重有色金属冶金工厂技术培训教材
中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写

重金属冶金工厂原料的综合利用

丛书主编　彭容秋

中南大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP) 数据

重金属冶金工厂原料的综合利用 / 彭容秋 主编 . —长沙:
中南大学出版社, 2006. 6
ISBN 7-81105-285-7

Ⅰ. 重. . . Ⅱ. 彭. . . Ⅲ. 有色金属冶金 - 原料 - 回收
Ⅳ. TF80

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006) 第 031342 号

重金属冶金工厂原料的综合利用

彭容秋 主编

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织 编写

□责任编辑 李宗柏
□责任印制 汤庶平
□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: 0731-8876770 传真: 0731-8710482
□印 装 长沙市华中印刷厂

□开 本 787× 1092 1/16 □印张 17. 75 □字数 438 千字
□版 次 2006 年 6 月第 1 版 □2006 年 6 月第 1 次印刷
□书 号 ISBN 7-81105-285-7/TO · 009
□定 价 20. 00 元

图书出现印装问题, 请与经销商调换

内容提要

本书共分6章，在介绍重有色金属冶金资源中的共伴生元素及其综合利用概况的基础上，分章介绍了从重金属冶金副产品中回收贵金属、硒、碲、铋、镉、铟、锗、镓、铊以及伴生汞和伴生砷等内容。

全书简明地介绍了上述金属和元素的提取原理和生产与研究实践。本书内容丰富，编写简明，适合于重金属冶金工厂的生产管理人员和操作工人作技术培训教材用，也可供工厂的工程技术人员和技校及大专院校师生参考。

编者的话

进入21世纪，为了适应我国有色金属工业发展的需要，培养大批既懂有色金属冶金基本原理，又具有较高操作技能的新型技术人材，中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写了这一套重有色金属冶金工厂技术培训教材。

本书为这套培训丛书的第六分册，全书共分6章，在介绍重有色金属冶金资源中的共伴生元素及其综合利用概况的基础上，分章重点介绍了贵金属及硒、碲的回收，铋的回收，镉的回收，铟、锗、镓、铊的回收，以及伴生汞和伴生砷的回收等内容。近半个世纪以来，我国有色冶金工厂在综合回收冶金原料的伴生金属和元素方面做了大量卓有成效的工作，由于时间仓促、市场竞争和技术保密等原因，我们未能全面收集各厂在该领域中的技术进步成果。但书中收集的国内外公开发表的与综合利用相关的部分简明资料，将对读者有所借鉴，有所启迪，我们期待广大读者在发展循环经济、实施循环经济改造，抓好有色金属共伴生矿产资源综合利用的事业中，发挥自己的聪明才智，作出新的贡献。

由于参编人员水平有限，书中难免出现某些缺点和错误，敬请读者批评指正，竭诚感激。

编　者

2006年6月

《重有色金属冶金工厂技术培训教材》编委会

主　任　张兆祥

副主任　(按姓氏笔画排序)

王一滔　王洪江　安　本　李沛兴　何云辉　吴吉孟
杨安国　张伟健　罗忠民　林升叨　贺家齐　侯宝泉
葛启录

主　编　彭容秋

副主编　任鸿九　张训鹏

编　委　(按姓氏笔画排序)

马　进　于晓霞　王一滔　文丕忠　王守彬　王洪江
王彦坤　王建铭　王盛琪　孔祥征　龙运炳　叶际宣
刘中华　刘华文　江晓武　安　本　李沛兴　李仲文
李维群　李景峰　朴东鹤　孙中森　任鸿九　许永武
宋兴诚　汪友元　肖　珲　陈　进　陈　莉　陈忠和
何云辉　何蔼平　吴吉孟　沈立俊　余忠珠　周　俊
林升叨　杨安国　杨　龙　杨小琴　张卫国　张伟健
张顺应　张训鹏　张兆祥　罗忠民　宝国锋　苗立强
姚素平　赵文厚　赵　永　贺家齐　洪文灿　胡耀琼
徐　毅　徐　爽　席　斌　高心魁　侯宝泉　贾建华
尉克俭　黄太祥　黄建国　戚永明　蒋龙福　葛启录
舒毓璋　彭容秋　翟保金　谭　宁　谭世雄　潘恒礼

