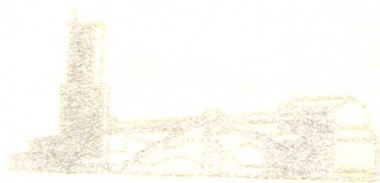


金和银氰化厂生产实践

(续 卷)



冶金工业出版社

938
28

金和银氰化厂生产实践

〔美〕 F. W. 小麦魁斯顿 著
R. S. 休梅克
朱国明 严新毓等 译

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书译自美国AIME的采矿工程师学会1981年出版的F.W. McQuiston, Jr. 和R.S. Shoemaker合著《Gold and Silver Cyanidation Plant Practice (Volume I)》。作为此书的首卷,原书是AIME 1975年出版的《Gold and Silver Cyanidation Plant Practice (Monograph)》,中译本是冶金工业出版社1978年出版的《金和银氰化厂生产实践》。

本书分金和银矿石的堆浸,炭浆法回收金和银,常规氰化厂金银生产实践和其他工艺等四章,具体介绍了国外26个回收金和银的生产实例。本书可供从事金银生产、科研、设计的科技人员以及大专院校有关专业师生参考。

参加本书翻译的有褚会方、谢长春、马国武、朱国明、严新毓,全书由朱国明、严新毓负责总校对。

金和银氰化厂生产实践

(续卷)

【美】F.W. 小麦魁斯頓 R.S. 休梅克 著

朱国明 严新毓 等译

责任编辑 黄淦祥

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷29号)

新华书店北京发行所发行

轻工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张, 5¹/₄ 字数: 114千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数00,001~1,760册

ISBN7-5024-0306-x

TD·54 定价1.25元

序 言

目前，金银矿石以氰化法提取金和银，已有九十多年的历史，但它在与新方法的竞争中仍无逊色。这主要归功于工程师和冶金学家在矿石的准备处理方面，在从贵金属的溶解到沉淀的各个基本化学阶段，都有巧妙的技术发明和创新，他们以这种卓越才能使氰化法适用于处理各种类型的矿石。

金银矿石是复杂的集合体，每个地区的矿石——即使是同一矿区内的不同矿体，均各不相同，这就需要不同的处理工艺过程，常常是多种工艺方法相结合。近代氰化法生产实践范围是从单一的氰化选金厂直到用它来处理尾矿或选矿过程的精矿。氰化法已成功地应用于经过细磨后的矿石，也可以处理废石堆场相当粗的物料，其粒度相当于破碎后的产品。总而言之，目的是要以最低的成本和最高的提取率回收贵金属，氰化法确实被认为是可达到这一目的的有效方法。

由于实际中的千差万别，氰化法的技术性文献很难会给人们提供理想的资料。几十种专业性杂志和工程、科学协会的会刊可能提供大量有价值的报道。除非偶然遇到综合性很强的刊物提供你所需资料外，还想得到能满足研究任务所需要的情报是很难的。在氰化法早期的几十年里符合这种要求的书很多，但是它们现在已变成历史资料。在最近半个世纪里，仅出版了很少几本著作。1936年，由约翰·V.N.道尔(John V.N.Dorr)编写出版了《金银矿石的氰化和选矿》(*Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*) 第一版。1950年，道尔和弗朗西斯·L.博斯基(Francis L.Bosqui)合编出版了《金银矿石的氰化和

选矿》第二版。该书至今被认为是一本权威性的教科书。

三十年后的今天，技术上的巨大进步要求有新的著作来反映现代的生产实践和理论。这项工作，由小弗兰克·麦魁斯顿 (Frank McQuiston) 和罗伯特·休梅克 (Robert Shoemaker) 出色地完成了，并已于1975年出版了《金和银氰化厂生产实践》(*Gold and Silver Cyanidation Plant Practice*)。1981年即将出版该书的续卷。它不仅记载当今的常规选金厂，而且着重描述了炭浆法和堆浸法。毫无疑问，这两册书将成为这一领域划时代的里程碑。这两位作者都是杰出的工程师和冶金学家，精通氰化法的专家，而他们的经验和专业活动都远远超过这一领域。所有矿山工作者，应该感谢这两位辛勤的专家。他们花费了大量时间，对当今金银生产厂矿的生产实践作了卓有成效的总结。

我在大学的年代里，写了《氰化法概论》一文。彼时，我在格拉斯谷(Grass Valley)的北极星矿(North Star Mine)中央选矿厂找到一个职位最低的工作，渡过了整整一个夏天。翌年夏天，我又在霍姆斯特克(Homestake)氰化厂类似的岗位上工作。在北极星矿选金厂，我熟悉了奥利弗(Oliver)连续式过滤机的操作。在黑山地区(Black Hills)，我有机会看到查理斯·麦瑞尔(Charles Merrill)如何处理泥、砂分选问题以及开始使用锌粉置换金的过程，该法是至今仍被广泛应用的克洛韦(Crowe)提纯法。

