

高等学校教学用书

重 金 属 冶 金 学

上 册

中南矿冶学院等编

库存



中 国 工 业 出 版 社

如此浮化后
粘滞过程.....
34 13
36 9
37 例6

重金屬冶金學(上册) 勘誤表

頁	行	原	為	應	為	頁	行	原	為	應	為
3右	倒8	自熔性熔結之獲得		自熔性熔結之獲得		55	4	但又应力求不还原金屬		但又应力求不还原金屬	
9	倒2	純銅的比重.....為8.89%		純銅的比重.....為8.89,		58	倒8	硫化物及石炭的溶解反應		硫化物及石炭石的溶解反應	
15	1可得Cu(OH) ₂ 或式硫酸銅	可得Cu(OH) ₂ 或式硫酸銅		60	12	爐子向風區較大的收縮		爐子向風口區較大的收縮	
16	2	天然銅.....天然銅礦物		天然銅.....天然銅礦物		60	倒8	例如穩定的碳酸鈣的溶解		例如穩定的碳酸鈣的溶解	
19	倒5	但在我們國.....		但在我們國.....		61	16	低溫下主要是進行第二個反應,		低溫下主要是進行第二個反應,	
20	5	以前硫化銅礦		以前硫化銅礦				而當溫度升高時, 主要是進行		而當溫度升高時, 主要是進行	
20	11	或者是焙煉富硫化銅礦		或者是焙煉富硫化銅礦				第二個反應		生成CS ₂ 的反應	
20	18	但本法對矿石		但此法對矿石				上部要有烟道管		上部要有烟道管	
20	25	所得銅精礦		就不得應用自然焙煉		66	4			鼓風爐作業的故障及其防止方法	
20	28	就不能應用自然焙煉		就不能應用自然焙煉		73	倒12			一段的最后, 遺漏一小段: 防止	
20	倒5	由炉焙煉		由炉焙煉						炉結生成約的方法是: 正常卸料裝	
24	3	正確配合炉料精細混合.....處理		正確配合与炉料精細混合						料, 減少粉料, 适当降低操作料	
27	18	为燒結時	處理为燒結時						柱, 集中焦区, 发现炉結尽早處	
30	16	硫酸盐与硫化物		硫酸盐与硫化物						理。處理方法一般是停止加料,	
31	14	2CuSO ₄ +Cu ₂ S \rightleftharpoons Cu ₂ O+3SO ₂		2CuSO ₄ +Cu ₂ S \rightleftharpoons Cu ₂ O+3SO ₂						人工打掉或加返料焦炭使之熔	
		存在硫化銅精礦中的砷和銻的化合物		存在硫化銅礦中砷和銻的化合物						化。我國生產實踐表明: 不停	
34	2	溫度及質交換將引起流體的粘度,		溫度及質交換將影响流體的粘度、						掉, 效果較好。	
34	16	這面因流速大		這是因为流速大		95	倒7	水銅顆粒		冰鐵顆粒	
36	9	如此淨化后		如此淨化后		111	倒2	其中75%Ca		其中75%Cu	
37	倒6	焙煉过程.....容易加以調節		焙煉过程.....来加以調節		116	倒13	S 总 S 溶解 - S 氧化		S 总 = S 溶解 - S 氧化	
38	7	4FeS ₂ +7O ₂ =Fe ₂ (SO ₄) ₃ +SO ₂		2FeS ₂ +7O ₂ =Fe ₂ (SO ₄) ₃ +SO ₂		120	12	根据表40		根据表31	
38	8	4FeS ₂ +11O ₂ =2Fe ₂ O ₃ +3SO ₂		4FeS ₂ +11O ₂ =2Fe ₂ O ₃ +3SO ₂		124	倒4	煤粉发热量等于9千卡/公斤		煤粉发热量等于7129千卡/公斤	
43	10	消耗于炉料点火燃料的每吨炉		消耗于炉料点火燃料的每吨炉		128	2	开始熔化和.....最初形成冰銅和		迅速熔化和.....从而形成冰	
		料2—4公斤		料2—4公斤				炉渣		銅和炉渣	
43	倒3	还必须从研究Cu-Fe-S三元系		还必须研究Cu-Fe-S三元系(圖		135	倒16	送入悬臂焙燒整炉		送入悬臂焙燒整炉	
		(圖17)		17)。		150	5	轉動时炉身表面易于滑動		轉動时炉身表面易于滑動	
52	5	精矿或煉砂		精矿或煉砂							