秘书长　尉克俭　陈　莉

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《重有色金属冶金工厂技术培训教材》参编单位

中国有色工程设计研究总院
南昌有色冶金设计研究院
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

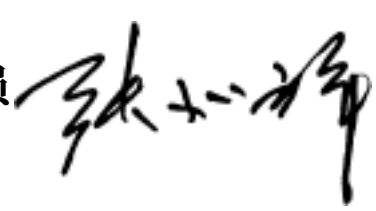
序

进入 21 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 1000 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，L - SX - EW 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



2004 年 12 月

目 录

1 重有色金属冶金资源中的共伴生元素及其综合利用概况 …… (1)

1.1 重金属冶金资源中的共伴生元素 …… (1)
1.2 重金属冶金资源中伴生金属的综合回收 …… (2)
1.3 重金属冶炼厂伴生金属的走向 …… (7)
1.4 综合回收伴生元素的主要方法 …… (15)

2 从重金属冶金副产品中回收贵金属及硒碲 …… (17)

2.1 铜电解和铅电解所产阳极泥的组成和性质 …… (17)
2.1.1 铜阳极泥的化学成分和物相组成 …… (17)
2.1.2 铅阳极泥的化学成分和物相组成 …… (19)
2.2 铜阳极泥预处理脱除贱金属 …… (20)
2.2.1 焙烧脱硒 …… (20)
2.2.2 酸浸脱铜 …… (22)
2.3 阳极泥熔炼和贵铅的氧化精炼 …… (23)
2.3.1 阳极泥的还原熔炼 …… (23)
2.3.2 贵铅的氧化精炼 …… (25)
2.4 银电解精炼 …… (28)
2.4.1 银电解的基本原理 …… (28)
2.4.2 硝酸银电解液的组成及制备 …… (30)
2.4.3 银电解的技术条件、设备及操作 …… (30)
2.4.4 电解废液和洗液的处理 …… (32)
2.4.5 银电解操作及主要技术经济指标 …… (32)
2.4.6 银电解阳极泥的处理 …… (34)
2.5 金电解精炼 …… (34)
2.5.1 金电解精炼的基本原理 …… (34)
2.5.2 金电解精炼的实践 …… (36)
2.5.3 金电解精炼的工艺操作条件 …… (37)
2.5.4 金电解精炼的产品及处理 …… (38)
2.6 铂、钯的提取 …… (38)
2.6.1 铂钯精矿的溶解 …… (38)
2.6.2 铂钯的分离 …… (40)
2.6.3 铂的精炼 …… (40)
2.6.4 钯的精炼 …… (40)
2.6.5 铂、钯产品的制取 …… (42)

2.6.6 工艺技术操作条件 …… (42)
2.7 硒、碲的提取 …… (45)
2.7.1 粗硒的精制 …… (45)
2.7.2 碲的提取 …… (54)
2.8 阳极泥的湿法处理 …… (60)
2.8.1 阳极泥湿法处理的工艺流程 …… (61)
2.8.2 阳极泥湿法处理过程中的贱金属分离 …… (63)
2.8.3 银的湿法提取 …… (71)
2.8.4 金的湿法提取 …… (73)
2.9 银锌壳的处理 …… (77)
2.9.1 粗铅火法精炼的银锌壳的处理 …… (78)
2.9.2 粗铋火法精炼的银锌壳的处理 …… (80)

3 从铅阳极泥和铜转炉烟尘中回收铋 …… (82)

