初,引进的闪速熔炼先进炼铜工艺获得成功和推广,之后我国自行研发的底吹、侧吹富氧熔池熔炼工艺和引进的顶吹工艺成功应用,并在铜、铅、锡、镍冶金中快速推广。针对这种情况,出版了一些介绍重有色金属冶金技术的书籍,但尚未介绍冶金生产单元过程(工序)的技术参数执行、过程控制和管理方面的进步和经验,而这些对冶金生产是非常重要的,各冶炼厂把它作为内部资料保密,从不公开发表,很少彼此交流。

在上述背景下,中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会(简称重冶学委会或学委会)决定组织编写《重有色金属冶金生产技术与管理手册》,于 2010 年 3 月在昆明召开的“低碳经济条件下重有色金属冶金技术发展研讨会”期间召集重有色金属冶金行业的参会人员对该手册的编写事宜进行专门讨论,确定了中南大学唐谟堂教授任总主编,受学委会委托,尉克俭秘书长号召各单位积极参编,提出可撰稿的内容范围,推荐编写人员和编委。2011 年 11 月在深圳召开的“全国重有色金属冶炼资源综合回收利用与清洁生产技术经验交流会”期间,学委会又组织参会人员进行了第二次专门讨论,确定了入编原则,研讨了总主编提出的编写提纲,认定突出单元生产过程(工序)的生产实践与管理是手册的特色;根据各单位的推荐和对撰稿范围的要求,初步确定了铜、镍钴及铅、锌各卷的主编和编写分工。

在重冶学委会的组织下,各卷分别召开两次以上的编写工作会议,确定编写细纲和部分撰稿任务调整。初稿完成后交各卷主编汇总和审改,审改稿纸质版交总主编进行审核修改,然后由各卷主编派出合适人员在总主编指导下按纸质版审改稿要求修改电子版,并进行统稿,最后由总主编和副总主编对电子版修改稿进行审核。

重冶学委会副秘书长陈莉女士为手册编写作了大量的组织联络工作,中南大学出版社给予大力支持,手册已入选“十三五国家重点图书出版规划项目”。

《重有色金属冶金生产技术与管理手册》总结了我国 60 多年来,特别是近 30

多年来在重有色金属冶金技术、单元过程(工序)生产实践与管理方面的经验和进步。本手册突出设备运行及维护,突出生产实践与操作,强调计量、检测和自动控制,突出单元生产过程(工序)管理,是一部大型工具书,可供冶金、检测与自动控制、企业管理专业人员参考,亦可作为上述专业职业院校的教材,更可供冶炼厂基层单位(车间、工段)生产人员学习借鉴。

参与和完成铜卷编写工作的单位有:江西铜业有限公司、中南大学、中国恩菲工程技术有限公司、大冶有色金属有限公司、云南铜业有限公司、东北大学、东营方圆有色金属有限公司、阳谷祥光铜业有限公司、烟台鹏辉铜业有限公司、北京有色金属研究总院、紫金矿业集团股份有限公司、北京矿冶研究总院、中国瑞林工程技术有限公司。

铜卷各章节的撰稿者如下:第1章:金哲男。第2章2.1节及2.2.1小节:吴军、余齐汉、徐东祥、夏中治、桂云辉、刘飞;2.2.2小节:李啸东、范巍、刘文灿、尤开云;2.2.3小节:龙春河、李杰、卢德珍、孙健康、张东琳、陈俊华、郑军涛、杜武钊、魏传兵,初审人为李维群、申殿邦、王智、边瑞民;2.2.4小节:都立珍、尤廷晏、邵振华;2.3.1小节及2.3.2小节:吴长林、刘光锁、吕重安、王成国、胡广生;2.3.3小节:周松林、葛哲令、李增来;2.4.1小节及2.4.2小节:骆祎,王成国,姜志雄,袁双喜,赵祥林,李立;2.4.3小节:廖广东,苏晓亮,张亨峰,李儒仁,张建国,袁欢;2.5节:吴长林、刘光锁;2.6节:吴晓光、曹文、贾春江、谢晓春、侯娟奇。第3章:温建康、陈勃伟、邹来昌、伍赠玲、余斌、蒋训雄。第4章4.1节及4.2节:吴军、余齐汉、李庆松、章茂福;4.3节:鲁落成、侯健、袁辅平;4.4节:刘庆华。第5章:李清源。第6章:田凯、贺武、杨月。另外,刘飞完成铜卷电子版的修改。