目 录

第一篇 銅 冶 金

緒 論	7	2. 冰銅的工业成分	45
§ 1 銅在国民經济中的作用	7	3. 冰銅的重要德质	46
§ 2 世界銅生产的一些历史資料	7	4. 冰銅的品位	46
§ 3 我国銅工业的发展簡史及目前概况	9	§ 2 炉渣	47
第 一 章 銅及其化合物	9	1. 炉渣的組成及性质	47
§ 1 銅的物理化学性质	9	2. 銅在炉渣中的損失	51
1. 物理性质	9	3. 选择炉渣成分的原則	52
2. 化学性质	10	第 六 章 銅矿及銅精矿的鼓风炉	
§ 2 銅的重要化合物及其性质	11	熔 炼	53
第 二 章 銅的矿物、矿石、		§ 1 概述	53
矿床及精矿	15	§ 2 鼓风炉熔炼的理論基础	54
§ 1 概述	15	1. 还原熔炼	54
§ 2 銅的矿物	16	2. 还原硫化熔炼	55
§ 3 銅的矿石	16	3. 純自热熔炼	57
§ 4 銅的矿床	17	4. 改良自热熔炼	59
§ 5 銅精矿	18	5. 半自热熔炼	63
第 三 章 銅矿的处理方法及炼銅		§ 3 鼓风炉熔炼的实践	65
原料的貯存和制备	19	1. 鼓风炉的发展簡史	65
§ 1 銅矿的处理方法	19	2. 現代鼓风炉的构造及其主要尺寸	68
1. 火法炼銅	19	3. 鼓风炉正常作业的基本条件	68
2. 湿法冶銅	21	4. 鼓风炉作业的实践	72
§ 2 炼銅原料的貯存和制备	23	5. 鼓风炉熔炼的技术控制	74
第 四 章 硫化銅矿和精矿的焙燒	25	6. 鼓风炉熔炼的技术經济指标	74
§ 1 概述	25	7. 鼓风炉熔炼的产物	75
§ 2 焙燒过程的理論基础	26	§ 4 現有鼓风炉熔炼的优缺点及其发展方向	76
1. 焙燒的物理化学因素	26	§ 5 鼓风炉熔炼燒結块的配料計算和	
2. 氧化焙燒及硫酸化焙燒的条件	27	热平衡計算	78
3. 炉料組成物在焙燒过程中的行为	28	1. 精矿合理成分計算	78
§ 3 焙燒的实践	32	2. 冰銅成分及数量的确定	78
1. 銅矿及銅精矿焙燒方法的发展簡史	32	3. 自熔性燒結之获得——	
2. 沸騰焙燒	32	熔剂及返粉数量的确定	79
3. 氯化焙燒	38	4. 燒結块合理成分計算	82
4. 硫化銅精矿的燒結焙燒	40	5. 鼓风炉熔炼計算	83
第 五 章 銅冶金中的冰銅和炉渣	43	6. 鼓风炉熔炼空气量計算	84
§ 1 冰銅	43	7. 鼓风炉半自热熔炼热平衡——	
1. 冰銅的理論成分	43	焦率的确定	85
		8. 鼓风炉物料总平衡	85

9. 炉气成分计算	88
第七章 铜矿及铜精矿的反射炉熔炼	
熔炼	88
§ 1 概述	88
§ 2 反射炉熔炼的理论基础	90
1. 炉料的受热和熔化过程	90
2. 炉料各組分的物理化学变化过程	92
3. 炉渣和冰铜的形成和分离过程	94
§ 3 反射炉熔炼的实践	96
1. 反射炉熔炼的发展簡史	96
2. 現代化反射炉的构造及主要尺寸	96
3. 反射炉正常作业的基本条件	100
4. 反射炉熔炼作业的实践	104
5. 反射炉熔炼的技术控制	106
6. 反射炉熔炼的技术經濟指标	106
7. 反射炉熔炼的产物	108
§ 4 現有反射炉熔炼的优缺点及其发展方向	109
§ 5 反射炉熔炼的配料计算和热平衡计算	109
1. 矿石和精矿物相組成的计算	110
2. 焙砂的物相組成的计算	112
3. 配料计算和冰铜組成的计算	116
4. 燃料燃燒的计算	121
5. 反射炉熔炼未焙燒炉料的热平衡计算	124
第八章 铜矿及铜精矿的电炉熔炼及其它熔炼方式	127
§ 1 电炉熔炼	127
1. 概述	127
2. 电炉熔炼的理论基础	128
3. 电炉熔炼的实践	130
4. 电炉熔炼的物料平衡, 热平衡和电平衡	132
5. 电炉熔炼的生产率及技术經濟指标	134
6. 現有电炉熔炼的优缺点	134
§ 2 铜矿及铜精矿的悬浮熔炼	134
1. 概述	134
2. 預热空气悬浮熔炼	135
3. 富氧空气悬浮熔炼	136
§ 3 旋渦熔炼	137
第九章 冰铜的吹炼	138
§ 1 概述	138
§ 2 冰铜吹炼的理论基础	139
1. 冰铜吹炼时各种硫化物及氧化物的	

行为 139

2. 冰铜吹炼时的造渣过程	142
3. 吹炉的其他吹炼方式	143
§ 3 冰铜吹炼的实践	145
1. 冰铜吹炼的发展簡史	145
2. 現代吹炉的构造及其主要尺寸	146
3. 冰铜吹炼正常作业的基本条件	150
4. 冰铜吹炼作业的实践	151
5. 吹炼过程的技术控制	153
6. 冰铜吹炼的技术經濟指标	155
7. 冰铜吹炼的产物	156
§ 4 現有吹炼方法的优缺点及其发展方向	158
§ 5 冰铜吹炼过程的计算	159
1. 原始计算	159
2. 吹炼过程的物料平衡	161
3. 吹炉的热平衡	166

第十章 铜的火法精炼 172

§ 1 概述	172
1. 杂质对铜性质的影响	172
2. 铜火法精炼的目的及方法	172
§ 2 铜火法精炼的理论基础	173
1. 铜火法精炼中氧化过程的理論基础	173
2. 铜火法精炼插树过程的理論基础	177
3. 熔化阴极铜成铜钱錠的理論基础	178
§ 3 铜火法精炼的实践	179
1. 铜火法精炼的发展簡史	179
2. 現代铜火法精炼炉的构造及其主要尺寸	179
3. 铜火法精炼正常作业的基本条件	180
4. 铜火法精炼的作业实践	183
5. 再生铜的生产	185
6. 铜火法精炼的技术控制	187
7. 铜火法精炼的物料平衡及热平衡	187
8. 铜火法精炼的技术經濟指标	188
9. 铜火法精炼的产物	190
§ 4 現有铜火法精炼方法的优缺点及其发展方向	191