3.1 炼铅厂和炼铜厂含铋副产物的化学成分 …… (82)
3.2 含铋物料的熔炼方法及其基本原理 …… (82)
3.2.1 金属氧化物用碳还原的基本原理 …… (84)
3.2.2 金属硫化物用铁屑置换的沉淀熔炼原理 …… (85)
3.2.3 硫化铋、氧化铋混合熔炼的基本反应 …… (86)
3.3 混合熔炼法处理铅阳极泥的氧化铋渣 …… (87)
3.3.1 混合熔炼的配料 …… (87)
3.3.2 炉料成分在熔炼中发生的主要化学反应 …… (88)
3.3.3 铋熔炼的产物 …… (90)
3.4 铋的反射炉熔炼 …… (91)
3.4.1 反射炉的结构及其性能 …… (91)
3.4.2 铋反射炉熔炼的操作 …… (93)
3.4.3 铋熔炼反射炉的炉结形成原因及其处理 …… (93)
3.5 铋的回转炉熔炼 …… (94)
3.5.1 炼铋回转炉的构造及其技术性能 …… (94)
3.5.2 回转炉熔炼的操作及技术操作条件 …… (95)
3.6 铋火法粗炼的主要技术经济指标 …… (96)
3.7 湿法冶金从氧化铋渣中提铋 …… (97)
3.7.1 硫酸 - 盐酸复浸出法从氧化铋渣提铋 …… (97)
3.7.2 硫酸 - 氯化钠混合溶液浸出法处理氧化铋渣 …… (100)
3.8 从含铋高的铅阳极泥回收铋 …… (102)
3.9 从铜冶炼转炉烟尘中回收铋 …… (104)
3.9.1 用硫酸 - 氯化钠混合溶液浸出法处理转炉烟尘 …… (105)
3.9.2 用还原熔炼方法富集转炉烟尘中的铋 …… (106)
3.10 粗铋的精炼 …… (109)

3.10.1 粗铋的火法精炼 …… (109)
3.10.2 粗铋的电解精炼 …… (111)

4 从铜镉渣及含镉烟尘中回收镉 …… (113)

4.1 铜镉渣及含镉烟尘的化学成分 …… (113)
4.2 铜镉渣与含镉烟尘的浸出 …… (114)
4.2.1 浸出基本原理 …… (114)
4.2.2 影响浸出的因素 …… (116)
4.2.3 浸出操作实践 …… (118)
4.3 置换法从镉溶液中提取镉 …… (121)
4.3.1 置换沉积原理 …… (121)
4.3.2 影响置换过程的因素 …… (123)
4.3.3 置换法提镉生产实践 …… (124)
4.4 电积法从镉溶液中提取镉 …… (133)
4.4.1 镉电积过程的基本原理 …… (133)
4.4.2 杂质元素对镉电积过程的影响 …… (133)
4.4.3 电积法提镉的生产实践 …… (134)

5 从重金属冶金中间产物中回收稀散金属 …… (137)

5.1 从锌浸出渣或铁矾渣中回收铟、锗、镓 …… (137)
5.1.1 P - M法回收铟、锗、镓 …… (138)
5.1.2 综合法回收铟、锗、镓 …… (138)
5.1.3 从氧化锌粉酸浸液中直接萃取回收铟 …… (140)
5.1.4 从铁矾渣中回收铟 …… (149)
5.1.5 用 P_{204} 从低酸浸出还原液中萃取铟 …… (151)
5.1.6 从硫酸锌溶液锌粉置换渣中提取铟 …… (152)
5.1.7 从锌真空蒸馏渣中提取铟 …… (155)
5.1.8 从铅、铜、锡冶炼烟尘中提取铟 …… (156)
5.1.9 从氧化锌粉酸浸液中回收锗 …… (156)
5.1.10 从氧化锌粉酸浸液中回收镓 …… (157)
5.1.11 选冶联合法从锌浸出渣的挥发窑渣中回收镓、铟、锗、银 …… (159)
5.1.12 赤铁矿 - 萃取法从锌浸出渣中回收镓、铟、铜、银 …… (159)
5.1.13 从水淬渣中回收镓 …… (161)
5.2 从含锗渣料中回收锗 …… (162)
5.2.1 含锗物料的经典氯化法回收锗 …… (162)
5.2.2 高砷含锗渣料碱土金属氯化物蒸馏法提锗 …… (163)
5.2.3 含锗渣料的烟化法提锗 …… (164)
5.2.4 含锗高铁渣料还原熔炼—电解法回收锗 …… (165)
5.2.5 从硬锌蒸馏炉渣中回收锗 …… (166)

5.3 从铅冶炼烟尘和电解液中回收铊 …… (168)
5.3.1 从铅烧结烟尘中回收铊 …… (168)
5.3.2 从锌镉渣或铜镉渣中回收铊 …… (169)
5.3.3 从高砷含铊渣料中提取铊 …… (170)
5.3.4 从脱铅电解液中提取铊 …… (171)

