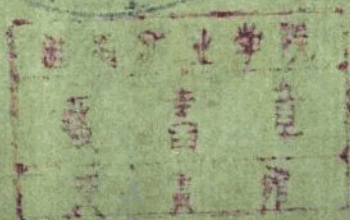


28  
高等学校教学用书

# 重力选矿学

北京矿业学院 合肥工业大学 鸡西矿业学院 山西矿业学院  
唐山矿冶学院 江西煤矿学院 山东煤矿学院  
合 编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教学用书



# 重力选矿学

北京矿业学院 合肥工业大学 鸡西矿业学院 山西矿业学院  
唐山矿冶学院 江西煤矿学院 山东煤矿学院  
合 编

中国工业出版社

本书是按照高等学校选矿专业“重力选矿法”教学大纲编写的。书中系统阐述重力选矿的理論及各种重力选矿方法；叙述各种重力选矿设备的构造、工作原理、操作要領、影响洗选过程的因素及有关的技术指标。本书反映了我国在重力选矿，特别是在重力选煤方面的生产經驗及取得的成就，并介紹苏联及其它国家在重力选矿科学技术方面的最新成果。

本书可作矿业学院选矿专业的教材，并供从事于选矿和选煤的工程技术人员閱讀、参考。

本书主編执笔人：王祖駒(第三章)、史荣义(第九章)、張榮曾(其他数章)。参加編写工作的有：王勉瑾、金宗德、陆丑震、王治正、何崇基、張国亮等同志。

## 重 力 选 矿 学

北京矿业学院 合肥工业大学 鸡西矿业学院 山西矿业学院  
唐山矿冶学院 江西煤矿学院 山东煤矿学院  
合 編

煤炭工业部书刊編輯室編輯(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $187 \times 109 \frac{2}{16}$ ·印張21·插頁4·字数473,000

1961年9月北京第一版·1962年5月北京第二次印刷

印数538—1,250·定价(10-5)2.65元

統一书号：K15165·814(煤炭-37)

原书缺页

# 原书缺页

## 目 录

第一章 緒論	5
第1节 重力选矿的研究对象及其应用范围	5
第2节 重力选矿发展簡史及我国选煤工业的发展概況	7
第二章 物体在介質中的运动規律	10
第1节 与重力选矿有关的矿粒及介質的性質	10
第2节 物体的重力和运动阻力	14
第3节 球体在靜止介質中的自由沉降規律	23
第4节 矿粒的沉降規律	33
第5节 物体在垂直运动的介質中的运动規律	40
第6节 等沉比	46
第7节 物体在离心力場中的运动規律	47
第8节 物体的干扰沉降規律	50
第9节 粒群在上升水流中的分层規律	60
第三章 物料的可选性曲綫和矿粒在产物中的分配曲綫	64
第1节 物料的可选性曲綫	64
第2节 矿粒在产物中的分配曲綫	75
第四章 水力分級	81
第1节 概述	81
第2节 分級效率	82
第3节 沉降分析	84
第4节 水力分級机	85
第5节 上升水流分級机	85
第6节 水平水流分級机	89
第7节 机械分級机	92
第8节 离心分級机	103
第五章 重介質选矿	129
第1节 概述	129
第2节 悬浮液的基本性質和加重剂的选择	133
第3节 物体在悬浮液中的运动規律	160
第4节 重介分选机	164
第5节 离心重介質选矿	186
第6节 悬浮液的回收与再生	203
第7节 重介質选矿方法的应用范围	208
第六章 跳汰选矿	20
第1节 概述	210
第2节 矿粒在跳汰机中的分层規律	212
第3节 跳汰循环	231

第4节	跳汰机各种产物的排放方式	237
第5节	水力跳汰机	241
第6节	影响水力跳汰机工作的因素	258
第7节	风力跳汰机	262
第七章	斜槽选矿	265
第1节	水流在斜槽中的运动规律	266
第2节	矿粒在斜槽中的分层规律	272
第3节	溜槽	279
第4节	螺旋选矿机	291
第5节	洗煤槽	300
第八章	淘汰选矿	310
第1节	水力淘汰盘	310
第2节	风力淘汰盘	326
第九章	洗矿	320
第1节	概述	330
第2节	矿石可洗性的评定	331
第3节	洗矿机	332
附录	矿物的化学成分、形状、硬度和比重	341
主要参考书		344



