

有色重金属的溶剂萃取

(重冶专业用)



中南矿冶

一九七五年

有色重金属的溶剂萃取

目 录

第一篇	溶剂萃取的理论基础	3
第一章	溶剂萃取的实质、萃取原则流程及萃取体系的组成	3
§ 1	溶剂萃取的实质	3
§ 2	萃取原则流程	3
§ 3	萃取体系的组成	4
第二章	萃取的基本定律	6
§ 1	分配定律与分配系数	6
§ 2	萃取效率与分配系数	8
§ 3	分离系数与分配系数	11
第三章	萃取体系的分类	13
§ 1	简单分子萃取体系	17
§ 2	中性络合萃取体系	18
§ 3	螯合萃取体系	20
§ 4	离子缔合萃取体系	21
§ 5	协同萃取体系	24
第四章	影响萃取率的因素及萃取操作上应注意的几个问题	26
§ 1	影响萃取率的各种因素	26
§ 2	萃取操作上应注意的几个问题	31
第五章	工业萃取剂结构对萃取性能的影响及常用工业萃取剂一览表	36
§ 1	有关名词	36

(2)

矿 院

§ 2	工业萃取结构对萃取性能的影响	44
1.	整合萃取剂	44
2.	酸性萃取剂	45
3.	碱性萃取剂	45
§ 3	常用工业萃取剂一览表	56
第六章	萃取级数	62
§ 1	萃取平衡	62
§ 2	萃取级数	63
1.	萃取的分类	63
2.	萃取级数的确定	65
第二篇	溶剂萃取在有色金属冶炼中的应用	85
第一章	铜的溶剂萃取	85
§ 1	概说	85
§ 2	用 Lix 64 从硫酸盐溶液中萃取铜	90
1.	用 Lix 64 从硫酸盐溶液中萃取铜试验	90
2.	用 Lix 64 从硫酸盐溶液中萃取铜的工业应用	96
(1)	液体离子交换法在湿法炼铜中的第一次工业实践	96
(2)	美国巴格达德铜公司使用 Lix 64 从堆浸液中回收铜	108
(3)	赞比亚恩高加联合铜公司用 Lix 64 回收铜	110
§ 3	用 Lix 64 N 从氨液中回收铜	113
1.	从铜屑或泥铜中的氨浸液中回收铜	113
2.	从 Cu—Ni 精矿的高压氨浸液中回收铜	116
§ 4	用 Kelex-100 从浓溶液中萃取铜	123
§ 5	用 N-510 以亚硫酸铜溶液中回收铜的试验	138

§ 6	从铜、镍的电解液中萃取脱铜	149
(一)	Tompson 厂镍阳极液用萃取法脱铜	149
(二)	从铜电解精炼废液中净化脱铜及富集镍	156
第二章	钴镍的溶剂萃取	157
§ 1	从钴镍的硫酸盐溶液中分离钴 镍	157
(一)	用 D2EHPA 从硫酸盐溶液中分离钴镍	157
1、	D2EHPA 的基本性质	157
2、	用 D2EHPA 萃取净化镍钴硫酸盐溶液	158
3、	用 D2EHPA 萃取分离镍钴的研究	171
4	用 P204 萃取脱杂质及分离镍钴	184
(二)	用羧酸(环烷酸)萃取从溶液中分离钴镍	213
§ 2	从钴镍的硫酸盐溶液中分离钴镍	222
1、	用 D2EHPA 从氨溶液中分离镍钴	222
2、	用 Versatic 911 从硫酸盐溶液中分离钴镍	222
§ 3	从钴镍的氯化物溶液中分离钴镍	239
1、	胺类萃取剂及其性质、萃取原理	239
2、	用 N-235 从氯化物溶液中萃取分离钴镍	246
3、	用 TIOA 从氯化物溶液中萃取分离钴镍	262
4、	用 Alamine 336 从电解废合金所得氯化物溶液中分离铁、钴、镍	272
5、	用 Alamine 336 从 HCl 及 O_2 溶解钴镍合金中所得溶液中共收有钨金原	276
6、	用 N-235 从镍基合金废料电溶解所得溶液中提取特号镍	280
§ 4	用脂肪酸从硫酸钴、镍溶液中净化脱铁铜	282
1、	脂肪酸萃取钨金原的物理化学基础	282

