

氯化冶金

LÜ HUA YE JIN

中南矿冶学院冶金研究室 编

氯化冶金
中南矿冶学院冶金研究室 编
(限国内发行)

*
冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印刷

*
850×1168 1/32 印张12¹/₂ 插页1 字数332千字

1978年3月第一版 1978年3月第一次印刷

印数 00,001~3,500册

统一书号: 15062·3309 定价(科三) 1.20元

前 言

建国以来，在伟大领袖毛主席和中国共产党的英明领导下，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国氯化冶金如同其它的科学技术一样迅速发展。这种方法，不仅早已应用于镁、钛及其它稀有金属的工业生产，而且在重有色金属及贵金属冶金领域内，也开展了广泛的试验研究工作，不少研究项目已进入工业规模生产或试验阶段。为了适应我国氯化冶金发展的需要，我们编写了这本《氯化冶金》。

氯化冶金的应用范围相当广泛，但考虑到轻金属和稀有金属的氯化冶金已在相应的冶金学书籍中有了比较详细的论述，因此本书的重点，主要是讨论重有色金属及贵金属氯化冶金的基本理论与实践问题。

本书编写时，力求做到理论联系实际。书中根据工艺实践的需要，阐述金属氯化物的性质及氯化冶金主要过程(氯化过程)的基本原理；选取国内外生产和试验研究实践的典型例子，介绍氯化冶金工艺的特点；对氯化冶金发展过程中存在的主要问题及其解决途径，作了粗略的分析。本书可供从事氯化冶金生产和科研工作人员以及大专院校有色冶金专业师生参考。

本书初稿的审查工作，曾得到院内外各兄弟单位同志们的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们政治思想及业务水平有限，从事氯化冶金生产与试验研究的实践不够，对国内外氯化冶金的发展情况也缺乏深入的调查研究，本书一定存在不少缺点甚至错误，恳请同志们批评指正。

编 者

一九七六年四月于长沙

目 录

绪论	1
一、氯化冶金及其发展	1
二、氯化冶金过程与方法	3
三、氯化冶金工艺应用与研究现状	7
四、氯化冶金的优点与存在问题	11
第一章 氯和金属氯化物的性质	14
第一节 氯的基本性质	14
一、氯的原子、分子与离子	14
二、氯的一般物理性质	15
三、氯的化学性质	15
四、氯气的溶解性	18
第二节 氯化物的热稳定性	20 ✓
一、热稳定性及其量度	20
二、低价氯化物的稳定性	23
三、关于稳定性的相对意义	25
第三节 金属氯化物的晶体结构	26
第四节 氯化物的熔点	29
第五节 氯化物的沸点与蒸气压	32
第六节 氯化物的挥发与冷凝	36
一、氯化物挥发的动力学	36 ✓
二、氯化物蒸气的冷凝	41
第七节 金属氯化物蒸气的聚合	45
第八节 氯化络合物	48
一、氯化络合物的含义	48
二、氯化络合物在冶金中的重要性	49
三、晶相络合物的稳定性及其挥发性	51

四、氯化络合物在水溶液中的稳定性	60
第九节 氯化物在水中的溶解度	64
第二章 氯化焙烧	67
第一节 概述	67
第二节 氯化焙烧的热力学	68
一、金属氧化物的氯化	68
二、金属硫化物的氯化	84
三、复杂金属化合物的氯化	87
四、氯化反应平衡的实验测定	90
五、固体氯化剂的氯化作用	93
第三节 氯化焙烧的动力学	100
一、氯化反应速度及影响因素	100
二、氯化反应机理的研究	111
第四节 黄铁矿烧渣的氯化焙烧	120
一、黄铁矿烧渣中温氯化焙烧	122
二、黄铁矿烧渣高温氯化挥发焙烧	124
第五节 高钛渣和菱镁矿的氯化焙烧	145
一、高钛渣的氯化焙烧	145
二、菱镁矿的氯化焙烧	151
第六节 低品位锡矿的氯化焙烧	153
一、间接加热的氯化挥发焙烧法	154
二、直接加热的氯化挥发焙烧法	155
第七节 其它矿物原料的氯化焙烧	160
一、贫镍复杂矿的氯化焙烧	160
二、顽固金矿的氯化焙烧	166
三、贫铋混合复杂矿的氯化挥发焙烧	169
第三章 氯化离析	174
第一节 概述	174
第二节 氧化铜矿氯化离析的理论基础	176
一、氯化离析过程的热力学	176
二、氯化离析反应的动力学	178