# 第一章 緒 論

## 第 1 节 重力选矿的研究对象及其应用范围

选矿的目的在于从原矿中选出品位合格的精矿，分出低品位的废弃尾矿。选矿前，必须使矿石中的有用矿物和脉石解离，成为具有不同品位的矿粒，然后再用选矿的方法使它们彼此分离。

重力选矿法是一种最重要的选矿方法。

任何一种选矿方法都是以品位不同的矿粒在某种性质上的差异作为分选的依据。重力选矿法的主要依据，是品位不同的矿粒在比重(密度)上的差别。有用矿物和脉石的比重往往是不相同的，因而品位不同的矿粒也就往往具有不同的比重。例如，煤中可燃物质的比重低于煤中矿物质的比重，所以煤的比重越小，灰分越低。

重力选矿与其它选矿方法一样，矿粒的分离是在运动过程中逐步完成的。也就是说，应该使性质不同的矿粒在重力选矿设备中具有不同的运动状况——运动的方向、速度、加速度及运动轨迹等。由物理学中可知：在重力的作用下，即使是性质(粒度、比重、形状)不同的物体，例如铁球和羽毛，在真空中的运动方向、速度及加速度都完全相同，因此，它们在真空中不可能依靠重力的作用而分离。然而在空气中则完全不同：比重大的铁球较之比重低的木球沉降得快；同样，粒度大的铁球比粒度小的铁球快；球形物体比扁平形物体快。在密度高于空气的水中，它们之间的差别更为显著。因此，一切重力选矿过程都必须在某种介质中进行。介质的密度越高，性质不同的矿粒在运动状况上的差别越大，因而分选效果也越高。

在重力选矿过程中所用的介质有：空气、水、重液(密度大于水的液体或高比重盐类的水溶液)和悬浮液——固体微粒与水的混合物。

在重力场中，物体在介质中的运动不仅受重力的作用，而且还承受介质作用于物体上的浮力及介质对运动物体的阻力。它们不但与物体的比重及介质的性质(密度和粘度)有关，而且与物体的粒度、形状以及物体与介质间的相对运动速度有关。在重力选矿过程中，并不是单个矿粒在介质中运动，而是成群的矿粒同时在介质中运动，矿粒彼此间的相互作用对运动过程有很大的影响，这种影响也与矿粒的粒度和形状有关。因此，重力选矿的结果不但取决于矿粒的比重，矿粒在粒度和形状上的差异也将影响按比重分选的结果。如矿粒间的比重差别不如粒度差别显著，利用重力选矿的方法甚至可以得到按粒度分选的结果。分级作业就是属于这一类的重力选矿过程，这时，矿粒在比重和形状上的差异将影响按粒度分选的精确性。矿粒的比重、粒度和形状在分选过程中所起的作用，在不同情况下也是不相同的。粒度和形状主要影响介质作用于物体上的阻力，并通过阻力影响矿粒在介质中的运动状况，从而影响分选效果。但介质的阻力只在矿粒与介质间产生相对运动后才产生，因此，相对运动速度越大，粒度和形状对分选结果的影响也越显著。



重力选矿的目的主要是按比重来分选矿粒。因此，在分选过程中应该尽可能创造条件来降低矿粒粒度和形状对分选结果的影响，使矿粒间的比重差别在分选中起主导作用。为此，必须充分掌握矿粒在介质中，特别是矿粒群在介质中的运动规律，以使用来提高重力选矿的效率。因此，流体动力学是研究重力选矿过程的理论基础。

在实际生产中，重力选矿过程必须在流动的介质中进行。在静止介质中矿粒群不易松散，不同比重(或粒度)的矿粒难于互相转移。此外，流动介质可保证不同比重(或粒度)的矿粒能连续不断地自分选机的不同区间排出，以满足工业生产的需要。

在重力分选机中，介质的流动方式有四种，即：连续上升、间断上升、上下交变和近于水平的倾斜流。在不同流动类型的介质中，性质不同的矿粒在运动状况上的差别也不相同。在高比重的介质(即比重大于入选物料中的低比重矿粒的重液和悬浮液)中，高比重矿粒将在介质中沉降，而低比重矿粒则上浮，使它们得以分离。这种重力分选过程称为重介质选矿。在连续上升的介质流中，粒度大的和比重高的矿粒将沉降，粒度小的和比重低的矿粒则被上升水流冲出。在间断上升及上下交变的介质流中，矿粒随介质不断进行上下交替的运动，在每一个冲程中，比重和粒度不同的矿粒上下移动的距离也不相同，结果，高比重的矿粒将集中在下层，低比重矿粒则集中在上层，分别排出后就可以得到比重不同的产物。在水平介质流及倾斜介质流中，不同比重和粒度的矿粒的运动轨迹也不相同，它们将分别沉降到距给料点远近不同的区间，从而得到分离。矿粒在倾斜介质流的推动下沿斜面运动时，它们的速度不同，利用运动速度的差别可以使之分离。此外，摇动或振动矿粒群时，由于重力的作用，细粒，特别是高比重的细粒，将通过周围矿粒间的缝隙而钻入下层，使矿粒按粒度和比重进行分层。这种现象称为析离分层作用。