2.	脂肪酸萃取从硫酸铜溶液中脱铁铜	293
第三章	铟、铋的溶剂萃取	302
§ 1	用 Versatic 911 从氯化物溶液中分离 Cu, Zn	302
§ 2	用 P104 从硫酸盐溶液中分离 Cu, Zn	304
§ 3	用环烷酸及 TBP 萃取分离 Zn, Cd	304
第三篇	液——液萃取设备	309
第一章	概述	309
第二章	箱式混合澄清萃取田及其计称	310
§ 1	混合澄清萃取田	310
§ 2	混合澄清萃取田及其联接图	312
§ 3	混合澄清萃取田计称实例	317
第三章	塔式萃取田及其计称	335
§ 1	机械搅拌萃取塔	335
§ 2	普通型多孔板萃取塔	337
§ 3	上下搅动型多孔板萃取塔	338
§ 4	脉冲塔	339
第四章	离心萃取田	351

有色重金属的溶剂萃取

前言^{①②}

用溶剂萃取技术从水溶液中分离和提取有色金属，最近引起了广泛的重视，许多国家进行了大量研究工作。从1945年以来，萃取技术在原子能工业上的应用有很大发展。

萃取方法，实际上始于十九世纪。1842年有人叙述了用醚萃取铀的硝酸盐，1879年有人用醋酸正戊酯和二乙醚萃取铀的硫酸氟酸盐，1892年又报导了 Fe^{+++} 萃取入乙醚中的过程。此后，溶剂萃取的研究和应用，大都出现在分析化学上。

溶剂萃取作为一种金属离子的分离及富集技术而言，由于它具有平衡速度快、处理容量大、分离效果好、回收率高以及操作简便，又易于遥控和自动化等特点，在解决核工业的原料问题上起了很重要的作用。同样，萃取技术不仅在稀有金属湿法冶金中的工业应用显示了它卓越的技术及经济效益，而且十余年来在某些有色金属湿法冶金中的工业应用也显示出非凡的成就；即具有生产能力大、金属回收率高、产品质量好、设备简单、过程易实现机械化和自动化、劳动强度小、劳动条件好等优点，因而近年来萃取技术在湿法冶金中的应用取得了惊人的突破。例如从低浓度溶液中回收铜，过去都用铁屑置换或碳酸盐沉淀法分离铜，不仅操作繁杂，而且生产成本也高，还与钢铁工业争夺原料，但用萃取法富集铜则有显著的优越性。在许久以前，用环烷酸及其他羧酸萃取铜有不少报导，但它们有萃取率高、气味大的缺点。近年来国外试制及生产的 LiX63 、 LiX64 、 LiX64N 及 LiX70 、 LiX73 等一系列新型萃取剂的广泛研究与应用，为铜的萃取分离创造了有利条件。由于这类萃取体系的技术经济效益显著，生产过程又没有“三废”产生，所以它已逐渐取代铜的火法冶炼工艺，有人估计到1980年全世界铜产量的 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ 将由萃取法提供。^{③④}

湿法冶金中的钴、镍分离，由于其性质相近而分离困难。通用的化学方法（例如用氨或 NaOH ）分离钴镍，过程复

来 设备庞大, 劳动条件恶劣。为此也有一些工厂采用萃取技术分离钴、镍, 效果良好。至于萃取分离钴、镍的研究工作, 许多国家都在加紧进行。

萃取技术在重金属湿法冶金中净化脱杂质早有工业应用, 而且日益普遍。

此外, 值得注意的是从负载金属的有机相中直接用 H_2 还原的金属粉末的研究, 将给湿法冶金以一次大的革命。

解放后的我国, 早已将萃取技术用于原子能工业, 并在 1963 年召开了全国第一次萃取会议。随后, 稀有金属冶金也普遍采用了萃取技术, 在重金属湿法冶金中萃取技术也早有研究及应用。特别在文化大革命以来关于这方面的研究工作正蓬勃开展并取得了显著成就。脂肪酸用于萃取脱杂质, 国产萃取剂 N—235 用于从 HCl 溶液中分离钴、镍早有工业实践。从 H_2SO_4 溶液中国产萃取剂 P_{204} 分离钴镍以及用 N—510 萃取铜的研究也已取得了显著成就并即将得到工业应用。这样, 我们就有了自己的用于有色金属萃取的国产萃取剂了。