我幸运地认识了爱德华·奥利弗(Edward Oliver)和查理斯·麦瑞尔，后来又与道尔一起，在他的公司里工作了多年。道尔先生在黑山地区开始他的选矿生涯时，大约和麦瑞尔先生是在同一个年代。与道尔有密切相关的有一座小

IV

型选金厂，该厂所处理的矿石与霍姆斯特克选金厂极不相同，他在那里做出了许多著名的发明。这些发明有以他的名字命名的分级机、浓缩机和搅拌槽。这些设备至今依然在全世界被广泛应用。

我在颂扬三位前辈的先导时，虽然我与氰化法的联系已经很少了，但我对它的兴趣还依然如故，这是因为我和道尔公司组成了联合公司，而且我作为霍姆斯特克矿业公司的高级职员工作了多年，约七十多年前在那里建成的麦瑞尔所拥有的选金厂至今还仍有效地生产着。

长期以来，我很少参与其他选矿工作者的工作，可是我仍然保持着在氰化法方面的兴趣，小麦魁斯顿和休梅克诚恳地请我为本书撰写一篇序言时，我欣然地接受了。他们两位现在已是成熟的专业工作者，他们应当被看成比我年轻一代的代表。我借此机会向他们和所有已掌握近代高水平氰化法的年轻人表示衷心地感谢和赞赏。

唐纳尔德·H. 麦克拉夫林

(Donald H. McLaughlin)

于美国加利福尼亚州旧金山

1980年11月4日

编 者 序

1975年，我们合著了一本《金和银氰化厂生产实践》。该书由AIME的采矿工程师学会(SME)出版，它的内容是在编写《选矿手册》过程中，摘录出的贵金属部分。《选矿手册》也将由AIME的采矿工程师学会出版。在编写那本书时，当时只有美国南达科他州的霍姆斯特克矿业公司独家使用炭浆法，同时黄金堆浸也只是刚开始采用。时隔几年以后，几家炭浆法选金厂已相继投产，另一些厂也正处于设计、建设阶段之中。此外，在美国内华达州至少有二十三家堆浸选金厂投入生产，在亚利桑那州、蒙塔那州、科罗拉多州、新墨西哥州以及澳大利亚等地也分布有若干个。不幸的是其中一部分已经失败了，而其中另外一些堆浸场由于金价上涨而侥幸地保存下来了，他们实际上已提高了贵金属回收方面的科学水平。在炭浆法及堆浸方面，美国矿务局作出了特别重要的贡献。乔治·波特(George Potter)、哈里斯·索里兹伯里(Harris Salisbury)、J.B.萨德拉(Sadra)等表现得特别突出，未来的金银冶金工作者将会提及他们的贡献。除此以外，J.S.麦克阿瑟(MacArthur)、J.E.克伦内尔(Clennell)、E.M.汉密尔顿(Hamilton)、T.G.查普曼(Chapman)等人也表现得很突出。

本书除叙述炭浆法和堆浸之外，作者还得到了在编写《金和银氰化厂生产实践》第一版时还没有得到的一些常规贵金属选厂的数据资料。该书虽已尽可能作出努力来描述各生产厂矿的工艺过程、设备变动、一些各有的特点以及规模大小，但因种种自身条件的限制，一些既突出又成熟的生产厂矿却没有能包括进去。

作者原意借此机会对本书慷慨提供资料的人们和采金公司予以衷心地感谢！他们的名字将在后面的章、节中公布出来。此外，我们对伯克特（Bechtel）股份有限公司为本书提供了大量的工程图纸，并安排了打印工作表示谢意。同时感谢阿里娜·露毕诺（Arlene Rubino）小姐，她打印了大量的手稿。这些手稿有来自加利福尼亚州的纳帕（Napa）、旧金山（San Francisco）和伯灵格姆（Burlingame），有的是从澳大利亚的莫尔斯比港（Port Moresby）和布干维尔（Bougainville）等不同地方送来的。其中有许多是航空邮件。

在编写本书的同时，美国内华达州的图斯卡洛拉（Tuscarora）有许多金银矿石堆浸场均在设计、建设和生产之中，这使得本书作者想起卡勒梅特·赫克拉公司（Calumet & Hecla）的总工艺师C·哈利·贝内德克特（Harry Benedict）在《苏必利尔湖选矿厂实践》“Lake Superior Milling Practice”一书中说过：