第三节 氧化铜矿氯化离析工艺	182
一、典型工艺流程	182
二、工艺过程影响因素的分析	203
第四节 氧化镍矿的离析法	208
一、镍离析过程的反应	208
二、离析产品的处理	212
三、镍离析的试验研究现状	212
第四章 氯化浸出	215
第一节 概述	215
第二节 氯化浸出的热力学	215
一、电位-pH 图的应用及绘制原理	215
二、Cl-H ₂ O 系和 MeS-H ₂ O 系的电位-pH 图	218
三、Cu-Cl ⁻ -H ₂ O 系的电位-P _{Cl} 图	223
第三节 氯化浸出的动力学	224
一、溶解反应速度及其影响因素	224
二、溶解反应的机理	234
第四节 盐酸浸出	235
一、钴渣的盐酸浸出	236
二、镍冰铜的盐酸浸出	240
三、废铁屑的盐酸浸出——水冶法生产铁粉	242
四、铂族金属精矿的王水浸出	250
第五节 氯盐浸出	253
一、三氯化铁浸出	254
二、二氯化铜浸出	263
第六节 氯气浸出	267
一、硫化镍电解阳极泥的氯气浸出	268
二、含镍褐铁矿的氯气浸出	270
三、其它矿物原料的氯气浸出	272
第七节 电氯化浸出	274
第五章 氯化剂的再生回收	281
第一节 氯化钙的再生回收	281
一、湿法收尘流程中氯化钙的再生	281

二、干法收尘流程中氯化钙的再生	283
三、氯化钙溶液的浓缩	285
第二节 盐酸的再生回收	287
一、氢气还原-吸收法	287
二、高温水解-吸收法	287
第三节 氯化氢气体的再生回收	291
一、三氯化铁的高温水解	291
二、氯化氢从盐酸中的脱吸	293
第四节 氯气的再生回收	293
一、从金属氯化物中再生氯气的方法	293
二、游离氯气回收利用的方法	299
第六章 氯化冶金设备的防腐蚀	305
第一节 含氯介质对金属的腐蚀	305
一、金属在氯气和氯化氢气体中的腐蚀	305
二、金属在盐酸溶液中的腐蚀	307
三、金属在氯化物溶液中的腐蚀	309
第二节 防腐蚀方法概述	311
第三节 设备防腐蚀材料的选择	312
一、材料选择的基本原则	312
二、氯化冶金主要设备防腐蚀材料的选择	313
附录 I 氯化物的基本热力学性质	338
附录 II 金属氯化物标准生成等压位 (ΔZ^0)-温度 (T) 关系图	366
附录 III 氯化物的标准生成等压位	373
附录 IV 氯化物的蒸气压	380
附录 V 某些氯化络离子的不稳定常数	383
附录 VI 氯化物的溶解度	386
附录 VII 水溶液中若干离子(化合物)的标准化学位 μ^0 (卡)	390
附录 VIII 液氯使用安全知识	392

绪 论

一、氯化冶金及其发展

各种金属和金属的氧化物、硫化物或其它一些化合物，在一定条件下，绝大多数均能与化学活性很强的氯(氯气或氯离子)反应，生成金属氯化物。各种金属氯化物与相应金属的其它化合物比较，又大都具有低熔点、高挥发性、易被还原、常温下易溶于水及其它溶剂等性质；更为重要的是，氯化物生成的难易和性质的差异，又往往十分明显。因此，在提取冶金过程中，运用金属氯化物的这些特点，常常能够方便而有效地实现金属分离、富集、提取与精炼的目的。

