

水力旋流器理论与应用

庞学诗 著



 中南大学出版社

SHUILIXUANLIUQILILUNYUYINGYONG

TD454
P-892.2

水力旋流器理论与应用

庞学诗 著

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水力旋流器理论与应用/庞学诗著. —长沙:中南大学出版社,
2005. 6

ISBN 7-81105-114-1

I. 水... II. 庞... III. 水力旋流器 IV. TD454

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 066254 号

水力旋流器理论与应用

庞学诗 著

☐责任编辑 周兴武

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南印刷一厂

☐开 本 850 × 1168 1/32 ☐印张 13.625 ☐字数 340 千字

☐版 次 2005 年 6 月第 1 版 ☐2005 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-114-1/K · 002

☐定 价 25.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容提要

本书简要论述了流体涡流运动的理论基础及其在水力旋流器分离过程中的实际应用,根据涡流运动中最大切线速度的轨迹特性,建立了一套通用的水力旋流器工艺计算方法和编制出实用的水力旋流器选择计算程序,并用国内外大量的生产实例见证了它们的实用性和可靠性。作为技术比较,还比较系统地介绍了国内外学者近年来在本领域中研究的最新成果。

本书最主要的内容是:水力旋流器的生产能力、分离(级)粒度、产物分配、分离(级)效率、旋流器选择、给矿泵选择的工艺计算方法和程序以及旋流器工艺参数选择和旋流器技术的应用。

本书主要供矿物工程专业生产、设计和科研部门的工程技术人员及大专院校师生在实际工作和教学活动中使用;亦可供石油、化工、煤炭、建材、环保、水电、卫生和粮食加工部门的科技人员在实际工作中作主要参考。

序

水力旋流器是国际上十分关注的高效离心力场分离设备,广泛用于选矿、化工、石油、环保等工业部门。近年来几乎每隔二三年就在英国举办一次国际性水力旋流器学术会议,但有关水力旋流器工艺计算方法及其实际应用方面的专著迄今未见报道,庞学诗所著《水力旋流器理论与应用》一书填补了这一国际性空白。

全书由涡流运动理论基础、旋流器分离原理、生产能力计算、分离粒度计算、产物分配计算、分离效率计算、旋流器选择计算、给矿泵选择计算、工艺参数选择和旋流器技术的应用等十章组成,前呼后应,构成有机整体。基础扎实、理论新颖。理论基础的核心是作者提出的组合螺旋线涡运动中的最大切线速度轨迹学说。根据该学说导出和编制一套水力旋流器工艺计算的新方法和新程序,并经国内外大量生产实践资料见证,方法简便、结果可靠、适用性强,具有重要的科学价值和实用意义,是一部理论联系实际、实用性强的科技专著。

作者独具一格地运用技术对比的撰写方法,比较系统而扼要地介绍了近年来国内外水力旋流器工艺计算方法方面的最新研究成果和实用效果;比较完整而精练地介绍了国内外主要水力旋流器生产厂家系列产品的技术性能,为读者了解国内外本领域的发展动向和选型定货提供了方便。

本书的出版将使我国在水力旋流器的工艺计算和理论研究方面处于国际领先地位,其开拓性和创造性极为突出,其影响将是深远的。

本书可供矿物工程、冶金工程、化学、化工、石油和环保工程等

专业教学生产和设计科研部门的科技人员及大专院校师生在实际工作和教学活动中使用与参考,亦可供建材、煤炭、电力、水工、卫生和粮食加工部门的科技人员在实际工作中参考。

陈荃

教授、博士生导师

2000. 3

前 言

水力旋流器是利用离心力场分离两相流体的高效分离设备。它具有结构简单、操作方便、生产能力大、分离效率高、占地面积小、无传动部件和易于实现自动控制的优点,在国民经济的许多领域得到广泛应用。就选矿而言,水力旋流器广泛用于分级、脱泥、浓缩、澄清、选别和洗涤等作业。随着水力旋流器结构形式的优化、耐磨材质的改进、工艺流程的合理、技术计算的完善、自控技术的采用和计算机的普及,其应用领域更加扩大,经济效益和社会效益更加明显。

在生产实践中,水力旋流器工艺计算是生产现场、设计部门和科研机关的科技人员对生产管理、技术控制、设备选型和结构优化必须进行的基本运算。为此,近年来国内外学者就水力旋流器工艺计算方法进行了大量的研究,提出了许多理论的、经验的和半经验的计算方法,但系统完整、简便准确、应用广泛,又有一定深度广度的通用方法不多,给读者带来诸多不便。