利用矿粒在介质中的上述在运动状态方面的差别，就可以实现重力分选过程。根据作用原理的不同，重力选矿方法可以分成6种(表1-1)。

表 1 1 重力选矿方法的分类

名 称	分选介质	介质的主要流动方式	主要的分选作用	起主导分选作用的因素	备 注
分 级	空气或水	连续上升流及水平流	垂直流及水平流	矿粒的粒度	除在重力场中进行外，还可在离心力场中进行
重介质选矿	重液或悬浮液	连续上升流及水平流	浮沉规律	矿粒的比重	除在重力场中进行外，还可在离心力场中进行
跳汰选矿	空气或水	间断上升流或上下交变流及连续水平流	垂直流	矿粒的比重	水平流也具有一定的分选作用
斜槽选矿	水	连续倾斜水流	水平流及矿粒沿斜面运动速度的差异	矿粒的比重	水平流中的涡流所产生的上升水流也起分选作用
淘洗选矿	空气或水	连续倾斜水流或上升气流	同 上 析离作用	矿粒的比重	同 上 风力淘洗选矿主要是在上升气流中分选
洗 矿	水	连续上升流及水平流	垂直流及水平流	矿粒的粒度	将矿石中的细泥洗掉并用分级方法选出其中品位高的粗粒

矿粒在离心力場中的运动規律与在重力場中相似，因而性質(粒度、比重)不同的矿粒，在离心力場中也可以得到分离。利用离心力的选矿方法，与利用重力的选矿方法沒有原則上的差別，但离心力的强度可以比重力大几十甚至是几百倍，因此可以大大強化分选过程。目前，离心力已广泛地用于細级别矿粒的分选，这是提高細级别矿粒分选效率及設備处理能力的主要发展方向。

在重力选矿过程中，按比重分选矿粒的难易程度，可用  $\frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}$  比值的大小来近似地評定。其中， $\delta_2$  及  $\delta_1$  分别为高比重及低比重矿粒的密度， $\Delta$  为介質的密度。比值大者，分选容易，即使矿粒間的粒度差別較大，也能完善地按比重加以分选。反之，則比較困难。而且在入选前往往需要使矿粒分級，以减少粒度差別对按比重分选的影响。分选矿粒的难易程度可按上述比值分成 5 个等級(表 1-2)。

表 1-2 按比重分选矿粒的难易程度

$\frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}$ 比值	>2.5	2.5~1.75	1.75~1.5	1.5~1.25	<1.25
分选难易程度	极容易	容易	中等	困难	极困难

在重力选矿过程中，矿粒的分选速度与矿粒的重量有关，粒度过小的矿粒在介質中的运动速度很低，因而分选困难。在目前的技术条件下，重力选矿(不包括在离心力場中的选矿过程)可达到的粒度下限如下：

重矿粒的比重为 2~2.5 时，粒度下限为 0.2~0.5 毫米；

重矿粒的比重为 6~7 时，粒度下限为 0.04 毫米；

重矿粒的比重为 15~17 时，粒度下限为 0.02 毫米。

自然界中的各种矿物，特別是有用矿物和脉石之間的比重往往都有一定程度的差別(參閱附录)。因此，重力选矿的应用范围很广，煤炭、稀有金屬(錫、鎢、鈦、鋳、鈦等)、貴金屬(金、鉑)和非金屬(石棉、金剛石、磷灰石等)矿石都用重力选矿法分选。有色金屬选矿虽然主要用浮选法分选，但其中某些矿石(鉛、鋅)也常常用重力选矿法进行預先选別。

