

R  
O  
N  
G  
J  
I  
N  
C  
A  
I  
K  
U  
A  
N  
G

(M)

# 溶浸采矿教程

编著 [美] R·W 巴特利特  
翻译 樊庆恩 周展明 陈玉梅  
审译 谢龙水

《溶浸采矿教程》编译委员会

JIAOCHENG

# 溶浸采矿教程

编著 [美] R·W 巴特利特

翻译 樊庆恩 周展明 陈玉梅

审译 谢龙水

《溶浸采矿教程》编译委员会

## 《溶浸采矿教程》编译委员会

主    任 黄业英  
副 主 任 李开文 李铿贤  
委    员 (按姓氏笔划排列)  
          杨水光 邹佩麟  
          陈  彦 陈智鑫  
          饶敦朴 姚必鸿  
          徐树岚  
责任编辑 言军跃

## 前 言

溶浸采矿方法是融采矿、选矿、冶炼为一体的采矿新领域、新方法,是涉及多种学科的边缘科学。采用这一方法可以直接从矿床中回收金属,使采、选、冶毕其功于一役,并能有效地回收常规方法难以回收的难采矿体、难处理矿石、低品位表外矿乃至废石中的有用成分,同时能较好地控制对环境的污染,实为矿业发展史上一次根本性的变革。研究和推广应用这一方法,无论在资源充分利用、经济效益和社会效益等方面,都将产生积极的影响。目前,溶浸采矿方法得到了国内外矿业界的高度重视。

溶浸采矿在我国已有悠久的历史。远在公元前二世纪(西汉时期)便有铁自硫酸铜溶液中置换铜的实践。西汉《淮南万毕术》记载了“曾青(硫酸铜)得铁则化为铜”,大概在公元900年前后,胆铜法已有相当的发展。作为大规模提取纯铜的生产工艺技术已趋完善。大概在18世纪中叶,长期居世界领先地位的我国矿冶业开始衰退而落后于西方国家。国外应用此法于工业生产,是匈牙利人在16世纪才开始从矿坑水中提取铜。美国应用这一方法的历史更短,但发展很快,在溶浸技术上处于世界领先地位;对铜、铀、金、银等金属应用溶浸采矿法已具有丰富的实践经验并达到相当的生产规模。在80年代年产原生金属中用堆浸法生产的铜金属约占总产量的20%,铀的比例更大一些,金、银各占其总产值的40%和15%左右。其它如铅、锌、锰、镍、钼、铝等金属的溶浸回收技术的研究也取得可喜进展。同时,对铜、铀等金属的原地溶浸采矿技术也日趋成熟。俄罗斯等一些国家的溶浸技术近期也有长足的进步。

我国从60年代开始,首先在铜陵松树山铜矿、湖南郴州铀矿和浙江衢州铀矿等进行地下开采残留矿石的溶浸。继而在柏坊铜矿、德兴铜矿、永平铜矿、江西崇义铀矿及一些铀矿、金矿、银矿和锰矿等进行废石、矿石的堆浸试验和生产;80年代中期核工业系统试验成功了铀矿原地浸出法,90年代又试验成功了原地破碎浸出采矿

法。我国第一个地浸矿山已经在新疆建成,第一个原地破碎浸出矿山亦在陕西建成投产,经过生产实践,积累了丰富的经验,也获得良好的经济效益和社会效益。我国低品位矿床和难处理矿石资源很多,近期对此法的科学研究工作也有较大的进展。但与发达国家相比,无论在生产能力、工艺技术、设备配套等方面都还存在着较大差距,有必要大力加强这一方法的试验研究和推广应用工作。