第十一章 铜的电解精炼 192

§ 1 概述	192
§ 2 铜电解精炼的理论基础	192
1. 铜电解时的电极反应	192
2. 铜电解精炼时阳极沉积物的构造	195

3. 铜电解时各种杂质的行为	195	§ 2 浸出	215
§ 3 铜电解精炼的实践	197	1. 工业溶剂的种类及其特性	215
1. 铜精炼电解槽的构造和尺寸	197	2. 浸出过程的物理化学因素	217
2. 阳极和阴极	198	3. 溶液的净化	219
3. 电解液及其成分、温度和循环流通	199	§ 3 沉积过程	220
4. 电解槽中的电位降和电流密度	203	1. 电解沉积法	220
5. 废电解液的处理	205	2. 置换沉淀法	227
6. 复联电解法和串联电解法的比较	207	3. 加热蒸发法	224
7. 铜电解精炼的物料平衡和技术经济		§ 4 水法冶铜的作业实例	225
指标	208	1. 硫酸铁溶液渗滤浸出法提铜实例	225
8. 阳极泥的处理	209	2. 硫酸搅拌浸出法提铜实例	227
§ 4 铜电解精炼的发展方向	210	3. 氨液渗滤浸出法提铜实例	228
§ 5 铜电解精炼计算	210	§ 5 水法冶铜的技术经济指标	229
第十二章 铜的水冶	213	§ 6 水法冶铜的发展方向	230
§ 1 概述	213	§ 7 铜水冶冶金计算	230

第二篇 镍 冶 金

第一章 绪论	232	§ 5 氧化亚镍的还原	250
§ 1 镍在国民经济中的作用	232	1. 熔炼得金属镍	250
§ 2 镍生产的简史及统计资料	232	2. 固体状态还原氧化亚镍	250
第二章 镍及其化合物	233	§ 6 氧化镍矿直接还原得镍铁	250
§ 1 镍的物理化学性质	233	1. 在高炉内还原熔炼得镍铁	250
§ 2 镍的主要化合物及其性质	234	2. 在电炉内熔炼得镍铁	251
第三章 镍的矿石	238	§ 7 氧化镍矿直接还原焙烧成镍铁坨块	251
§ 1 氧化矿石	238	§ 8 氧化镍矿的水法冶金	254
§ 2 硫化矿石	239	§ 9 氧化镍矿处理的新发展	254
§ 3 砷化矿石	240	第五章 从铜镍硫化矿中提镍	255
§ 4 硫化矿的选矿	240	§ 1 概述	255
第四章 从氧化镍矿中提镍	241	§ 2 从铜镍硫化矿熔炼得铜镍硫的冶金	
§ 1 氧化镍矿的处理	241	过程	256
§ 2 氧化镍矿的还原硫化熔炼	241	1. 铜镍硫化矿的鼓风炉熔炼	256
1. 熔炼前的炉料准备	241	2. 铜镍硫化矿及其精矿的反射炉熔炼	256
2. 熔炼的理论与实践	242	3. 铜镍硫化矿及其精矿的电炉熔炼	257
§ 3 镍硫的吹炼	247	§ 3 铜镍硫的吹炼	258
1. 镍硫吹炼过程的反应	247	§ 4 铜镍高硫的处理	259
2. 钴在吹炼时的行为	247	1. 分层熔炼法	259
3. 镍硫吹炼的实践	247	2. 优先溶解法	260
§ 4 镍高硫的焙烧	248	3. 炭化法	262
1. 镍高硫处理的一般特点	248	4. 浮选法	265
2. 镍高硫焙烧的理论基础	248	5. 炼制镍铜合金(蒙乃尔合金)	267
3. 镍高硫焙烧的实践	249	§ 5 铜镍硫化矿及其精矿的高压水冶	268

1. 概述	271	1. 阳极反应	271
2. 镍精矿的高压氧氨浸出处理	268	2. 阴极反应	271
§ 6 铜镍硫化矿处理的新发展	270	3. 电解液	272
第六章 镍的电解精炼	271	§ 2 镍电解液净化	274
§ 1 粗镍阳极的电解精炼过程	271		

第三篇 钴 冶 金

第一章 结论	276	1. 从砷化钴矿、精矿和黄渣制得含钴溶液	282
§ 1 钴的用途	276	2. 从含钴铜矿和精矿制得含钴溶液	283
§ 2 钴的性质	276	3. 从含钴硫化铜镍矿和氧化镍矿制得含钴溶液	284
§ 3 钴的重要化合物及其性质	276	4. 从钴土矿制得含钴溶液	284
第二章 钴的矿物, 矿石, 精矿及其他提钴原料	278	5. 从含钴黄铁矿精矿制得含钴溶液	284
§ 1 钴的矿物与矿石	278	6. 从半产品中制得含钴溶液	285
§ 2 钴矿的选矿及精矿	279	§ 3 含钴溶液的净化	286
§ 3 其他提钴原料	281	§ 4 氧化钴的还原	288
第三章 从含钴原料中提取钴	281	§ 5 钴的电解沉积和电解精炼	289
§ 1 提取钴的方法	281	上册主要参考文献	290
§ 2 原料的火法制备及浸出	281		

第一篇 銅冶金

緒 論

§ 1 銅在国民經济中的作用

銅是一种重要的金屬，在应用上仅次于鉄。

由于銅有延展性好和导电率高的特性，在电器、船只、飞机、汽車制造、輸电、无綫电、器械和家常用具的生产以及其他各种工业部門都需要銅。例如：制造一部3,000 仟瓦的发电机約需要580公斤銅，一条100公里长的150毫米²的輸电綫約需銅400吨。

銅能与鋅、錫、鋁、鎳等許多金屬組成各种重要合金。如黃銅和青銅广泛地在各种工业部門、尤其是在机械制造业中被用来制造各种軸承、活塞、开关、油管、热交換器等。

以銅为主的鋁合金叫鋁青銅。抗震力很强，且比黃銅或錫青銅要輕10—15%。

在銅鎳合金中，最著名的是含鎳67%及銅33%的蒙乃尔合金，此合金抗蝕性特強，而且即使把它加热至高溫，其强度仍可保留至极大限度。故比任何其他銅基合金或普通鋼都更优良。該合金主要用在閥、泵、高压蒸汽設備及其他器具的制造上。