“为了回收开维那（Keeweenaw）半岛矿床的细粒自然铜的问题，不同的发现者都遭受过种种失败，但他们一直勇敢地、不知疲倦地攻克了机械、工艺、电冶金、化学机理等一系列的难关”。（摘自《密执安州矿物资源》1899年）

可以相信，贵金属冶金这门学科和生产实践和上面所说的情况是一样的。

F.W.小麦魁斯顿

于加利福尼亚州的纳帕

R.S.休梅克

于加利福尼亚州旧金山联合公司

1981年2月

ISBN 7-5024-0306-X

TD·54 定价 1.25 元

科技新书目 162-215

目 录

序 言

编者 序

第一章 金和银矿石的堆浸	(1)
阿姆塞尔科矿物公司鳄鱼脊工程.....	(9)
坎德拉利亚联合公司.....	(15)
卡林黄金矿业公司布茨特拉帕矿.....	(21)
科特斯金矿黄金地区.....	(26)
金田矿业公司奥蒂斯山矿.....	(31)
71矿物有限公司.....	(37)
烟谷矿业公司.....	(41)
图斯卡洛拉联营公司.....	(47)
落果投资公司.....	(55)
第二章 炭浆法回收金和银	(59)
埃尔·印迪欧矿业公司.....	(64)
杜瓦尔公司.....	(67)
霍姆斯特克矿业公司斗狗山矿.....	(73)
宾松矿业公司.....	(79)
第三章 常规氰化厂金银生产实践	(86)
阿格尼科-伊格尔矿业有限公司.....	(86)
阿山蒂金矿区股份有限公司.....	(91)
英美公司南非股份有限公司埃兰茨兰德金矿公司.....	(95)
德拉马尔银矿.....	(101)
弗朗蒂诺金矿有限公司.....	(105)
休斯敦国际矿物公司.....	(110)
钮蒙特控股有限公司特尔弗矿.....	(114)
普韦布洛·维耶乔矿.....	(119)

里奥·廷托·帕蒂诺公司塞罗·科罗拉多矿(西班牙).....	(125)
标准废渣公司亚特兰大矿.....	(131)
西海岸石油和天然气公司醋栗矿.....	(135)
第四章 其他工艺	(141)
用离子交换法回收氰化溶液中的金.....	(141)
苏联用离子交换法生产黄金的实践.....	(142)
从已停产的选金厂里回收黄金.....	(145)
参考文献	(150)

第一章 金和银矿石的堆浸

浸出矿石的破碎和磨矿其目的显然是为了使溶剂和矿物能充分接触，经过相当时间接触后溶液转化为含金属的贵液。堆浸 (Heap leaching) 是将开采出的矿石转运到预先准备好相对不透水的堆场上，用喷淋或浸液渗滤法，使溶液通过矿石产生渗滤浸出作用。废石堆浸 (Dump leaching) 则是对堆存的废石或低品位矿石或覆盖岩堆层等在其下部不用事先构筑场基上，进行浸出。堆浸的原料，例如从露天矿剥离出并堆存的低品位矿石可不经破碎即进行浸出，并且能通过堆浸方法得到很高的回收率。对较高品位的金或银矿石则先破碎到粒度为 9~13 毫米后，采用交替方法堆放在堆场进行浸出，如在内华达州的烟谷矿业公司 (Smoky Valley Mining Company) 的朗德山 (Round Mountain) 金矿所采用的堆浸；也有将矿石破碎到 38 毫米后进行堆浸的，如在内华达州坎德拉利亚联合股份公司 (Candelaria Partners) 的坎德拉利亚银矿所进行的堆浸。

铜矿石的堆浸大概始于 1752 年在西班牙的里约-廷托公司 (Rio Tinto)。这是对长期露天堆存的风化矿堆进行堆浸；浸出液从浸堆中排出后再用铁置换。这种工艺应用于美国西南部早期勘探的低品位的铜矿石，并在亚利桑那州比斯比 (Bisbee) 的萨克拉门托山 (Sacramento Hill) 矿于 1923 年建设了第一个堆浸场。半个世纪以前所采用的场地准备工作同现在的相同。“对于堆浸的场地显然是需要做某种形式的防水设施。矿石在堆放之前，应先清除场地上仙人掌

