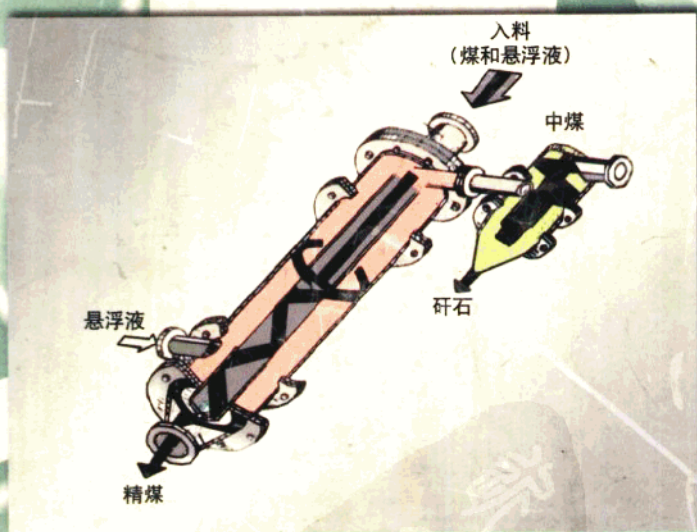


重介质旋流器选煤

彭荣任 丛桂芝 白守义 等编著



冶金工业出版社

前 言

近年来,国内外重介质旋流器选煤技术发展很快,重介质旋流器种类增加,选煤工艺多样化,一批适应新工艺的新型结构的重介质旋流器脱颖而出。在理论研究方面,针对悬浮液的流变特性,结合重介质旋流器内速度场、密度场模拟测试;旋流器的结构改变对分选效果的影响等进行了大量研究,取得了一批成果。

为了推动该项技术的新发展,彭荣任将从事重介质选煤 40 多年的理论研究、生产实践和工程设计的经验,结合国内外重介质旋流器选煤技术的发展,组织编著本书,供从事重介质旋流器选煤的科研、设计、生产技术和管理人员参考,也可作为现场技术培训的教材。

全书共 11 章,内容包括重介质选煤的发展,重介质旋流器选煤的理论、工艺、设备、自动化等。书中还介绍了最新科研成果、不同类型二产品旋流器和三产品旋流器的结构、特点、应用条件和效果对比以及新的发展趋势等。还对不同工艺流程、主选设备和辅助设备的选择、应用原则和操作管理,工艺和设备的检测以及分选效果评定作了介绍。最后介绍了重介质旋流器选煤的典型实例。

参加各章编写的人员有:

彭荣任编写第一至第四章

彭荣任、丛桂芝、邢玉梅编写第五章

彭荣任、丛桂芝编写第六章

彭荣任、丛桂芝编写第七章

白守义编写第八章

彭荣任、周玉森编写第九章

彭荣任、丛桂芝、周玉森编写第十章

彭荣任、丛桂芝、邢玉梅编写第十一章

书中插图由邢玉梅负责,姚伟民协助绘制,并由丛桂芝负责校对。

本书在编写过程中,承蒙科研、设计和生产单位的有关同志提供了大量技术资料,有关领导给予大力支持,特此深表感谢。由于作者水平有限,书中会有缺点和错误,请读者批评指正。

编 者
1998年2月



第一章 概述.....	1
第一节 重介质旋流器选煤的发展.....	1
第二节 重介质旋流器的分类.....	4
第二章 重介质旋流器选煤基本原理.....	5
第一节 重介质旋流器分选机理综述.....	5
第二节 流体在重介质旋流器中的运动规律	15
第三节 重介质旋流器中密度场的分布	23
第四节 重介质旋流器内液流压力分布	27
第三章 重介质旋流器选煤悬浮液的特性和要求	30
第一节 综述	30
第二节 加重质的选择	31
第三节 悬浮液的流变性	38
第四节 悬浮液的密度和稳定性	53
第四章 影响重介质旋流器工作的主要因素	61
第一节 重介质旋流器的结构参数	61
第二节 重介质旋流器的入料压头	69
第三节 分选悬浮液密度	71
第四节 分选悬浮液中煤泥含量	73
第五章 重介质旋流器选煤工艺流程	75