本书根据作者提出的“组合螺旋线涡是水力旋流器分离过程赖以进行的特有流体运动形式,其中的最大切线速度轨迹面就是它的自然分离面”学说,以选矿专业为主体建立起一套简便易行的水力旋流器工艺计算方法,编制出适应性强,又有一定深度广度的水力旋流器选择计算程序,供读者在实际工作中使用、审核。

本书是在《水力旋流器工艺计算》专著的基础上,根据读者的建议经过系统修改和补充撰写而成的。它既保留了原著的理论特色又反映出读者希望的应用方面的多功能,在原著的基础上增加了《绪论》《旋流器给矿泵选择计算》《旋流器工艺参数选择和旋流器技术的应用》四章,定名《水力旋流器理论与应用》。

《水力旋流器工艺计算》出版发行以来,得到广大读者的好评,有关专家、教授和院士在书评中给予充分肯定:“内容详尽、理论独特、见解精辟,是目前国内外全面而系统的论述水力旋流器工艺计算和实际应用方面唯一的专著。”“以选矿旋流器工艺计算为重点,涵盖其他相关领域的计算,为正确选择旋流器提供了严格的科学方法,为生产和设计提供了严格而准确的数据,旋流器基本直径半经验式的建立,解决了困扰旋流器设计的一大难题。”“按涡流运动特性导出水力旋流器生产能力和分离粒度计算式,并以此为基础在国内首次系统建立了一套完整的水力旋流器计算方法和程序,系统完整的对旋流器选择计算进行了科学的规范,特别是基本直径公式,大大简化了水力旋流器最佳直径选择的方案比较运算工作量,作者建立的旋流器计算方法,是我国首次出版并能详细满足水力旋流器工业应用选择计算需要的工具书。”

第八章是应广大读者要求编写,它同其他章节不同之处在于其基本方法、主要程序和相关图表是他人的研究成果在本领域中的具体应用。

本书在撰写过程中,得到《国际选矿杂志》编委、美国纽约州科学院院士、博士生导师陈苾教授的热情支持和关怀,他专门为本书写了《序》;何希杰高工(教授级)对第八章进行了审阅;胡月明高工为本书的数据处理、图表绘制和正文抄写做了大量的工作;国内有关厂矿企业的工程技术人员为本书提供了许多珍贵的技术资料素材;山东威海海王旋流器有限公司、江西德兴维东山设备有限公司和长沙矿冶研究院为本书的出版慷慨赞助。在此,一并致以真诚的感谢!

鉴于作者水平所限,书中错误和文献资料引用不当之处,敬请读者批评指正。

作 者
2005.4

目 录

绪 论	(1)
第一节 固相(固体物料)的基本性质	(1)
一、形状	(2)
二、密度	(4)
三、粒度	(5)
四、表面物化性质	(10)
第二节 介质的基本性质	(10)
第三节 两相流体的主要性质	(13)
一、浓度	(13)
二、密度	(14)
三、粘度	(15)
主要参考文献	(17)
第一章 涡流运动理论基础	(19)
第一节 涡线、涡管和涡强	(20)
第二节 旋转流基本方程	(22)
第三节 自由涡运动	(23)
第四节 强制涡运动	(25)
第五节 组合涡运动	(29)
第六节 源流与汇流	(35)
第七节 螺线涡运动	(39)
一、自由螺线涡	(40)

二、强制螺线涡	(43)
三、组合螺线涡	(46)
主要参考文献	(47)
第二章 旋流器分离原理	(48)
第一节 旋流器中流体运动的基本形式	(49)
一、外旋流和内旋流	(49)
二、短路流	(49)
三、循环流	(50)
四、零速包络面	(50)
五、最大切线速度轨迹面	(50)
六、空气柱	(51)
第二节 旋流器分离原理	(52)
一、速度分布	(52)
二、压力分布	(62)
三、粒度分布	(69)
四、密度分布	(76)
主要参考文献	(77)
第三章 生产能力计算	(78)
第一节 理论计算法	(78)
一、最大切线速度轨迹法	(79)
二、等压面法	(94)
三、空气柱界面法	(96)
第二节 经验计算法	(98)
一、达尔斯特罗姆(D. A. Dahlstrom)计算式	(98)
二、普里特(L. R. Plitt)计算式	(99)
三、林奇和劳(A. J. Lynch and T. C. Rao)计算式	(99)

