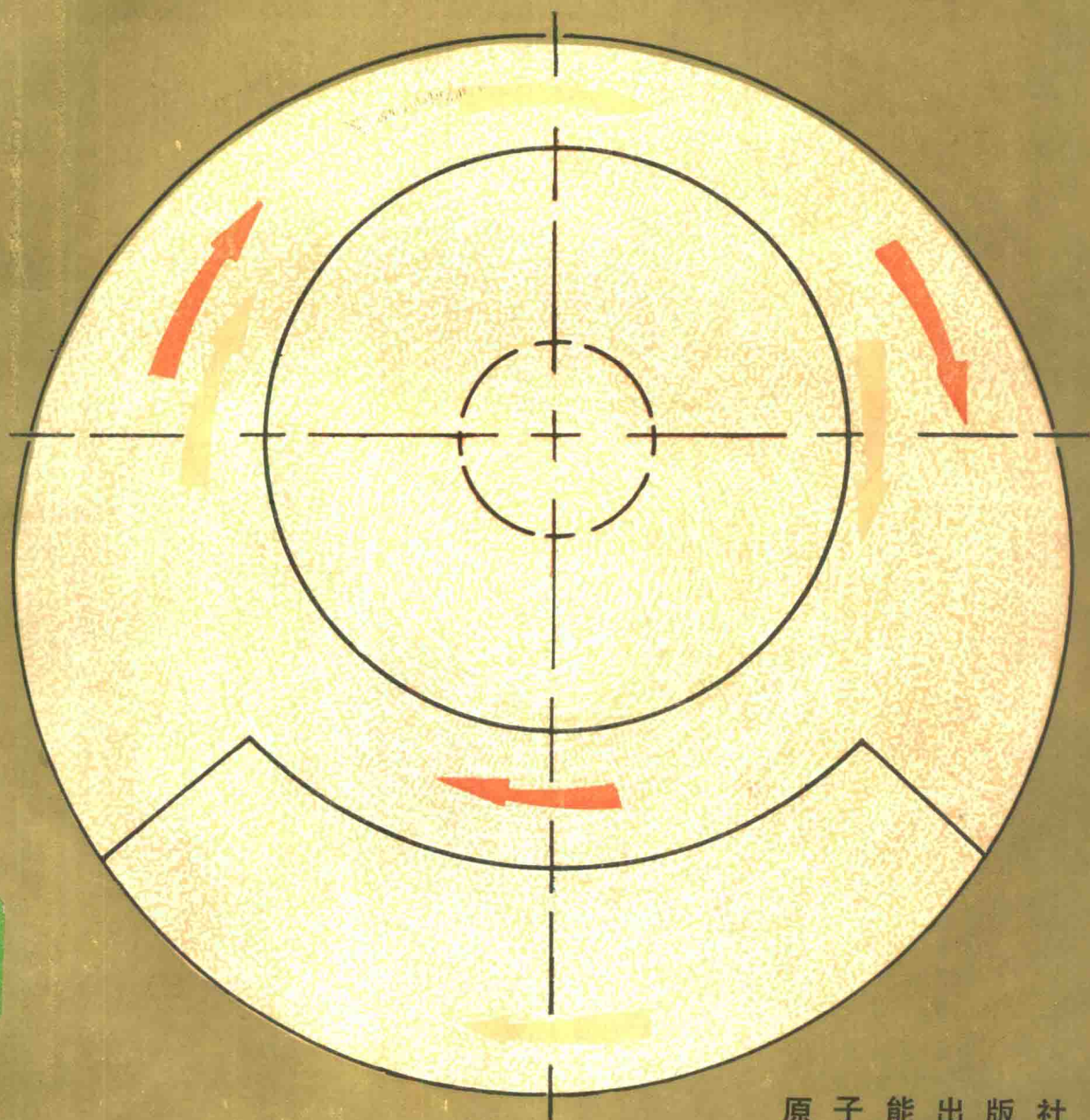


溶剂萃取

原理和在冶金工艺中的应用

RONGJICUIQU, YUANLI HE ZAI YEJIN GONGYI ZHONG DE YINGYONG

〔加〕G.M.里特瑟 A.W.阿什鲁布克 著



原子能出版社

溶剂萃取——

原理和在冶金工艺中的应用

第 二 册

[加] G. M. 里 特 瑟 著
A. W. 阿什布鲁克

孙方玖 邓佐卿 译
张 帆 王翊亭

孙 方 玖 校

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书共分八章。第一章介绍了制定工艺流程的原则、步骤和应考虑的一些问题；第二章和第三章对工厂的设计、萃取设备的类型和如何选择萃取设备及其结构材料等作了详尽的叙述，其中很多资料是由设备制造厂供给的；第四章以大量篇幅叙述回收铝、铍、铯、铬、铜、锗、铁、锰、钼、钴与镍、铌与钽、贵金属、稀土元素与钇、镱、钪、钽、钨、铀、钒、铈与镨、铟与铊等几十种金属的各种萃取方法与工艺流程图，其中有的已用工业化，有的尚处于中试试验阶段；第五章到第七章介绍了矿浆萃取及可能用溶剂萃取来处理外排废液问题；第八章讨论了对选择溶剂萃取流程有决定作用的经济问题，并阐述了一些具体流程的经济问题。