《溶浸采矿教程》(Solution Mining)是美国爱达荷大学矿山与地球资源学院 R. W. 巴特利特教授的手稿。这是他根据多年从事溶浸采矿教学和工程实践经验而编著的。本书对溶浸采矿学理论,金、银、铜、铀、蒸发盐类矿物溶浸技术,堆浸、原地溶浸与地浸工艺,溶浸带来的环境污染及其保护,碎矿石过滤的数值模拟等方面均作了系统介绍。它是美国爱达荷大学现行的教科书,也是国外其它一些国家的短训班教材。我们认为,它对我国大专院校采矿专业师生,以及科研、设计院(所)、矿山采矿工作者也有一定的参考价值 and 实用意义。因此,我们在有关学术团体和专家的支持下,以及在征得瑞士版权局(瑞士 G+B 科学出版社和新加坡科技书局(STBS)同意的情况下,组织翻译出版了《溶浸采矿教程》(ISBN 2. 88124. 543. 3)一书,供我国矿业界从事溶浸采矿工作的同行参考,以推进我国矿山溶浸采矿技术的发展。

本书由樊庆恩(第二章、第七章、第八章、第十章和第十一章)、周展明(第一章、第五章、第六章和第九章)和陈玉梅(作者序、第三章、第四章和第十二章)等同志翻译,并请核工业和有色金属系统溶浸采矿界李开文、邹佩麟、饶敦朴、姚必鸿、李铿贤等专家分别对本书有关章节作了审阅。全书由谢龙水副译审负责审译。在本书出版之际,谨向他们以及支持本书翻译出版工作的同志致以深切谢意。由于我们水平有限,缺点错误在所难免,恳请读者指正。

《溶浸采矿教程》编译委员会

一九九五年六月

## 作者序

近几年来,美国爱达荷大学为采矿和冶金工程师断断续续地举办了溶浸采矿培训班,《溶浸采矿教程》一书就是根据本培训班教材编写的。举办溶浸采矿培训班对发展溶浸采矿学,尤其是金、银、铜溶浸开采,是一种初步尝试。目前,美国用溶浸法每年生产的金属,经济价值已超过地下开采所生产的金属。但是,溶浸采矿是一较新学科,至少在开采规模上尚在实践阶段,还不能作为正规课程的组成部分,仅能作为某些院校的选修课和校外短训班课程。

在过去几年中,主要是美国采矿冶金勘探学会出版了几届溶浸采矿专题讨论会论文集,但迄今还没有一本可供大学生和初次接触溶浸采矿实习工程师和地质师使用的合适教材。考虑到这种教科书的读者范围广,因此,本书仅按初步掌握基础无机化学的要求进行编写。虽然数学模拟有助于理解溶浸采矿现象,除了最后一章外,本书为了广大专业技术人员还是做些省略。

为了试验模拟深部铜矿用淹浸法回收,1971年我花了一个通夏在劳伦斯利弗莫尔试验室开始做一项大型中间试验设备的比例加压浸出试验,自那以后才开始对溶浸采矿发生兴趣。后来,劳伦斯利弗莫尔试验室继续开展核爆物和平利用的研究工作,并对溶浸前矿石用核爆破原地破碎展开研究。试验结果用1972年发表的计算机模拟模型进行描述。在当时,我作为犹他大学的学生曾得到M. 沃兹沃思教授鼓励。

在70年代初期几个夏天,我用溶浸法从曾开采过的内华达金矿的低品位矿堆中回收了黄金。从此以后,金矿石堆浸成了内华达州拥有10亿美元的产业。

为了更好地了解铜矿废石堆浸情况,从1973~1978年我以盐湖城肯尼科特研究中心湿法冶金学会理事的身份参加了大部分实

实验室试验和矿山现场试验。美国铜矿废石堆浸涉及到许多相互关联的综合现象,在此期间和后来发表的肯尼科特研究中心就溶浸采矿这一重大课题进行研究的成果是最有广泛性。贵金属矿选矿试验可追溯到研究硼酸盐溶浸开采的80年代初期,而我当时是领导阿纳康达矿产公司塔克森研究中心的工作。近年来,我一直在研究低品位难选金矿石尚未氰化堆浸前在接种细菌的湿矿堆中进行生物氧化预处理的问题。