所谓氯化冶金，广义而言就是指通过金属氯化物来进行的一种提取冶金方法，也可以称为氯化物冶金。

毛主席在《矛盾论》中指出：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”氯化冶金与其它冶金方法的不同，就在于它的基本内容，是研究提取冶金过程中有关金属氯化物的生成与分解这一对特殊的矛盾。

阶级斗争是生产发展的动力。科学的发生和发展一开始就是由生产决定的(《自然辩证法》)。因此，氯化冶金如同其它任何的科学技术一样，其产生和发展，取决于社会的阶级斗争和生产发展的需要。

十六世纪资本主义开始萌芽。为了适应当时商品经济发展的需要，执行货币职能的金与银的生产，开始有了新的增长。十六世纪中叶，人们为了提高混汞法从矿石中提取银的效果，从实践中得到的经验，是在矿石浸出过程中加入食盐。这可视为最早被应用的一种氯化冶金方法，因为食盐在浸出过程中作用的实质，

是使矿石中少量的硫化银矿物转变为可溶于食盐溶液并易被还原的氯化银，从而为最后提取金属银的混汞过程创造了条件，提高了金属的回收率。自此以后一段很长的历史时期中，氯化冶金的方法，基本上是在围绕着贵金属生产的发展而演变的。

十八世纪中叶，由于对贵金属需要量的急剧增长，日趋需要处理含大量硫化矿物的贵金属矿石，随着当时科学技术的进步，上述加食盐的浸出法演变为效果更好的氯化焙烧-浸出法，即在浸出前将矿石加食盐进行焙烧。

十九世纪中期，人们基于对金在有水分存在下易与氯气反应生成氯化金，氯化金又易溶于水等特点的认识，开始在生产中使用氯气处理经过润湿了的金矿石。这是最早使用氯气的一种氯化冶金方法，现今称为氯气浸出法。与此同时，用于处理贵金属矿石的氯化焙烧-浸出法，被扩大应用于从低品位矿石中回收铜，并且很快地作为综合利用黄铁矿烧渣的一种重要方法，得到工业规模的应用。这是氯化冶金应用的一个重要发展，亦即从贵金属提取冶金领域进入到重有色金属提取冶金领域。

氯化焙烧-浸出法长期生产的实践表明，若焙烧温度较高，往往会引起金属的大量挥发损失。为此，以往的氯化焙烧仅限于在较低的温度下进行，因而被称为中温(或低温)氯化焙烧法。但是，这些事实却增进了人们对于金属氯化物易挥发性的认识，并从反面给人们以启发，导致十九世纪末期高温氯化挥发焙烧法的出现，并且在小规模的生产中应用这种方法处理含铜的贵金属矿石。在这一时期，较为经济的食盐水溶液电解法制取氯气，进入了大规模工业生产阶段，为在冶金中应用氯气进一步创造了条件。于是，很快便有人尝试使用氯气焙烧复杂的硫化铅锌矿，企图综合提取元素硫、铅、锌及其它重金属。这一尝试虽然没有成功，但此工艺流程中所涉及到的一个重要环节——用金属锌从铅锌氯化物熔体中提取铅，却从原理上被应用于粗铅的氯化精炼除锌。这就是粗金属熔体氯气精炼法。

氯化冶金方法及其应用的扩展，除了受到冶金工业本身的发展

展需要所促进外，它与化学工业(尤其是氯碱工业)的发展是分不开的，因为只有化学工业能够提供大量而廉价的氯化剂和必需的防腐蚀材料，氯化冶金才具有生命力。例如，本世纪初期，由于帝国主义战争和工业发展的需要，氯碱工业发展十分迅速，液氯产量急剧增长，在这样的条件下，用氯气焙烧菱镁矿制取无水氯化镁再以无水氯化镁熔盐电解提取金属镁的方法，于二十年代取得了成功，至今仍为生产金属镁的一种主要方法。当时，用于提取贵金属的氯化冶金方法，虽然被更为经济的氰化法所取代，但氯化冶金却又在轻金属提取冶金领域内，占有了牢固的地位。

