



螺旋选矿机

LUOXUAN XUANKUANGJI



[苏] M. Ф. 阿尼金 等著

《螺旋选矿机》翻译小组

冶金工业出版社

螺旋选矿机

〔苏〕M.Φ. 阿尼金 等著

《螺旋选矿机》翻译小组

冶金工业出版社

螺旋选矿机

(苏)M.Φ.阿尼金 等著

《螺旋选矿机》翻译小组

•

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

850×1168 1/32 印张 6 1/16 字数 153 千字

1975年6月第一版 1975年6月第一次印刷

印数0,001~4,200册

统一书号: 15062·3160 定价(科三) 0.60 元

译者的话

本书是根据苏联1970年出版的 M.Φ.阿尼金等著的《螺旋选矿机》一书翻译的。希望读者本着“洋为中用”的精神，批判地吸取其中有益的东西。

书中阐述了螺旋选矿机、螺旋溜槽的选矿现状，总结了苏联和其他国家选矿厂使用螺旋选矿设备的工作经验。对螺旋选矿设备构造作了分析，并推导出关于水流参数、螺旋选矿机和螺旋溜槽生产能力的计算公式。

螺旋选矿设备，包括螺旋选矿机和螺旋溜槽，两者的区别在于螺旋槽断面形状不同。一般螺旋选矿机选别物料粒度较粗，而螺旋溜槽选别粒度较细，其下限可达0.02毫米。

本书可供选矿厂、科研、设计单位的工程技术人员和大专院校师生参考。

本书在翻译过程中略有删节。

本书第一、二、三、六章王松同志译，第四、五、八章于贞源同志译。黄顺元、曾祖培、彭汝湘等同志校对。

本书在翻译过程中，蒙一机部情报所图书馆的同志们热情支持，谨此感谢。

一九七四年七月

目 录

第一章 螺旋表面选别过程的原理	1
§1 螺旋面的性能.....	1
§2 矿物颗粒沿螺旋表面运动的特性.....	4
§3 螺旋水流的运动结构.....	7
§4 矿物颗粒运动的动力学.....	14
§5 螺旋矿浆流选矿过程的原理.....	26
第二章 螺旋选矿机的几何参数	34
§1 螺旋槽直径.....	34
§2 螺旋槽的横截面.....	36
§3 螺旋槽的螺距.....	39
§4 螺旋槽的长度和螺圈的圈数.....	40
§5 螺旋槽的工作表面.....	42
第三章 选矿过程的工艺因素	45
§1 物料的粒度和准备.....	45
§2 物料的比重.....	51
§3 矿粒的形状.....	53
§4 重部分含量.....	54
§5 矿浆浓度.....	56
§6 冲洗水.....	58
§7 螺旋设备的生产能力.....	59
第四章 螺旋选矿设备的构造	65
§1 苏联螺旋选矿设备的构造.....	65
§2 其他国家螺旋选矿机的构造.....	76
§3 螺旋选矿设备各主要部件的构造特点.....	81
§4 螺旋选矿设备的现代结构.....	89

§5 技术参数	101
第五章 实验的方法和技术装备	103
§1 实验室设备和进行试验的特点	103
§2 试验室扩大试验	108
§3 工业性试验	109
§4 重砂试验	112
第六章 螺旋选矿设备选别各种矿石的试验	115
§1 螺旋选矿设备和摇床对锡矿和钨矿的选矿试验	115
§2 螺旋选矿设备选别稀有金属矿石的试验	120
§3 螺旋选矿机选别铁矿石的试验	123
§4 采用螺旋选矿设备粒浮	126
第七章 螺旋选矿设备的选矿实践	129
§1 苏联有色和稀有金属选矿实践	129
§2 其他国家螺旋选矿机的选矿	141
§3 螺旋选矿机选矿技术和工艺的特点	153
第八章 螺旋选矿机选别砂矿	155
§1 螺旋选矿机在苏联企业中的应用	155
§2 其他国家砂矿的选别	161
第九章 螺旋选矿设备在工业上的使用	169
§1 螺旋选矿设备的应用范围	169
§2 螺旋选矿设备的选择	170
§3 螺旋选矿设备的配置和安装	172
§4 螺旋选矿设备操作质量	177
参考文献	180

