



选矿厂水力旋流器

冶金工业出版社

选矿厂水力旋流器

〔苏〕 A.И.波瓦罗夫 著

王 永 嘉 等 译

 冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是根据苏联“Недра”出版社1978年出版的《Гидроциклоны на обогатительных фабриках》一书翻译的。

本书在总结水力旋流器理论研究和在工作实践新发展的基础上,论述了水力旋流器的理论基础和在选矿厂的应用成果;阐明了水力旋流器的工艺计算原理;探讨了结构参数和工艺参数对水力旋流器工作指标的影响,并指明了这些参数与指标的各因素之间的相互关系;阐述了水力旋流器的工作流程和它在选矿流程中,特别是在磨矿分级流程中的配置与应用。介绍了水力旋流器的选择与计算方法。简述了工业用水力旋流器的结构。

本书系供选矿厂、科学研究和设计院的工程技术人员使用,也可供矿冶高等院校及中等专业学校的师生参考。对水力旋流器的制造厂从事设计工作的技术人员也是有用的。

参加本书翻译工作的同志有:王永嘉、周芝萍、杨宏柯、翟宏新和王银梅。译文经过了互校,最后由王永嘉同志总校。

选矿厂水力旋流器

〔苏〕 A. И. 波瓦罗夫 著

王 永 嘉 等 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

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 8 1/8 字数 213 千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷

印数00,001~1,750册

统一书号: 15062·3929 定价1.05元

序 言

由于国民经济对多种有用矿物需要的增长,要求开采和入选的矿物原料数量不断增加,并且要求对日益增多的细粒嵌布贫矿进行处理。这就要求增加采选联合企业的生产能力,改进和完善选矿工艺及制造新型设备。而要提高金属回收率,就必须把矿石磨得很细再进行处理。但是随着矿石粒度的减小,生产能力急剧下降,设备的工作效率明显减低,因为这些设备是靠重力作用(重选、分级、浓缩等)实现矿物分离的。

因此,细磨物料按粒度分级的发展和强化、料浆的浓缩和过滤,均趋向于采用离心力。例如:许多集尘作业中,采用了旋流器;在化学和食品工业中,成功地应用了沉降式和过滤式离心脱水机及离心分离机;在选煤厂除了水力旋流器以外,还采用了螺旋离心机和振动离心机;用于非金属有用矿物分级的有空气离心分离机。迅速和广泛地采用水力旋流器取代大多数选矿厂中的机械分级机便是对离心分级优越性的有力证明。

苏联及其他国家的许多研究者对水力旋流器进行了大量研究工作。研究者的大部分著作讲述的是液体和固体粒子在水力旋流器中的运动问题或水力旋流器在选矿厂的工作效果。诚然,有少数几篇专题文章是关于用于工业各部门的水力旋流器的总结报告^[25,68,83,105,121,113]。然而对水力旋流器在选矿工艺(闭路磨矿分级作业)上工作实践的研究和总结却重视不够。

本书试图总结苏联和其他国家选矿厂水力旋流器理论与试验研究以及工作实践的成果。

在选矿厂采用水力旋流器代替笨重的机械分级机,有利于选矿工艺的完善。对此无论在文献中,或在实践中均没有得到应有的重视。同时,对此问题的研究^[73,75]指出,采用有旋流器的流程进行分级的方法,可以提高分离产品的质量,提高溢流浓度,大大降低入选矿浆量,并可获得能够单独选别的各粒级产品。所

有这一切应该导致回收率的提高和得到实质性的经济效果。这一点已被近几年的工作实践所证实。

在完善选矿工艺和充分利用原料方面，水力旋流器被广泛用作分级设备。除了分级作业以外，水力旋流器也被用于下列流程：新的先进的选矿流程，矿砂和矿泥分别浮选的流程，中间产品的单独处理流程，在摇床、溜槽（巴特莱-莫兹利型）分选前细粒物料准备的流程，以及浮选流程等等。此外，苏联中央地质勘探科学研究院、全苏砂金科学研究院指出：水力旋流器可以用于选别细粒含金矿物，因为这种矿物物质成分的特点是金和脉石的颗粒在密度上差别很大，并且在极细的矿泥中没有有用成分。