第一节	概述	75
第二节	重介质旋流器选煤工艺的原煤准备	75
第三节	重介质旋流器选煤流程	80
第四节	重介质旋流器选煤悬浮液的净化和回收流程	92
第五节	磁铁矿加重质的制备和补添流程	97
第六章	重介质旋流器选煤分选悬浮液计算和平衡	102
第一节	概述	102
第二节	重介质旋流器选煤流程中各作业中悬浮液数质量的计算	102
第三节	分选悬浮液的数质量平衡	108
第四节	实例	111
第七章	重介质旋流器结构类型和特点	119
第一节	圆柱圆锥形重介质旋流器	119
第二节	圆柱形重介质旋流器	130
第三节	三产品重介质旋流器	144
第八章	重介质旋流器选煤自动化	158
第一节	重介质悬浮液密度自动检测与自动控制	159
第二节	介质桶液位自动检测及自动控制	165
第三节	悬浮液流变特性自动检测及自动控制	176
第四节	旋流器入口压刀自动检测及自动控制	182
第五节	产品灰分自动检测及自动控制	184
第六节	重介质旋流器选煤自动化实例	188
第九章	重介质旋流器选煤的主要设备及其选择	193
第一节	原煤准备设备	193
第二节	原煤脱泥筛及产品脱介筛	197
第三节	磁性悬浮液的净化回收	202
第四节	悬浮液输送泵	220
第五节	其它辅助设备	224
第十章	重介质选煤厂的生产技术检查和分析	233
第一节	重介质旋流器的分选效果分析	233

第二节	重介质旋流器选煤工艺的磁性加重质损失测定与分析·····	244
第三节	主要设备磨损考核·····	252
第十一章	重介质旋流器选煤工艺设备配置和管道、溜槽·····	253
第一节	重介质旋流器生产车间内部设备的配置·····	253
第二节	重介质旋流器选煤工艺的管道、溜槽的设置·····	255
参考文献	·····	260

第一章 概 述

第一节 重介质旋流器选煤的发展

重介质旋流器选煤是目前重力选煤方法中效率最高的一种。它是用重悬浮液或重液作为介质，在外加压力产生的离心场和密度场中，把煤和矸石进行分离的一种特定结构的设备。它是从分级浓缩旋流器演变而来的。

美国于1891年公布了分级浓缩旋流器专利；荷兰国家矿山局（Duth State mines）于1945年在分级旋流器的基础上，研制成功第一台圆柱圆锥形重介质旋流器，用黄土作加重质配制悬浮液进行了选煤中间试验。因为黄土作加重质不能配成高密度悬浮液，而且回收净化困难，所以在工业生产上未能得到实际应用。只有在采用了磁铁矿粉作为加重质之后，才使这一技术在工业上得到推广。这是因为磁铁矿粉能够配制成适合于选煤使用的不同密度的悬浮液，而且易于用磁力净化回收的缘故。随后，美、德、英、法等国相继购买了这一专利，并在工业使用中，对圆柱圆锥形重介质旋流器做了不同的改进，派生出一批新的、不同型号的重介质旋流器。如1956年美国维尔莫特（Wilmont）公司研制成功的无压给煤圆筒形重介质旋流器，简称DWP；60年代英国研制成有压给料圆筒形重介质旋流器，即沃赛尔（Vorsyl）旋流器；1966年苏联研制成用两台旋流器并式相串组成三产品重介质旋流器（见图7-18及图7-19）；1967年日本田川机械厂研制成倒立式圆柱圆锥形重介质旋流器，即涡流（Swirl）旋流器；80年代初意大利学者研制成用两台圆筒形旋流器轴线串联组成（Tri-Flo）三产品重介质旋流器；80年代中期英国煤炭局在吸收DWP和沃赛尔两种旋流器的特点，推出直径为1200mm的中心给料圆筒形重介质旋流

器 (Large Coal Dense Medium), 用于分选粒度为 $100\sim 0.5\text{mm}$ 的原煤。

中国煤炭科学研究总院唐山分院于 1958 年在吉林省通化矿务局铁厂选煤厂建成第一个重介选煤车间^[2,38,43,41]。1966 年又在辽宁省采屯煤矿选煤厂建成重介质旋流器选煤车间, 采用煤炭科学研究总院唐山分院研究设计的 $\phi 500\text{mm}$ 圆柱圆锥形旋流器分选 $6\sim 0.5\text{mm}$ 级原煤。1969 年又在河南省平顶山矿务局建成一座 350万 t/a 的田庄选煤厂, 采用 $\phi 500\text{mm}$ 重介质旋流器处理 $13\sim 0.5\text{mm}$ 级原煤。随后, 有多处选煤厂使用重介质旋流器再选跳汰机的中煤。煤炭科学研究总院唐山分院相继又研制成 $\phi 600$ 、 $\phi 700\text{mm}$ 二产品圆柱圆锥形重介质旋流器。在此基础上, 于 80 年代至 90 年代对重介质旋流器选煤工艺与设备进行了一系列的改革和创新。先后推出重介质旋流器分选 $50\sim 0\text{mm}$ 不脱泥原煤的工艺; 有压给料二产品和三产品重介质旋流器; 无压给料二产品和三产品重介质旋流器; DBZ 型重介质旋流器; 分选粉煤的小直径重介质旋流器以及“单一低密度介质、双段自控选三产品 (四产品) 的重介质旋流器”选煤新工艺。到 1995 年, 中国已有 30 几个选煤厂装备有上述各类重介质旋流器约 130 台。