含鈹銅合金，其机械性能超过高級优质鋼，导电性良好，广泛地用于制造各种零件、工具和无綫电設備。

銅鎳合金最耐摩擦、銅鋁合金是世界上最耐腐蝕合金之一。

此外，銅的硫酸盐还广泛应用于农业及紡織等部門。

随着科学技术的发展，有色金属有了許多新的用途，因而銅的需要也随之增大。銅在发展我国社会主义国民經济建設事业中将起着极其重要的作用。

§ 2 世界銅生产的一些历史資料

銅属于“史前”的金屬之一。紀元前五—七千年人类就已使用銅。紀元前2000年是青銅时代，青銅已广泛用来制造各种工具和家常器皿。

羅馬帝国时代，曾大量开采西班牙、日耳曼及其他国家的銅矿。例如：西班牙有名的里奥廷托銅矿在紀元前100年就已經开采。

在十七、十八和十九世紀，欧洲是銅的主要供給地，如西班牙、日耳曼以及較晚的英、俄等国，产銅較著。十九世紀末美国开始开采巨大的銅矿，从此以后，美国的炼銅工业很快地发展起来。

近十年来 在苏联、智利、非洲和加拿大都兴起了許多炼銅工业中心，特别是苏联在各个五年計划时期炼銅工业都得到大規模的发展。

表1表明：在資本主义国家中，炼銅工业的发展速度很慢，且不穩定，随着經济危机的发生，产量就要下降。社会主义国家中的經济則逐年增长，蒸蒸日上。如我国炼銅工业

解放后一直迅速发展，1958年的产量比1957年增加了一倍，这充分说明社会主义社会制度的无比优越性。

表 1 某些国家钢的年产量，千吨

国 家	1913	1929	1932	1937	1946	1947	1948	1949	1950	1951
澳大利亚				17.7	23.1	19.8	11.6	10.0	13.8	12.7
西 德				121.7	6.0	18.3	39.6	103.1	133.7	141.1
加 拿 大	34.9	112.5	112.3	210.0	151.4	180.0	193.1	203.6	217.8	223.2
刚 果	7.5	137.0	54.0	150.6	143.9	150.8	155.5	141.5	175.9	184.0
墨 西 哥	52.3	86.8	35.3	45.8	52.4	58.5	48.8	49.4	48.5	55.0
挪 威				8.3	7.8	7.9	8.9	9.3	9.3	8.6
秘 鲁	27.8	55.6	21.5	34.2	19.6	17.8	12.8	21.1	20.3	23.2
北罗德西亚		6.5	69.0	211.5	185.2	195.6	217.0	263.5	280.0	314.4
美 国	555.4	931.0	216.0	787.2	592.2	857.0	771.6	788.6	853.2	874.8
土 耳 其				0.7	10.0	10.0	11.0	11.3	11.7	17.5
智 利	42.3	320.0	103.2	396.4	358.6	468.4	424.9	351.5	345.6	360.0
瑞 典				9.1	14.5	14.3	17.2	14.4	16.7	15.0
南非联邦				11.1	26.7	29.0	29.0	29.6	33.0	33.1
日 本				86.8	23.3	368	54.3	74.6	84.7	90.8

(續)

国 家	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
澳大利亚	22.9	35.7	39.5	38.0	54				
西 德	142.0	154.8	164.9	260	251				
加 拿 大	209.7	194.9	237.9	288.0	290				
刚 果	206.0	214.1	223.8	235.0	250				
墨 西 哥	58.0	57.5	53.5	55.9	55				
挪 威	10.0	12.1	12.8	13.5	15				
秘 鲁	21.0	23.4	26.5	32.2	33				
北罗德西亚	318.0	345.7	351.3	315.0	360				
美 国	939.8	963.3	861.7	977.0	1,123		1,312	1,110	1,450
土 耳 其	23.0	23.3	24.4	23.9	24				
智 利	583.0	337.2	339.1	396.0	460				
瑞 典	14.9	18.3	17.6	18.4	16				
南非联邦	35.0	35.70	41.0	42.8	43				
日 本	35.0	63.7	68.9	81.1	90				

§ 3 我国铜工业的发展簡史及目前概况

我們偉大的祖國是世界上最古老的國家之一，有着悠久的歷史和光輝的文化，對於人類社會的發展作出了重大的貢獻。傳說“黃帝采銅首山”“禹鑄九鼎”，說明我們的祖先很早就已知道應用金屬。從許多商代及殷代的銅器以及在河南安陽挖掘到的煉銅遺迹看來，足證明我國在公元前2000—1400年就大量應用青銅，現北京故宮博物館有公元前1700年鑄成的青銅鑄件，也可以證明這一點。到了殷代，煉銅和鑄造技術已經相當進步，銅器已有禮器觚和爵，兵器矛和鏃，用具小刀和裝飾品等類了。

據歷史記載，雲南東川一帶在西漢就已成爲重要產銅地。後漢馬援傳有銅鼓的記載，說明當時廣西一帶已有高度的銅合金鑄造技術。唐天寶年間僅用作鑄錢每年就約需銅一千噸和錒兩百噸。北宋時代的胆銅法，即用熟鐵片從礦坑水中置換銅的方法，爲世界發明最早的濕法冶銅方法。

在公元31年，東漢的杜詩創造出一種名叫水排的水力鼓風設備，大大地促進了冶金工業的發展。歐洲在十一、二世紀才發明水力鼓風機，比我們要晚一千年。

我國在使用水排以後，又發明了利用活塞的風箱，這種風箱到現在還在土法煉銅中使用。

到了清乾隆、嘉慶年代，我國煉銅工業更加發達，僅雲南一省每年產銅即達一萬多噸。

在解放以前的近幾十年中，由於反動政府的統治和帝國主義的掠奪，我國煉銅工業日益衰落，這種狀況直至中華人民共和國成立以後，才得到根本的轉變。

解放後，由於黨中央和毛主席的正確領導，全國人民的巨大努力，以及蘇聯和各兄弟國家的支援，舊的粗雜銅冶煉廠迅速得到恢復、改進和擴建。在第二個五年計劃時期內有好幾個大的銅礦和新型冶煉廠已建立或正在建立。此外還對銅礦資源進行了普遍的勘探，結果證明我國銅礦資源遍布全國，十分豐富。