四、阿提本(R. A. Arterburn)计算式.....	(100)
五、苗拉和鳩尔(A. L. Mular and N. A. Jull)计算式	(100)
第三节 效果对比	(100)
主要参考文献	(103)
第四章 分离粒度计算	(105)
第一节 平衡轨道法	(106)
一、最大切线速度轨迹法	(108)
二、内旋流(溢流管等径)法	(134)
三、零速包络面法	(136)
四、外旋流(旋流器等径)法	(138)
第二节 停留时间法	(139)
第三节 受阻排料法	(141)
第四节 经验模型法	(141)
第五节 效果对比	(146)
主要参考文献	(149)
第五章 产物分配计算	(152)
第一节 产物分配的表示方法	(152)
一、流量分配与流量比	(152)
二、水量分配与水量比	(153)
三、产量分配与产量比	(154)
第二节 产物分配的计算方法	(156)
一、平衡法	(157)
二、经验法	(167)
主要参考文献	(179)

第六章 分离效率计算	(181)
第一节 图示法	(182)
一、效率曲线	(182)
二、效率曲线评定方法	(188)
三、应用实例	(191)
第二节 算法	(195)
一、综合效率计算式	(196)
二、应用实例	(204)
第三节 常用旋流器分级流程的效率计算	(211)
一、一段旋流器分级流程	(211)
二、两段旋流器分级流程	(211)
主要参考文献	(216)
第七章 旋流器选择计算	(218)
第一节 通用法	(219)
一、作者选择算法	(219)
二、拉苏莫夫选择算法	(240)
第二节 克鲁布斯法	(248)
一、阿提本选择算法	(248)
二、苗拉选择算法	(257)
第三节 效果对比	(261)
主要参考文献	(268)
第八章 旋流器给矿泵选择计算	(270)
第一节 矿浆主要物理参数	(272)
一、固体物料(矿石)平均粒度	(273)
二、矿浆浓度	(273)

三、矿浆流量	(274)
四、矿浆密度	(275)
第二节 普通矿浆泵选择计算	(275)
一、基本程序	(275)
二、计算实例	(285)
第三节 瓦曼(离心式)渣浆泵选择计算	(292)
一、基本程序	(293)
二、计算实例	(311)
主要参考文献	(323)
第九章 旋流器工艺参数选择	(324)
第一节 结构参数	(325)
一、旋流器直径 D	(325)
二、给矿口直径 d_i	(327)
三、溢流口直径 d_o	(328)
四、沉砂口直径 d_s	(329)
五、角锥比 d_s/d_o	(331)
六、溢流管插入深度 h_o	(332)
七、锥角 θ	(333)
八、筒体高度 H	(334)
第二节 操作参数	(336)
一、给矿压力 ΔP_m	(336)
二、给矿浓度 C_{iw} 和矿石密度 δ	(338)
三、给矿粒度和粒度组成	(339)
主要参考文献	(341)
第十章 旋流器技术的应用	(343)
第一节 应用的基本领域	(344)

一、固-液分离	(344)
二、固-固分离	(346)
三、液-液分离	(353)
四、液-气分离	(356)
五、固-气分离	(356)
第二节 安装方式	(358)
一、正装	(358)
二、倒装	(358)
三、斜装	(358)
四、平装	(359)
第三节 配置方案	(360)
一、曲线型(放射型)	(361)
二、直线型	(361)
第四节 部件磨蚀	(368)
一、磨蚀机理	(368)
二、磨损规律	(370)
三、减缓磨蚀的方法	(371)
第五节 分离产物质量测定	(373)
一、质量指标	(373)
二、测定方法	(374)
主要参考文献	(383)
后 语	(385)
附录一 中国水力旋流器主要生产厂家和 系列产品技术性能介绍	(391)
附录二 国际水力旋流器主要生产厂家 系列产品技术性能介绍	(406)
主要参考文献	(419)
符号表	(420)