遵照伟大领袖毛主席关于“我们必须打破常规, 尽量采用先进技术, 在一个不太长的历史时期内把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。”的教导, 目前我国不仅对萃取技术在湿法冶金中的应用正进行大量研究工作。而且正研究试制许多新型萃取剂。1974 年又召开了重金属萃取经验交流会。可以预见萃取技术在重金属湿法冶金中的应用将会迅速地发展。

由于萃取技术在有色金属冶金中的应用的研究还很不够充分, 特别是萃取机理方面, 所以我们在叙述萃取的理论基础时, 有些地方借助于稀有金属的例子。同时本资料编辑仓促, 不当及错误处请读者注意纠正。

第一篇 溶剂萃取的理论基础^{① ⑥ ⑦ ⑧ ⑨}

第一章 溶剂萃取的实质、原则流程及萃取体系的组成

§1 溶剂萃取的实质

萃取过程，只萃取溶剂（萃取剂即与被萃取物有化学结合的溶剂，如 $N-233$ ）溶于惰性溶剂（又称稀释剂，即与被萃取物没有化学结合的溶剂，如苯或煤油）中以形成有机相（此称空载有机相，不含金原）。使这种有机相与水相（含有金原离子的水溶液）相接触，这时水相中金原离子进入有机相（此称负载有机相含有金原），随后使负载有机相与水相因比率不同而澄液分离（近称分相），用适当的水溶液（例如含酸、碱的水溶液或自来水）接触负载有机相，使负载有机相中的金原又重新进入水溶液液中（此称反萃取过程），待澄液分离后得到空载有机相返回使用，而得到的富集了金原的溶液（称反萃取水相或反萃液）则用专门的方法回收金原，例如用化学沉淀法或电解法回收金原。