本世纪二十年代，氯化冶金除了在镁的提取方面取得重要的进展以外，用于提取重有色金属(主要是铜)的氯化离析法，也在此时出现，并且开始有人研究用高温氯化挥发焙烧法处理低品位的锡矿石。

五十年代以来，氯化冶金应用的发展相当迅速。随着近代工业(如高速航空工业、电子工业、原子能工业)发展需要而兴起的稀有金属冶金工业，成为氯化冶金应用的重要而宽广的领域。氯化冶金在稀有金属提取冶金方面的应用相当广泛。例如，用氯气焙烧氧化钛和碳质还原剂的混合物料制取四氯化钛-四氯化钛挥发和冷凝-精馏净化-四氯化钛的镁(或钠)热还原或电解生产金属钛，就是一个典型。氯化冶金在重有色金属提取冶金方面的应用，最近十多年来的进展也是很快的，其中最为显著的成就是，综合利用黄铁矿烧渣的高温氯化挥发焙烧法和处理难选氧化铜矿的氯化离析法实现了工业化。与此同时，盐酸浸出法应用于贫锡精矿脱铁富集、从废铁屑制取铁粉以及处理有色冶炼中间产物(如镍冰铜)等方面，也取得了成功。

目前，从氯化冶金方法的完整性及其应用的广度来看，它已经发展成为提取冶金领域中一个可以自成体系的重要组成部分。当然，氯化冶金的方法及其应用范围，还仍然处于不断的完善与扩展之中。

二、氯化冶金过程与方法

氯化冶金工艺流程，通常包括以下五个基本的过程：

1. 原料准备过程

为了使被处理的物料获得较大的反应能力以加速反应的进行，或者为了得到高质量的产品，氯化冶金如同其它的冶金方法一样，对原料的物理化学性质具有一定的要求。在氯化冶金工艺流程中，原料的准备常常是一个十分重要的环节。原料准备的方法及程序，视具体工艺及设备的要求而定。例如，一般地需要将原料破碎、细磨、分析与调整化学组成以及和其它反应剂充分混合；有的时候需要将粉状物料造块；有的时候还需要将矿石进行预氧化或还原焙烧处理，等等。

2. 氯化过程

诚然，从天然金属氯化物（如氯化钠、氯化镁）中提取相应的金属，也属于氯化冶金的范围，但是由于在绝大多数的冶金原料中，金属并非以氯化物形态存在，因此，从原料中制取金属氯化物的氯化过程，显然是氯化冶金最基本和最重要的过程。

氯化过程的基本矛盾，是氯化物的生成（氯化）与分解。由于在相同条件下，不同的元素及化合物，它们的氯化与相应氯化物分解这一矛盾的发展，彼此表现不同，亦即不同的氯化物，其生成的难易有一定的差异，因此，氯化过程具有一定的选择性。运用这种选择性，可以实现金属分离的目的。氯化过程实质上可视为一种分离过程，氯化过程对于金属分离的有效与否，在很大程度上决定了氯化冶金工艺的技术经济合理性。基于氯化过程在氯化冶金工艺流程中的重要地位，常常把氯化冶金称为“提取冶金中的氯化”，以突出这种冶金方法的特点。

氯化过程的方法（氯化法）可以区分为五种不同的类型：

- (1) 氯化焙烧。
- (2) 氯化离析（简称离析法）。
- (3) 熔盐介质氯化。
- (4) 粗金属熔体氯化精炼。
- (5) 氯化浸出（包括盐酸浸出、氯盐浸出、氯气浸出及电氯

化浸出)。

氯化浸出是指在水溶液介质中进行的一类氯化过程，亦即湿法氯化过程，而其它的氯化法可归属为火法氯化过程。在上述五种氯化法中，熔盐介质氯化尚无工业规模的应用，粗金属熔体氯化精炼的应用也很有限，具有普遍意义的是其余三种氯化法。