在我国，重力选矿法在煤、鎢及錫矿石的分选过程中目前占有主导地位。在铁矿、鎳矿、鉛鋅矿及其他稀有金屬矿石的选矿方面，也部分地采用重力选矿方法。

## 第 2 节 重力选矿发展簡史及我国选煤工业的发展概况

重力选矿是一种应用最早的选矿方法。很早以前，人們就开始利用重力选矿的方法在河溪中用兽皮淘洗自然金屬。14~15 世紀就已出現直到現在仍保留其主要特征的重力选矿設備。随着生产的发展，重力选矿技术也日趋完善。19 世紀中叶，出現了各种重力选矿机械設備，此后，重力选矿才大規模地在工业中应用。在浮选法出現以前，重力选矿法是选別各种有用矿物的唯一的方法。

初期的重力选矿机械設備有：动篩式手动跳汰机、定篩式活塞跳汰机、上升水流选煤机、間歇工作的洗煤槽。19 世紀末和 20 世紀初，重力选矿設備得到了很大的改进，出

現了連續工作的里歐洗煤槽、无活塞跳汰机和选別細矿粒的搖床。

分选效率最高的重力选矿方法——重介質选矿，早在1853年就开始在工业中使用，当时只能在氯化鈣溶液中选煤，由于溶液損耗大，所以沒有得到推广。1917年出现了水砂悬浮液选煤法，1926年苏联工程师E·A·斯列普諾夫首先提出了使用稳定悬浮液的重介选煤法。此后，重介选矿就开始广泛使用。

近来，开始用离心力強化重力选矿过程，其中最成功的設備是水力旋流器。这种設備現已广泛地用于細矿粒的分級和重介选矿过程中，这是当前重力选矿发展的主要方向之一。

重力选矿的理論研究工作，是从工业上应用机械化重力选矿設備以后才开始的。在此以前，牛頓和斯托克(G. G. Stokes 也可譯作斯托克斯)曾經根据流体力学的观点研究了物体在介質中的运动規律，为早期的重力选矿理論研究工作提供了理論基础。最初的理論研究工作从研究单个矿粒在介質中的运动規律开始，但发现与实际生产情况不符，因为在重力选矿过程中有成群的矿粒同时在介質中运动。后来才开始研究矿粒群在介質中的干扰沉降規律。在这方面，苏联学者里亚申柯(П. В. Лященко)做了深入的研究工作，提出了矿粒按比重分层的条件，并且在1935年編著了世界上第一本重力选矿教科書。以后許多国家的选矿工作者除繼續对矿粒在均質介質中(水和空气)的分选过程进行多方面的研究外，随着重介質选矿方法以及离心力选矿方法的发展，还开始研究悬浮液的性能及矿粒在离心力場中的运动規律。但是，由于重力选矿过程本身存在着許多复杂而又相互影响的因素，同时过去的很多研究工作大多数是在試驗室中进行，而且往往只研究选矿过程的某些方面，因此，到目前为止还缺乏一套完整的、結合实际的重力选矿科学理論。此外，在研究工作中，一些脱离实际的、唯心主义和形而上学的观点也給重力选矿的理論研究工作带来了一定影响。尽管目前重力选矿的科学理論还不能满足生产实践的需要，但現有的重力选矿科学理論，特别是苏联学者近年来的研究成果，对指导生产实践仍然具有重大的意义，因为在一定的条件下，它們能够正确反映重力选矿过程的客观規律。

随着近代科学技术的发展，現在已开始用示踪原子等其他最新科学技术成就来研究矿粒在重力选矿过程中的运动規律。苏联莫斯科矿业学院及苏联科学院矿业研究所在这方面进行了巨大的工作，并取得了一定的成績，为重力选矿的理論研究工作开辟了新的途径。

重力选矿在我国已有悠久的历史。远在古代，我国劳动人民就在工农业生产中应用各种重力选矿方法。早在17世紀，明末宋应星所著“天工开物”一書中就記載了很多有关应用重力分选的实例。例如，用风車分选谷物，用水力分級方法提取瓷土、淘洗鉄砂和錫砂等。但是由于长期受到封建制度的束縛以及后来的帝国主义入侵和国民党的反动統治，使重力选矿技术长期沒有得到应有的发展。

我国第一座使用跳汰机的机械化选煤厂是1917年建立的。1923年开始建立槽选厂。1945年以前，我国共有11座炼焦煤选煤厂和5座动力煤选煤厂。这些选煤厂都掌握在帝国主义者手中，成为帝国主义掠夺我国資源和剝削劳动人民的工具。因此在技术上十分落后，生产系統不完全，机械化程度很低，劳动条件极为恶劣，产品質量不高，而且