主要读者对象是从事化学化工、湿法冶金、原子能工业、环境工程等方面的科研、生产、设计单位的广大科学技术人员、工程技术人员。本书对大专院校有关专业的师生也有参考价值。

SOLVENT EXTRACTION

Principles and applications to process metallurgy

Part II

G. M. Ritcey A. W. Ashbrook

Elsevier Scientific Publishing Company, 1979

溶剂萃取

原理和在冶金工艺中的应用

第二册

〔加〕 G. M. 里特瑟 A. W. 阿什布鲁克 著

孙方玖 邓佐卿 张帆 王翔亭 译

孙方玖 校

责任编辑 汪忠明

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，新华书店经售

☆

开本787×1092¹/₁₆·印张21¹/₂·字数413千字

1985年4月第一版·1985年4月第一次印刷

印数1—7000·统一书号：15175·509

定价：3.95元

“读书不是为了专挑毛病，也不是为了盲目相信，读书是为了权衡度量和深入思考。有些书值得再三品味，而另一些只须囫圇吞下，只有少量一些书可供你细嚼慢咽和摄取萃华。”

F. 培根

《论研究》

前 言

过去二十年内，溶剂萃取过程在冶金加工业中得到了越来越多的实际应用。从历史上看，在铀矿石加工的早期，这个单元过程开始用于生产，后来从铀矿加工、铀的纯化和后处理作业发展到今天，在大规模的铜厂、贱金属和其他金属的冶金过程中，这个单元过程得到了实际的应用，所以，这个单元过程并不是新的。但是，象其他所有工艺的发展历史一样，这个工艺在它的整个发展过程中也经历了不同的过渡阶段。另外，正如大多数工艺技术一样，在溶剂萃取研究工作的现状同研究目的（要把从研究得到的知识转变为工艺，最终要转变成实际生产）之间存在着一条较深的鸿沟。

这种情况并非仅存在于溶剂萃取领域中，几乎所有技术领域内都有这样的问题，这一点是世界公认的。但是，我们中间的任一个人，只要他有机会，就有责任去尝试在这条研究一工艺的鸿沟上架设一座桥梁。我们谨希望这两册书能够为在冶金加工业中的溶剂萃取领域的上述鸿沟之上架起桥梁而作出一些贡献。

我们感到，编写这两册关于溶剂萃取的书自始至终是一项很艰巨的工作。回想起来，如果编著工作不是用一种稳妥的办法去搞，如果这个工作最终没有把我们吸引住，而且没有变成一个使人望而生畏但却令人神往的庞然大物，那末这两册书就不可能问世了。

回溯往事，最初在1969年，有人要求我们二人中的一人（G.M. Ritcey）为一本要论述冶金学的小型教科书写一章。那本教科书后来根本没有完成，但写好的那一章却作为专题文章由渥太华的加拿大矿业分部（CANMET）出版了。这两册书就是用这种稳妥的办法开始写的。

这篇专题文章出版后，在连续两年内，越来越多的人要求我们提供关于溶剂萃取的全面性资料。1971年春季，滑铁卢大学的Spink教授询问作者是否可以在那年的秋季开设一门关于溶剂萃取的课程。结果在加拿大开设了第一个这样的课程，讲课人包括Anderson博士、Flett博士、Spink教授和我们二人。这门为时五天的课程所获得的成就使我们二人颇为陶醉，从而不久以后——如果记忆可靠的话——我们在1972年决定要编著一本关于冶金工艺中的溶剂萃取的教科书。

当时我们的打算是提供一本具有充分材料和文献资料的教科书，这样对于大学、工业界和研究单位都是有用的，会有助于他们安排试验工作和制定工艺流程。这样的教科书当时一本也没有。很明显，人们在准备开设关于溶剂萃取主题的这门课程时，一定会感到这样的教科书是非常需要的。至少当时我们自己相信情况就是如此。

本书的形式和内容很晚才确定下来。因为对我们两个作者来说，写这部书只能在课余进行，另外我们还要在课余进行法语训练，并且要从事别的兼职工作和其他活动，加上出版社要变换等等原因，所以为这部书花的时间比最初预期的要长一些。还有一点，我们原先打算出一单本，但后来却扩充为两册了。

最后此书付印了，我们可以松一口气了，如果我们能再一次陶醉的话，那可能……。

这两册教科书最后分成为叙述冶金加工的溶剂萃取过程的化学方面和工程方面（即应用方面）的两部分。我们力图在书内载入直到1977年9月于多伦多召开国际溶剂萃取会议为止时能收集到的所有文献资料。