第一章 銅及其化合物

§ 1 銅的物理化學性質

1. 物理性質

銅屬於週期系第一族元素，原子量是63.57，原子序數29，電子的分布： $1S^2, 2S^2 2P^6, 3S^2 3P^6 3d^{10}, 4S^1$ 。

固體銅的結晶構造具有邊長 3.608\AA 的面心立方體晶格，原子半徑及離子半徑各爲 1.28\AA 及 0.96\AA 。

純銅的比重在 20°C 時爲 8.89，熔融銅的比重爲 8.22。

組織密致的銅顯有金屬光澤，呈橘紅色或玫瑰色，而由溶液沉淀者則暗淡，呈褐紅

色，液体銅为綠色。銅的莫氏硬度为3.0。

鑄造銅或冷拉銅的抗張强度为42—50公斤/毫米²；經退火处理后則減至21—28公斤/毫米²。

純銅可压延成厚度只有百分之几毫米的薄片，也可拉成細的銅絲。

銅的熔点为1083°C，熔化热为3110卡/克原子或49卡/克。

銅的沸点通常为2310°C，液体蒸气压可以下式表示：

$$\lg P_{at} = -\frac{23600}{T} + 9.20$$

故銅在普通熔炼炉中很难揮发。当用氬氧吹管或电弧加热时，銅便呈綠焰而燃燒，所生成的蒸气有毒性。

从0°C到1083°C内，固体銅的克原子热容可用下式計算：

$$C_p = 5.44 + 1.462 \times 10^{-5} T.$$

液体銅的热容为7.50卡/°K·克原子或0.108卡/°K·克。

若把銀的导热率作为1，則銅的导热率等于0.736。导热率与銅本身的組織、純度和溫度有关；經延展处理的銅导热性較鑄造銅更良好，但杂質的存在及溫度的增加可使导热率減低。

熔融銅能吸收SO₂、H₂和CO₂，但不吸收C_xH_y。凝固时，大部分被吸收的气体又重新放出；小部分气体則仍殘留在銅中，造成多孔，銅对气体的吸收能力，随溫度而增高；但当有Cu₂O、P、AS、及Sb存在时，吸收能力便受干涉。

純銅是电的良好导体，下列各种金屬导电率的比較数值（設銅的导电率为100%）：

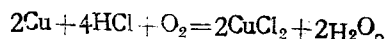
銀	109.5	鋅	30.0
銅	100.0	鎳	23.2
金	74.4	鉄	21.1
鋁	52.4	鉛	10.3
鎂	37.1		

凡短、粗、晶粒大、品质純淨并且溫度又低的銅件，其导电率最高，反之則低。熔融銅的导电率沒有固体銅那样高。按測得长1米重1克并經過退火的銅綫在20°C时的电阻为0.15328欧姆。鑄造銅的导电率比退火的銅綫約低3.5%。微量的杂質，对于銅的导电率有决定性的影响，如0.0013%的AS或0.0071%的Sb，可使銅的导电率降低1%（詳見第十章）。

2. 化学性质

銅于干燥大气中不氧化，但在CO₂存在的湿空气中，其表面便形成一层有毒的銅綠 [CuCO₃·Cu(OH)₂]。銅在空气中热至185°C以上时，即开始氧化，并于200°C变为玫瑰色，300°C成黃銅色，350°C成藍綠色，在350°C以上則显暗色。銅在赤热时会生成一层黑垢盖复其上，垢的外部由CuO組成，内部則为Cu₂O。

在电位次序中，銅位于氢的后面。盐酸及稀硫酸与銅不起作用；但有氧在場时，銅則溶解并生成相应的盐：



这个反应可假设为：首先铜氧化成氧化铜，然后氧化铜与盐酸作用而生成盐和水。在此情况下，甚至最弱的酸也能逐渐将铜溶解。铜在硝酸及热浓硫酸中极易溶解。

铜能与氧、硫、卤素等元素直接化合。

§2 铜的重要化合物及其性质

在炼铜原料及产物中，铜常呈下列化合物形态存在：

1. 氧化亚铜 (Cu_2O) 含铜88.81%。天然成赤铜矿产出。若将固体的铜在空气中加热至1060°C以上，生成的CuO即在此温度离解而成 Cu_2O ，或使熔融铜在空气中保持在1200°C，或将硫化铜进行焙烧，也都有 Cu_2O 生成。Cu-O系状态图如图1示。

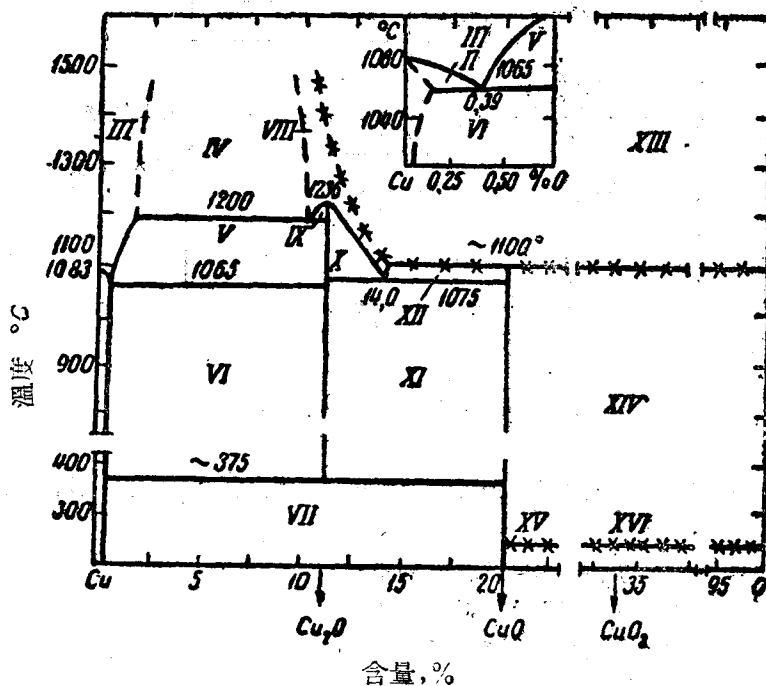


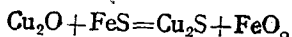
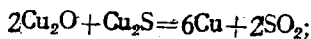
图1 Cu-O系状态图