等荆棘草丛。清理之后做成一缓坡，再在其上面敷设粘土或尾矿并加以碾压和夯实成为浸出堆场”。在筑堆时，可先放上粗粒碎石薄层以便排液。

不经过磨矿的第二种浸出方法，通常用于高品位矿石的浸出。该法是将物料破碎到9~13毫米粒度后在大槽子或大桶里浸出。这类工厂明显地较之用堆浸设施需要更多的费用，但远比用磨矿后搅拌浸出方法便宜，并可望比堆浸获得更高的回收率。槽浸已广泛应用于高品位铜矿石的矿山中，但对于该粒级的金和银矿石的槽浸还是处于小规模的生产。而且还认为这类工厂只适用于几百万吨规模，品位为3~7克/吨，破碎粒度9毫米的卡林（Carlin-type）型易浸的矿石。因为在生产中还没有矿石经过破碎后槽浸金和银的工厂，所以在此有必要对以往叙述的铜矿槽浸作一个实例加以描述。

桑·塞威尔（San Xavier）浸出厂位于亚利桑那州图森（Tucson）西南32公里，1973年3月投产以来一直在生产。这个工厂投资1200万美元，设计的处理能力为3630吨/日。小型与半工业试验的结果表明，粒度小于11毫米的矿石其适宜的浸出时间为五天半，并在采掘和运输到浸渣堆场之前又采用了多次洗涤。

原矿经1220×1525毫米颚式破碎机破碎之后，再经两段细碎并送到筛分作业筛出小于11毫米的筛下产物，经喷湿后送往制团和取样。由于浸槽的给矿中含有百分之几小于200目的颗粒，有必要将它制成团块以改善渗滤条件。制团是在安装有一种带犁形翻滚装置的胶带输送机上同时进行喷水来完成的。球团矿再由与浸槽平行布置的一条长230米，宽760毫米胶带输送机输送到自动卸料车上，然后再卸入门式移动

料槽中，并从料槽经过第二台自动卸料车将物料给入浸出槽中。门式移动料槽的跨度为30米，采用自动控制方式以每12~14小时卸载3630吨的能力向浸出槽。浸出槽一共有9个，每个为 $21 \times 21 \times 6$ 米深，每一次浸出时间为9天，其中包括装载一天；挖取一天；洗涤一天和浸出六天。洗涤之后，槽浸的浸渣用跨度为38米桥式抓斗起重机挖掘。在这台起重机上装有5.3立方米的抓斗，每小时处理能力为450吨^[1]。

近年来，对含铜废料进行堆浸来回收铜已建立起工艺学的基础，也就是说铜的浸出工艺很快地成为一门学科。在这种工艺中铜是以高品位的氧化矿形式存在，因而能够将湿法冶金工艺应用于槽浸、搅拌浸出或制备成球团之后进行堆浸。上述这些手段尤其在这些过程中使用了酸浸或氰化物浸出药剂就能更好地控制浸出液的回收率。

在铀工业中，用工业规模的堆浸和槽浸法处理品位极低的铀矿石（除游离状态外），尚未受到欢迎。然而，在适当的时候堆浸方法定将成功地运用于金和银矿石。

据报道，粗颗粒铀矿石的堆浸已应用于法国南部的康塔尔省的圣·皮埃尔（St. Pierre du Cantal）。来自露天矿的堆存矿石用水力回收并进行筛分，其筛下产物经浓缩后进行搅拌浸出。贵液通过树脂吸附柱进行循环。筛上产物或粗砂在四个10米深的内侧涂有沥青层的槽浸坑里进行分批浸出。浸出液渗过矿石经汇集后送至回收厂处理^[2]。

浸堆中浸出液的分配可采用几种技术，其内容包括浸出池的防洪结构、喷洒器型式及喷洒器的布置等。较成功的生产操作是控制浸出液的分配量，在每平方米面积上为10升/时。这些技术给堆浸金和银矿石的生产指出了新的发展方

向。然而，自本世纪以来，来自经过捣碎后的大于200目的金矿石仍采用渗滤槽浸出；霍姆斯特克矿直到现在仍然沿用该厂处理粗粒级矿石部分的浸出工艺实践。这种泥-砂分别处理技术常被认为是一种十分典型的生产实践，因为即使是在早期，也都认为用渗滤槽处理砂矿部分要比将矿石全部磨细成细泥并在帕丘卡槽（Pachuca agitation）处理方法更为便宜。