本书作者向选矿设计研究院和各选矿厂的工作人员表示感谢，感谢他们提供了水力旋流器在选矿厂工作情况的宝贵资料。作者也向在本书编写过程中给予帮助的同志们表示感谢。

目 录

第一章 水力旋流器工作的理论基础.....	1
第一节 水力旋流器中液体的运动	3
第二节 液流的几项参数	8
第三节 速度场	12
第四节 水力旋流器中固体粒子的运动	22
第五节 水力旋流器中悬浮液基本特性的变化	24
第二章 分级用水力旋流器的主要工作指标	28
第一节 水力旋流器的生产能力	28
第二节 沉砂与溢流间给矿量的分配	39
第三节 分级产品的粒度组成	43
1. 边界粒子粒度的确定	44
2. 边界粒子的工艺概念	58
第四节 分级效率	65
第五节 边界粒子的粒度与分级产品粒度组成之间的关系	67
第三章 影响水力旋流器工作指标的各种参数	72
第一节 水力旋流器的直径	73
第二节 给矿口的断面尺寸	77
第三节 溢流管直径	77
第四节 排砂咀直径	78
第五节 排口比	79
第六节 锥体角度	80
第七节 溢流管长度	82
第八节 溢流导管的尺寸和安装方式	83
第九节 进口压力	84
第十节 给矿含固量	85
第十一节 矿浆粘度、矿浆固相和液相密度	88
第十二节 矿浆的固相粒度组成	89
第四章 选矿厂水力旋流器的工作理论与实践	92
第一节 磨矿回路中水力旋流器的工作流程	93

第二节 磨矿回路中水力旋流器的工作特点	98
1. 计算级别的回收率和分级效率	99
2. 分级产品的粒度组成	106
3. 溢流浓度	112
4. 磨矿、分级条件与结果的变化	115
5. 磨矿回路中分级的调节	121
6. 闭路磨矿中水力旋流器内矿浆的浓度、速度和粒度组成的 变化	129
7. 不同密度的矿物颗粒在水力旋流器的各产品中的分布	132
第三节 中间产品循环的分级流程	137
第四节 水力旋流器的配置与调整	142
第五节 水力旋流器工作的控制与调节	143
第六节 电能耗量	145
第七节 水力旋流器的磨损	146
第八节 水力旋流器的价格	149
第九节 选矿厂水力旋流器的工作实践	149
第五章 水力旋流器的选择、工艺计算及分级流程	174
第一节 在开路磨矿中工作的水力旋流器的计算	174
第二节 在闭路磨矿中工作的水力旋流器的计算	184
第三节 分级流程的计算原则	189
第六章 水力旋流器结构概述	195
第一节 圆锥形水力旋流器	195
第二节 水力旋流器组	202
第三节 类水力旋流器型设备	204
参考文献目录	208
附录 1 水力旋流器在各国选矿厂的应用	221
附录 2 ГОСТ 10718—73水力旋流器的主要技术数据	240
附录 3 乌菲姆矿山设备厂生产的水力旋流器	241
附录 4 德聂伯罗彼特罗夫斯克矿山-矿井设备厂生产的 水力旋流器	245
附录 5 其它国家各公司生产的水力旋流器	248
附录 6 卧式离心砂泵和泥浆泵	250

第一章 水力旋流器工作的理论基础

细粒物料的离心分级在气体介质中或液体介质中进行。在选矿厂中离心分级通常在水介质中进行。

离心分级如同靠重力作用分级一样，被处理矿浆的固相颗粒依其流体粒度（等降性）进行分离。所以，当矿浆中存在有一些密度不同的矿物时，其中较轻矿物不论是进入溢流还是进入沉砂中（对风力分级机是粉尘和沉淀物），都是几何尺寸比该部分重矿物较大的颗粒。