在过去近20年间,共同致力于溶浸采矿研究的许多同事给我传经送宝并给予了热情支持,主要有:J·艾加沃尔、J·阿普斯、R·巴普、B·布朗、A·布鲁因内斯泰因、L·卡思利斯、D·戴维森、J·方丹、B·希斯基、R·雅各布森、J·杰克逊、B·拉森、A·刘易斯、E·马洛、J·米利根、B·里姆、D·里斯、K·理查兹、R·罗曼、J·施利特、J·赛伯特、R·斯佩登、D·V·齐尔、M·沃兹沃思和 R·韦塞利,在此深表谢意。

在书稿中承蒙 J·赖斯诺尔、M·汉森、C·麦卡利尔和 P·豪塔拉的大力帮助,在此一并表示感谢。

谨以本书献给在矿物工程科学与实践中取得了卓越成就的 M·沃兹沃思和 C·巴特利特。

R·W·巴特利特

1990.12于爱达荷大学

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第一章 概述.....                | (1)  |
| 第一节 溶浸采矿法适用范围.....         | (1)  |
| 第二节 加深对溶浸采矿的直观理解.....      | (5)  |
| 第三节 受化学扩散作用控制的浸出速度的模拟..... | (9)  |
| 补充读物 .....                 | (12) |
| 思考题 .....                  | (12) |
| 第二章 金银矿石堆浸理论 .....         | (13) |
| 第一节 浸染金矿床 .....            | (13) |
| 第二节 金溶浸化学 .....            | (13) |
| 第三节 浸染金矿石堆浸的模拟 .....       | (14) |
| 补充读物 .....                 | (19) |
| 思考题 .....                  | (19) |
| 第三章 金银矿石堆浸实践 .....         | (20) |
| 第一节 概述 .....               | (20) |
| 第二节 矿石准备 .....             | (21) |
| 第三节 矿石筑堆 .....             | (26) |
| 第四节 布液 .....               | (29) |
| 第五节 溶液池 .....              | (32) |
| 第六节 溶液的化学控制 .....          | (32) |
| 第七节 稀释浸出液的金银回收 .....       | (34) |
| 第八节 矿石可浸试验 .....           | (36) |
| 第九节 堆浸工程的经济问题 .....        | (39) |
| 第十节 难选矿石 .....             | (40) |
| 补充读物 .....                 | (41) |
| 思考题 .....                  | (43) |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| <b>第四章 渗滤浸出的环境控制</b>          | (44) |
| 第一节 环境问题                      | (44) |
| 第二节 渗滤浸垫设计                    | (44) |
| 第三节 浸垫选址                      | (49) |
| 第四节 集液与集液池设计                  | (50) |
| 第五节 渗流                        | (51) |
| 第六节 矿堆垮落                      | (53) |
| 第七节 水平衡                       | (54) |
| 第八节 脱氧                        | (56) |
| 第九节 环境许可证                     | (60) |
| 补充读物                          | (61) |
| 思考题                           | (61) |
| <b>第五章 氧化铜矿物和次生硫化铜矿物的渗滤浸出</b> | (63) |
| 第一节 概述                        | (63) |
| 第二节 铜矿床地质                     | (63) |
| 第三节 不同铜矿类型的影响                 | (66) |
| 第四节 氧化铜矿石的矿物学与溶浸化学            | (67) |
| 第五节 蓝岛铜矿氧化铜矿石堆浸法              | (67) |
| 第六节 溶剂萃取—电积法                  | (69) |
| 第七节 铜矿石地浸法                    | (70) |
| 第八节 氧化铜矿石浸出提取                 | (71) |
| 第九节 氧化铜矿石缩芯浸出模型               | (74) |
| 第十节 氧化铜矿石渗滤浸出中矿堆溶液的变化         | (77) |
| 第十一节 酸预处理浸出                   | (81) |
| 第十二节 次生硫化铜矿物浸出                | (83) |
| 第十三节 硫酸铁生成                    | (84) |
| 第十四节 三价铁预处理浸出                 | (85) |
| 补充读物                          | (86) |