铜卷于2013年12月定稿,后因其他稿件在组织过程中出现了一些问题,致使编纂工作中途停顿,所幸在各方不懈努力下2017年年初全面重启。为此,学委会特向总主编和撰稿单位和个人致歉。由于编者学识水平有限,手册中错误在所难免,敬请各位同行和读者批评指正,以便在本手册再版时修正。

目录

Contents

第1章 绪 言	1
1.1 铜及其化合物的性质	2
1.1.1 铜的物理性质	2
1.1.2 铜的化学性质	2
1.1.3 铜的合金	3
1.1.4 铜的主要化合物及其性质	3
1.2 铜资源	5
1.2.1 铜矿物资源	5
1.2.2 再生铜资源	7
1.3 铜的生产工艺及基本原理	7
1.3.1 铜的生产方法简介	7
1.3.2 基本原理	12
1.4 铜的应用	25
参考文献	26
第2章 火法冶炼原生铜	27
2.1 概述	27
2.1.1 传统火法炼铜方法	28
2.1.2 富氧强化造钼熔炼	29
2.1.3 吹炼和火法精炼	31
2.1.4 电解精炼	32
2.2 造钼熔炼	32
2.2.1 闪速熔炼	32
2.2.2 顶吹熔池熔炼	56
2.2.3 底吹炉熔炼	82

- 2.2.4 侧吹炉熔炼..... 97
- 2.3 铜铕吹炼 114
 - 2.3.1 概述 114
 - 2.3.2 转炉吹炼 115
 - 2.3.3 闪速吹炼 136
- 2.4 炉渣处理及渣铜回收 151
 - 2.4.1 概述 151
 - 2.4.2 炉渣电炉贫化 151
 - 2.4.3 炉渣选矿 166
- 2.5 粗铜火法精炼 178
 - 2.5.1 概述 178
 - 2.5.2 火法精炼设备运行及维护 179
 - 2.5.3 生产实践与操作 183
 - 2.5.4 计量、检测与自动控制 188
 - 2.5.5 技术经济指标控制与生产管理 189
- 2.6 电解精炼 196
 - 2.6.1 概述 196
 - 2.6.2 电解精炼设备运行及维护 196
 - 2.6.3 生产实践与操作 202
 - 2.6.4 计量、检测与自动控制 207
 - 2.6.5 经济技术指标控制与生产管理 209
- 参考文献..... 214

第3章 湿法炼铜..... 215

- 3.1 概述 215
- 3.2 堆浸 215
 - 3.2.1 浸出系统运行及维护 215
 - 3.2.2 生产实践与操作 217
 - 3.2.3 计量、检测与自动控制 219
 - 3.2.4 技术经济指标控制与生产管理 220
- 3.3 萃取 221
 - 3.3.1 萃取系统运行及维护 221
 - 3.3.2 生产实践与操作 222
 - 3.3.3 计量、检测与自动控制 225
 - 3.3.4 技术经济指标控制与生产管理 225