重介质旋流器具有体积小、本身无运动部件、处理量大、分选效率高等特点, 故应用范围比较广泛。特别是对难选、极难选原煤, 细粒级较多的氧化煤、高硫煤的分选和脱硫有显著的效果和经济效益^[50]。因此, 国内外都在推广应用。同时, 对重介质旋流器的分选机理与实践继续进行深入的研究。如重介质旋流器内速度场和密度场的模拟测试; 重介质旋流器结构改革及分选悬浮液流变特性对分选效果的影响等, 特别是近年来在降低重介质旋流器的分选下限、改革重介质旋流器的分选工艺方面有新的突破。这些研究都将进一步推动重介质旋流器选煤技术向高新阶段发展。

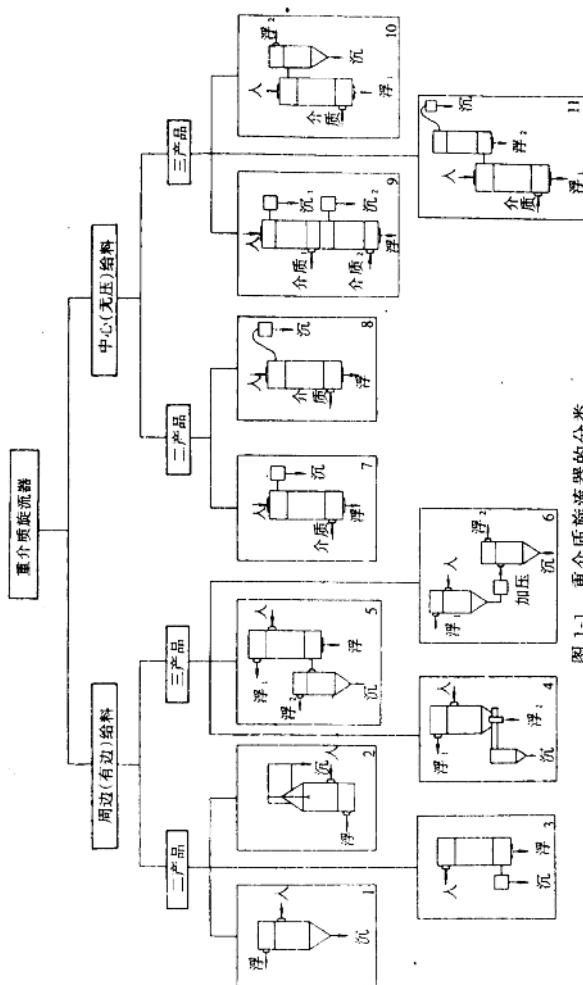


图 1-1 重介质旋流器的分类

1—圆柱圆锥形二产品旋流器；2—倒立圆柱圆锥形二产品旋流器；3—沃塞尔圆锥形二产品旋流器；4—圆柱圆锥形三产品旋流器；5—圆锥圆锥并列串联式三产品旋流器；6—单—低密度介质、双段自控选三产品重介质旋流器；7—圆锥形中心（无压）给料二产品旋流器；8—DW P 圆锥形二产品旋流器；9—双圆锥轴向串联式中心（无压）给料三产品旋流器；10—圆锥圆锥并列串联式中心（无压）给料三产品旋流器；11—双圆锥并列串联式中心（无压）给料三产品旋流器

第二节 重介质旋流器的分类

重介质旋流器分类方法较多,下面介绍几种常规的分类方法:

(1) 按其外形结构可分为:圆柱形、圆柱圆锥形重介质旋流器两种。

(2) 按其选后产品的种类可分为:二产品重介质旋流器;三产品重介质旋流器。

(3) 按给入旋流器的物料方式可分为:周边(有压)给原煤、给介质的重介质旋流器;中心(无压)给原煤、周边(有压)给介质的重介质旋流器。

(4) 按旋流器的安装方式可分为:正(直)立式、倒立式和卧式三种。

重介质旋流器的分类见图 1-1。

以上各种类型的重介质旋流器都有自己的特点,它们是不同的时期不同条件下,结合具体需要的产物。因此,在选择使用时,应结合生产的要求多方权衡考虑,才能达到理想的效果。

第二章 重介质旋流器选煤基本原理

第一节 重介质旋流器分选机理综述

关于重介质旋流器分选机理的学说^[8]很多,第一种学说认为:重介质旋流器与水介质旋流器分选机理是基本相同的,所不同的只是前者介质的密度场和粘度是个变数,而不是一个常数。矿粒是在旋流器中的垂直零速面和最大切线速度恒速面的交线处分离的。垂直零速面的一端在溢流口紧下方的截面上 $0.542R$ (R 为旋流器半径) 处,另一端与底流口截面上的气柱相交,其半径为气柱半径,其垂高为 h 。在旋流器溢流口紧下端,以 $0.542R$ 为半径作圆,其周线与垂直零速面相交线上的径向速度为零,穿过垂直零速面的平均径向速度为

$$u_p = \frac{Q_0}{S_A} \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} \text{因为 } S_A &= \pi L(0.542R + 0.083R) = \pi LD \times \frac{0.625}{2} \\ &= 0.981LD \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\text{所以 } u_p = \frac{Q_0}{S_A} = \frac{Q_0}{0.981LD} = 1.02 \frac{Q_0}{LD} \quad (2-3)$$

式中 u_p ——垂直零速面的平均径向速度, m/s;

Q_0 ——进入旋流器的溢流总量, m³/s;

S_A ——垂直零位界面的总面积, m²;

R ——旋流器半径, m;

D ——旋流器直径, m;

L ——垂直零速分离锥面侧线的长度, m。

而在垂直零速面上,旋流器溢流口下端 $0.38h$ 处的径向速度

刚好等于 u_p 。并指出从溢流口下端延线与垂直零速面上的交线处的径向速度 $u = \frac{2 \cdot 2Q_0}{hD}$ 。

从而绘出垂直零速锥面的轮廓(见图 2-1)。被选矿粒在进入底流口之前,若能越过垂直零速锥面时,则进入溢流;否则进入底流。而恰好处于零速锥面上的矿粒,进入溢流或底流的可能性都有。

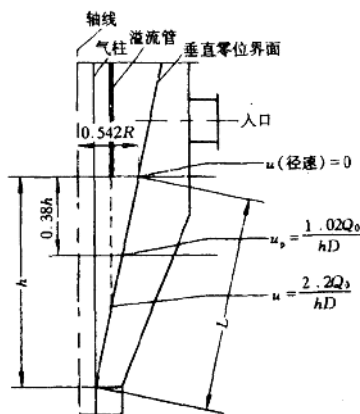


图 2-1 重介质旋流器垂直零速锥面轮廓图

第二种学说认为:矿粒在重介质旋流器内受到上升和下降液流作用的过程中,是按密度进行分离的,使分离点在重介质旋流器的下部,即底流口附近。因此,重介质旋流器的底流介质密度是决定矿粒在旋流器内分离密度的主要因素。并提出分离密度计算经验公式:

$$\delta_p = \frac{\Delta_u}{1.42} \quad (2-4)$$

式中 δ_p ——矿粒的实际分离密度, kg/m^3 ;

Δ_0 ——旋流器底流介质密度, kg/m^3 。

第三种学说认为:当重介质悬浮液给入旋流器后,可以设想在旋流器内形成如图 2-2 所示的圆锥分离面。锥体的上端在旋流器圆柱的顶部,锥体的下端在旋流器锥部的顶点附近。具体位置与旋流器的锥角、溢流口的大小和插入深度等因素有关。物料进入旋流器后,一部分成等角螺旋线下降到 mH 面(旋流器溢流管下端与分离锥面的交线)后,由于离心力的作用,一部分密度大的矿粒随液流分离出来,进入底流。另一部分密度小的矿粒随液流进入锥形面内,在内螺旋上升流的作用下进入溢流。其 m 值一般为 0.5。

第四种学说认为:在旋流器中存在一个垂直零速锥形分离面,在这个锥面上液流的轴向速度等于零。认为这个轴向零速面,就是矿粒的分离面。矿粒在离心力的作用下,密度轻的矿粒进入分离锥面内,随上升液流从溢流口排出。密度大的矿粒靠近旋流器壁,随着下降液流从底流口排出。如图 2-3 所示。