6 有色冶金中伴生汞和伴生砷的回收 …… (173)

6.1 从锌精矿焙烧或烧结烟气中回收汞 …… (173)
6.1.1 直接冷却法 …… (173)
6.1.2 碘络合—电解法 …… (173)
6.1.3 硫酸洗涤法 …… (174)
6.1.4 波立顿 - 罗尔锌法 …… (174)
6.2 伴生砷的回收 …… (176)
6.2.1 砷制品的用途和商情 …… (176)
6.2.2 环境保护要求限制排砷 …… (179)
6.2.3 有色冶金中伴生砷的处理现状 …… (181)
6.2.4 湿法白砷——木材防腐剂 CCA 生产的重要原料 …… (187)

参考文献 …… (193)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1　重有色金属冶金资源中的共伴生元素及其综合利用概况

1.1　重金属冶金资源中的共伴生元素

重有色金属包括铜、铅、锌、镍、钴、锡、锑、汞、铋、镉等 10 种金属，前 8 种金属从原料到成品都已形成各自独立的工业生产体系，后两种(镉和铋)差不多全是在处理复杂的多金属铅、锌、铜(或其他重有色金属)矿石时提取出来的副产品。

10 种重金属的矿床大多是多金属共生矿。除锡的矿物外，其他金属主要是以硫化矿的形态存在。所以从重金属矿物原料中回收硫，是重金属冶金工业的一项重要任务。据 2001 年的生产统计，我国冶炼制酸的硫酸产量占全国硫酸总产量的 25%，其中新建的大型铜冶炼企业的硫利用率达到 95% 以上。除硫以外，重金属矿物原料中还伴生有多种稀散金属和贵金属。所以重金属冶金工厂也是生产稀散金属和贵金属的工厂，每年可以向市场提供 20 多种金属及其化工产品，包括了元素周期表中ⅢA、ⅣA、ⅤA、ⅥA 各主族和ⅠB、ⅡB 和 Ⅷ族中的大部分金属元素，如图 1 - 1 所示。