3. 氯化物的分离过程

氯化物的分离包括两个方面的内容。一个方面是指金属氯化物与没有被氯化的物料的分，如固体氯化物与氯化残渣的溶出分离、气体金属氯化物的捕集等；另一方面是指共存的金属氯化物的分离。

由于冶金原料的成分一般比较复杂，如果氯化选择性不够显著，或者为了综合利用的需要，氯化过程同时生成多种金属氯化物的情况是颇为常见的。为了便于随后金属的提取，在大多数氯化冶金工艺流程中，都具有对共存的金属氯化物进行分离这一环节。这一环节所采用的方法有：

- (1) 分步冷凝。
- (2) 精馏。
- (3) 选择性浸出。
- (4) 分步结晶。
- (5) 中和水解。
- (6) 有机溶剂萃取。
- (7) 离子交换。

上列的分离方法，均以金属氯化物所具有的不同物理化学性质为依据。在重有色金属及贵金属的氯化冶金工艺流程中，主要采用的是后三种分离方法。

4. 从氯化物中提取金属的过程

金属的提取是冶金过程的基本目的。因此，从金属氯化物中提取金属，当然也是氯化冶金中十分重要的过程。

从金属氯化物中提取金属的方法主要有：

- (1) 熔盐电解。

- (2) 金属热还原。
- (3) 气体(如氢气)还原。
- (4) 水溶液电解。
- (5) 金属置换。
- (6) 歧化法。

金属的提取是金属氯化物的还原(分解)过程。除了电解和歧化法以外,上列的金属提取方法均需要采用相应的还原剂。在金属的提取过程中,对还原剂来说,同时又是一种氯化过程。被提取的金属与还原剂,它们的氯化与分解这一基本矛盾,可以理解为各自朝着相反的方面发展。

如同氯化过程一样,从金属氯化物中提取金属的过程也具有一定的选择性,因而也可以用来分离金属。例如,金属置换法和歧化法,既是提取金属的方法,也常被看作为分离金属氯化物的方法。

5. 氯化剂的再生回收过程

无论火法或者湿法氯化过程,其共同的条件是需要过程中加入氯化剂。氯化剂通常分为气体氯化剂和固体氯化剂两类。例如,氯气、氯化氢、四氯化碳、光气等属于气体氯化剂;氯化钠、氯化钙、氯化镁、氯化铵、氯化铁等属于固体氯化剂。除氯气以外,其它的氯化剂均是氯化物,它们之所以能够使被提取的金属及其化合物氯化,只是由于在一定条件下比较容易分解罢了。因此,氯化剂具有相对的意义。但是,对于一个具体的氯化过程来说,氯化剂的选用,却是确定氯化冶金工艺方案时需要研究的重要内容,通常需要考虑三个方面的因素:氯化剂反应能力要强,工艺效果要好;氯化剂来源广泛,价格低廉;氯化剂应该容易再生回收。

除了来源广泛、价格低廉的氯化钠以外,采用其它氯化剂的氯化冶金工艺,为了确保其经济效果,都必需考虑氯化剂的再生返回利用问题。因而在大多数的氯化冶金工艺流程中,氯化剂再生回收总是一个不可缺少的重要环节。

氯化剂再生回收的方法,依氯化剂种类而异,尚很不完善。目前应用的主要方法有:用于再生回收固体氯化剂的中和-水解-浓缩法;用于再生回收盐酸的金属氯化物氢还原-吸收法和高温水解-吸收法;用于从金属氯化物中再生回收氯气的电解法,等等。

综上所述,氯化冶金的内容相当广泛,涉及到的理论与工艺问题很多。本书的内容,只能着重叙述氯化过程(又仅限于氯化焙烧、氯化离析和氯化浸出法)的基本理论与实践,并稍作系统介绍与氯化过程不可分割的主要几种氯化剂的再生回收方法与研究现状。至于其它如原料准备、氯化物的分离和金属的提取等过程的基本原理,本书则只限于介绍它们在有关工艺流程中的工艺特点。