第一章 螺旋表面选别过程的原理

苏联和其他一些国家很多研究单位都对螺旋选别过程进行了研究。这些研究，探讨了过程的原理和规律性，查清了各种相互关系〔3~10, 26, 43, 53~58〕。

螺旋选矿机选别有用矿物的过程是在矿浆曲线液流中出现的各种相互关联的现象。这种液流可视作二个分流的（携带物液体〔水〕和固相〔矿石〕）复合的三度空间运动。在矿浆流内产生了固相的松散、分层，并按不同的物理性质（比重、粒度）沿螺旋槽宽度重新分布。因此，在讲述过程的基本规律性时，要对各相沿螺旋表面运动的特性和特点、水流的作用和影响以及液流和固相之间的相互作用进行分析。对矿物颗粒成组和分层运动的特性给予定性的评价，并对螺旋表面富集过程中所产生的主要物理现象加以说明。

§ 1 螺旋面的性能

螺旋表面应用于各个工业领域（如：螺旋输送机、螺旋桨、钻头和弹簧等）。一条直线和曲线沿着轴线旋转，同时又顺着轴线位移，结果就形成了螺旋面。最简单形式的螺旋体是由水平直线以固定的角速度沿垂直轴线旋转，同时是顺着轴线均匀位移而形成的。由于动线的外形尺寸、旋转速度和轴向位移不一样，因而螺旋面多种多样。

螺旋面可用动线的形状尺寸，螺距和旋转半径来表示其特征。在有用矿物选矿实际应用的螺旋选矿机是一个具有垂直轴线的螺旋面。参数（横断面、螺距、旋转半径）不变的螺旋面有着一系列特点。在螺旋表面上，螺旋线与水平线形成的倾斜角，在整个螺旋线长度内是不变的（图1 a），该角度的数值系根据螺距和螺旋线的半径而定，其计算公式如下：

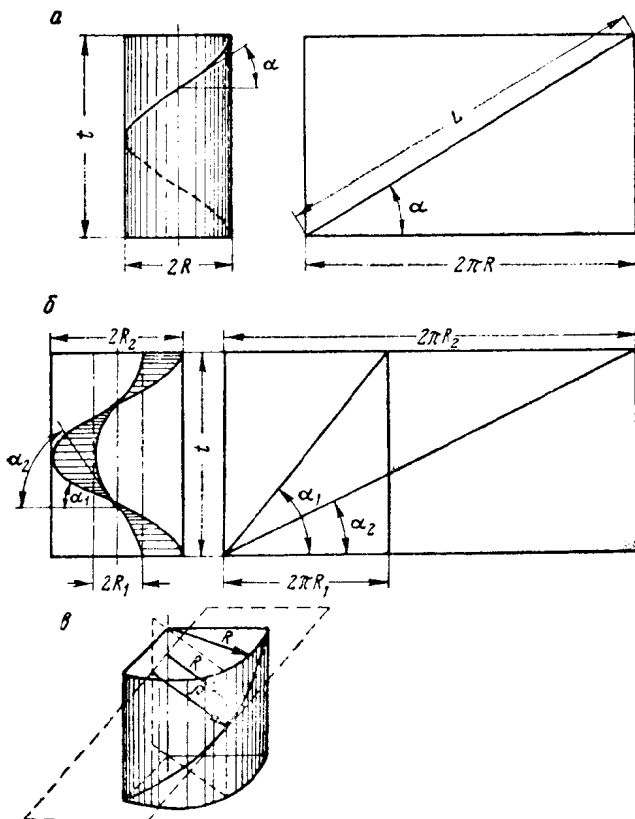


图 1 螺旋线

α — 倾斜角和螺旋线长度； σ — 一个表面上的螺旋线； σ — 曲率

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2\pi R}$$

式中 α —— 螺旋线与水平线形成的倾斜角，度；

t —— 螺距，米；

R —— 螺旋线半径，米。

螺旋线曲率半径总是大于其投影圆的曲率半径（图1， σ ）。

螺旋线曲率半径的大小，决定于螺旋线的倾斜角和半径。

$$\rho = \frac{R}{\cos^2 \alpha}, \text{ 米}$$

式中 ρ ——螺旋线曲率半径，米。

在螺旋状表面上的螺旋线曲率，如果倾斜角 α 不大时，近似于圆。曲率是随着倾斜角 α 的增加而减少，当 $\alpha = 45^\circ$ 时，该曲率比圆的曲率小 $1/2$ 。