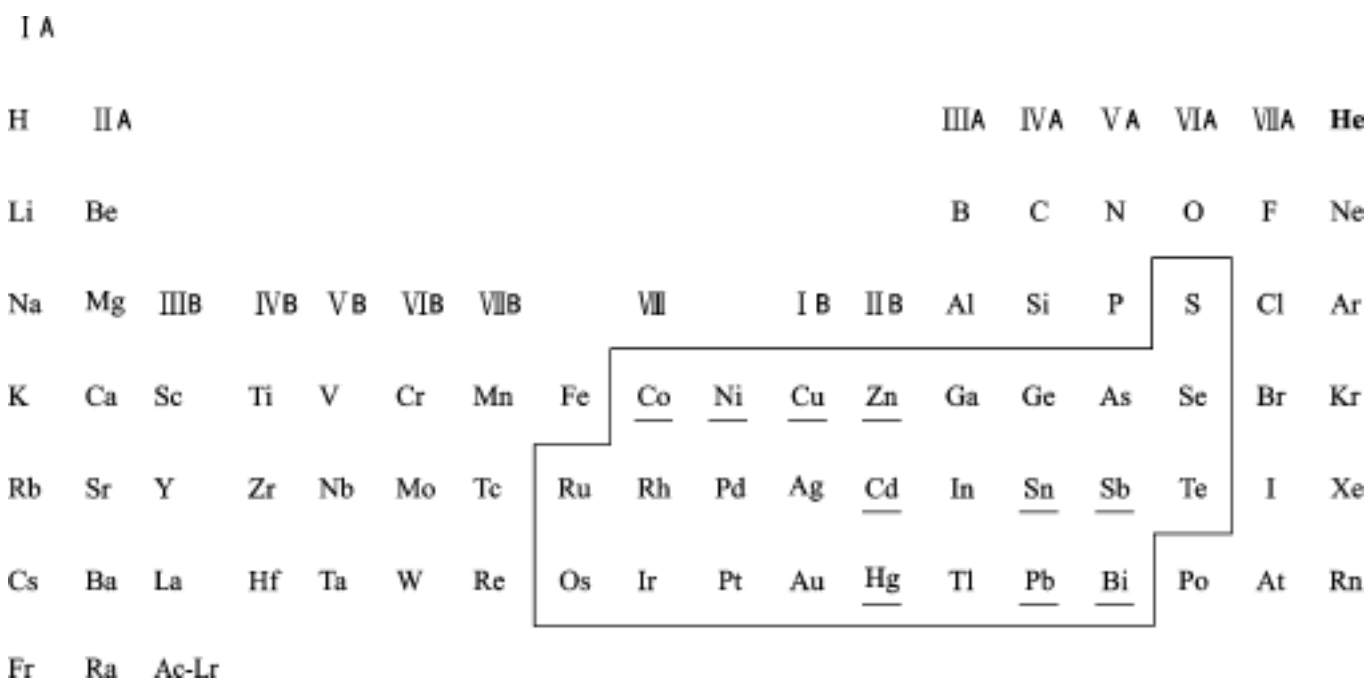


图 1 - 1　10 种重有色金属及其共伴生元素在元素周期表中的位置

注：黑线框内划底线的为 10 种重金属，其余的均为它们的共伴生元素

1.2 重金属冶金资源中伴生金属的综合回收

尽管重金属因各自的特性及赋存的矿物原料不同，冶炼方法及其生产流程各异，但都可以从生产过程中综合回收多种伴生元素。10 种重金属的主要冶炼方法及可回收的元素概括在表 1 - 1 中。

表 1 - 1 10 种重金属的冶炼方法及可综合回收的元素

金属	原 料	预 处 理	金属生产	精 炼	综合回收的元素
铜	硫化矿 氧化矿	造锍熔炼 浸出—萃取	转炉吹炼 电 积	电解	S, Au, Se, Te, Bi, Ni, Co, Pb, Zn, Ag
镍	硫化矿 氧化矿 混合矿	造锍熔炼—吹炼 造锍熔炼、焙烧 加压氨浸	磨浮 还原 加压氢还原	电解 电解	Co, Pt 族, S, Cu, Au, Ag, Se
钴	铜镍矿伴生	硫酸化焙烧—浸出	还原—电解		Co
锌	硫化矿	烧结 焙烧—浸出—净化	碳还原 电积	精馏	S, Cd, In, Ge, Ga, Co, Cu, Pb, Ag, Hg
镉	烟尘 净化渣	浸出—净化	锌置换 电积	精馏	Tl
铅	硫化矿	烧结	碳还原	电解 火法精炼	S, Ag, Bi, Tl, Sn, Sb, Se, Te, Cu, Zn, Au
铋	硫化矿 铅铜伴生物		铁屑还原 碳还原	电解 火法精炼	Pb, Cu, Ag, Te
锡	氧化矿	精选—浸出—焙烧	碳还原	火法精炼 电解	Cu, Pb, Bi, Au, Ag, As, W, Ta, Nb
锑	硫化矿	焙烧 浸出	碳还原 电积	火法精炼	Au, S, Se, Te, As
汞	硫化矿	焙烧	热分解		Hg

有色重金属冶金资源的综合利用就是最大限度地回收各种伴生元素的有价成分，达到有效地利用矿产资源，取得最佳的技术经济效果。资源综合利用程度，主要取决于冶炼工艺和综合回收技术的完整程度。其经济效果，以产品的产值和利润在总产值和总利润中所占的比重来衡量。我国某铅锌冶炼厂近年来综合利用伴生元素效果如表 1 - 2 所示。该厂在全面落实科学发展观的过程中，加快发展循环经济，努力建设资源节约型、环境友好型的重金属冶炼企业。

表 1-2　我国某铅锌冶炼厂近年来综合利用伴生元素效果

项　　目	2000	2001	2002	2003	2004
综合利用伴生金属量/t	13673	15259	18396	18886	19500
综合利用伴生硫量/t	124124	125196	149730	120194	153918
资源综合利用率/%	73.5	73.4	73.27	72.14	76.01
综合利用产品产值/万元	29489	44089	36051	36653	43785
综合利用产品利润/万元	7630	3052	2269	6340	19543
综合利用产品税金/万元	1594	1024	1287	2821	6446
产值占企业总产值的比例/%	17.68	17.26	13.55	13.13	15.6