矿石类型

美国矿务局于1967年对卡林矿业公司布茨特拉帕矿（Carlin's Bootstrap mine）的金矿石堆浸发生了兴趣，并宣布：

“可以用堆浸方法处理的含金矿石应当是多孔的、对氰化物相对无干扰的、并含有细粒的单体金。粘土含量必须低至足使矿石在渗滤过程中浸出液能透过浸堆”。

卡林型矿石，其性质类似海相沉积物——主要为粉砂岩和穿插于燧石层里的石灰质岩——已成为适用了废石堆浸或微粒矿石堆浸的典型原料。如果有相当百分数的金存在于略大于微米粒级物料中，总回收率就会下降。被包裹于硫化物中的金和银，多半会使回收率降低。含碳质物的矿石会引起溶液中金再吸附在炭上，并因此而降低了回收率。布茨特拉帕矿和科特斯（Cortez）矿具有卡林型矿的性质并能在很粗粒级条件下浸出，但烟谷矿则必须破碎到10毫米。大多数含银矿石是不能适应于用粗粒级状态浸出，因为银同其它元素化合成许多种矿物形态，因而常使矿石难于浸出，甚至需要采取细磨。堆浸银矿至今主要是处理坑内采出堆存的低品位矿石，这些矿石通常其上限粒度不大于300毫米，并且均经过75~100年的风化过程，很多这类含银矿石在出现氰化处理法

之前早就开采出来了。但是在1980年10月已投产的坎德拉利亚 (Candelaria) 矿则是一个例外的情况。

一般情况下, 对已确定了某一浸出时间的金和银矿石在堆浸时, 将随浸出物料粒级减小而使浸出的金银回收率上升, 直到对浸出液的渗透形成不利影响, 或发展到产生沟流 (Channeling) 为止。用粗粒物料延长浸出时间能弥补一定程度的回收率下降。

露天矿采出的矿石同坑内开采的矿石相比, 其堆浸回收率预计要低一些, 而当把矿石破碎到小于10毫米后进行堆浸, 一般比槽浸所得到的回收率要低一些。对于以较高的基建投资和生产费用进行细磨矿的搅拌浸出, 会取得最高的回收率。浸出处理方法的选择主要是受矿石粒度和矿体类型以及预测贵金属价格等的影响。对于确定某种氰化法时, 当以金计价¹为5.63美元/克和银计价¹为0.19美元/克与金计价¹为19.3美元/克和银计价¹为0.643美元/克相比情况下, 计价低时则应采用更为简单的方法较为适宜。

矿石对堆浸的适应性

当钻取一个矿体的或采集废石堆的样品时, 金和银的含量通常要根据火法试金的分析结果来确定。然而, 对矿浆样品的分析采用原子吸收仪是有很好的实效的, 这种方法可测出用氰化物能浸出的金银量, 这就确定了矿石能否用氰化物溶液渗滤浸出工艺技术的适应性。第一阶段通常是用摇动台烧瓶 (bottle-roll) 进行氰化试验, 装入200~500克研磨过的矿浆, 从而确定金和银的最大浸出率与药剂消耗量。摇动台烧瓶试验方法也可处理小于50毫米级别的物料。破碎成各种粒级的矿石能在试验室里的浸出柱装置中浸出, 浸出柱的直径约为200毫米或略大些, 并具有1.2~5米高的床层。

其试验方法是將50~150公斤的物料放在塑料筒內浸出，选用高浓度氰化物-石灰的贫液淋洒在矿石的表面上，从下部排出的贵液可采用两种方案处理：金矿为通过小型活性炭吸附柱吸附，银矿石采用锌丝置换。根据这些试验，能够估算出金属回收率和药剂的消耗量。半工业浸出试验通常用于作选择堆浸物料的适宜粒度。

堆浸场地

所有工业生产的氰化堆浸法操作是将拟浸出物料堆放在经过精心铺设的不透水的堆场上。不透水的堆场必须在浸堆下能集聚大量贵液，还具备不致污染地下水源及不使金和银的氰化物溶液流失的可能性。

用于堆浸生产的堆场有以下几种类型：（1）压实的天然膨润土粘土床，如用于图斯卡洛拉和布茨特拉帕；（2）压实的混有选矿厂细泥尾矿的粘土，如用于科特斯；（3）沥青层，如用于烟谷和卡林；（4）塑料布，如用于某些小规模生产中。无疑，迟早将有其它型式的堆浸场地很快地建造起来。建造者们喜欢使用清除掉山艾树和石块，然后铺设沉积在河床的粘土，按二至三层，厚度为300~460毫米，每层都淋湿，尔后用橡胶轮载重设备或其它辗压机压实形成的堆浸场地。

浸堆的建造

浸堆是由经过破碎的矿石或坑內及露天采出矿石堆成适当大小的面积并筑成高度从3米到6米的矿堆。当物料具有良好的溶液渗滤性时，则可将浸堆筑成较大的高度。浸堆的施工可用汽车和一台牵引车铺开，以及用铲运机等进行筑堆。很重要一点是要避免压得过实或是产生离析，以致妨碍渗滤作用和造成沟流现象。