第一册深入地探讨了溶剂萃取过程的基本理论、化学和实践。这包括溶剂萃取过程（用于金属的提取冶金）中所采用的萃取剂、稀释剂和改良剂的化学和其他方面，以及这些试剂之间的相互作用。此外，还考虑了关于相的分散和聚结方面的物理现象，以及这些现象同动力学、传质和设备的设计之间有什么关系。上述各方面的因素会造成一定的影响，并促使人们提出一些要求，这明显表现在溶剂损失和因此产生的环境卫生问题上。本书还详细叙述了广泛用于生产过程控制的一些分析方法，这些分析方法是用来确定萃取体系的不同组分的。

第二册为制定工艺流程、选择结构材料以及在工厂设计中应考虑哪些问题提供了指南。书中对于选择和确定萃取设备的问题作了详尽的叙述，其中很多资料是由设备制造厂供给的。书中有一章以很大的篇幅来叙述回收金属的许多萃取方法和工艺流程图，其中有的已用于生产，有的尚处于中间试验阶段，有的还尚未作详尽的评价。书中还包括矿浆处理（即矿浆萃取）问题，还谈到了可能用溶剂萃取来处理工厂的外排废液。本书的最后部分讨论了对选择溶剂萃取流程起决定作用的经济问题，同时还阐述了一些具体流程的经济问题。

我们试图确定一种方法，即在整个两册书内都能有条理地阐述溶剂萃取过程。我们希望这种方法能使那些对萃取过程感兴趣的人更深刻地明了和理解这个单元过程，我们认为，溶剂萃取这个单元过程是很吸引人的，是很有利的，并且是很有用的。为此，我们力图向研究工作者、现场解决问题的人、流程设计者、技术顾问以及其他人士提供一些基础知识和实用的资料，这些知识和资料都是有用的，有助于他们选择试剂和设备，指出问题所在，解决操作中的问题，设计新的流程等等。为了更好地说明文章的内容，我们设法用了很多的表格、特性曲线图和流程图，并且提供了不少的有关参考文献。这样，这两册书都兼有教科书、资料集和工具书的价值。

很明显，如果没有很多人的帮助和支持，这两本书是编写不出来的，对此我们深表谢意。我们深深感谢 K.W. Downes 博士，他是能源、矿业和资源部所属的加拿大矿业分部提取冶金处的前处长，他使我们的工作途径比原来拟采取的要简捷得多。我们也要感谢 R.L. Cunningham 博士，他是 CANMET 矿物科学实验室主任，还有 C.H. Smith 先生，他是能源、矿业和资源部副部长的高级助手，他们两人都对我们进行了鼓励和支持。我们中间的一人（Ashbrook）还要感谢埃尔多拉多核公司（Eldorado Nuclear Ltd.）在此书编写的后阶段所给予的鼓励和支持。

我们向很多朋友和同事致谢，在过去的六年内我们曾向他们请教、提问，并且老是打扰他们。我们向很多设备制造厂商表示谢意，他们曾经很快地寄来了我们向他们索取的资料，使我们能把这些资料编进本书内。

我们还向另外一些人表示敬意和感谢，他们胜任了很多草稿（包括最后一稿）的打字工作。第一稿全文是由 Debbie Salois 打的，第一册是由 Karen Julian 和 Vi McDiarmid 打好的，第二册是由 Lorna Paquette 和 Jo-Ann Kearns 打好的。我们也要向 George Shanks 和 Dave Lister 致谢，所有的制图工作都是他们做的。

最后，我们谨将此书献给我们的夫人和家庭，在过去的岁月中，当我们在工余之暇为此书作出巨大努力时，她们总是鼓励我们，又是多么的耐心和体贴。

G.M. 里 特 瑟

A.W. 阿什布鲁克

封面设计：冯永路

统一书号：15175·509

定 价： 3.90 元

目 录

前言	v
第一章 溶剂萃取流程的制定	
I. 最初的研究	1
II. 分配数据	2
A. 萃取	2
B. 反萃取	4
C. 萃取动力学和反萃取动力学	5
III. 洗涤	5
IV. 萃取剂浓度	6
V. 对稀释剂和改良剂的要求	7
VI. 溶剂的预处理	8
VII. 溶剂的调节	9
VIII. 温度的影响	10
IX. 两相中溶剂组分的浓度	10
X. 其他方面	10
XI. 萃取剂的筛选	11
XII. 有关放大问题的决定	12
XIII. 小型连续试验	12
XIV. 中间试验厂的运行	16
XV. 设备的放大和运行	18
参考文献	19
第二章 溶剂萃取的工艺设备	
I. 设备的分类	20
II. 设计和放大	21
III. 设备	22
A. 混合澄清器	23
B. 非搅动萃取柱	34
C. 搅动萃取柱	36
D. 离心萃取器	54
E. 其他萃取器	55
IV. 萃取器的比较	56
V. 萃取器的选择	62
A. 概述	62
B. 体系的物理性质	63
VI. 结论	64
参考文献	65
第三章 工厂设计和结构材料	