| 思考题                           | (87) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| <b>第六章 硫化铜矿废石渗滤浸出</b> | (88)  |
| 第一节 概述                | (88)  |
| 第二节 铜矿废石堆浸技术述评        | (90)  |
| 第三节 硫化矿物              | (92)  |
| 第四节 硫化矿物生物氧化浸出        | (92)  |
| 第五节 铜氧化速度极限           | (96)  |
| 第六节 铜浸出溶液除铁           | (97)  |
| 第七节 铜萃取               | (98)  |
| 第八节 脉石矿物酸浸            | (99)  |
| 第九节 矿山废石特性            | (100) |
| 第十节 废石浸出机理和产量预测推论     | (102) |
| 第十一节 溶浸产量预测           | (105) |
| 第十二节 酸在铜矿废石浸出中的使用     | (110) |
| 第十三节 硫化物浸出作业管理        | (110) |
| 补充读物                  | (110) |
| 思考题                   | (112) |
| <b>第七章 渗浸中液流与气流</b>   | (113) |
| 第一节 概述                | (113) |
| 第二节 破碎岩石渗浸中的液流区和气流区   | (113) |
| 第三节 溶液滞留和毛细管作用        | (115) |
| 第四节 导水性与固有渗透性         | (117) |
| 第五节 渗流速度和淹浸           | (118) |
| 第六节 溶液渗流速度和洗出效率       | (119) |
| 第七节 固有渗透率和岩石粒度        | (122) |
| 第八节 制粒改良固有渗透性         | (123) |
| 第九节 最佳布液速度与浸入速度       | (124) |
| 第十节 浸堆中空气自然对流         | (125) |
| 第十一节 浸堆空气强制对流         | (128) |
| 第十二节 岩石用化学炸药成块爆破      | (130) |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 补充读物.....                    | (130)        |
| 思考题.....                     | (131)        |
| <b>第八章 原地淹浸.....</b>         | <b>(132)</b> |
| 第一节 矿床类型.....                | (132)        |
| 第二节 原生铜矿床的原地淹浸.....          | (135)        |
| 第三节 铀矿溶浸开采地质条件.....          | (138)        |
| 第四节 铀浸出化学.....               | (139)        |
| 第五节 用井淹浸.....                | (141)        |
| 第六节 用钻井回收富液.....             | (142)        |
| 第七节 对原地淹浸矿床的评估.....          | (146)        |
| 第八节 井田布置方案.....              | (147)        |
| 第九节 完井.....                  | (149)        |
| 第十节 井田强化.....                | (151)        |
| 第十一节 环境复原.....               | (153)        |
| 第十二节 溶浸采铀的环境复原.....          | (154)        |
| 第十三节 原地溶浸铜的经济效益.....         | (154)        |
| 补充读物.....                    | (156)        |
| 思考题.....                     | (156)        |
| <b>第九章 原地浸出水文学和环境保护.....</b> | <b>(158)</b> |
| 第一节 概述.....                  | (158)        |
| 第二节 稳态流的设定条件和定义.....         | (158)        |
| 第三节 流入(流出)封闭含水层内的井中液流.....   | (159)        |
| 第四节 从注液井流入生产井的液流.....        | (160)        |
| 第五节 井半径和表面效应.....            | (162)        |
| 第六节 各种形状井田的稳态液.....          | (164)        |
| 第七节 环境保护.....                | (167)        |
| 补充读物.....                    | (168)        |
| 思考题.....                     | (169)        |
| <b>第十章 蒸发岩盐和盐水.....</b>      | <b>(170)</b> |