用于工业的离心分级设备可分为下列四类（见图1-1）：旋流器—集尘器；空气分离器和环流分离器；水力旋流器；沉降式离心机。

这类设备的结构、作用原理和应用范围已为人所熟知〔68、96、97〕。

旋流过程可以认为是离心分级最普遍的情况，因为液体和固体粒子在其它型式离心分级机（例如沉降式离心机）中的运动特性，只不过是旋流过程的特殊情况。

离心分级设备按其构造和工作方式不同，也如按其中液体或气体的运动图不同一样，有各式各样的。但是，所有类型的设备，都有一个或大或小的表现明显的一般流体动力学特征—集中的内旋流，其运动方向与其旋转轴线（或设备的几何轴线）方向相同。这个内旋流在旋流器中或水力旋流器中由心部涡旋流所形成；在离心分离器中由内筒中旋转流所形成；在沉降式离心机中它充斥于转子内部，矿浆主流经过转子内部自给矿点流向溢流堰。内旋流把被处理的悬浮体中极轻细固相颗粒从分级机中带出。

这样，分级是从原矿浆给入离心分级机的瞬间开始，在外旋流中继续，在内旋流中结束。现在，在选矿厂中离心分级作业几乎被水力旋流器所独占。

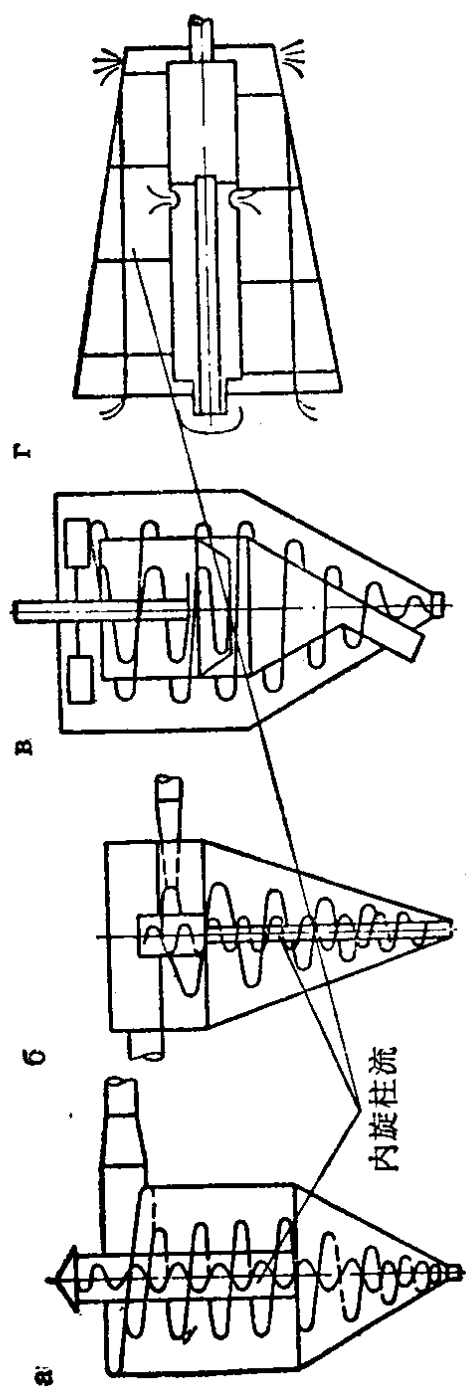


图 1-1 离心分级机示意图
 a—空气旋流器-集尘器；6—空气环流分离器；B—水力旋流器；
 r—沉降式离心机

第一节 水力旋流器中液体的运动

对水力旋流器的研究，苏联和其它国家一些作者发表了大量著作。这些著作研究了水力旋流器中液体的运动问题和固体粒子的运动问题；并研究了作为分级机和分选设备用的水力旋流器。

1939~1941年在苏联选矿设计研究院所进行的试验研究，弄清了水力旋流器的基本特性，使水力旋流器在选矿厂工艺流程中的应用成为可能，并提供了水力旋流器中液体的运动图。

这个流线图（精确地说是流线在通过水力旋流器轴线平面上的投影）(图1-2)，已被许多作者采用各种试验研究方法的结果所证实〔65、128、149、151、3、7等〕。