螺旋线若螺距一样而离开轴心的距离 R 不一样时，它与水平线的倾斜角和长度就不同（图1б）。

螺旋线的长度决定于半径和螺距，其计算公式如下：

$$L = \sqrt{4\pi^2 R^2 + t^2} = 2\pi R \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}, \text{ 米}$$

螺旋表面最大水平倾斜角的正切（图2а）按下式计算：

$$\operatorname{tg} \gamma = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta}$$

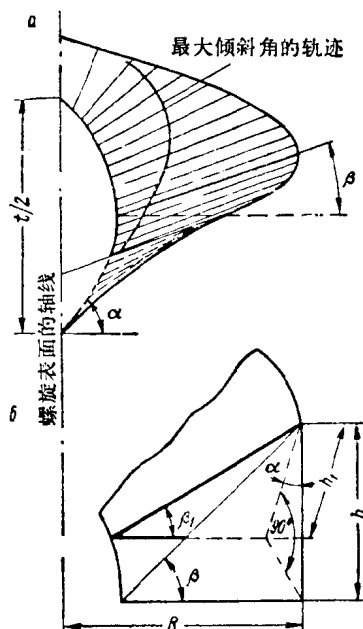


图 2 螺旋表面

a—最大倾斜角；б—切线的倾斜角 β_1

式中 β ——动线对水平线的倾斜角，度。

垂直螺旋线平面的螺旋表面切线的倾斜角可用它的正切来计算（图26）。

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta \cos \alpha$$

式中 β_1 ——切线倾斜角，度。

必须指出，螺旋面不能展成平面形状。这在很大程度上给制造螺旋槽带来了困难。

§ 2 矿物颗粒沿螺旋表面运动的特性

螺旋表面最初用来分离干式物料。形状、大小和比重不同的干式物料沿着选别装置运动时就产生了分离。如在很早以前，选别装置曾用来选别农作物产品。这种装置是利用物体沿螺旋表面移动具有不同的特性而产生作用的〔71〕。例如，弗列曼的蛇形选别装置或螺旋选粮筒，用于选别豌豆、箭筈豌豆、洋葱等类似的物料。

在采矿工业上，螺旋选矿机用于选煤。选矿机作用原理在于圆形的煤块在移动时其滑动摩擦阻力比板状页岩滑动阻力小。圆形的块煤沿螺旋表面滚动较快，并偏集于外缘，而板状页岩沿螺旋轨迹缓慢地向下移动，并分布在选矿机的轴线附近。

上述利用螺旋表面分离物料的原理，不能机械地用于选别矿浆液流内的矿物颗粒，因为在这种情况下，入选矿物的粒度在2毫米以下。在大多数情况下，这种粒度的脉石在形状上与有用矿物没有什么区别。因此，滑动摩擦系数差异不大，这就导致按比重分离物料颗粒的效果不佳。

然而，分析物料在干的状态下沿着螺旋表面移动的特性还是有价值的，因为这种分析，有助于评价各几何参数在选别过程中的作用 and 意义。

在观察物料颗粒在垂直位移轨迹的平面上移动时，不难看出，只有当着重力 P_i 和惯性离心力 $Q_i = Q \cos \beta_1$ 的切向分力相等

时, 才出现平衡状态 (图 3)。此时,

$$mg \cos \alpha \sin \beta_1 = \frac{mv^2}{\rho} \cos \beta_1$$

由此
$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{v^2}{\rho g \cos \alpha}$$

考虑到
$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta \cos \alpha \text{ 和 } \rho = \frac{R}{\cos^2 \alpha}$$