生产也极不正常。在抗战胜利前夕，各厂又遭受帝国主义者们的疯狂破坏。在国民党反动统治时期，被破坏的选煤厂不但没有得到恢复，相反地，他们还盗卖残留的财产，破坏厂房，当时除天府煤矿的一座年处理量仅10万吨的小厂外，没有一座选煤厂能进行生产。

解放后，矿山回到了人民手中。我国选煤厂的生产、建设和其它工业部门一样，进入了一个新的历史时期。

在国民经济恢复时期，贯彻执行了党的全面恢复、重点建设的方针。全国煤矿开展了轰轰烈烈的民主改革运动，剷除了封建把头，废除各种资本主义的管理制度，从根本上改变了旧有的生产关系，工人的劳动热情空前高涨，各选煤厂迅速恢复生产。1952年炼焦精煤的产量达到1949年的3.5倍多。

在第一个五年计划期间，在生产恢复的基础上，大规模进行新选煤厂的建设，并充份发挥原有选煤厂的潜力。在党的正确领导下，在苏联和其它兄弟国家的巨大帮助下，开工新建了一批炼焦煤选煤厂，有6座原有选煤厂经过了改建和扩建。在民主改革的胜利基础上，选煤厂的广大职工群众又大力进行生产改革。对原有选煤厂进行了技术改造，增设浮选及煤泥回收设备，并开始在生产上使用水力旋流器。使选煤生产系统逐步完善。到1957年，我国的炼焦精煤产量达到了1952年的3.5倍左右。

与此同时，开始建立选煤研究和设计专业机构，在高等院校和中等专业学校设置选矿专业和选煤专业。这就为全国选煤厂生产建设在第二个五年计划期间的高速度发展，在人力、物力和技术方面，提供了有利的前提。

在执行第二个五年计划的年代里，全国人民在党的领导下，经历了政治战线和思想战线上的社会主义革命，政治觉悟和建设社会主义的积极性空前高涨，从而为社会主义建设的全面跃进，提供了极为有利的条件。

1958年，党提出了鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线。在总路线的光辉照耀下，由于认真贯彻执行了党中央提出的中央工业和地方工业同时并举，大型企业和中小型企业同时并举，洋法生产和土法生产同时并举的一整套“两条腿走路”的方针，在连续三年的大跃进中，我国的选煤厂生产建设获得了飞速的发展。在这三年中，除建立大型现代化选煤厂外，在全国各地先后建成了大批中小型简易选煤厂，使选煤厂在地理上的分布更加合理。炼焦煤选煤厂的设计能力和炼焦精煤的产量获得了更大的增长。在这期间，在全体职工中开展了轰轰烈烈的高产优质红旗竞赛和大闹技术革新技术革命的群众运动，大大提高了选煤厂的生产管理水平和技术水平。推广使用了卧式风阀和双曲柄跳汰，使跳汰机的单位面积处理量提高了一倍左右；设计成功了适合于我国当前情况的各种类型的简易选煤机械，其中，木结构及砖石结构的活塞跳汰机已大量在各中小型选煤厂使用；处理大块和细粒煤的重介质选煤车间也分别建成。在重力选矿的科学研究方面，由于结合了生产实际，也取得了一定的成绩。今后我们在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，大兴调查研究 and 实事求是的作风，坚持鼓足干劲、力争上游的革命精神，在已经取得的胜利的基础上，一定能够把我国的选煤和选矿科学技术推向世界最先进的行列。

## 第二章 物体在介质中的运动规律

### 第1节 与重力选矿有关的矿粒及介质的性质

#### 一、矿粒的性质及其测定方法

与重力选矿过程有关的矿粒性质主要是：矿粒的比重(密度)、粒度(体积)及形状。

##### 1. 矿粒的密度：

矿粒的密度是指单位体积的矿粒的质量，矿粒的密度用“ $\delta$ ”表示。在物理单位制(C·G·S制)中，密度的单位为克/立方厘米。矿粒的重率“ $\gamma$ ”是指单位体积的矿粒的重量，在物理单位制中，重率的单位是达因/立方厘米。因此，密度与重率，在物理意义以及数值上都是不相同的。根据牛顿定律，它们具有下列关系：

$$\gamma = \delta g. \quad (2-1)$$

但是，在一般的工程问题中往往不采用物理单位制，而采用以“力”为基本单位的工程单位制。这时，力的单位以“克”(或仟克、吨)表示，重率的单位则应改为克(力)/立方厘米。由于质量为1克的物体所受的重力恰好等于1克(即980达因)，因此在工程单位制中的重率，与物理单位制中的密度具有相同的数值。