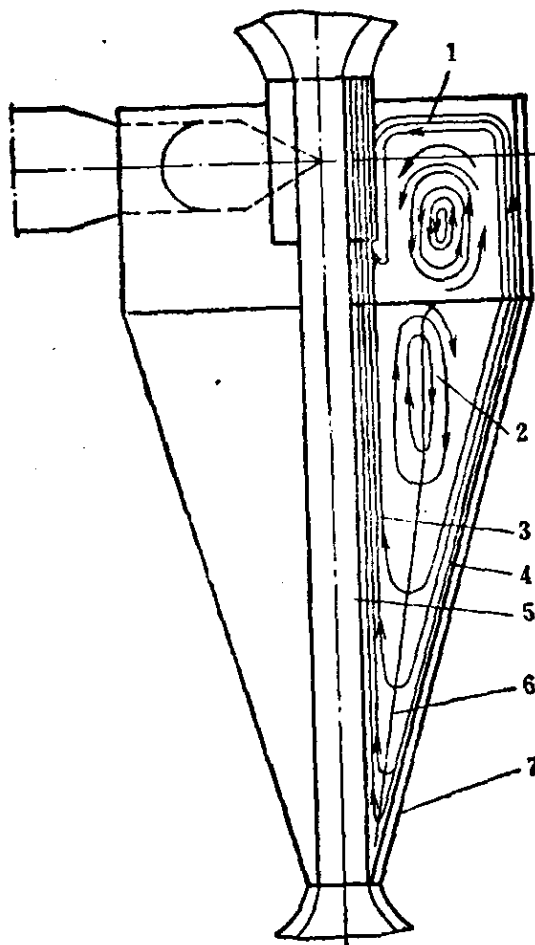


图 1-2 水力旋流器中液体运动图

- 1—盖下流；2—闭环涡流；3—内旋流；4—外旋流；5—空气柱；
6—轴向速度零值表面；7—一部分外旋流（经排砂咀排出）

水力旋流器的作用原理如下：水力旋流器的给矿咀紧靠其上

盖下边圆柱体部分的侧面沿切线方向装设，溢流管和排砂咀沿水力旋流器轴线方向一上一下配置。原矿浆经给矿咀进入水力旋流器，分级（或分选）产品通过溢流管和排砂咀排出。由于水力旋流器是切向给矿和轴向排矿，所以造成矿浆旋转并从器壁向排矿口产生径向流动。矿浆的旋转甚至在非切线给矿的条件下也会产生，例如通过水力旋流器周边环形缝隙给矿，但是这种方法效能低，所以在实际中没有采用。

试验指出^[21、65]，开始，当向空的水力旋流器给水时，来自给矿咀的水流一碰到器壁就沿壁成薄层漫流开，远离给矿咀扩散开来。向上的漫流遭到上盖的阻碍，则聚集于上盖下面。向下的漫流部分沿螺旋线顺圆锥筒壁向排砂咀流动，经排砂咀仅仅排出总液流一部分，所以水力旋流器很快被旋转液流所充满，并沿其轴线形成旋转液流流向溢流管。外旋流从给矿点向锥顶流动的前提条件也在于旋转半径的减小和对器壁的摩擦，因为旋转半径的减小和对器壁的摩擦造成了圆锥的下部压力比同一半径的上部压力较低。在水力旋流器的轴线附近，离心力非常大，以致液体暴发，形成气柱状的核心气流（旋风流束）。

这样，在水力旋流器中同时产生两种基本的同向旋转液流——顺螺旋线向下流动的外旋流和沿螺旋线向上流向溢流管的内旋流。外旋流一接近锥顶就分为两部分：一部分向下，它不变更流动方向，经排砂咀由水力旋流器中排出；另一部分向上，它改变了流动方向，形成了内旋流。在外旋流与内旋流之间于溢流管端以下产生闭环涡流，此涡流的液体在绕水力旋流器轴线旋转的同时，从外侧向排砂咀方向流动，而从内侧向上盖方向流动。除这些液流而外，还有所谓盖下流，它由部分原始给矿形成，先是环绕盖下流动，然后沿溢流管壁向下并同内旋流一起进入溢流中。当向清水介质的水力旋流器玻璃模型给人一定量的染料时，可以明显看出闭环涡流。开始整个容器全被着色。过一时刻染料被新进入的水所冲洗，仅仅在内旋流与外旋流之间的圆环区仍有着色，但逐渐改变自己的位形。这个圆环就是闭环涡流构成的。