|             |                      |       |
|-------------|----------------------|-------|
| 第一节         | 概述                   | (170) |
| 第二节         | 蒸发岩盐矿床和矿物学           | (170) |
| 第三节         | 可渗透蒸发岩盐的溶浸开采         | (174) |
| 第四节         | 不渗透蒸发岩盐的溶浸开采         | (176) |
| 第五节         | 瑟尔斯湖                 | (177) |
| 第六节         | 卡迪堡硼酸盐原地浸出           | (181) |
| 第七节         | 盐水蒸发结晶的途径            | (183) |
| 第八节         | 盐回收和分离方法             | (184) |
|             | 补充读物                 | (186) |
| <b>第十一章</b> | <b>曝晒蒸发池</b>         | (187) |
| 第一节         | 概述                   | (187) |
| 第二节         | 蒸发                   | (188) |
| 第三节         | 盐沉积和带走物              | (189) |
| 第四节         | 漏失                   | (190) |
| 第五节         | 地形和工程技术问题            | (190) |
| 第六节         | 沉积盐采集                | (191) |
|             | 补充读物                 | (191) |
|             | 思考题                  | (191) |
| <b>第十二章</b> | <b>破碎岩石溶浸的数值模拟</b>   | (192) |
| 第一节         | 概述                   | (192) |
| 第二节         | 受扩散过程控制的岩石(矿块)浸出述评   | (194) |
| 第三节         | 岩石(矿石碎块)浸出混合反应动力学    | (197) |
| 第四节         | 原生铜矿石注氧原地淹浸          | (204) |
| 第五节         | 混合反应动力学模型对铜浸出试验结果的分析 | (206) |
| 第六节         | 破碎原生铜矿石按模拟参数浸出       | (209) |
| 第七节         | 破碎矿石大规模浸出模拟          | (212) |
|             | 补充读物                 | (215) |
| <b>附录一</b>  | <b>本书符号注释</b>        | (218) |
| <b>附录二</b>  | <b>STBS 文件</b>       | (223) |

# 第一章 概 述

## 第一节 溶浸采矿法适用范围

溶浸采矿的定义不一,本书所取的定义是:用一种水溶液浸透和沥滤(溶解)原岩,提出可溶性矿物。可能除了费拉施(Frasch)法回收熔硫之外,目前水是具有工业意义的溶剂基础组分,所以本书仅论述水化法。总之,原理是可变通的。原地或实地溶浸采矿与就地从矿石中提取矿物有关。用常规采矿法开采矿石,随后在地表备好矿堆堆浸以及矿山废石堆浸,是本书涉及的溶浸采矿法的主要适用范围。

金属与矿物回收大都在地表并接近于提取作业场(分离溶解的金属或矿物)进行,而提取作业(溶浸、卤水回收等)却与之伴随。因此,提取与回收作业产生大量的循环溶液。浸出液既可借助重力输送亦可用泵输送。源于提取作业段的溶液通常称为贵液或富液;而返回到提取作业段的溶液称为贫液。为了控制无益杂质聚积,有时要在贫液中加入其它闭路循环的溶液。本书着重于提取作业,并只附带地论述从溶液中回收金属的问题。回收工艺的技术和理论在湿法冶金学和化学教科书中都有介绍。

矿体的渗透性足以让溶液流动,这是溶浸采矿的一个重要方面,通常也是溶浸采矿受到限制的因素。原地溶浸取决于为溶液流动所需的矿体孔隙空间或天然裂隙。砂岩和多孔蒸发岩空隙多,一般具有良好的渗透性。蒸发岩含有大量的可溶矿物,因而在提取过程中易于形成更多空隙。

由于地球化学作用,许多金属矿由水热溶液在天然岩缝中流动而形成。这样在天然岩隙中必然流动着热水溶液;如果这些裂隙仍保持相通状态,则可作为溶浸采矿的提取源。硫化矿床围岩通常

有裂隙,但孔隙率仅约 5%,且渗透率也很低,因此,溶浸采矿难以达到工业产量。同时,大的裂隙也会造成溶液通道的短路,溶液无法均匀渗透到矿床中。这就降低了布液效率、金属或有用矿物提取率 and 经济效益。此外,布液效率和经济预测的不定因素也妨碍许多溶浸采矿项目的实施。因此,矿体的渗透性既要合适又要较均匀。