三、氯化冶金工艺应用与研究现状

氯化冶金工艺在生产中的应用和试验研究的现状,可以根据其处理的原料对象,归纳为以下五个方面。

1. 冶金精矿及中间产品的处理

氯化冶金在这一方面应用的典型生产实例,是镁和钛的提取。目前,氯化镁熔盐电解仍然是从菱镁矿或其它含镁原料中制取金属镁的主要生产方法;无论从金红石或是从钛铁矿富集所得的高钛渣中提取金属钛,所用的生产方法都仍然是氯化冶金。

处理锆英石精矿提取金属锆(和铪)的碳化-氯化法,是锆(和铪)的重要生产方法。锆英石精矿的处理虽然还可以采用碱烧结-硫酸浸出法,但从所得到的二氧化锆中提取金属锆,如同前一种方法一样,一般也还是采用四氯化锆的镁热还原法。

在稀有金属冶金中,首先用其它的冶金方法从矿物原料制取氧化物或氢氧化物,然后用氯化冶金从所得到的中间产物中提取纯金属,是很常用的生产方法。例如,铍、锂和稀土金属的氯化物熔盐电解,就是实际应用的典型。

为从铯榴石中提取铯,盐酸浸出-氯化铯的钙热还原虽然是一种古老的方法,但至今仍然在生产中应用。

以氧化铝为原料的高温氯化挥发焙烧-冷凝-氯化物熔盐电解

制取金属铝的氯化冶金工艺，已有十多年的研究历史，国外正在建设年产量达一万五千吨的试验工厂。

在重有色金属冶金中，从镍冰铜制取金属镍的盐酸浸出法，从镍电解阳极泥回收铂族金属的氯气浸出法，均在生产上得到应用。用三氯化铁溶液浸出硫化铋精矿生产金属铋，我国某厂已有多年的生产经验。用三氯化铁溶液浸出硫化铜精矿综合提取铜、铁、硫，国内外均已进入半工业规模的研究阶段。此外，用于处理硫化铜精矿的氯化冶金方法，还有氯化焙烧和氧化焙烧-氯化离析。这些方法的优点是：在提取金属的同时可以直接得到元素硫或便于利用的高浓度二氧化硫烟气，但目前尚处于实验室规模的研究阶段，其经济合理性还难于和常规的冶炼方法相比较。

2. 低品位或难选矿石的处理

高温氯化挥发焙烧是处理贫锡矿的有效途径之一，国内外均进行了大量的研究工作。处理贫锡矿，还可以用盐酸浸出法脱铁富集，国外已有工业规模应用的实践。但盐酸浸出法的耗酸量较大，被处理的矿石成分具有一定的局限性。

处理难选氧化铜矿的氯化离析法，自六十年代以来，取得较快的进展。国外按沸腾炉预热-竖炉离析方案，完成规模为日处理矿石五百吨的工业试验后，建立了日处理矿石四千吨的工厂进行生产。我国已按回转窑直接加热氯化离析方案建厂投产，并按沸腾炉预热-竖炉离析方案进行半工业规模的试验。

处理贫铋氧化-硫化混合矿，以食盐作氯化剂的回转窑高温氯化挥发焙烧，国外近来已取得半工业试验研究结果。我国某厂在生产中应用盐酸浸出法，从其它含铋量较低的矿石中回收了金属铋。

早期应用于处理贵金属矿石的氯化冶金方法，对于某些含硫、砷、铜较高或其它不便于用氰化法处理的“顽固”金矿石，仍然是比较有效的。目前，国内外对于处理“顽固”金矿石的高温氯化挥发焙烧和氯化浸出，均在进行不同规模的试验研究，可望成为贵金属生产的有效补充手段。

近二十年来，用氯化离析、高温氯化挥发焙烧、中温氯化焙烧、氯气浸出和盐酸浸出等氯化冶金方法处理贫镍矿，是国内外镍冶金研究工作的重要内容。其中，又以氯化离析的研究报导较多。但是，目前对这些方法的研究尚不成熟，实现工业规模的应用还有较大的差距。类似于处理贫镍矿的各种氯化冶金方法，已开始研究应用于从海底矿瘤中综合提取镍、钴、铜、锰等金属。