I. 厂址选择	70
II. 厂房	70
III. 安全	70
IV. 自动化 和控制	72
V. 结构材料	74
VI. 腐 蚀	77
VII. 涂漆	81
参考文献	82

第四章 金属的萃取流程

I. 引言	84
II. 各种金属的萃取 流程	84
A. 铝	84
参考文献	86
B. 铍	87
参考文献	89
C. 铯	89
参考文献	92
D. 铬	92
参考文献	95
E. 铜	95
参考文献	119
F. 锗	121
参考文献	122
G. 铁	122
参考文献	126
H. 锰	126
参考文献	128
I. 钼	129
参考文献	132
J. 镍与 钴	133
参考文献	172
K. 铌 (铯) 与 钽	175
参考文献	178
L. 贵金属	178
参考文献	184
M. 稀土元素与 钇	184
参考文献	197
N. 铼	198
参考文献	200
O. 钨	200
参考文献	201
P. 钍	201

参考文献	207
Q. 铊	207
参考文献	209
R. 铈	210
参考文献	238
S. 钒	241
参考文献	245
T. 铋与镉	245
参考文献	249
U. 铍与铅	250
参考文献	254
V. 杂项金属	254
参考文献	255
第五章 矿浆萃取	
I. 矿浆萃取流程	256
II. 运行经验的述评	257
III. 溶剂损失	261
A. 溶剂的吸附	261
B. 界面污垢的形成	262
C. 溶剂损失和污垢形成的预防	263
D. 脉冲条件	263
IV. 流程的费用	264
V. 讨论	267
参考文献	268
第六章 工厂和流程两方面的小结	
I. 工厂的小结	270
II. 流程的小结	272
参考文献	278
第七章 排出物的处理	
参考文献	282
第八章 需要考虑的经济问题	
I. 概述	285
A. 基建投资	285
B. 加工费用	286
II. 一些选定体系的费用比较	288
III. 溶剂萃取过程的最佳化	290
IV. 设备、聚结和溶剂损失	294
V. 溶剂的分出和回收	297
VI. 工厂费用估算	302
A. 铜	302

B. 铀.....	306
C. 矿浆萃取.....	310
VII. 溶剂萃取同其他工艺方法的比较.....	312
VIII. 金属的萃取和分离.....	317
IX. 副产品的回收.....	320
X. 通过萃取剂的直接还原来回收金属粉末.....	328
XI. 结 论.....	329
参考文献.....	329

第一章 溶剂萃取流程的制定

旨在湿冶作业中分离和回收有关金属的溶剂萃取过程的研究可以分成两大类。第一类的研究是一般性的，主要目的不在于针对某一特定的水相进料液而制定流程。第二类的研究是直接和某一特定的水相进料液有关的，目的在于制定溶剂萃取流程，以分离和回收一种或多种特定金属。溶剂萃取研究的这两种途径并不意味着它们彼此相互排斥，而只是作为在溶剂萃取研究中考虑用什么方法时的一种参考。当然，采用的方法，要受研究者的知识和经验的影响。但是我们在这里讨论问题时，假定研究者对湿冶加工中应用溶剂萃取方法没有什么经验，或者根本没有实践经验。

关于从水相进料液中萃取和回收有关金属的一般性研究，人们需要考虑对萃取过程产生作用或影响的全部参数，例如萃取剂的类型和浓度，稀释剂和改良剂，pH 值，接触时间，洗涤和反萃取等等。一般性研究的目的在于确定有关金属的萃取、分离和回收与这些工艺参数之间的函数关系，而不是制定专门的工艺流程。

从给定的水相进料液中针对一种或多种特定金属研究制定溶剂萃取流程，会受到若干限制性条件的约束。例如，有时温度和流量等条件可能基本上是固定的，从而制定出的溶剂萃取流程就一定要适应这些限制性条件。

溶剂萃取流程研究的最初期的台架试验工作是在分液漏斗那样的小型设备中进行的。当这些试验顺利完成后，并且还具备了最好的试剂和其他萃取条件时，就能在小型的混合澄清器中进行小规模连续操作。这样测得的数据常用来确定中间试验厂或生产厂的设计和运行的放大因素。