则得出
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{v^2}{Rg}$$

由此
$$v = \sqrt{Rg \operatorname{tg} \beta} \quad (1)$$

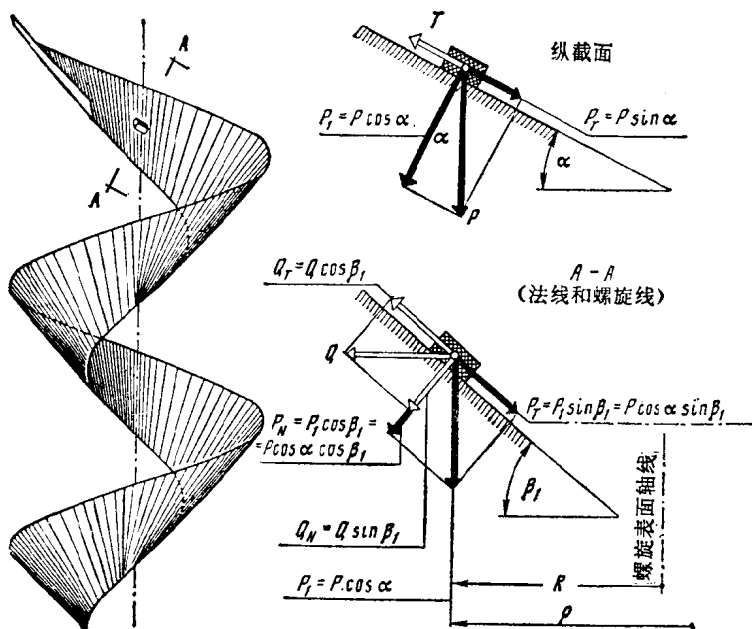


图 3 页岩颗粒在螺旋表面上稳定移动时所受的作用力图解

当 $\beta = \text{常数}$

则 $v = k_1 \sqrt{R}$

式中 v ——物料颗粒沿着螺旋线倾斜面移动的速度，米/秒；

k_1 ——系数，等于 $\sqrt{g \tan \beta}$ 。

因此，欲使物料颗粒在离开选矿机轴线固定距离为 R 的地方移动，其移动速度必须是固定不变的。

下面我们来分析一下物料颗粒在螺旋线运动速度方向一致时，其平面上的相互作用力。

Φ 力的数值决定着矿物颗粒移动的特性，可用方程式表示如下：

$$\Phi = P \sin \alpha - f P \cos \alpha$$

式中 f ——摩擦系数。

在等速运动情况下 $\Phi = 0$ ，则

$$\sin \alpha = f \cos \alpha$$

或 $\tan \alpha = f$

当矿物颗粒沿着螺旋表面等速运动时，轨迹倾斜角的正切等于摩擦系数。由此得出结论，摩擦系数不同的矿物颗粒必然沿着不同水平倾斜角的螺旋轨迹移动。依照这种条件，不同半径的螺旋线符合这种条件，这样矿物颗粒在其沿着螺旋表面运动时可以分选。

若矿物颗粒沿着螺旋表面移动，该表面的动线按 β 角向水平倾斜，在一定的 R 值情况下，矿物颗粒运动将是等速的。并且摩擦力恰好与运动力平衡。摩擦力的大小决定于重量和惯性离心力的法向分力的数值。

$$T = f(Q \sin \beta_1 + P \cos \alpha \cos \beta_1)$$

当等速运动时（图 3）

$$P \sin \alpha = f(Q \sin \beta_1 + P \cos \alpha \cos \beta_1)$$

更换后

$$P = mg, \quad Q = -\frac{mv^2}{R} \cos^2 \alpha$$

得出

$$v^2 = \frac{Rg(\sin \alpha - f \cos \alpha \cos \beta_1)}{f \cos^2 \alpha \sin \beta_1} = \frac{Rg(\operatorname{tg} \alpha - f \cos \beta_1)}{f \cos \alpha \sin \beta_1}$$

根据该方程式可以断定，矿物颗粒的移动速度与半径和螺旋倾斜角成正比，与摩擦系数和横断面倾斜角的正切成反比。

分选颗粒小于 0.2 毫米的混合矿物的结果证实了上述原则的正确性（表 1）。

螺旋表面选别干混合矿物的结果 表 1
(按重部分评价) %

产 品	产 率	含 量	回 收 率
精 矿	12.1	39.4	42.6
中 矿	51.2	12.3	56.8
尾 矿	36.7	0.2	0.6
原 矿	100.0	11.4	100.0

当混合矿物沿螺旋表面移动时，在矿浆流的截面上产生再分配，比重大的颗粒靠近内缘集中。

§ 3 螺旋水流的运动结构

水流沿螺旋槽流动具有很复杂的运动特性，并有着很多的特点 [5,9,53,55]。

本书作者对于螺旋水流的运动结构进行了专门的研究 [6,7,48,56]。在这些工作中，重点是阐明水流特点与螺旋槽几何形状及尺寸间的相互关系。螺旋流的特性，先用计算方法确定，随后通过实验验证之。