内旋流系带有空气柱的圆柱状涡旋流，可分成内外两部分，各按不同规律旋转^[121]。由图1-3可见，染料没有继续扩散到整个水力旋流器，这证明在内旋流内没有紊流的搅拌现象。保持水力旋流器上述涡旋流的特性，须有一定的进口工作压力。当压力过低时，可以观察到在溢流管端下方染料由器壁朝空气柱方向做径向运动。

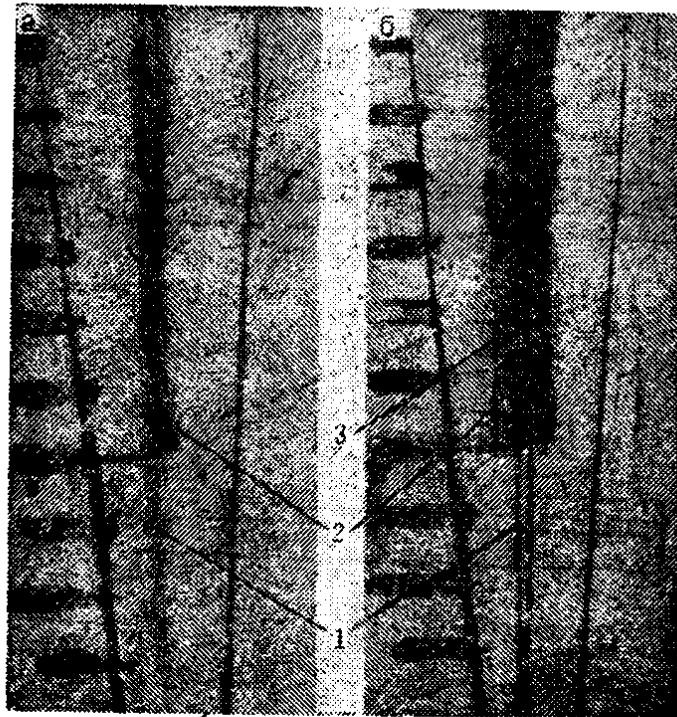


图 1-3 内旋流结构图

(根据布列得里的资料)

a—内旋流的中心部；б—内旋流的外环部

1—空气柱；2—内旋流的中心部与外环部的边界；3—内旋流的外边界

应当阐明，毫无例外，所有的研究者，在研究了水力旋流器的液流分布问题以后，皆指出有两种基本液流—外旋流和内旋流。他们的差异点仅在于对闭环涡流的位置和作用的描述不同(见图1-4)。

在透明模型中的实验已经查明，空气柱的形成与水力旋流器一定的工作条件有关。在正常条件下(足够的进口压力，开放的排矿孔)，空气柱沿水力旋流器整个高度形成，贯连于溢流管与排砂咀之间。在压力不足的条件(而是开放的排矿孔)，空气柱或