有色重金属冶金资源中的镓、铟、铊、锗、硒、碲等稀散金属在自然界很分散，很少形成单独矿物，镉、铋等重金属很少形成单一矿床，这些现代工业需要的重要金属，主要是从重金属冶金中综合回收。金、银特别是铂族金属，在矿石中含量极低，通过主金属冶炼过程逐步富集，可以提取出来，这是贵金属的重要来源。

(1) 铋主要从铅冶炼，其次从铜、锡冶炼过程中回收

铋很少单独成矿，世界上仅有中国、玻利维亚等少数国家用铋精矿生产部分铋，其余大部分铋的生产来自铅、铜和锡等金属生产的副产品，其原料主要是铜冶炼烟尘、铅电解阳极泥和铅火法精炼铋钙镁浮渣。目前，世界铋产量为 4000 t/a 左右，中国是最大的生产国，铋产量在 1200 t 以上，占世界总产量的四分之一多。铋的生产除赣州有色金属冶炼厂、柿竹园有色金属矿从铋精矿生产铋以外，株冶、云锡、大冶豫光和水口山等冶炼厂都是从铅、铜、锡冶炼副产物中生产铋的主要厂家。

(2) 镉主要从锌冶炼，其次从铜、铅冶炼过程中回收

地壳中无工业价值的单独存在的镉矿，工业生产提取镉的原料都是锌、铅和铜冶金工厂的中间物料，其中 95% 的镉来自锌生产的中间物料，如锌湿法冶金净化工序产出的含镉渣(Cd 4.5% ~40%)、锌蒸馏工厂的富镉蓝粉(Cd 0.5% ~10%)、炼铜与炼铅工厂的烟尘(Cd 2.0% ~5.0%)以及锌焙烧烟尘。目前世界上镉产量约为 20 000 t/a，其产量主要取决于锌的生产，与市场需求关系不大。中国是目前最大的锌生产国，必然也是最大的镉生产国。

(3) 从铅、锌、铜、硫化矿焙烧中回收汞

汞在很多金属如铜、铅、锌的硫化矿中常以微量元素出现，但选矿时富集于精矿，含汞量一般达 0.01% ~0.03%。在精矿焙烧时，汞随之挥发，以汞蒸气和化合物形态进入含 SO_2 的烟气中，其浓度达 40 ~80 mg/m^3，烟气制酸时有近半数的汞进入硫酸，影响酸的质量。近些年来，铅锌冶炼厂已有多种烟气脱汞方法获得工业应用，在消除汞害的同时，副产金属汞或汞的化工产品。例如，芬兰奥托昆普公司锌精矿焙烧烟气用浓硫酸洗涤，汞氧化沉淀，沉淀物加石灰焙烧，使汞再蒸发、冷凝回收，每年回收 100 t 汞。中国是世界上汞的主要生产国，1998 年产量为 225 t，其中重金属冶炼厂副产汞为 45 t，占 20%。近年来由于市场萎缩，汞产量下降。

(4) 从铜、铅、锌和锑汞矿中回收伴生的黄金

在有色金属矿产中，伴生金的矿种最多是硫化铜矿，其次是铅锌矿和锑汞矿。根据世界主要产金国的有关伴生金资料及47个重要伴生金矿地质资料统计，世界伴生金情况见表1-3。

表1-3 国外部分有色金属矿山各矿种的伴生金比例

矿 种	矿床数	矿床数比/%	黄金储量/t	储量比/%
铜 矿	34	73.43	3468.09	93.98
铅锌矿	12	25.53	216.76	5.87
锑汞矿	1	2.13	5.5	0.15
合 计	47	100.00	3690.35	100.00

我国黄金储量占世界第4位，其中有色金属矿山伴生的黄金储量占我国黄金总储量的40%以上，以具体矿床而言，我国12个最大的、黄金储量超过50 t的矿床中，伴生金矿床就占7个，而且第一、三、四、五位储量的矿床都是伴生金矿床。我国有色行业黄金生产单位300多个，伴生金产量占黄金总产量的25.3%，其中60%集中在黄金产量最大的五个铜业公司，即江铜、大冶、铜陵、白银、中条山等铜业公司，这些企业所得利润有相当部分已不完全靠铜精矿、铅精矿或粗铜、粗铅等产品，其中有的企业的实际利润已有大半以上是来自产品中的伴生金银。