Cu_2O 为樱红色，有金属光泽；粉状物为洋红色。一般呈等轴结晶。固体的比重为6.11。25°C时的真克分子热容为15.3卡/克分子。克分子熔化热为18400卡。

其离解压在1427°C时等于 8.9×10^{-4} 大气压，1727°C时才达到 4.4×10^{-1} 大气压。图2为各种氧化物离解压与温度的关系。

氧化亚铜易被 H_2CO 、 C_2H_4 和C还原为金属铜，其他如铁、锌等对氧亲和力强的元素，在赤热下也都可使 Cu_2O 还原。

当氧化亚铜与硫化亚铜及硫化亚铁共热时，便依下式而反应：



第一个反应始于450°C，并于1100°C完成，第二个反应实际上是不可逆的，在加热时即向

右进行。

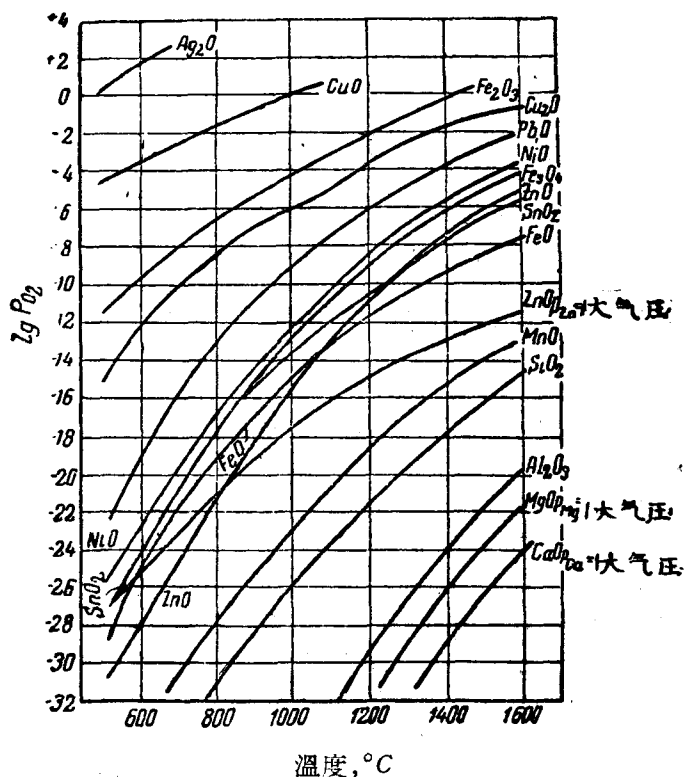
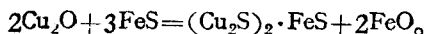
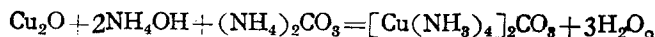
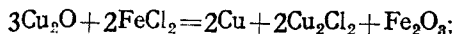
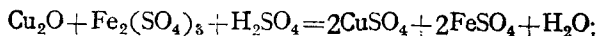
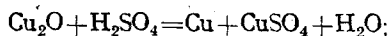
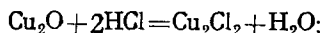


图 2 各种氧化物离解压与温度的关系

当温度低于1000°C时，上述第二个反应即不可逆地由左向右进行，形成复式硫化物：

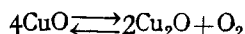


氧化亚铜不溶于水；与不同溶剂的反应如下：



2. 氧化铜(CuO) 天然成黑铜矿产出。使硫化铜进行死烧，或加热 CuCO_3 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 CuSO_4 及 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，均有CuO生成。CuO为黑色无光泽的物质，可成等轴结晶。比重为6.4。25°C时的真实克分子热容为10.3卡/克分子。

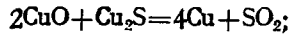
氧化铜可按下列反应发生离解：



其离解压在1023°C时为143毫米汞柱，1080°C时为388—400毫米汞柱，1105°C时达到760毫米汞柱。故氧化铜只在低于1000°C的温度下稳定。

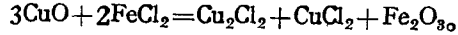
氧化铜也易被 H_2 、C、CO、 C_2H_2 等还原为金属； H_2 的还原反应开始于250°C，CO的还

原反应开始于 160°C 并于 325°C 趋于完全, CH_4 对于 CuO 的还原则须在赤热时才有反应发生。 CuO 尚可被其他硫化物和较负电性的金属锌、铁、镍等还原。当与 Cu_2S 及 FeS 共热时, 便分别依下式而反应:



其温度范围与 Cu_2O 的情况相同。

CuO 不溶于水, 但溶于 NH_4OH 及 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 中; 部分溶解于热的 NH_4Cl ; 易溶于各种酸及高价铁盐中。与 FeCl_2 作用反应如下:



3. 亚铁酸铜及亚铁酸亚铜 ($\text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 亚铁酸铜在低于 $1000-1100^{\circ}\text{C}$ 的温度下稳定, 在更高的温度下亚铁酸亚铜稳定。

在火冶过程中, 铜的亚铁酸盐, 易为碱性较强的氧化物如 FeO 、 CaO 等所分解。铜的亚铁酸盐属于易还原的化合物。

在湿法冶金中, 铜的亚铁酸盐属于所谓“顽固的”化合物, 因它不受(或仅稍受)大多数工业溶剂的作用。

4. 碳酸铜(CuCO_3) 碳酸铜的中性盐尚未发现。硷性盐块类则呈孔雀石和兰铜矿(石青)在自然界产出, 可在溶液中由铜与钾或钠的碳酸盐作用沉淀而得, 但受热即迅速离解为 CuO 、 CO_2 及 H_2O 。