有一种学派认为，通过中间试验来制定溶剂萃取流程是一种不必要的浪费，主张把做中间试验所消耗的费用和时间，如果需要的话，用来改进具有正式生产规模的工厂，这样就更合理。假如只需稍加改进，甚至根本不需要改进的话，那岂不可获得很大的节约？很显然，如果试验的流程与现有的流程非常相似，并且有足够的数据可以作为工厂设计和生产的依据，那么这个办法可能还是令人满意的。在这种情况下，工厂的设计工程师和生产人员的实际经验就具有十分重要的意义。另一方面，未做流程的中间试验而设计成的工厂，在它的运行中一旦发生问题，就可能造成时间和费用的大量损失。当然，不论是什么样的流程或工厂，都是可以启动投产的，那怕是基础数据不足，设计工作不良，但是运行费用却可能是极其巨大的！可是，应当指出，中间试验的规模是可以改变的，总的处理量可以由每分钟几加仑变成几百加仑。一般情况下，人们会认为，中间试验厂的规模直接与最终的工厂规模成正比。

本章不作一般性的讨论，而主要是专门论述为制定溶剂萃取流程所需要的研究工作。

I. 最初的研究

为了制定某种溶剂萃取流程来从一定的水溶液中回收或分离有关金属，首先需要知道溶液组成、pH 值、温度和流量。溶液的 pH 和温度，在溶液进入溶剂萃取工序之前，在经济

许可的一定限度内是可以调节的。但是，只有在很少的情况下，浸出或溶解的条件是取决于萃取流程的。因此，在确定浸出条件或料液性质之前，不可能认真进行萃取流程的制定工作。

料液的性质和一种或多种被萃取金属的特性能减少可以应用的萃取剂的种类数。例如，假定溶液中不存在金属的络合阴离子，那么考虑用阴离子萃取剂（胺类）就没有太多的理由。反之，如果有金属的络合阴离子存在，则最适宜于萃取络合阴离子的胺类萃取剂就可能被选用。人们已知，通常伯胺很容易萃取硫酸盐的阴离子络合物，而叔胺和季铵盐则容易萃取氯化物的阴离子络合物。有了这样一些知识，就可以节省大量的时间和费用。

应当进行文献调研，以确定现行的流程中哪一种可能采用，这主要取决于研究者的基础知识和实践经验。

选出了最适宜的萃取剂类型之后，下一步就是测定已知萃取体系的各种参数。这些参数是：被选来萃取给定金属的萃取剂的规格；萃取和反萃取的特性；萃取金属的 pH 关系；对稀释剂和改良剂类型的要求；萃取、洗涤和反萃取三者的动力学；萃取剂的浓度和所需的相比；有机溶剂在水相中的溶解度；以及已知体系的各种物理特性。

II. 分配数据

A. 萃 取

测定分配数据可以用两种方法。第一，采用水相和有机相的相比变化法；第二，用新制备的水相与一份有机相多次接触，直到有机相饱和为止的方法。

在相比变化法中，一般用的相比变化范围大约从 1/10 到 10/1。例如，10 毫升含金属的某种水相，与 100 毫升含萃取剂的有机相接触，一直达到平衡为止（参见第一册）。常用腕关节动作的机械振荡器进行振荡。待两相分层后，把两相分开，并分析使人感兴趣的一种或多种金属的含量。在分析之前，必须除去水相中夹带的少量有机相和有机相中夹带的少量水相。两相的分离可以用离心机来完成，也可以用粗的干滤纸过滤。一种特别用来从有机溶液中滤除水溶性物质的滤纸，是 Whatman 1PS 相分离纸。这是一种经过硅酮处理的高度疏水性纸。

在采用相比，例如为 1/5，1/2，1/1，2/1，5/1，和 10/1 的条件下重复相间的操作程序。必须强调指出，在全部试验中，平衡的 pH 值一定要相同。保证 pH 相同的一个办法，就是在两相平衡以后检查水相的 pH 值，如果需要的话，加酸或碱调节之，以后再振荡两相。

然后根据有机相中的金属浓度，对水相中的金属浓度作萃取的分配等温线，等温线是相比的函数。D2EHPA (Na) 于 pH6 时萃取镍的等温线如图 1-1 所示。

绘制萃取等温线的第二种方法如下：首先决定一个合适的相比，有机相和水相在此相比条件下接触，一直到平衡为止，待两相分开，从分液漏斗中放出水相，取水相送去分析，也取一定体积有机相送去分析。然后，再将新制备的水溶液加到保留着有机相的分液漏斗中去，加入量恰好使相比与开始用的相比相同，再振荡，使两相达到平衡，操作方法和上面叙述的一样。此过程一直进行到有机相完全被金属饱和为止。还要再指出，每次振荡的

pH 必须保持恒定。这个方法的缺点是，由于考虑取样，所以开始用的有机相体积必定很大，特别是在需要很多的接触次数时更是如此。一般情况下，宜推荐应用第一种变化相比的方法。

由这些数据绘制的萃取等温线，可以用来作 McCabe-Thiele 图（参见第一册）。

对于特定浓度的萃取剂，由两种方法中的任何一种，都可以求得有机相的饱和容量。但是，正如在第一册中已经指出的那样，不能认为，饱和容量随萃取剂浓度的增加而呈线性关系（参见图 1-1）。