(5) 伴生银多产于铅锌矿中，其次产于铜矿

世界上75%的银产自含银的铜、铅、锌的硫化矿和处理金矿过程中的副产品，其中45%产自铅锌矿，18%产自铜矿，从单独的银矿产出的银仅占20%。我国重有色金属矿山伴生银回收的比例更高，具体实例见表1-4。

表1-4 我国有色金属矿山伴生金银回收比例(1987年)

精矿名称	黄 金/%	白 银/%
铜精矿	87.95	32.17
铅精矿	7.15	52.89
锌精矿		11.86
金精矿	4.10	0.05
银精矿	0.14	2.13
其他精矿	0.66	0.90
合 计	100.00	100.00

我国目前暂按矿石银品位划分资源类型：Ag > 150 g/t称独立银矿(含银的价值远超过其他共生金属)，Ag 50 ～150 g/t称共生银矿，Ag < 50 g/t为伴生银矿。富伴生银矿(品位大于50 g/t)，主要产于铅锌矿(占65.2%)，其次为铜矿(占18.3%)；贫伴生银矿(品位小于50 g/t)多与铅锌矿(占37.5%)和铜矿(占35.8%)有关。我国富伴生银矿储量占伴生银矿总

储量的 23.6%，贫伴生银矿占 76.4%。

在熔炼含银硫化铜、铅精矿过程中，银富集于铜、铅电解精炼的阳极泥中。铜、铅阳极泥成分随冶炼原料不同而变化，波动范围很大。某重金属冶炼厂铜、铅阳极泥成分如表 1 - 5。

表 1 - 5　铜、铅阳极泥成分 /%

元　素	铜阳极泥	铅阳极泥	元　素	铜阳极泥	铅阳极泥
Au	0.4 ~4.5	0.02 ~0.07	Te	0.4 ~1.2	0.1 ~0.5
Ag	10 ~24	8 ~14	SiO_2	10 ~20	2 ~8
Cu	10 ~25	0.5 ~1.5	As	2 ~5	5 ~20
Pb	7 ~12	10 ~25	Sb	3 ~10	10 ~30
Bi	0.5	4 ~25	CaO	0.5 ~1.5	0.5 ~2
Se	2 ~6	微量			

(6) 从铅、锌、铜等矿物原料中提取伴生的稀散金属

稀散金属在自然界中主要以分散状态存在，多与有色金属特别是铜、铅、锌和锡等重金属伴生。由于稀散金属的地球化学性质与许多有色金属近似，故常共生于同一矿床之中，出现共同的矿床类型。主要含稀散金属的重金属矿物如表 1 - 6 所列。

表 1 - 6　一些重金属矿物的稀散金属含量 /($g \cdot t^{-1}$)

矿　物	镓	铟	铊	锗	硒	碲
黄铜矿	1 ~100	5 ~600	5 ~300	1 ~100	5 ~1500	5 ~500
方铅矿	1 ~300	2 ~100	20 ~3000	1 ~50	5 ~20000	5 ~5000
闪锌矿	5 ~1000	5 ~10000	1 ~1000	1 ~350	5 ~150	5 ~100
黄铁矿	1 ~100	1 ~100	1 ~3800	1 ~50	5 ~3000	5 ~1000
磁黄铁矿	5 ~200	0 ~200	0 ~1000	—	1 ~150	5 ~50
镍黄铁矿	—	—	—	—	1 ~100	1 ~15
斑铜矿	5 ~200	—	0 ~10	1 ~150	10 ~200	1 ~50
黝铜矿	5 ~300	5 ~200	0 ~100	4 ~500	—	0 ~1500
辉锑矿	1 ~10	—	10 ~100	—	1 ~100	1 ~50
辰　砂	—	0 ~10	10 ~100	—	10 ~40	—
锡　石	1 ~50	10 ~100	—	1 ~10	—	—
硫砷铜矿	0 ~200	—	0 ~1000	500 ~1000	10 ~75	5 ~500