§2 萃取的原则流程

萃取原则流程示于图1，它基本上由有机相制备，萃取及反萃取三过程组成。

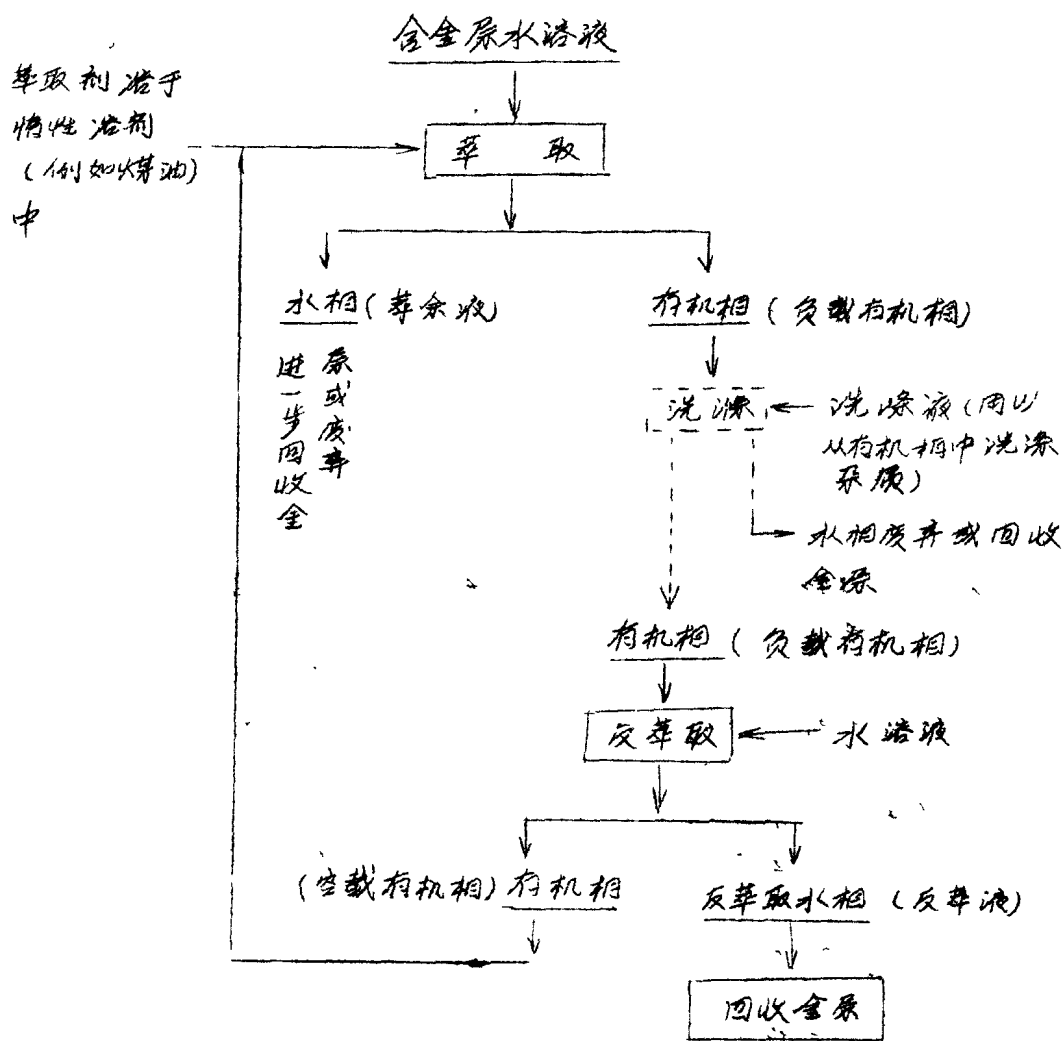


图1 溶剂萃取的一般反则流程

§3 萃取体系的组成

溶剂萃取在有色金属湿法冶金中的应用，主要是指无机物的有机溶剂液——液萃取。

溶剂萃取的体系，通常由有机相及水相组成。在有机相中的组分可能有萃取剂、添加剂、稀释剂。在水相中可能有各种阳离子、阴离子及中性分子。为了以后的叙述及讨论，现将萃取过程

中有八名词作简要说明如下：

1、萃取（或溶剂萃取、液—液萃取）：通常指溶于水相中的被萃取物（一般为无机物）与有机相接触后，通过物理或化学的过程，使被萃取物部分地或几乎全部地进入有机相，以实现金属的富集及分离的过程。

2、溶剂或有机溶剂、是在萃取过程中构成连续有机相的液体。溶剂分惰性溶剂和萃取溶剂两类，前者与被萃取物没有化学结合，能起溶剂作用。后者则与被萃取物有化学结合，例如用 N_{510} 的汽油溶液从硫酸铜水溶液萃取铜时汽油与 Cu^{++} 没有化学结合故称惰性溶剂或稀释剂，而 N_{510} 与 Cu^{++} 则有化学结合而成中性络合物，故 N_{510} 为萃取溶剂。

3、萃取剂：所谓萃取剂，是指与被萃取物有化学结合而又能溶于有机相的有机试剂。萃取剂如在室温时为液体，它能构成连续的有机相，所以也是溶剂，即上节说的萃取溶剂。但萃取剂也有在室温时是固体的，那就不能称为溶剂。固体萃取剂有溶于有机相的如 HTTA，（噻吩甲酰三氟丙酮）， HO_x （β—羟羧噻琳）等。也有溶于水相的如铜氨试剂等。

4、萃取络合物或萃合物、被萃取物与萃取剂结合而萃取到有机相中去的化合物，如用 $N-235$ 以 HCl 溶液中萃取钴时的萃合物为 $(R_3NH)_2CoCl_4$ ，

5、负载有机相：含有萃合物的有机相。

6、反萃剂、使被萃取物以负载有机相中分离出来的水溶液（如各种浓度的酸、碱或自来水），这一过程称反萃过程。

7、洗涤剂或洗涤剂：指洗去负载有机相中杂质而不使主要被萃物分离出来的水溶液，这一过程称洗涤过程。

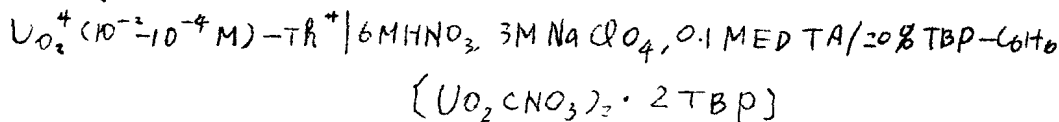
8、萃余液：指萃取后残余的水相。

为讨论方便起见，我们用下式来表示萃取过程。

被萃取物（起始浓度）——可萃取杂质 / 水相组成 / 有机相组成

〔萃取络合物分子式〕

例、



表示用 20% TBP 的苯溶液从 6M HNO_3 溶液中萃取 UO_2^{2+} ，它的起始浓度为 10^{-2} M 到 10^{-4} M，水溶液中还含有少量可萃取杂质 Th^{4+} ，萃取剂为 3M NaClO_4 ，掩蔽剂为 0.1 M EDTA，萃取络合物为 $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP}]$ ，