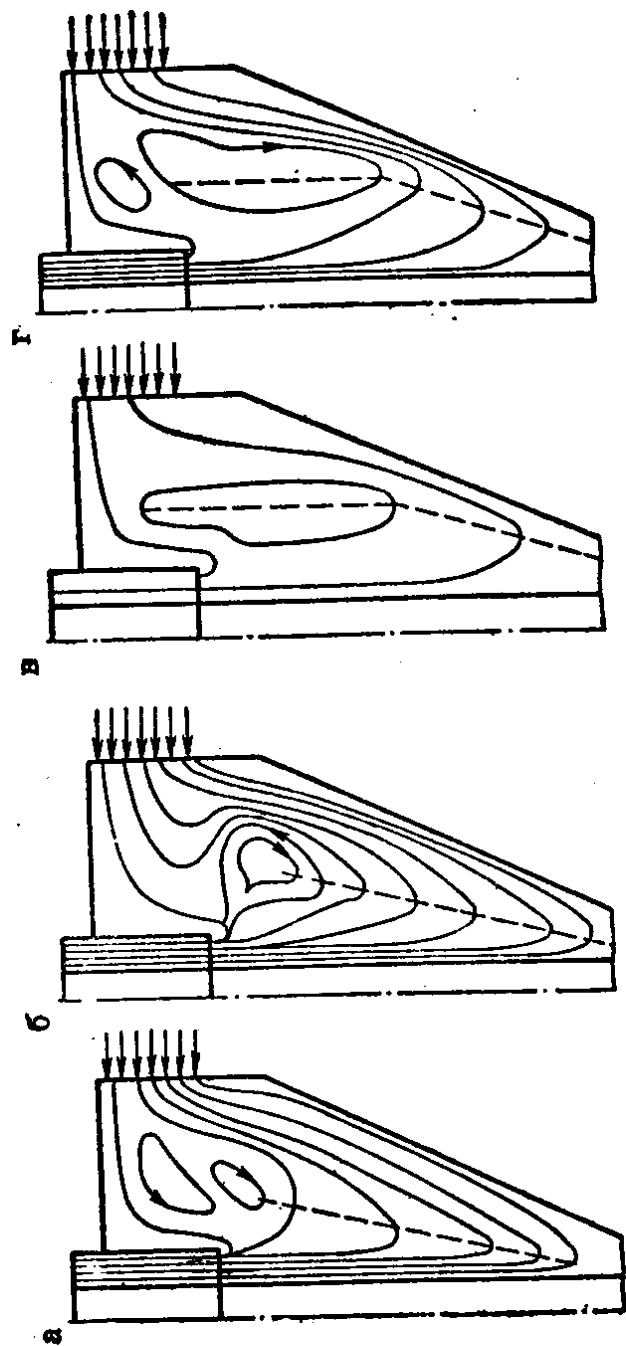


图 1-4 水力旋流器液流分布质量图

a—根据塔里扬的资料[160]；b—根据别得纳罗斯基的资料[116]；r—根据布列得里的资料[121]，r—根据波瓦罗夫的资料[74]

者完全不能形成，或者仅仅在溢流管附近形成旋转抛物面状。如果在正常压力下关闭排砂咀，则下部空气柱消失。如果把排砂咀浸没到有染料的容器里，则当压力小时，染料通过排砂咀被吸入