低品位钛铁矿的富集，是钛冶金中十分重要的问题。用氯化法脱铁从钛铁矿制取金红石，国内外均完成了半工业规模的试验，有可能得到大规模工业的应用。此外，用高温氯化挥发焙烧-分步冷凝的方法处理钛铁矿直接制取四氯化钛，也被认为是处理钛铁矿的重要方案之一，已有不少的研究报导。

用氯化冶金处理的低品位或难选矿石，还有低品位铁矿、铬铁矿、锰铁矿、铝土矿和铀矿等等，均处于试验研究阶段。

3. 综合利用冶金及化工过程的副产物

综合利用硫酸厂副产的黄铁矿烧渣，回收其中的铁、有色和稀贵金属，是氯化冶金在这一方面应用的典型例子。中温氯化焙烧-浸出法已有上百年工业应用的历史，我国按这种方法建立了生产车间，综合利用含钴较高的烧渣。综合利用黄铁矿烧渣的高温氯化挥发焙烧法的研究工作，近十多年来取得较大的进展。有的国家已按这种方法建立了年产数十万吨优质炼铁球团矿和回收多种有色金属的工厂。

用类似于处理黄铁矿烧渣的中温氯化焙烧-浸出法，可以对湿法炼锌浸出渣的综合利用。

此外，还有较多的试验研究工作，是用氯化冶金方法综合利用各种冶炼“废渣”（如含钽铌的炼锡炉渣、炼铜炉渣、锌蒸馏渣、钢渣、氧化铝生产中的赤泥）和烟灰（如含铅镉的锌冶炼烟灰、含稀散金属的铜冶炼烟灰、含锌铋的高炉烟灰）。

4. 金属和合金原料的处理

金属和合金“废屑”的回收利用，在国民经济中具有重要的意义。氯化冶金在这一方面可以发挥重要的作用。例如，用盐酸浸

出-氯化亚铁氢气还原法从废铁屑制取铁粉，是粉末冶金中制取纯铁粉的重要方法之一，国内正在进行半工业规模的试验研究。盐酸浸出法对于合金（如镍基合金、硬质合金）边角料的再生回收，也是有效的。

粗金属的氯化精炼，例如用氯气从铅中脱锌、用氯化亚锡从锡中脱铅，早已在生产中得到应用。用类似于粗锡的氯化精炼原理，还可以使铝镁合金、铁锌合金、铜镍合金中的合金元素得到有效分离。

歧化法精炼铝，虽然是一种古老的铝精炼方法，但目前研究应用这种方法从铝土矿还原熔炼所得的铝硅合金中制取纯金属铝，仍然具有一定的实际意义。

此外，采用氯化焙烧法处理核反应堆的废燃料，综合回收放射性元素，也属于氯化冶金在这一方面应用研究的例子。

5. 化学性质相近金属的分离

在有色和稀有金属冶金中，镍与钴、钽与铌、锆与铪都是在化学性质方面极为相近的金属，它们的分离比较困难。但是，利用它们的氯化物在性质方面的差异，有可能使困难得到克服。

镍与钴的氯化物在含氯离子较高的溶液中，形成络合阴离子的能力是不同的。利用这一特点，可用氯化法处理镍钴原料，使它们转变为氯化物并进入溶液，继而选用胺型（阴离子）萃取剂在一定氯离子浓度下使钴选择萃取与镍分离。近年来这种镍钴分离的方法，已在生产中得到广泛应用。

钽与铌分离的氯化物精馏法，研究较多而且具有一定的工业意义。此外，还有人研究矿石选择氯化焙烧、氯化物氢气选择还原、氯化物有机溶剂萃取、氯化物歧化分馏等分离钽铌的氯化冶金方法。

有关锆与铪分离的氯化冶金方法，研究较多的是氯化物金属选择还原和加压精馏。这些方法，目前虽然尚处于实验室规模的研究，但受到人们的重视，因为这些方法如果成功，将会大大地简化现有从锆英石精矿提取金属锆的氯化冶金生产工艺流程。