第二章 萃取的基本定律

§1 分配定律与分配系数

当仅有溶质 A 同时溶于两种互不相溶的溶剂时，假如一种溶剂为水，另一种为有机溶剂，则溶质 A 按一定的比例分配于这两种溶剂中。如果 A 在两相内分配的平衡浓度分别为 $[A]_{\text{水}}$ 、 $[A]_{\text{有}}$ ，则根据涅耳斯特 (Nernst) 分配定律， $[A]_{\text{水}}$ 与 $[A]_{\text{有}}$ 之间有下述关系：

$$\frac{[A]_{\text{有}}}{[A]_{\text{水}}} = K_D \quad (1-1)$$

上式中 K_D 称为分配系数。只有当溶质 A 在溶液中的浓度极低且在两相中的分子状态相同时， K_D 在一定温度下才为常数，而与溶质在整个体系中的总浓度无关。

在萃取过程中，实际上所遇到的情况是，溶质在溶液中的浓度相当大，因此应用 (1-1) 式常会发生偏差。在此情况下，严格地说来，分配系数应以溶质 A 在两相中活度之比 P_A 表示。在平衡时， P_A 为常数。设 $a_{\text{水}}$ 和 $a_{\text{有}}$ 分别代表溶质 A 在水相和有机相中活度，而 $\gamma_{\text{水}}$ 、 $\gamma_{\text{有}}$ 分别代表溶质 A 在两相中的活度系数，则可得下式：

$$P_A = \frac{a_{\text{有}}}{a_{\text{水}}} = \frac{\gamma_{\text{有}} [A]}{\gamma_{\text{水}} [A]} = K_D \left(\frac{\gamma_{\text{有}}}{\gamma_{\text{水}}} \right)$$

从热力学的关系式也可以证明 (1-2) 式的成立。设 $\mu_{\text{水}}$ 、 $\mu_{\text{有}}$ 分别表示溶质 A 在水相及有机相中的化学位，而 $\mu_{\text{水}}^{\circ}$ 、 $\mu_{\text{有}}^{\circ}$ 分别为标准化学位，则在定温定压下达达到平衡时有 $\mu_{\text{水}} = \mu_{\text{有}}$ ，并有

$$\mu_{\text{水}} = \mu_{\text{水}}^{\circ} + RT \ln a_{\text{水}}$$

$$\mu_{\text{有}} = \mu_{\text{有}}^{\circ} + RT \ln a_{\text{有}}$$

$$\therefore \mu_{\text{水}}^{\circ} + RT \ln a_{\text{水}} = \mu_{\text{有}}^{\circ} + RT \ln a_{\text{有}}$$

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{a_{\text{有}}}{a_{\text{水}}} = e^{\frac{\mu_{\text{水}}^{\circ} - \mu_{\text{有}}^{\circ}}{RT}} \\ &= K_D \left(\frac{\gamma_{\text{有}}}{\gamma_{\text{水}}} \right) \end{aligned} \quad (1-2)$$

当溶质浓度低， $\gamma_{\text{有}}$ 、 $\gamma_{\text{水}}$ 均近于 1，则 $\mu_{\text{水}}^{\circ}$ 、 $\mu_{\text{有}}^{\circ}$ 为常数，故 K_D 为一常数并等于 P_A 。

在含有两个以上组分的溶液，对每一组分 i 来说，将有一确定的分配常数 P_i 值。如果有几种组分 A、B、……等都能在两相中同时发生分配作用，则分配常数 P_A 、 P_B 、……等值，并不因其他组分的存在而有所改变。

在实际过程中，即有某些溶质在一相或两相中存在的分子状态有所不同。这时应用 (1-1) 式，也会发生偏差，因而应对 (1-1) 式加以修正。

在实际工作中，溶质 A 在两相中以各种化学形式进行分配的总浓度之比，是一个容易测得的实验量，称为分配系数 D 。

$$\begin{aligned} D &= \frac{\text{有机相中溶质 A 的所有各种化学形式的总浓度}}{\text{水相中溶质 A 的所有各种化学形式的总浓度}} \\ &= \frac{[A_1]_{\text{有}} + [A_2]_{\text{有}} + \cdots + [A_n]_{\text{有}}}{[A_1]_{\text{水}} + [A_2]_{\text{水}} + \cdots + [A_n]_{\text{水}}} \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 $[A_1]_{\text{有}}$ 和 $[A_2]_{\text{水}} + \cdots$ 分别代表溶质 A 在有机相和水相中