从表 1 - 6 可见：闪锌矿一般都富含锗、镓及铟，个别还富含铊、硒与碲；黄铜矿、黝铜矿和硫砷铜矿通常富含铊、硒及碲，个别还富含铟与锗；方铅矿多数富含铟、铊、硒及碲；黄

铁矿大量与重金属硫化矿共生，它富含铊与镓，常常更富含硒与碲等。

稀散金属是我国的优势产业，储量丰富，其中镓、铟、铊、锗储量居世界第一位，碲居第三位。特大型富稀散金属的重有色金属矿床有：德兴铜矿（含 Ga 0.03%，In 0.0018%），大厂锡矿（含 Ga 0.0035%，In 0.112%），城门山铜矿（含 Se 0.0014%，Te 0.0028%），会泽、凡口铅锌矿（含 Ge 0.003%）。

全世界约 90% 的铟是从冶炼铅、锌的副产品中回收，锡冶炼也回收铟。我国是富产铟的国家，最佳铟工业矿床如表 1-7 所列。湿法炼锌的浸出渣和铜镉渣，火法炼锌的精馏渣，粗铅火法精炼浮渣，铜、铅、锌、锡冶炼的烟尘，铜和铅电解精炼的阳极泥等均可作为提铟的原料。

表 1-7 中国最佳铟工业矿床

矿产类型		利用情况	最佳工业矿床	
矿产类	品位/%		矿产地	品位/%
铅锌锡矿	0.002～0.112	已用	广西大厂	0.112
铅锌矿	0.0003～0.006	已用	青海锡铁山	0.006
多金属矿	0.004～0.01		云南都龙	0.0052
硫化铜矿	0.0002～0.004		湖北吉龙山	0.004

镓通常与周期表相邻的元素铝、锌、锗伴生，分散在铝土矿、闪锌矿和锗石中，因此，除铝土矿外，第二个重要的镓资源是闪锌矿，含镓量大于 0.001%。炼锌厂从湿法炼锌的浸出渣或火法炼锌的蒸馏残渣中回收镓。但对中国来说，攀枝花多金属矿的镓资源占我国镓资源储量的 90%，对它的利用应统筹安排和重视。

在地球化学中，铊属亲铜元素，故常伴生于铅、锌、铜、铁等硫化矿物中，方铅矿含铊一般为 20～3000 g/t，闪锌矿中含铊 1～1000 g/t，黄铁矿含铊 1～3800 g/t。提取铊的主要原料来自铜、铅、锌冶炼过程中的烟尘，以及黄铁矿制酸过程中产生的酸泥。在湿法炼锌中，锌精矿中 70%～84% 的铊在流态化焙烧时挥发进入烟尘，其余留在锌焙砂中，焙砂经酸浸出后再净化除铜镉时焙砂中 70% 的铊以金属形态进铜镉渣；在火法炼锌中，约有 50% 的铊富集在烟尘中，铅锌精矿焙烧烟尘中含铊量达 0.01%，具有回收价值。在湿法炼锌净液产生的铜镉渣中也含有相当数量的铊，可供回收。

锗通常以伴生状态存在于闪锌矿及其他硫化矿物中。闪锌矿含锗量约 0.01%～0.1%。现代工业生产的锗主要是铜、铅、锌冶炼厂的副产品。

碲主要与黄铜矿、黄铁矿和闪锌矿等共生，碲在这些矿中的含量为 0.001%～0.1%。工业上提取碲的主要原料是铜电解阳极泥，生产 1 t 电铜约可回收 50 g 碲，其次为有色金属冶炼厂的烟尘，硫酸厂的酸泥。

硒多伴生在黄铜矿、斑铜矿和黄铁矿等矿物中，故而硒的产量在很大程度上取决于铜的生产情况。铜阳极泥是生产硒的主要原料，一般含硒达 3.1%～28.4%，其次是铅或镍的阳极泥及有色金属冶炼的烟尘。冶炼烟气制酸产出的酸泥，含 Se0.1%～3.1%，也是硒的一种潜在资源。

需要全本请访问 www.ertongbook.com