矿粒的比重是指矿粒与同体积水的重量比，所以它是一个无因次的物理量。由于水的重率恰好等于1克/立方厘米，所以矿粒的比重与物理单位制中的密度和工程单位制中的重率在数值上都相同。

常见的各种纯矿物的比重及其它物理性质可参阅书后面的附表。

但是在重力选矿实践中所遇到的矿粒都不是纯矿物，而是几种矿物的连生体。连生体的比重很不稳定，需要实际测定。测定的方法有下列几种：

1) 称量矿粒在空气中及在水中的重量，然后根据阿基米德定律按下式计算矿粒的比重。

$$\delta = \frac{C}{C - W}, \quad (2-2)$$

式中  $C$ ——矿粒在空气中的重量；

$W$ ——矿粒在水中的重量。

这种方法只适用于测定大粒度矿块的比重，细矿粒及粉末状矿粒应该用比重瓶测定。

2) 使用比重瓶测定细矿粒的比重。矿粒的比重按下式计算：

$$\delta = \frac{A_2}{A_1 + A_2 - A}, \quad (2-3)$$

式中  $A_1$ ——比重瓶加满水时比重瓶与水的总重量；

$A_2$ ——试样在空气中的重量；

$A$ ——先将试样加入瓶中然后将比重瓶加满水时，瓶、水及试样的总重量。

3) 将矿粒依次放入比重不同的重液中, 记下能使矿粒浮起的重液的最小比重 $\Delta_1$ , 和能使矿粒沉下的重液的最大比重 $\Delta_2$ , 矿粒的比重按下式计算。

$$\delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (2-4)$$

用以上各种方法测得的比重(密度)值, 误差不大于1%。在重力选矿中, 比重可以作为矿粒的质量指标, 例如, 比重低的煤块的灰分一般也较低。

## 2. 矿粒的粒度:

矿粒的粒度表示矿粒的外形尺寸。粒度的表示和测定方法有下列几种:

1) 直接测量矿粒的外形尺寸, 并以其最大值(即长度)表示该矿粒的粒度。这种方法只适用于测定粗矿粒的粒度。

2) 在显微镜下直接测量矿粒的长度和宽度, 并取平均值表示矿粒的粒度。这种方法适用于细粒(可小至0.0001毫米)。

3) 用筛分分析的方法(筛比不超过1.5)测定矿粒能够通过的最小筛孔直径与不能通过的最大筛孔直径, 然后取平均值表示矿粒的粒度。该法适用于粒度小到0.04毫米的矿粒。

4) 根据矿粒在水中或空气中的沉降速度, 按一定的公式<sup>①</sup>计算矿粒的粒度(直径)。由于矿粒在水(或空气)中的沉降速度不仅取决于它的粒度, 与其密度和形状也有关系, 所以用这种方法计算出来的粒度与上述根据矿粒外形尺寸测得的粒度有完全不同的物理概念, 前者称为几何粒度, 后者称为重力粒度。

5) 用与矿粒相当的球形物体的直径表示。根据用途的不同, 可以取体积等于矿粒体积的球体的直径表示矿粒的粒度, 也可以取表面积等于矿粒表面积的球体的直径表示矿粒的粒度。在重力选矿过程中, 粒度的影响主要表现在矿粒的体积(或重量)方面, 因此常用第一种方法来表示。用这种方法表示的矿粒粒度一般称为等体积当量直径, 或简称当量直径, 并以 $d_s$ 表示。按照定义, 矿粒的当量直径 $d_s$ 等于:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} \quad (2-5a)$$

式中  $V$ ——矿粒的体积。

如该矿粒的重量 $G$ 及密度 $\delta$ 为已知值,

$$\therefore G = V\delta, \quad \therefore d_s = \sqrt[3]{\frac{6G}{\pi\delta}}, \text{厘米} \quad (2-5b)$$

测定某矿粒粒群的平均当量直径时的计算公式如下:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{6\Sigma G}{\pi\delta n}}, \text{厘米} \quad (2-5c)$$

式中  $G, \Sigma G$ ——矿粒或矿粒粒群的总重量, 克;

$\delta$ ——矿粒的密度, 克/立方厘米;