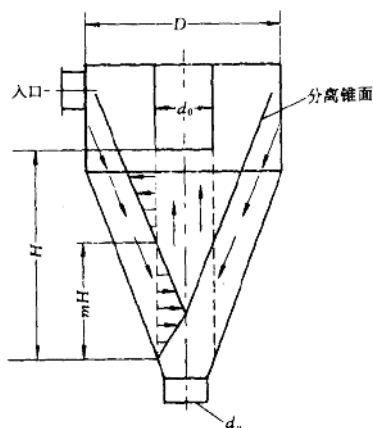


图 2-2 重介质旋流器
分离锥面示意图

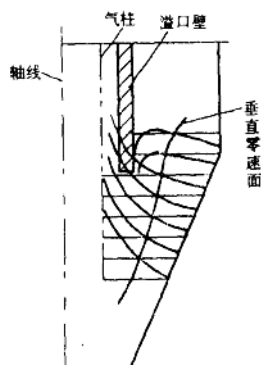


图 2-3 旋流器垂直零速
锥形分离面形成图

第五种学说认为：把染色液体注入透明旋流器中，发现在旋流器锥体上半部出现一个明显的染色液环。认为这个染色液环的界面代表着垂直零速面，同时也是径向零速面。染色液环在直径为 $0.43D$ (D 为旋流器直径)，并在 $0.7D$ 截面下形成矿粒分离锥面，如图 2-4 所示。认为轻密度矿粒只有进入锥面内才能从溢流口排出。否则，从底流口排出。分离锥面的计算公式如下：

$$A = \frac{\pi}{2} \times 0.43DL_1 \quad (2-5)$$

$$L_1 = \frac{0.43D}{2\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} \text{因为 } A &= \frac{\pi}{2} \times 0.43D \times \frac{0.43D}{2\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \\ &= 0.145 \frac{D^2}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \quad (2-7) \end{aligned}$$

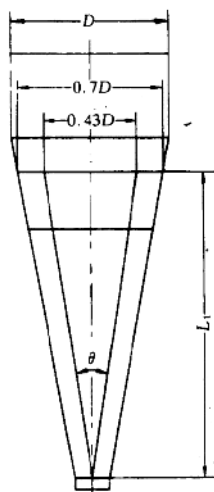


图 2-4 重介质旋流器
分离锥面定位图

所以，分离锥面上的平均径向速度

$$u_p = \frac{Q_0}{A} = \frac{Q_0}{0.145D^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \quad (2-8)$$

式中 A ——圆锥分离面的面积， m^2 ；

D ——旋流器的直径， m ；

L_1 ——分离锥的垂高， m ；

θ ——分离圆锥的顶角， rad ；

Q_0 ——旋流器的溢流总量， m^3/s ；

u_p ——分离锥面上的平均径向速度， m/s 。

此外，还有一些学者提出有关旋流器圆柱分离面的学说，以及其它分离锥面的学说，这里不再一一列举。

可见,有关矿物在重介质旋流器中的分选机理学说是很多的。但是,大多数学者都认为:在旋流器中存在一个分离锥面。这个分离面是轻密度与重密度矿物的分离界面,而且这个界面的周线与旋流器的结构有关。学者们在这方面做了大量的检测、试验和研究。由于检测手段和试验条件不同,加上试验环境的局限性,各位学者的结论差异是难免的。但是,只要从具体条件出发,理论和实践相结合,既重视前人的经验,又不忽视自己的实践,就能使理论不断地提高和完善,成为指导实践的指南。

笔者在广泛吸收各派学者在旋流器分选机理方面有价值的学说的基础上,进行了大量的研究、试验和测定工作^[1,3]。认为:重介质旋流器的分选机理与水介质旋流器有较大的差别。在重介质旋流器内,由于重悬浮液给入后,在离心场的作用下,旋流器内形成不同密度的“等密度”线(即密度场)。密度自上而下,由内而外增加。越靠近锥壁和底口的密度越大;在旋流器溢流管处(即中心空气柱)附近的悬浮液密度最小。从而使旋流器内的底流和溢流悬浮液密度、加重质粒度有差异。这种差异在一定程度上决定了煤和矸石的分离密度,对分选精度有一定影响。根据作者的试验结果^[9,42],其关系式为:

$$\delta_p = \frac{(\Delta_0/1000)^n + (\Delta_u/1000)^m}{2} \times 1000 \quad (2-9)$$