就地浸出的成功,通常要求原地破碎矿石以提高渗透性。有效的破碎常可使原岩体积膨胀约 15%~20%,可为液流通道提供空间。采矿巷道上部精心设计的崩落区、爆破陷落区和自然陷落区都是现成的溶液通道源。覆盖层沉陷可产出大量的碎矿石。在其它已采完的地下矿上部浸出陷落区覆盖岩层是溶浸采矿的常见做法。

在溶浸采矿中,可采用淹浸法、渗滤法或滴流法浸出。淹浸法浸出适于在矿体用溶液饱和的情况下应用;通常只有一相流,一般在水位以下使用,或者用其它方法保持溶液。淹浸法浸出具有许多与地下水流相同的流动特性,因此描述水文学流动问题的相似数学解和数值模型一般是通用的。渗滤法浸出就是使未饱和溶液借助重力向下流动,这种流动通常是二相流,即溶液和空气。关于渗滤法和淹浸法浸出的其它不同特性,见表 1—1。

在溶浸采矿作业中必须自始至终地坚持环境保护,本教科书将论述溶液控制的各种方法。

生产卤水的溶浸采矿方法适用于地下和地表蒸发岩开采,是生产各种水溶盐类和水溶矿物的主要方法,如普通盐(氯化钠)、钾碱、镁、锂、天然碱(碳酸钠)和硼矿物等。海水、天然干盐湖(盐湖)和地下盐卤都是含矿溶液的主源。在卤水进入矿物回收或分选厂之前,晒制池蒸发是一种费用低廉的主要浓缩方法。通常,从络盐混合物中可分选和回收几种盐。

几种工业用的主要金属矿物不溶于水或天然盐水中,但可溶于含水的化学溶液中。在溶浸采矿生产中,这类含水的化学溶液用于提取金属矿物。铜和钼的氧化矿物可溶解于 pH 值相当低(低于

表 1-1 渗滤法与淹浸法浸出的特性

| 渗滤法浸出                                                                                                                                                                                                                                                                 | 淹浸法浸出                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>●在渗透性好的矿体中溶液在溶解有价值矿物的同时借助重力向下滴流。</p> <p>●必须在矿体上部均匀布液,而集液于矿体下部进行。为防止进一步下渗,必须在底部不透水层之上集液。</p> <p>●通过开采破碎或者再次矿石破碎,通常可获得适宜的渗透率。为提高渗透率,对渗透性差的过细矿石或粘土质矿石可进行制团处理。</p> <p>●溶液不饱和且有空气,这对溶解化学来说也许重要也许不重要,如果耗氧大,则空气缺氧也许是部分的。</p> <p>●主要用于金、银、铜和铀堆浸,铜矿废石堆浸,以及铜矿与铀矿陷落区就地浸出。</p> | <p>●由于压力梯度,溶液一般从一个或几个注液钻孔经由渗透性好的矿体流到一个或几个抽液钻孔。</p> <p>●尽管注入空气或氧气以作为一种化学反应剂,且从其它溶液饱和的矿体向上冒出气泡,一般不说明有空气。</p> <p>●浸出仅在天然或人为的水位以下进行。</p> <p>●为了获得好的布液效果和较高提取率,渗透必须比较均匀,矿石溶浸区岩层的渗透率必须相当低,以防溶液流失。</p> <p>●主要用于盐井采盐,以及水位以下铀和铜浸出(目前用得不多,但大量的试验研究工作还在继续进行)。</p> |

其水解 pH 值)的酸性溶液中。通常采用硫酸,主要是因为硫酸便宜。氧化铀在碳酸钠溶液中也是可溶的铀酰阴离子。当铀矿石含有石灰岩、白云岩或其它耗酸脉石矿物时,可使用这种浸出剂溶液。