螺旋液流的特点 利用不同几何形状和尺寸的螺旋槽模型作实验，找出了螺旋液流的下列特点。

(1) 螺旋液流在横截面的不同区域内其深度和流速不一样。在螺旋槽的内缘，螺旋液流的特点是不深，因此，即使螺旋表面水平倾斜角 α 很大，其流速还是比较缓慢(图4)。在螺旋槽的外缘，螺旋液流很深，虽然螺旋表面水平倾角不大，但是液流在这个区域内流速仍然相当大。

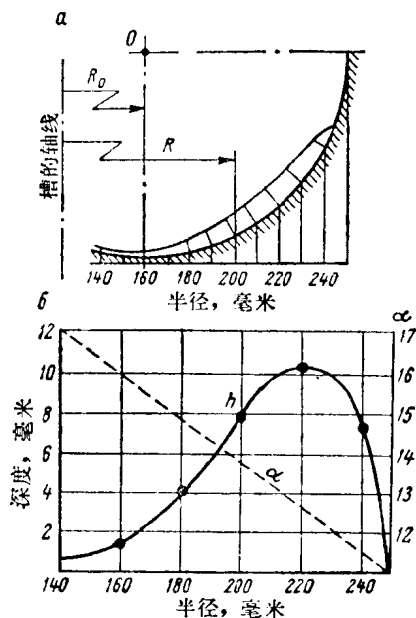


图4 螺旋流横截面的形状(a)及其深度与螺旋槽半径的关系(b)

(2) 螺旋液流有两种流动方式——在靠近内缘的一带，螺旋液流近似层流，而靠近外缘，则呈现紊流。

(3) 水流横截面的形状和尺寸决定于螺旋槽水流量。内缘一带的水流深度以及流动特性实际上并不随着流量增加而改变，但是，靠近外缘一带的水流横截面积却增加了(图5a)。在这一带内，水流横截面积是由于扩大湿周和水流加深而增加的(图5b)。在水流量减少的情况下，水流的内缘一带保持不变。

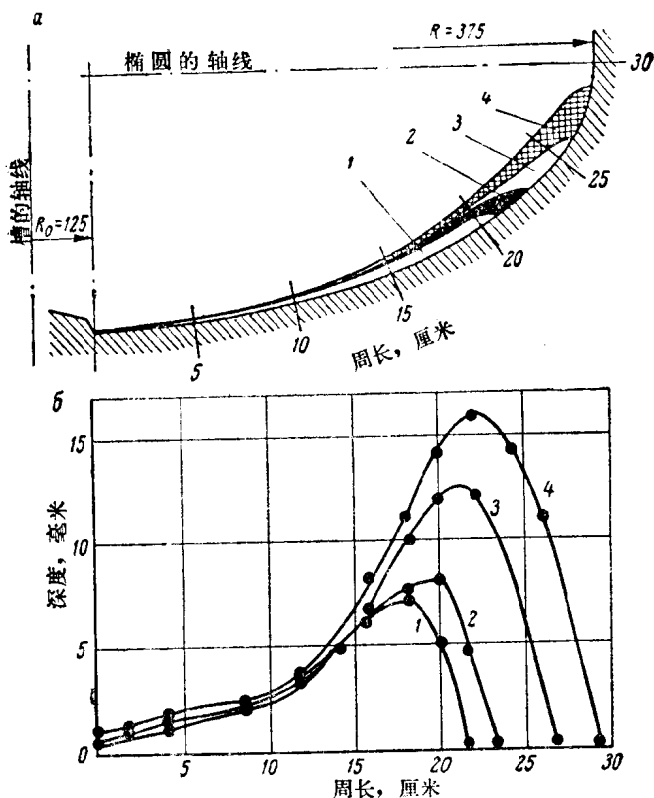


图 5 在不同流量条件下，截面形状 (a) 和螺旋液流深度 (b) 的变化情况，升/秒

1—0.61; 2—0.84; 3—1.56; 4—2.42

(4) 含水物质沿螺旋槽移动时，要完成两种旋转——围绕着螺旋槽垂直轴线旋转和在水流内部旋转，在螺旋槽内、外缘之间不断地循环 (图 6)。

(5) 螺旋液流具有一种在内部循环时产生的附加上升力，主要出现在液流的中部 (图 6)。在外部 δ 区域，螺旋液流紊流最大，在循环流动时，流体压力作用方向是朝着螺旋槽的底部。