绪 论

旋流器分离的对象是两相流体^①。两相流体是由固相和液相(通常为水)、固相和气相(通常为空气)和密度不同而又互不相溶的两种液相组成。分离固-液两相流体的旋流器叫水力旋流器,分离固-气两相流体的旋流器叫风力旋流器,分离液-液两相流体的旋流器叫液-液旋流分离器或液-液旋流分离管,它们的工作原理和分离过程相同,结构形式也大同小异。本书重点研究水力旋流器的分离原理、工艺计算方法和在国民经济中的实际应用,对风力旋流器和液-液旋流分离器只作一般性的介绍。

通常,旋流器分离物料时均是通过分离介质来完成,而固体物料和分离介质(液相和气相)及其组成的两相流体的性质和形态,将会以不同的方式影响其分离过程和分离结果。因此,了解它们的基本性质、控制它们的相关形态,对监控、调整和优化旋流器的分离过程及获得预期的分离结果十分重要。

第一节 固相(固体物料)的基本性质

通常,旋流器分离固体物料的来源有三种:一种是经过自然风化和河海冲积作用形成的固体物料,例如,风化砂、河砂和海滨砂等;一种是经过人工或机械粉碎作用形成的固体物料,例如,磨机排矿、选矿和湿法冶金过程中的产物、粮食加工过程中的淀粉、烟道中的尘埃等;一种是经过化学作用形成的固体物

① 两相流体、浆体和矿浆可以理解为同一事物的不同专业的叫法,本书三名词通用。

料,例如,从溶液中析出的晶体、火法冶金过程中的熔渣等。不同种类的固体物料有不同的性质和不同的形态,这里主要介绍其通性的形状、密度、粒度及其粒度组成,至于其表面物化性质只作简单的介绍。

一、形状

固体物料特别是经过机械粉碎作用形成的粒群,形状极不规则,多种多样,有球形、多角形、扁平形、条柱形、叶片形、正方形、长方形等。形状不但影响其组成两相流体的物理性能,还影响旋流器分离过程的顺利进行和分离效果。

旋流器的分离过程就是两相流体中的固体颗粒在离心力场中的沉降过程,而且多数是在干涉条件下的离心沉降过程,分离的效果同其沉降速度有关。沉降速度取决于颗粒在介质中的取向,取向往往同其形状有关,形状不同所受介质的迎面阻力不同,则其沉降速度也不同。

自然界中球体(球形颗粒)形状最规则,它具有各向对称、沉降速度不受取向影响和以最小的表面占有最大容积的特点(同其他形状颗粒相比)。通常,各种形状颗粒的规则程度均是以球体为准进行比较,常用的参数是球形系数,亦叫球形度,它反映颗粒形状同球形的差别程度,其定义为:

$$\psi = \frac{S_b}{S_a} \quad (1)$$

式中: S_b ——同固体颗粒具有相同体积的球体的表面积;

S_a ——实际固体颗粒的表面积。

通常,实际固体颗粒的表面积难以准确测定,其球形系数常用下式定义:

$$\psi = \frac{X_p}{X_c} \quad (2)$$

式中: X_p ——在显微镜下同颗粒投影面积相等的圆的直径, 亦即投影直径;

X_c ——颗粒投影面的最小外接圆直径, 可近似的用恰好使颗粒通过的圆形筛孔直径表示。

同一类型的固体颗粒, 通常细颗粒的球形系数要大于粗颗粒的球形系数, 颗粒越细球形系数越大。常见颗粒的球形系数见表 1。

表 1 常见颗粒的球形系数

颗粒形状	球形系数 ψ	实 例
球形(体)	1.000	石榴子石
八面体	0.847	
正方体	0.806	
长方体 $L \times L \times 2L$	0.767	
$X \times 2L \times 3L$	0.725	
圆柱体 $h = 3r$	0.860	
$h = 10r$	0.691	
圆盘体 $h = r$	0.827	
$h = r/10$	0.323	
类球形颗粒	0.817	河砂、烟尘、金属粉末等 矿粒、煤粒、石英砂等 石墨粉、滑石粉、石膏粉等 云母等
多角形颗粒	0.655	
片状颗粒	0.534	
薄片状颗粒	0.216	

在同一分离条件下

$$V_a = \psi V_b \quad (3)$$

式中: V_a ——实际颗粒沉降速度;

V_b ——球形颗粒沉降速度。

实际颗粒的沉降速度要小于球形颗粒的沉降速度。

生产实践中, 旋流器处理的固体物料多为非球形的实际颗粒。由式(3)看出, 实际颗粒的形状与球形相差越大, 则其沉降速度越小, 对分离的结果影响越大。