式中 δ_p ——被选矿粒的分离密度, kg/m^3 ;

Δ_0, Δ_u ——旋流器溢流、底流密度, kg/m^3 ;

n, m ——分离指数,与旋流器的结构、加重质的特性有关。当旋流器的锥角为 20° 时,一般情况下, $n=1.5\sim 2.0$, $m=0.5\sim 0.8$ 。

所以,矿粒在重介质旋流器内的分离,基本上遵循“阿基米德”原理。当矿粒进入旋流器,逐渐扩散后,可以认为不同密度的矿粒,开始处于相应的等密度线上。在离心力的作用下,密度大的矿粒很快奔向器壁。在外螺旋流的作用下,由底口排出;其余矿粒在各自的等密度线上向锥部移动;部分轻密度矿粒进入

“分离锥面”内，如图 2-5 示。这个界面上的平均悬浮液密度，在理想情况下，近似等于矿粒的分离密度。进入分离锥面内的轻密度矿粒，将在内螺旋流的作用下，从溢流口排出。部分中间物则位于旋流器的内壁和分离锥面之间，或在旋流器圆柱内壁与溢流管之间形成旋涡流，作一定时间的循环旋转运动后，分别进入旋流器的溢流或底流中，如图 2-6 所示。

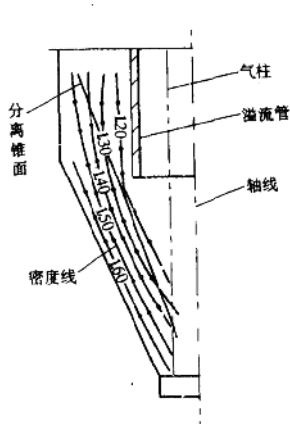


图 2-5 重介质旋流器密度场与分离锥面关系图

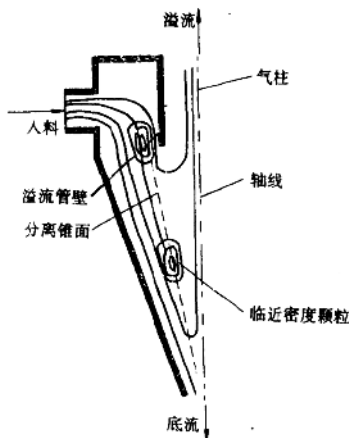


图 2-6 重介质旋流器流线示意图

余下的矿粒在旋流器底部附近，受高密度悬浮液阻挡层和强烈内螺旋流的作用，迫使这部分矿粒进行二次分离。轻密度矿粒在内螺旋上升流的作用下，从溢流口排出；高密度矿粒则穿过高密度介质层，在外螺旋流的作用下从底流口排出，从而完成全部分选过程。

关于“分离锥面”的形成，决定于垂直零速面，并与径向零位面有关。而“分离锥面”周界面的确定则与旋流器的结构有关。

煤炭科学研究总院唐山分院曾对不同结构的水介质和重介质旋流器内液体流场运动特性进行全面测试，并在煤炭分选的试验结果中得到证实。可以设想“分离锥面”的一端在旋流器入口以下，其直径 D_0 等于旋流器的直径 D 减去 $2d$ (d 为旋流器入料口直径)。另一端在旋流器溢流口下端至锥体距 m_0L 处 (见图 2-7)。它是垂直零速面与最大切线恒速面的相交线。 m_0 值的大小，与旋流器的结构参数、入料压力、流量有关。当旋流器的锥角为 20° 时， m_0 值在 $0.4 \sim 0.6$ 范围之间。

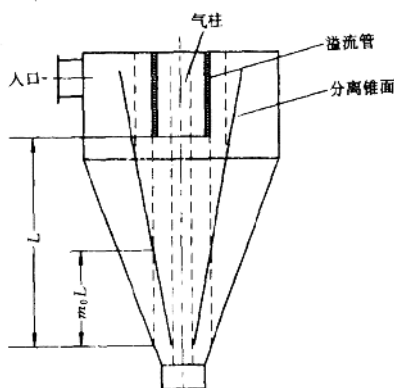


图 2-7 重介质旋流器分离锥面构想图

但是，被选矿粒在旋流器内旋转流的密度场流中受到的作用力，主要是离心力和重力。它们分别是：

$$F_1 = m \frac{v_t^2}{R} = ma_c \quad (2-10)$$

$$F_2 = mg \quad (2-11)$$

式中 F_1 ——离心力；