相中的不同化学形式的浓度。只有在比较简单的体系中，参与分配的溶质只有一种，而溶质在两相中存在的分子状态又都相同，且溶质在两相中的浓度极低的情况下，分配系数 D 才等于分配常数 K_D 。

§2 萃取效率与分配系数

实际的萃取效率（或萃取百分率）常常用 E 表示， E 与分配系数 D 的关系如下：

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\text{溶质 A 在有机相的总含量}}{\text{溶质 A 在两相中的总含量}} \times 100 \\
 &= \frac{[A]_{\text{有}} \times V_{\text{有}}}{[A]_{\text{有}} \times V_{\text{有}} + [A]_{\text{水}} \times V_{\text{水}}} \times 100 \\
 &= \frac{D}{D + \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{有}}}} \times 100 \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

式中 $V_{\text{水}}$ 和 $V_{\text{有}}$ 分别代表水相和有机相的体积。

从上式可见， E 的大小，决定于分配系数 D 和体积比 $\frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{有}}}$ 这两个因素，即 D 越大，体积比越小，则萃取效率越高。在同等体积的溶剂来进行萃取，在此情况下， $V_{\text{水}} = V_{\text{有}}$ ，则：

$$E = \frac{D}{D+1} \times 100 \quad (1-5)$$

此时萃取率完全取决于分配系数 D 。 E 与 D 的关系可由图2的曲线表明。由曲线可以看出：当分配系数 D 不断增大时，萃取效率 E 也不断增大，萃取就易于进行完全。

当分配系数 D 不高时，本来可增加有机溶剂的用量，以减小体积比来提高萃取效率，但因溶剂的体积增大，溶质在有机相中的浓度要降低，因而往往不利于进一步的分离。故在实际工作中，常采用连续几次萃取的办法，分几次加入溶剂，以提高萃取效

率。

设在 $V_{\text{水}}$ 毫升的水溶液内，含有 $\overline{W}_0$ 克溶质 A，如用 $V_{\text{有}}$ 毫升与水不互溶的有机溶剂进行一次萃取，以 $\overline{W}_1$ 表示第一次萃取后溶质在水溶液内剩余的克，则分配系数 D 为：

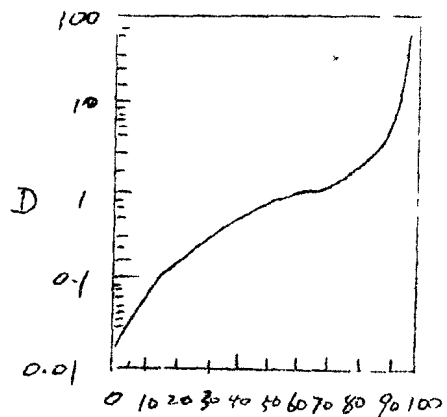


图2 D 与 E 的曲线关系

$$D = \frac{[A]_{\text{有}}}{[A]_{\text{水}}} = \frac{\frac{\overline{W}_0 - \overline{W}_1}{V_{\text{有}}}}{\frac{\overline{W}_1}{V_{\text{水}}}}$$

$$\text{或 } \overline{W}_1 = \overline{W}_0 \cdot \frac{V_{\text{水}}}{DV_{\text{有}} + V_{\text{水}}}$$

如再用 $V_{\text{有}}$ 毫升新鲜溶剂进行第二次萃取，并以 $\overline{W}_2$ 表示经第二次萃取后溶质在水溶液内剩余的克，则

$$\overline{W}_2 = \overline{W}_1 \cdot \frac{V_{\text{水}}}{DV_{\text{有}} + V_{\text{水}}} = \overline{W}_0 \left(\frac{V_{\text{水}}}{DV_{\text{有}} + V_{\text{水}}} \right)^2$$