如果用高浓度的有机相（>10% 体积），则最好还是实际测定这些浓度条件下的饱和容量。实际测定是很容易的，既可以用一份有机相与新制备的水溶液多次接触，也可以在高水/有相比条件下，与含金属的浓缩液接触，直到容量达到最大为止。

对于绝大多数的探索性试验，有机相的分析是不需要的。假定两相不发生体积变化，也不生成第三相或界面污垢，则只分析萃余水相也就足够了，因为有机相中的金属浓度，可以根据料液的原始金属浓度和所用的相比就能很方便地计算出来。

金属萃取程度随 pH 值的不同而变化，对此可用类似上述的方法进行测定，但要把 pH 值在适当的范围内加以变化。在每个 pH 值的条件下，计算萃取系数（E 或 $\log E$ ），并作为平衡 pH 的函数作图。也可以用计算得出的金属萃取百分率代替萃取系数，按上述方法对 pH 作图。

最近瑞典制成一种 AKUFVE 仪器 [2-4, 18]，这就有可能用来测得准确的分配数据，而且比常规的技术还快一些，特别是对于单一体系，当需要大量的数据时，更是如此。该仪器主要由一台混合器、一台进行两相绝对分离的连续流动离心机和监测两相中金属浓度和酸度的在线分析探测器所组成。这种连续分

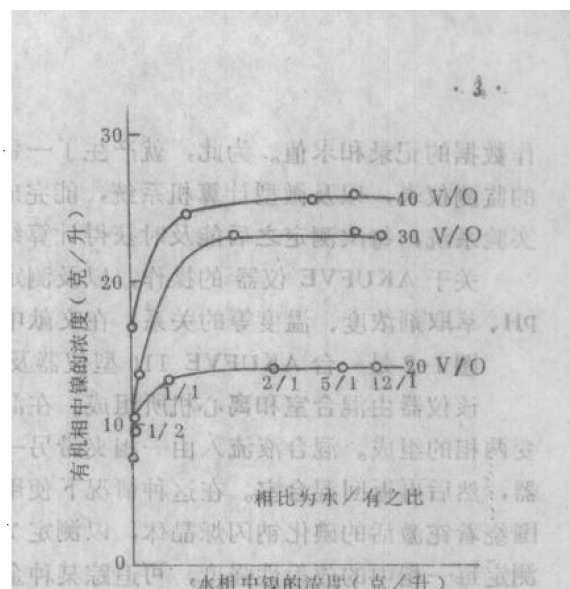


图1-1 硫酸盐体系，D2EHPA(Na) 在 pH6 时萃取线的分配等温线

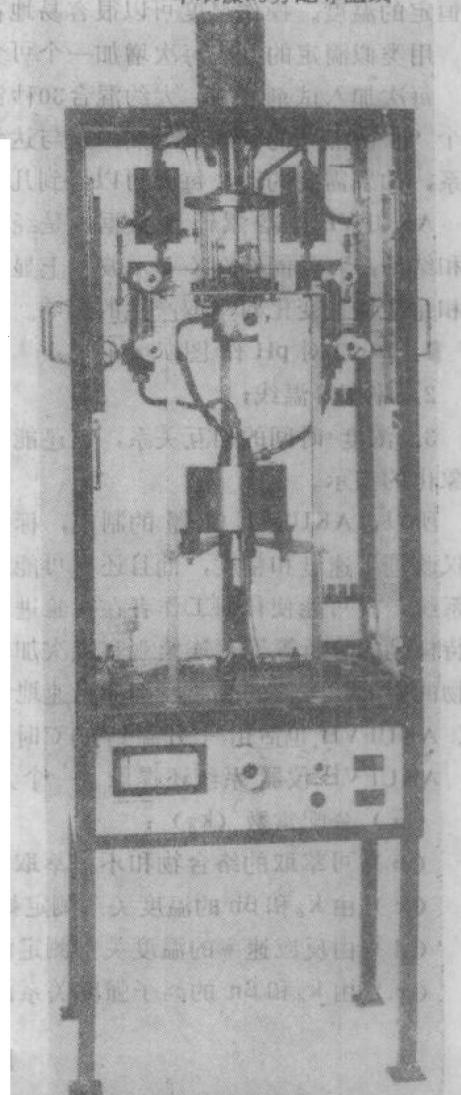


图1-2 AKUFVE110型仪器

作数据的记录和求值。为此,就产生了一台改进的 AKUFVE 仪器,配有辐射探测器和有关的监测仪表,以及微型计算机系统,能完成数据的记录和计算以及实验的控制。有这样的实验系统,每次测定之后能及时获得计算结果,因此,可以用来作理论分析和实验指导。

关于 AKUFVE 仪器的操作,以及测定分配数据的实验技术,例如金属的分配系数与 pH、萃取剂浓度、温度等的关系,在文献中已有详尽的论述^[1,4],这里只作简要的概述。