$n$ ——矿粒的数目, 个。

## 3. 矿粒的形状:

在重力选矿过程中遇到的矿粒的形状是多种多样的, 一般可分成: 球形、浑圆形、

<sup>①</sup> 参看本章第三节。

多角形、长方形及扁平形等数种。粒度和密度相同而形状不同的矿粒，在介质中的运动速度也不相同。在各种形状的物体中，以球体的外形最规整，各个方向完全对称，而且表面积最小，因此，通常取球形作为衡量矿粒形状的标准，矿粒的形状，在数量上可用同体积球体的表面积与矿粒表面积的比值来表示。这个比值称为矿粒的形状系数 $x$ 。

$$x = \frac{S_{\text{球}}}{S_{\text{矿}}}, \quad (2-6)$$

式中  $S_{\text{球}}$ ——球体的比表面；

$S_{\text{矿}}$ ——矿粒的比表面。

各种形状的物体的形状系数近似值见表2-1。

表 2 1 各种形状的物体的形状系数近似值

形 状	球 形	浑 圆 形	多 角 形	长 方 形	扁 平 形
形状系数 $x$	1.0	0.8~1.0	0.65~0.8	0.5~0.65	<0.5

某些矿粒的大概形状如下：金刚石—浑圆形；钨锰铁矿—长方形；石榴石—浑圆形和多角形；金—长方形和扁平形；石英—多角形和长方形；锡石—多角形和长方形；黄铁矿—浑圆形和多角形；方铅矿—浑圆形和多角形；煤—多角形和长方形；铬铁矿—浑圆形和多角形；閃鋅矿—浑圆形和多角形；白钨矿—长方形。

## 二、介质的性质及其测定方法

在重力选矿过程中所用的介质有：水、空气、重液（高比重的有机液体及盐类的水溶液）和悬浮液（固体细粒与水的混合物）。水、空气及重液是均质介质，因为其中没有物理的相界面，悬浮液则是非均质的介质。均质介质与非均质介质在很多物理性质上都有原则性的区别，我们将在本书第五章中详细讨论，这里只研究与重力选矿有关的均质介质的性质——介质的密度及粘度。

### 1. 均质介质的密度：

均质介质的密度是指单位体积的介质的质量，一般用“ $\Delta$ ”表示。在物理单位制中它的单位为克/立方厘米。均质介质的密度可用称量已知体积的介质重量的方法求得，或者用误差小于1%的比重计来测定。

由于水的膨胀系数很小，在选矿实践中可以把水的密度看成是不随温度改变的常数，并近似地取水的密度为1克/立方厘米。空气的密度则随外界的温度和压力而变，在通常条件（温度 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，压力1个大气压）下，空气的密度为0.00125克/立方厘米。

### 2. 均质介质的粘度：

任何实际的流体的分子间都有内摩擦，流体分子间发生相对运动时，内摩擦显示对流体运动的阻力。牛顿研究了这个问题并得出了适用于均质介质的内摩擦定律。根据牛顿定律，两个流动介质层间的摩擦力和介质的性质有关，与介质层间的相对运动速度及两层间的接触面积成正比，而与介质层间的法向压力的大小无关。由于在整个运动介质



中兩相鄰介質層間的流速變化是連續的，因此，可以用沿運動的法綫方向的流速梯度來量度相鄰介質層間的相對運動速度。牛頓的內摩擦定律可用下列關係式表示：

$$F = \mu S \frac{dv}{dy}, \quad (2-7)$$

或 
$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}, \quad (2-8)$$

式中  $\frac{dv}{dy}$ ——法向流速梯度；

$S$ ——摩擦表面積；

$F$ ——內摩擦力；

$\tau$ ——單位表面的摩擦力，即切向應力；

$\mu$ ——與介質性質有關的比例係數，一般稱為介質的粘滯係數，或絕對粘度。

在物理單位制中，絕對粘度的單位為克/厘米·秒，或簡稱“泊”。在流體力學問題中常遇到介質的絕對粘度  $\mu$  與介質密度  $\Delta$  的比值，這一般稱為介質的運動粘度，並以“ $\nu$ ”表示。在物理單位制中，運動粘度的單位為平方厘米/秒，

$$\nu = \frac{\mu}{\Delta}. \quad (2-9)$$

介質的粘度與溫度有關，例如液體的粘度隨溫度的增高而降低。以水為例，溫度每升高  $1^\circ\text{C}$ ，絕對粘度大約降低 2%，水的絕對粘度與溫度間的精確關係  $\mu$  等於：

$$\mu = \frac{0.017775}{1 + 0.0033t + 0.000244t^2}, \text{ 泊}, \quad (2-10)$$

式中  $t$ ——水的溫度， $^\circ\text{C}$ 。

$t = 20^\circ\text{C}$  時，水的粘度  $\mu$  通常取用 0.01 泊，空氣的粘度為  $\mu = 0.00018$  泊。空氣的粘度隨溫度的升高而增加，溫度每上升  $1^\circ\text{C}$ ，空氣的粘度大約增高 0.25%。