对于矿石中有经济价值的矿物或其它矿物,一般要进行化学氧化以使之溶解。为此,过氧化氢用于铀浸出。虽然氟化物浸出中要用氧溶解金矿物,但氧用量很少;在大多数情况下,浸液中所溶解的氧就够用了。对硫化矿浸出要另当别论。硫化矿氧化要耗大量的氧,但唯有空气是低成本氧气源。此外,水溶液所溶解的氧的

溶度对工业产量来说是不够的。因此,这类浸出系统与存在的而且流过溶浸矿体的两相流(液相与气相)肯定有关。

当技术上可行时,溶浸采矿单位成本(美元/t)一般要比其它任何采矿方法低得多。因此,在开采低品位矿石的情况下,溶浸采矿往往是唯一可用的方法,而且可得到迅速推广应用。矿石堆浸和废石堆浸可配用大型露天采矿设备筑堆。近几十年来,露天采矿设备得到了发展,为大大降低单位采矿成本创造了条件。

溶浸早已成为某些金属矿和非金属矿矿物的主要开采方法。表 1—2 为美国溶浸采矿产量占原产量的大致百分数。1988 年美国西部地区溶浸采矿企业增加的产值约为 14 亿美元,这一产值不包括有关常规法采矿企业为堆浸供矿的等量成本或后继生产(如溶剂萃取和电解冶金或精炼)的费用。美国西部地区,溶浸采矿产值为该地区地下非燃料矿山的 2 倍以上,并正在提高。在 80 年代开发的并有盈利的许多低品位金矿,如果不采用低成本氰化物溶浸矿石,就不可能维持下去。这些矿山将原矿和破碎的矿石置于用塑料或夯实粘土铺成的不透水底垫上进行露天堆浸。

表 1—2 几种金属矿和非金属矿矿物用溶浸开采所占的比重

| 金属矿或非金属矿矿物 | 约占产量的百分比, % |
|------------|-------------|
| 金          | 50          |
| 银          | 25          |
| 铜          | 30          |
| 铀          | 30          |
| 食盐         | 50          |
| 钾碱         | 20          |
| 天然碱        | 45          |
| 硼          | 20          |
| 镁          | 85          |

溶浸采矿是一涉及地质、化学、水文、萃取冶金、采矿、选矿工艺和经济学的多学科系统工程。溶浸采矿所需考虑的方面是：溶浸化学、岩石(脉石)化学、矿体中液流、矿体中气流(渗滤浸出)、矿体中可供液体流动的空隙、矿石(岩石)孔隙率、液流借助普通化学扩散作用在盲端孔隙中输送、金属或矿物回收工艺与工场及其对溶浸提取的影响、环境污染、溶液损失、卤水化学和曝晒蒸发池工程。

本书的教学方法以阐述现行溶浸采矿工艺、理论和实践为主。教学原则是：具体金属矿和非金属矿矿物溶浸方法与实践相结合，由浅入深，循序渐进。本书重在详细讲解，但又兼顾对一些重要因素及其相互关系以及其对技术经济效果之影响的了解。溶浸采矿系统数学模拟的目的在于帮助理解这些复杂现象，而不是说明数值的可靠性。

## 第二节 加深对溶浸采矿的直观理解

在不利用实验室的情况下，让我们从简单的溶浸系统和一些试验入手，以便对溶浸采矿有个更好的理解。把糖放入一杯咖啡或一杯水中溶解，既容易做又易于观察糖的溶解情况。矿石溶浸也类似这种情况。溶浸系统之所以简单，那是因为：

(1) 就在水杯中放入一普通茶匙的糖而言，糖在水中的可溶性很大，至少可以说，糖溶解是不受限制的。

(2) 糖在水中无需与其它溶质或组分发生化学反应就可溶解。

(3) 假设使用标准纯糖，至少可以说，妨碍溶解的其它固体物是没有的。

以下4种糖在室温下按1g糖在水杯中完全溶解所需的时间(其第一种糖溶解时间最短且溶解速度最快)，依次排列的顺序见图示。

对溶浸采矿应有个明确的理解，如有必要，则可进行试验。如