3.4 电积	226
3.4.1 概述	226
3.4.2 电解设备运行及维护	227
3.4.3 生产实践与操作	228
3.4.4 计量、检测与自动控制	230
3.4.5 技术经济指标控制与生产管理	230
参考文献	231
第4章 再生铜冶炼	233
4.1 概述	233
4.1.1 废杂铜冶炼的特点	233
4.1.2 处理废杂铜的工艺流程	234
4.1.3 我国废杂铜处理的现状	235
4.1.4 我国废杂铜冶炼技术和设备的进步	236
4.2 卡尔多炉冶炼再生铜	238
4.2.1 概述	238
4.2.2 炼铜设备的运行与维护	239
4.2.3 生产实践与操作	242
4.2.4 计量、检测与自动控制	245
4.2.5 技术经济指标控制与生产管理	246
4.3 竖炉冶炼再生铜	249
4.3.1 概述	249
4.3.2 炼铜设备的运行及维护	250
4.3.3 生产实践与操作	251
4.3.4 计量、检测与自动控制	252
4.3.5 技术经济指标控制与生产管理	253
4.4 NGL 炉熔炼再生铜	255
4.4.1 概述	255
4.4.2 NGL 炉的运行及维护	257
4.4.3 生产实践与操作	264
4.4.4 计量、检测与自动控制	280
4.4.5 技术经济指标控制与生产管理	283
参考文献	285

第5章 铜生产安全及劳动卫生	286
5.1 概述	286
5.2 生产安全	286
5.2.1 建设项目“三同时”的要求	286
5.2.2 建(构)筑物、工艺和设备的安全条件	287
5.2.3 作业人员的相关要求	289
5.2.4 作业环境的要求	290
5.2.5 安全管理的要求	290
5.3 劳动卫生	293
5.3.1 职业卫生防护设施“三同时”	293
5.3.2 职业卫生防护设施设备的要求	293
5.3.3 职业卫生管理	294
参考文献	295
第6章 铜冶炼环境治理与保护	296
6.1 概述	296
6.2 铜冶炼污染源	299
6.2.1 废气的产生	299
6.2.2 废水的产生	300
6.2.3 废渣的产生	300
6.2.4 噪声的产生	302
6.3 环境污染的防治	302
6.3.1 废气治理	303
6.3.2 废水治理	306
6.3.3 废渣治理	308
6.3.4 噪声治理技术	309
参考文献	310

第1章 绪言

铜是人类最早发现和应用的金属之一,至目前为止,在伊朗西部发现的九千多年前的铜针和铜锥是人类最早使用铜的见证。在土耳其南部发现的八千多年前的含铜铁硅酸盐炉渣和在以色列发现的六千多年前的碗式炉及其周围的属于铁橄榄石型的炉渣,均说明氧化铜矿还原法炼铜的久远历史。夏、商和周朝时期出土的文物说明,我国当时的炼铜技术处于青铜器时代世界最高水平,比如在甘肃马家窑文化遗址发现的五千多年前的青铜刀,在湖北大冶铜绿山古矿遗址发现的大群炼铜竖炉距今也有 2500 ~ 2700 年。胆铜法炼铜最早记载于我国西汉时期的《淮南万毕术》中,于唐朝末年开始应用。北宋时期张潜著的《浸铜要略》是世界上最早的湿法炼铜专著。反射炉炼铜、电解精炼和转炉吹炼分别于 1698 年、1865 年和 1880 年在欧洲应用,这不仅大大缩短了炼铜周期,还得到了高品质的金属铜,也是近代炼铜工艺的重大转折点。19 世纪末到 20 世纪 40 年代,鼓风炉炼铜和反射炉炼铜成为主要的传统工艺,而从 20 世纪 50 年代开始,相继出现了闪速熔炼等强化炼铜工艺,并逐步取代了传统工艺。从 20 世纪末至今,在熔炼、吹炼和精炼工艺上又有新的改进,特别是在节能减排、设备大型化、设备智能化等方面,取得了很大的进步。同时在湿法炼铜工艺技术的改进和复杂铜资源处理及铜二次资源综合利用等方面,也有了重大进展。

我国 2006 年开始成为了世界第一大铜消费国,2007 年成为世界第一大铜生产国。然而,我国铜资源严重不足,目前 65% 以上的铜精矿依赖进口,而且铜矿资源大多为难处理的复杂矿和低品位矿资源。因此,为了我国铜冶金工业的健康发展,不仅要注重节能、环保、低成本和高生产效率,还要下大力气进行难处理的复杂矿和低品位矿处理工艺的开发和再生铜生产等资源二次利用方面的研究和产业化,以实现铜工业的可持续发展。