可以看出，螺旋液流内存在着内循环水流，它对紊流的特性有很大的影响。实验证明：螺旋液流的紊流比直线液流的紊流要小〔25,26,83,148〕。

螺旋水流的内循环 水流沿着螺旋槽流动时，可以观察到水流的内循环〔134,151〕。这种水流的内循环可作为按任一曲线流动的水和液体的特征。这些水流循环是由于不同深度的各部分水流惯性离心力大小不同所致。

上层的水流与下层的水流相比具有较高的流速，因而在上层的水流产生了很大的惯性离心力。因此，上层的水流流动时急速地从螺旋槽的轴心流向外缘，沿着展开的螺旋轨迹2移动（图6）。靠近螺旋表面外缘的倾斜角比较小。水流到外缘后，从底部受到很大阻力，从而减低流速进入下层水流。下层水流流速低，顺着螺旋表面最大的倾斜方向流动。下层水流的流动轨迹为对数螺旋线1（图6）。上层水流流动时，离开螺旋线偏向外缘，而下层水流则偏向螺旋槽的轴心。可以假定在水流中存在着平衡层，该层水流系沿着螺旋线移动。所讨论的该部分水流离开假定层愈远，它偏离螺旋线就愈大。水在螺旋流内多次的旋转决定于这种流动特性。而基本流层的速度则发生数值和方向上的变化。

已查明：螺旋液流内部循环性能情况取决于水的流量或螺旋槽的充满程度。当螺旋槽充满不多时，水流只是单方向旋转。若流量大时，旋转将变得更为复杂。这样，水流仿佛被分成两个区域：内区域和外区域。在这样情况下，其流动结构与在弯管内流动水流相似。外部区域离开螺旋槽轴心最远，该区域与内部区域相比，它具有逆向循环的特点。在这里，下层水流向周边移动，而上层水流则向中心移动。外部区域就其湿周尺寸来说，远远小于内部区域。然而，水流在这个区域内最深。该区域就其运动结构并不适合于选矿过程，因为逆循环这个特性对于选矿效果起副作用。颇引人注目的是水流的内部区域具备了适于选矿过程的很

多的有利条件。

螺旋内循环水流的特性已经得到实验证实。

螺旋槽几何参数对

水流流动的影响 水力学对于水流中的循环现象研究的不够〔42, 68〕。因此, 弄清楚水流循环特性及其与螺旋槽几何形状的关系具有实际意义。

作者研究了下层水流在螺旋槽内运动特性的定性变化情况, 所用的螺旋槽在螺距、半径大小、横截面的形状和尺寸方面有所区别。经研究确定如下:

下层水流在不同几何形状和尺寸的螺旋槽内流动轨迹具有稳定的特性, 在形状上没有多大差别;

增大螺距、直径和螺旋槽横截面的尺寸, 使得螺旋轨迹延长, 与此同时螺旋线和水流运动轨迹之间的夹角则减小;

改变横截面的外形对于下层水流运动的特性没有什么明显的影响;

下层水流滑行的螺旋轨迹长度决定于水流的宽度, 水流愈宽, 移动的轨迹愈长。但是, 在试验螺旋槽上整个轨迹长度分布在角度大致为 180° 的扇形圆周内。

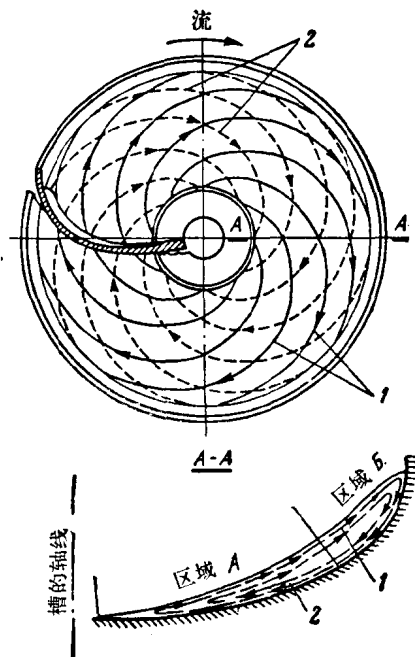


图 6 在螺旋流内的循环
1、2—上层和下层水流移动轨迹