图 1-2 是一台 AKUFVE 110 型仪器及其辅助系统的照片。

该仪器由混合室和离心机所组成。在混合室中进行有机相和水相的混合,并加入试剂改变两相的组成。混合液流入由一相夹带另一相的贮槽内。分开后的两相分别流经各自的探测器,然后再返回混合室。在这种情况下使用的探测器蛇形管是由聚四氟乙烯制成的,蛇形管围绕着铊激活的碘化钠闪烁晶体,以测定 γ 辐射强度。用有关金属的放射性示踪原子,通过测定每一相中的放射性强度,可追踪某种金属在两相之间的分配。用一对玻璃甘汞电极监测水相的 pH 值。混合室是恒温的,而且液体在系统中快速循环(每分钟高达 3000 毫升),保持恒定的温度。操作温度可以很容易地在 10—80℃ 的范围内改变。

用类似滴定的办法每次增加一个可变条件的量,如此进行测定,并记录分配比。

每次加入试剂之后,大约混合 30 秒钟就达到了完全平衡。加试剂的间隔时间也就是获得一个“平衡点”的时间。当然,这与达到萃取平衡的时间有关。对于很快就达到平衡的化学体系,如果需要的话,每天可以得到几百个平衡点。

AKUFVE 仪器累计的数据,是经过计算机处理的,它完成需要的计算,记录全部的信息和结果,并且能够在 X-Y 示波器上显示有关结果的图形。这样就可以观察到萃取过程的进展和每次增量变化对萃取产生的影响。最常用的显示图形是:

1. $\log D$ 对 pH 作图;

2. 平衡等温线;

3. 浓度-时间的相互关系,它还能提供动力学数据,很快给出何时系统处于平衡状态的形象化的指示。

所以,AKUFVE 仪器的制成,标志着溶剂萃取过程的研究技术的重大改进。因为,这不仅改进了速度和精度,而且还有可能应用现代化的数据记录和求值的技术。上述的这一实验系统,有可能使科研工作者在实验进行的时候,在仪器旁边直接了解计算的结果,而不必等待样品的分析等等。连续观察每次加料后达到的平衡,可得出反应动力学的信息,因为加入物的影响和条件的改变,都能迅速地评价。这可以导出用常规技术很难进行研究的分离因数。AKUFVE 也适用于升温到 80℃ 时的研究。

AKUFVE 仪器系统还提供了一个大为改进的方法,以进行下述项目的测定:

(a) 分配常数 (k_d);

(b) 可萃取的络合物和不被萃取的络合物稳定常数 (β_n);

(c) 由 k_d 和 β_n 的温度关系测定焓和熵;

(d) 由反应速率的温度关系测定活化能;

(e) 由 k_d 和 β_n 的离子强度关系测定活度系数。

B. 反萃取

为绘制反萃取等温线而需要的数据,是用类似萃取的方法测定的,但是一般不需要控制

pH。一般的操作程序如下：在适当的相比条件下，萃取后的有机相与合适的反萃取剂（酸、碱等）接触，一直达到平衡为止。然后排出水相，再把新配制的反萃取剂加入有机相，重复操作，一直到（尽可能）把全部金属从有机相中反萃取完全为止。每次反萃取之后，分析反萃取液，计算有机相中金属的浓度（当然，假定体积不变，否则就必须进行有机相的分析），并据此绘制反萃取等温线。以后也可以用此曲线来绘制 McCabe-Thiele 图，根据选用的相比和反萃取剂的浓度，计算出必需的反萃取理论级数。

C. 萃取动力学和反萃取动力学

萃取和反萃取二者的速率如果不是很快（< 1 分钟）的话，为了设计一个工厂，就必需知道萃取和反萃取这两个操作过程达到平衡所需要的时间。

对于某一系统达到平衡所需要的时间，可以用前面分配数据一节中叙述的振荡试验来测定。接触时间在 0.5—15 分钟之间改变，在适当的时间间隔条件下，以每一接触时间的萃取系数作为时间的函数作图。这些数据不能直接应用于连续萃取过程，因为金属萃取的速率，部分地是搅拌方式和搅拌程度的函数。然而，对于该体系是否适用于大型萃取器，萃取速率是否足够快，却可获得一个正确的概念。例如，假如在一分钟之内达到平衡，那就差不多可以选择任何一种类型的萃取器。用这种方法，接触时间的下限，选用 0.25 分钟左右。

文献上报道了一个用传质动力学数据计算连续逆流混合澄清器的 Murphree 级效率的方法，用此法即可在很大的操作条件范围内计算实际的接触段数^[17]。这样，可以把浩繁的试验工作减到最少，因为只要进行按统计学方法设计的有限的实验，就可测定主要操作参数对传质动力学的影响。图 1-3 表明了 Kelex-铜硫酸盐体系中速率系数随搅拌速度的增加而明显增大的影响。有机相分散的动力学特性，比水相分散的动力学特性差。相比的改变对动力学几乎没有什么影响。此外还有数据表明相比变化和聚结的影响。