如果每次用 $V_{\text{有}}$ 毫升溶剂继续萃取，则经过几次萃取后，溶液内剩余溶质的克 $\overline{W}_n$ 为：

$$\overline{W}_n = \overline{W}_0 \left(\frac{V_{\text{水}}}{DV_{\text{有}} + V_{\text{水}}} \right)^n = \overline{W}_0 \left(\frac{1}{D(V_{\text{有}} + V_{\text{水}}) + 1} \right)^n \quad (1-6)$$

显然， $\overline{W}_n$ 极小时，溶质基本上被萃取，从 (1-5) 式可知，

分配系数 D 与体积比 $\frac{V_{\text{有}}}{V_{\text{水}}}$ ，对 W_n 的影响是相同的。从表 (1-1)

可以看出 W_n 随 $D \left(\frac{V_{\text{有}}}{V_{\text{水}}} \right)$ 变化的情况。

表 1-1

$D(V_{\text{有}}/V_{\text{水}})$	W_0	W_1	W_2	W_3
1	100	50	25	12.5
10	100	9	0.8	0.07
100	100	1	0.01	
1000	100	0.1		

由表 1 可见，当 $\frac{V_{\text{有}}}{V_{\text{水}}} = 1$ 和 $D = 1000$ 时，在第一次萃取后，约有 99.9% 的溶质被萃取而进入有机相，而水相中仅余溶质 0.1%，如 $D = 100$ ，要得到同样结果，则 $\frac{V_{\text{有}}}{V_{\text{水}}}$ 应相应地变为

10，即有机溶剂的体积应为水的 10 倍，仅仅从萃取的观点来说，倘增加溶剂的体积比，以补偿 D 值的降低，似乎是有利的，但在实际上往往不希望溶液的浓度降低，如果萃取溶剂的用量不变，用少量的溶剂分做连续萃取，比一次萃取更为有效。

例 有 10 毫升含碘 7 毫克的水溶液，用 9 毫升 CCl_4 萃取：(1) 求全另一次萃取效率，(2) 每次用 3 毫升分三次萃取，求水溶液中剩余的碘量，并比较萃取效率。

$$\left(\text{假如 } D = \frac{[I_2]_{\text{CCl}_4}}{[I_2]_{\text{水}}} = 85 \right)$$

$$(1) \quad \overline{W}_1 = 1 \times \frac{10}{85 \times 9 + 10} = 0.013 \text{ (毫克)}$$

故进行一次萃取的萃取效率 $E_1 = 98.7\%$ 。

$$(2) \quad \overline{W}_3 = 1 \times \left(\frac{10}{85 \times 3 + 10} \right)^3 = 0.0001 \text{ (毫克)}$$

故分三次萃取的萃取效率 $E_3 = 99.99\%$ 。

§3 分离系数与分配系数

溶剂萃取在湿法冶金中常作为一种重要的分离方法。为了说明两种溶质的分离效率，因而有必要引入分离系数这一概念。若在同一体系中有两种溶质A和B，它们的分配系数分别为 D_A 和 D_B ，则分离系数 β (也叫分离因子) 的意义可表述如下、

$$\beta = \frac{D_A}{D_B} = \frac{[A]_{\text{有}}/[A]_{\text{水}}}{[B]_{\text{有}}/[B]_{\text{水}}} = \frac{[A]_{\text{有}} \times [B]_{\text{水}}}{[A]_{\text{水}} \times [B]_{\text{有}}} \quad (1-7)$$

从上述式可见，分离系数 β 表明了两种溶质在有机相中的平衡浓度之比，与在水相中的平衡浓度之比相差多少倍，它表征了两种溶质的分离效率。一般说来，易被萃取的物质的分配系数与不易萃取物质的分配系数，相差越大，两种物质的分离效率越高。例如 (1-7) 式中，如果 D_A 之值很大，而 D_B 之值极小，则溶质A和B的完全分离，易于迅速达到，如果 D_A 和 D_B 的数值很接近，则 β 接近于1，即两溶质在一般情况下，难于完全分离。所以

$$\begin{aligned} \beta &= 1 && \text{两元素不能分离} \\ \beta &\approx 1 && \text{" " "可以"} \\ \beta &> 1 && \text{越大，两元素越易分离，} \\ \beta &< 1 && \text{越小，} \end{aligned}$$

在实践中，分离系数小于2仍难达到分离目的。此时若要使两元素分离，则需要许多萃取级数，所以萃取设备，一般采用萃取塔。