可以用各種類型的粘度計來測定均質液體介質的粘度，最常用的粘度計是毛細管粘度計。根據泊謨叶公式，液體通過毛細管當  $R < 1200$  時，各參數間具有下列關係：

$$Q = \frac{\pi r^4 P}{8l\mu} t, \quad (2-11)$$

式中  $Q$ ——液體流出量，立方厘米；

$t$ ——流出時間，秒；

$P$ ——毛細管兩端的壓力差，達因/平方厘米；

$r$ ——毛細管的半徑，厘米；

$l$ ——毛細管的長度，厘米；

$\mu$ ——液體的絕對粘度，泊。

或 
$$\mu = \frac{\pi r^4 P}{8lQ} t. \quad (2-12)$$

將測定的各有關參數分別代入上式，即可求得液體介質的絕對粘度，或在相同條件下 ( $r$ 、 $l$ 、 $P$  及  $Q$  不變) 分別測定液體及另一已知粘度液體的流出時間，並按上式的比例關係求出該液體的粘度。

## 第2节 物体的重力和运动阻力

物体在介质中运动时，作用于物体上的力有二——重力与阻力。

### 一、物体在介质中的重力

在重力场中，物体所受的地心引力称为重力。重力的大小以物体在重力场中的“重量”来表示。

在介质中，物体所受的重力小于在真空中所受的重力。根据阿基米德原理，物体在介质中的重量 $G_0$ ，等于该物体在真空中的绝对重量与同体积介质的重量之差。

$$G_0 = V(\delta - \Delta)g, \text{ 达因,}$$

$$\text{或} \quad G_0 = V\delta \frac{\delta - \Delta}{\delta} g。$$

$$\therefore \quad m = V\delta,$$

$$\therefore \quad G_0 = m \frac{\delta - \Delta}{\delta} g, \text{ 达因,} \quad (2-13)$$

式中  $V$ ——物体的体积，立方厘米；

$\delta, \Delta$ ——物体及介质的密度，克/立方厘米；

$g$ ——重力加速度，厘米/秒<sup>2</sup>；

$m$ ——物体的质量，克。

从上式可以看出，物体在介质中的重量，等于物体的质量与加速度 $\left(\frac{\delta - \Delta}{\delta}\right)g$ 的乘积。后者为物体在介质中的重力加速度，以 $g_0$ 表示。这样公式2-13可改写成：

$$G_0 = mg_0, \text{ 达因,}$$

$$\text{式中} \quad g_0 = \frac{\delta - \Delta}{\delta} g, \text{ 厘米/秒}^2. \quad (2-14)$$

由此可知，物体在介质中的重力加速度 $g_0$ ，与地心引力加速度 $g$ 不同，它的大小及方向随物体的密度 $\delta$ 及介质的密度 $\Delta$ 而变，与物体的粒度无关。

当 $\delta > \Delta$ 时， $g_0$ 为正值，方向与 $g$ 相同，物体将在介质中沉降；

当 $\delta < \Delta$ 时， $g_0$ 为负值，方向与 $g$ 相反，物体将在介质中浮起；

当 $\delta = \Delta$ 时， $g_0$ 为零，物体悬浮于介质中。

密度不同的物体，在同一介质中的重力加速度也不相同。如 $\delta_2 > \delta_1$  则 $g_{02} > g_{01}$ ，而且

$$g_{02} - g_{01} = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_2} g - \frac{\delta_1 - \Delta}{\delta_1} g,$$

$$\text{或} \quad g_{02} - g_{01} = \Delta \left( \frac{1}{\delta_1} - \frac{1}{\delta_2} \right) g. \quad (2-15)$$

这样，两种比重不同的物体在介质中的重力加速度 $g_0$ 之差，将随介质密度的增加而增加。因此，在重力选矿过程中，分选效率一般是随所用介质密度的增高而增高（介质密度以不大于矿物比重为限）。