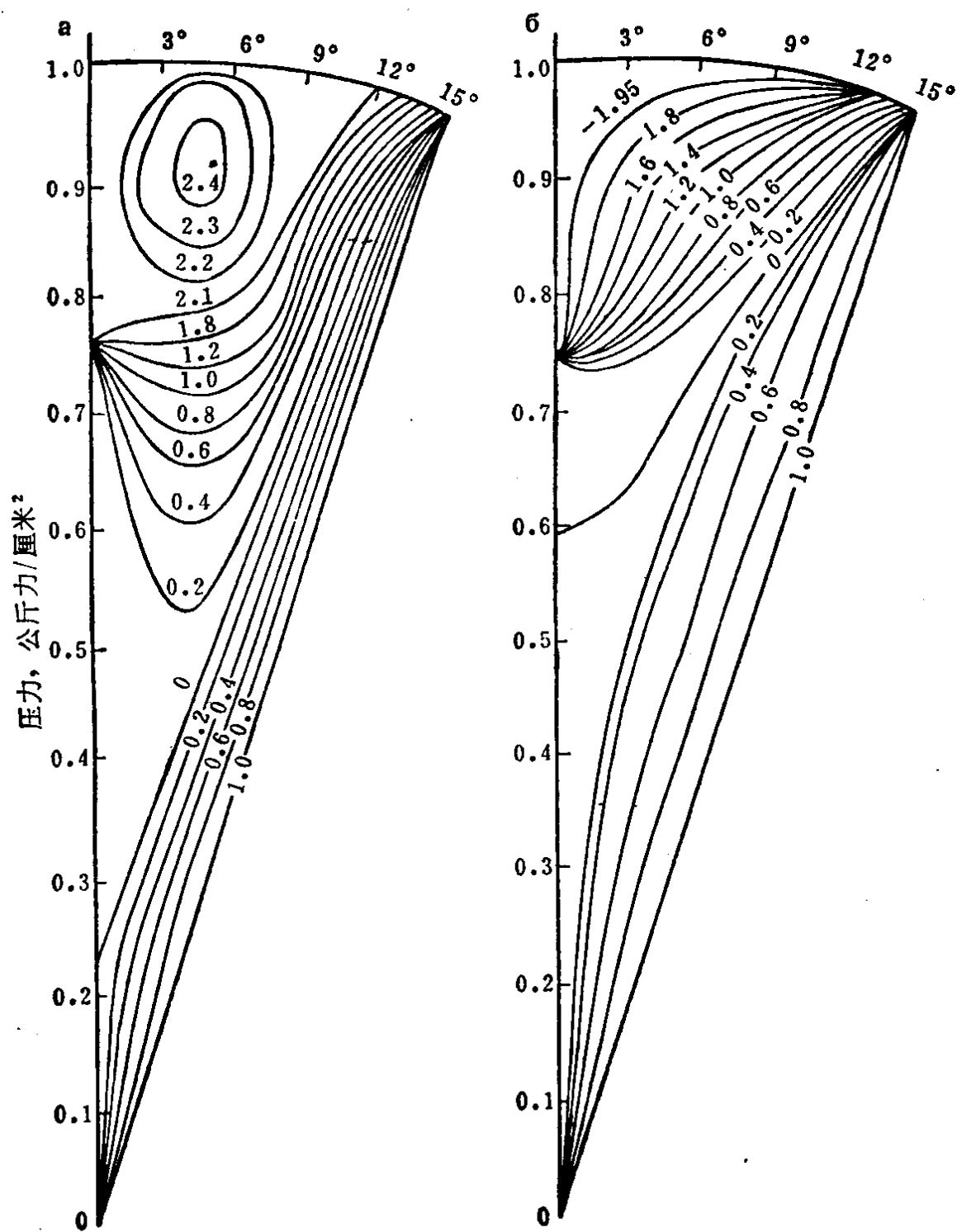


图 1-5 液流面与经线面的交线图
(根据保斯坦日扬的资料)
a—液体作螺旋运动场合;
b—液体的势流动场合

水力旋流器中，它仅仅将柱状的内旋流着色以后，经溢流管排出。当增大压力时，则相反，水从排砂咀排出并充满有染料的容器，同时空气柱增高，此时只是内旋流下部才稍见着色。这可解释为：当水力旋流器的下部浸入有染料的容器时，仿佛水力旋流器中液体原先的运动在容器内继续进行。那么，外旋流的下部泄出排砂咀外进入有染料的容器，从这里也开始形成了上升的内旋流。这个内旋流将已被泄出的水(由外旋流)所冲淡的染料带入其中的缘故。

借助电影摄影研究染料和同一密度小球粒的运动^[4、5、6]，也发现了在透明的水力旋流器模型中的液体，其外旋流在圆锥下部改变它的轴向流动方向，并且在圆锥下部和中部（而不是在其上部）染料从外旋流向内旋流流动。

以上描述了水力旋流器中液体运动的特性图。

C. A. 保斯坦日扬^[15、16]用解析方法在解出水力旋流器液流的函数方程以后也得出了类似的液体运动图（图1-5）。

水力旋流器在正常工作条件下，使矿浆旋转的离心力比重力大得多。但是Г. М. 柯斯用分析方法却查明了重力作用在一系列场合对工作指标具有实质性的影响^[40、41]。水力旋流器的工作指标随水力旋流器安装角度的变化而改变就是对此问题的一个证明，特别是对大直径的水力旋流器和水力旋流器在倒置状态下工作时尤其如此。重力作用的影响随水力旋流器进口矿浆压力的降低而增大。

第二节 液流的几项参数

现在我们转入水力旋流器液体运动的流体动力学参数量值特性的研究。首先我们来论述空气柱的参数。

空气柱直径主要取决于溢流管直径的大小。M. C. 德里申^[129]观察研究了二度流（二自由度液流）后，求得了空气柱直径 d_0 等于 $0.606d$ （ d ——溢流管直径）。

空气柱直径的经验公式^[65]为

$$d_0 = 0.5d + 0.83 \frac{d^2}{D} \quad (1-1)$$

式中 D ——水力旋流器直径。

根据M.Γ.阿考波夫的实验数据^[5]，尽管溢流管和排砂咀直径以及进口压力在宽广的范围内变化，但空气柱直径实际上无何改变，为 $0.6 \sim 0.7d$ 。得知空气柱的直径以后，就可以求得液体进入溢流管时轴向速度的推荐值。