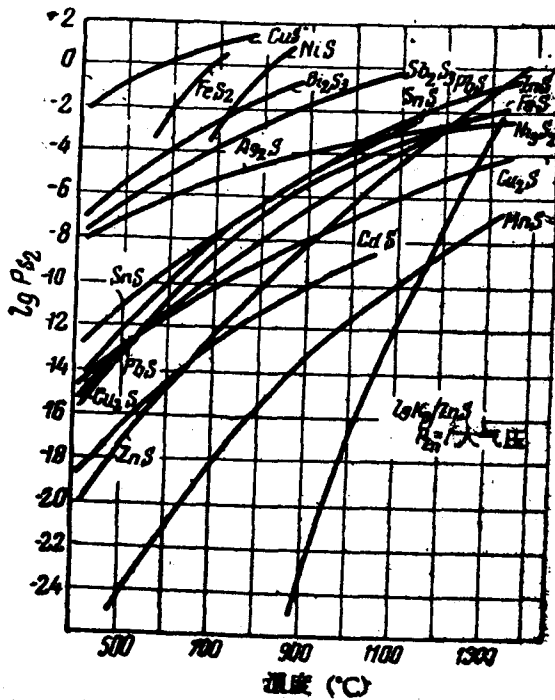


图 3 硫化物离解压与温度的关系

在湿法冶炼中，碳酸铜可与各种溶剂发生类似氧化铜与各种溶剂所发生的反应。不过，在此情况下有二氧化碳放出。

5. 硅酸铜 以硅孔雀石及透视石之矿物形态存在于自然界中，在高温时这些矿物分解形成高温稳定的氧化亚铜硅酸盐，在 $\text{Cu}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系中，已肯定只生成一个化合物($2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$)，其比重为5，生成温度为 $600-700^\circ\text{C}$ ，熔点约为 1100°C 。 $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 溶解于浓的 HNO_3 及稀的 CH_3COOH 中；易溶于 HCl ；渐溶于 H_2SO_4 。易为 H_2 、 CO 还原，并易受 FeO 、 CaO 、 Fe 、 FeS 及 Cu_2S 等分解。

6. 硫化亚铜(Cu_2S)天然呈辉铜矿产出。它是蓝黑色无定形或结晶形物质。固体比重为5.76， 25°C 时的真克分子热容为18.3卡/克分子。

硫化亚铜稳定程度如图3所示。 Cu_2S 在空气中，低温稳定；加热到 $430-680^\circ\text{C}$ 范围内放出 SO_2 。焙烧时， Cu_2S 是先通过 CuSO_4 及 Cu_2O 两阶段最后才变为 CuO 。若使空气强迫通过熔融的 Cu_2S ，它便于 1150°C 左右变为 Cu 和 SO_2 (吹炼反应)。 CO_2 于赤热时渐使 Cu_2S 氧化，但 CO 对它无影响。赤热时 H_2 对 Cu_2S 的分解速度虽慢，但作用却完全。若与 FeS 及其他金属硫化物共熔，便与它们结合形成冰铜。

Cu_2S 实际上不溶于水，但可渐溶于浓的 HCl 中，放出 H_2S ；若与浓硫酸作用，便有 CuS 、 CuSO_4 及 SO_2 生成；稀的 H_2SO_4 对于 Cu_2S 须有空气存在下才发生反应，且反应速度很慢。

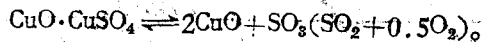
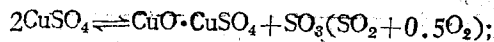
7. 硫化铜(CuS)天然成铜蓝矿产出。通 H_2S 于铜盐溶液中可得 CuS ；为绿黑色或棕黑色的无定形物质。固体比重为4.68。

硫化铜在中性或还原性气氛中受热时便易离解。在 500°C 时即达到500毫米汞柱以上。故在火冶过程中，因热离解而变为 Cu_2S 。

硫化铜不溶于水，但易溶于热的硝酸而得到硝酸铜、硫和一氧化氮；稀 H_2SO_4 及苛性钠对 CuS 不发生作用；可溶于 KCN 溶液中。

8. 硫酸铜(CuSO_4)带有五个结晶水的硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)称为胆矾，自然界有此铜矿产出。纯净的胆矾呈天蓝色三斜晶系结晶；若与 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 相混则呈混晶。如长久暴露于空气中，即渐次失去其结晶水，而变为白色。

在干燥空气中，将 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 加热，于 $27-30^\circ\text{C}$ 之间变成蔚兰色的 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，此物于 $93-99^\circ\text{C}$ 之间再变为苍兰色的 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，于 150°C 时失去最后一个结晶水。当继续加热时，无水硫酸铜就发生下列离解反应：



胆矾可溶于水，表2所列为其在不同温度下的溶解度。

金属铜可以从硫酸铜溶液中以铁或其他较负电性金属沉淀出来。 NaOH 、 Na_2CO_3 或

表2 胆矾在水中的溶解度

100克水于某 $^\circ\text{C}$ 溶解	0°	15°	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°C
CuSO_4 (克)	14.9	19.3	22.3	25.5	29.5	33.6	39.0	45.7	53.5	62.7	73.5
$\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (克)	23.2	30.2	34.9	39.9	46.2	52.6	61.1	71.6	83.8	98.2	115.0

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液与 CuSO_4 作用时可得 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 碱或硫酸铜。若通 H_2S 或加碱或碱土硫化物于其中，则有 CuS 生成。 CuSO_4 电积时，若以不溶性硬铅为阳极，则所需分解电压为 1.19 伏。