1.1 铜及其化合物的性质

1.1.1 铜的物理性质

铜是一种具有金属光泽的棕红色金属，具有高的导电性、导热性和良好的延展性。其导电性和导热性都仅次于银。表 1-1 为铜的主要物理性质。

表 1-1 铜的主要物理性质

熔点 $t/^\circ\text{C}$		1083.6
熔化热 $Q/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$		13.0
沸点 $t/^\circ\text{C}$		2567
铜液蒸气压/Pa	1414 ~ 1415 K	1.3×10^{-1}
	1545 ~ 1546 K	1.3
	2480 K	1.3×10^4
汽化热 $Q/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$		306.7
比热容 $/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$		$C_p = 0.3895 + 9100 \times 10^{-5} t (t = 100 \sim 600^\circ\text{C})$
铜液密度 $/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$		$9.351 - 0.996 \times 10^{-3} T (T = 1523 \sim 1923 \text{ K})$
线膨胀系数 $\alpha_t/^\circ\text{K}^{-1}$		$16.5 \times 10^{-6} (293\text{K})$
电阻率 $\mu/(\Omega \cdot \text{m})$		$1.673 \times 10^{-8} (293\text{K})$
热导率 $\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$		401 (300K)
莫氏硬度 $/(\text{kg} \cdot \text{mm}^{-2})$		42 ~ 50

铜在元素周期表中属于第四周期、第一副族元素，原子序数为 29，相对原子质量为 63.57，原子半径为 1.275 Å。铜的最外电子层只有一个电子，而且在 4s 亚层上。由于 3d 和 4s 的能级相近，也很容易失去 3d 上的一个电子，因此铜的氧化态有 +1 价和 +2 价两种价态。

如表 1-1 所示，1545K 时铜液的蒸气压仅为 1.3 Pa，因此在冶炼温度下，铜几乎不挥发。铜液能溶解一些气体，如 H₂、O₂、SO₂、CO₂、CO 和水蒸气等。这些气体的溶解不仅包括物理溶解，还包括部分与铜及杂质金属的化学反应。当铜液凝固时，部分气体还会从铜中逸出，造成铜铸件产生多孔结构，还会给铜的机械性能和电气性能带来影响。

1.1.2 铜的化学性质

铜在常温下的干燥空气中比较稳定，但加热时易生成黑色氧化铜(CuO)，在含有

CO₂的潮湿空气中,铜的表面会逐渐形成有毒的碱式碳酸铜薄膜[CuCO₃·Cu(OH)₂],俗称铜绿。

铜的电位比氢的电位正,属于正电性元素,故不能溶解于不含有氧化剂的盐酸和硫酸,但能溶于硝酸或含有氧化剂的硫酸或盐酸中。铜在高温下不与氢、氮和碳反应,但常温下就能和卤素反应。铜与H₂S接触时,表面会生成黑色的铜硫化物薄膜。铜能与氧、硫和卤素直接化合,易溶于Fe₂(SO₄)₃溶液和FeCl₃溶液中。

1.1.3 铜的合金

铜能与多种元素形成合金,从而改善了铜的性质,使之易于进行冷、热加工,并增加了抗磨损、抗疲劳强度。目前能够制备出1600多种铜合金,主要有黄铜系列、青铜系列以及白铜、锰铜、铍铜和磁性合金系列等。

1.1.4 铜的主要化合物及其性质

1. 硫化铜(CuS)

CuS呈墨绿色或棕色,在自然界中以铜蓝矿物形态存在。固体纯CuS的密度为4.68 g/cm³,熔点为1110℃。CuS为不稳定化合物,在中性或还原性气氛中加热时容易分解:



在铜熔炼过程中,炉料中的CuS在高温下可完全分解,生成的Cu₂S进入铜硫中,生成的S₂最终被氧化成SO₂进入炉气。

2. 硫化亚铜(Cu₂S)