先计算溢流管中液流横断面面积，它等于

$$S = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_0^2)$$

如忽略经由排砂咀排出的液体的量并取 $d_0 \approx 0.6d$ ，则得

$$w = 1.6 \frac{d_n^2}{d^2} v_n \quad (1-2)$$

式中 w ——液体进入溢流管时轴向速度；

v_n ——给矿咀处液流速度；

d_n ——给矿咀当量直径。

当 $d_n = 0.8d$ 时，给矿咀和溢流管内持有同样速度。

空气柱的圆柱面（精确地说是微圆锥形面）乃系液体在离心力场的自由表面。根据这一点，溢流的注出可认为是通过溢流堰（溢流管壁即溢流堰顶）溢出，如出自沉淀器或浓缩机的溢流类

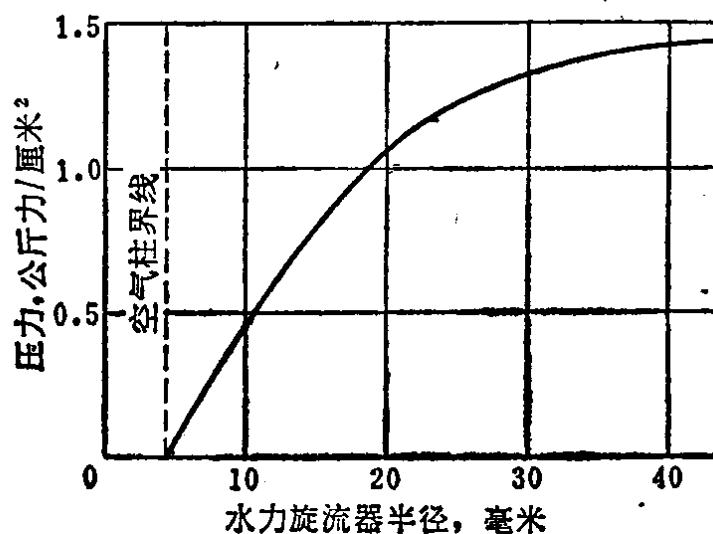


图 1-6 水力旋流器中静压的变化

同，区别在于，水力旋流器以离心力作用代替重力作用以及液流运动方向不垂直于溢流堰顶而与其成一定的角度。在空气柱内部形成真空，其真空度大小依水力旋流器的工作条件不同在很大范围内变化——从零到2~3米水柱或更高。闭环涡流的直径大约等于0.4~0.5D，其下缘位于直径等于0.7D的圆锥体横断面处。

水力旋流器中的静压从周边向中心方向减小（见图1-6），并在空气柱表面附近成为负值^[7]。如果在彼此相距一个单位距离的两个横断面间，取一具有 φ 角的单元扇形，则单元面积 $\varphi r1$ 上的压力将由体积为 $\varphi r \Delta r1$ 的一些单元体的离心力的总合所积成。一个单元体的离心力等于

$$\Delta P = \rho v^2 \varphi dr$$

式中 ρ ——液体的密度；

v ——切向速度；

r ——单元扇形液体的旋转半径。

在面积 $\varphi r1$ 上的总压力为

$$P = \rho \varphi \int_{r_0}^r v^2 dr$$

这个压力将随切向速度沿不同半径上的变化而变化。例如若取一次近似值

$$v r^n = \text{常数} = c \quad (1-3)$$

则单位面积压力将等于：

$$P_n = \frac{\rho v_R^2 R^{2n}}{(2n-1)r^{2n}} \left(\frac{r^{2n-1}}{r_0^{2n-1}} - 1 \right) \quad (1-4)$$

式中 v_R ——半径为R器壁处的切向速度。

关于在水力旋流器半径上任一点静压头的近似计算，A.И. 让加林^[27]提出了下列公式：

$$H_r = H + \frac{A^2 v_n^2}{2g(1-m)} \left[1 - \left(\frac{R}{r} \right)^{2-2m} \right] \quad (1-5)$$

式中 H_r 和 H ——分别为半径 r 处和水力旋流器进口处的压头；

R ——水力旋流器圆柱体部分的半径；