反萃取速率在工业操作中也是很重要的，可以用类似上述的方法测定。

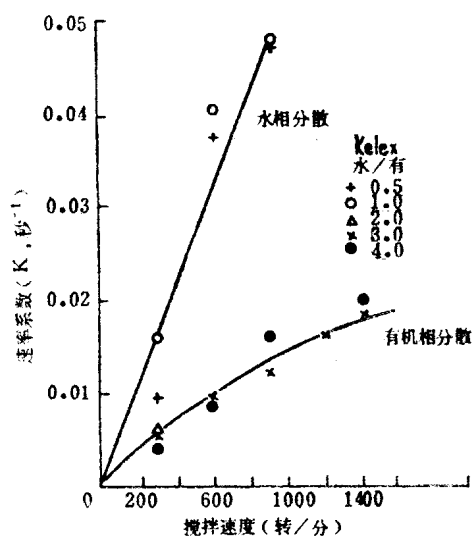


图1-3 搅拌速度对速率系数的影响

III. 洗 涤

洗涤饱和有机相的目的，在于尽可能多地洗脱某些不想要的共萃取金属。通过变换洗涤剂来完成这一作业可有许多方法，但是一般用水，稀酸或稀碱溶液洗涤，也可以用含有金属盐（这种盐类在有机相中是最令人感兴趣的）的水溶液洗涤。

各种洗涤试验都是用类似上述的方法进行的。在适当的离子强度、pH 值、相比、接触时间和温度的条件下，让萃有金属的有机相与洗涤剂接触。两相分离之后，一般分析有机

相,测定是否含有不想要的一些金属,以及洗脱了多少有价值的金属。通过改变各种条件,可以确定最优的洗涤剂 and 最佳的洗涤条件。

洗涤后的水溶液中可能含有大量的有价值的金属,因此要考虑应当把这样的溶液返回到流程的什么地方去。

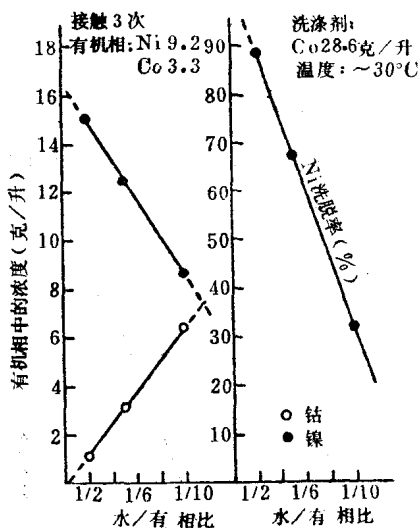


图1-4 水/有相比对用硫酸钴溶液从D2EHPA-煤油有机相中洗脱镍的影响

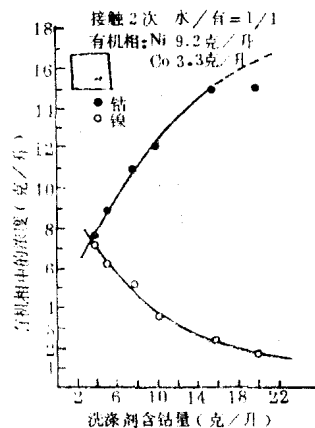


图1-5 洗涤剂组成对从含钴的D2EHPA-煤油有机相中洗脱镍的影响

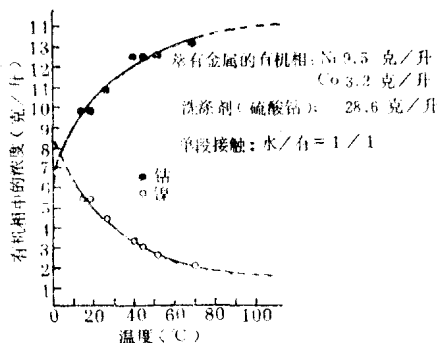


图1-6 温度对从D2EHPA-煤油有机相中洗脱镍的影响

洗涤试验获得的数据可以用作图法表示,例如,用有机相中的金属浓度对相比、洗涤剂的盐浓度、温度等作图。从含钴的D2EHPA有机相中洗脱镍的典型的图形示于图1-4、图1-5和图1-6。

IV. 萃取剂浓度

对于一种给定类型的萃取器,在相比适当的条件下,萃取某种金属所需要的萃取剂浓度,基本上取决于水相料液中的金属浓度。所以,如金属浓度低,则有机相中的萃取剂浓度就不需要太高。因为在这种情况下,为了不让大量没有用的有机相在系统中循环,所用的大相比可能对该萃取器是不适宜的。相反,如料液中金属浓度高,为了保持适当的相比,则有