9. 氯化亚铜 (Cu_2Cl_2) 纯净的 Cu_2Cl_2 ，含铜 64.16%。自然界有此矿物发现，但不重要。在常温下导氯于铜上，即有 Cu_2Cl_2 伴随，一部分 CuCl_2 产出；或使 HCl 作用于铜上，或将铜加于 CuCl_2 的酸性溶液中煮沸，或将 CuO 与 FeCl_2 相混而反应，皆有 Cu_2Cl_2 生成。

氯化亚铜为白色粉末，受日光作用，即迅速变为暗色，熔于 434°C 并于 340°C 挥发。

熔融的氯化亚铜是电的良导体，其导电率（倒欧姆/厘米²）为： 44°C —0.2684 及 490°C —0.3960。

氯化亚铜不溶于水，但溶于 HCl 及金属氯化物的溶液中。表 3 所列为氯化亚铜在食盐溶液中的溶解度。

表 3 氯化亚铜在食盐溶液中的溶解度

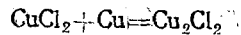
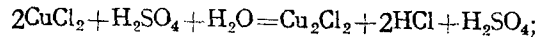
NaCl 溶液	被溶解的 Cu_2Cl_2 的百分数		
	90°C 时	40°C 时	
饱和成分	16.9	11.9	11°C 时 8.9
15%	10.3	6.0	14°C 时 3.6
5%	2.6	1.1	

10. 氯化铜 (CuCl_2) 自然界无此矿物产出。人工造的氯化铜是褐色粉末物，在 498°C 熔化。若隔绝空气而加热至 340°C ，它便变为 Cu_2Cl_2 及 Cl_2 ；有空气通入时，则部分成 Cu_2Cl_2 和 Cl_2 及部分成 CuO 和 Cl_2 。富于潮解性，一经潮解便变为绿色。

氯化铜可溶于水。100 克的水于 0°C 时能溶解 70.6 克的 CuCl_2 ； 17°C 时可溶 75.6 克；

31.5°C 时可溶 80.8 克； 91°C 时则能溶 104 克。

若将铜溶解于王水，或将 CuO 溶解于 HCl 中，则得含水氯化铜 ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。若与 H_2SO_4 作用，或与金属铜相混而煮沸， CuCl_2 便依下列各反应还原为 Cu_2Cl_2 ；



11. 络合物 二价铜盐能与氨作用，生成含有 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 络离子的深蓝色溶液；一价铜盐则与氨作用，生成含有 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 络离子的无色溶液。

前已指出，铜的氧化物及碳酸盐与氨液作用生成 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$ 及 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{CO}_3$ 络合物溶液的反应，在湿法冶金中很重要。

第二章 铜的矿物、矿石、矿床及精矿

§1 概述

地壳中铜的含量总计为 0.01%，在个别铜矿床中含铜量可达 3—5%。但只要大于 0.46% 即认为是现时可开采的铜矿床。在 20—30 年前，含铜在 1.2—1.5% 的岩石才被认为是铜矿石。

含铜岩石是否可以作为铜矿开采，除了与其中的含铜量有关以外，还与矿石中其他有用元素的含量、科学技术发展的水平、矿床的位置以及其他因素有关。

§2 銅的矿物

天然銅存在的較少，表4所列為所常見的工業銅矿石中天然銅矿物。

表4 銅的矿物

編号	矿石名称	化学分子式	理論成分, %					矿石类别
			Cu	Fe	S	As	Sb	
1	自然銅	Cu	100.0					自然銅矿
2	輝銅矿	Cu ₂ S	79.8		20.2			硫化銅矿
3	銅藍	CuS	66.4		33.6			同上
4	斑銅矿	Cu ₉ FeS ₈	55.5	16.4	28.1			同上
5	黃銅矿	CuFeS ₂	34.5	30.5	35.0			同上
6	黝銅矿	Cu ₃ SbS ₃	46.7		23.5		29.8	同上
7	砷黝銅矿	Cu ₃ AsS ₃	52.7		26.6	20.7		同上
8	赤銅矿	Cu ₂ O	88.8					氧化銅矿
9	黑銅矿	CuO	79.9					同上
10	藍銅矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	69.2					同上
11	孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.5					同上
12	硅孔雀石	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36.2					同上
13	胆矾	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25.5					同上
14	水胆矾	CuSO ₄ ·3Cu(OH) ₂	56.2					同上
15	氯銅矿	CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂	59.5					同上

自然銅在我国云南等地有发现。識別的标志是：銅紅色、硬度低、有延展性。产状为銅粒集聚成堆。

在硫化矿中，分布最广的銅矿物是黃銅矿。黃銅矿有似黃銅的黃色，金屬光泽，硬度不大，易为小刀刻伤，如将矿石在无釉瓷板上刻划，其条痕呈綠黑色。

其次分布很广的是斑銅矿。它顏色复杂（从銅紅色至暗藍色），其条痕为灰黑色。斑銅矿在含銅砂岩中特別常見。再次为輝銅矿，有金屬光泽，呈暗色或鉛灰色，硬度不大。常見于銅矿床的上部氧化带。

在氧化銅矿中，孔雀石分布最广。呈翠綠色，有时为暗綠色，玻璃或絲絹光泽，淡綠色条痕。纖維或貝壳状构造是孔雀石的特征，在其断面或磨光面上显有美丽的花纹。

与孔雀石成分相似，并具有鮮藍色至暗藍色的矿物称为藍銅矿（石膏）。藍銅矿亦常見于銅矿床的上部氧化带。

赤銅矿为銅的氧化物，較少見。色紅，金剛石光泽，硬度中等，棕紅色条痕。

§3 銅的矿石

含銅量高到足可供工业提炼时的岩石曰銅矿石。其中除銅矿物以外，还有其他金屬矿物和脉石矿物。其他金屬矿物最常見的是黃鉄矿，呈淡黃色，金屬光泽。具有較大的硬度，不易为小刀刻伤。此外，硫化銅矿中还带有閃鋅矿和方鉛矿，有时有鍍黃鉄矿等硫化矿物存在。