Cu₂S呈蓝黑色,在自然界中以辉铜矿形态存在,固体纯Cu₂S的密度为5.785 g/cm³,熔点为1130℃。Cu₂S在常温下稳定,但加热到200~300℃时,可氧化成CuO和CuSO₄;加热到330℃以上时,氧化成Cu₂O;在1150℃高温下,吹入空气,Cu₂S强烈氧化,并会生成金属铜,放出SO₂,其反应式如下:



在高温及CaO存在的条件下,H₂、CO和C都可使Cu₂S还原成金属铜。

常温下Cu₂S可溶于稀硝酸,有氧化剂如硫酸铁(Ⅲ)存在时,可溶于无机酸,也可溶于Fe₂(SO₄)₃和FeCl₃溶液。在空气中,Cu₂S部分溶于氨水生成氨配合物。Cu₂S还溶于氰化钾或氰化钠溶液中。Cu₂S与浓盐酸反应时,逐渐放出H₂S。

3. 氧化铜(CuO)

CuO呈黑色无光泽,在自然界中以黑铜矿的形态存在,固体CuO的密度为6.30~6.48 g/cm³,熔点为1447℃。CuO为不稳定化合物,加热时按下式分解:



CuO 在高温下易被 H_2 、 C 、 CO 及 C_xH_y 等还原成氧化亚铜或金属铜。 CuO 不溶于水, 但能溶于硫酸、盐酸中, 还能溶于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 FeCl_3 、 NH_4OH 和 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 等溶液中。

4. 氧化亚铜(Cu_2O)

Cu_2O 在自然界中以赤铜矿的形态存在, 组织致密的 Cu_2O 具有金属光泽, 呈樱红色, 粉状为洋红色。人工合成的 Cu_2O , 根据制备方法不同, 可能为黄色、橙色、红色或暗褐色。

固体 Cu_2O 的密度为 $5.71 \sim 6.10 \text{ g/cm}^3$, 熔点为 1230°C 。 Cu_2O 在高温下稳定。

Cu_2O 易被 C 、 CO 、 H_2 及 C_xH_y 等还原成金属, 亦可被 Zn 、 Fe 等比铜电极电位更低的金属还原。 Cu_2O 不溶于水, 可溶于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 FeCl_3 等含高价铁离子的溶液中, 这一性质是氧化铜矿湿法冶金的基础。 Cu_2O 还可与浓氨水反应生成无色的二氨合铜(Ⅰ)配离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$, 遇空气即氧化成深蓝色的四氨合铜(Ⅱ)配离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 。 Cu_2O 溶于稀盐酸或稀硫酸时发生歧化反应, 一半量以 Cu^{2+} 进入溶液, 剩余量成为不溶解的单质铜。

高温下, Cu_2O 易与 FeS 反应, 其反应式如下:



Cu_2O 在高温下还可与 Cu_2S 反应:



这一反应是铜钼吹炼成粗铜的基本反应。

5. 氯化铜(CuCl_2)和氯化亚铜(CuCl 或 Cu_2Cl_2)

CuCl_2 无天然矿物, 人造无水 CuCl_2 为棕黄色粉末, 熔点为 498°C , 易溶于水。 CuCl_2 很不稳定, 真空加热至 340°C 即分解, 生成白色的氯化亚铜粉末:



Cu_2Cl_2 是易挥发的化合物, 390°C 时就开始显著挥发, 这一特点在氯化冶金中得到应用。 Cu_2Cl_2 几乎不溶于水, 但溶于盐酸和金属氯化物溶液中。 Cu_2Cl_2 的食盐溶液可使 Pb 、 Zn 、 Cd 、 Fe 、 Co 、 Bi 和 Sn 等金属硫化物分解, 形成相应的金属氯化物和 Cu_2S 。

6. 硫酸铜(CuSO_4)

CuSO_4 在自然界中以胆矾($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)的形态存在, 纯胆矾为天蓝色结晶, 失去结晶水后为白色粉末, CuSO_4 加热时按下式分解:

